



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ สัณฐานวิทยาของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทซึ่งสังเคราะห์จากโลหะเงินโดยตรง
Morphology of silver acetate crystal directly synthesized from
silver metal

ชื่อนิสิต นางสาวมณิสร สุขสวัสดิ์

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2560

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัณฐานวิทยาของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทซึ่งสังเคราะห์จากโลหะเงินโดยตรง

Morphology of silver acetate crystal directly synthesized from
silver metal

โดย

นางสาวมณิสร สุขสวัสดิ์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2560

โครงการ สัณฐานวิทยาของผลึกซิลเวอร์อะซิเตตซึ่งสังเคราะห์จากโลหะเงินโดยตรง
โดย นางสาวมณิสร สุขสวัสดิ์

ได้รับอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมี
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ Wachiravongkavin)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทธิรักษา วรรณสุภากุล)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

..... หัวหน้าภาควิชาเคมี
(รองศาสตราจารย์ ดร.วุฒิชัย พาราสุข)

วันที่ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2561

คุณภาพของการเขียนรายงานเล่มนี้อยู่ในระดับ ดีมาก ดี พอใช้

ชื่อโครงการ สัมมนาวิทยาของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทซึ่งสังเคราะห์จากโลหะเงินโดยตรง
ชื่อนิติในโครงการ นางสาวมณิสร สุขสวัสดิ์ เลขประจำตัว 5733143623
ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2560

บทคัดย่อ

ซิลเวอร์อะซิเตทเป็นสารประกอบเงินที่ถูกนำไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นทางด้านผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพหรืออุปกรณ์ทางการแพทย์ ใช้เคลือบพื้นผิว ใช้ทำหมึกเงินนำไฟฟ้า เป็นต้น โดยทั่วไปในการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตท นิยมใช้ซิลเวอร์ไนเตรทเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ การได้มาซึ่งซิลเวอร์ไนเตรทนั้นก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งเป็นแก๊สพิษที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้จึงพัฒนาวิธีการสังเคราะห์สารประกอบซิลเวอร์อะซิเตทโดยตรงจากโลหะเงินในสารละลายอินทรีย์ โดยใช้โลหะเงินลงในสารละลายผสมของเอทิลอะซิเตท กรดอะซิติก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซิลเวอร์อะซิเตทจะตกผลึกออกมาบนพื้นผิวของเม็ดโลหะเงิน ศึกษาสัมมนาวิทยาของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วิเคราะห์ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี พูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี และการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ เพื่อยืนยันเอกลักษณ์ของซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นเป็นวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ประหยัดพลังงาน มีประสิทธิภาพ ไม่มีการสูญเสียสารเคมี และสามารถสังเคราะห์ได้ในขั้นตอนเดียวโดยไม่เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่เป็นพิษ

คำสำคัญ: ผลึกซิลเวอร์อะซิเตท, เคมีสีเขียว, ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทรูปทรงดอกไม้, สารประกอบอินทรีย์เงิน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Project Title Morphology of silver acetate crystal directly synthesized from silver metal

Student Name Miss Manisorn Suksawat Student ID 5733143623

Advisor Name Professor Sanong Ekgasit, Ph.D.

Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Academic Year 2017

Abstract

Silver acetate (AcOAg) was employed as a raw material in many applications such as health products, medical devices, silver coatings and conductive silver inks. In general, silver nitrate (AgNO_3) is a precursor for synthesizing AcOAg. However, the production of AgNO_3 produces nitrogen oxide (NO_x), a family of toxic gases that severely affect the environment and human health. In this research, we prepared flower-like AcOAg directly from silver metal in organic solvents. By immersing ~2 mm silver metal in a solution containing ethyl acetate (AcOEt), acetic acid (AcOH), and hydrogen peroxide (H_2O_2). The silver metals were formed into AcOAg within 24 h. AcOAg crystals slowly develop and assemble into bundles around the silver metal. The morphology of the AcOAg was investigated by optical microscope and scanning electron microscope. Characterization of synthesized AcOAg by Raman Spectroscopy, Fourier transform infrared spectroscopy and X-Ray diffraction spectroscopy was carried out. The developed process is environmental friendly, energy efficient, one-pot, simple while emitting no chemical waste or toxic by-products.

Keywords: Silver Acetate, Green Synthesis, Flower-shaped silver acetate, Environmental friendly process, Organic silver salt

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความเมตตาให้ความอนุเคราะห์อย่างยิ่งของศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ อาจารย์ได้ให้ความรู้ คำอธิบายด้วยความเข้าใจ เสียสละเวลาในการให้ความช่วยเหลือตลอดการทำงานวิจัย คอยให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความใส่ใจตลอดจนช่วยแก้ไขรายงานฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณสมาชิกหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ (Sensor Research Unit) ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะ และให้ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคต่าง ๆ ในงานวิจัย การใช้และการดูแลเครื่องมือ อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็น รวมไปถึงการให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขอขอบพระคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเพื่อสถานที่ อุปกรณ์ เครื่องมือ และสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการทำโครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์นี้

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ วชิรวงศ์กวิน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทธรักษา วรานุศุภากุล ที่กรุณาสละเวลาในการตรวจสอบงาน แก้ไขรายงานให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และให้เกียรติมาเป็นประธาน และกรรมการในการสอบงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์และนิสิตทุกท่านให้ความช่วยเหลือในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอระลึกถึงความกรุณาของทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้นไว้ ณ ที่นี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและมูลเหตุจูงใจในการเสนอโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตงานวิจัย	2
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
บทที่ 2 การทดลอง	10
2.1 รายการเครื่องมือ อุปกรณ์	10
2.2 รายการสารเคมี	10
2.3 วิธีการทดลอง	11
บทที่ 3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	16
บทที่ 4 สรุปผลการทดลอง	31
เอกสารอ้างอิง	32
ประวัติผู้วิจัย	35



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ตารางที่ 2.1	อัตราส่วนระหว่างเอทิลอะซิเตท กรดอะซิติก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยปริมาตร	11
ตารางที่ 3.1	Raman Shift (cm^{-1}) ของรามานสเปกตรัมของฟลักซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้	27



สารบัญรูปภาพ

รูปภาพที่		หน้า
รูปที่ 1.1	การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนออกไซด์ (NO _x) ในบรรยากาศ	5
รูปที่ 1.2	สูตรโครงสร้างของซิลเวอร์อะซิเตท	5
รูปที่ 1.3	การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	6
รูปที่ 1.4	การเปลี่ยนระดับพลังงานของพันธะเคมีเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วย excitation laser	7
รูปที่ 1.5	การสะท้อนแสงในระบบ ATR	8
รูปที่ 1.6	ระดับพลังงานของอะตอมและการปลดปล่อย (emission) พลังงานของรังสีเอกซ์	9
รูปที่ 1.7	การหักเหของรังสีเอกซ์	9
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนการสังเคราะห์ผลึกซิลเวอร์อะซิเตท	11
รูปที่ 2.2	แผนผังการเกิดผลึกซิลเวอร์อะซิเตท	14
รูปที่ 3.1	การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทเมื่อสังเคราะห์แบบตั้งทิ้งไว้โดยไม่กวนผสม A: 1 ชั่วโมง B: 12 ชั่วโมง C: 24 ชั่วโมง และ D: เมื่อนำไปกวนผสมด้วย ultrasonic หรือ stirrer	16
รูปที่ 3.2	การเกิดผลึกซิลเวอร์อะซิเตทและรูปร่างของเม็ดโลหะเงินเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง	18
รูปที่ 3.3	การเกิดผลึกซิลเวอร์อะซิเตทและรูปร่างของเม็ดโลหะเงินเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง	19
รูปที่ 3.4	การเกิดผลึกซิลเวอร์อะซิเตทและรูปร่างของเม็ดโลหะเงินเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง	20
รูปที่ 3.5	ขนาดและรูปร่างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทหลังจากเกิดปฏิกิริยาที่เวลาต่าง ๆ A: 1, B: 6, C: 12, D: 18 และ E: 24 ชั่วโมง ในสารละลายผสม AcOEt: AcOH: H ₂ O ₂ เท่ากับ 82: 6: 12	21
รูปที่ 3.6	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ โดยการตั้งทิ้งไว้โดยไม่กวนผสม A: กำลังขยาย 50X B: กำลังขยาย 100X และ C: กำลังขยาย 200X	21
รูปที่ 3.7	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมงของซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ โดยใช้เอทิลอะซิเตทเป็นตัวทำละลาย ที่นำไปกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนหรือด้วยคลื่นอัลตราโซนิคแล้ว A: ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทในสารละลายที่ไม่มีการกวน โดย A1-A4 กำลังขยาย 100X, 200X, 500X และ 1000X ตามลำดับ B: ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทในสารละลายที่มีการกวนตลอดเวลา โดย B1-B4 กำลังขยาย 100X, 200X, 500X และ 1000X ตามลำดับ	22
รูปที่ 3.8	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงของ A: โลหะเงิน โดย A1-A4 กำลังขยาย 50X, 100X, 200X และ 500X ตามลำดับ B: โลหะเงินที่อยู่ในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทโดยไม่มีการกวนสารละลาย โดย B1-B4 กำลังขยาย 50X, 100X, 200X และ 500X ตามลำดับ C: โลหะเงินที่อยู่ในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท โดยกวนสารละลายตลอดเวลา C1-C4 กำลังขยาย 50X, 100X, 200X และ 500X	23

ตามลำดับ และ D: โลหะเงินที่อยู่ในตัวทำละลายน้ำ โดย D1-D4 กำลังขยาย 50X, 100X, 200X และ 500X ตามลำดับ

- รูปที่ 3.9 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของพื้นผิวเม็ดโลหะเงินทำการสังเคราะห์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ที่กำลังขยาย 50X A: 0, B: 1, C: 48 และ D: 336 ชั่วโมง 24
- รูปที่ 3.10 พื้นผิวของโลหะเงินที่สังเคราะห์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน A: กำลังขยาย 50X B: กำลังขยาย 100X และ C: กำลังขยาย 200X 24
- รูปที่ 3.11 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย A: กำลังขยาย 100X B: กำลังขยาย 200X และ C: กำลังขยาย 500X 24
- รูปที่ 3.12 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมงของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์โดยใช้เอทิลอะซิเตทเป็นตัวทำละลาย A: กำลังขยาย 1000X B: กำลังขยาย 3000X และ C: กำลังขยาย 10000X 25
- รูปที่ 3.13 A: รามานสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ B: รามานสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทมาตรฐาน 26
- รูปที่ 3.14 A: อินฟราเรดสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ B: อินฟราเรดสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทมาตรฐาน 28
- รูปที่ 3.15 A: เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ B: เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทมาตรฐาน 29



สัญลักษณ์และคำย่อ

AcOEt	Ethyl acetate
AcOH	Acetic acid
H ₂ O ₂	Hydrogen peroxide
AcOAg	Silver acetate
OM	Optical microscope
SEM	Scanning electron microscope
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
XRD	X-Ray Diffraction Spectroscopy



บทที่ 1

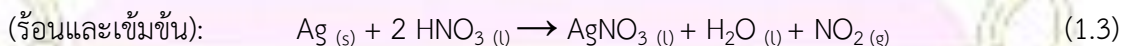
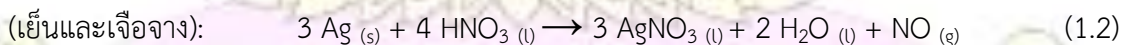
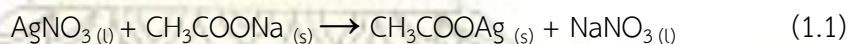
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ไอออนเงิน (silver ion) หรือ สารประกอบเงิน (silver compound) มีความเป็นพิษกับมนุษย์ต่ำ¹ มีการนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น เพิ่มประสิทธิภาพของยาปฏิชีวนะ ยาต้านไวรัส ทำให้ต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย ต้านเชื้อจุลินทรีย์รวมถึงต้านมะเร็ง ใช้เป็นส่วนผสมของครีมรักษาการติดเชื้อในแผล ผ่าไหม้ แผลเปิดและแผลเรื้อรัง² นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ เช่น ใช้เป็นยากำจัดเชื้อราที่ก่อให้เกิดโรคราพิษ ใช้เป็นสารกันเสียในเครื่องสำอาง นำมาใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เนื่องจากไอออนเงินสามารถขจัดแบคทีเรียที่เกาะอยู่บนเสื้อผ้าได้ นำไอออนเงินไปเคลือบเครื่องซักผ้า ทำให้เครื่องซักผ้าสามารถปลดปล่อยไอออนเงินด้วยกระแสไฟฟ้า เพื่อป้องกันการแพร่เชื้อแบคทีเรียและเชื้อราจากเสื้อผ้าที่ปนเปื้อน ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อโรงพยาบาลและครัวเรือน³

โดยสารประกอบเงินชนิดหนึ่งที่มีการใช้มากคือซิลเวอร์อะซิเตท ซิลเวอร์อะซิเตทเป็นสารประกอบที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสหรัฐอเมริกาและยุโรปที่มีการนำซิลเวอร์อะซิเตทมาใช้เป็นส่วนผสมในหมากฝรั่ง ยาอม และสเปรย์ สำหรับการลดหรือป้องกันการสูบบุหรี่ของผู้ที่ติดบุหรี่ และใช้ในการบำบัดผู้ติดแอลกอฮอล์มายาวนานหลายทศวรรษ⁴ นอกจากนี้ซิลเวอร์อะซิเตทยังมีคุณสมบัติเด่นในการยับยั้งเชื้อโรค เช่น เชื้อแบคทีเรีย ทำให้มีการนำซิลเวอร์อะซิเตทมาใช้กับผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพหรืออุปกรณ์ทางการแพทย์ และยังใช้เคลือบพื้นผิว (silver coating)⁵ ใช้ทำหมึกเงินนำไฟฟ้า (conductive silver ink) และใช้เป็นวัสดุตั้งต้นในการสังเคราะห์โครงสร้างไมโคร/นาโนขนาดเล็กของโลหะเงิน (silver micro/nanostructures)⁶

วิธีการโดยทั่วไปในการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตท นิยมใช้ซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate; AgNO_3) เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ ซึ่งมีกระบวนการสังเคราะห์ซิลเวอร์ไนเตรทหลายขั้นตอนและเกิดก๊าซพิษ⁷ เนื่องจากการได้มาซึ่งซิลเวอร์ไนเตรทนั้นต้องใช้ในการทำปฏิกิริยาของโลหะเงินบริสุทธิ์กับกรดไนตริก (nitric acid; HNO_3) ซึ่งก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเป็นไนโตรเจนออกไซด์ (nitrogen oxide; NO_x) ซึ่งเป็นก๊าซพิษดังสมการ⁸



โดยไนโตรเจนออกไซด์ก่อให้เกิดความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ ทำลายโครงสร้างของเซลล์เยื่อผิวทำให้ความสามารถในการทำงานของปอดลดลง⁹ ทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกในบรรยากาศส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อน และไนโตรเจนออกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับความชื้นในบรรยากาศทำให้เกิดฝนกรด (acid rain)¹⁰ อีกด้วย

จะเห็นได้ว่าปัญหาในการเตรียมซิลเวอร์อะซิเตทที่ใช้กันโดยทั่วไปนั้น เป็นกระบวนการแบบหลายขั้นตอน ที่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงหรือสารเคมีหลงเหลือ ผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่ต้องกำจัด อีกทั้งยังก่อให้เกิดแก๊สพิษที่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ

ในงานวิจัยนี้จึงพัฒนาวิธีสังเคราะห์สารประกอบซิลเวอร์อะซิเตท (CH_3COOAg) จากโลหะเงินโดยตรง ด้วยกรรมวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง ไม่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในการกวนผสม หรือใช้ไฟฟ้าในการให้ความร้อน การผลิตกลุ่มซิลเวอร์อะซิเตทรูปทรงดอกไม้ กระบวนการผลิตเป็นแบบขั้นตอนเดียว โดยใส่เม็ดเงิน หรือ โลหะเงินลงในสารละลายผสมระหว่างตัวทำละลายอินทรีย์ใช้เป็นเอทิลอะซิเตท (Ethyl Acetate, AcOEt), กรดอะซิติก (Acetic Acid, AcOH) และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide, H_2O_2) ที่ทำให้ระบบเกิดปฏิกิริยานาน 24 – 48 ชั่วโมง ปฏิกิริยาจะเริ่มจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกซิไดส์โลหะเงินเกิดเป็นซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) จากนั้นซิลเวอร์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับอะซิเตทไอออนเกิดเป็นซิลเวอร์อะซิเตท และตกผลึกออกมาบนพื้นผิวของเม็ดโลหะเงิน มีลักษณะเป็นกลุ่มก้อนของแข็งสีขาวรูปดอกไม้ของผลึกซิลเวอร์อะซิเตท

เมื่อปฏิกิริยาจะเกิดสมบูรณ์ ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทจะแยกออกจากกันมีลักษณะเป็นแท่งรูปเข็มหลาย ๆ แท่งรวมกันเป็นมัดอยู่ เมื่อกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนหรือด้วยคลื่นอัลตราโซนิคส์ กลุ่มซิลเวอร์อะซิเตทจะแตกตัวเป็นผลึกรูปเข็มของผลึกซิลเวอร์อะซิเตท ที่สามารถนำไปใช้เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนเมตรของโลหะเงิน หรือ ใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิตหมึกนำไฟฟ้าของโลหะเงิน (silver Ink) ได้ทันที

กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นวิธีการผลิตเกลือซิลเวอร์อะซิเตทโดยตรงจากโลหะเงิน โดยไม่ต้องผ่านขั้นตอนการผลิตเกลือซิลเวอร์ไนเตรท ทำให้ไม่มีการผลิตก๊าซที่เป็นพิษ (NO_x) และผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่ต้องกำจัด รวมไปถึงการทำมาความสะอาดเพื่อล้างกรดไนตริกและสารตั้งต้นอื่น ๆ ที่หลงเหลือ สารละลายผสมของเอทิลอะซิเตท กรดอะซิติก และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากน้ำที่เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงชนิดเดียวที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตและเป็นส่วนประกอบหนึ่งของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ กรรมวิธีที่พัฒนาขึ้นจึงเป็นวิธีที่ประหยัด เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีประสิทธิภาพ ไม่มีการสูญเสียสารเคมี และสามารถสังเคราะห์ได้ในขั้นตอนเดียว

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนารูปแบบการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทความบริสุทธิ์สูงโดยตรงจากโลหะเงินโดยไม่ต้องใช้ซิลเวอร์ไนเตรทเป็นสารตั้งต้น
2. พัฒนารูปแบบการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทความบริสุทธิ์สูงโดยมีการใช้พลังงานน้อยที่สุด กระบวนการสังเคราะห์ไม่ต้องมีการกวนสารหรือการให้ความร้อน
3. ศึกษาสัญญาณวิทยาของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทซึ่งสังเคราะห์จากโลหะเงินโดยตรง

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.3.1 การประยุกต์ใช้สารประกอบเงินทางการแพทย์

ในปี 2016 S. Medici และคณะ¹¹ ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำสารประกอบเงินมาเพิ่มประสิทธิภาพของยาปฏิชีวนะ ยาต้านไวรัส ทำให้ต้านทานต่อเชื้อแบคทีเรีย ด้านเชื้อจุลินทรีย์และรวมถึงต้านมะเร็ง เนื่องจาก

ก่อนหน้านั้นได้มีการใช้แพลทินัมในการฆ่าเซลล์มะเร็ง เนื่องจากแพลทินัมสามารถฆ่าเซลล์มะเร็งได้ แต่แพลทินัมยังได้ฆ่าเซลล์ปกติไปด้วย ต่างจากไอออนเงินและสารประกอบเงินที่อาจเป็นพิษต่อแบคทีเรียไวรัสสาหร่ายและเชื้อรา แต่มีความเป็นพิษต่ำต่อเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม

ในปี 2009 Y. K. Jo และคณะ¹² ศึกษาการใช้ไอออนของเงินเพื่อควบคุมโรคพืช โดยตรวจสอบฤทธิ์ต้านเชื้อราในเชื้อรา 2 ชนิดคือ *Bipolaris sorokiniana* และ *Magnaporthe grisea* จากการตรวจสอบในงานเลี้ยงเชื้อพบว่าไอออนเงินมีผลต่อการสร้างโคโลนีของเชื้อโรทั้งสองชนิดนี้ และจากการเพาะเชื้อช่วยยืนยันว่าไอออนเงินสามารถลดการเกิดโรคเชื้อราในไม้ยืนต้นได้

ในปี 1997 M. Scalzo และคณะ¹³ ศึกษาการใช้ไอออนเงินเป็นสารกันเสียในเครื่องสำอาง ทดสอบโดยใช้สารยับยั้งสารกันบูด หรือตัวส่งเสริมการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ เช่น humectants, hydrosoluble, collagen และสารสกัดจากพืช และศึกษาประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อของไอออนเงิน เมื่อเทียบกับยา imidazolidinyl urea หรือ methyl p-hydroxybenzoate แสดงให้เห็นว่าการฆ่าเชื้อของไอออนเงินมีประสิทธิภาพมากกว่า และปลอดภัยในการเป็นสารกันเสียในเครื่องสำอาง

1.3.2 การประยุกต์ใช้ซิลเวอร์อะซิเตท

ในปี 2013 P. Jeanmonod และคณะ¹⁴ ใช้ซิลเวอร์อะซิเตทเคลือบพื้นผิว (silver coating) ของอวัยวะเทียมที่ใช้ในการปลูกถ่ายอวัยวะ และศึกษาผลของการเคลือบผิวด้วยซิลเวอร์อะซิเตท

ในปี 2013 Y. Tao และคณะ¹⁵ ใช้ซิลเวอร์อะซิเตทเป็นสารตั้งต้นที่มีความบริสุทธิ์สูงที่ถูกนำไปใช้ทำหมึกเงินนำไฟฟ้า (conductive silver ink) โดยหมึกนำไฟฟ้าที่สังเคราะห์จะโปร่งใสและไม่มีอนุภาคที่มองเห็นได้ และสามารถควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการปรับความเข้มข้นของซิลเวอร์อะซิเตท

ในปี 2009 A. L. Avellaneda และคณะ¹⁶ ใช้ซิลเวอร์อะซิเตทในการยับยั้งโรคติดเชื้อจากชิ้นส่วนอวัยวะเทียมในผู้ป่วย ผ่าตัดบายพาสหลอดเลือดหัวใจเพื่อรักษาโรคหลอดเลือดแดงอุดตัน

1.3.3 วิธีการทั่วไปในการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทและสารประกอบเงินอื่น ๆ

ในปี 2003 R. Qadeer และคณะ¹⁷ เตรียมผงซิลเวอร์อะซิติก (acetic silver powder) จากการทำปฏิกิริยาของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate) กับสารละลายแอมโมเนียมอะซิเตท (ammonium acetate) กรองแยกตะกอน ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน และปล่อยให้แห้ง

ในปี 1933 J. H. Muller⁵ ใช้ซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate) เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตท (silver acetate) สำหรับใช้เคลือบพื้นผิว (silver coating) โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรท 100 กรัม ละลายในน้ำและตกตะกอนด้วยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินไป ล้างออกไซด์ของเงินที่ตกตะกอนจนไม่มีสารอัลคาไลและผลิตภัณฑ์อื่น ๆ จะเกิดซิลเวอร์ออกไซด์ (silver oxide) 70 กรัม เติมนิวซิลเจจ (mucilage) หรือ สารละลายกัม (gum) กวนผสมสารละลายให้เข้ากัน จากนั้นเติม 20 กรัมของกรดอะซิติกในขณะที่กวนผสมสารละลายตลอดเวลา กรดจะแปลงซิลเวอร์ออกไซด์ให้เป็นซิลเวอร์อะซิเตท

ในปี 2012 Z. H. Dhoondia และคณะ¹⁸ สังเคราะห์อนุภาคนาโนของซิลเวอร์ออกไซด์โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate) เปปโทน (peptone) สารสกัดจากยีสต์ (yeast extract) สารสกัดจากเนื้อ (beef extract) และวุ้น (agar)

ในปี 2013 N. L. Yong และคณะ¹⁹ สังเคราะห์ซิลเวอร์ออกไซด์โดยใช้โพลีเอทิลีนไกลคอล (polyethylene glycol; PEG) เป็นตัวรีดิวซ์ และซิลเวอร์ไนเตรท และโซเดียมไฮดรอกไซด์ และใช้น้ำจาก Millipore RiOs 3 ในการทำให้บริสุทธิ์

ในปี 2014 S. M. H. Mashkani และคณะ²⁰ สังเคราะห์ซิลเวอร์ซาลิไซเลต (Silver salicylate) จากซิลเวอร์ไนเตรทผสมกับโซเดียมซาลิไซเลต ละลายในน้ำกลั่น กวนผสมด้วยเครื่องกวนผสม 30 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล เพื่อกำจัดสิ่งเจือปน และทำให้แห้งในสุญญากาศ (vacuum) อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และนำซิลเวอร์ซาลิไซเลตมาเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ซิลเวอร์ออกไซด์ โดยผ่านท่อซิลิกอน (silicon boat) จากนั้นนำเข้าเตาหลอมที่อุณหภูมิสูง ในบรรยากาศที่มีก๊าซอาร์กอน (Ar) และอากาศ (Air)

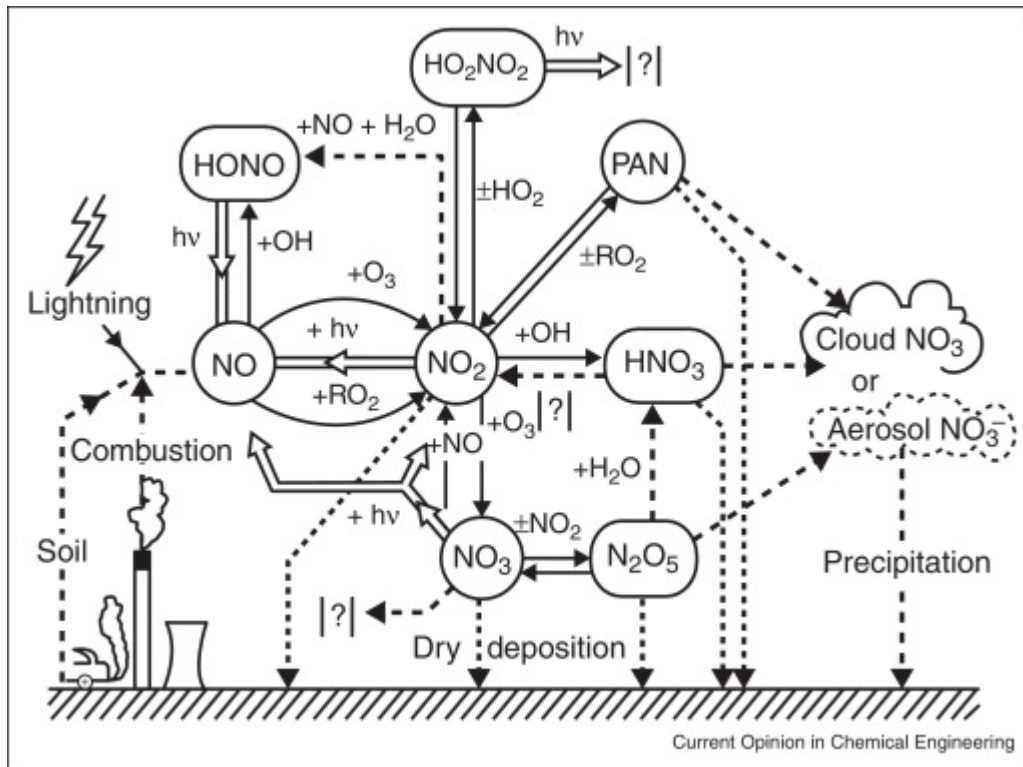
ในปี 2018 H. Xiaojun และคณะ²¹ สังเคราะห์ซิลเวอร์คาร์บอเนต (silver carbonate) จากโซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) และซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate) ในเอทานอล ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 ถึง 70 องศาเซลเซียส

1.3.4 ผลกระทบของไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์

ในปี 1993 J. Tibballs²² ศึกษาสาเหตุหลักของความเป็นพิษจากการสูดดมไนตริกออกไซด์ (NO) เกิดจากการขาดออกซิเจน เนื่องจากไนตริกออกไซด์มีความสามารถในการจับกับฮีโมโกลบิน เมื่อถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสโลหิตจะถูกเปลี่ยนเป็นเมทฮีโมโกลบิน (methemoglobin) และไนเตรต (nitrate) ซึ่งขัดขวางการขนส่งออกซิเจนไปสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกาย เมื่อระดับเมทฮีโมโกลบินสูงอาจทำให้เกิดอาการโคม่าและอาจถึงตายได้

ในปี 2013 L. P. Jennifer และคณะ⁹ ศึกษาผลของไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ต่อสุขภาพของมนุษย์ การสัมผัสระยะสั้นจะก่อให้เกิดความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ ระบบป้องกันบกพร่อง ปอดอักเสบเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยโรคหืด มีอาการไอ หายใจลำบาก และอาการหอบหืด การทำงานของปอดลดลง การสัมผัสระยะยาวจะก่อให้เกิดความผิดปกติของระบบทางเดินหายใจ ได้แก่ ประสิทธิภาพการทำงานของปอดลดลง การเจริญเติบโตและการทำงานของปอดในเด็กลดลง

ในปี 2016 T. Boningari และคณะ¹⁰ อธิบายผลกระทบของไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ต่อสุขภาพของมนุษย์ เช่น ไนตริกออกไซด์ (NO) แพร่กระจายไปยังส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินหายใจ เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำได้ต่ำ ออกไซด์ของไนโตรเจนแพร่กระจายผ่านเซลล์เยื่อบุผิว (Alveolar cells) และหลอดเลือดฝอยที่อยู่ภายในปอด ทำลายโครงสร้างของเซลล์เยื่อบุผิวทำให้ความสามารถในการทำงานของปอดลดลง ส่วนผลของไนโตรเจนออกไซด์ต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศทางชีวภาพ เช่น การทำลายชั้นโอโซนเนื่องจากไนโตรเจนออกไซด์เป็นก๊าซเรือนกระจก ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ภาวะโลกร้อน และไนโตรเจนออกไซด์ทำปฏิกิริยากับสารประกอบและความชื้นในบรรยากาศทำให้เกิดฝนกรด (acid rain, HNO_3)



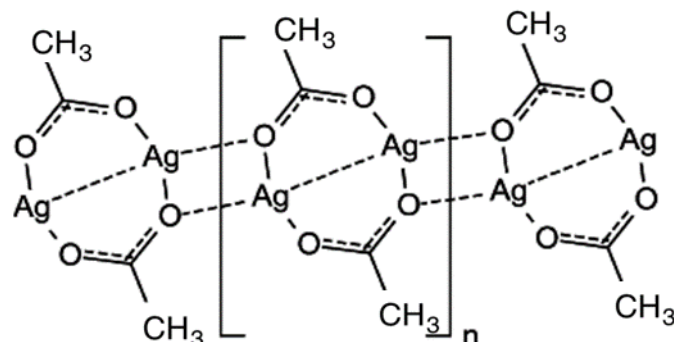
รูปที่ 1.1 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) ในบรรยากาศ¹⁰

จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นพบว่าซิลเวอร์อะซิเตทมีการนำไปใช้ประโยชน์หลากหลาย แต่วิธีการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทที่มีในปัจจุบันมีกระบวนการซับซ้อนและก่อให้เกิดก๊าซพิษ ทำให้ผู้วิจัยสนใจพัฒนาวิธีการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทที่ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีประสิทธิภาพ ไม่มีการสูญเสียสารเคมีง่ายและสามารถสังเคราะห์ได้ในขั้นตอนเดียว

1.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4.1 ซิลเวอร์อะซิเตท

เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่มีสูตรโมเลกุล CH_3COOAg มีมวลโมเลกุล 166.912 กรัมต่อโมล เป็นผลึกสีขาว ไวแสง มีความหนาแน่น (Density) 3.26 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สลายตัวที่ 220 องศาเซลเซียส ค่าการละลายในน้ำ 1.02 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส²³



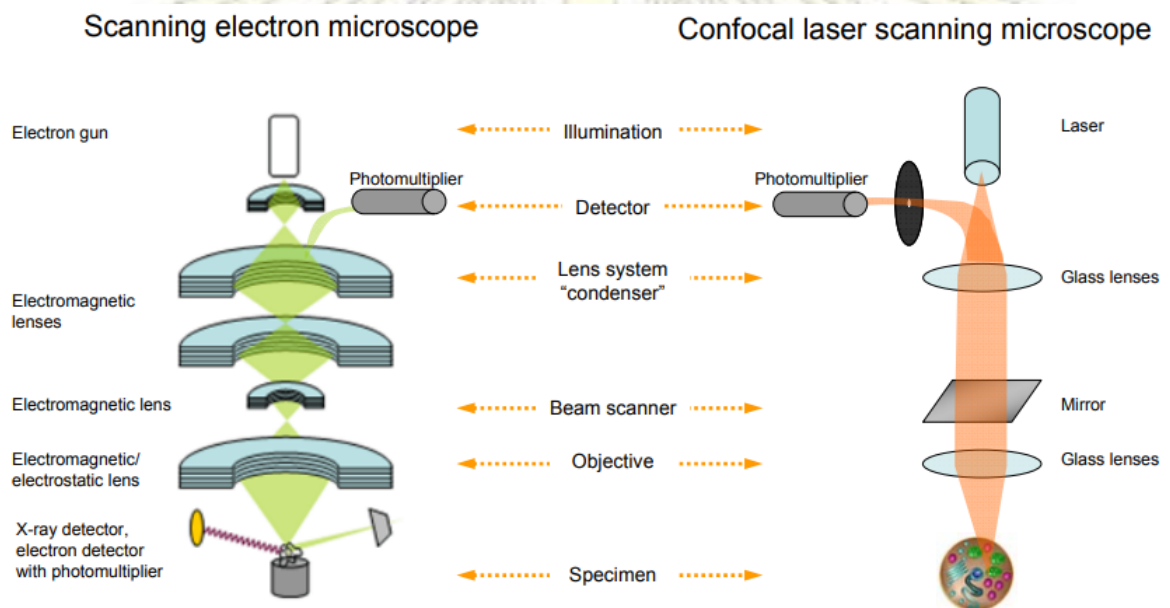
รูปที่ 1.2 สูตรโครงสร้างของซิลเวอร์อะซิเตท²⁴

1.4.2. กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope, OM)

กล้องจุลทรรศน์จะช่วยให้การมองวัตถุที่มีขนาดเล็กให้เห็นเป็นภาพขนาดใหญ่ขึ้น และเห็นรายละเอียดได้ชัดเจน โดยใช้แสงที่มองเห็นได้ (visible light) เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยจะประกอบด้วยเลนส์แก้วใกล้ตา และเลนส์ใกล้วัตถุ วัตถุจะต้องวางไว้ตรงจุดโฟกัสของเลนส์ แสงจะวิ่งผ่านระบบเลนส์ต่าง ๆ และมีการส่องไปที่วัตถุ ก่อนที่แสงจะส่องผ่านเข้าสู่สายตา ซึ่งแสงที่อยู่ภายในระบบที่สะท้อนกลับเข้าสู่สายตาเราจะทำให้เราเห็นภาพได้²⁵

1.4.3. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูง มีความสามารถในการแยกดีกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เนื่องจากมีความยาวคลื่นสั้น เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของวัสดุ



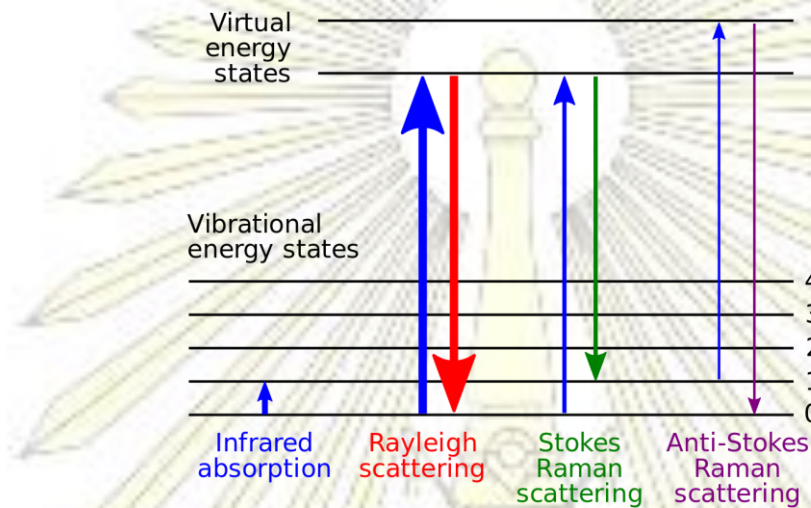
รูปที่ 1.3 การทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้อิเล็กตรอน (electron) เป็นแหล่งกำเนิด อิเล็กตรอนจะถูกเร่งด้วยแรงดันไฟฟ้าผ่านเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lenses) ลำอิเล็กตรอนจะส่องไปยังเลนส์ใกล้วัตถุ อิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมาจากวัตถุจะถูกตรวจจับในเครื่องตรวจจับ (detector) และขยายโดยใช้ photomultiplier tubes²⁶

1.4.4. เทคนิครามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy)

เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์เชิงคุณภาพเพื่อยืนยันเอกลักษณ์ของสาร เป็นเทคนิคที่ศึกษาอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโมเลกุลของสารประกอบด้วยรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic radiation) ทำให้เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (electronic state) ระดับพลังงานการหมุน (rotation) และการสั่น (vibration) ของโมเลกุล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ใช้ โดยที่สารแต่ละตัวจะมี

ลักษณะการกระเจิงแสงไม่เหมือนกัน แสงจะตกกระทบวัตถุและส่งผลทำให้โมเลกุลของสารถูกกระตุ้นให้อยู่ในสถานะเร้า และเมื่อโมเลกุลที่ถูกกระตุ้นพยายามที่จะกลับคืนสู่สถานะปกติซึ่งมีพลังงานต่ำกว่า ก็จะทำให้เกิดการกระเจิงแสง (scattered light) ออกมา การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Raman shift (cm^{-1}) กับ Intensity (A.U.) ซึ่งเรียกว่า รามานสเปกตรัม (Raman spectrum)²⁷



รูปที่ 1.4 การเปลี่ยนระดับพลังงานของพันธะเคมีเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วย excitation laser

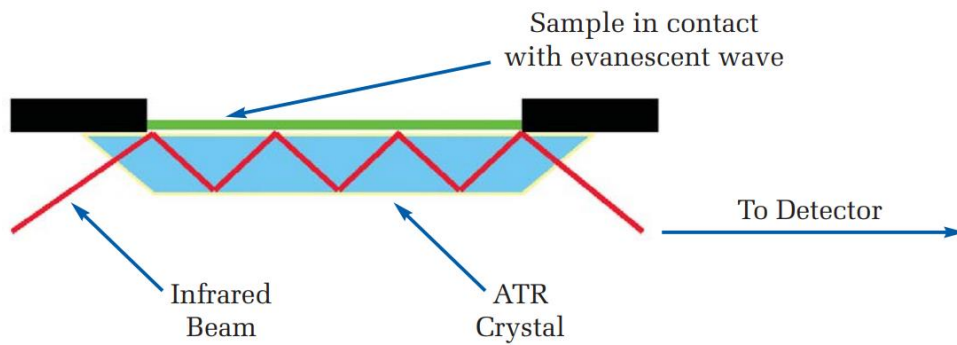
Raman spectroscopy สังเกตการเปลี่ยนแปลง (shift) ความยาวคลื่นของแสงกระจัดกระจาย (scattered light) หลังจากมีอันตรกิริยากับโมเลกุล แสงกระจัดกระจายเหล่านี้ไม่ยืดหยุ่นเท่าที่สูญเสียหรือได้รับพลังงานในการสั่นสะเทือนของโมเลกุลตัวอย่าง ถ้าสถานะพลังงานการสั่นสุดท้าย (final vibrational energy state) สูงกว่าสถานะพลังงานการสั่นเริ่มต้น (โมเลกุลได้รับพลังงานและโฟตอนสูญเสียพลังงาน) ความถี่ของโฟตอนจะเปลี่ยนเป็นความถี่ที่ต่ำกว่า (red-shifted) หรือที่เรียกว่า "stokes shift" ในทางกลับกัน ถ้าสถานะพลังงานการสั่นสุดท้ายต่ำกว่าสถานะพลังงานการสั่นเริ่มต้น (โมเลกุลสูญเสียพลังงานและโฟตอนได้รับพลังงาน) ความถี่ของโฟตอนจะเปลี่ยนเป็นความถี่ที่สูงกว่า (blue-shifted) หรือที่เรียกว่า "anti-stokes shift" ดังแสดงในรูปที่ 1.4²⁸

1.4.5. เทคนิคฟลูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) แบบ Attenuated Reflection Infrared Spectroscopy, ATR

Fourier Transform Infrared Spectroscopy เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบ โครงสร้างของสาร โดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล การที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของรังสีอินฟราเรดต้องเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้น ๆ ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไปทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์

โครงสร้างและชนิดของสารอินทรีย์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Wavenumber (cm^{-1}) กับ %Transmittance ซึ่งเรียกว่า อินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared spectrum)²⁹

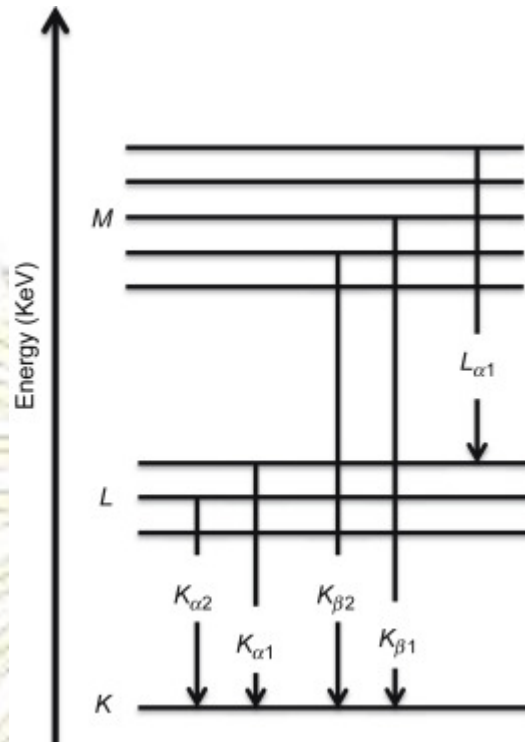
Attenuated Reflection Infrared Spectroscopy (ATR) เป็นเทคนิคที่วัดการสะท้อนและการส่องผ่านของแสง พื้นผิวของตัวอย่างต้องแบนเรียบ ซึ่งวางอยู่บนผลึก เช่น ZnSe, Ge หรือผลึกเพชร โดยแสงอินฟราเรดจะตกกระทบสารตัวอย่าง แสงส่วนที่เหลือจากการถูกดูดกลืนจะสะท้อนออกมา (reflected beam) เพื่อเข้าสู่ detector



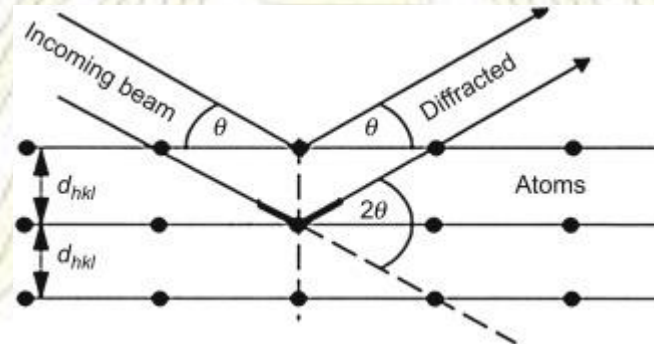
รูปที่ 1.5 การสะท้อนแสงในระบบ ATR³⁰

1.4.6. เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction Spectroscopy)

เทคนิควิเคราะห์สมบัติของตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานสูง ตัวอย่างจะเกิดการดูดกลืนและการกระเจิงโฟตอนของรังสีเอกซ์ที่แตกต่างกัน เป็นการกระเจิงแบบยึดหยุ่น (coherent) หรือที่เรียกว่า Rayleigh scattering เกิดขึ้นระหว่างโฟตอนกับอิเล็กตรอนที่ล้อมรอบนิวเคลียสของอะตอม เนื่องจากโครงสร้างของผลึกทำให้รูปแบบของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ออกมาไม่เท่ากัน ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่าง ๆ กับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ ซึ่งสามารถศึกษาโครงสร้างผลึกของวัสดุได้ สามารถคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในตัวอย่าง คำนวณหาขนาดอนุภาคของแต่ละ Unit cell ความเครียดของตัวอย่าง ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างได้อีกด้วย โดยอาศัยหลักการของ Bragg's law หรือ $2d \sin\theta = n\lambda$ ในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ยิงผ่านชั้นผลึกในตัวอย่าง โดยจะใช้ Detector รับความเข้มของรังสีเอกซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนในมุมต่าง ๆ³¹



รูปที่ 1.6 ระดับพลังงานของอะตอมและการปลดปล่อย (emission) พลังงานของรังสีเอกซ์



รูปที่ 1.7 การหักเหของรังสีเอกซ์³¹

บทที่ 2

การทดลอง

2.1 รายการเครื่องมือ อุปกรณ์

- 2.1.1. กล้องจุลทรรศน์ (Optical Microscope, OM) ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope.A1
- 2.1.2. กลาสสไลด์
- 2.1.3. ปีกเกอร์ ขนาด 10, 25, 50, 150 และ 250 มิลลิเมตร
- 2.1.4. เครื่องรามานสเปกโทรมิเตอร์ (Raman Spectrometer) ยี่ห้อ Thermo Fisher Scientific รุ่น DXR Raman Microscope
- 2.1.5. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD) ยี่ห้อ Rigaku รุ่น Ultima DMAX 2200
- 2.1.6. เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) ยี่ห้อ Thermo Scientific รุ่น Nicolet 6700
- 2.1.7. กล้อง อุปกรณ์ตั้งกล้อง รวมทั้งที่หนีบและขาตั้ง
- 2.1.8. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510A
- 2.1.9. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
- 2.1.10. เครื่อง ultrasonic sonicator
- 2.1.11. ไมโครปิเปต ขนาด 100 และ 1000 ไมโครลิตร

2.2 รายการสารเคมี

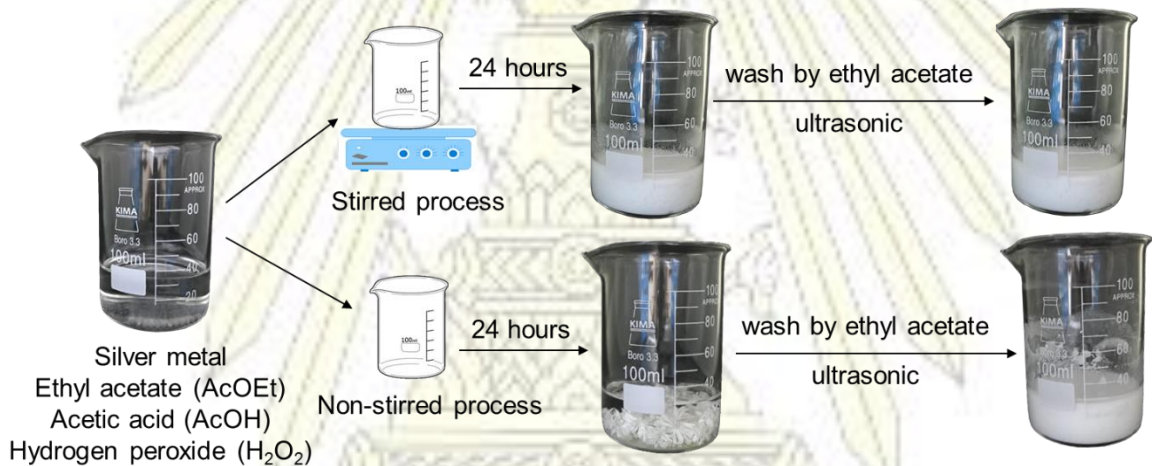
- 3.2.1. เอทิลอะซิเตท (Ethyl acetate, $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$)
- 3.2.2. กรดอะซิติก (Acetic acid, CH_3COOH) 100% โดยปริมาตร
- 3.2.3. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide, H_2O_2) 30% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร
- 3.2.4. โลหะเงิน (Silver metal, Ag)

2.3 วิธีการทดลอง

การพัฒนาวิธีการใหม่ในการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทจากโลหะเงินโดยตรงในสารละลายอินทรีย์ กระบวนการผลิตเป็นแบบขั้นตอนเดียว โดยใช้โลหะเงินลงในสารละลายผสมระหว่างเอทิลอะซิเตท (AcOEt), กรดอะซิติก (AcOH) และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่ให้ระบบเกิดปฏิกิริยานาน 24 – 48 ชั่วโมง ปฏิกิริยาจะเริ่มจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกซิไดส์โลหะเงินเกิดเป็นซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) จากนั้นซิลเวอร์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับอะซิเตทไอออนเกิดเป็นซิลเวอร์อะซิเตท และตกผลึกออกมาบนพื้นผิวของเม็ดโลหะเงิน เมื่อปฏิกิริยาเกิดสมบูรณ์ เม็ดเงินจะเกิดปฏิกิริยากลายเป็นกลุ่มก้อนของแข็งสีขาวรูปดอกไม้ของผลึกซิลเวอร์อะซิเตท และจะแยกออกจากกันมีลักษณะเป็นแท่งรูปเข็มหลาย ๆ แท่งรวมกันเป็นมัดอยู่ เมื่อกวนสารละลายสารละลายด้วยเครื่องกวนหรือด้วยคลื่นอัลตราโซนิกส์ กลุ่มซิลเวอร์อะซิเตทจะแตกตัวเป็นผลึกรูปเข็มของซิลเวอร์อะซิเตท กรองและล้างผลึกซิลเวอร์อะซิเตทด้วยเอทิลอะซิเตท และปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องหรือกรองสุญญากาศ

2.3.1 การสังเคราะห์ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทในสารละลายอินทรีย์

2.3.1.1. ทำการสังเคราะห์เปรียบเทียบระหว่าง 2 กระบวนการสังเคราะห์ คือ สังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทจากโลหะเงิน โดยกวนผสมสารละลายตลอดเวลา กับ ตั้งสารละลายทิ้งไว้โดยไม่กวนผสมสารละลาย



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการสังเคราะห์ผลึกซิลเวอร์อะซิเตท

โดยเริ่มจากชั่งโลหะเงินน้ำหนักหยาบใกล้เคียง 1.6 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร และเตรียมตัวทำละลายโดยผสมเอทิลอะซิเตทปริมาตร 40.5 มิลลิลิตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (ความเข้มข้น 30% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาตร 7 มิลลิลิตร และกรดอะซิติกเข้มข้นปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ผสมในบีกเกอร์ที่มีโลหะเงินอยู่ ป้องกันการระเหยของตัวทำละลายโดยการปิดด้วย plastic wrap และห่ออะลูมิเนียมฟอยล์เพื่อป้องกันแสง เนื่องจากผลึกซิลเวอร์อะซิเตทไวต่อแสง ผสมให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง อีก 1 บีกเกอร์ตั้งไว้บนเครื่องกวนสารละลาย (stirrer) เพื่อกวนผสมตลอดเวลาเป็นเวลา 48 ชั่วโมง กรองและล้างผลึกด้วยเอทิลอะซิเตท และปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

จากนั้นสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทจากโลหะเงินโดยเปลี่ยนตัวทำละลายจากเอทิลอะซิเตทเป็นน้ำนำไปสังเกตลักษณะสัญญาณวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อยืนยันว่าเอทิลอะซิเตทเป็นตัวกลางที่เหมาะสมในการนำมาใช้สังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตท

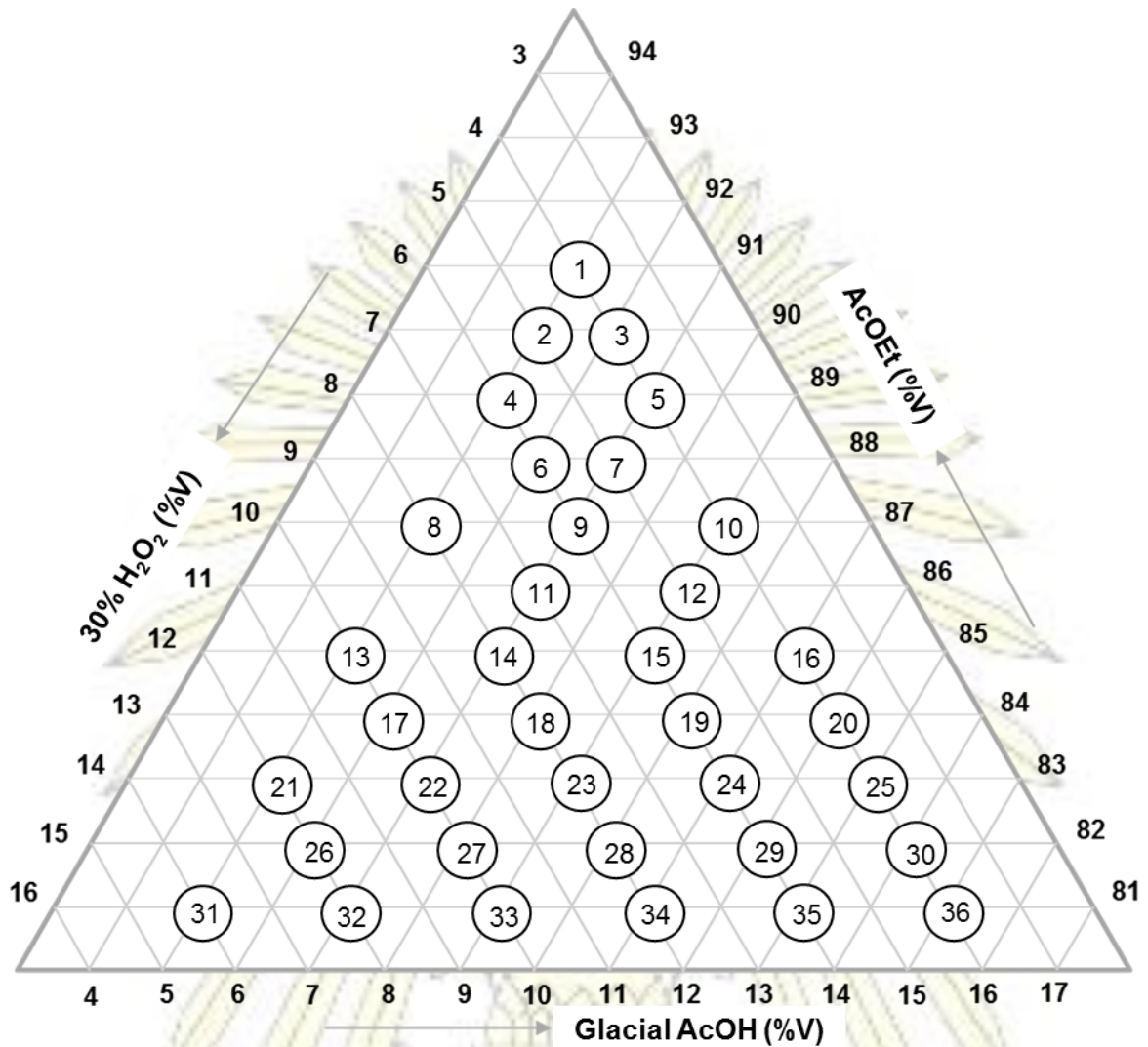
2.3.1.2. หาอัตราส่วนของ เอทิลอะซิเตท กรดอะซิติก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่เหมาะสมในการทำให้เม็ดเงินเกิดปฏิกิริยาเป็นผลึกซิลเวอร์อะซิเตทได้เร็วที่สุด โดยนำโลหะเงินขนาด 2 มิลลิเมตรใส่ลงในสารละลายผสมระหว่างเอทิลอะซิเตท กรดอะซิติก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตามอัตราส่วนเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยปริมาตร (ดังตาราง 2.1)

ตารางที่ 2.1 อัตราส่วนระหว่างเอทิลอะซิเตท กรดอะซิติก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นเปอร์เซ็นต์ (%) โดยปริมาตร

Conditions	Ethyl Acetate, AcOEt (%)	Hydrogen Peroxide, HP (%)	Actic Acid, AcOH (%)
1	91	4	5
2	90	5	5
3	89	4	6
4	89	6	5
5	88	4	7
6	88	6	5
7	87	5	7
8	87	8	9
9	87	6	7
10	86	4	9
11	86	9	5
12	86	7	7
13	86	5	9
14	85	10	5
15	85	8	7
16	85	6	9
17	85	4	11
18	84	10	6
19	84	8	8
20	84	6	10
21	83	12	5

22	83	10	7
23	83	8	9
24	83	6	11
25	83	4	13
26	82	12	6
27	82	10	8
28	82	8	10
29	82	6	12
30	82	4	14
31	81	14	5
32	81	12	7
33	81	10	9
34	81	8	11
35	81	6	13
36	81	4	15

ถ่ายภาพผลึกซิลเวอร์อะซิเตท เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง เพื่อสังเกตลักษณะของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทในแต่ละเงื่อนไข เพื่อจะทราบถึงหน้าที่และอิทธิพลของสารแต่ละตัวในการเกิดปฏิกิริยา และนำภาพผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่ได้มาใส่เป็น Time dependent growth map



รูปที่ 2.2 แผนผังการเกิดผลึกซิลเวอร์อะซิเตท

2.3.2 วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.3.2.1 วิเคราะห์โครงสร้างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (optical microscope)

นำโลหะเงินก่อนทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หลังทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมงมาสังเกตลักษณะสัณฐานวิทยาของเม็ดเงิน และหยดสารละลายซิลเวอร์อะซิเตทใส่กลาสสไลด์ ปล่อยให้แห้ง สังเกตลักษณะสัณฐานวิทยาของซิลเวอร์อะซิเตทที่เกิดขึ้น หลังทำปฏิกิริยา 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

2.3.2.2 สังเกตและวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)

หยดสารละลายซิลเวอร์อะซิเตทใส่กลาสสไลด์ ปล่อยให้แห้ง สังเกตลักษณะสัณฐานวิทยาของซิลเวอร์อะซิเตทที่เกิดขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.3.3 วิเคราะห์ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy), ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR) และการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction Spectroscopy)

นำผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy) เพื่อยืนยันโครงสร้างและความบริสุทธิ์ของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้โดยวิเคราะห์รามานสเปกตรัม (Raman spectrum) ใช้เลเซอร์ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร รูรับแสง (Aperture) ขนาด 25 ไมโครเมตร กำลังไฟฟ้า 10 มิลลิวัตต์ และใช้ Polystyrene มาตรฐานในการสอบเทียบ (Calibrate)

นำผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) แบบ Attenuated Reflection Infrared Spectroscopy; ATR เพื่อวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ โดยวิเคราะห์อินฟราเรดสเปกตรัม (Infrared spectrum)

นำผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction Spectroscopy) เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ โดยวิเคราะห์เอกซเรย์ดิฟแฟรคชันสเปกตรัม (X-Ray Diffraction Spectrum) ใช้ความเร็วในการแสกน (Scan speed) 3.000 องศาต่อนาที ความกว้าง (Sampling width) 0.020 องศา แกนที่ใช้แสกน (Scan axis) เท่ากับ $2\theta/\theta$ ช่วงของการแสกน (Scan range) คือ 20 - 80 องศา

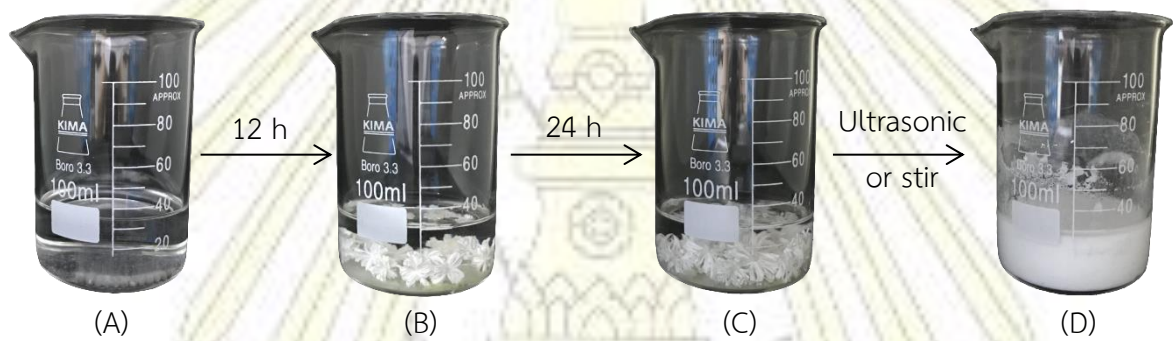
บทที่ 3

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

3.1 การสังเคราะห์ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทในสารละลายอินทรีย์

3.1.1. สังเคราะห์เปรียบเทียบระหว่าง 2 กระบวนการสังเคราะห์ คือ สังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทจากโลหะเงินโดยกวนผสมสารละลายตลอดเวลา กับ ตั้งสารละลายทิ้งไว้โดยไม่กวนผสมสารละลาย

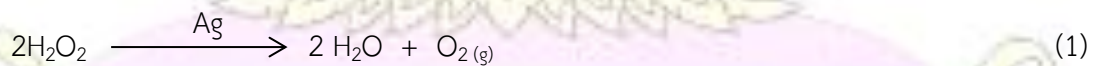
เมื่อทำการสังเคราะห์โดยตั้งสารละลายทิ้งไว้โดยไม่กวนผสมสารละลาย ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่ได้จะมีลักษณะเป็นเม็ด ดังรูป 3.1 C แต่การสังเคราะห์โดยกวนผสมสารละลายตลอดเวลาผลึกที่ได้มีลักษณะเป็นรูปเข็มขนาดเล็กกระจายทั่วทั้งสารละลาย และเมื่อนำสารละลายทั้ง 2 กระบวนการสังเคราะห์ ไปกวนด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (ultrasonic) ผลึกที่ได้จะมีลักษณะเป็นรูปเข็มขนาดเล็กกระจายทั่วทั้งสารละลายเหมือนกันทั้ง 2 ระบบ โดยลักษณะของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ต้องตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดต่อไป



รูปที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทเมื่อสังเคราะห์แบบตั้งทิ้งไว้โดยไม่กวนผสม

A: 1 ชั่วโมง B: 12 ชั่วโมง C: 24 ชั่วโมง และ D: เมื่อนำไปกวนผสมด้วย ultrasonic หรือ stirrer

เมื่อใส่โลหะเงินลงในสารละลายผสมระหว่างเอทิลอะซิเตท (AcOEt) กรดอะซิติก (AcOH) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ดังรูปที่ 3.2 A ฟองอากาศเกิดขึ้น ซึ่งเกิดจากกระบวนการ Catalytic decomposition ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวเร่ง (catalyst) ดังสมการ



ปฏิกิริยาจะเริ่มจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกซิไดส์โลหะเงินเกิดเป็นซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ดังสมการ



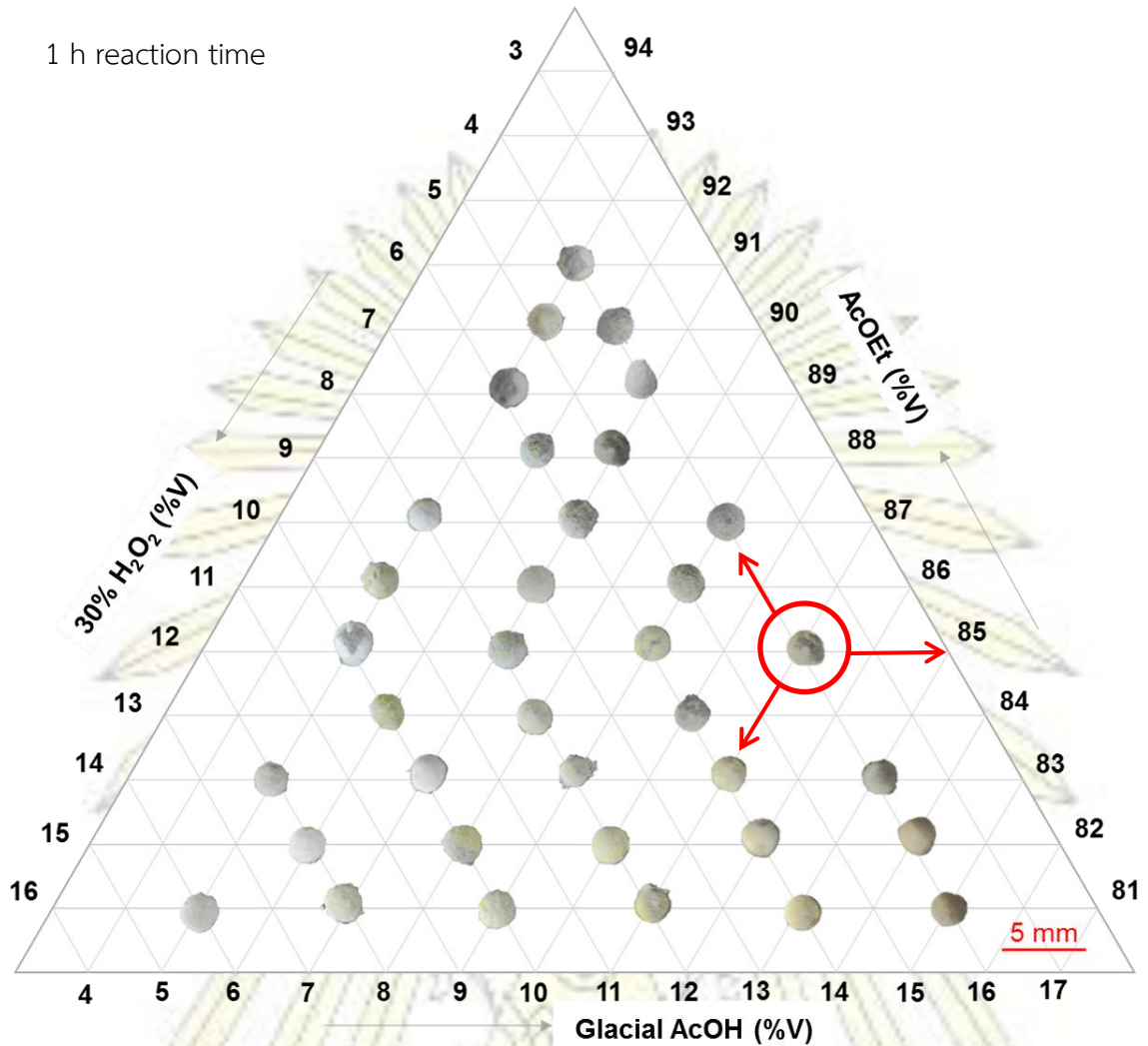
จากนั้นซิลเวอร์ไอออนจะทำปฏิกิริยากับอะซิเตทไอออนเกิดเป็นซิลเวอร์อะซิเตท และตกผลึกออกมาบนพื้นผิวของเม็ดโลหะเงิน ดังรูปที่ 3.1 B



เมื่อเวลาผ่านไป ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทมีขนาดใหญ่ขึ้น และเมื่อทิ้งให้ระบบเกิดปฏิกิริยานาน 24 - 48 ชั่วโมง โลหะเงินทำปฏิกิริยาจนหมด ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทรูปทรงดอกไม้จะแยกออกจากกันเป็นมัดของผลึกซิลเวอร์อะซิเตท เนื่องจากไม่มีโลหะเงินเหลืออยู่ในการจับยึดผลึกซิลเวอร์อะซิเตท ดังรูปที่ 3.1 C และเมื่อนำผลึกซิลเวอร์อะซิเตทไปกวนผสมด้วย ultrasonic หรือ stirrer ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่จับกันเป็นมัดจะแยกออกจากกันเป็นผลึกซิลเวอร์อะซิเตทรูปเข็มเล็ก ๆ จำนวนมาก

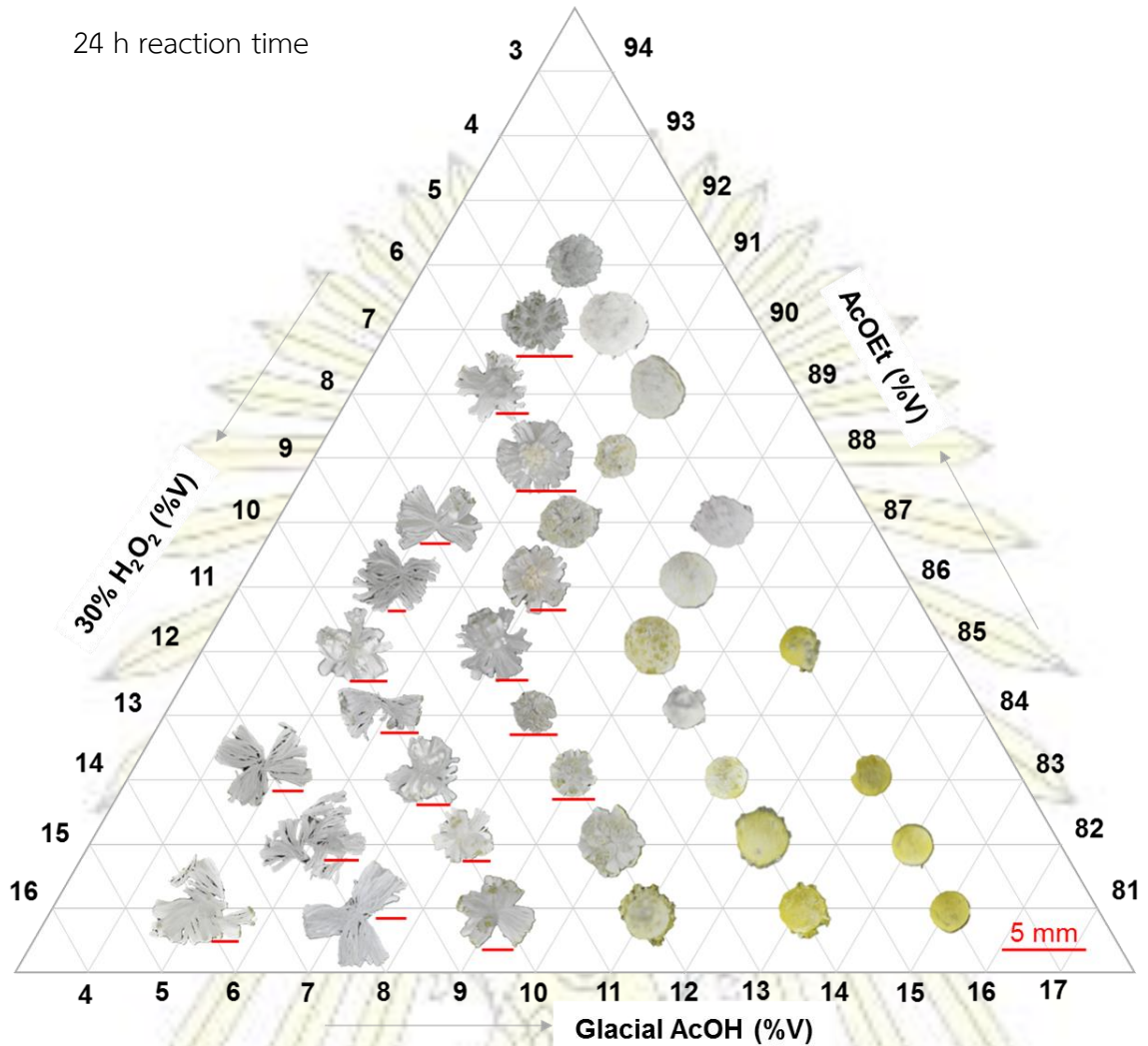
3.1.2. การหาอัตราส่วนของ เอทิลอะซิเตท (AcOEt) กรดอะซิติก (AcOH) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ที่เหมาะสมในการทำให้เม็ดเงินหมดไปเกิดเป็นผลึกซิลเวอร์อะซิเตทได้เร็วที่สุด

เมื่อนำภาพผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ในแต่ละเงื่อนไขซึ่งมีอัตราส่วนของเอทิลอะซิเตท กรดอะซิติก และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แตกต่างกัน เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง 24 ชั่วโมง และ 48 ชั่วโมง มาแสดงในรูปของ Time dependent growth map จะได้ดังรูปที่ 3.2 - 3.4 เพื่อหาอัตราส่วนระหว่าง AcOEt: AcOH: H_2O_2 ที่เหมาะสมในการทำให้เม็ดเงินหมดไปเกิดเป็นผลึกซิลเวอร์อะซิเตทได้เร็วที่สุด



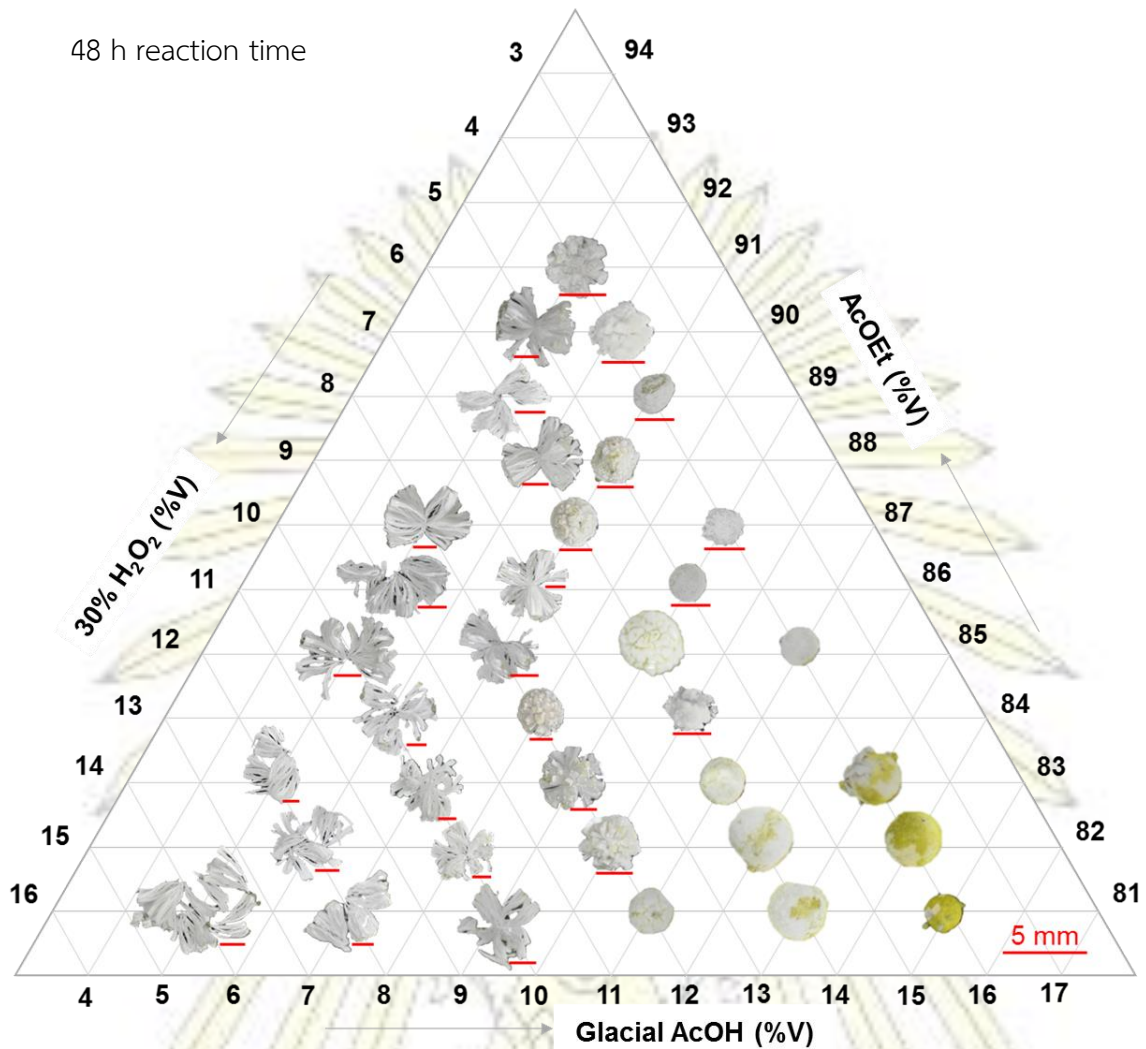
รูปที่ 3.2 การเกิดผลึกซิลเวอร์อะซิเตทและรูปร่างของเม็ดโลหะเงินเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง สเกลบาร์แสดงขนาด 5 มิลลิเมตร

เริ่มจากเม็ดโลหะเงินขนาด 2 มิลลิเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง เม็ดโลหะเงินที่อัตราส่วนต่าง ๆ จะเปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 3.2 คือมีการเกิดผลึกสีขาวบนพื้นผิวของโลหะเงินแตกต่างกัน การอ่านอัตราส่วน แต่ละเงื่อนไขของ Time dependent growth map สามารถอ่านได้โดยลากเส้นดังรูป เงื่อนไขที่วงกลมสีแดงมีอัตราส่วนระหว่าง AcOEt: AcOH: H_2O_2 เป็น 85: 11: 4 % โดยปริมาตร



รูปที่ 3.3 การเกิดผลึกซิลเวอร์อะซิเตทและรูปร่างของเม็ดโลหะเงินเมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง สเกลบาร์แสดงขนาด 5 มิลลิเมตร

เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง เม็ดโลหะเงินจะเปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 3.3 เงื่อนไขที่เหมาะสมในการทำให้เม็ดเงินหมดไปเกิดเป็นผลึกซิลเวอร์อะซิเตทได้เร็วที่สุด มีอัตราส่วนระหว่าง AcOEt: AcOH: H_2O_2 เป็น 82: 6: 12 และ 81: 5: 14 % โดยปริมาตร เป็นอัตราส่วนที่ทำให้ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทเกิดอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากโลหะเงินถูกใช้หมด จะสังเกตได้จากผลึกซิลเวอร์อะซิเตทรูปทรงดอกไม้จะไม่แยกออกจากกันเป็นเม็ดของผลึกซิลเวอร์อะซิเตท เมื่อเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ในขณะที่อัตราส่วนอื่น ๆ เกิดปฏิกิริยาช้ากว่า หรือบางอัตราส่วนแทบจะไม่เกิดปฏิกิริยาเลย



รูปที่ 3.4 การเกิดผลึกซิลเวอร์อะซิเตทและรูปร่างของเม็ดโลหะเงินเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง สเกลบาร์แสดงขนาด 5 มิลลิเมตร

เมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง จะเห็นว่ามีเงื่อนไขที่เกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์อีก คือ มีอัตราส่วนระหว่าง AcOEt: AcOH: H₂O₂ เป็น 86: 5: 9, 83: 5: 12 และ 81: 7: 12 % โดยปริมาตร เป็นอัตราส่วนที่ทำให้ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทแยกออกจากกัน เนื่องจากโลหะเงินถูกใช้หมด ในขณะที่อัตราส่วนอื่น ๆ เกิดปฏิกิริยาช้ากว่า หรือบางอัตราส่วนไม่เกิดปฏิกิริยาเลย เมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมง ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทมีขนาดใหญ่ประมาณ 15 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.5 ขนาดและรูปร่างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทหลังจากเกิดปฏิกิริยาที่เวลาต่าง ๆ A: 1 ชั่วโมง B: 6 ชั่วโมง C: 12 ชั่วโมง D: 18 ชั่วโมง และ E: 24 ชั่วโมง ในสารละลายผสม AcOEt: AcOH: H₂O₂ เท่ากับ 82: 6: 12 % โดยปริมาตร

จากรูปที่ 3.5 แสดงขนาดและรูปร่างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่เงื่อนไขที่ดีที่สุดคืออัตราส่วนระหว่าง AcOEt: AcOH: H₂O₂ เป็น 82: 6: 12 % โดยปริมาตร จะเห็นว่าที่ 1 ชั่วโมงมีฟองอากาศเกิดขึ้น ซึ่งเกิดจากกระบวนการ Catalytic decomposition ของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อเวลาผ่านไปซิลเวอร์อะซิเตทเกิดขึ้นรอบ ๆ พื้นผิวของโลหะเงินมีลักษณะเป็นดอกไม้ และมีขนาดใหญ่ขึ้นตามเวลา จนเวลาผ่านไป 24 ชั่วโมง ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทรูปทรงดอกไม้จะแยกออกจากกัน เนื่องจากไม่มีโลหะเงินเหลืออยู่ในการจับยึดผลึกซิลเวอร์อะซิเตท แสดงว่าปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์

3.2 วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

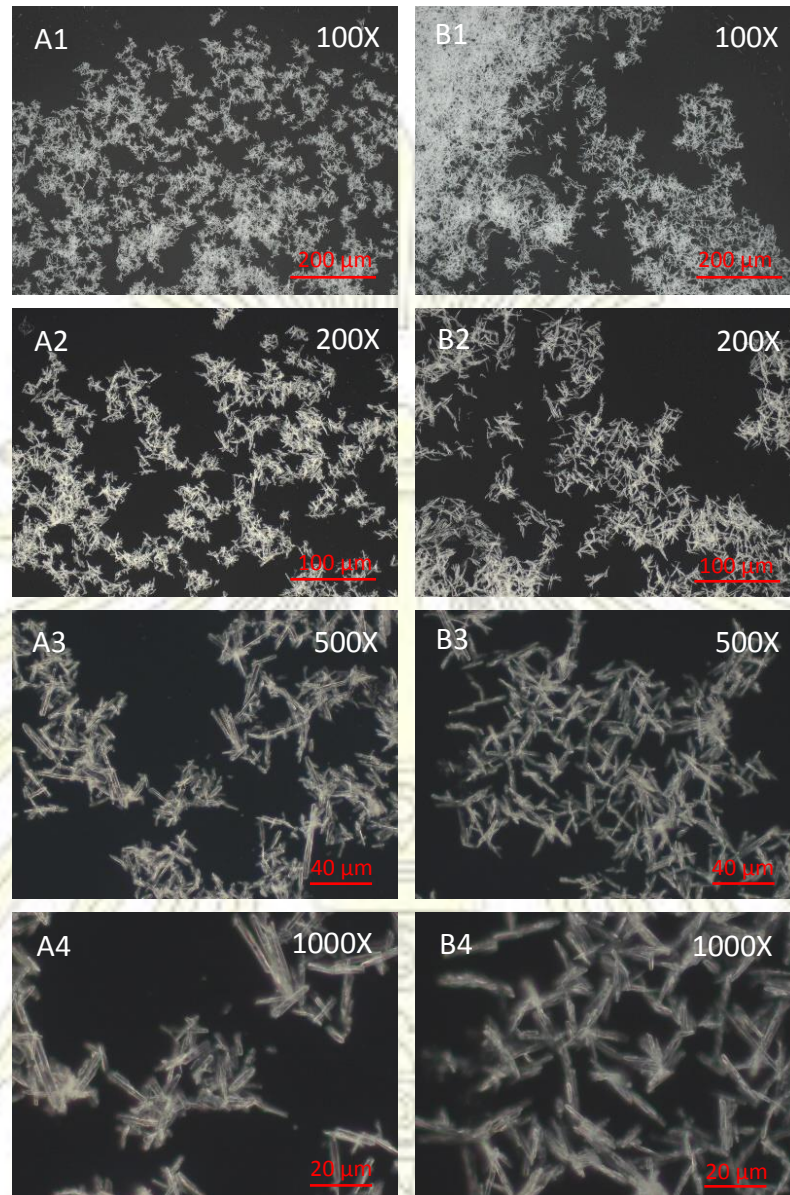
3.2.1. สังเกตและวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (optical microscope)

สังเกตลักษณะของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนของแข็งสีขาวรูปดอกไม้ จะเห็นว่ากลุ่มก้อนของแข็งสีขาวมีลักษณะคล้ายแท่งรูปเข็มหลาย ๆ แท่งรวมกันเป็นมัดอยู่ ดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์โดยการตั้งทิ้งไว้โดยไม่กวนผสม A: กำลังขยาย 50X B: กำลังขยาย 100X และ C: กำลังขยาย 200X

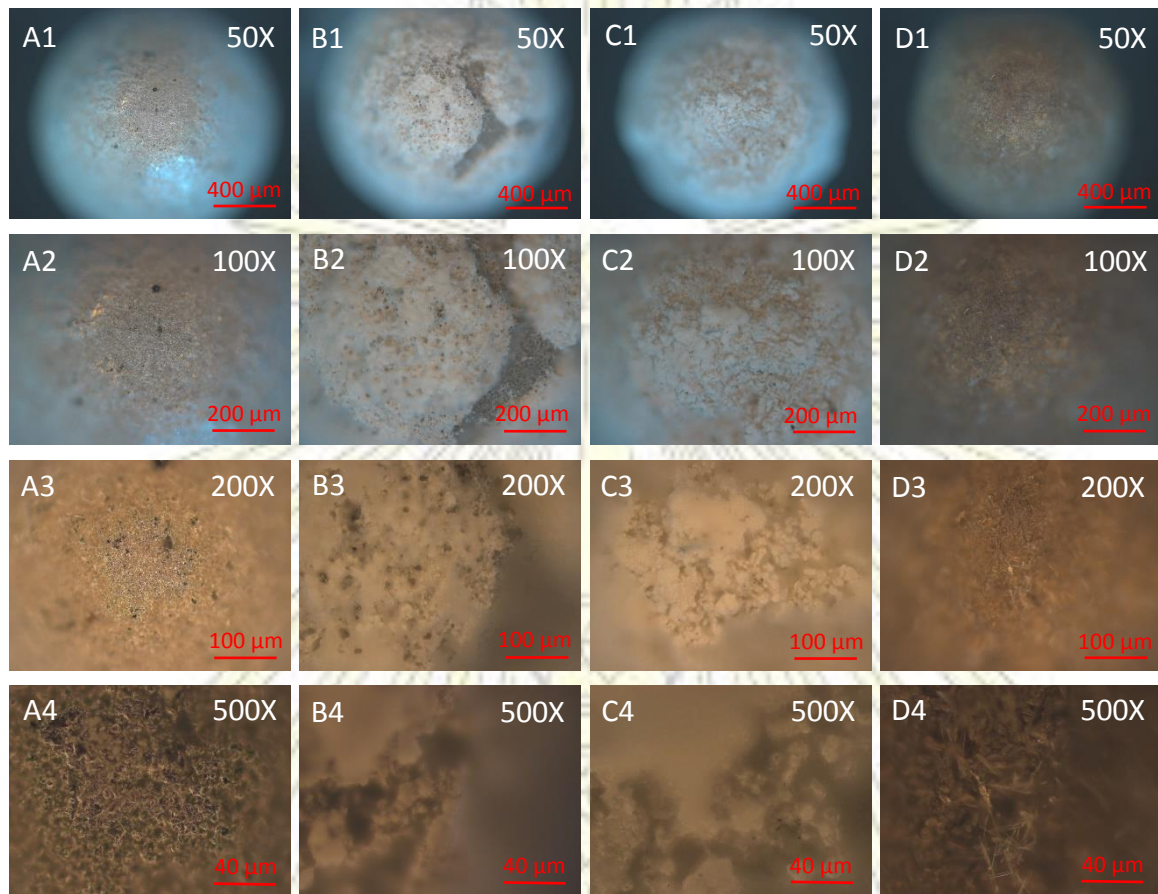
และเมื่อนำสารละลายของการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทโดยใช้เอทิลอะซิเตทเป็นตัวทำละลายมาหยดลงบนกระดาษสไลด์ และปล่อยให้แห้ง เพื่อศึกษาสัณฐานวิทยาของผลึกซิลเวอร์อะซิเตท ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมงของซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์โดยใช้เอทิลอะซิเตทเป็นตัวทำละลาย ที่นำไปกวนสารละลายด้วยเครื่องกวนหรือด้วยคลื่นอัลตราโซนิคส์แล้ว A: ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทในสารละลายที่ไม่มีการกวน โดย A1-A4 กำลังขยาย 100X, 200X, 500X และ 1000X ตามลำดับ B: ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทในสารละลายที่มีการกวนตลอดเวลา โดย B1-B4 กำลังขยาย 100X, 200X, 500X และ 1000X ตามลำดับ

เมื่อนำสารละลายของการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทโดยใช้เอทิลอะซิเตทเป็นตัวทำละลายมาหยดลงกลาสสไลด์ และปล่อยให้แห้ง เปรียบเทียบทั้ง 2 ระบบการสังเคราะห์ในสารละลายที่ไม่มีการกวนผสม และในสารละลายที่มีการกวนผสมตลอดเวลา ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงให้เห็นว่าผลึกซิลเวอร์อะซิเตททั้ง 2 กระบวนการสังเคราะห์มีลักษณะเป็นรูปเข็มเหมือนกัน แสดงว่าสามารถสังเคราะห์โดยไม่ต้องกวนผสมสารละลายตลอดเวลา เพื่อช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการสังเคราะห์ได้

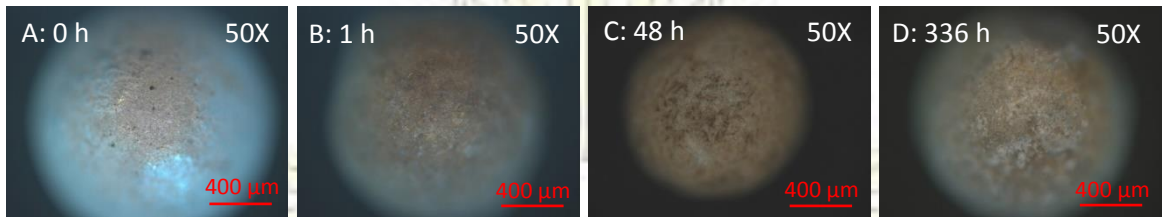
เมื่อสังเกตพื้นผิวของโลหะเงินที่สังเคราะห์โดยใช้เอทิลอะซิเตทเป็นตัวทำละลายเทียบกับเมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เพื่อหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตท



รูปที่ 3.8 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงของ A: โลหะเงิน โดย A1-A4 กำลังขยาย 50X, 100X, 200X และ 500X ตามลำดับ B: โลหะเงินที่อยู่ในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตท โดยไม่มีการกวนสารละลาย โดย B1-B4 กำลังขยาย 50X, 100X, 200X และ 500X ตามลำดับ C: โลหะเงินที่อยู่ในตัวทำละลายเอทิลอะซิเตทโดยกวนสารละลายตลอดเวลา C1-C4 กำลังขยาย 50X, 100X, 200X และ 500X ตามลำดับ และ D: โลหะเงินที่อยู่ในตัวทำละลายน้ำ โดย D1-D4 กำลังขยาย 50X, 100X, 200X และ 500X ตามลำดับ

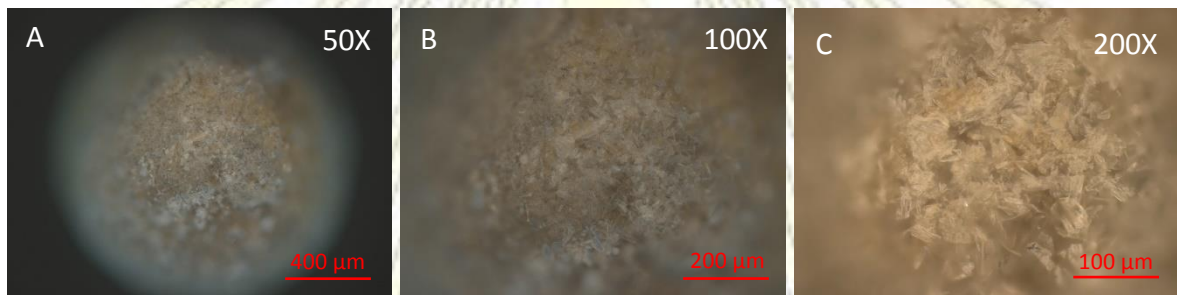
จะเห็นว่าพื้นผิวของโลหะเงินที่สังเคราะห์โดยใช้เอทิลอะซิเตทเป็นตัวทำละลาย มีผลึกซิลเวอร์อะซิเตทสีขาวเกิดขึ้นบนพื้นผิวของโลหะเงิน จากรูป 3.8 B และ 3.8 C แต่โลหะเงินที่สังเคราะห์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ไม่มีผลึกซิลเวอร์อะซิเตทสีขาวเกิดขึ้น และมีพื้นผิวเหมือนโลหะเงินดั้งเดิม แสดงให้เห็นว่าไม่สามารถใช้น้ำเป็นตัวกลางในการสังเคราะห์ได้ ตัวกลางที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คือเอทิลอะซิเตท

และรูปภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของพื้นผิวของโลหะเงินที่ทำการสังเคราะห์โดยใช้น้ำเป็นตัวกลางเมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของพื้นผิวเม็ดโลหะเงินทำการสังเคราะห์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ที่กำลังขยาย 50X A: 0, B: 1, C: 48 และ D: 336 ชั่วโมง

และภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของพื้นผิวของโลหะเงินที่ทำการสังเคราะห์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเมื่อเวลาผ่านไป 7 วันที่กำลังขยายต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 พื้นผิวของโลหะเงินที่สังเคราะห์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย เมื่อเวลาผ่านไป 7 วัน A: กำลังขยาย 50X B: กำลังขยาย 100X และ C: กำลังขยาย 200X

จะช่วยยืนยันว่าไม่สามารถใช้น้ำเป็นตัวทำละลายในการสังเคราะห์ได้ เนื่องจากผลึกซิลเวอร์อะซิเตทจำนวนมากเกาะอยู่ที่ผิวของโลหะเงิน

เมื่อหยดสารละลายของการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายใส่ภาชนะใส่แก้วและปล่อยให้แห้ง เพื่อศึกษาสัณฐานวิทยาของผลึกซิลเวอร์อะซิเตท ดังรูปที่ 3.11

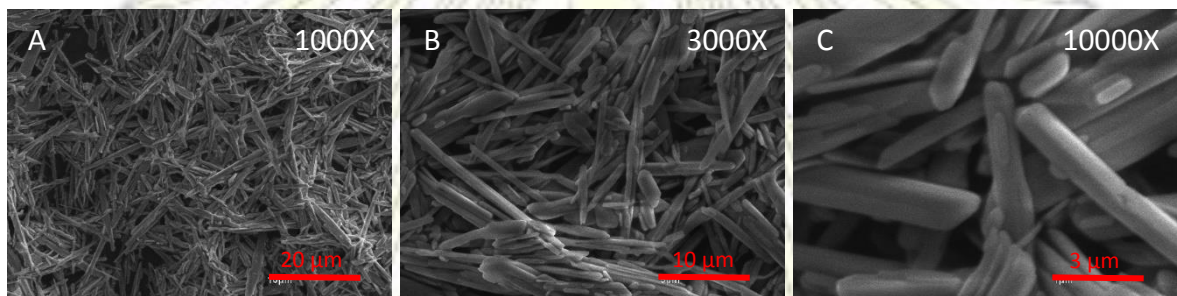


รูปที่ 3.11 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย A: กำลังขยาย 100X B: กำลังขยาย 200X และ C: กำลังขยาย 500X

ภาพที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงให้เห็นว่าในสารละลายของการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทด้วยน้ำ มีผลึกของซิลเวอร์อะซิเตทเกิดขึ้น แต่ละลายอยู่ในน้ำ ไม่ตกผลึกออกมา เนื่องจากค่าการละลายของซิลเวอร์อะซิเตทในน้ำมีค่าเป็น 1.02 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าการละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล 0.00755 กรัมต่อ 100 มิลลิลิตร ที่ 25 องศาเซลเซียส

3.2.2. สังเกตและวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope)

หยดสารละลายของการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทโดยใช้เอทิลอะซิเตทเป็นตัวทำละลายใส่ภาชนะใส่สไลด์ และปล่อยให้แห้ง เพื่อสังเกตลักษณะสัณฐานวิทยาของซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์โดยใช้เอทิลอะซิเตทเป็นตัวทำละลาย



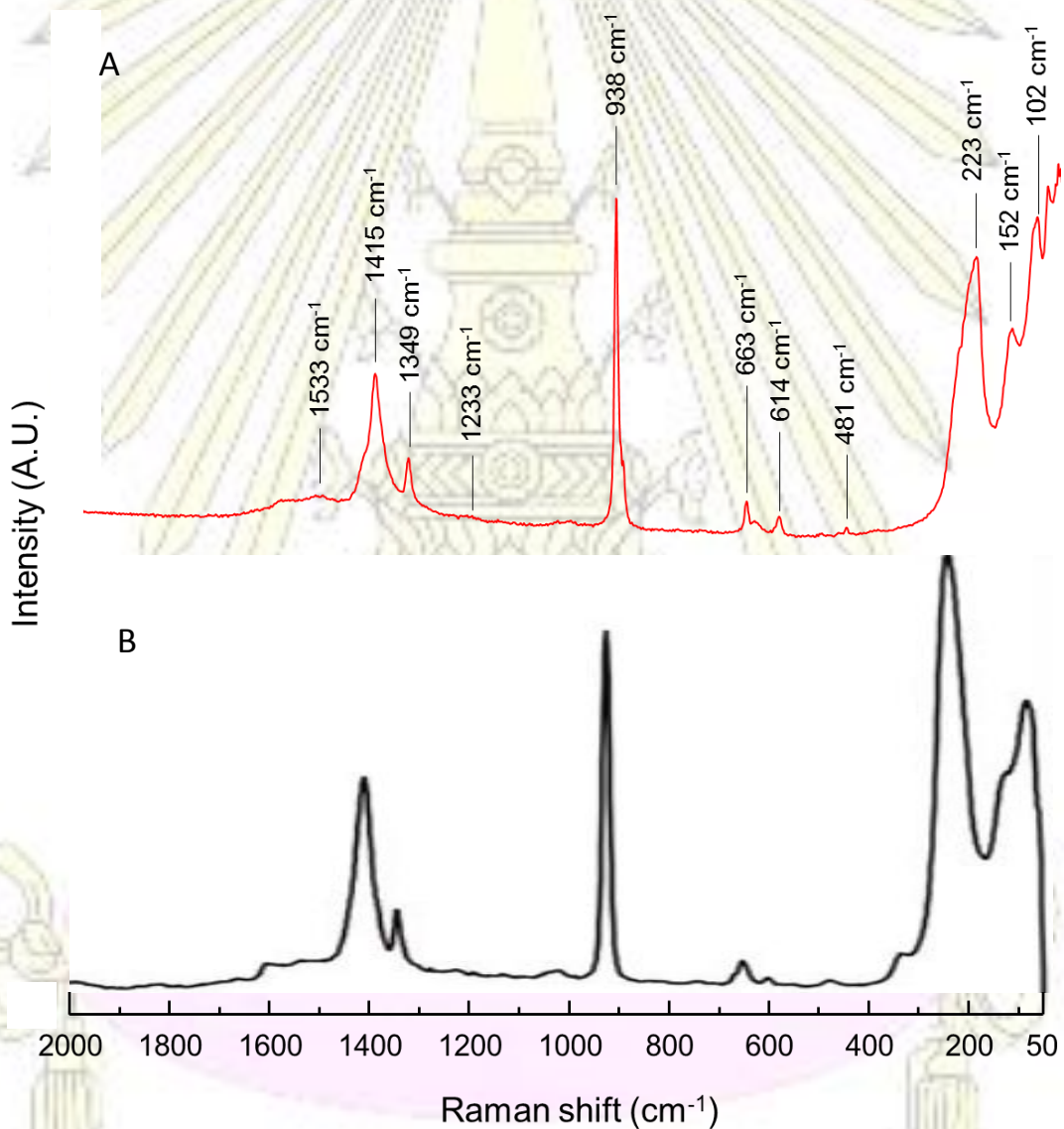
รูปที่ 3.12 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเมื่อเวลาผ่านไป 48 ชั่วโมงของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์โดยใช้เอทิลอะซิเตทเป็นตัวทำละลาย A: กำลังขยาย 1000X B: กำลังขยาย 3000X และ C: กำลังขยาย 10000X

จากรูปที่ 3.12 ทำให้ทราบว่าผลึกซิลเวอร์อะซิเตทมีลักษณะเป็นรูปเข็ม มีเส้นผ่านศูนย์กลาง ~ 1 ไมโครเมตร และยาว 20-50 ไมโครเมตร

3.3 วิเคราะห์ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy), ฟูเรียทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR) และการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction Spectroscopy)

3.3.1 วิเคราะห์ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี

นำผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy) เพื่อยืนยันโครงสร้างและความบริสุทธิ์ของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Raman shift (cm^{-1}) กับ Intensity (A.U.)



รูปที่ 3.13 A: รามานสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ B: รามานสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทมาตรฐาน³²

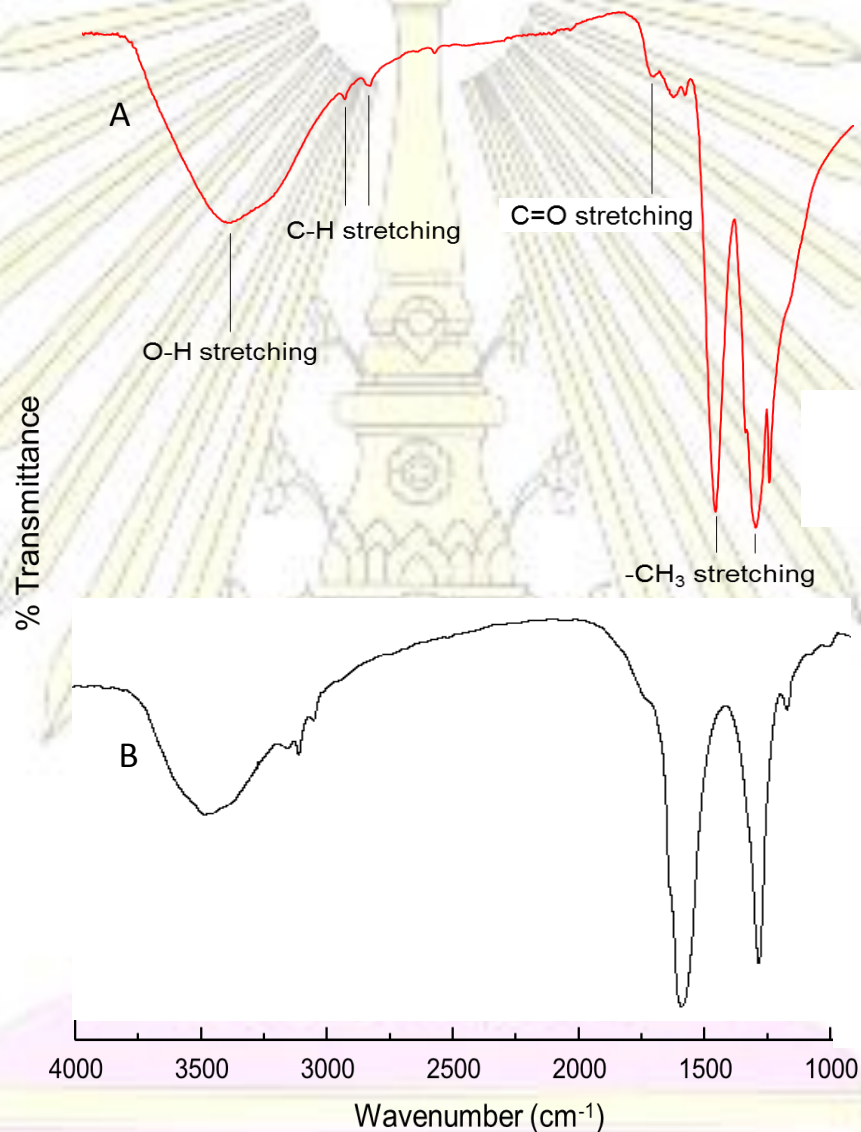
ตารางที่ 3.1 Raman Shift (cm^{-1}) ของรามานสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้

Raman Shift (cm^{-1})	Assignments
1533	O-C-O asymm. stretching
1415	C-H symm. bending
1349	O-C-O symm. stretching
1233w	CO-O stretching
938s	C-CH ₃ symm. in-plane bending (rocking)
663, 614w	C=O bending modes
481w, 223vs	C-O-Ag bending modes
152, 102s	Ag lattice vibrational modes

จากรูปที่ 3.13 รามานสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ มีพีคที่ 152 cm^{-1} , 102 cm^{-1} ที่ให้สัญญาณสูง (intensive) และแหลม (sharp) สัมพันธ์กับโหมดการสั่น (vibrational modes) ของผลึกเงิน (silver lattice) และพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ของ C-O-Ag ที่ 481 cm^{-1} , 223 cm^{-1} ส่วนพีคอื่น ๆ สัมพันธ์กับโหมดการสั่น (vibrational modes) ของไอออนอะซิเตท (acetate ion) แต่ความถี่ของโฟตอนจะเปลี่ยน (shift) เป็นความถี่ที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับปกติ เนื่องจากอิทธิพลของอะตอมเงิน และเกิดการสั่นแบบยืด (stretching) ทั้งสมมาตร (symmetric) และไม่สมมาตร (asymmetric) ของ O-C-O ที่ 1349 cm^{-1} และ 1533 cm^{-1} ตามลำดับ และมีการสั่นแบบงอ (bending) ของ C=O ที่ 663 cm^{-1} , 614 cm^{-1} และ C-CH₃ ที่ 938 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคที่มีความเข้มและแหลม และ C-H ที่ 1415 cm^{-1} ซึ่งมีพันธะที่สำคัญตรงกับรามานสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทมาตรฐาน³² เป็นการยืนยันว่าผลึกที่สังเคราะห์ได้เป็นซิลเวอร์อะซิเตทที่มีความบริสุทธิ์

3.3.2 วิเคราะห์ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR)

นำผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) แบบ Attenuated Reflection Infrared Spectroscopy; ATR เพื่อวิเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Wave number (cm^{-1}) กับ %Transmittance

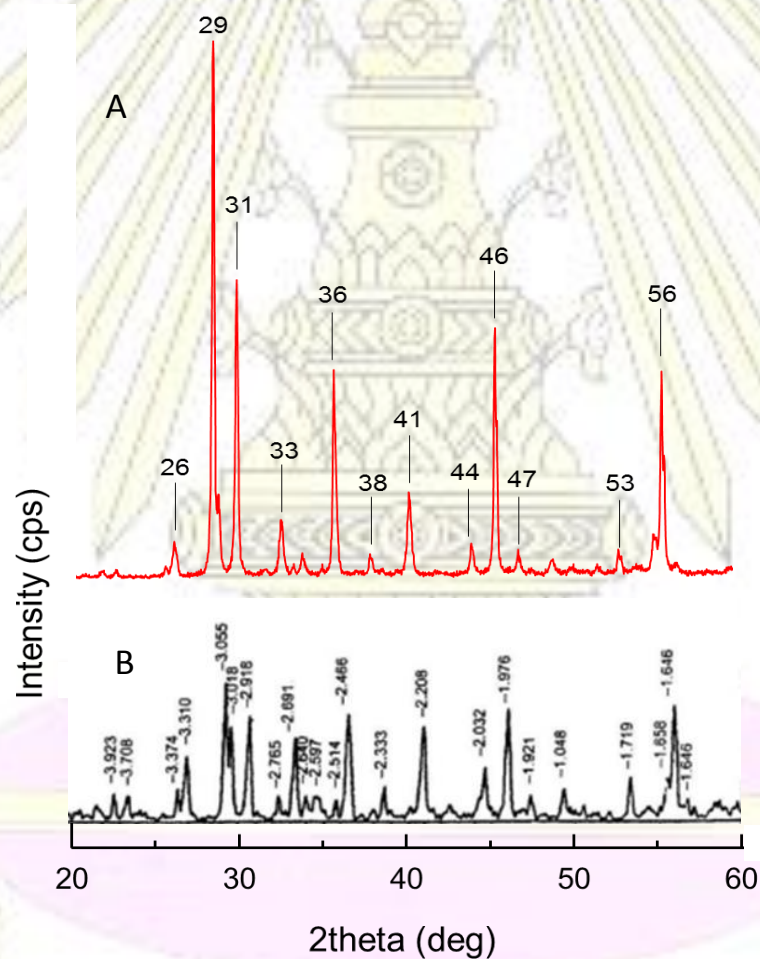


รูปที่ 3.14 A: อินฟราเรดสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ B: อินฟราเรดสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทมาตรฐาน³³

จากรูปที่ 3.14 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ที่สังเคราะห์ได้ พีคช่วง 3000 ถึง 3600 cm^{-1} เป็นพีคของ O-H stretching ของน้ำ พีคที่ 3028 cm^{-1} และ 2958 cm^{-1} เป็นพีคของ C-H stretching พีคที่ 1452 cm^{-1} และ 1350 cm^{-1} เป็นพีคของ $-\text{CH}_3$ stretching หมู่ ester ปรากฏพีคที่ 1812 cm^{-1} เป็นพีคของ C=O stretching และพีคที่ 1076 cm^{-1} เป็นพีคของ C-O stretching ตำแหน่งพีคที่เกิดขึ้นตรงกับตำแหน่งพีคของผลิตภัณฑ์สังเคราะห์มาตรฐาน³³ เป็นการยืนยันว่าผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้เป็นซิลเวอร์อะซิเตทที่มีความบริสุทธิ์

3.3.3 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction Spectroscopy)

นำผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction Spectroscopy) เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ที่สังเคราะห์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง 2θ (deg) กับ Intensity (cps) ซึ่งเรียกว่า เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันสเปกตรัม (X-Ray Diffraction Pattern)



รูปที่ 3.15 A: เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ที่สังเคราะห์ได้ B: เอกซเรย์ดิฟแฟรกชันสเปกตรัมของผลิตภัณฑ์สังเคราะห์มาตรฐาน³⁴

จากรูปที่ 3.15 เมื่อเทียบกับเอกซเรย์ดิฟแฟรคชันสเปกตรัมของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทมาตรฐาน พบว่าตำแหน่งพีคที่เกิดขึ้นของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้และผลึกซิลเวอร์อะซิเตทมาตรฐาน³⁴ เกิดที่ตำแหน่ง 2θ (deg) เดียวกัน คือ 26, 29, 31, 33, 36, 38, 41, 44, 46, 47, 53 และ 56 องศา ดังนั้น จึงยืนยันว่าผลึกที่สังเคราะห์ได้เป็นซิลเวอร์อะซิเตทที่มีความบริสุทธิ์



บทที่ 4

สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทโดยตรงจากโลหะเงินในสารละลายผสมของเอทิลอะซิเตท กรดอะซิติก และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในอัตราส่วน 82: 6: 12 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร โดยไม่ต้องผ่านสารประกอบซิลเวอร์ในเตรท ทำให้ไม่มีการผลิตก๊าซที่เป็นพิษ (NO_x) และผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่ต้องกำจัดออก รวมไปถึงการทำความสะอาดเพื่อล้างกรดในตริกและสารตั้งต้นอื่น ๆ สารละลายเนื้อเดียวที่เป็นของผสมระหว่างเอทิลอะซิเตท กรดอะซิติก และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากน้ำที่เป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียงที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิตเป็นส่วนประกอบหนึ่งของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จากการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างของผลึกซิลเวอร์อะซิเตทด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยืนยันการสังเคราะห์ซิลเวอร์อะซิเตทได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการกวนผสม เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ทำให้ทราบว่ากระบวนการสังเคราะห์จำเป็นต้องใช้ตัวทำละลายเป็นเอทิลอะซิเตท ไม่สามารถใช้น้ำเป็นตัวทำละลายได้ และเมื่อวิเคราะห์ผลึกซิลเวอร์อะซิเตทที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโกปี ฟลูออเรสเซนซ์ฟอรัมอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี และการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ทำให้ยืนยันว่าผลึกที่สังเคราะห์ได้เป็นซิลเวอร์อะซิเตท

เอกสารอ้างอิง

1. Lansdown, A.B.G. Silver in Health Care: Antimicrobial effects and safety in use. *Current Problems in Dermatology* **2006** 33, 17-34.
2. Atiyeh, B. S.; Costagliola, M.; Hayek, S. N.; Dibo, S. A. Effect of silver on burn wound infection control and healing: Review of the literature. *Burns* **2007** 33, 139–148.
3. Jung, W. K.; Kim, S. H.; Koo, H. C.; Shin, S.; Kim, J. M.; Park, Y. K.; Hwang, S. Y.; Yang, H.; Park, Y. H. Antifungal activity of the silver ion against contaminated fabric. *Mycoses* **2007** 50(4), 265-9.
4. Fey, M.; Hollander, M.; Hymowitz, N. Silver-acetate deterrent therapy: A Minimal-Intervention Self-help Aid. *The Clinical Management of Nicotine Dependence* **1991**, 150-155.
5. Muller, J. H. Silver plating compound and method of silver plating. United States patent US 1922387, **1933** August 15.
6. Nakano, M.; Fujiwara, T.; Koga, N. Thermal decomposition of silver acetate: Physico-Geometrical Kinetic Features and Formation of Silver Nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry C* **2016** 120(16), 8841–8854.
7. Doolette, C. L.; McLaughlin, M. J.; Kirby, J. K.; Batstone, D. J.; Harris, H. H.; Ge, H.; Cornelis, G. Transformation of PVP coated silver nanoparticles in a simulated wastewater treatment process and the effect on microbial communities. *Chemistry Central Journal* **2013** 7, 46.
8. What chemical equation shows that silver reacts with nitric acid, HNO_3 , to form nitrogen monoxide, NO, silver nitrate, AgNO_3 , and water? [https://www.quora.com/What-chemical-equation-shows-that-silver-reacts-with-nitric-acid-HNO₃-to-form-nitrogen-monoxide-NO-silver-nitrate-AgNO₃-and-water](https://www.quora.com/What-chemical-equation-shows-that-silver-reacts-with-nitric-acid-HNO3-to-form-nitrogen-monoxide-NO-silver-nitrate-AgNO3-and-water). (accessed Feb 18, 2017).
9. Jennifer, L. P.; Richard, H.; Valerie, G.; Armistead, G. R.; Lucas, N. Impact of nitrogen and climate change interactions on ambient air pollution and human health. *Biogeochemistry* **2013** 114, 121.
10. Boningari, T.; Smirniotis, P. G. Impact of nitrogen oxides on the environment and human health: Mn-based materials for the NO_x abatement. *Current Opinion in Chemical Engineering* **2016** 13, 133-141.
11. Medici, S.; Peana, M.; Crisponi, G.; Nurchi, V. M.; Lachowicz, J. I.; Remelli, M.; Zoroddu, M. A. Silver coordination compounds: A new horizon in medicine. *Coordination Chemistry Reviews* **2016** 327-328, 349–359.

12. Jo, Y. K.; Kim, B. H.; Jung, G. Antifungal activity of silver ions and nanoparticles on phytopathogenic fungi. *Plant Disease* **2009** 93, 1037-1043.
13. Scalzo, M.; Cerretou, F.; Orlandi, C.; Simonetti, N. Utilization of electrochemical silver ions as preservative agent in cosmetic dispersions. *International Journal of Cosmetic Science* **1997** 19(1), 27-36.
14. Jeanmonod, M.; Laschke M, W.; Gola, N.; Heesen, M. V.; Glanemann, M.; Dold, S.; Menger, M. D.; Moussavian, M. R. Silver acetate coating promotes early vascularization of Dacron vascular grafts without inducing host tissue inflammation. *Journal of Vascular Surgery* **2013**, 1637-1643.
15. Tao, Y.; Tao, Y.; Wang, B.; Wang, L.; Tai, Y. A facile approach to a silver conductive ink with high performance for microelectronics. *Nanoscale Research Letters* **2013** 8(1), 296.
16. Avellaneda, A. L; Russmann, S.; Fein, M.; Debus, E. S. Prophylactic use of the silver-acetate-coated graft in arterial occlusive disease: A retrospective, comparative study. *Journal of Vascular Surgery* **2009**, 790-798
17. Qadeer, R.; Anjum, M. S.; Ikram, S.; Munir, A. Optimization of Process Parameters for the Production of Battery Grade Acetic Silver Powder. *Journal of the Chemical Society of Pakistan* **2003** 25(2) 93-97.
18. Dhoondia, Z. H.; Chakraborty, H. Lactobacillus Mediated Synthesis of Silver Oxide Nanoparticles. *Nanomaterials and Nanotechnology* **2012** 2,15.
19. Yong, N. L.; Ahmad, A.; Mohammad, A. W. Synthesis and Characterization of Silver Oxide Nanoparticles by a Novel Method. *International Journal of Scientific & Engineering Research* **2013** 4, 5.
20. Mashkani, S. M. H.; Ramezanib, M. Silver and silver oxide nanoparticles: Synthesis and characterization by thermal decomposition. *Materials Letters* **2014** 130, 259-262.
21. Xiaojun, H.; Xiaole, Z. Preparation flowers like silver carbonate Microspheres. China patent CN105396547B, **2018** January 30.
22. Tibballs, J. Clinical applications of gaseous nitric oxide *Anaesthesia and Intensive Care Journal* **1993** 21, 866-871.
23. Silver acetate. https://en.wikipedia.org/wiki/Silver_acetate. (accessed Feb 2, 2018).
24. Olson, L. P.; Whitcomb, D. R.; Rajeswaran, M.; Blanton, T. N.; Stwertka, B. J. The Simple Yet Elusive Crystal Structure of Silver Acetate and the Role of the Ag-Ag Bond in the Formation of Silver Nanoparticles during the Thermally Induced Reduction of Silver Carboxylates. *Chemistry of Materials* **2006** 18, 1667-1674.

25. Watt, L. M. The Principles and Practice of Electron Microscopy 2nd ed. *Cambridge University Press* **1997**, 6.
26. Kaech, A. An Introduction to Electron Microscopy Instrumentation, Imaging and Preparation. **2013**.
27. Gauglitz, G.; Vo-Dinh, T. Handbook of spectroscopy. *Wiley-Vch Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim* **2003**.
28. Raman Spectroscopy. <https://www.andor.com/learning-academy/raman-spectroscopy-an-introduction-to-raman-spectroscopy> (accessed Mar 14, 2018).
39. Doyle, W. M. Principles and Applications of Fourier Transform Infrared (FTIR) Process Analysis. *Hellma Axiom*.
30. Buffeteau, T.; Desbat, B.; Eyquem, D. Attenuated total reflection Fourier transform infrared microspectroscopy: Theory and application to polymer samples. *Vibrational Spectroscopy* **1996** 11, 29-36.
31. Epp, J. X-ray diffraction (XRD) techniques for materials characterization. *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods* **2016**, 81–124
32. Martina, I.; Wiesinger, R.; Jembrih-Simbürger, D.; Schreiner, M. Micro-raman characterisation of silver corrosion products: instrumental set up and reference database. *e-PRESERVATIONScience* **2012** 9, 1-8.
33. Silver acetate (563-63-3) IR1. https://www.chemicalbook.com/SpectrumEN_563-63-3_IR1.htm (accessed Apr 16, 2018).
34. Siddiqui, M. R. H.; Alshehri, S.; Warad, I. K.; El-Salam, N. M. A.; Mahfouz, R. M. Model Free Approach for Non-Isothermal Decomposition of Un-Irradiated and γ -Irradiated Silver Acetate: New Route for Synthesis of Ag₂O Nanoparticles. *International Journal of Molecular Sciences* **2010** 11(9), 3600–3609.

ประวัติผู้วิจัย

นางสาวมณิสร สุขสวัสดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 7 เดือนกันยายน พ.ศ. 2538 ที่จังหวัดเพชรบุรี สำเร็จการศึกษา
ชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพรหมานุสรณ์ จังหวัดเพชรบุรี เมื่อปีการศึกษา 2556 เข้าศึกษาต่อใน
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2557
เคยได้รับรางวัลในการประกวดผลงานสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมสายอุดมศึกษา ประจำปี 2560 เคยได้นำเสนอ
ผลงานวิจัยในรูปแบบโปสเตอร์ในงาน PACCON 2018 เคยได้ผ่านการนำเสนอเอกสารเชิงแนวคิดในระดับที่มี
คุณภาพในกิจกรรมบ่มเพาะเพื่อพัฒนานวัตกรรมสายอุดมศึกษา ประจำปี 2561 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้
บ้านเลขที่ 25/87 ตำบลต้นมะม่วง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี รหัสไปรษณีย์ 76000 อีเมล
stream_27@hotmail.com

