



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เคมีสีเขียวในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนและการประยุกต์ใช้สำหรับเป็น  
สารต้านจุลชีพในไส้กรองอากาศเครื่องทำความเย็น

Green Chemistry for Synthesis Silver Nanoparticles and Its Application for  
Antimicrobial Activity on Air Filter

นายเอกรัฐ เดชศรี

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



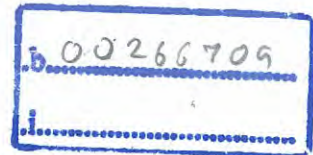
รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เคมีสีเขียวในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนและการประยุกต์ใช้สำหรับเป็น  
สารต้านจุลชีพในไส้กรองอากาศเครื่องทำความเย็น

Green Chemistry for Synthesis Silver Nanoparticles and Its Application for  
Antimicrobial Activity on Air Filter

นายเอกรัฐ เดชศรี

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 147859  
รับเดือน.ปี 15 ก.ค 2560



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) เคมี่สีเขียวในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนและการประยุกต์ใช้  
สำหรับเป็นสารต้านจุลชีพในไส้กรองอากาศเครื่องทำความเย็น

แหล่งเงิน คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 300,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ เดชศรี

ภาควิชา เคมี่ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนจากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ที่มีสารในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีประจุเป็นสารรักษาเสถียรภาพ คือ พอลิอะคริลิก แอซิด (PAA), พอลิ4-สไตรีน ซัลโฟนิค แอซิด โค มาเลอิก แอซิด (CoPSS) และพอลิเมทาคริลิก แอซิด (PMA) ด้วยปฏิกิริยาโฟโตรีดักชันภายใต้พลังงานจากแสงอัลตราไวโอเล็ตซี (UV-C) (ความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 100-280 นาโนเมตร) และเลือกสภาวะที่เหมาะสมไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน เครื่องวัดค่าศักย์ไฟฟ้าและเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อทำการยืนยันอนุภาคระดับนาโนที่ถูกล้อมรอบด้วยสารรักษาเสถียรภาพ จากนั้นนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้อาหารและสารละลายแอมโมเนียและสารละลายกรดออกซาลิก และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง พบว่าสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนเกิดการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้นำแผ่นไส้กรองอากาศไปประยุกต์ใช้ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยนำแผ่นไส้กรองอากาศไปจุ่มเคลือบกับสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโน ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ และยืนยันการยึดติดของอนุภาคเงินในระดับนาโนบนแผ่นไส้กรองอากาศ ด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่ามีอนุภาคเงินในระดับนาโนยึดติดบนไส้กรองอากาศ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ฤทธิ์การต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยเลือกศึกษาเชื้อจุลินทรีย์ชนิด Staphylococcus aureus พบว่าไส้กรองอากาศสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : เคมี่สีเขียว, อนุภาคเงินในระดับนาโน, ซิลเวอร์นาโน ,การประยุกต์ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Research Title:** Green Chemistry for Synthesis Silver Nanoparticles and Its Application for Antimicrobial Activity on Air Filter

**Researcher:** Ekarat Detsri

**Faculty:** Science     **Department:** Chemistry

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

## ABSTRACT

This research was conducted to find the optimum conditions for the synthesis of silver nanoparticles. Silver nanoparticles synthesis from silver nitrate solution with polyelectrolyte acts stabilizing agent that is poly(acrylic acid) (PAA), poly(4-styrene sulfonic acid - co - maleic acid) (CoPSS) and poly(methacrylic acid) (PMA) by photo-reduction underneath energy from ultraviolet-c radiation (UV-C) (wavelength range 100 - 280 nm) and select the optimal conditions for analyze with transmission electron microscope, zetasizer and UV-Visible Spectrophotometer for assure silver nanoparticles capped with stabilizing agent. Then applied to the ammonia sensor and oxalic acid sensor and measure the absorbance by UV-Visible Spectrophotometer found that the silver nanoparticles solution to take coloration. In addition lead the air filter is also applied to the antimicrobial activity. Due to remove the air filter immersed in silver nanoparticles solution by using the layer-by-layer technique and confirm the attached silver nanoparticles on air filter by scanning electron microscope was found silver nanoparticles attached on air filter. Then be analyzed exhibit antimicrobial activity due to selected test against *Staphylococcus aureus*. Antimicrobial capability of these air filter found to be effective.

**Keywords :** green chemistry, photo reduction, silver nanoparticles, application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จาก  
แหล่งทุน ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภท เงินอุดหนุนทั่วไป/เงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

นายเอกรัฐ เศษศรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย

I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

II

กิตติกรรมประกาศ

III

สารบัญ

IV

สารบัญรูปภาพ

คำย่อและสัญลักษณ์

**บทที่ 1 บทนำ**

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

3

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3

**บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

2.1 เคมีสีเขียว

4

2.2 ประวัติศาสตร์นาโนและเทคโนโลยี

2.2.1 ประวัติศาสตร์นาโน

5

2.2.2 ความหมายของนาโน

8

2.2.3 ความหมายของนาโนเทคโนโลยี

8

2.2.4 คุณสมบัติของอนุภาคนาโน

10

2.2.5 ผลกระทบนาโนในปัจจุบัน

14

2.3 อนุภาคเงินระดับนาโน

15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน	
2.4.1 วิธีทางเคมี	16
2.4.2 การแตกตัวด้วยความร้อน	16
2.4.3 วิธีเลเซอร์แบบกระแทก	17
2.4.4 เทคนิคเฟลม สเปรย์ ไพโรลิซิส	18
2.4.5 วิธีเคมีสีเขียว	
2.4.5.1 Polysaccharide Method	18
2.4.5.2 Tollens Method	19
2.4.5.3 Irradiation Method	20
2.4.5.4 Biological Method	20
2.5 Surface Plasmon Resonance	20
2.6 พอลิเมอร์ที่มีประจุ	21
2.7 การเคลือบผิวหน้าบนวัสดุด้วยวิธีการเคลือบชั้นต่อชั้น	22
2.8 เชื้อจุลินทรีย์	23
2.9 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา	
2.9.1 <i>Staphylococcus aureus</i>	27
2.9.2 <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	28
2.9.3 <i>Candida albicans</i>	29
2.10 แอมโมเนีย	29
2.11 กรดออกซาลิก	30
2.12 การประยุกต์ใช้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน	
2.12.1 การวิเคราะห์แอมโมเนียและกรดออกซาลิกด้วยอนุภาคเงินระดับนาโน	31
2.12.2 การฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วยอนุภาคเงินระดับนาโน	31
2.13 ความปลอดภัยของอนุภาคเงินระดับนาโน	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 เครื่องมือในการวิเคราะห์	
2.14.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)	32
2.14.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	34
2.14.3 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectroscopy)	35
2.14.4 เครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า (Zeta sizer : ζ)	36
2.15 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.15.1 เคมีสีเขียวของการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้สารสกัดจากใบ บานไม่รู้โรยฝรั่งที่อุณหภูมิห้องและการออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย	37
2.15.2 เคมีสีเขียวของการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้สารสกัดจากพืชน้ำ หนามและการประเมินผลการออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย	37
2.15.3 เทคนิค In situ และเคมีสีเขียวของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนและการ ต้านเชื้อแบคทีเรีย	38
2.14.4 เคมีสีเขียวของการสังเคราะห์และการศึกษาคุณสมบัติของอนุภาคเงินระดับนาโน โดยใช้สารสกัดจากผักขมหินเพื่อใช้ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย	38
2.15.5 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยรังสีไมโครเวฟร่วมกับไซเดียมอะซิเนต และการศึกษาการต้านเชื้อแบคทีเรีย	39
2.15.6 การยัดเกาะอนุภาคเงินระดับนาโนที่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียบนเส้นใยสังทอ ด้วยเทคนิค Layer-by-Layer	39
2.15.7 การตรึงอนุภาคเงินระดับนาโนบนเส้นใยสังทอด้วยเทคนิค PEM	40
2.15.8 การใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อตรวจหายูเรีย	40
2.15.9 การสังเคราะห์และฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคเงินระดับนาโนด้วย ขนาดที่แตกต่างกัน	41
2.15.10 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนที่เป็นตัวต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดย ทำการศึกษา E. coli ที่เป็นตัวแทนของแบคทีเรียชนิดแกรมลบ	42
2.15.11 การทดลองผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของอนุภาคเงินระดับนาโน	42

2.15.12 เคมีสีเขียวการสังเคราะห์ของอนุภาคเงินระดับนาโนและการประยุกต์ใช้สำหรับ	
ควบคุมยุง	43
2.15.13 เคมีสีเขียวของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน เพื่อใช้เป็นตัวรับรู้	
แอมโมเนีย	43
2.15.14 เคมีสีเขียวของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน โดยการใช้	
Artocarpusheterophyllus Lam. Seed extract เพื่อใช้ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย	44
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดลอง</b>	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	
3.1.1 สารเคมี	45
3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์	46
3.1.3 เครื่องมือ	47
3.2 การเตรียมสารละลาย	
3.2.1 สารละลายเพื่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว	
3.2.1.1 สารละลายอะซิติคอะซิเตทบัฟเฟอร์(สารละลายบัฟเฟอร์)	48
3.2.1.2 สารละลาย AgNO <sub>3</sub> ความเข้มข้น 10 mM	48
3.2.1.3 สารละลายพอลิเมอร์ที่มีประจุทางไฟฟ้าชนิดลบ (Anionic Polyelectrolyte)	48
3.2.2 สารละลายเพื่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี	
3.2.2.1 สารละลาย AgNO <sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 mM	50
3.2.2.2 สารละลายพอลิเมอร์ที่มีประจุทางไฟฟ้าชนิดลบ (Anionic Polyelectrolyte)	51
3.2.2.3 สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH <sub>4</sub> ) ความเข้มข้น 100 mM	52
3.2.3 สารละลายและเตรียมความพร้อมบนพื้นผิวของวัสดุ (ไส้กรอง)	
3.2.3.1 สารละลาย PDAD ความเข้มข้น 10 mM	52
3.2.3.2 สารละลาย PSS ความเข้มข้น 10 mM	53
3.2.4 สารละลายเพื่อใช้เป็นตัวรับรู้	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4.1 สารละลาย NH <sub>4</sub> OH ความเข้มข้น 100 mM	55
3.2.4.2 สารละลาย Oxalic acid ความเข้มข้น 100 mM	55
3.3 การเตรียมความพร้อมของไส้กรองเครื่องปรับอากาศ (ไส้กรอง)	55
3.4 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน	56
3.4.1 วิธีเคมีสีเขียว	56
3.4.2 วิธีทางเคมี (Chemical Synthesis)	57
3.5 การประยุกต์ใช้งานอนุภาคเงินระดับนาโน	
3.5.1 ศึกษาความสามารถในการรับรู้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH <sub>4</sub> OH)	60
3.5.2 ศึกษาความสามารถในการรับรู้สารละลายกรดออกซาลิก (Oxalic)	61
3.5.3 การประยุกต์ใช้กับการต้านเชื้อจุลินทรีย์	
3.5.3.1 สารละลาย	62
3.5.3.2 จุ่มเคลือบบนไส้กรอง	64

#### บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน	
4.1.1 ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว	
4.1.1.1 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA	65
4.1.1.2 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS	74
4.1.1.3 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA	82
4.1.2 กลไกการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์โดยวิธีการรีดักชันทางแสง	90
4.1.3 ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี	
4.1.3.1 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA	91
4.1.3.1 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS	95
4.1.3.4 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA	99
4.1.4 กลไกการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์โดยวิธีการใช้สารเคมี	103
4.2 ผลการศึกษาการประยุกต์เป็นตัวรับรู้	
4.2.1 ตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนีย	
4.2.1.1 สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS 7 mM	106
4.2.1.3 สารรักษาเสถียรภาพ PMA 7 mM	107
4.2.2 ตัวรับรู้สารละลายกรดออกซาลิก	
4.2.2.1 สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM	105
4.2.2.2 สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS 7 mM	106
4.2.2.3 สารรักษาเสถียรภาพ PMA 7 mM	107
4.3 ผลการศึกษาการต้านเชื้อจุลินทรีย์	
4.3.1 ศึกษาผ่านสารละลาย	118
4.3.2 ศึกษาผ่านวัสดุ(ไส้กรอง)	
4.3.2.1 วิธีเคมีสีเขียว	121
4.3.2.2 วิธีทางเคมี	125
4.3.3 ผลการศึกษาการต้านเชื้อจุลินทรีย์	
4.3.3.1 วิธีเคมีสีเขียว	128
4.3.3.2 วิธีทางเคมี	129
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย	130
5.2 ข้อเสนอแนะ	132
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
อัครชีวะประวัติ	
สรุปค่าใช้จ่ายเงิน	
การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ	

# สารบัญรูป

หน้า

## บทที่ 1 บทนำ

รูปที่ 1.1 แสดงสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ให้สีที่แตกต่างกัน

2

## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รูปที่ 2.1 ศรีชาร์ด ฟายน์แมน บิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี

6

รูปที่ 2.2 เกิร์ต บินนิง และเฮนริช โรห์เรอ ผู้ประดิษฐ์เครื่อง STM

7

รูปที่ 2.3 buckminsterfullerene ที่มีโครงสร้างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง

7

รูปที่ 2.4 ซุมิโอะ ลิจิมะ และท่อนาโนคาร์บอน

8

รูปที่ 2.5 ขนาดของวัตถุจากระดับ  $10^{-2} - 10^{-10}$

9

รูปที่ 2.6 ถ้วยโบราณที่มีผลึกนาโนทองคำเป็นส่วนประกอบ และเกิดปรากฏการณ์เชิงแสง

10

รูปที่ 2.7 อนุภาคนาโนทองคำที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวซิลิกอน

11

รูปที่ 2.8 การทดสอบในโลหะอะลูมิเนียม

12

รูปที่ 2.9 คุณสมบัติความเป็นพลาสติกพิเศษของท่อนาโนคาร์บอน ภายใต้อุณหภูมิสูงๆ

13

รูปที่ 2.10 ภาพจำลองพื้นที่ผิวของอนุภาคเงิน

15

รูปที่ 2.11 อนุภาคเงินในระดับนาโนจากการวิเคราะห์ด้วย TEM

15

รูปที่ 2.12 วิธีการแตกตัวด้วยความร้อน

17

รูปที่ 2.13 วิธีเลเซอร์แบบกระแทก

17

รูปที่ 2.14 ขั้นตอนกระบวนการการผลิต และลักษณะเปลวไฟ โดยเทคนิคเฟลมสเปรย์ไพโรลิ

18

ซิส

รูปที่ 2.15 อนุภาคเงินระดับนาโนจากการวิเคราะห์ด้วย TEM ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี

Polysaccharide Method

19

รูปที่ 2.16 อนุภาคเงินระดับนาโนจากการวิเคราะห์ด้วย TEM ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี

Tollens Method

20

รูปที่ 2.17 การเกิดเซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์

21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา X และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 ขั้นตอนการเคลือบผิวหน้าบนวัสดุด้วยวิธีการเคลือบชั้นต่อชั้น	22
รูปที่ 2.19 รูปร่างของเบคทีเรีย	24
รูปที่ 2.20 รูปร่างและชนิดของเชื้อรา	25
รูปที่ 2.21 รูปร่างของโปรโตซัว	25
รูปที่ 2.22 รูปร่างของสาหร่าย	26
รูปที่ 2.23 รูปร่างของไวรัส	27
รูปที่ 2.24 ลักษณะของ <i>Staphylococcus aureus</i>	27
รูปที่ 2.25 ลักษณะของ <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	28
รูปที่ 2.26 ลักษณะของ <i>Candida albicans</i>	29
รูปที่ 2.27 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	33
รูปที่ 2.28 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	33
รูปที่ 2.29 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	34
รูปที่ 2.30 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	35
รูปที่ 2.31 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง	35
รูปที่ 2.32 แนวโน้มความเสถียรของอนุภาคแขวนลอย	36
รูปที่ 2.33 เครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า	36

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดลอง

รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลายอะซิดิกอะซิเตทบัฟเฟอร์ (สารละลายบัฟเฟอร์)	49
รูปที่ 3.2 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท	50
รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารรักษาเสถียรภาพ	50
รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท	50
รูปที่ 3.5 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารรักษาเสถียรภาพ	51
รูปที่ 3.6 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์	52
รูปที่ 3.7 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลาย PDAD	53
รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลาย PSS	54
รูปที่ 3.9 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลายเอม โนเนียมไฮดรอกไซด์	55
รูปที่ 3.10 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลายกรดออกซาลิก	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XI ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 แผนภูมิแสดงการเตรียมความพร้อมของไส้กรอง	56
รูปที่ 3.12 แผนภูมิแสดงการสังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว	58
รูปที่ 3.13 แผนภูมิแสดงการสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี	60
รูปที่ 3.14 แผนภูมิแสดงการประยุกต์ใช้ตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนีย	61
รูปที่ 3.15 แผนภูมิแสดงการประยุกต์ใช้ตัวรับรู้สารละลายกรดออกซาลิก	62
รูปที่ 3.16 แผนภูมิแสดงการประยุกต์ใช้กับการต้านเชื้อจุลินทรีย์ผ่านสารละลาย	63
รูปที่ 3.17 แผนภูมิแสดงการประยุกต์ใช้กับการต้านเชื้อจุลินทรีย์ผ่านการจุ่มเคลือบบนไส้กรอง	64

#### บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล

รูปที่ 4.1 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 2 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	66
รูปที่ 4.2 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 5 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	67
รูปที่ 4.3 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 7 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	68
รูปที่ 4.4 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	69
รูปที่ 4.5 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 13 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	70
รูปที่ 4.6 ผลการศึกษาขนาดและประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารเพิ่มความคงตัว PAA ความเข้มข้น 9 mM โดยมีสีของสารละลาย และขนาดของอนุภาค	72
รูปที่ 4.7 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM โดยมีขนาดสเกล 50 nm และขนาดสเกล 20 nm	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XII และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM	73
รูปที่ 4.9 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	74
รูปที่ 4.10 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 4 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	75
รูปที่ 4.11 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 5 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	76
รูปที่ 4.12 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	77
รูปที่ 4.13 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 9 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	78
รูปที่ 4.14 ผลการศึกษาขนาดและประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารเพิ่มความคงตัว CoPSS ความเข้มข้น 7 mM โดยมีสีของสารละลาย และขนาดของอนุภาค	80
รูปที่ 4.15 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM โดยมีขนาดสเกล 50 nm และขนาดสเกล 20 nm	80
รูปที่ 4.16 ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM	81
รูปที่ 4.17 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	82
รูปที่ 4.18 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 3 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	83
รูปที่ 4.19 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 5 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XIII และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.20 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	85
รูปที่ 4.21 ข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 9 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	86
รูปที่ 4.22 ผลการศึกษาขนาดและประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารเพิ่มความคงตัว PMA ความเข้มข้น 7 mM โดยมีสีของสารละลาย และขนาดของอนุภาค	88
รูปที่ 4.23 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM โดยมีขนาดสเกล 50 nm และขนาดสเกล 10 nm	88
รูปที่ 4.24 ค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM	89
รูปที่ 4.25 กลไกการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว	90
รูปที่ 4.26 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 0.05 – 5.0 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	92
รูปที่ 4.27 สีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM	93
รูปที่ 4.28 แสดงผลการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM โดยมีขนาดสเกล 50 nm และขนาดสเกล 20 nm	93
รูปที่ 4.29 แสดงค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM	94
รูปที่ 4.30 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 0.05 – 5.0 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	96
รูปที่ 4.31 สีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM	97
รูปที่ 4.32 แสดงผลการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM โดยมีขนาดสเกล 50 nm และขนาดสเกล 20 nm	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XIV จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.33 แสดงค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM	98
รูปที่ 4.34 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 0.05 – 5.0 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	100
รูปที่ 4.35 สีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM	101
รูปที่ 4.36 แสดงผลการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM โดยมีขนาดสเกล 50 nm และขนาดสเกล 20 nm	101
รูปที่ 4.37 แสดงค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM	102
รูปที่ 4.38 กลไกการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี	103
รูปที่ 4.39 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 1-120 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	105
รูปที่ 4.40 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 1-50 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	105
รูปที่ 4.41 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 10-50 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	107
รูปที่ 4.42 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 10 และ 50 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	108
รูปที่ 4.43 : แสดงอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 399 และ 519 นาโนเมตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีปริมาณของสารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 10-50 mM	110
รูปที่ 4.44 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายกรดออกซาลิกเข้มข้น 5-40 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และ สีของสารละลาย	112

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **XV** จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.45 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายกรดออกซาลิกความเข้มข้น 1-50 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และสีของสารละลาย	113
รูปที่ 4.46 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายกรดออกซาลิกความเข้มข้น 5-40 mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และสีของสารละลาย	114
รูปที่ 4.47 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายกรดออกซาลิกความเข้มข้น 5 และ 40mM โดยมีค่าการดูดกลืนแสง และสีของสารละลาย	115
รูปที่ 4.48 : อัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 399 และ 519 นาโนเมตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีปริมาณของสารละลายกรดออกซาลิกความเข้มข้น 5-40 mM	116
รูปที่ 4.49 ภาพการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ชนิด Staphylococcus aureus (S.aureus)	120
รูปที่ 4.50 ภาพการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ชนิด Pseudomonas aeruginosa (P. aeruginosa)	120
รูปที่ 4.51 ภาพการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ชนิด Candida albicans (C.albicans)	120
รูปที่ 4.52 ผลการศึกษาการยึดติดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวบนไส้กรองโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM	122
รูปที่ 4.53 ผลการศึกษาการยึดติดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวบนไส้กรองโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM	123
รูปที่ 4.54 ผลการศึกษาการยึดติดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวบนไส้กรองโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM	124
รูปที่ 4.55 ผลการศึกษาการยึดติดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวบนไส้กรองโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM	125
รูปที่ 4.56 ผลการศึกษาการยึดติดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวบนไส้กรองโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM	126
รูปที่ 4.57 ผลการศึกษาการยึดติดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวบนไส้กรองโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM	127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **XVI** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อและสัญลักษณ์

mM	มิลลิโมลาร์
M	โมลาร์
nm	นาโนเมตร
pH	power of hydrogen
g	กรัม
$M_w$	มวลโมเลกุล
C	ความเข้มข้น
V	ปริมาตร
d	ความถ่วงจำเพาะ/ความหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XVII ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในยุคปัจจุบันงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างมากมาย ซึ่งในแต่ละงานวิจัยนั้นย่อมมีการใช้สารเคมีที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม ส่งผลให้เกิดแนวความคิดเกี่ยวกับเคมีสีเขียว (Green Synthesis) เพื่อเป็นการลดการใช้สารเคมี ทั้งสารเคมีที่เป็นพิษและสารเคมีที่ก่อให้เกิดโรคต่างๆมากมาย ตลอดจนสารเคมีที่ทำลายสิ่งแวดล้อม โดยที่เคมีสีเขียว (Green Synthesis) มีวัตถุประสงค์เพื่อการพัฒนากระบวนการและเทคโนโลยีทางเคมีให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม อันเป็นแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืน [1]

การสังเคราะห์อนุภาคเงินให้มีขนาดระดับนาโนนั้น มีมากมายหลายวิธี เช่น พลาสมาอาร์เอฟ, วิธีทางเคมี การแตกตัวด้วยความร้อน, วิธีเลเซอร์แบบกระแทก, วิธีการตกตะกอนสะสมตัวของเฟสที่เป็นไอ เป็นต้น [2] แต่ยังมีวิธีที่มักมองข้ามไปคือ การไม่ใช้สารเคมีในกระบวนการทำปฏิกิริยา ตรงตามหลักการของ เคมีสีเขียว (Green Synthesis) ซึ่งได้ผลการวิจัยไม่ต่างจากวิธีที่กล่าวมาข้างต้น [2] และวิธีนี้ยังสามารถให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้สีที่ปรากฏออกมาแตกต่างกันได้อีกด้วย ดังรูปที่ 1.1

อนุภาคเงินระดับนาโนได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น การตรึงอนุภาคเงินนาโนบนเส้นใยสิ่งทอโดยใช้เทคนิค PEM [3], พงษ์ฟอกที่มีอนุภาคเงินระดับนาโนเจือปนอยู่ [4], กาวและแผ่นติดแผลอนุภาคเงินระดับนาโน [5], เครื่องประดับเงินนาโน [5], รถพยาบาลที่ปลอดภัยโดยเคลือบผนังด้วยสารอนุภาคเงินระดับนาโน [5], ปากกานำไฟฟ้าที่ใช้หมึกซึ่งมีส่วนผสมของอนุภาคซิลเวอร์นาโน [6], ประยุกต์ใช้อนุภาคเงินระดับนาโนในเครื่องกรองน้ำ [6], อนุภาคเงินระดับนาโนเปลี่ยนสีไข่มุกธรรมชาติ [6] และอนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อใช้เป็นสเปร์ยดับกลิ่น [6] เป็นต้น



รูปที่ 1.1 แสดงสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ให้สีที่แตกต่างกัน [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว
2. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการเตรียมสารละลายเงินระดับนาโนเช่น ความเข้มข้น, ปริมาณของสาร, เวลาในการทำให้เป็นขนาดนาโน เป็นต้น
3. เพื่อศึกษารูปร่างและขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโน
4. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การต้านเชื้อแบคทีเรีย, การจุ่มเคลือบลงบนเส้นไหมเย็บแผล และการตรวจหาสารพิษในตัวอย่าง เป็นต้น

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว
2. ใช้สภาวะที่เหมาะสมในการเตรียมสารละลายเงินระดับนาโน
3. ศึกษารูปร่างและขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโน
4. ศึกษาการนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนไปใช้ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย, ตรวจจับปริมาณกรดออกซาลิก และตรวจจับปริมาณแอมโมเนีย

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับงานวิจัย

1. ได้อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว
2. ได้สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการเตรียมสารละลายเงินระดับนาโน
3. ได้ผลการศึกษารูปร่างและขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโน
4. ได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนไปใช้ในการตรวจจับปริมาณแอมโมเนีย, ตรวจจับปริมาณกรดออกซาลิก และใช้ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงานวิจัย

### ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 เก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างฐานข้อมูลวิจัยของรูปแบบการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในแบบต่างๆ

ขั้นตอนที่ 2 หาสถานะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน

ขั้นตอนที่ 3 นำอนุภาคเงินระดับนาโน ไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้

ขั้นตอนที่ 4 ส่งผลการทดลอง นำไปวิเคราะห์เพื่อหาลักษณะโครงสร้างของสาร

ขั้นตอนที่ 5 รวบรวมของผลการวิเคราะห์ จัดทำรูปเล่มผลการของดำเนินงาน

เดือน ขั้นตอน	ตุลาคม	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน
1	←	→					
2			←	→			
3				←	→		
4					←	→	
5						←	→

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เคมีสีเขียว

เคมีสีเขียวได้กำเนิดขึ้นในปี พ.ศ. 2534 ในโครงการพิเศษที่จัดทำขึ้นโดยหน่วยงานปกป้องรักษาสิ่งแวดล้อม ประเทศสหรัฐอเมริกา (US Environmental Protection Agency, EPA)

Anastas และ Warner เสนอแนวคิดของเคมีสีเขียว 12 ข้อ ดังนี้ [1]

1. ป้องกันการเกิดของเสีย (Prevent waste) การป้องกันการเกิดของเสียเป็นวิธีที่ดีกว่าการปล่อยให้ของเสียเกิดขึ้นแล้วต้องมีการบำบัดและกำจัดของเสียนั้น

2. ใช้ทุกอะตอมอย่างคุ้มค่า (Atom Economy) ควรจะออกแบบวิธีการสังเคราะห์สารเคมีให้ทุกสารที่ใช้ในกระบวนการมีส่วนร่วมมากที่สุดไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการซึ่งสามารถหาประสิทธิภาพการมีส่วนร่วมของอะตอมได้จากสมการดังนี้

$$\% \text{ atom economy} = \frac{\text{มวลโมเลกุลของสารตั้งต้นทั้งหมด}}{\text{มวลโมเลกุลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ}} \times 100$$

3. กระบวนการสังเคราะห์ที่อันตรายน้อยกว่า (Less Hazardous Synthesis) ไม่ว่าจะเป็นการปฏิบัติในที่ใดก็ตาม ควรมีการออกแบบวิธีการสังเคราะห์ให้ใช้และทำให้เกิดสารที่มีความเป็นพิษน้อยหรือไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

4. ผลิตภัณฑ์ที่ปลอดภัยกว่า (Safer Chemicals) ควรออกแบบผลิตภัณฑ์เคมีให้คงไว้ซึ่งสมรรถภาพการทำงานในขณะที่ความเป็นพิษลดลง

5. ตัวทำละลายและสารช่วยที่ปลอดภัยกว่า (Safer Solvents and Auxiliaries) ในทุกครั้งที่เป็นไปได้ควรจะไม่จำเป็นต้องมีการใช้สารช่วย (เช่น ตัวทำละลายรีเอเจนต์ช่วยในการแยก เป็นต้น) แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้ควรจะเป็นสารที่ไม่เป็นอันตราย

6. ความมีประสิทธิภาพของพลังงาน (Energy Efficiency) ความต้องการใช้พลังงานควรจะต้องตระหนักเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมและผลกระทบด้านเศรษฐศาสตร์ และควรจะลดการใช้พลังงาน กระบวนการสังเคราะห์สารควรจะจัดการที่สภาวะอุณหภูมิและความดันปกติ

7. สารตั้งต้นที่เกิดใหม่ทดแทนได้เร็ว (Renewable Feedstocks) ไม่ว่าจะปฏิบัติในที่ใดก็ตามในแง่เศรษฐศาสตร์และด้านเทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ลดสารอนุพันธ์ (Reduce Derivatives) เมื่อใดก็ตามที่เป็นไปได้ ควรหลีกเลี่ยงการทำอนุพันธ์ที่ไม่จำเป็น (กลุ่มกีดขวาง การป้องกัน/การเลิกป้องกัน และการดัดแปลงชั่วคราว ด้วยกระบวนการทางเคมีหรือฟิสิกส์)

9. การเร่งปฏิกิริยา (Catalysis) ตัวเร่งปฏิกิริยา (จำเพาะที่สุดเท่าที่เป็นไปได้) เป็นสิ่งที่ช่วยให้ผลดีว่าการใช้รีเอเจนต์ตามปริมาณสัมพัทธ์เท่านั้น

10. ออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ (Design for Degradation) ควรจะออกแบบผลิตภัณฑ์เคมีเพื่อให้ไม่มีการตกค้างในสิ่งแวดล้อมเมื่อหมดอายุการใช้งานแล้ว และเสื่อมสภาพเป็นผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายแล้วไม่เป็นพิษ

11. ตรวจสอบวิเคราะห์ติดตามผลตลอดเวลาเพื่อเฝ้าระวังการเกิดมลภาวะ (Real-time analysis for Pollution Prevention) จำเป็นต้องพัฒนาวิธีวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อให้มีการติดตามกระบวนการแบบทันทีตลอดเวลาและกำกับดูแลก่อนที่จะมีสารซึ่งเป็นอันตรายเกิดขึ้น

12. ระวังความปลอดภัยทางเคมีเป็นปกติวิสัยเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ (Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention) ควรจะเลือกสารและสถานะของสารที่ใช้ในกระบวนการเคมีให้เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อลดอุบัติเหตุทางเคมีที่อาจเกิดขึ้นอันได้แก่ การรั่วไหล การระเบิด และไฟไหม้

แนวคิดของเคมีสีเขียวตามหลักการพื้นฐาน 12 ข้อนี้ มุ่งเพื่อออกแบบกระบวนการผลิตทางเคมีให้มีประสิทธิภาพ ใช้วัตถุดิบ สารเคมี รีเอเจนต์ ตัวทำละลาย สารช่วย และพลังงานอย่างคุ้มค่า เพื่อให้เกิดประสิทธิผลสูงสุด ปกป้องรักษาสุขภาพของมนุษย์และมีความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมให้มากที่สุด

## 2.2 ประวัติศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

### 2.2.1 ประวัติศาสตร์นาโน

นาโนและนาโนเทคโนโลยี ได้มีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ทำการศึกษาไว้ ซึ่งได้แก่ อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์, ศาสตราจารย์ริชาร์ด ฟายน์แมน, เกร็ด บินนิง, เฮนริช โรห์เรอ, ศาสตราจารย์ ฮาโรลด์ โครโต, ริชาร์ด สมอลลี, โรเบิร์ต เคิร์ล และซูมิโอะ ลิจิมะ เป็นต้น [8]

ในปี พ.ศ.2448 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการหาขนาดโมเลกุลของน้ำตาลสมัยที่ยังศึกษาอยู่ในระดับปริญญาเอก จากผลการศึกษาพบว่า แต่ละโมเลกุลของน้ำตาลมีขนาดเล็กมากในระดับนาโน หลังจากนั้นเขาก็ได้ตีพิมพ์ผลงานเรื่องการหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลน้ำตาล มีขนาดประมาณ 1 นาโนเมตร ซึ่งนับได้ว่าเป็นจุดเริ่มต้นหนึ่งของการค้นพบโครงสร้างระดับนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปี พ.ศ.2502 ศาสตราจารย์ริชาร์ด ฟายน์แมน (Richard Feynman) นักฟิสิกส์แห่งสถาบันเทคโนโลยีแคลิฟอร์เนีย ได้ชื่อว่าเป็นบิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี (รูปที่ 2.1) โดยเขาได้กล่าวว่า "ที่ความเล็กระดับนาโนเมตร เราจะค้นพบแรงชนิดใหม่ๆ ปรากฏการณ์ใหม่ๆ และความเป็นไปได้ในรูปแบบใหม่ๆ" ในการปาฐกถาเรื่อง "ยังมีทางขยับขยายอีกมากในระดับจุลภาค (There's plenty of room at the bottom)" ซึ่งบรรยายเกี่ยวกับการกระตุ้นแรงบันดาลใจเกี่ยวกับการทำนายความเป็นไปได้ และขีดความสามารถของเทคโนโลยีระดับนาโน ซึ่งเป็นสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ทุกคนควรจะต้องตระหนักสนใจอย่างจริงจัง และให้ความสำคัญเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้ให้มากขึ้น



รูปที่ 2.1 ศาสตราจารย์ริชาร์ด ฟายน์แมน (Richard Feynman) บิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี [8]

จากคำพูดของศาสตราจารย์ริชาร์ด ฟายน์แมน (Richard Feynman) ทำให้เห็นว่าคุณค่าสำคัญของนาโนศาสตร์ และนาโนเทคโนโลยีไม่ได้จำกัดแค่การที่เราสามารถสร้างสิ่งต่างๆ ที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร แต่ยังรวมถึงการที่เราสามารถนำสมบัติใหม่ๆ และปรากฏการณ์ใหม่ๆ ที่เกิดขึ้นเฉพาะในระดับนาโนเท่านั้น มาใช้ให้เป็นประโยชน์ได้อีกด้วย โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้วัสดุ อุปกรณ์ และระบบที่มีขนาดในระดับนาโน (1-100 นาโนเมตร) มีสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก สมบัติเชิงแสง สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงเคมีแตกต่างไปจากวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่กว่า

ในปี พ.ศ.2524 เกร็ด บินนิง (Gerd Binnig) และ เฮนริช โรห์เรอ (Heinrich Rohrer) นักวิจัยในห้องปฏิบัติการของบริษัทไอบีเอ็มได้ประดิษฐ์เครื่อง STM (Scanning Tunneling Microscope) ขึ้นจนสำเร็จ (รูปที่ 2.2) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถที่จะเห็นภาพของโลกระดับนาโนเมตรได้เป็นผลสำเร็จ ไม่เพียงแต่สามารถมองเห็นอนุภาคระดับนาโน โมเลกุลขนาดเล็ก หรืออะตอมเดี่ยวได้เพียงเท่านั้น แต่ยังสมารถที่จะใช้ในการควบคุมจัดการกับอนุภาค

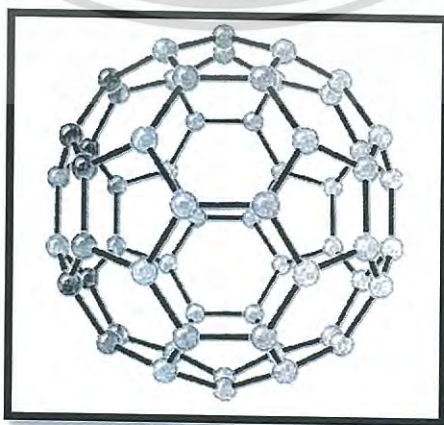
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับนาโน อะตอม หรือ โมเลกุลขนาดเล็กได้อีกด้วย จากผลงานการประดิษฐ์เครื่องมือนี้ขึ้นมา ทำให้ทั้งสองได้รับรางวัลโนเบล ในปี พ.ศ.2529



รูปที่ 2.2 เกิร์ด บินนิง (Gerd Binnig) และ เฮนริชโรห์เรอ (Heinrich Rohrer) ผู้ประดิษฐ์เครื่อง STM (Scanning Tunneling Microscope) [8]

ในปี พ.ศ.2528ศาสตราจารย์ฮาโรลด์ โครโต (Harold Kroto) มหาวิทยาลัยซัสเซก (University of Sussex) ประเทศอังกฤษ ริชาร์ด สมอลลี (Richard Smalley) และ โรเบิร์ต เคิร์ล (Robert Curl) มหาวิทยาลัยไรซ์ (Rice University) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ค้นพบโครงสร้างโมเลกุลของคาร์บอนแบบใหม่ นั่นคือ บัคมินสเตอร์ฟูลเลอร์ีน (buckminsterfullerene) หรืออีกชื่อหนึ่งที่เรียกกันว่า บัคกี้บอล (buckyball) (รูปที่ 2.3) ซึ่งเป็น โครงสร้างระดับนาโนเมตรของโมเลกุลคาร์บอนที่สร้างขึ้นมาจากอะตอมของคาร์บอนจำนวน 60 อะตอมเชื่อมต่อกัน และมีรูปร่างที่สมมาตรคล้ายกับลูกฟุตบอล โดยเป็นโครงสร้างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 1 นาโนเมตรเท่านั้น เนื่องจากการค้นพบนี้ทำให้พวกเขาได้รับรางวัลโนเบล สาขาเคมี ในปี ค.ศ. 2539



รูปที่ 2.3 buckminsterfullerene หรือ buckyball โครงสร้างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นาโนเมตร.[8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาในปี ค.ศ. 1991 ซุมิโอะ ลิจิมะ (Sumio Iijima) (รูปที่ 2.4) นักวิจัยของบริษัทเอ็นอีซี (NEC) ประเทศญี่ปุ่น ได้ค้นพบโครงสร้างแบบใหม่ของคาร์บอนที่เป็นลักษณะท่อเล็กที่มีขนาดในระดับนาโนเมตร หรือที่เรียกกันทั่วไปว่า ท่อนาโนคาร์บอน (carbon nanotube) ที่เกิดขึ้นมาจากแผ่นกราฟไฟต์ และหลังจากนั้นอีกสองปีลิจิมะก็ทำงานร่วมกับโดนัลด์ เบททูน (Donald Bethune) ของบริษัทไอบีเอ็ม (IBM) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ทำการสำรวจพบว่าโครงสร้างท่อนาโนคาร์บอนผนังเดียวนั้น เป็นโครงสร้างมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 1-2 นาโนเมตรเท่านั้น

ท่อนาโนคาร์บอนสามารถแสดงพฤติกรรมได้เหมือนกับโลหะหรือสารกึ่งตัวนำ แต่สามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าทองแดง สามารถถ่ายโอนความร้อนได้ดีกว่าเพชร และเป็นโครงสร้างวัสดุที่แข็งแรงที่สุดเท่าที่มนุษย์เคยรู้จักกันมา ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการนำท่อนาโนคาร์บอนมาประยุกต์ใช้ประโยชน์กันมากในด้านต่างๆ โดยเฉพาะคุณสมบัติพิเศษทางด้านไฟฟ้าและเชิงกล



รูปที่ 2.4 ซุมิโอะ ลิจิมะ (Sumio Iijima) (ซ้าย) และท่อนาโนคาร์บอน (ขวา) [8]

### 2.2.2 ความหมายของนาโน

“นาโน” (nano) เป็นคำที่มีรากศัพท์มาจากคำว่า nanos ในภาษากรีกโบราณที่แปลว่า แคระ (dwarf) ในปัจจุบันคำว่า นาโน ในทางวิทยาศาสตร์ใช้เป็น ตัวนำหน้าหน่วยหรือคำอุปสรรค (prefix) ซึ่งเป็นหน่วยความยาวในระบบ SI แปลความหมายได้ว่า 1/1,000 ล้าน (หนึ่งในพันล้าน) ดังนั้นถ้าเราพูดว่า 1 นาโนเมตรจึงมีขนาดเท่ากับ 1 ใน 1,000 ล้านส่วนของเมตร สามารถเขียนได้โดยแทนด้วยสัญลักษณ์ 1 nanometer (อักษรย่อคือ nm) = 1/1,000,000,000,000 m =  $1 \times 10^{-9}$  m [5]

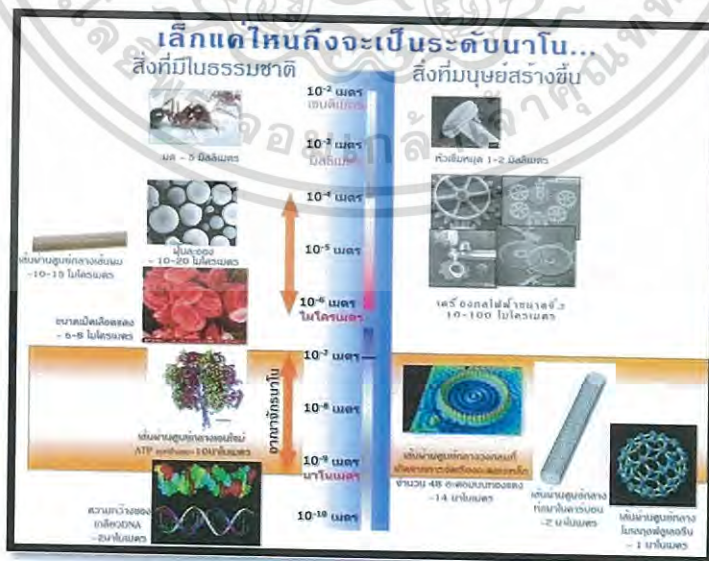
### 2.2.3 ความหมายของนาโนเทคโนโลยี

“นาโนเทคโนโลยี” หมายถึงเทคโนโลยีประยุกต์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดการ การสร้าง การสังเคราะห์วัสดุหรืออุปกรณ์ในระดับของอะตอม โมเลกุลหรือชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กในช่วงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 1 ถึง 100 นาโนเมตร ซึ่งจะส่งผลให้วัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ มีหน้าที่ใหม่ๆ และมีคุณสมบัติที่พิเศษขึ้นทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ทำให้มีประโยชน์ต่อผู้ใช้สอยและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้ [5]

นาโนเทคโนโลยีแบ่งได้ 3 ประเภทคือ [9]

1. นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ (Nanobiotechnology) เป็นการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีด้านชีวภาพ เช่น การพัฒนานาโนไบโอเซนเซอร์ หรือ หัวตรวจวัดสารชีวภาพ และสารวินิจฉัยโรคโดยใช้วัสดุชีวโมเลกุล การปรับโครงสร้างระดับโมเลกุลของยาที่สามารถหวังผลการมุ่งทำลายชีวโมเลกุลที่เป็นเป้าหมายเฉพาะเจาะจง เช่น เซลล์มะเร็ง การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางในการส่งผ่านสารบำรุงเข้าชั้นใต้ผิวหนังได้ดียิ่งขึ้น เป็นต้น
2. นาโนอิเล็กทรอนิกส์ (Nanoelectronics) เป็นการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์ (ไฮเทค) เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพและทำงานด้วยประสิทธิภาพที่สูง เช่น การพัฒนาระบบไฟฟ้าเครื่องกลจุลชีพ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ การพัฒนานาโนชิพ ทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง เป็นต้น
3. วัสดุนาโน (Nanomaterials) การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีด้านวัสดุนาโน เช่น การเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในอุตสาหกรรมการพัฒนาฟิล์มพลาสติกนาโนคอมโพสิตที่มีความสามารถในการสกัดกั้นการผ่านของก๊าซบางชนิดและไอน้ำ เพื่อใช้ทำบรรจุภัณฑ์เพื่อยืดอายุความสดของผักและผลไม้และเพิ่มมูลค่าการส่งออก การผลิตผลอนุภาคนาโนมาใช้ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส หรือทำให้ไม่เปียกน้ำ เป็นต้น



รูปที่ 2.5 แสดงขนาดของวัตถุจากระดับ  $10^{-2}$  –  $10^{-10}$  เมตร [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.4 คุณสมบัติของอนุภาคนาโน

การที่ขนาดของวัสดุมีขนาดเล็กกลง จะส่งผลโดยตรงกับสัดส่วนของจำนวนอะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้า และผิวสัมผัสของวัสดุเพิ่มมากขึ้น โดยที่การเพิ่มขึ้นของจำนวนอะตอมที่บริเวณผิวสัมผัสของวัสดุ จะส่งผลให้วัสดุที่มีขนาดระดับนาโนมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางแม่เหล็ก และสมบัติทางแสงแตกต่างไปจากวัสดุที่มีขนาดใหญ่อย่างสิ้นเชิง ทำให้ได้เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติด้านต่างๆ ที่แตกต่างไปจากเดิม [10] เช่น

#### 1. คุณลักษณะเชิงแสง

โดยทั่วไปทองคำแบบก้อนจะมีสีเหลือง แต่ถ้าย่อหรือตัดให้ขนาดของทองคำเล็กกลงไปจนมีขนาดอนุภาคในระดับนาโนเมตร จะส่งผลให้อนุภาคของทองคำนั้นมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่มากกระทบมาก จึงเกิดปรากฏการณ์เชิงแสงที่เรียกว่า เซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (surface plasmon resonance) ซึ่งจะส่งผลให้อนุภาคนาโนของทองคำนั้นดูดกลืนสเปกตรัมของแสงที่อยู่ในช่วงสีเขียว (ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร) ดังนั้นแล้วจึงทำให้อนุภาคนาโนของทองคำเห็นเป็นสีแดงทับทิม (แทนที่จะเป็นสีเหลืองเหมือนกับตอนที่เป็นก้อน)

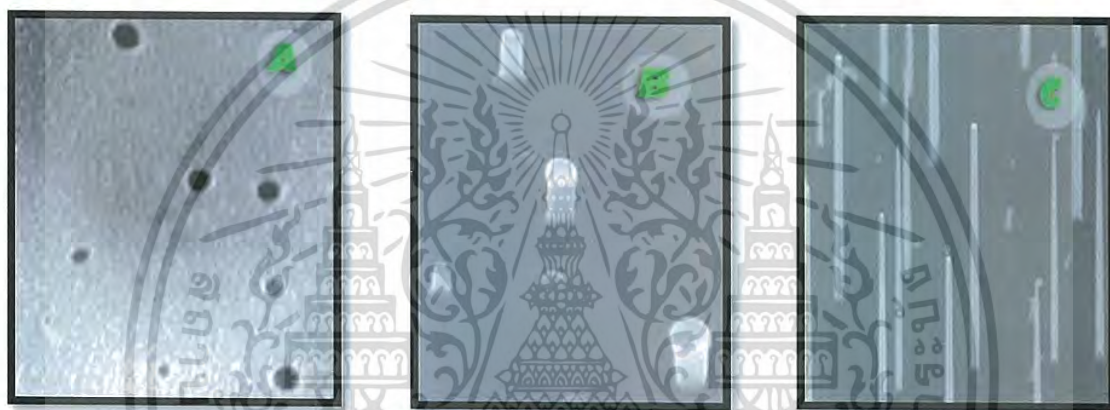


รูปที่ 2.6 แสดงถ้วยโบราณที่มีผลึกนาโนทองคำเป็นส่วนประกอบ และเกิดปรากฏการณ์เชิงแสงที่เปลี่ยนไปจากเดิม [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา

วัตถุที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรจะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่กว่า เช่น อนุภาคนาโนของธาตุทองคำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นาโนเมตร จะมีพื้นที่ผิวของอนุภาคสูงถึง 150 ตารางเมตรต่อกรัม [12] ด้วยเหตุนี้จึงทำให้วัตถุที่มีขนาดระดับนาโนจะมีจำนวนอะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้าสูงมาก ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวหน้าวัสดุได้ง่ายมากขึ้น และยังเอื้อต่อการเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ อันเนื่องมาจากความเร็วต่อการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของบริเวณผิวหน้าของวัตถุ เช่น ธาตุทองคำที่ปกติจะเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่เมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรแล้ว จะมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่ดีได้

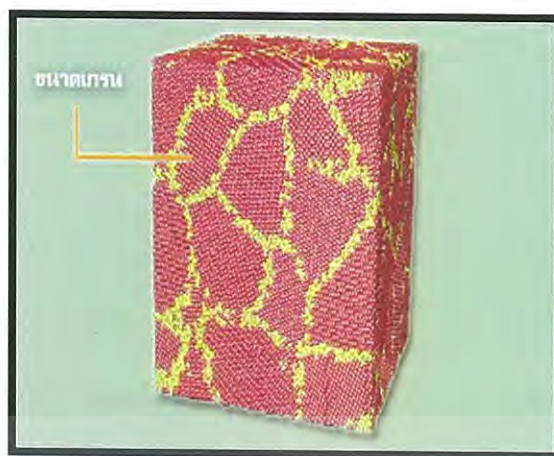


รูปที่ 2.7 ภาพอนุภาคนาโนทองคำ (จุดสีคำ) ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวซิลิกอน (ภาพ A) ทำให้ซิลิกอนเกิดการเติบโตขึ้นมาเป็นเส้นลวดนาโนซิลิกอน (ภาพ B และ ภาพ C) [10]

## 3. ความแข็งแรงและความแข็ง

วัสดุประเภทโลหะและเซรามิกที่มีขนาดเกรน (grain size) ในระดับนาโนเมตร จะมีความแข็งแรงและความทนทานต่อการแตกหักสูงมากกว่าวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดเกรนในระดับไมโครเมตรหรือในระดับที่ใหญ่กว่า เช่นเดียวกันกับ โลหะที่มีโครงสร้างผลึกในระดับนาโนจะมีความแข็งแรงและความแข็งสูงกว่าโลหะที่มีขนาดผลึกใหญ่ และมีสมบัติในการต้านทานกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้นด้วย มีความจุความร้อนจำเพาะมากขึ้น และสามารถขยายตัวได้ดีมากขึ้นกว่าเดิม เช่น โลหะทองแดงที่มีขนาดเกรนในระดับนาโนเมตรจะมีความแข็งแรงสูงกว่าทองแดงปกติถึง 5 เท่า หรือในอนุภาคระดับนาโนเมตรของอะลูมิเนียม ส่งผลให้โครงสร้างของอะลูมิเนียมมีความเหนียวและแข็งแรงมากขึ้นกว่าอะลูมิเนียมในขนาดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการทดสอบในโลหะอะลูมิเนียม พบว่าขนาดเกรนของโลหะอะลูมิเนียมที่มีขนาดเล็กจะมีความแข็งแรงมากกว่าขนาดเกรนที่มีขนาดใหญ่กว่า [10]

#### 4. สมบัติทางไฟฟ้า

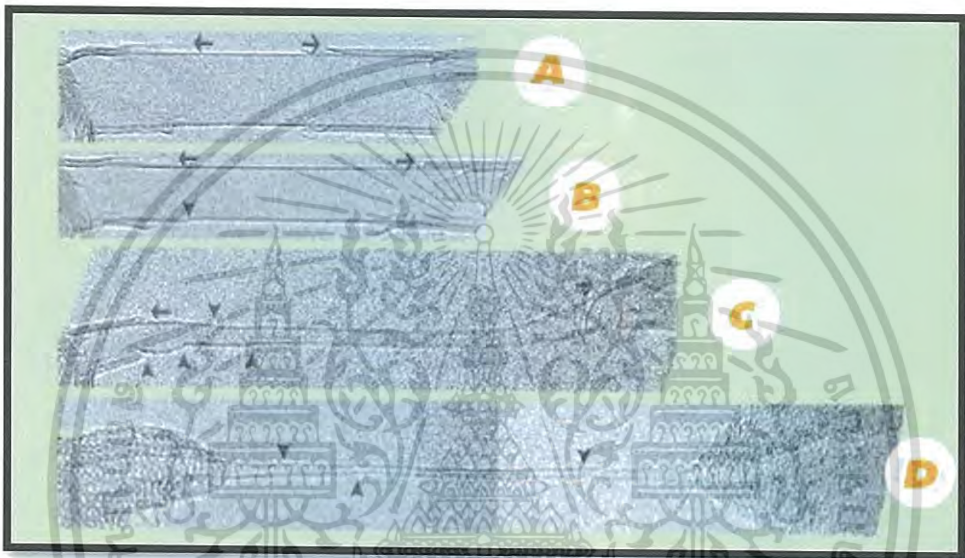
เมื่อโครงสร้างของวัสดุถูกทำให้เล็กลงอยู่ในระดับนาโน จะส่งผลให้คุณสมบัติพื้นฐานทางไฟฟ้าของวัสดุนั้นแตกต่างออกไปจากที่เคยเป็นอยู่เดิม เช่น เมื่อวัสดุมีโครงสร้างอยู่ในระดับนาโนแล้ว วงจรไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในโครงสร้างนั้นไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามกฎของโอห์ม (Ohm's law) ซึ่งกฎของโอห์มเกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้า ( $I$ ) แรงเคลื่อนไฟฟ้าของต้นกำเนิดไฟฟ้า ( $V$ ) และความต้านทานไฟฟ้า ( $R$ ) แต่หัวใจสำคัญของกฎของโอห์มมีพื้นฐานมาจากแนวคิดที่ว่า อิเล็กตรอนไหลผ่านไปตามสายไฟฟ้าในลักษณะที่เป็นกระแส แต่ในโครงสร้างระดับนาโนนั้นอิเล็กตรอนไม่ได้เคลื่อนที่โดยไหลเป็นกระแสเช่นเดิม เพราะถ้าหากสายไฟฟ้ามีขนาดความกว้างอยู่ในระดับนาโนเมตรแล้วนั้น อิเล็กตรอนจะต้องไหลไปตามสายไฟฟ้าจากอะตอมหนึ่งไปอีกอะตอมหนึ่งในปริมาณที่ถูกจำกัด ซึ่งจะต้องทำให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้าที่แตกต่างออกไปจากเดิมอย่างแน่นอน

สมบัติในการเป็นตัวนำ เป็นสารกึ่งตัวนำ หรือเป็นฉนวน ของวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของอะตอมที่อยู่ภายในวัสดุ และลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอมเหล่านั้น โดยที่วัสดุระดับนาโนทุกประเภทจะมีมิติทางกายภาพ อย่างน้อยหนึ่งมิติที่ถูกจำกัดขนาดเอาไว้ จึงทำให้เป็นการบีบบังคับให้อิเล็กตรอน ในวัสดุนาโนสามารถเคลื่อนที่ได้ในปริมาณที่จำกัดเท่านั้น จึงทำให้ปรากฏการณ์ทางควอนตัมที่เป็นการจำกัดบริเวณของอิเล็กตรอนไว้ (quantum confinement) ปรากฏออกมาให้เห็นอย่างชัดเจน โดยที่ปรากฏการณ์ดังกล่าวไม่เคยเกิดขึ้นหรือเกิดขึ้นน้อยมากในวัสดุขนาดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5. ความเป็นพลาสติก

สภาพพลาสติกพิเศษ (superplastics) จะเกิดขึ้นกับวัสดุที่มีขนาดเกรนในระดับนาโนเมตร โดยพบว่าอนุภาคระดับนาโนของวัสดุจะมีสภาพของการถูกยืด หรือทำให้ผิดรูปได้มากกว่าเดิมอย่างมาก (ประมาณได้ว่าจาก 100 % ขยายไปจนถึง 1000 %) โดยวัสดุจะมีอุณหภูมิบริเวณพื้นผิวที่ลดต่ำลงมาก แต่จะมีอัตราความเครียดของวัสดุที่เพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาพบว่า โครงสร้างของผลึกระดับนาโนจะสามารถมีสภาพเป็นพลาสติกพิเศษได้ เมื่ออยู่ในช่วงอุณหภูมิสูงประมาณ 400 – 500 องศาเซลเซียส เช่น ผลึกนาโนของนิกเกิล ผลึกนาโนของอะลูมิเนียมอัลลอยด์ เป็นต้น



รูปที่ 2.9 แสดงคุณสมบัติความเป็นพลาสติกพิเศษ (superplastic) ของทองนาโนคาร์บอน ภายใต้อุณหภูมิสูงๆ โดยที่มีความยาวเริ่มต้น 24 nm เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 nm (A) และสามารถมีความเครียดที่เพิ่มขึ้นได้ จนกระทั่งยืดยาวได้เรื่อยๆ จนถึง 91 nm เส้นผ่านศูนย์กลางลดลงเหลือ 0.8 nm (D) ซึ่งสามารถยืดขยายได้มากขึ้นถึง 280 % [10]

## 6. สภาพแม่เหล็ก

โดยทั่วไปสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัสดุ และลักษณะการจับเรียงตัวของอะตอมของธาตุที่ประกอบกันขึ้นเป็นวัสดุ สารที่มีสภาพเป็นแม่เหล็กนั้นเป็นผลมาจากการสปีนภายนอก [โมเมนตัมเชิงมุม (angular momentum) ที่เกิดจากการเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสของอิเล็กตรอน] และสปีนภายในที่เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของอิเล็กตรอน โดยที่อิเล็กตรอนจะมีการสปีนเป็นแบบ “ขึ้น” หรือ “ลง” เท่านั้น จึงทำให้อิเล็กตรอนมีสมบัติเป็นขั้วแม่เหล็กคู่ (magnetic dipole moment) ขนาดเล็ก โดยสารที่มีสภาพเป็นแม่เหล็กเกิดจากการที่อะตอมของสารมีจำนวนอิเล็กตรอนกลุ่มที่มีสปีนขึ้น ไม่เท่ากับพวกที่มีสปีนลง ทำให้ค่าโมเมนตัมเชิงมุมหรือโมเมนต์แม่เหล็กมีค่าไม่เป็นศูนย์ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้เฉพาะ ในกรณีที่อะตอมมีจำนวนอิเล็กตรอนไม่เต็มชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานย่อยเท่านั้น และเมื่อสสารและวัสดุต่างๆ มีขนาดโครงสร้างอยู่ในระดับนาโนนั้น จะมีสมบัติทางแม่เหล็กแตกต่างออกไปจากวัสดุขนาดใหญ่ อันเป็นผลมาจากคุณสมบัติทางควอนตัมนั่นเอง

### 2.2.5 ผลิตภัณฑ์นาโนในปัจจุบัน

ปัจจุบันสินค้านาโนมีมากมาย [11] เช่น

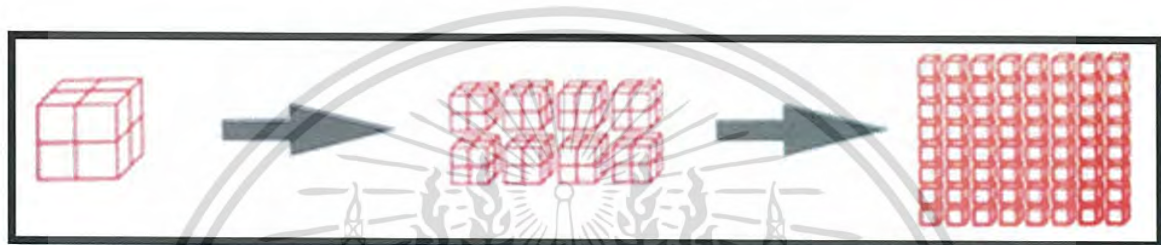
1. แผ่นรองในรองเท้าเพื่อเพิ่มความอบอุ่นสำหรับทหารและนักกีฬาสกี ชื่อว่า Shock Doctor และ Aerogel Hotbed คือแผ่นรองที่ทำให้เท้าเย็นสบาย แผ่นรองดังกล่าวอาศัยเทคโนโลยีรูพรุนขนาดนาโนทำหน้าที่เป็นฉนวน จึงทำให้มีประสิทธิภาพดีกว่าวัสดุที่ใช้แบบเดิมถึง 20 เท่าตัว และบางเพียง 2.5 มิลลิเมตรเท่านั้น
2. ที่นอนซักได้ชื่อ Healthsmart ที่แผ่นผ้าปูที่นอนบนมีชิป สามารถถอดออกมาทำความสะอาด และผ้าที่ผลิตจากเส้นใยที่มีรูกลวงขนาดนาโนสามารถจับไอน้ำและความชื้นขณะที่เรานอนหลับ
3. ไม้กอล์ฟและลูกกอล์ฟนาโน โดยบริษัท Maruman ของญี่ปุ่น ได้ออกจำหน่ายหัวไม้ใครเวอร์ที่ผสมลูกบอลคาร์บอนนาโน ทำให้ก้านมีความสามารถในการต้านแรงได้ มากกว่าแบบไทเทเนียมถึง 12% และแข็งแรงกว่าประมาณ 3.6% และทำให้ตีไกลกว่าเดิม 15 หลา
4. ผลิตภัณฑ์บำรุงผิว Bionova ที่ผลิตมาเฉพาะเจาะจงสำหรับแต่ละบุคคล ให้เหมาะกับอายุ เชื้อชาติ ชนิดของผิว ของแต่ละคน
5. ผ้าปิดแผลนาโนซิลเวอร์ชื่อ Ecotru ที่สามารถฆ่าเชื้อโรคและกันการติดเชื้ออย่างมีประสิทธิภาพ
6. น้ำยาทำความสะอาดนาโนที่ผลิตจากบริษัทเดียวกับข้อ 5 ที่ใช้ฆ่าเชื้อโรคได้ทุกชนิด
7. สเปรย์กันน้ำนาโน มีการผสมอนุภาคนาโนพิเศษ สามารถใช้เคลือบพื้นผิวต่างๆ ช่วยทำให้น้ำไม่สามารถเกาะและง่ายในการทำความสะอาด
8. น้ำยาเคลือบกระจกรถยนต์ชื่อ Clarity Defender ที่ช่วยป้องกันหิมะ น้ำฝนและแมลงให้เกาะติดกับกระจกช่วยเพิ่มวิสัยทัศน์ในการขับขี่ได้ถึง 34%
9. ครีมแก้ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ ชื่อ Flex-Power ที่ใช้ไลโปโซมขนาด 80 นาโนเมตร บรรจุกัวยาให้สามารถซึมเข้าสู่ผิวหนังเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. กาวติดพื้น ที่ผลิตโดยบริษัท 3M ที่มีส่วนผสมของอนุภาคซิลิกาขนาดนาโน ช่วยทำให้ติดได้แข็งแรงมากขึ้นและไม่เกาะตัวเป็นก้อนเวลาใช้งาน

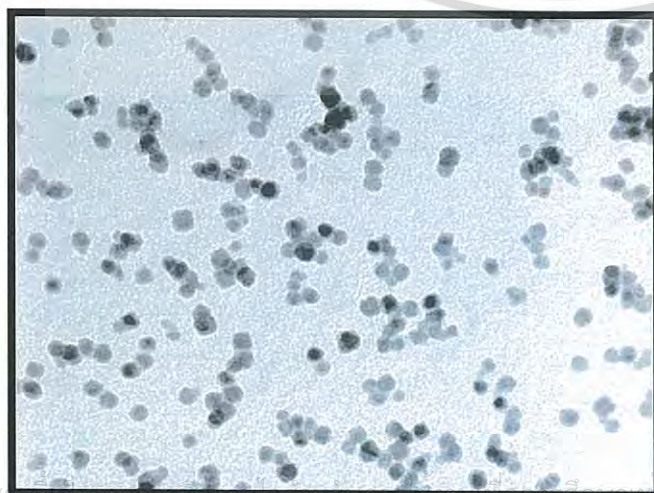
### 2.3 อนุภาคเงินระดับนาโน (Silver nanoparticles)

อนุภาคเงิน คือ ธาตุหนึ่งในตารางธาตุที่มีคุณสมบัติที่หลากหลายเมื่อมีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร โดยการเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อใช้สัมผัสกับเชื้อโรคก็เป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่ง และด้วยขนาดเล็กมาก ทำให้ใช้อนุภาคเงินเพียงเล็กน้อย ก็สามารถครอบคลุมพื้นที่ และเพิ่มโอกาสในการสัมผัสกับเชื้อโรคได้มากขึ้น ดังรูปที่ 2.10 [12]



รูปที่ 2.10 แสดงภาพจำลองพื้นที่ผิวของอนุภาคเงินเมื่อมีพื้นที่ผิวเล็กลง [12]

อนุภาคเงินระดับนาโน คืออนุภาคเงินที่มีขนาดต่ำกว่าไมโครเมตร หรือ  $10^{-6}$  โดยที่อนุภาคเงินระดับนาโนมีคุณสมบัติที่หลากหลาย เช่น คุณสมบัติทางเคมีเป็นธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดแค่เพียงตัวเดียว เมื่อทำให้เล็กลงในระดับนาโนเมตร โลหะเงินจะแตกตัวทำให้เกิดเป็นประจุเงินแขวนลอย (silver colloid) อนุภาคนาโนจึงสามารถแทรกซึมเข้าไปสู่ผนังของแบคทีเรียโดยจะเข้าไปจับกับหมู่ sulphydryl (-SH) ของเอนไซม์ในแบคทีเรียและทำให้แบคทีเรียตายลงในที่สุด หรือคุณสมบัติที่สามารถจับเชื้อโรค เชื้อจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดีอันเป็นคุณลักษณะเฉพาะของอนุภาคเงินนี้เอง [13]



รูปที่ 2.11 แสดงอนุภาคเงินในระดับนาโนที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) [14]

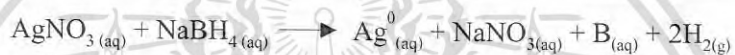
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน (Synthesis of silver nanoparticles)

การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนสามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กัน ได้แก่

### 2.4.1 วิธีทางเคมี (Chemical Methods)

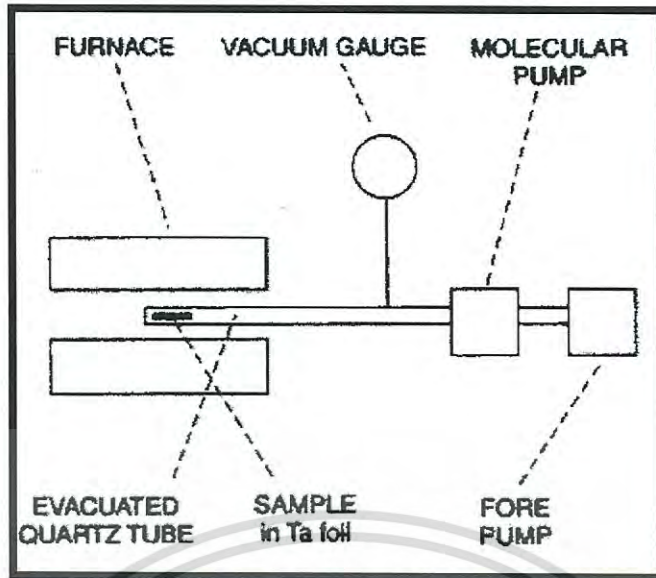
วิธีนี้จะใช้ตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ในการทำให้อยู่ในระดับนาโน เช่น  $\text{NaBEt}_3\text{H}$ ,  $\text{LiBEt}_3\text{H}$  และ  $\text{NaBH}_4$  เป็นต้น โดยที่ Et คือ อนุมูลเอทิล ( $\text{C}_2\text{H}_5$ ) ตัวอย่างการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของเงิน ( $\text{Ag}$ ) เมื่อใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) เป็นตัวรีดิวซ์ ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ได้อนุภาคเงินระดับนาโน ( $\text{Ag}^0$ ) สมการปฏิกิริยาของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทกับสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เกิดขึ้นเขียนได้ดังนี้ [2]



หรือโลหะบางชนิดอาศัยการแตกตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โลหะอลูมิเนียม ทำให้เป็นวัสดุนาโนโดยการแตกตัวของ  $\text{Me}_2\text{EtNAIH}_3$  ในสารละลายโทลูอีน โดยที่ Me คือ อนุมูลเมทิล ( $\text{CH}_3$ ) การให้ความร้อน ตัวเร่งปฏิกิริยากับสารละลาย จะเป็นตัวกำหนดขนาดของอนุภาค อาจใช้สารในกลุ่มของสารลดแรงตึงผิวช่วยเคลือบอนุภาคที่เกิดขึ้นเพื่อป้องกันการรวมกลุ่มกัน (aggregation)

### 2.4.2 การแตกตัวด้วยความร้อน (Thermolysis)

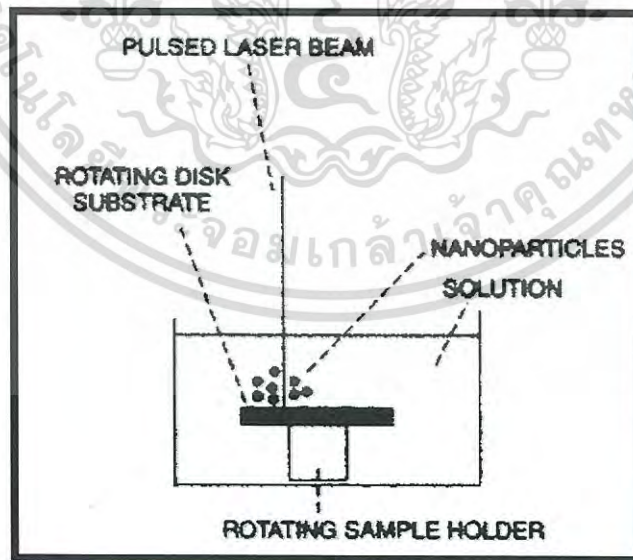
การแตกตัวของของแข็งที่อุณหภูมิสูง โดยไอออนบวกของโลหะและไอออนลบเชิงโมเลกุล หรือสารประกอบอินทรีย์โลหะ เช่น ลิเทียมมาจากลิเทียมเอซายด์ ( $\text{LiN}_3$ ) วัสดุจะอยู่ในท่อควอตซ์ที่มีช่องเปิดถ่ายเทและให้ความร้อนสูงถึง 400 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.12 ณ อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส ลิเทียมเอซายด์จะแตกตัวให้แก๊สไนโตรเจน และระเหยขึ้นสู่บรรยากาศ คงเหลือไว้แต่อะตอมลิเทียมเกาะตัวกันเป็นคอลลอยด์ขนาดเล็กกว่า 5 นาโนเมตร [2]



รูปที่ 2.12 แสดงวิธีการแตกตัวด้วยความร้อน [2]

#### 2.4.3 วิธีเลเซอร์แบบกระแทก (Pulsed laser methods)

วิธีนี้ถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทและตัวรีดิวซ์ ไหลผ่านอุปกรณ์แบบจานหมุน จากนั้นยิงแสงเลเซอร์เป็นจังหวะ ทำให้เกิดจุดร้อนบนจานหมุน ดังรูปที่ 2.13 เมื่อเกิดอนุภาคระดับนาโน จะถูกเหวี่ยงให้แยกออกจากสารละลายด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง [2]

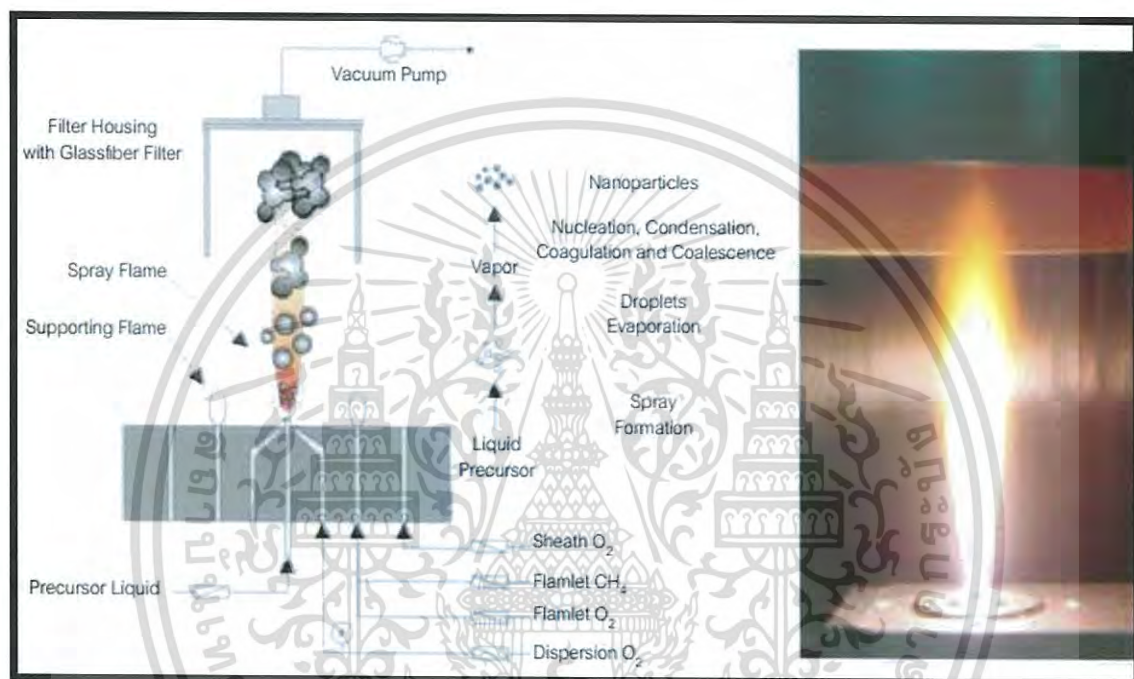


รูปที่ 2.13 แสดงวิธีเลเซอร์แบบกระแทก [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.4 เทคนิคเฟลม สเปรย์ ไพโรลิซิส (Flame Spray Pyrolysis, FSP)

เป็นเทคนิคที่ผลิตอนุภาคระดับนาโนที่มีความบริสุทธิ์ และสามารถควบคุมขนาดอนุภาคได้ โดยอาศัยองค์ประกอบ, สภาพในระบบ, การใช้สารตั้งต้น, การใช้แก๊สที่เหมาะสมในการเผาไหม้ ตัวทำละลายที่มีค่าเอนโทรปีของการเผาไหม้ที่ดี, การควบคุมสนามไฟฟ้าระหว่าง, การสังเคราะห์ ตลอดจนความเร็วในการไหลของสารละลายซึ่งจะมีผลต่อขนาด ความสูงของเปลวไฟ เป็นต้น โดยแต่ละปัจจัยล้วนแล้วแต่มีผลทำให้ได้ขนาด และสัญญาณวิทยาของอนุภาคที่ต่างกันออกไป [15]



รูปที่ 2.14 แสดงขั้นตอนกระบวนการการผลิต และลักษณะเปลวไฟที่เกิดขึ้น จากการเตรียมวัสดุนาโนความบริสุทธิ์สูง โดยเทคนิคเฟลม สเปรย์ ไพโรลิซิส [15]

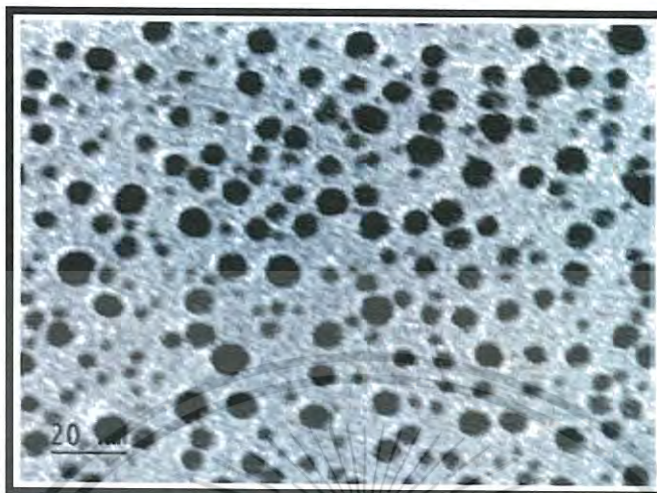
## 2.4.5 วิธีเคมีสีเขียว (Green synthesis)

### 2.4.5.1 Polysaccharide Method

เป็นการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายและใช้น้ำตาลโมเลกุลเชิงซ้อน (Polysaccharide) เป็นสารเพิ่มความคงตัว โดยในบางครั้งน้ำตาลโมเลกุลเชิงซ้อน (Polysaccharide) สามารถทำหน้าที่ได้ทั้งเป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) และสารเพิ่มความคงตัว (capping agent) ยกตัวอย่างเช่น การสังเคราะห์เงินระดับนาโนด้วยการใช้ Starch ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความคงตัว (capping agent) และ B-D-glucose ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) และค่อยๆ ให้ความร้อนแก่ระบบ ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดปฏิกิริยาระหว่าง Starch กับอนุภาคเงินระดับนาโน จะเกิดแบบอ่อนๆ และสามารถเกิดการย้อนกลับได้ที่อุณหภูมิสูง [16]



รูปที่ 2.15 แสดงอนุภาคเงินระดับนาโนจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Polysaccharide Method [16]

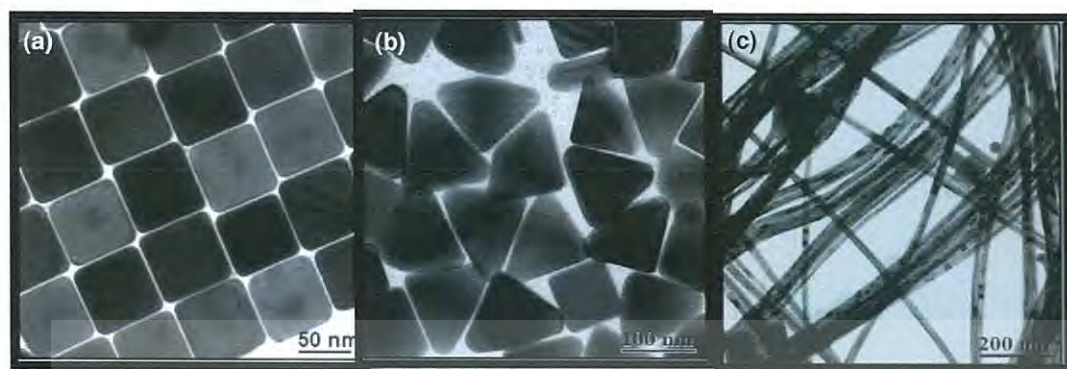
#### 2.4.5.2 Tollens Method

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้วิธีนี้ จะให้อนุภาคเงินระดับนาโนที่สามารถควบคุมขนาดได้ ปฏิกิริยารีดักชันของ  $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$  แสดงได้ดังสมการ



$\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$  เป็นรูปที่เสถียรเมื่อสังเคราะห์ด้วยแอมโมเนียที่ความเข้มข้นสูงๆ แต่เมื่อทำการศึกษาที่แอมโมเนียความเข้มข้นต่ำๆ พบว่าจะได้อนุภาคขนาดเล็ก เช่น เมื่อใช้กลูโคสและแอมโมเนียความเข้มข้น 0.005 M พบว่าได้อนุภาคมีขนาดเฉลี่ย 57 นาโนเมตร และเกิด SPR ขึ้นที่ 420 นาโนเมตร ถ้า  $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$  ถูกรีดิวซ์ด้วย HTAB (n-hexadecyltrimethylammonium bromide) จะได้อนุภาคเงินระดับนาโนที่แตกต่างกัน เช่น สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยมและเส้นใย [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 อนุภาคเงินระดับนาโนจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี Tollens Method [16]

#### 2.4.5.3 Irradiation Method

เป็นการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยการฉายรังสี เช่น การให้รังสีจากเลเซอร์ หรือรังสีจากไมโครเวฟ การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยรังสีจากเลเซอร์ทำได้โดยการให้รังสีสารละลายเกลือของซิลเวอร์และสารลดแรงตึงผิว วิธีนี้ทำได้โดยไม่ต้องใช้ตัวรีดิวซ์ และเมื่อใช้พลังงานจากเลเซอร์น้อยจะได้อนุภาคเงินระดับนาโน มีขนาดประมาณ 20 นาโนเมตร และเมื่อเพิ่มพลังงานของเลเซอร์มากขึ้นจะได้อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดประมาณ 5 นาโนเมตร อนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยรังสีจากไมโครเวฟ จะมีความเสถียรประมาณ 2 เดือนที่อุณหภูมิห้อง [16]

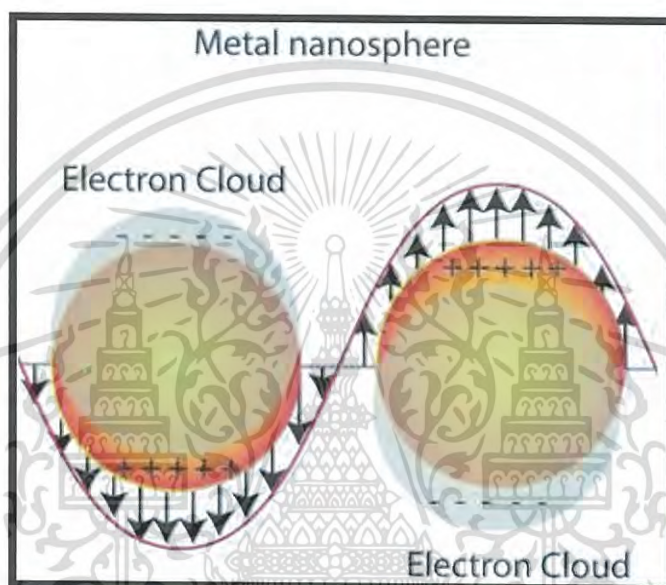
#### 2.4.5.4 Biological Method

เป็นการสกัดสารจากสิ่งมีชีวิต ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นทั้งตัวรีดิวซ์ (reducing agent) และสารรักษาเสถียรภาพในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน เช่น การใช้สารสกัดจากพืช เป็นต้น พืชที่นิยมใช้คือ alfalfa โดยพืชชนิดนี้สามารถใช้เป็น reducing agent และสารเพิ่มความคงตัวในได้เวลาเดียวกัน เมื่อนำสารละลายซิลเวอร์ในเตรทกับสารสกัดจากพืช แล้วนำไปให้ความร้อนนาน 2 ชั่วโมง ก็จะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน [16]

### 2.5 Surface Plasmon Resonance (SPR)

เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ คือปรากฏการณ์เชิงแสงที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอิเล็กตรอนที่อยู่ในโลหะที่มีขนาดระดับนาโน หรือกล่าวได้ว่าเมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกมาตกกระทบโลหะ กลุ่มอิเล็กตรอนที่ถูกจำกัดอยู่ในอนุภาคระดับนาโน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเกิดการสั่นรวม (collective oscillation) และเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอก มีความยาวคลื่น เดียวกันกับความยาวคลื่นที่อิเล็กตรอนสั่นในอนุภาคนาโน จะทำให้เกิดการก่อกำทอนขึ้นซึ่งอันตร กิริยาที่แสงกระทำต่อโลหะจะเกิดได้สองแบบคือ แสงจะตกกระทบและสะท้อนออกไปด้วยความ ยาวคลื่นเท่าเดิมทุกทิศทาง เรียกว่าการกระเจิง (scattering) และในขณะเดียวกัน บางโฟตอนก็จะ ถูกดูดกลืนและถูกเปลี่ยน ไปเป็นพลังงานการสั่น ซึ่งเรียกว่าการดูดกลืนแสง (absorption) ซึ่ง โดยทั่วไปแล้ว โครงสร้างระดับนาโนจะเกิดทั้งกระบวนการกระเจิงแสงและการดูดกลืนแสง ซึ่ง คุณสมบัติเหล่านี้ จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคนาโน [17]



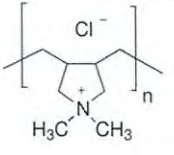
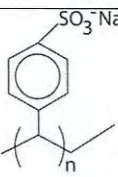
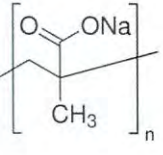
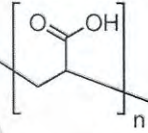
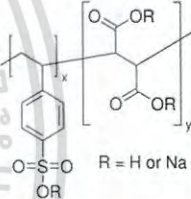
รูปที่ 2.17 การเกิดเซอร์พลาสมอนเรโซแนนซ์

โดยแสดงการสั่นของกลุ่มอิเล็กตรอนในแถบเหนี่ยวนำเมื่อมีแสงจากภายนอกส่องผ่าน [17]

## 2.6 พอลิเมอร์ที่มีประจุ (Polyelectrolytes, PE)

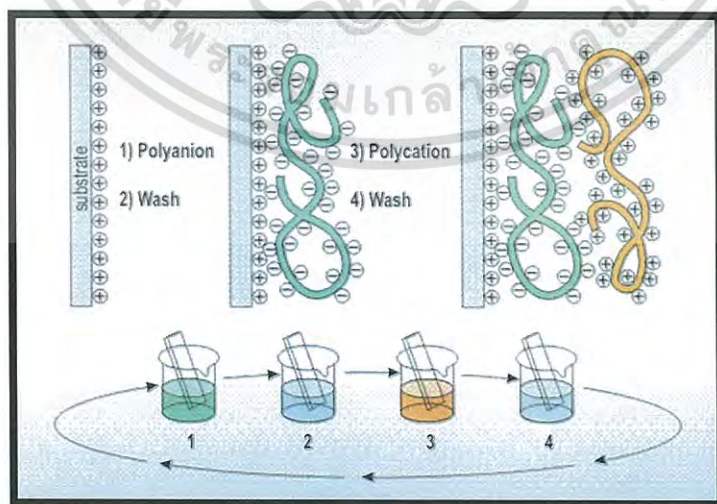
พอลิเมอร์ที่มีประจุ คือกลุ่มของสาร โมเลกุลใหญ่ที่สามารถแตกตัวได้เมื่ออยู่ในของเหลว เกิดเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ การศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนพอลิอิเล็กโทรไลต์ทำได้ โดยการนำสารที่มีประจุบวกและประจุลบมารวมกัน ทำให้เกิดการตกตะกอน ได้ตะกอนที่ไม่ละลาย พบว่าพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดเกิดจาก coulomb interaction ที่แข็งแรง แต่ใน บางกรณีการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน พอลิอิเล็กโทรไลต์สามารถเกิดได้จากพันธะไอออนิกที่ไม่ แข็งแรง (weak ionic interaction) ได้เช่นกัน [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของประจุ	ชื่อเต็ม	ชื่อย่อ	โครงสร้าง
Cation	Poly(diallyldimethylammonium chloride)	PDAD	
Anion	Poly(styrenesulfonic acid), sodium salt	PSS	
	Poly(methacrylic acid sodium salt)	PMA	
	Poly(acrylic acid)	PAA	
	Poly(4-styrenesulfonic acid-co-maleic acid) sodium salt	CoPSS	

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างชนิดของพอลิเมอร์ที่มีประจุ [19-23]

## 2.7 การเคลือบผิวหน้าวัสดุด้วยวิธีการเคลือบชั้นต่อชั้น (Layer By Layer, LbL)



รูปที่ 2.18 แสดงขั้นตอนการเคลือบผิวหน้าวัสดุด้วยวิธีการเคลือบชั้นต่อชั้น (LbL) [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเทคนิคการสร้างประจุเป็นชั้นต่อชั้นลงบนพื้นผิวของวัสดุ โดยอาศัยการเคลือบลงบนวัสดุ โดยประจุที่เคลือบจะจัดเรียงตัวเอง ทั้งนี้ความหนาของชั้นจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น จำนวนเวลาที่ใช้ในการเคลือบ, ความเข้มข้นของสารตั้งต้น, การกระจายตัวของสาร, ชนิดของสารที่มีประจุ, จำนวนชั้นในการเคลือบ เป็นต้น เทคนิคจะเป็นที่จะต้องทำการศึกษาชนิดของวัสดุ ตลอดจนโครงสร้างของวัสดุที่ใส่รองรับประจุอีกด้วย

เทคนิคนี้นับว่าเป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่ใช้ประยุกต์ได้หลากหลาย เพราะไม่ซับซ้อน, ต้นทุนในการทำต่ำ เป็นต้น [24]

## 2.8 เชื้อจุลินทรีย์

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ประกอบด้วยเซลล์เดียว (Unicellular) หรือหลายเซลล์ (Multicellular) แต่ทว่าเซลล์เหล่านั้นต่างก็เป็นเซลล์ชนิดเดียวกันและมีรูปร่างเหมือนกัน ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของเซลล์เพื่อทำหน้าที่เฉพาะเหมือนในสิ่งมีชีวิตชั้นสูง จุลินทรีย์สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆตามประเภทของเซลล์ คือ 1. โปรคาริโอต คือ ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส เช่น แบคทีเรีย และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน 2. ยูคาริโอต คือ มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส เช่น เชื้อรา โปรโตซัว และสาหร่ายต่างๆ ยกเว้นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน [25]

ประเภทของจุลินทรีย์มี 5 ประเภท ได้แก่

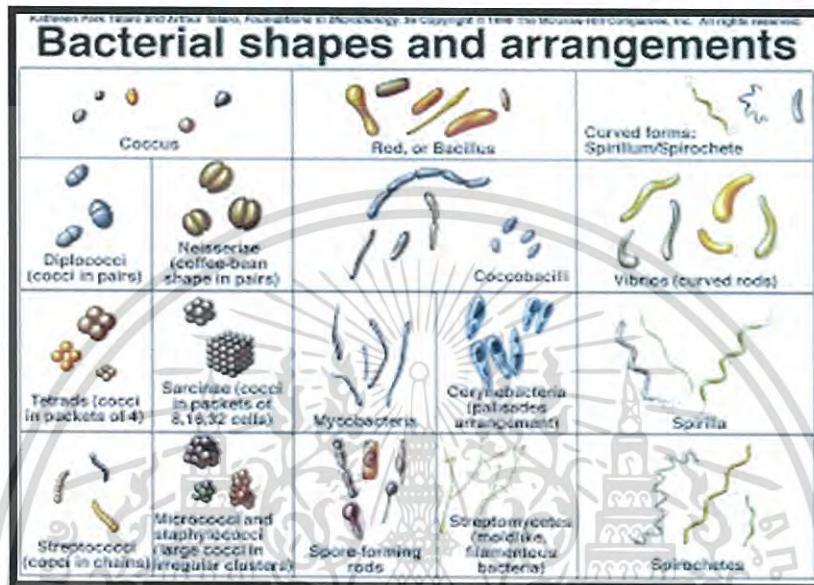
1. แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่มีขนาดเล็กมาก ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงส่องดู แบคทีเรียประกอบด้วยเซลล์เพียงเซลล์เดียว และเป็นพวกโปรคาริโอต มีผนังเซลล์ที่คงรูป (Rigid cell wall) ทำให้แบคทีเรียรักษารูปร่างได้ แบคทีเรียมีรูปร่างได้หลายแบบมีเพศและไม่มีเพศ โดยแบบมีเพศเกิดจากการรวมตัวของเซลล์ 2 เซลล์ ส่วนการสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศโดยทั่วไปเป็นแบบ Binary fission หรือเป็นแบบการแตกหน่อ (Budding) แบคทีเรียสามารถพบได้ทั่วไปไม่ว่าจะเป็นดิน น้ำ อากาศ มีทั้งชนิดที่ให้ประโยชน์และบางชนิดก็เป็นโทษ [25]

แบคทีเรียสามารถแบ่งได้หลายแบบ เช่น

- แบ่งตามการติดสีย้อมแกรม (Gram stain) ถ้าติดสีน้ำเงินเรียกว่าแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (Gram positive bacteria) ถ้าติดสีแดงเรียกว่าแบคทีเรียชนิด แกรมลบ (Gram negative bacteria)
- แบ่งตามรูปร่างของแบคทีเรีย เช่น แบคทีเรียรูปร่างกลมเรียกว่า คอคคัส (Coccus) แบคทีเรียรูปร่างเป็นแท่งเรียกว่า บาซิลลัส (Bacillus)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

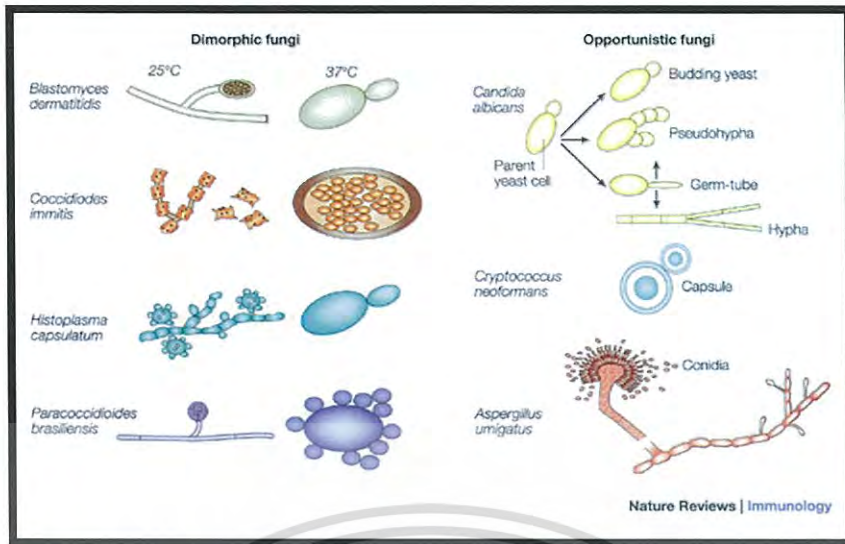
- แบ่งตามการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย แบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต เรียกว่า แอโรบิกแบคทีเรีย (Aerobic bacteria) แบคทีเรียที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการดำรงชีวิต เรียกว่า แอนแอโรบิกแบคทีเรีย (Anaerobic bacteria) [26] ตัวอย่างของแบคทีเรีย เช่น *Bacillus* spp. *Lactobacillus* spp. *Streptococcus* spp. *Staphylococcus* spp. *Escherichia coli* *Proteus vulgaris* *Spirillum* spp. และ *Streptomyces* spp. เป็นต้น [25]



รูปที่ 2.19 แสดงรูปร่างของแบคทีเรีย [25]

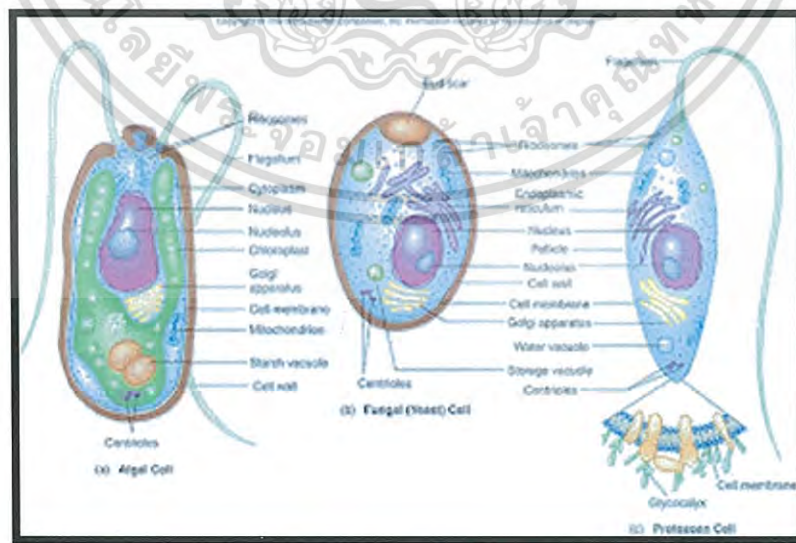
2. เชื้อรา (Fungi) เป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์แบบยูคาริโอต มีทั้งชนิดเซลล์เดียวคือยีสต์ (Yeast) ซึ่งส่วนใหญ่สืบพันธุ์ โดยการแตกหน่อ และหลายเซลล์ซึ่งได้แก่ รา (Mold) โดยมีรูปร่างเป็นเส้นใย (Filamentous) เส้นใยมีทั้งแบบมีผนังกันและไม่มีผนังกัน ผนังเซลล์ของเชื้อราแตกต่างจากผนังเซลล์ของแบคทีเรียขนาดและรูปร่างของเชื้อราแตกต่างกันไป เชื้อราเจริญได้ดีในที่ที่มีความเป็นกรดสูง ราทุกชนิดเป็นพวกที่ต้องการอากาศส่วนใหญ่ชอบอุณหภูมิปานกลาง สืบพันธุ์ได้ทั้งแบบมีเพศและไม่มีเพศ ตัวอย่างของเชื้อราพวกที่เป็นเซลล์เดียว เช่น ยีส *Saccharomyces cerevisiae* ส่วนพวกหลายเซลล์ที่เป็นเส้นใย เช่น *Rhizopus* spp. *Aspergillus* spp. *Penicillium* spp. และเห็ด เช่น เห็ดฟาง *Volvariella volvacea* เป็นต้น [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงรูปร่างและชนิดของเชื้อรา [25]

3. โปรโตซัว (Protozoa) ลักษณะเซลล์เป็นเซลล์เดี่ยวและเป็นพหุยูคาริโอตแต่ไม่มีผนังเซลล์ เป็นจุลินทรีย์ที่มีวิวัฒนาการของเซลล์ไปมากที่สุด การแพร่พันธุ์มีทั้งแบบใช้เพศและไม่ใช้เพศ โดยแบบไม่มีเพศอาจจะเป็น Binary fission การแตกหน่อ หรือการสร้างสปอร์ เป็นต้น สามารถเคลื่อนที่ได้ในบางช่วงของวงจรชีวิต ขนาดและรูปร่างของโปรโตซัวมีความแตกต่างกันมาก เช่น รูปกลม รูปไข่ รูปแท่งหรือท่อน บางชนิดมีรูปร่างหลายแบบในช่วงการเจริญ บางชนิดเห็นได้ด้วยตาเปล่า พบได้ทั่วไปในดิน น้ำ อากาศ และในสิ่งมีชีวิต ปกติโปรโตซัวกินแบคทีเรียเป็นอาหาร ดังนั้นบริเวณที่มีแบคทีเรียมากย่อมมีโปรโตซัวมาก [25]



รูปที่ 2.21 แสดงรูปร่างของโปรโตซัว [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

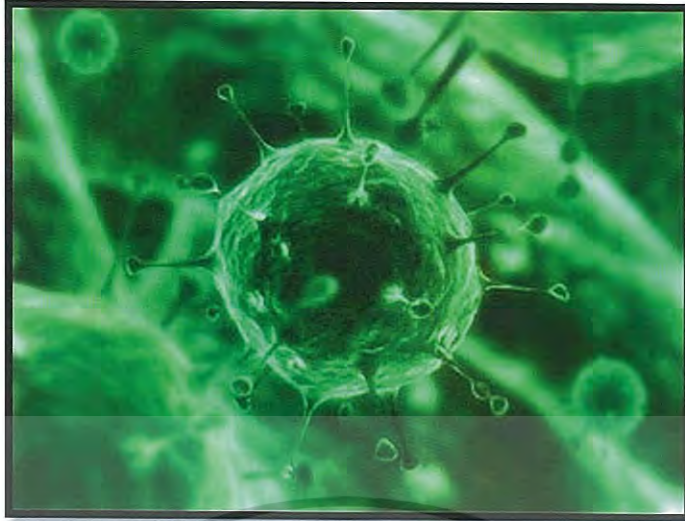
4. สาหร่าย (Algae) เป็นจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์แสงได้เหมือนพืชชั้นสูง เพราะมีคลอโรพิลล์ นอกจากนี้ยังมีรงควัตถุ (Pigment) อื่นๆอีก ทำให้สาหร่ายมีสีต่างๆกันไป เช่น สีเขียว สีแดง สีน้ำตาล สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะสำคัญในการจัดจำแนกหมวดหมู่ของสาหร่าย หรืออาจใช้ประเภทของคลอโรพิลล์ในการจัดจำแนกก็ได้เช่นกัน ลักษณะของเซลล์เป็นพวุกยูคาริโอต มีทั้งพวกที่เป็นเซลล์เดี่ยวมีขนาดเล็กต้องส่องดูด้วยกล้อง บางชนิดมีหลายเซลล์ขนาดใหญ่อาจยาวถึง 100 ฟุต ลักษณะรูปร่างต่างกันไป เช่น รูปกลม รูปท่อน รูปเกลียว รูปแฉก รูปกระสวย บางชนิดเซลล์อาจอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเช่น Volvox ต่อกันเป็นสาย เช่น Anabaena เรียงกันเป็นแผ่น เช่น Ulva การสืบพันธุ์มีทั้งแบบมีเพศและไม่มีเพศ [25]



รูปที่ 2.22 แสดงรูปร่างของสาหร่าย [25]

5. ไวรัส (Virus) ไม่สามารถจัดเป็นเซลล์ได้ เพราะขาดโครงสร้างและองค์ประกอบของเซลล์อีกทั้งไม่สามารถอาศัยอยู่ได้อย่างอิสระได้ จำเป็นต้องอาศัยอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่นๆ เพื่อดำรงชีวิตและเพื่อการเพิ่มจำนวนเรียกลักษณะนี้ว่า Obligate intracellular parasite โครงสร้างของไวรัสจะประกอบด้วยกรดนิวคลีอิกที่เป็น DNA หรือ RNA เพียงอย่างเดียวหนึ่งเท่านั้น และมีโปรตีนที่เรียกว่า Capsid หุ้มอยู่ นอกจากนี้อาจมีเยื่อหุ้มที่เรียกว่า Envelope ไวรัสมีขนาดเล็กมาก ประมาณ 20-25 นาโนเมตร จนถึง 200-300 นาโนเมตร จึงไม่สามารถมองเห็นด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา หากแต่ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ตามธรรมชาติพบได้ทั่วไปโดยอาศัยอยู่กับเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ไม่ว่าจะเป็นพืช สัตว์ หรือมนุษย์ ตลอดจนจุลินทรีย์ [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แสดงรูปร่างของไวรัส [25]

## 2.9 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา

### 2.9.1 *Staphylococcus aureus*

*Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) มีการจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์โดยจัดอยู่ในอาณาจักร Eubacteria ฟิลัม Firmicutes ชั้น Bacilli อันดับ Bacillales วงศ์ Staphylococcaceae สกุล *Staphylococcus* [27] เป็นแบคทีเรียที่มีลักษณะกลม เรียงตัวเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น (รูปที่ 2.24) หรือเป็นคู่ หรือเป็นสายสั้นๆ เป็นแบคทีเรียแกรมบวก โคลินิมีสีเหลืองหรือสีทอง ไม่สร้างสปอร์ ไม่เคลื่อนไหว ส่วนใหญ่ไม่มีแคปซูล และในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะสลายน้ำตาลกลูโคสให้กรดอินทรีย์ จัดอยู่ในกลุ่ม facultative anaerobe คือเจริญได้ในที่มีอากาศและไม่มีอากาศ แต่เจริญได้ดีกว่าในสภาวะที่มีอากาศ *Staphylococcus aureus* สร้างสารพิษ (toxin) ชนิดเอนโทโรทอกซิน (enterotoxin) สารพิษที่สร้างมีสมบัติพิเศษ คือ ทนความร้อน



รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะของ *Staphylococcus aureus* [27]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Staphylococcus aureus* เจริญได้ในช่วงอุณหภูมิ 6-46 องศาเซลเซียส โดยมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30-37 องศาเซลเซียส สร้างสารพิษได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 10 องศาเซลเซียส เจริญได้อยู่ในช่วงค่า pH 4.0-10.0 โดยมีช่วงที่เหมาะสมคือ 7.0-7.5 วอเตอร์แอกทิวิตี (water activity, aw) ต่ำสุดที่ *Staphylococcus aureus* สามารถเจริญได้ คือ 0.85 แต่ถ้าวอเตอร์แอกทิวิตีต่ำกว่า 0.94 จะเจริญได้อย่างช้าๆ สามารถทนเกลือสูงถึง 15-18% และทนต่อการฉายรังสี (food irradiation) [26]

*Staphylococcus aureus* ทำให้เกิดโรคอาหารเป็นพิษ ชนิด intoxication ซึ่งเกิดจากบริโภคอาหารที่มีสารพิษ enterotoxin ที่เชื้อสร้างขึ้น ปนเปื้อนในปริมาณน้อยกว่า 1 ไมโครกรัม จะสามารถทำให้เกิดอาการเจ็บป่วยได้ มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน วิงเวียน เป็นตะคริวในช่องท้องและอ่อนเพลีย ผู้ป่วยบางรายอาจมีอาการปวดศีรษะ เป็นตะคริวที่กล้ามเนื้อ และมีการเปลี่ยนแปลงความดันโลหิตเป็นระยะๆ รวมทั้งอาจมีการเดินของชีพจรผิดปกติ ซึ่งโดยทั่วไปอาการจะดีขึ้นภายใน 2-3 วัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพความต้านทานสารพิษของร่างกาย ปริมาณการปนเปื้อนของเชื้อในอาหารและปริมาณสารพิษที่สร้างขึ้นในอาหาร รวมทั้งสภาพร่างกายโดยทั่วไปของผู้ที่ได้รับเชื้อมด้วย

### 2.9.2 *Pseudomonas aeruginosa*

*Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) มีการจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์โดยจัดอยู่ในอาณาจักร Bacteria ไฟลัม Proteobacteria ชั้น Gamma Proteobacteria อันดับ Pseudomonadales วงศ์ Pseudomonadaceae สกุล *Pseudomonas* ชนิด *Pseudomonas aeruginosa* [28] เป็นแบคทีเรียรูปท่อน แกรมลบ เคลื่อนที่ได้ บางชนิดสร้างรงควัตถุที่ละลายน้ำได้ ดำรงชีวิตอย่างอิสระ ลักษณะเด่นของเชื้อ *P. aeruginosa* คือกลิ่นที่พิเศษเฉพาะของเชื้อคล้ายกลิ่นอู่น้ำและเจริญได้ดีในอุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส และในที่มีออกซิเจนมากกว่าไม่มีออกซิเจน [30] อยู่ในที่ชื้นบางชนิดเป็นเชื้อก่อโรคกับพืช แมลง และสัตว์ มีเพียงไม่กี่ชนิดที่ก่อโรคกับคน *pseudomonas* มักเป็นเชื้อฉวยโอกาส (opportunities) ที่ทำให้เกิดโรคในคนไข้ที่ภูมิคุ้มกันผิดปกติ และเกิดอาการรุนแรงในคนไข้ที่แผลไฟไหม้และคนไข้ที่สวนท่อปัสสาวะ โรคที่เกิดขึ้นในคนพบว่าส่วนใหญ่เกิดจาก *P.aeruginosa* [29]



รูปที่ 2.25 แสดงลักษณะของ *Pseudomonas aeruginosa* [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.9.3 *Candida albicans*

*Candida albicans* (*C. albicans*) มีการจำแนกชั้นทางวิทยาศาสตร์โดยจัดอยู่ในอาณาจักร Fungi ไฟลัม Ascomycota ชั้น Saccharomycetes อันดับ Saccharomycetales วงศ์ Saccharomycetaceae สกุล *Candida* [31] เป็น ยีสต์มีขนาด ตั้งแต่ 3-7 ไมครอน เพิ่มจำนวนด้วยการแตกหน่อ (budding) ความสามารถในการแตกหน่อขึ้นกับปัจจัยสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเพิ่มจำนวน ที่ 37 องศาเซลเซียส รูปร่างของสาหร่าย (hypha) เป็นแบบมีผนังกั้นขวาง (septate hyphae) ขนาดความกว้าง 4-8 ไมครอน เชื้อนี้สามารถ แปลงรูปไปเป็น สาหร่ายเทียม (pseudohypha) โดยมีปัจจัยเกี่ยวข้องหลายอย่าง อาทิ สภาพแวดล้อมในเนื้อเยื่อที่มันอยู่, ระดับความเป็นกรด-ด่าง, ปริมาณ และชนิดของสารอาหาร เป็นต้น [32]



รูปที่ 2.26 แสดงลักษณะของ *Candida albicans* [32]

### 2.10 แอมโมเนีย

แอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) เป็นก๊าซไม่มีสีที่อุณหภูมิและความดันปกติ กลิ่นฉุนคล้ายปัสสาวะรุนแรงมาก น้ำหนักโมเลกุล 17.03 จุดเยือกแข็ง  $-77.70$  องศาเซลเซียส จุดเดือด  $-33.4$  องศาเซลเซียส เมื่ออัดด้วยความดันสูงจะกลายเป็นของเหลว หากปล่อยให้ระเหยจะดูดความร้อน จึงใช้ก๊าซแอมโมเนียในอุปกรณ์ทำความเย็นได้ แอมโมเนียละลายน้ำได้ดี ได้สารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นสูงสุดในน้ำ ประมาณร้อยละ 25-29 และความเข้มข้นร้อยละ 10 ใช้สำหรับเป็นยาประจำบ้าน ก๊าซชนิดนี้ติดไฟได้เองที่อุณหภูมิ 651 องศาเซลเซียส

ปัจจุบันนิยมใช้ก๊าซแอมโมเนียกับอุปกรณ์ทำความเย็นขนาดใหญ่ เช่น โกดัง ห้องเย็นเก็บอาหารแช่แข็ง โรงทำน้ำแข็ง เป็นต้น แอมโมเนียหรือแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ ใช้ผลิตปุ๋ยเคมีสำหรับเกษตรกรรม สารเคมี พลาสติก วัตถุเสพติด กรดไนตริก สารเคมีกำจัดศัตรูพืช น้ำยาล้างกระจก และผงซักฟอก เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เกิดจากการสูดดม การสัมผัสและการกลืนกิน โดยอุบัติเหตุทั้งแอมโมเนีย และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ในปริมาณที่มากพอ สามารถทำลายเซลล์โดยตรงเนื่องจากความเป็นด่างของสาร ทำให้ระคายเคืองและเจ็บปวดรุนแรงเมื่อสารถูกเยื่อเมือก แอมโมเนียจะทำปฏิกิริยาเป็นเกลือและใช้สังเคราะห์ยูเรีย (Urea) ในร่างกายพิษส่วนใหญ่เกิดจากการสูดดมไอระเหยของก๊าซ ที่ความเข้มข้น 1,000 ppm จะระคายเคืองตาและทางเดินหายใจส่วนบน ทำให้ไอ อาเจียน เยื่อเยื่อในปาก คอ และจมูกแดง ถ้ามากกว่า 1,000 ppm ทำให้ริมฝีปากบวม ตาบอดชั่วคราว กระจกตาเยื่อเมือกหนาขึ้น ซีดเขียว หัวใจเต้นอ่อนและเร็วพิษจากการสัมผัส คือ ปวดร้อน ผิวหนังถูกทำลาย หากเข้าตาจะมีอาการปวดรุนแรง ตาขาวบวม และตาตำน้ำมูกการกลืนกิน พิษไม่รุนแรงเท่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีอาการปวดรุนแรงในปาก หนอง และท้อง ไอ อาเจียน สลอบ ระคายเคืองปอด อาจมีปอดบวม [33]

## 2.11 กรดออกซาลิก

กรดออกซาลิก (Oxalic Acid) เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีสูตรโมเลกุล  $H_2C_2O_4$  และมีความเป็นกรดสูงกว่ากรดน้ำส้ม (Acetic Acid) 10000 เท่า เมื่ออยู่ในรูปของประจุจะเรียกว่า ออกซาเลต (oxalate) ซึ่งเป็นตัวรีดิวซ์ ที่ดีเหมือนกับหมู่ลิแกนด์ (ligand) [34] เมื่อรับประทานอาหารที่มีกรดออกซาลิกเข้าสู่ร่างกาย จะไปรวมกับแร่ธาตุอื่นกลายเป็นผลึกออกซาเลต เช่น แคลเซียมออกซาเลต โซเดียมออกซาเลต แมกนีเซียมออกซาเลต และโปแตสเซียมออกซาเลต โดยเฉพาะผลึกของแคลเซียมออกซาเลต เกิดได้ง่ายถ้าร่างกายได้รับแคลเซียม และ กรดออกซาลิกจากอาหารมากเกินไป ปริมาณ Oxalic acid ที่รับประทานได้แต่ละวันโดยไม่มีความเสี่ยงนั้นมีบอกไว้ว่าประมาณ 22 กรัม สำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 60 กิโลกรัม หรือประมาณ 378 มิลลิกรัม/น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ที่มาของกรดออกซาลิก

1. เกิดขึ้นภายในร่างกายได้เองโดยมาจากขบวนการเมทาบอลิซึมของ glyoxylic และ (unused) ascorbic acid ดังนั้นถ้าร่างกายได้รับวิตามินซีมากเกินไป (megadosers) เป็นเวลานานๆ อาจจะทำให้มีกรดออกซาลิก เพิ่มขึ้นและมีผลให้เกิดก้อนนิ่วแคลเซียมออกซาเลตในไตและกระเพาะปัสสาวะได้

2. ได้รับจากภายนอก โดยรับประทานอาหารที่มีกรดออกซาลิก เช่น ผักต่างๆ โดยเฉพาะใบยอ และ ต้นอ่อน เช่น ใบชะพลู ยอดพริกชี้ฟ้า ใบยอ ผักปิง และใบกระเจียบ ผักโขม เป็นต้น [35]

## 2.12 การประยุกต์ใช้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

### 2.12.1 การวิเคราะห์แอมโมเนียและกรดออกซาลิกด้วยอนุภาคเงินระดับนาโน

ในการวิเคราะห์แอมโมเนียและกรดออกซาลิกด้วยอนุภาคเงินระดับนาโนจะใช้คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางสีของอนุภาคเงินระดับนาโน คือ สีของสารละลายของอนุภาคเงินระดับนาโนหลังจากที่มีการเติมสารละลายแอมโมเนียและกรดออกซาลิก จะเกิดการเปลี่ยนแปลงสี

### 2.12.2 การฆ่าเชื้อแบคทีเรียด้วยอนุภาคเงินระดับนาโน

แบคทีเรียเป็นจุลชีพที่ก่อให้เกิดโรคในมนุษย์และสัตว์มากที่สุดชนิดหนึ่ง แบคทีเรียแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือแบคทีเรียแกรมบวก (Gram-positive Bacteria) และแกรมลบ (Gram-negative Bacteria) โดยแบคทีเรียแกรมบวกจะมีผนังเซลล์ที่ประกอบด้วย Peptidoglycan ที่หนาประมาณ 30 นาโนเมตร ในขณะที่แบคทีเรียแกรมลบจะมีชั้นของ Peptidoglycan หนาเพียง 2 – 3 นาโนเมตร และมี Outer membrane หุ้มอยู่ด้านนอกอีกชั้นหนึ่ง เนื่องจากแบคทีเรียแกรมลบเป็นพวกที่สามารถเจริญเติบโตในช่วงอุณหภูมิของร่างกายได้ดีกว่าแบคทีเรียแกรมบวก ดังนั้นแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุของโรคที่เกิดกับคนส่วนใหญ่จึงมีสาเหตุมาจากแบคทีเรียแกรมลบ

การฆ่าเชื้อด้วยอนุภาคเงินระดับนาโน เกิดขึ้นจากการที่อนุภาคเงินระดับนาโนเกาะบนผนังของเชื้อแบคทีเรียและแทรกเข้าไปภายใน โดยไปเกาะกับหมู่ซัลไฟไฮไดรล (Sulphydryl, -SH) ของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่เผาผลาญออกซิเจนและพลังงาน (Oxygenic metabolic enzymes) ทำให้ไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์และทำให้เชื้อแบคทีเรียขาดอาหารและตายในที่สุด [36]

## 2.13 ความปลอดภัยของอนุภาคเงินระดับนาโน

อนุภาคเงินระดับนาโนในปัจจุบัน พบได้มากขึ้นในผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การบรรจุหีบห่ออาหาร สิ่งทอที่ต้านทานการเกิดกลิ่น อุปกรณ์เครื่องใช้ในบ้าน และอุปกรณ์ทางการแพทย์ รวมถึงผ้าปิดแผล เมื่อไม่นานมานี้มีการตระหนักถึงความเสี่ยงของอนุภาคเงินระดับนาโนต่อการเป็นพิษต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม มีความเป็นไปได้ที่อนุภาคเงินระดับนาโนจะส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในดินและน้ำ หรือทำให้แบคทีเรียที่มีโทษเกิดการต้านทานในการยับยั้งต่ออนุภาคเงินระดับนาโน

ด้วยเหตุที่อนุภาคเงินระดับนาโนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ จึงเป็นไปได้ว่าอนุภาคเงินระดับนาโนอาจทำลายแบคทีเรียที่มีประโยชน์ที่อยู่ในระบบนิเวศน์ ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียในดินที่มีบทบาทสำคัญในการตรึงไนโตรเจนและย่อยสลายสารอินทรีย์ แบคทีเรียที่ช่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกินไป นอกจากนี้แบคทีเรียก่อให้เกิดความสัมพันธ์ในการอยู่ร่วมกันกับสัตว์ตั้งแต่แมลงจนถึงมนุษย์ แบคทีเรียหลายชนิดช่วยในเรื่องการย่อยอาหารให้กับสัตว์ที่มันอาศัยอยู่ และบางชนิดยังทำหน้าที่มากกว่านั้น แบคทีเรียบางชนิดผลิตสารปฏิชีวนะช่วยป้องกันตัวต่อจากโรคที่เกิดจากเชื้อรา แบคทีเรียบางชนิดผลิตแสงได้ซึ่งช่วยปลาหมึกฮาวายในการพรางตัวจากศัตรู

สำหรับแบคทีเรียที่มีโทษ มีความเป็นไปได้ว่าอนุภาคเงินระดับนาโนอาจเพิ่มความต้านทานในการฆ่าเชื้อของแบคทีเรียที่เป็นอันตรายได้ และอาจต้านทานต่อยาฆ่าเชื้อที่มีอยู่ในปัจจุบันด้วย

อนุภาคเงินระดับนาโนก็เป็นอันตรายอย่างมากต่อปลา สาหร่าย สัตว์น้ำพวกกุ้ง ปู พืชบางชนิด รา และแบคทีเรีย อนุภาคเงินระดับนาโนยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ด้วยระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าโลหะหนักชนิดอื่นๆ และความเป็นพิษของอนุภาคเงินระดับนาโนมากกว่าอนุภาคเงิน อนุภาคเงินมีความเป็นพิษสูงกว่าโลหะอื่นที่อยู่ในรูปของอนุภาคเงินระดับนาโน เหมือนกันการศึกษาในหลอดทดลอง (In vitro) แสดงให้เห็นว่าอนุภาคเงินระดับนาโนมีความเป็นพิษต่อเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมไม่ว่าจะเป็นเซลล์ตับ สเต็มเซลล์ และแม้แต่เซลล์สมอง

ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากอนุภาคเงินระดับนาโน ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ จึงควรศึกษาข้อมูลด้านอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นด้านพิษวิทยา หรือด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้แน่ชัดเสียก่อน [37]

## 2.14 เครื่องมือในการวิเคราะห์

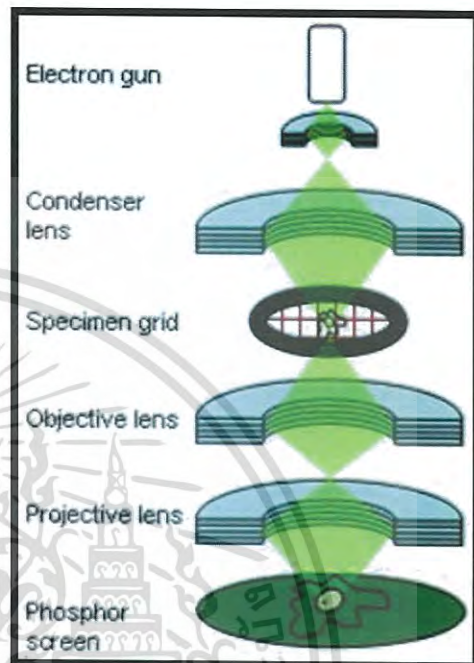
### 2.14.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM)

หลักการการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านนั้น จะอาศัยลำแสงอิเล็กตรอนวิ่งไปชนกับวัตถุที่ต้องการจะส่อง โดยอาศัยการป้อนพลังงานไฟฟ้าไปยังขดลวดที่เป็นขั้วแคโทด เมื่อพลังงานมากพอ อิเล็กตรอนจะถูกปลดปล่อยออกมา แต่เนื่องจากอิเล็กตรอนเป็นขั้วประจุไฟฟ้า มันก็จะวิ่งเข้าไปหาอนุภาคที่มีขั้วประจุต่างกันเช่นในอากาศ ทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถวิ่งเข้าไปชนเป้าชิ้นตัวอย่างหรือ sample ได้ ดังนั้นภายในกล้องจุลทรรศน์จะต้องทำให้เป็นระบบสุญญากาศ และจะมี Condenser เป็นตัวเพิ่มความเข้มแสง ซึ่งจะใช้เป็นขดลวดพันรอบแท่งเหล็ก เพื่อเหนี่ยวนำให้ทิศทางของลำอิเล็กตรอนอยู่ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจะให้เกิดความเข้มของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออนุภาคหรือลำแสงอิเล็กตรอนสามารถวิ่งไปชนวัตถุหรือชิ้นงาน แสงก็จะถูกดูดกลืน และลำแสงส่วนที่เหลือก็จะสามารถทะลุผ่านชิ้นวัตถุไปยัง เลนส์วัตถุ Objective Len หลังจากนั้นทางด้านล่างของเลนส์วัตถุจะมีระบบเลนส์ต่างๆเพื่อแยกการมองออก เป็นสองเส้นทาง ทำให้ได้ภาพเป็นสองมิติ โดย Fluorescence screen จะเป็นฉากรับภาพ

- 1.แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนมาจาก electron gun
- 2.อิเล็กตรอนที่ได้จะผ่าน condenser lens เพื่อรวมแสงให้ตกกระทบมายังตัวอย่างที่ตัดเป็นแผ่นบาง ๆ
- 3.ลำอิเล็กตรอนผ่านตัวอย่างไปยัง objective lens และ intermediate lens ซึ่งทำหน้าที่ในการขยายภาพ
- 4.ถูกขยายต่อโดย projector lens
- 5.ฉายภาพขยายลงบนฉากเรืองแสง (screen) หรือแผ่นฟิล์ม [38]



รูปที่ 2.27 แสดงหลักการการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) [39]



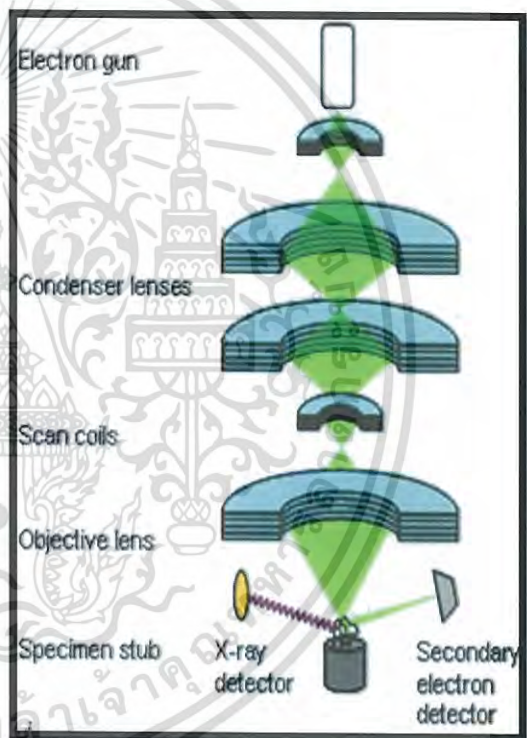
รูปที่ 2.28 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน(TEM) [39]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.14.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดนั้นภายในคอลัมน์ (column) ของเครื่องจะมีแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun) ซึ่งทำหน้าที่ปลดปล่อยอิเล็กตรอนออกมา (primary electron) เราจะควบคุมจำนวนอิเล็กตรอนนั้นด้วยศักย์ไฟฟ้าสูง ๆ (high voltage) และใช้เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic lens) โฟกัสให้อิเล็กตรอนนั้นตกกระทบชิ้นงาน และเมื่ออิเล็กตรอนตกกระทบชิ้นงานจะเกิดอันตรกิริยา (interaction) ได้สัญญาณแบบต่าง ๆ เช่น สัญญาณจากอิเล็กตรอนในชิ้นงานที่หลุดออกมา (secondary electron) อิเล็กตรอนที่กระดอนกลับ (bacscattered electron) หรือ x-ray สัญญาณแต่ละชนิดจะถูกจับโดย detector และแปลผลเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า และแปลเป็นภาพในที่สุด

1. Electron gun ทำหน้าที่ผลิตกลุ่มอิเล็กตรอน
2. กลุ่มอิเล็กตรอนผ่าน condenser lens กลายเป็นลำอิเล็กตรอน
3. ลำอิเล็กตรอนจะผ่าน objective lens
4. ลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนผิวของชิ้นงาน เกิด secondary electron
5. สัญญาณจาก secondary electron ถูกแปลงไปเป็นสัญญาณปรากฏภาพบนจอรับภาพ (CRT) [38]



รูปที่ 2.29 แสดงหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) [39]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) [39]

### 2.14.3 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Ultraviolet and Visible Spectroscopy, UV-Vis Spectroscopy)

เทคนิคการวิเคราะห์สารโดยใช้หลักการดูดกลืนแสงที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิล ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-1,000 นาโนเมตร โดยนำสารตัวอย่างใส่ในเซลล์ควอร์ต แล้ววางในบริเวณใกล้แหล่งกำเนิดแสง สารตัวอย่างจะดูดกลืนรังสี หรือแสงบางส่วนไว้ แสงที่ไม่ดูดกลืนจะผ่านออกมายังเครื่องวัดแสง (photomultiplier tube) เครื่องวัดแสงจะทำการวัดปริมาณแสงที่ออกมา โดยการหักล้างกับปริมาณของแสงก่อนดูดกลืน จากนั้นจะทำการประมวลผลเป็น curve หรือสเปกตรัม ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) และค่าความยาวคลื่น [40]



รูปที่ 2.31 แสดงเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectroscopy) [41]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.14.4 เครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า (Zeta sizer : ζ)

ค่าศักย์ซีต้าคือค่าความต่างศักย์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าบริเวณพื้นผิวอนุภาคกับศักย์ไฟฟ้าในชั้นสารละลาย ซึ่งค่าศักย์ซีต้าที่ได้สามารถทำนายค่าความคงตัวของการกระจายตัวของอนุภาคได้ อนุภาคที่มีค่าศักย์ซีต้าเป็นบวกหรือลบมากจะเกิดการหักล้างต่อกันเกิดเสถียรภาพการกระจายตัว แต่ออนุภาคที่มีค่าศักย์ซีต้าเป็นบวกหรือลบน้อย ทำให้ไม่มีแรงป้องกันอนุภาคอื่นที่เข้ามา ดังนั้นจึงไม่เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวหรือเกิดการรวมกัน และที่สำคัญคือตรวจวัดวิเคราะห์ได้ในช่วงระยะที่กว้างมาก (0.3 nm ~ 8 μm) ทั้งยังมีสมรรถนะสูงอีกด้วย

หลักการทำงานของเครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า คือการวัดอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคเมื่อทำให้อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้า โดยใช้ Laser Doppler Velocimetry (LDV) โดยเครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า ค่าศักย์ซีต้าขึ้นกับค่าพีเอช (pH) {ที่ pH ต่ำ: มีประจุบวกจาก  $H^+$  มากเกินไป Zeta Potential เป็นค่าบวก ที่ pH สูง: มีประจุลบจาก  $OH^-$  มากเกินไป Zeta Potential เป็นค่าลบ} ซึ่งอนุภาคแขวนลอยจะเสถียร เมื่อศักย์ซีต้ามีค่ามากกว่า +30 มิลลิโวลต์ หรือน้อยกว่า -30 มิลลิโวลต์ ถ้าศักย์ซีต้ามีอยู่ในค่าช่วง -30 ถึง 30 มิลลิโวลต์ หรือประมาณศูนย์ สารแขวนลอยจะไม่เสถียร จะมีการเกาะตัวกันเป็นก้อนและตกตะกอน เรียกจุดที่ศักย์ซีต้า เท่ากับศูนย์ว่า "Isoelectric point" [42]



รูปที่ 2.32 (ซ้าย) แสดงแนวโน้มความเสถียรของอนุภาคแขวนลอย [44]

รูปที่ 2.33 (ขวา) แสดงเครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า [44]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.15 บทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.15.1 เคมีสีเขียวของการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้สารสกัดจากใบบานไม่รู้โรยฝรั่งที่อุดมภูมิห้องและการออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย

ในปี ค.ศ. 2014 Deenadayalan Ashok Kumar, V. Palanichamy, Selvaraj Mohanaroopan ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้สารละลายที่สกัดได้จากใบบานไม่รู้โรยฝรั่ง (*Alternanthera dentate leaf*) ในการรีดิวซ์ไอออนของเงินให้เป็นอนุภาคเงินในระดับนาโน ในการวิจัยได้ทำการยืนยันข้อมูลของอนุภาคเงินในระดับนาโนด้วย Surface Plasmon Resonance (SPR) ที่ 430 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง UV-visible spectrophotometer การสังเคราะห์อนุภาคนาโนในครั้งนี้ ได้ศึกษาคุณลักษณะของอนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้เครื่อง UV-visible spectrophotometer พบว่ามี SPR ที่ 430 นาโนเมตร เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) เครื่อง X-ray Diffraction (XRD) เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) และ เครื่อง Transmission Electron Microscope (TEM) พบว่าอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอยู่ในช่วง 50-100 nm วิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถสังเคราะห์ได้ที่อุดมภูมิห้อง รวดเร็ว ง่าย ถูก และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สารละลายคอลลอยด์ของอนุภาคเงินในระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีความเสถียรมากกว่า 4 เดือน และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ชนิดแกรมลบ เช่น *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumonia*, *Pseudomonas aeruginosa*, และ *Enterococcus faecalis*. [45]

### 2.15.2 เคมีสีเขียวของการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน โดยใช้สารสกัดจากฝิ่นหนามและการประเมินผลการออกฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย

ในปี ค.ศ. 2010 Nitin Khandelwal และคณะ ได้เห็นถึงความต้องการทางการค้าในด้านนาโนเทคโนโลยี เนื่องจากอนุภาคนาโนสามารถใช้งานได้กว้างขวาง เช่น อิเล็กทรอนิกส์ ตัวเร่งปฏิกิริยาเคมี ด้านเคมี ด้านพลังงาน ด้านการแพทย์ การสังเคราะห์อนุภาคนาโนแบบดั้งเดิมนั้น จะใช้เทคนิคเคมีแบบเปียก ซึ่งการสังเคราะห์โดยใช้สารเคมีนั้นค่อนข้างจะใช้สารที่เป็นพิษและสามารถติดไฟได้ ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้เทคนิคที่มีราคาถูก มีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน ทำได้จากสารละลายไนเตรต และสารละลายสกัดจากฝิ่นหนาม (*Argemone mexicana leaf*) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) และสารเพิ่มความคงตัว (Capping agent) และเก็บไว้ที่อุดมภูมิห้อง 4 ชั่วโมง ทำการยืนยันอนุภาคนาโนด้วย UV-VIS spectrophotometer เกิดการดูดกลืนแสงช่วง 440 nm และจากการวิเคราะห์ด้วย XRD และ SEM พบว่าขนาดของอนุภาคมีขนาดอยู่ที่ 25-50 nm และมีโครงสร้างแบบลูกบาศก์ (cubic structure)

อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้สามารถยับยั้งแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Pseudomonas aeruginosa* วิเคราะห์ด้วยวิธี Standard disc diffusion และสามารถยับยั้งเชื้อราชนิด *Aspergillus flavus* วิเคราะห์ด้วยวิธี Food poisoning ดังนั้นซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้นั้นมีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดี และสังเคราะห์ได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว [46]

### 2.15.3 เทคนิค In situ และเคมีสีเขียวของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนและการต้านเชื้อแบคทีเรีย

ในปี ค.ศ. 2013 Is mail Aiad และคณะ ได้ทำการศึกษา one-step in situ และการสังเคราะห์เคมีสีเขียวของซิลเวอร์นาโน โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ร่วมกับการใช้สารลดแรงดึงผิวชนิดแคทไอออนิก ทำหน้าที่เป็นสารรักษาสถียรภาพ (Stabilizing agent) ในปฏิกิริยารีดักชัน การสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนด้วยแสงอาทิตย์จะเกิดการเปลี่ยนสีที่รวดเร็วกลายเป็นสารละลายสีเหลือง ทำการยืนยันด้วย TEM, DLS, EDX และ FTIR จาก TEM พบว่าได้โครงสร้างของซิลเวอร์นาโนแบบทรงกลม (Spherical) และแบบหกมุม (Hexagonal) ซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (*Bacillus pmlilus* และ *Micrococcus luteus*) และชนิดแกรมลบ (*Pseudomonas aeuroginosa* และ *Sarcinalutea*) [47]

### 2.14.4 เคมีสีเขียวของการสังเคราะห์และการศึกษาคุณสมบัติของอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้สารสกัดจากผักขมหินเพื่อใช้ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย

ในปี ค.ศ. 2013 P.P.N. Vijay Kumar และคณะ ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน โดยใช้สารสกัดผักขมหิน (*Boerhaaviadiffusa* plant) เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่สะอาด ไม่มีสารพิษ เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อม เมื่อเทียบกับการใช้สารเคมี การสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน ทำได้โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรดผสมกับสารที่สกัดจากผักขมหิน (*Boerhaaviadiffusa* plant) นำไปบ่ม 24 ชั่วโมง สารละลายจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล การยืนยันอนุภาคซิลเวอร์นาโนได้ข้อมูลดังนี้ เมื่อใช้ TEM ทำให้ทราบว่าซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้มีโครงสร้างแบบทรงกลม (Spherical) และมีขนาดเฉลี่ย 25 nm และเกิดการดูดกลืนแสงที่ 418 nm วัดด้วย UV-VIS spectrophotometer และจากการวิเคราะห์ด้วย FTIR พบว่า เกิดพีคที่  $3,440\text{ cm}^{-1}$  ของพันธะ O-H และพีคที่  $1380\text{ cm}^{-1}$  ของหมู่  $\text{NO}_3$  ในการทดลองนี้ได้ทดลองกับเชื้อแบคทีเรีย 3 ชนิดที่พบในปลา พบว่า MIC ของซิลเวอร์นาโนคือ 50 ug/ml ที่ทำให้เกิดพื้นที่ยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ดีที่สุด กับแบคทีเรียชนิด *F. branchiophylum* (15 mm) เมื่อเปรียบเทียบกับ *A. hydrophilla* (14mm) และ *P. fluorescence* (12mm) เมื่อเปรียบเทียบกับ  $\text{AgNO}_3$  ความเข้มข้น 0.1 M พบว่าพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเกิดขึ้นน้อยกว่า และเมื่อทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียด้วยสารสกัดผักขมหิน (*Boerhaaviadiffusa* plant) ไม่พบพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย [48]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.15.5 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยรังสีไมโครเวฟร่วมกับโซเดียมอะซิเนตและการศึกษาการต้านเชื้อแบคทีเรีย

ในปี ค.ศ. 2013 Xihui Zhao และคณะ ได้ทำการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน ด้วยวิธีการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟ โดยใช้โซเดียม อัลจิเนตเป็นตัวรีดิวซ์(reducing agent) และสารรักษาเสถียรภาพ(Stabilizing agent) ตัวรีดิวซ์ที่ใช้ในการเตรียมอนุภาคนาโนมีหลายชนิด เช่น  $\text{NaBH}_4$ , ไฮดรอกซี, N,N-dimethylformamideหรือพวกสารประกอบอินทรีย์ เป็นต้น สารพวกนี้เกิดปฏิกิริยาได้สูง แต่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม กำจัดยาก ดังนั้นวิธีการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทำได้โดยการใช้ตัวรีดิวซ์ที่เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ เช่น Chitosan, Soluble starch, Polypeptied, Heparin, Hyaluronan เป็นต้น ในการเตรียมอนุภาคนาโน ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ โซเดียม อัลจิเนต เพราะถูกใช้อย่างกว้างขวางในด้านอาหาร เครื่องดื่ม และอุตสาหกรรมยา เพราะมีพิษต่ำ ราคาถูก เป็นต้น ในการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน หมู่คาร์บอกซิลของโซเดียม อัลจิเนต จะพอร์มตัวกับ  $\text{Ag}^+$  และหมู่ไฮดรอกซิลจะเป็นตัวรีดิวซ์ให้  $\text{Ag}^+$  เปลี่ยนเป็น  $\text{Ag}^0$  จากการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟ สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำตาลอย่างช้าๆ เขาได้ทำการศึกษาช่วงระยะเวลา 1-10 นาที ความเข้มข้นของโซเดียม อัลจิเนต 0.1%-1.5% ค่า pH 5-11 และความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 0.4-0.8 mmol/L จากนั้นพบว่าเกิดแถบ SPR ที่ 417 nm ด้วย UV-VIS spectrophotometer และใช้เครื่อง TEM พบว่าอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาด 10-15 nm ผลของการต้านเชื้อแบคทีเรียทำการศึกษา 2 สภาวะ คือสภาวะที่ใช้ 0.5% ของโซเดียม อัลจิเนต และ 1.0% ของโซเดียม อัลจิเนตพบว่า ซิลเวอร์นาโนที่เตรียมจาก 0.5% ของโซเดียม อัลจิเนต สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (*S. aureus*) และชนิดแกรมลบ (*E. coli*) ได้สูงกว่าซิลเวอร์นาโนที่เตรียมจาก 1.0% ของโซเดียม อัลจิเนต เพราะซิลเวอร์นาโนที่เตรียมจาก 0.5% ของโซเดียม อัลจิเนต มีขนาดเล็กกว่า [49]

### 2.15.6 การยึดเกาะอนุภาคเงินระดับนาโนที่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียบนเส้นใยลึงทอด้วยเทคนิค Layer-by-Layer

ในปี ค.ศ. 2006 Stephan T. Dubas และคณะ ได้ทำการยึดเกาะ antimicrobial AgNPs บนลึงทอที่เป็นเส้นใย ด้วยเทคนิค Layer By Layer ในการสังเคราะห์ AgNPs เตรียมได้จากการรีดิวซ์ด้วยแสงจาก UV Lamp เพื่อรีดิวซ์สารละลาย  $\text{AgNO}_3$  ที่รวมกับ PMA เมื่อสารละลายสัมผัสกับแสงจาก UV Lamp จะค่อยๆเปลี่ยนสีเป็นสีชมพูจนสุดท้ายจะได้สารละลายสีแดง เขาได้ใช้เทคนิค Layer By Layer ในการยึดเกาะ anionic poly(PMAcapAg) บนไนลอนหรือเส้นไหม ร่วมกับ Cationic poly(PDAD) จากการสังเคราะห์ AgNPs ทำการติดตามโดยใช้ UV-VIS spectrophotometer พบการเกิดดูดกลืนแสงที่ 400-415 นาโนเมตร ส่วนอนุภาคที่ยึดเกาะด้วยเทคนิค Layer By Layer ติดตามโดยใช้เครื่อง Reflectance spectrophotometer ในส่วนของการต้านเชื้อแบคทีเรีย ได้ทดสอบกับเชื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด *Staphylococcus aureus* กับเส้นไหม และไนลอน ที่ทำการเคลือบ 0, 10 และ 20 ชั้นของ PDAD/PMAcapAg และทำการจุ่มลงในสารละลายแบคทีเรีย พบว่าเส้นไหมที่เคลือบ PDAD/PMAcapAg 10 และ 20 ชั้น สามารถต้านเชื้อ *Staphylococcus aureus* ได้ 50% และ 80% ตามลำดับ และ ไนลอนที่เคลือบ PDAD/PMAcapAg 10 และ 20 ชั้น สามารถต้านเชื้อ *Staphylococcus aureus* ได้ 0% และ 50% ตามลำดับ [50]

### 2.15.7 การตรึงอนุภาคเงินระดับนาโนบนเส้นไหมถึงทอดด้วยเทคนิค PEM

ในปี ค.ศ. 2005 Panittamat Kumlangduksana ได้ศึกษาการตรึงอนุภาคเงินนาโนบนเส้นไหมถึงทอดด้วยเทคนิค PEM งานวิจัยนี้ได้สังเคราะห์อนุภาคเงินนาโนจากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด ที่มีพอลิเมทาคริลิกแอซิด (PMA) เป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์ ด้วยปฏิกิริยาโฟโตเรดักชันภายใต้แสงอาทิตย์ ทำการยืนยันการเกิดอนุภาคเงินนาโนด้วยเครื่อง Transmission Electron Microscope (TEM) และ เครื่อง UV-visible spectrophotometer อนุภาคเงินระดับนาโนที่ถูกล้อมรอบด้วย PMA ถูกนำมาตรึงบนเส้นไหมและไนลอน ด้วยการสร้างฟิล์มบางหลายชั้นกับพอลิไคโอลลิตไคเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDAD) การใช้เทคนิค layer-by-layer และยืนยันการเติบโตของฟิล์มด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer เส้นไหมที่ผ่านการตรึงด้วยอนุภาคเงินนาโน สามารถต้านแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยที่เส้นไหมที่ได้มีสีเหลืองแต่เมื่อได้รับแสงแดดจะเปลี่ยนเป็นสีแดงทันที เนื่องจากเกิดผลึกของซิลเวอร์คลอไรด์ ทำให้ความสามารถในการต้านเชื้อเกิดจากอนุภาคเงินนาโน และไอออนของเงินในรูปแบบผลึกของซิลเวอร์ไนเตรด ดังนั้นเพื่อยืนยันว่าอนุภาคเงินนาโน เพียงอย่างเดียวที่สามารถทำให้เส้นไหมต้านแบคทีเรียได้ จึงได้ทดลองเตรียมอนุภาคเงินนาโนจากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด ที่มี CoPSS และอัลจินิกแอซิด ซึ่งให้ปริมาณอนุภาคเงินนาโนสูงกว่า PMA และเป็นกรดผลของไอออนของเงิน นำอนุภาคของเงินที่ได้จากโพลีอิเล็กโทรไลต์ทั้ง 2 ชนิดมาตรึงลงบนเส้นไหม พบว่าเส้นไหมที่ได้มีสีเหลืองและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแสงแดด และพบว่าเส้นไหมที่ได้สามารถต้านทานแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพ [51]

### 2.15.8 การใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อตรวจหายูเรีย

ในปี ค.ศ. 2010 Nattanun Sap-Iam ได้ทำการตรวจหายูเรียในปัสสาวะ โดยใช้คุณสมบัติเชิงแสงของนาโนพาร์ทิเคิลของเงิน อนุภาคเงินนาโนถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยใช้พอลิเมอร์ชนิดประจุลบคือ พอลิเมทาคริลิกแอซิด และการเกิดปฏิกิริยาโฟโตเรดักชันจากแสงยูวี โดยนาโนพาร์ทิเคิลของเงินที่สังเคราะห์ได้มีสีม่วงและดูดกลืนแสงที่ช่วง 515 nm และจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ได้หลังเติมสารละลายแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 2,000 ppm การเตรียมนาโนพาร์ทิเคิลของเงินเลือกใช้อัตราส่วนโดยความเข้มข้น (mM) ของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด: สารละลายอะซิติก-อะซิเตรด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัพเฟอร์: PMA เท่ากับ 10:10:10 และสังเคราะห์ภายใต้หลอดยูวีเป็นเวลา 120 นาที ขนาดอนุภาคและความต่างศักย์พื้นผิวของนาโนพาร์ทิเคิลของเงินที่ได้มีค่าเท่ากับ  $12.82 \pm 3.47$  นาโนเมตร และ  $-27.7 \pm 3.07$  มิลลิโวลต์ ในการวิเคราะห์ปริมาณยูเรียจะใช้สารละลายยูเรียและการเติมยูรีเอส เอ็มไซม์กับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนียก่อน และก๊าซที่เกิดขึ้นจึงจะทำปฏิกิริยากับนาโนพาร์ทิเคิล ในการตรวจหาปริมาณยูเรียจะทดลองโดยใช้ปริมาตรของนาโนพาร์ทิเคิลเท่ากับ 250 มิลลิลิตร และใช้อัตราการไหลของสารละลายเพื่อให้เกิดก๊าซแอมโมเนียเท่ากับ 600 มิลลิลิตรต่อนาที จากการทดลองพบว่านาโนพาร์ทิเคิลของเงินสามารถตรวจวัดยูวีได้ในช่วงความเข้มข้น 50-350 มิลลิโมลาร์ และใช้เวลาในการจรวจวัดไม่เกิน 5 นาที นาโนพาร์ทิเคิลที่ได้ สามารถใช้ตรวจหายูเรียในปัสสาวะเทียมได้โดยปราศจากการรบกวนของอิเล็กโทรไลต์ [52]

### 2.15.9 การสังเคราะห์และฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยขนาดที่แตกต่างกัน

ในปี ค.ศ. 2008 G.A. Martinez-Castanon และคณะ ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในขนาดที่แตกต่างกันคือ 7, 29 และ 89 นาโนเมตร เพื่อใช้ต้านเชื้อแบคทีเรีย ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน โดยใช้ gallic acid เป็นตัวรีดิวซ์(reducing agent) และสารรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing agent) ปฏิกิริยาออกซิเดชันของหมู่ฟินอลใน gallic acid มีหน้าที่รีดิวซ์  $Ag^+$  และผลิตสารประกอบ quinoid ที่สามารถดูดซับบนพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนทำให้เกิดความเสถียร ในการเตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนขนาด 7 และ 29 นาโนเมตร ปฏิกิริยารีดักชันจะต้องใช้ค่า pH ที่ 11 และ 10 ตามลำดับ ค่า pH จะทำให้หมู่ฟินอลแตกตัวเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้อย่างรวดเร็ว ส่วนอนุภาคเงินระดับนาโน 89 นาโนเมตรใช้การแตกตัวของหมู่ฟินอล โดยใช้แสง UV ในปฏิกิริยา photoionization ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จากการศึกษาด้วย TEM พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนขนาด 7 และ 29 นาโนเมตร มีลักษณะเป็นทรงกลม และขนาด 89 นาโนเมตร มีลักษณะคล้ายทรงกลม และการศึกษาโดยใช้ UV-Vis spectrophotometer พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนขนาด 7, 29 และ 89 นาโนเมตร เกิด SPR ขึ้นที่ 410, 425 และ 490 นาโนเมตร ตามลำดับ ในส่วนของการศึกษาฤทธิ์การต้านเชื้อแบคทีเรียได้ทำการทดสอบกับแบคทีเรียชนิด E. coli (ชนิดแกรมลบ) และแบคทีเรียชนิด S. aureus (ชนิดแกรมบวก) พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนขนาด 7 นาโนเมตร สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิดได้ดีที่สุด เพราะมีขนาดเล็กที่สุด ทำให้สามารถเข้าถึงนิวเคลียสของแบคทีเรียได้ง่าย [53]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.15.10 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนที่เป็นตัวต้านเชื้อจุลินทรีย์ โดยทำการศึกษา E. coli ที่เป็นตัวแทนของแบคทีเรียชนิดแกรมลบ

ในปี ค.ศ. 2004 Ivan Sondi และ Branka Salopek-Sondi ได้ทำการศึกษาการต้านฤทธิ์ของอนุภาคเงินระดับนาโน โดยทำการทดสอบกับ E. coli ซึ่งเป็นตัวแทนของแบคทีเรียชนิดแกรมลบ ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนทำได้โดยใช้ ascorbic acid เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) และใช้ Daxad 19 surfactant (Sodium salt of a high-molecular-weight naphthalene sulfonate formaldehyde condensate) ทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing agent) และทำการปั่นกวน 900 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง จากการศึกษานอนุภาคเงินระดับนาโนด้วย UV-Vis spectrophotometer พบว่าเกิด Plasmon band ที่ 405 นาโนเมตร ในการทดสอบการต้านฤทธิ์เชื้อจุลินทรีย์ทำใน Luria-Bertani (LB) บนแผ่น agar ที่เป็นของแข็งและได้ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นที่แตกต่างกันของอนุภาคเงินระดับนาโน คือ 10 - 100  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  พบว่า ที่ความเข้มข้น 10  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  สามารถยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียได้ 70% และที่ความเข้มข้น 50-60  $\mu\text{g}/\text{cm}^3$  สามารถยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรียได้ 100% [54]

### 2.15.11 การทดลองผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของอนุภาคเงินระดับนาโน

ในปี ค.ศ. 2006 Jun Sung Kim และคณะ ได้ทำการทดลองผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของอนุภาคเงินระดับนาโนอนุภาคเงินระดับนาโนที่เสถียรสามารถเตรียมได้จากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด ความเข้มข้น  $1.0 \times 10^{-3}$  M ปริมาตร 100 ml ผสมกับสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ความเข้มข้น  $2.0 \times 10^{-3}$  M ปริมาตร 300 ml (สารทั้ง 2 ถูกละลายด้วยน้ำกลั่นที่ผ่านการกลั่น 3 ครั้ง) จากนั้นนำสารละลายทั้งสองไปให้ความเย็นก่อนที่จะผสมกัน และปั่นกวนประมาณ 60 นาที โดยที่การผสมกันนั้น ซิลเวอร์ไอออนจะถูกรีดิวซ์และรวมตัวกันได้สารละลายสีเหลือง อนุภาคเงินระดับนาโนที่เสถียรจะไม่เกิดการเปลี่ยนสีเมื่อผ่านไปหลายเดือนโดยไม่ต้องใช้สารรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing agent) จากการศึกษาด้วย TEM พบว่าเกิดการกระจายตัวสูงและมีเส้นผ่านศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 13.5 นาโนเมตร และการศึกษาด้วย Surfactant Zeta Potential ของอนุภาคเงินระดับนาโน พบว่ามีประจุลบเพียงเล็กน้อยของโบเรทไอออน ที่ดูดซับบนพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโน ในการทดสอบการต้านเชื้อจุลินทรีย์ เช่น ยีสต์, E. coli, S.aureus จะใช้วิธี agar disk diffusion โดยใช้  $10^7$  Colony-forming units (CFU) ของเชื้อจุลินทรีย์ เพาะไว้บนแผ่น Muller Hinton agar (MHA) และใส่ 20  $\mu\text{l}$  ของอนุภาคเงินระดับนาโนให้แพร่กระจายในความเข้มข้นของ 0.2-33 n M Itraconazol สำหรับยีสต์ และ Gentamicin สำหรับ E.coli และ S.aureus จากนั้นนำแผ่น MHA ไปอบที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และพบว่าค่าของ Minimal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

inhibitory concentration (MIC) ของอนุภาคเงินระดับนาโน คือ ยีสต์ > 6.6 nM, E.coli > 3.3 nM และ S.aureus > 33 nM [55]

### 2.15.12 เคมีสีเขียวการสังเคราะห์ของอนุภาคเงินระดับนาโนและการประยุกต์ใช้สำหรับควบคุมยุง

ในปี ค.ศ. 2014 Naba Kumer Mondal และคณะ ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนจากสารสกัด Partheniumhysterophorus (P. hysterophorus) เพื่อใช้ในการควบคุมยุง ชนิด Cx.quinquefasciatus ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนทำได้โดยการใช้สารละลายจากสารสกัด P.hysterophorus (ตัวรีดิวซ์) และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรด ในอัตราส่วน 1:3, 1:5, 1:7 และ 1:9 และเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง จะได้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแกมสีแดง สีที่สีที่สุดได้จากอัตราส่วน 1:9 ในการทดสอบการควบคุมยุง ทำได้โดยการนำยุงชนิด Cx.quinquefasciatus ในระยะตัวอ่อนระหว่างการลอกคราบ ในน้ำข้าวที่มีสารละลาย 15% น้ำตาลซูโครส ปริมาตร 100 ml และผสมกับอนุภาคเงินระดับนาโน ที่ปริมาณแตกต่างกัน คือ 0.5 ml, 1 ml และ 2 ml เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการศึกษาด้วย Fluoriscient micrograph พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนมีรูปร่างทรงกลม และจาก SEM พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนมีพื้นผิวขรุขระ และ FTIR พบพีคของหมู่ NH เกิดขึ้นที่  $1,635\text{ cm}^{-1}$  และหมู่ C=O ที่  $3,280\text{ cm}^{-1}$  จากการศึกษาการควบคุมยุง พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของอนุภาคเงินระดับนาโน จะทำให้ % Mortality rate เพิ่มขึ้น [56]

### 2.15.13 เคมีสีเขียวของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน เพื่อใช้เป็นตัวรับรู้แอมโมเนีย

ในปี ค.ศ.2008 Stephan T. Dubas และ VimolvannPimpan ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบสีการเป็นตัวรับรู้แอมโมเนีย ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยทั่วไปจะใช้ตัวรีดิวซ์ ซึ่งเป็นสารเคมี เช่น Hydrazine หรือ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงได้ทดลองใช้แสงจากหลอด UV ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนทำได้โดยการผสม 25 ml ของ 10 mM สารละลาย PMA และ 25 ml ของ 10 mM สารละลาย  $\text{AgNO}_3$  และทำการปั่นกวน 5 นาที (สารละลายทั้งสองเตรียมด้วยอะซีติก-อะซีเตรท บัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 100 mM ค่า pH = 4) จากนั้นนำสารละลายไปสัมผัสกับแสง UV พบว่าสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีชมพูอย่างช้าๆ จนสุดท้ายจะได้สีม่วง ใช้เวลาสัมผัสกับแสง UV เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และเก็บไว้ในขวดสีทึบ ทำการศึกษาอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย UV-Vis spectrophotometer พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย UV-Lamp จะได้สารละลายสีม่วง เกิดการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร ส่วนอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย  $\text{NaBH}_4$  จะได้สารละลายสีเหลือง เกิดการดูดกลืนแสงที่ 400 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกมัดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อศึกษาด้วย TEM พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนมีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดเฉลี่ย 8 นาโนเมตร จากการนำอนุภาคเงินระดับนาโนไปประยุกต์ใช้ในการเป็นตัวรับรู้อาอมโมเนีย พบว่าสามารถตรวจวัดแอมโมเนียได้ในช่วง 5-100 ppm และพบว่าเมื่อเติมแอมโมเนีย 0 ppm จะมีการดูดกลืนแสงที่ 515 นาโนเมตร (สีม่วง) และเมื่อเติมแอมโมเนีย 100 ppm จะมีการดูดกลืนแสงที่ 460 นาโนเมตร (สีเหลือง) [57]

#### 2.15.14 เคมีสีเขียวของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยการใช้

##### **Artocarpusheterophyllus Lam. Seed extract** เพื่อใช้ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย

ในปี ค.ศ. 2012 Umesh B. Jagtap และ Vishwas A. Bapat ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน โดยใช้สารที่ได้จากธรรมชาติ เป็นวิธีที่สะอาด ไม่ใช่ตัวทำละลายที่มีพิษ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ทำได้โดยปฏิกิริยารีดักชันของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต โดยใช้ Artocarpusheterophyllus Lam. Seed power extract (ASPE) ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 %w/v และเติมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้น 6 mM ในอัตราส่วน 1:4 ผสมกันและเก็บใน autoclave ที่ความดัน 15 psi, 121 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที และทำการทดลองเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 2, 4, 6, 8 และ 10mM และเติม ASPE (6% w/v) ในอัตราส่วน 1:4 จากนั้นนำสารละลายไปเซนทิฟิวซ์ เมื่อทำการศึกษาอนุภาคเงินระดับนาโนด้วย UV-Vis spectrophotometer พบการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 400-500 นาโนเมตร พวกเขาได้เลือกสถานะ 6 mM AgNO<sub>3</sub> และ 6% w/v ASPE ในการศึกษา เมื่อศึกษาด้วย TEM พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นมีรูปร่างขรุขระ และมีขนาดแตกต่างกัน อยู่ในช่วง 3-25 นาโนเมตร และผลการต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่า ASPE ไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรีย ผลการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิดชนิดแกรมบวก เช่น *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* และแกรมลบ เช่น *Proteus vulgaris*, *Pseudomonas aeruginosa* รายงานด้วยค่า Inhibition zone diameter พบว่า *Bacillus cereus* ได้ 9 mm, *Bacillus subtilis* ได้ 12 mm, *Salmonella typhimurium* ไม่พบการต้านเชื้อ, *Staphylococcus aureus* ได้ 15 mm, *Proteus vulgaris* ไม่พบการต้านเชื้อและ *Pseudomonas aeruginosa* ได้ 6 mm [58]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการทดลอง

#### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

##### 3.1.1 สารเคมี

1. ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate,  $\text{AgNO}_3$ ) - บริษัท Merck, ผลิตจากประเทศอเมริกา
2. กรดอะซิติก (Acetic acid,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) - บริษัท J.T.Baker, ผลิตจากประเทศจีน
3. โซเดียมอะซิเตต (Sodium acetate,  $\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) - บริษัท Carlo ERBA, ผลิตจากประเทศฝรั่งเศส
4. พอลิเมทาคริลิกแอซิด โซเดียมซอลต์ โซลูชัน (Poly(methacrylic acid)sodium salt solution, PMA,  $(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2)_n$ , 40%wt in water,  $d=1.251 \text{ g/ml}$ ) - บริษัท Sigma- Aldrich, ผลิตจากประเทศอเมริกา
5. พอลีอะคริลิก (Poly(acrylic acid), PAA,  $(\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2)_n$ ) - บริษัท Sigma-Aldrich, ผลิตจากประเทศอเมริกา
6. พอลิ4-สไตรีน ซัลโฟนิค แอซิด โคมะเลอิก แอซิด โซเดียมซอลต์ (Poly(4-styrene sulfonic acid - co -maleic acid) sodium salt, CoPSS,  $\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{Na}_2\text{O}_7\text{S}$ ) - บริษัท Sigma-Aldrich, ผลิตจากประเทศอเมริกา
7. โซเดียมซิเตรตไตรเบซิกไดไฮเดรต (Sodium citrate tribasic dyhydrate, citrate,  $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) - บริษัท Sigma-Aldrich, ผลิตจากประเทศเบลเยียม
8. พอลิ4-สไตรีนซัน โฟนิคแอซิด (Poly (4-styrene sulfonic acid) sodium salt, PSS,  $[\text{CH}_2\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_4\text{SO}_3\text{Na})]_n$ ) - บริษัท Sigma-Aldrich, ผลิตจากประเทศอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. พอลิไดอัลลิควาไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Poly (diallyldimethyl ammonium chloride), PDAD,  $C_8H_{16}ClN$ , 20 wt% in  $H_2O$ ,  $d=1.08$  g/ml) - บริษัท Sigma-Aldrich, ผลิตจากประเทศอเมริกา
10. โซเดียมคลอไรด์ (Sodiumchloride, NaCl) - บริษัท Lobachemie, ผลิตจากประเทศอินเดีย
11. โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride,  $NaBH_4$ ) - บริษัท Fisher Scientific, ผลิตจากประเทศอเมริกา
12. สารละลายบัฟเฟอร์ 4 และ 7 ที่มาพร้อมกับ pH meter เพื่อใช้ในการสอบเทียบ
13. กรดออกซาลิก (Oxalic acid Sodium salt Natriumoxalat, Oxalic,  $C_2NaO_4$ ) - บริษัท Fluka, ผลิตจากประเทศเยอรมันนี
14. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide,  $NH_4OH$ ) - บริษัท Sigma-Aldrich, ผลิตจากประเทศอเมริกา
15. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (น้ำกลั่น)

### 3.1.2 วัสดุและอุปกรณ์

1. บีกเกอร์
2. ขวดวัดปริมาตร
3. กระจกบอมน้ำกลั่น
4. ช้อนตักสาร
5. หลอดหยด
6. แท่งแก้วคนสาร
7. ใ้กรองเครื่องปรับอากาศ (ใ้กรอง)

### 8. แท่งแม่เหล็กคนสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ไมโครปิเปตรรุ่น SL-5000XLS และSL-1000XLS - บริษัท Rainin

### 3.1.3 เครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง - บริษัท AND รุ่น GR-200
2. Home-made Ultraviolet Lamp Box (UV-C Lamp Box) - บริษัท PHILIPS รุ่น TUV 16W/G16 T5
3. เครื่องกวนสาร และแท่งแม่เหล็ก (Stirrer and Magnetic Bar) - บริษัท IKA รุ่น C-MAG HS7
4. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH - Meter) - บริษัท Metrohm รุ่น 827 pH lab
5. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Ultra violet -Visible Spectrophotometer) - บริษัท Thermo SCIENTIFIC รุ่น GENESYS 10S UV-VIS
6. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope : TEM) - บริษัท JEOL รุ่น JEM-2100
7. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope : SEM) - บริษัท JEOL รุ่น JSM-6400
8. เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Zetasizer Nano ZS) - บริษัท Malvern

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การเตรียมสารละลาย

#### 3.2.1 สารละลายเพื่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว

##### 3.2.1.1 สารละลายอะซิติคอะซิเตทบัฟเฟอร์ (สารละลายบัฟเฟอร์)

เทสารละลายเกลืออะซิเตทความเข้มข้น 5 mM ปริมาตร 450 ml ใส่บีกเกอร์ขนาด 1,000 ml นำไปกวนสารด้วยเครื่องกวนสารนาน 5 นาที เทสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 5 mM ปริมาตร 450 ml ตามลงไป กวนสารด้วยเครื่องกวนสารนาน 5 นาทีอีกครั้ง จุ่ม pH อิเล็กโทรด เพื่อตรวจวัดค่า pH ตามที่ต้องการ (ก่อนใช้ pH meter ต้องทำการสอบเทียบด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 4 และ 7 ตามลำดับ) จะได้สารละลายอะซิติคอะซิเตทบัฟเฟอร์ที่สภาวะ pH 4.75 หากยังไม่ได้ ให้ปรับค่า pH ด้วย สารละลายที่เหลือ โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปที่ 3.1

##### 3.2.1.2 สารละลาย $\text{AgNO}_3$ ความเข้มข้น 10 mM

ชั่ง  $\text{AgNO}_3$  1.699 g ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 ml ละลายด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ 100 ml จากนั้นเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1,000 ml ปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปที่ 3.2

##### 3.2.1.3 สารละลายพอลิเมอร์ที่มีประจุทางไฟฟ้าชนิดลบ (Anionic Polyelectrolyte)

###### ก. สารรักษาเสถียรภาพที่มีสถานะเป็นของแข็ง

ชั่งสารรักษาเสถียรภาพ ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 ml ละลายด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ปริมาตร 50 ml เทใส่ขวดวัดปริมาตร 100 ml ปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ เตรียมสารรักษาเสถียรภาพ 2 ชนิด โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.1 และขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปภาพที่

3.3

###### ข. สารรักษาเสถียรภาพที่มีสถานะเป็นของเหลว

ตวงสารรักษาเสถียรภาพ ด้วยกระบอกตวงขนาด 10 ml ปริมาตร 2.16 ml เทใส่ขวดวัดปริมาตร 100 ml ปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.1 และขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

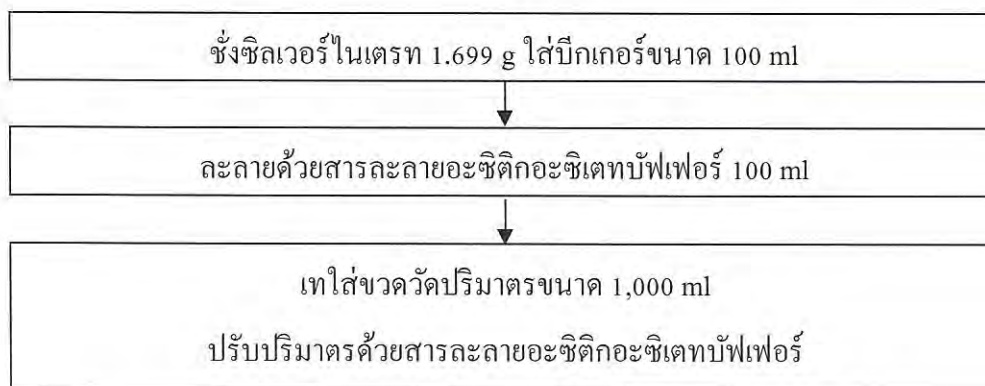
ลำดับที่	สารรักษาเสถียรภาพ	น้ำหนักที่ใช้
1	PAA <sub>(s)</sub>	0.7206 g
2	CoPSS <sub>(s)</sub>	3.4424 g
3	PMA <sub>(aq)</sub>	2.16 ml

ตารางที่ 3.1 แสดงสารรักษาเสถียรภาพที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

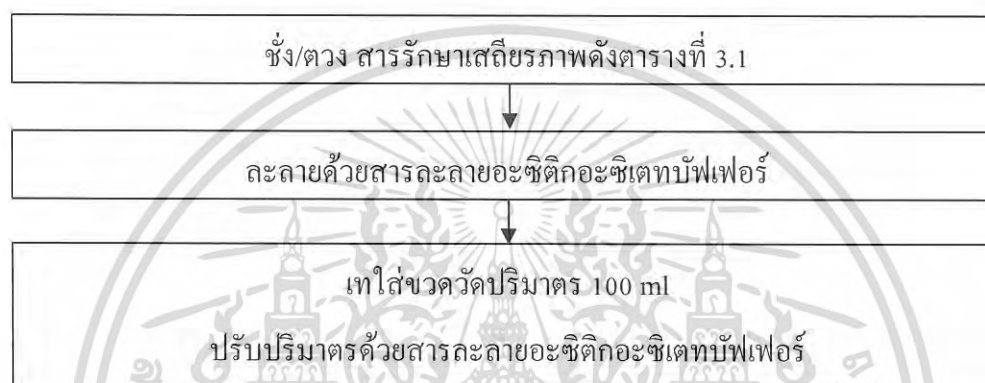


รูปที่ 3.1 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลายอะซิติกอะซิเตทบัฟเฟอร์(สารละลายบัฟเฟอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท

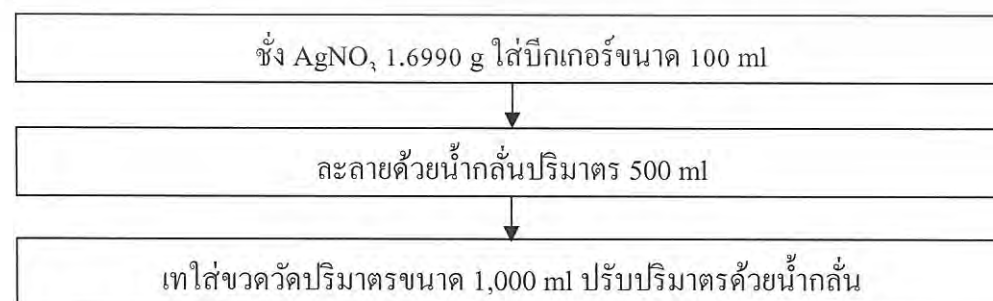


รูปที่ 3.3 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารรักษาเสถียรภาพ

### 3.2.2 สารละลายเพื่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี

#### 3.2.2.1 สารละลาย $\text{AgNO}_3$ ความเข้มข้น 100 mM

ชั่ง  $\text{AgNO}_3$  1.6990 g ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 ml ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 500 ml เทใส่ขวดวัดปริมาตร 1,000 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปภาพที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2.2 สารละลายพอลิเมอร์ที่มีประจุทางไฟฟ้าชนิดลบ (Anionic

#### Polyelectrolyte)

##### ก. สารรักษาเสถียรภาพที่มีสถานะเป็นของแข็ง

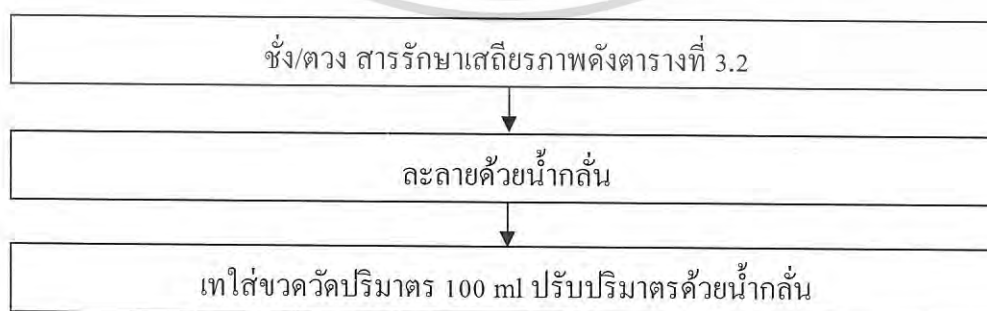
ชั่งสารรักษาเสถียรภาพ ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 ml ละลายด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 50 ml เทใส่ขวดวัดปริมาตร 100 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เตรียมสารรักษาเสถียรภาพ 2 ชนิด โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.2 และขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปที่ 3.5

##### ข. สารรักษาเสถียรภาพที่มีสถานะเป็นของเหลว

ตวงสารรักษาเสถียรภาพ ด้วยกระบอกตวงขนาด 10 ml ปริมาตร 2.16 ml เทใส่ขวดวัดปริมาตร 100 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.1 และขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปที่ 3.5

ลำดับที่	สารรักษาเสถียรภาพ	น้ำหนักที่ใช้
1	PAA <sub>(s)</sub>	0.7206 g
2	CoPSS <sub>(s)</sub>	3.4424 g
3	PMA <sub>(aq)</sub>	2.16 ml
4	Citrate <sub>(s)</sub>	2.9406 g

ตารางที่ 3.2 แสดงสารรักษาเสถียรภาพที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี

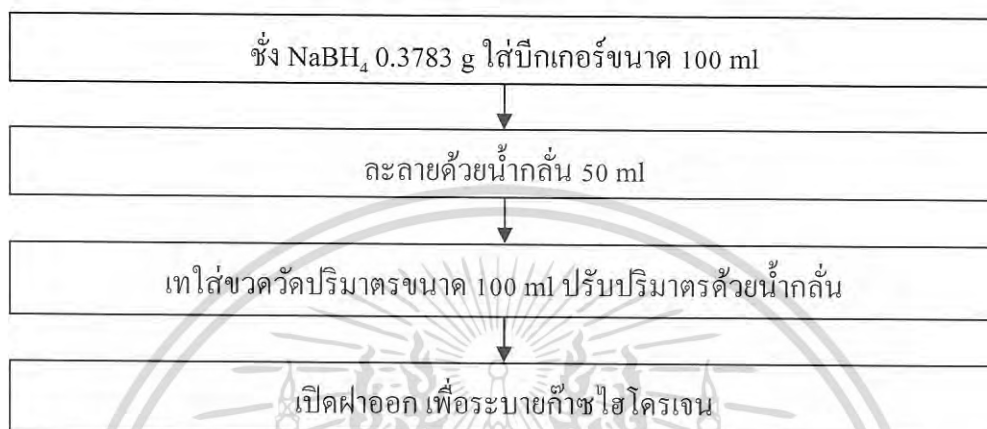


รูปที่ 3.5 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารรักษาเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2.3 สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) ความเข้มข้น 100 mM

ชั่ง  $\text{NaBH}_4$  0.3783 g ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 ml ละลายด้วยน้ำกลั่น 50 ml เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เปิดฝาออก เพื่อระบายก๊าซไฮโดรเจน โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์

### 3.2.3 สารละลายและเตรียมความพร้อมบนพื้นผิวของวัสดุ (ไส้กรอง)

#### 3.2.3.1 สารละลาย PDAD ความเข้มข้น 10 mM

ตวง PDAD ปริมาตร 7.47 ml ด้วยกระบอกตวงขนาด 10 ml เทใส่ขวดวัดปริมาตร 500 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ตั้งพักไว้ จากนั้นชั่ง NaCl 58.5000 g ใส่บีกเกอร์ปราศจากน้ำกลั่นขนาด 150 ml เทใส่บีกเกอร์ขนาด 250 ml ละลายด้วยน้ำกลั่นจนหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเทใส่บีกเกอร์ ขนาด 1,500 ml ใส่แท่งแม่เหล็ก วางบนเครื่องปั่นกวน เติสารละลาย PDAD ที่เตรียมไว้ในขวดวัดปริมาตร 500 ml ในตอนแรก ตามลงไป เปิดเครื่องปั่นกวน ปั่นกวนนาน 10 นาที เมื่อครบ 10 นาที เทใส่ขวดน้ำพลาสติกขนาด 1,000 ml เก็บไว้ในตู้เย็น โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปที่ 3.7

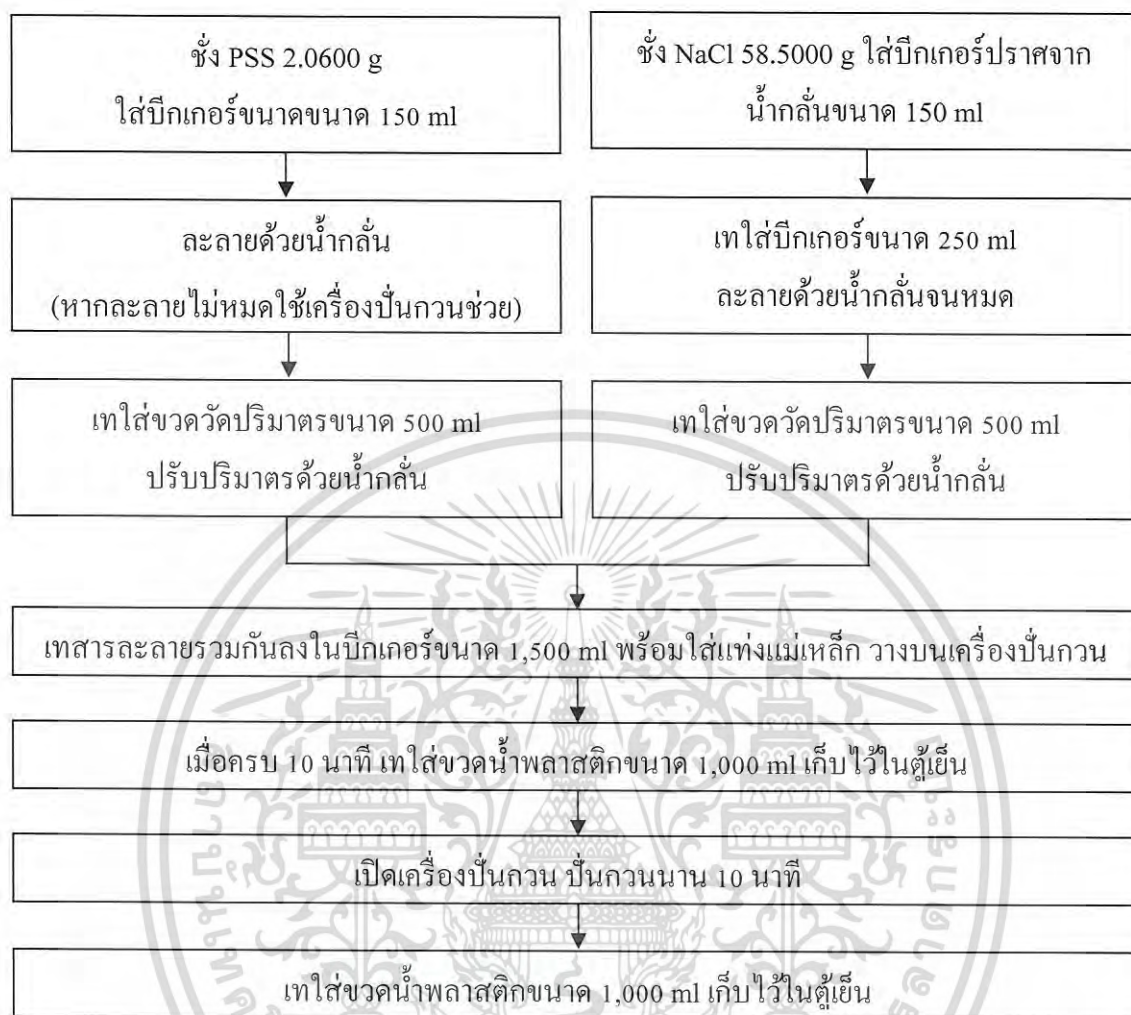
### 3.2.3.2 สารละลาย PSS ความเข้มข้น 10 mM

ชั่ง PSS 2.0600 g ใส่บีกเกอร์ขนาด 150 ml ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 200 ml (หากละลายไม่หมดอาจใช้เครื่องปั่นกวนช่วยในการละลาย) เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ตั้งพักไว้ จากนั้นชั่ง NaCl 58.5000 g ใส่บีกเกอร์ปราศจากน้ำกลั่นขนาด 150 ml เทใส่บีกเกอร์ขนาด 250 ml ละลายด้วยน้ำกลั่นจนหมด เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เทใส่บีกเกอร์ ขนาด 1,500 ml ใส่แท่งแม่เหล็ก วางบนเครื่องปั่นกวน เทสารละลาย PSS ที่เตรียมไว้ในขวดวัดปริมาตร 500 ml ในตอนแรก ตามลงไป เปิดเครื่องปั่นกวนปั่นกวนนาน 10 นาที เมื่อครบ 10 นาที เทใส่ขวดน้ำพลาสติกขนาด 1,000 ml เก็บไว้ในตู้เย็น โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลาย PDAD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลาย PSS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 สารละลายเพื่อใช้เป็นตัวรับรู้

#### 3.2.4.1 สารละลาย $\text{NH}_4\text{OH}$ ความเข้มข้น 100 mM

ปิเปตสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$  1.309 ml ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมคูได้จากรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

#### 3.2.4.2 สารละลาย Oxalic acid ความเข้มข้น 100 mM

ชั่ง Oxalic 1.3400 g ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 ml ละลายด้วยน้ำกลั่น 50 ml เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมคูได้จากรูปที่ 3.10



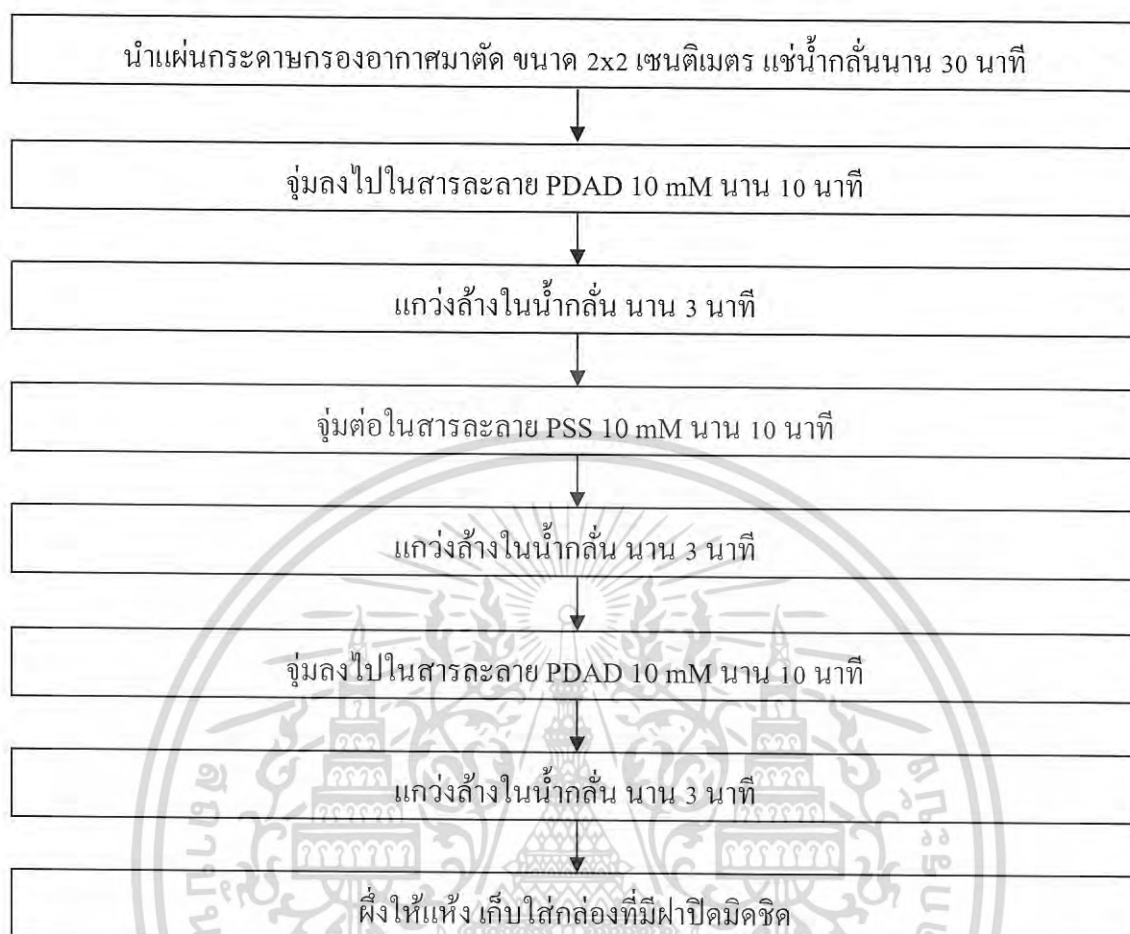
รูปที่ 3.10 แผนภูมิแสดงการเตรียมสารละลายกรดออกซาลิก

### 3.3 การเตรียมความพร้อมของไส้กรองเครื่องปรับอากาศ (ไส้กรอง)

นำแผ่นกระดาษกรองอากาศมาตัด ขนาด 2x2 เซนติเมตร แช่น้ำกลั่นนาน 30 นาที จากนั้นจุ่มลงไปในสารละลาย PDAD 10 mM นาน 10 นาที แกว่งล้างในน้ำกลั่นนาน 3 นาที นำไปจุ่มต่อในสารละลาย PSS 10 mM นาน 10 นาที แกว่งล้างในน้ำกลั่นนาน 3 นาที และจุ่มลงไปนในสารละลาย PDAD 10 mM อีกครั้งนาน 10 นาที แกว่งล้างในน้ำกลั่นนาน 3 นาที ผึ่งให้แห้ง เก็บใส่

กล่องที่มีฝาปิดมิดชิด โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมคูได้จากรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แผนภูมิแสดงการเตรียมความพร้อมของไส้กรอง

### 3.4 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน

#### 3.4.1 วิธีเคมีรีดิวซ์ (Photo Reduction)

เตรียมบีกเกอร์ขนาด 250 ml 9 ใบ ตวงสารละลาย  $\text{AgNO}_3$  ความเข้มข้น 10 mM ด้วยขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml เทใส่บีกเกอร์ทั้ง 9 ใบ นำขวดวัดปริมาตรมาเตรียมสารรักษาเสถียรภาพ ดังตารางที่ 3.3 ปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ทำที่ละปริมาตร ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนทั้ง 9 ใบ ตามลำดับ จากนั้นนำไปปั่นกวนด้วยเครื่องปั่นกวนที่ละบีกเกอร์ นาน 10 นาที เมื่อครบทั้ง 9 ใบ จากนั้นนำเข้ากล่อง UV-lamp นาน 80 นาที เก็บตัวอย่างโดยมีปริมาตรครั้งละ 3 ml ด้วยปิเปต นำตัวอย่างที่เก็บตามเวลาดังกล่าว ไปเลือกช่วงสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์ โดยใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อดูค่าการดูดกลืนแสง โดยขั้นตอน

วิธีการเตรียมดูได้จากรูปที่ 3.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	สารรักษาเสถียรภาพ	ปริมาตรที่ใช้ (ml)	เวลาที่เก็บตัวอย่าง (นาที)
1	PAA	0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 2.25, 3.25, 4.25, และ 5.00	0, 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70
2	CoPSS		
3	PMA		0, 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 80

ตารางที่ 3.3 แสดงชนิด, ปริมาตร และจำนวนนาที่ที่เก็บตัวอย่างของสารรักษาเสถียรภาพ  
ที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว



รูปที่ 3.12 แผนภูมิแสดงการสังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

### 3.4.2 วิธีทางเคมี (Chemical Synthesis)

เตรียมบีกเกอร์ 33 ใบ ตวงน้ำกลั่นด้วยกระบอกตวงขนาด 100 ml ปริมาตร 88.00-88.95 ml เทใส่บีกเกอร์ขนาด 250 ml ทั้ง 33 ใบ ตามตารางที่ 3.4 จากนั้นใช้ปิเปต ปิเปตสารรักษาเสถียรภาพ ปริมาตร 1 ml ใส่ลงไป ในบีกเกอร์ดังกล่าวทุกบีกเกอร์ ใส่แท่งแม่เหล็กและนำบีกเกอร์แต่ละใบ ไปวางบนเครื่องปั่นกวน และปิเปตสารละลาย AgNO<sub>3</sub> ความเข้มข้น 100 ml ปิเปตมา 1 ml ใส่ตามลงไป เปิดเครื่องปั่นกวนนาน 5 นาที ระหว่างที่รอให้ตวงสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักผู้จัดทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

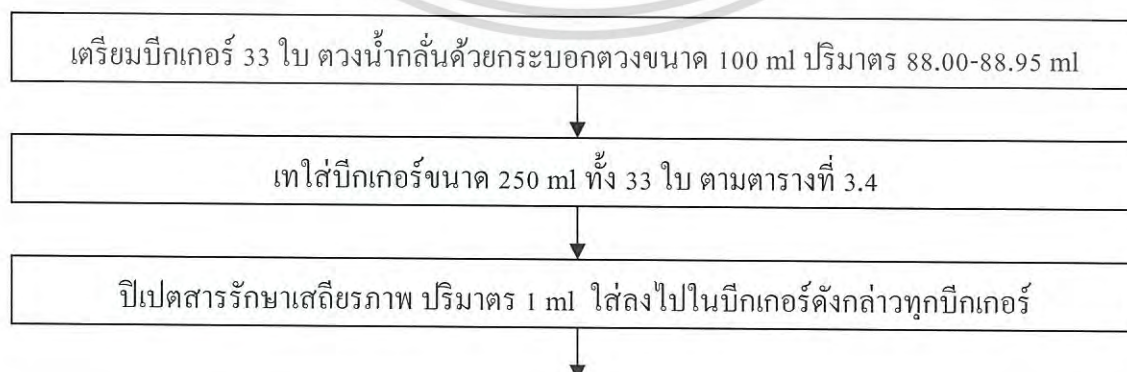
กระบอกตวงขนาด 10 ml ปริมาตร 10 ml เมื่อครบ 5 นาที เทสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เตรียมไว้ใส่ลงไปในบีกเกอร์ บั่นกวนต่ออีก 30 นาที เมื่อครบ 30 นาที ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำสารละลายไปเจือจาง และใช้เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อดูค่าการดูดกลืนแสง โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปภาพที่ 3.13

สารรักษาเสถียรภาพ	บีกเกอร์ที่	อัตราส่วนของ
		AgNO <sub>3</sub> (ml) : สารรักษาเสถียรภาพ(ml) : NaBH <sub>4</sub> (ml)
PAA	1	1 : 0.05 : 10
	2	1 : 0.07 : 10
	3	1 : 0.09 : 10
	4	1 : 0.1 : 10
	5	1 : 0.3 : 10
	6	1 : 0.5 : 10
	7	1 : 0.7 : 10
	8	1 : 0.9 : 10
	9	1 : 1 : 10
	10	1 : 3 : 10
	11	1 : 5 : 10
CoPSS	12	1 : 0.05 : 10
	13	1 : 0.07 : 10
	14	1 : 0.09 : 10
	15	1 : 0.1 : 10
	16	1 : 0.3 : 10
	17	1 : 0.5 : 10
	18	1 : 0.7 : 10

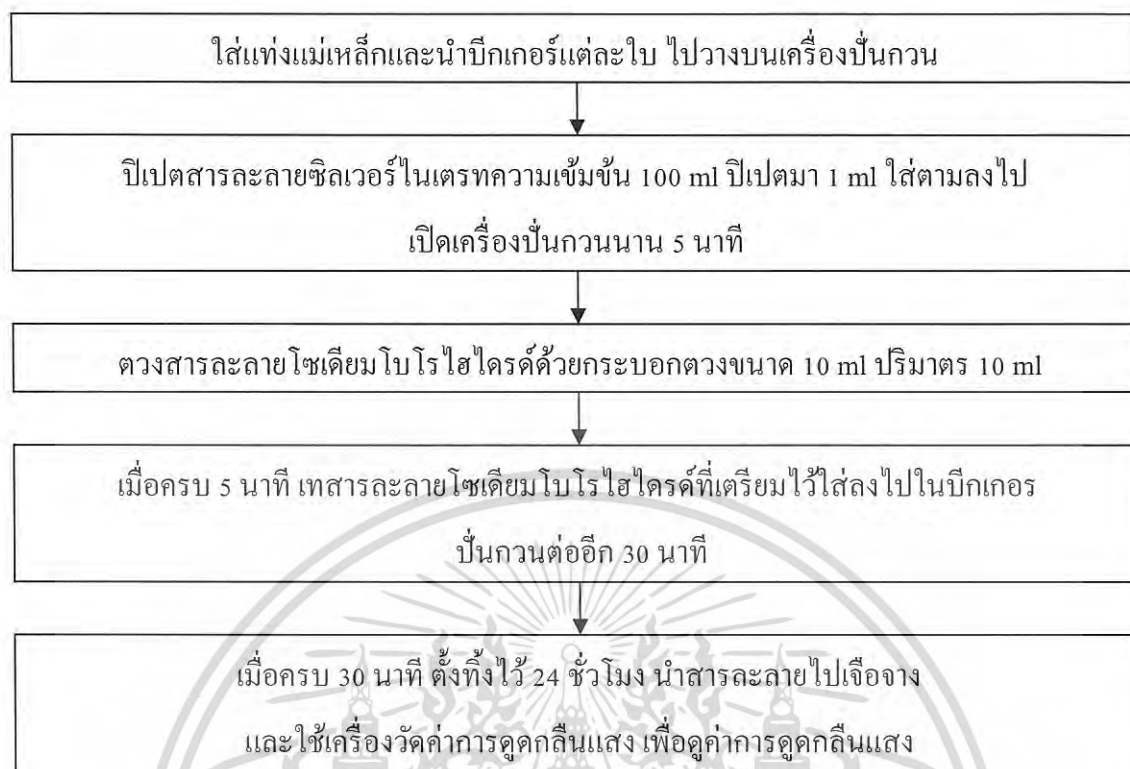
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารรักษาเสถียรภาพ	บีกเกอร์ที่	อัตราส่วนของ
		AgNO <sub>3</sub> (ml) : สารรักษาเสถียรภาพ(ml) : NaBH <sub>4</sub> (ml)
CoPSS	19	1 : 0.9 : 10
	20	1 : 1 : 10
	21	1 : 3 : 10
	22	1 : 5 : 10
PMA	23	1 : 0.05 : 10
	24	1 : 0.07 : 10
	25	1 : 0.09 : 10
	26	1 : 0.1 : 10
	27	1 : 0.3 : 10
	28	1 : 0.5 : 10
	29	1 : 0.7 : 10
	30	1 : 0.9 : 10
	31	1 : 1 : 10
	32	1 : 3 : 10
	33	1 : 5 : 10

ตารางที่ 3.4 แสดงชนิด และอัตราส่วนของสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แผนภูมิแสดงการสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี

### 3.5 การประยุกต์ใช้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

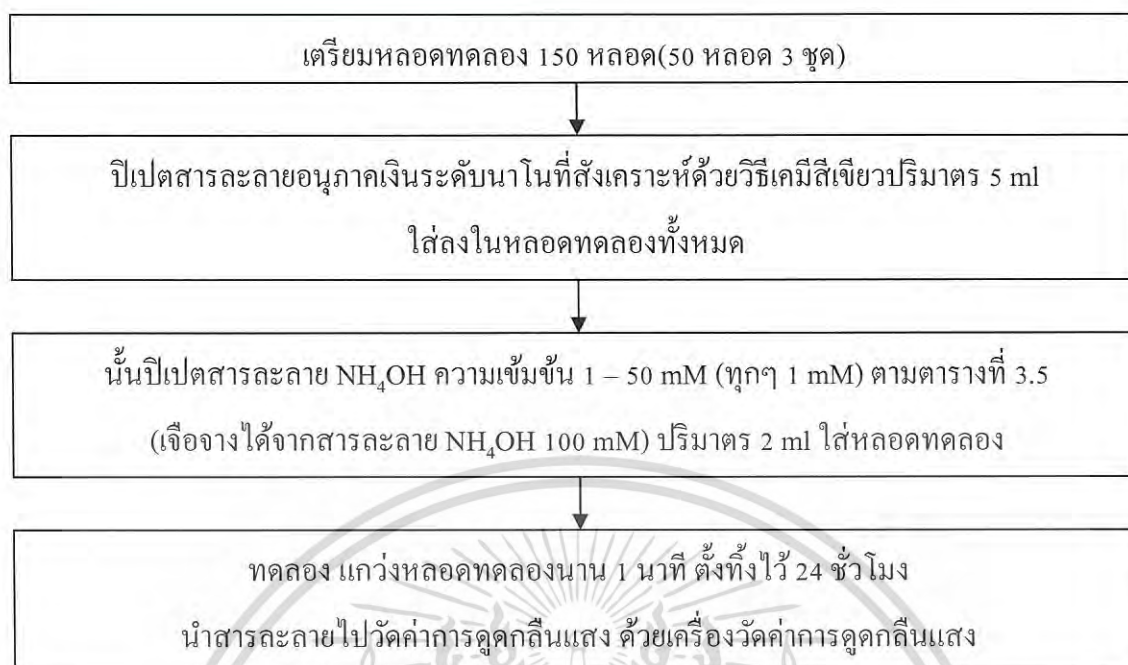
#### 3.5.1 ศึกษาความสามารถในการรับรู้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )

เตรียมหลอดทดลอง 150 หลอด (50 หลอด 3 ชุด) ปิเปตสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวปริมาณ 5 ml ใส่ลงในหลอดทดลองทั้งหมด จากนั้นปิเปตสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$  ความเข้มข้น 1 – 50 mM (ทุกๆ 1 mM) ตามตารางที่ 3.5 (เจือจางได้จากสารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$  100 mM) ปริมาตร 2 ml ใส่หลอดทดลอง แก้วหลอดทดลองนาน 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปที่ 3.14

สารรักษาเสถียรภาพ	หลอดทดลองที่	ความเข้มข้นของตัวรับรู้ $\text{NH}_4\text{OH}$ (mM)
PAA	1-50 (ชุดที่1)	1 - 50
CoPSS	51-100 (ชุดที่2)	1 - 50
PMA	101-150 (ชุดที่3)	1 - 50

ตารางที่ 3.5 แสดงสารรักษาเสถียรภาพและความเข้มข้นของตัวรับรู้  $\text{NH}_4\text{OH}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แผนภูมิแสดงการประยุกต์ใช้ตัวรับรู้อาหารละลาย  $\text{NH}_4\text{OH}$

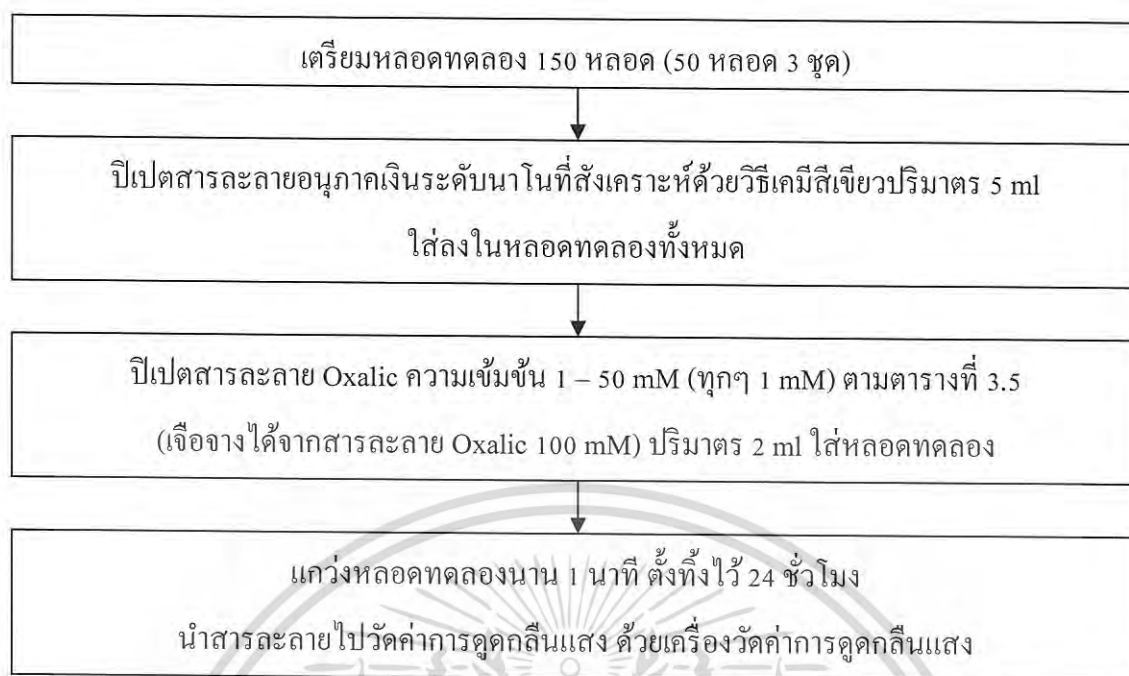
### 3.5.1 ศึกษาความสามารถในการรับรู้สารละลายกรดออกซาลิก (Oxalic)

เตรียมหลอดทดลอง 150 หลอด (50 หลอด 3 ชุด) ปิเปตสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวปริมาตร 5 ml ใส่ลงในหลอดทดลองทั้งหมด จากนั้นปิเปตสารละลาย Oxalic ความเข้มข้น 1 – 50 mM (ทุกๆ 1 mM) ตามตารางที่ 3.6 (เจือจางได้จากสารละลาย Oxalic 100 mM) ปริมาตร 2 ml ใส่หลอดทดลอง แกว่งหลอดทดลองนาน 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมดูได้จากรูปที่ 3.15

สารรักษาเสถียรภาพ	หลอดทดลองที่	ความเข้มข้นของตัวรับรู้ออกซาลิก (mM)
PAA	1-50 (ชุดที่1)	1 - 50
CoPSS	51-100 (ชุดที่2)	1 - 50
PMA	101-150 (ชุดที่3)	1 - 50

ตารางที่ 3.6 แสดงสารรักษาเสถียรภาพและความเข้มข้นของตัวรับรู้ออกซาลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แผนภูมิแสดงการประยุกต์ใช้ตัวรับรู้สารละลาย Oxalic

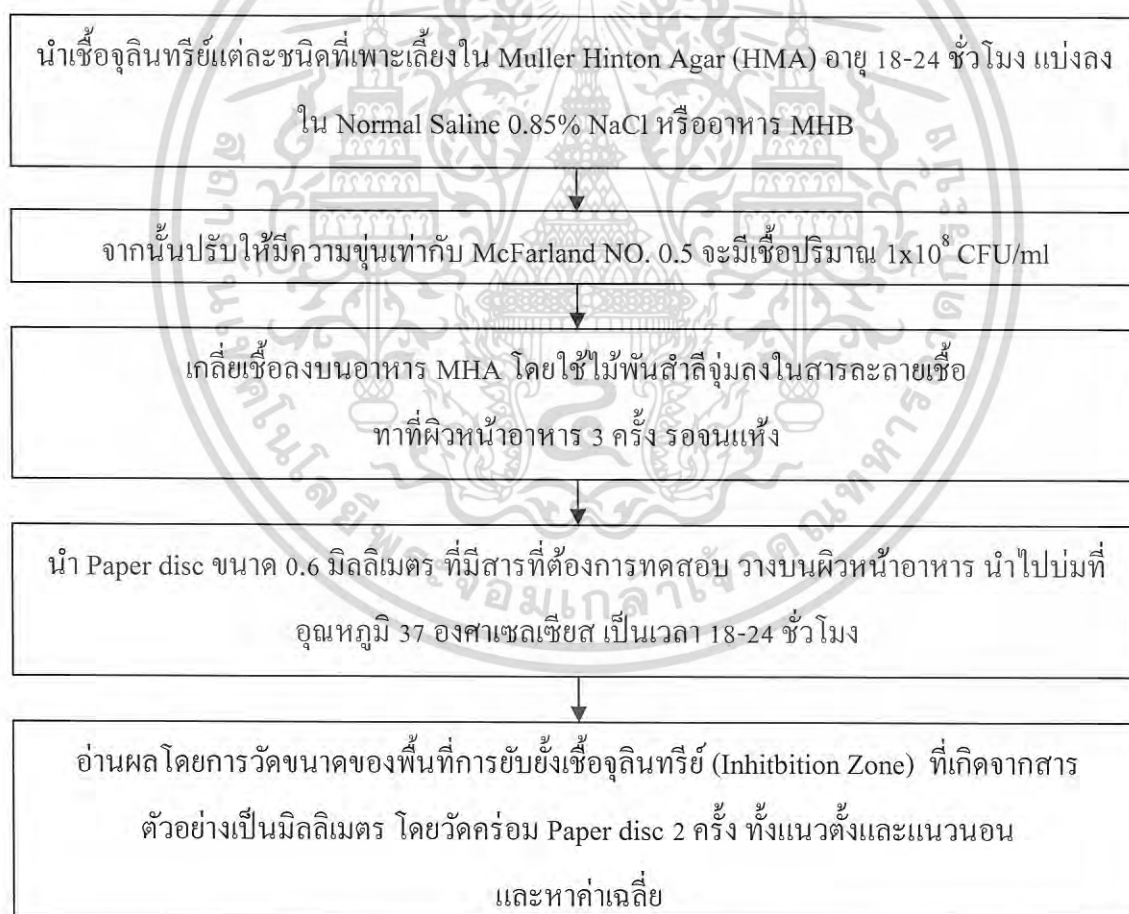
### 3.5.3 การประยุกต์ใช้กับการต้านเชื้อจุลินทรีย์

#### 3.5.3.1 สารละลาย

การทดสอบการออกฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ ทำได้โดยการใช้วิธี Agar - dis diffusion เพื่อวัดพื้นที่การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน (Inhibition Zone) สารละลายที่เราใช้ทดสอบ คือ สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยมีสารรักษาสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM, PAA ความเข้มข้น 9 mM, CoPSS ความเข้มข้น 7 mM และสารละลายอนุภาคเงินที่ไม่มีสารเพิ่มความคงตัว ส่วนเชื้อจุลินทรีย์ที่เราเลือกศึกษา ได้แก่ *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 (*S. aureus*), *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (*P. aeruginosa*) และ *Candida albicans* ATCC 10231 (*C. albicans*) วิธี Agar dis diffusion มีวิธีทำดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. นำเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดที่เพาะเลี้ยงใน Muller Hinton Agar (HMA) อายุ 18-24 ชั่วโมง แบ่งลงใน Normal Saline 0.85% NaCl หรืออาหาร MHB จากนั้นปรับให้มีความขุ่นเท่ากับ McFarland NO. 0.5 จะมีเชื้อปริมาณ  $1 \times 10^8$  CFU/ml
2. เกลี่ยเชื้อลงบนอาหาร MHA โดยใช้ไม้พ่นลำสีจุ่มลงในสารละลายเชื้อ แล้วนำไปทาที่ผิวหน้าอาหาร 3 ครั้ง รोजनแห้ง
3. นำ Paper disc ขนาด 0.6 มิลลิเมตร ที่มีสารที่ต้องการทดสอบ วางบนผิวหน้าอาหาร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง
4. อ่านผลโดยการวัดขนาดของพื้นที่การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Inhibition Zone) ที่เกิดจากสารตัวอย่างเป็นมิลลิเมตร โดยวัดคร่อม Paper disc 2 ครั้ง ทั้งแนวตั้งและแนวนอน และหาค่าเฉลี่ย โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมคูได้จากรูปที่ 3.16

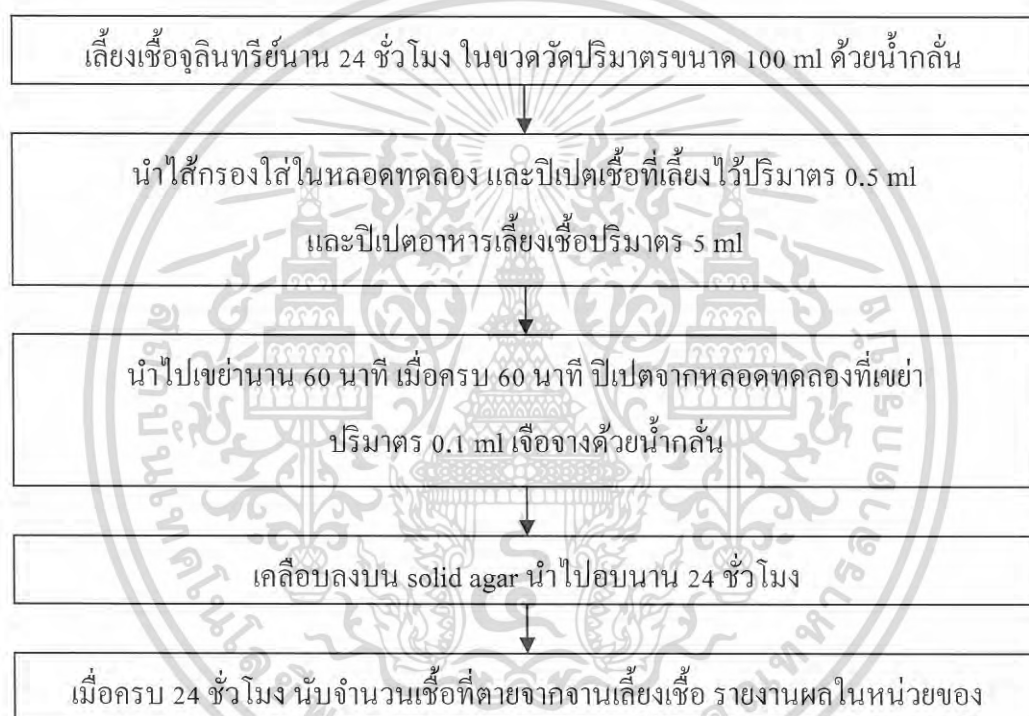


รูปที่ 3.16 แผนภูมิแสดงการประยุกต์ใช้กับการต้านเชื้อจุลินทรีย์ผ่านสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.3.2 จุ่มเคลือบบนไส้กรอง

เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์นาน 24 ชั่วโมง ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml ด้วยน้ำกลั่น เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นำไส้กรองใส่ในหลอดทดลอง และปิเปตเชื้อที่เลี้ยงไว้ปริมาตร 0.5 ml และปิเปตอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 5 ml ใส่ตามลงไป จากนั้นนำไปเขย่านาน 60 นาที เมื่อครบ 60 นาที ปิเปตจากหลอดทดลองที่เขย่าปริมาตร 0.1 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่น จากนั้นเคลือบลงบน solid agar นำไปอบนาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นับจำนวนเชื้อที่ตายจากงานเลี้ยงเชื้อ รายงานผลในหน่วยของ %reduction of bacteria โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมคูได้จากรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แผนภูมิแสดงการประยุกต์ใช้กับการด้านเชื้อจุลินทรีย์ผ่านการจุ่มเคลือบบนไส้กรอง

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากผลการศึกษาสามารถอภิปรายผลการทดลองการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ โดยขั้นตอนแรกได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้

#### 4.1 ผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน

สภาวะที่เหมาะสมที่ใช้การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน มีด้วยกันหลายองค์ประกอบ เช่น ความเข้มข้นและปริมาณของสารละลายซิลเวอร์ไอออน, ความเข้มข้นและชนิดของสารรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing agent) และขั้นตอนวิธีการสังเคราะห์ เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการนำซิลเวอร์ไนเตรทละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ที่ pH ไม่ต่ำกว่า 4.75 (ในงานวิจัยนี้ใช้ pH 4.75) จากนั้นนำสารรักษาเสถียรภาพ (stability agent) มาละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ นำสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทและสารละลายสารรักษาเสถียรภาพ เทรวมกัน นำเข้ากล่อง UV-C lamp (ความยาวคลื่น 100 - 280 nm) เพื่อสัมผัสกับพลังงานจากหลอด UV-C จากนั้นจะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ต่อไป

##### 4.1.1 ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว (Green Synthesis, Photo Reduction)

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว ชนิดและความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ ตลอดจนเวลาที่ใช้สัมผัสกับพลังงานจากหลอด UV-C มีส่วนสำคัญในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน จึงต้องทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้

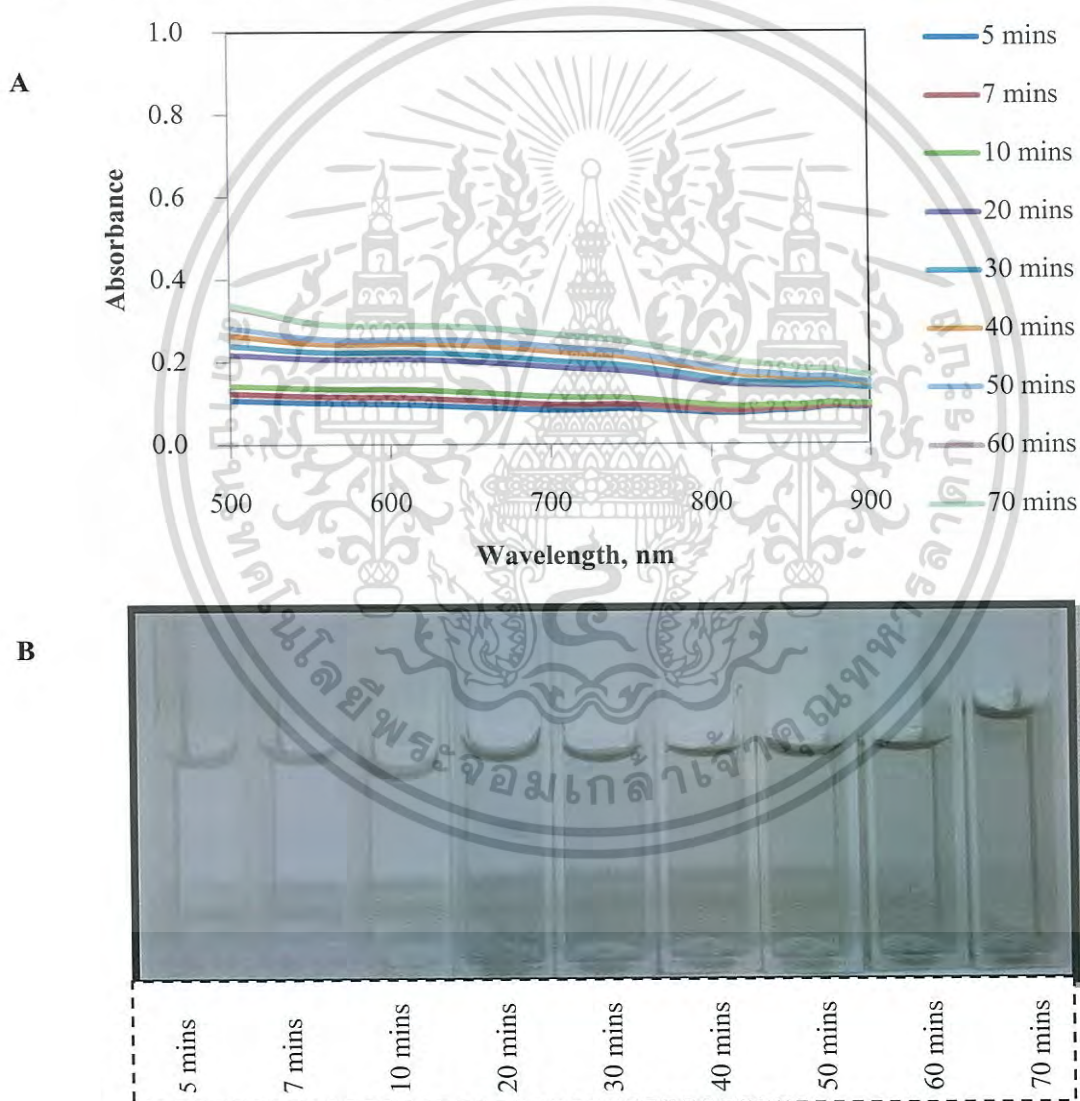
##### 4.1.1.1 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยหลักการของสารรักษาเสถียรภาพ PAA จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีฟ้า ซึ่งความเข้มข้นและเวลาที่สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C มีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นดังต่อไปนี้

ก. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 2 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารเพิ่มความคงตัว PAA ความเข้มข้น 2 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-70 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 2 mM

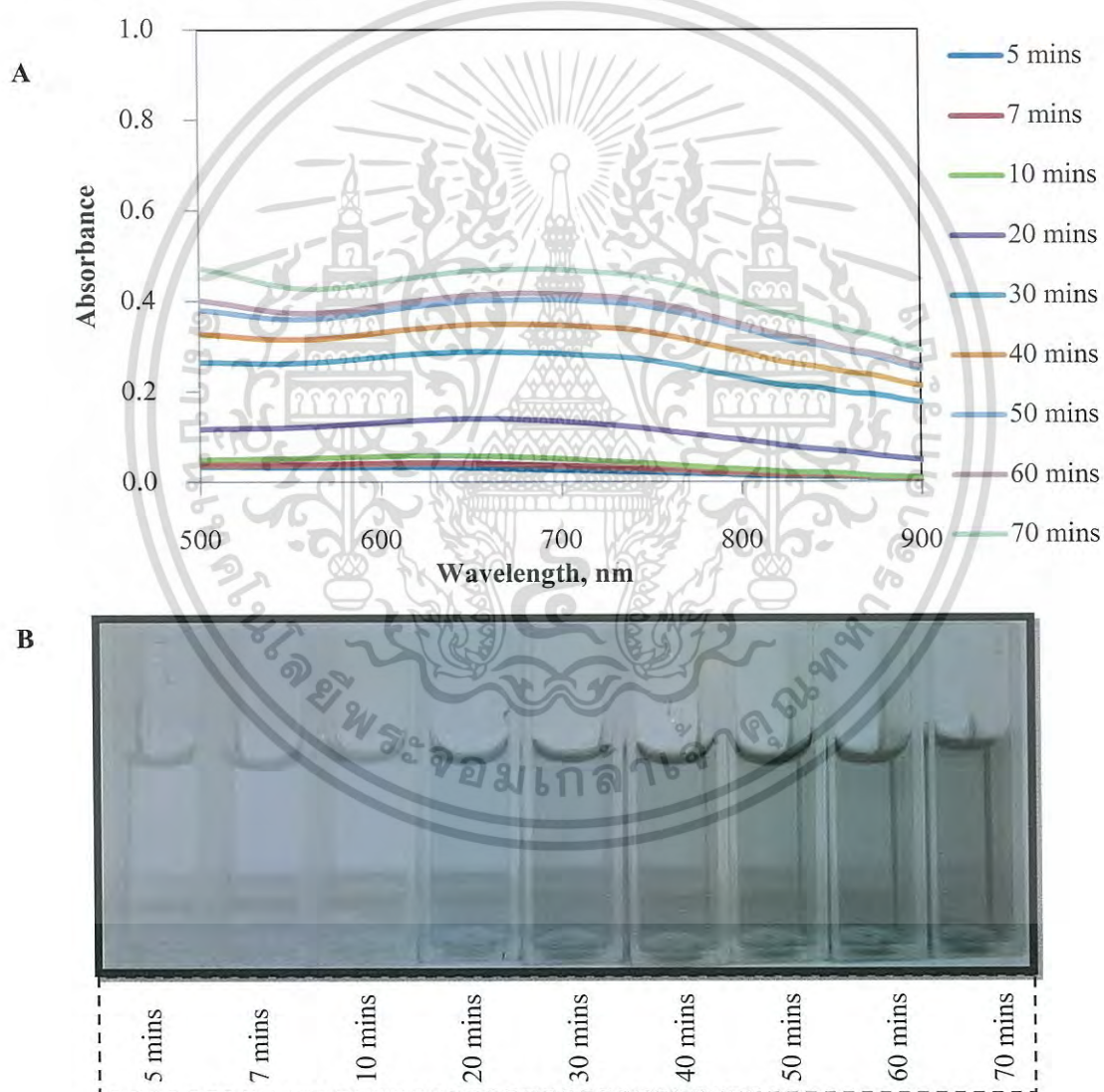
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกึ่งเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PAA ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 5 มิลลิโมลาร์

ข. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 5 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 5 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UVC นาน 5-70 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาดูด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

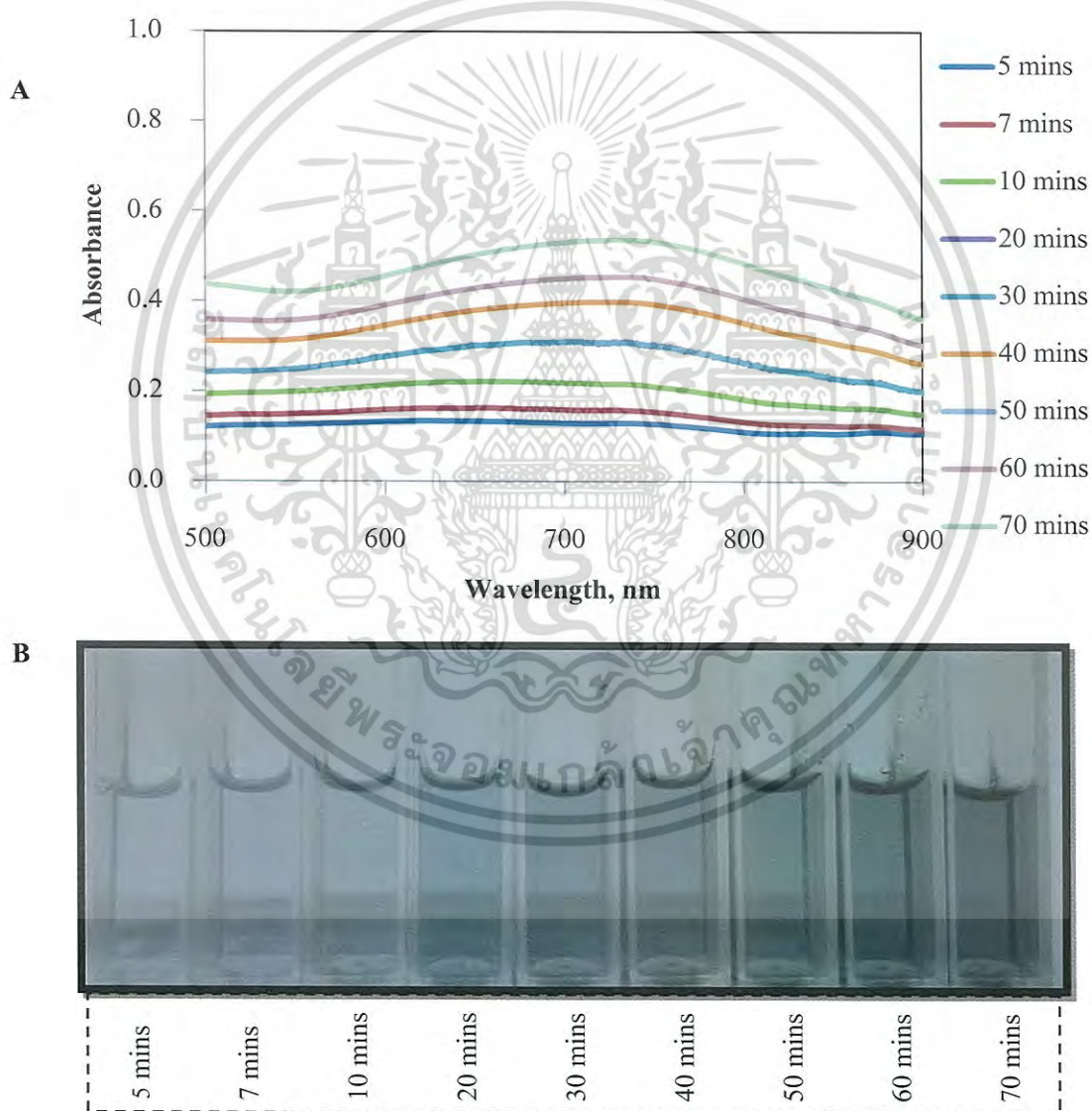
โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 5 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกึ่งเชิงวิชาการเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PAA ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 7 mM

ค. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 7 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 7 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-70 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 7 mM

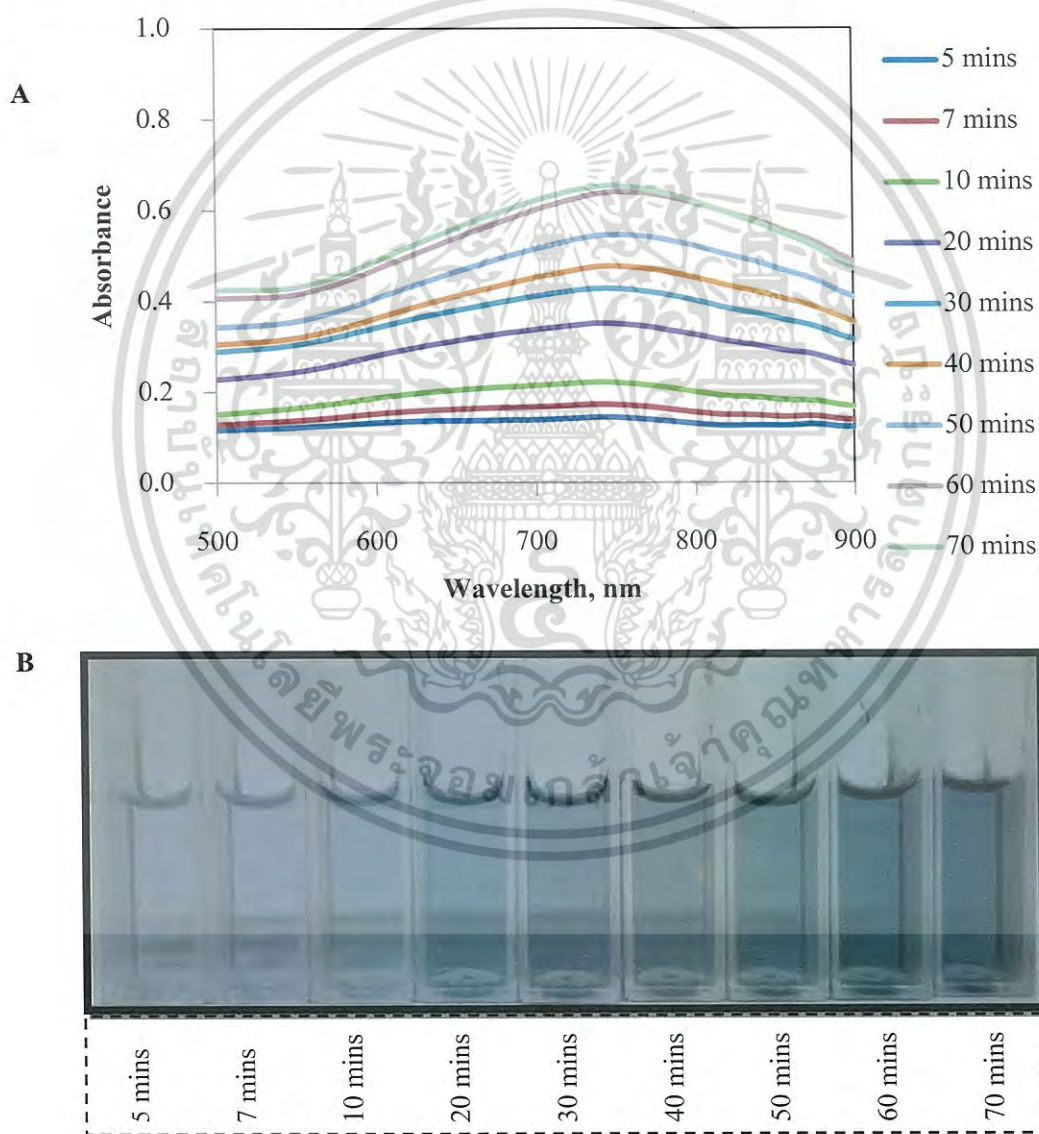
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อยู่ภายใต้เงื่อนไขไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PAA ก็ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 9 mM

ง. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-70 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาดูด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

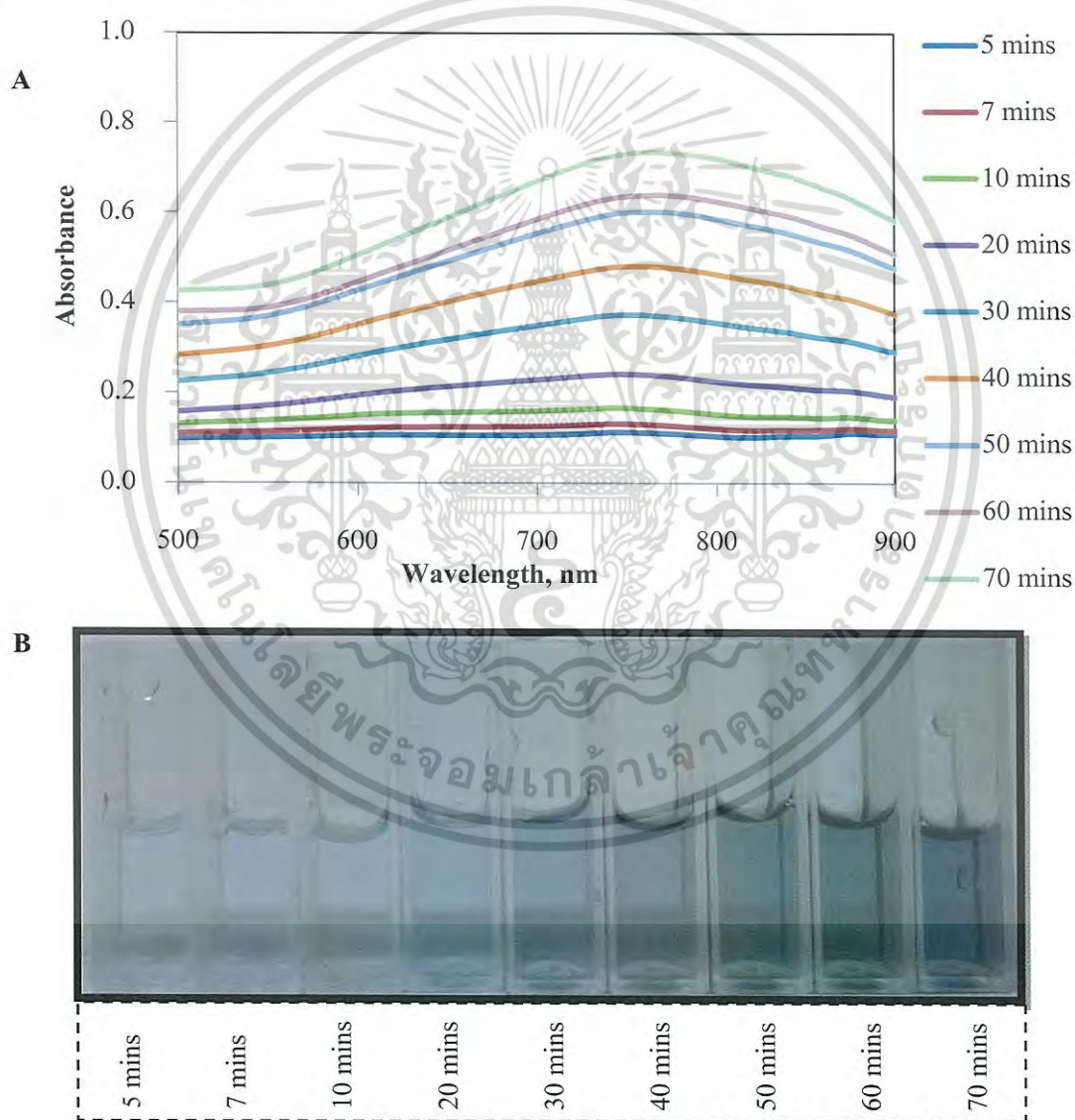
โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจกรรมเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เอาต์เห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากที่ 4.4 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PAA แสดงว่าอนุภาคเงินเกิดความเสถียร แต่ความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวอาจจะยังน้อยเกินไป จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 13 mM

จ. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 13 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 13 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-70 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 13 mM

ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

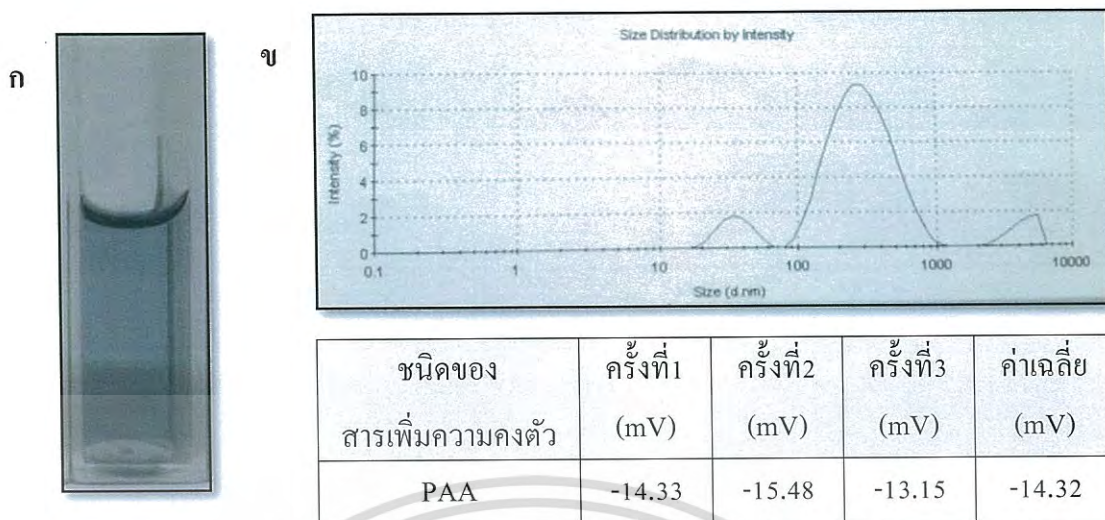
เมื่อพิจารณารูปที่ 4.5 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PAA แสดงว่าอนุภาคเงินเกิดความเสถียร และได้สารละลายสีที่ใกล้เคียงกับความเข้มข้น 9 mM ดังนั้นความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ ที่ 13 mM เป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปจนจำเป็นในการสังเคราะห์ ฉะนั้นจึงใช้สารรักษาเสถียรภาพ ที่ความเข้มข้น 9 mM

### สรุปผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการสัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 นาที ตามลำดับ และใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 2, 5, 7, 9, และ 13 mM จะได้สารละลายสีฟ้า

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม จะศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อดูค่าการดูดกลืนแสง ประกอบกับระยะเวลา (นาที) ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตลอดจนความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมของสารเพิ่มความคงตัว PAA ที่ความเข้มข้น 9 mM โดยการสังเคราะห์ภายใต้หลอด UV-C นาน 50 นาที

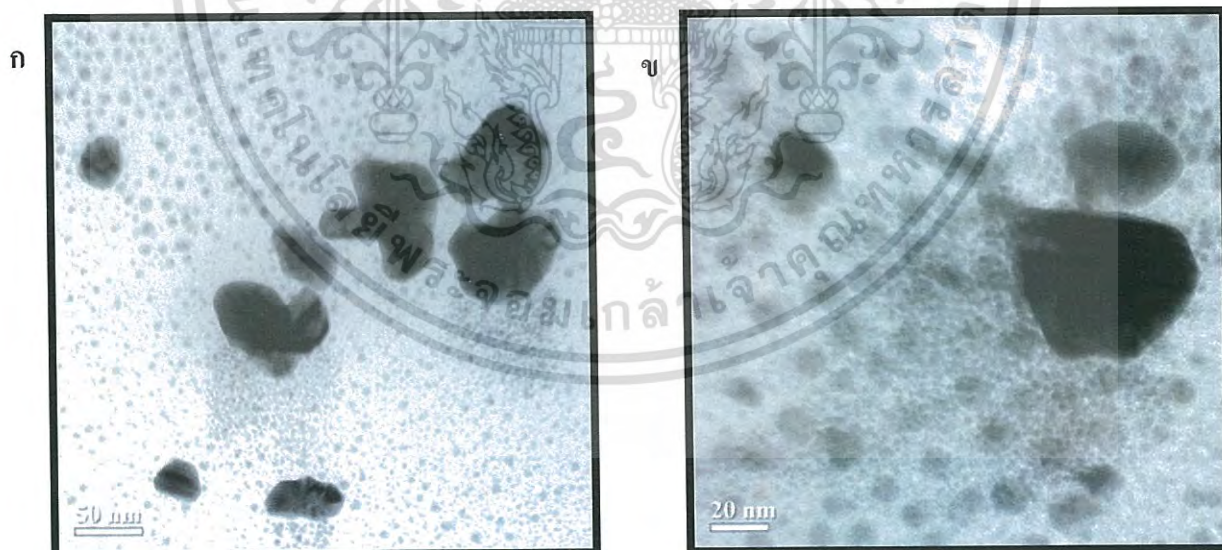
เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษาอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ ตัวช่วยให้อนุภาคเงินเกิดความเสถียร จึงใช้เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Zetasizer Nano ZS) เพื่อทำการศึกษขนาดของอนุภาค ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.6 ประจุของอนุภาคเงินได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.1 และทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.7



ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงประจุของอนุภาค

รูปที่ 4.6 แสดงผลการศึกษารูปร่างและประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารเพิ่มความคงตัว PAA ความเข้มข้น 9 mM

ก. สีของสารละลาย ข. ขนาดของอนุภาค



รูปที่ 4.7 แสดงผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์

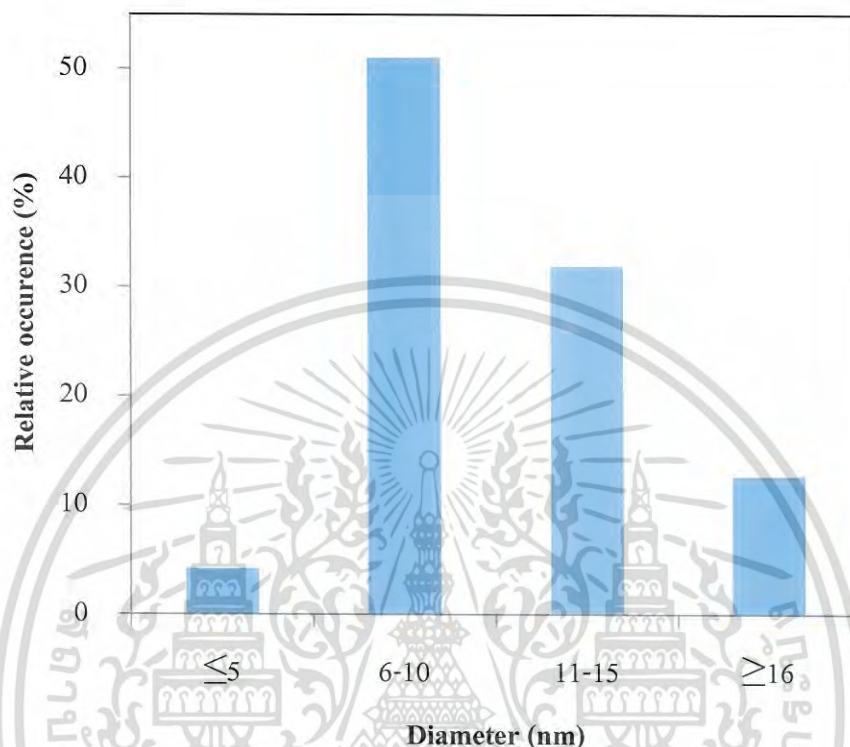
ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM

ก. ขนาดสเกล 50 nm

ข. ขนาดสเกล 20 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดอนุภาคมากมายที่เกิดขึ้น รูปที่ 4.8 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค



รูปที่ 4.8 แสดงค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM

**สรุปผลการศึกษาค่าการกระจายตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM**

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM จะได้สารละลายสีฟ้า แต่เนื่องจากผลการศึกษานี้พบว่ามีอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีขนาดใหญ่ จึงต้องทำการศึกษานี้ของสารเพิ่มความคงตัวชนิดอื่นต่อไป

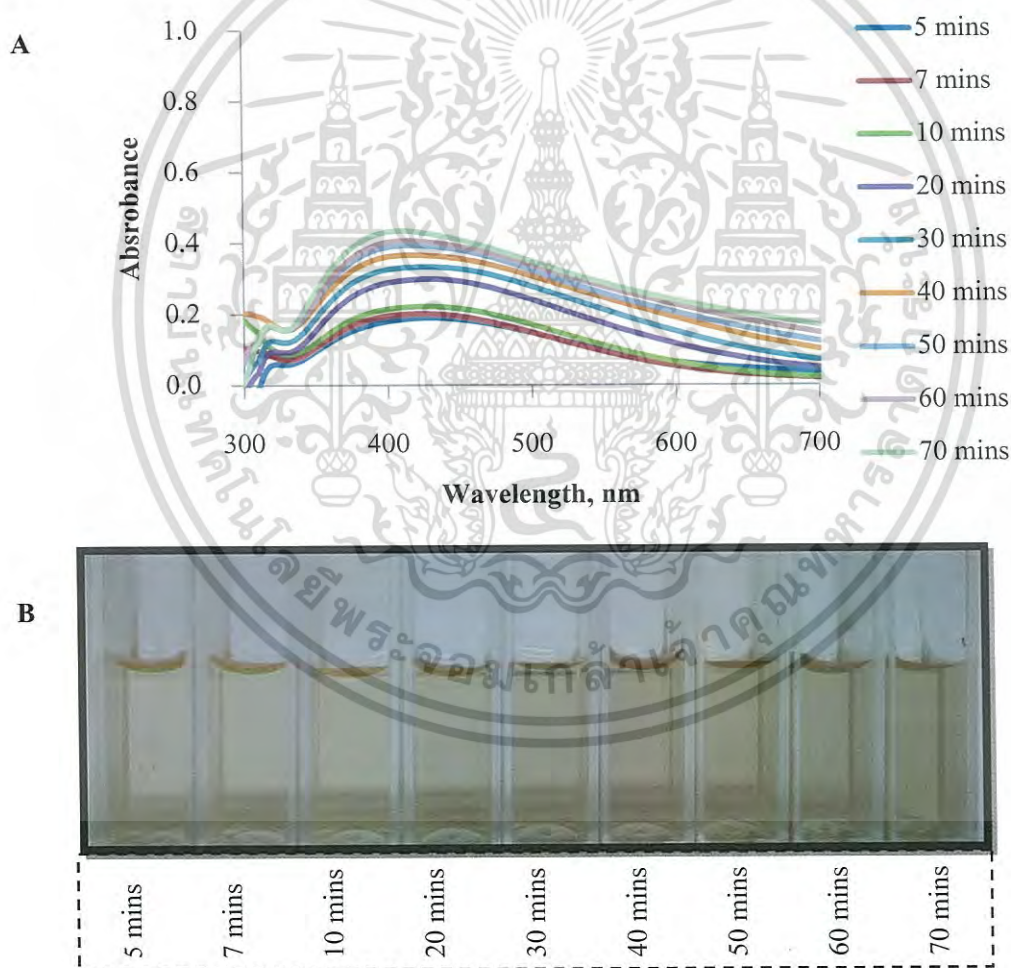
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1.2 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS

โดยหลักการของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีส้ม ซึ่งความเข้มข้นและระยะเวลาที่สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C มีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นดังต่อไปนี้

##### ก. สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใส่สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-70 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

โดยการใส่สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM

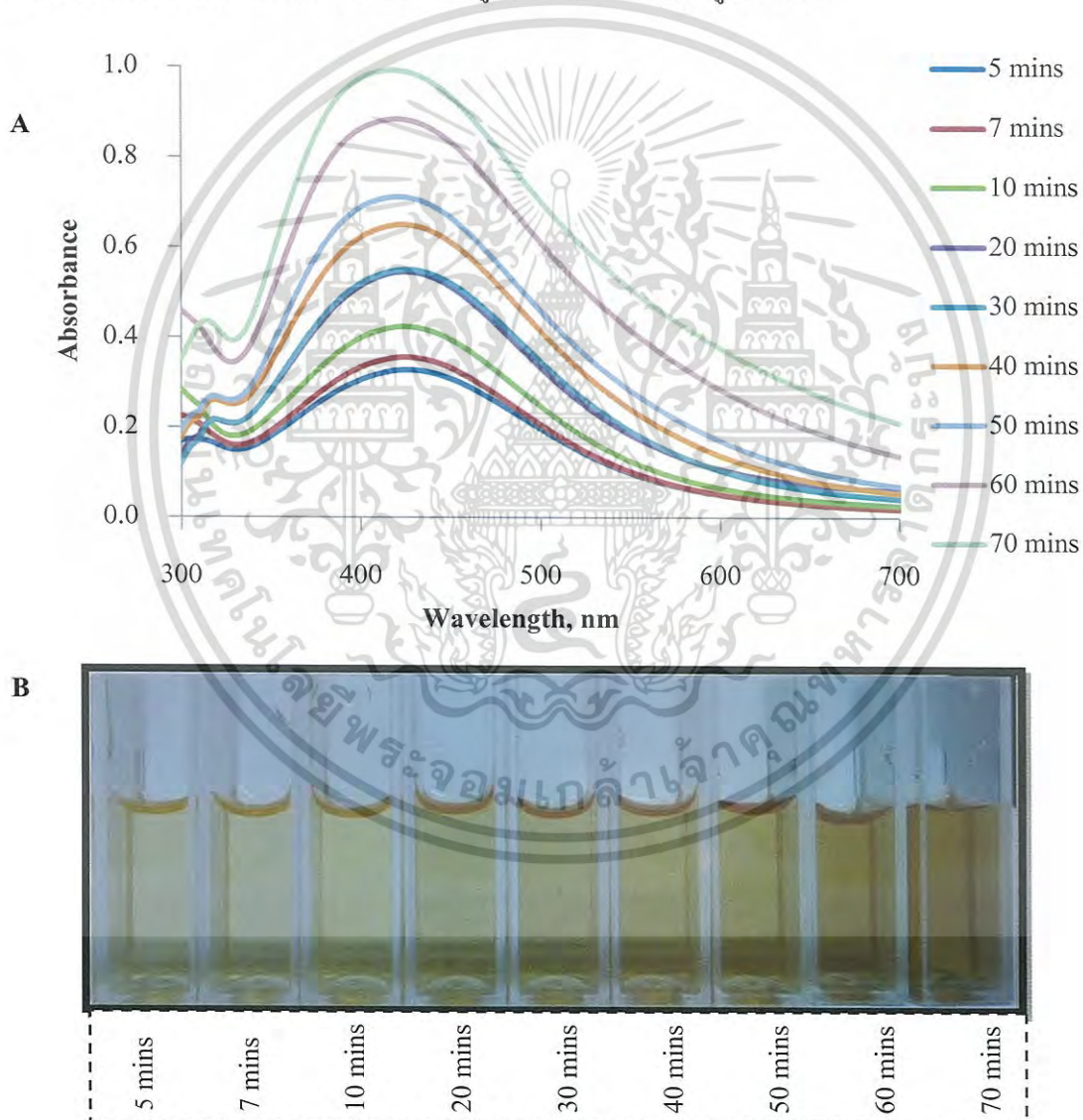
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.9 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 4 mM

ข. สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 4 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 4 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-70 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาดูด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.10



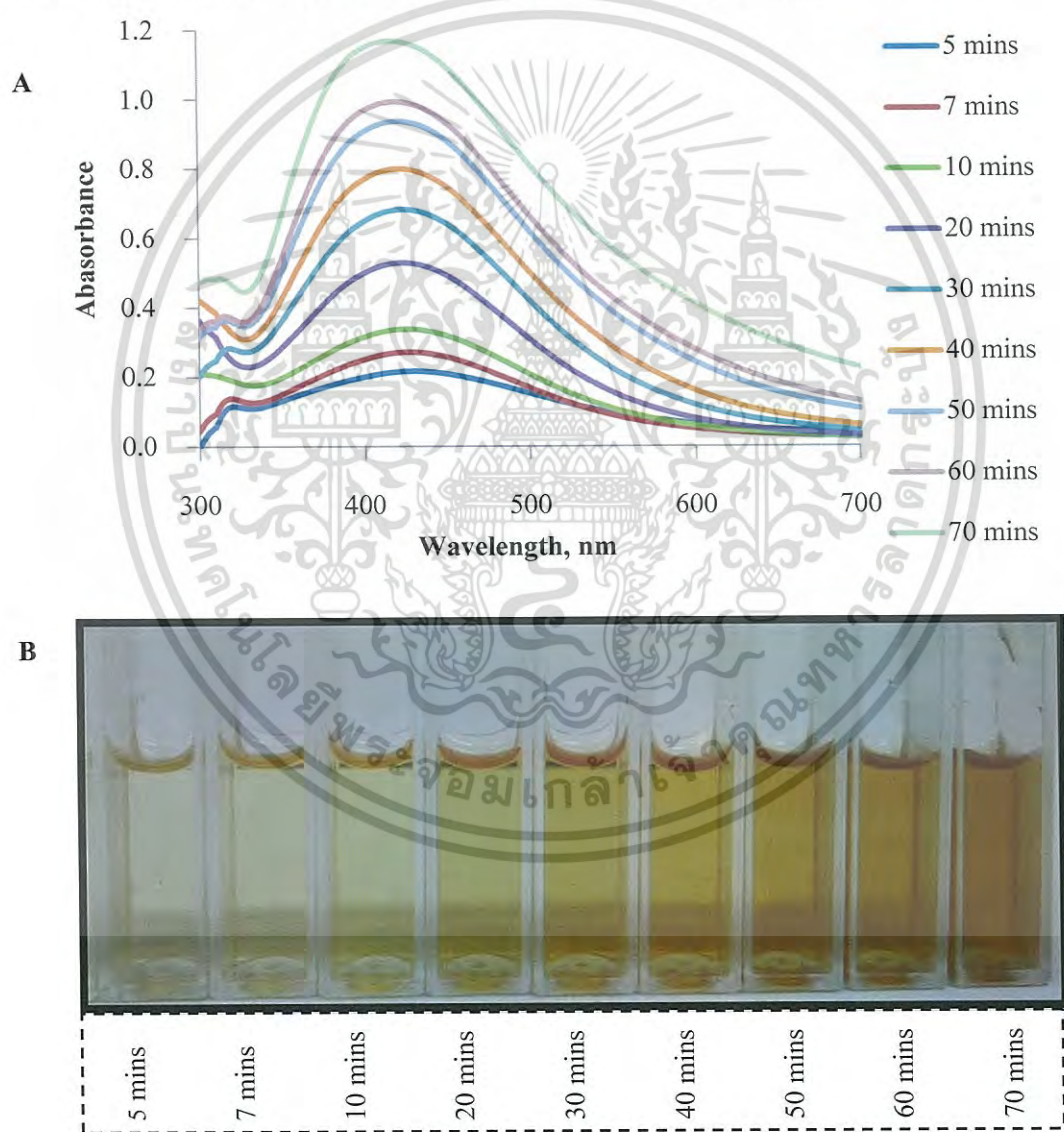
รูปที่ 4.10 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 4 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.10 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 5 mM

ค. สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 5 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 5 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-70 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาคู่ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 5 mM

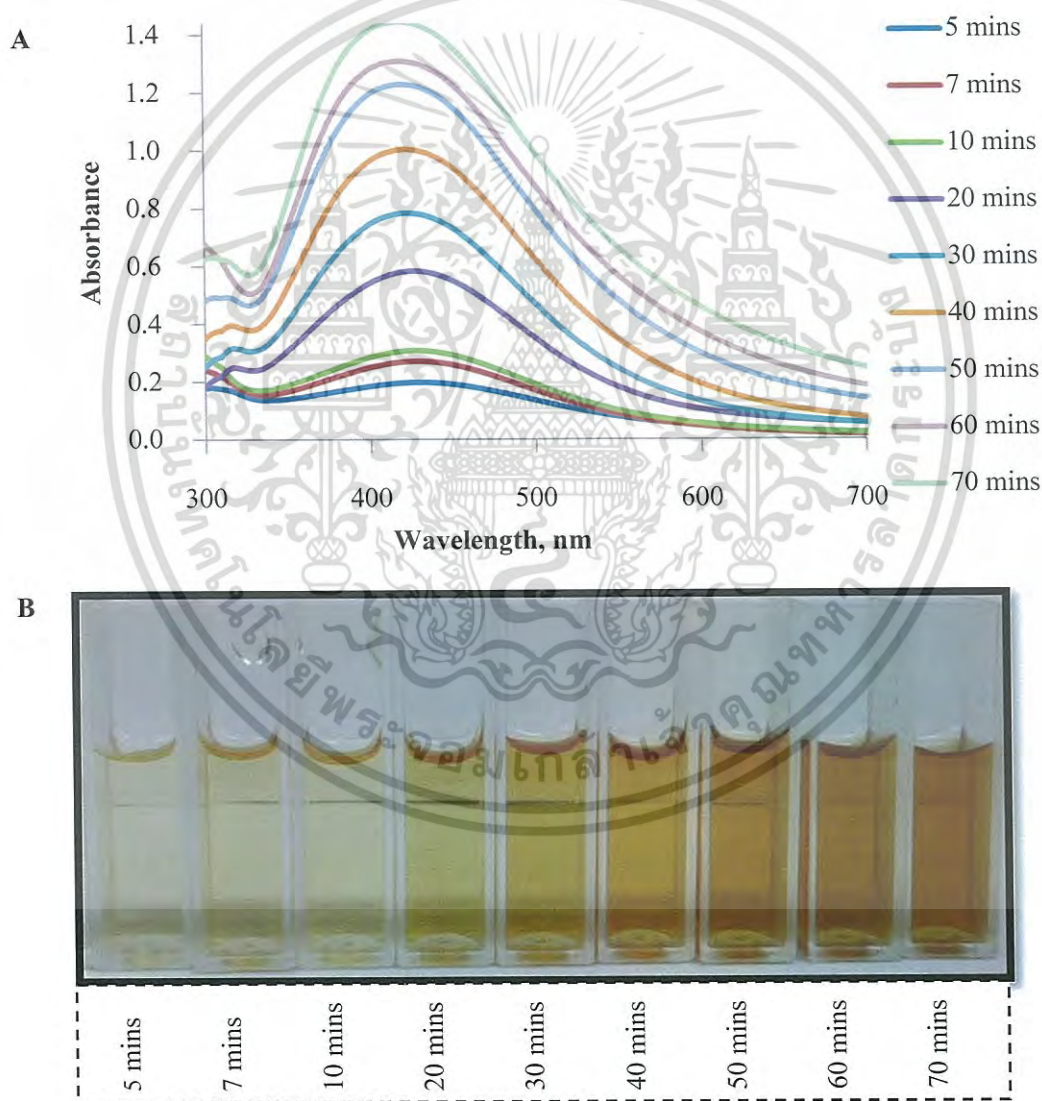
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.11 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ยังไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 7 mM

ง. สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-70 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM

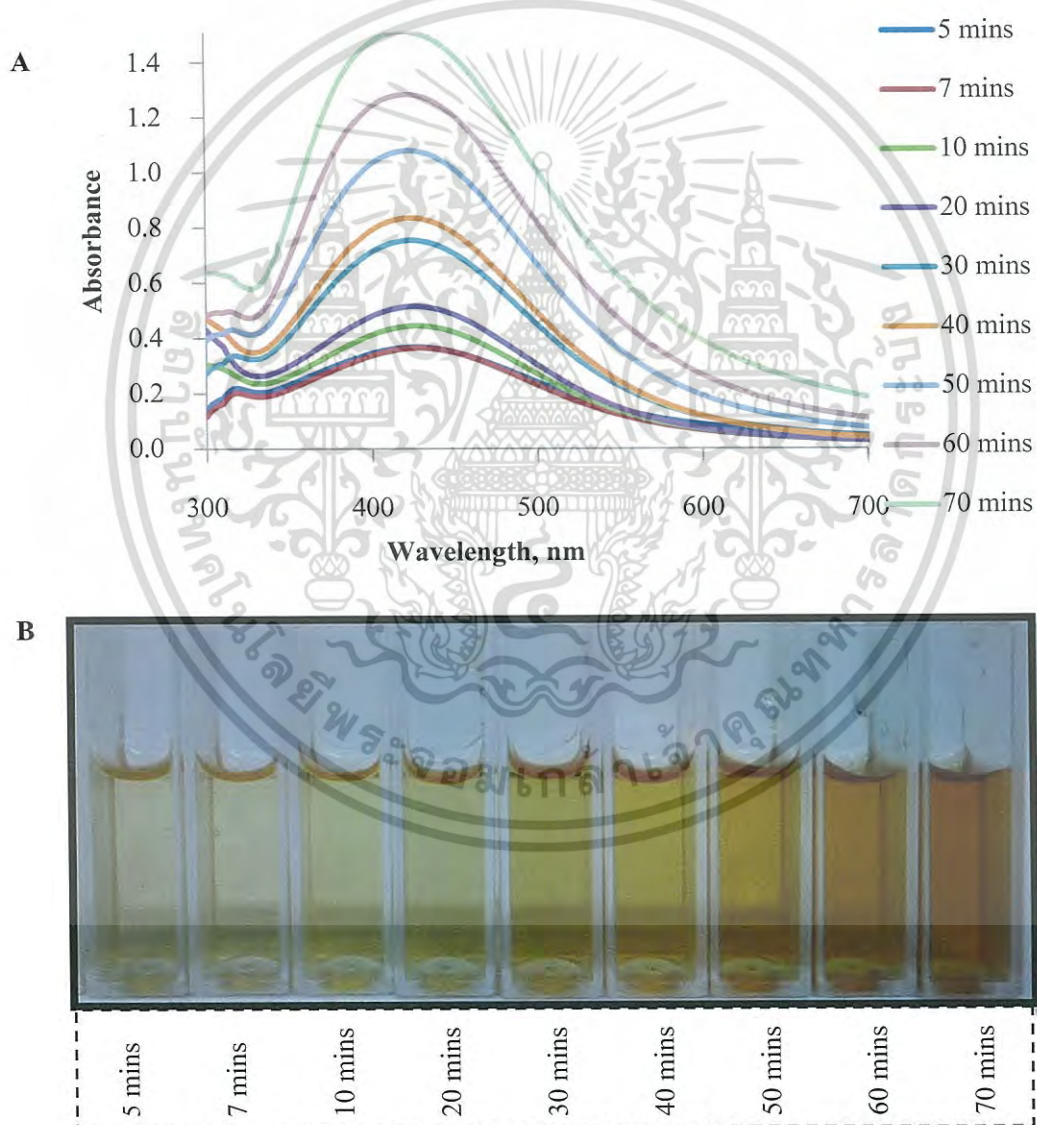
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกิจเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.12 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS แสดงว่าอนุภาคเงินเสถียร แต่ความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพอาจจะยังน้อยเกินไป จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 9 mM

ง. สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 9 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 9 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-70 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาคู่ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.13 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 9 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกึ่งหนึ่งเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ยู่ได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.13 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS แสดงว่าอนุภาคเงินเกิดความเสถียร และได้สารละลายสีที่ใกล้เคียงกับความเข้มข้น 7 mM ดังนั้นความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ ตัวที่ 9 mM เป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปจนจำเป็นในการสังเคราะห์ ฉะนั้นจึงใช้สารรักษาเสถียรภาพ ที่ความเข้มข้น 7 mM

### สรุปผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการสัมผัสพลังงานจากหลอด UVC นาน 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 นาที ตามลำดับ และใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1, 4, 5, 7, และ 9 mM จะได้สารละลายสีส้ม

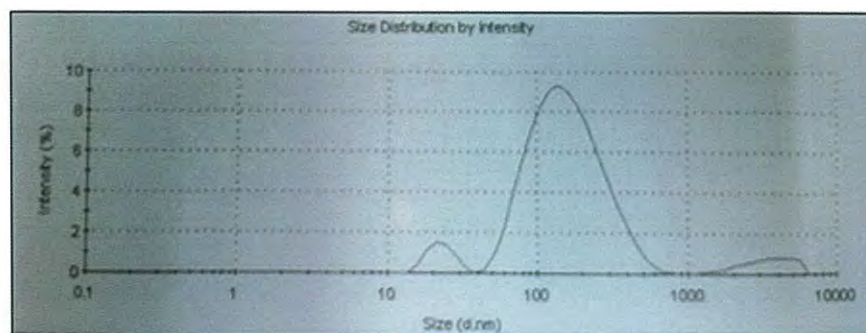
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม จะศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อดูค่าการดูดกลืนแสง ประกอบกับระยะเวลา (นาที) ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตลอดจนความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมของสารเพิ่มความคงตัว CoPSS ที่ความเข้มข้น 7 mM โดยการสังเคราะห์ภายใต้หลอด UV-C นาน 50 นาที

เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษาอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ ช่วยให้อนุภาคเงินเกิดความเสถียร จึงใช้เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Zetasizer Nano ZS) เพื่อทำการศึกษขนาดและประจุของอนุภาคเงินระดับได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.14 และทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.15

ก)



ข)



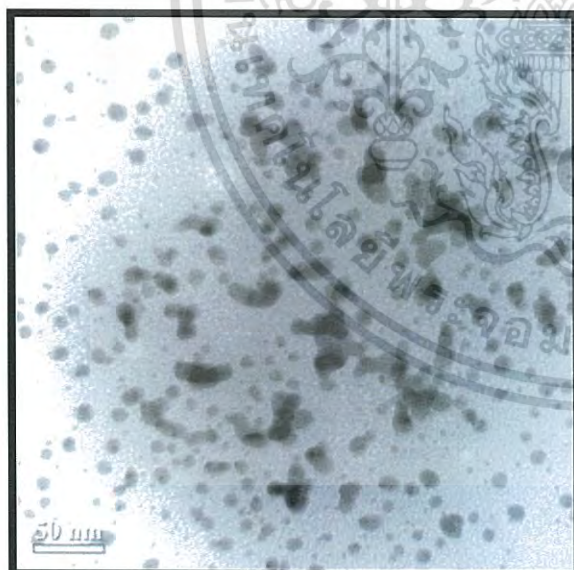
ชนิดของสารเพิ่มความคงตัว	ครั้งที่1 (mV)	ครั้งที่2 (mV)	ครั้งที่3 (mV)	ค่าเฉลี่ย (mV)
CoPSS	-25.47	-28.91	-27.42	-27.36

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงประจุของอนุภาค

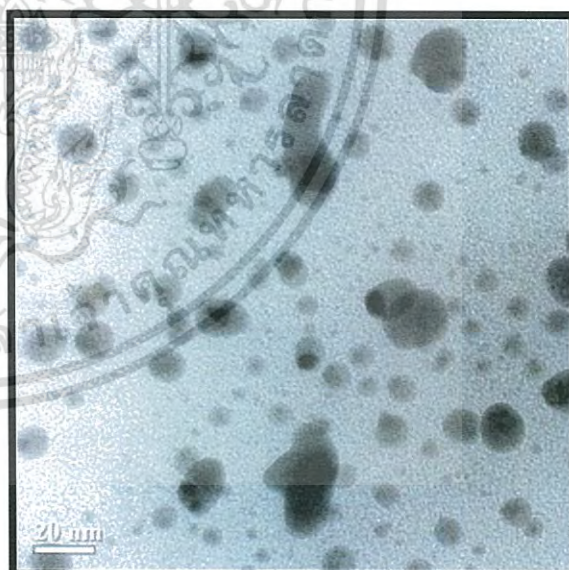
รูปที่ 4.14 แสดงผลการศึกษารูปร่างและประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM

ก. สีของสารละลาย ข. ขนาดของอนุภาค

ก)



ข)



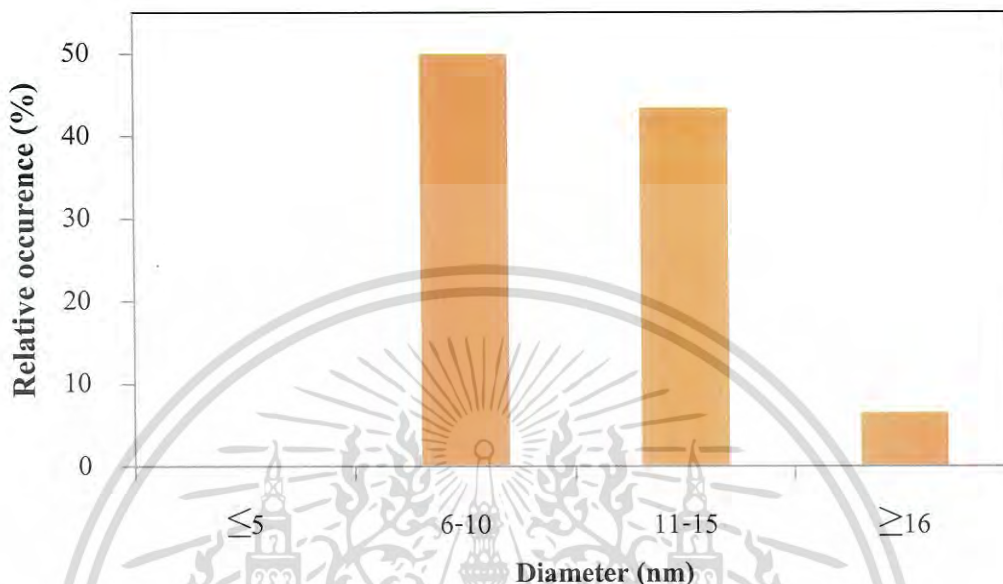
รูปที่ 4.15 แสดงผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์

ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM

ก. ขนาดสเกล 50 nm ข. ขนาดสเกล 20 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดอนุภาคมากมายที่เกิดขึ้น รูปที่ 4.16 ได้แสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค



รูปที่ 4.16 แสดงค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM

สรุปผลการศึกษาการหาสถานะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM จะได้สารละลายสีส้ม และผลการศึกษานาโนและประจุ พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดเล็กเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ แต่การประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ สีของสารละลายจะมีสีเหลืองอ่อน ซึ่งเป็นเฉดสีเดียวกับสารละลายก่อนการประยุกต์ใช้งาน อาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง จึงต้องทำการศึกษานาโนของสารรักษาเสถียรภาพ อีกหนึ่งชนิด ดังนี้

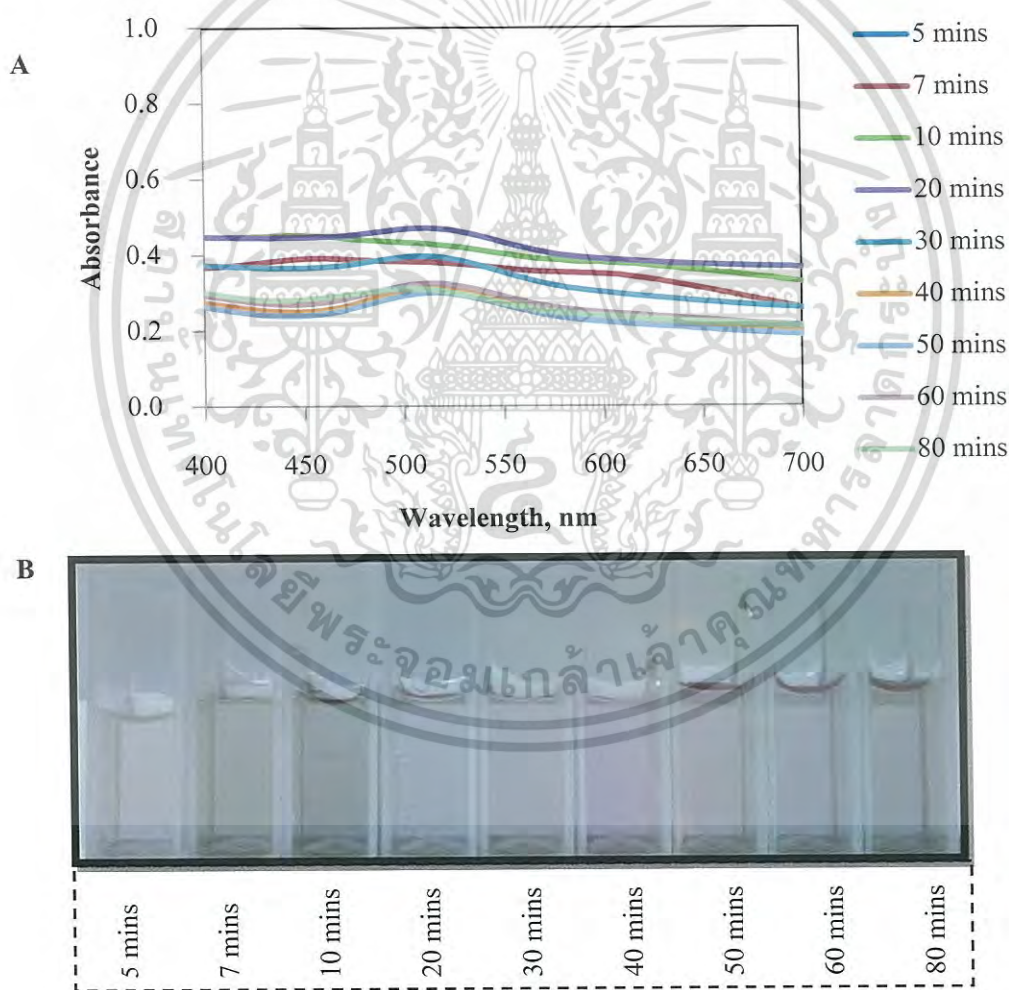
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1.3 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA

โดยหลักการของสารเพิ่มความคงตัว PMA จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีส้ม ซึ่งความเข้มข้นและระยะเวลาที่สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C มีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นดังต่อไปนี้

##### ก. สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-80 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM

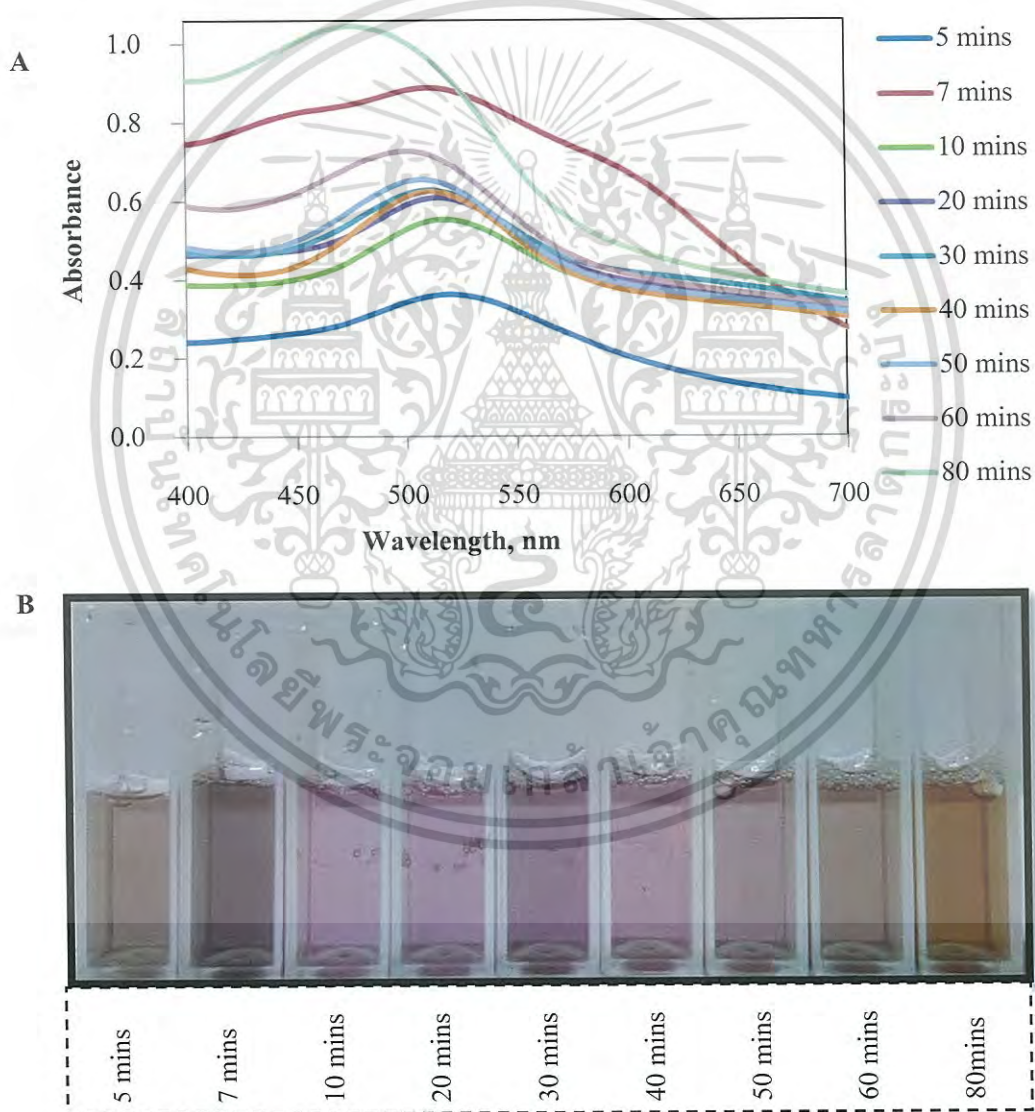
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.17 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PMA ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 3 mM

ข. สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 3 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 3 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-80 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.18



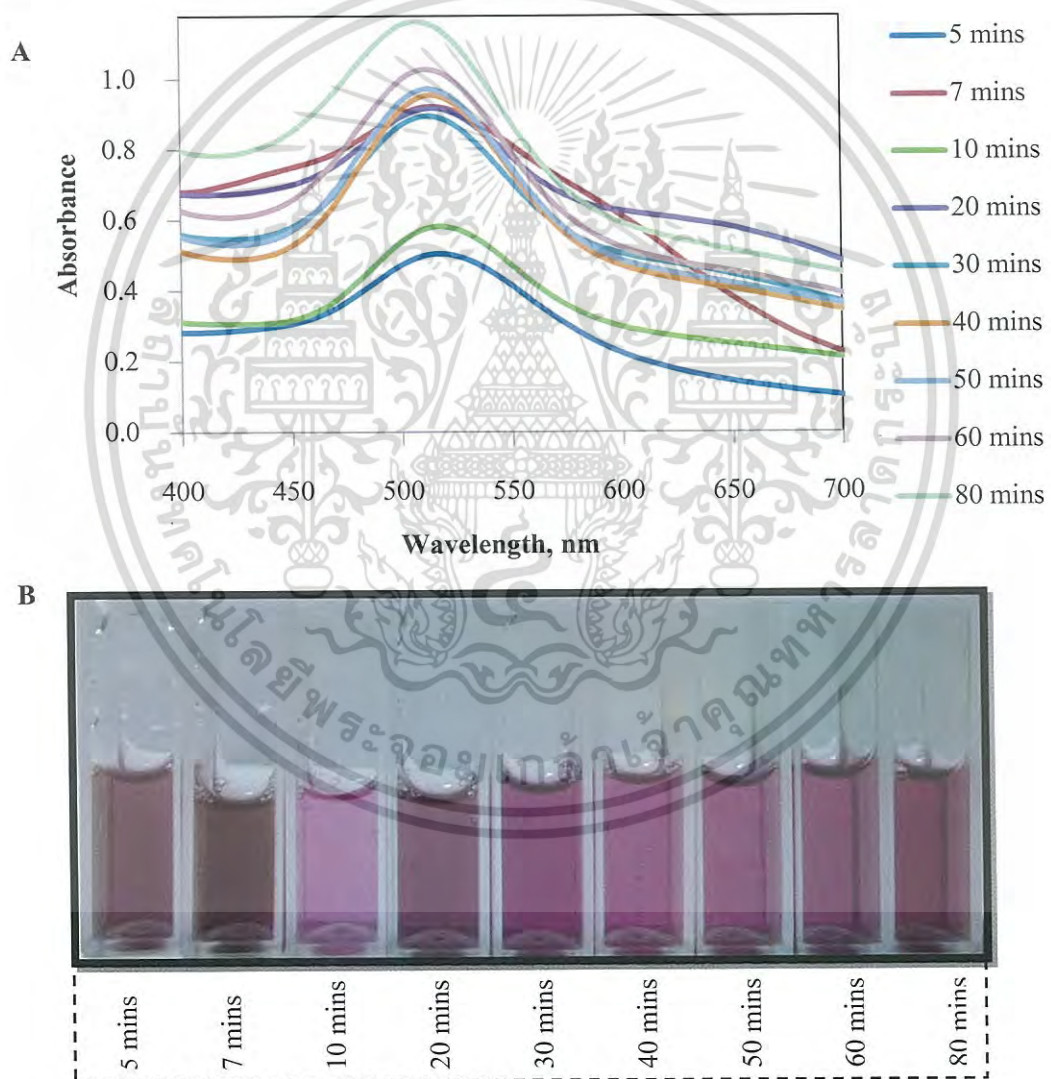
รูปที่ 4.18 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 3 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ยู่ได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.18 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PMA ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 5 mM

ค. สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 5 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 5 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-80 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 5 mM

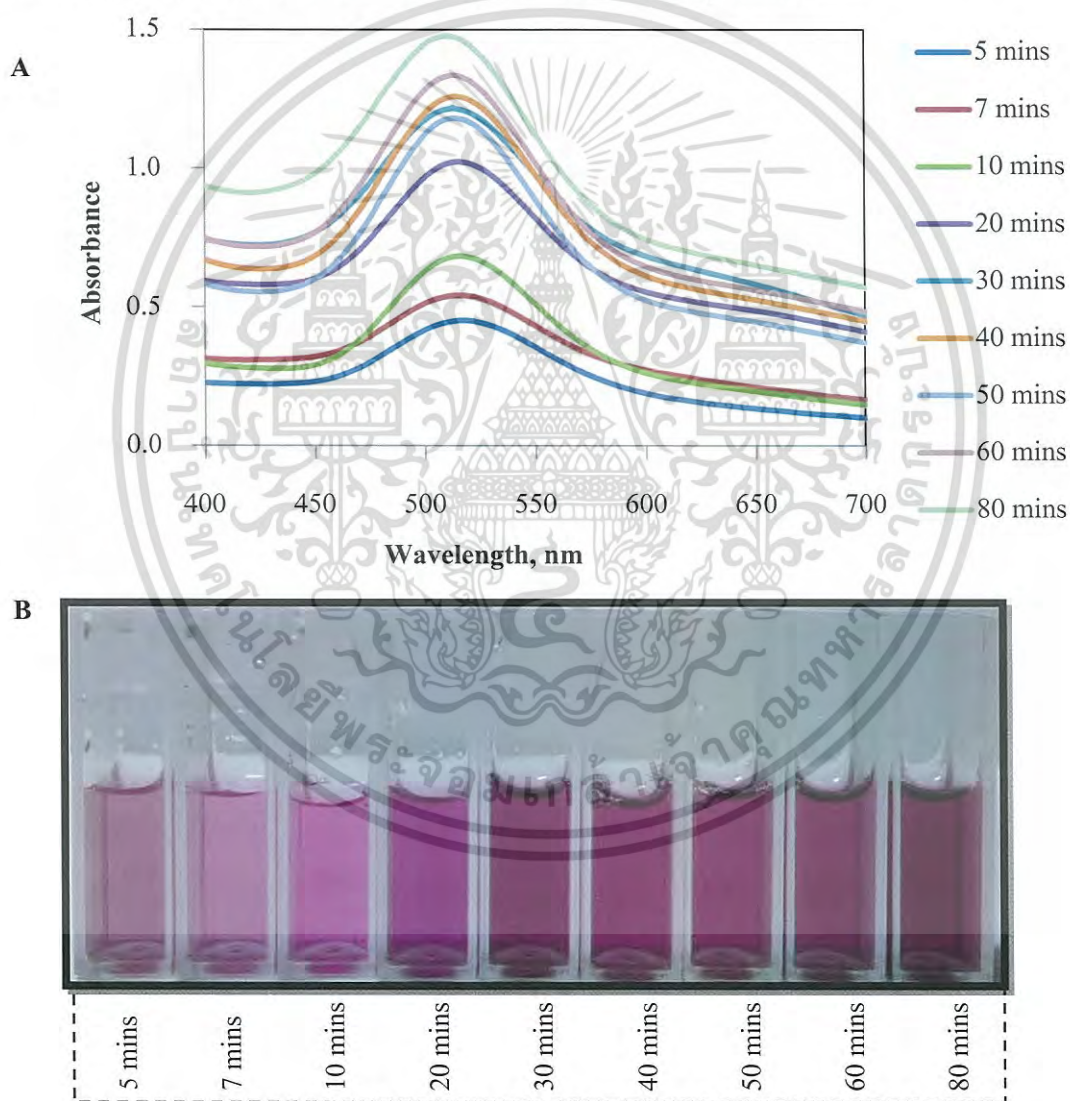
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.19 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PMA ก็ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 7 mM

ง. สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-80 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM

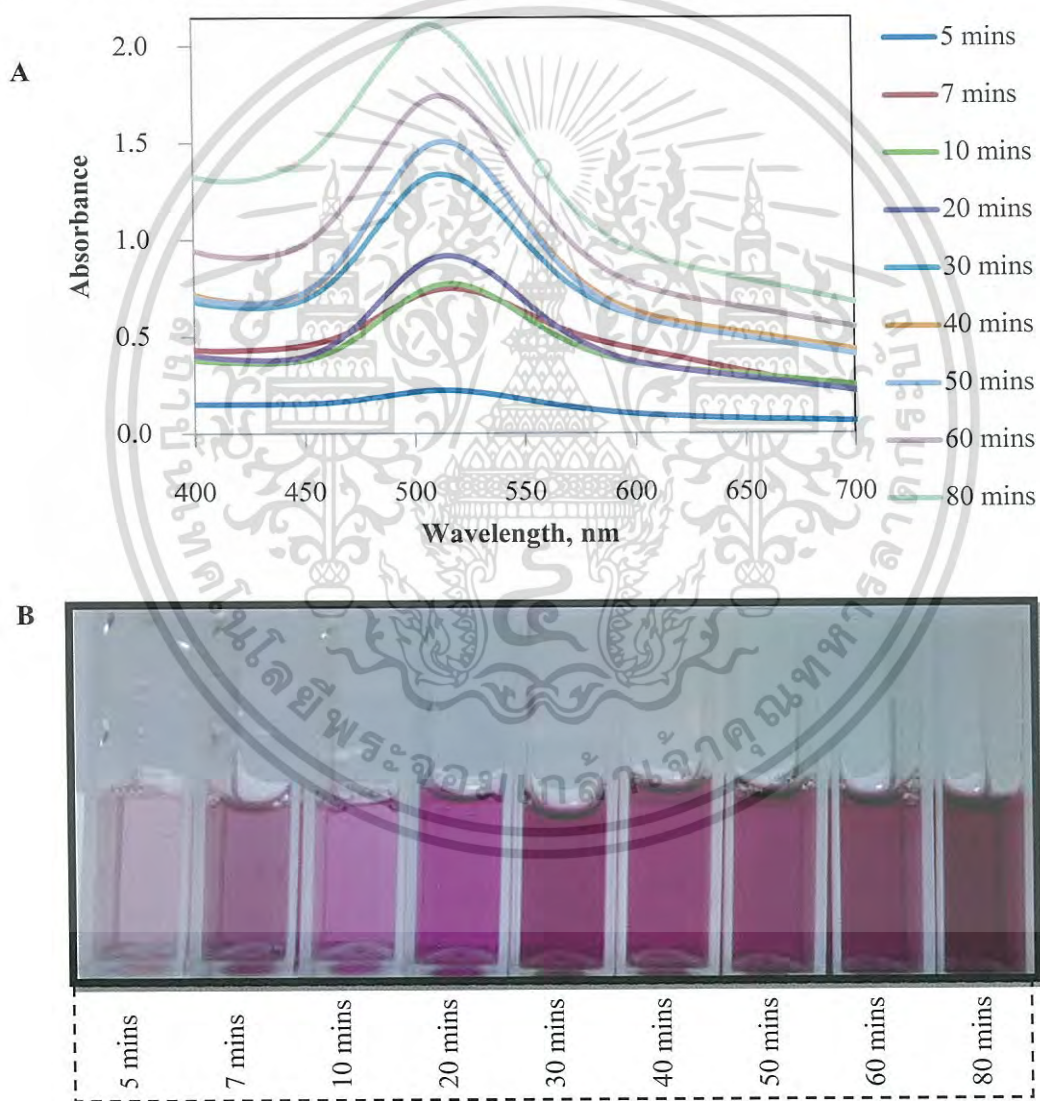
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.20 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PMA แสดงว่าอนุภาคเงินเกิดความเสถียร แต่ความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ อาจจะยังน้อยเกินไป จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 9 mM

ง. สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 9 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 9 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-80 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

โดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 9 mM

ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.21 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PMA แสดงว่าอนุภาคเงินเกิดความเสถียร และได้สารละลายสีที่ใกล้เคียงกับความเข้มข้น 7 mM ดังนั้นความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ ที่ 9 mM เป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปจนความจำเป็นในการสังเคราะห์ ฉะนั้นจึงใช้สารรักษาเสถียรภาพ ที่ความเข้มข้น 7 mM

### สรุปผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการสัมผัสพลังงานจากหลอด UVC นาน 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 80 นาที ตามลำดับ และใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1, 3, 5, 7, และ 9 mM จะได้สารละลายสีชมพู

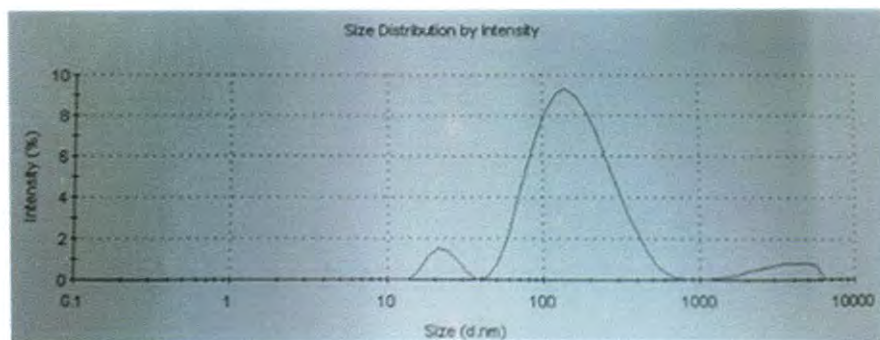
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม จะศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อดูค่าการดูดกลืนแสง ประกอบกับระยะเวลา (นาที) ที่ใช้ในการสังเคราะห์ตลอดจนความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมของสารเพิ่มความคงตัว PMA ที่ความเข้มข้น 7 mM โดยการสังเคราะห์ภายใต้หลอด UV-C นาน 30 นาที

เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษาอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ ช่วยให้อนุภาคเงินเกิดความเสถียร จึงใช้เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Zetasizer Nano ZS) เพื่อทำการศึกษขนาดและประจุของอนุภาคเงินระดับได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.22 และทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.23

ก



ข

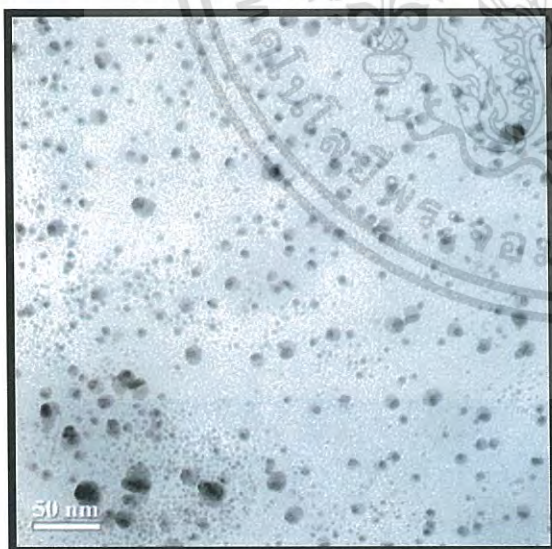


ชนิดของสารเพิ่มความคงตัว	ครั้งที่1 (mV)	ครั้งที่2 (mV)	ครั้งที่3 (mV)	ค่าเฉลี่ย (mV)
PMA	-41.51	-38.76	-40.81	-37.90

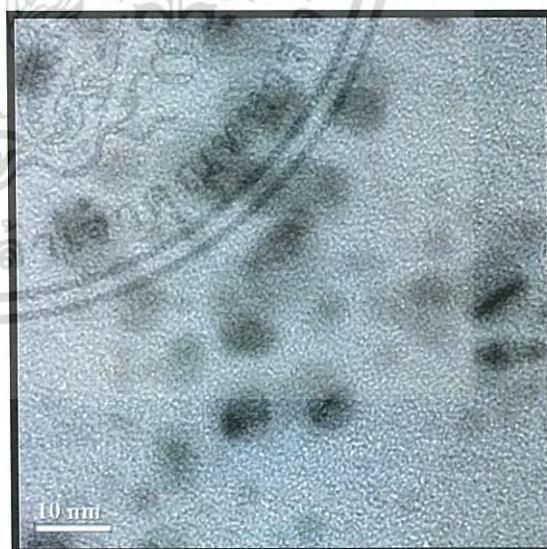
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงประจุของอนุภาค

รูปที่ 4.22 แสดงผลการศึกษารูปร่างและประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM  
 ก. ลีของสารละลาย ข. ขนาดของอนุภาค

ก



ข

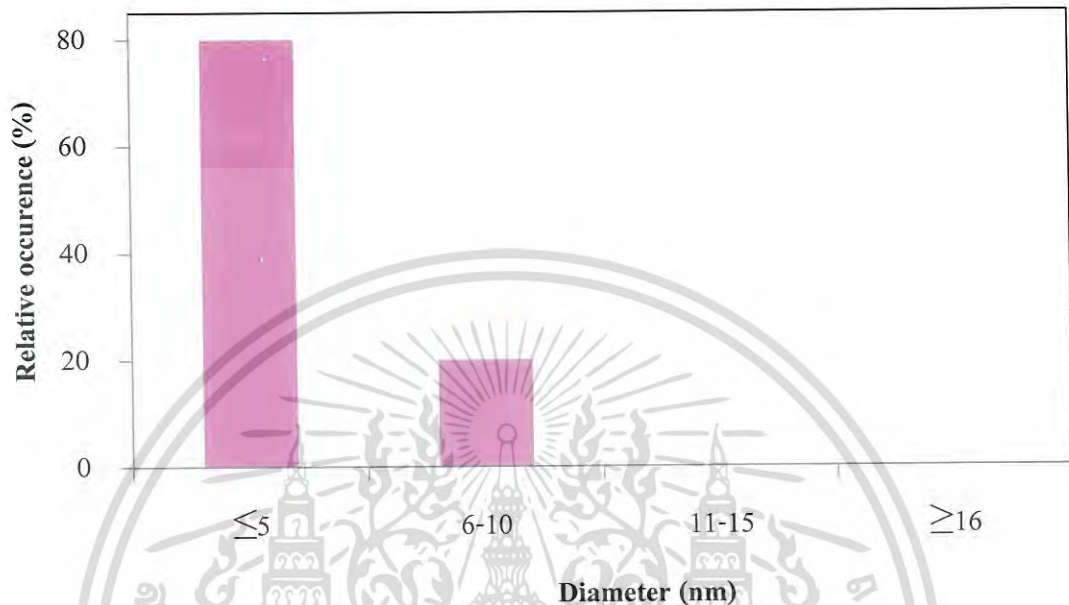


รูปที่ 4.23 แสดงผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM

ก. ขนาดสเกล 50 nm ข. ขนาดสเกล 10 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.23 พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดอนุภาคมากมายที่เกิดขึ้น รูปที่ 4.24 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค



รูปที่ 4.24 แสดงค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM

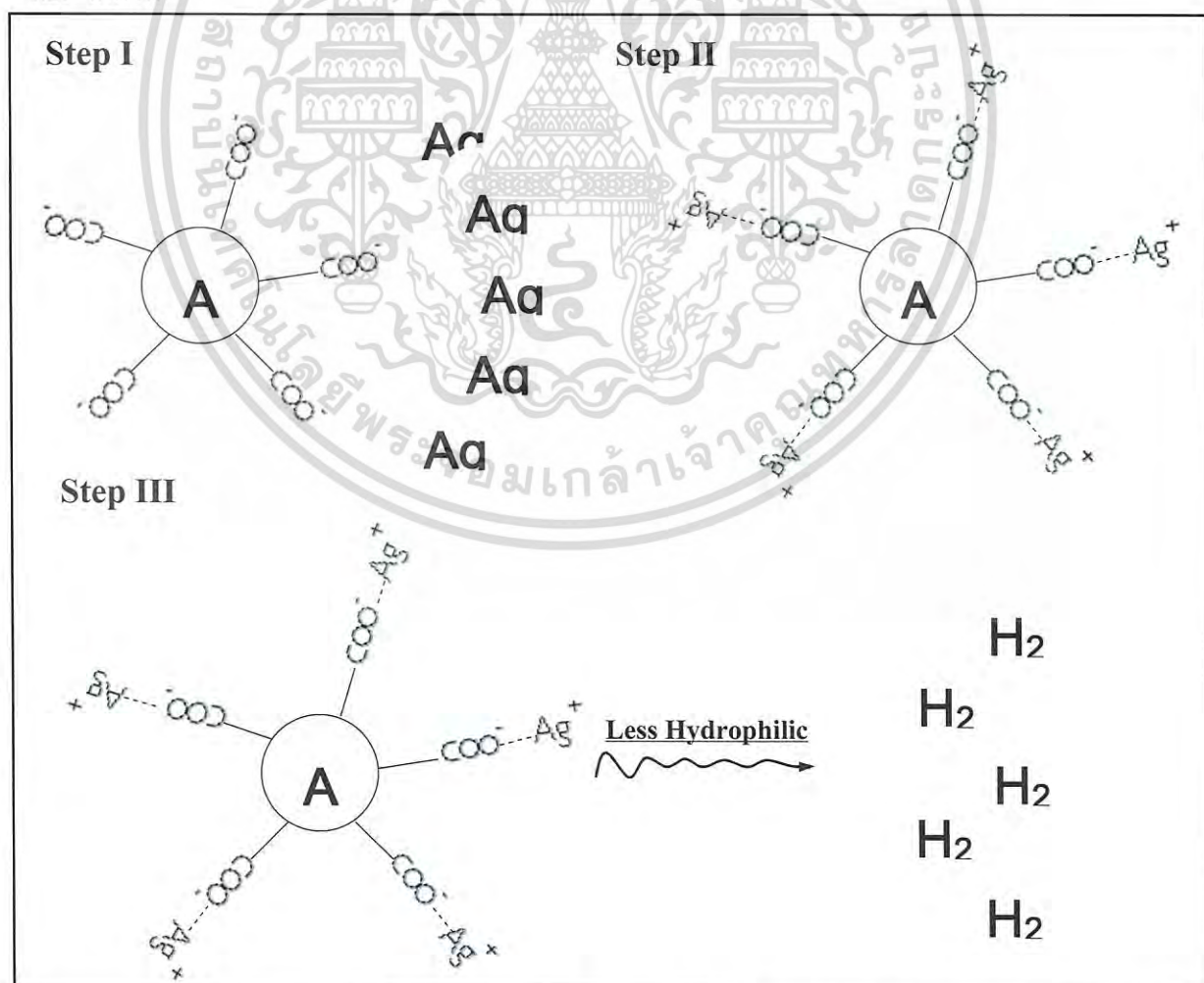
**สรุปผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ด้วยวิธีเคมีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM**

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM จะได้สารละลายสีชมพู และผลการศึกษานี้ขนาดและประจุ พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดเล็กและเสถียรมาก ตลอดจนสีของสารละลายฯ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ สีของสารละลายฯจะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเหลือง ซึ่งเกิดการเปลี่ยนสีแตกต่างกันอย่างชัดเจน จึงเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 กลไกการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโน ที่สังเคราะห์โดยวิธีการรีดักชันทางแสง ในที่นี้จะอธิบายในกรณีการใช้ PMA เป็นสารรักษาเสถียรภาพ

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยปฏิกิริยารีดักชัน โดยการใช้พลังงานของแสงจากหลอด UV-C ทำให้เกิดสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีชมพู ซึ่งสารละลายที่ให้สีชมพูเกิดจากพลังงานของแสงจากหลอด UV-C มีพลังงานต่ำ ทำให้ปฏิกิริยารีดักชันของซิลเวอร์ไอออนเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้มีปริมาณของซิลเวอร์ไอออนเหลืออยู่ ซิลเวอร์ไอออนที่เหลืออยู่จะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคเงินระดับนาโน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนในรูปของ  $Ag^+/COO^-$  ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนชนิดนี้จะเหนี่ยวนำให้อนุภาคของน้ำที่อยู่รอบๆ เกิดการผลัดออกจากโครงสร้าง ซึ่งแน่นอนว่าจะทำให้สารประกอบเชิงซ้อน  $Ag^+/COO^-$  มีความชอบน้ำลดน้อยลง ระยะห่างที่โมเลกุลของน้ำถูกผลัดออกออกจากสารประกอบเชิงซ้อน  $Ag^+/COO^-$  ทำให้ค่าการกระเจิงแสงแตกต่างกัน สีที่เห็นก็จะปรากฏออกมาแตกต่างกัน ซึ่งสามารถอธิบายโดยการใช้รูปที่ 4.25 ได้ดังนี้



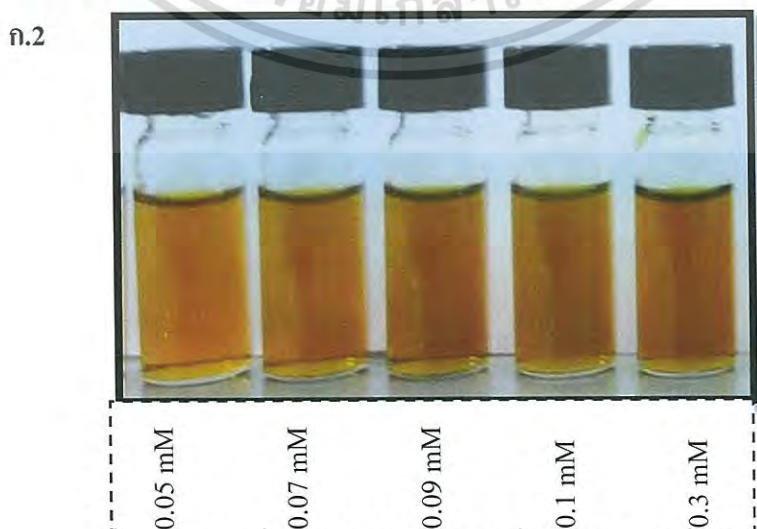
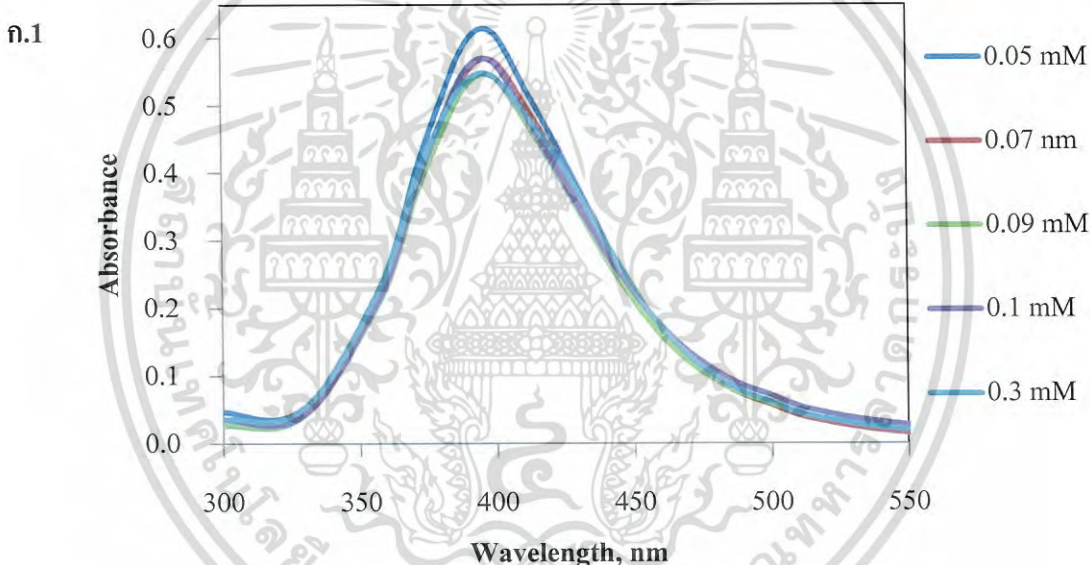
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี (Chemical reduction)

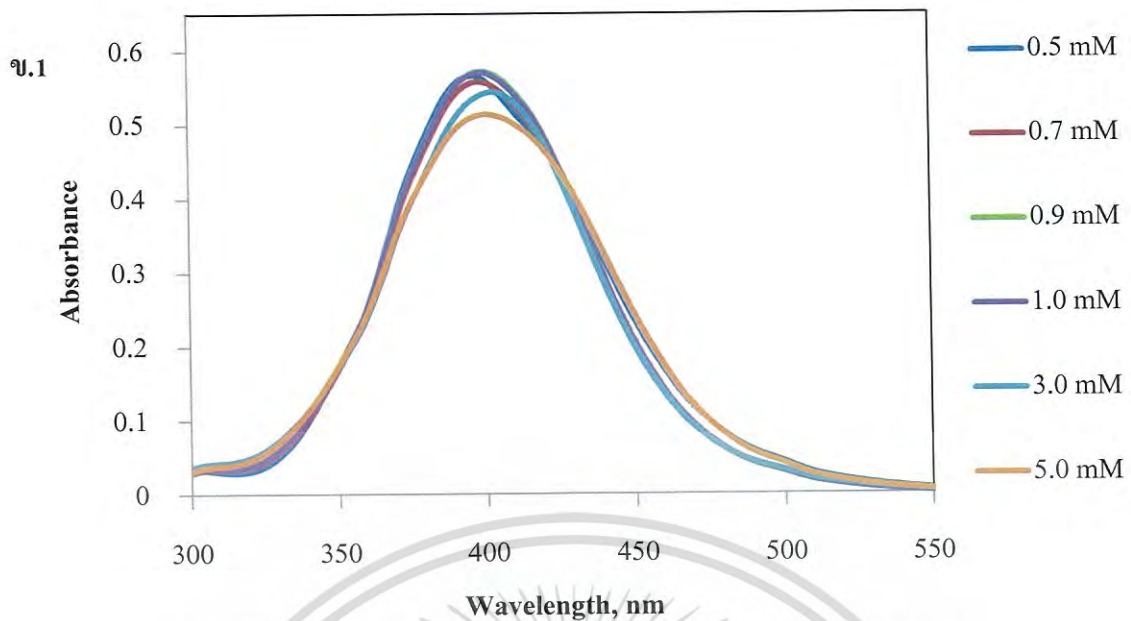
การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี ชนิดและความเข้มข้นของสารรีดิวซ์มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน จึงต้องทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้

#### 4.1.3.1 ใช้สารรีดิวซ์ PAA

โดยหลักการของสารรีดิวซ์ PAA จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีเหลือง ซึ่งความเข้มข้นมีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นและได้ผลการศึกษาดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 การสังเคราะห์ห่อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA

ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงของความเข้มข้น 0.05-0.3 mM และ ข.1 0.5-5.0 mM

ก.2 สีของสารละลายของความเข้มข้น 0.05-0.3 mM และ ข.2 0.5-5.0 mM

จากผลการศึกษาการสังเคราะห์ห่อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 0.05-5.0 mM ได้สารละลายสีเหลือง ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกัน ส่งผลให้การนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ไม่เหมาะสม เพราะสีของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงยังอยู่ในเจดสีเดียวกัน แต่เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์วิเคราะห์ จึงทำการเลือกสารเพิ่มความคงตัวความเข้มข้นที่ 1 mM เพราะเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม มีการใช้สารเคมีไม่มากหรือน้อยจนเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษานอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ ช่วยให้อนุภาคเงินเกิดความเสถียร จึงใช้เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Zetasizer Nano ZS) เพื่อทำการศึกษาประจุของอนุภาคเงินระดับนาโน ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.4 และทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.28

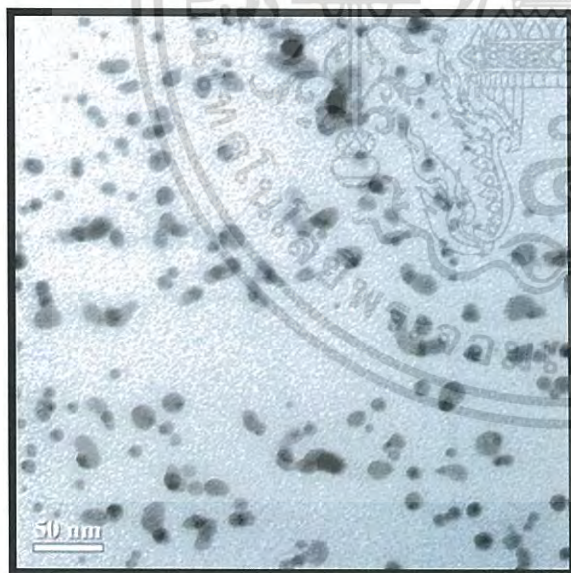
ชนิดของ	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
สารเพิ่มความคงตัว	(mV)	(mV)	(mV)	(mV)
PAA	-34.82	-37.51	-35.11	-34.15



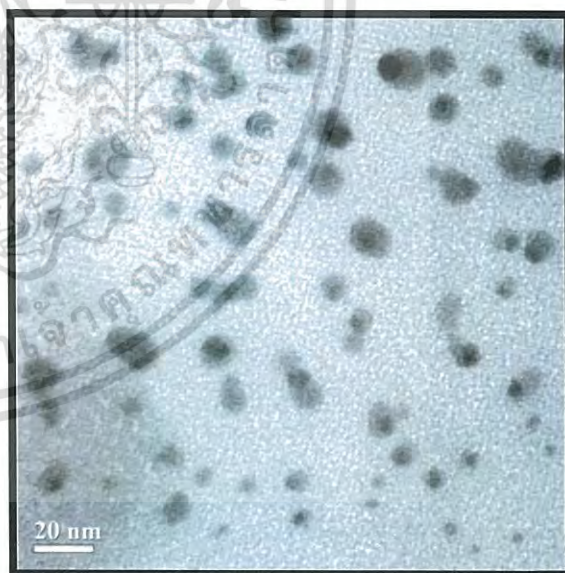
ตารางที่ 4.4 (ซ้าย) แสดงผลการศึกษาประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

รูปที่ 4.27 (ขวา) แสดงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

ก



ข



รูปที่ 4.28 แสดงผลการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี

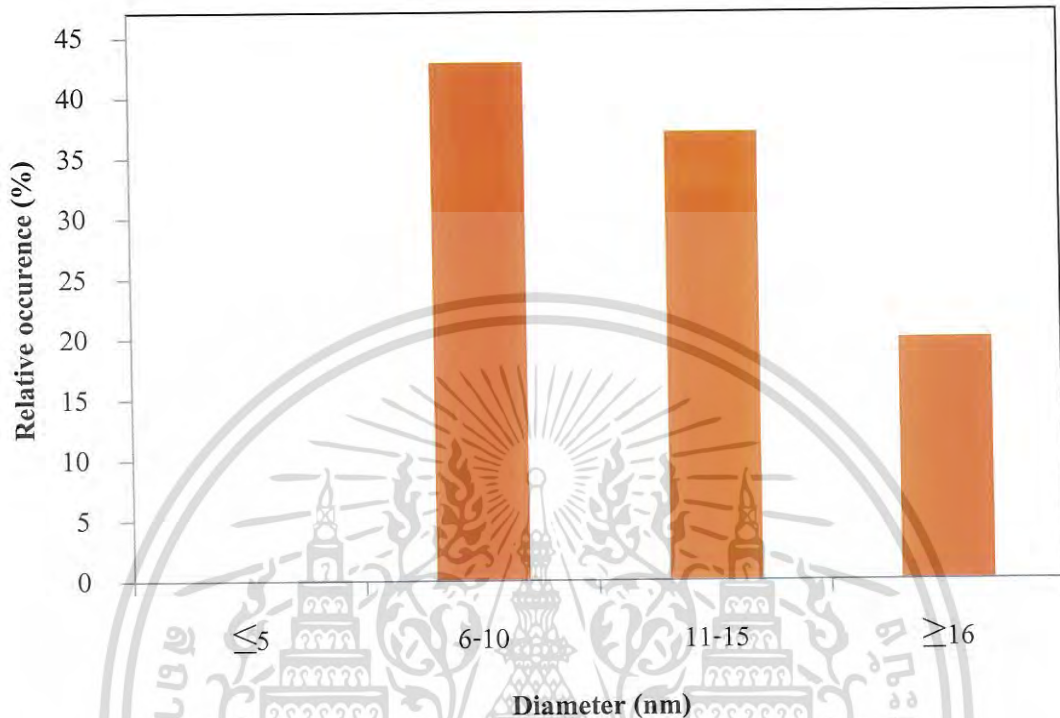
โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

ก. ขนาดสเกล 50 nm

ข. ขนาดสเกล 20 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.28 พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดอนุภาคมากมายที่เกิดขึ้น รูปที่ 4.30 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค



รูปที่ 4.29 แสดงค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

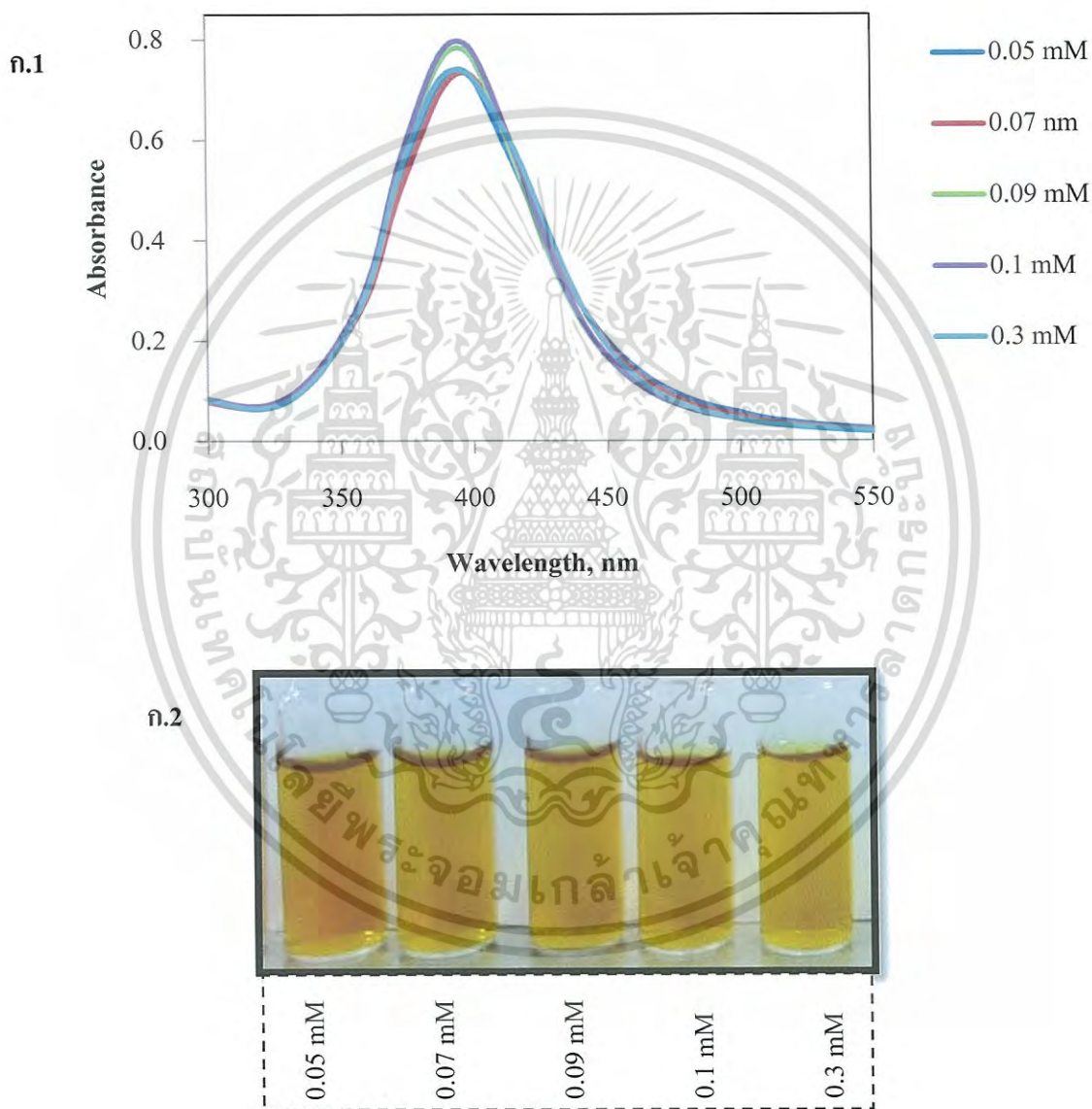
สรุปผลการศึกษากการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM จะได้สารละลายสีเหลือง และผลการศึกษาประจุ พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดเล็กและเสถียรมาก ตลอดจนถึงของสารละลายฯ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สีของสารละลายฯจะเปลี่ยนจากสีเหลืองกลายเป็นสีเหลืองอ่อน ซึ่งเปลี่ยนเฉดสีใกล้เคียงกับสารละลายฯ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้

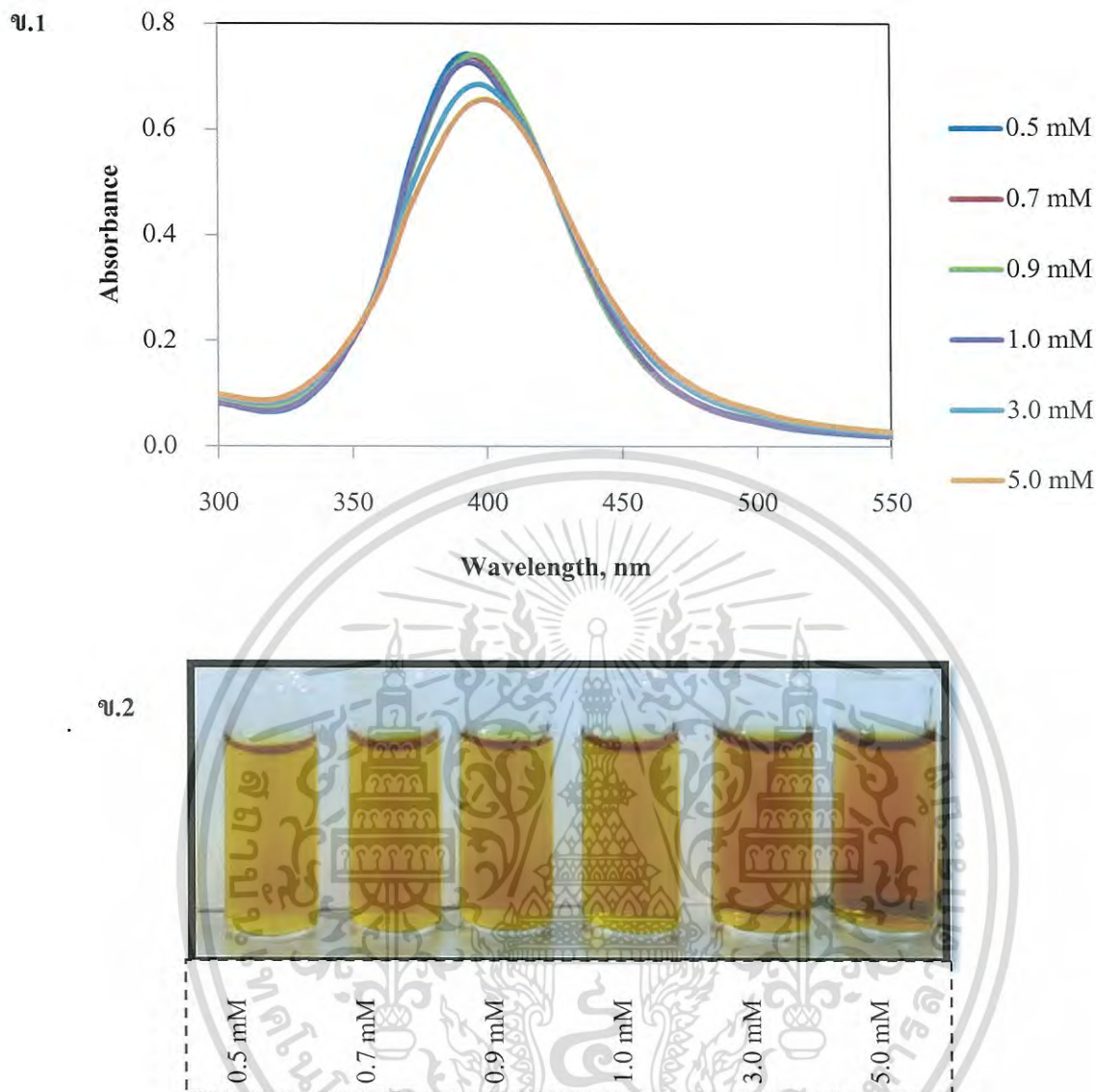
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.3.2 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS

โดยหลักการของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีเหลืองเช่นเดียวกัน ซึ่งความเข้มข้นมีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นและได้ผลการศึกษาดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.30 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS

ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงของความเข้มข้น 0.05-0.3 mM และ ข.1 0.5-5.0 mM

ก.2 สีของสารละลายของความเข้มข้น 0.05-0.3 mM และ ข.2 0.5-5.0 mM

จากผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้อนุภาครักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 0.05-5.0 mM ได้สารละลายสีเหลือง ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกัน ส่งผลให้การนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ไม่เหมาะสม เพราะสีของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงยังอยู่ในระดับเดียวกัน แต่เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ จึงทำการเลือกสารรักษาเสถียรภาพ ที่ความเข้มข้น 1 mM เพราะเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม มีการใช้สารเคมีไม่มากหรือน้อยจนเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

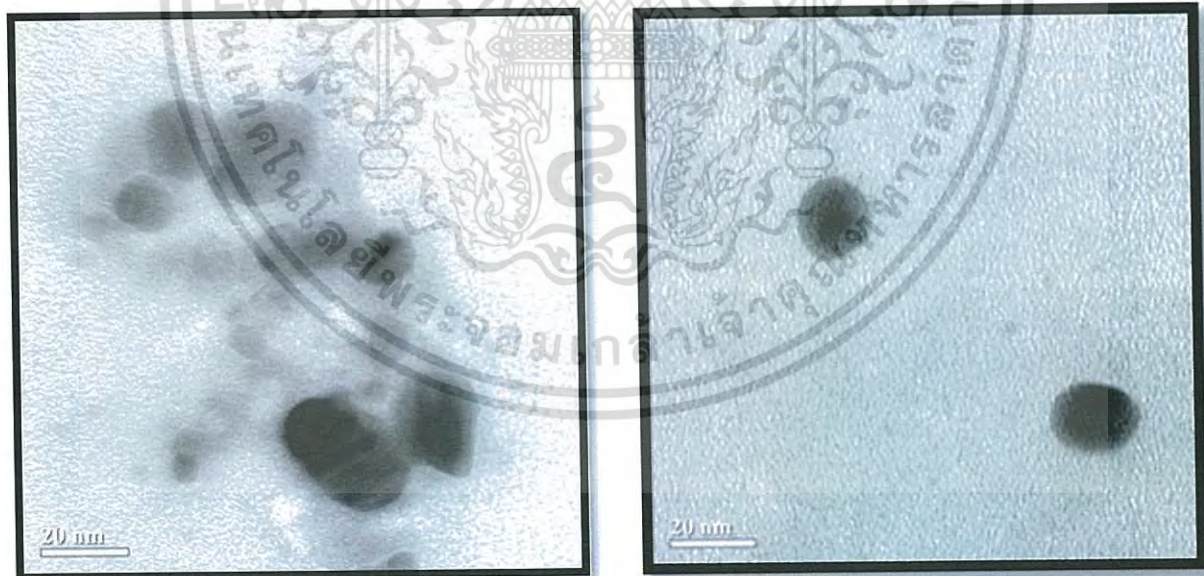
เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษานูภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ ช่วยให้  
 อนุภาคเงินเกิดความเสถียร จึงใช้เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Zetasizer Nano ZS) เพื่อทำการศึกษา  
 ประจุของอนุภาคเงินระดับนาโน ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.5 และทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพ  
 ของอนุภาคด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron  
 Microscope: TEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.32

ชนิดของ	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
สารเพิ่มความคงตัว	(mV)	(mV)	(mV)	(mV)
CoPSS	-41.51	-38.76	-40.81	-40.36



ตารางที่ 4.5 (ซ้าย) แสดงผลการศึกษาประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์  
 ด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM

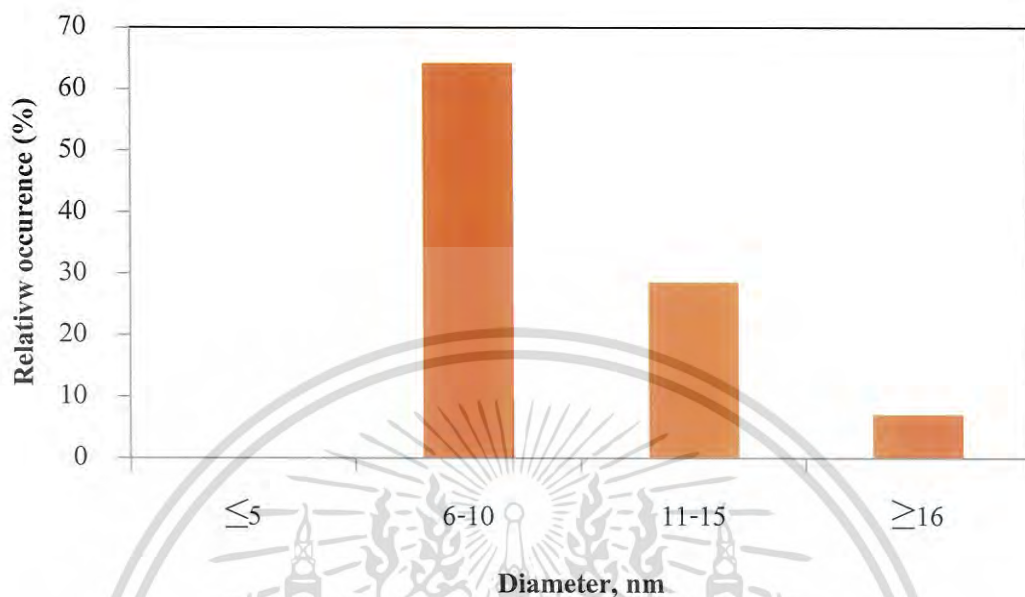
รูปที่ 4.31 (ขวา) แสดงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี  
 โดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM



รูปที่ 4.32 แสดงผลการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี โดยใช้สาร  
 รักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM ขนาดสเกล 20 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.33 พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดอนุภาคมากมายที่เกิดขึ้น รูปที่ 4.33 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค



รูปที่ 4.33 แสดงค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM

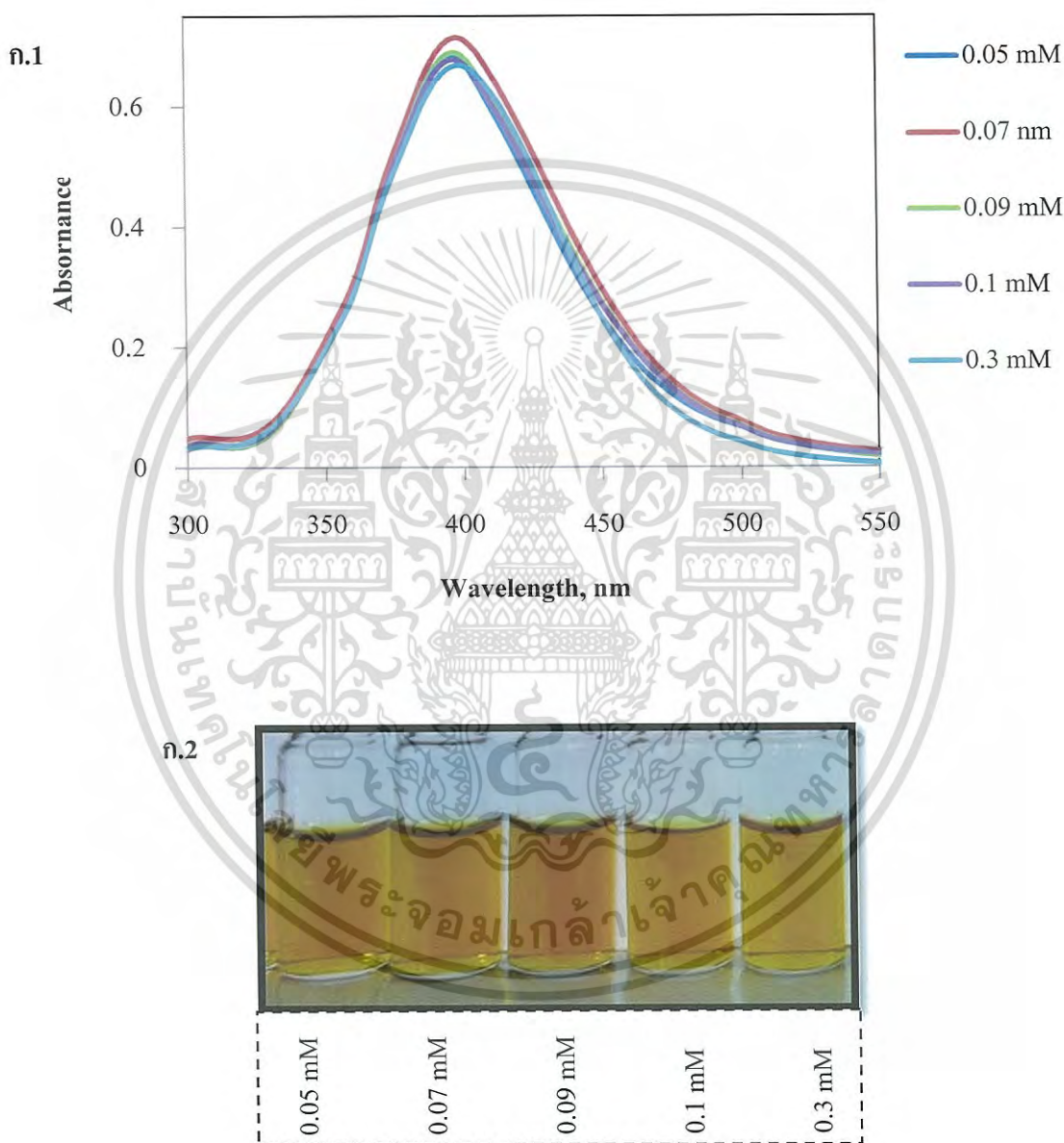
**สรุปผลการศึกษาการหาสถานะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM**

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM จะได้สารละลายสีเหลือง และผลการศึกษาประจุ พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดเล็กและเสถียรมาก ตลอดจนถึงของสารละลายฯ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ สีของสารละลายฯจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเหลืองอ่อน ซึ่งเปลี่ยนเจดสีใกล้เคียงกับสารละลายฯ จึงไม่เหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

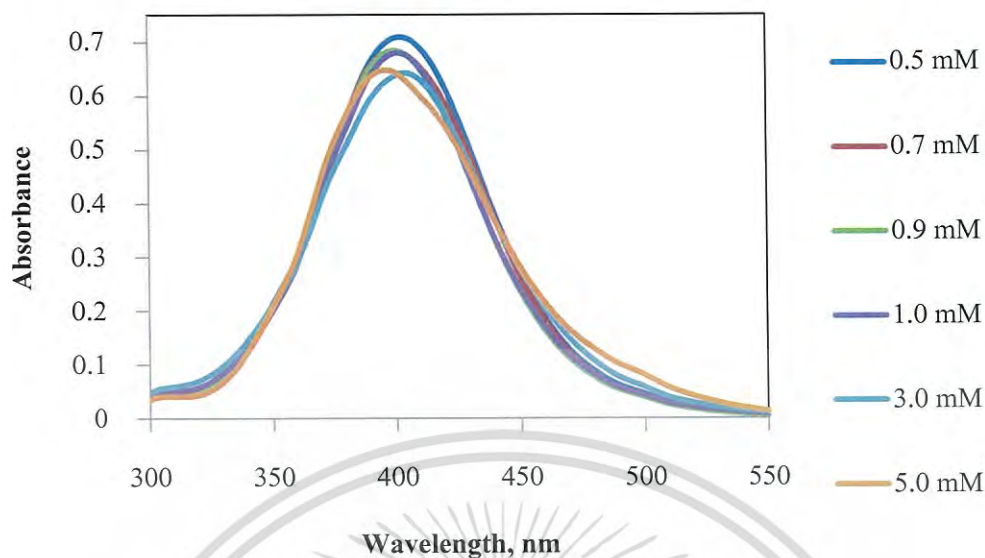
#### 4.1.3.3 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA

โดยหลักการของสารรักษาเสถียรภาพ PMA จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีเหลือง ซึ่งความเข้มข้นมีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นและได้ผลการศึกษาดังนี้

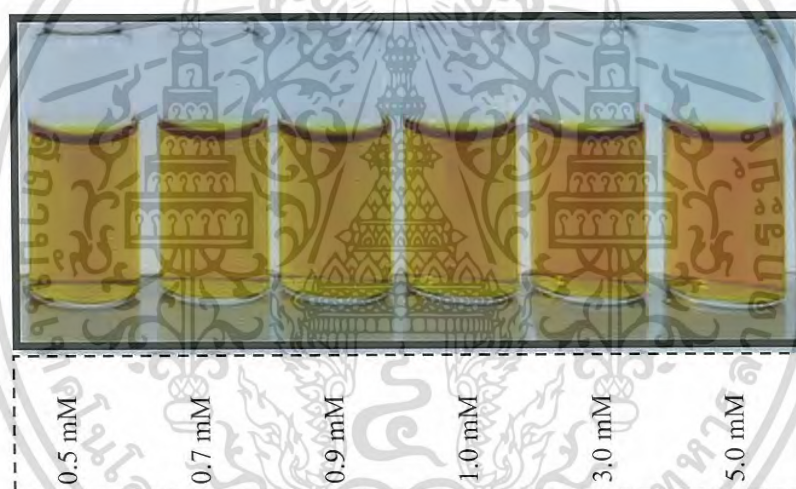


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1



ข.2



รูปที่ 4.34 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA

ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงของความเข้มข้น 0.05-0.3 mM และ ข.1 0.5-5.0 mM

ก.2 สีของสารละลายของความเข้มข้น 0.05-0.3 mM และ ข.2 0.5-5.0 mM

จากผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 0.05-5.0 mM ได้สารละลายสีเหลือง ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกัน ส่งผลให้การนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ไม่เหมาะสม เพราะสีของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงยังอยู่ในเฉดสีเดียวกัน แต่เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์วิเคราะห์ จึงทำการเลือกสารรักษาเสถียรภาพ ความเข้มข้นที่ 1 mM เพราะเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม มีการใช้สารเคมีไม่น้อยหรือน้อยจนเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

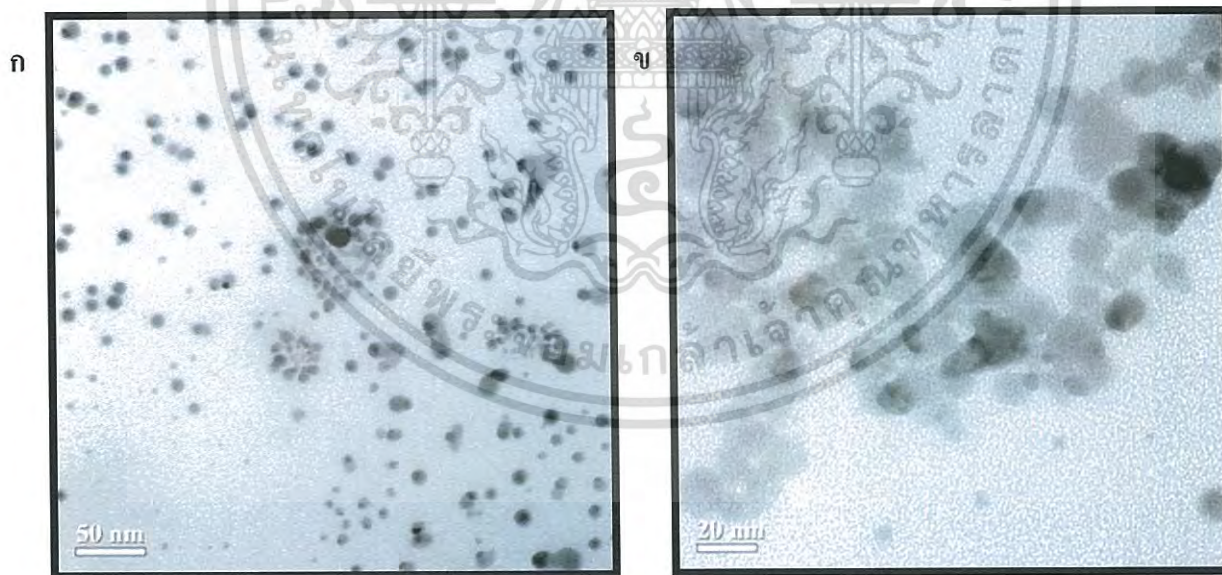
เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษานอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ ช่วยให้  
อนุภาคเงินเกิดความเสถียร จึงใช้เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Zetasizer Nano ZS) เพื่อทำการศึกษา  
ประจุของอนุภาคเงินระดับนาโน ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.6 และทำการศึกษาลักษณะทาง  
กายภาพของอนุภาคด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron  
Microscope: TEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.36

ชนิดของ	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย
สารเพิ่มความคงตัว	(mV)	(mV)	(mV)	(mV)
PMA	-34.82	-37.51	-35.11	-37.90



ตารางที่ 4.6 (ซ้าย) แสดงผลการศึกษาประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์  
ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

รูปที่ 4.35 (ขวา) แสดงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี  
โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM



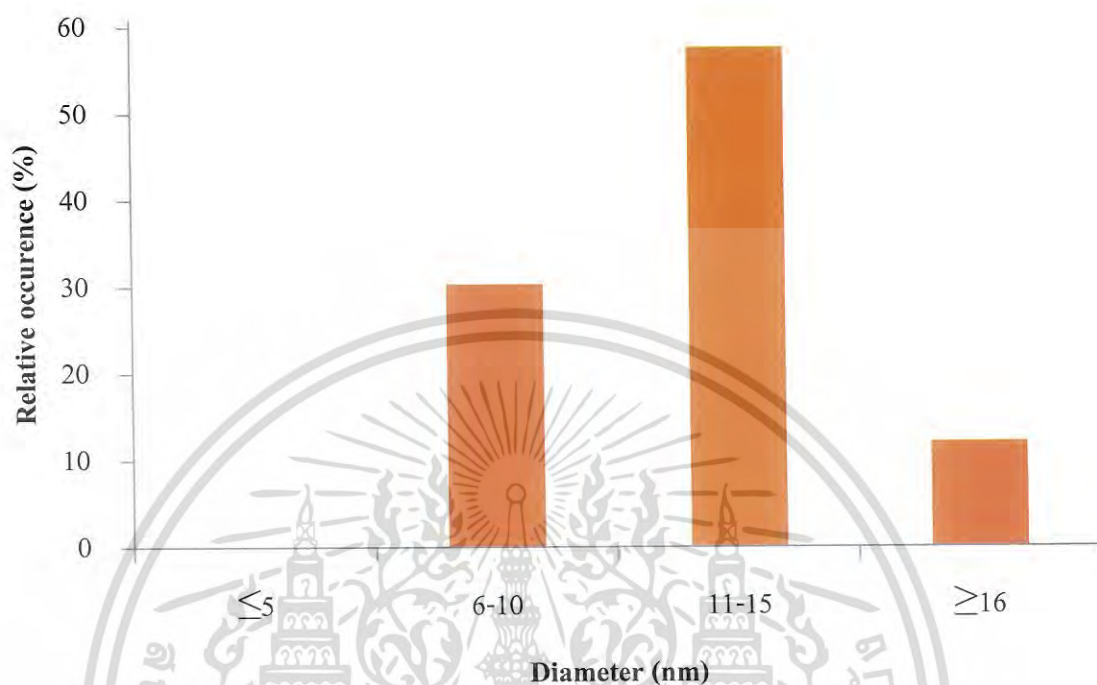
รูปที่ 4.36 แสดงผลการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี

โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM

ก. ขนาดสเกล 50 nm      ข. ขนาดสเกล 20 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.37 พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดอนุภาคมากมายที่เกิดขึ้น รูปที่ 4.37 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค



รูปที่ 4.37 แสดงค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM

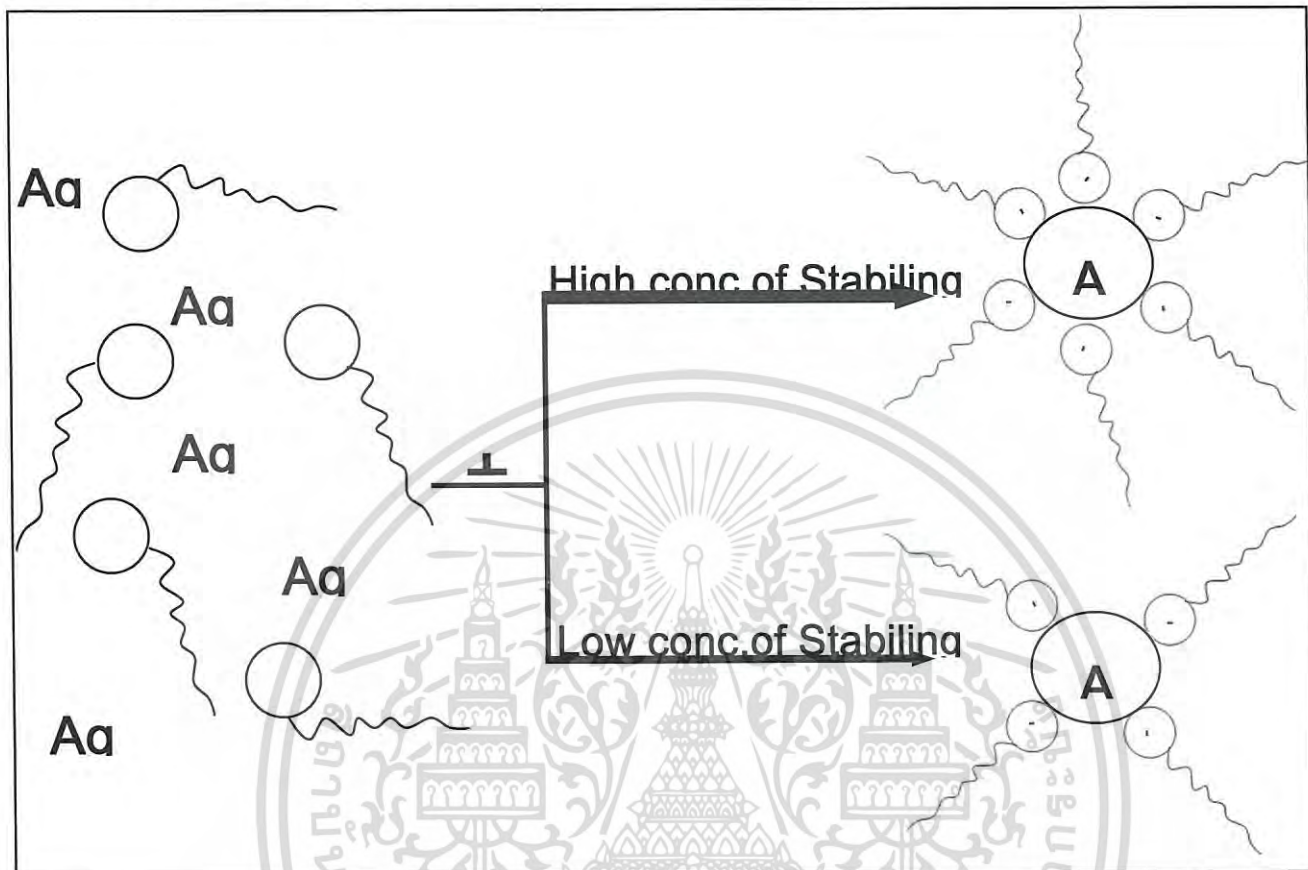
**สรุปผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM**

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM จะได้สารละลายสีเหลือง และผลการศึกษาประจุ พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดเล็กและเสถียรมาก ตลอดจนถึงของสารละลายฯ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สีของสารละลายฯจะเปลี่ยนจากสีเหลืองกลายเป็นสีเหลืองอ่อน ซึ่งเปลี่ยนเฉดสีใกล้เคียงกับสารละลายฯ จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ

(Stabilizing agent) ช่วยรักษาเสถียรภาพ มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.38 แสดงกลไกการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing agent) ช่วยรักษาเสถียรภาพ

การเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ (stabilizing agent) ช่วยรักษาเสถียรภาพ จากรูปที่ 4.39 แสดงให้เห็นถึงขนาดของอนุภาคที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี โดยถ้าใช้สารรักษาเสถียรภาพ ที่มีความเข้มข้นสูงจะส่งผลให้อนุภาคเงินมีขนาดเล็กกว่าการใช้สารรักษาเสถียรภาพ ที่มีความเข้มข้นต่ำ กล่าวคือ ความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ เป็นตัวควบคุมขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนที่เกิดขึ้น

## 4.2 ผลการศึกษาการประยุกต์เป็นตัวรับรู้

สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว จะ ได้สีที่แตกต่างกัน นับว่าเป็นข้อดีของการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้ การประยุกต์ใช้กับตัวรับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนจะเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดและความเข้มข้นของตัวรับรู้ ชนิดและความเข้มข้นของตัวรับรู้ที่ใช้มีดังต่อไปนี้

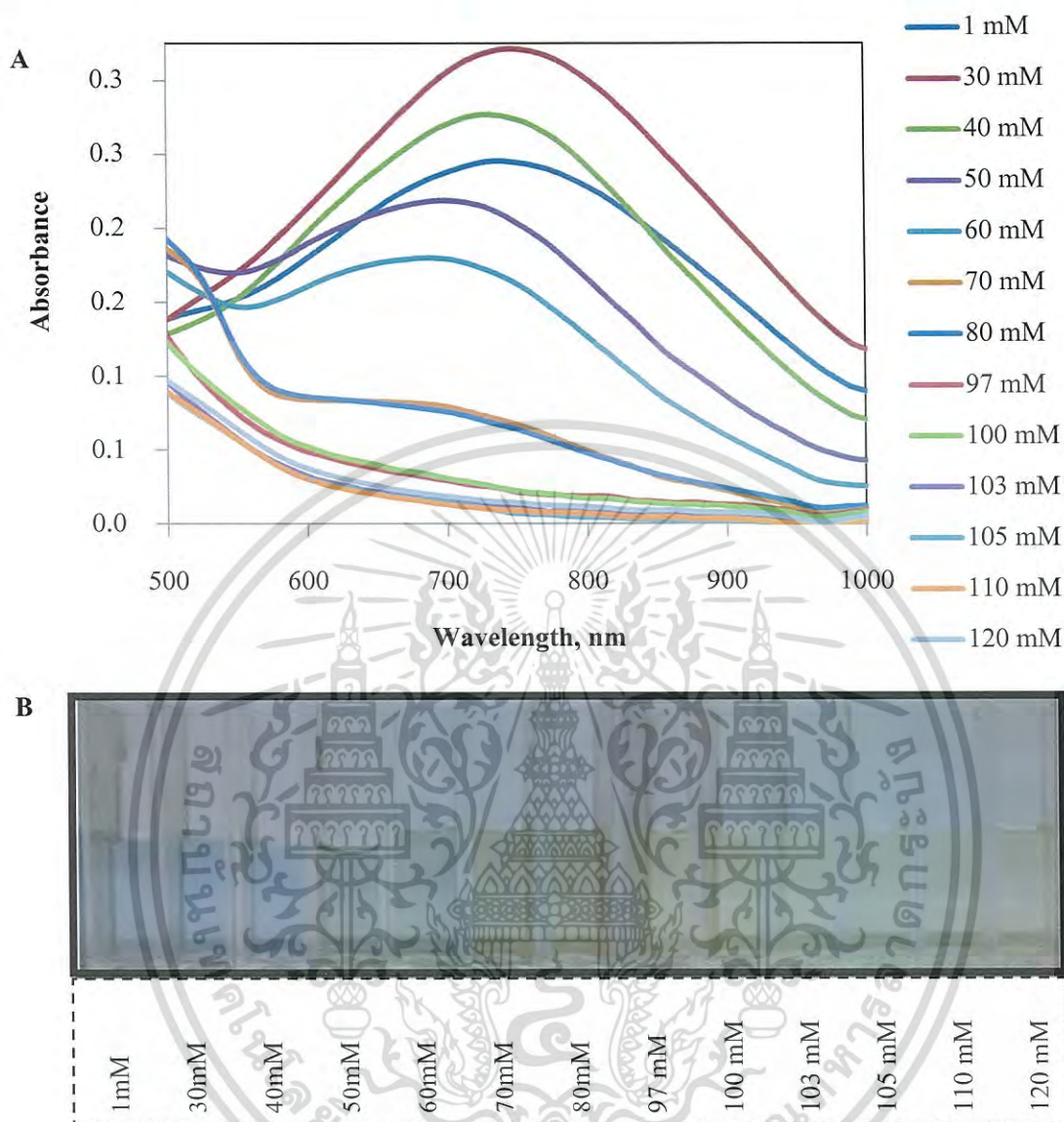
### 4.2.1 ตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนีย

แอมโมเนียเป็นสารประกอบเคมี ที่มีความเป็นพิษ และกัดกร่อน รูปร่างโมเลกุลมีลักษณะเป็นไดโพล (dipole) และมีความเป็นขั้ว ดังนั้นแอมโมเนียจึงละลายในน้ำได้ดีมีฤทธิ์เป็นเบส ใน สารละลายน้ำ (aqueous solution) ในชีวิตประจำวันมักจะพบในปุ๋ยและสารประกอบพอลิเมอร์บางชนิด ด้วยเหตุนี้จึงนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณสารละลายแอมโมเนีย

สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ ต่างๆ ชนิดและความเข้มข้นมีส่วนสำคัญในการประยุกต์ใช้ การใช้เป็นตัวรับรู้ การหาจุดที่สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนทำปฏิกิริยาพอดีกับตัวรับรู้เป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะเป็นการหาความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถรับรู้ได้

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM, สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS 7 mM และสารรักษาเสถียรภาพ PMA 7 mM ตามลำดับ และทำการศึกษาหาความเข้มข้นที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน โดยมีลำดับขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

## 4.2.1.1 สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM

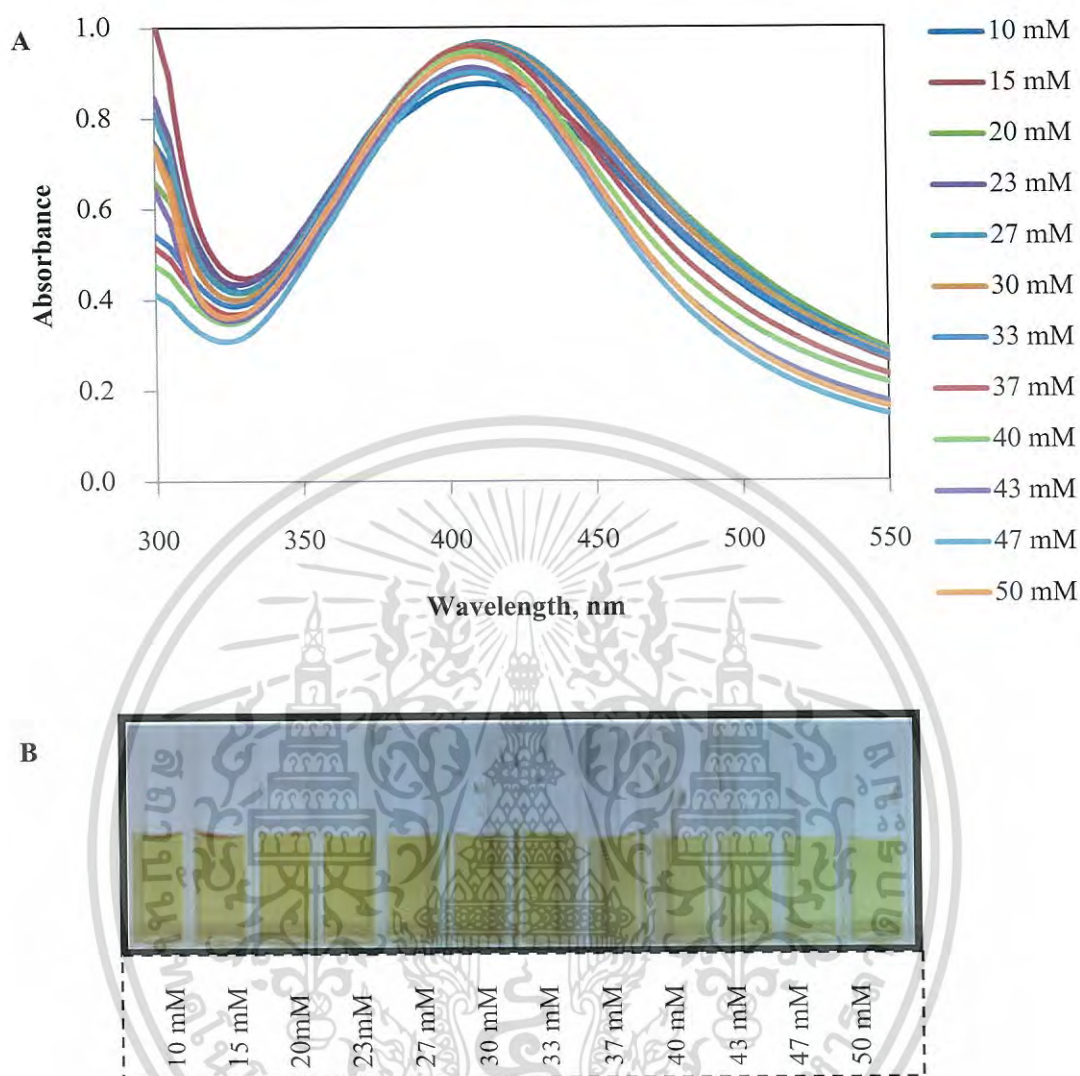


รูปที่ 4.39 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 1-120 mM โดยค่าการดูดกลืนแสง(A) และสีของสารละลาย (B)

ผลการศึกษารูปที่ 4.39 พบว่า สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM สีของสารละลายๆเริ่มมีการเปลี่ยนแปลง เมื่อสารละลายแอมโมเนียมีความเข้มข้น 50 mM และสีของสารละลายๆเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนที่ความเข้มข้น 70 mM แต่สีของสารละลายๆที่เปลี่ยนแปลงยังไม่ชัดเจน และยังอยู่ในเฉดสีเดียวกัน จึงต้องทำการศึกษารักษาเสถียรภาพ ชนิดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.1.2 สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS 7 mM

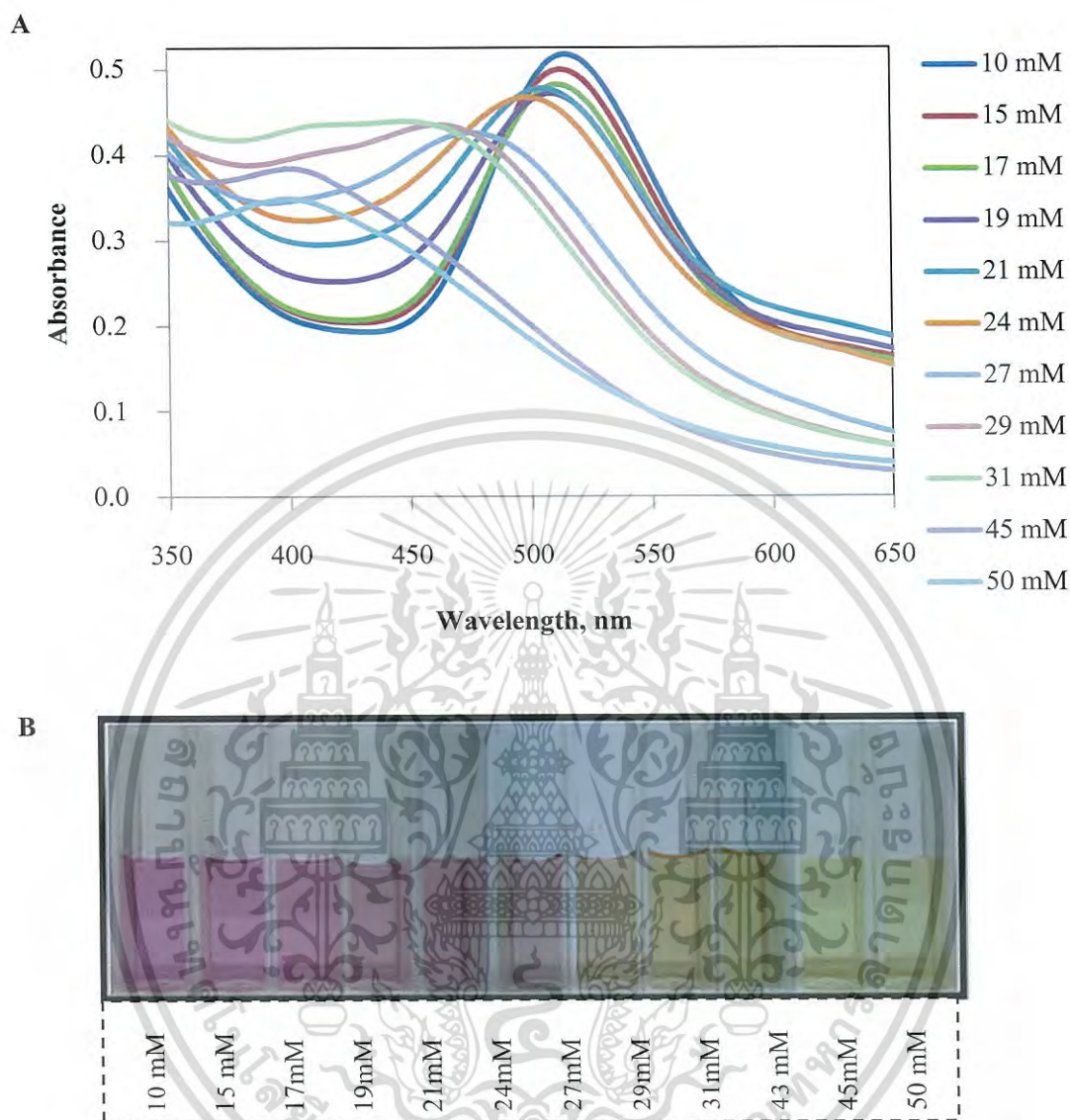


รูปที่ 4.40 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใส่สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 1-50 mM โดยค่าการดูดกลืนแสง (A) และสีของสารละลาย (B)

ผลการศึกษารูปที่ 4.40 พบว่า สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใส่สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM มีการเปลี่ยนแปลงสีต่ำจนไม่สามารถสังเกตถึงการเปลี่ยนแปลงได้ จึงต้องทำการศึกษารักษาเสถียรภาพ ชนิดต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.1.3 สารรักษาเสถียรภาพ PMA 7 mM

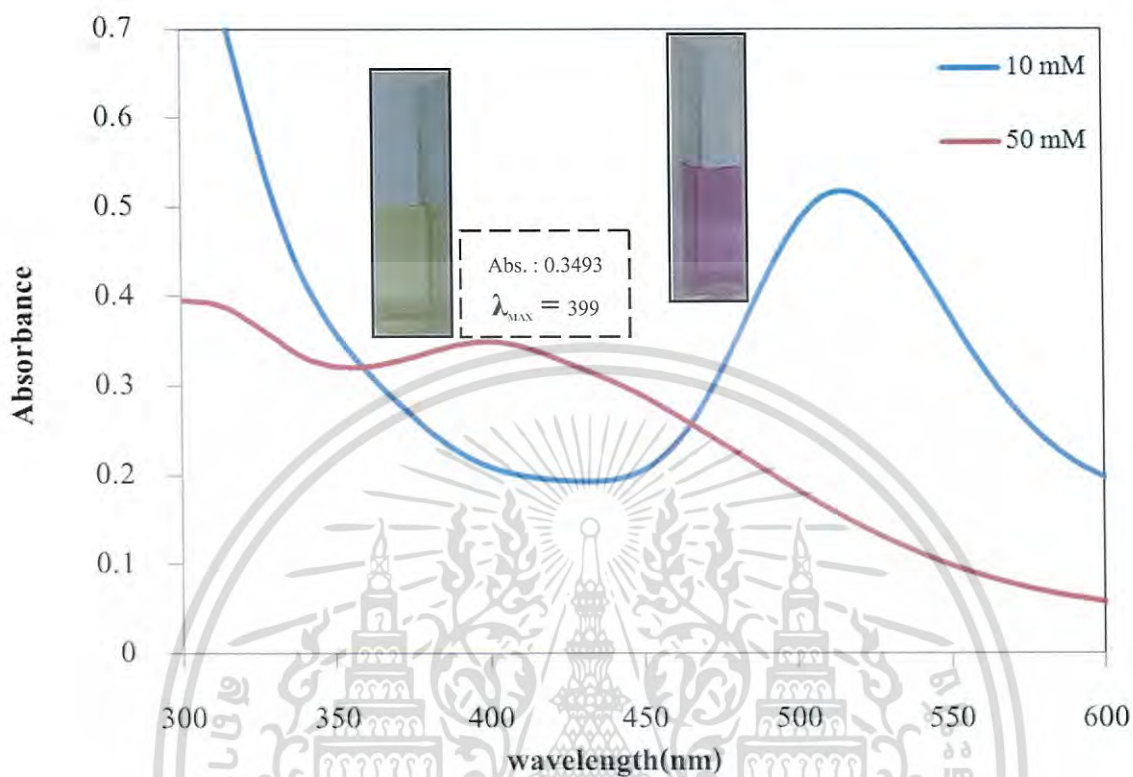


รูปที่ 4.41 : สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 10-50 mM โดยค่าการดูดกลืนแสง (A) และสีของสารละลาย (B)

ผลการศึกษารูปที่ 4.41 พบว่า สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจน โดยเปลี่ยนแปลงจากสีชมพูกลายเป็นสีเหลือง แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของการใช้สารรักษาเสถียรภาพ ชนิดและความเข้มข้นดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อความชัดเจนของการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายที่เกิดขึ้น สังเกตได้จากรูปที่ 4.42



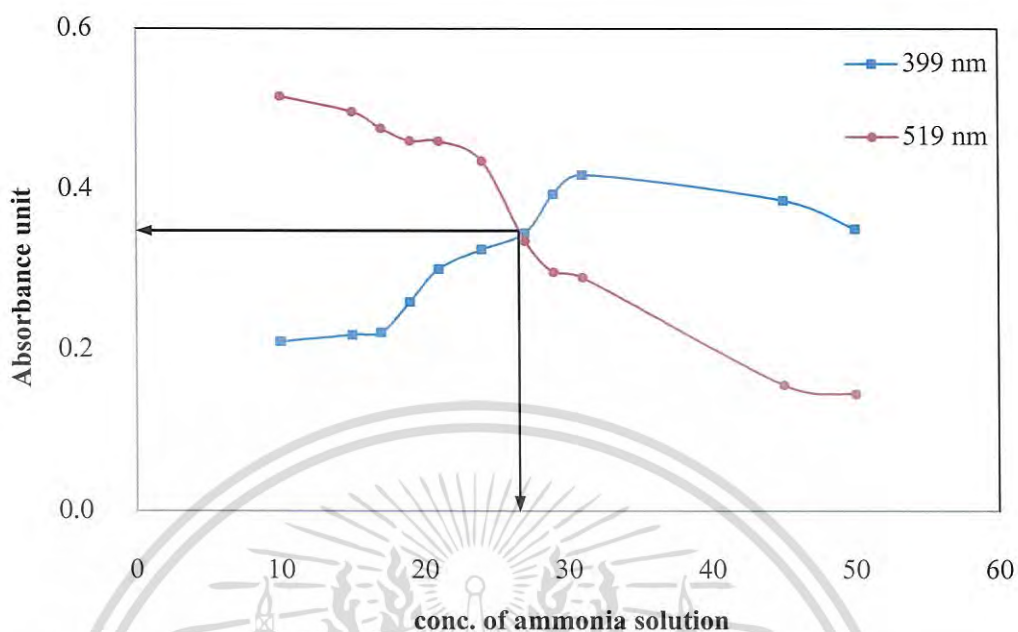
รูปที่ 4.42 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใส่สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM นำไปประยุกต์ใช้ให้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 10 และ 50 mM โดยค่าการดูดกลืนแสงและสีของสารละลาย

จากรูปที่ 4.42 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย โดยสีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเพราะแอมโมเนียสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไอออนที่เหลืออยู่ในสารละลาย โดยเกิดเป็นสารประกอบโคออร์ดิเนตโควาเลนต์ในรูป  $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$  ด้วยโครงสร้างของแอมโมเนียที่มีความชอบน้ำและสามารถเพิ่มประจุให้กับอนุภาคเงินระดับนาโนได้ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำกลับมาล้อมรอบอนุภาคเงินระดับนาโน ระยะห่างของน้ำน้อยลง การกระเจิงแสงก็น้อยลง แสงที่สะท้อนออกมาจากระยะห่างก็น้อยลงตามไปด้วย สีที่ปรากฏจึงมีการเปลี่ยนแปลง

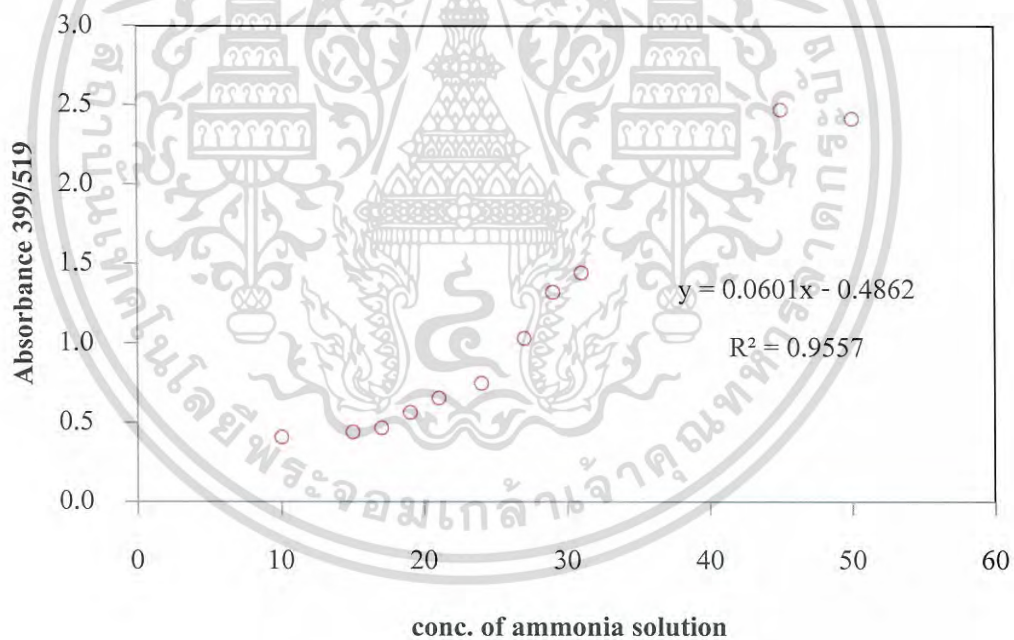
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการออกแบบเซนเซอร์ชนิดใช้แสง (Optical sensor) การติดตามการเปลี่ยนแปลง การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่จำเพาะเจาะจงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งมากกว่าการติดตาม การเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมของสารที่แสดงการเป็นตัวรับรู้ ในกรณีนี้จะอธิบายการสร้างตัวรับรู้ของ อนุภาคเงินระดับนาโนที่ใช้ PMA เป็นสารรักษาเสถียรภาพ (จากรูปที่ 4.42) โดยพบว่าอนุภาคเงิน ระดับนาโนดังกล่าว สามารถที่จะเปลี่ยนสี เมื่อเกิดปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย โดยสีที่เกิด การเปลี่ยนแปลงจะเปลี่ยนจากสีชมพู  $[Ag^+/COO^-]$  เป็นสีเหลือง  $[Ag(NH_3)_2^+]$  โดยจะพบว่า สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนดังกล่าวที่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียจะแสดงพีคของ การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 399 และ 519 นาโนเมตร โดยที่ความยาวคลื่น 399 นาโนเมตร จะเป็นพีคการดูดกลืนแสงของ  $Ag(NH_3)_2^+$  และที่ความยาวคลื่น 519 นาโนเมตร เป็นพีคการดูดกลืน แสงของ  $Ag^+/COO^-$  ซึ่งสเปกตรัมที่ทุกๆ สภาพจะมีจุดตัดร่วมกันที่เรียกว่า Isosbestic point ซึ่งเป็น จุดที่อนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA เป็นสารรักษาเสถียรภาพจะไม่มีเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้ความเข้มข้น ณ จุดนี้ สำหรับการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีที่ เปลี่ยนแปลงไปของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA เป็นสารรักษาเสถียรภาพ ที่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียได้ ในที่นี้พบว่าความเข้มข้นต่ำสุดของแอมโมเนีย ที่ทำให้ สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเกิดการเปลี่ยนแปลงสี คือ 26.45 มิลลิโมลาร์

มากกว่านั้น สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี PMA เป็นสารรักษาเสถียรภาพ เมื่อถูกใช้เป็นตัวรับรู้แอมโมเนีย สามารถที่จะให้ความสัมพันธ์เป็นเชิงแนวเส้นตรง (linear relationship) โดยมีค่า  $R^2 = 0.955$  แสดงได้ดังรูปที่ 4.43



ข.



รูปที่ 4.43 : แสดงอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 399 และ 519 นาโนเมตร (nm) ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีปริมาณของสารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 10-50 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.2 ตัวรับรู้สารละลายกรดออกซาลิก

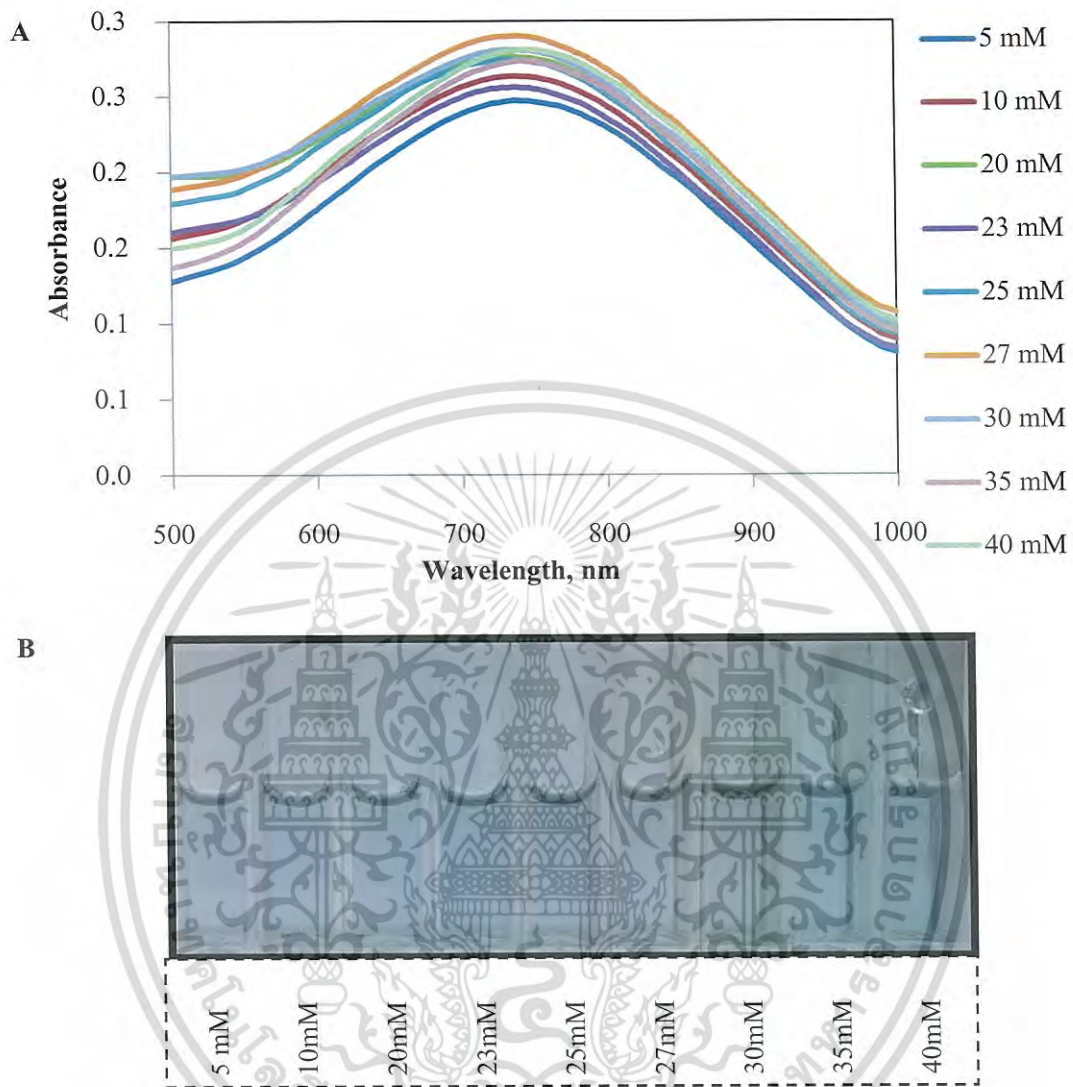
กรดออกซาลิก เป็นสารมีฤทธิ์ในการยับยั้งการดูดซึมของแคลเซียมและแร่ธาตุสำคัญหลายชนิดในกระแสเลือด มีผลเสียต่อร่างกายคือ หากรับประทานเป็นประจำทุกวันในปริมาณมาก ออกซาเลตจะเข้าไปตกผลึกสะสมในไตและกระเพาะปัสสาวะทำให้เป็นนิ่วด้วยเหตุนี้ จึงนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณสารละลายกรดออกซาลิก

สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพต่างๆ ชนิดและความเข้มข้นมีส่วนสำคัญในการประยุกต์ใช้ การใช้เป็นตัวรับรู้ การหาจุดที่สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนทำปฏิกิริยาพอดีกับตัวรับรู้เป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะเป็นการหาความเข้มข้นที่ต่ำที่สุดที่สามารถรับรู้ได้

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้อนุภาคเงินที่มีสารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM, สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS 7 mM และสารรักษาเสถียรภาพ PMA 7 mM ตามลำดับ และทำการศึกษาหาความเข้มข้นที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน โดยมีลำดับขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.1.1 สารรักษาเสถียรภาพ PAA 9 mM

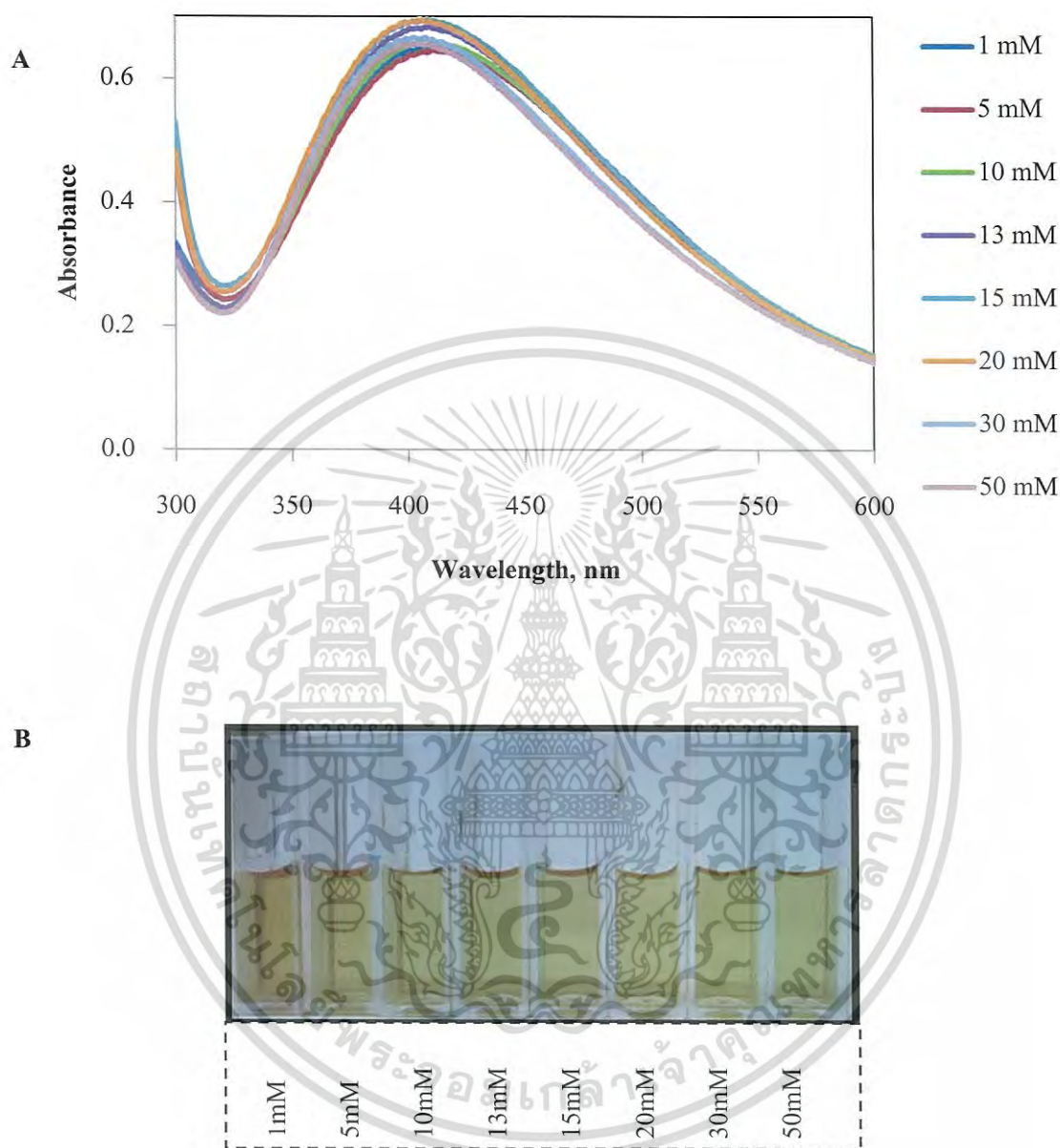


รูปที่ 4.44 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารเพิ่มความคงตัว PAA ความเข้มข้น 9 mM นำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ออกซาลิกความเข้มข้น 5-40 mM โดยค่าการดูดกลืนแสง(A) และสีของสารละลาย(B)

ผลการศึกษารูปที่ 4.44 พบว่า สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM สีของสารละลายเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ไม่สามารถวิเคราะห์ผลการศึกษาได้ สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM ไม่เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ออกซาลิกจึงต้องมีการศึกษาสารรักษาเสถียรภาพชนิดอื่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.1.2 สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS 7 mM

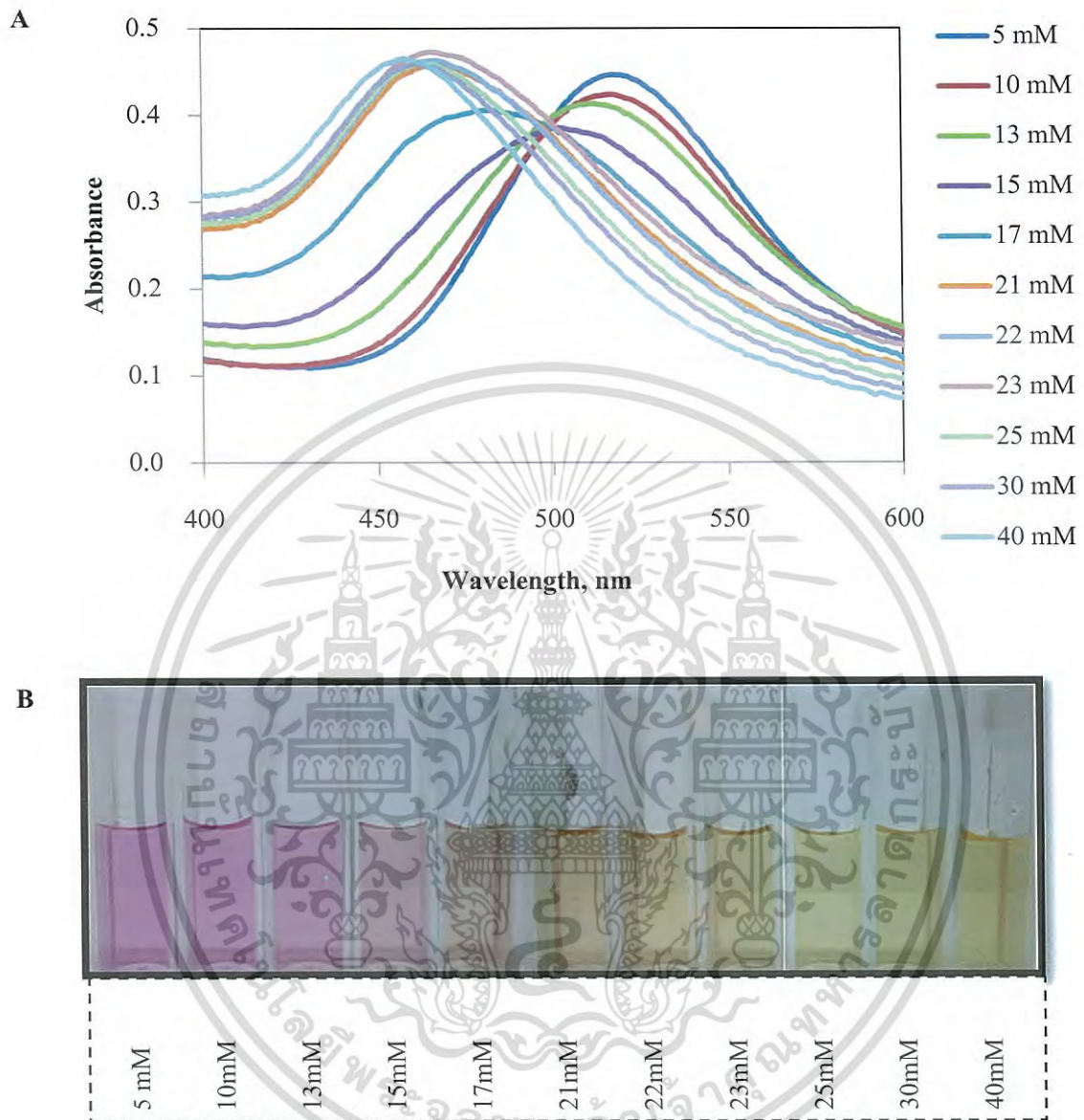


รูปที่ 4.45 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM นำไปประยุกต์ใช้ให้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 1–50 mM โดยค่าการดูดกลืนแสง(A) และสีของสารละลาย(B)

ผลการศึกษารูปที่ 4.45 พบว่า สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM มีการเปลี่ยนแปลงสีต่างจกไม่

สามารถสังเกตได้ จึงต้องทำการศึกษารักษาเสถียรภาพชนิดต่อไป เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยฐานให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2.1.3 สารรักษาเสถียรภาพ PMA 7 mM

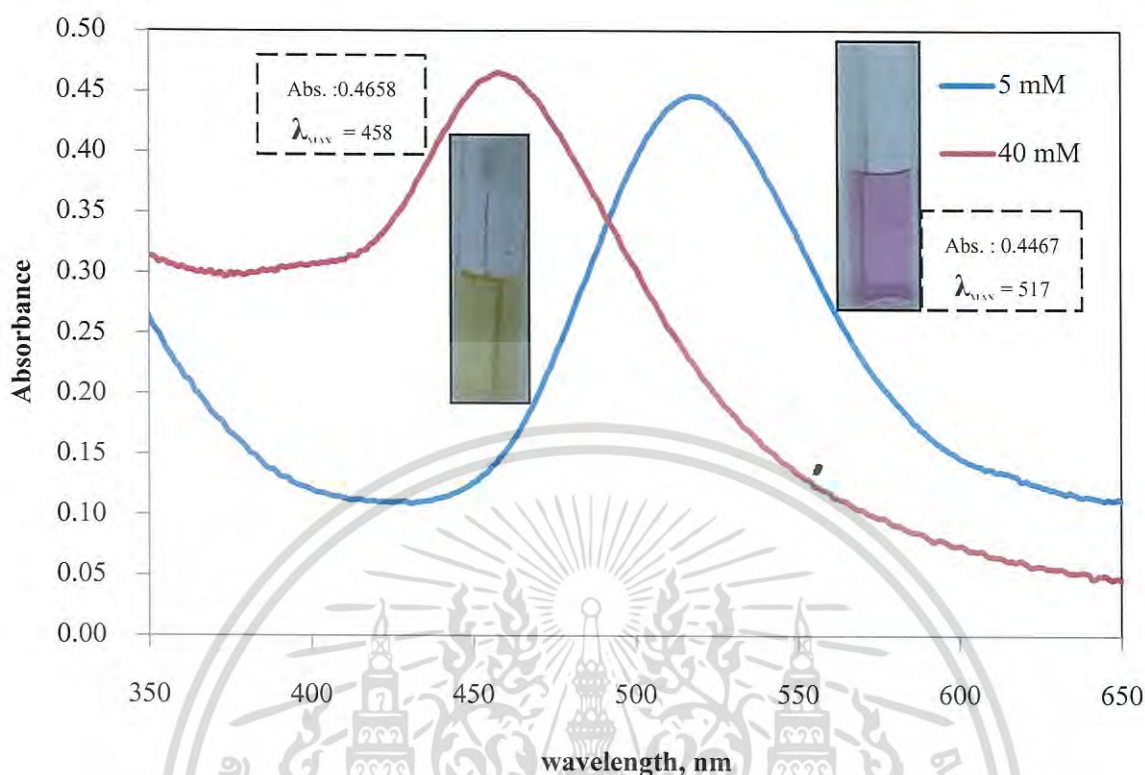


รูปที่ 4.46 : สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM นำไปประยุกต์ใช้ให้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 5–40 mM โดยค่าการดูดกลืนแสง(A)และ สีของสารละลาย(B)

ผลการศึกษารูปที่ 4.46 พบว่า สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจนโดยเปลี่ยนแปลงจากสีชมพูกลายเป็นสีเหลือง แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมในการใช้สารรักษาเสถียรภาพชนิดและความเข้มข้นดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อความชัดเจนของการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายที่เกิดขึ้น สังเกตได้จากรูปที่ 4.47

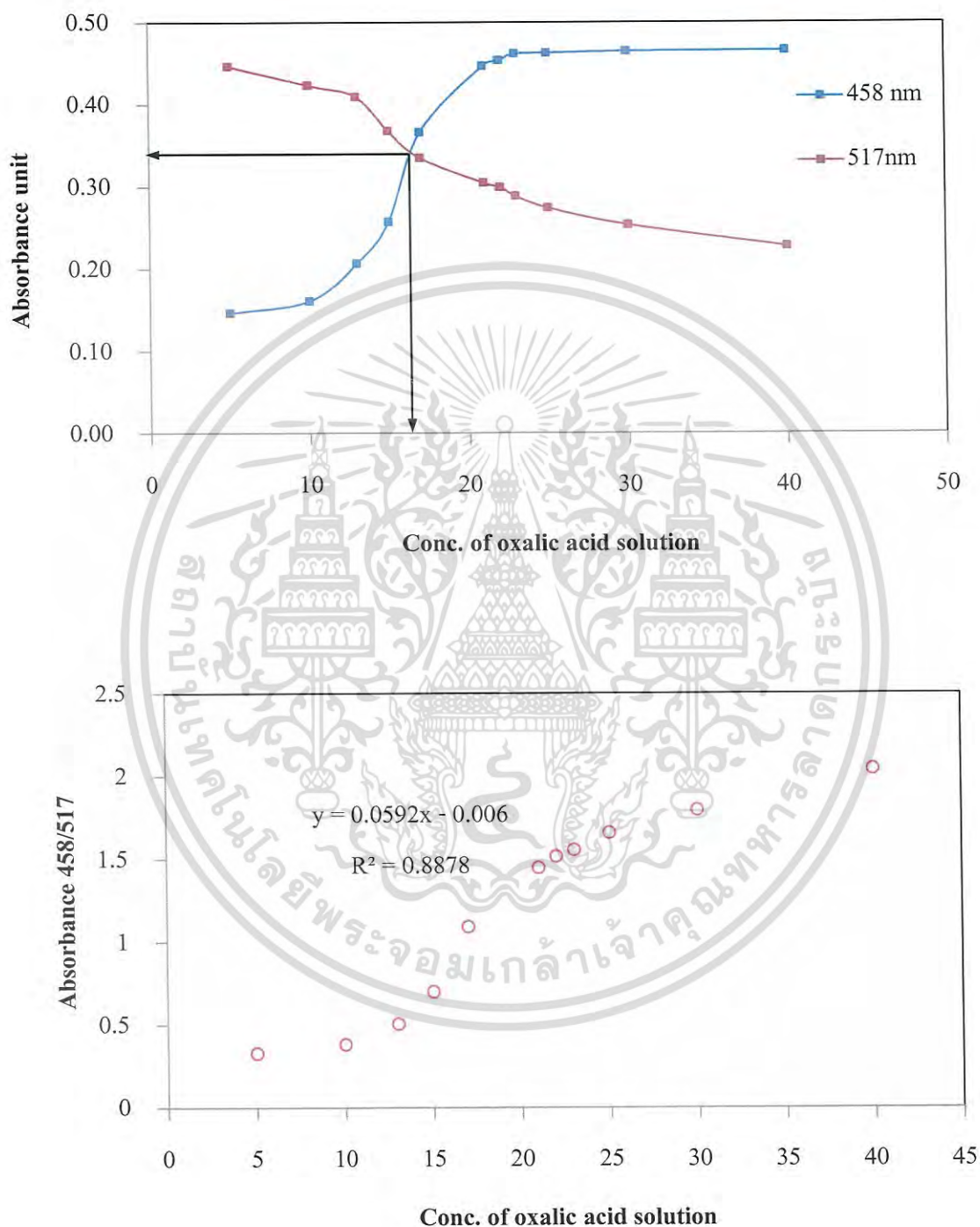


รูปที่ 4.47 สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM นำไปประยุกต์ใช้ให้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนียความเข้มข้น 5 และ 40 mM โดยค่าการดูดกลืนแสงและสีของสารละลาย

จากรูปที่ 4.47 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย โดยสีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเพราะกรดออกซาลิกสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไอออนที่เหลืออยู่ในสารละลาย โดยเกิดเป็นสารประกอบโคออร์ดิเนตโควาเลนต์ในรูป  $Ag^+/COO_2^-$  ด้วยโครงสร้างของกรดออกซาลิกที่มีความชอบน้ำและสามารถเพิ่มประจุให้กับอนุภาคเงินระดับนาโนได้ ส่งผลให้โมเลกุลของน้ำกลับมามีรอบอนุภาคเงินระดับนาโน ระยะห่างของน้ำน้อยลง การกระเจิงแสงก็น้อยลง แสงที่สะท้อนออกมาจากระยะห่างก็น้อยลงตามไปด้วย สีที่ปรากฏจึงมีการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Isosbestic point คือจุดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสองสปีชีส์ ในการศึกษาพบว่า Isosbestic point แสดงได้ดังรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 แสดงอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 458 และ 517 นาโนเมตร ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีปริมาณของสารละลายกรดออกซาลิก

ความเข้มข้น 5-40 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.48 แสดงสองสปีชีส์ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์กับซิลเวอร์ไอออนที่เหลืออยู่จากปฏิกิริยารีดักชัน และพบว่าความเข้มข้นต่ำสุดของกรดออกซาลิก ที่ทำให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเกิดการเปลี่ยนแปลงสี คือ 16.50 มิลลิโมลาร์ และมีความสัมพันธ์เป็นเชิงแนวเส้นตรง (linear relationship) โดยมีค่า  $R^2 = 0.887$

#### 4.3 ผลการศึกษาการต้านเชื้อจุลินทรีย์

##### กลไกการต้านเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคเงินระดับนาโน

การเกิดอันตรกิริยาของอนุภาคเงินระดับนาโนกับเชื้อแบคทีเรีย เกิดจากอนุภาคเงินระดับนาโนจะกระจายตัวหรือแทรกเข้าไปภายในเซลล์ของแบคทีเรีย และทำให้เกิดการรวมตัวของดีเอ็นเอภายในเซลล์ ขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สามารถฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 1 – 10 นาโนเมตร เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กจะแสดงอิทธิพลของ electronic effect ได้ดียิ่งขึ้นทำให้ความว่องไวของพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น รวมถึงความแข็งแรงในการจับของอนุภาคนาโนของเงินกับแบคทีเรียขึ้นกับพื้นที่ผิวที่เกิดอันตรกิริยา ดังนั้นพื้นที่ผิวที่เพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลงทำให้ประสิทธิภาพของอนุภาคเงินระดับนาโนเพิ่มขึ้น สามารถสรุปได้ว่ามี 3 กลไกหลักที่ทำให้อนุภาคนาโนของเงินสามารถต่อต้านแบคทีเรียได้ดี ได้แก่

1. อนุภาคนาโนของเงินในช่วง 1 – 10 nm จับกับผิวหน้าของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียและรบกวนการทำงานระดับเซลล์ของแบคทีเรีย เช่น การขนส่งสารเข้าออกจากเซลล์ ทำลายระบบหายใจ ระบบขนย้ายอิเล็กตรอนในกระบวนการเมทาโบลิซึม และระบบขนย้ายซัสเตรทในเยื่อหุ้มเซลล์
2. อนุภาคนาโนของเงินสามารถแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรียและรบกวนการทำงานระดับโมเลกุลโดยจับกับสารที่มีกำมะถันและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ เช่น ดีเอ็นเอ มีผลทำให้แบคทีเรียไม่สามารถแบ่งเซลล์ได้และทำให้เซลล์ตายในที่สุด
3. อนุภาคนาโนของเงินเกิดการสลายตัวและปลดปล่อย Silver Ion เนื่องจากอนุภาคนาโนของเงินมีขนาดเล็กและมีเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถปลดปล่อย Silver Ion ออกมาด้วยความเข้มข้นสูง สามารถฆ่าแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุลินทรีย์เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จึงจำเป็นต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ ได้แก่ แบนที่เรีย อาร์เคีย รา และ ยีสต์ เป็นต้น เราสามารถพบจุลินทรีย์ได้ทุกสภาวะแวดล้อม แม้แต่ในสภาวะแวดล้อมที่สิ่งมีชีวิตอื่นอยู่ไม่ได้ แต่จุลินทรีย์บางชนิดสามารถปรับตัวอาศัยอยู่ได้ เช่น ในน้ำพุร้อนบริเวณภูเขาไฟใต้ทะเลลึก หรือภูเขาไฟธรรมดา ได้มหาสมุทรที่มีความกดดันของน้ำสูงๆ ในน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิเย็นจัด บริเวณที่มีสภาพความเป็นกรด่างสูง หรือแม้กระทั่งในบริเวณที่ไม่มีออกซิเจนด้วยเหตุนี้ จึงนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมาประยุกต์ใช้ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์

ในงานวิจัยนี้ได้นำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM, สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS 7 mM และสารรักษาเสถียรภาพ PMA 7 mM ไปทำการศึกษาเชื้อจุลินทรีย์สามชนิด คือ Staphylococcus aureus ATCC 2592 (S.aureus), Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853 (P.aeruginosa) และ Candida albicans ATCC 10231 (C.albicans) และได้ทำการศึกษาก่อนสองตัวกลางคือ

#### 4.3.1 ศึกษาผ่านสารละลาย

ทำได้โดยการใช้วิธี Agar diffusion เพื่อวัดพื้นที่การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน (Inhibition Zone) สารละลายที่เราใช้ทดสอบ มีดังนี้ Ag-PMA, Ag-PAA, Ag-COPSS, AgNO<sub>3</sub>, PMA in buffer, PAA in buffer และ COPSS in buffer ส่วนเชื้อจุลินทรีย์ที่เราเลือกศึกษา ได้แก่ Staphylococcus aureus ATCC 25923 (S. aureus), Pseudomonas aeruginosa ATCC 27853 (P. aeruginos) และ Candida albicans ATCC 10231 (C. albicans) วิธี Agar diffusion

Agar diffusion มีขั้นตอนการทำคร่าวๆดังต่อไปนี้ นำเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดที่เพาะเลี้ยงใน Muller Hinton Agar (HMA) แบ่งลงใน Normal Saline หรืออาหาร MHB จากนั้นปรับให้มีความขุ่นเท่ากับ McFarland NO. 0.5 จะมีเชื้อปริมาณ  $1 \times 10^8$  CFU/ml เกลี่ยเชื้อลงบนอาหาร MHA โดยใช้ไม้ปั่นสำลีจุ่มลงในสารละลายเชื้อ แล้วนำไปทาที่ผิวหน้าอาหาร 3 ครั้ง รองหน้า Paper disc ที่มีสารที่ต้องการทดสอบ วางบนผิวหน้าอาหาร นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส อ่านผลโดยการวัดขนาดของพื้นที่การยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ (Inhibition Zone) ที่เกิดจากสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

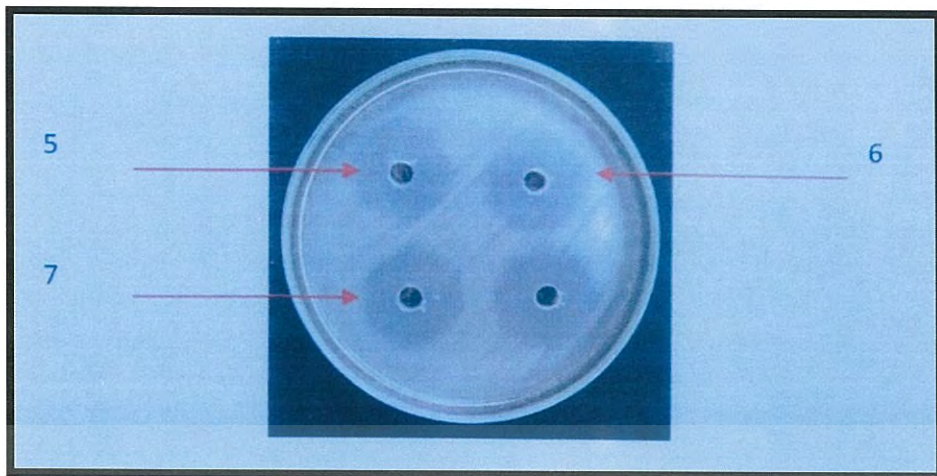
เป็นมิลลิเมตร โดยวัดคร่อม Paper disc 2 ครั้ง ทั้งแนวตั้งและแนวนอน และหาค่าเฉลี่ย ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.7 และได้รูปผลการศึกษาดังรูปที่ 4.50-4.52

ลำดับ	สารละลาย	Zone Diameter (millimeter)		
		S.aureus	P.aeruginosa	C.albicans
1	AgNPs stabilize PMA conc. 7 mM in buffer	11	0	8
2	AgNPs stabilize PAA conc. 9 mM in buffer	11	0	8
3	AgNPs stabilize COPSS conc. 7 mM in buffer	11.5	0	8
4	AgNO <sub>3</sub> in solution	11	7	9
5	Stabilize PMA conc. 7 mM in buffer	10.5	0	0
6	Stabilize PAA conc. 9 mM in buffer	11	0	0
7	Stabilize COPSS conc. 7 mM in buffer	11	0	0

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการศึกษาการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของสารละลายต่างๆที่ใช้ในงานวิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



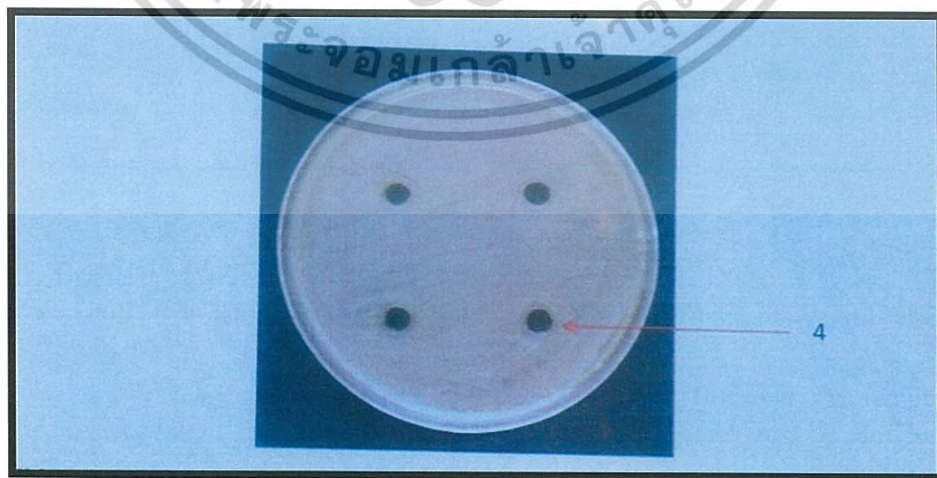
รูปที่ 4.49 แสดงภาพการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ชนิด

*Staphylococcus aureus* ATCC 2592 (*S. aureus*)



รูปที่ 4.50 แสดงภาพการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ชนิด

*Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 (*P. aeruginosa*)



รูปที่ 4.51 แสดงภาพการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ชนิด

*Candida albicans* ATCC 10231 (*C. albicans*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการศึกษาด้านเชื้อจุลินทรีย์ผ่านสารละลายฯ พบว่า สารละลายฯ มีฤทธิ์ในการต้านเชื้อ S.aureus ดีที่สุด ถึงแม้ว่าสารละลายซิลเวอร์ในเตรทจะมีฤทธิ์ไม่ต่างจากสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน แต่ในการใช้งาน สารละลายซิลเวอร์ในเตรทจะไม่เสถียร และจะกลายเป็นสารละลายสีดำเมื่อปล่อยทิ้งไว้นาน แต่ในกรณีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ สารรักษาเสถียรภาพ จะช่วยให้อนุภาคเงินมีความเสถียรภาพมากขึ้น ฉะนั้นสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้งาน ได้ดีกว่า

#### 4.3.2 ศึกษาผ่านวัสดุ (ไส้กรอง)

เนื่องจากไส้กรองถูกใช้เพื่อดักจับฝุ่น, สารก่อให้เกิดโรครุมิแพ้และยังเป็นปราการด่านแรกในการป้องกันเชื้อโรคบางชนิดจากเครื่องปรับอากาศ การใช้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเคลือบลงบนไส้กรองเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการดักจับเชื้อโรค ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำไส้กรองจุ่มเคลือบอนุภาคเงินระดับนาโน จากนั้นพิ้งไว้ให้แห้ง นำมาใช้งานได้ทันที

เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษารเคลือบอนุภาคเงินระดับนาโนลงบนไส้กรอง จึงใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope: SEM) ในการยืนยันผล

โดยในงานวิจัยได้ทำการสังเคราะห์ทั้งสองแบบ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ โดยมีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

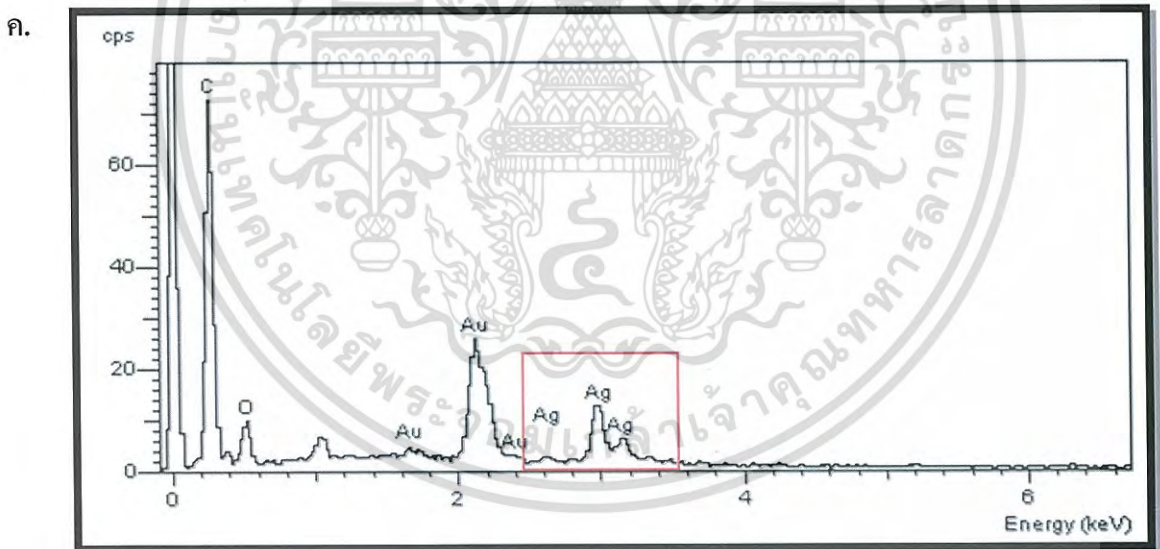
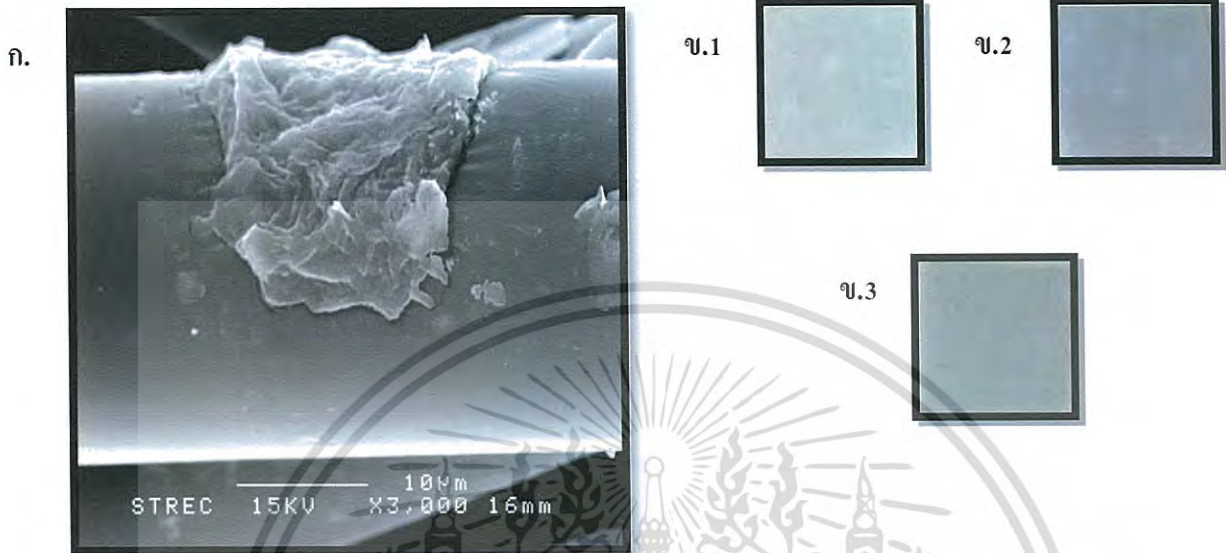
##### 4.3.2.1 วิธีเคมีสีเขียว

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ และนำไส้กรองจุ่มเคลือบด้วยเทคนิค (Layer – by – Layer : LbL) นาน 15, 60 และ 90 นาที จากนั้นศึกษาการยึดติดของอนุภาคเงินระดับนาโนบนไส้กรองและใช้สารรักษาเสถียรภาพ และความเข้มข้นดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM

ศึกษาด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.53



รูปที่ 4.52 แสดงผลการศึกษากการยึดติดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

บนใ้กรองโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM

ก. ภาพจากการวิเคราะห์ผลการยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ข. ใ้กรองที่จุ่มเคลือบโดยใช้เทคนิคจุ่มเคลือบแบบชั้นต่อชั้น (LbL)

(ข.1 จุ่มเคลือบนาน 15 นาที

ข.2 จุ่มเคลือบนาน 60 นาที

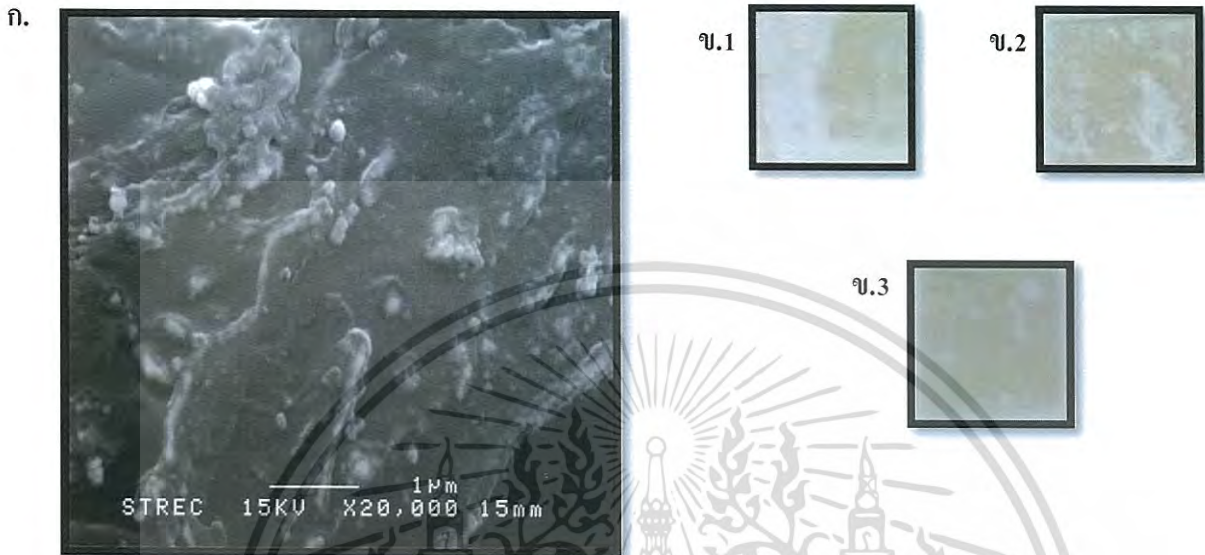
ข.3 จุ่มเคลือบนาน 90 นาที)

ค. กราฟการวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDX)

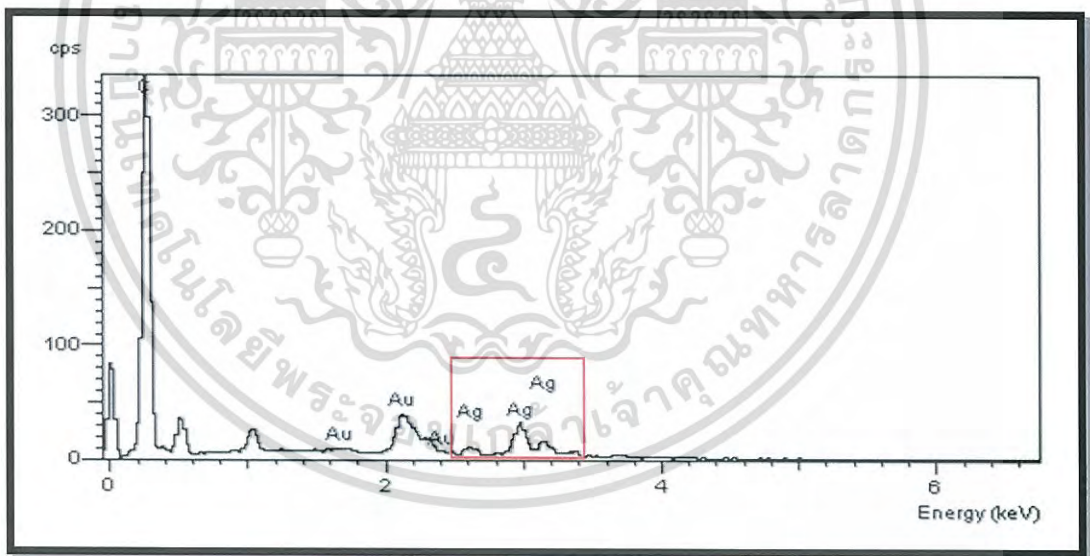
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 9 mM

ศึกษาด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.54



ค.



รูปที่ 4.53 แสดงผลการศึกษาการยึดติดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

บนใส้กรองโดยการใช้นสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM

ก.ภาพจากการวิเคราะห์ผลการยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ข. ใส้กรองที่จุ่มเคลือบโดยการใช้นเทคนิคจุ่มเคลือบแบบชั้นต่อชั้น (LbL)

(ข.1 จุ่มเคลือบนาน 15 นาที

ข.2 จุ่มเคลือบนาน 60 นาที

ข.3 จุ่มเคลือบนาน 90 นาที)

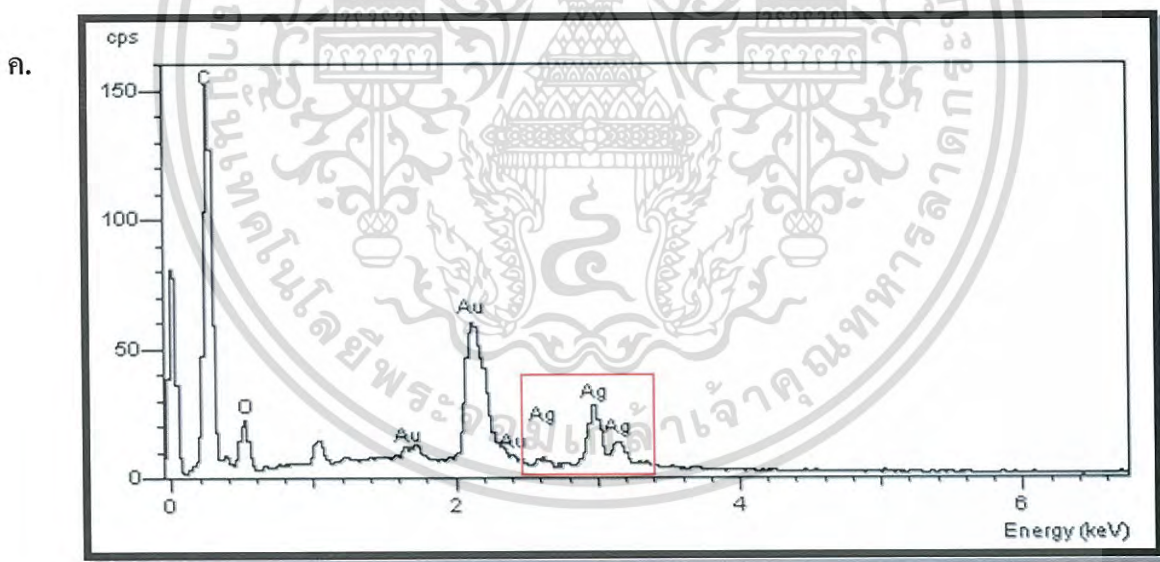
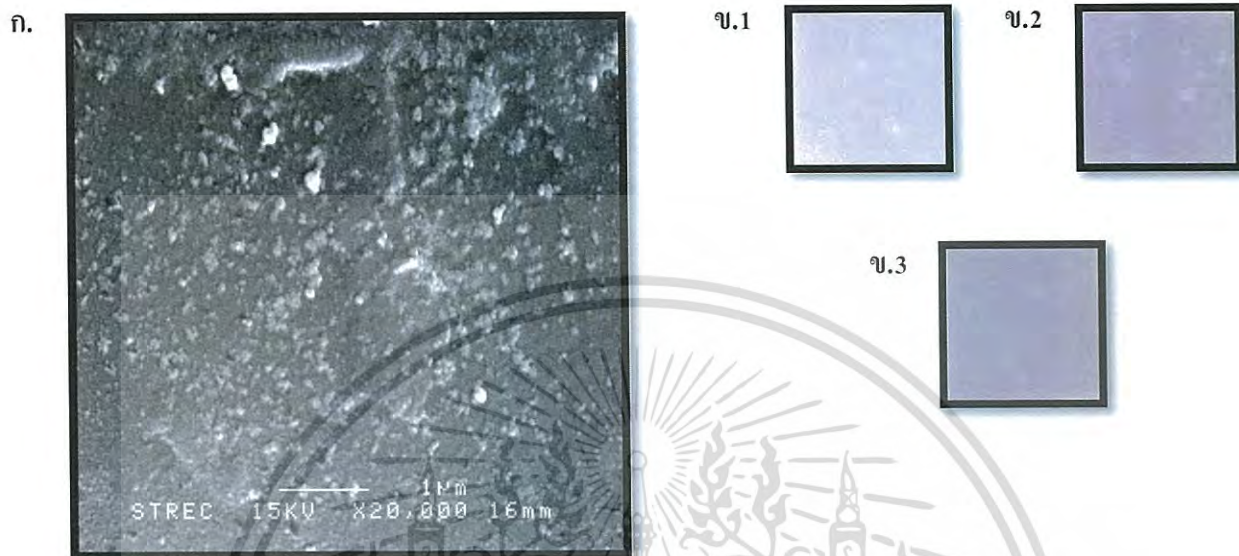
ค.กราฟจากการวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDX)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตเป็นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM

ศึกษาด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.55



รูปที่ 4.54 แสดงผลการศึกษากการยึดติดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

บนใ้กรองโดยการใ้สารรักษาเสถียรภาพ PMAความเข้มข้น 7 mM

ก.ภาพจากการวิเคราะห์ผลการยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ข. ใ้กรองที่จุ่มเคลือบโดยการใ้เทคนิคจุ่มเคลือบแบบชั้นต่อชั้น (LbL)

(ข.1 จุ่มเคลือบนาน15นาที      ข.2 จุ่มเคลือบนาน60นาที      ข.3 จุ่มเคลือบนาน90นาที)

ค.กราฟจากการวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDX)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใ้

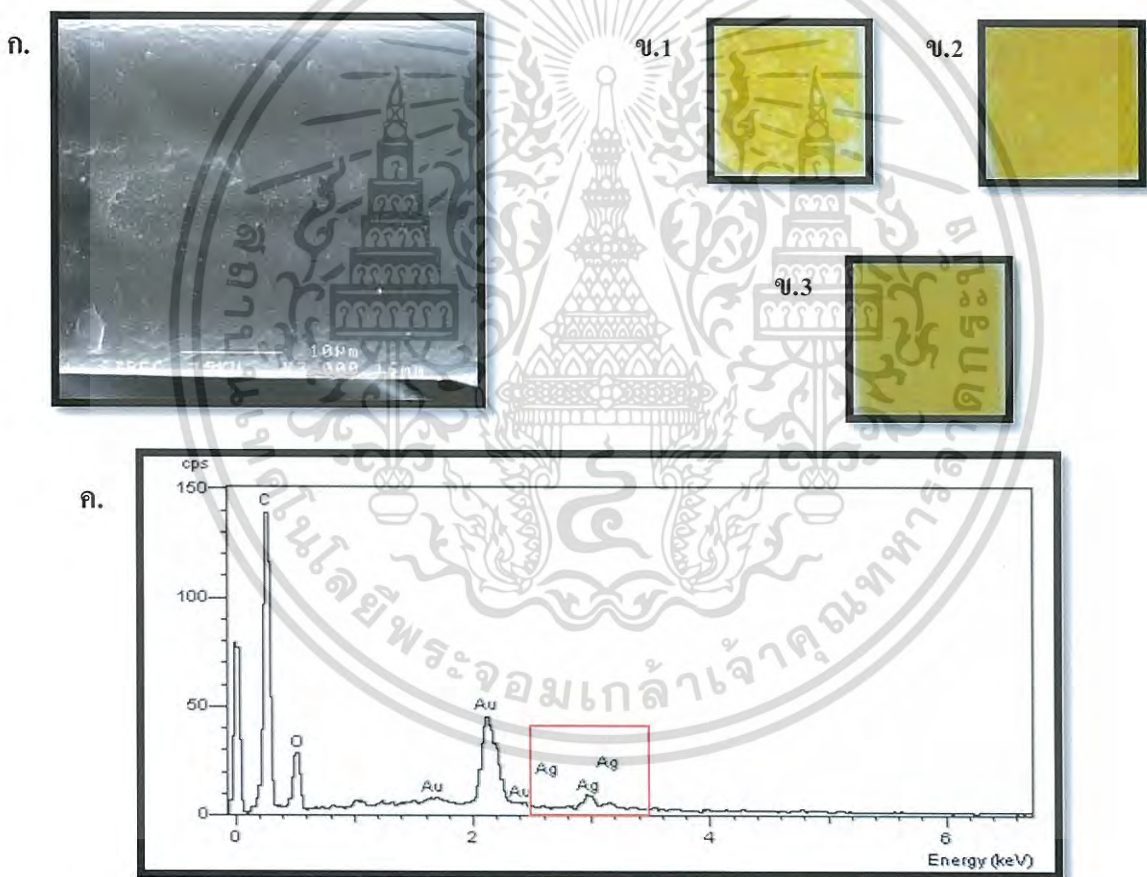
#### 4.3.2.2 การสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ และนำใส่กรองจุ่มเคลือบด้วยเทคนิค (Layer – by – Layer : LbL) นาน 15, 60 และ 90 นาที จากนั้นศึกษาการยึดติดของอนุภาคเงินระดับนาโนบนใส่กรองและสารรักษาเสถียรภาพ และความเข้มข้นดังต่อไปนี้

##### ก. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

ศึกษาด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่

4.56



รูปที่ 4.55 แสดงผลการศึกษการยึดติดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี

บนใส่กรองโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

ก. ภาพจากการวิเคราะห์ผลการยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ข. ใส่กรองที่จุ่มเคลือบโดยการใช้เทคนิคจุ่มเคลือบแบบชั้นต่อชั้น (LbL)

(ข.1 จุ่มเคลือบนาน 15 นาที      ข.2 จุ่มเคลือบนาน 60 นาที      ข.3 จุ่มเคลือบนาน 90 นาที)

ค. กราฟจากการวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDX) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปเผยแพร่ในสื่อใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM

ศึกษาด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่

4.57

ก.



ข.1



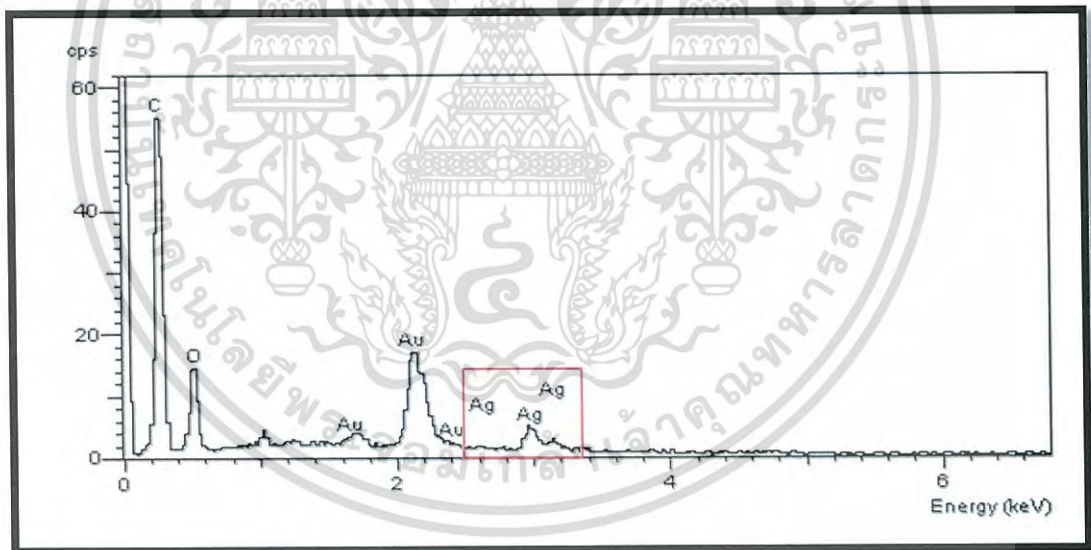
ข.2



ข.3



ค.



รูปที่ 4.56 แสดงผลการศึกษการยึดติดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี

บนใส่กรองโดยการใ้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM

ก.ภาพจากการวิเคราะห์ผลการยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ข. ใส่กรองที่จุ่มเคลือบโดยการใ้เทคนิคจุ่มเคลือบแบบชั้นต่อชั้น (LbL)

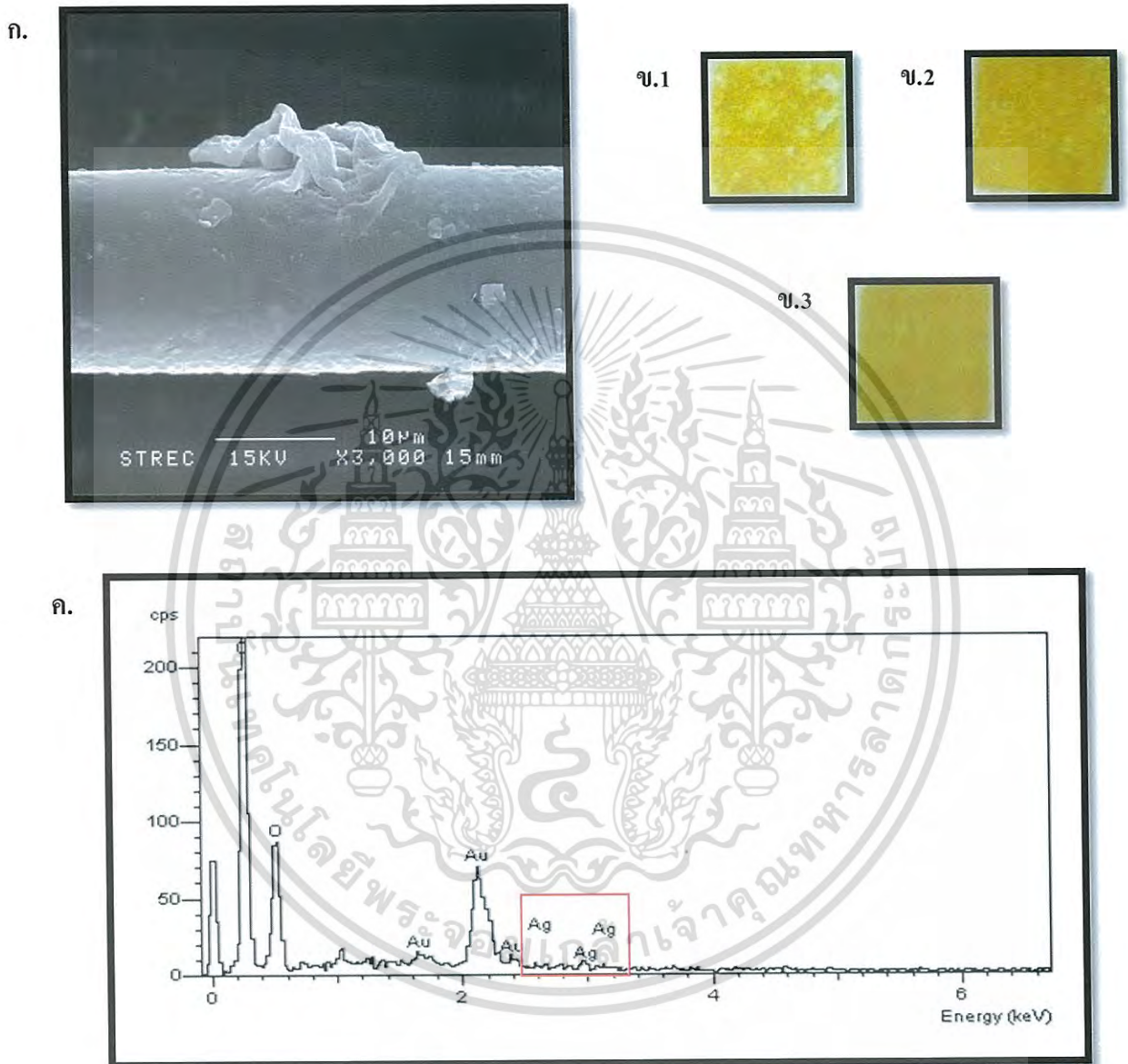
(ข.1 จุ่มเคลือบนาน 15 นาที      ข.2 จุ่มเคลือบนาน 60 นาที      ข.3 จุ่มเคลือบนาน 90 นาที)

ค. กราฟจากการวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDX) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM

ศึกษาด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ได้ผลการศึกษา

ดังรูปที่ 4.58



รูปที่ 4.57 แสดงผลการศึกษการยึดติดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี

บนใ้กรองโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM

ก. ภาพจากการวิเคราะห์ผลการยึดติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ข. ใ้กรองที่จุ่มเคลือบโดยใช้เทคนิคจุ่มเคลือบแบบชั้นต่อชั้น (LbL)

(ข.1 จุ่มเคลือบนาน 15 นาที      ข.2 จุ่มเคลือบนาน 60 นาที      ข.3 จุ่มเคลือบนาน 90 นาที)

ค. กราฟจากการวิเคราะห์ธาตุเชิงคุณภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDX) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3 ผลการศึกษาการต้านเชื้อจุลินทรีย์

จากผลการศึกษาการต้านเชื้อจุลินทรีย์ชนิด *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) และ *Candida albicans* (*C. albicans*) ดังผลการศึกษาตารางที่ 4.7 พบว่าฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ชนิด *S.aureus* ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด ในงานวิจัยนี้จึงเลือกเชื้อจุลินทรีย์ *S.aureus* ทำการศึกษานบนไส้กรองที่มีอนุภาคเงินระดับนาโนเคลือบ โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้ อันดับแรกทำการเลี้ยงเชื้อนาน 1 วัน นำไส้กรองใส่หลอดทดลอง และปิเปตเชื้อที่เลี้ยงไว้ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตรและปิเปตอาหารเลี้ยงเชื้อปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปเขย่านาน 60 นาที เมื่อครบ 60 นาที ปิเปตสารออกจากหลอดทดลอง และทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่น นำสารที่เจือจางปิเปตปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร เติบบน solid agar นำไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบ 24 ชั่วโมง นับจำนวนเชื้อในจานเลี้ยงเชื้อที่ลดลง รายงานผลการศึกษาในหน่วยของ % reduction of bacteria

#### 4.3.3.1 ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์โดยการใช้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยมีสารรักษาเสถียรภาพชนิดต่างๆ

ผลการศึกษาโดยศึกษาผ่านเชื้อจุลินทรีย์ชนิด *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.8

ลำดับ	สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารเพิ่มความคงตัว	เวลาที่ใช้จุ่มเคลือบ(นาที)	% reduction of bacteria
1	PAA ความเข้มข้น 9 มิลลิโมลาร์	15	37.50
		60	0
		90	29.16
2	CoPSS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์	15	33.33
		60	0
		90	41.66
3	PMA ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์	15	50.00
		60	20.83
		90	33.33

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์จากการใช้อนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.3.2 ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์โดยการใช้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี โดยมีสารรักษาเสถียรภาพชนิดต่างๆ

ผลการศึกษาโดยศึกษาผ่านเชื้อจุลินทรีย์ชนิด Staphylococcus aureus (S.aureus) ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.9

ลำดับ	สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารเพิ่มความคงตัว	เวลาที่ใช้จุ่มเคลือบ(นาที)	% reduction of bacteria
1	PAA ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์	15	62.50
		60	77.91
		90	16.66
2	CoPSS ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์	15	12.50
		60	64.16
		90	0
3	PMA ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์	15	66.66
		60	58.33
		90	45.83

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์จากการใช้อนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสี่ชนิด

สรุปผลการศึกษาการใช้ใส่ร่องที่จุ่มเคลือบกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารเพิ่มความคงตัวชนิดต่างๆ

จากตารางที่ 4.8 และ ตารางที่ 4.9 พบว่าการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนทั้งสองวิธีให้ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ไม่แตกต่างกันมากนัก ซึ่งในแง่ของการใช้สารเคมีในการสังเคราะห์ วิธีเคมีสีเขียวเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสังเคราะห์ กล่าวคือวิธีการสังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวใช้สารเคมีน้อยกว่าวิธีการสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีอีกทั้งยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการจุ่มเคลือบมีผลต่อการต้านเชื้อจุลินทรีย์ไม่มากนัก แต่ชนิดของสารเพิ่มความคงตัวมีผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์มีมากกว่า ฉะนั้นจึงควรเลือกใช้ให้เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว เตรียมได้จากปฏิกิริยาโฟโตรีดักชัน (Photo Reduction) ของซิลเวอร์ไนเตรทและพอลิอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งละลายในสารละลายอะซีติกอะซิเตท ที่มีค่า pH เท่ากับ 4.75 (สารละลายบัฟเฟอร์) จากนั้นนำไปสัมผัสพลังงานจากแสงของหลอด UV-C ที่มีความยาวคลื่น 100 - 280 นาโนเมตร ซึ่งแสงจากหลอด UV-C และสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) และยังเป็นสารรักษาเสถียรภาพได้อีกด้วย ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ไม่ว่าจะเป็นความเข้มข้นและชนิดของสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ สารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ได้แก่ PAA, CoPSS และ PMA

ผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมของสารรักษาเสถียรภาพ PAA พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้น 9 มิลลิโมลาร์ เมื่อได้รับพลังงานจากแสงจากหลอด UV-C เป็นเวลา 50 นาที จะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีฟ้า ซึ่งมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 405 นาโนเมตร มีค่า Zeta potential เท่ากับ -14.32 mV และจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่อง TEM พบว่าอนุภาคมีขนาดประมาณ 6-10 นาโนเมตร, สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ เมื่อได้รับพลังงานจากแสงจากหลอด UV-C เป็นเวลา 50 นาที จะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีส้ม ซึ่งมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 410 นาโนเมตร มีค่า Zeta potential เท่ากับ -27.36 mV และจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่อง TEM พบว่าอนุภาคมีขนาดประมาณ 6-10 นาโนเมตร และสารรักษาเสถียรภาพ PMA พบว่า สภาวะที่เหมาะสม คือ ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ เมื่อได้รับพลังงานจากแสงจากหลอด UV-C เป็นเวลา 30 นาที จะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีชมพู ซึ่งมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 459 นาโนเมตร มีค่า Zeta potential เท่ากับ -37.90 mV และจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่อง TEM พบว่าอนุภาคมีขนาดน้อยกว่า 5 นาโนเมตร

เนื่องจากการใช้พลังงานของแสงจากหลอด UV-C มีพลังงานต่ำ ส่งผลให้ปฏิกิริยารีดักชันของซิลเวอร์ไอออนเปลี่ยนไปเป็นซิลเวอร์นาโนเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ มีซิลเวอร์ไอออนหลงเหลืออยู่จะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคเงินระดับนาโน ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนในรูป  $Ag^+/COO^-$  รอบๆ อนุภาค เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาโน ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนในรูป  $Ag^+/COO^-$  ที่เกิดจะผลึกโมเลกุลของน้ำที่อยู่รอบๆ เกิดการเคลื่อนที่ห่างออกไป ส่งผลทำให้สารประกอบเชิงซ้อนในรูป  $Ag^+/COO^-$  มีความชอบน้ำลดลง การที่โมเลกุลของน้ำลดลงส่งผลให้ความเป็นขั้วของสิ่งแวดลอมที่ล้อมรอบอนุภาคเงินระดับนาโนน้อยลง ส่งผลให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนได้สีต่างๆ

การนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายแอมโมเนีย และสารละลายกรดออกซาลิก ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนซึ่งใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 มิลลิโมลาร์, CoPSS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ และ PMA ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ แต่สารรักษาเสถียร PMA ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ มีการเปลี่ยนแปลงสีจากสีชมพูเป็นสีเหลืองได้ชัดเจน หลังจากการเติมสารละลายแอมโมเนีย หรือสารละลายกรดออกซาลิก ในการเติมสารละลายแอมโมเนียลงไปในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน แอมโมเนีย หรือกรดออกซาลิก สามารถทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไอออนที่หลงเหลืออยู่ในสารละลาย เกิดเป็นสารประกอบโคออร์ดิเนชันอยู่ในรูป  $Ag(NH_3)_2^+$  หรือ  $Ag(COO^-)_2$  ตามลำดับ ซึ่งสารประกอบดังกล่าวสามารถที่จะเพิ่มประจุให้กับอนุภาคเงินระดับนาโน ทำให้เกิดการผลึกกันระหว่างอนุภาคน้อยลง และส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนมีโมเลกุลของน้ำเข้าใกล้มากขึ้น ระยะเวลาที่โมเลกุลของน้ำเข้ามาใกล้ขึ้น ส่งผลให้เกิดการสะท้อนกลับของสี สารละลายจึงเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเหลือง

ในส่วนของการนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนไปประยุกต์ใช้เป็นตัวต้านเชื้อจุลินทรีย์ สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำการศึกษาด้านเชื้อจุลินทรีย์ชนิด *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*), *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) และ *Candida albicans* (*C. albicans*) พบว่าสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ชนิด *S.aureus* ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด ดังนั้น เราจึงได้ทำการยัดติดอนุภาคเงินระดับนาโนบนไส้กรองอากาศ ด้วยเทคนิคเลเซอร์บายเลเซอร์ และทำการยืนยันผลด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ามีอนุภาคเงินระดับนาโนยัดติดอยู่บนไส้กรองอากาศ จากนั้นนำไปตรวจหาฤทธิ์การต้านเชื้อจุลินทรีย์ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 มิลลิโมลาร์ ที่จุ่มเคลือบนาน 15 นาที มีค่า %reduction 37.50, สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ที่จุ่มเคลือบนาน 90 นาที มีค่า %reduction 41.66 และสารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ที่จุ่มเคลือบนาน 15 นาที มีค่า %reduction 50.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการประยุกต์ใช้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนกับการต้านเชื้อจุลินทรีย์ ส่วนของสารละลายสามารถต้านเชื้อจุลินทรีย์ชนิด *S.aureus* ได้ดีที่สุด ส่วนเชื้อชนิดอื่นต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้ไม่ดีเท่าที่ควร ซึ่งอาจจะเป็นผลมาความแข็งแรงของเชื้อจุลินทรีย์ เป็นต้น และในส่วนของกรจุ่มเคลือบสารละลายลงบนไส้กรองกับเชื้อจุลินทรีย์ชนิด *S.aureus* พบว่าการใช้สารเพิ่มความคงตัว PMA ความเข้มข้น 7 มิลลิโมลาร์ ที่จุ่มเคลือบนาน 15 นาทีสามารถต้านเชื้อได้ดีที่สุด ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากชนิดของสารเพิ่มความคงตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ. (กรกฎาคม-ธันวาคม 2554). **เคมีวิเคราะห์สีเขียว**. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง, 20, (2).
2. ศรัลัญญา พรหมโคตร. (2554). **นาโนเทคโนโลยีขั้นต้น (เล่มที่1)**. ขอนแก่น : โครงการตำรามหาวิทยาลัยขอนแก่น
3. [Online]. Available : <http://www.ttistextiledigest.com/Magazine/146/nano.html> [12/11/2013]
4. [Online]. Available : <http://www.bangkokbiznews.com/home/detail/it/innovation/20090316/25193.html> [12/11/2013]
5. [Online]. Available : <http://www.nanotec.or.th/th/?p=1137> [12/11/2013]
6. [Online]. Available : [http://www.research.chula.ac.th/web/rs\\_news/2551/N002\\_09.html](http://www.research.chula.ac.th/web/rs_news/2551/N002_09.html) [12/11/2013]
7. [Online]. Available : <http://www.manager.co.th/science/viewnews.aspx?NewsID=9560000103860> [14/11/2014]
8. [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit1-6.html> [14/11/2014]
9. [Online]. Available : <https://sites.google.com/site/supading77/nano-thekhnoloyi> [14/11/2014]
10. [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit2-5.html> [14/11/2014]
11. [Online]. Available : [http://www.baanjommyut.com/library/global\\_community/07\\_3\\_3.html](http://www.baanjommyut.com/library/global_community/07_3_3.html) [30/11/2014]
12. [Online]. Available : <http://www.thelittlegymrama3.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538690877&Ntype=3>. [3/12/2014]
13. [Online]. Available : <http://www.vcharkarn.com/varticle/39427> [3/12/2014]
14. [Online]. Available : <http://www.mmthailand.com/mmnew/technology-mm01-2013.html> [3/12/2014]
15. [Online]. Available : <http://www2.science.cmu.ac.th/qa/qa2556/SCE-7-1-13.pdf> [5/12/2014]

16. Virender K. Sharma, Ria A. Yngard, Yekaterina Lin. **Silver nanoparticles : Green synthesis and their antimicrobial activities.** Advances in Colloid and Interface Scine, 145 (2009), 83-96.
17. [Online]. available : <http://physics.aalto.fi/groups/comp/msp/research/plasmonics> [10/12/2014]
18. [Online]. available : <http://pharm.kku.ac.th/isan-journal/journal/volume8-no2/01.pdf> [15/12/2014]
19. [Online]. available : <http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/material-science-products.html?TablePage=112436131> [17/12/2014]
20. [Online]. available : <http://www.chemnet.com/Suppliers/35335/PDADMAC--1506236.html> [17/12/2014]
21. [Online]. available : <http://www.polysciences.com/Catalog/Department/Product/98/categoryid--298/pageindex--5/productid--1225/> [17/12/2013]
22. [Online]. available : [http://en.wikipedia.org/wiki/Polyacrylic\\_acid](http://en.wikipedia.org/wiki/Polyacrylic_acid) [17/12/2013]
23. [Online]. available : <http://www.engineersgarage.com/articles/oled-working-application-future?page=3> [17/12/2013]
24. [Online]. Available : [http://www.fis.unipr.it/lmn/layer\\_b\\_1.htm](http://www.fis.unipr.it/lmn/layer_b_1.htm) [19/12/2013]
25. [Online]. Available : [http://organicmellow.blogspot.com/2013/08/blog-post\\_6.html](http://organicmellow.blogspot.com/2013/08/blog-post_6.html) [19/12/2013]
26. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1197/staphylococcus-aureus> [19/12/2013]
27. [Online]. Available : [http://th.wikipedia.org/wiki/Staphylococcus\\_aureus](http://th.wikipedia.org/wiki/Staphylococcus_aureus) [20/12/2013]
28. [Online]. Available : [http://th.wikipedia.org/wiki/Pseudomonas\\_aeruginosa](http://th.wikipedia.org/wiki/Pseudomonas_aeruginosa) [20/12/2013]
29. [Online]. Available : <http://student.nu.ac.th/dove/Pseudomonas.html> [20/12/2013]
30. [Online]. Available : [web.yru.ac.th/~dolah/notes/4072401-1-49/PM/P\\_4804009046.doc](http://web.yru.ac.th/~dolah/notes/4072401-1-49/PM/P_4804009046.doc) [20/12/2013]
31. [Online]. Available : [http://th.wikipedia.org/wiki/Candida\\_albicans](http://th.wikipedia.org/wiki/Candida_albicans) [22/12/2013]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32. [Online]. Available :  
[http://microbio.md.kku.ac.th/site\\_data/mykku\\_microbio/3/Lecture/CandidiasisThai.pdf](http://microbio.md.kku.ac.th/site_data/mykku_microbio/3/Lecture/CandidiasisThai.pdf)  
[22/12/2013]
33. [Online]. Available : <http://www.thaieditorial.com/tag/ความเป็นพิษของแอมโมเนีย> [22/12/2013]
34. [Online]. Available : <http://th.wikipedia.org/wiki/กรดออกซาลิก> [22/12/2013]
35. [Online]. Available : <http://nutrition.anamai.moph.go.th/temp/main/view.php?group=2&id=124>  
[25/12/2013]
36. [Online]. Available : <http://nanotech-me.blogspot.com/> [25/12/2013]
37. [Online]. Available : <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=5&ID=2> [25/12/2013]
38. [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html> [5/1/2014]
39. [Online]. Available : <http://frimat.unifr.ch/frimat/fr/page/485/> [5/1/2014]
40. [Online]. Available : <http://www.kmitl.ac.th/sisc/UV/theory.html> [5/1/2014]
41. [Online]. Available : <http://phenixsi.en.made-in-china.com/productimage/TetJDQIOsWcP-2f1j00veNaPYyBLbck/China-Innovated-Split-Beam-UV1800-UV-VIS-Spectrophotometer-with-CE.html> [7/1/2014]
42. [Online]. Available : <http://digi.library.tu.ac.th/thesis/st/0436/03chapter2.pdf> [7/1/2014]
43. [Online]. Available : [e-office.science.cmu.ac.th/amsOAfile/QJ171D12.ppt](http://e-office.science.cmu.ac.th/amsOAfile/QJ171D12.ppt) [7/1/2014]
44. [Online]. Available : <http://share.psu.ac.th/blog/easysci/17648> [7/1/2014]
45. Deenadayalan Ashok Kumar, V. Palanichamy, Selvaraj Mohanaropan. **Green synthesis of silver nanoparticles using Alternanthera dentate leaf extract at room temperature and their antimicrobial activity.** Spectrochimica Acta Part A : Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 127(2014), 168-171.
46. Nitin Khandelwal, Abhijeet Singh, Devendra Jain, M.K. Upadhyay, H.N. Verma. **Green synthesis of silver nanoparticles using Argemone mexicana extract and evaluation of their antimicrobial activities.** Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures, Vol. 5, No. 2 (2010), 483-489.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

47. Ismail Aiad, Mohamed M. El-Sukkary, E.A. Soliman 1, Moshira Y. El-Awady, Samy M. Shaban.  
**In situ and green synthesis of silver nanoparticles and their biological activity.** Journal of Industrial and Engineering Chemistry, xxx (2014), xxx–xxx.
48. P.P.N. Vijay Kumara, S.V.N. Pammib, Pratap Kolluc, K.V.V. Satyanarayanad,  
U. Shameema. **Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using Boerhaavia diffusa plant extract and their anti bacterial activity.** Industrial Crops and Products, 52 (2014), 562 – 566.
49. Xihui Zhao, Yanzhi Xiab, Qun Li, Xiaomei Ma, Fengyu Quana, Cunzhen Genga, Zhenyu Hana.  
**Microwave-assisted synthesis of silver nanoparticles using sodium alginate and their antibacterial activity.** Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 444 (2014), 180 – 188.
50. Stephan T. Dubas, Panittamat Kumlangdudsana, Pranut Potiyaraj. **Layer-by-layer deposition of antimicrobial silver nanoparticles on textile fibers.** Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 289 (2006), 105–109
51. Miss Panittamat Kumlangdudsana. **Immobilization of silver nanoparticles on textile fibers using PEM technique.** ISBN 974-14-2309-8
52. Miss Nattanun Sap-iam. **Detection of urea using silver nanoparticles**
53. G. A. Martinez-Castanon และคณะ. **Synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles with different sizes.** Springer Science+Business Media B.V., (2008).
54. Ivan Sondi, Branka Salopek-Sondi. **Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria.** Journal of Colloid and Interface Science, 275 (2004), 177–182
55. Jun Sung Kim และคณะ. **Experimental Antimicrobial effects of silver nanoparticles.** Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine, 3(2007), 95– 101.
56. Naba Kumar Mondal และคณะ. **Green synthesis of silver nanoparticles and its application for mosquito control.** Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 2014, S204-S210.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

57. Stephan T. Dubas, Vimolvann Pimpan. **Green synthesis of silver nanoparticles for ammonia sensing.** *Talanta*, 76 (2008), 29–33.
58. Nitin Khandelwal, Abhijeet Singh, Devendra Jain, M.K. Upadhyay, H.N. Verma. **Green synthesis of silver nanoparticles using Argemone mexicana leaf extract and evaluation of their antimicrobial activities.** *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures* Vol. 5, No 2, (2010), 483 – 489.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 1. การเตรียมสารละลายอะซิติคอะซิเตทบัฟเฟอร์(สารละลายบัฟเฟอร์)

$$pH = pK_a + \log \frac{[A^-]}{[HA]}; \quad pK_a = 1.8 \times 10^{-5}$$

$$4.75 = (-\log 1.8 \times 10^{-5}) + \log \frac{[CH_3COONa]}{[CH_3COOH]}$$

$$4.75 = 4.75 + \log \frac{[CH_3COONa]}{[CH_3COOH]}$$

$$4.75 - 4.75 = \log \frac{[CH_3COONa]}{[CH_3COOH]}$$

$$\log \frac{[CH_3COONa]}{[CH_3COOH]} = 0$$

$$\frac{[CH_3COONa]}{[CH_3COOH]} = \text{antilog } 0$$

$$= 10^0$$

$$= 1$$

ดังนั้นในสารละลายอะซิติคอะซิเตทจะประกอบด้วย

$$[CH_3COONa] = 0.5 \text{ M}$$

$$[CH_3COOH] = 0.5 \text{ M}$$

เมื่อต้อง 10 mM ฉะนั้นจะประกอบด้วย

$$[CH_3COONa] = 5 \text{ mM}$$

$$[CH_3COOH] = 5 \text{ mM}$$

## 1.1. เกลืออะซิเตท 5 mM 500 ml

$$\frac{g}{Mw} = \frac{CV}{1000}$$

$$\frac{g}{137} = \frac{(5 \times 10^{-3})(500)}{1000}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$g = 0.3425$$

### 1.2 กรดอะซิติก 5 mM 500 ml

$$\begin{aligned} C &= \frac{\% \times 10 \times d}{Mw} \\ &= \frac{99.7 \times 10 \times 1.05}{60} \\ &= 17.45 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ 17.45 \times V_1 &= (5 \times 10^{-3}) (500) \\ V_1 &= 0.1435 \text{ ml} \end{aligned}$$

### 2. การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 10 mM 1,000 ml

$$\begin{aligned} \frac{g}{Mw} &= \frac{C V}{1000} \\ \frac{g}{169.9} &= \frac{(10 \times 10^{-3}) (1000)}{1000} \\ g &= 1.699 \end{aligned}$$

### 3 การเตรียมสารละลายพอลิเมอร์ที่มีประจุทางไฟฟ้าชนิดลบ

#### 3.1 Poly (acrylic acid), PAA 100 mM 100 ml

$$\begin{aligned} \frac{g}{Mw} &= \frac{C V}{1000} \\ \frac{g}{72.06} &= \frac{(10 \times 10^{-3}) (1000)}{1000} \\ g &= 0.7206 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 Poly (4-styrene sulfonic acid - co - maleic acid) sodium salt, COPSS 100 mM 100 ml

$$\begin{aligned}\frac{g}{Mw} &= \frac{C V}{1000} \\ \frac{g}{344.24} &= \frac{(10 \times 10^{-3}) (1000)}{1000} \\ g &= 3.4424\end{aligned}$$

### 3.3 Poly (methacrylic acid) sodium salt solution, PMA 100 mM 100 ml

$$\begin{aligned}C &= \frac{\% \times 10 \times d}{Mw} \\ &= \frac{40 \times 10 \times 1.251}{108} \\ &= 4.63 \text{ M} \\ C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ 4.63 \times V_1 &= (100 \times 10^{-3}) (100) \\ V_1 &= 2.159 \text{ ml}\end{aligned}$$

## 4. การเตรียมสารละลายเพื่อใช้เตรียมความพร้อมบนพื้นผิวของวัสดุ

### 4.1 Poly (diallyldimethyl ammonium chloride), PDAD 10 mM 1,000 ml

$$\begin{aligned}C &= \frac{\% \times 10 \times d}{Mw} \\ &= \frac{20 \times 10 \times 1.08}{161.5} \\ &= 1.3375 \text{ M} \\ C_1 V_1 &= C_2 V_2 \\ 1.3375 \times V_1 &= (10 \times 10^{-3}) (500)\end{aligned}$$

$$V_1 = 7.4766 \text{ ml}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 Poly (4-styrene sulfonic acid) sodium salt, PSS 10 mM 1,000 ml

$$\frac{g}{Mw} = \frac{C V}{1000}$$
$$\frac{g}{206} = \frac{(10 \times 10^{-3}) (1000)}{1000}$$
$$g = 2.06$$

#### 4.3 Sodiumchloride, NaCl 1 M 1,000 ml

$$\frac{g}{Mw} = \frac{C V}{1000}$$
$$\frac{g}{58.5} = \frac{1 \times 1000}{1000}$$
$$g = 58.5$$

### 5. การเตรียมสารละลายเพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้

#### 5.1 Ammonium hydroxide, NH<sub>4</sub>OH 100 mM 100 ml

$$C = \frac{\% \times 10 \times d}{Mw}$$
$$= \frac{30 \times 10 \times 0.892}{35.046}$$
$$= 7.6356 \text{ M}$$
$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$7.6356 \times V_1 = (10 \times 10^{-3}) (100)$$

$$V_1 = 1.3090 \text{ ml}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 Oxalic acid Sodium salt Natriumoxalat, Oxalic,  $C_2NaO_4$  100 mM 100 ml

$$\frac{g}{Mw} = \frac{C V}{1000}$$
$$\frac{g}{134} = \frac{(100 \times 10^{-3}) (100)}{1000}$$
$$g = 1.34$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ – สกุล นางสาวกิตติมา หว่างบุญ

วัน เดือน ปีเกิด 20 ธันวาคม พ.ศ. 2534

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

สายวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ โรงเรียนวัดราชาธิวาส

ระดับปริญญาตรี

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต แขนงเคมีวิเคราะห์ สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail : kit\_forbiden@hotmail.com



ชื่อ – สกุล นายณัฐวุฒิ เหล่ามณีพันธ์

วัน เดือน ปีเกิด 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2534

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

สายวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์ โรงเรียนวัดสุทธิวาราม

ระดับปริญญาตรี

หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต แขนงเคมีวิเคราะห์ สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail : idea\_dd@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Name (Thai):** เอกรัฐ เดชศรี

**Name (Eng):** EKARAT DETSRI

**Branch:** Analytical Chemistry /เคมีวิเคราะห์

**Position:** Asst. Prof. (Chemistry) /ผู้ช่วยศาสตราจารย์ (สาขาเคมี)

**Tel:** 02-3298400-11 ext. 6234

**Fax:** 02-3298428

**E-mail:** [Ekarat.de@Kmitl.ac.th](mailto:Ekarat.de@Kmitl.ac.th)



**Office address:** Chulabhorn 1 Building, 5<sup>th</sup> Floor, Room 501/2, Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang 1 Chalongkrung Road, Ladkrabang District, Bangkok 10520, Thailand

**Education:**

- 2002 B.S. Chemistry, Khon Kaen University, Thailand  
2545 วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- 2005 M.S. Analytical Chemistry, Chiang Mai University, Thailand  
2548 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- 2012 Ph.D. International Program in Nanoscience and Technology, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand  
2555 วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิทยาศาตร์นาโนและเทคโนโลยี) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Current research activities:**

- Electro-optical sensor based on plasmonic devices
- Surface modification of carbon based materials
- Polyelectrolyte multilayer nano thin films
- Electrochemistry

**International publications:**

1. **Detsri, E.,** Kamhom, K., Detsri C., Microwave-assisted synthesis of unmodified gold nanoparticles for colorimetric detection of dopamine, *Key Eng Mat.* 2017 30(1662-9795), 167-171. (Impact factor: 0.216/2015), Content provided by Scopus
2. **Detsri, E.,** Rujipornsakul, R., Treetasayoot, T., Siriwattanamethanon, P., Nanostructured multilayer thin films of multiwalled carbon nanotubes/gold nanoparticles/glutathione for the electrochemical detection of dopamine, *Int J Min Met Mater.* 2016 23(10), 1204-1214. (Impact factor: 0.882/2016), Content provided by ISI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. **Detsri, E.**, Kamhom, K., Ruen-ngam, D., Layer-by-layer deposition of green synthesised silver nanoparticles on polyester air filters and its antimicrobial activity, *J. Exp. Nanosci.* 2016 11(12), 930-939. (Impact factor: 0.832/2016), Content provided by ISI
4. **Detsri, E.**, Novel colorimetric sensor for mercury (II) based on layer-by-layer assembly of unmodified silver triangular nanoplates, *Chin. Chem. Lett.* 2016, 27(10), 1635-1640. (Impact factor: 1.947/2016), Content provided by ISI
5. **Detsri, E.**, Popanyasak, J., Fabrication of silver nanoparticles/polyaniline composite thin films using Layer-by-Layer self-assembly technique for ammonia sensing, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 2015, 467, 57–65. (Impact factor: 2.763/2015), Content provided by ISI
6. **Detsri, E.**, Popanyasak, J., Laomaneenopparat, N., Warngbun, K., UV-assisted synthesis of silver nanoparticles using poly(acrylic acid) for colorimetric ammonia sensing, *Advanced Materials Research* 2015, 1105, 225-230. (Impact factor: 0.077/2015)
7. **Detsri, E.**, Dubas, S. T, Layer-by-layer deposition of cationic and anionic carbon nanotubes into thin films with improved electrical properties. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 2014, 444, 89–94. (Impact factor: 2.495/2014), Content provided by ISI
8. **Detsri, E.**, Dubas, S. T, Interfacial polymerization of polyaniline and its layer-by-layer assembly into polyelectrolytes multilayer thin-film, *Journal of Applied Polymer Science.* 2013, 128, 558-565. (Impact factor: 1.754/2013), Content provided by ISI
9. **Detsri, E.**, Dubas, S. T, Dispersion of multiwalled carbon nanotubes with water-soluble polyaniline blend poly(sodium 4-styrenesulfonate), *Applied Mechanics and Materials.* 2012, 229, 223-227. (Impact factor: 0.099/2012), Content provided by Scopus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปการใช้จ่ายเงิน

หมวดค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย (บาท)
งบบุคลากร : ค่าจ้างชั่วคราว	46,720
งบดำเนินงาน	
ค่าตอบแทน	-
ค่าใช้สอย	72,180
ค่าวัสดุ	178,600
ค่าสาธารณูปโภค	2,500
งบลงทุน: ค่าครุภัณฑ์	-
<b>รวมงบประมาณที่จ่ายไปแล้ว</b>	<b>300,000</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ

### International publications

1. Detsri, E., Kamhom, K., Ruen-ngam, D., Layer-by-layer deposition of green synthesised silver nanoparticles on polyester air filters and its antimicrobial activity, *J. Exp. Nanosci.* 2016 11(12), 930-939. (Impact factor: 0.832/2016), Content provided by ISI
2. **Detsri, E.**, Rujipornsakul, R., Treetasayoot, T., Siriwattanamethanon, P., Nanostructured multilayer thin films of multiwalled carbon nanotubes/gold nanoparticles/glutathione for the electrochemical detection of dopamine, *Int J Min Met Mater.* 2016 23(10), 1204-1214. (Impact factor: 0.882/2016), Content provided by ISI

### Conferences

1. Kanrayasiri Kamhom, Ekarat Detsri, Synergistic antimicrobial activity of two-dimensional nanostructures of chitosan modified silver nanoparticles on *Staphylococcus aureus*, THE 14TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOCONTROL AND BIOTECHNOLOGY, Saint-Petersburg – Pushkin, Russia, November 6 -9, 2016. (Oral presentation) (International Conference)
2. Jittaporn Popanyasak, Wiboon Praditweangkum, Duangkamol Ruen-ngam, Ekarat Detsri, Immobilization of silver nanoparticles on polyester fibers using Layer-by-Layer self-assembly technique and its antimicrobial application, *Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (PACCON 2015)*, , (21-23 January 2015) Amari Watergate hotel, Bangkok Thailand., (Poster presentation) (International Conference)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Layer-by-layer deposition of green synthesised silver nanoparticles on polyester air filters and its antimicrobial activity

Ekarat Detsri, Kanrayasiri Kamhom & Duangkamol Ruen-ngam

To cite this article: Ekarat Detsri, Kanrayasiri Kamhom & Duangkamol Ruen-ngam (2016) Layer-by-layer deposition of green synthesised silver nanoparticles on polyester air filters and its antimicrobial activity, *Journal of Experimental Nanoscience*, 11:12, 930-939, DOI: [10.1080/17458080.2016.1181277](https://doi.org/10.1080/17458080.2016.1181277)

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/17458080.2016.1181277>



Published online: 11 May 2016.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 139



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at  
<http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tjen20>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

# Layer-by-layer deposition of green synthesised silver nanoparticles on polyester air filters and its antimicrobial activity

Ekarat Detsri<sup>a,b</sup>, Kanrayasiri Kamhom<sup>a</sup> and Duangkamol Ruen-ngam<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand; <sup>b</sup>Advanced Materials Research Unit, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand; <sup>c</sup>Department of Biology, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

## ABSTRACT

Silver nanoparticles stabilised with anionic polymeric polyelectrolytes were successfully synthesised by high-energy UV reduction. Three types of polyelectrolytes were used including poly(methacrylic acid) (PMA), poly(acrylic acid) (PAA) and poly(4-styrenesulphonic acid-co-maleic acid) (CoPSS). The formation of the prepared solutions exhibited surface plasmon resonance at the wavelength of 475, 730 and 408 nm by using PMA, PAA and CoPSS as the stabilising agents. UV–visible spectrophotometer, transmission electron microscope (TEM) and zeta potential analyser were employed to characterise the formation of the prepared solutions. The silver nanoparticles stabilised with anionic polyelectrolytes were immobilised on polyester air filters using a layer-by-layer technique. This is the sequential dipping of polyester air filters in a dilute solution of cationic poly(diallyldimethylammonium chloride) and anionic polymeric polyelectrolytes capped silver. The surface topography of the polyester air filters were measured by field emission scanning electron microscope. Results showed that silver nanoparticles had the highest surface coverage on the polyester air filters probably because it is a good bonding candidate and insures strong film growth. The multilayers polyester air filters coated silver nanoparticles were tested against the gram positive pathogen *Staphylococcus aureus*. The deposition of silver nanoparticles onto the polyester air filters resulted in 92.18%, 84.32% and 71.19% of bacteria removal using PMA, PAA and CoPSS as the stabilising agent.

## ARTICLE HISTORY

Received 20 November 2015  
Accepted 17 April 2016

## KEYWORDS

layer-by-layer (LbL); green synthesis; silver nanoparticles; antimicrobial activity; polyester air filters

## 1. Introduction

Silver nanoparticles have generated a lot of interest among researchers from various disciplines over recent decades [1] due to the unique optical, electrical and antimicrobial properties.[2–4] The antimicrobial activity of silver nanoparticles has been known for a long time. It is believed that the mechanism of silver nanoparticles effect on antimicrobial

**CONTACT** Ekarat Detsri ✉ [Ekarat.de@kmitl.ac.th](mailto:Ekarat.de@kmitl.ac.th)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
© 2016 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

activity involves the adsorption and accumulation of silver nanoparticles in the bacterial cells and shrinkage of the cytoplasm membrane or detachment from the cell wall. Using this strategy, DNA molecules become condensed and lose their ability to replicate upon the infiltration of silver nanoparticles.[5,6] In recent years, silver nanoparticles have been proposed as an antimicrobial agent to coat onto air filters. An air filter is a device composed of fibrous materials which removes solid particulates such as dust, pollen, mold and bacteria from the air. Most of the published work has mainly focused on the preparation of silver nanoparticles using chemical reduction of silver ions by sodium borohydride or trisodium citrate [7,8] and tested for their antimicrobial activity. The disadvantage of the chemical synthesis route is the toxicity of the reagent used. However, relatively little research has been published regarding the preparation of silver nanoparticles using green synthesis (UV-reduction) to study the antimicrobial activity on air filters.

In this article, the green synthesis of silver nanoparticles using different types of stabilising agents such as poly(methacrylic acid) (PMA), poly(acrylic acid) (PAA) and poly(4-styrenesulphonic acid-co-maleic acid) (CoPSS) are presented. The surface plasmon resonance (SPR), surface charges, size and morphology of silver nanoparticles were characterised by UV–visible spectrophotometer, zeta potential analyser and transmission electron microscopy (TEM), respectively. Subsequently, the silver nanoparticles were deposited on polyester air filters using the layer-by-layer (LbL) technique. The deposition efficiency of the silver nanoparticles air filter films was confirmed using a field emission scanning electron microscope (FESEM) and antimicrobial activity investigated against *Staphylococcus aureus*. Additionally, in this study, the synthesis of silver nanoparticles using sodium borohydride, chemical-reduction was also explored. Much work has been done to compare the chemical characteristics of silver nanoparticles and their antimicrobial activity on air filters.

## 2. Experimental section

### 2.1. Chemicals

PMA (sodium salt, molecular weight = 9500  $\text{gmol}^{-1}$ ), silver nitrate ( $\text{AgNO}_3$ ), sodium borohydride ( $\text{NaBH}_4$ ), CoPSS (sodium salt, molecular weight = 20,000  $\text{gmol}^{-1}$ ), PAA (molecular weight = 5100  $\text{gmol}^{-1}$ ), poly(diallyldimethylammonium chloride) (PDAD-MAC, molecular weight = 200,000–350,000  $\text{gmol}^{-1}$ ) and poly(sodium 4-styrene sulpho-nate) (PSS, molecular weight = 70,000  $\text{gmol}^{-1}$ ) were purchased from Sigma-Aldrich, Co., Ltd USA. All chemicals used were analytical grade and used without further purification. All solutions were prepared with 18 M $\Omega$  resistance double-distilled water.

### 2.2. Synthesis of silver nanoparticles

Green synthesis: silver nanoparticles were prepared by a high-energy UV reduction using PMA, PAA and CoPSS as the stabilising agents. In the UV-assisted synthesis, the aqueous 5 mM silver nitrate solutions were mixed with different types of 10 mM anionic polymeric polyelectrolytes, PMA, PAA and CoPSS in 5 mM acetic acetate buffer pH 4.75. The mixed solutions were exposed to UV light (256 nm) for approximately 5, 15, 30, 45 and 60 min. During this process, the colour of the mixed solutions were changed from colourless to

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

deep purple, deep blue and light orange colours by using PMA, PAA and CoPSS as the stabilising agent, respectively. The resultant nanoparticles suspensions were kept at 4 °C in closed containers for further use.

**Chemical reduction:** silver nanoparticles were synthesised by a well-described method using sodium borohydride as the reducing agent. For the stabilisation of these particles, various anionic polymeric polyelectrolytes (PMA, PAA and CoPSS) were used as the capping agents in water. The preparation steps can be summarised as follows: a 10 mM solution of anionic polymeric polyelectrolytes was mixed with an equal volume of 5 mM silver nitrate. Then, 20 ml of a freshly prepared 100 mM sodium borohydride solution was quickly added to the silver/polyelectrolytes mixture under vigorous stirring. The colour of the solutions changed from colourless to yellow-orange, which confirmed the formation of spherical silver nanoparticles. The suspensions were stored at 4 °C in closed containers.

### **2.3. Layer-by-layer deposition of silver nanoparticles on polyester air filters**

For LbL thin film build up on polyester air filters, the substrates were first immersed for 5 min in a solution containing 10 mM of polycationic PDADMAC. The substrates were then rinsed three times using deionised water in order to remove the excess and loosely bound polyelectrolytes from the substrate surface. The surface, with a polycationic polymer top layer, was then immersed for 5 min in a solution containing 10 mM polyanionic PSS followed by rinsing three times in water. At that point, the polyester air filters were dipped in a silver nanoparticle solution. The self-assembled polycationic PDADMAC and negatively silver nanoparticles were achieved by repeating this process until the desired number of layers was reached.

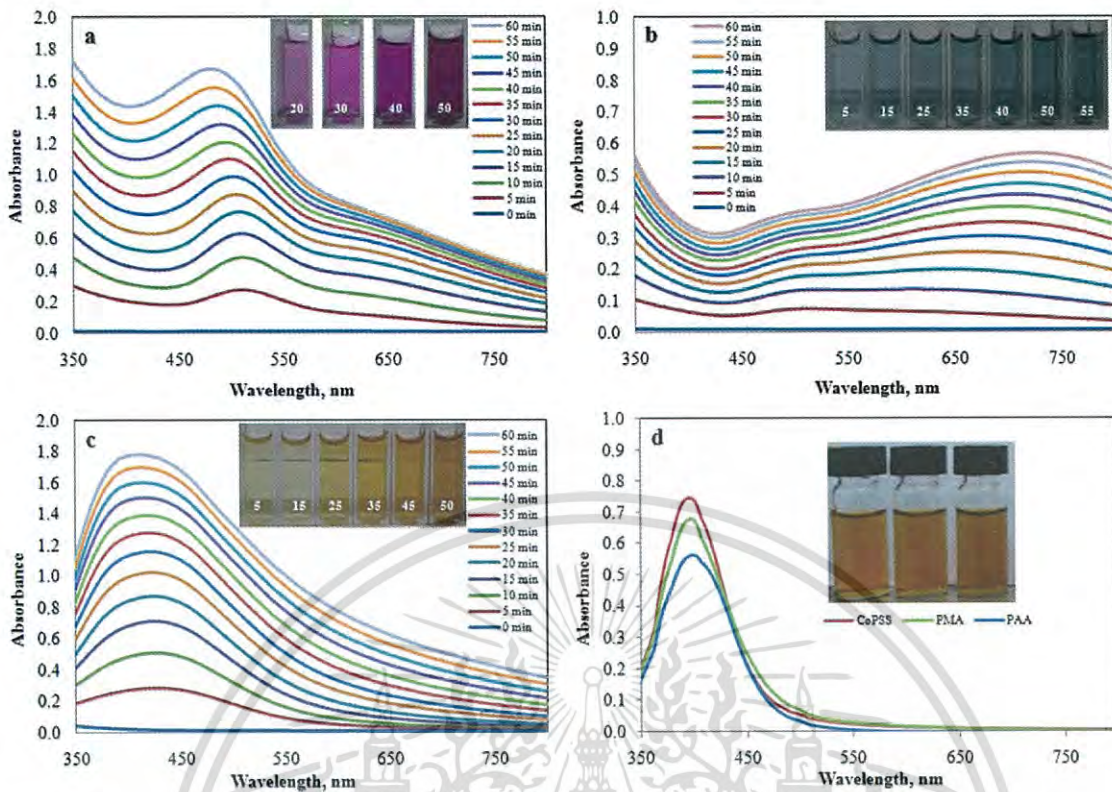
### **2.4. Antimicrobial assay**

The antimicrobial activity against *S. aureus* in polyester air filters was evaluated by ASTM E2722-09 standard method. Briefly, each air filter of 2 cm × 2 cm was placed in 5 ml of nutrient broth and 0.5 ml of pathogenic *S. aureus*. The bacteria/broth was shaken for 1 hour. At that point, 1 ml of the mixture was diluted with deionised water. Then 0.1 ml of each dilute solution was placed into solid agar and incubated at 25 °C for 24 hours. The number of variable *S. aureus* bacteria was counted as the number of colony forming unit per millilitre.

## **3. Results and discussion**

Silver nanoparticles were synthesised by high-energy UV reduction of silver ions in different types of anionic polymeric polyelectrolytes. PMA, PAA and CoPSS anionic polymeric polyelectrolytes were used to stabilise silver nanoparticles. A stabilising agent is usually added to the formulation of silver nanoparticles in order to prevent nanoparticle–nanoparticle interaction by electrostatic repulsion or steric hindrance. Without the action of the stabilising agent, the nanoparticles would grow into large particles up to micron size by aggregation and Ostwald ripening. The UV–visible spectra of silver nanoparticles solution prepared by different types of anionic polymeric polyelectrolytes stabiliser are

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรรณังนเพื่อกรรคกรรณังน นอนนุญตเทมไปเซบระเซอกรรณังนการค้ำ  
ไม่วากรณังนใด ๆ ทั้งสิ้น อีกรรณังนให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกกรรณังนที่มีการนำไปใช้



**Figure 1.** Absorbance spectra of green synthesised silver nanoparticles stabilised with (a) PMA, (b) PAA, (c) CoPSS and (d) chemical reduction of silver nanoparticles stabilised with PMA, PAA and CoPSS.

shown in Figure 1(a–c). Anionic polymeric polyelectrolytes-stabilised silver nanoparticles were formed after exposure to UV light. The increase in absorbance as the function of time can be seen. The appearance of the characteristic SPR was 475, 730 and 408 nm for the stabilising agents PMA, PAA and CoPSS, respectively. The obtained silver nanoparticles show deep purple, deep blue and light orange colours. The author speculates that the difference in spectral SPR peak is due to the incompleteness of silver ion reduction, which disturbs the dielectric surrounding medium of the silver nanoparticles. The water molecules around the metallic nanoparticles were displaced from the formation of  $\text{Ag}^+/\text{Coo}^-$  complexes and modified the new dielectric constant of the medium. Less hydrated subjects have been demonstrated to induce a red-shifted SPR spectrum.[9] In order to know the surface charges of silver nanoparticles, a zeta potential analyser was used to investigate. The values of surface charges of silver nanoparticles stabilised with anionic polymeric polyelectrolytes PMA, PAA and CoPSS are given in Table 1, revealing the average zeta potential of  $-37.90$ ,  $-33.12$  and  $-27.36$  mV, respectively. The freshly prepared silver nanoparticles demonstrated negative charges confirming the presence of the anionic polymeric polyelectrolytes. In contrast, the solution prepared with a chemical reduction using  $\text{NaBH}_4$  had a yellow–orange colour characteristic (Figure. 1(d)) with the maximum absorbance peak position of each solution found to be located around 392 nm. Depending on the nature of  $\text{NaBH}_4$  used, the strong reducing agent ( $\text{NaBH}_4$ ) can provide full reduction of silver ions. Upon reduction, the zero valency silver atoms ( $\text{Ag}^0$ ) aggregate into nanoparticles, whose growth is controlled by the stabilising agent. The zeta potential of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table 1.** Zeta potential of silver nanoparticles.

Technique	Stabilising agent	Zeta potential, mV
Green synthesis	PMA	-37.90
	PAA	-33.12
	CoPSS	-27.36
Chemical reduction	PMA	-34.22
	PAA	-29.15
	CoPSS	-25.13

silver nanoparticles stabilised with PMA, PAA and CoPSS were found in the range of  $-34.22$ – $-25.13$  mV, which confirms the successful preparation of silver nanoparticles.

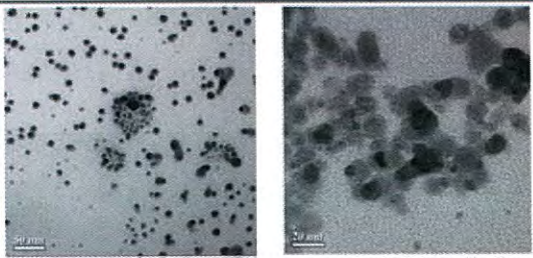
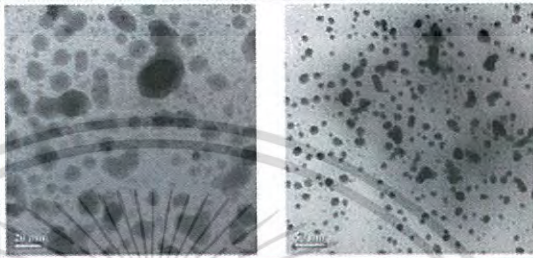
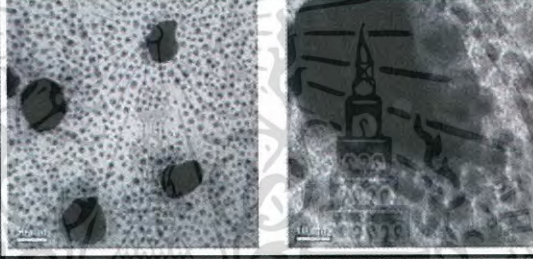
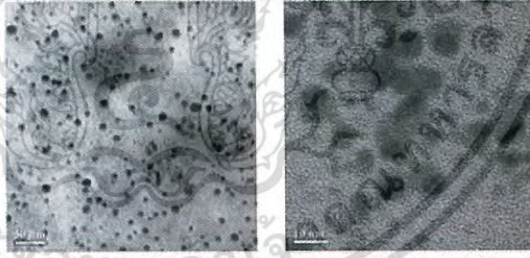
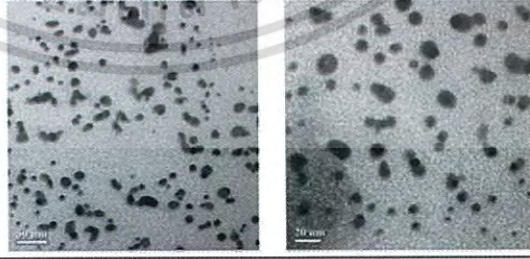
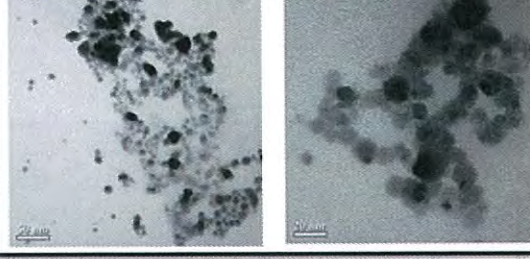
Anionic polymeric polyelectrolytes stabilised silver nanoparticles using a concentration ratio of  $\text{AgNO}_3$ : anionic polymeric polyelectrolytes: acetic acetate buffer at 5:10:5 mM were chosen to investigate their particle size and morphology using TEM. The UV synthesised silver nanoparticles seen in Figure 2(a) appear spherical in shape and have a narrow particle distribution. The average particle size of PMA, PAA and CoPSS stabilised silver nanoparticles were  $13.75 \pm 0.87$  ( $n = 100$ ),  $20.13 \pm 0.54$  ( $n = 100$ ) and  $11.94 \pm 0.73$  nm ( $n = 100$ ), respectively. For reference, Figure 2(b) shows the particle size and morphology of PMA, PAA and CoPSS stabilised silver nanoparticles using chemical reduction. The experiment represents typical silver nanoparticles synthesis from  $\text{NaBH}_4$  which leads to having a spherical shape characteristic with an average particle size of 5–10 nm ( $n = 100$ ). As seen from this result, chemical reduction of silver nanoparticles was responsible for the formation of smaller particles than in photo reduction.

An interesting point in these experiments was to study the antimicrobial activity of polyester air filters coated with green synthesised silver nanoparticles. The anionic polymeric polyelectrolytes stabilised silver nanoparticles were immobilised on polyester air filters using a LbL self-assembly technique. The advantage of the electrostatic interaction between negatively charged silver nanoparticles capped anionic polymeric polyelectrolytes can then be self-assembled into thin film in the sequence with positively charged PDADMAC. The sequential dipping of polyester air filters in PDADMAC and silver nanoparticles capped with PMA, PAA and CoPSS led to the appearance of purple, blue and yellow colours, respectively.

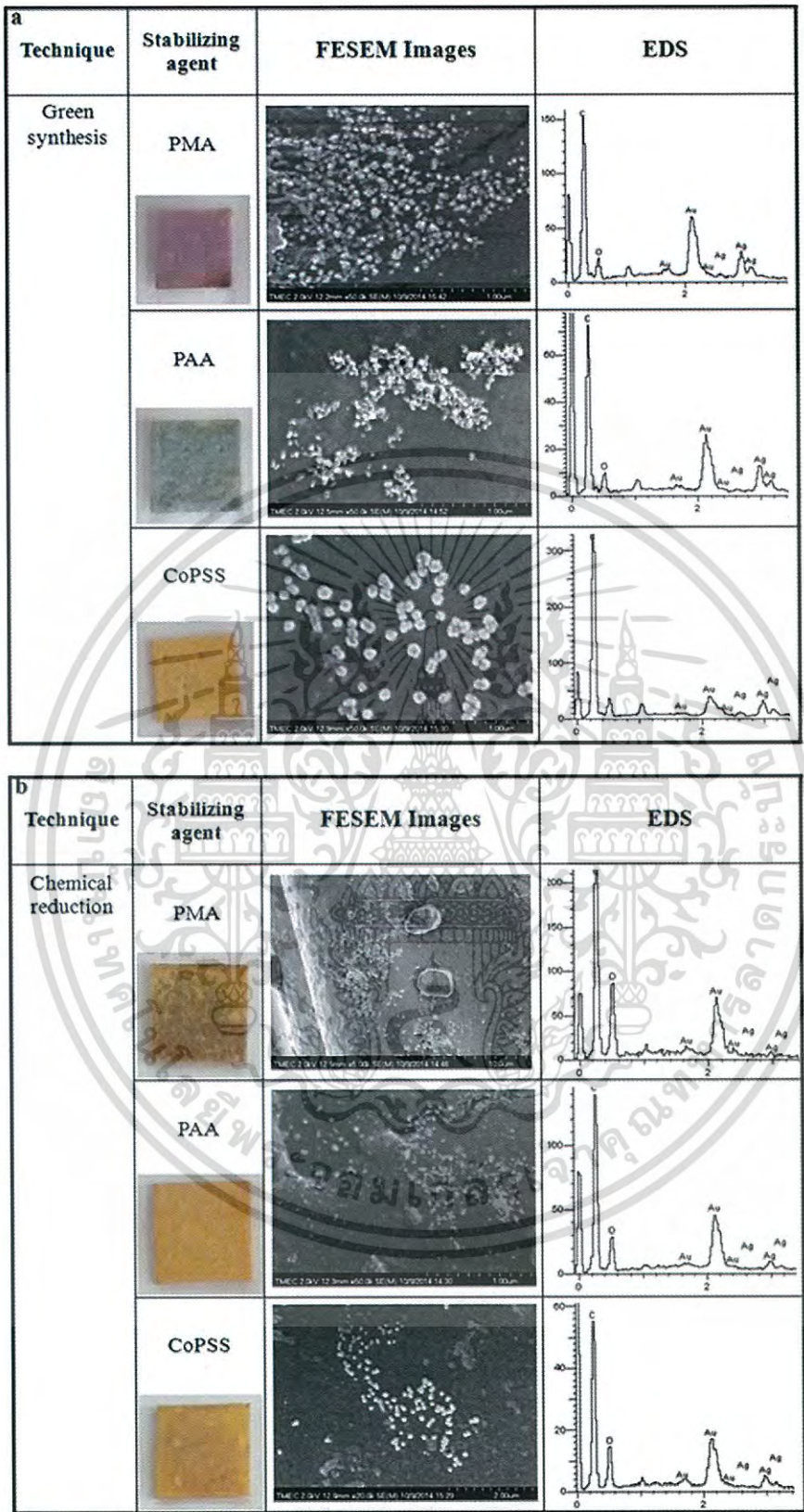
In Figure 3(a), the FESEM images of polyester air filters coated with green synthesised silver nanoparticles are shown. Three different images represent the adsorption of nanoparticles capped with PMA, PAA and CoPSS. It is interesting to observe that each polyelectrolyte capping led to a different loading of nanoparticles onto the polyester air filters. PMA capping provided the highest surface coverage whilst CoPSS capping had the lowest. The hydrophobic properties of polyelectrolyte argument can be used to explain such differences. Table 2 shows the contact angle of silver nanoparticles stabilised with PMA, PAA and CoPSS onto a polyester air filter. As seen in this table, the contact angle of green synthesised silver nanoparticles were approximately 84, 79 and 70 degrees for PMA, PAA and CoPSS, respectively. As suggested in the previous work from Kotov et al.[10] more hydrophobic nanoparticles tend to adsorb in a more packed and denser fashion. This is probably due to a low electrostatic charge and low electrostatic repulsion between particles. On the other hand, more hydrophilic carboxylic as well as sulphonic groups of CoPSS possess the lowest adsorption of the nanoparticles into polyester air filters due to its low carboxylic content, might be a poor stabilising agent in the nanoparticles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a		
Technique	Stabilizing agent	TEM Images
Green synthesis	PMA	
	PAA	
	CoPSS	
b		
Technique	Stabilizing agent	TEM Images
Chemical reduction	PMA	
	PAA	
	CoPSS	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**Figure 2.** TEM images of (a) green synthesised silver nanoparticles and (b) chemical reduction of silver nanoparticles. หงส์สิน อีกรังหามมีเหตุผลแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Figure 3.** FESEM images and EDS of (a) green synthesised silver nanoparticles and (b) chemical reduction of silver nanoparticles onto polyester air filters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table 2.** Contact angle of 10 layers of silver nanoparticles coated on polyester air filters.

Technique	Stabilising agent	Contact angle (degree)
Green synthesis	PMA	84
	PAA	79
	CoPSS	70
Chemical reduction	PMA	77
	PAA	72
	CoPSS	69

preparation. Based on these observations, it seems possible that unreacted CoPSS polyelectrolytes would be present in the solution and induced a competitive adsorption mechanism during the adsorption into the polyester air filters. For reference, the contact angle of silver nanoparticles synthesised by chemical reduction was also explored in this study. The contact angle of silver nanoparticles coated on polyester air filters were 77, 72 and 69 degree for PMA, PAA and CoPSS, respectively.

In order to further confirm the growth of silver nanoparticles onto polyester air filters, elemental information of nanoparticles was obtained by FESEM/energy dispersive X-ray spectrometer (EDS). The presence of EDS images of polyester air filters coated with the green synthesis and chemical reduction of silver nanoparticles are shown in Figure 3(a,b). The EDS measurements were indicated the Ag element on polyester air filters. All of these observations tend to confirm a well-defined LbL deposition of the silver nanoparticles onto polyester air filters.

Upon studying the antimicrobial activity of green synthesised silver nanoparticles coated onto polyester air filters, the multilayer silver nanoparticles were tested against the gram positive pathogen *S. aureus*. The method of testing was applied from ASTM E2722-09 test method. The antimicrobial efficiency is summarised in Table 3. This table displays that the polyester air filters coated with 10 layers of green synthesised silver nanoparticles using PMA as the stabilising agent have excellent antimicrobial activity with 92.18% of bacteria removed. The PAA and CoPSS capped silver nanoparticles show a lower antimicrobial activity with 84.32% and 71.19%, respectively. The percentage of bacteria reduction was decreased as the function of the deposition number of layers decrease. The five layers of green synthesised silver nanoparticles using PMA, PAA and CoPSS found the percentage reduction of *S. aureus*. in 83.94%, 76.12% and 66.59%, respectively.

The FESEM images of the surface coverage of the LbL silver nanoparticles on polyester air filters and the antimicrobial activity clearly demonstrated that higher nanoparticles packing leads to higher antimicrobial activity. The higher nanoparticles packing on polyester air filters can be attributed to the attachment of silver nanoparticles to the surface of

**Table 3.** Antimicrobial activity of polyester air filters coated with silver nanoparticles.

Technique	Stabilizing agent	Reduction of <i>S.aureus</i> . (%)	
		10 layers	5 layers
Green synthesis	PMA	92.18	83.94
	PAA	84.32	76.12
	CoPSS	71.19	66.59
Chemical reduction	PMA	85.32	74.98
	PAA	80.22	71.13
	CoPSS	69.37	61.09
Blank of air filters		1.73	
Air filters coated with five layers PDADMAC/PSS		2.18	

cell membranes disturbing the permeability and respiration function of the cell. In contrast, the antimicrobial activity of polyester air filters coated with a chemical reduction of silver nanoparticles solution was investigated. Results show that the anionic polymeric polyelectrolyte capped silver nanoparticles were less efficient on bacterial removal when compared with the green synthesised version. This was correlated with FESEM micrographs.

#### 4. Conclusions

In summary, anionic polymeric polyelectrolytes (PMA, PAA and CoPSS) were used to encapsulate silver nanoparticles. A simpler method for the preparation of silver/anionic polymeric polyelectrolytes nanoparticles using UV reduction has been demonstrated. The electrostatic properties of anionic polymeric polyelectrolytes were used to primarily provide the stabilisation of the nanoparticles by electrostatic repulsion and then allow their assembly using the LbL technique. Polyelectrolyte multilayers thin films from PDADMAC and anionic polymeric polyelectrolytes capped silver were successfully coated on to polyester air filters using the LbL self-assembly technique. The anionic polymeric polyelectrolytes capped silver nanoparticles were deposited on polyester air filters, which led to the highest packing of nanoparticles appearance. The coated PDADMAC/anionic polymeric polyelectrolytes capped silver on the polyester air filter showed antimicrobial properties towards *S. aureus* bacteria. These silver nanoparticles coated polyester air filters could easily be transferred to industry.

#### Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the authors.

#### Funding

This work was supported by the Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand [grant number 02558-02050067].

#### References

- [1] Haes AJ, Van Duyne RP. A nanoscale optical biosensor: sensitivity and selectivity of an approach based on the localized surface plasmon resonance spectroscopy of triangular silver nanoparticles. *J Am Chem Soc.* 2002;124:10596–10640.
- [2] Shen Y, Prasad PN. Nanophotonics: a new multidisciplinary frontier. *Appl Phys B.* 2002;74:641–645.
- [3] Guo H, Tao S. Silver nanoparticles doped silica nanocomposite coated on an optical fiber for ammonia sensing. *Sens Actuators B.* 2007;123:578–582.
- [4] Rai M, Yadav A, Gade A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnol Adv.* 2009;27:76–83.
- [5] Kvittek L, Panacek A, Soukupova J, et al. Effect of surfactants and polymers on stability and antibacterial activity of silver nanoparticles (NPs). *J Phys Chem C.* 2008;112:5825–5834.
- [6] Kittler S, Greulich C, Diendorf J, et al. Toxicity of silver nanoparticles increases during storage because of slow dissolution under release of silver ions. *Chem Mater.* 2002;22:4548–4554.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. เมื่อผู้ใช้เห็นเว็บไซต์นี้โปรดแจ้งให้เจ้าของเอกสารทราบ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [7] Kim JS, Kuk E, Yu KN, et al. Antimicrobial effects of silver nanoparticles. *Nanomed Nanotechnol.* 2007;3:95–101.
- [8] Henglein A, Giersig M. Formation of colloidal silver nanoparticles: capping action of citrate. *J Phys Chem B.* 1999;103:9533–9539.
- [9] Link S, El-Sayed MA. Shape and size dependence of radiative, non-radiative and photothermal properties of gold nanocrystals. *Int Rev Phys Chem.* 2000;19:409–453.
- [10] Kotov NA, Dekany I, Fendler JH. Layer-by-layer self-assembly of polyelectrolyte-semiconductor nanoparticle composite films. *J Phys Chem.* 1995;99:13065–13069.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Nanostructured multilayer thin films of multiwalled carbon nanotubes/gold nanoparticles/glutathione for the electrochemical detection of dopamine

Ekarat Detsri<sup>1,2)</sup>, Sirilak Rujipornsakul<sup>1)</sup>, Tanapong Treetasayoot<sup>1)</sup>, and Pawarit Siriwattanamethanon<sup>1)</sup>

1) Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

2) Advanced Materials Research Unit, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

(Received: 11 February 2016; revised: 19 April 2016; accepted: 30 May 2016)

**Abstract:** In the present study, multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs), gold nanoparticles (AuNPs), and glutathione (GSH) were used to fabricate multilayer nanoscale thin films. The composite thin films were fabricated by layer-by-layer technique as the films were constructed by the alternate deposition of cationic and anionic polyelectrolytes. The MWCNTs were modified via a noncovalent surface modification method using poly(diallyldimethylammonium chloride) to form a cationic polyelectrolyte. An anionic polyelectrolyte was prepared by the chemical reduction of  $\text{HAuCl}_4$  using sodium citrate as both the stabilizing and reducing agent to form anionic AuNPs. GSH was used as an electrocatalyst toward the electro-oxidation of dopamine. The constructed composite electrode exhibits excellent electrocatalytic activity toward dopamine with a short response time and a wide linear range from 1 to 100  $\mu\text{mol/L}$ . The limits of detection and quantitation of dopamine are  $(0.316 \pm 0.081) \mu\text{mol/L}$  and  $(1.054 \pm 0.081) \mu\text{mol/L}$ , respectively. The method is satisfactorily applied for the determination of dopamine in plasma and urine samples to obtain the recovery in the range from 97.90% to 105.00%.

**Keywords:** multiwalled carbon nanotubes; gold; nanoparticles; glutathione; dopamine

## 1. Introduction

Dopamine is an important catecholamine neurotransmitter in the mammalian renal and central nervous systems [1]. Progressive loss of dopamine is likely to result in the neurodegenerative diseases such as schizophrenia, Alzheimer's disease, and Parkinson's disease [2]. Recently, electrochemical spectroscopy has gained considerable attention for the determination of dopamine. However, problems have arisen with the electrochemical detection of dopamine, such as the interferences from coexisting species of uric acid and ascorbic acid, which may overlap the voltammetric responses at oxidation peak potentials similar to those of dopamine [3]. Thus, the development of modified electrodes for the selective and sensitive detection of dopamine has been a goal of researchers in this area. Modified electrode materials developed for the electrochemical simultaneous detection of dopamine include functionalized carbon-based

materials [4–6], metal nanoparticles [7–9], and conducting polymers [10–12]. Among the attractive nanomaterials identified thus far, multiwalled carbon nanotubes (MWCNTs) and gold nanoparticles (AuNPs) have been studied in a wide variety of applications. Special attention has been devoted to MWCNTs because of their stable chemical and physical properties, good thermal stability, high surface area, and high conductivity [13]. AuNPs are mostly used in electrocatalysis because they enable fast electron transfer on the surface of electrodes [14].

Recently, MWCNT multilayer thin films have attracted great interest because of their unique electrical properties [15], which have made them a promising component for the fabrication of electrochemical sensors [16]. Within the last two years, our group has developed an easy procedure to fabricate multilayer thin films of MWCNTs by layer-by-layer (LbL) technique to improve the films' electrical properties [17]. Because MWCNTs cannot be easily dispersed in water or any organic solvent because of van der

Corresponding author: Ekarat Detsri E-mail: Ekarat.de@kmitl.ac.th

© University of Science and Technology Beijing and Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2016

Waals interactions between nanotubes, the nanotube–nanotube aggregation tends to occur [18]. The development of efficient methodologies for modifying the surface of MWCNTs is needed to overcome this obstacle. Two main approaches to the surface modification of MWCNTs have been proposed: noncovalent and covalent surface modification [19].

In this work, MWCNTs were modified by noncovalent surface modification using poly(diallyldimethylammonium chloride) (PDADMAC). Multilayer thin films of MWCNTs-PDADMAC electrodes were fabricated using the LbL technique. Because our application is based on the MWCNTs' electrical conductivity, AuNPs was deposited onto MWCNT thin films, improving the electrical properties of MWCNTs composite materials. One benefit of AuNP deposition onto MWCNTs was to enhance the electron transfer on the surface of electrodes. Moreover, the electrochemical detection of dopamine was improved by the attachment of glutathione (GSH) to an MWCNTs-PDADMAC/AuNP composite thin-film electrode to enhance the electrode's specific electrocatalytic activity toward dopamine. The optical and electrical properties of MWCNTs-PDADMAC/AuNPs/GSH composite thin-film electrodes were characterized by four-point-probe resistivity measurements and UV–vis spectrophotometry, whereas the surface morphology, thickness, and surface roughness were characterized by field-emission scanning electron microscopy (FESEM) and atomic force microscopy (AFM), respectively.

## 2. Experimental

### 2.1. Chemicals and materials

MWCNTs (outer-diameter distribution 6–13 nm; length distribution 2.5–20  $\mu\text{m}$ ), dopamine hydrochloride ( $\text{C}_8\text{H}_{11}\text{NO}_2$ ), L-Glutathione ( $\text{C}_{10}\text{H}_{17}\text{N}_3\text{O}_6\text{S}$ ), poly(sodium 4-styrene sulfonate) (PSS), poly(diallyldimethylammonium chloride) (PDADMAC), tetrachloroauric(III) acid trihydrate ( $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ), and sodium citrate dihydrate ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7$ ) were purchased from Sigma-Aldrich Co. Ltd., USA. All of the chemicals were used without further purification. All solutions were prepared using double-distilled water with a resistivity of 18  $\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$ .

### 2.2. Noncovalent surface modification of MWCNTs

Prior to the coating of MWCNTs with the polyelectrolyte, PDADMAC was needed to provide the positive charges on the surface of the tubes via noncovalent surface modification. The polyelectrolyte coating improved the MWCNTs' dispersion in water. The dispersion of MWCNTs by

PDADMAC was carried out by mixing 5 mg of MWCNTs with different concentrations of PDADMAC (0.001, 0.01, 0.1, 0.5, and 1.0 mmol/L). The mixtures were sonicated using a probe sonicator in an ice bath for 30 min and were subsequently stored at room temperature for 24 h. For each different PDADMAC concentration, the dispersion of MWCNTs was evaluated by UV–vis spectrophotometry at a wavelength of 550 nm.

### 2.3. Synthesis of AuNPs

AuNPs were prepared using the Turkevich chemical reduction process [20]. The  $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  solution was mixed with a sodium citrate solution, and the resulting mixture was boiled and stirred until a red-wine-colored solution was obtained. In our experiments, the aqueous  $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  concentration was fixed at 1 mmol/L, whereas the sodium citrate concentration was varied from 10 mmol/L, 20 mmol/L, and 50 mmol/L.

### 2.4. Fabrication of indium tin oxide (ITO)/MWCNTs-PDADMAC/AuNPs/GSH-modified electrodes

The indium tin oxide (ITO) substrate was ultrasonically cleaned with ethanol, acetone, and water, in sequence. To improve the growth of the MWCNTs-PDADMAC, AuNP, and GSH composite thin films, the ITO substrate was coated in an LbL fashion with up to four layers of PDADMAC and PSS to enhance the adhesion between the composite solution and the substrate. The surface, with a top layer of polyanion polymer PSS, was then immersed for 10 min in a solution containing MWCNTs-PDADMAC and subsequently rinsed three times with water. The ITO/MWCNTs-PDADMAC film was then sequentially dipped into 50 mL of AuNP solution to form the desired architecture. Alternating LbL films of MWCNTs-PDADMAC and AuNPs were prepared by repeating this process until the desired number of layers was obtained. The process was then propagated up to nine layers. Finally, the top layer of the MWCNT/AuNP thin films was immersed in 50 mL of 100 mmol/L GSH solution. When completed, the modified electrode was dried with a stream of nitrogen gas and stored in a closed container. The modified electrodes were subsequently denoted as ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH.

### 2.5. Electrochemical measurements

The electrochemical experiments were carried out using three electrodes, including an ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode as the working electrode, an Ag/AgCl electrode as the reference electrode, and Pt wire as the counter electrode. Cyclic voltammetry was performed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

in the potential range from  $-0.15$  to  $0.6$  V. The measurements were carried out in a  $100$  mmol/L phosphate buffer solution (PBS, pH 6.5) at a scan rate of  $20$  mV·s<sup>-1</sup> at room temperature.

## 2.6. Characterization

UV-vis spectra were collected on a double-beam UV-vis spectrophotometer (Shimadzu UV1800, China). A Tecnai T20-G2 transmission electron microscope (FEI, The Netherlands) operated at an accelerating voltage  $120$  kV was used to observe the dispersion of MWCNTs in the presence of PDADMAC and the size and morphology of the AuNPs; the samples for transmission electron microscopy (TEM) were deposited onto 200-mesh Cu grids coated with Formvar. A NanoZS zetasizer (Malvern Instruments, UK) was used to measure the surface charges of the MWCNTs-PDADMAC and AuNPs. The surface topography and thickness of the multilayer thin films were measured by AFM (NanoScope IV, Veeco Instruments, USA) and FESEM (JSM-7001F, JEOL Solution for Innovation, Germany). The structures of multilayer films were analyzed by X-ray diffraction (XRD) (Bruker D8 Advance, Cu K $\alpha$  radiation,  $20^\circ \leq 2\theta \leq 80^\circ$ ). The electrochemical experiments were performed using an Autolab PGSTAT302N High Performance (Metrohm, The Netherlands); Pt wire was used as the counter electrode, an Ag/AgCl electrode was used as the reference electrode, and an ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode was used as the working electrode.

## 3. Results and discussion

### 3.1. Preparation and characterization of ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrodes

Our main motivation in this work was to use the LbL technique to fabricate the composite (MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH thin-film electrodes for dopamine detection, which were constructed by the alternating deposition of cationic and anionic polyelectrolytes. Cationic MWCNT polyelectrolytes were prepared by noncovalent surface modification using PDADMAC as the dispersing agent. The concentration of PDADMAC strongly affected the dispersion of MWCNTs; therefore, different concentrations of PDADMAC were prepared with MWCNTs. Pristine MWCNTs ( $5$  mg) was dispersed in  $100$  mL of PDADMAC, and the polymer concentration was varied from  $0.001$  to  $1.0$  mmol/L. Fig. 1(a) shows a plot of the change in absorbance of the solution as a function of the added PDADMAC concentration. From the initial solution of aggregated

MWCNTs, as the PDADMAC concentration is increased from  $0.001$  to  $0.01$  mmol/L, the adsorption of the polymer onto MWCNTs leads to dispersion. The increase in absorbance quickly levels off, suggesting that all of the MWCNTs present in the solution are dispersed. A further increase of the PDADMAC concentration to  $0.1$  mmol/L does not induce any increase in absorbance. During the dispersion process, intermolecular interactions improve the solubility of MWCNTs in the PDADMAC via the quaternary ammonium group of PDADMAC, which is the most hydrophobic group present in the system and therefore adsorbs and arranges onto the MWCNTs surface [17].

To further confirm that MWCNTs could be dispersed with PDADMAC, TEM was used to investigate the dispersions. The micrograph presented in Fig. 1(a<sub>1</sub>) shows that most of the individual nanotubes are uniform compared to the bundle of pristine MWCNTs in Fig. 1(a<sub>2</sub>). An interesting point was to determine whether the optimum PDADMAC concentration ( $0.1$  mmol/L) would also be the best condition for the growth of LbL films. Fig. 1(b) shows that the maximum deposition is achieved from a solution prepared with  $0.1$  mmol/L PDADMAC. Interestingly, when the PDADMAC concentration is increased, the absorbance of film decreases. It was hypothesized that the high PDADMAC content led to a competition phenomenon [17]. To characterize the electrical properties of MWCNTs-PDADMAC multilayer films, the electrical conductivity of each prepared film was characterized using four-point-probe measurements, as shown in Fig. 1(c). These results show that the conductivity of the MWCNTs-PDADMAC multilayer thin films reaches a maximum when prepared from  $0.1$  mmol/L PDADMAC at the dispersion step.

Anionic AuNPs were prepared by the reduction of HAuCl<sub>4</sub> in the presence of sodium citrate, where sodium citrate acted as both a reducing and stabilizing agent. The ability of sodium citrate to stabilize AuNPs was studied by varying the sodium citrate concentration from  $10$  mmol/L,  $20$  mmol/L, and  $50$  mmol/L while fixing the HAuCl<sub>4</sub> concentration at  $1$  mmol/L. As shown in Fig. 2, the plasmon absorption spectra are observed at  $520$ – $535$  nm, and the peaks in this region are usually assumed to indicate AuNPs [21]. The particle sizes of AuNPs observed by TEM in Figs. 2(a<sub>1</sub>)–(a<sub>3</sub>) decrease with increasing amount of sodium citrate. Previous studies [21] have demonstrated that the progressive addition of HAuCl<sub>4</sub> to a concentrated solution of sodium citrate leads to a decrease of the average particle size of the AuNPs. To investigate the effect of the particle size of AuNPs on the electrical properties of films, the LbL technique was used to prepare multilayers of AuNP thin films

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

via the deposition of five layers of PDADMAC and AuNPs prepared from various concentrations of sodium citrate in the feed solution. Fig. 2(a<sub>4</sub>) shows the electrical properties of the glass slide coated with five layers of AuNPs stabilized with sodium citrate. These results demonstrate that the films assembled from solutions with lower sodium citrate concen-

trations exhibit the highest electrical conductivity. The increase in the conductivity of AuNPs might be due to the low electrostatic repulsion and low charge density of the stabilizer. The low concentration of sodium citrate generated the dense packing because of the weak repulsive force among particles.

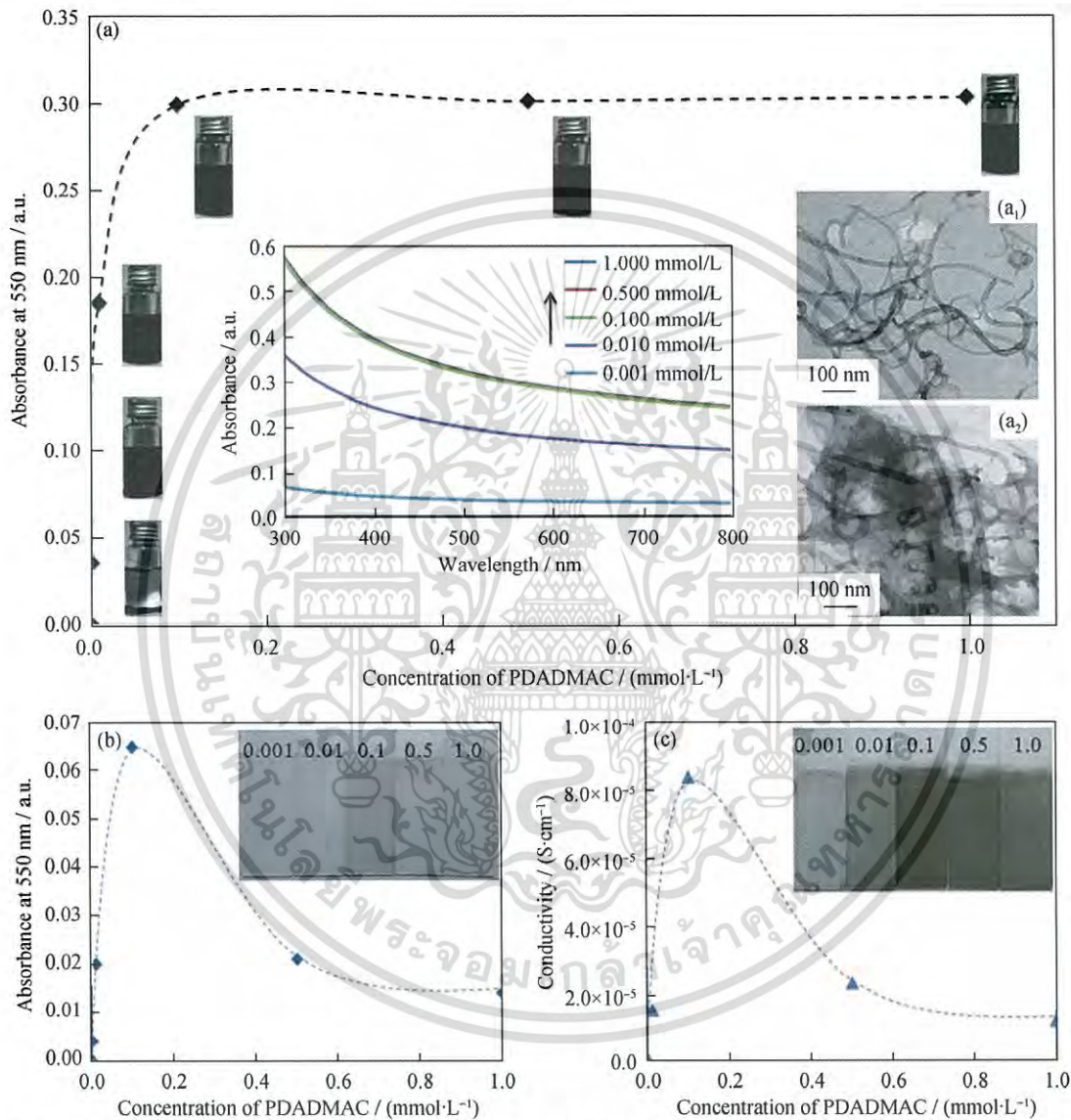


Fig. 1. Effect of PDADMAC concentration on the dispersion of MWCNTs (a) and representative TEM images of MWCNTs dispersed with 0.1 mmol/L PDADMAC (a<sub>1</sub>) and pristine MWCNTs (a<sub>2</sub>), change in absorbance of a glass slide coated with a monolayer of MWCNTs-PDADMAC as a function of PDADMAC concentration in the dispersion of MWCNTs (b), and conductivity of 10-layer MWCNT-PDADMAC/PSS multilayer thin films at various PDADMAC concentrations in the dispersion of MWCNTs (c).

To confirm the successful dispersion of MWCNTs in the presence of PDADMAC and AuNPs stabilized by sodium citrate, FTIR was used to analyze the functional groups of each compound. Fig. 3 shows the FTIR spectra of pristine MWCNTs, PDADMAC, and MWCNTs dispersed with PDADMAC. The FTIR spectrum of PDADMAC shows characteristic peaks at 1191 cm<sup>-1</sup> and 1510 cm<sup>-1</sup>; these

peaks correspond to the C–N stretching and C–H bending vibrations of quaternary ammonium groups, respectively. In the FTIR spectra of pristine MWCNTs, no absorption peaks are observed over the investigated wavelength range. By contrast, characteristic absorbance peaks of both PDADMAC and pristine MWCNTs are observed in the FTIR spectra of MWCNTs dispersed with PDADMAC. The main

peaks associated with quaternary ammonium groups are observed at  $1190\text{ cm}^{-1}$  and  $1510\text{ cm}^{-1}$  in the FTIR spectra, demonstrating that the MWCNTs are dispersed. Figs. 3(d) and (e) show the plots of FTIR spectra of sodium citrate and AuNPs stabilized by sodium citrate, respectively. The FTIR

spectrum of sodium citrate shows characteristic peaks at  $1416\text{ cm}^{-1}$  and  $1693\text{ cm}^{-1}$  for the C–O and C=O stretching vibrations of carboxylic groups, respectively. All characteristic absorbance peaks of sodium citrate are also observed in the FTIR spectra of AuNPs stabilized by sodium citrate.

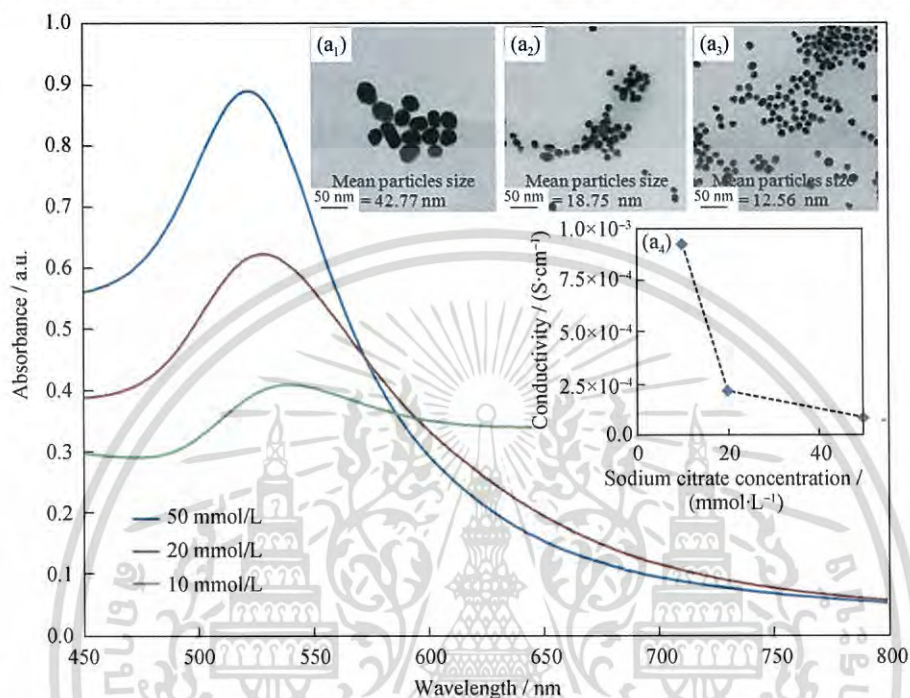


Fig. 2. Absorption spectra of AuNPs prepared using different concentrations of sodium citrate, where the insets are the TEM images of AuNPs with 10:1 (a<sub>1</sub>), 20:1 (a<sub>2</sub>), and 50:1 (a<sub>3</sub>) Na<sub>3</sub>Ct:HAuCl<sub>4</sub> concentration ratios, and electrical conductivity of AuNP multilayer thin films at five layers (a<sub>4</sub>).

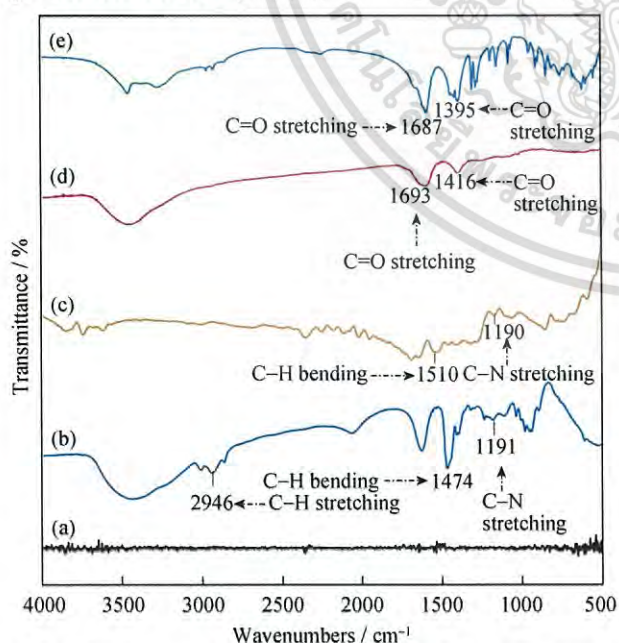


Fig. 3. FTIR spectra of pristine MWCNTs (a), PDADMAC (b), MWCNTs-PDADMAC (c), sodium citrate (d), and AuNPs stabilized with sodium citrate (e).

The goal of this work was to deposit anionic AuNPs and cationic MWCNTs into composite thin films using the LbL technique. The main driving force in the construction of composite thin films was the electrostatic interaction between anionic AuNPs stabilized with sodium citrate and cationic MWCNTs dispersed with PDADMAC. The surface charges of anionic AuNPs and cationic MWCNTs could be estimated via the measurements of zeta potential. The anionic AuNPs and cationic MWCNTs were observed to have zeta potentials of  $(-32.36 \pm 0.05)\text{ mV}$  and  $(53.96 \pm 0.01)\text{ mV}$ , respectively. UV–vis spectrophotometry and AFM were used to monitor the growth of composite thin films as a function of the number of layers. The multilayer of anionic AuNPs and cationic MWCNT composite thin films is shown in Fig. 4. The increase in absorbance and thickness are constant for each deposition step because the amount of materials being deposited for each dipping cycle is constant. The electrical conductivity of the prepared composite thin films is presented in the inset of Fig. 4, which shows that the electrical conductivity increases with increasing number of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

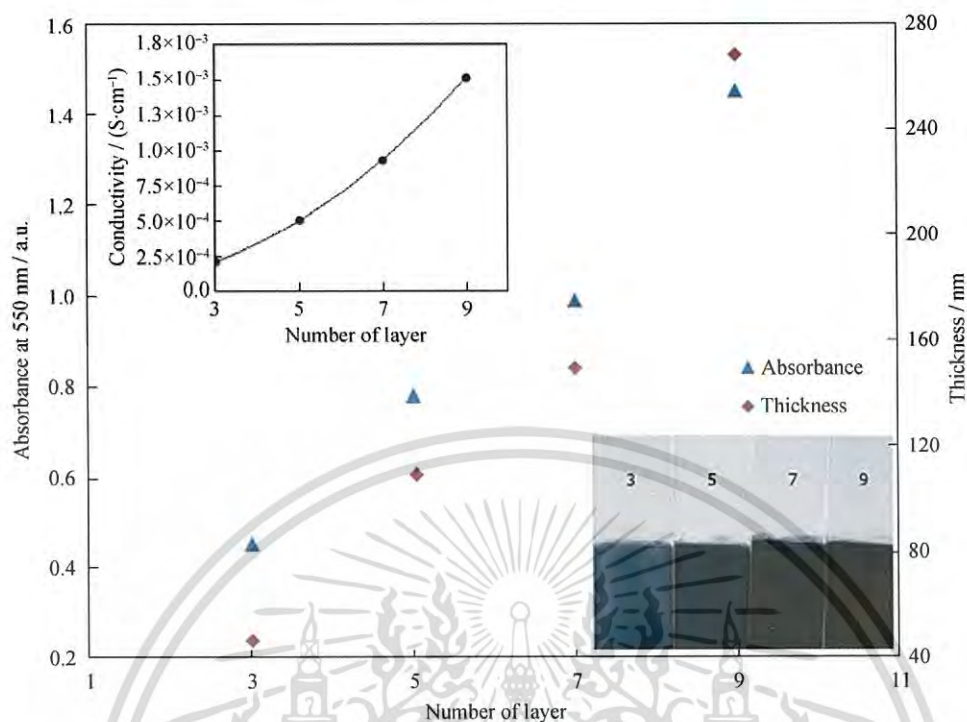


Fig. 4. Thickness, absorbance, and conductivity values as a function of the number of layers of (MWCNTs-PDADMAC)/AuNP multilayer films and representative digital images of assembled (MWCNTs-PDADMAC)/AuNP multilayer films.

layers. On the basis of the four-point-probe measurements, the composite thin films with nine layers are identified as exhibiting the best conductivity among the grown thin films.

The surface topography of MWCNTs-PDADMAC and AuNP composite thin films as functions of the number of layers is shown in Fig. 5. The amounts of MWCNTs and AuNPs in the composite films are increased by increasing the number of layers. The nanoparticles are densely packed onto the films' surface, where they exhibit an interconnection network structure, as observed in the FESEM images in Fig. 6. The LbL films exhibit the separated individual

MWCNTs because of the electrostatic repulsion between nanotubes that act against van der Waals interactions that yield the close-packed aggregates; the electrostatic cross-linking between cationic MWCNTs and anionic AuNPs during the LbL process also contributes to the aggregate formation. This aggregate formation leads to randomly oriented, kinetically driven MWCNT and AuNP arrangements in the films. The root-mean-square (RMS) roughness values determined from AFM images at 3, 5, 7, and 9 layers are  $(91.92 \pm 1.37)$ ,  $(101.12 \pm 1.21)$ ,  $(128.39 \pm 1.53)$ , and  $(304.02 \pm 1.74)$  nm, respectively.

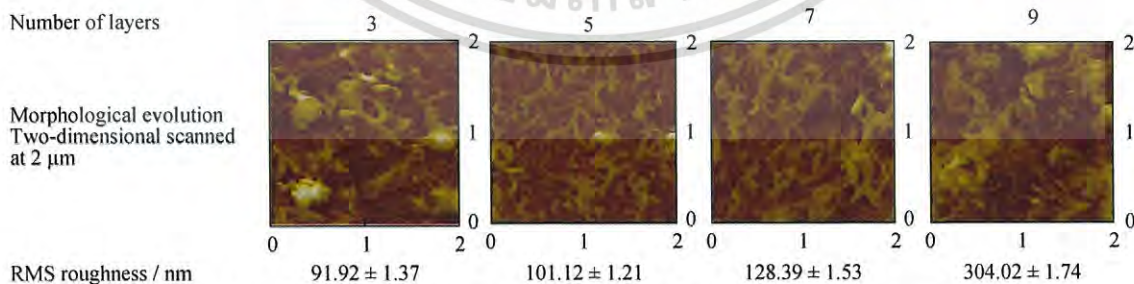


Fig. 5. AFM images of assembled (MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH multilayer films.

To confirm the growth of the MWCNT and AuNP composites, XRD was used to analyze the crystalline structure of the composite thin films. The XRD pattern of pristine MWCNTs is shown in Fig. 7(a). Prominent peaks in the XRD pattern of pristine MWCNTs are observed at  $25.90^\circ$

and  $42.70^\circ$ , representing the [002] and [100] reflections of carbon, respectively. In Fig. 7(b), the XRD patterns of the AuNP thin films exhibit the identical characteristic [111], [200], [220], and [311] reflections at  $38.50^\circ$ ,  $44.36^\circ$ ,  $64.73^\circ$ , and  $77.63^\circ$ , respectively, representing the diffraction planes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

of the cubic structure of Au metal. All of the characteristic reflections of pristine MWCNTs and AuNPs are observed in the XRD pattern of MWCNTs-PDADMAC and AuNP

composite thin films (Fig. 7(c)), demonstrating the successful fabrication of composite thin films using the LbL technique.

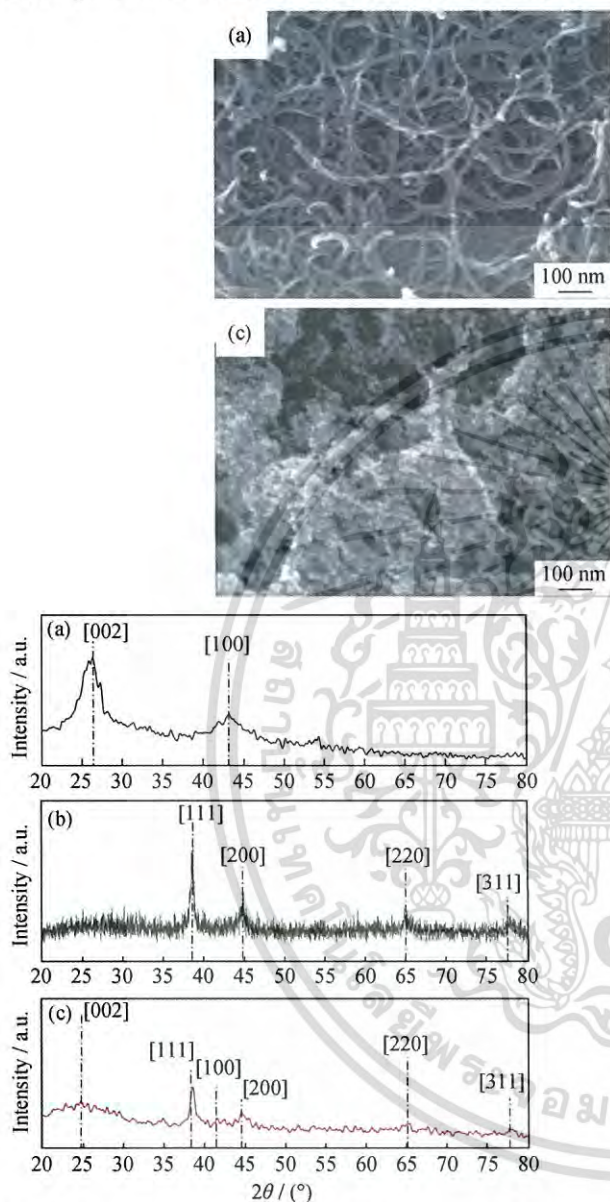


Fig. 7. XRD patterns of pristine MWCNTs (a), multilayer films of AuNPs (b), and multilayer films of (MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH (c).

GSH was used as an electrocatalyst toward the electro-oxidation of dopamine. The LbL technique was used to pattern GSH molecules onto the top layer of MWCNTs-PDADMAC/AuNP composite thin films. The nine layers of negatively charged MWCNTs-PDADMAC/AuNP composite thin films were immersed in a GSH solution at pH 7.00. The adsorption of GSH at the thin-film interface was controlled by a diffusion process. Time played a major role in the formation of a multilayer. The occurrence of high depo-

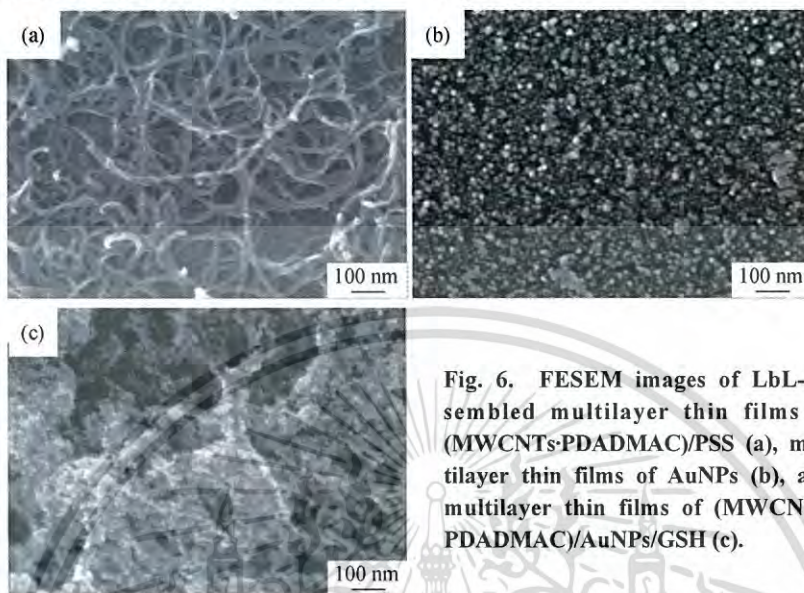


Fig. 6. FESEM images of LbL-assembled multilayer thin films of (MWCNTs-PDADMAC)/PSS (a), multilayer thin films of AuNPs (b), and multilayer thin films of (MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH (c).

sition at pH 7.00 was due to the high positively charged density of the GSH solution. The amine group of cysteine in GSH was completely ionized at pH 8.75 or less [22] and could act as a cationic polyelectrolyte for film assembly.

### 3.2. Electrochemical detection of dopamine using ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrodes

Fig. 8 displays a representative schematic of dopamine electrochemical oxidation at an ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode. The free carboxylic groups of GSH enhanced the electrostatic interaction between the negatively charged electrode and positively charged dopamine molecules. Dopamine was electrochemically oxidized into dopamine-*o*-quinone, resulting in the improved selectivity and sensitivity of the ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrodes toward dopamine.

To investigate the ability of the ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrodes to detect dopamine, the cyclic voltammograms of 200  $\mu\text{mol/L}$  dopamine were recorded in 0.1 mol/L PBS buffer solutions at different pH levels. The electrochemical behavior of dopamine also included the transfer of protons, consistent with previous reports [23–25]. The voltammograms in Fig. 9 show that the oxidation peak potential of dopamine shifts toward the negative potentials with increasing pH value, suggesting that dopamine oxidation involves a two-proton and two-electron process [26]. The oxidation peak current ( $I_p$ ) of dopamine reaches a maximum at pH 6.5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

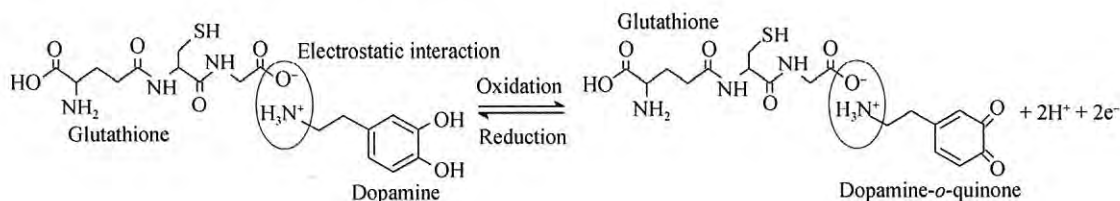


Fig. 8. Typical electro-oxidation mechanism of dopamine at an ITO(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode.

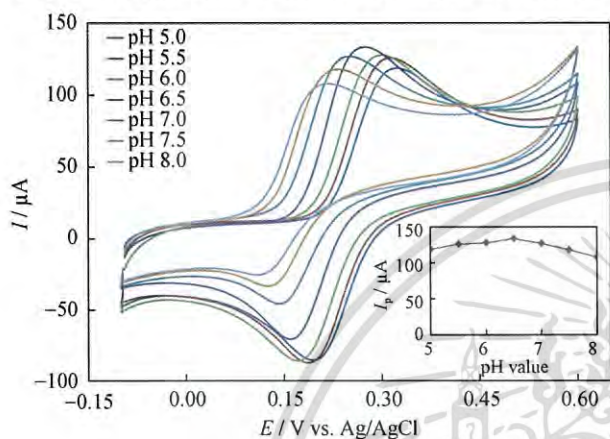


Fig. 9. Cyclic voltammograms of 200 μmol/L dopamine at different pH levels (pH 5–pH 8), as collected using the ITO(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode at the scan rate of 20 mV·s<sup>-1</sup>.

To elucidate the kinetics of electrode reaction, the effect of scan rate ( $I$ ) on the electrochemical behavior of dopamine was investigated. Fig. 10 shows the cyclic voltammograms of 200 μmol/L dopamine in pH 6.5 PBS buffer solution at various scan rates (10–100 mV·s<sup>-1</sup>) on an ITO(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode. The oxidation peak current ( $I_p$ ) is observed to increase with increasing scan rate. The plot of  $I_p$  as a function of  $I^{1/2}$  in the range from 10 to 100 mV·s<sup>-1</sup> results in a linear-regression equation as  $I_p = 52.029I^{1/2} - 104.01$ ; the plot shows an excellent linear relationship ( $R^2 = 0.995$ ). The modified electrode exhibits the good electrochemical determination of dopamine in the scan-rate range from 10 to 100 mV·s<sup>-1</sup>, suggesting that the electrode potential is controlled by the diffusion process.

Fig. 11 presents the electrochemical response of ITO(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrodes to different concentrations of dopamine ( $C_{\text{Dopamine}}$ , 10–100 μmol/L). The oxidation peak currents are observed to increase with increasing dopamine concentration. The corresponding linear-regression equation for dopamine is expressed as  $I_{\text{anode}} = 0.779C_{\text{Dopamine}} + 9.013$ , with a correlation coefficient of 0.9983. Therefore, the results demonstrated that the modified electrode was stable for dopamine detection when used as an electrochemical sensor. The limit

of detection (LOD, 3SD/slope of calibration) and limit of quantitation (LOQ, 10SD/slope of calibration) were (0.316 ± 0.081) μmol/L and (1.054 ± 0.081) μmol/L, respectively, which were substantially better than those of the previous modified electrode, as summarized in Table 1.

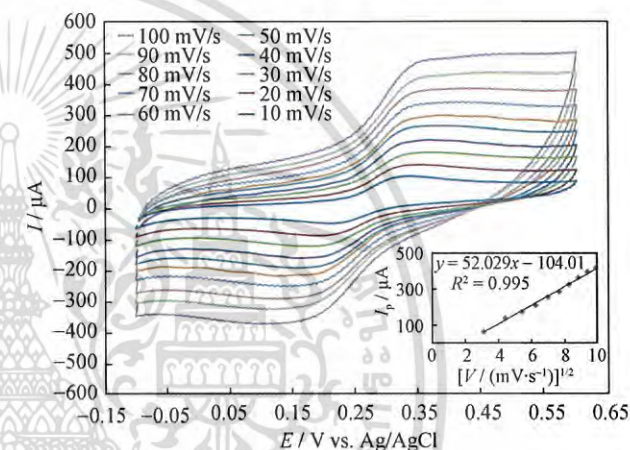


Fig. 10. Cyclic voltammograms of 20 μmol/L dopamine at various scan rates (10–100 mV·s<sup>-1</sup>) and oxidation peak current vs. scan rate.

The ITO(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode was used to detect dopamine in the presence of KCl, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, CaCO<sub>3</sub>, uric acid, ascorbic acid, and citric acid. The effects of interfering substances were tested by mixing 200 μmol/L dopamine with the maximum concentration of each interfering species in biological fluids. Fig. 12 presents the electrochemical oxidation peaks obtained with an electrode modified to function in the presence of dopamine and interfering species. According to the results, KCl, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, CaCO<sub>3</sub>, uric acid, ascorbic acid, and citric acid do not interfere with the determination of dopamine. The oxidation current of all mixed solutions of dopamine and interfering species are observed to have the same oxidation current as dopamine, demonstrating its high selectivity detection.

The stability and repeatability of the ITO(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrodes for the detection of dopamine were investigated through a number of cycles. The results in Fig. 13 for the determination of 200 μmol/L dopamine in 0.1 mol/L PBS buffer solution were

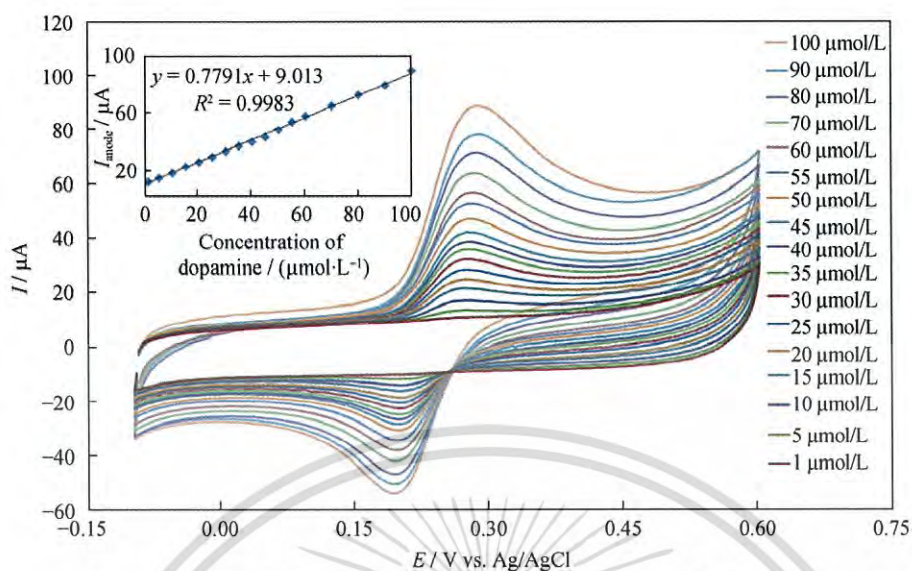


Fig. 11. Cyclic voltammograms of various concentrations of dopamine (1–100  $\mu\text{mol/L}$ ) on an ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode.

Table 1. Performance comparison of different modified electrodes for the detection of dopamine.

Electrode materials	pH value	Scan rate / ( $\text{mV}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Dynamic range / ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Limit of detection / ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Reference
Carbon paste electrode/Rhodamine B	7.0	5	6–1000	3.99	[27]
Carbon paste electrode/SDS micelles	7.0	80	8–134	3.70	[28]
Carbon paste electrode/PBD-MWCNTs	7.0	100	30–800	1.00	[29]
Carbon paste electrode/Horseradish peroxidase immobilized on PEGylated polyurethane nanoparticles	6.5	100	17–1900	2.00	[30]
Glassy carbon electrode/MWCNTs	8.0	50	3–200	0.80	[31]
Carbon paste electrode/L-arginine	5.6	50	50–100	0.50	[32]
ITO/MWCNT-PDADMAC/AuNPs/GSH	6.5	20	1–100	0.316	This work

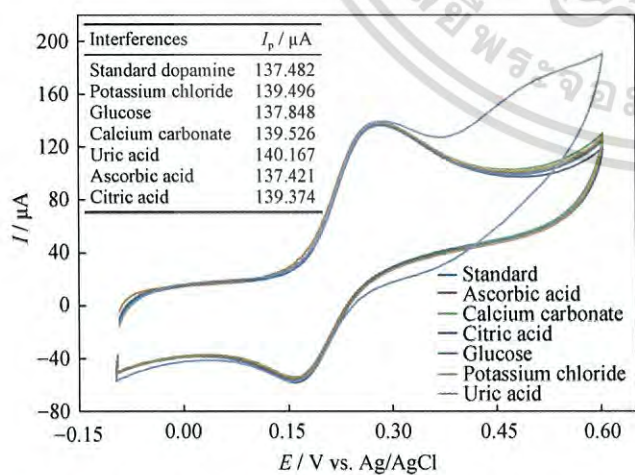


Fig. 12. Effect of coexisting substances on the detection of dopamine, where the inset is the oxidation peak current of 100  $\mu\text{mol/L}$  coexisting substance mixed with 100  $\mu\text{mol/L}$  dopamine solution on an ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode.

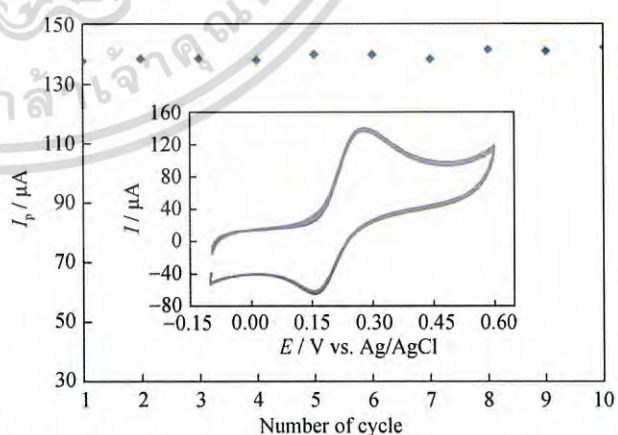


Fig. 13. Reproducibility of the cyclic voltammetric responses of an ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode in 100  $\mu\text{mol/L}$  dopamine solution containing 0.1 mol/L PBS (pH 6.5).

observed to have good stability and repeatability, with a relative standard deviation (RSD) of 0.45% after the same

modified electrode is used ten times; thus, this electrode is attractive for use in pharmaceutical electrochemical sensors.

Table 2 shows the cyclic voltammetric responses of an ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode for the determination of dopamine in real samples. Biological fluids such as plasma and urine were used for analysis of dopamine using the method of standard additions. The results show that the recovery of the plasma samples ranges from 97.90% to 110.00% for plasma samples, with an RSD of 0.75%–1.48%. By contrast, the recovery of urine samples ranges from 96.10% to 105.00%, with an RSD of 1.09%–3.49%. These results demonstrated that an ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode could be an appropriate choice for the simultaneous determination of dopamine in biological samples.

**Table 2. Determination results for dopamine in real samples**

Samples	Concentration of dopamine / ( $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ )		Recovery / %	RSD / %
	Added	Found		
Plasma	0	Not detected	—	—
	1	$1.10 \pm 0.01$	110.0	1.48
	5	$4.89 \pm 0.03$	97.9	0.75
	10	$10.04 \pm 0.02$	100.4	1.87
	30	$29.94 \pm 0.01$	99.8	0.81
	50	$50.40 \pm 0.02$	100.8	0.98
Urine	0	Not detected	—	—
	1	$1.05 \pm 0.01$	105.0	3.04
	5	$4.80 \pm 0.01$	96.1	3.49
	10	$10.16 \pm 0.02$	101.6	0.85
	30	$29.92 \pm 0.01$	99.7	1.27
	50	$50.51 \pm 0.03$	101.0	1.09

#### 4. Conclusions

In this work, the LbL deposition technique was successfully used to fabricate a composite electrode of MWCNTs, AuNPs, and GSH for the determination of dopamine using the cyclic voltammetry technique. The composite electrode was prepared by electrostatic interaction of the cationic MWCNTs dispersed with PDADMAC and the anionic AuNPs. The positively charged GSH was used as an electrocatalyst toward the electro-oxidation of dopamine. The modified composite electrode exhibits the high efficiency in dopamine detection, with the excellent stability and reproducibility. This new information related to the ITO/(MWCNTs-PDADMAC)/AuNPs/GSH-modified electrode prepared by LbL technique can be of great interest for the

determination of dopamine in biological fluids and in the pharmaceutical industry.

#### Acknowledgements

This work was financially supported by the Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand (No. 2558-02050067).

#### References

- [1] A.H. Liu, I. Honma, and H.S. Zhou, Amperometric biosensor based on tyrosinase-conjugated polysaccharide hybrid film: Selective determination of nanomolar neurotransmitters metabolite of 3,4-dihydroxyphenylacetic acid (DOPAC) in biological fluid, *Biosens. Bioelectron.*, 21(2005), No. 5, p. 809.
- [2] J.W. Mo and B. Ogorevc, Simultaneous measurement of dopamine and ascorbate at their physiological levels using voltammetric microprobe based on overoxidized poly(1,2-phenylenediamine)-coated carbon fiber, *Anal. Chem.*, 73(2001), No. 6, p. 1196.
- [3] M.A. Dayton, A.G. Ewing, and R.M. Wightman, Response of microvoltammetric electrodes to homogeneous catalytic and slow heterogeneous charge-transfer reactions, *Anal. Chem.*, 52(1980), No. 14, p. 2392.
- [4] K.J. Huang, Q.S. Jing, Z.W. Wu, L. Wang, and C.Y. Wei, Enhanced sensing of dopamine in the presence of ascorbic acid based on graphene/poly(*p*-aminobenzoic acid) composite film, *Colloids Surf. B*, 88(2011), No. 1, p. 310.
- [5] X.G. Liu, Y.H. Peng, X.J. Qu, S.Y. Ai, R.X. Han, and X.B. Zhu, Multi-walled carbon nanotube-chitosan/poly(amidoamine)/DNA nanocomposite modified gold electrode for determination of dopamine and uric acid under coexistence of ascorbic acid, *J. Electroanal. Chem.*, 654(2011), No. 1-2, p. 72.
- [6] S. Sainio, T. Palomäki, S. Rhode, M. Kauppila, O. Pitkänen, T. Selkälä, G. Toth, M. Moram, K. Kordas, J. Koskinen, and T. Laurila, Carbon nanotube (CNT) forest grown on diamond-like carbon (DLC) thin films significantly improves electrochemical sensitivity and selectivity towards dopamine, *Sens. Actuators, B*, 211(2015), p. 177.
- [7] W.Y. Chu, Q. Zhou, S.S. Li, W. Zhao, N. Li, and J.W. Zheng, Oxidation and sensing of ascorbic acid and dopamine on self-assembled gold nanoparticles incorporated within polyaniline film, *Appl. Surf. Sci.*, 353(2015), p. 425.
- [8] V. Vinoth, J.J. Wu, A.M. Asiri, and S. Anandan, Simultaneous detection of dopamine and ascorbic acid using silicate network interlinked gold nanoparticles and multi-walled carbon nanotubes, *Sens. Actuators B*, 210(2015), p. 731.
- [9] Y.M. Leng, K. Xie, L. Ye, G.Q. Li, Z.W. Lu, and J.B. He, Gold-nanoparticle-based colorimetric array for detection of dopamine in urine and serum, *Talanta*, 139(2015), p. 89.
- [10] L. Yang, S. Liu, Q. Zhang, and F. Li, Simultaneous electrochemical determination of dopamine and ascorbic acid using

- AuNPs@polyaniline core-shell nanocomposites modified electrode, *Talanta*, 89(2012), p. 136.
- [11] A. Stoyanova, S. Ivanov, V. Tsakova, and A. Bund, Au nanoparticle-polyaniline nanocomposite layers obtained through layer-by-layer adsorption for the simultaneous determination of dopamine and uric acid, *Electrochim. Acta*, 56(2011), No. 10, p. 3693.
- [12] M.U. Anu Prathap and R. Srivastava, Tailoring properties of polyaniline for simultaneous determination of a quaternary mixture of ascorbic acid, dopamine, uric acid, and tryptophan, *Sens. Actuators B*, 177(2013), p. 239.
- [13] S. Iijima, Helical microtubules of graphitic carbon, *Nature*, 354(1991), p. 56.
- [14] S. Suarasan, M. Focsan, O. Soritau, D. Maniu, and S. Astilean, One-pot, green synthesis of gold nanoparticles by gelatin and investigation of their biological effects on Osteoblast cells, *Colloids Surf. B*, 132(2015), p. 122.
- [15] J.P.C. Trigueiro, G.G. Silva, F.V. Pereira, and R.L. Lavall, Layer-by-layer assembled films of multi-walled carbon nanotubes with chitosan and cellulose nanocrystals, *J. Colloid Interface Sci.*, 432(2014), p. 214.
- [16] R. Sedghi and Z. Pezeshkian, Fabrication of non-enzymatic glucose sensor based on nanocomposite of MWCNTs-COOH-poly (2-aminothiophenol)-Au NPs, *Sens. Actuators B*, 219(2015), p. 119.
- [17] E. Detsri and S.T. Dubas, Layer-by-layer deposition of cationic and anionic carbon nanotubes into thin films with improved electrical properties, *Colloids Surf. A*, 444(2014), p. 89.
- [18] C. Iamsamai, A. Soottitantawat, U. Ruktanonchai, S. Hannongbua, and S.T. Dubas, Simple method for the layer-by-layer surface modification of multiwall carbon nanotubes, *Carbon*, 49(2011), No. 6, p. 2039.
- [19] C. Iamsamai, S. Hannongbua, U. Ruktanonchai, A. Soottitantawat, and S.T. Dubas, The effect of the degree of deacetylation of chitosan on its dispersion of carbon nanotubes, *Carbon*, 48(2010), No. 1, p. 25.
- [20] J. Turkevich, Colloidal gold: Part I. Historical and preparative aspects, morphology and structure, *Gold Bull.*, 18(1985), No. 3, p. 86.
- [21] X. Ji, X. Song, J. Li, Y. Bai, W. Yang, and X.J. Peng, Size control of gold nanocrystals in citrate reduction: the third role of citrate, *J. Am. Chem. Soc.*, 129(2007), No. 45, p. 13939.
- [22] I.S. Lim, D. Mott, W. Ip, P.N. Njoki, Y. Pan, S.Q. Zhou, and C.J. Zhong, Interparticle interactions in glutathione mediated assembly of gold nanoparticles, *Langmuir*, 24(2008), No. 16, p. 8857.
- [23] E. Molaakbari, A. Mostafavi, and H. Beitollahi, Simultaneous electrochemical determination of dopamine, melatonin, methionine and caffeine, *Sens. Actuators B*, 208(2015), p. 195.
- [24] S.P. Qi, B. Zhao, H.Q. Tang, and X.Q. Jiang, Determination of ascorbic acid, dopamine, and uric acid by a novel electrochemical sensor based on pristine graphene, *Electrochim. Acta*, 161(2015), p. 395.
- [25] W.J. Lui, J. Xiao, C.S. Wang, H.Y. Yin, H.F. Xie, and R.S. Cheng, Synthesis of polystyrene-grafted-graphene hybrid and its application in electrochemical sensor of dopamine, *Mater. Lett.*, 100(2013), p. 70.
- [26] Z. Temoçin, Modification of glassy carbon electrode in basic medium by electrochemical treatment for simultaneous determination of dopamine, ascorbic acid and uric acid, *Sens. Actuators B*, 176(2013), p. 796.
- [27] T. Thomas, R.J. Mascarenhas, and B.E. Kumara Swamy, Poly(Rhodamine B) modified carbon paste electrode for the selective detection of dopamine, *J. Mol. Liq.*, 174(2012), p. 70.
- [28] E.C. Orozco, M.T. Ramirez-Silva, S.C. Avendaño, M.R. Romo, and M.P. Pardavé, Electrochemical quantification of dopamine in the presence of ascorbic acid and uric acid using a simple carbon paste electrode modified with SDS micelles at pH 7, *Electrochim. Acta*, 85(2012), p. 307.
- [29] M. Mazloum-Ardakani, M. Abolhasani, B. Mirjalili, M.A. Sheikh-Mohseni, A. Dehghani-Firouzabadi, and A. Khoshroo, Electrocatalysis of dopamine in the presence of uric acid and folic acid on modified carbon nanotube paste electrode, *Chin. J. Catal.*, 35(2014), No. 2, p. 201.
- [30] M.B. Fritzen-Garcia, F.F. Monteiro, T. Cristofolini, J.J.S. Acuña, B.G. Zanetti-Ramos, I.R.W.Z. Oliveira, V. Soldi, A.A. Pasa, and T.B. Creczynski-Pasa, Characterization of horseradish peroxidase immobilized on PEGylated polyurethane nanoparticles and its application for dopamine detection, *Sens. Actuators B*, 182(2013), p. 264.
- [31] Z.A. Alothman, N. Bukhari, S.M. Wabaidur, and S. Haider, Simultaneous electrochemical determination of dopamine and acetaminophen using multiwall carbon nanotubes modified glassy carbon electrode, *Sens. Actuators B*, 146(2010), No. 1, p. 314.
- [32] B.N. Chandrashekar, B.E. Kumara Swamy, M. Pandurangachar, T.V. Sathisha, and B.S. Sherigara, Electropolymerisation of L-arginine at carbon paste electrode and its application to the detection of dopamine, ascorbic and uric acid, *Colloids Surf. B*, 88(2011), No. 1, p. 413.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE 14TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOCONTROL  
AND BIOTECHNOLOGY**

**Saint-Petersburg – Pushkin, Russia**

**November 6 -9, 2016**



**ABSTRACTS AND PROGRAM**

**organized by**

**All-Russian Institute of Plant Protection**

**All-Russian Institute of Agricultural Microbiology**

**Harbin Institute of Technology (China)**

**King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMUTL, Thailand)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**THE 14TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOCONTROL AND  
BIOTECHNOLOGY**



Abstracts are published in author's edition

**Chairman:**

**Prof. Vladimir Pavlyushin,**

Director of All-Russian Institute of Plant Protection, Russia

**Program Committee**

**Prof. Yang Qian,**

School of Life Science and Technology, Harbin Institute of Technology,

President of Heilongjiang Society for Microbiology, P.R. China

**Prof. Vladimir Pavlyushin,**

Director of All-Russian Institute of Plant Protection, Russia

**Prof. Igor Tikhonovich,**

Director of Institute of Agricultural Microbiology, Russia

**Assoc. Prof. Dr. Dusanee Thanaboripat,**

Dean of Faculty of Science, KMUTL, Thailand

**Prof. Abay Sagitov,**

Director of Kazakh Research Institute for Plant Protection and Quarantine, Kazakhstan

**Prof. Vladimir Nadykta,**

Director of All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, Russia

**Dr. Alexander Berestetskiy,**

Head of Research Department of Phytotoxicology and Biotechnology, All-Russian Institute of Plant Protection, Russia

**Local Organizing Committee**

**Prof. Vladimir Pavlyushin,** Director of All-Russian Institute of Plant Protection, Russia

**Dr. Alexander Berestetskiy,** Head of Research Department of Phytotoxicology and

Biotechnology, All-Russian Institute of Plant Protection, Russia

**Dr. Ekaterina Poluektova,** junior researcher

**Ms. Anna Dalinova,** junior researcher

**Dr. Sofia Sokornova,** senior researcher

**Dr. Georgy Lednev,** leading researcher

**Dr. Igor Belousov,** leading researcher

# Synergistic antimicrobial activity of two-dimensional nanostructures of chitosan modified silver nanoparticles on *Staphylococcus aureus*

Kanrayasiri Kamhom<sup>1</sup>, Ekarat Detsri<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

<sup>2</sup>Advanced Materials Research Unit, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

## Abstract

In this study, we established a simple chemistry method to fabricate two-dimensional nanostructures of silver nanoparticles decorated with chitosan (AgNPs) using Layer-by-Layer self-assembly technique. The presence of the charge is fundamental for build up of the nanostructures thin films using the advantage of the electrostatic interaction between oppositely charged species of cationic AgNPs and anionic poly(sodium 4-styrene sulphate). The formation of nanostructures thin films were exhibited the striking yellow color due to the nanoparticles adsorption onto the surface of the substrate. UV-visible spectrophotometer, contact angle measurement, field emission scanning electron microscope and X-ray diffraction analysis were employed to characterise the formation and interaction of the prepared nanostructures thin films. Antimicrobial effect of AgNPs nanostructures thin films was evaluated against gram-positive *S. aureus* pathogen bacteria. The AgNPs nanostructures thin films have excellent antibacterial activity with  $97.85 \pm 1.74\%$  of bacteria removed. We confirmed that AgNPs nanostructures thin films had considerable inhibition of the growth of *S. aureus*.

**Keywords:** *Staphylococcus aureus*; silver nanoparticles; layer-by-layer; chitosan

---

\*Corresponding author: E-mail address: Ekarat.de@kmitl.ac.th



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





MSN  
PO  
004

### Novel Derivative of Amide Chemosensor: Metal Ions Detection

Supanut Kitphaitun<sup>1</sup>, Prawonwan Thanakit<sup>1</sup> and Darinee S Phromyothin<sup>1,2,3\*</sup>

<sup>1</sup>College of Nanotechnology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

<sup>2</sup>Thailand Center of Excellence in Physics, CHE, 328 Si Ayutthaya Rd., Bangkok 10400, Thailand

<sup>3</sup>Nanotec-KMITL Center of Excellence on Nanoelectronic Devices, Chalongkrung Rd.,  
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

\*E-mail: ksdarine@kmitl.ac.th

- The efficiency of amide chemosensor derivative in detecting metal ions represented by fluorescence at 475 nm with the HOMO-LUMO energy gap amounts to 2.6 eV.
- This experiment is performed the solvent impact on fluorescent structure, including the solvent effect in dichloromethane, methanol, dimethylsulfoxide, dimethylformamide and acetonitrile which determined of responding light in UV-Visible.
- The density functional theory was investigated the structures, molecular properties and mechanism of the complexes by B3LYP/LanL2DZ level of theory.

Keywords Dithieno[3,2-β;2',3'-δ]pyrrole(DTP), Chemosensor, Metal Ions Detection

MSN  
PO  
005

### Layer-by-layer Self-assembly of Silver Nanoparticles/ Polyaniline Composite Thin Films for Ammonia Sensing

Jeeraporn Thepkunchon<sup>1</sup>, Nanmanas Kongkeao<sup>1</sup>, Passanee Meechamun<sup>1</sup>,  
Jittaporn Popanyasak<sup>1</sup> and Ekarat Detsri<sup>1,2,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of  
Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

<sup>2</sup>Advanced Materials Science Research Unit, Department of Chemistry, Faculty of Science,  
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 10520

\*E-mail: kdekarat@kmitl.ac.th

- Polyaniline capped with poly (styrene sulfonic acid co maleic acid), (CoPSS) was used as the stabilizing agent for silver nanoparticles synthesis.
- Layer-by-Layer self-assembly technique was used to build the multilayers of composite films.
- A composite thin film of silver nanoparticles/polyaniline was used for ammonia sensing.

Keywords Silver Nanoparticles; Polyaniline; Layer-by-layer; Ammonia Sensing

MSN  
PO  
006

### Immobilization of Silver Nanoparticles on Polyester Fibers Using Layer-by-layer Self-assembly Technique and Its Antimicrobial Application

Jittaporn Popanyasak<sup>1\*</sup>, Wiboon Praditweangkum<sup>1</sup>, Duangkamol Ruen-ngam<sup>2</sup> and Ekarat Detsri<sup>1,3</sup>  
<sup>1</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Bangkok, 10520, Thailand

<sup>2</sup>Department of Biology, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Bangkok, 10520, Thailand

<sup>3</sup>Advance Materials Science Research Unit, Department of Chemistry, Faculty of Science, King  
Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

\*E-mail: jpopanyasak@hotmail.com

- We demonstrated the simple, fast and environmental friendly method for preparing antibacterial air filter.
- This is the first study to prepared antibacterial air filter with AgNPs using layer-by-layer technique.
- Polyester fibers coated with AgNPs showed effective antimicrobial activity when tested against *S. aureus*.

Keywords Silver Nanoparticles; Antibacterial Activity; Layer-by-Layer; Green Synthesis

PO  
MSN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้