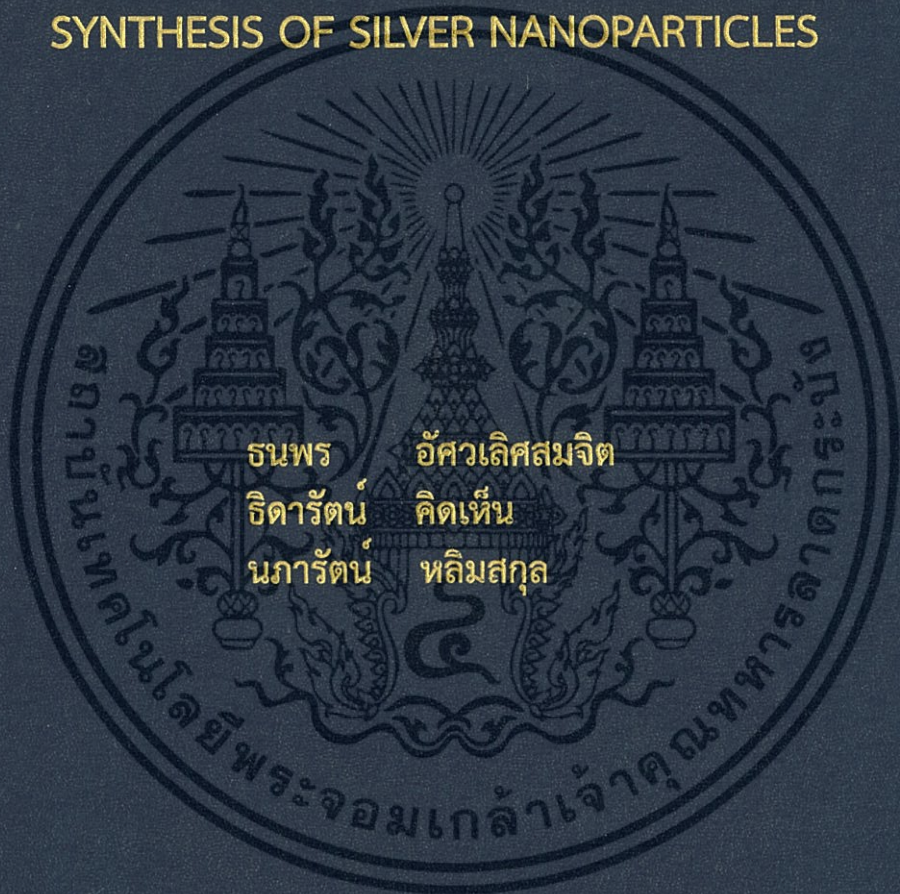


การตรวจวัดกลูตาไธโอนด้วยวิธีตรวจวัดเชิงสีโดยใช้อนุภาค  
เงินระดับนาโนโดยมีพาทาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์

COLORIMETRIC SENSOR FOR REDUCED GLUTATHIONE  
DETECTION BASED ON PHTHALIC ACID ASSISTED  
SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การการตรวจวัดกลูต้าไธโอนด้วยวิธีตรวจวัดเชิงสีโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาทาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์

COLORIMETRIC SENSOR FOR REDUCED GLUTATHIONE  
DETECTION BASED ON PHTHALIC ACID ASSISTED  
SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES



ธนพร อัสวเลิศสมจิต  
ธิดารัตน์ คิดเห็น  
นภารัตน์ หลิมสกุล

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 149449  
รับเดือนปี ๒๕ 8 ส.ค. 2561

b. 12884522  
i. ....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COLORIMETRIC SENSOR FOR REDUCED GLUTATHIONE  
DETECTION BASED ON PHTHALIC ACID ASSISTED  
SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงการพิเศษ** การตรวจวัดกลูตาไธโอนด้วยวิธีตรวจวัดเชิงสีโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโน โดยมี พาทาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์  
Colorimetric Sensor For Reduced Glutathione Detection Based On Phthalic Acid Assisted Synthesis Of Silver Nanoparticles

**ชื่อนักศึกษา** นางสาว ธนพร อัครเลิศสมจิต รหัสนักศึกษา 56050500  
นางสาว ธิตารัตน์ คิดเห็น รหัสนักศึกษา 56050507  
นางสาว นภารัตน์ ทลิมสกุล รหัสนักศึกษา 56050510

**ปริญญา** วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

**ภาควิชา** เคมี

**ปีการศึกษา** 2559

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติดุสย ประธานกรรมการ	กิตติมนต์
ดร.ณวสิทธิ์ โชติแสง กรรมการ	ณวสิทธิ์ โชติแสง
ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	เอกรัฐ

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การตรวจวัดกลูต้าไธโอนด้วยวิธีตรวจวัดเชิงสีโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโน โดยมีพาทาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์
ชื่อนักศึกษา	นางสาว ธนพร อัครเวศสมจิต รหัสนักศึกษา 56050500 นางสาว ธิดารัตน์ คิดเห็น รหัสนักศึกษา 56050507 นางสาว นภารัตน์ หลิมสกุล รหัสนักศึกษา 56050510
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี

### บทคัดย่อ

การตรวจวัดกลูต้าไธโอนด้วยวิธีตรวจวัดเชิงสีโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาทาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มความรวดเร็ว ความจำเพาะเจาะจงและความแม่นยำในการวิเคราะห์ตรวจหาปริมาณกลูต้าไธโอนในผลิตภัณฑ์อาหารเสริม ที่มีหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิกของพาทาลิก แอซิดที่ทำหน้าที่ในการปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโน โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิควิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง Ultraviolet-visible spectroscopy (UV-vis), เครื่องหาค่าศักย์ซีต้าและขนาดอนุภาคในระดับนาโนเมตร (Zeta potential and dynamic light scattering analyze), เครื่องมือวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบ (FTIR), กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM), และเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ จากการศึกษาพบว่าพาทาลิก แอซิดเป็นตัวรักษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่ถูกทำให้เสถียรโดยใช้พาทาลิก แอซิดมีความจำเพาะเจาะจงต่อกลูต้าไธโอนมากกว่าสารประกอบอื่นๆในสารละลายเดียวกัน ซึ่งพบว่าเมื่อความเข้มข้นของกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น สีของอนุภาคเงินระดับนาโนจะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีส้มและสีม่วงอ่อน ให้ผลการวิเคราะห์เซอร์เฟจ พลาสมอนเรโซแนนซ์ (SPR) เคลื่อนจาก 397 nm ไปเป็น 560 nm เนื่องมาจากปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิตทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน จากงานวิจัยการตรวจวัดเชิงสีนี้ได้ผลสมการเส้นตรงคือ  $Y = -0.000 + 0.8407 (R^2=0.9931)$  โดยที่มีค่าขีดจำกัดต่ำสุด (LOD) ของการตรวจวัดเท่ากับ  $40.64 \pm 0.01$  ppm (S/N=3) และให้ผลวิเคราะห์ที่แม่นยำโดยมีค่า Relative standard deviation (RSD) 0.57% และ 0.81% สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไธโอนในสารละลายที่มีความเข้มข้น 250 ppm, 500 ppm, 700 ppm ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสริม เป็นเวลาต่อเนื่อง 10 ครั้ง นอกจากนั้นยังพบว่าความไวของอนุภาคเงินระดับนาโนต่อกลูต้าไธโอนนั้นสูงและแตกต่างจากสารอื่นได้ชัด เช่น โซเดียม, โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, กลูโคส, กรดแอสคอร์บิก, กรดซิตริก จากงานวิจัยการตรวจวัดเชิงสีของอนุภาคเงินระดับนาโนสามารถจำแนกตรวจจับกลูต้าไธโอนในตัวอย่างอาหารเสริม มีความแม่นยำผ่านเกณฑ์ยอมรับให้ค่าคืนกลับอยู่ในช่วงที่ 100% - 101.46%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : กลูต้าไรโอน เทคนิคการตรวจวัดเชิงสี วิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี อนุภาคเงินรูปร่างทรง  
กลมระดับนาโน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Colorimetric Sensor For Reduced Glutathione Detection Based On Phthalic Acid Assisted Synthesis Of Silver Nanoparticles		
<b>Student</b>	Miss Thanaporn Assawalertsomchit	student ID 56050500	
	Miss Thidarat Kidhen	student ID 56050507	
	Miss Naparat Limsakul	student ID 56050510	
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
<b>Department</b>	Chemistry		
<b>Faculty</b>	Science		
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
<b>Academic Year</b>	2016		
<b>Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Ekarat Detsri		

### Abstract

A new colorimetric sensing platform for the detection of reduced glutathione (GSH) based on phthalic acid assisted synthesis of silver nanoparticles (AgNPs) was established and introduced to provide the rapid, sensitive and selective for determination GSH in dietary supplements. The carboxylic functional groups of phthalic acid were used to modify the surface of AgNPs. Ultraviolet–visible spectroscopy (UV–vis), Zeta potential and dynamic light scattering analyzer, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Transmission electron microscopy (TEM), and X-ray diffraction analysis (XRD) techniques used for characterization of resulting AgNPs demonstrated that, phthalic acid is an effective capping agent to stabilize AgNPs. AgNPs stabilized with phthalic acid could cause the strong affinity to GSH relative to other substances in solution. As the GSH concentration increased, the color of the AgNPs solutions was gradually changed from yellow to orange and light purple as well as the surface plasmon resonance (SPR) shifted from 397 nm to 560 nm upon an aggregation of AgNPs due to electrostatic interaction. The proposed colorimetric sensor was exhibited a linear response in the range of  $Y = -0.000 + 0.8407$  ( $R^2 = 0.9931$ ), with low detection limit (LOD) of  $40.6 \pm 0.01$  ppm ( $S/N = 3$ ). The sensor showed better precision with relative standard deviation (RSD) of 0.57 and 0.81 for ten repetitive measurements of 250 ppm, 500 ppm and 700 ppm of GSH solute by 250 ppm GSH solution in tablet sample, respectively. The sensitivity of AgNPs for GSH can be clearly differentiated towards other coexisting substances ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ , ascorbic acid and citric acid). The AgNPs colorimetric sensor could discriminatively detect GSH in dietary supplements samples with the recoveries values in the range of 100 - 101.47 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Keywords :** Glutathione, Colorimetric method, Chemical reduction method, Silver nanospheres



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติดุลย์ และ ดร.ณวสิทธิ์ โชติแสง ที่กรุณามาเป็นกรรมการ สอบโครงการพิเศษ ตลอดจนให้คำปรึกษาและแก้ไขโครงการพิเศษให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยติดต่อประสานงาน และอำนวยความสะดวกในการทำโครงการพิเศษ ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้กรุณาช่วยเหลือและแนะนำอุปกรณ์ต่างๆในห้องปฏิบัติการ จนทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้

ขอขอบพระคุณ พี่นักศึกษาปริญญาโทที่ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่คอยให้ความช่วยเหลือ สนับสนุน และให้กำลังใจเสมอมา ตลอดจนขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้คำแนะนำมาโดยตลอดจนการศึกษาครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า โครงการพิเศษนี้จะเป็นประโยชน์แก่บุคลากรทางการศึกษาและผู้สนใจทั่วไป ตลอดจนจะเป็นประโยชน์ในการสร้างองค์ความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์ต่อไป

ธนพร อัสวเลิศสมจิต  
ธิดารัตน์ คิตเห็น  
นภารัตน์ หลิมสกุล

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ค
กิตติกรรมประกาศ .....	จ
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ณ
สารบัญรูป .....	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์ .....	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>4</b>
2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี .....	4
2.1.1 ประเภทของนาโนเทคโนโลยี .....	5
(ก) วัสดุนาโน (Nanomaterial) .....	5
(ข) นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ (Nanobiotechnology) .....	6
(ค) นาโนเทคโนโลยีทางการแพทย์ (Nanomedicine) .....	7
2.2 อนุภาคเงินระดับนาโน (Nanoparticles) .....	7
2.2.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน .....	8
(ก) วิธีการยิงด้วยเลเซอร์ (Laser ablation) .....	8
(ข) วิธีการใช้ไมโครเวฟ (Microwave) .....	8
(ค) วิธีรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction) .....	9
(ง) วิธีเชิงแสงทางเคมี (Photochemical synthesis) .....	10
2.3 เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) .....	10
2.4 กลูต้าไธโอน (Glutathione) .....	11
2.4.1 ข้อมูลทั่วไปของกลูต้าไธโอน .....	11
2.4.2 โครงสร้างทางเคมีของกลูต้าไธโอน .....	12
2.4.3 คุณสมบัติกลูต้าไธโอน .....	12
2.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์ (Characterization) .....	12
2.5.1 เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง .....	12
2.5.2 Transmission electron microscope (TEM) .....	13
2.5.3 Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) .....	14
2.5.4 Dynamic light scattering (DLS) .....	15
2.5.5 X-ray diffraction (XRD) .....	16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	17

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3</b> <b>วิธีการดำเนินการวิจัย</b> .....	23
3.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) โดยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method) .....	23
3.1.1 สารเคมี .....	23
3.1.2 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ .....	23
3.2 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในการวิเคราะห์กลุ่มด้าไรโอเน .....	25
3.2.1 สารเคมี .....	25
3.2.2 การศึกษาหาปริมาณกลุ่มด้าไรโอเนด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน .....	26
3.3 การศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มด้าไรโอเนด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน .....	27
3.3.1 ศึกษาความเป็นเส้นตรง .....	27
3.3.2 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation) ....	28
3.3.3 การศึกษาหาค่าร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery) .....	29
3.3.4 การศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน .....	30
3.3.5 การศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ .....	31
3.3.6 การศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน .....	32
<b>บทที่ 4</b> <b>ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b> .....	34
4.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) .....	34
4.1.1 การศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ .....	34
4.1.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะของอนุภาคเงินระดับนาโน .....	36
(ก) การศึกษาลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโน .....	36
(ข) การศึกษาสภาพความเป็นประจุบนพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโน .....	37
(ค) การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินในระดับนาโน .....	38
(ง) การศึกษาการจัดเรียงตัวของผลึกอนุภาคเงินในระดับนาโน ....	39
4.2 การศึกษาเสถียรภาพ .....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 การศึกษาอิทธิพลค่าพีเอชบัฟเฟอร์ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน .....	40
(ก) การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.001 ...	40
(ข) การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.01 M ...	41
(ค) การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.05 M ...	42
4.3 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในการวิเคราะห์กลุ่มตัวไอออน .....	44
4.3.1 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกลุ่มตัวไอออน .....	44
4.3.2 การศึกษาอิทธิพลค่าพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อการวิเคราะห์กลุ่มตัวไอออน .....	48
4.3.3 การศึกษาผลกระทบของตัวรบกวน (Interference) ที่มีผลต่อการวิเคราะห์ .....	49
4.3.4 การศึกษาความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลุ่มตัวไอออน .....	52
4.3.5 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) .....	52
4.3.6 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation, LOQ) .....	53
4.3.7 การศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery) และค่าความแม่นยำ (Precision) .....	53
(ก) ค่าร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery) ในตัวอย่างยาเม็ด..	53
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>55</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	55
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	56
เอกสารอ้างอิง .....	57
ภาคผนวก .....	63
ภาคผนวก ก การเตรียมสารละลาย .....	64
ภาคผนวก ข การคำนวณผลการทดลอง .....	66
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง .....	71

# สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน .....	23
3.2	ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์คุณลักษณะของอนุภาคเงินระดับนาโน .....	25
3.3	สารเคมีที่ใช้ศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในการวิเคราะห์กลุ่มต้าไฮโอน .....	25
3.4	ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในการวิเคราะห์กลุ่มต้าไฮโอน .....	27
3.5	ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีการหาปริมาณกลุ่มต้าไฮโอน ...	28
3.6	ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มต้าไฮโอน .....	29
3.7	ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาหาค่าร้อยละของการคืนกลับ .....	30
3.8	ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน .....	31
3.9	ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อการวิเคราะห์กลุ่มต้าไฮโอน .....	32
3.10	ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาตัวรบกวนที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน	33
4.1	ค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential) ของอนุภาคเงินระดับนาโน .....	38
4.2	หมู่ฟังก์ชันของพาทาลิก แอซิด และหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินระดับนาโน .....	39
4.3	แสดงค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดและค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบล็ก (% Relative error) .....	43
4.4	ศักย์ซีต้าของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลุ่มต้าไฮโอนที่ความเข้มข้น 250, 500 และ 700 ppm .....	48
4.5	ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ) .....	53
4.6	ค่าร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery) ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร .....	54
ก.1	การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลุ่มต้าไฮโอนที่ความเข้มข้นต่างๆ .....	65
ข.1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Blank ที่ 397 nm .....	68
ข.2	ค่าร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery) ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร .....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ริชาร์ด วิลลิปส์ ไลย์แมน บิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี .....	4
2.2	ขนาดของวัสดุนาโน .....	5
2.3	การเกิดเซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) .....	11
2.4	สูตรโครงสร้างทางเคมีของกลูต้าไธโอน .....	12
2.5	ส่วนประกอบของเครื่อง UV-vis Spectrophotometer .....	13
2.6	ส่วนประกอบของเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) .....	14
2.7	ส่วนประกอบของเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) .....	15
2.8	แสดงส่วนประกอบของเครื่อง X-ray diffraction (XRD) .....	16
3.1	การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาทาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการ สังเคราะห์ ด้วยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method) .....	24
3.2	การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในการวิเคราะห์ กลูต้าไธโอน .....	26
3.3	การศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีการหาปริมาณกลูต้าไธโอนด้วยสารละลายอนุภาค เงิน ระดับนาโน .....	27
3.4	การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ .....	28
3.5	การศึกษาหาร้อยละของการคืนกลับ .....	29
3.6	การศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน .....	30
3.7	การศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ .....	31
3.8	การศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน .....	32
4.1	สเปกตรัมแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน และ (b) สีของสารละลายที่สังเคราะห์โดยใช้พาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 mM .....	35
4.2	กลไกปฏิกิริยาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) .....	36
4.3	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ พาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 mM .....	37
4.4	กราฟแท่งแสดง Size distribution ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่พาทาลิก แอซิดความ เข้มข้น 0.0005 mM .....	37
4.5	FTIR สเปกตรัมของ (a) พาทาลิก แอซิด และ (b) อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาทาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ .....	38
4.6	แสดงการจัดเรียงตัวของผลึกอนุภาคเงินระดับนาโน .....	40
4.7	สเปกตรัมแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับพีเอชบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.001 M ที่พีเอช 1, 4, 7 และ 8 .....	41
4.8	สเปกตรัมแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับพีเอชบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.01 M ที่ พีเอช 1, 4, 7 และ 8 .....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9	สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับพีเอชบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.05 M ที่พีเอช 1, 4, 7 และ 8 ..... 42
4.10	กราฟแท่งแสดงค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของอนุภาคเงินระดับนาโนที่พีเอช 1, 4, 7, 8 และ 10 ของสารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.001, 0.01 และ 0.05 M ..... 43
4.11	สูตรโครงสร้างของพาทาลิก แอซิด ..... 44
4.12	สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 100, 250, 500, 800, และ 1000 ppm ตามลำดับ ..... 45
4.13	รูปแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนกับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน ..... 46
4.14	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น (a) 250 ppm, (b) 500 ppm และ (c) 700 ppm ..... 47
4.15	สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงและ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนความเข้มข้น 500 ppm ที่สารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.001 M พีเอช 1, 4, 7 และ 8 ..... 49
4.16	ภาพ (a) กราฟแท่งแสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดกับชนิดของตัวรบกวนที่ความเข้มข้น 1, 5 และ 10 ppm (b) กราฟแท่งแสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดกับชนิดของตัวรบกวนที่ความเข้มข้น 50, 100 และ 250 ppm ตามลำดับ ..... 50
4.17	ภาพ (a), (b), (c), (d), (e) และ (f) แสดงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีตัวรบกวน $\text{NaNO}_3$ , $\text{KNO}_3$ , $\text{CaSO}_4$ , $\text{MgSO}_4$ , Glucose, Sucrose และ Ascorbic acid ความเข้มข้น 1, 5, 10, 50, 100 และ 250 ppm ตามลำดับ ..... 51
4.18	การศึกษาความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลูต้าไธโอน ..... 52
ค.1	ศักยภาพต้านอนุมูลอิสระของอนุภาคเงินระดับนาโน ..... 71
ค.2	ศักยภาพต้านอนุมูลอิสระของอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 250, 500 และ 700 ppm ..... 72

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
AgNPs	Silver Nanoparticles
PTA	Phthalic acid
GSH	Glutathione
PDADMAC	Poly (diallyldimethyl ammonium chloride)
UV-vis spectrophotometry	Ultraviolet-visible spectrophotometry
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
TEM	Transmission Electron Microscope
XRD	X-ray Diffraction
a.u.	Arbitrary unit
nm	Nanometer: หน่วยความยาว นาโนเมตร
mL	Milliliter: หน่วยปริมาตร มิลลิลิตร
mM	Millimolar: หน่วยความเข้มข้น มิลลิโมลาร์
M	Molar: หน่วยความเข้มข้น โมลาร์
mol/L	Mole Per Liter: หน่วยความเข้มข้น ปริมาณสารต่อปริมาตรสารละลาย
ppm	Part Per Million: หน่วยความเข้มข้น หนึ่งในล้านส่วน
°C	Degree Celsius: หน่วยวัดอุณหภูมิ องศาเซลเซียส
$\lambda_{\max}$	ค่าความยาวคลื่นสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 หลักการและเหตุผล

กลูต้าไธโอน (Glutathione) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เซลล์ในร่างกายมนุษย์สามารถสังเคราะห์ได้เอง มีคุณสมบัติเป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง โดยทำหน้าที่สำคัญ คือ สร้างภูมิคุ้มกันให้ร่างกาย กำจัดสารพิษในร่างกาย เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ชนิดต่างๆด้วยคุณสมบัติต่างๆเหล่านี้ทางการแพทย์จึงได้มีการนำกลูต้าไธโอนมาทดลองใช้ในการรักษาโรค เช่น เกี่ยวกับระบบเส้นประสาทบกพร่อง โรคพาร์กินสัน โรคอัลไซเมอร์ หรือ โรคสมองเสื่อม โรคปลายเส้นประสาทอักเสบ มะเร็งกระเพาะอาหาร และมะเร็งต่อมลูกหมาก วิธีการรักษาทำได้โดยฉีดกลูต้าไธโอนเข้าร่างกายทางหลอดเลือดดำหรือเข้าที่กล้ามเนื้อ ผลข้างเคียงอย่างหนึ่งที่น่าแปลกใจ คือ ผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยการฉีดกลูต้าไธโอนนั้น มีสีผิวที่ขาวขึ้น เนื่องมาจากกลูต้าไธโอนสามารถยับยั้งเอ็นไซม์ไทโรซิเนส (Tyrosinase) ได้ และส่งผลให้เม็ดสีของผิวหนังเปลี่ยนจากเม็ดสีน้ำตาลดำเป็นเม็ดสีชมพูขาว ด้วยเหตุนี้เองจึงมีผู้พยายามนำผลข้างเคียงของยามาใช้ในการทำให้ผิวขาวขึ้น ทำให้ปัจจุบันเกิดผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร ที่มีส่วนผสมของกลูต้าไธโอนมาในรูปแบบต่างๆ ทั้งแบบรับประทานและในรูปแบบยาฉีดเข้าร่างกายโดยตรง ออกสู่ท้องตลาดอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากร่างกายมนุษย์สามารถผลิตกลูต้าไธโอนขึ้นเองได้ ดังนั้นการรับประทานหรือการฉีดกลูต้าไธโอนเข้าสู่ร่างกายเพิ่มจึงไม่จำเป็น หรือหากต้องการเพิ่มปริมาณกลูต้าไธโอนเข้าสู่ร่างกาย ควรอยู่ที่ปริมาณ 60-250 มิลลิกรัมต่อวัน ซึ่งเป็นปริมาณที่แพทย์อนุญาต หากร่างกายได้รับในปริมาณที่มากกว่านี้อาจจะทำให้เกิดอาการแพ้ยาถึงขั้นทำให้ช็อค ความดันต่ำ กล้ามเนื้อสั่น ประสาทหลอน หายใจติดขัด หลอดลมตีบ และอาจเป็นอันตรายถึงชีวิตได้ หรือสะสมอยู่ในร่างกายในระยะยาวจะทำให้เกิดผลข้างเคียงขึ้นกับร่างกายได้ เช่น โรคมะเร็ง โรคหลอดเลือดหัวใจ เป็นต้น [1]

การวิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไธโอนในปัจจุบันมีเทคนิคที่น่าสนใจ คือเทคนิค Stable Isotope Dilution Analysis (SIDA) และ Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry (LC-MS/MS) [2] เทคนิคการวิเคราะห์นี้มีขั้นตอนค่อนข้างยาก และใช้เครื่องมือวิเคราะห์ที่มีราคาแพง อีกทั้งยังมีความยุ่งยากในการเตรียมสารตัวอย่าง ส่วนเทคนิค Reversed Phase High Performance Liquid Chromatography (RP-HPLC) [3] เทคนิคการวิเคราะห์นี้มีข้อเสียคือไม่สามารถทนต่อสารละลายที่เป็นกรดได้ และเทคนิค Fluorometric การวิเคราะห์นี้ให้ผลเร็ว แต่สารต้องมีความจำเพาะเจาะจงสามารถเรืองแสงได้เราจึงใช้เทคนิคการตรวจวัดเชิงสี (Colorimetric method) ในการตรวจวัดใช้ปริมาณตัวอย่างในการวิเคราะห์น้อยและให้ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD)

ในยุคแห่งความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นาโนเทคโนโลยีเป็นอีกหนึ่งศาสตร์ที่ได้รับความสนใจอย่างมากในช่วงหลายปีที่ผ่านมา นาโนเทคโนโลยี คือ เทคโนโลยีประยุกต์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดการ การสร้าง การสังเคราะห์วัสดุหรืออุปกรณ์ในระดับของอะตอม โมเลกุลหรือชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กในช่วงประมาณ 1 ถึง 100 นาโนเมตร ซึ่งจะส่งผลให้วัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ มีหน้าที่ใหม่ๆ และมีคุณสมบัติที่พิเศษขึ้นทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ เป็นต้น ในหลายปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยทำการศึกษาเกี่ยวกับอนุภาคในระดับนาโน หนึ่งในนั้นคืออนุภาคเงินในระดับนาโน ซึ่งสมบัติทางแสงเป็นหนึ่งในสมบัติที่จำเพาะและมีความน่าสนใจ กล่าวคือ เมื่ออนุภาคเงินระดับนาโนมีรูปร่างกลมจะแสดงสีลักษณะจำเพาะ คือ สีเหลืองแต่ถ้าหากอนุภาคระดับนาโนมีรูปร่างเปลี่ยนแปลง

ไปเช่น อนุภาคเงินรูปร่างขนาดสามเหลี่ยมระดับนาโน จะแสดงสีลักษณะจำเพาะ คือ สีน้ำเงิน เป็นต้น ซึ่งคุณสมบัติแสงดังกล่าวของอนุภาคเงินระดับนาโน ทำให้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เช่นนำไปใช้เป็นตัวเร่ง ใช้เป็นตัวตรวจวัดทางการแพทย์ อุปกรณ์ทางไฟฟ้า แม้กระทั่งใช้ทำเป็นตัวรับรู้ทางสี เป็นต้น

ด้วยเหตุผลที่กล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไธโอนขึ้น จากการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ ด้วยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method) เพื่อนำคุณสมบัติทางเคมีและทางแสงของอนุภาคเงินระดับนาโนมาสร้างเป็นตัวรับรู้การเปรียบเทียบเชิงสี (Colorimetric sensor) ในการตรวจวัดกลูต้าไธโอน งานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วน ขั้นตอนหนึ่งคือการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ด้วยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method) ขั้นตอนที่สองคือ การศึกษาสภาวะในการตรวจวัดกลูต้าไธโอน โดยการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของกลูต้าไธโอนที่ถูกตรวจวัดด้วยอนุภาคเงินระดับนาโน และในขั้นตอนสุดท้ายคือการนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไธโอน โดยอาศัยเทคนิคการตรวจวัดเชิงสี (Colorimetric method)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ด้วยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method)
- 2) เพื่อศึกษาการวิเคราะห์ปริมาณกลูต้าไธโอนด้วยเทคนิคการตรวจวัดเชิงสี (Colorimetric method) โดยการใช้อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์
- 3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไธโอนโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของพาหาลิก แอซิดที่มีผลต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method)
- 2) ศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ ในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัววิเคราะห์ปริมาณกลูต้าไธโอน
- 3) ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของกลูต้าไธโอนที่มีผลต่อการวิเคราะห์ด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์
- 4) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ เมื่อทำปฏิกิริยากับกลูต้าไธโอน

## 1.4 สมมติฐานของงานวิจัย

- 1) สามารถใช้พาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนได้
- 2) สามารถใช้อนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ วิเคราะห์ปริมาณกลูต้าไธโอนด้วยเทคนิคการตรวจวัดเชิงสี (Colorimetric method) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) สามารถใช้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ วิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไธโอน โดยใช้สารในปริมาณที่น้อยลง
- 2) สามารถใช้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ วิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไธโอน ด้วยเวลาที่รวดเร็วยิ่งขึ้น
- 3) ทำให้ได้วิธีในการวิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไธโอนที่มีประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี ก่อกำเนิดจากแนวคิดของนักฟิสิกส์ชาวอเมริกันที่มีชื่อว่า ศาสตราจารย์ริชาร์ด เวย์นแมน (Richard Feynman) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แห่งสถาบันเทคโนโลยีแคลิฟอร์เนีย (California Institute of Technology) โดยในปี ค.ศ. 1959 เวย์นแมนได้กล่าวบรรยายในหัวข้อเรื่อง “ยังมีทางขยับขยายอีกมากในระดับจุลภาค (There’s plenty of room at the bottom)” ซึ่งเป็นการบรรยายที่กระตุ้นแรงบันดาลใจเกี่ยวกับการทำนายความเป็นไปได้ และขีดความสามารถของเทคโนโลยีระดับนาโน ซึ่งเป็นสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ทุกคนควรจะตระหนักสนใจอย่างจริงจัง และให้ความสำคัญเกี่ยวกับเทคโนโลยีนี้ให้มากขึ้น โดยนี้แนวคิดนี้ทำให้เวย์นแมนได้รับการยกย่องให้เป็น “บิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี” [4]

ต่อมาในปี ค.ศ. 1974 นักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อ โนริโอะ ทานิกูชิ (Norio Taniguchi) แห่งมหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์แห่งกรุงโตเกียว (Tokyo Science University) ประเทศญี่ปุ่น ได้ริเริ่มใช้คำว่า “นาโนเทคโนโลยี (nanotechnology)” เป็นครั้งแรก โนริโอะใช้คำว่านาโนเทคโนโลยีนี้เพื่อที่จะบรรยายถึงว่าเป็น “เทคโนโลยีการผลิตที่มีความถูกต้องแม่นยำสูงเป็นพิเศษ และก้าวข้ามพรมแดนของเทคโนโลยีที่มีอยู่ในปัจจุบัน” [5] และในปี ค.ศ. 1981 เกร็ด บินนิง (Gerd Binnig) และ เฮนริช โรห์เรอ (Heinrich Rohrer) นักวิจัยในห้องปฏิบัติการของบริษัทไอบีเอ็ม ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ ได้ประดิษฐ์ เครื่อง STM (Scanning Tunneling Microscope) ขึ้นจนสำเร็จซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถที่จะเห็นภาพของโลกในระดับนาโนเมตรได้เป็นผลสำเร็จ แต่ไม่เพียงแต่สามารถมองเห็นอนุภาคระดับนาโนโมเลกุลขนาดเล็ก หรืออะตอมเดี่ยวได้เพียงเท่านั้น แต่ยังสามารถที่จะใช้ในการควบคุมจัดการกับอนุภาคระดับนาโนอะตอม หรือโมเลกุลขนาดเล็กได้อีกด้วย จากผลงานการประดิษฐ์เครื่องมือนี้ขึ้นมา ทำให้ทั้งสองได้รับรางวัลโนเบล ในปี ค.ศ. 1986 [6] และทำให้คนริเริ่มหันมาสนใจและมีการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีมากขึ้น



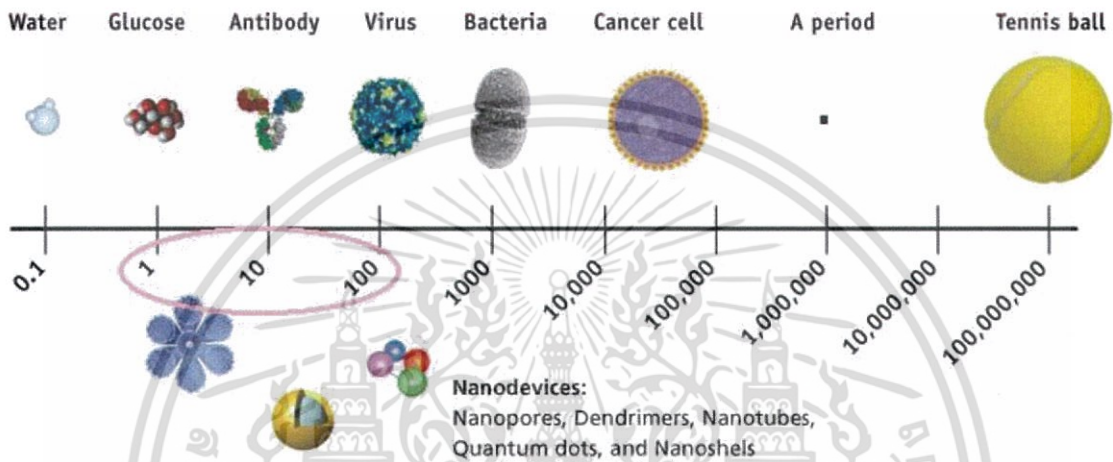
รูปที่ 2.1 ริชาร์ด ฟิลลิปส์ โวย์นแมน บิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี

นาโนศาสตร์ (Nanoscience) คือ วิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวัสดุอินทรีย์ อนินทรีย์ และรวมไปถึงสารชีวโมเลกุล ที่มีโครงสร้างสามมิติ ยาว กว้าง สูง ด้านใดด้านหนึ่งอยู่ระหว่าง 1-100 นาโนเมตร ในเชิงเปรียบเทียบ ขนาด 1 นาโนเมตรนี้จะใหญ่กว่าขนาดของอะตอมประมาณสิบเท่าขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ในทางอื่นโดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไป โดยคุณสมบัติของวัสดุนาโนจะแตกต่างจากวัสดุขนาดใหญ่ (Bulk material) ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ [7]

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) หมายถึงเทคโนโลยีประยุกต์ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดการ การสร้าง การสังเคราะห์วัสดุหรืออุปกรณ์ในระดับของอะตอม โมเลกุลหรือชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กในช่วงประมาณ 1 ถึง 100 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งจะส่งผลให้วัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ มีหน้าที่ใหม่ๆ และมีคุณสมบัติที่พิเศษขึ้นทั้งทางด้านกายภาพ เคมี และชีวภาพ ทำให้มีประโยชน์ต่อผู้ใช้สอยและเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้ [8]



รูปที่ 2.2 ขนาดของวัสดุนาโน [9]

จากรูปที่ 2.2 แสดงถึงช่วงของขนาดวัสดุนาโนที่มีขนาดอยู่ในช่วง 1 – 100 นาโนเมตร ที่เมื่อเทียบกับลูกเทนนิสที่มีขนาด 100,000,000 นาโนเมตรแล้ว แสดงให้เห็นเลยว่า วัสดุที่อยู่ในช่วง นาโนเมตรมีขนาดเล็กมากโดยที่สายตาของมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นได้

ในปัจจุบันมีความก้าวหน้าทางด้านนาโนเทคโนโลยีเป็นอย่างมาก ทำให้เกิดการประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ กับนาโนเทคโนโลยีในงานด้านต่างๆมากขึ้น เช่น งานด้านวัสดุศาสตร์ (Nanomaterial) เทคโนโลยีชีวภาพ (Nanobiotechnology) หรือด้านเทคโนโลยีทางการแพทย์ (Nanomedicine) เป็นต้น

## 2.1.1 ประเภทของนาโนเทคโนโลยี

### (ก) วัสดุนาโน (Nanomaterial)

หมายถึง นาโนหรืออนุภาคนาโนที่มีขนาดในนาโนเมตร วัสดุนาโนสามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ และเกิดจากการกระทำของมนุษย์ ชนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ อาจพบได้หลังเกิดไฟป่า หรือภูเขาไฟระเบิด บางชนิดอาจอยู่ในรูปของอนุภาคไวรัส ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม ส่วนอนุภาคนาโน ที่เกิดจากการกระทำของมนุษย์ได้จากการสังเคราะห์โดยตรง และเป็นสารปนเปื้อนออกมา เช่น จากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ เครื่องจักร หรือยานพาหนะ หรือจากกระบวนการผลิต ทั้งทางเคมี และชีวภาพ ตัวอย่างของวัสดุนาโน ได้แก่

วัสดุที่มีธาตุคาร์บอนเป็นหลัก (Carbonbased materials) คาร์บอนเป็นธาตุที่รู้จักกันแพร่หลาย และเป็นองค์ประกอบหลักของสิ่งมีชีวิตส่วนมากแล้ว อะตอมของคาร์บอนจะยึดกันเอง หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยึดกับอะตอมของธาตุอื่นด้วยพันธะโคเวเลนต์ (Covalent bond) ซึ่งเป็นการเกาะยึดที่แข็งแรง การยึดกันเองของอะตอมคาร์บอน ทำให้เกิดเป็นโมเลกุล หรือโครงสร้างใหญ่ขึ้นมาได้หลากหลาย ตัวอย่างวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นหลัก ได้แก่ ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nano tubes) มีลักษณะเป็นท่อเปิดรูปทรงกระบอกเหมือนการม้วนพับของแผ่นแกรไฟต์ โดยมีความกว้าง หรือเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ซึ่งเล็กมาก เนื่องจากสมบัติที่แข็งและเบา จึงได้มีการพิจารณาในเชิงวัสดุศาสตร์เกี่ยวกับ การนำท่อนาโนคาร์บอนไปใช้ในการสร้างอากาศยาน ปัจจุบัน ได้มีการนำท่อนาโนคาร์บอน มาใช้เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ ที่ใช้สมบัติในระดับจุลภาคของสาร เช่น กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอมแบบกราด รวมทั้งการใช้เป็นส่วนผสมกับวัสดุอื่น เช่น พอลิเมอร์ เพื่อทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงยิ่งขึ้น นอกจากนี้ ยังมีการพัฒนาไปสู่สิ่งที่เรียกว่า สายนาโน (Nanowire) ซึ่งจะสามารถใช้เป็นชิ้นส่วนทรานซิสเตอร์ หรือประตูสัญญาณตรรกะ (Logic gates) อันจะทำให้เกิดการปฏิวัติกระบวนการผลิต ในระบบอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ [10]

เงิน (Ag) คือ ธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 47 และสัญลักษณ์คือ Ag เงินเป็นโลหะทรานซิชันสีขาวยเงิน มีสมบัติการนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีมาก มีผู้ค้นพบคือ โรเบิร์ต แบนฟอตร์คุณสมบัติทางกายภาพ มักเกิดเป็นเส้น แผ่นบางๆ คล้ายกิ่งไม้ และเป็นก้อน สีขาว หรือเหลืองซีดๆ สีมงละเอียดยสีขาวเงิน แต่มักมีเป็นสีน้ำตาล หรือเทาดำ ความถ่วงจำเพาะ 10.5 ความแข็ง 2.5-3 ทูบเป็นแผ่นบางๆ ได้ มีความวาวโลหะ คุณสมบัติทางเคมี สูตรเคมี Ag มักปนกับทอง และทองแดง ละลายในกรด HNO<sub>3</sub> ถ้ากรด HCl จะให้ตะกอนสีขาว (AgCl) แต่ถ้าทิ้งไว้จะเปลี่ยนเป็นสีม่วง ละลายใน NH<sub>4</sub>OH ประโยชน์ ใช้ทำภาชนะต่างๆ ในสมัยโบราณ ทำโลหะผสม ทำเครื่องประดับ ทำตัวยาต่างๆ เงินปลอมเป็นเงินเยอรมัน (German Silver) ประกอบด้วยเงินนิกเกิล (Nickel Silver) ซึ่งไม่มีโลหะเงินผสมอยู่เลย แต่ขาวคล้ายเงิน ประกอบด้วยทองแดงผสมนิกเกิล ตั้งแต่ 4-35% ใช้มากในการทำชิ้นเงิน และทำที่สะท้อนแสงสำหรับดวงไฟ หน้ารถยนต์ ใช้ทำเหรียญตรา ทำน้ำยาล้าง และอัดรูปใช้บัดกรี ทองแดงชุบเงินใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้าเพราะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีมาก [11]

#### (ข) นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ (Nanobiotechnology)

เป็นการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีศาสตร์ด้านชีวภาพ ตัวอย่างการนำนาโนเทคโนโลยีชีวภาพมาประยุกต์ใช้ เช่นการพัฒนา นาโนไบโอเซนเซอร์ หรือ หัวตรวจวัดสารชีวภาพ และสารวินิจฉัยโรค โดยใช้วัสดุชีวโมเลกุล การปรับโครงสร้างระดับโมเลกุลของยา ที่สามารถหวังผลการมุ่งทำลาย ชีวโมเลกุลที่เป็นเป้าหมายเฉพาะเจาะจง เช่น การเกษตร การสร้างอาหารที่ไม่มีวันหมด การรักษาโรคมะเร็งโดยการดื่มเพียงน้ำผลไม้ที่มีหุ่นยนต์จิ๋วแบบที่มองไม่เห็น การใช้หุ่นยนต์นาโนในการป้องกันเชื้อโรค ซ่อมแซมผนังเซลล์ รักษาอาการไข้มันอุดตันในเส้นเลือด หรือการสร้างหุ่นยนต์นาโนที่สามารถเคลื่อนที่ในกระแสเลือดเพื่อเข้าทำลายเชื้อโรคหรือเซลล์มะเร็งในร่างกายโดยไม่ต้องมีการผ่าตัดที่เสี่ยงอันตราย เป็นต้น [12]

ตัวอย่างการนำเทคโนโลยีชีวภาพมาประยุกต์ใช้ในด้านเกษตร ได้แก่ ข้าว สามารถนำมาใช้ปรับปรุงพันธุ์ข้าวให้มีคุณลักษณะตามที่ต้องการ เช่น คุณภาพหุงต้ม หอม ด้านทานโรคใหม่ ด้านทานเพลี้ยชนิดต่างๆ ทนต่อน้ำท่วม มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ศ.ดร. ธีรพัฒน์ วิลัยทอง ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยนิวตรอนพลังงานสูง (Fast Neutron Research Facility) ณ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ริเริ่มพัฒนาเทคนิคทาง นาโนเทคโนโลยีในการปรับปรุงพันธุ์ข้าวไทยโดยใช้ลำอนุภาค (particle beam) เจาะรูขนาดนาโนขึ้นที่ผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ข้าว ต่อจากนั้นจะยิงอะตอมของไนโตรเจนผ่านรูที่สร้างขึ้นผ่านเข้าไปในเซลล์ข้าวเพื่อกระตุ้นให้ ดีเอ็นเอของข้าวเกิดการจัดเรียงตัวใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อันจะนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงพันธุ์ข้าวให้ตรงตามคุณลักษณะที่ต้องการต่อไป งานวิจัยนี้ได้ประสบความสำเร็จขั้นต้นไปแล้วจากการที่สามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะของข้าวพันธุ์พื้นเมืองที่ชื่อว่า ข้าวคาม ซึ่งมีลำต้น ใบ และเมล็ดสีม่วงเข้ม ให้กลายเป็นข้าวคามที่มีลำต้นและใบสีเขียว งานวิจัยในขั้นต่อไปคือการปรับปรุงพันธุ์ข้าวหอมมะลิ (Jasmine rice) ให้สามารถทำการเพาะปลูกได้ตลอดปี มีลำต้นสั้นลง ทนทานต่อแสงแดด และปรับปรุงสีของเมล็ดให้ดีขึ้น งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสภาวิจัยแห่งชาติ โดยตลอดข้าวที่ถูกปรับปรุงพันธุ์โดยวิธีการทางนาโนเทคโนโลยีนี้อาจจัดเป็น ข้าวตัดแปรอะตอม (Atomically Modified Rice) หรือเรียกสั้นๆ ว่า “ข้าวนาโน (Nano - rice)” [13]

### (ค) นาโนเทคโนโลยีทางการแพทย์ (Nanomedicine)

การนำนาโนเทคโนโลยีมาใช้ทางการแพทย์เป็นไปอย่างกว้างขวางและรวดเร็ว ได้เริ่มต้นศึกษาวิจัยมาตั้งแต่เมื่อสิบปีที่แล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกา กลุ่มประเทศยุโรป กลุ่มประเทศเอเชีย เช่น จีน เกาหลี อินเดีย และสิงคโปร์ ความรู้ใหม่ๆ เหล่านี้ทำให้เกิด เป็นศาสตร์ แขนงใหม่ที่มีชื่อเรียกว่า “NANOMEDICINE”

ตัวอย่างการนำนาโนเทคโนโลยีทางการแพทย์มาประยุกต์ใช้ได้แก่ พลาสเตอร์นาโนสำหรับปิดแผลถูกไฟไหม้พลาสเตอร์นี้เป็นพลาสเตอร์สำหรับปิดแผลที่เกิดจากถูกไฟไหม้ และแผลเรื้อรังต่างๆ โดยการผสมอนุภาคของนาโนของเงิน (silver nanoparticle) ที่มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ถึง 150 ชนิดลงไปเป็นส่วนประกอบของพลาสเตอร์ ซึ่งพบว่าพลาสเตอร์นาโนนี้สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาอย่างรวดเร็วเพียง 30 นาทีเท่านั้นนับจากที่ติดพลาสเตอร์นาโนนี้ลงบนบาดแผล อีกทั้งอนุภาคนาโนของเงินที่เคลือบไว้กับพลาสเตอร์ ยังสามารถคงประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้อย่างต่อเนื่องนานหลายวัน ซึ่งพลาสเตอร์นาโนนี้ ถูกนำมาใช้ในโรงพยาบาลเพื่อรักษาผู้ป่วยที่ได้บาดเจ็บจากไฟไหม้อย่างรุนแรง และบาดแผลเรื้อรังที่เสี่ยงสำหรับการติดเชื้อประมาณ 100 แห่งในทั้งหมด 120 แห่งของอเมริกาเหนือแล้ว [14]

ดร. มิกิน ชาง (Dr. Miqin Zhang) นักวัสดุศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยอวอชิงตันแห่งซีแอตเติล ได้พัฒนาอนุภาคนาโนสำหรับการวินิจฉัยและรักษาโรคมะเร็งที่สมอง โดยเรียกอนุภาคว่า อนุภาคนาโนแม่เหล็กที่ชาญฉลาด (Smart superparamagnetic nanoparticle) ที่มีขนาดเล็กเพียงแค่ 20 นาโนเมตร ซึ่งประกอบด้วย เหล็กออกไซด์และตัวยารักษามะเร็ง อนุภาคนาโนชนิดนี้สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยคลื่นแม่เหล็กในกระแสเลือดและมุ่งตรงไปยังเซลล์มะเร็งเป้าหมายได้ด้วยการติดตัวพาไว้ เนื่องจากขนาดของอนุภาคนาโนที่มีขนาดเล็กมากทำให้สามารถแทรกผ่านเนื้อเยื่อและเยื่อหุ้มในสมองไปสู่เซลล์มะเร็งได้ง่ายขึ้น เกิดการปลดปล่อยยาเมโทเทรเซต (Methotrexate) สำหรับการรักษาพร้อมกับส่งสัญญาณกลับมา ทำให้ทราบตำแหน่งของเซลล์มะเร็งได้อย่างชัดเจนและมีข้อดีคือสามารถวินิจฉัยโรคในระยะแรกๆ ได้ ซึ่งยารักษามะเร็งส่วนใหญ่ไม่สามารถผ่านเยื่อกั้นเหล่านี้ได้ [15]

## 2.2 อนุภาคเงินระดับนาโน (Nanoparticles)

อนุภาคเงินระดับนาโน มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องของสมบัติทางแสงที่มีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไปสมบัติทางแสงก็จะเปลี่ยนไปตามด้วย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนเป็นที่สนใจ และมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกิดขึ้นมากมายที่ได้มีการนำอนุภาคเงินระดับนาโนไปประยุกต์ใช้เป็นเทคนิคการตรวจวัดเชิงสี (Colorimetric method) เนื่องจากสมบัติทางแสงเป็นสิ่งที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ทำให้ง่ายต่อการสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้น และวัสดุที่ใช้มีราคาไม่แพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนจะมีด้วยกัน 2 วิธี คือ วิธีกายภาพ (Physical approach) ได้แก่ วิธีการยิงเลเซอร์ (Laser ablation) และวิธีการใช้ไมโครเวฟ (Microwave) วิธีที่สองคือ วิธีทางเคมี (Chemical approach) ได้แก่ วิธีรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method) และวิธีเชิงแสงทางเคมี (Photochemical synthesis) [16] โดยในแต่ละวิธีการสังเคราะห์จะให้รูปร่างและขนาดอนุภาคที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติต่างๆอีกด้วย รูปร่างที่พบบ่อย ได้แก่ รูปทรงกลม รูปทรงสามเหลี่ยม และ พีระมิตเป็นต้น [17]

## 2.2.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน

### (ก) วิธีการยิงด้วยเลเซอร์ (Laser ablation)

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยวิธีการยิงด้วยเลเซอร์ของสารที่เป็นโลหะในสารละลาย คุณสมบัติเฉพาะของรูปแบบอนุภาคโลหะและการยิงที่มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่กระทบกับโลหะเป้าหมาย ระยะเวลาพัลส์ของเลเซอร์ ระยะเวลาการยิงและผลกระทบจากของเหลวที่เกิดจากสารลดแรงตึงผิว ฟลูเอนซ์ของเลเซอร์เป็นหนึ่งตัวแปรที่สำคัญที่สุด โดยอนุภาคโลหะที่ออกมาจากเป้าหมายต้องใช้พลังงานต่ำสุด โดยขนาดเฉลี่ยของอนุภาคนาโนที่พบโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นเมื่อฟลูเอนซ์ของเลเซอร์เพิ่มขึ้น นอกจากฟลูเอนซ์ของเลเซอร์แล้วจำนวนภาพเลเซอร์ เช่น เวลาที่ใช้ในระหว่างการกลายเป็นไอเลเซอร์ มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นและสัณฐานวิทยาของอนุภาคโลหะที่ปล่อยออกมาในของเหลว ความเข้มข้นของอนุภาคโลหะภายใต้แสงเลเซอร์คาดว่าจะเพิ่มขึ้น แต่สามารถทำให้อิ่มตัวได้เนื่องจากการดูดกลืนแสงในคอลลอยด์ที่มีความเข้มข้นสูงในอนุภาคโลหะ [18]

จากงานวิจัยของทาเคชิ ซูจิและคณะ [19] ได้ทำการเตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนรูปร่างกลม ด้วยวิธีการยิงด้วยเลเซอร์ในสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ในการสังเคราะห์จะนำแผ่นซิลเวอร์ใส่ลงในเวล์ควอตซ์ จากนั้นเติมสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน และทำการยิงเลเซอร์เข้าไปที่แผ่นซิลเวอร์ โดยอนุภาคเงินระดับนาโนจะตกลงไปในสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่ใช้คือ Nd:YAG และใช้ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ที่ 335 นาโนเมตร ระยะเวลาในการปล่อยเลเซอร์คือ 10 นาที่ ผลที่ได้พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนรูปร่างกลมที่ได้มีขนาดเล็กกว่า 5 นาโนเมตรประสิทธิภาพของการเกิดอนุภาคเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบจากการยิงด้วยเลเซอร์ในน้ำ

จากงานวิจัยของบาวทินกิชซาและคณะ [20] ได้ทำการเตรียมอนุภาคเงินรูปร่างกลมระดับนาโนด้วยวิธียิงเลเซอร์ในอากาศ ในขั้นตอนการสังเคราะห์จะต้องทำการเตรียมแผ่นซิลเวอร์ก่อนโดยนำไปทำความสะอาดด้วยเอทานอลและล้างน้ำบริสุทธิ์ และหลังจากนั้นนำแผ่นซิลเวอร์ที่เตรียมไว้แล้วยึดให้อยู่กับที่และห่างจากขั้วสเตรทประมาณ 0.5 ถึง 1.5 เซนติเมตรในการยิงลำแสงเลเซอร์จะยิงทำมุม 60 องศากับแนวระนาบและจะโฟกัสไปที่พื้นผิวของแผ่นซิลเวอร์เพื่อที่จะเก็บอนุภาคที่ออกมาไว้บนขั้วสเตรท แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่ใช้คือ Nd:YVO<sub>4</sub> และใช้ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ที่ 532 นาโนเมตร ระยะเวลาในการปล่อยเลเซอร์คือ 10 นาที่ผลที่ได้พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้มีรูปร่างโค้งมนและมีขนาดไม่ถึง 50 นาโนเมตรและมีแนวโน้มที่จะเกิดการรวมตัวกันซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากระยะเวลาที่ปล่อยเลเซอร์น้อยเกินไป

### (ข) วิธีการใช้ไมโครเวฟ (Microwave)

การสังเคราะห์โดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีที่ง่ายแต่ยังไม่เป็นที่นิยมใช้ โดยวิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้ไมโครเวฟจะทำได้โดยใช้แป้งนำมาทำเป็นแผ่นแม่แบบและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นว่าเป็นประโยชน์ในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ ซึ่งแบ่งที่ทำหน้าที่เป็นแผ่นแม่แบบ และจะช่วยป้องกันการรวมตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนอีกด้วย และจะใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโซเดียมเป็นตัวรีดิวซ์ โดยจะเกิดปฏิกิริยาภายใต้การฉายรังสีไมโครเวฟภายในเตาไมโครเวฟที่ใช้ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองน้ำตาลเป็นสีเทา ดำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เกิดเป็นอนุภาคเงินระดับนาโนแล้ว โดยขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโซเดียมและซิลเวอร์ไนเตรท

จากงานวิจัยของเค เจ ศรีรามและคณะ [21] พบว่าข้อดีของวิธีการสังเคราะห์โดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟ คือ สามารถให้ความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาค่อนข้างสั้นในการสังเคราะห์ ทำให้ได้สารประกอบที่มีความบริสุทธิ์ และขนาดอนุภาคที่ได้เฉลี่ยมีขนาด 12 นาโนเมตร

จากงานวิจัยของภวิวัฒน์และคณะ [22] พบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำตาลมอลโทส เป็นตัวรีดิวซ์ และใช้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟเป็นตัวเร่งในการเกิดปฏิกิริยาแทนการให้ความร้อน โดยไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ไม่ทำให้เกิดไอโอไนเซชันเมื่อเดินทางผ่านโมเลกุลของน้ำ ไขมัน หรือสารอื่นๆ ในตัวกลาง จะดูดกลืนพลังงานจากไมโครเวฟผ่านกระบวนการที่เรียกว่า การให้ความร้อนแบบสารไดอิเล็กทริก (Dielectric heating) โดยเฉพาะน้ำเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว มีสมบัติเป็นวัสดุไดอิเล็กทริกจะเกิดการหมุนตามทิศทางสนามไฟฟ้าของไมโครเวฟ และเกิดการเสียดสีจนเกิดความร้อนขึ้น ดังนั้นการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟจึงเป็นวิธีการที่สังเคราะห์ รวดเร็ว สะดวก สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ง่ายและมีการกระจายความร้อนทั่วทั้งสารละลายอย่างต่อเนื่องและคงตัว จากการทดลองเมื่อนำสารผสมระหว่างสารละลาย  $AgNO_3$  และน้ำตาลมอลโทส มาให้ความร้อนด้วยวิธีไมโครเวฟ 800 W เป็นเวลา 3 นาที พบว่าสารละลายเปลี่ยนจากใสไม่มีเป็นสีเหลืองอ่อนจนถึงเป็นสีเหลืองเข้ม โดยขึ้นกับค่า pH ของสารละลาย

### (ค) วิธีรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction)

วิธีรีดักชันทางเคมีเป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ใช้สารเคมีน้อย และสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนได้ ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับการเกิดรีดักชันของซิลเวอร์ไนเตรต โดยการใช้ตัวรีดิวซ์เป็นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ และตัวรักษาเสถียรภาพ เป็นไตรโซเดียมซิเตรท ไดไฮเดรท โดยมีปัจจัยในการป้องกันการเกิดการรวมตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ซึ่งวิธีนี้มีตัวแปรที่ส่งผลต่อขนาดของอนุภาค และการรวมตัวกันของอนุภาคเงินระดับนาโนหลายตัวแปร เช่น ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้นของตัวรักษาเสถียรภาพ หรือปริมาณของตัวรีดิวซ์ เป็นต้น [23]

จากงานวิจัย เณศรา แก้วคงและคณะ [24] นี้เป็นการศึกษาวิธีสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของอนุภาคนาโนเงินเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งทอ การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินทำได้ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ที่สองสถานะคือที่ภายใต้อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปตรวจสอบสมบัติของอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่องไดนามิค ไลซ์ สแกตเตอร์ริง พบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสให้อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดเล็กกว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินที่อุณหภูมิห้อง โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย  $84 \pm 5$  นาโนเมตร และมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด 391 นาโนเมตร เมื่อนำอนุภาคนาโนเงินไปทดสอบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* สายพันธุ์มาตรฐาน AATCC 6538 และ *Escherichia coli* สายพันธุ์มาตรฐาน AATCC 8739 พบว่าอนุภาคนาโนเงินสามารถยับยั้งการทำงานของเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยชัยญญาภรณ์ เกียรติกำจร และคณะ [25] ได้นำเสนอการตรวจวัดเชิงสีของ นิกเกิลโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ดัดแปลงด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเตอีน โดยมีขั้นตอนการ สังเคราะห์สองขั้นตอนคือ ขั้นตอนหนึ่งทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรด้วยวิธีการรีดักชัน ทางเคมี โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์และใช้เมทิลเซลลูโลสเป็นสารรักษาเสถียรภาพ และ ขั้นตอนที่สองคือ การดัดแปลงอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเตอีน โดยนำ สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่มีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 44 มิลลิลิตร และเติม แอล-ซิสเตอีน ที่มีความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จะได้สารคอลลอยด์สีชมพูที่มีการ รวมตัวกันระหว่างอนุภาคเงินระดับนาโนเมตร กับกลูต้าไธโอน และแอล-ซิสเตอีน

#### (ง) วิธีเชิงแสงทางเคมี (Photochemical synthesis)

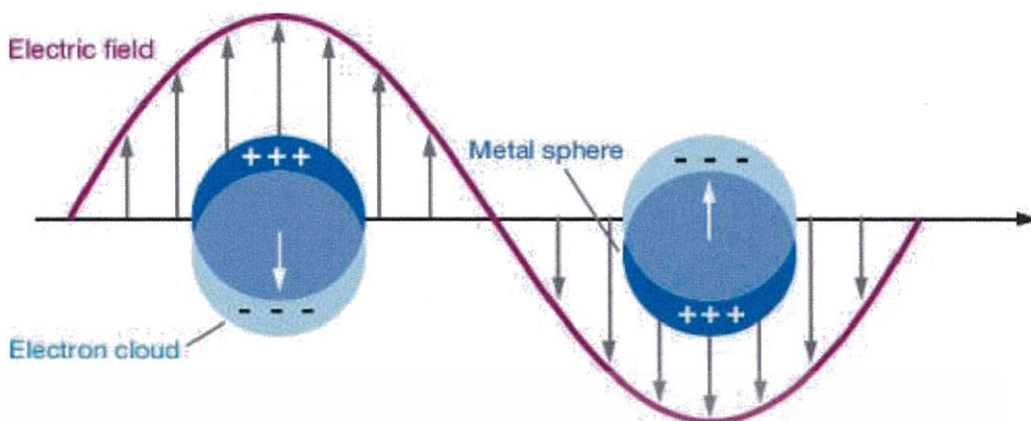
การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเชิงแสงทางเคมี จะอาศัยการฉายแสงจาก แหล่งกำเนิดแสงต่างๆ เช่น หลอดซินอน หรือจากรังสียูวี เป็นต้น วิธีการสังเคราะห์เชิงแสงเป็นอีกวิธีที่ง่าย และสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้เชิงแสงได้ โดยขนาดของอนุภาคจะขึ้นระยะเวลาในการฉายแสง

จากงานวิจัยของสเตฟรานี ดูเบสและวิลลวอร์ธ พิมพ์พันธุ์ [26] ได้ทำการสังเคราะห์ อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเชิงแสงทางเคมี โดยจะเกิดการรีดักชันของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทภายใต้ การฉายรังสียูวี โดยจะใช้โพลีเมทาอะคริลิก (PMA) เป็นตัวรีดิวซ์ และรักษาเสถียรภาพของอนุภาคเงิน ระดับนาโน ซึ่งจะอาศัยแรงทางไฟฟ้าสถิตและอาศัยผลจากความเกาะเกาะของหมู่ฟังก์ชัน เมื่อนำไปฉายรังสียูวี เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลของสีที่เกิดขึ้นจะได้สารละลายสีม่วง จากงานวิจัยพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาการฉายรังสี จะส่งผลให้ขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น

จากงานวิจัยของฮุยฮิง เจียและคณะ [27] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินรูปร่าง สามเหลี่ยมระดับนาโนด้วยวิธีการฉายแสง โดยเตรียมสารละลายผสมของซิลเวอร์ไนเตรทกับสารละลาย โซเดียมซิเตรทและทำการปั่นกววน จากนั้นค่อยๆหยดโซเดียมโบโรไฮไดรด์ลงไป สารละลายจะเปลี่ยนเป็น สีเหลืองทันที หลังจากปั่นกววน 30 วินาทีแล้ว จึงนำสารละลายที่ได้มาฉายแสงโดยจะใช้หลอดโซเดียม (OSRAM NAV-T 70 Watt, Wavelength 589 nm) ในการฉายแสง โดยใช้เวลาในการฉายแสง ดังนี้ 1, 3 และ 5 ชั่วโมง ซึ่งพบว่าเวลาฉายแสงที่แตกต่างกันส่งผลให้ รูปร่างและ ขนาดแตกต่างกันไปด้วย ใน งานวิจัยนี้สรุปได้ว่า เวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 3 ชั่วโมง เนื่องจากรูปร่างสามเหลี่ยมที่ได้ เหลี่ยมมากที่สุด และขนาดของอนุภาคที่ได้อยู่ระหว่าง 40 ถึง 100 นาโนเมตร

### 2.3 เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance)

เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) เป็นปรากฏการณ์ที่อธิบายถึง สมบัติทางแสงของอนุภาคระดับนาโน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่แสงตกกระทบพื้นผิวของอนุภาคโลหะ ระดับนาโน แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระ ที่มีลักษณะการ สั่นพร้อมเพรียงกัน เป็นปรากฏการณ์ ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของโลหะกับสารไดอิเล็กทริก เช่นระหว่าง ทองหรือเงินกับอากาศหรือสารละลาย โดยที่ขนาดยอตกคลื่น และความกว้างของสเปกตรัมพลาสมอน เรโซแนนซ์ของวัสดุต่างๆจะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ประเภทของวัสดุ และสภาพแวดล้อมรอบๆของวัสดุนั้น [28]



รูปที่ 2.3 การเกิดเซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) [29]

จากรูปที่ 2.3 แสดงถึงการเกิดเซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ โดยเมื่อแสงตกกระทบที่โครงสร้างระดับนาโนของอนุภาค อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นไปยังแถบเหนี่ยวนำและจะเกิดการสั่นพ้องกับแสงที่มาจากกระทบ ซึ่งปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์นี้จะเกิดที่บริเวณเปลือกชั้นนอกของอนุภาคระดับนาโน เพราะแสงจากภายนอกไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปภายในวัสดุได้

สมบัติการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโน เป็นสมบัติที่น่าสนใจ ตัวอย่างเช่น อนุภาคนาโนของเงินจะมีสีเหลืองเข้ม แทนที่จะเป็นสีเงินวาวที่เราคุ้นเคย อย่างไรก็ตามโลหะส่วนใหญ่ จะมีความถี่เรโซแนนต์ อยู่ในช่วงใกล้อินฟราเรดซึ่งอยู่นอกสเปกตรัม ของช่วงแสงที่มองเห็น นอกจากนี้อนุภาคนาโน ของโลหะเกือบทุกชนิด ไม่สามารถคงตัวอยู่ในรูปอนุภาคนาโน ได้นานในสภาวะแวดล้อมตามปกติ ทำให้เราไม่ค่อยพบปรากฏการณ์นี้ในโลหะชนิดอื่นๆ [30]

## 2.4 กลูต้าไธโอน (Glutathione)

กลูต้าไธโอน (Glutathione) เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่เซลล์ในร่างกายมนุษย์สามารถสังเคราะห์ได้เอง มีคุณสมบัติเป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง โดยทำหน้าที่สำคัญ คือ สร้างภูมิคุ้มกันให้ร่างกาย กำจัดสารพิษในร่างกาย เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ และกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ชนิดต่างๆ

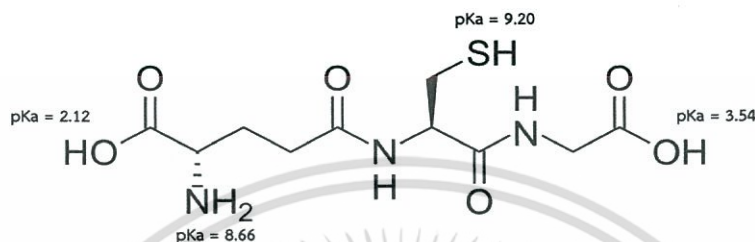
นอกจากนี้กลูต้าไธโอนยังเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญในพืช สัตว์ เห็ดราและแบคทีเรีย ทำหน้าที่ป้องกันองค์ประกอบสำคัญของเซลล์ที่เกิดจากออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (Reactive oxygen species) เช่น อนุมูลอิสระหรือเปอร์ออกไซด์ [31]

### 2.4.1 ข้อมูลทั่วไปของกลูต้าไธโอน

- (ก) การละลายน้ำ : ละลายน้ำง่าย
- (ข) ความสามารถในการ ละลาย ใน เมทานอล อีเทอร์ไดเอทิล : ไม่ละลาย
- (ค) จุดหลอมเหลว : 195 ° C (383 ° F ; 468 K) [32]

## 2.4.2 โครงสร้างทางเคมีของกลูต้าไธโอน

กลูต้าไธโอน (Glutathione,  $\gamma$ -glutamyl cysteinyl glycine หรือ GSH) เป็นโปรตีน มีโครงสร้างเป็น Tripeptide ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของกรดอะมิโน ประกอบด้วยกรดอะมิโน 3 ชนิด ได้แก่ กลูตามาต (Glutamate) ซิสเตอีน (Cysteine) และไกลซีน (Glycine) และมีพันธะเพปไทด์ธรรมดา ระหว่างซิสเตอีนกับไกลซีน [33] ดังรูปที่ 2.4 โดยมีหมู่ไฮดรอกซิลช่วยในการรักษาสมดุลของปฏิกิริยา รีดอกซ์ และเกี่ยวข้องกับการให้อิเล็กตรอน



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างทางเคมีของกลูต้าไธโอน [34]

## 2.4.3 คุณสมบัติกลูต้าไธโอน

(ก) Antioxidant : กลูต้าไธโอนมีคุณสมบัติเป็นสารต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidant) ที่มีความสำคัญตัวหนึ่งในร่างกาย และหากขาดไป วิตามินซีและอี อาจทำงานได้ไม่เต็มที่ พุดง่ายๆคือต่อต้านสารอนุมูลอิสระไม่ให้เข้ามาในร่างกาย

(ข) Detoxification : Glutathione ช่วยสร้างเอนไซม์กำจัดพิษ ชนิดต่างๆ ในร่างกาย โดยเฉพาะ Glutathion-S-transferase ที่ช่วยในการกำจัดพิษออกจากร่างกายโดยไปเปลี่ยนสารพิษชนิดไม่ละลายในน้ำ (ละลายในน้ำมัน) เช่น พกโคโชนิก สารระเหย ยาฆ่าแมลง แม้แต่ ยาบางชนิด ให้เป็นสารที่ละลายน้ำได้ดีขึ้นและง่ายต่อการกำจัดออกจากร่างกาย นอกจากนี้ยังช่วยป้องกันตับจากการถูกทำลายโดยแอลกอฮอล์ (สุรา) สารพิษจากบุหรี่ ยาพาราเซตามอลเกินขนาด (Overdose) [35]

(ค) Immune Enhancer : ช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันในร่างกาย โดยกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์หลายชนิดเพื่อให้ร่างกายต่อต้านสิ่งแปลกปลอม รวมถึงเชื้อแบคทีเรียและไวรัส นอกจากนี้กลูต้าไธโอน ยังช่วยสร้างและซ่อมแซม DNA สร้างโปรตีนและ prostaglandin [36]

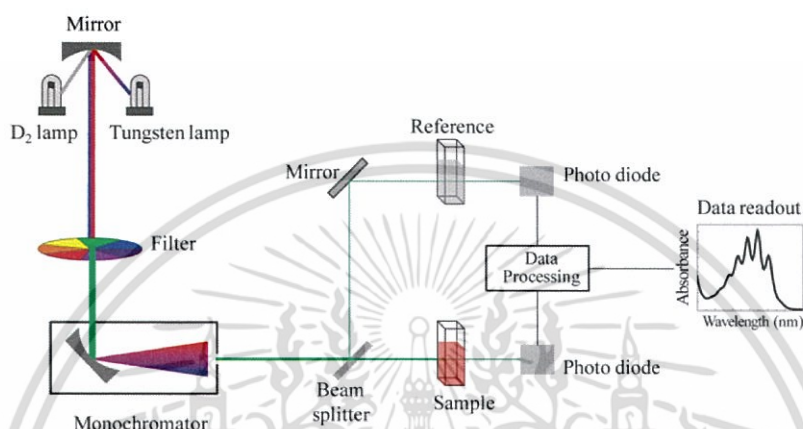
## 2.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์ (Characterization)

### 2.5.1 เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง

เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (UV-vis Spectrophotometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสง ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาว ที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์ กับปริมาณและชนิดของสาร ที่มีอยู่ในตัวอย่างซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และ สารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ UV-vis Spectrophotometer ในปัจจุบันได้รับการพัฒนาให้มีขนาดที่ เล็กกะทัดรัด มีความไวมากขึ้น ให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น รวมไปถึงการพัฒนา โปรแกรมที่ใช้ควบคู่กันกับเครื่องมือในการวิเคราะห์ และการพ่วงต่อกับเทคนิคอื่นๆ ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้กว้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย UV-vis Spectrophotometer นี้มีคุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสียูวีหรือแสงขาวที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่าเมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่างๆ ค่าการดูดกลืนแสง หรือค่าabsorbanceของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุล ที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถระบุชนิดและปริมาณของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างได้



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-vis Spectrophotometer [37]

จากรูปที่ 2.5 เครื่อง UV-Vis spectrophotometer มีส่วนประกอบหลักได้แก่แหล่งกำเนิดแสงโมโนโครเมเตอร์ เซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่าง และเครื่องตรวจวัด โดยในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงจะต้องให้แสงที่คงที่อย่างต่อเนื่อง แต่แสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดนั้นจะมีความยาวคลื่นต่างๆ ดังนั้นจึงต้องใช้โมโนโครเมเตอร์เป็นตัวกระจายแสงออกเพื่อให้แสงที่จะผ่านไปยังตัวอย่างมีความยาวคลื่นค่าเดียวตามที่ต้องการหลังจากนั้นแสงความยาวคลื่นค่าเดียวจะผ่านไปยังเซลล์ที่บรรจุสารตัวอย่าง และสารเปรียบเทียบ (Cuvettes) สำหรับเครื่องตรวจวัด จะทำการบันทึกค่าความยาวคลื่น ร่วมกับค่ามุมของแต่ละความยาวคลื่นที่เกิดการดูดกลืน ผลของสเปกตรัมที่ได้จะแสดงในรูปของกราฟระหว่างค่า Absorbance และค่าความยาวคลื่น [37]

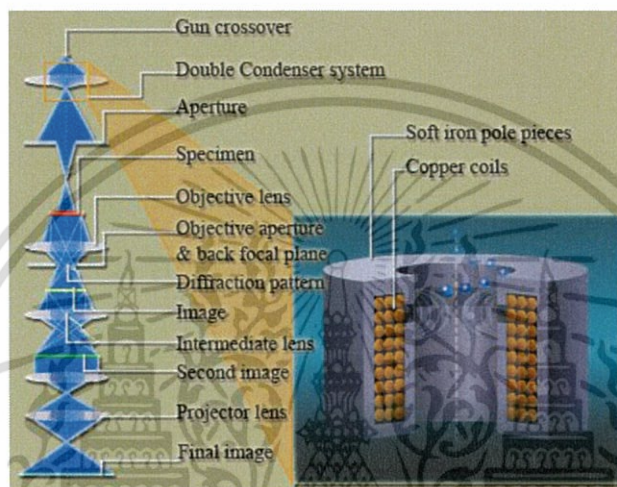
### 2.5.2 Transmission electron microscope (TEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง เครื่อง TEM เหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจจแจงรายละเอียด สูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1นาโนเมตร)

หลักการทํางานของ TEM จะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษา (Specimen) ไป ซึ่งตัวอย่างที่จะศึกษาจะต้องมีลักษณะที่แบนและบางมาก (บ่อยครั้งที่พบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1 - 100 นาโนเมตร) จากนั้นจะเกิดการกระเจิงอนุภาคขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไป และอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนี้ก็จะถูกปรับโฟกัสของภาพโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ขยายภาพให้ได้รายละเอียดมากที่สุด จากนั้นจะได้รับการขยายด้วยเลนส์ทอดภาพไปสู่จอร์รับ (Projector lens) และปรับโฟกัสของลำอนุภาคอิเล็กตรอนให้ยาวพอดีที่จะปรากฏบนฉากร่องแสง สุดท้ายจะเกิดการสร้างภาพขึ้นมาได้ [38]



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) [39]

จากรูปที่ 2.6 แสดงถึงส่วนประกอบและการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน โดยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนจะรวบรวมแสงให้มาตกกระทบที่ตัวอย่าง ลำอิเล็กตรอนจะผ่านตัวอย่างไปยังแท่นวางตัวอย่างและเลนส์แม่เหล็ก ซึ่งทำหน้าที่ในการขยายภาพ และจะถูกขยายต่อโดยจอ ร่องแสงและฉายภาพบนฉากร่องแสง

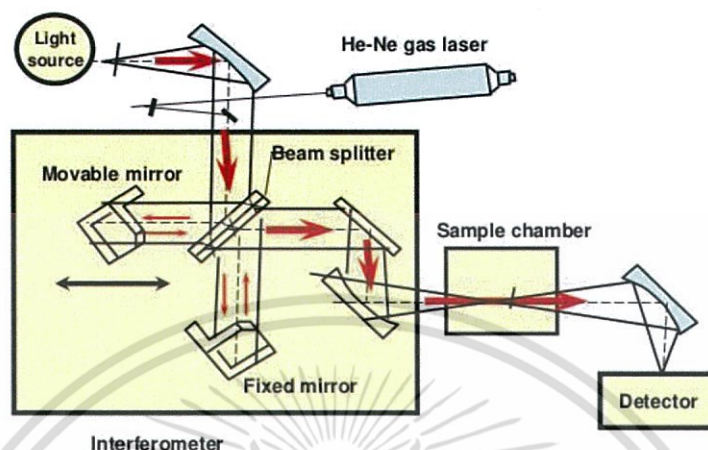
### 2.5.3 Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR)

FTIR เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์สารชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี เนื่องจากการวิเคราะห์ที่ไม่ยุ่งยาก ประกอบกับการ Sampling technique ที่หลากหลายทำให้สามารถประยุกต์ให้เข้ากับตัวอย่างได้ทุกสถานะ ไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ

หลักการของ FT-IR คือ จะมีการกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสง เมื่อแสงอินฟราเรด (Infrared light) ที่ความยาวคลื่นต่างๆผ่านผู้สารอินทรีย์ พันธะเคมีในโมเลกุลของสารจะดูดกลืนพลังงานที่ค่าความยาวคลื่นหนึ่ง ข้อมูลนี้จะถูกประมวลโดยคอมพิวเตอร์ โดยการใช้สมการดิฟเฟอเรนเชียล (Differential equation) ที่เรียกว่า Fourier transform ซึ่งจะคำนวณพลังงานของแต่ละความยาวคลื่น แปรผลออกมาเป็นสเปกตรัม เนื่องจากสารแต่ละชนิดให้สเปกตรัมที่มีลักษณะเฉพาะ จึงสามารถนำมาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสารที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ บ่งชี้ชนิดของสารตัวอย่างและโครงสร้างภายในของสารที่มีการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันไป FT-IR สามารถนำไปใช้ในการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการพาณิชย์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านนิติเวช ด้านสิ่งแวดล้อม อุตสาหกรรมสารเคมี และในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น การตรวจโปรตีน ไขมัน ความชื้น และสารอะโรมาติก โดยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วย FTIR มีการ Sampling หลายวิธี เช่น Attenuated total reflection (ATR), Transmission เป็นต้น [40]



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของเครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) [41]

จากรูปที่ 2.7 แหล่งกำเนิดรังสีอินฟราเรดจะทำการผลิตรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นที่ใช้ในการวิเคราะห์ ในส่วนของ Beam Splitter จะปล่อยให้ทะลุผ่านไป Fixed Mirror 50% และสะท้อนกลับไปที่ Mobile Mirror 50% โดย Fixed Mirror จะสะท้อนกลับไปที่ Beam Splitter และ Mobile Mirror จะสะท้อนกลับไปที่ Beam Splitter อินฟราเรดที่สะท้อนมาจากทั้ง Mobile Mirror และ Fixed Mirror จะมารวมกันและเกิดการแทรกสอดกันขึ้น อินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นต่างๆจะสะท้อนไปที่ Sample Compartment ผ่าน Sample ซึ่งจะมีการดูดกลืนอินฟราเรดเอาไว้บางส่วนในบางความยาวคลื่น ส่วนอินฟราเรดที่ไม่ถูกดูดกลืนก็จะผ่านเข้าสู่ Detector สัญญาณที่ได้คอมพิวเตอร์จะทำการแปลง สัญญาณ Interferogram ด้วยสมการ Fourier Transform ผลที่ได้จะเป็นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารที่มีความยาวคลื่นต่าง [41]

#### 2.5.4 Dynamic light scattering (DLS)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดขนาดอนุภาค และค่า Zeta potential ด้วยมุม  $90^\circ$  ในสารตัวอย่างคอลลอยด์ โดยระบบจะทำการวัดขนาดจากการกระเจิงของแสง ในขณะที่อนุภาคเกิดการเคลื่อนที่ตลอดเวลาในสารตัวกลางแบบ Brownian motion โดยระบบจะทำการตรวจจับความถี่ในการกระเพื่อมขึ้น-ลงของแสง เพื่อทำการคำนวณหาขนาดอนุภาค ด้วยการหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เลื่อนตำแหน่งของอนุภาค ซึ่งการเคลื่อนที่ของอนุภาค มีผลต่อความเข้มของแสงที่กระเจิงจากอนุภาค โดยอนุภาคขนาดใหญ่จะเกิดการความถี่ในการกระเพื่อมขึ้น-ลงของแสงที่กระเจิงต่ำ ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เลื่อนตำแหน่งต่ำ จะเคลื่อนที่ช้ากว่าอนุภาคขนาดเล็กซึ่งมีความถี่ในการกระเพื่อมของแสงที่กระเจิงสูงกว่า

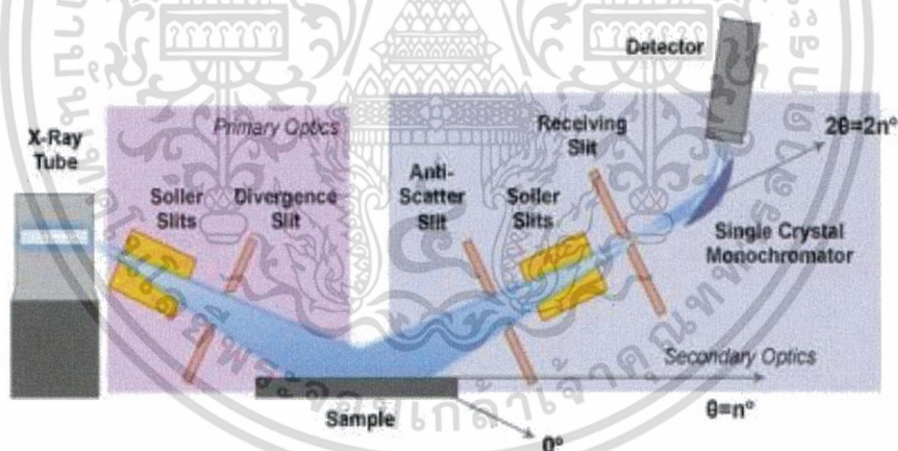
สำหรับค่า Zeta potential จะสัมพันธ์กับประจุบนผิวของอนุภาค ซึ่งมีผลต่อการตกตะกอน และการเกาะตัวกัน เทคนิคนี้จะทำการวัดการเคลื่อนที่ของอนุภาคในของเหลวภายใต้สภาวะที่มีสนามไฟฟ้า ซึ่งก็คือการวัดความเร็วของอนุภาคนั้นเอง โดยเมื่อให้สนามไฟฟ้าเข้าไปในเซลล์ อนุภาคจะเคลื่อนที่เข้าหาขั้วตรงข้ามกับชนิดของประจุ โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายใต้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สนามไฟฟ้าที่ให้นี้จะสัมพันธ์กับค่า Zeta potential ของคอลลอยด์ โดยเทคนิคนี้สามารถวิเคราะห์ขนาดอนุภาคในช่วง 0.3-5,000 นาโนเมตรและอนุภาคควรอยู่ในตัวกลางที่สามารถนำไฟฟ้าได้หรือมีค่าไดอิเล็กทริกค่อนข้างสูงเช่นน้ำ เป็นต้น [42]

### 2.5.5 X-ray diffraction (XRD)

เป็นเทคนิคที่มีการใช้กันแพร่หลายในการวิเคราะห์วัสดุต่างๆ โดยสามารถใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบชนิดปริมาณคุณภาพของสารประกอบแบบผลึกต่างๆได้โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อลำรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาคจะเกิดการหักเหของลำรังสีสะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบ เป็นเครื่องมือ ที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วย ในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิด จะมีขนาดของ Unit Cell ที่ไม่เท่ากัน ทำให้ Pattern ของการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่ออกมาไม่เท่ากัน ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆ กับ Pattern การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ได้ ซึ่งจะช่วยให้เราทราบว่า ในตัวอย่างนั้นๆ มีสารประกอบอะไรบ้างนอกจากผลการวิเคราะห์ของ XRD จะสามารถหาลำดับขององค์ประกอบของตัวอย่างได้แล้วนั้น ยังสามารถคำนวณหา ปริมาณขององค์ประกอบต่างๆ ที่อยู่ในตัวอย่าง, คำนวณหาขนาดอนุภาคของแต่ละ Unit cell, ความเครียดของตัวอย่าง, ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างได้อีกด้วย นอกจากนี้ ยังสามารถทำการวิเคราะห์ องค์ประกอบของฟิล์มบาง และคำนวณค่าความหนาของชั้นฟิล์มบางได้อีกด้วย [43]



รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง X-ray diffraction (XRD) [44]

จากรูปที่ 2.8 อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เมื่อลำรังสีตกกระทบวัตถุหรืออนุภาค จะเกิดการหักเหของลำรังสีสะท้อนออกมาทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมของลำรังสีตกกระทบ

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.6.1 การใช้อนุภาคเงินระดับนาโนที่ดัดแปรด้วยกลูตาไธโอนเพื่อเพิ่มความจำเพาะต่อการตรวจวัดปรอทที่ความเข้มข้นในระดับนาโนโมลาร์โดยวิธีการตรวจวัดเชิงสี

(Highly selective colorimetric detection and estimation of  $Hg^{2+}$  at nano molar concentration by silver nanoparticles in the presence of glutathione)

Ayesha Alam และคณะ [45] ศึกษาการตรวจวัดเชิงสีของปรอทโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนที่ดัดแปรด้วยกลูตาไธโอน โดยทำการสังเคราะห์สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ใช้สารทางชีวภาพ โดยใช้สารสกัดจากใบโศกอินเดีย (*Polyalthia longifolia*) และใช้สารละลายกลูตาไธโอนเข้ามามีส่วนร่วมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน เพื่อเพิ่มความจำเพาะต่อการตรวจวัดปรอทที่ความเข้มข้นระดับนาโนโมลาร์ โดยในขั้นตอนของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนทำได้โดยการผสมสารละลายที่ได้จากการสกัดใบไม้ 5 มิลลิลิตร กับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 45 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมงจะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสีเหลืองน้ำตาลเกิดขึ้น

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ซึ่งเป็นสารละลายสีเหลืองน้ำตาล พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 432 นาโนเมตร และเมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่งผ่าน (TEM) พบว่าอนุภาคเงินมีลักษณะทรงกลม ขนาดประมาณ 5 นาโนเมตร จากนั้นนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนไปตรวจวัดปรอทโดยการเติมสารละลายกลูตาไธโอนความเข้มข้น 1 โมลาร์ลงในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 แล้วเติมสารละลายปรอทลงไปที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 10 จนถึง 100 นาโนโมลาร์ พบว่ายิ่งความเข้มข้นของปรอทสูงขึ้นจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ดัดแปรด้วยกลูตาไธโอนมีค่าการดูดกลืนแสงลดลง จากการทดลองคณะผู้วิจัยจึงสรุปว่า วิธีในการวิเคราะห์นี้สามารถตรวจวัดปริมาณปรอทได้ตั้งแต่ช่วงความเข้มข้น 10 จนถึง 100 นาโนโมลาร์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9741 และโดยวิธีการวิเคราะห์นี้มีความสะดวก รวดเร็ว ประหยัด และมีความจำเพาะต่อการตรวจวัดปรอทสูง

### 2.6.2 ตัวรับรู้เชิงสีโดยใช้อนุภาคเงินในระดับนาโนสำหรับการตรวจวัดปรอทที่ง่ายและรวดเร็ว

(Selective colorimetric sensors based on the monitoring of an unmodified silver nanoparticles [AgNPs] reduction for a simple and rapid determination of mercury)

ปรีม จารุจรัส และคณะ [46] ศึกษาตัวรับรู้เชิงสีโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโน สำหรับการตรวจวัดปรอทที่ง่ายและรวดเร็ว โดยทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีขนาด 8.3 นาโนเมตร ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรท, โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ และใช้โซเดียมซัลไฟด์เป็นสารรักษาเสถียรภาพ เมื่อได้อนุภาคเงินระดับนาโนแล้วจึงนำไปตรวจวัดสารละลายปรอทที่ความเข้มข้น 50 ppm โดยผสมสารละลายปรอทลงในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน 1.5 มิลลิลิตร และนำปราศจากไอออน 5 มิลลิลิตร

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี พบว่า เมื่อความเข้มข้นของปรอท(II) เพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคเงินระดับนาโนจะลดลงอย่างต่อเนื่องและเปลี่ยนความยาวคลื่นช่วงสีฟ้า แสดงให้เห็นถึงการเกิดออกซิเดชันของ  $Ag(0)$  เป็น  $Ag(I)$  โดยอนุภาคเงินเอกสารถือเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับนาโนจะถูกออกซิไดซ์โดยปรอท ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนเกิดการสลายตัวเป็นอนุภาคที่เล็กลง ตลอดจนตัวกลางทำการรีดักชัน Hg(II) เป็น Hg(0) และถูกดูดซับบนพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโน โดยการดูดซับของปรอททำให้พื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนขาดประจุ เนื่องจากการลดลงของประจุลบของโมเลกุลซัลเฟตที่ครอบคลุมพื้นผิวนั้นทำให้อนุภาคเงินขยายใหญ่ขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสี (R<sup>2</sup>) เท่ากับ 0.995 โดยวิธีการวิเคราะห์นี้มีความไว รวดเร็ว และง่ายสำหรับการตรวจวัดปรอทในตัวอย่างน้ำ

### 2.6.3 การใช้สารละลายเงินที่สังเคราะห์ร่วมกับ 3,3',5,5'-tetramethylbenzidine (TMB) เพื่อให้มีความไวและจำเพาะต่อการตรวจวัดกลูต้าไธโอนด้วยวิธีการตรวจวัดเชิงสี (Highly sensitive and selective colorimetric detection of glutathione based on Ag(I) ion-3,3',5,5'-tetramethylbenzidine (TMB))

งานวิจัยของ Pengjuan Ni และคณะ [47] ได้นำเสนอการตรวจวัดกลูต้าไธโอนโดยใช้สารละลายเงินที่สังเคราะห์ร่วมกับ 3,3',5,5'-tetramethylbenzidine (TMB) ซึ่งเป็นสารอินดิเคเตอร์ที่ทำให้สารละลายเงินเป็นสีน้ำเงิน เมื่อนำสารละลายที่สังเคราะห์มาตรวจวัดกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้นต่างๆพบว่า สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินไปเป็นสารละลายในไม่มีสีเมื่อความเข้มข้นของสารละลายกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น ในขั้นตอนการสังเคราะห์สารละลายเงินร่วมกับสารละลาย 3,3',5,5'-tetramethylbenzidine (TMB) โดยผสมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 1,5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 ไมโครลิตร กับสารละลาย TMB เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 ไมโครลิตร จะได้สารละลายสีน้ำเงิน (TMB-Ag<sup>+</sup>) ซึ่งใช้สำหรับตรวจวัดกลูต้าไธโอน

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี พบว่า สารละลาย TMB-Ag<sup>+</sup> มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 652 นาโนเมตร และเมื่อนำสารละลาย TMB-Ag<sup>+</sup> ไปตรวจวัดกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้นต่างๆพบว่า เมื่อความเข้มข้นของกลูต้าไธโอนเพิ่มมากขึ้นสีของสารละลาย TMB-Ag<sup>+</sup> มีแนวโน้มเปลี่ยนจากสารละลายสีน้ำเงินเป็นสารละลายใสไม่มีสี โดยค่าการดูดกลืนแสงจะลดลง ทั้งนี้อาจเกิดจากสาเหตุสองประการดังนี้คือ เมื่อมีการเติมกลูต้าไธโอนลงในสารละลาย TMB-Ag<sup>+</sup> กลูต้าไธโอนอาจจะไปทำปฏิกิริยากับ TMB หรืออาจจะเกิดจากกลูต้าไธโอนเข้าไปทำปฏิกิริยากับ Ag<sup>+</sup> ซึ่งทั้งสองปฏิกิริยานี้จะไปยับยั้งกระบวนการออกซิไดซ์ของสารละลาย TMB จำทำให้สารละลายมีสีจางลงเมื่อความเข้มข้นของกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาความจำเพาะในการตรวจวัดของวิธี โดยทำการนำสารละลาย TMB-Ag<sup>+</sup> ไปทำการตรวจวัดซิสเตอีนและโฮโมซิสเตอีน ซึ่งสารทั้งสองมีความสามารถในการเข้าทำปฏิกิริยากับ Ag<sup>+</sup> ได้เหมือนกับกลูต้าไธโอนพบว่า สารละลายทั้งสองมีการตอบสนองต่อสารละลาย TMB-Ag<sup>+</sup> ได้น้อยมากเมื่อเทียบกับสารละลายกลูต้าไธโอน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีที่ใช้ในการตรวจวัดกลูต้าไธโอนนี้มีความไว และมีความจำเพาะต่อการตรวจวัดกลูต้าไธโอนสูงกว่าซิสเตอีนและโฮโมซิสเตอีน และสามารถวิเคราะห์ หาปริมาณกลูต้าไธโอนได้ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 0.05 ถึง 8 ไมโครโมลาร์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสี (R<sup>2</sup>) เท่ากับ 0.9996 และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (LOD) เท่ากับ 0.05 ไมโครโมลาร์

#### 2.6.4 การตรวจวัดเชิงสีของนิกเกิลโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ดัดแปลงด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเตอีน

(Glutathione and L-cysteine modified silver nanoplates based colorimetric assay for a simple, fast, sensitive and selective determination of nickel)

ธัญญาภรณ์ เกียรติกำจร และคณะ [48] ได้นำเสนอการตรวจวัดเชิงสีของนิกเกิลโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ดัดแปลงด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเตอีน โดยมีขั้นตอนการสังเคราะห์สองขั้นตอนคือ ขั้นตอนหนึ่งทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรด้วยวิธีการรีดักชันทางเคมีโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์และใช้เมทิลเซลลูโลสเป็นสารรักษาเสถียรภาพ และขั้นตอนที่สองคือ การดัดแปลงอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรด้วยกลูต้าไธโอนและแอลซิสเตอีน โดยนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่มีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 44 มิลลิลิตร และเติมแอล-ซิสเตอีน ที่มีความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จะได้สารคอลลอยด์สีชมพูที่มีการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรกับกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเตอีน

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ยังไม่ได้ดัดแปลงพบว่า มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 487 นาโนเมตร แต่เมื่อนำมาดัดแปลงด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเตอีนพบว่า มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 501 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างหมู่ไทโอลของกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเตอีน กับอนุภาคเงินระดับนาโน และเมื่อนำสารละลายนี้ไปทดสอบกับสารละลายนิกเกิลที่มีความเข้มข้นต่างๆ พบว่า สีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ดัดแปลงด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเตอีนมีการเปลี่ยนแปลงจากสารละลายสีชมพู เป็นสารละลายสีม่วงที่มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 618 นาโนเมตร ซึ่งสีที่เปลี่ยนไปเกิดจากนิกเกิลเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่เอมีน และหมู่คาร์บอกซิลิก โดยมีภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน (TEM) ช่วยยืนยันว่า เมื่อยังไม่ได้ทดสอบกับสารละลายนิกเกิล อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรจะมีการกระจายตัว แต่เมื่อนำนิกเกิลมาทดสอบพบว่าจะมีการรวมตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรเกิดขึ้น จากการทดลองสามารถวิเคราะห์หาปริมาณนิกเกิลได้ในช่วงความเข้มข้น 10 ถึง 150 ppb ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9971 และพบว่าค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจพบได้ (LOD) เท่ากับ 7.02 ppb และค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (LOQ) เท่ากับ 23.01 ppb โดยคณะผู้วิจัยได้สรุปว่า การวิเคราะห์นิกเกิลโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเมตร ที่ดัดแปลงด้วยกลูต้าไธโอน และซิสเตอีนนี้มีความจำเพาะเจาะจง และมีความไวในการวิเคราะห์นิกเกิลไอออน โดยเป็นวิธีที่สามารถตรวจวัดได้ง่ายและรวดเร็ว

#### 2.6.5 การเตรียมคอลลอยด์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยวิธีรีดักชันทางเคมี

(Preparation of colloidal silver nanoparticles by chemical reduction method)

กีซาง ซอง และคณะ [49] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยวิธีรีดักชันทางเคมี โดยจะเกิดการรีดักชันของซิลเวอร์ไนเตรทในน้ำด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ซึ่งเป็นตัวรีดิวซ์ โดยมีโซเดียมโดดิซิลซัลเฟตเป็นตัวรักษาเสถียรสภาพ ขั้นตอนการสังเคราะห์คือ ใส่สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทลงในสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์พร้อมกับโซเดียมโดดิซิลซัลเฟต ซึ่งไอออนของเงินจะถูกรีดิวซ์ด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ไปเป็นธาตุเงิน เกิดคอลลอยด์ของอนุภาคเงินระดับนาโน

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี ผลที่ได้คือ สีของสารละลายขึ้นกับความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทที่เติม เมื่อความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไนเตรทเพิ่มขึ้น สีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนจะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีน้ำตาล โดยมีค่าการดูดกลืนอยู่ที่ 400 นาโนเมตร ซึ่งโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์จะป้องกันการรวมตัวของอนุภาคเงินในระดับนาโน เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมโบโรไฮไดรด์เพิ่มขึ้นอนุภาคเกิดการกระจายตัวได้ดี และเมื่อใช้โซเดียมโอดีซัลเฟตในปริมาณที่เหมาะสม โซเดียมโอดีซัลเฟตจะถูกดูดกลืนบนพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนและป้องกันการรวมตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน

### 2.6.6 การตรวจวัดเชิงสีของสารกลุ่มไปโอไทฮอล โดยอาศัยการรวมตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน โดยมีไคโตซานเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ

(Colorimetric detection of biothiols base on aggregation of chitosan stabilized silver nanoparticles)

Somayeh Mohammadi และคณะ [50] ได้นำเสนอการตรวจวัดเชิงสีของสารในกลุ่มไปโอไทฮอล โดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโน โดยมีไคโตซาน ทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพโดยมีขั้นตอนการสังเคราะห์คือ นำสารละลายไคโตซาน 0.5 มิลลิลิตร และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำปริมาตร 100 มิลลิลิตรปั่นกวน 10 นาที จากนั้นเติม 8.8 มิลลิกรัมของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ จากนั้นปั่นกวนต่ออีก 2 ชั่วโมง จะได้สารละลายคอลลอยด์สีเหลืองของ Chitosan-AgNPs

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล แอปซอร์พชัน สเปกโทรสโกปี ผลที่ได้คือ Chitosan-AgNPs มีค่าการดูดกลืนอยู่ที่ 415 นาโนเมตร และเมื่อใส่สารกลุ่มไปโอไทฮอล ลงไปสีของสารละลาย Chitosan-AgNPs จะเปลี่ยนสีจากสารละลายสีเหลือง เป็นสารละลายสีส้ม และมีค่าการดูดกลืนอยู่ที่ 500 นาโนเมตร เนื่องจากสารกลุ่มไปโอไทฮอล สามารถถูกตรวจวัดได้จากอิทธิพลการรวมตัวของ Chitosan-AgNPs โดยอาศัย Hydrogen bonding และ electrostatic interactions แต่ในขณะที่อะมิโน แอซิด อื่นๆที่ไม่มี ไทฮอล กรุป จะไม่สามารถถูกตรวจวัดได้ จากการทดลองสามารถวิเคราะห์สารกลุ่มไปโอไทฮอล ได้ในช่วงความเข้มข้น 0.1-10 ไมโครโมลาร์ และมีค่าสัมประสิทธิ์การจัดสินใจ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9984

### 2.6.7 การตรวจวัดเชิงสีไอออนของตะกั่วโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกลูต้าไธโอนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ

(Colorimetric Detection of lead ions using glutathione stabilized silver nanoparticles)

I.V. Anambiga, และคณะ [51] ได้นำเสนอการศึกษาค่าการตรวจวัดไอออนของตะกั่วจากอนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีกลูต้าไธโอนช่วยรักษาเสถียรภาพด้วยเทคนิค การตรวจวัดเชิงสี โดยทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี ใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ ซิลเวอร์ไนเตรท และใช้กลูต้าไธโอนเป็นสารรักษาเสถียรภาพ ขั้นตอนในการสังเคราะห์ทำโดย นำสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์นำมาผสมกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ด้วยการปั่นกวนในอุณหภูมิห้องจะได้สารละลายสีเหลือง หลังจากปั่นกวนได้ 5 นาที จึงเติมสารละลายกลูต้าไธโอนลงไป 2 มิลลิลิตร จากนั้นปั่นกวนต่อในที่มีด 2 ชั่วโมง เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดได้สมบูรณ์ จากนั้นนำไปตรวจวัดกับไอออนของตะกั่วที่มีความเข้มข้น  $10^{-3}$  ถึง  $10^{-9}$  โมลาร์ และศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกลูต้าไธโอนรักษาเสถียรภาพอยู่นั้นในช่วงความเป็นกรด-เบสที่พีเอชต่างๆ

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี พบว่า ความเข้มข้นของไอออนของตะกั่วที่ต่ำที่สุดที่อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกลูต้าไธโอนรักษาเสถียรภาพอยู่สามารถเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจวัดได้ เท่ากับ  $10^{-9}$  โมลาร์ และในสภาวะความเป็นกรด-เบสที่พีเอช 3 ถึง 7 สารละลายจะเปลี่ยนสีจากเหลืองเป็นสีส้ม ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างไอออนของตะกั่วกับ หมู่เอมีน และหมู่คาร์บอกซิลิก จึงทำให้วิธีนี้มีความไวในการวิเคราะห์ และมีความจำเพาะกับไอออนของตะกั่ว

### 2.6.8 การตรวจวัดเชิงสีของกลูต้าไธโอนโดยอาศัยการกระจายตัวของอนุภาคทองระดับนาโน

(Anti-aggregation of gold nanoparticles based colorimetric sensor for glutathione with excellent selective and sensitivity)

Yan Li และคณะ [52] ได้นำเสนอการตรวจวัดเชิงสีของกลูต้าไธโอนโดยอาศัยการกระจายตัวของอนุภาคทองระดับนาโน ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยนำ Trisodium citrate ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลาย HAuCl<sub>4</sub> ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที จะได้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่มีสี Red-wine ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกัน (Aggregation) ของอนุภาคทองระดับนาโน จากนั้นทำการใส่ Sodium piperazinebisdithiocarbamate (ppzdtc) ความเข้มข้น 1.5 ไมโครลิตร ปริมาตร 350 ไมโครลิตร เพื่อไปยับยั้งการรวมตัวกัน (Aggregation) ของอนุภาคเงินระดับนาโน โดยจะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสีน้ำเงินขึ้นมาแทน นำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่เตรียมขึ้นได้มาทำการตรวจวัดสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 0, 8, 30, 50, 100 และ 250 นาโนโมลาร์

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงจาก 640 นาโนเมตร เป็น 520 นาโนเมตร เมื่อความเข้มข้นของกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น และสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากน้ำเงินเป็นสีม่วงและสุดท้ายเป็นสี Red-wine ซึ่งสอดคล้องกันกับการที่ Sodium piperazinebisdithiocarbamate (ppzdtc) เข้าไปยับยั้งการรวมตัวกัน (Aggregation) ซึ่งยืนยันได้จากผลการศึกษาด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy คือ เมื่อนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่มี ppzdtc ไปทำการตรวจวัดกลูต้าไธโอน อนุภาคของทองระดับนาโนจะเกิดการกระจายตัวขึ้น โดยงานวิจัยนี้ทางคณะผู้จัดทำได้พัฒนางานวิจัยให้มีความสะดวกต่อการตรวจวัดมากขึ้นและในขณะเดียวกันก็มีความไวและความจำเพาะเจาะจงต่อการตรวจวัดเชิงสีของกลูต้าไธโอน

### 2.6.9 การตรวจวัดเชิงสีของตะกั่วด้วยอนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีกรดอิมิโนไดแอซิดิกแอซิด เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ

(Colorimetric detection of lead (II) based on silver nanoparticles capped with iminodiacetic acid (IDA))

Yan Shang และคณะ [53] ได้นำเสนอการตรวจวัดเชิงสีของตะกั่วด้วยอนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีกรดอิมิโนไดแอซิดิกแอซิด เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยนำ 1 มิลลิลิตร ของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ใส่ลงใน 2 มิลลิลิตร ของสารละลาย IDA ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร จากนั้นทิ้งสารละลายผสมไว้ประมาณ 15 นาที จากนั้นใส่สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ลงไป และปั่นกวนทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชม. จะได้สารละลายสีเหลืองใสของอนุภาคเงิน

ระดับนาโนโดยมีกรดอะมิโน ไโดแอสิติก แอสิต เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่เตรียมขึ้นได้มาทำการตรวจวัดตะกั่วที่ความเข้มข้น 0, 0.4, 0.8, 2, 4, 6, และ  $8 \times 10^{-6}$  โมลาร์

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี พบว่าค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นจาก 396 นาโนเมตร เป็น 650 นาโนเมตร เมื่อความเข้มข้นของตะกั่วเพิ่มขึ้น และสีของสารละลายที่ได้จะเปลี่ยนจากสีเหลืองใส เป็น สีเหลืองเข้ม สีเหลืองอมเขียว และสุดท้ายกลายเป็นสีเขียวเข้ม โดยจะเปลี่ยนไปตามความเข้มข้นของตะกั่วที่เพิ่มขึ้น การตรวจวัดนี้สามารถอธิบายได้จากการรวมตัวกัน (Aggregation) ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีกรดอะมิโน ไโดแอสิติก แอสิต ทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ โดยสามารถยืนยันได้จากผลการศึกษาด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy คือเมื่อนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนไปทำการตรวจวัดตะกั่ว อนุภาคจะเกิดการรวมตัวกันขึ้น แตกต่างจากตอนที่ยังไม่ได้มีการตรวจวัดตะกั่วอนุภาคจะมีการกระจายตัวที่มากกว่า โดยทางคณะผู้จัดทำได้นำเทคนิคนี้ไปทำการตรวจสอบตะกั่วในตัวอย่างของน้ำประปา และตัวอย่างยูเรีย ได้ค่าร้อยละการคืนกลับเท่ากับ 93.7 % และ 98.6 %

#### 2.6.10 การเตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนและการควบคุมขนาดของอนุภาค

(Preparation of silver nanoparticles with controlled particle size)

Anna Zielinska และ คณะ [54] ได้นำเสนอการศึกษาการเตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนและการควบคุมขนาดของอนุภาคโดยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction) โดยได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 วิธี ได้แก่ วิธีที่หนึ่ง ใช้ซิลเวอร์ไอออนผสมกับโซเดียมโบโรไฮไดรด์ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ จะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสีเหลือง วิธีที่สอง ใช้ Polyvinyl pyrrolidone (PVP) ที่ทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพผสมกับซิลเวอร์ไอออนและแอสคอบิก แอซิดที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์จะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสีเขียว และวิธีสุดท้าย ใช้ Polyvinyl alcohol (PVA) ที่ทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพผสมกับซิลเวอร์ไอออนและแอสคอบิก แอซิดทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์จะได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสีแดง โดยทำการเตรียมสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ความเข้มข้น 250, 500 และ 1000 ppm

จากผลการศึกษาในวิธีที่หนึ่ง สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสีเหลืองจะมีรูปร่างของอนุภาคเป็นทรงกลม และเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี พบว่าอนุภาคทรงกลมนี้มีค่าความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy แสดงให้เห็นถึงขนาดของอนุภาคเงินทรงกลมระดับนาโนมีขนาดเท่ากับ  $8.0 \pm 1.7$  นาโนเมตร ในวิธีที่สอง สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสีเขียว เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี พบว่าอนุภาคทรงกลมนี้มีค่าความยาวคลื่นประมาณ 410 นาโนเมตร และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy แสดงให้เห็นถึงขนาดของอนุภาคเงินทรงกลมระดับนาโนมีขนาดอยู่ที่ 36-82 นาโนเมตร ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย และจากวิธีสุดท้ายสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสีแดงเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี พบว่ามีค่าความยาวคลื่นประมาณ 410 นาโนเมตร และจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy แสดงให้เห็นถึงขนาดของอนุภาคเงินทรงกลมระดับนาโนมีขนาดอยู่ที่ 44 นาโนเมตร จากการศึกษาที่ผู้วิจัยและคณะได้สรุปว่า การเตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้ตัวรีดิวซ์ที่ต่างกันส่งผลให้รูปร่างและขนาดของอนุภาคนั้นแตกต่างกันไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น ขั้นตอนหลัก 3 ดังต่อไปนี้ ขั้นตอนที่หนึ่งคือ การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน โดยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method) โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ และใช้พาทาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน ขั้นตอนที่สองคือ การศึกษาสภาวะในการตรวจวัดกลูต้าไรโอน โดยการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของกลูต้าไรโอนที่ถูกตรวจวัดด้วยอนุภาคเงินระดับนาโน และในขั้นตอนสุดท้ายคือการนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมาใช้ในการวิเคราะห์หากลูต้าไรโอน

### 3.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) โดยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method)

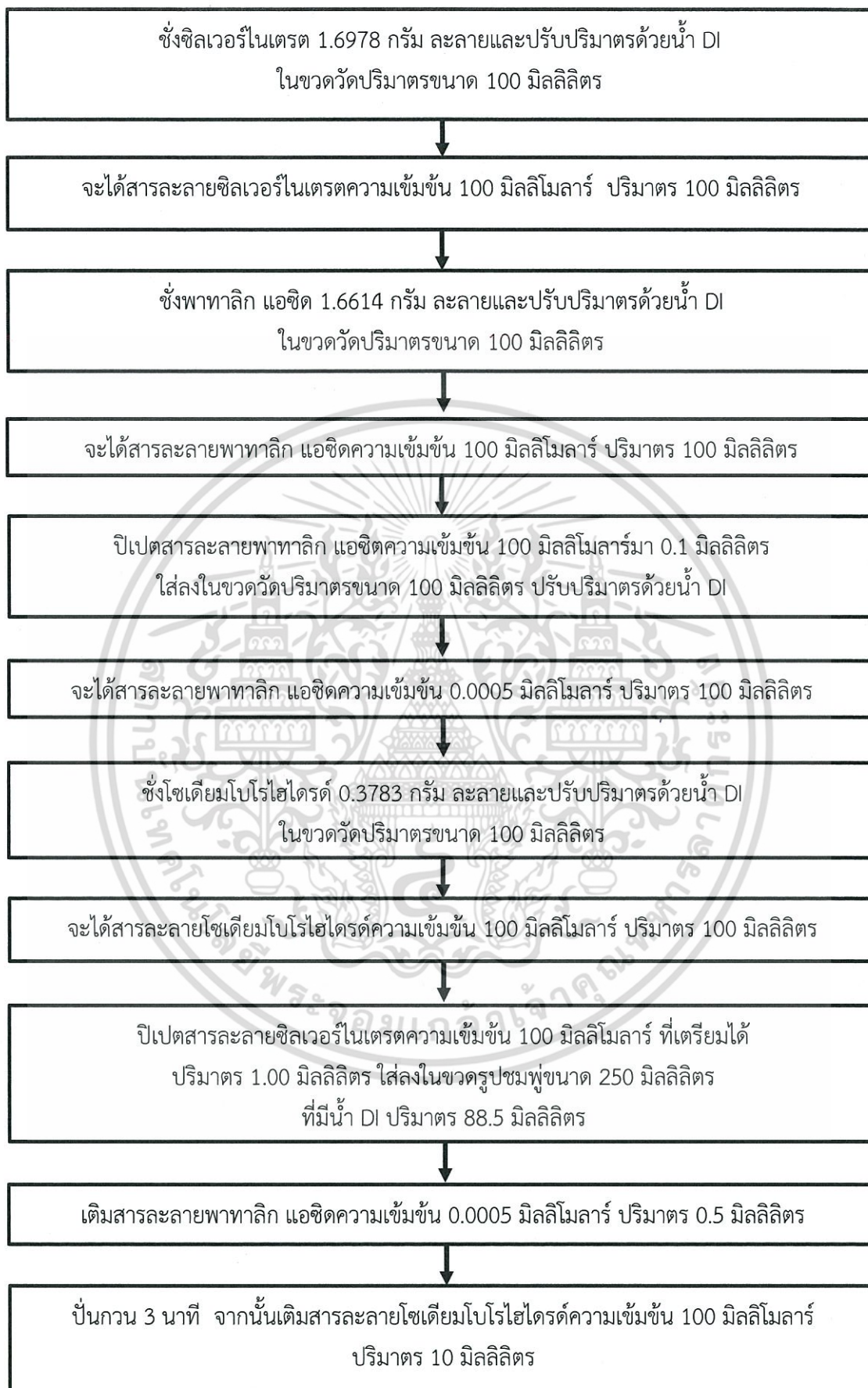
#### 3.1.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน

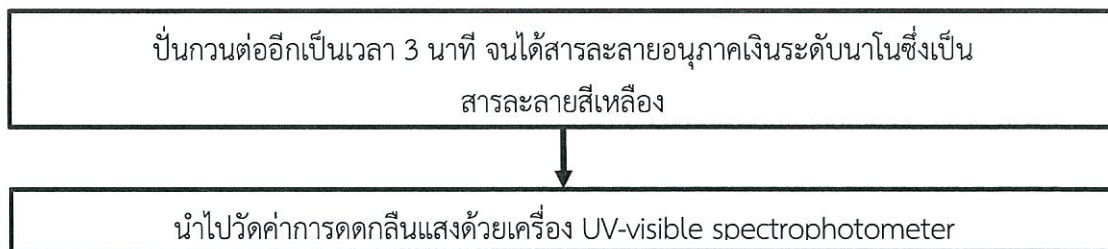
สารเคมี	ชื่อย่อ	บริษัทที่ผลิต
ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate)	AgNO <sub>3</sub>	Sigma-Aldrich
พาทาลิก แอซิด (phthalic acid)	C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> (COOH) <sub>2</sub>	Fluka chemmie AG
โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride)	NaBH <sub>4</sub>	Sigma-Aldrich
น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)	DI water	RHK Group

#### 3.1.2 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาทาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์

ปีเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.00 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่มีน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 88.5 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายพาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร พร้อมกับปั่นกวน 3 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปั่นกวนต่ออีกเป็นเวลา 3 นาที จนได้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนซึ่งเป็นสารละลายสีเหลือง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000–300 นาโนเมตร ซึ่งสามารถแสดงการทดลองได้ดังรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาทาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ด้วยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method)

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์คุณลักษณะของอนุภาคเงินระดับนาโน

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	เทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์
ศึกษาอิทธิพลจากความเข้มข้นของพาทาลิก แอซิดที่ทำให้เกิดสีของอนุภาคเงินระดับนาโน	UV-vis spectroscopy
ศึกษาลักษณะรูปร่าง และขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโน	Transmission electron microscopy (TEM)
ศึกษาค่าความคงตัวของกระจายตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน	Zeta potential
ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินระดับนาโน	Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR)
ศึกษาการจัดเรียงตัวของผลึกอนุภาคเงินระดับนาโน	X-ray diffraction (XRD)
ศึกษาคุณสมบัติทางเคมีที่ระดับผิวของอนุภาคเงินระดับนาโน	X-ray photoelectron spectroscopy (XPS)

3.2 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในการวิเคราะห์กลูต้าไธโอน

### 3.2.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.3 สารเคมีที่ใช้ศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในการวิเคราะห์กลูต้าไธโอน

สารเคมี	ชื่อย่อ	บริษัทที่ผลิต
สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน	AgNPs	-
กลูต้าไธโอน (Glutathione)	C <sub>10</sub> H <sub>17</sub> N <sub>3</sub> O <sub>6</sub> S	Sigma-Aldrich
น้ำปราศจากไอออน (Deionized water)	DI water	RHK Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 การศึกษาหาปริมาณกลูต้าไธโอนด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 100, 250, 500, 800 และ 1000 ppm ตามลำดับ จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้นดังกล่าวผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่พาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนต่อสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน เท่ากับ 1:2 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000–300 นาโนเมตร พร้อมทั้งสังเกตสีของสารละลายผสม ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ในการวิเคราะห์กลูต้าไธโอน

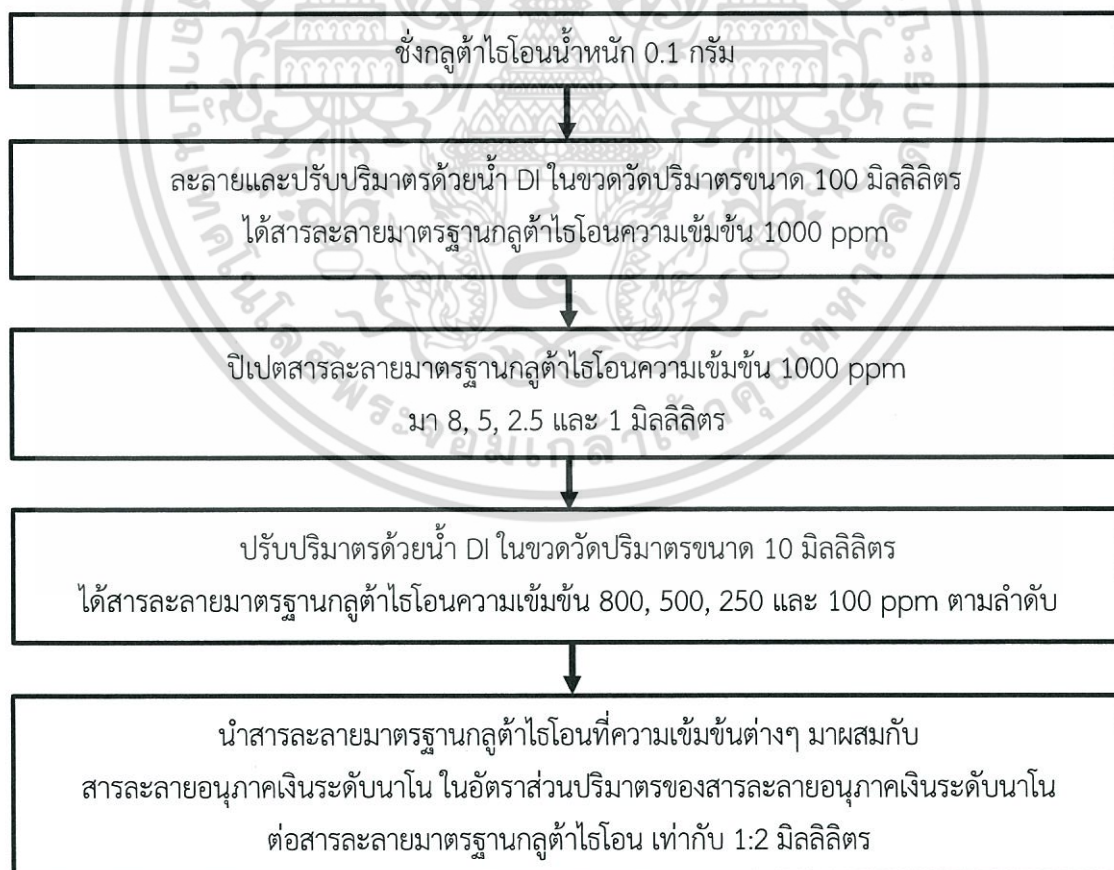
ตารางที่ 3.4 ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในการวิเคราะห์กลุ่มต้าไฮโอ

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์
ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับกลุ่มต้าไฮโอ	UV-vis spectroscopy
ศึกษาลักษณะรูปร่าง และขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับกลุ่มต้าไฮโอ	Transmission electron microscopy (TEM)
ศึกษาค่าความคงตัวของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน	Zeta potential

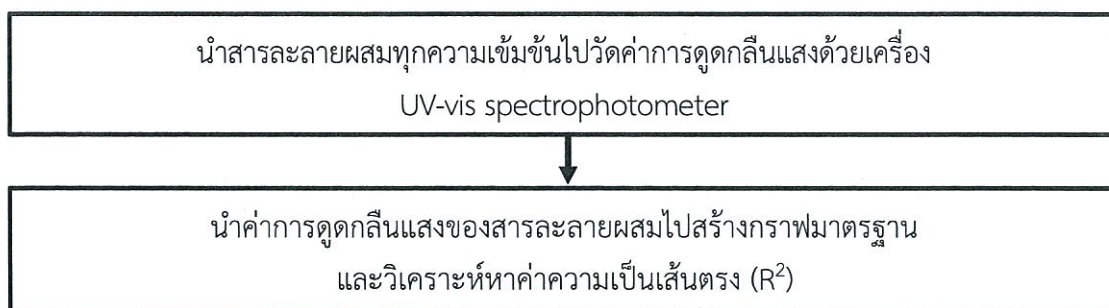
### 3.3 การศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณกลุ่มต้าไฮโอด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

#### 3.3.1 ศึกษาความเป็นเส้นตรง

ศึกษาโดยการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานกลุ่มต้าไฮโอที่มีความเข้มข้น 100, 250, 500, 800, และ 1000 ppm จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นเส้นตรง ( $R^2$ ) ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



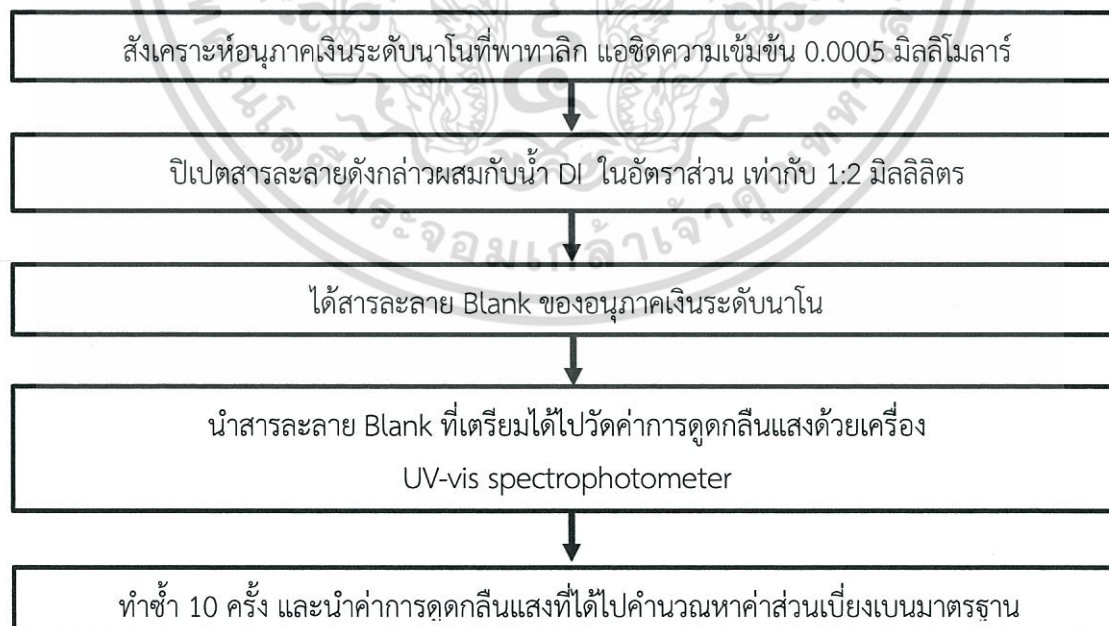
ตารางที่ 3.5 ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีการหาปริมาณกลูต้าไธโอน

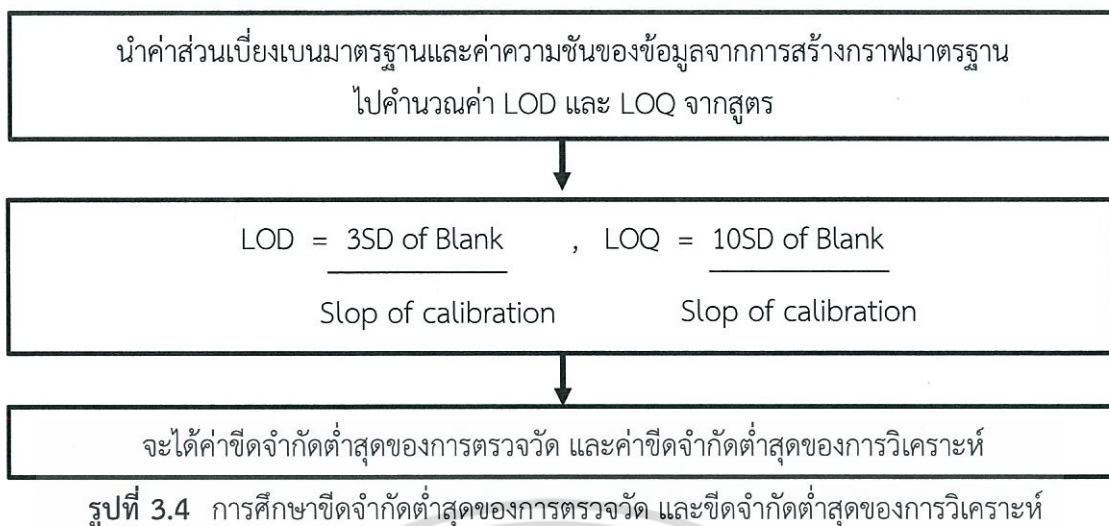
ตัวแปรที่ทำการศึกษา	เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์
ศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไธโอนด้วยอนุภาคเงินระดับนาโน	UV-vis spectroscopy

### 3.3.2 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation)

การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection) เป็นการศึกษาปริมาณที่ต่ำที่สุดของกลูต้าไธโอนที่ตรวจวัดได้ และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation) เป็นการศึกษาปริมาณต่ำสุดของกลูต้าไธโอนที่สามารถวิเคราะห์ได้ โดยอาศัยข้อมูลจากการสร้างกราฟมาตรฐาน

การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection) และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation) สามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.4





**ตารางที่ 3.6** ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไธโอน

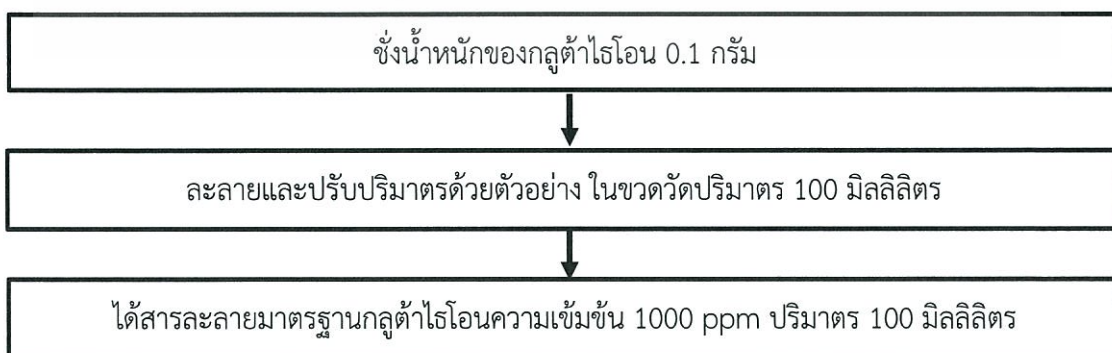
ตัวแปรที่ทำการศึกษา	เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์
ศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดและขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไธโอนด้วยอนุภาคเงินระดับนาโน	UV-vis spectroscopy

### 3.3.3 การศึกษาหาค่าร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery)

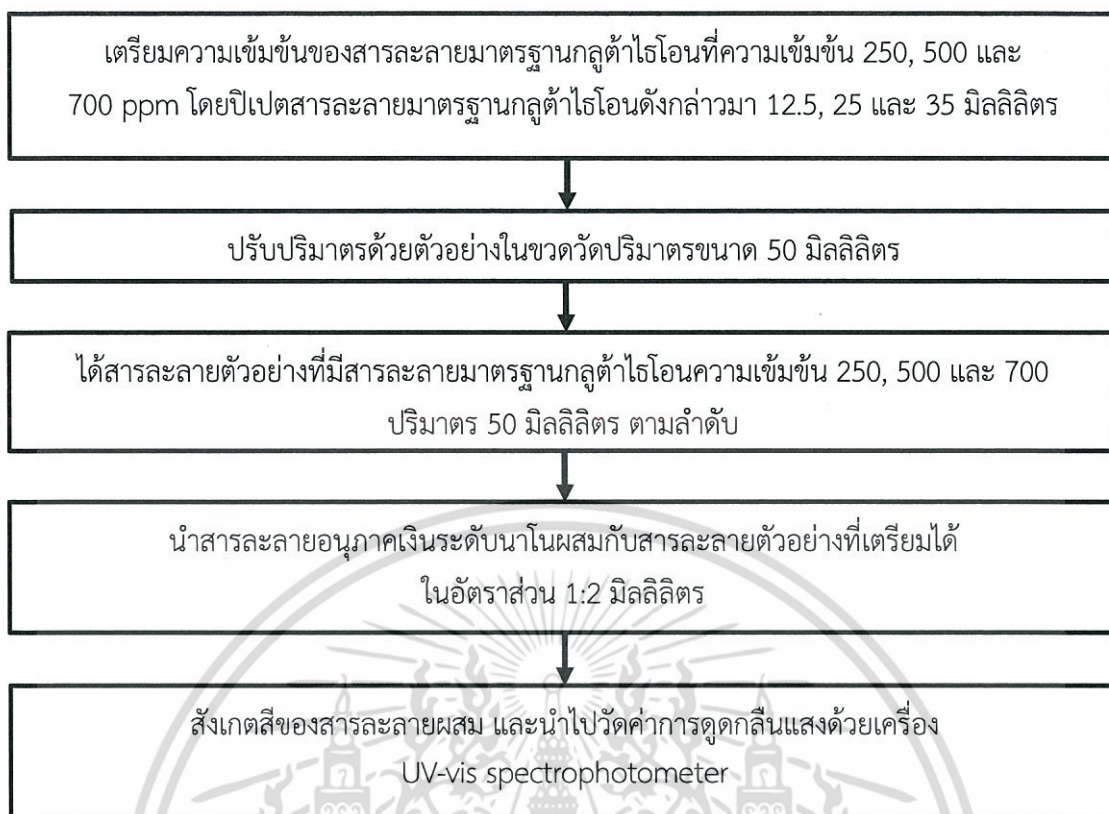
ตัวอย่าง : ผลิตภัณฑ์อาหารเสริมกลูต้าไธโอนที่เจือจางด้วยน้ำ DI 1000 เท่า

ความเข้มข้นสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่เติมลงไป : 250, 500 และ 700 ppm

ทำโดยเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 250, 500 และ 700 ppm ด้วยตัวอย่าง จากนั้นนำสารละลายกลูต้าไธโอนแต่ละความเข้มข้นผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่พาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนต่อสารละลายกลูต้าไธโอน เท่ากับ 1:2 มิลลิลิตร สังเกตสีของสารละลาย และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000-300 นาโนเมตร ซึ่งสามารถแสดงการทดลอง ดังรูปที่ 3.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



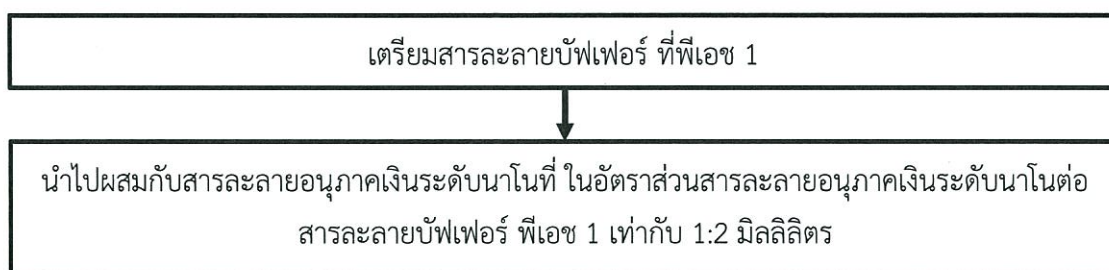
รูปที่ 3.5 การศึกษาห่าร้อยละของการคืนกลับ

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาห่าร้อยละของการคืนกลับ

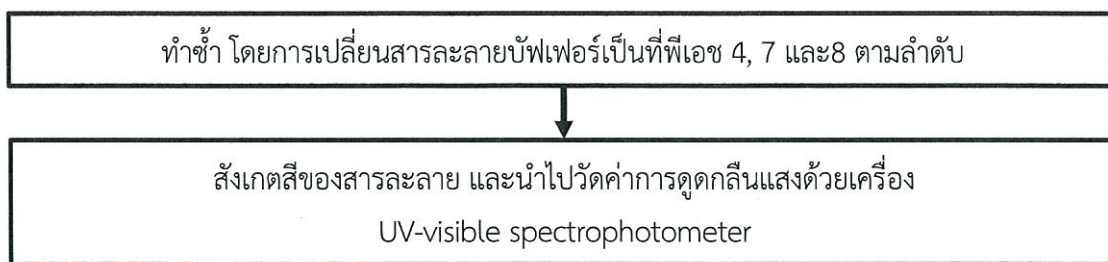
ตัวแปรที่ทำการศึกษา	เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์
ศึกษาห่าร้อยละการคืนกลับของสารมาตรฐานกลูต้าไรโอนด้วยอนุภาคเงินระดับนาโน	UV-vis spectroscopy

### 3.3.4 การศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

เตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ ที่พีเอชเท่ากับ 1, 4, 7 และ 8 จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่พาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วนสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนต่อสารละลายบัฟเฟอร์เท่ากับ 1:2 มิลลิลิตร สังเกตสีของสารละลายผสม และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000-300 นาโนเมตร ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.6



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

ตารางที่ 3.8 ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์
ศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน	UV-vis spectrophotometer

### 3.3.5 การศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนความเข้มข้น 500 ppm โดยใช้สารละลายบัฟเฟอร์ ที่พีเอชเท่ากับ 1, 4, 7 และ 8 เป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่พาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนต่อสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน เท่ากับ 1:2 มิลลิลิตร สังเกตสีของสารละลายผสม และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000-300 นาโนเมตร ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตสีของสารละลาย และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer

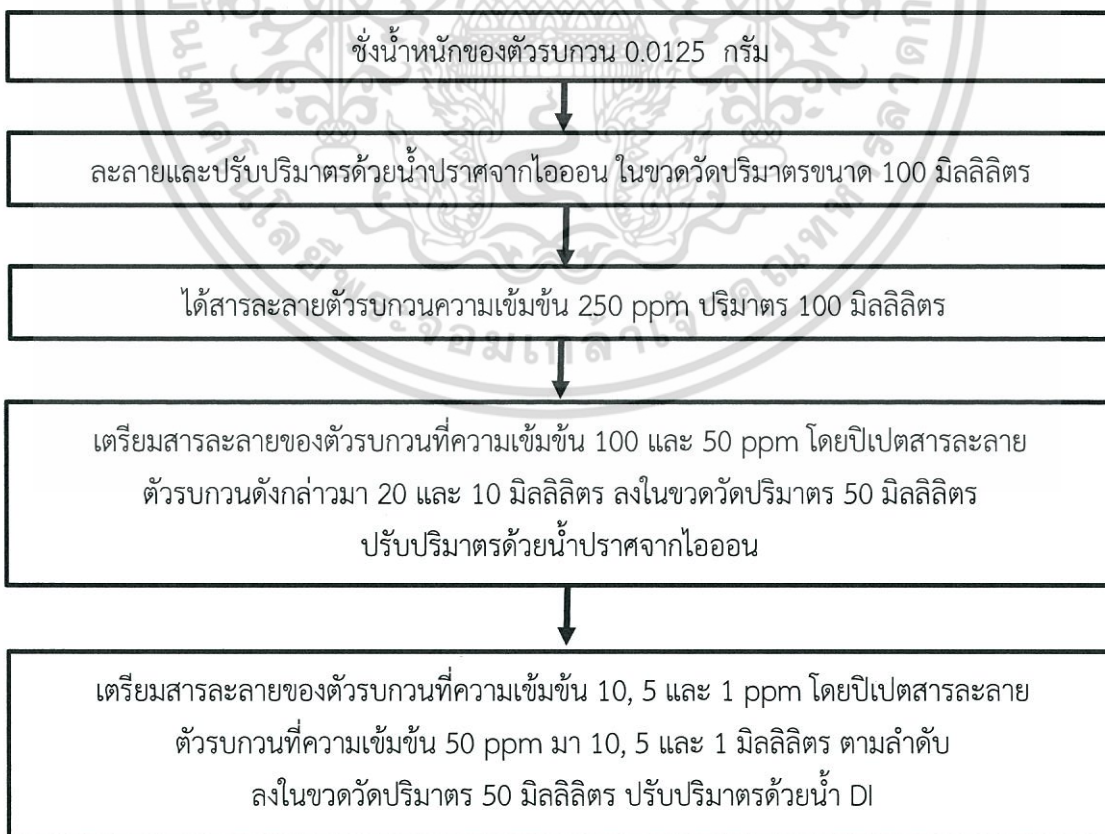
### รูปที่ 3.7 การศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 3.9 ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อการวิเคราะห์กลุ่มต้าไฮโอ

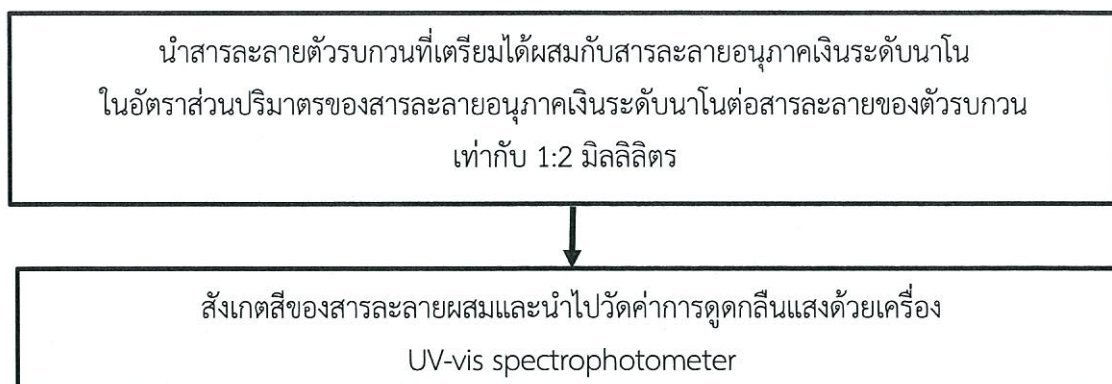
ตัวแปรที่ทำการศึกษา	เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์
ศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อการวิเคราะห์กลุ่มต้าไฮโอ	UV-vis spectrophotometer

### 3.3.6 การศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

เตรียมสารละลายโซเดียมไนเตรต, โพแทสเซียมไนเตรต, แมกนีเซียมซัลเฟต, แคลเซียมซัลเฟต, กรดแอสคอบิก, กลูโคส และซูโคส ความเข้มข้น 1, 5, 10, 50, 100 และ 250 ppm ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่พาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 มิลลิโมลาร์ ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนต่อสารละลายของตัวรบกวน เท่ากับ 1:2 มิลลิลิตร แล้วสังเกตสีสารละลายผสมและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000-300 นาโนเมตร ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 การศึกษาผลกระทบของตัวרבกวนที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

ตารางที่ 3.10 ตัวแปรและเทคนิคที่ใช้ศึกษาตัวרבกวนที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

ตัวแปรที่ทำการศึกษา	เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์
ศึกษาตัวרבกวนที่มีผลต่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน	UV-vis spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

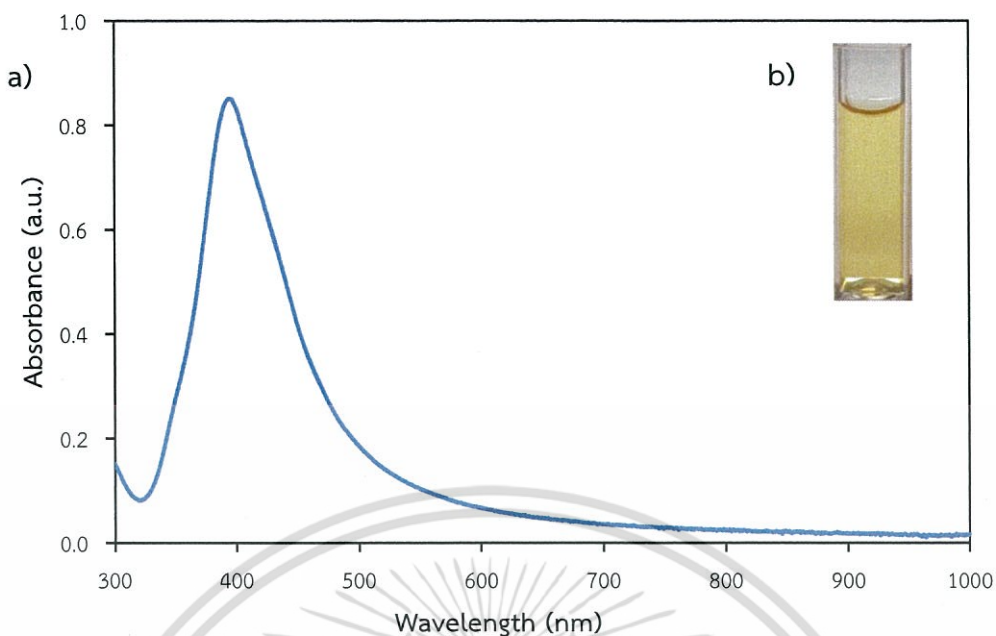
ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งผลการทดลอง และการอภิปรายผลออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ ดังต่อไปนี้ส่วนที่หนึ่งคือ การวิจัยและการอภิปรายผลจากการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงิน ระดับนาโน โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ และพาทาลิก แอซิด เป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์และรักษาเสถียรภาพอนุภาคเงินในระดับนาโน ส่วนที่สองคือ การวิจัยและการอภิปรายผลจากการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในการวิเคราะห์กลูต้าไอออน และส่วนสุดท้ายคือ การวิจัยและการอภิปรายผลจากการนำสารละลายอนุภาคเงินในระดับนาโนมาใช้ในการวิเคราะห์กลูต้าไอออน

### 4.1 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs)

ในการทดลองนี้มีความต้องการที่จะสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (Silver nanoparticles) โดยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method) โดยการใช้ พาทาลิก แอซิดเป็นสารรักษาเสถียรภาพ และใช้สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์อนุภาคเงินระดับนาโนให้กลายเป็นอนุภาคทรงกลม (AgNPs) โดยทำศึกษาสถานะการสั่นของอิเล็กตรอนบนพื้นผิวอนุภาคด้วยเทคนิคยูวี วิส สเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-vis spectrophotometry) ศึกษาขนาด และรูปร่างของอนุภาคโดยนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope ,TEM) ศึกษาสภาพความเป็นประจุบนพื้นผิวอนุภาคโดยการวัดค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential) ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรโฟโตเมทรี (Fourier Transform Infrared Spectrophotometry ,FT-IR) และศึกษาการจัดเรียงตัวของผลึกอนุภาคด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (X-ray- Diffractometry ,XRD)

#### 4.1.1 การศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยมีพาทาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์

ในการทดลองนี้ ทำโดยเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 mM ผสมกับสารละลายพาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 mM ปริมาตร 0.5 ml ที่ใช้ศึกษา ปั่นกวน 3 นาที จากนั้นเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 100 mM ปั่นกวนต่ออีกเป็นเวลา 3 นาที ตั้งทิ้งไว้ เพื่อให้ปฏิกิริยาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเกิดได้สมบูรณ์ แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-vis spectrophotometer โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000-300 nm ซึ่งผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.1

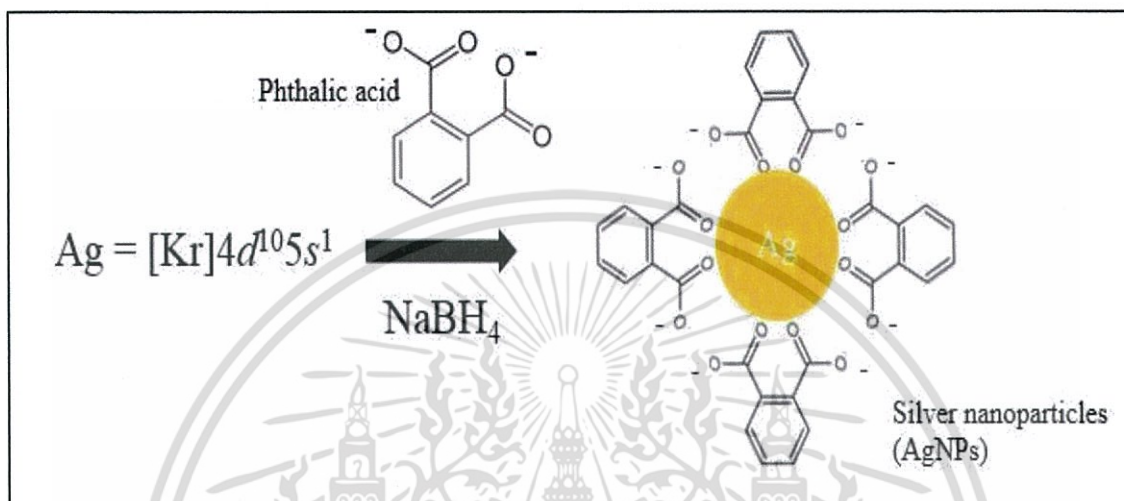
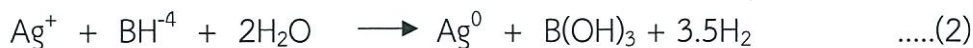
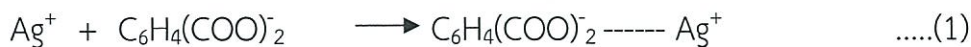


**รูปที่ 4.1** สเปกตรัมแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน และ(b) สีของสารละลายที่สังเคราะห์โดยใช้พลาทิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 mM

จากรูปที่ 4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงและสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดย มีพลาทิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 mM ทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพ และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ ซิลเวอร์ไอออน ( $Ag^+$ ) ให้เป็นอนุภาคเงินระดับนาโน ( $Ag^0$ ) และแสดงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเป็นสีเหลือง ส่งผลให้เกิดสเปกตราค่าการดูดกลืนแสง ณ ความยาวคลื่นสูงสุดที่ 397 nm พฤติกรรมการแสดงสีนี้เป็นไปตามทฤษฎีเซอร์เฟสพลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์เชิงแสงที่เกิดจากอันตรกิริยาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และอิเล็กตรอนที่อยู่ในโลหะระดับนาโน กล่าวคือ เมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกมาตกกระทบโลหะระดับนาโน กลุ่มอิเล็กตรอนที่ถูกจำกัดอยู่ในอนุภาคระดับนาโนจะเกิดการสั่นรวม (Collective oscillation) และเมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกมีความยาวคลื่นเดียวกันกับความยาวคลื่นที่อิเล็กตรอนสั่นใน อนุภาคนาโน จะทำให้เกิดการก่อกวนขึ้น ซึ่งอันตรกิริยาที่แสงกระทำต่อโลหะจะเกิดได้สองแบบ คือ แบบที่หนึ่ง แสงจะตกกระทบและสะท้อนออกไปด้วยความยาวคลื่นเท่าเดิมทุกทิศทาง เรียกว่า การกระเจิงแสง (Scattering) และแบบที่สองคือ ในขณะที่เดียวกันบางโฟตอนก็จะถูกดูดกลืน และถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานการสั่น เรียกว่าการดูดกลืนแสง (Absorption) โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างระดับนาโนของอนุภาคเงินจะเกิดทั้งกระบวนการกระเจิงแสง และกระบวนการดูดกลืนแสง ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคนาโน นั้นหมายความว่า อนุภาคที่อยู่ในสารละลายที่สังเคราะห์ขึ้นได้นั้นมีขนาดและรูปร่าง ที่ส่งผลให้การแสดงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเป็นสีเหลือง โดยขนาดและรูปร่างของอนุภาคเงินระดับนาโนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นเพราะอิทธิพลจากความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ เพื่อเป็นการยืนยันขนาดและรูปร่างของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ขึ้น จึงทำการศึกษาด้วยเทคนิคการตรวจวัดจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM) ซึ่ง

เอกสารแสดงผลในหัวข้อ 4.1.2 (ก) ต่อไป ารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) โดยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method) สามารถแสดงปฏิกิริยาดังรูปที่ 4.2 และสมการดังต่อไปนี้



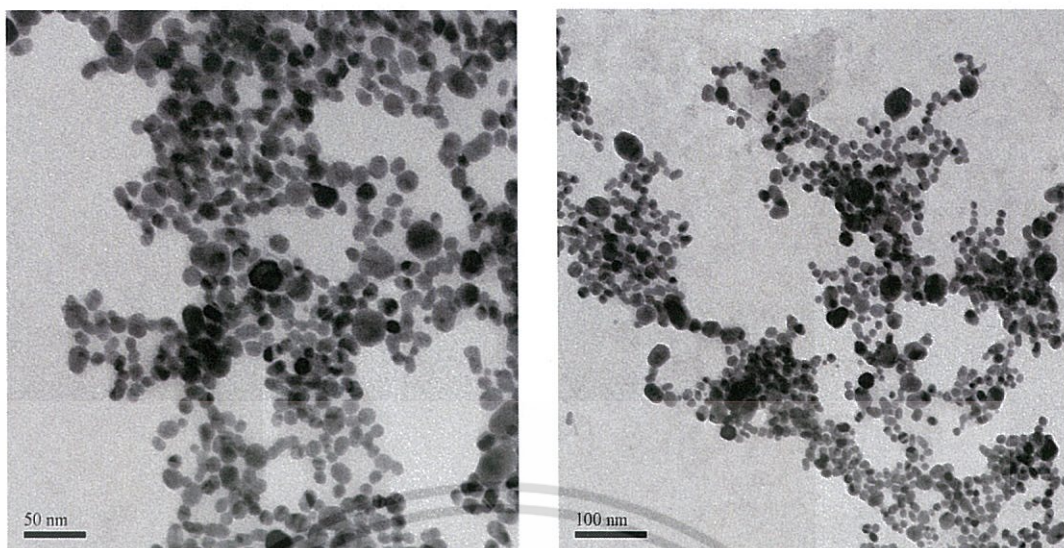
รูปที่ 4.2 กลไกปฏิกิริยาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs)

จากรูปที่ 4.2 แสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) ปฏิกิริยาเริ่มจากการเติมสารละลายพทาติก แอซิดซึ่งทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพลงในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต โดย Ag<sup>+</sup> กับหมู่คาร์บอกซิเลท (COO<sup>-</sup>) จากโครงสร้างของพทาติก แอซิด จะเกิดการให้และรับอิเล็กตรอน ทำให้เกิดเป็น Ag Phthalic Complex ขึ้นดังสมการที่ (1) จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ โดยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ จะทำหน้าที่รีดิวซ์ Ag<sup>+</sup> ให้เป็น Ag<sup>0</sup> ดังสมการที่ (2) และเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาจะได้อนุภาคเงินรูปร่างทรงกลมระดับนาโน (AgNPs) เกิดขึ้น

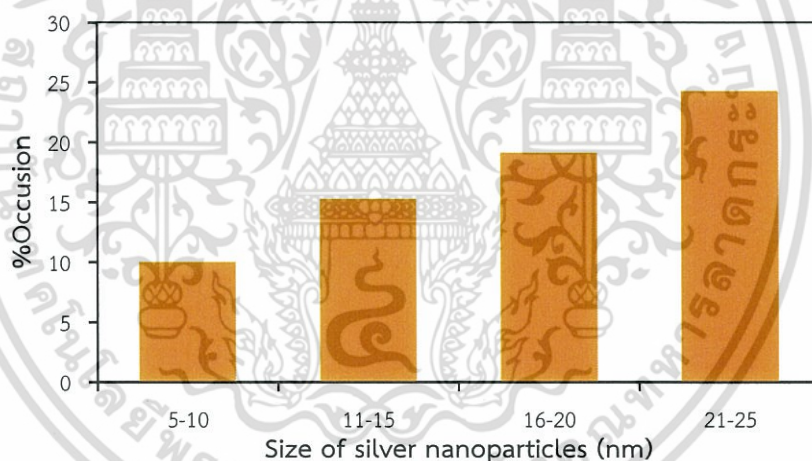
#### 4.1.2 การศึกษาลักษณะเฉพาะของอนุภาคเงินระดับนาโน

##### (ก) การศึกษาลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาคเงินในระดับนาโน

ในการทดลองนี้ ทำโดยเตรียมสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์โดยใช้พทาติก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 mM จากนั้นนำสารละลายไปหยดลงบนกริด แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) เพื่อศึกษาลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโน ซึ่งมีผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่พาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 mM



รูปที่ 4.4 กราฟแท่งแสดง Size distribution ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่พาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 mM

จากรูปที่ 4.3 และ 4.4 เมื่อทำการศึกษารูปร่างและขนาดของอนุภาคที่เกิดขึ้น พบว่ารูปร่างของอนุภาคเงินระดับนาโนที่เกิดขึ้นเป็นทรงกลม และมีขนาดของอนุภาคอยู่ที่ประมาณ 9–24 nm

(ข) การศึกษาสภาพความเป็นประจุบนพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโน ในการทดลองนี้ ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารละลายพาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 mM จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ไปตรวจวัดด้วยเทคนิค Zeta Potential คือการวัดค่าศักย์ซีต้า ซึ่งมีผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

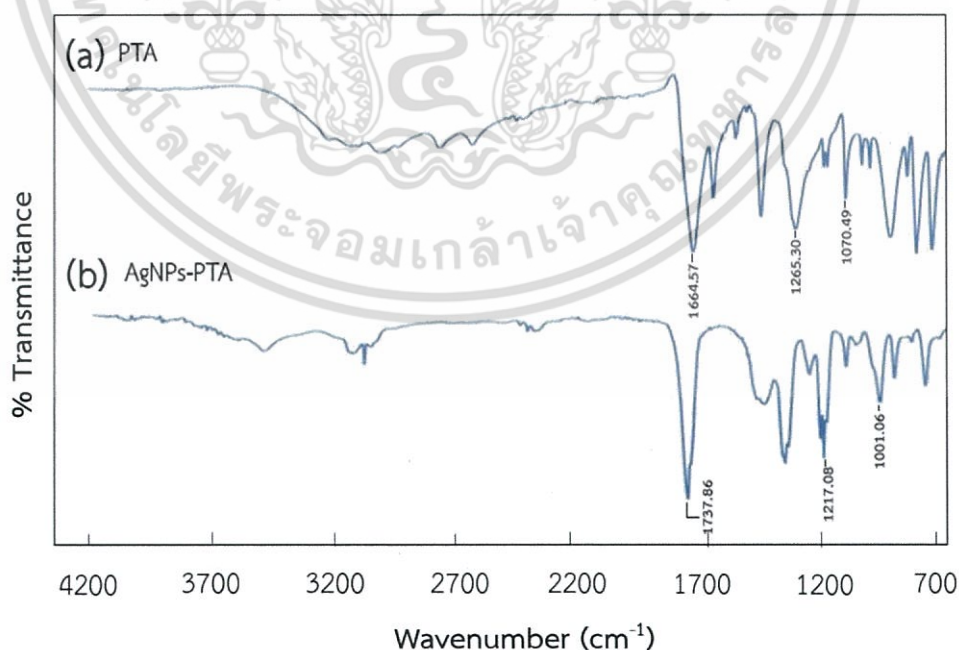
ตารางที่ 4.1 ค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential) ของอนุภาคเงินระดับนาโน

ครั้งที่	ค่าศักย์ซีต้าของอนุภาคเงินระดับนาโน (mV)
1	-35.70
2	-31.70
3	-29.25
เฉลี่ย	-32.22

จากตารางที่ 4.1 แสดงถึงค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential) ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ จะเห็นว่าค่าศักย์ซีต้าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ -32.22 mV ซึ่งแสดงถึงความเสถียรของอนุภาคเงินระดับนาโน ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคนาโนที่มีความเสถียรจะมีค่าศักย์ซีต้ามากกว่า +30 mV หรือ น้อยกว่า -30 mV

#### (ค) การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินในระดับนาโน

ในการทดลองนี้ ทำโดยเตรียมสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้พาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ รวมถึงพาหาลิก แอซิดบริสุทธิ์ ไปอบแห้งในตู้อบความร้อนควบคุมอุณหภูมิที่ 80-90 °C แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared (FTIR) ซึ่งมีผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 FTIR สเปกตรัมของ (a) พาหาลิก แอซิด และ (b) อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชันของพาทาลิก แอซิด และหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินระดับนาโน

Peak assignment	Phthalic acid (a) Peak (cm <sup>-1</sup> )	AgNPs (b) Peak (cm <sup>-1</sup> )
O-H stretching	-	-
C-H stretching	-	-
C=O stretching	1664	1737
C-H bending	-	-
C-O stretching	1070, 1265	1001, 1217

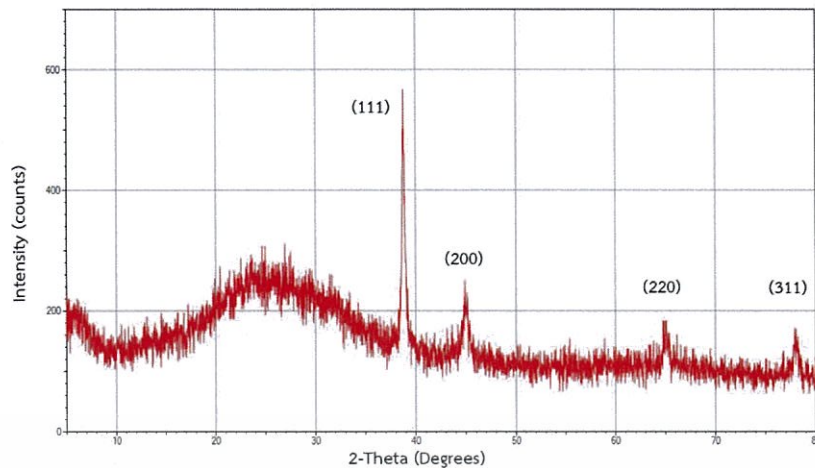
จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงค่า FTIR สเปกตรัมของพาทาลิก แอซิด และอนุภาคเงินระดับนาโน ที่มีพาทาลิก แอซิดเป็นสารรักษาเสถียรภาพ และตารางที่ 4.2 แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของพาทาลิก แอซิด(a) โดยปรากฏลักษณะการสั่นแบบยืดและหด (Stretching) ของพันธะ C-O stretching ที่เลขคลื่น 1070, 1265 cm<sup>-1</sup> และ ปรากฏลักษณะการสั่นแบบยืดและหด (Stretching) ของพันธะ C=O stretching ที่เลขคลื่น 1664 cm<sup>-1</sup> และหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาทาลิก แอซิดเป็นสารรักษาเสถียรภาพ โดยปรากฏลักษณะการสั่นแบบยืดและหด (Stretching) ของพันธะ C-O stretching ที่เลขคลื่น 1001, 1217 cm<sup>-1</sup> และปรากฏลักษณะการสั่นแบบยืดและหด (Stretching) ของพันธะ C=O stretching ที่เลขคลื่น 1737 cm<sup>-1</sup>

โดยเมื่อนำค่า FTIR สเปกตรัมของพาทาลิก แอซิดบริสุทธิ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่า FTIR สเปกตรัมของอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาทาลิก แอซิดเป็นสารรักษาเสถียรภาพ พบว่าสเปกตรัมที่แสดงถึงหมู่ฟังก์ชันของพาทาลิก แอซิดบริสุทธิ์เกิดการเปลี่ยนแปลงเลขคลื่น (Wave number) ขึ้น เมื่อนำมาเป็นสารรักษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินระดับนาโน คือเปลี่ยนจากพันธะ C=O stretching ที่เลขคลื่น 1664 cm<sup>-1</sup> เป็นที่เลขคลื่น 1737 cm<sup>-1</sup> ทั้งนี้เกิดจากอนุภาคเงินระดับนาโนเกิดการเรโซแนนซ์ชั้นที่หมู่คาร์บอกซิเลท (COO<sup>-</sup>) ซึ่งส่งผลให้การสั่นของอนุภาคนาโนเกิดการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้เลขคลื่นของพาทาลิก แอซิดเกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย และจากผลการศึกษาวิจัยจึงสามารถยืนยันได้ว่าสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีสารละลายพาทาลิก แอซิดทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพอยู่จริง

#### (ง) การศึกษาการจัดเรียงตัวของผลึกอนุภาคเงินในระดับนาโน

ในการทดลองนี้ ทำโดยวิธีการสร้างแผ่นฟิล์มบางขนาดนาโนด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer by Layer technique) โดยเริ่มจากการปรับสภาพพื้นผิวของแผ่นฟิล์มบางให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) ด้วยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุบวก คือ PDADMAC และสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่มีประจุลบ คือ PSS ให้ได้จำนวนชั้นของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ 5 ชั้น ซึ่งชั้นสุดท้ายจะแสดงประจุบวกของ PDADMAC จากนั้นนำแผ่นฟิล์มบางที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวแล้วจุ่มลงในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ เป็นเวลา 15 นาที และนำไปจุ่ม PDADMAC อีกเป็นเวลา 3 นาที ทำการจุ่มสลับไปมา จนแผ่นฟิล์มบางทึบแสง ซึ่งจำนวนชั้นของการจุ่มอยู่ที่ 36 ชั้น จากนั้นนำไปตรวจสอบการจัดเรียงตัวของผลึกบนฟิล์มบางขนาดนาโนด้วยเทคนิค X-ray Diffraction, XRD ซึ่งผลการทดลองแสดงดังในรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการจัดเรียงตัวของผลึกอนุภาคเงินระดับนาโน

จากรูปที่ 4.6 เป็นการพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคเงินระดับนาโน โดยการตรวจวัดด้วยเทคนิค XRD พบพีกเอกลักษณ์ซึ่งมีค่า 2-Theta เท่ากับ  $38.04^\circ$ ,  $44.08^\circ$ ,  $64.36^\circ$  และ  $77.22^\circ$  ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างแบบ Face-centered cubic (FCC) ของอนุภาคเงินที่มีระนาบในผลึกแบบ [111], [200], [220] และ [311]

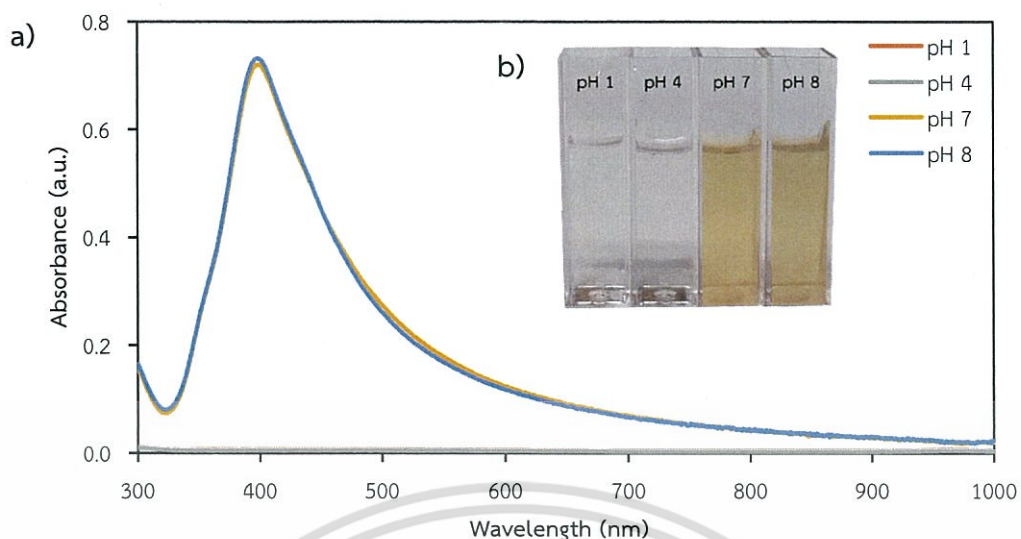
## 4.2 การศึกษาเสถียรภาพ

### 4.2.1 การศึกษาอิทธิพลค่าพีเอชบัฟเฟอร์ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน

ในการทดลองนี้ ทำโดยเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.001, 0.01 และ 0.05 M ที่ พีเอช เท่ากับ 1, 4, 7 และ 8 จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนต่อสารละลายบัฟเฟอร์ในอัตราส่วน 1:2 ml สังเกตสีของสารละลายผสม และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-vis spectrophotometry โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000 – 300 ppm ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.7 – 4.9

#### (ก) การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชบัฟเฟอร์ ที่ความเข้มข้น 0.001

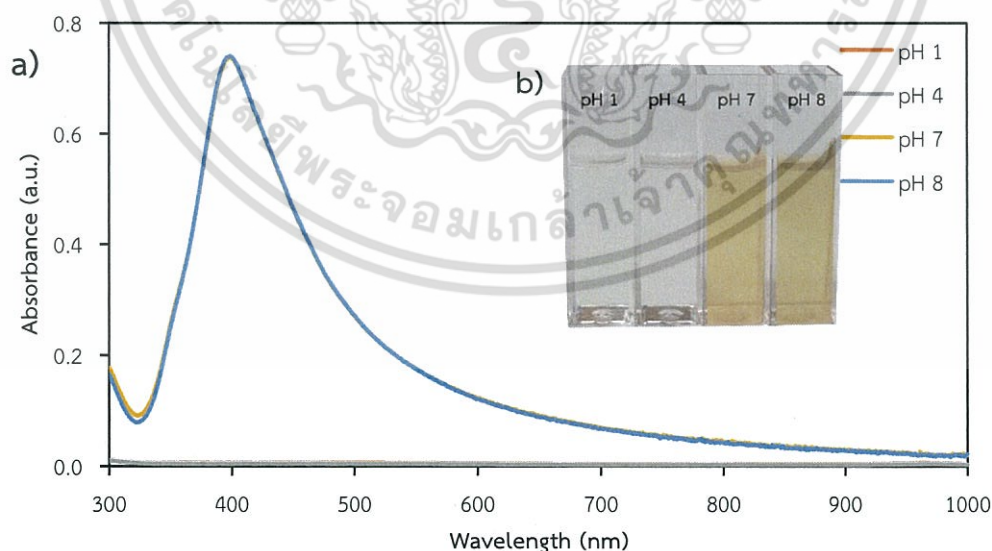
ในการทดลองนี้ ทำโดยเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.001 M ที่พีเอช เท่ากับ 1, 4, 7 และ 8 จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนต่อสารละลายบัฟเฟอร์ในอัตราส่วน 1:2 ml สังเกตสีของสารละลายผสม และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-vis spectrophotometry โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000 - 300 ppm ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สเปกตร้าแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับพีเอชบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.001 M ที่พีเอช 1, 4, 7 และ 8

(ข) การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.01 M

ในการทดลองนี้ ทำโดยเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 M ที่พีเอช เท่ากับ 1, 4, 7 และ 8 จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนต่อสารละลายบัฟเฟอร์ในอัตราส่วน 1:2 ml สังเกตสีของสารละลายผสม และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-vis spectrophotometry โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000–300 ppm ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.8

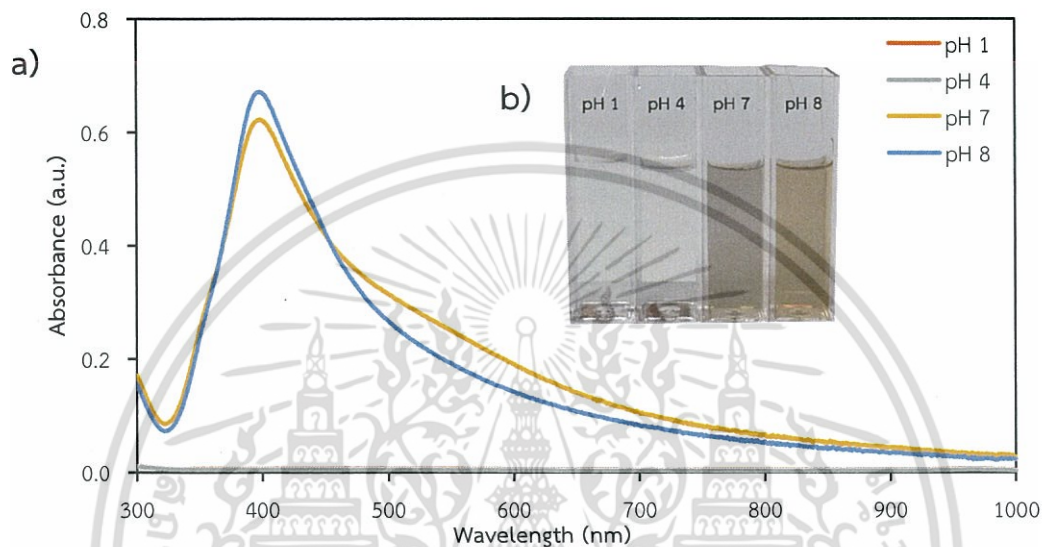


รูปที่ 4.8 สเปกตร้าแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับพีเอชบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.01 M ที่พีเอช 1, 4, 7 และ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

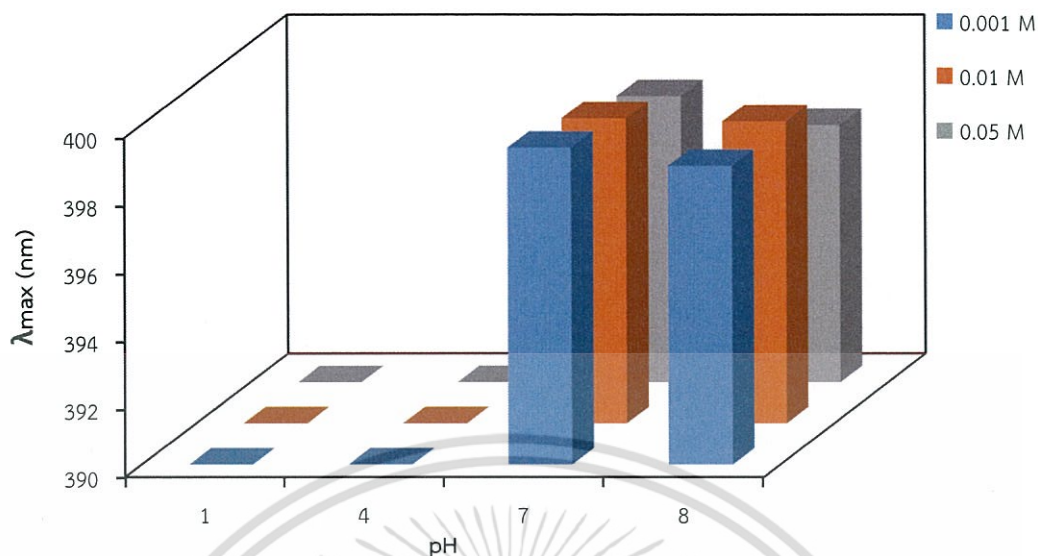
(ค) การศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.05 M

ในการทดลองนี้ ทำโดยเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.05 M ที่พีเอช เท่ากับ 1, 4, 7 และ 8 จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนต่อสารละลายบัฟเฟอร์ในอัตราส่วน 1:2 ml สังเกตสีของสารละลายผสม และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-vis spectrophotometry โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000 - 300 ppm ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 สเปกตราแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายเมื่อทำปฏิกิริยากับพีเอชบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.05 M ที่พีเอช 1, 4, 7 และ 8

จากรูปที่ 4.7 - 4.9 ผลการศึกษาความเสถียรภาพของอนุภาคเงินระดับนาโนจากอิทธิพลของพีเอช พิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.001, 0.01 และ 0.05 M ที่พีเอช 1, 4, 7 และ 8 ตามลำดับ พบว่าพีเอชที่ส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดคือพีเอช 1 และ 4 เนื่องจากอนุภาคเงินระดับนาโนเกิดการ Neutralization ของหมู่คาร์บอกซิเลท (COO) ในขณะที่พีเอช 7 และ 8 ไม่ส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสง ซึ่งเมื่อทำการแสดงข้อมูลในรูปแบบกราฟแท่งระหว่างค่าการดูดกลืนแสง กับค่าพีเอช 1, 4, 7 และ 8 ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.001, 0.01 และ 0.05 M จะได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.10



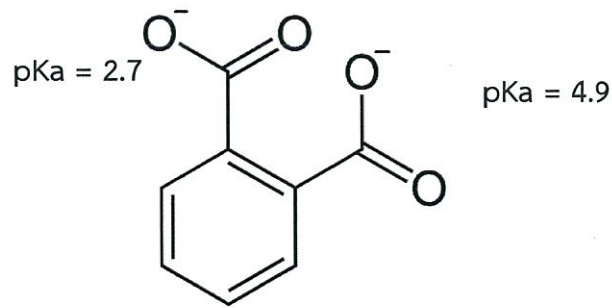
รูปที่ 4.10 กราฟแท่งแสดงค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของอนุภาคเงินระดับนาโนที่พีเอช 1, 4, 7, 8 และ 10 ของสารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.001, 0.01 และ 0.05 M

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด และค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบล็ก (%Relative error)

pH	0.001 M pH buffer		0.01 M pH buffer		0.05 M pH buffer	
	$\lambda_{\max}$ (nm)	% Relative error	$\lambda_{\max}$ (nm)	% Relative error	$\lambda_{\max}$ (nm)	% Relative error
1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
7	399	0.59	399	0.50	398	0.36
8	399	0.46	399	0.48	398	0.15

เมื่อพิจารณาค่าการแตกตัว (pKa) ของหมู่คาร์บอกซิเลท( $\text{COO}^-$ ) จากโครงสร้างของพาทาลิกแอซิดที่มีหน้าที่ในการรักษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินระดับนาโน ซึ่งมีค่า pKa เท่ากับ 2.76 และ 4.92 พบว่า ที่สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 1 และ 4 จะเกิดการ Protonated ของหมู่คาร์บอกซิเลท( $\text{COO}^-$ ) ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของหมู่คาร์บอกซิลิก( $\text{COOH}$ ) จึงส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนเกิดการตกตะกอนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



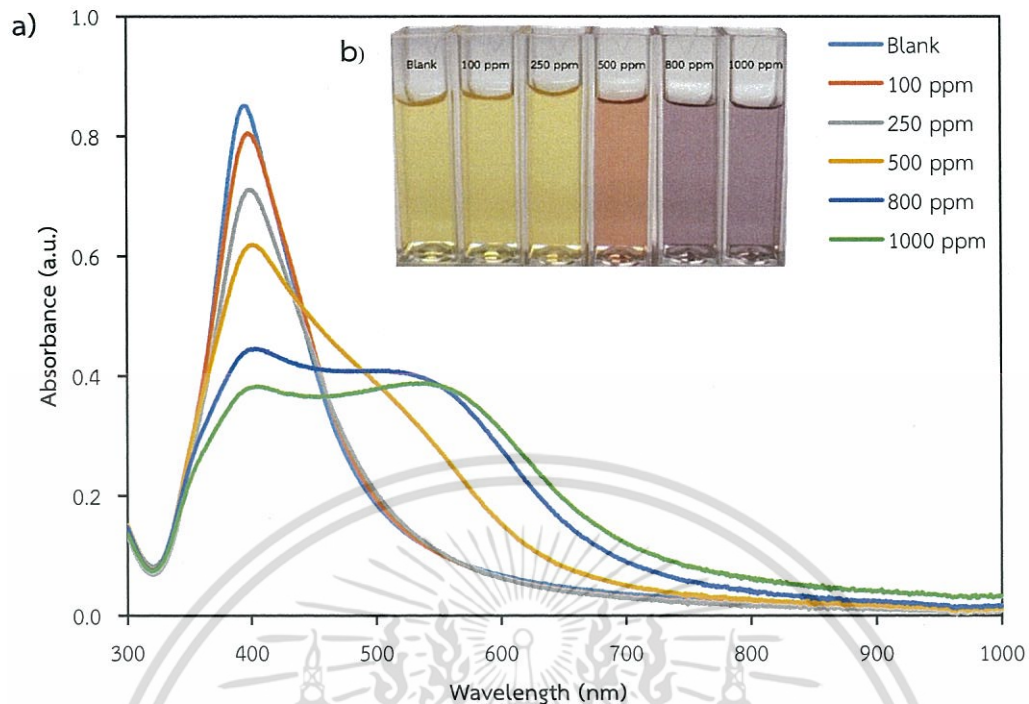
รูปที่ 4.11 สูตรโครงสร้างของพาทาลิก แอซิด

### 4.3 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในการวิเคราะห์ กลูต้าไรโอน

ในงานวิจัยนี้ต้องการนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) มาทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนเพื่อศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ต่างๆ ดังนี้คือ ศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนที่ถูกตรวจวัดด้วยสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ศึกษาความเป็นเส้นตรงของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน ศึกษาอิทธิพลของค่าพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไรโอน การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) ศึกษาขีดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation, LOQ) ศึกษาหาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery), ค่าความแม่นยำ (Precision) และศึกษาผลกระทบของตัวรบกวน (Interference) ที่มีผลต่อการวิเคราะห์

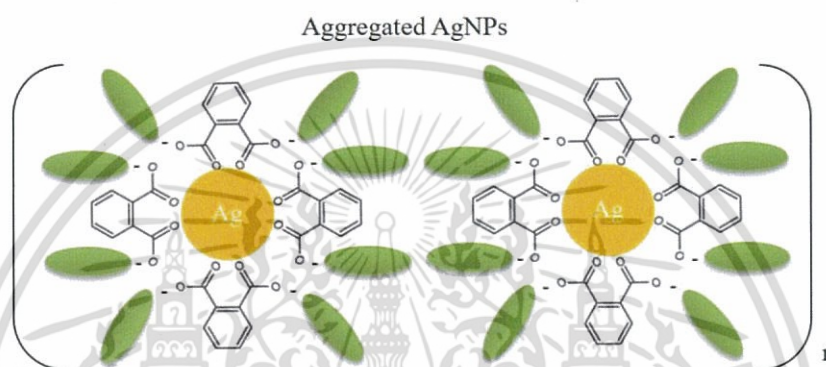
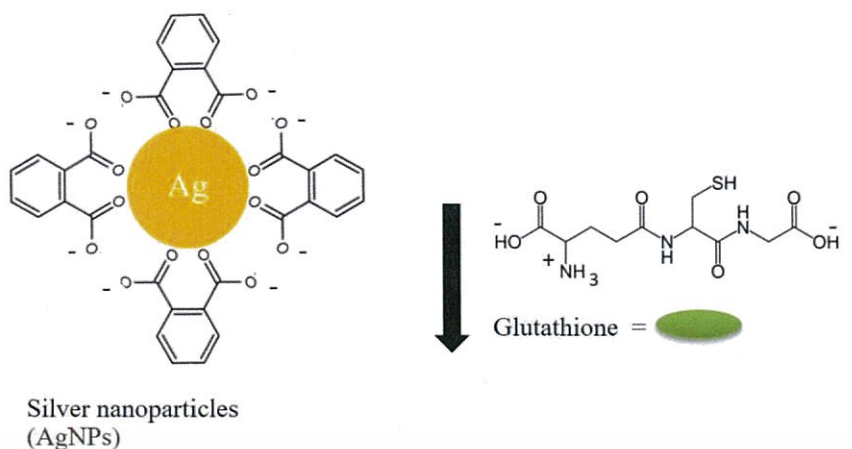
#### 4.3.1 การศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายกลูต้าไรโอน

ในการทดลองนี้ ทำโดยเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนที่มีความเข้มข้น 100, 250, 500, 800, และ 1000 ppm ตามลำดับ จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนที่มีความเข้มข้นดังกล่าวผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่พาทาลิก แอซิดความเข้มข้น 0.0005 mM ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนต่อสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน อัตราส่วน 1:2 ml จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000–300 nm พร้อมทั้งสังเกตสีของสารละลายผสม ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 4.12



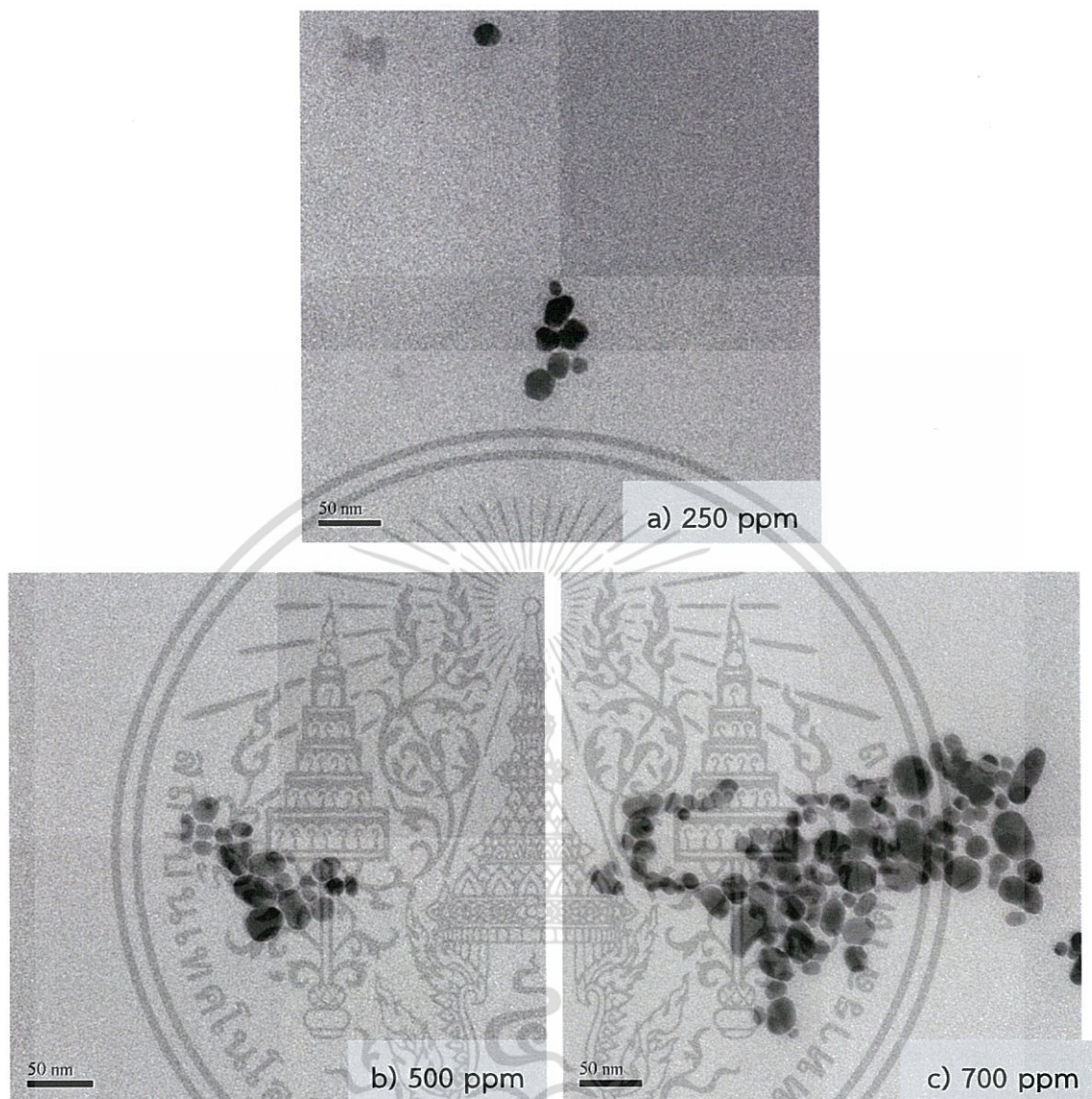
รูปที่ 4.12 สเปกตรัมแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน และ (b) ภาพแสดงสีของสารละลาย เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 100, 250, 500, 800, และ 1000 ppm ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพลาสมิกแอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์ เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 100, 250, 500, 800 และ 1000 ppm จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น สีของอนุภาคเงินระดับนาโนจะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีส้มและสีม่วงอ่อน ให้ผลการวิเคราะห์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (SPR) เคลื่อนจาก 397 nm ไปเป็น 560 nm เนื่องมาจากปฏิกิริยาไฟฟ้าสถิตทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน จากผลการศึกษาดังกล่าวนี้อาจแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 รูปแสดงกลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายอนุภาคภาคเงินระดับนาโนกับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน

จากรูป 4.13 แสดงให้เห็นว่า เมื่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนจะเกิดพฤติกรรมการรวมตัว (Aggregation) ของหมู่อะมิโน ( $\text{NH}_2$ ) จากโครงสร้างของกลูต้าไธโอน กับหมู่คาร์บอกซิเลท ( $\text{COO}^-$ ) จากอนุภาคเงินระดับนาโนภายใต้สภาวะแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic interactions) ทำให้ Dielectric constance of the medium เปลี่ยนแปลงไป จึงส่งผลให้เกิดการรวมตัวกัน (Aggregation) ขึ้น โดยการยึดยึดผลกรรวมตัวกันของอนุภาคเงินระดับนาโนและสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน สามารถอธิบายได้ด้วยการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ภาพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ของอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลูต้าโรอินที่ความเข้มข้น (a) 250 ppm, (b) 500 ppm และ (c) 700 ppm

จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นพฤติกรรมการรวมตัว (Aggregation) ของอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลูต้าโรอิน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าพฤติกรรมการรวมตัว (Aggregation) ที่เกิดขึ้นมีความสอดคล้องกับกลไกการเกิดปฏิกิริยาตามรูปที่ 4.13

เมื่อนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานคลูต้าโรอินความเข้มข้น 100, 250, 500, 800, และ 1000 ppm ไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Zeta potential สามารถแสดงผลได้ดังตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

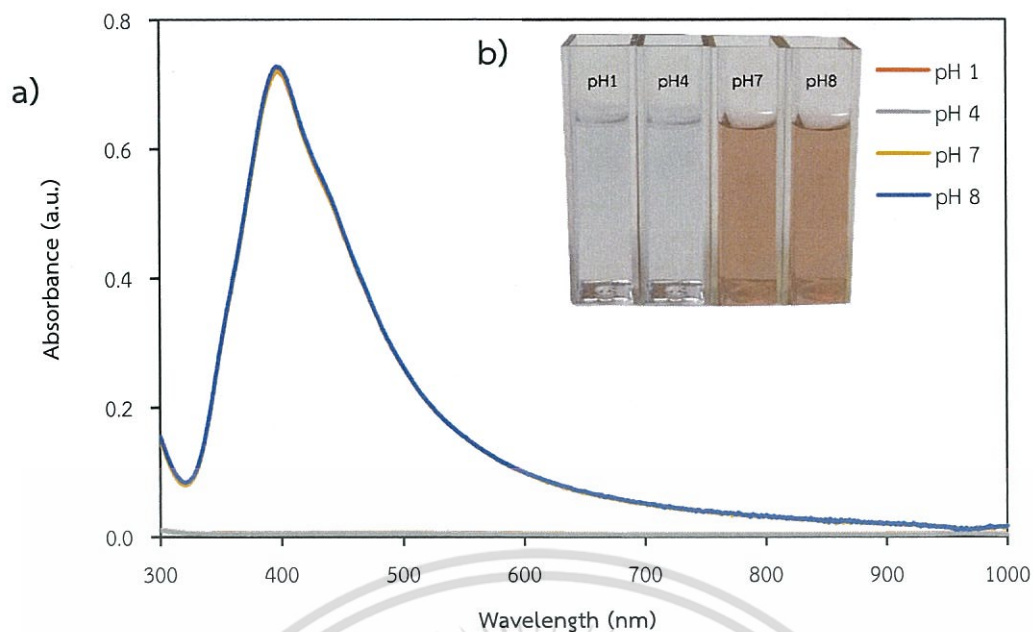
ตารางที่ 4.4 ศักย์ซีต้าของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนที่ความเข้มข้น 250, 500 และ 700 ppm

ครั้งที่	ค่าศักย์ซีต้า (มิลลิโวลต์) ที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน			
	Blank	250	500	700
1	-35.70	-26.42	-18.77	-14.70
2	-31.70	-26.71	-14.15	-14.41
3	-29.25	-24.05	-16.43	-14.13
ค่าเฉลี่ย	-32.22	-25.73	-16.45	-14.13

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงค่าศักย์ซีต้า เมื่ออนุภาคเงินระดับนาโนทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนเพิ่มขึ้น ค่าศักย์ซีต้าของอนุภาคเงินระดับนาโนจะมีค่าเป็นลบลดลง แสดงให้เห็นว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพหาลิก แอซิดเป็นสารรักษาเสถียรภาพ เกิดปฏิกิริยาการรวมตัว(Aggregation) กันจริง

#### 4.3.2 การศึกษาอิทธิพลค่าพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อการวิเคราะห์กลูต้าไรโอน

ในการทดลองนี้ ทำโดยเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.001 mM ที่มีพีเอช เท่ากับ 1, 4, 7 และ 8 เป็นตัวทำละลายสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนความเข้มข้น 500 ppm จากนั้นนำไปผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนต่อสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนในอัตราส่วน 1:2 ml สังเกตสีของสารละลายผสม และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-vis spectrophotometry โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000–300 ppm ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.15



**รูปที่ 4.15** สเปกตรัมแสดง (a) ค่าการดูดกลืนแสงและ (b) ภาพแสดงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนความเข้มข้น 500 ppm ที่สารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.001 M พีเอช 1, 4, 7 และ 8

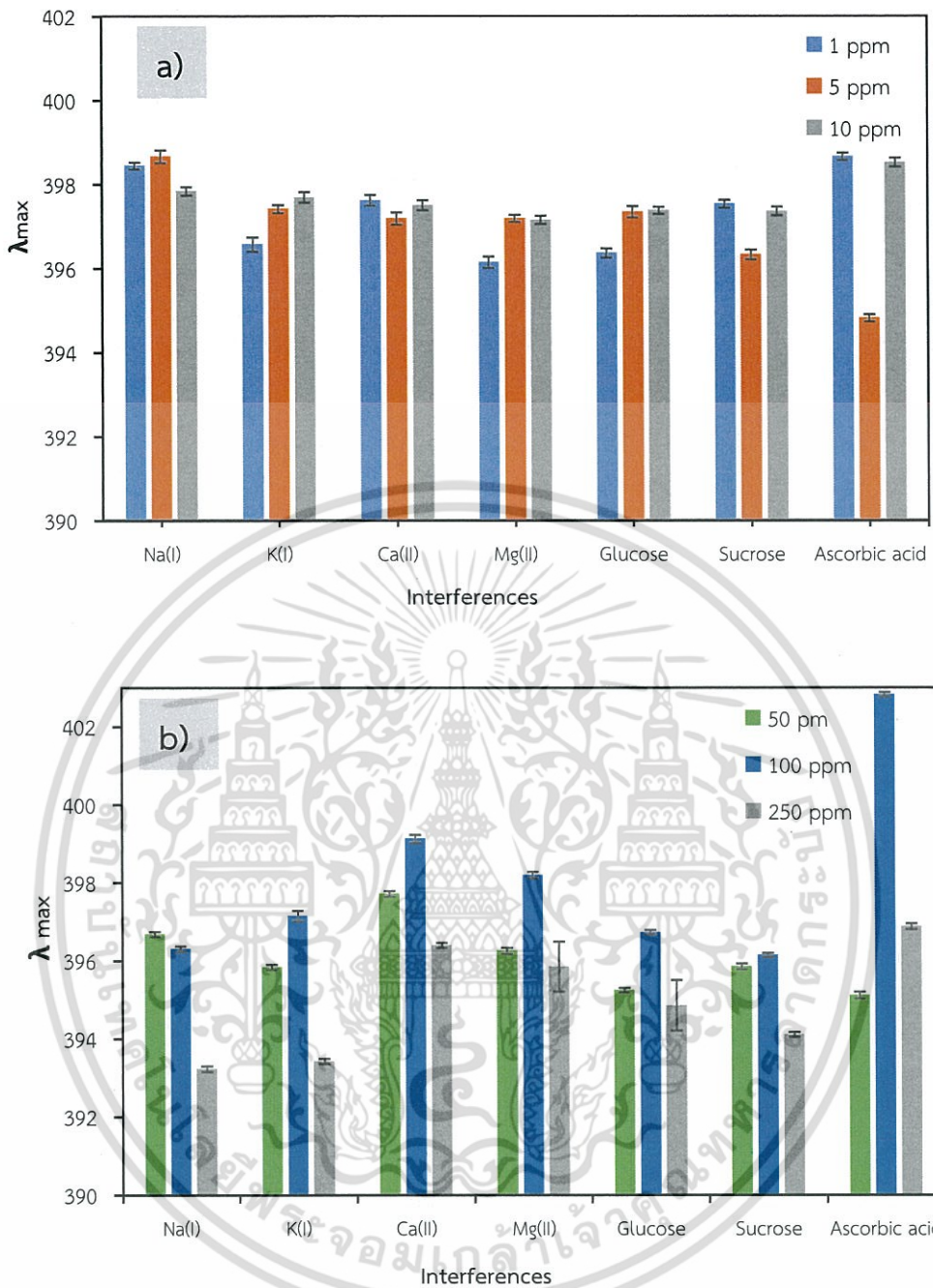
จากรูปที่ 4.15 ผลการศึกษาอิทธิพลของพีเอชบัฟเฟอร์ที่มีผลต่อการวิเคราะห์กลูต้าไธโอน พิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.001 M ที่พีเอช 1, 4, 7 และ 8 ตามลำดับ พบว่าพีเอชที่ส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดคือพีเอช 1 และ 4 เนื่องจากอนุภาคเงินระดับนาโนเกิดการ Neutralization ของหมู่คาร์บอกซิเลต ( $\text{COO}^-$ ) ในขณะที่พีเอช 7 และ 8 ไม่ส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสง

เมื่อพิจารณาค่าการแตกตัว ( $\text{pK}_a$ ) ของหมู่คาร์บอกซิเลต ( $\text{COO}^-$ ) จากโครงสร้างของพาทาลิกแอซิดที่มีหน้าที่ในการรักษาเสถียรภาพของอนุภาคเงินระดับนาโน ซึ่งมีค่า  $\text{pK}_a$  เท่ากับ 2.76 และ 4.92 พบว่า ที่สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 1 และ 4 จะเกิดการ Protonated ของหมู่คาร์บอกซิเลต ( $\text{COO}^-$ ) ให้เปลี่ยนไปอยู่ในรูปของหมู่คาร์บอกซิลิก ( $\text{COOH}$ ) จึงส่งผลให้อัญรูปของอนุภาคเงินระดับนาโนเกิดการเปลี่ยนแปลง และเกิดการตกตะกอน

#### 4.3.3 การศึกษาผลกระทบของตัวรบกวน (Interference) ที่มีผลต่อการวิเคราะห์

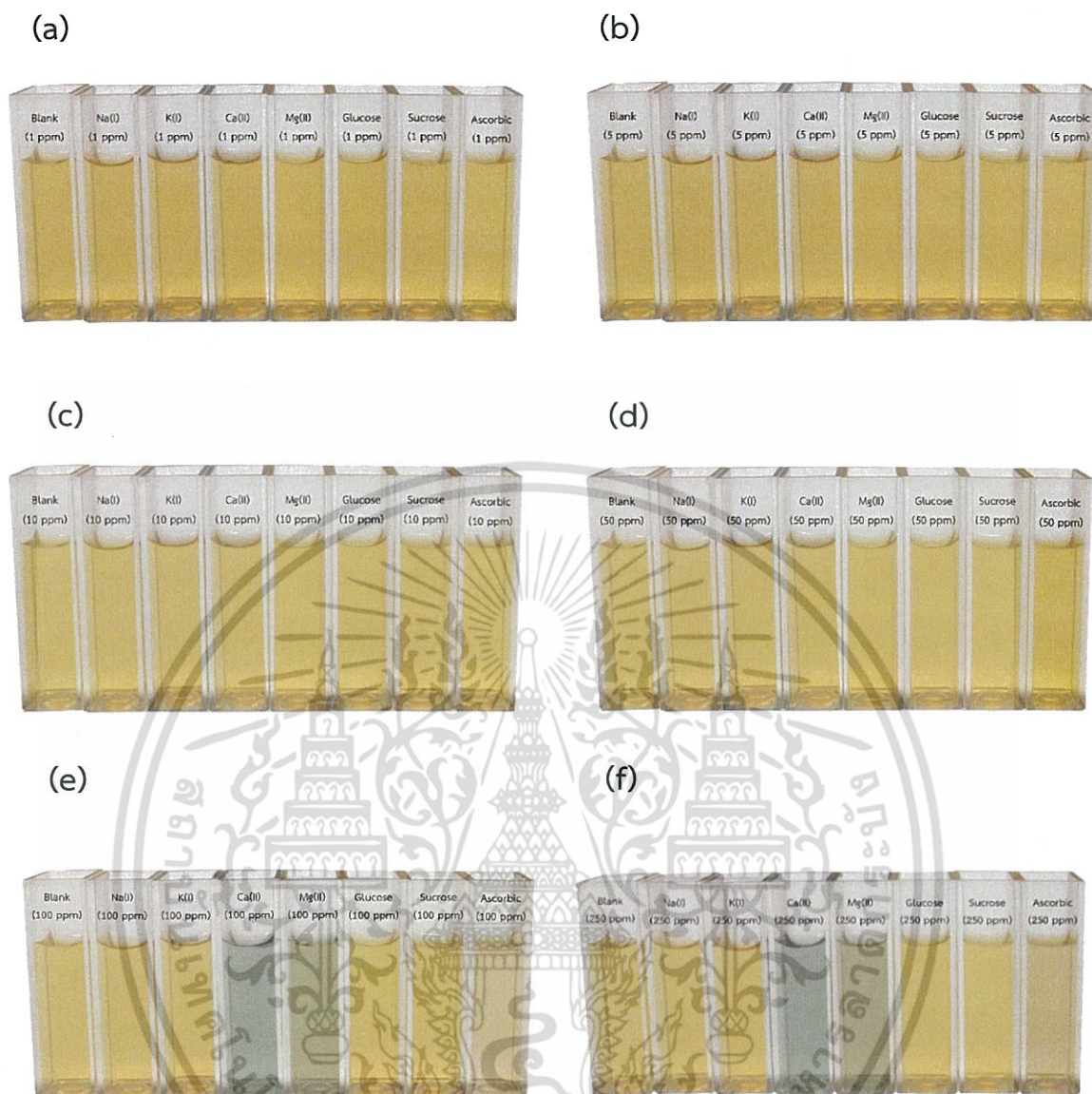
การทดลองนี้ ทำโดยเตรียมสารละลายตัวรบกวนแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 1, 5, 10, 50, 100 และ 250 ppm โดยใช้สารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 500 ppm เป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย UV-vis spectrophotometry และสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของตัวรบกวน กับชนิดของตัวรบกวน เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของตัวรบกวนแต่ละชนิด และแต่ละความเข้มข้นดังแสดงในรูปที่ 4.18 และ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 (a) กราฟแท่งแสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดกับชนิดของตัวรบกวนที่ความเข้มข้น 1, 5 และ 10 ppm (b) กราฟแท่งแสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดกับชนิดของตัวรบกวนที่ความเข้มข้น 50, 100 และ 250 ppm ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



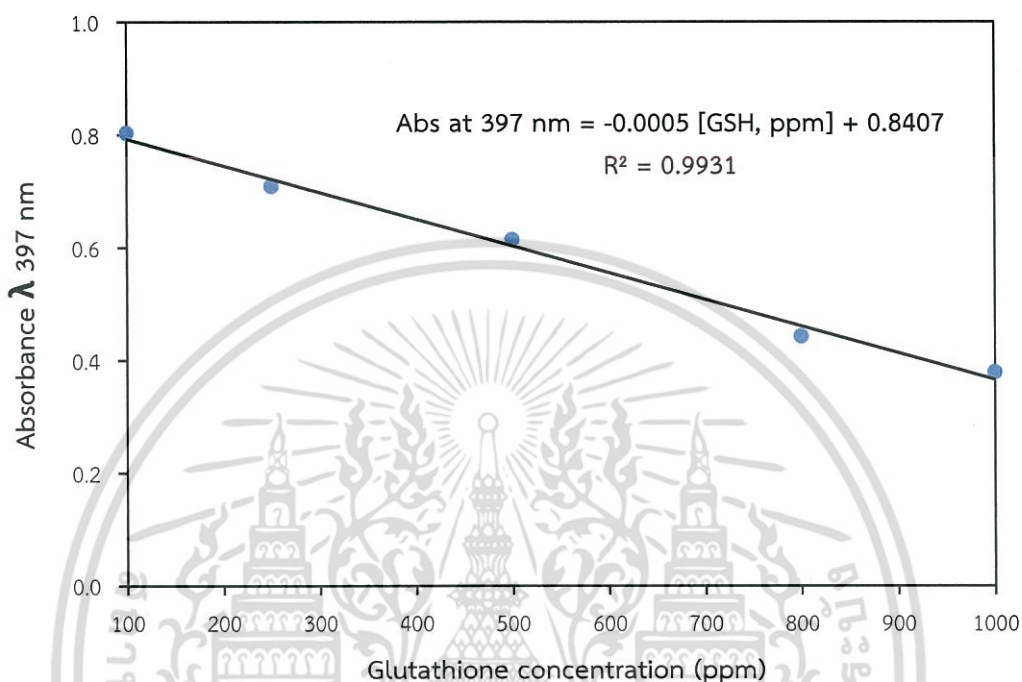
รูปที่ 4.17 ภาพ (a), (b), (c), (d), (e) และ (f) แสดงสีของสารละลายอนูภาคเงินระดับนาโนที่มีตัวรบกวน  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ , Glucose, Sucrose และ Ascorbic acid ความเข้มข้น 1, 5, 10, 50, 100 และ 250 ppm ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.17 ผลจากการศึกษาผลกระทบของตัวรบกวน (Interference) ที่มีผลต่อการวิเคราะห์ พบว่าตัวรบกวนทุกชนิดที่ทุกความเข้มข้นไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ยกเว้น  $\text{KNO}_3$  และ  $\text{CaSO}_4$  จะแสดงผลการเปลี่ยนแปลงที่ความเข้มข้นมากกว่า 50 ppm ดังนั้นหากต้องการวิเคราะห์ปริมาณของกลูต้าไรโอนินในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ แต่ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์มีส่วนประกอบของ  $\text{KNO}_3$  และ  $\text{CaSO}_4$  จึงมีข้อเสนอแนะว่าควรทำการแยกตัวรบกวนทั้ง 2 ชนิดนี้ออกก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.4 การศึกษาความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลูต้าไธโอน

ในการทดลองนี้ ทำโดยการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 100, 250, 500, 800 และ 1000 ppm จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) ซึ่งผลการทดลองแสดงดังในภาพที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟมาตรฐานแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 100, 250, 500, 700 และ 1000 ppm

จากรูปที่ 4.18 กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน กับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน พบว่าได้สมการถดถอยเชิงเส้นตรง เท่ากับ  $Abs\ at\ 397\ nm = -0.0005 [GSH, ppm] + 0.8407$  ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9931

#### 4.3.5 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD)

ผลจากการศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด โดยการใช้กราฟมาตรฐานที่สร้างระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสงของสาร และการวัดสารละลายแบลนด์ (Blank) ซ้ำจำนวน 10 ครั้ง หลังจากนั้นนำมาคำนวณโดยใช้สูตร  $3SD\ of\ blank / Slope\ of\ calibration$  เมื่อ SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) ของ Blank และ Slope คือ ค่าความชันที่ได้จากสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5

#### 4.3.6 การศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation, LOQ)

ผลจากการศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ โดยใช้กราฟมาตรฐานที่สร้างระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกับค่าการดูดกลืนแสงของสาร และการวัดสารละลาย แบลงค์ (Blank) ซ้ำจำนวน 10 ครั้ง หลังจากนั้นนำมาคำนวณโดยใช้สูตร  $10SD \text{ of blank} / \text{Slope of calibration}$  เมื่อ SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) ของ Blank และ Slope คือค่าความชันที่ได้จากสมการถดถอยเชิงเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน ซึ่งได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) และค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์(LOQ)

ค่าขีดจำกัดต่ำสุดของวิธี	ความเข้มข้น
ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD)	40.64 ± 0.01 ppm
ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (LOQ)	135.47 ± 0.01 ppm

#### 4.3.7 การศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ(%Recovery) และค่าความแม่นยำ (Precision)

##### (ก) ค่าร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery) ในตัวอย่างยาเม็ด

ในการทดลองนี้ ทำโดยเตรียมตัวอย่างยาเม็ด 250 mg เป็นตัวทำละลายสารละลายมาตรฐานกลุ่มต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 250, 500 และ 700 ppm จากนั้นนำสารละลายมาตรฐานกลุ่มต้าไธโอนที่มีตัวอย่างยาเม็ดอยู่แต่ละความเข้มข้นผสมกับสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนต่อสารละลายมาตรฐานกลุ่มต้าไธโอนในอัตราส่วน 1:2 ml สังเกตสีของสารละลายผสมและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-vis spectrophotometry โดยสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 1000 – 300 ppm

ผลจากการศึกษาความแม่นยำ (Precision) โดยพิจารณาจากค่าการเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์(Relative Standard deviation, RSD) โดยการตรวจวัดซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ หลังจากนั้นนำมาคำนวณโดยใช้สูตร  $(SD / \bar{X}) \times 100$  เมื่อ SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) ของความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ และ  $\bar{X}$  คือค่าเฉลี่ย (Mean) ของความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้ ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.6 ค่าร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery) ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

Sample	Glutathione concentration (ppm)		% Recovery	% RSD
	Label	Found		
Tablet	250	245.27 ± 3.61	-	1.47
	500	495.27 ± 4.93	100.00	1.00
	700	752.60 ± 3.47	101.47	0.46
	950	949.73 ± 3.06	100.64	0.32

จากตารางที่ 4.6 เมื่อทำการวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหารที่ความเข้มข้น 250 – 950 ppm พบว่า % Recovery อยู่ในช่วง 100.00 – 101.64 และ % RSD อยู่ในช่วง 0.32 – 1.47 แสดงให้เห็นว่า วิธีวิเคราะห์มีความถูกต้อง และแม่นยำสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาทาลิก แอซิดเป็นตัวเพิ่มการรักษาเสถียรภาพ และใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ สำหรับประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ในการวิเคราะห์หาปริมาณกลูต้าไธโอน โดยอาศัยเทคนิคการตรวจวัดเชิงสี (Colorimetric method) จากการศึกษาผลของการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาทาลิก แอซิดเป็นตัวรักษาเสถียรภาพด้วยเทคนิค UV-vis spectroscopy พบว่าสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนจะมีสีเหลือง และมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดเท่ากับ 397 nm จากนั้นเมื่อทำการศึกษารูปร่างและขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยเทคนิค Transmission electron microscope พบว่า รูปร่างของอนุภาคเงินระดับนาโนที่เกิดขึ้นเป็นทรงกลม และมีขนาดของอนุภาคอยู่ที่ประมาณ 9–24 nm และจากการศึกษาสภาพความเป็นประจุบนพื้นผิวอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยเทคนิค Zeta-potential พบว่ามีค่าศักย์ซีต้าเฉลี่ยเท่ากับ -32.22 mV ซึ่งแสดงถึงความเสถียรของอนุภาคเงินระดับนาโน ต่อมาเมื่อทำการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในการวิเคราะห์กลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 100 - 1000 ppm ด้วยเทคนิค UV-vis spectroscopy พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนมีค่าลดลง และสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีส้มและสีม่วง จากนั้นเมื่อทำการศึกษาลักษณะการรวมตัว (Aggregation) ของอนุภาคเงินระดับนาโน พบว่าเมื่อสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 100 - 1000 ppm จะเกิดการรวมตัวกัน (Aggregation) ของอนุภาคเงินระดับนาโนขึ้น และเมื่อนำไปศึกษาสภาพความเป็นประจุบนพื้นผิวอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยเทคนิค Zeta - potential พบว่าค่าศักย์ซีต้า ของอนุภาคเงินระดับนาโนจะมีค่าเป็นลบลดลง แสดงให้เห็นว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาทาลิก แอซิดเป็นสารรักษาเสถียรภาพ เกิดปฏิกิริยาการรวมตัว (Aggregation) กันจริง ในส่วนการศึกษาอิทธิพลค่าพีเอชต่อค่าการวิเคราะห์กลูต้าไธโอน ที่สารละลายบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.001 M พีเอชเท่ากับ 1, 4, 7 และ 8 พบว่าพีเอชที่ส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสงมากที่สุดคือพีเอช 1 และ 4 ในขณะที่พีเอช 7 และ 8 ไม่ส่งผลต่อค่าการดูดกลืนแสง จากนั้นเมื่อทำการศึกษาผลกระทบของตัวรบกวน (Interference) ที่มีผลต่อการวิเคราะห์ โดยชนิดตัวรบกวนประกอบด้วย  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ , Glucose, Sucrose และ Ascorbic acid ที่ความเข้มข้น 1, 5, 10, 50, 100 และ 250 ppm ตามลำดับ พบว่าตัวรบกวนทุกชนิดที่ทุกความเข้มข้นไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง ยกเว้น  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  และ Ascorbic acid จะแสดงผลการเปลี่ยนแปลงที่ความเข้มข้นมากกว่า 50 ppm ดังนั้นหากต้องการวิเคราะห์ปริมาณของกลูต้าไธโอนในตัวอย่างผลิตภัณฑ์ แต่ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์มีส่วนประกอบของ  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  และ Ascorbic acid จึงมีข้อแนะนำว่าควรทำการแยกตัวรบกวนทั้ง 2 ชนิดนี้ออกก่อน จากผลการศึกษาความเป็นเส้นตรงของสารละลายกลูต้าไธโอนที่ความเข้มข้น 100–1000 ppm พบว่าได้สมการถดถอยเชิงเส้นตรง เท่ากับ  $\text{Abs at } 397 \text{ nm} = -0.0005 [\text{GSH, ppm}] + 0.8407$  และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) เท่ากับ 0.9931 โดยเมื่อนำไปศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD) และศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation, LOQ) พบว่ามีค่าเท่ากับ  $40.64 \pm 0.01 \text{ ppm}$  และ  $135.47 \pm 0.01 \text{ ppm}$

ตามลำดับ และจากการศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery) และค่าความแม่นยำ (Precision) ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร พบว่า % Recovery อยู่ในช่วง 100.00 - 101.64 และ % RSD อยู่ในช่วง 0.32 - 1.47 ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพาทาลิก แอซิดเป็นสารรักษาเสถียรภาพที่ได้สังเคราะห์ขึ้นนี้ มีความเหมาะสมที่จะนำไปวิเคราะห์หากลูต้าไธโอนในตัวอย่างเม็ดยา ผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1) การนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างอื่นเช่นตัวอย่างทางการแพทย์ เช่น หรือ ด้านวัสดุศาสตร์ เป็นต้น

2) ควรเพิ่มการศึกษาตัวรบกวนที่มี  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  และ Ascorbic acid เป็นส่วนประกอบและตัวรบกวนอื่นๆเพิ่มเติม ซึ่งอาจทำให้ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เกิดความคลาดเคลื่อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร. นพ. ประสงค์ เทียนบุญ, ดร. ญัฐกานต์ ลีลารุ่งระยับ. 2560. *Glutathione and health benefits*. วารสารคลินิกอาหารและโภชนาการ.
- [2] Aurelie Roland, Remi Schneider. 2015. *Development and validation of a high throughput analysis of glutathione in grapes, musts and wines by Stable Isotope Dilution Assay and LC-MS/MS*. Food Chemistry 177 : 152-157
- [3] Vijaykumar Sutariya, et al. 2012. *Development and Validation of a Novel RP-HPLC Method for the Analysis of Reduced Glutathione*. Chromatographic Science 50: 271-276.
- [4] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2559. *นาโนเทคโนโลยี*. [Online]. Available: <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=32&chap=8&page=t32-8-infodetail01.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 2 เมษายน 2560
- [5] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ออนไลน์ มหาวิทยาลัยมหิดล. *นาโนเทคโนโลยี*. [Online]. Available: <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit5-1.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2560
- [6] Wikipedia. 2016. *นาโนเทคโนโลยี*. [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/นาโนเทคโนโลยี>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2560
- [7] Supading77. 2015. *นาโนเทคโนโลยี*. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/thotsaphonken/home/nano-thekhnoloyi>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 เมษายน 2560
- [8] Kuanjai. 2011. *นาโนเทคโนโลยี*. [Online]. Available: <http://www2.nanotec.or.th/th/?p=1137>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 เมษายน 2560
- [9] US Food and Drug Administration. 2016. *Nanotechnology*. [Online]. Available: <https://www.fda.gov/ucm/groups/fdagovpublic/documents/image/ucm153737.jpg>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 เมษายน 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2559. **วัสดุนาโน**. [Online]. Available:  
<http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=32&chap=8&page=t328-infodetail04.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 เมษายน 2560
- [11] Patchra. 2016. **เงิน** [Online]. Available:  
<http://www.patchra.net/minerals/MinDesc/silver.php>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 เมษายน 2560
- [12] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2559. **นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ**. [Online]. Available:  
<http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=32&chap=8&page=t328-infodetail05.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 เมษายน 2560
- [13] Snop. 2006. **นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ**. [Online]. Available:  
<http://bio510.blogspot.com/2006/01/bionanotechnology-21-3-21.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 เมษายน 2560
- [14] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. **นวัตกรรมนาโนเทคโนโลยี** [Online]. Available: <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit5-4.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 เมษายน 2560
- [15] ดร. อรุชา รังสาดทอง. 2009. **นาโนเทคโนโลยีกับการรักษาโรคมะเร็ง**. [Online]. Available:  
<http://www.vcharkarn.com/varticle/38387>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 เมษายน 2560
- [16] Wikipedia. 2016. **Sliver nanoparticle**. [Online]. Available:  
[https://th.wikipedia.org/wiki/Sliver\\_nanoparticle](https://th.wikipedia.org/wiki/Sliver_nanoparticle). เข้าถึงเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2560
- [17] Bahareh Khodashenas and Hamid Reza Ghorbani. 2015. **Synthesis of silvernanoparticles with different shapes : A review**. Arabian Jouarnal of Chemistry.
- [18] M.A. Valverde-Alva et al. 2015. **Synthesis of silver nanoparticles by laser blation in ethanol : A pulsedphotoacoustic study**. Applied Surface Science 335 : 341-349
- [19] Takeshi Tsuji et al. 2008. **Preparation of silver nanoparticles by laser ablation in polyvinylpyrrolidone solutions**. Applied Surface Science 254 : 5224-5230
- [20] M. Boutinguiza et al. 2014. **Production of silver nanoparticles by laser ablation in open air**. Applied Surface Science 336 : 108-111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] K J Sreeram et al. 2008. Microwave assisted template synthesis of silver nanoparticles. Bulletin of Materials Science Vol.31 No.7 : 937-942
- [22] อภิวัฒน์ เพ็ชรสหาย เขมฤทัย ถามะพัฒน์ และนพดล นันทวงศ์. 2559. การสังเคราะห์คอลลอยด์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสำหรับการตรวจวัด โดยใช้พื้นผิวขยายสัญญาณรามาน. วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีปีที่11ฉบับที่ 1
- [23] Siamchemi. 2017. ปฏิกริยาการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน [Online]. Available: <http://www.siamchemi.com/ซิลเวอร์นาโน>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2560
- [24] เณศรา แก้วคงและคณะ. 2557. การสังเคราะห์ และตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์โดยวิธีตกชั้นทางเคมีวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มทร. รัษฎบุรี ปีที่ : 4 ฉบับที่ : 2 เลขหน้า : 1-10
- [25] Thanyaporn Kiatkumjorn et al. 2014. Glutathione and L-cysteine modified silver nanoplates-based colorimetric assay for a simple, fast, sensitive and selective determination of nickel. Talanta 128 : 215-220
- [26] Stephan T. Dubas and Vimolvan Pimpan. 2008. Green synthesis of silver nanoparticles for ammonia sensing. Talanta 76: 29-33
- [27] Huiying Jia et al. 2006. A simple method to synthesize triangular silver nanoparticles by light irradiation. Spectrochimica Acta Part A 64 : 956-960
- [28] Sites. 2017. นาโนวัสดุ. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/thinnuanews/นาโนวัสดุ>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 15 เมษายน 2560
- [29] Greg Emmerich. 2017. Surface Plasmon Resonance [Online]. Available: <https://gregemmerich.wordpress.com/2012/11/16/surface-plasmon-resonance-technology-overview-and-practical-applications>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 16 เมษายน 2560
- [30] ดร. ณัฐพันธุ์ ศุภกา. 2015. ไชปริศนา...นาโนเทคโนโลยี. [Online]. Available: [http://www.neutron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com\\_content&task=view&id=470](http://www.neutron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com_content&task=view&id=470). เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 เมษายน 2560

- [31] Wikipedia. 2015. กลูต้าไธโอน. [Online]. Available:  
<https://th.wikipedia.org/wiki/กลูต้าไธโอน>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 เมษายน 2560
- [32] Wikipedia. 2015. **Glutathione**. [Online]. Available:  
<https://th.wikipedia.org/wiki/Glutathione>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 17 เมษายน 2560
- [33] นายแพทย์ฉัตรชัย ศรีบัณฑิต. 2009. กลูต้าไธโอนคืออะไร มีประโยชน์อย่างไร. [Online]. Available:  
<http://glutacare.com/glutathione-กลูต้าไธโอนคืออะไร>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 18 เมษายน 2560
- [34] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2014. **Glutathione / กลูต้าไธโอน**. [Online]. Available:  
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3366/glutathione-กลูต้าไธโอน>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 18 เมษายน 2560
- [35] ศูนย์วิทยบริการ สำนักคณะกรรมการอาหารและยา. 2544. กลูต้าไธโอน. [Online]. Available:  
[http://elib.fda.moph.go.th/library/default.asp?page2=subdetail&id\\_L1=27&id\\_L2=31218&id\\_L3=2999](http://elib.fda.moph.go.th/library/default.asp?page2=subdetail&id_L1=27&id_L2=31218&id_L3=2999). เข้าถึงเมื่อวันที่ 18 เมษายน 2560
- [36] อริน วิกุล. 2015. **Glutathione**. วารสารเพื่อการวิจัยและพัฒนาองค์กรเภสัชกรรม.
- [37] SIF BUU. 2015. เครื่องมือวิทยาศาสตร์. [Online]. Available:  
[http://science.buu.ac.th/part/sifbuu/index.php/laboratoryinstruments.html?showall=1&limit\\_start=](http://science.buu.ac.th/part/sifbuu/index.php/laboratoryinstruments.html?showall=1&limit_start=). เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2560
- [38] Transmission electron microscope (TEM). [Online]. Available:  
<http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2560
- [39] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2015. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน. [Online]. Available: <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 20 เมษายน 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [40] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อมาตรฐานและอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณบุรี. 2015. **Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)** [Online]. Available: <http://science.kmutt.ac.th/sic/index.php/chemistry/23-2013-09-04-02-40-21>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 22 เมษายน 2560
- [41] **Dispersive & FTIR**. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/bhavanavedantam/dispersive-ftir>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 22 เมษายน 2560
- [42] หัสวิภา หมายมั่น. 2016. **Zetasizer NanoZS90**. [Online]. Available: <http://web2.mfu.ac.th/center/stic/micro-analysis-instrument-menu/item/178-zetasizer-nano-zs90.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 23 เมษายน 2560
- [43] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อมาตรฐานและอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณบุรี. 2015. **การวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบสารด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์(X-ray diffraction)**. [Online]. Available: <http://science.kmutt.ac.th/sic/index.php/physics/16-x-ray-diffraction>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 23 เมษายน 2560
- [44] Yale. 2017. **XRD**. [Online]. Available: <http://ywc matsci.yale.edu/xrd>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 24 เมษายน 2560
- [45] Ayesha Alam et al. 2015. **Highly selective colorimetric detection and estimation of Hg<sup>2+</sup> at nano molar concentration by silver nanoparticles in the presence of glutathione**. *Spectrochimica Acta Part A : Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 137 : 503-508
- [46] PurimJarujamrus et al. 2015. **Selective colorimetric sensors based on the monitoring of an unmodified silver nanoparticles [AgNPs] reduction for a simple and rapid determination of mercury**. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* Volume 142, Pages 86-93
- [47] PengjuanNi et al. 2015. **Highly sensitive and selective colorimetric detection of glutathione based on Ag(I) ion-3,3' ,5,5'-tetramethylbenzidine (TMB)**. *Biosensors and Bioelectronics* Volume 63, Pages 47-52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [48] Thanyaporn Kiatkumjorn et al. 2014. **Glutathione and L-cysteinemodified silver nanoplates -based colorimetric assay for a simple, fast, sensitive and selective determination of nickel.** *Talanta* 128 : 215-220
- [49] Ki Chang Song et al. 2009. **Preparation of colloidal silver nanoparticles by chemical reduction method.** *Korean Journal of Chemical Engineering* Vol.26 Issue 1 : 153-155
- [50] Mohammadi et al. 2017. **Colorimetric detection of biothiols based on aggregation of chitosan-stabilized silver nanoparticles.** *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* Volume 185, Pages 27–34
- [51] I.V. Anabiga et al. 2013. **Colorimetric Detection of lead ions using glutathione stabilized silver nanoparticles.** *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 4, Issue 5 : 710-715
- [52] Yan Liet al. 2011. **Anti-aggregation of gold nanoparticles based colorimetric seneor for glutathione with excellent selective and sensitivity.** *Analyst*, 136, 196-200
- [53] Li Qiet al. 2012. **Colorimetricdetectionof lead (II) based on silver nanoparticles capped with iminodiacetic acid (IDA).** *Microchimica Acta*, Volume 178, Issue 1–2, Pages 221–227
- [54] Anna Zielinska et al. 2009. **Preparation of silver nanoparticles with controlled particle size.** *Procedia Chemistry* 1 : 1560–1566



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

### การเตรียมสารละลาย

#### 1. การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs) โดยวิธีการเกิดรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method)

##### 1.1 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้น 100.00 mM

ชั่งน้ำหนักซิลเวอร์ไนเตรตมา 1.6978 g ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml จะได้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 mM ปริมาตร 100 ml

##### 1.2 การเตรียมสารละลายพาทาลิก แอซิด

###### 1.2.1 การเตรียมสารละลายพาทาลิก แอซิด ความเข้มข้น 100.00 mM

ชั่งน้ำหนักพาทาลิก แอซิดมา 1.6614 g ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml จะได้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 mM ปริมาตร 100 ml

###### 1.2.2 การเตรียมสารละลายพาทาลิก แอซิด ความเข้มข้น 0.0005 mM

ปิเปตสารละลายพาทาลิก แอซิด ความเข้มข้น 100 mM 0.1 ml ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตร 25 ml จะได้ความเข้มข้นของสารละลายพาทาลิก แอซิด ความเข้มข้น 0.0005 mM ปริมาตร 100 ml

##### 1.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ความเข้มข้น 100.00 mM

ชั่งน้ำหนักโซเดียมโบโรไฮไดรด์มา 0.3783 g ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml จะได้สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ความเข้มข้น 100 mM ปริมาตร 100 ml

## 2. การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในการวิเคราะห์ กลูต้าไรโอน

### 2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนความเข้มข้น 1000 ppm

ชั่งน้ำหนักแอล-กลูต้าไรโอน มา 0.1000 g ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 ml จะได้สารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 100 ml

### 2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน ความเข้มข้นต่างๆ

ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน ความเข้มข้น 1000 ppm มาตามตารางด้านล่าง จากนั้น ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตร 25 ml จะได้ความเข้มข้นของสารละลาย มาตรฐานกลูต้าไรโอนตามที่ต้องการ

ตารางที่ ก.1 แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นที่ต้องการ (ppm)	ปริมาตรสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน ความเข้มข้น 1000 ppm (ml)
100	1
250	2.5
500	5
800	8

## 3. การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนสำหรับการศึกษาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) และค่าความแม่นยำ (Accuracy)

### 3.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสริมกลูต้าไรโอน

ความเข้มข้น 1000 ppm

ชั่งน้ำหนักแอล-กลูต้าไรโอน มา 0.1000 g ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 ml จะได้สารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน ความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 100 ml

### 3.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน ความเข้มข้น 100, 250, 700 ppm

ปิเปตสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน ความเข้มข้น 1000 ml มา 12.50, 25.00 และ 35.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml ในแต่ละขวดและปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้ สารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอน ความเข้มข้น 100, 250, 700 ppm ปริมาตร 50 ml ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.  
การคำนวณผลการทดลอง

1. การตรวจวัดกลูต้าไธโอนด้วยวิธีตรวจวัดเชิงสีโดยใช้อุณหภูมิระดับนาโนที่มีพาหาลิก แอซิดเป็นตัวช่วยในการสังเคราะห์

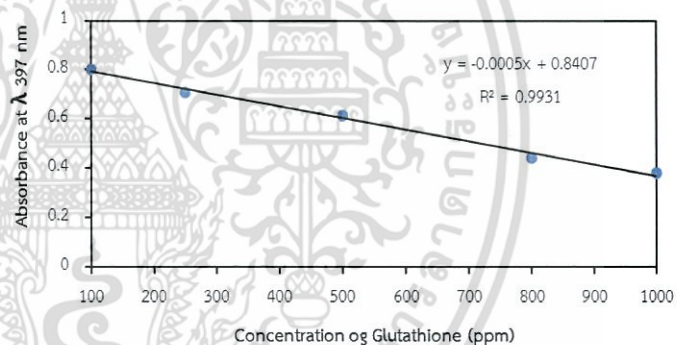
1.1 การคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (Limit of detection, LOD)

สูตร

$$\text{LOD} = \frac{3\text{SD of blank}}{\text{Slope}}$$

การคำนวณ

No.	Absorbance
1	0.842
2	0.860
3	0.850
4	0.842
5	0.843
6	0.845
7	0.843
8	0.840
9	0.847
10	0.857
AVR	0.8469
SD	0.0067



$$\text{LOD} = \frac{3\text{SD of blank}}{\text{Slope}}$$

$$= \frac{3 \times 0.0067}{0.0005}$$

$$= 40.64 \text{ ppm}$$

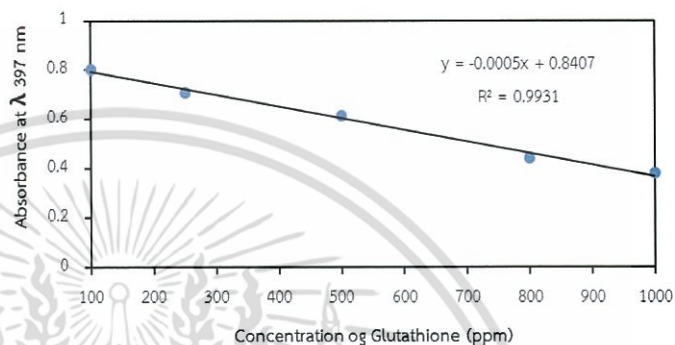
## 1.2 การคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation, LOQ)

สูตร

$$\text{LOQ} = \frac{10\text{SD of blank}}{\text{Slope}}$$

การคำนวณ

No.	Absorbance
1	0.842
2	0.860
3	0.850
4	0.842
5	0.843
6	0.845
7	0.843
8	0.840
9	0.847
10	0.857
AVR	0.8469
SD	0.0067



$$\begin{aligned} \text{LOD} &= \frac{10\text{SD of blank}}{\text{Slope}} \\ &= \frac{10 \times 0.0067}{0.0005} \\ &= 135.47 \text{ ppm} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 การคำนวณค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) และค่าความแม่นยำ (Accuracy) ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์อาหารเสริม

สูตร

$$\% \text{Recovery} = \frac{\text{Spiked sample} - \text{sample}}{\text{Standard}} \times 100$$

$$\text{RSD} = \frac{\text{SD}}{\bar{x}} \times 100$$

ตารางที่ ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย Blank ที่ 397 nm

Sample	Glutathione concentration (ppm)	Absorbance (n = 3)		
		1	2	3
Tablet	250	0.7182	0.7198	0.7162
	500	0.5914	0.5959	0.5919
	750	0.4624	0.4653	0.4655
	950	0.3645	0.3675	0.3655

ตารางที่ ข.2 ค่าร้อยละของการคืนกลับ (% Recovery) ในตัวอย่างผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร

Sample	Glutathione concentration (ppm)		%Recovery	%RSD
	Label	Found		
Tablet	250	245.27 ± 3.61	-	1.47
	500	495.27 ± 4.93	100.00	1.00
	750	752.60 ± 3.47	101.47	0.46
	950	949.73 ± 3.06	100.64	0.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ %Recovery และ RSD ของสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอน

ตัวอย่างการคำนวณสารละลายมาตรฐานกลูต้าไธโอนความเข้มข้น 500 ppm (ผลิตภัณฑ์อาหารเสริม)

### 1.3.1 การหาค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

จากสมการเส้นตรง  $y = -0.0005x + 0.8407$

แทนค่า Absorbance 1 ลงใน y

$$\text{จะได้ } 0.5914 = -0.0005x + 0.8407$$

$$\text{ดังนั้น } x = 498.60 \text{ ppm}$$

จากนั้นเปลี่ยนค่า Absorbance จาก 1 เป็น 2 และ 3 จะได้ความเข้มข้นเท่ากับ และ 489.60 และ 497.00 ppm ตามลำดับ แล้วนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ย ( $\bar{x}$ ) และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งเท่ากับ 495.27 ppm และ 4.93 ตามลำดับ

การหาค่าร้อยละของการคืนกลับ (%Recovery) และค่าความแม่นยำ (RSD)

$$\text{จากสูตร } \% \text{Recovery} = \frac{\text{Spiked sample} - \text{sample}}{\text{Standard}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } \% \text{Recovery} &= \frac{(495.27 - 245.27)}{250} \times 100 \\ &= 100.00 \% \end{aligned}$$

ดังนั้น %Recovery เท่ากับ 100.00 %

$$\text{จากสูตร } RSD = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้ } RSD &= \frac{4.93}{495.27} \times 100 \\ &= 1.00 \% \end{aligned}$$

ดังนั้น RSD เท่ากับ 1.00 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้กับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 การคำนวณหาความเข้มข้นของอนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs)

##### สูตร

จากสมการของ Beer's law

$$A = \epsilon bc$$

ค่าคงที่ของการดูดกลืนแสงของสารละลายเข้มข้น (mol.L<sup>-1</sup>)

$$\ln \epsilon = 1.4418 \ln D + 18.9555$$

แทนค่า  $\ln \epsilon = 1.4418 \ln(23.5093) + 18.9555$

จะได้  $\epsilon = 1.6587 \times 10^{10}$

แทนค่า  $\epsilon$  ในสมการของ Beer's law

$$0.931 = 1.6587 \times 10^{10} \times 1 \times c$$

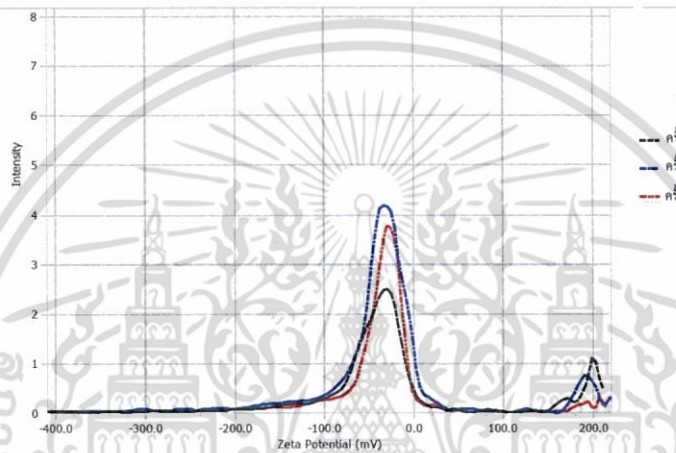
ดังนั้นความเข้มข้นของ AgNPs เท่ากับ  $5.1196 \times 10^{-11}$



## ภาคผนวก ค ผลการทดลอง

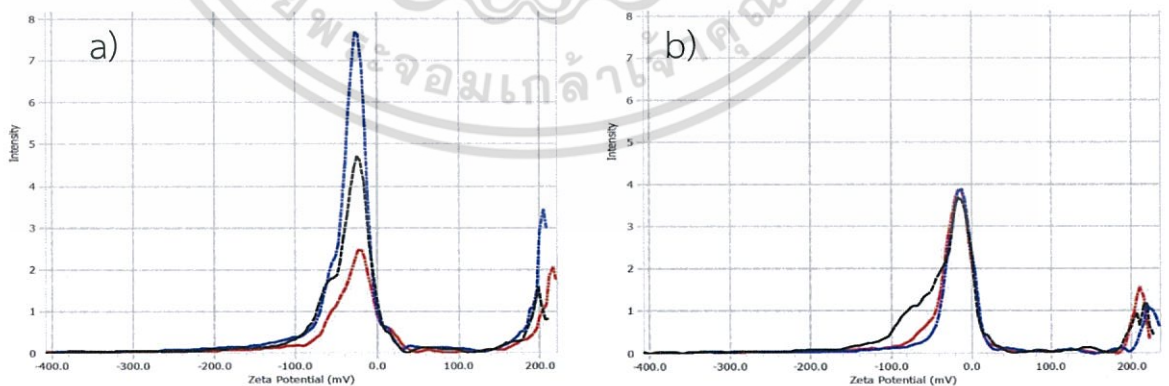
### 1. การศึกษาสภาพความเป็นประจุบนพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยเทคนิคการตรวจวัดค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential)

#### 1.1 สภาพความเป็นประจุบนพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโน (AgNPs)

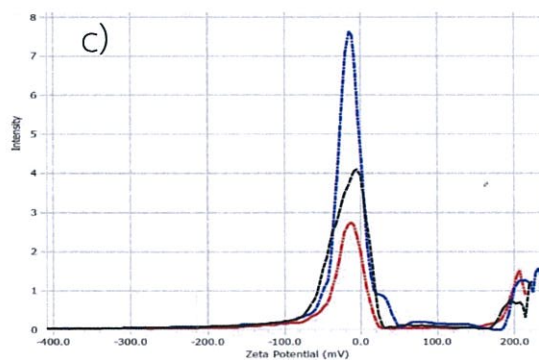


รูปที่ ค.1 ศักย์ซีต้าของอนุภาคเงินระดับนาโน

#### 1.2 สภาพความเป็นประจุบนพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูตาไธโอนที่ความเข้มข้นต่างๆ (AgNPs : GSH)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 ศักย์ซีต้าของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกลูต้าไรโอนที่ความเข้มข้น 250, 500 และ 700 ppm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

