วิธีอย่างง่ายสำหรับสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากทองคำเปลว และการศึกษาคุณลักษณะ

A SIMPLE METHOD FOR SYNTHESIS OF GOLD NANOPARTICLES FROM GOLD FOIL AND ITS CHARACTERIZATION

ดวงพร พยุงทั้ง
พิสุทธิ์ ยศบรรเทิง
ภัชรินทร์ ไพรวัลย์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วิธีอย่างง่ายสำหรับสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากทองคำเปลว และการศึกษาคุณลักษณะ

A SIMPLE METHOD FOR SYNTHESIS OF GOLD NANOPARTICLES FROM GOLD FOIL AND ITS CHARACTERIZATION

T149444

ดวงพร พยุงทั้ง
พิสุทธิ์ ยศบรรเทิง
ภัชรินทร์ ไพรวัลย์

ลขหมู่.....
ลขทะเบียน 149444
วัน เดือน ปี 8 มี.ค. 2561

b 12886361
i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A SIMPLE METHOD FOR SYNTHESIS OF GOLD NANOPARTICLES FROM GOLD FOIL AND ITS CHARACTERIZATION

DOUNGPORN PAYUNGTUNG
PISUT YOSBANTUENG
PATCHARIN PRAIWAN

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 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	วิธีอย่างง่ายสำหรับสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากทองคำเปลว และการศึกษาคุณลักษณะ A Simple Method for Synthesis of Gold Nanoparticles from Gold Foil and Its Characterization
ชื่อนักศึกษา	นางสาวดวงพร พยุงทั้ง รหัสนักศึกษา 55050662 นายพิสุทธิ์ ยศบรรเทิง รหัสนักศึกษา 55050752 นางสาวภัชรินทร์ ไพรวัลย์ รหัสนักศึกษา 55050758
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ประธานกรรมการ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง กรรมการ	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	วิธีอย่างง่ายสำหรับสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากทองคำเปลว และการศึกษาคุณลักษณะ		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวดวงพร	พยุงทั้ง	รหัสนักศึกษา 55050662
	นายพิสุทธิ์	ยศบรรเทิง	รหัสนักศึกษา 55050752
	นางสาวภัชรินทร์	ไพรวัลย์	รหัสนักศึกษา 55050758
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ นำเสนอ วิธีการอย่างง่ายสำหรับสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากทองคำเปลว ในขั้นแรกจะทำการย่อยทองคำเปลว โดยละลายทองคำเปลวเกรดบริสุทธิ์ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนด้วยกรดกัดทอง (อัตราส่วนความเข้มข้น ระหว่างกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นต่อกรดไนตริกเข้มข้น เป็น 3 ต่อ 1 โดยปริมาตร) แล้วให้ความร้อน 1 ชั่วโมง จากนั้นจึงเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปเล็กน้อยเพื่อปรับพีเอชให้ได้ 2.0 สารละลายที่ได้นี้ จะใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับทำการสังเคราะห์ทองตามวิธีเตอคีวิช โดยใช้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรท เข้มข้นร้อยละ 1.4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ เข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นตัวรีดิวซ์และตัวปรับความเสถียรตามลำดับ ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของสารละลายทองนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีดังข้างต้นด้วยเครื่อง ยูวี–วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ศึกษาขนาดของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และศึกษาความบริสุทธิ์ของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ธาตุแบบส่องผ่านรังสีเอ็กซ์ ผลการทดลองพบว่า อนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้ดูดกลืนแสงได้มากที่สุดที่ความยาวคลื่น 531 นาโนเมตร และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 35 ($\pm$5) นาโนเมตร และมีปริมาณธาตุทอง อยู่ที่ร้อยละ 78 โดยน้ำหนัก

คำสำคัญ : ทองคำเปลว; วิธีเตอคีวิช; อนุภาคทองนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	A Simple Method for Synthesis of Gold Nanoparticles from Gold Foil and Its Characterization		
Student	Ms. Doungporn	Payungtung	Student ID 55050662
	Mr. Pisut	Yosbantueng	Student ID 55050752
	Ms. Patcharin	Praiwan	Student ID 55050758
Degree	Bachelor of Science (B.Sc. Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry, Faculty of Science KMITL		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Assist. Prof. Dr. Nathawut Choengchan		

Abstract

This work presents a simple method for synthesis of gold nanoparticles (AuNPs) from gold foil. Firstly, an accurate weight of the gold foil was digested by aqua regia (concentrated HCl : HNO_3 = 3:1 volume ratio) by heating for one hour. The digested solution was adjusted to pH 2.0 by adding a small aliquot of sodium hydroxide. This solution was used as the starting material for preparation of AuNPs based on Turkevich method. The solutions of 1.4 % w/v of citrate and of 8 % w/v polyvinylalcohol were exploited as reducing and stabilizing agents, respectively. The synthesized AuNPs were characterized using UV-Vis. spectrophotometer, transmission electron microscope (TEM) and energy dispersive X-ray spectrometer (EDS). The AuNPs show maximum absorption wavelength at 531 nm. The average particle size was observed at 35 nm (±5). Results from EDS reveal that there is 78 % of the synthesized AuNPs.

Keywords : Gold Foil; Turkevich method; Gold Nanoparticles

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษ เรื่อง การสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากทองคำเปลวสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยได้รับความกรุณาจากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ทางคณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษเป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในทุกๆขั้นตอน ตลอดจนปรับปรุง ตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง เป็นอย่างสูง ที่สละเวลาเป็นคณะกรรมการในการสอบ ให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะ เพื่อให้โครงงานพิเศษนี้สำเร็จ และสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณอาจณรงค์ เมธาวีสรรเสริญ รวมถึงนักศึกษาระดับปริญญาโทและเอกทุกท่านในหน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ที่คอยให้คำปรึกษา ให้ความรู้ข้อมูลต่างๆ ติดตามความก้าวหน้าของโครงงานพิเศษมาตลอด จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และหน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ที่ให้ความสะดวก เอื้อเฟื้อสถานที่ รวมถึงเครื่องมือ และอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ ต่อการทำโครงงานพิเศษเป็นอย่างดี

ดวงพร พยุงทั้ง
พิสุทธิ์ ยศบรรเทิง
ภัชรินทร์ ไพรวัลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 อนุภาคทองนาโน 3
2.1.1 คุณสมบัติของทองนาโน 3
2.1.1.1 คุณสมบัติทางแสง 3
2.1.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ 4
2.1.1.3 อนุภาคทองระดับนาโน 4
2.1.1.4 การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนำโน 4
2.1.1.5 วิธีการเตอคีวิช (Turkevich method) 5
2.1.1.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope) 7
2.1.1.7 Electron Dispersive X-ray Spectrometer (EDS) 8
2.1.1.8 ข้อดีของอนุภาคทองนาโน 9
2.1.2 การประยุกต์ใช้อนุภาคทองนาโนในด้านต่างๆ 9
2.2 ทองคำเปลว 10
2.2.1 กรรมวิธีการผลิต 10
2.2.2 ประเภทของทองคำเปลว 11
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 14
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ 14
3.1.1 สารเคมี 14
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องตรวจวัด 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การเตรียมสารละลาย..... 16
3.2.1 การเตรียมสารละลายกรดกัดทอง..... 16
3.2.2 การเตรียมสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์..... 16
3.2.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์..... 16
3.2.4 การเตรียมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรท..... 16
3.2.4.1 การเตรียมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร..... 16
3.2.4.2 การเตรียมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นร้อยละ 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร..... 16
3.2.5 การเตรียมสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์..... 17
3.2.5.1 การเตรียมสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร..... 17
3.2.5.2 การเตรียมสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 2, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร..... 17
3.3 วิธีการทดลอง..... 17
3.3.1 การละลายทองคำเปลวโดยใช้กรดกัดทอง..... 17
3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์..... 17
3.3.2.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม... 17
3.3.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม... 18
3.3.3 การสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลว..... 18
3.3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว..... 18
3.3.4.1 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโน..... 18
3.3.4.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม... 19
3.3.4.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม... 19
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล..... 20
4.1 การละลายทองคำเปลวโดยใช้กรดกัดทอง..... 20
4.2 การสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์... 21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1 ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม.. 21
4.2.2 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม..... 23
4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว..... 25
4.3.1 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโน..... 25
4.3.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม..... 27
4.3.3 ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม.. 29
4.4 การเปรียบเทียบอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสม..... 31
4.5 การศึกษาความบริสุทธิ์ของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสม.... 32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 35
เอกสารอ้างอิง..... 36
ภาคผนวก..... 37
ภาคผนวก ก..... 38
ภาคผนวก ข..... 39
ภาคผนวก ค..... 40
ภาคผนวก ง..... 41
ภาคผนวก จ..... 42
ภาคผนวก ฉ..... 43
ภาคผนวก ช..... 44
ประวัติผู้เขียน..... 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ 25

4.2 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลว 31

4.3 แสดงการเปรียบเทียบสเปคตรัมระหว่าง สเปกตรัมของ AuNPs ที่สังเคราะห์ได้จากกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ในสภาวะที่เหมาะสม, สเปกตรัมของ AuNPs ที่สังเคราะห์ได้จากกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลวในสภาวะที่เหมาะสม และสเปกตรัมของสารมาตรฐาน AuNPs 32

ก.1 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ 38

ก.2 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว 38

ข.1 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ โดยศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม 39

ข.2 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ โดยศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม 39

ค.1 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว โดยศึกษาค่าพีเอช เริ่มต้นที่เหมาะสม 40

ค.2 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว โดยศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม 40

ง.1 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว โดยศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอร์ที่เหมาะสม 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงการสั่นของอิเล็กตรอนแบบกลับไปกลับมา	3
2.2	แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของอนุภาคทองนาโน มีพื้นที่ผิวมากขึ้น	4
2.3	การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนแบบ Top-down และแบบ Bottom-up	4
2.4	แสดงกระบวนการเกิดอนุภาคนาโนของโลหะ	6
2.5	อธิบายสมการผลต่างของ Gibb's free energy, r_c คือขนาดวิกฤตของนิวคลีไอ และกราฟแสดงกระบวนการ Nucleation	6
2.6	แสดงองค์ประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	8
2.7	กราฟแสดงพลังงานที่อะตอมของธาตุปลดปล่อยออกมาเมื่ออิเล็กตรอนมีการย้าย จากสถานะที่ถูกกระตุ้นกลับสู่สถานะพื้น	8
4.1	สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้ จากการละลายทองคำเปลว และภาพแสดงสีของสารลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้ จากการละลายทองคำเปลว	20
4.2	สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ และภาพแสดงสีของสารลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์	21
4.3	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ AuNPs (ที่เจือจาง 3 เท่า) เมื่อใช้ PVA ความเข้มข้น ร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็น Stabilizer และภาพแสดงสีของสารละลาย AuNPs ที่สังเคราะห์ได้	22
4.4	ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM ของ AuNPs ที่ PVA ความเข้มข้น ร้อยละ 0, 4 และ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	23
4.5	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ AuNPs (ที่เจือจาง 3 เท่า) เมื่อใช้ Citrate ความเข้มข้น ร้อยละ 1, 1.5 และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็น Reducing agent และภาพแสดงสีของสารละลาย AuNPs ที่สังเคราะห์ได้	24
4.6	ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM โดยที่ AuNPs ที่ Citrate เข้มข้น ร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	24
4.7	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ AuNPs ที่ได้จากการใช้สารละลายกรดเตตระคลอโรออริค ที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลวก่อนการสังเคราะห์มีค่า pH เท่ากับ 1.17, 2.00, 3.11 และ 4.29	25
4.8	ภาพแสดงสีของสารละลาย AuNPs ที่สังเคราะห์ได้โดยมีค่า pH ของสารละลาย กรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลวก่อนการสังเคราะห์ เท่ากับ 1.17, 2.00, 3.11 และ 4.29	26
4.9	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ AuNPs (ที่เจือจาง 3 เท่า) เมื่อใช้ Citrate ความเข้มข้น ร้อยละ 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 และ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็น Reducing agent	27

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ภาพแสดงสีของสารละลาย AuNPs ที่สังเคราะห์ได้เมื่อใช้ Citrate ความเข้มข้นร้อยละ 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 และ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็น Reducing agent และสารละลาย AuNPs ชนิดเกรดวิเคราะห์	27
4.11 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM ของ AuNPs ที่ Citrate ความเข้มข้นร้อยละ 1.1, 1.3 และ 1.4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	28
4.12 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ AuNPs (ที่เจือจาง 3 เท่า) เมื่อใช้ PVA ความเข้มข้นร้อยละ 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็น Stabilizer	29
4.13 ภาพแสดงสีของสารละลาย AuNPs ที่สังเคราะห์ได้เมื่อใช้ PVA ความเข้มข้นร้อยละ 4, 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็น Stabilizer และสารละลาย AuNPs ชนิดเกรดวิเคราะห์	29
4.14 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM ของ AuNPs ที่ PVA ความเข้มข้นร้อยละ 4, 5 และ 8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	30
4.15 สเปกตรัมของ AuNPs ที่สังเคราะห์ได้จากกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์จากทองคำเปลว ในสภาวะที่เหมาะสม และสารมาตรฐานอนุภาคทองนาโน และภาพแสดงสีของสาร ละลาย AuNPs ที่สังเคราะห์ได้	31
4.16 สเปกตรัมที่ได้จาเครื่อง EDS ของ AuNPs ที่สังเคราะห์ได้จาก $HAuCl_4$ ชนิดเกรดวิเคราะห์ในสภาวะที่เหมาะสม และตารางแสดงร้อยละของปริมาณธาตุทอง	32
4.17 สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง EDS ของ AuNPs ที่สังเคราะห์ได้จาก $HAuCl_4$ ที่เตรียมได้จากทองคำเปลวในสภาวะที่เหมาะสม และตารางแสดงร้อยละของปริมาณธาตุทอง	33
4.18 สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง EDS ของสารมาตรฐาน AuNPs และตารางแสดงร้อยละของปริมาณธาตุทอง	33
จ.1 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM โดยที่ (ก) AuNPs ที่ Citrate 1.5 % w/v และ (ข) AuNPs ที่ Citrate 2 % w/v	42
ฉ.1 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM โดยที่ (ก) AuNPs ที่ Citrate 1 % w/v และ (ข) AuNPs ที่ Citrate 1.2 % w/v	43
ช.1 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM โดยที่ (ก) AuNPs ที่ PVA 6 % w/v และ (ข) AuNPs ที่ PVA 7 % w/v	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
AuNPs	อนุภาคทองระดับนาโน
$HAuCl_4$	กรดเตตระคลอโรออริค
Citrate	ไตรโซเดียมซิเตรท
PVA	โพลีไวนิลแอลกอฮอล์
keV	กิโลอิเล็กตรอนโวลท์
cm^3	ลูกบาศก์เซนติเมตร
mL	มิลลิลิตร
µL	ไมโครลิตร
mM	มิลลิโมลาร์
M	มิลลิลิตร
TEM	Transmission Electron Microscope
EDS	Electron Dispersive X-ray Spectrometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้อนุภาคทองคำนาโนอย่างแพร่หลาย เช่น ใช้เป็นอิเล็กทรอนิกส์ ไมโครชิพ (Electronic microchips) ใช้เป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัดทางเคมี (chemical sensor) หรือทางชีวภาพ (Biosensor) เป็นต้น สาเหตุที่นิยมประยุกต์ใช้อนุภาคทองนาโน เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมากเมื่อเทียบกับทองคำแบบก้อน จึงทำให้มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้น

ในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโน จะนิยมใช้เตตระคลอโรออริคแอซิด ($HAuCl_4$) เกรดวิเคราะห์ (Analytical reagent grade) ที่มีความบริสุทธิ์ 99.9 % เป็นสารตั้งต้น ซึ่งจะทำให้ได้อนุภาคทองนาโนที่มีความบริสุทธิ์สูง อย่างไรก็ตามการใช้ $HAuCl_4$ มีข้อจำกัด คือเป็นสารเคมีที่ราคาแพงมาก (5 กรัม ราคา 23,251 บาท) ทำให้ต้นทุนในการสังเคราะห์สูง

ในงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ จะลดต้นทุนในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโน โดยใช้สารตั้งต้นชนิดอื่น ที่มีราคาถูกกว่า $HAuCl_4$ และโดยที่ 'ทองคำเปลว' เป็นวัสดุราคาถูก และหาง่ายในประเทศไทย เนื่องจากนิยมใช้ทองคำเปลวในกิจกรรมต่างๆ ของศาสนาพุทธ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงจะทำการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากทองคำเปลว และจะทำการศึกษาคุณลักษณะของอนุภาคทองนาโนที่เตรียมได้จากทองคำเปลว พร้อมศึกษาเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จาก $HAuCl_4$ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนโดยใช้ทองคำเปลวเป็นสารตั้งต้น

1.2.2 เพื่อศึกษาคุณลักษณะของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์จากทองคำเปลวและจาก $HAuCl_4$

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ เริ่มจากการค้นคว้าและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการละลายทองคำเปลวด้วยกรดกัดทอง รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวกับวิธีการสังเคราะห์และศึกษาคุณลักษณะอนุภาคทองนาโน จากนั้นจึงเริ่มการทดลองจากการละลายทองคำเปลวด้วยกรดกัดทอง โดยจะได้ศึกษาหาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการละลายของทอง เช่น ความเข้มข้นของกรดกัดทอง เป็นต้น จากนั้นจึงทำการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายทองคำเปลวที่เตรียมได้ การสังเคราะห์อาศัยวิธีการเตรียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบเตอคีวิช (Turkevich method) ซึ่งใช้ซิเตรทเป็นตัวรีดิวซ์เปลี่ยนไอออนของทอง (Au^{3+}) ในสารละลายทองคำเปลว ให้เป็นอนุภาคทองนาโน (Au^0) เลือกใช้วิธีเตอคีวิช เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและขั้นตอนการสังเคราะห์ไม่ซับซ้อน สามารถใช้อุปกรณ์และเครื่องแก้วที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการทั่วไปในการสังเคราะห์ ในงานวิจัยนี้จะได้ศึกษาอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อขนาดและความบริสุทธิ์ของอนุภาคทองนาโน เช่น ความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรท ความเข้มข้นของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (ใช่เป็นสารรักษาความเสถียรของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ไม่ให้ตกตะกอน) เป็นต้น ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงแสงของสารละลายทองนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องยูวี–วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ศึกษาขนาดของอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และศึกษาความบริสุทธิ์ของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ธาตุแบบส่องผ่านรังสีเอ็กซ์ จากนั้นจึงนำผลการศึกษาที่ได้เปรียบเทียบกับขนาดและคุณลักษณะของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นเมื่อใช้ $HAuCl_4$ (เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99.9%) เป็นสารตั้งต้น จากนั้นจึงสรุปผลการศึกษาและดำเนินการรายงานผลการศึกษาต่อไป

ลำดับขั้นตอนในการทดลอง เป็นดังต่อไปนี้

1. ทำการละลายทองคำเปลวด้วยกรดกัดทอง
2. สังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายทองคำเปลวที่เตรียมได้
3. ศึกษาอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลต่อขนาดและความบริสุทธิ์ของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้
4. ศึกษาขนาดและคุณลักษณะของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากทองคำเปลว
5. นำผลการศึกษาที่ได้มาเปรียบเทียบกับขนาดและคุณลักษณะของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จาก $HAuCl_4$ (เกรดวิเคราะห์ ความบริสุทธิ์ 99.9%)

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนโดยใช้ทองคำเปลวเป็นสารตั้งต้นได้เป็นผลสำเร็จ

1.4.2 ได้อนุภาคทองนาโนที่มีขนาด ความบริสุทธิ์และคุณลักษณะ ที่ใกล้เคียงกับคุณลักษณะของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้เมื่อใช้ $HAuCl_4$ เป็นสารตั้งต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

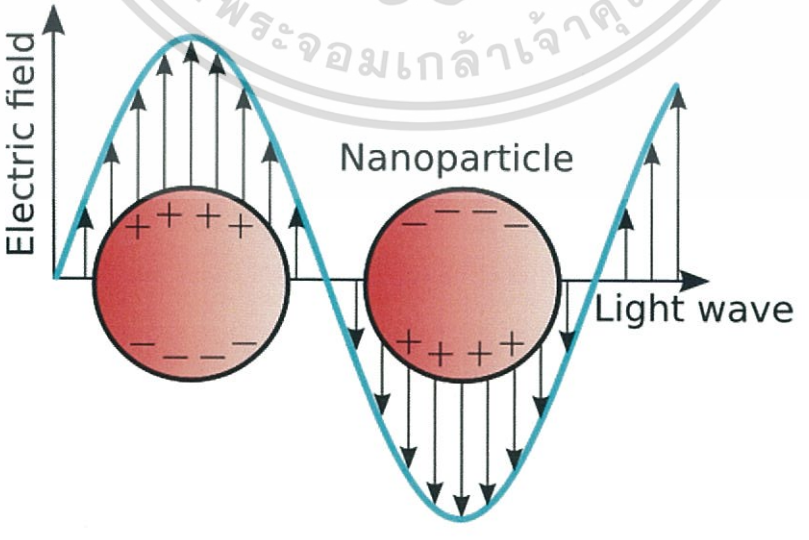
บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อนุภาคทองนาโน

2.1.1 คุณสมบัติของทองนาโน [1-6]

2.1.1.1 คุณสมบัติทางแสง

เมื่อทำการย่อขนาดทองคำให้เล็กลง จนมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่มากระทบมากๆ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์เซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance, SPR) ซึ่งเป็นคลื่นความหนาแน่นของประจุที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระที่มีลักษณะการสั่นแบบพร้อมเพรียงกัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวรอยต่อของโลหะกับสารไดเล็กทริก เช่น ระหว่างทอง หรือเงินกับอากาศหรือสารละลาย โดยที่ขนาด ยอดคลื่น และความกว้างของสเปกตรัมพลาสมอนเรโซแนนต์ของวัสดุต่างๆ จะขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปร่าง ประเภทของวัสดุ และสภาพแวดล้อมรอบวัสดุนั้น อนุภาคนาโนของทองคำจะมีสีแดงทับทิมแทนที่จะเป็นสีเหลืองวาวอย่างที่พบกันทั่วไปในโลหะชนิดอื่น เนื่องจากมีการดูดกลืนแสงสีเขียวซึ่งเป็นแสงคู่ตรงข้ามกับแสงสีแดง (ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร) นอกจากทองนั้นก็ยังมีโลหะชนิดอื่นที่สามารถแสดงปรากฏการณ์เชิงแสงในลักษณะเดียวกันนี้ได้ เช่น อนุภาคนาโนของเงินจะมีสีเหลืองเข้มแทนที่จะมีสีเงินวาว โดยที่มีความถี่อยู่ในช่วงใกล้รังสียูวีซึ่งอยู่นอกสเปกตรัมของช่วงแสงที่มองเห็น นอกจากนี้อนุภาคนาโนของโลหะเกือบทุกชนิด ไม่สามารถคงตัวอยู่ในรูปอนุภาคนาโนได้นานในสภาวะแวดล้อมตามปกติ ทำให้ไม่ค่อยพบปรากฏการณ์นี้ในโลหะชนิดอื่นๆ

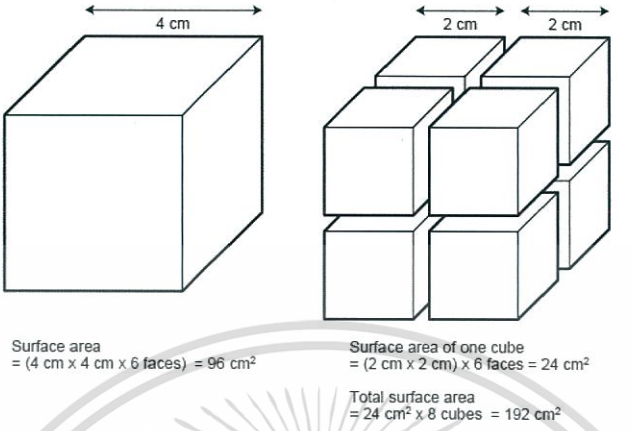


รูปที่ 2.1 รูปแสดงการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระแบบกลับไปกลับมา [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

เมื่อทำการลดขนาดอนุภาคลงเป็นระดับนาโนเมตร อนุภาคนาโนจะแสดงคุณสมบัติเชิงกายภาพในด้านขนาด มีขนาดเล็กในระดับ 1 - 100 นาโนเมตร มีพื้นที่ผิวมากกว่าโลหะแบบก้อน



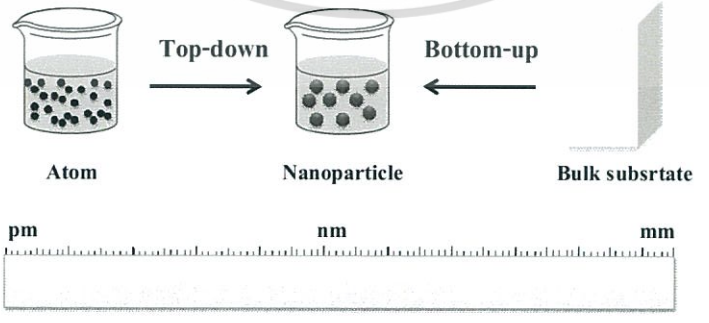
รูปที่ 2.2 รูปแสดงคุณสมบัติทางกายภาพของอนุภาคนาโน มีพื้นที่ผิวมากขึ้น [2]

2.1.1.3 อนุภาคทองระดับนาโน

อนุภาคทองนาโนเป็นอนุภาคที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากโลหะทอง มีขนาดเล็กอยู่ในช่วง 1-100 นาโนเมตร การที่มีขนาดเล็กลงทำให้อนุภาคทองมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่เปลี่ยนไปจากโลหะทองขนาดใหญ่ เช่น ทำให้มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง มีอะตอมอยู่บริเวณพื้นผิวมาก ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวหน้าวัตถุได้ง่าย ช่วยในการเร่งปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นอนุภาคทองนาโนจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย

2.1.1.4 การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสร้างหรือการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนให้มีขนาดในช่วง 1-100 นาโนเมตรนั้นแบ่งได้เป็น 2 แบบ



รูปที่ 2.3 การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนแบบ Top-down และ แบบ Bottom-up [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำโครงสร้างขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงระดับนาโน หรือกระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่าง (Top-Dowm Approach)

เป็นกระบวนการสังเคราะห์โดยการใช้อุปกรณ์ตัด แบ่งแยก เจาะ ย่อย หรือบดให้ของที่มีขนาดใหญ่มีขนาดเล็กลง จนถึงระดับนาโนเมตร ตัวอย่างของเทคโนโลยีแบบบนลงล่าง เช่น โฟโตลิโทกราฟี (Photo lithography) หรือ การแกะสลักเพื่อกำหนดลักษณะโครงสร้างระดับนาโนเมตรบนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แต่กระบวนการนี้มีข้อจำกัดคือมีความยากในการควบคุมขนาดและรูปร่างของอนุภาค

การสังเคราะห์จากอนุภาคเล็กประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างใหญ่ หรือ กระบวนการสังเคราะห์แบบล่างสู่บน (Bottom-Up Approach)

เป็นกระบวนการสังเคราะห์โดยการนำอะตอม หรือโมเลกุลมาจัดเรียงจนเกิดขึ้นเป็นอนุภาคที่มีขนาดใหญ่เป็นระดับนาโนเมตรด้วยวิธีต่างๆ ทางเคมี เช่น อาศัยหลักการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสารละลาย chloroauric acid (Au^{3+}) โดยใช้ Sodiumborohydride หรือ Trisodium Citrate เป็นตัวรีดิวซ์ เพื่อเปลี่ยนไอออนของทอง (Au^{3+}) ให้เป็นอะตอมของทอง (Au^{0}) อะตอมทองจะเกิดการรวมตัวกันหลายๆ อะตอมจนกลายเป็นอนุภาคนาโนทองที่มีขนาดระดับนาโนเมตร มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่มีของแข็งขนาดนาโนเมตรแขวนลอยอยู่ในสารละลาย ซึ่งวิธีนี้มักจะใช้กับสารที่อยู่ในรูปของเหลวหรือโมเลกุล ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าระดับนาโนเมตร มักพบในเทคโนโลยีด้านเคมี และชีวภาพ

ในปัจจุบันกระบวนการสังเคราะห์แบบล่างสู่บน (Bottom-Up Approach) นิยมนำใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนมากกว่ากระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่าง (Top-Dowm Approach) เนื่องมาจากเป็นวิธีที่ง่าย สามารถควบคุมขนาดและรูปร่างของอนุภาคได้

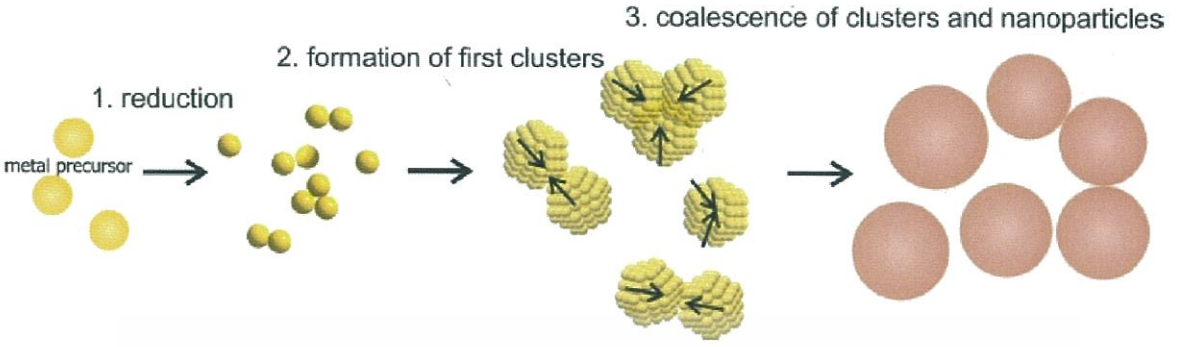
2.1.1.5 วิธีการเตอคีวิช (Turkevich method)

เป็นเทคนิคหนึ่งในกระบวนการสังเคราะห์แบบล่างสู่บน (Bottom-Up Approach) ที่อาศัยปฏิกิริยาเคมีเปลี่ยนอะตอมของโลหะให้เกิดเป็นอนุภาค ซึ่งวิธีการเตอคีวิชจะอาศัยปฏิกิริยารีดัคชั่นเปลี่ยนอะตอมของโลหะเป็นอนุภาคนาโน

ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโน จะต้องเตรียมโลหะให้อยู่ในรูปสารละลายก่อนที่จะทำปฏิกิริยา ตัวรีดิวซ์ส่วนใหญ่จะใช้เป็น โซเดียม โบโรไฮไดร์ด, กรดแอสคอร์บิค, ไตรโซเดียมซิเตรท หรือแอลกอฮอล์ และมีการใช้ตัวสเตบิไลเซอร์ เช่น โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ หรือโพลีไวนิลไพโรลิดีน ตัวสเตบิไลซ์เซอร์จะเกาะติดบริเวณผิวของอนุภาค ทำให้เกิดชั้นของประจุลบที่มีแรงผลักเนื่องจากประจุไฟฟ้า เพื่อไม่ให้อนุภาคโลหะเกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มอนุภาคและตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

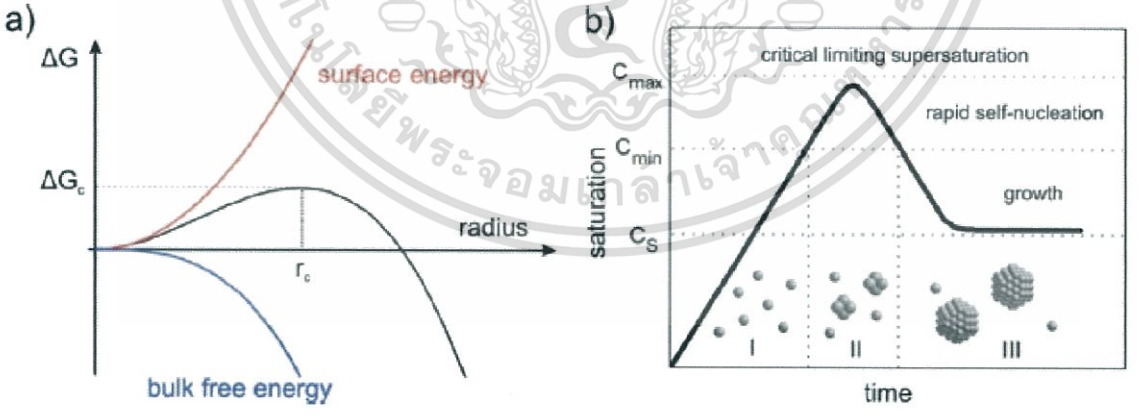
กระบวนการเกิดอนุภาคนาโน



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการเกิดอนุภาคนาโนของโลหะ [4]

Reduction Reaction เป็นกระบวนการที่ลดค่าออกซิเดชันของอะตอมโลหะ หลังจากที่โลหะถูกรดิวซ์จะเข้าสู่กระบวนการ Nucleation ที่นิวเคลียสของโลหะเกิดการรวมตัวกันเรียกว่านิวคลีไอ เพื่อกลายเป็นผลึก ซึ่งขนาดของนิวคลีไอจะเพิ่มขึ้นได้เรื่อยๆ จนถึงขนาดวิกฤต ซึ่งอธิบายด้วยสมการผลต่างของ Gibbs free energy

$$\Delta G = -\frac{4}{3}\pi r^3 \mid \Delta G_v \mid + 4\pi^2\gamma$$



รูปที่ 2.5 (a) อธิบายสมการผลต่างของ Gibbs free energy , r_c คือขนาดวิกฤตของนิวคลีไอ และ (b) กราฟแสดงกระบวนการ Nucleation [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการ Nucleation สามารถเกิด ได้ 2 แบบคือ

1. Primary Nucleation หรือ Homogeneous Nucleation เป็นกระบวนการที่นิวเคลียสของแข็งรวมตัวกันเองเกิดเป็นนิวคลีไอ แล้วกลายสารที่มีความอิ่มตัวแบบยิ่งยวด (Critical Supersaturation) กระบวนการนี้ทำให้นิวคลีไอ มีความบริสุทธิ์ไม่มีสิ่งเจือปนและสามารถเกิดขึ้นได้เอง

2. Heterogeneous Nucleation เป็นกระบวนการที่นิวเคลียสของแข็งรวมตัวกับสารอื่นเป็นนิวคลีไอ ซึ่งกระบวนการนี้เกิดจากการผสมสารตัวอื่นๆ ลงไปด้วยเพื่อให้เกิดผลึกที่แตกต่างออกไป จะทำให้พลังงานที่ใช้ในการเกิด Nucleation ลดลง เมื่อเติมผลึกของตัวถูกละลายลงไปอาจทำให้เกิดนิวคลีไอเพิ่มขึ้นในสารละลายได้ เรียกว่า Secondary Nucleation มี 2 แบบคือ Fluid-shear Nucleation คือกระบวนการที่สารละลายเคลื่อนที่ผ่านผลึกที่มีความเร็วมากพอ แล้วเกิดการเฉือนที่ผิวของผลึกทำให้บางส่วนหลุดออกกลายเป็นผลึกใหม่ และกระบวนการ Contact Nucleation เกิดจากการปั่นกวนสารละลายที่รุนแรงทำให้ผลึกหลุดออกจากกันเกิดเป็นผลึกใหม่ ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดผลึกขึ้นใหม่ได้ดี

เมื่อเกิด Nucleation แล้วจะเข้าสู่กระบวนการ Growth ซึ่งเป็นกระบวนการที่ผลึกแต่ละตัวเกิดการรวมตัวที่เรียกว่า Coalescence จนมีขนาดใหญ่ขึ้นกลายเป็นอนุภาค ซึ่งขนาดของอนุภาคนาโนของโลหะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความเข้มข้นของตัวเข้าทำปฏิกิริยา ทั้งโลหะและตัวรีดิวซ์ ชนิดของโลหะ ตัวรีดิวซ์และสเตบิไลเซอร์ อุณหภูมิ และค่าพีเอช เป็นต้น

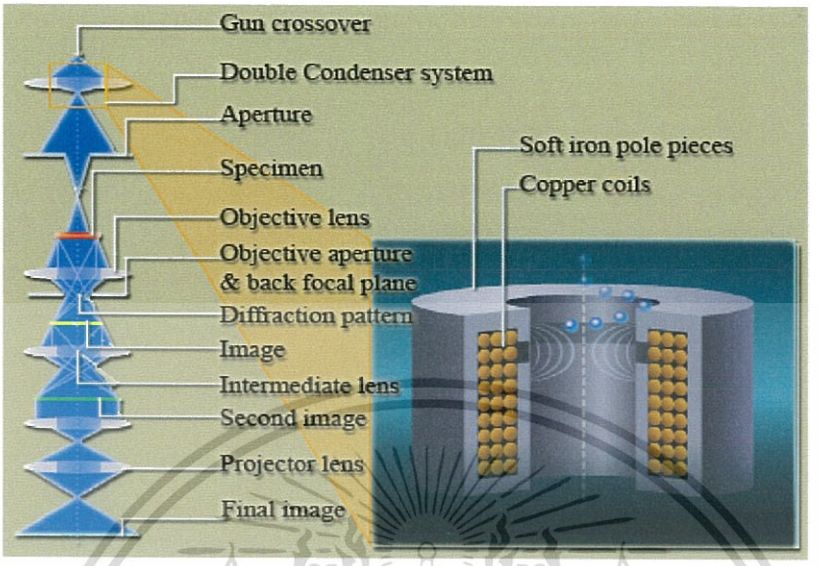
2.1.1.6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ลำอิเล็กตรอนแทนแสงธรรมดาในการส่องผ่านตัวอย่าง โดยตัวอย่างที่นำมาใช้ในการตรวจวัดจะผ่านการเตรียมตัวอย่างให้มีลักษณะบางเป็นพิเศษ เพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ ซึ่งภาพที่เกิดจากกล้องประเภทนี้ทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนั่นเอง เครื่อง TEM เป็นเครื่องมือที่ทำให้เราสามารถเห็นอีกมิติหนึ่งของสิ่งมีชีวิตและสิ่งไม่มีชีวิตขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรที่ตาของมนุษย์หรือกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงไม่สามารถมองเห็นได้ จึงเหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ ดีเอ็นเอ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1นาโนเมตร)

หลักการทำงานของเครื่องประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนที่ทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะถูกบีบ ด้วยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic lens) ซึ่งทำหน้าที่เป็นเลนส์รวบรวมรังสี (condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน สามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้เพื่อให้มีความเข้มตามความเหมาะสมกับลักษณะของตัวอย่าง จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษาซึ่งมีลักษณะที่แบนและบางมาก สามารถที่จะให้อิเล็กตรอนทะลุผ่านได้ อิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างก็จะถูกปรับโฟกัสของภาพโดยเลนส์ใกล้วัตถุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

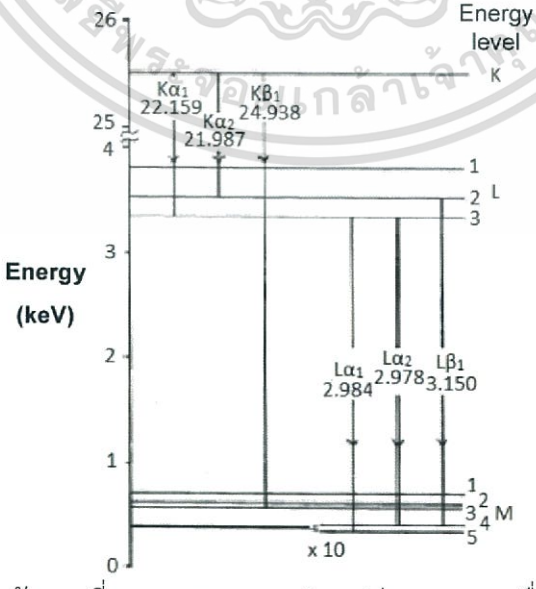
(objective lens) จากนั้นจะได้รับการขยายด้วยเลนส์ทอดภาพไปสู่จอรับ (projector lens) และปรับโฟกัสของลำอนุภาคอิเล็กตรอนให้ยาวพอดีที่จะปรากฏบนฉากเรืองแสง จึงเกิดเป็นภาพ 2 มิติขึ้น



รูปที่ 2.6 รูปภาพแสดงองค์ประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน [5]

2.1.1.7 Electron Dispersive X-ray Spectrometer (EDS)

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงคุณภาพวิเคราะห์หรือปริมาณวิเคราะห์ ในการตรวจวิเคราะห์หาธาตุหรือสารเคมีในสารตัวอย่างและสามารถหาโครงสร้างในผลึกได้ เครื่องมือนี้อาศัยหลักการกระตุ้นด้วยลำแสงอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนของธาตุเกิดการเปลี่ยนสถานะจากสถานะพื้นเป็นสถานะที่ถูกกระตุ้น และทำการวัดพลังงานของลำแสง X-rays ที่อะตอมของธาตุปลดปล่อยออกมา สามารถตรวจวิเคราะห์ธาตุที่มีเลขอะตอมตั้งแต่ 4 (Be) ถึง 92 (U)



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงพลังงานที่อะตอมของธาตุปลดปล่อยออกมาเมื่ออิเล็กตรอนมีการย้ายจากสถานะที่ถูกกระตุ้นกลับสู่สถานะพื้น [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.8 ข้อดีของอนุภาคทองนาโน

1. อนุภาคทองนาโนมีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเฉพาะและอยู่ใกล้ช่วงอินฟราเรด เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงที่เหมาะสมจะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการแพทย์

2. อนุภาคทองนาโนมีอิเล็กตรอนบริเวณพื้นผิวหนาแน่น สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเทคนิคต่างและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเทคนิคเหล่านั้น เช่น เทคนิคทางไฟฟ้าเคมี การทำเซนเซอร์ เป็นต้น

2.1.2 การประยุกต์ใช้อนุภาคทองนาโนในด้านต่างๆ

ด้านการแพทย์

มีการนำไปใช้ในการรักษาเนื้องอกและรักษาโรคติดเชื้อต่างๆ จากคุณสมบัติเชิงแสง(optical properties) อนุภาคทองนาโนมีการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงแสงขาว(visible region) หรือใกล้ช่วงลำแสงอินฟราเรด ซึ่งอนุภาคจะมีเกิดความร้อนเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสม เมื่ออนุภาคทองนาโนที่ถูกนำมายึดติดกับแอนติบอดีและนำไปไว้บริเวณเซลล์เป้าหมาย จะทำให้เซลล์นั้นถูกทำลายด้วยความร้อน

ในปี 2003 มีการนำอนุภาคทองนาโนมาประยุกต์ใช้เป็นสารในการบำบัดด้วยเทคนิค Plasmonic Photothermal Therapy (PPTT) เป็นเทคนิคที่มีความเจาะจงต่อเซลล์เป้าหมายโดยจะใช้อนุภาคทองนาโนขนาด 20-30 นาโนเมตร มายึดติดกับ T-lymphocytes แล้วกระตุ้นให้เกิดความร้อนด้วยลำแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร เพื่อใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง

มีงานวิจัยที่นำอนุภาคทองนาโนไปใช้ในการวินิจฉัยโรคหรือตรวจหาเชื้อด้วยการนำมาผูกติดกับแอนติบอดี แล้วทำการด้วยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) ตัวอย่างโรคที่ทำการวินิจฉัยได้แก่ การหาเซลล์มะเร็ง หาเซลล์ leptospira ใน urine วินิจฉัยโรคอัลไซเมอร์ เป็นต้น

อีกทั้งยังนำอนุภาคทองนาโนไปประยุกต์ใช้เป็นตัวส่งถ่ายสารเคมีเนื่องจากขนาดเล็ก สามารถแทรกซึมไปยังเซลล์เป้าหมายได้ง่าย และสามารถควบคุมปริมาณสารที่กำหนดได้อย่างแม่นยำ สารที่ส่งถ่ายเข้าไปในร่างกายเป็นพวกยา สารสร้างภูมิคุ้มกัน เป็นต้น

ด้านอุตสาหกรรม

มีการนำอนุภาคนาโนไปประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์ในการตรวจหาสารเคมี สารพิษ หรือสารปนเปื้อนต่างๆ ในอุตสาหกรรม เนื่องจากอนุภาคทองนาโนมีคุณสมบัติเชิงแสง (optical properties) มีปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอน เรโซแนนซ์ เมื่ออนุภาคทองนาโนอยู่ในตัวกลางที่แตกต่างออกไป จะทำให้เกิดสีของสารละลายที่แตกต่างออกไป และยังมีคุณสมบัติเชิงไฟฟ้า (electronics properties) ที่สามารถนำไฟฟ้า และยังมีประจุอิเล็กตรอนที่หนาแน่น สามารถสร้างเส้นลวดอิเล็กตรอน (electron wire) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเทคนิคการตรวจวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างงานวิจัย มีการนำอนุภาคทองนาโนมาประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์ที่สามารถมองเป็นการเปลี่ยนแปลงสีด้วยตาเปล่า (colorimetric sensor) ในการตรวจหาสาร E-coli โดยการหยดสารตัวอย่าง E-coli ลงไปในสารละลายอนุภาคทองนาโน จะเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของละลายจากสีแดงไวน์(ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร) เป็นสีม่วง และวิเคราะห์หาปริมาณด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี พบว่ามีความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น (red-shift)

ด้านวิทยาศาสตร์และอื่นๆ

อนุภาคนาโนมีคุณสมบัติเด่นทั้งคุณสมบัติเชิงแสง คุณสมบัติเชิงกายภาพ และคุณสมบัติทางไฟฟ้า ทำให้มีการนำอนุภาคนาโนมาพัฒนาเทคนิคในการวิเคราะห์เช่น เทคนิคทางไฟฟ้าเคมี มีการนำอนุภาคทองนาโนที่มีประจุอิเล็กตรอนหนาแน่น มาประยุกต์เป็นหัวตรวจวิเคราะห์(probe) เพื่อเพิ่มความรวดเร็วและประสิทธิภาพในการตรวจวิเคราะห์

2.2 ทองคำเปลว

ทองคำเปลว (Gold foil) [7] คือแผ่นทองคำที่ผ่านการตีแผ่ขยายจนได้เป็นแผ่นที่มีความบางมาก ซึ่งในประเทศไทยนิยมใช้ทองคำเปลวในกิจกรรมต่างๆ ของศาสนาพุทธ

2.2.1 กรรมวิธีการผลิต

ทำการเตรียมทองคำเพื่อใช้ในการผลิตทองคำเปลว ซึ่งทองต้องมีความบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 96.5 - 99.99 โดยน้ำหนัก ตามมาตรฐานของทองคำแท่งในประเทศ จากนั้นนำทองคำไปรีดให้เป็นแผ่น โดยจะรีดให้มีความกว้างและความยาวแล้วแต่น้ำหนักของทองคำที่ใช้ และให้มีความหนาประมาณ 4-5 ไมครอน ทองคำที่รีดเสร็จแล้วจะถูกเรียกว่าทองใบ นำทองใบมาทำความสะอาดโดยการเช็ดคราบน้ำมัน จากนั้นนำมาตัดให้เป็นเส้น ยาวประมาณ 1 ฟุต แล้วตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาดเล็กที่มีความกว้างและความยาวประมาณ 1 เซนติเมตร เรียกว่า ตัวกุบ นำตัวกุบมาตบสอ โดยการนำหมอนที่จุ่มแป้งสอมาเคาะใส่ตัวกุบเล็กน้อย ซึ่งแป้งสอจะเป็นตัวช่วยให้ทองคำไม่ติดกับกระดาษ จากนั้นนำตัวกุบมาใส่ในกระดาษกุบ ซึ่งเป็นกระดาษแก้วขุ่นทรงสี่เหลี่ยมที่ผ่านการฉาบแป้งสอแล้ว โดยวางให้ทองคำอยู่ตรงกลาง กระดาษ 1 ใบ จะใส่ทอง 1 ชิ้น แล้วนำมาเรียงซ้อนกัน เพื่อที่เวลาตีจะทำให้ทองคำออกมามีลักษณะเดียวกัน จากนั้นใส่ปลอกกุบซึ่งทำจากหนังทั้ง 2 ข้าง แล้วนำไปตีเรียกว่าการตีกุบ การตีกุบจะใช้เวลาตี 2-3 ชั่วโมงต่อกุบ 1 ขอน (1 ขอน มีตัวกุบประมาณ 1000 แผ่น) โดยใช้ฆ้อนทองเหลืองตีกุบบนแท่นหินพื้นเรียบ เมื่อทองคำได้รับแรงกระแทกจากการเสียดสีจนเกิดความร้อนจะทำให้ทองคำเริ่มแผ่ขยายตัว ในขณะตีควรระวังไม่ให้ปลอกกุบหลวม เพราะจะทำให้ทองภายในแตกได้ หลังจากตีกุบแผ่นทองคำจะถูกนำไปเทใส่กระดาษแก้วขุ่นทรงสี่เหลี่ยมแผ่นใหญ่ขึ้นที่เรียกว่าฝัก เพื่อตีให้ทองคำเกิดการแผ่ขยายตัวใหญ่ขึ้น โดยเรียกขั้นตอนนี้ว่าการเททองลงฝัก หรือ ใส่ฝัก การใส่ฝักต้องให้ทองคำอยู่ตรงกลาง กระดาษ 1 ใบ จะใส่ทอง 1 ชิ้น นำมาเรียงซ้อนกัน นำไปหุ้มปลอกหนังทั้ง 2 ข้าง แล้วจึงนำไปตีต่ออีกครั้ง การตีฝักเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทองคำเปลว ตำแหน่งของฆ้อนและน้ำหนักในการตีจะต้องสม่ำเสมอ ใช้เวลาการตีทองในขั้นตอนนี้ 6 – 7 ชั่วโมง โดยจะต้องทำให้ได้แผ่นทองคำที่มีความบางที่สุดจนเป็นแผ่นทองคำเปลวจึงเสร็จสิ้นกระบวนการตีทอง หลังจากนั้นคือการนำแผ่นทองคำเปลวที่ผ่านการตีจนมีความบางมากๆ ออกจากกระดาษตีมาใส่ในกระดาษดามหรือกระดาษสา เรียกว่าการเททอง แล้วนำไปทำการตัดทอง ซึ่งการตัดทองนิยมใช้ไม้ไผ่เหลาเจียนขอบคมในการตัด เพราะไม้ไผ่จะมีความคมที่พอดีในการใช้เพื่อตัดทอง ผู้ชำนาญจะตัดทองคำลงกระดาษแผ่นรองให้ได้ขนาดตามต้องการแล้วประทับตราร้าน นำมัดรวมกัน เรียกมัดทอง พร้อมจำหน่าย

การตัดแผ่นทอง แบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

1. ทองเต็ม คือ แผ่นทองคำเปลวที่ถูกตัดใส่เต็มแผ่นกระดาษ
2. ทองจิ๋ม คือ แผ่นทองคำเปลวขนาดเล็กที่ถูกตัดใส่ไม่เต็มแผ่นกระดาษ

2.2.2 ประเภทของทองคำเปลว

แผ่นทองคำเปลว แบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. ทองคัด คือ แผ่นทองคำเปลวที่ถูกตัดออกมาตามขนาดที่กำหนด โดยผิวของแผ่นทองจะต้องเรียบเนียนเป็นแผ่นเดียวกัน ไม่มีรอยต่อของแผ่นทอง มีราคาแพง

2. ทองต่อ คือ แผ่นทองคำเปลวที่มีการตัดต่อแผ่นทองให้ได้ตามขนาดที่กำหนด โดยการนำแผ่นทองคำเปลวมาต่อกันมากกว่า 1 แผ่นขึ้นไป มีราคาถูก

และโดยทั่วไปทองคำเปลวแบ่งประเภทของทองตามความบริสุทธิ์ได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ทองแดง หรือ ทองกิมซัว เป็นทองคำเปลวที่ทำมากจากทองคำที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99 โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาตีออกจะทำให้ได้แผ่นทองคำเปลวที่มีสีเหลืองทองอร่ามออกแดง

2. ทองเขียว เป็นทองคำเปลวที่ทำมาจากทองคำที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 97 โดยน้ำหนัก เมื่อนำมาตีออกจะทำให้ได้แผ่นทองคำเปลวที่มีสีเหลืองทองอร่ามออกเขียว มีราคาถูกกว่าทองแดง หรือทองกิมซัว

3. ทองวิทยาศาสตร์ เป็นทองคำเปลวที่ทำมาจากสารประกอบโลหะอื่นๆ ที่ไม่ใช่ทอง และสีเคลือบแปะอยู่บนแผ่นโพลิเมอร์ โดยจะสังเกตได้ง่ายเมื่อใช้นิ้วมือขยี้หากไม่ติดนิ้วมือแสดงว่าเป็นทองวิทยาศาสตร์

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

P. Pimpang และคณะ [8] ได้ทำการหาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนทองคำโดยวิธีการบดและรีดักชันทางเคมี ทำการศึกษาวิธีการละลายทองคำด้วยกรดกัดทองในอัตราส่วน 1:3 โดยใช้ทองคำเปลว ความบริสุทธิ์ 96.5 เปอร์เซ็นต์ น้ำหนัก 1.0754 กรัม ละลายด้วยกรดกัดทองที่ประกอบด้วยกรดไนตริก เข้มข้น 70 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 36 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และให้ความร้อนพร้อมปั่นกวน สารละลายที่ได้นำมาปรับปริมาตรในขวดวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายกรดเตตระคลอโรอูริก เข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ จากนั้นได้ศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโน โดยใช้โพลิไวนิแอลกอฮอล์เป็นตัวสเตบิไลเซอร์ โดยใช้สารละลายกรดเตตระคลอโรอูริกที่ได้ เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ให้ความร้อนพร้อมปั่นกวน เมื่อสารละลายเดือดเติมสารละลายโซเดียมซิเตรทเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ปริมาตร 0.3-0.8 มิลลิลิตรลงไปทันที สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองใสเป็นสีแดง จากนั้นเติมสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ได้เป็นอนุภาคนาโนทองคำ ซึ่งพบว่าที่ไตรโซเดียมซิเตรทเข้มข้น 40 เปอร์เซ็นโดยมวล ปริมาตร 0.7 มิลลิลิตร ได้ขนาดอนุภาคนาโนทองคำเล็กที่สุด มีค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร

C. Li และคณะ [9] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนโดยควบคุมอุณหภูมิและ pH ในงานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนโดยควบคุม pH ของสารละลายกรดเตตระคลอโรอูริคก่อนการสังเคราะห์ ในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนใช้สารละลายกรดเตตระคลอโรอูริคเข้มข้น 0.25 – 2.5 มิลลิโมลาร์ และควบคุม pH โดยการเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 – 10 มิลลิโมลาร์ พบว่า ที่โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นสูงกว่า 7.8 มิลลิโมลาร์ อนุภาคทองนาโนเกิดการตกตะกอน และที่ความเข้มข้น 6.6 มิลลิโมลาร์ อนุภาคทองนาโนเป็นสารแขวนลอย เมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน พบว่ามีขนาดเล็กที่สุดประมาณ 12 นาโนเมตร

P.K. Khanna และคณะ [10] ได้ศึกษาสมบัติความเป็นสเตบิไลเซอร์ของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนโดยใช้ตัวรีดิวซ์อื่นๆ ทั่วไป ซึ่งการทดลองได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนโดยใช้โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ผสมกับเกลือไตรคลอโรอูริกและตัวรีดิวซ์ที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือไฮดราซีนที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่รุนแรง และโซเดียมฟอร์มาดีไฮด์ดีซัลโฟซีเลท ที่เป็นตัวรีดิวซ์อ่อนๆ และทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้อง พบว่าอนุภาคทองนาโนที่เกิดขึ้นโดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์ ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า มีค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย 528 นาโนเมตร มีพีคของเอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชั่นที่แคบกว่า และมีขนาดประมาณ 15 นาโนเมตร

H. Tyagi และคณะ [11] ได้ศึกษาสมบัติความเป็นสเตบิไลเซอร์ของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนโดยใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นตัวรีดิวซ์ โดยทำการผสมไตรคลอโรอูริคกรดแอสคอร์บิค และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เข้าด้วยกัน ละลายด้วยน้ำกลั่น และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อควบคุม pH ในช่วง 3-11 พบว่าเมื่อค่า pH มากขึ้นจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นจาก 509 นาโนเมตร เป็น 519 นาโนเมตร อนุภาคทองนาโนเกิดการตกตะกอนเมื่อ pH มีค่าเท่ากับ 11 และที่อัตราส่วนความเข้มข้นระหว่าง กรดแอสคอร์บิกกับไตรคลอโรอูริก มีค่า 3:1 ขึ้นไป อนุภาคทองนาโนเกิดการตกตะกอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M.R. Hormozi-nezhad และคณะ [12] ได้ทำการตรวจวัดซิสเทอีนและกลูตาไทโอนด้วยวิธี colorimetric method โดยใช้อนุภาคทองนาโนเป็นตัวเข้าทำปฏิกิริยา ในงานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนด้วยวิธี เตอคีวิช (turkivich method) โดยใช้สารละลายกรดเตตระคลอโรอูริค เกรดวิเคราะห์ เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ให้ความร้อนและปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที เมื่อสารละลายเดือด เติมไตรโซเดียมซิเตรท เข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีแดง ได้เป็นอนุภาคทองระดับนาโน มีขนาดประมาณ 13 นาโนเมตร และมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	ยี่ห้อและประเทศผู้ผลิต
ทองคำเปลว (บริสุทธิ์ 99.9 %)	-	ช้างแดง, ไทย
กรดเตตระคลอโรออริค (Tetrachloauric (III) acid)	$HAuCl_4 \cdot 3H_2O$	Sigma-Aldrich, อเมริกา
กรดไนตริก (Nitric acid)	HNO_3	Carlo Erba Reagents, สเปน
กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)	HCl	Carlo Erba Reagents, สเปน
ไตรโซเดียมซิเตรท (Sodium citrate tribasic)	$C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$	Sigma-Aldrich, อเมริกา
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly Vinyl Alcohol)	$(C_2H_4O)_x$	Sigma-Aldrich, อเมริกา
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	NaOH	Rankem, อินเดีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องตรวจวัด

1. บีกเกอร์	ขนาด	500	cm^3	2	ใบ
	ขนาด	250	cm^3	2	ใบ
	ขนาด	100	cm^3	3	ใบ
	ขนาด	50	cm^3	20	ใบ
2. ขวดวัดปริมาตร	ขนาด	100	cm^3	5	ใบ
	ขนาด	50	cm^3	4	ใบ
	ขนาด	10	cm^3	15	ใบ
3. ปิเปต	ขนาด	10	cm^3	1	อัน
4. ไมโครปิเปต	ขนาด	5	ml	1	อัน
	ขนาด	100	µl	1	อัน
5. ขวดขนาดเล็กมีฝาปิด	15	ใบ			
6. แท่งแก้วคนสาร	2	อัน			
7. จุกยาง	1	อัน			
8. ช้อนตักสาร	2	อัน			
9. นาฬิกาจับเวลา	2	อัน			
10. แท่งแม่เหล็ก	2	อัน			
11. กระจกนาฬิกา	2	อัน			

12. โถดูดความชื้น

13. เครื่องให้ความร้อน – IKA® C-MAG HS 7

14. เครื่องชั่งสาร – Suimadzu Aux 220, อเมริกา

15. เครื่องวัดพีเอช – METTLER TOLEDO FiveEasyPlus™, เยอรมัน

16. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ – Jasco V630, อเมริกา

17. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) – FEI รุ่น TECNAI T20 G^2, เนเธอร์แลนด์

18. เครื่อง Electron Dispersity X-ray Spectrometer (EDS) – FE-SEM MODEL: HITACHI – S4700, ญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเตรียมสารละลาย

สารละลายทุกตัวเตรียมจากน้ำกลั่นปราศจากไอออนที่ได้จากเครื่อง ZENEER UP 900 (ยี่ห้อ human corporation)

3.2.1 การเตรียมสารละลายกรดกัดทอง

เติมน้ำกลั่นปราศจากไอออน ปริมาตร 2.4 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นตวงสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 5.7 มิลลิลิตร และตวงสารละลายกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 65 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 1.9 มิลลิลิตร ตามลงในบีกเกอร์ จะได้สารละลายกรดกัดทองเข้มข้นร้อยละ 7.6 โดยปริมาตรต่อปริมาตร

3.2.2 การเตรียมสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์เข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

ละลายกรดเตตระคลอโรออริค 0.0394 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจำนวนเล็กน้อยใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายกรดเตตระคลอโรออริคเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

3.2.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์

ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจำนวนเล็กน้อย คนจนสารละลายหมด นำไปใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 โมลาร์

3.2.4 การเตรียมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรท

3.2.4.1 การเตรียมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ละลายไตรโซเดียมซิเตรท 5 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจำนวนเล็กน้อยใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

3.2.4.2 การเตรียมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นร้อยละ 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ปิเปตสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มา 1, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 และ 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่ความเข้มข้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.2.5 การเตรียมสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์

3.2.5.1 การเตรียมสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ 5 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจำนวนเล็กน้อยใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

3.2.5.2 การเตรียมสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 2, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ปิเปตสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มา 2, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การละลายทองคำเปลวโดยใช้กรดกัดทอง

นำแผ่นทองคำเปลวเกรดบริสุทธิ์ 0.2232 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายกรดกัดทองที่เตรียมไว้ในข้อที่ 3.2.1 บรรจุอยู่ 10 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส พร้อมปั่นกวนเป็นเวลาเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จนทองละลายหมด นำสารละลายทองที่ได้ไปตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปกรองตะกอนด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2 ตะกอนที่ได้นำไปอบให้แห้งและชั่งน้ำหนัก สารละลายทองที่ได้เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรจนถึงขีดบอกปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่ได้จากการละลายทองคำเปลวความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์

3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์

3.3.2.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม

ปิเปตสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียสพร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที จนสารละลายเริ่มเดือด จากนั้นเติมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 1.4 มิลลิลิตร ทันทีอย่างรวดเร็ว ให้ความร้อนต่ออีก 5 นาที เมื่อสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีแดงไวน์ เติมสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการตรวจวัดค่าพีเอช และตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง ยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

149444

สำหรับสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นอื่นๆ ทำการทดลองตามแบบเดิมแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ จากความเข้มข้นร้อยละ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นความเข้มข้นร้อยละ 4 และ 6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ

3.3.2.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม

ปิเปตสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที จนสารละลายเริ่มเดือด จากนั้นเติมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 1.4 มิลลิลิตร ทันทีอย่างรวดเร็ว ให้ความร้อนต่ออีก 5 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการตรวจวัดค่าพีเอช และตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง ยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

สำหรับสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นอื่นๆ ทำการทดลองตามแบบเดิมแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรท จากความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นความเข้มข้นร้อยละ 1.5 และ 2 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ

3.3.3 การสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลว

ปิเปตสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่ได้จากการละลายทองคำเปลวความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส พร้อมปั่นกวน เมื่อสารละลายเริ่มเดือดเติมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นร้อยละ 1.4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 1.4 มิลลิลิตร ทันทีอย่างรวดเร็ว ให้ความร้อนต่ออีก 5 นาที เมื่อสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีแดงไวน์ เติมสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จะได้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ทำการตรวจวัดค่าพีเอช และตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง ยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

3.3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว

3.3.4.1 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโน

ตรวจวัดค่าพีเอชของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่ได้จากการละลายทองคำเปลวด้วยพีเอชมิเตอร์ ปรับพีเอชของสารละลายให้มีค่าพีเอชเท่ากับ 2 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 โมลาร์ จะได้สารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่ได้จากการละลายทองคำเปลวมีค่าพีเอชเท่ากับ 2 จากนั้นนำไปดำเนินการทดลองต่อดังข้อ 3.3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับที่ค่าพีเอชอื่นๆ ทำการทดลองตามแบบเดิมแต่เปลี่ยนค่าพีเอชของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่ได้จากการละลายทองคำเปลว จากค่าพีเอชเท่ากับ 2 เป็นค่าพีเอชเท่ากับ 3 และ 4 ตามลำดับ

3.3.4.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม

ปิเปตสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่ได้จากการละลายทองคำเปลวความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที จนสารละลายเริ่มเดือด จากนั้นเติมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 1.4 มิลลิลิตร ทันทีอย่างรวดเร็ว ให้ความร้อนต่ออีก 5 นาที เมื่อสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีแดงไวน์ เติมสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการตรวจวัดค่าพีเอช และตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง ยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

สำหรับสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นอื่นๆ ทำการทดลองตามแบบเดิมแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรท จากความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นความเข้มข้นร้อยละ 1.1, 1.2, 1.3, 1.4 และ 1.5 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ

3.3.4.3 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม

ปิเปตสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่ได้จากการละลายทองคำเปลวความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที จนสารละลายเริ่มเดือด จากนั้นเติมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นร้อยละ 1.4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 1.4 มิลลิลิตร ทันทีอย่างรวดเร็ว ให้ความร้อนต่ออีก 5 นาที เมื่อสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองอ่อนเป็นสีแดงไวน์ เติมสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการตรวจวัดค่าพีเอช และตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง ยูวี-วิซิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์

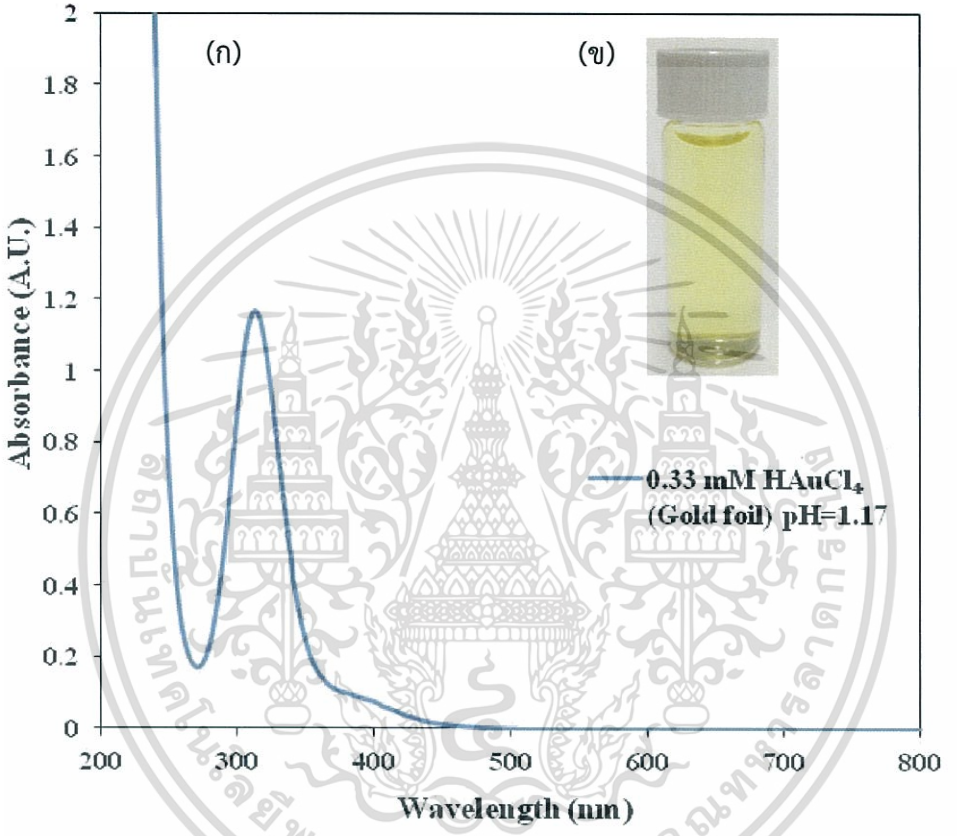
สำหรับสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นอื่นๆ ทำการทดลองตามแบบเดิมแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ จากความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นความเข้มข้นร้อยละ 5, 6, 7, 8, 9 และ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การละลายทองคำเปลวโดยใช้กรดกัดทอง

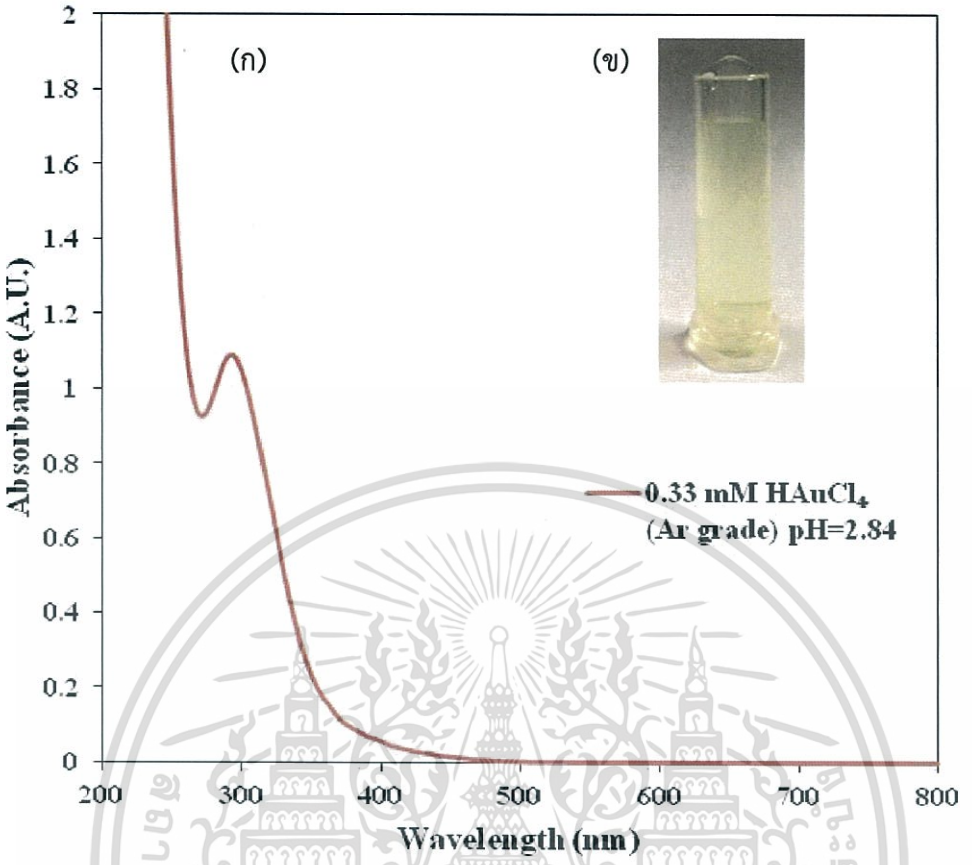
ได้ทำการละลายทองคำเปลวตามวิธีการทดลองในข้อ 3.3.1 พบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 (ก) สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลว และ (ข) ภาพแสดงสีของสารลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลว

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.1 พบว่าสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลวมีสีเหลือง และเมื่อทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นบริเวณ 313 นาโนเมตร มีค่าพีเอช 1.17 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ ที่มีความยาวคลื่นบริเวณ 293 นาโนเมตร มีค่าพีเอช 2.84 และสารละลายมีสีเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 (ก) สเปกตรัมที่ได้จากการดูดกลืนแสงของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ และ (ข) ภาพแสดงสีของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์

4.2 การสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์

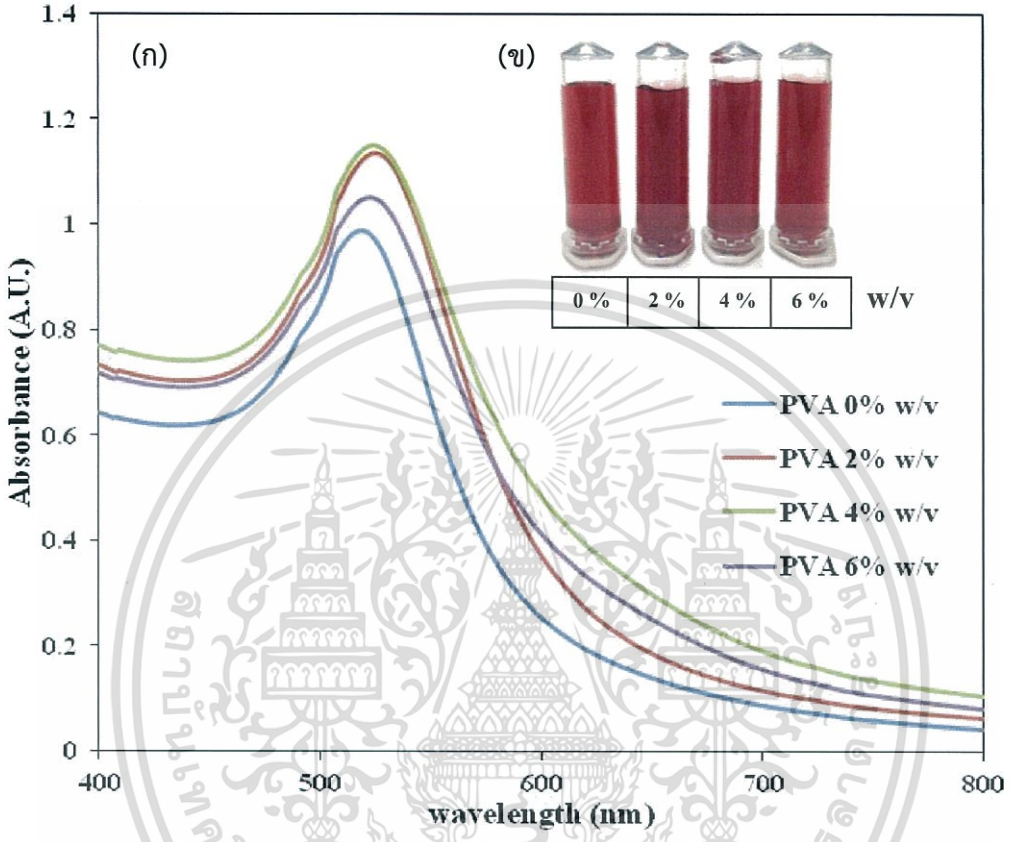
4.2.1 ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม

ได้ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสมที่ความเข้มข้น 0%, 2%, 4% และ 6% w/v ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.3 และ 4.4

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.3 พบว่าสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์โดยใช้สารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นต่างๆ สารละลายที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดมีสีแดงไวน์ เมื่อทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร มีค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดใกล้เคียงกัน และเมื่อนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ไปสำรวจด้วยเครื่อง TEM พบว่าอนุภาคมีขนาดใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ไม่มีผลต่อขนาดของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายกรดเตตระคลอโร

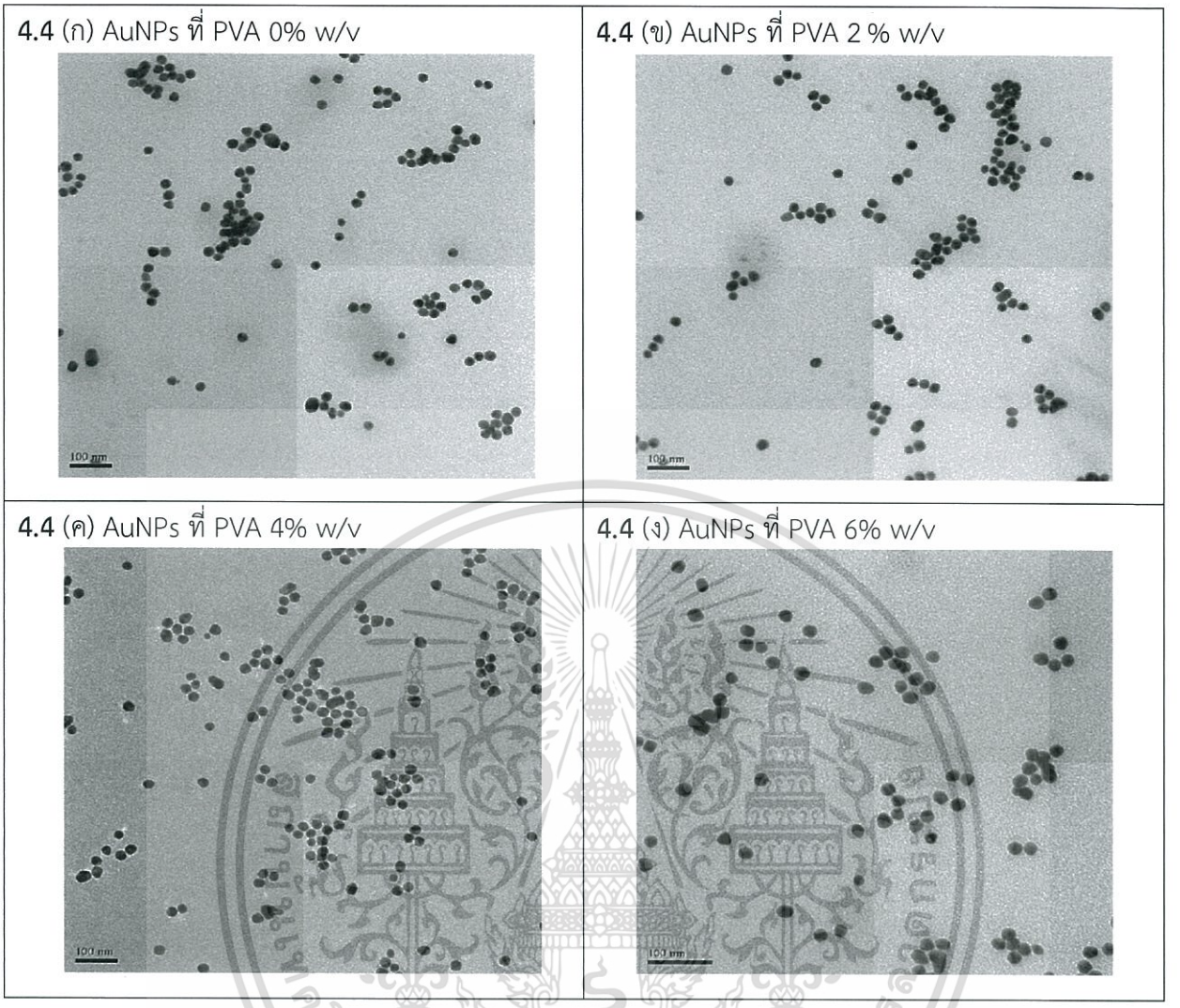
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ดังนั้นจึงเลือกสภาวะที่ไม่มีการใช้สารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ (0% w/v) เพื่อทำการศึกษาหัวข้ออื่นๆ ต่อไป



รูปที่ 4.3 (ก) สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ AuNPs (ที่เจือจาง 3 เท่า) เมื่อใช้ PVA ความเข้มข้น 0%, 2%, 4% และ 6% w/v เป็น Stabilizer และ (ข) ภาพแสดงสีของสารละลาย AuNPs ที่สังเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM โดยที่ (ก) AuNPs ที่ PVA 0% w/v (ข) AuNPs ที่ PVA 2% w/v (ค) AuNPs ที่ PVA 4% w/v และ (ง) AuNPs ที่ PVA 6% w/v

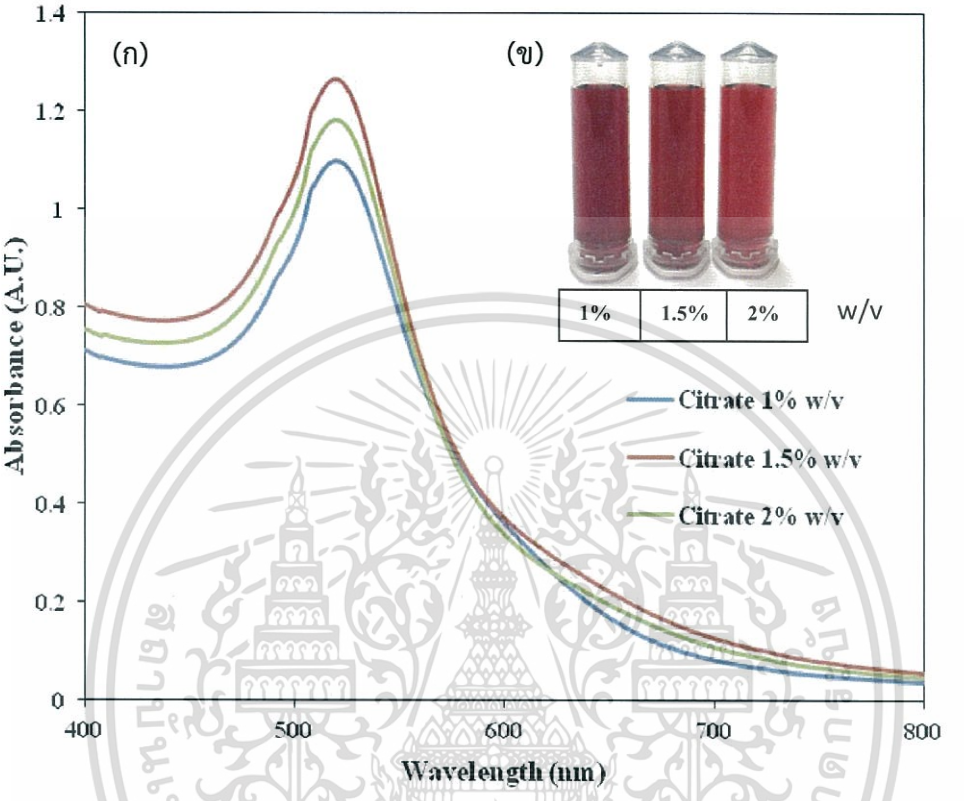
4.2.2 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม

ได้ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม ที่ความเข้มข้น 1%, 1.5% และ 2% w/v ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5 และ 4.6

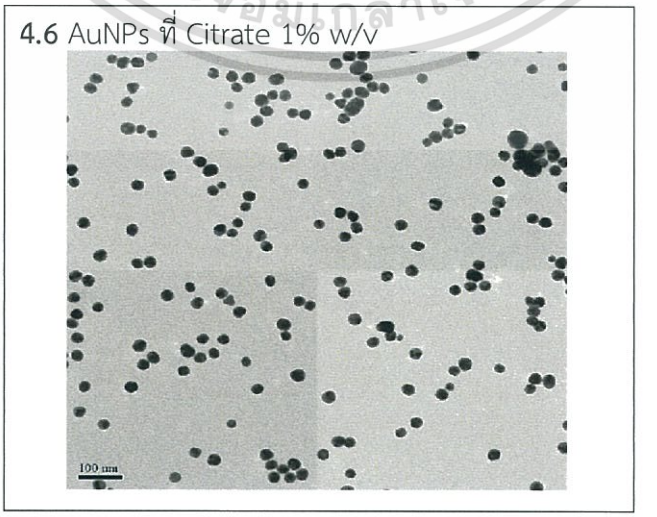
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.5 พบว่าสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์โดยใช้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นต่างๆ สารละลายที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดมีสีแดงไวน์ เมื่อทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร ทั้งหมดมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่บริเวณ 520 นาโนเมตร และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดไม่แตกต่างกันเท่าไรนัก และเมื่อนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ไปสำรวจด้วยเครื่อง TEM พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีผลต่อขนาดของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.6 ดังนั้นจึงเลือกสภาวะที่มีการใช้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 1% w/v โดยได้สรุปสภาวะไว้ดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.5 (ก) สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ AuNPs (ที่เจือจาง 3 เท่า) เมื่อใช้ Citrate ความเข้มข้น 1%, 1.5% และ 2% w/v เป็น Reducing agent และ (ข) ภาพแสดงสีของสารละลาย AuNPs ที่สังเคราะห์ได้



รูปที่ 4.6 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM โดยที่ AuNPs ที่ Citrate 1% w/v

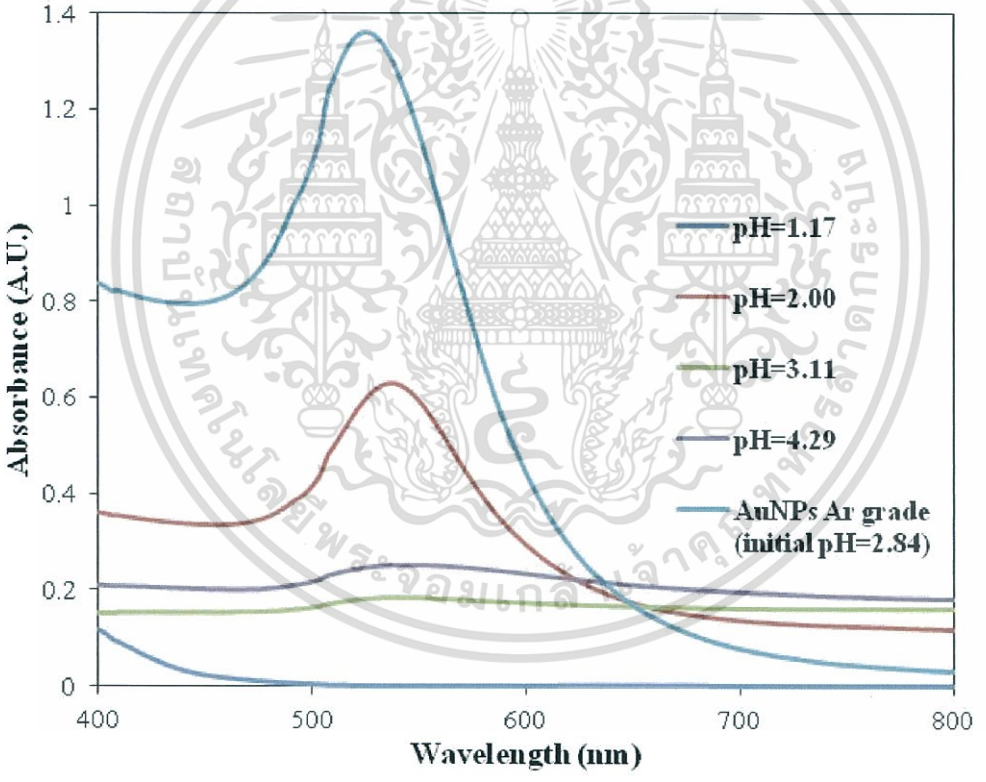
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์

ปัจจัยที่ศึกษา	ช่วงที่ศึกษา	ค่าที่เลือก
ความเข้มข้นของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์	0 – 6 %	0 %
ความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรท	1.0 – 2.0 %	1 %

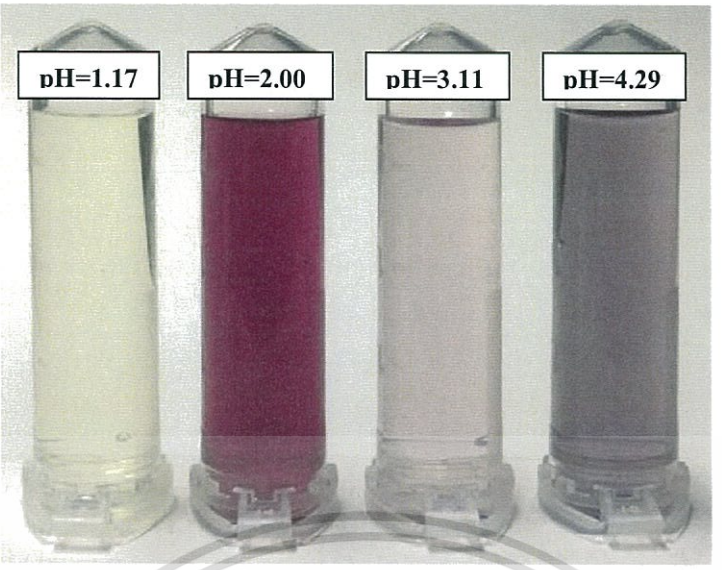
4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว

4.3.1 การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโน



รูปที่ 4.7 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ AuNPs ที่ได้จากการใช้สารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลวก่อนการสังเคราะห์มีค่า pH เท่ากับ 1.17, 2.00, 3.11 และ 4.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



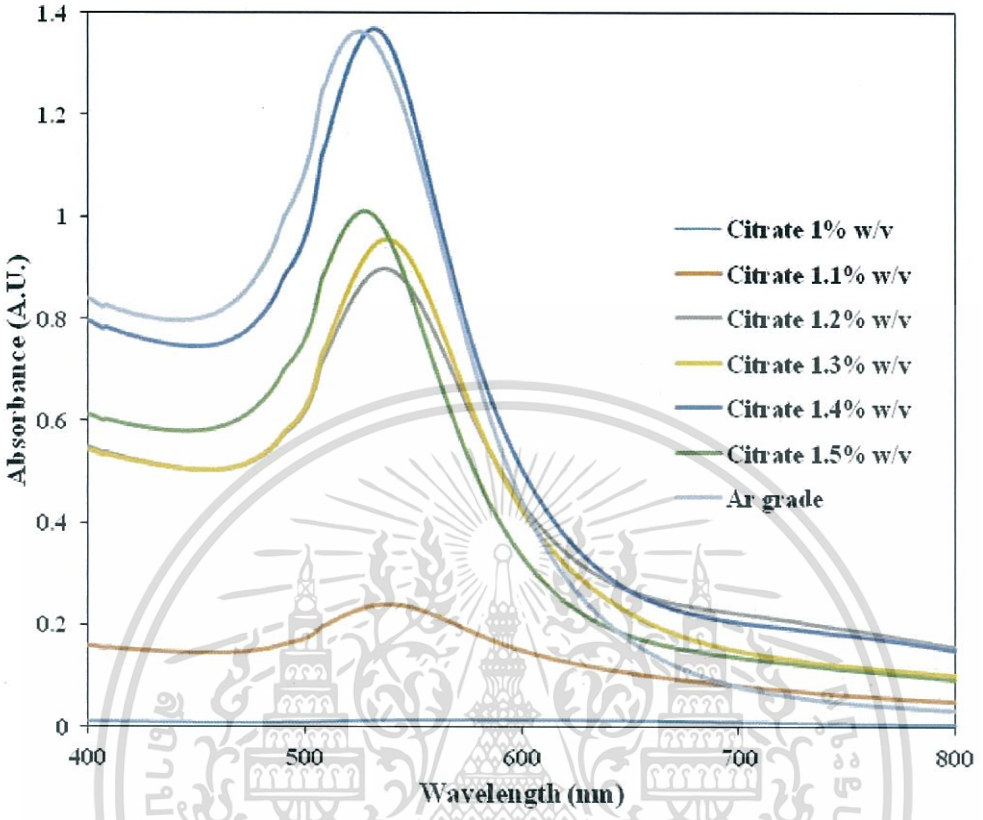
รูปที่ 4.8 ภาพแสดงสีของสารละลาย AuNPs ที่สังเคราะห์ได้โดยมีค่า pH ของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลวก่อนการสังเคราะห์ เท่ากับ 1.17, 2.00, 3.11 และ 4.29

ได้ทำการศึกษาผลของค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลวก่อนการสังเคราะห์ ที่พีเอช 1.17, 2.00, 3.11 และ 4.29 ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.7 และ 4.8

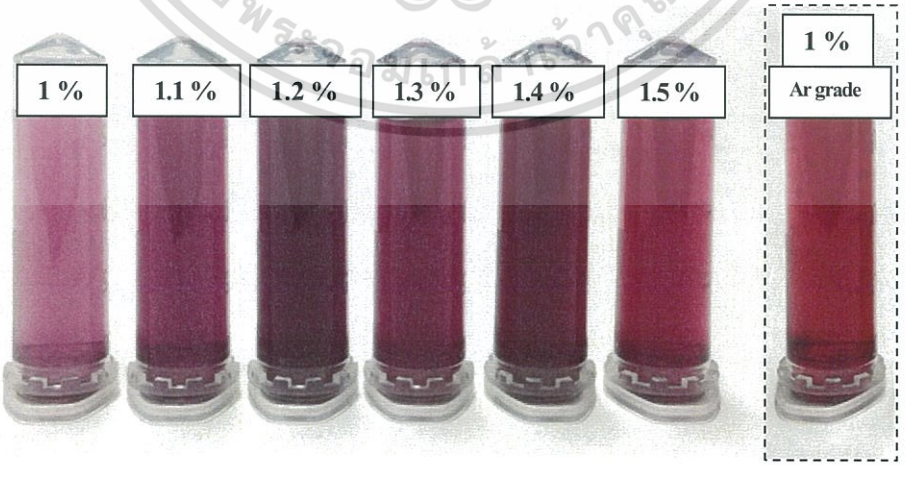
จากผลการทองลองรูปที่ 4.7 จะเห็นว่าเมื่อทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคทองนาโนที่ค่าพีเอชต่างๆ พบว่าที่สารละลายอนุภาคทองนาโนพีเอช 2 ให้สเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นบริเวณ 537 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกับอนุภาคทองนาโนจากงานวิจัยที่นำมาใช้อ้างอิง (520 นาโนเมตร) มากที่สุด และเนื่องจากที่พีเอชต่ำกว่า 2 ไม่เกิดอนุภาคทองนาโนโดยสังเกตจากสารละลายไม่เปลี่ยนเป็นสีแดง เนื่องจากที่พีเอชต่ำมีความเป็นกรดสูง ทำให้สารละลายโซเดียมซิเตรทอยู่ในรูปของกรดซิตริก จึงไม่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์เปลี่ยนไอออนของทอง (Au^{3+}) ให้เป็นอนุภาคทองนาโน (Au^{0}) ได้ จึงไม่เกิดเป็นอนุภาคทองนาโน และที่พีเอชสูงกว่า 2 อนุภาคทองนาโนเกิดการตกตะกอนและสีของสารละลายไม่เป็นสีแดง เนื่องจากการปรับพีเอชให้สูงขึ้นได้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณมากขึ้น จึงมีจำนวนไอออนบวกอยู่ในสารละลายจำนวนมาก ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไอออนบวก(โซเดียมไอออน) และไอออนลบ(ซิเตรทไอออน) อนุภาคทองนาโนในสารละลายจึงเกิดการรวมตัวจนมีขนาดใหญ่ขึ้นและตกตะกอน ดังรูปที่ 4.8 ดังนั้นที่พีเอช 2 จึงเป็นพีเอชที่เหมาะสมในการนำมาศึกษาสภาวะต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม



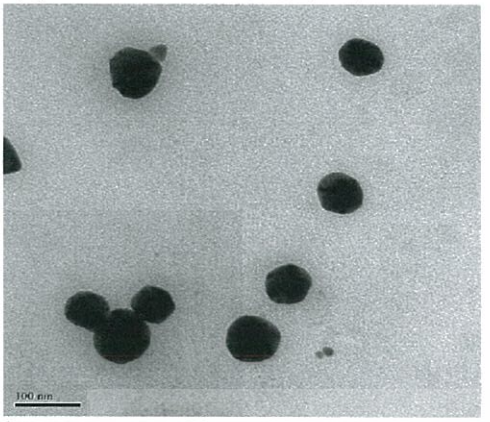
รูปที่ 4.9 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ AuNPs ที่เจือจาง 3 เท่า เมื่อใช้ Citrate ความเข้มข้น 1%, 1.1%, 1.2%, 1.3%, 1.4% และ 1.5% w/v เป็น Reducing agent



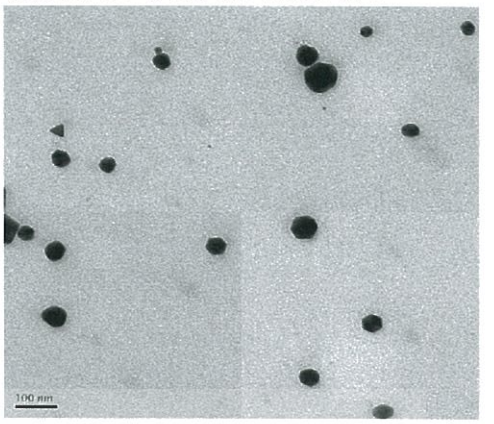
รูปที่ 4.10 ภาพแสดงสีของสารละลาย AuNPs ที่สังเคราะห์ได้เมื่อใช้ Citrate ความเข้มข้น 1%, 1.1%, 1.2%, 1.3%, 1.4% และ 1.5% w/v เป็น Reducing agent และสารละลาย AuNPs ชนิดเกรดวิเคราะห์

เอกสารนี้ใช้เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

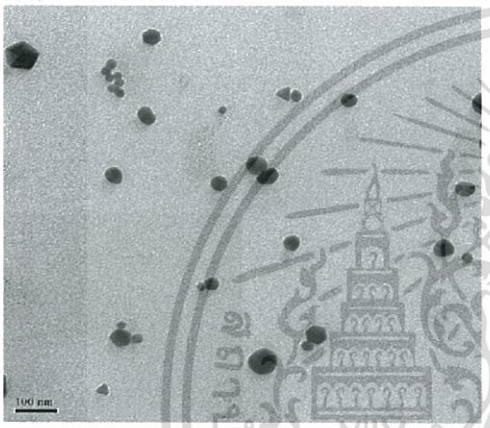
4.11 (ก) AuNPs ที่ Citrate 1.1% w/v



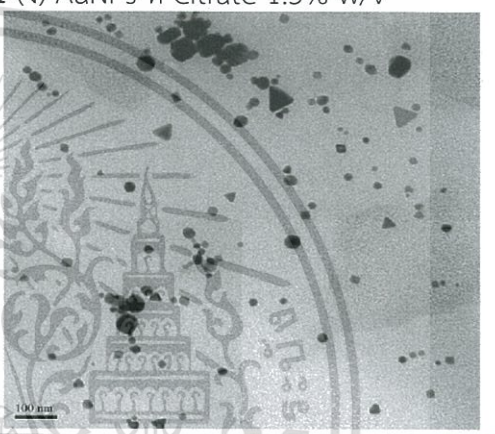
4.11 (ข) AuNPs ที่ Citrate 1.3% w/v



4.11 (ค) AuNPs ที่ Citrate 1.4% w/v



4.11 (ง) AuNPs ที่ Citrate 1.5% w/v



รูปที่ 4.11 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM โดยที่ (ก) AuNPs ที่ Citrate 1.1% w/v (ข) AuNPs ที่ Citrate 1.3% w/v (ค) AuNPs ที่ Citrate 1.4% w/v และ (ง) AuNPs ที่ Citrate 1.5% w/v

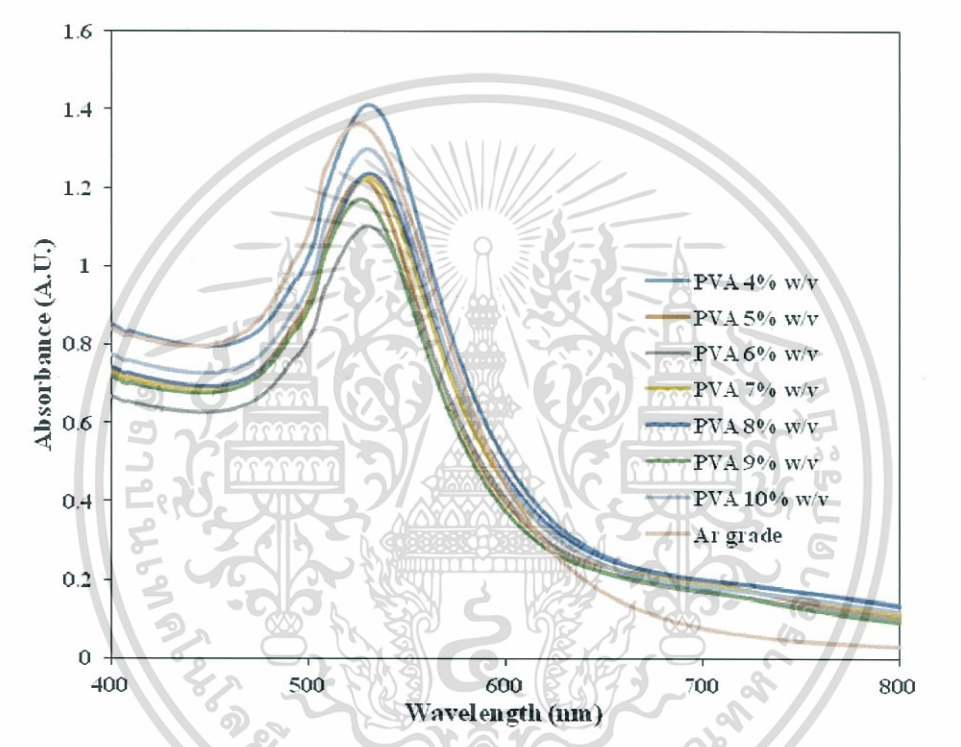
ได้ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม ที่ความเข้มข้น 1%, 1.1%, 1.2%, 1.3%, 1.4% และ 1.5% w/v ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.9 – 4.11

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.9 พบว่าสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลวโดยใช้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นต่างๆ เมื่อทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร พบว่าที่ความเข้มข้น 1.4% w/v มีค่าการดูกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นบริเวณ 532 นาโนเมตร และสารละลายที่สังเคราะห์ได้มีสีแดงไวน์ ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งใกล้เคียงกับสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากชนิดเกรดวิเคราะห์ และเมื่อนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ไปสำรวจด้วยเครื่อง TEM พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรท มีผลทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง ดังรูปที่ 4.11 เนื่องจากสารละลายไตรโซเดียมซิเตรททำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทจึงมีผลทำให้ขนาดของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากกรดเตรตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลวมีขนาดเล็กลง และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทเป็น

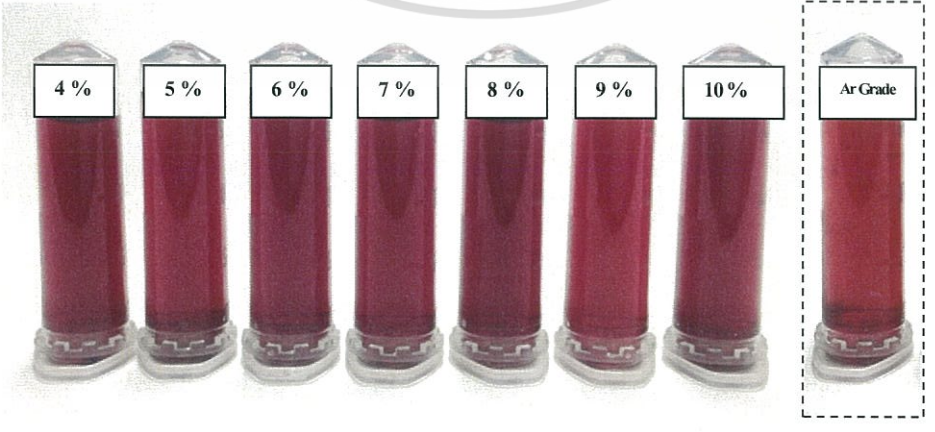
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5% w/v พบว่าเกิดการตกตะกอนของอนุภาคบ้างเป็นบางครั้ง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรทมาก ทำให้มีประจุของโซเดียมไอออนมากเกินไป เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างประจุ อนุภาคทองนาโนจึงตกตะกอน ดังนั้นจึงไม่เลือกใช้ความเข้มข้นดังกล่าว นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทจะทำให้เวลาในการเกิดเป็นอนุภาคทองนาโนลดลง (สารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีแดงไวน์) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เวลาในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนที่ 5 นาที (เวลาในการต้มสารละลายหลังจากเติมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรท)

4.3.3 ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม



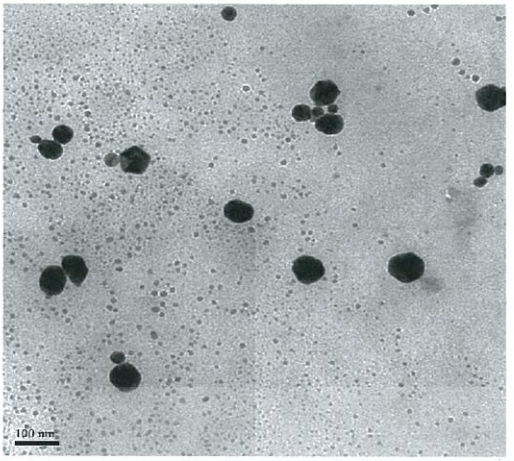
รูปที่ 4.12 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ AuNPs ที่เจือจาง 3 เท่า เมื่อใช้ PVA ความเข้มข้น 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% และ 10% เป็น Stabilizer



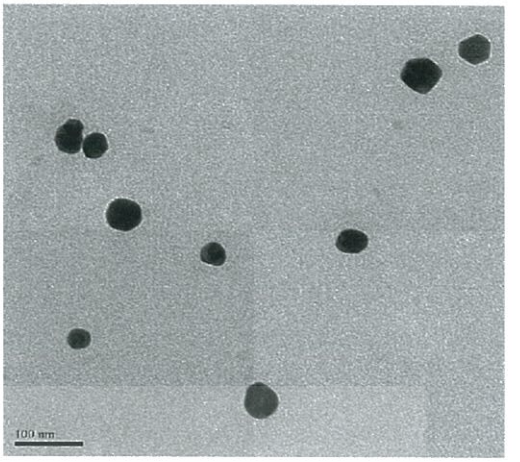
รูปที่ 4.13 ภาพแสดงสีของสารละลาย AuNPs ที่สังเคราะห์ได้เมื่อใช้ PVA ความเข้มข้น 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% และ 10% เป็น Stabilizer และสารละลาย AuNPs ชนิดเกรดวิเคราะห์

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปใช้เพื่อการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

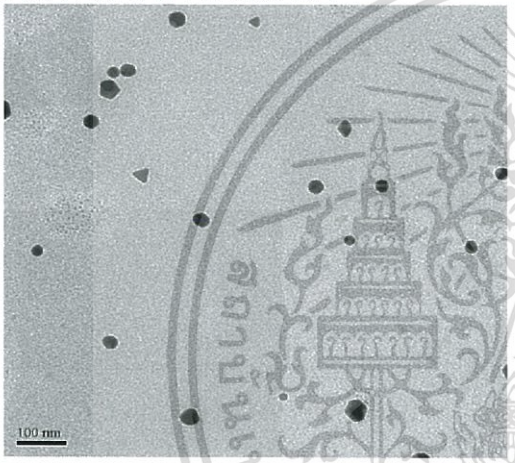
4.14 (ก) AuNPs ที่ PVA 4% w/v



4.14 (ข) AuNPs ที่ PV A 5% w/v



4.14 (ค) AuNPs ที่ PVA 8% w/v



รูปที่ 4.14 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM โดยที่ (ก) AuNPs ที่ PVA 4% w/v (ข) AuNPs ที่ PVA 5% w/v และ (ค) AuNPs ที่ PVA 8% w/v

ได้ทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม ที่ความเข้มข้น 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% และ 10% w/v ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.12 – 4.14

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.12 พบว่าสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลวโดยใช้สารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร พบว่าที่โพลิไวนิลแอลกอฮอล์ 8% มีค่าการดูกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นบริเวณ 531 นาโนเมตร และสารละลายที่สังเคราะห์ได้มีสีแดงไวน์ ดังรูปที่ 4.13 ซึ่งใกล้เคียงกับสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากชนิดเกรดวิเคราะห์ และเมื่อนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ไปสำรวจด้วยเครื่อง TEM พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ มีผลทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง ดังรูปที่ 4.14 เนื่องจากโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ทำหน้าที่เป็นตัวสเตบิไลเซอร์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์จึงมีผลทำให้ขนาดของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลวมีขนาดเล็กลง และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

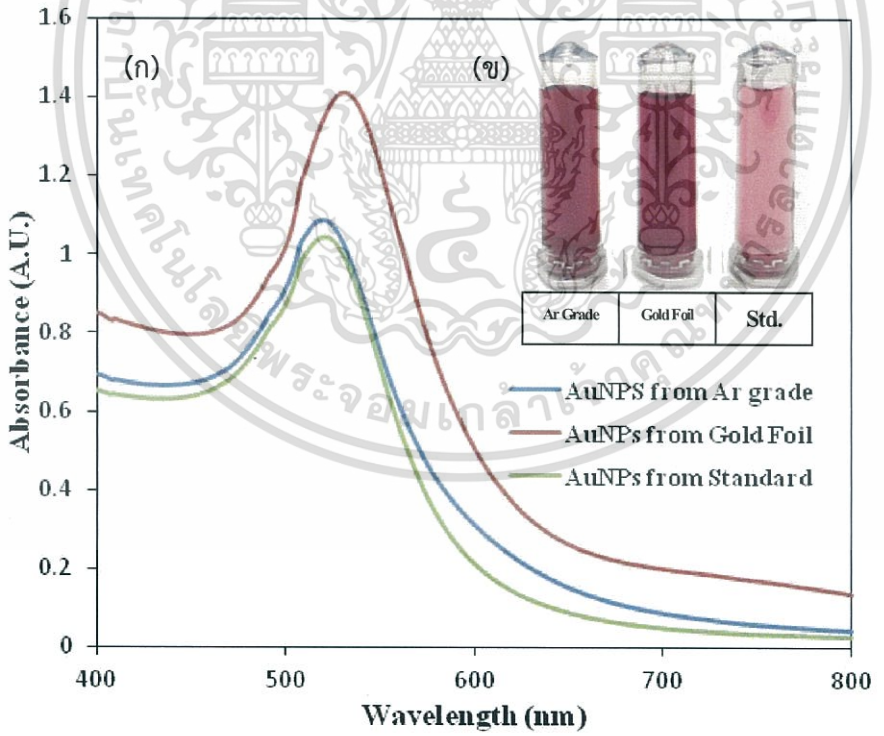
เมื่อความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็น 10% w/v พบว่าเกิดการตกตะกอนของอนุภาคบ้างเป็นบางครั้ง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีความเข้มข้นของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์มากเกิน ทำให้เกิดแรงวัลเดอร์วาลส์ระหว่างอนุภาคทองนาโนกับสารละลาย จึงเกิดการตกตะกอน ดังนั้นจึงไม่เลือกใช้ความเข้มข้นดังกล่าว

ตารางที่ 4.2 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากการละลายทองคำเปลว

ปัจจัยที่ศึกษา	ช่วงที่ศึกษา	ค่าที่เลือก
พีเอช	0 – 4	2
ความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรท	1.0 – 1.5 %	1.4 %
ความเข้มข้นของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์	4 – 10 %	8 %

4.4 การเปรียบเทียบอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสม

สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสม ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 พบว่าได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 (ก) สเปกตรัมของ AuNPs ที่สังเคราะห์ได้จากกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์, จากทองคำเปลว ในสภาวะที่เหมาะสม และสารมาตรฐานอนุภาคทองนาโน และ (ข) ภาพแสดงสีของสารละลาย AuNPs ที่สังเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

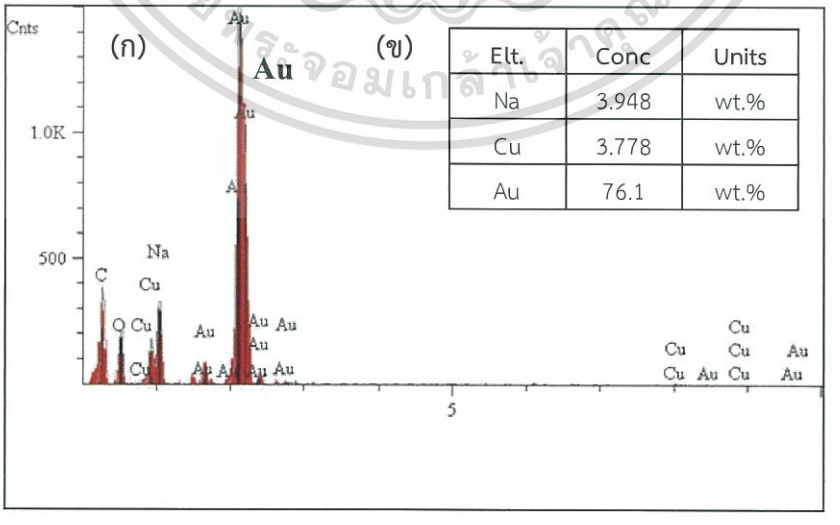
ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสเปคตรัมระหว่าง สเปกตรัมของ AuNPs ที่สังเคราะห์ได้จากกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ในสภาวะที่เหมาะสม, สเปกตรัมของ AuNPs ที่สังเคราะห์ได้จากกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลวในสภาวะที่เหมาะสม และสเปกตรัมของสารมาตรฐาน AuNPs

ปัจจัยที่ศึกษา	Absorbance (A.U.)	Wavelengh (nm)
AuNPs ที่เตรียมได้จากกรด $HAuCl_4$ ชนิดเกรดวิเคราะห์	1.0867	520
AuNPs ที่เตรียมได้จากกรด $HAuCl_4$ ที่เตรียมได้จากทองคำเปลว	1.4101	531
สเปกตรัมของสารมาตรฐาน AuNPs	1.0440	521

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.15 พบว่าสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ อนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว ในสภาวะที่เหมาะสม และสารมาตรฐานอนุภาคทองนาโน สารละลายที่สังเคราะห์ได้ทั้งหมดมีสีแดงไวน์ เมื่อทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร ทั้งหมดมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดที่บริเวณใกล้เคียงกัน และมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในรูปแบบเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าทองคำเปลวสามารถนำมาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนได้

4.5 การศึกษาความบริสุทธิ์ของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสม

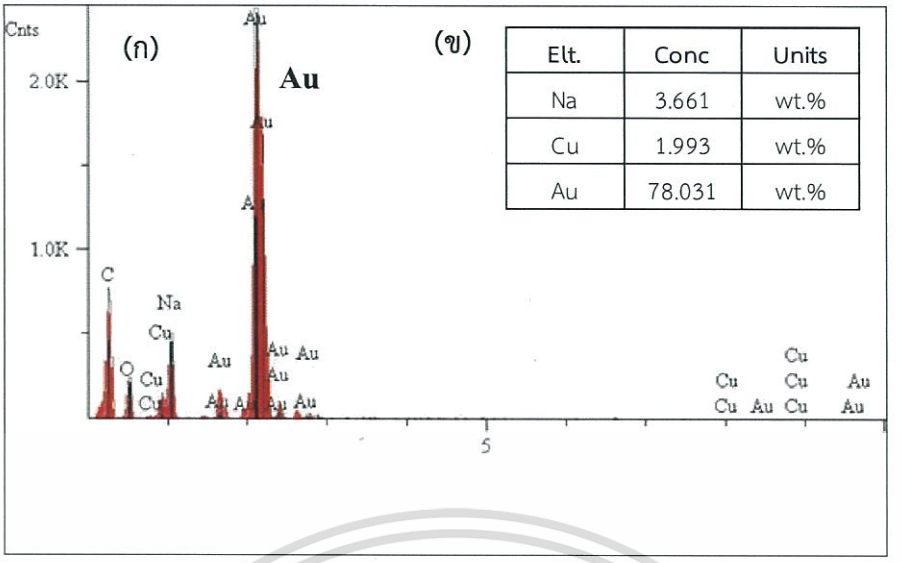
เมื่อนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสม ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ไปตรวจวัดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ธาตุแบบส่องผ่านรังสีเอ็กซ์ พบว่าได้ผลการทดลองดังภาพ



Elt.	Conc	Units
Na	3.948	wt.%
Cu	3.778	wt.%
Au	76.1	wt.%

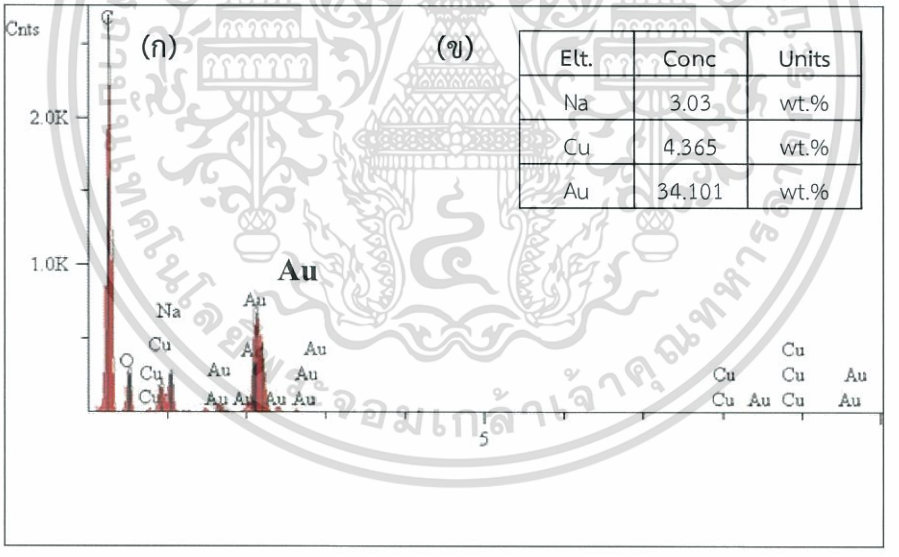
รูปที่ 4.16 (ก) สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง EDS ของ AuNPs ที่สังเคราะห์ได้จาก $HAuCl_4$ ชนิดเกรดวิเคราะห์ในสภาวะที่เหมาะสม และ (ข) ตารางแสดงร้อยละของปริมาณธาตุทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Elt.	Conc	Units
Na	3.661	wt.%
Cu	1.993	wt.%
Au	78.031	wt.%

รูปที่ 4.17 (ก) สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง EDS ของ AuNPs ที่สังเคราะห์ได้จาก $HAuCl_4$ ที่เตรียมได้จากทองคำเปลวในสภาวะที่เหมาะสม และ (ข) ตารางแสดงร้อยละของปริมาณธาตุทอง



Elt.	Conc	Units
Na	3.03	wt.%
Cu	4.365	wt.%
Au	34.101	wt.%

รูปที่ 4.18 (ก) สเปกตรัมที่ได้จากเครื่อง EDS ของสารมาตรฐาน AuNPs และ (ข) ตารางแสดงร้อยละของปริมาณธาตุทอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง เมื่อนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสภาวะที่เหมาะสมไปศึกษาความบริสุทธิ์ของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุแบบส่องผ่านรังสีเอ็กซ์ พบว่า อนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์มีปริมาณธาตุทองอยู่ร้อยละ 76.10 โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.16 อนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลวมีปริมาณธาตุทองอยู่ร้อยละ 78.03 โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.17 และสารมาตรฐานอนุภาคทองนาโนมีปริมาณธาตุทองอยู่ร้อยละ 34.10 โดยน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.18 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลวมีปริมาณธาตุทองใกล้เคียงกับอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ แต่ไม่สามารถนำไปเทียบได้กับสารมาตรฐานอนุภาคทองนาโนได้เนื่องจาก สารมาตรฐานอนุภาคทองนาโนนั้นมีอนุภาคขนาดเล็กและกระจายตัวมากทำให้พบปริมาณธาตุทองน้อย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากทองคำเปลว ด้วยวิธีการเตรียมแบบเตอคีวิช (Turkevich method) โดยใช้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรทเป็นตัวรีดิวซ์ และใช้สารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นตัวปรับความเสถียรให้อนุภาคทองอยู่ในระดับนาโนเมตร โดยเริ่มการทดลองจากการละลายทองคำเปลวด้วยกรดกัดทอง แล้วจึงทำการสังเคราะห์อนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว โดยการควบคุม ค่าพีเอชเริ่มต้นก่อนการสังเคราะห์ ความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรท และความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ จากนั้นนำไปศึกษาคุณสมบัติเชิงแสง ขนาด และความบริสุทธิ์ของอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลองคือ พีเอชเริ่มต้นก่อนการสังเคราะห์เท่ากับ 2 ความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรทร้อยละ 1.4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และความเข้มข้นของโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 8 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว เมื่อทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร พบว่าอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้มีค่าดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นบริเวณ 531 นาโนเมตร และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย เท่ากับ 35 ($\pm$5) นาโนเมตร และมีปริมาณธาตุทอง อยู่ที่ร้อยละ 78 โดยน้ำหนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. สารละลายอนุภาคทองนาโนจากทองคำเปลวที่สังเคราะห์ได้ จะนำไปใช้เป็นตัวตรวจวัดซีสเทอีน และกลูต้าไทโอนต่อไป

2. ควรแช่เครื่องแก้วในกรดไนตริกเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร เป็นเวลาอย่างน้อย 8 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้งาน

3. สารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลวควรบรรจุในขวดสีชา และเก็บไว้ในตู้เย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] บทความ. 2013. **"Nanoparticle plasmonics."** [Online]. Available : http://viesti.physics.aalto.fi/groups/comp/msp/research/plasmonics/

[2] บทความ. 2014. **"The importance of nanotechnology."** [Online]. Available : http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/21c/materials_choices/nanotechnologyrev1.shtml

[3] ศิริวรรณ ตี้ภู่. 2012 **อนุภาคนาโนทอง : การสังเคราะห์และการประยุกต์สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี.**

[4] Jörg Polte. 2015. " **Fundamental growth principles of colloidal metal nanoparticles – a new perspective.**" Royal Society of Chamistry

[5] บทความ. 2546. **เทคโนโลยีการสร้างระดับนาโน.** สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้. มหาวิทยาลัยมหิดล

[6] Reed, S.J.B. 1993. "**Electron Microprobe Analysis, 2nd ed.**" Cambridge University Press, Cambridge.

[7] ไม่ปรากฏชื่อ. ไม่ปรากฏปีที่พิมพ์. **ขั้นตอนการผลิต.** [Online]. Available : http://www.ayothayagoldleaf.com/index.php?mode=process&lang=

[8] Pichitchai Pimpang, and Supab Choopun. "**Monodispersity and Stability of Gold Nanoparticles Stabilized by Using Polyvinyl Alcohol.**" Chiang Mai J. Sci. 2011; 38(1) : 31-38

[9] Chunfang Li, Dongxiang Li, Gangqiang Wan, Jie Xu and Wanguo Hou. 2011 "**Facile synthesis of concentrated gold nanoparticles with low size-distribution in water: temperature and pH controls.**"

[10] P.K. Khanna. 2005 "**PVA stabilized gold nanoparticles by use of unexplored albeit conventional reducing agent.**"

[11] Himanshu Tyagi. July 2011 "**PVA Stabilized Gold Nanoparticles Using Ascorbic Acid as A Reducing Agent.**"

[12] M.R. Hormozi-Nezhad. (2012) "**Spectrophotometric determination of glutathione and cysteine based on aggregation of colloidal gold nanoparticles.**" Scientia Iranica F 19 (3), 958–963

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์

pH	Wavelength (nm)	Absorbance (A.U.)
1.17	313	1.1680

ตารางที่ ก.2 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว

pH	Wavelength (nm)	Absorbance (A.U.)
2.84	293	1.0888

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ โดยศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ที่เหมาะสม

Conc.citrate (%)	Conce .PVA (%)	pH หลังสังเคราะห์		Wavelength (nm)		Absorbance (A.U.)	
		1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
1	-	5.95	5.99	519	518	0.98882	1.17054
1	2	5.95	6.00	525	526	1.13627	1.05574
1	4	6.00	5.96	524	523	1.15067	1.40430
1	6	6.03	5.90	523	522	1.05235	1.29787

ตารางที่ ข.2 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ โดยศึกษาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม

Conc.citrate (%)	Conce. PVA (%)	pH หลังสังเคราะห์		Wavelength (nm)		Absorbance (A.U.)	
		1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
1	-	6.02	6.03	520	520	1.00040	1.17257
1.5	-	6.28	6.35	520	519	1.26331	1.25760
2	-	6.51	6.46	520	521	1.18335	1.19920

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลวโดยศึกษาค่าพีเอชเริ่มต้นที่เหมาะสม

Conc.citrate (mM)	Conce. PVA (%)	pH ก่อนสังเคราะห์	pH หลังสังเคราะห์	Wavelength (nm)	Absorbance (A.U.)
38,8	5	1.17	1.19	-	-
38.8	5	2.00	4.02	537	0.63190
38.8	5	3.11	5.51	541	0.18349
38.8	5	4.29	6.07	545	0.25189

ตารางที่ ค.2 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลวโดยศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสม

Conc.citrate (%)	Conce. PVA (%)	pH หลังสังเคราะห์		Wavelength (nm)		Absorbance (A.U.)	
		1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
1	5	3.68	3.68	-	-	-	-
1.1	5	3.81	3.77	538	538	0.23943	0.41381
1.2	5	3.84	3.97	537	540	0.89914	1.01223
1.3	5	4.13	4.07	538	537	0.95695	1.02322
1.4	5	4.18	4.20	532	531	1.36917	1.18310
1.5	5	4.30	4.29	528	541	1.01179	0.55703

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

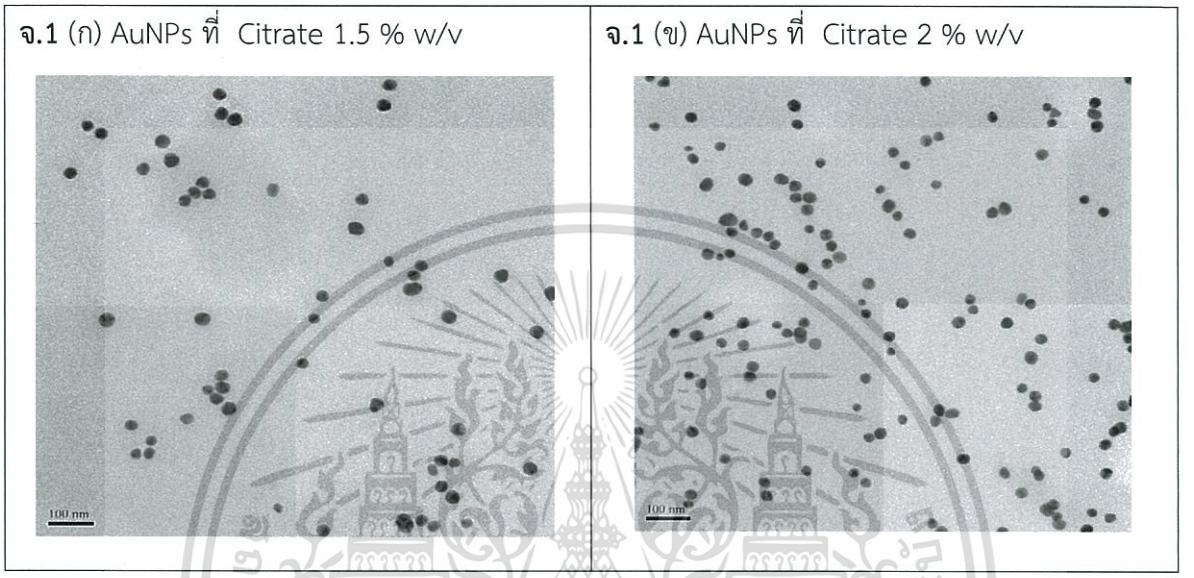
ตารางที่ ง.1 แสดงค่าความยาวคลื่นสูงสุดและค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์จากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลวโดยศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอร์ที่เหมาะสม

Conc.citrate (%)	Conce. PVA (%)	pH หลังสังเคราะห์		Wavelength (nm)		Absorbance (A.U.)	
		1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
1.4	4	4.28	4.23	531	532	1.41015	1.29346
1.4	5	4.32	4.28	527	530	1.22151	0.98271
1.4	6	4.28	4.26	530	530	1.10319	1.12592
1.4	7	4.16	4.17	530	531	1.22457	1.65731
1.4	8	4.32	4.32	531	530	1.23699	1.18366
1.4	9	4.33	4.24	527	531	1.16974	0.99339
1.4	10	4.23	4.26	530	530	1.29819	1.14987

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ภาพแสดงโครงสร้างอนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคชนิดเกรดวิเคราะห์ ที่ความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทต่างๆ โดยการสำรวจด้วยเครื่อง TEM

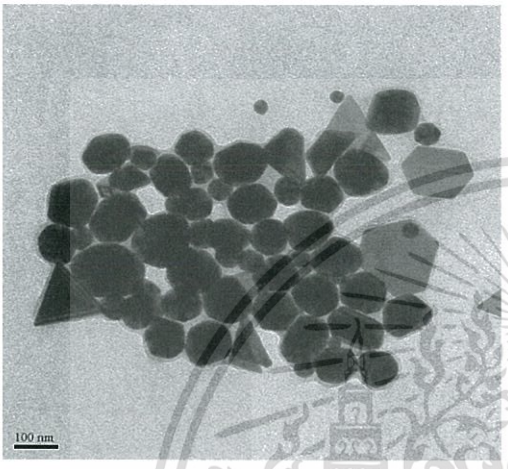
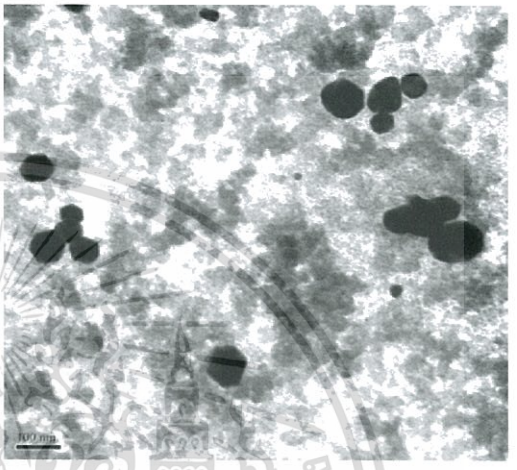


รูปที่ จ.1 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM โดยที่ (ก) AuNPs ที่ Citrate 1.5 % w/v และ (ข) AuNPs ที่ Citrate 2 % w/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ภาพแสดงโครงสร้างอนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว ที่ความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทต่างๆ โดยการสำรวจด้วยเครื่อง TEM

ฉ.1 (ก) AuNPs ที่ Citrate **1** % w/v	**ฉ.1** (ข) AuNPs ที่ Citrate **1.2** % w/v
	

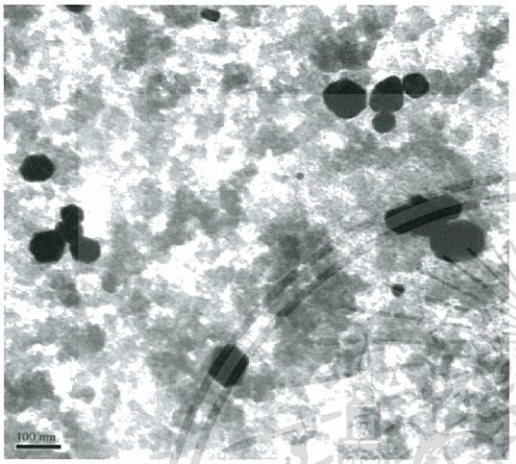
รูปที่ ฉ.1 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM โดยที่ (ก) AuNPs ที่ Citrate 1 % w/v และ (ข) AuNPs ที่ Citrate 1.2 % w/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

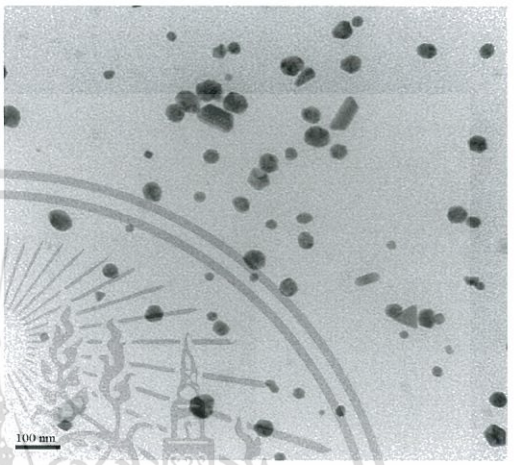
ภาคผนวก ช

ภาพแสดงโครงสร้างอนุภาคทองนาโนจากสารละลายกรดเตตระคลอโรออริคที่เตรียมได้จากทองคำเปลว ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ต่างๆ โดยการสำรวจด้วยเครื่อง TEM

ช.1 (ก) AuNPs ที่ PVA 6 % w/v



ช.1 (ข) AuNPs ที่ PVA 7 % w/v



รูปที่ ช.1 ภาพโครงสร้างนาโนที่ได้จากเครื่อง TEM โดยที่ (ก) AuNPs ที่ PVA 6 % w/v และ (ข) AuNPs ที่ PVA 7 % w/v

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวดวงพร พยุงทั้ง
วัน เดือน ปีเกิด	27 กันยายน พ.ศ.2536
ที่อยู่ปัจจุบัน	309 ซอยอุดมสุข30 ถนนสุขุมวิท103 แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260
ประวัติการศึกษา	
พศ.2555	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสิริรัตนาธร เกรดเฉลี่ย 3.40

ชื่อ	นายพิสุทธิ์ ยศบรรเทิง
วัน เดือน ปีเกิด	13 มกราคม พ.ศ.2537
ที่อยู่ปัจจุบัน	585/2 ถนนอินทรคีรี อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก 63110
ประวัติการศึกษา	
พศ.2555	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสรรพวิทยาคม เกรดเฉลี่ย 3.52

ชื่อ	นางสาวภัชรินทร์ ไพรวัลย์
วัน เดือน ปีเกิด	23 มกราคม พ.ศ.2537
ที่อยู่ปัจจุบัน	5 ซอยบางนา-ตราด21 แยก13 ถนนบางนา-ตราด แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260
ประวัติการศึกษา	
พศ.2555	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสิริรัตนาธร เกรดเฉลี่ย 3.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้