การสังเคราะห์วัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม โดยใช้เทคนิคการประกอบด้วยตัวเองแบบชั้นต่อชั้น

SYNTHESIS OF Au-Pt BIMETALLIC NANOCOMPOSITE USING LAYER-BY-LAYER SELF-ASSEMBLY TECHNIQUE

ปริญญาภรณ์ เกิดหมื่นไวย

พชรภา สิงลี

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

SYNTHESIS OF Au-Pt BIMETALLIC NANOCOMPOSITE USING LAYER-BY-LAYER SELF-ASSEMBLY TECHNIQUE

PARINYAPHON KOEDMUENWAI
PACHARAPA SINGLEE

A SPECIAL PROJECT SUMMITTED 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 2018

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การสังเคราะห์วัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม โดยใช้เทคนิคการประกอบด้วยตัวเองแบบชั้นต่อชั้น Synthesis of Au-Pt bimetallic nanocomposite using Layer-by-Layer self-assembly technique
ชื่อนักศึกษา	นางสาวปริญญาภรณ์ เกิดหมื่นไวย รหัสนักศึกษา 58050500 นางสาวพชรภา สิงลี รหัสนักศึกษา 58050507
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ ประธานกรรมการ	
ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติดุลย์ กรรมการ	กิตติมนต์
ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การสังเคราะห์วัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม โดยใช้เทคนิคการประกอบด้วยตัวเองแบบชั้นต่อชั้น

ชื่อนักศึกษา	นางสาวปริญญาภรณ์	เกิดหมื่นไวย	รหัสนักศึกษา	58050500
	นางสาวพชรภา	สิงลี	รหัสนักศึกษา	58050507

ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี

บทคัดย่อ

อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมถูกสังเคราะห์ให้ประสบผลสำเร็จด้วยเทคนิคการประกอบตัวเองแบบชั้นต่อชั้น โดยอนุภาคทองระดับนาโนถูกสังเคราะห์ผ่านกระบวนการรีดักชันทางเคมี โดยใช้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรทเป็นสารรักษาเสถียรภาพ และสารรีดิวซ์ อนุภาคทองระดับนาโนถูกนำมาปรับปรุงพื้นผิวให้มีประจุเป็นบวกโดยใช้สารละลายโพลีไดแอลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ในขณะที่อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่มีประจุลบจะถูกสังเคราะห์ผ่านกระบวนการรีดักชันทางเคมี โดยใช้สารละลายโพลีอะคริลิคแอซิด และโซเดียมโบโรไฮไดร์ด เป็นสารรักษาเสถียรภาพ และสารรีดิวซ์ ตามลำดับ อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมถูกสังเคราะห์ได้โดยการนำอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่มีประจุลบฝังลงบนอนุภาคทองระดับนาโนที่มีประจุบวกผ่านการเกิดอันตรกิริยาแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต ซึ่งการสังเคราะห์วัสดุผสมระดับนาโนที่ได้สามารถพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตเมทรี ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เครื่องวัดศักย์ซีต้า และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องผ่าน ซึ่งเทคนิคเหล่านี้ถูกใช้เพื่อการพิสูจน์โครงสร้างและรูปร่างที่เหมาะสมของวัสดุผสมระดับนาโน โดยกลไกการเกิดวัสดุผสมระดับนาโนที่เป็นไปได้จะถูกแสดงในงานวิจัยนี้ วัสดุผสมระดับนาโนที่ถูกเตรียมขึ้นสามารถใช้เป็นตัวเลือกสำหรับการนำไปพัฒนาเป็นตัวรับรู้เชิงสี และนำไปใช้ในงานวิจัยในด้านการพัฒนาและการปรับปรุงตัวเร่งปฏิกิริยาสำหรับการผลิตทางด้านปิโตรเคมี

คำสำคัญ : อนุภาคนาโนโลหะผสมทองและแพลทินัม เทคนิคการประกอบด้วยตัวเองแบบชั้นต่อชั้น การปรับปรุงพื้นผิว

Title	Synthesis of Au-Pt bimetallic nanocomposite using Layer-by-Layer self-assembly technique
Students	Miss Parinyaphon Koedmuenwai Student ID 58050500
	Miss Pacharapa Singlee Student ID 58050507
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Asst.Prof Dr. Ekarat Detsri

Abstract

Novel Au/Pt bimetallic nanocomposites were successfully synthesized via Layer-by-Layer self-assembly technique. Au nanoparticles was synthesized by chemical reduction using sodium citrate as both the stabilizing and reducing agent. The surface modification of Au nanoparticles was modified by Poly(diallydimethyl ammonium chloride) to form positively charged Au nanoparticles. Negatively charged Pt nanoparticles was synthesized by chemical reduction using Poly(acylic acid) and Sodium borohydride as the stabilizing and reducing agent, respectively. The negatively charged Pt nanoparticles were loaded on to the surface of positively charged Au nanoparticles via electrostatic interaction. Various material characterization techniques, such as UV-vis spectrophotometry, Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), zeta potential analyzer and transmission electron microscopy (TEM), are used to identify the structure and optimize the morphology of obtained nanocomposites. A possible formation mechanism of the nanocomposites was also proposed. The prepared nanocomposites are promising candidates to develop colorimetric sensor and the present study opens up avenues for further research on the development and modification of catalyst for petrochemical production.

Keywords : Au-Pt bimetallic nanocomposite, Layer-by-Layer technique, Surface modification

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเล่มนี้นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของ ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ทีมีประโยชน์ย่างสูง จนทำให้โครงงานพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ และ ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติดุลย์ ที่ได้กรุณามาเป็นคณะกรรมการสอบ ตลอดจนให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะต่างๆ เพื่อให้โครงงานพิเศษนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการของภาควิชาเคมีและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ที่ได้อำนวยความสะดวกทั้งในด้านสารเคมี อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ต่างๆและรวมไปถึงในการสอนใช้เครื่องมือทุกอย่างเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ที่ได้เปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน รวมไปถึงคอยสนับสนุนให้กำลังใจคณะผู้จัดทำเสมอจนทำให้โครงงานพิเศษสำเร็จลุล่วงเป็นไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษเล่มนี้ได้หวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานพิเสษเล่มนี้จะเกิดประโยชน์ให้กับผู้อ่านได้เป็นอย่างดี ถ้าหากโครงงานพิเศษเล่มนี้เกิดความผิดพลาดประการใดคณะผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ ที่นี้

ปริญญาภรณ์ เกิดหมื่นไวย
พชรภา สิงลี

สารบัญ

เรื่อง **หน้า**

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง **หน้า**

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
AuNPs	Gold nanoparticles
PtNPs	Platinum nanoparticles
Au-Pt BNPs	Gold-Platinum bimetallic nanoparticles
LBL	Layer-by-Layer
UV-vis spectrophotometer	Ultraviolet-visible spectrophotometry
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectrophotometry
TEM	Transmission Electron Microscopy
XRD	X-Ray Diffractometer
EDX	Energy Dispersive X-Ray Spectrometer
mL	Milliliter (มิลลิลิตร)
M	Molar (โมลาร์)
mM	Millimolar (มิลลิโมลาร์)
mV	Millivolt
nm	Nanometer (นาโนเมตร)
pH	p function of Hydrogen ion

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วัสดุผสมระดับนาโนเป็นวัสดุเชิงประกอบที่เกิดจากการรวมกันของวัสดุที่มากกว่าหนึ่งชนิดขึ้นไป ที่มีขนาดอยู่ในช่วง 1-100 นาโนเมตร [1] ซึ่งหนึ่งในวัสดุผสมระดับนาโนที่มีการใช้อย่างแพร่หลายในโลกปัจจุบัน คือวัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมตัวเร่งปฏิกิริยา อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ การแพทย์ อิเล็กทรอนิกส์ เซลล์เชื้อเพลิง เครื่องบรรจุอิเล็กทรอนิกส์ระดับไมโคร และการตรวจวัดเชิงสี เป็นต้น โดยวัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมส่วนมากจะถูกสังเคราะห์โดยใช้เทคนิคการสังเคราะห์ขั้นสูง ยกตัวอย่างเช่น เทคนิคการฉายรังสี (Irradiation Technique) [2] เทคนิคการเคลือบฟิล์มแบบสปัตเตอริ่ง (Sputtering Deposition Technique) [3] เทคนิคอิเล็กโทรไลซิส (Electrolysis Technique) [4] และการตกตะกอนร่วมทางไฟฟ้าเคมี (Precipitation-co-electrodeposition technique) [5] เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้ต่างเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงในการได้มาซึ่งวัสดุนาโนผสม แต่หากเปรียบเทียบถึงข้อเสียกลับพบว่าวิธีการเหล่านี้มีขั้นตอนการทดลองที่ซับซ้อน ใช้ปริมาณสารในการสังเคราะห์จำนวนมาก ใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน รวมถึงวิธีการวิเคราะห์มีค่าใช้จ่ายที่สูง

โครงงานพิเศษนี้มีความต้องการที่จะแก้ไขขีดจำกัดที่เกิดขึ้นจากการสังเคราะห์วัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม ที่ให้วิธีการสังเคราะห์มีขั้นตอนการทดลองที่ไม่ซับซ้อน ใช้ปริมาณสารในการสังเคราะห์จำนวนน้อย ใช้ระยะเวลาในการทดลองสั้น รวมถึงวิธีการวิเคราะห์มีค่าใช้จ่ายที่ถูกลง เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค หรือ (Layer-by-Layer Technique) จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการสังเคราะห์วัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม โดยอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาการรีดักชันทางเคมี ภายใต้การใช้สารรักษาเสถียรภาพของสารละลายพอลิอะคริลิกแอซิด ในขณะที่อนุภาคทองระดับนาโนถูกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาการรีดักชันทางเคมีเช่นเดียวกัน ภายใต้การใช้สารรักษาเสถียรภาพโซเดียมซิเตรท และมีการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคภายหลังการสังเคราะห์ด้วยสารละลายโพลีไดแอลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ หลังจากนั้นวัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมจะถูกสังเคราะห์โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาคภายใต้การเกิดปฏิกิริยาแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Interaction) ระหว่างอนุภาคต่ออนุภาค

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อทำการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน

2. เพื่อทำการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโพลีไดแอลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDADMAC) ที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคทองระดับนาโน

3. เพื่อทำการศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนโดยที่จะอาศัยปฏิกิริยารีดักชันทางเคมี

4. เพื่อทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน ที่จะใช้ในการสังเคราะห์วัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม โดยการใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน โดยศึกษาที่ความเข้มข้น 15 mM

2. ศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโพลีไดแอลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDADMAC) ที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคทองระดับนาโน โดยศึกษาที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.00001 0.0001 0.001 0.005 0.01 0.02 0.1 0.2 และ 0.3 M

3. ศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนโดยที่จะอาศัยปฏิกิริยารีดักชัน โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารละลาย PAA ที่ความเข้มข้น 0.1 0.5 1 2 3 4 และ 5 mM

4. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน ที่จะใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองและแพลทินัมโดยจะมีการใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค โดยใช้สภาวะของสารละลายอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่แตกต่างกัน คือ 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 ml

5. การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้
   - 5.1 การวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer
   - 5.2 การศึกษาประจุบนพื้นผิวของอนุภาคด้วยเครื่องวัดศักย์ซีต้า (Zeta Potential)
   - 5.3 การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope; TEM)
   - 5.4 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชั่นของสารด้วยเครื่องอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer; FTIR)
   - 5.5 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและโครงสร้างโมเลกุลด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractrometer; XRD)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน

2. ทำให้ทราบถึงความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโพลีไดแอลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDADMAC) ที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคทองระดับนาโน

3. ทำให้ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน ที่จะใช้ในการสังเคราะห์วัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม โดยการใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค

4. ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้วัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม

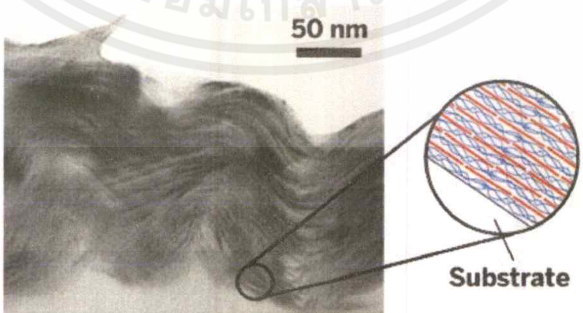
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุผสมระดับนาโน (Nanocomposite)

วัสดุผสมระดับนาโน คือ วัสดุที่มีการนำวัฏภาคที่แตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมารวมตัวกัน ซึ่งวัสดุผสมระดับนาโนนั้นจะมีขนาดอยู่ในช่วง 1 ถึง 100 นาโนเมตร โดยวัสดุผสมระดับนาโนนั้นเกิดจากการนำวัสดุที่มีขนาดใหญ่และวัสดุที่มีขนาดนาโน หรือการนำวัสดุที่มีขนาดนาโนและวัสดุที่มีขนาดนาโน ที่มีความแตกต่างกันทางด้านโครงสร้าง และทางเคมีมาผสมกัน เพื่อปรับปรุงความยืดหยุ่น คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติการนำไฟฟ้า คุณสมบัติการนำความร้อน คุณสมบัติเชิงแสง และคุณสมบัติการเร่งปฏิกิริยา โดยขนาดของวัสดุผสมได้ส่งผลต่อคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้ คือ เมื่อขนาดเล็กกว่า 5 นาโนเมตร จะมีคุณสมบัติในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อขนาดเล็กกว่า 20 นาโนเมตร จะเกิดเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติแม่เหล็ก เมื่อขนาดเล็กกว่า 50 นาโนเมตร จะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเห และเมื่อขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร จะเกิดสภาพความเป็นแม่เหล็ก ความแข็งแรงเชิงกลหรือทำให้วัสดุมีความแข็งแรงระหว่างเฟสมากยิ่งขึ้น ทนต่อการขูดขีด การกัดกร่อน การรับน้ำหนัก และทนต่อแรงกระแทก[6] โดยวัสดุผสมระดับนาโน สามารถจำแนกตามลักษณะของเนื้อวัสดุที่เกิด ได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่

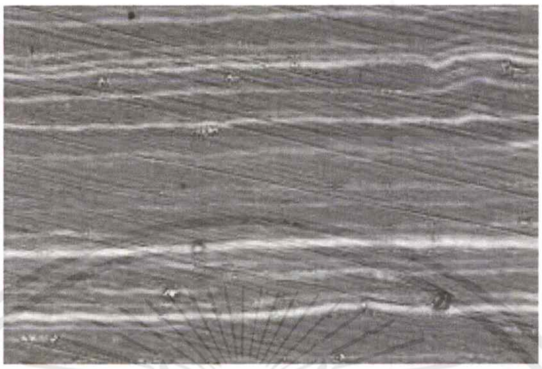
1. วัสดุผสมที่เป็นเนื้อหลายอย่างแยกชั้นกัน (Nanolayers composite) เป็นโครงสร้างที่ประกอบขึ้นมาจากเนื้อของวัสดุต่างๆ โดยจะแบ่งออกเป็นชั้นๆ ซึ่งแต่ละชั้นจะมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร ยกตัวอย่าง เช่น การพัฒนาฟิล์มเพื่อใช้เป็นตัวจับโมเลกุลแก๊ส [7] ดังรูปที่ 2.1 พบว่า ได้มีการนำดิน(ชั้นสีแดง) และพอลิเมอร์(ชั้นสีน้ำเงิน) มาผสมกัน เพื่อปรับปรุงการส่องผ่าน และความยืดหยุ่นของฟิล์มให้ดีขึ้น ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านอิเล็กทรอนิกส์ ด้านอาหาร และด้านผลิตภัณฑ์ยา



รูปที่ 2.1 ลักษณะของ Nanolayers composite [7]

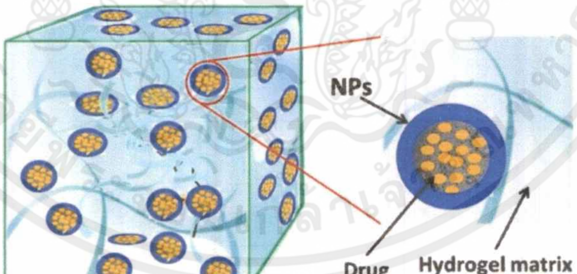
2. วัสดุผสมที่เป็นเนื้อหลายอย่างแยกเป็นเส้นใย (Nanofilamentary composite) เป็นโครงสร้างที่ประกอบขึ้นมาจากพื้นผิวที่มีการผสมเส้นใยฝังตัวลงไปไว้ภายในโครงสร้าง โดยเป็นเส้นใย

ที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร ยกตัวอย่าง เช่น การนำวัสดุผสมของ Al_2Ca มาผสมกับเส้นใยเสริมแรงแคลเซียมระดับนาโน [8] เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติในการนำไฟฟ้า เพิ่มค่าความแข็งแรงแรงดึงสูงสุด ซึ่งถูกนำมาใช้ในระบบสายส่งกระแสตรงความดันสูง (High Voltage Direct Current Transmission: HVDC) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ลักษณะของ Nanofilamentary composite [8]

3. วัสดุผสมที่เป็นเนื้อหลายอย่างแยกอนุภาค (Nanoparticulate composite) เป็นโครงสร้างพื้นผิวที่มีการผสมเอาอนุภาคที่มีขนาดระดับนาโนเมตรฝังตัวภายในโครงสร้างนั้น (คล้ายกับประเภทที่ 2 แต่เป็นอนุภาคนาโนแทนที่จะเป็นเส้นใยนาโน) ดังรูปที่ 2.3 พบว่า มีการนำไฮโดรเจลซึ่งเป็นโครงสร้างหลักหรือโครงสร้างพื้นผิว และอนุภาคนาโนมาผสมด้วยกัน [9] เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ การรักษา และการวินิจฉัย เป็นต้น



รูปที่ 2.3 ลักษณะของ Nanoparticulate composite [9]

วัสดุผสมนาโน เป็นวัสดุผสมที่มีการเติมอนุภาคระดับนาโน เพื่อปรับปรุงวัสดุให้มีคุณสมบัติดียิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆได้ ดังนี้ [10]

1. ผลิตแบตเตอรี่ คือ การพัฒนาวิธีการทำแอโนดในแบตเตอรี่ที่มีสารละลายลิเทียมไอออนจากการนำวัสดุอนุภาคซิลิกอนและคาร์บอนระดับนาโนมาผสมกัน ซึ่งวัสดุนาโนโลหะผสมของซิลิกอนและคาร์บอนที่ใช้จุ่มลงไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ลิเทียมไอออน ส่งผลให้สามารถชาร์ตแบตเตอรี่ได้เร็วขึ้น

2. กระบวนการรักษากระดูก คือ การนำอนุภาคนาโนโลหะผสมมาช่วยเพิ่มศักยภาพทำให้กระดูกเกิดการเจริญเติบโต โดยนำวัสดุนาโนพอลิเมอร์ผสมชนิดแบบท่อ มาใช้แทนโครงเลี้ยงเซลล์ (Scafford) ทำให้การรักษากระดูกทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

3. ผลิตตัวตรวจจับ คือ การนำวัสดุผสมของท่อระดับนาโนและพอลิเมอร์ มาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งในการผลิตกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับระยะห่างของท่อระดับนาโน โดยนำมาประยุกต์ใช้ในใบพัดกังหันลม จากวัสดุผสมของท่อระดับนาโนและพอลิเมอร์จะทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับ เมื่อมีลมแรงเกิดขึ้นจะทำให้ใบพัดถูกลดความเร็วลงและนำมาเปลี่ยนเป็นสื่อกระแสไฟฟ้าในตัวตรวจจับที่ทำมาจากวัสดุผสม หลังจากนั้นจะเกิดสัญญาณเตือนและทำให้กังกันหยุดใช้งาน ก่อนที่จะได้รับความเสียหายเกิดขึ้น

4. การใช้วัสดุผสมระดับนาโนในการทำแบตเตอรี่ที่มีความยืดหยุ่น คือ การทำแบตเตอรี่ที่สามารถโค้งงอได้จากกระดาษ เป็นการนำวัสดุนาโนผสมของเซลลูโลสและท่อระดับนาโน มาทำเป็นกระดาษสื่อกระแสไฟฟ้า โดยนำกระดาษสื่อกระแสไฟฟ้ามาแช่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพื่อนำมาใช้ในการขึ้นรูปแบตเตอรี่

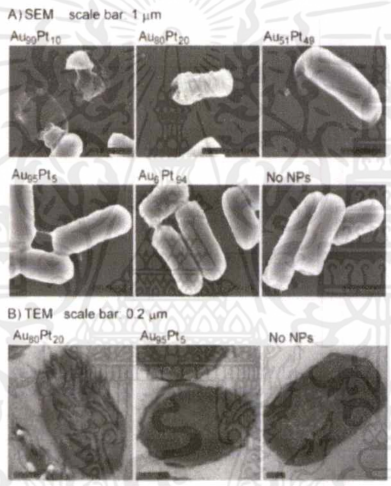
5. การนำมาใช้ในการตรวจจับและกำจัดเนื้องอก คือ การตรวจจับเนื้องอกโดยใช้กระบวนการ MRI ซึ่งทำให้สังเกตเห็นเนื้องอกได้ชัดเจนขึ้นก่อนทำการผ่าตัด โดยทำได้จากการนำอนุภาคแม่เหล็กและอนุภาคฟลูออเรสเซนต์ระดับนาโนมาผสมกัน ซึ่งคุณสมบัติแม่เหล็กในวัสดุผสมระดับนาโนจะทำให้เห็นเนื้องอกได้ชัดเจนมากขึ้นในกระบวนการ MRI และคุณสมบัติของฟลูออเรสเซนต์ในวัสดุผสมระดับนาโนจะช่วยให้สังเกตเห็นเนื้องอกได้ชัดเจนในขั้นตอนการผ่าตัด

2.2 วัสดุผสมของทองและแพลทินัม

เป็นอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม ประกอบด้วยอนุภาคทองและอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน เมื่อมีการนำอนุภาคระดับนาโนทั้งสองชนิดนี้มารวมเข้าด้วยกัน จะเกิดสมบัติเชิงแสง สมบัติพลาสโมนิก และสมบัติแม่เหล็กเกิดขึ้น โดยเฉพาะสมบัติพลาสโมนิกจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งมีความเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่แตกต่างจากวัสดุผสมชนิดอื่นๆ อีกทั้งยังมีพื้นที่ผิวมาก แต่เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพได้ส่งผลทำให้ขนาดอนุภาคมีขนาดเล็ก จึงได้มีการพัฒนาการสังเคราะห์หรือการปรับปรุงพื้นผิวขึ้นมา เช่น การนำอนุภาคทองระดับนาโนมาใช้ในการสังเคราะห์โลหะผสมของทองและแพลทินัมให้เป็นแบบชนิดโครงร่างแบบตาข่าย เป็นต้น อีกทั้งเฟสไดอะแกรมของทองและแพลทินัม ได้แสดงให้เห็นถึงการรวมกันและการแยกกันของเฟส จึงได้มีการนำมาทองและแพลทินัมนำมาทำเป็นวัสดุผสม [11]

2.2.1 การประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม

ในงานวิจัยของ Yuyun Zhao และคณะ [12] ได้ศึกษาการปรับแต่งองค์ประกอบของอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม โดยจะศึกษาจากสารโลหะที่ไม่เป็นพิษต่อร่างกาย เพื่อใช้ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย จึงได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม ในอัตราส่วนระหว่าง Au:Pt เท่ากับ 95:5 90:10 80:20 51:49 และ 6:94 แล้วนำไปตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) เพื่อดูลักษณะการกระจายตัวดังรูปที่ 2.4 พบว่า A. สารต้านเชื้อแบคทีเรียส่งผลให้เกิดการสลายตัวของเซลล์ เมื่อใช้อัตราส่วน Au:Pt เท่ากับ 90:10 80:20 และ 51:49 ส่วนในภาพ B. อัตราส่วน Au:Pt เท่ากับ 80:20 ส่งผลให้ขอบเซลล์ของไซโทพลาซึมสังเกตเห็นได้ไม่ชัด เนื่องจากมีโครงสร้างภายในเซลล์หายไป



รูปที่ 2.4 ภาพถ่าย SEM และ TEM ของ A. และ B. ของอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมในอัตราส่วนที่ต่างกัน[12]

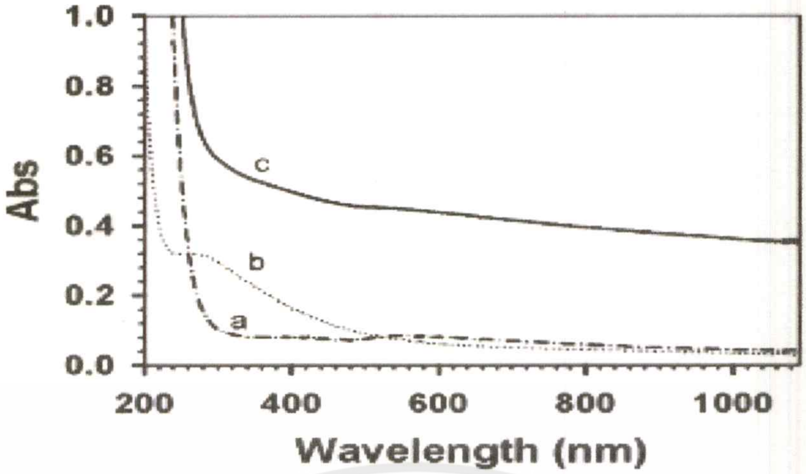
จากงานวิจัยของ Xia cao และคณะ [13] ได้มีการนำวัสดุโลหะผสมของทองและแพลทินัมนำมาประยุกต์ใช้งานในด้านเซนเซอร์ทางชีวภาพ โดยวิธีการสังเคราะห์ทำได้จากนำ NCAuPt 8.5 มิลลิกรัม ใส่ไปใน $NiCl_2.6H_2O$ ที่เตรียมจาก polyvinylpyrrolidone 50 มิลลิกรัม และใส่โซเดียมโบโรไฮไดร์ดลงไป 8.5 มิลลิกรัม ต่อมานำสารละลายผสมของ $H_2PtCl_6.4H_2O$ จำนวน 0.00224 กรัม กับ $HAuCl_4.4H_2O$ จำนวน 0.0010 มิลลิกรัม เติมลงไปและทำการโซนิเคตเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปั่นกวนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งจะถือว่าได้วัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมออกมา หลังจากนั้นทำการศึกษาสัญฐานวิทยาของอนุภาคทองและแพลทินัมที่ได้ทำการสังเคราะห์ขึ้นมา โดยใช้เครื่อง TEM พบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3-5 nm ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และเมื่อทดสอบความไวในการตรวจวัดและความเป็นเส้นตรงของในตัวอย่างที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันจากเครื่องลิเนียร์สวีปสติปปิงโวแทมเมทรี โดยมี HRP-anti-CEA-

NCAuPt เป็นตัวติดตามคาร์ซิโนเอมบริโอนิคแอนติเจน (CEA) และมีตัวที่ใช้จับเอ็นไซม์ คือ H_2O_2 พบว่า ค่าการตอบสนองมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของ CEA ในสารตัวอย่างมากขึ้น โดยค่าความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 0.01-200 ng/mL ซึ่งมีค่าต่ำสุดการตรวจวัดอยู่ที่ 1.1 pg/mL

รูปที่ 2.5 ภาพของอนุภาคของทองและแพลทินัมที่ได้ทำการสังเคราะห์ขึ้นมา [13]

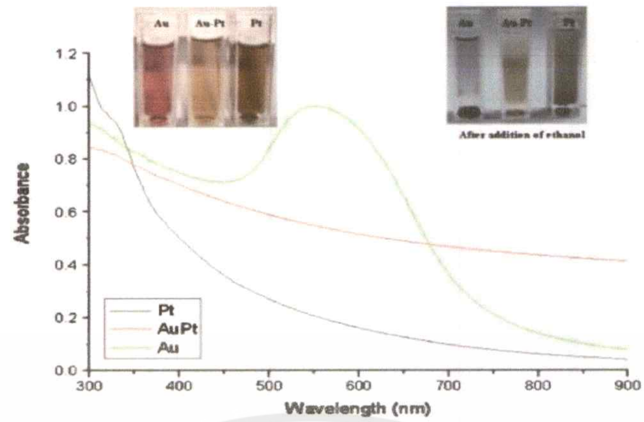
2.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม

ในการศึกษาของ Peter N. Njoki และคณะ [14] ได้มีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม โดยใช้วิธีการสังเคราะห์ในสารละลายวัฏภาคเดียว ที่มีปฏิกิริยารีดักชันของ $AuCl_4^-$ และ $PtCl_4^{2-}$ เกิดภายในสารละลายเดียวกัน ซึ่งมีการใช้ไฮโดรเจนและอะครีเลท เป็นตัวรีดิวซ์ของ Pt(II) และ Au(III) ตามลำดับ ซึ่งหมู่ฟังก์ชันของอะครีเลทจะส่งผลต่อความเป็นผลึกระดับนาโน ดังนั้นจึงได้มีการควบคุมอัตราส่วนของ $AuCl_4^-$ และ $PtCl_4^{2-}$ รวมถึงความเข้มข้นของอะครีเลท[A] ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม มีการใช้อัตราส่วนความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคทองและแพลทินัมระดับนาโนที่แตกต่างกัน รวมถึงการใช้อัตราส่วนความเข้มข้นของไฮโดรเจนและอะครีเลทด้วย คือ ใช้อัตราส่วนความเข้มข้นสารละลาย K_2PtCl_4 : $HAuCl_4$: โซเดียมอะครีเลท เท่ากับ 8.0×10^{-5} : 8.0×10^{-5} : 3.2×10^{-3} M ที่เป็นอัตราส่วน [$AuCl_4^-$+$PtCl_4^{2-}$]:[A] เท่ากับ 1:20 ใช้อัตราส่วนความเข้มข้นสารละลาย K_2PtCl_4 : $HAuCl_4$: โซเดียมอะครีเลท เท่ากับ 2.4×10^{-4} : 2.4×10^{-4} : 1.92×10^{-2} M ซึ่งเป็นอัตราส่วน [$AuCl_4^-$+$PtCl_4^{2-}$]:[A] เท่ากับ 1:40 และใช้อัตราส่วนความเข้มข้นสารละลาย K_2PtCl_4 : $HAuCl_4$: โซเดียมอะครีเลท เท่ากับ 9.6×10^{-4} : 9.6×10^{-4} : 7.68×10^{-2} M จากนั้นจะทำการผ่านแก๊สไฮโดรเจนลงไปในสารละลายเป็นเวลา 30 นาที และทำการปั่นกวนในภาชนะปิดภายใต้อุณหภูมิห้อง 22 °C จะสังเกตเห็นสีของสารละลายเป็นสีน้ำตาล แสดงให้เห็นถึงอนุภาคนาโนของทองและแพลทินัมถูกรักษาเสถียรภาพด้วยอะครีเลท จากนั้นนำมาตรวจวัดการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสสิเบิล ดังรูปที่ 2.6 จะชี้ให้เห็นว่า a. อนุภาคทองระดับนาโน มีพีคเกิดขึ้นที่ 520 nm b. อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน มีพีคเกิดขึ้นที่ 215 nm และ c. อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม ซึ่งจะมีพีคของอนุภาคทองระดับนาโนปรากฏน้อยมาก และไม่ปรากฏพีคของแพลทินัมระดับนาโนเกิดขึ้น เนื่องจากเกิดการรวมตัวกันระหว่างทองและแพลทินัม



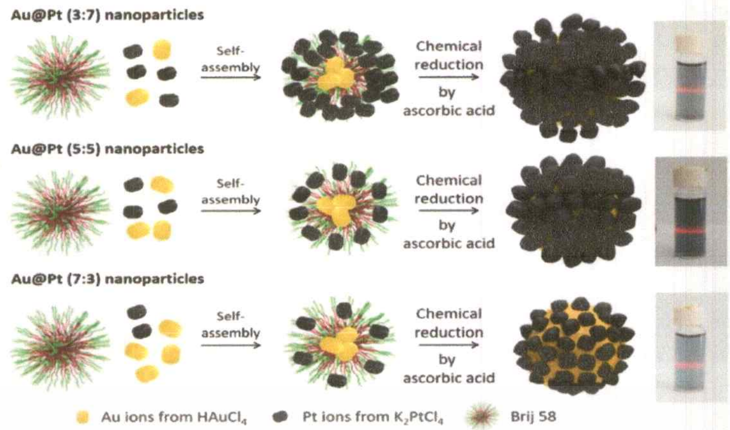
รูปที่ 2.6 ภาพสเปกตรัมของยูวี-วิสสิเบิลของ a. อนุภาคทองระดับนาโน b. อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน และ c. อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม [14]

อีกทั้งยังมีวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมของ Angshuman Pal และคณะ [15] ที่เป็นการสังเคราะห์ในระบบอิมัลชันขนาดเล็ก ซึ่งประกอบด้วยชั้นของน้ำ/สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ/น้ำมัน/แอลกอฮอลล์ และมีตัวรีดิวซ์คือโซเดียมโบโรไฮไดร์ด ที่ทำในสภาวะอุณหภูมิ 25±2 °C โดยสังเคราะห์ได้จากการใช้ Triton X-100 ผสมกับน้ำ ในอัตราส่วนร้อยละ 8 โดยปริมาตร และใช้ 1-hexanol ร้อยละ 0.027 โดยปริมาตร ที่เหลือเป็นสารละลายไซโคลเฮกเซน ปฏิกิริยาทั้งหมดจะถูกทำในอัตราส่วนโดยโมลที่มีความเข้มข้นของโลหะ คือ 2.7×10^{-4} M และตัวรีดิวซ์ความเข้มข้น 1.4×10^{-3} M เมื่อสารละลายทั้งหมดอยู่ในระบบอิมัลชันขนาดเล็ก ภายใต้การปั่นกวน ที่มีตัวรีดิวซ์และเกลือของโลหะที่มีความเหมาะสม จะทำให้เกิดการจับตัวกันของอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมเกิดขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของน้ำและน้ำมันมากขึ้น ส่งผลให้เกิดอนุภาคจับตัวกันได้ดี แต่ในทางกลับกันทำให้ความเสถียรลดน้อยลงด้วย สังเกตเห็นได้จากอัตราส่วนโดยโมลของน้ำในน้ำมันอยู่ที่ 5 และ 7 อนุภาคจะเสถียรแค่ 1-2 ชั่วโมงเท่านั้นและเกิดการตกตะกอน และเมื่อความเข้มข้นความอัตราส่วนโดยโมลของน้ำในน้ำมันน้อยกว่า 3 จะทำให้ระบบอิมัลชันมีความเสถียร แต่ความเข้มข้นของอนุภาคจะต่ำ ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ 3 เนื่องจากเป็นสภาวะที่อนุภาคมีความเสถียรมากที่สุด โดยความเข้มข้นของ $HAuCl_4$ และ H_2PtCl_6 เพิ่มขึ้น ก็จะทำให้เห็นสีของสารละลายชัดเจนมากขึ้น เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสสิเบิล ดังรูปที่ 2.7 จะมีพีคปรากฏที่ 545 nm เป็นพีคของอนุภาคทองระดับนาโน แต่อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนจะไม่ปรากฏพีค รวมถึงไม่ปรากฏพีคของอนุภาคทองระดับนาโนในสารละลายนาโนโลหะผสม เนื่องจากอนุภาคทองและแพลทินัมระดับนาโนจะเกิดการจับตัวกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าระบบอิมัลชันที่ทำขึ้นมาจะมีความเสถียรมากกว่า 6 เดือน โดยจะไม่มีการตกตะกอนหรือการเปลี่ยนแปลงเชิงสีเกิดขึ้น และเมื่อทำการเปลี่ยนเป็นแอลกอฮอล์ชนิดสายโซ่สั้น คือ เอทานอลและอะซีโตน จะสังเกตเห็นว่าความเสถียรของระบบอิมัลชันลดลงและเกิดการตกตะกอน ดังภาพขวามือ

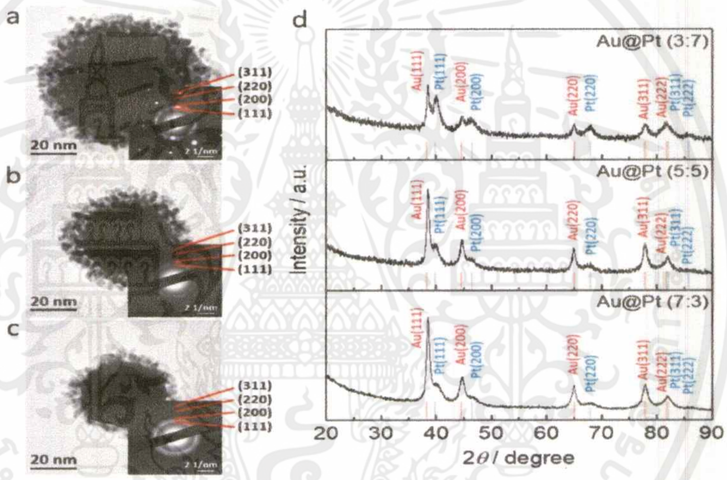


รูปที่ 2.7 ภาพสเปกตรัมของยูวี-วิสของอนุภาคทอง แพลทินัม โลหะผสมของทองและแพลทินัมระดับนาโน และภาพด้านขวา คือ สารละลายหลังจากใช้เอทานอลเติมลงไปแทนเฮกเซน [15]

Kyubin shim และคณะ [16] ได้ทำการสังเคราะห์วัสดุนาโนโลหะผสมของทองแพลทินัมโดยใช้วิธี Sonochemical ที่มีการใช้อัตราส่วนของสารละลายทองและแพลทินัมต่างกัน Au:Pt เท่ากับ 3:7 5:5 และ 7:3 ตามอัตราสัดส่วนโมลาร์ โดยมีการเติมสารละลาย Briji 58 เป็นสารลดแรงตึงผิว และใช้กรดแอสคอร์บิคเป็นตัวรีดิวซ์ หลังจากนั้นทำการโซนิเคตเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และทำการปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิห้องและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนกับเอทานอล เพื่อกำจัดสารลดแรงตึงผิว ซึ่งสามารถแสดงแผนภาพการจับตัวของอนุภาคทองและแพลทินัมได้ ดังรูปที่ 2.6 สังเกตได้ว่า เมื่อใช้อัตราส่วนของแพลทินัมมากขึ้นจะทำให้มีปริมาณแพลทินัมมาเกาะที่ทองเพิ่มขึ้น คือ สภาวะที่ 3:7 ในทางตรงกันข้าม ถ้าใช้ปริมาณแพลทินัมน้อยก็ส่งผลให้มีปริมาณของแพลทินัมมาเกาะที่ทองน้อย และสามารถสังเกตการกระเจิงแสงของสารละลายได้ ซึ่งบ่งบอกถึงการเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่แตกต่างกัน โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ 7:3 และเมื่อนำมาวิเคราะห์เพื่อดูการกระจายตัวและขนาดของอนุภาคด้วยเครื่อง TEM ดังภาพที่ 2.8 a. 3:7 b. 5:5 c. 7:3 พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมอยู่ที่ 60 52 และ 47 nm ตามลำดับ เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนของทองเพิ่มขึ้น ทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดเล็กลง หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาระนาบที่เกิดขึ้นด้วย Selected area electron diffraction (SAED) และ XRD มีพีคเกิดขึ้นที่ระนาบ [111] [200] [220] [311] และ [222] ดังภาพที่ 2.9 a. b. และ c. จึงสรุปได้ว่าอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมมีโครงสร้างผลึกแบบ FCC



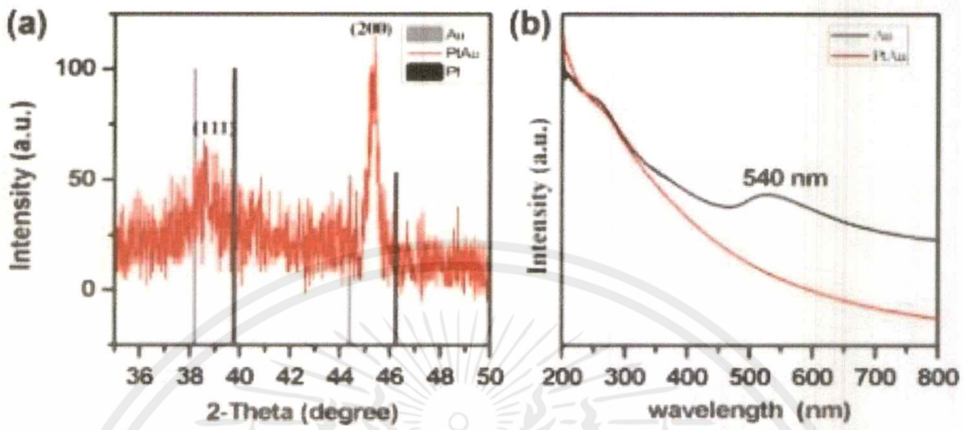
รูปที่ 2.8 สีของสารละลาย ที่อัตราส่วนของทองและแพลทินัมแตกต่างกัน Au:Pt a. 3:7 b. 5:5 และ c. 7:3 [16]



รูปที่ 2.9 ภาพ TEM และ SAED ของอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมที่อัตราส่วนที่แตกต่างกันของ Au:Pt คือ a. 3:7 b. 5:5 และ c. 7:3 ส่วน d. ภาพระนาบของ XRD ที่อัตราส่วน 3:7 5:5 และ 7:3 ตามลำดับ [16]

ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม โดย Faying Fan และคณะ [17] จะมีการใช้วิธีการตกตะกอนร่วมกับ ZnO ซึ่งเตรียมได้จากการนำสารละลาย PVA มาทำปฏิกิริยากับสารละลาย $HAuCl_4$ และสารละลาย H_2PtCl_6 อย่างละ 20 mM ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที และปั่นกวนเพิ่มอีก 1 ชั่วโมงจะสังเกตเห็นสีของสารละลายเป็นสีน้ำตาลเข้ม หลังจากนั้นเตรียมลวดระดับนาโนของ ZnO ผสมลงไปในน้ำภายใต้การอัลตราซาวด์ สังเกตเห็นสารแขวนลอย จากนั้นเติมสารละลายของโลหะผสมทองแลแพลทินัมลงไป ทำการปั่นกวนปั่นกวนอีก 2 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 6000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วล้างด้วยเอทานอล หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง XRD และดูการดูดกลืนของสารด้วยเครื่อง UV-vis ดังรูปที่ 2.10 จากภาพ a. มีการปรากฏระนาบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ขึ้นที่ [111] และ [200] และจากรูป b.

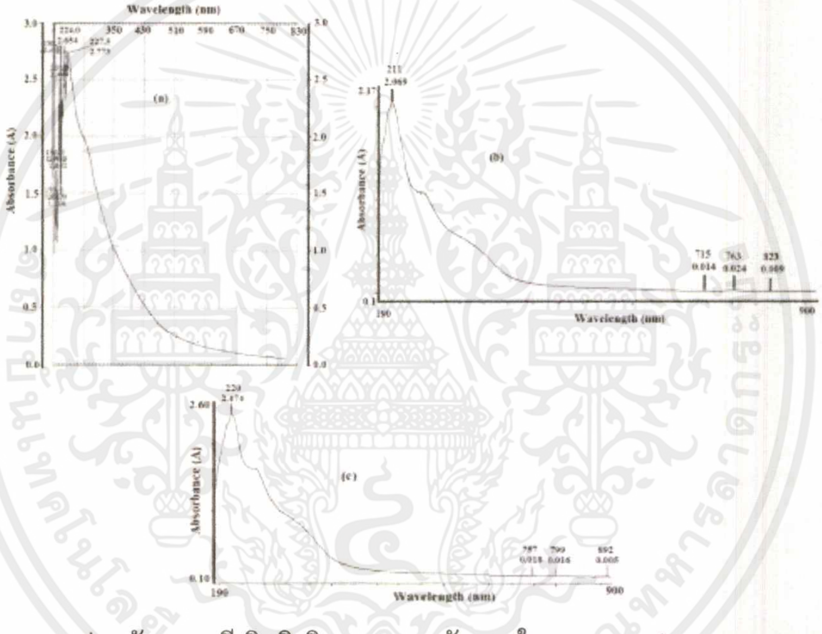
จะปรากฏพีคการดูดกลืนแสงเกิดขึ้นที่ 540 nm. ซึ่งเป็นพีคของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อเทียบกับพีคของอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม สังเกตว่าไม่ปรากฏพีคการดูดกลืนขึ้น เนื่องจากไม่มีปริมาณสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนเหลืออยู่ในสารละลาย



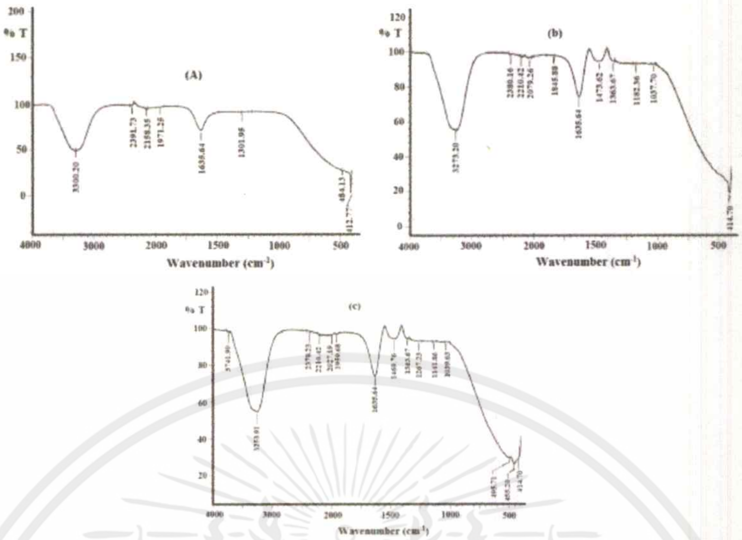
รูปที่ 2.10 ภาพ a. XRD ของอนุภาคโลหะผสมของทองและแพลทินัม และภาพ b. สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม กับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลายทอง[17]

ในทางเคมีสีเขียวซึ่งเป็นวิธีที่มิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้ใช้สารสกัดจากใบมะละกอเพื่อในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมขึ้นมา จากงานวิจัยของ Abass Abiola Olajire และคณะ [18] โดยสารสกัดที่ได้จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และตัวรักษาเสถียรภาพ ทำได้จากการผสมสารละลาย $HAuCl_4$ และสารละลาย $H_2PtCl_6.H_2O$ ความเข้มข้น 1 mM เข้าด้วยกัน จากนั้นนำสารสกัดที่ได้จากใบมะละกอเติมลงไป และปั่นกวนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อเป็นการทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันได้เร็วขึ้น และเกิดการจับตัวกันของอนุภาคนาโนโลหะผสมได้ดียิ่งขึ้น หลังจากนั้นนำสารละลายอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมที่ถูกรีดิวซ์แล้วมาทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000 rpm เป็นเวลา 30 นาที เพื่อทำให้อนุภาคนาโนเกิดการกระจายตัวในสารละลายได้ดียิ่งขึ้น และปั่นเหวี่ยงอีกครั้งที่ความเร็ว 3000 rpm เป็นเวลา 15 นาที เมื่อเสร็จแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 100 °C ต่อมาได้นำมาวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวิ-วิสสิเบิล ดังรูปที่ 2.11 จากภาพ a. ปรากฏพีคของสารสกัดจากใบมะละกอมีค่าการดูดกลืนที่ 224 และ 227 nm. b. ปรากฏพีคของสารละลายแพลทินัมระดับนาโนที่ 211 nm. และ c. ปรากฏพีคของสารละลายอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมมีค่าการดูดกลืนอยู่ที่ 220 nm. แสดงให้เห็นถึงการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนโลหะผสม และนำมาวิเคราะห์ค่าการสั่นของหมู่ฟังก์ชันของสารด้วยเครื่อง FTIR ดังรูปที่ 2.12 จากภาพ a. สเปกตรัมของสารสกัดจากใบมะละกอ พบค่าการสั่นของพันธะ O-H stretching ที่เลขคลื่น 3300 cm^{-1} การสั่นของพันธะ C=O หรือ C=C stretching ที่เลขคลื่น 1635 cm^{-1} การสั่นของพันธะ C≡N bending ที่เลขคลื่น 2391 cm^{-1}

การสั่นของพันธะ C≡C bending ที่เลขคลื่น 2158 cm^{-1} การสั่นของพันธะ C-H bending ของอะโรมาติก ที่เลขคลื่น 1971 cm^{-1} C-O stretching ของวงอะโรมาติกที่มีหมู่เอสเทอร์ หรือ C-N stretching ของวงอะโรมาติกที่มีหมู่ฟังก์ชันเอไมด์ ที่เลขคลื่น 1301 cm^{-1} และจากภาพ b. อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน และ c. อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม ได้แสดงถึงตำแหน่งของพีคที่มีลักษณะเด่น ซึ่งชี้ให้เห็นถึงการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโลหะและหมู่ฟังก์ชันของสารชีวิโมเลกุลที่พีคของหมู่ O-H และ C-H bending มีค่าเลขคลื่นน้อยลงจากเดิม เนื่องจากเกิดการรวมกันของหมูฟีนอลิคไฮดรอกซิลกับพันธะไพน์อิเล็กตรอนของสารประกอบอะโรมาติกในขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยารีดักชันโดยมีการให้อิเล็กตรอน และมีการเกิดอนุพันธ์ควีนโนนขึ้นอีกด้วย โดยเกิดแถบการสั่นขึ้นใหม่ของหมู่ O-H stretching ที่เลขคลื่น 3741 cm^{-1} ปรากฏในสเปกตรัมของภาพ c. และมีพีคใหม่เกิดขึ้นเพิ่มอีก



รูปที่ 2.11 ภาพสเปกตรัมของยูวี-วิสสิเบิล a. สารสกัดจากใบมะละกอ b. อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน c. อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม [18]



รูปที่ 2.12 สเปกตรัมของ FTIR a. สารสกัดจากใบมะละกอ b. อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน และ c. อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม [18]

2.3 วัสดุนาโน

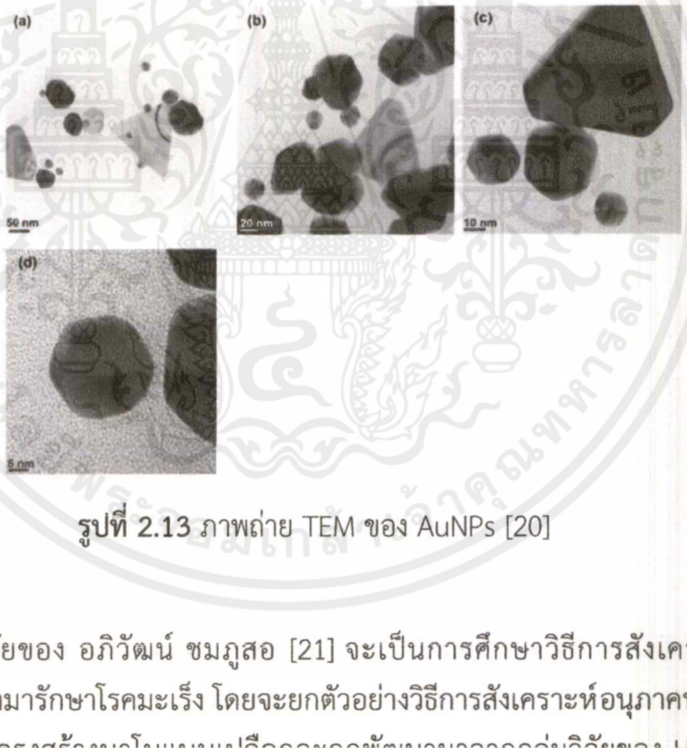
2.3.1 อนุภาคทองระดับนาโน

อนุภาคทองระดับนาโน มีรูปร่างคล้ายทรงกลม โดยที่รูปร่างและขนาดของอนุภาคทองระดับนาโนจะมีความสัมพันธ์กับสมบัติออปโตอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากมีกระบวนการของโฟตอนในการรับส่งและจัดเก็บข้อมูล อีกทั้งรูปร่างและขนาดได้ส่งผลต่อสีของสารละลายอีกด้วย เช่น สีน้ำตาล สีส้ม สีแดง และสีม่วง เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเพิ่มขึ้นจาก 1-100 nm ซึ่งพีคการดูดกลืนของอนุภาคทองระดับนาโนอยู่ที่ 500-550 nm นอกจากนี้อนุภาคทองระดับนาโนมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรขนาดใหญ่ จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในทางชีวภาพ เนื่องจากว่ามีความเป็นพิษน้อย และมีคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ คือ เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ (SPR) ฟลูออเรสเซนต์ [19]

ก. การประยุกต์ใช้อนุภาคทองระดับนาโน

จากงานวิจัยของ KO shitlu และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้อนุภาคทองระดับนาโนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของยา โดยได้สังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้วิธีชีวภาพจากเมล็ดของพริกไทย (Piper guineense) ซึ่งนำใบและเมล็ดของพริกไทยมาล้างน้ำกลั่นและไปตากแห้ง 15 วัน ในอุณหภูมิห้อง จากนั้นนำตัวอย่างมา 5 g ใส่ลงในน้ำกลั่น 100 mL แล้วต้ม 5 นาที จากนั้นกรองเก็บไว้เพื่อนำมาใช้ โดยนำสารละลายของพริกไทย 0.5 mL รวมกับ สารละลายเตตระคลอโรออเรท ($HAuCl_4$) ปริมาตร 9.5 mL ความเข้มข้น 1 mM แล้วสังเกตสีที่เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีแดง จากนั้นนำไปตรวจวัดในเครื่องวิเคราะห์ UV-vis spectrophotometer ในช่วงค่าการดูดกลืนความยาวคลื่น

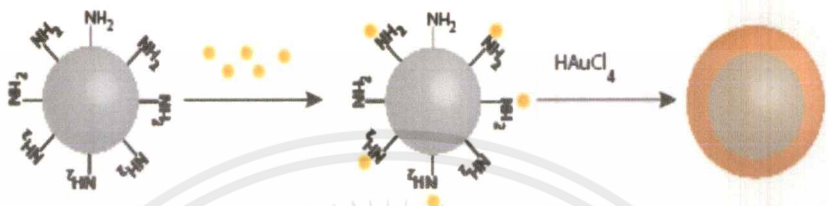
300-800 nm จากนั้นนำไปตรวจวัดตัวอย่างยา 3 ชนิด ตัวอย่างแรกคือ PND ใช้อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้วิธีชีวภาพจากผลพริกไทย ปริมาตร 0.5 mL โพลีเอททีลีนไกลเคิล 5 g และตัวอย่างยา 0.58 g จากนั้นนำไปปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตัวอย่างที่สองคือ PN ใช้อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้วิธีชีวภาพจากผลพริกไทย ปริมาตร 0.5 mL โพลีเอททีลีนไกลเคิล 5 g จากนั้นนำไปปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และตัวอย่างสุดท้ายคือ PD ใช้น้ำกลั่น 1 mL โพลีเอททีลีนไกลเคิล 5 g และตัวอย่างยา 0.58 g จากนั้นนำไปปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำไปตรวจวัดในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) เพื่อศึกษารูปร่างและขนาดอนุภาค พบว่า มีการกระจายตัวของอนุภาคทองระดับนาโนในช่วงกว้าง รวมถึงมีรูปทรงที่แตกต่างกันเกิดขึ้น เช่น มีลักษณะคล้ายทรงกลม ทรงแปดเหลี่ยม ทรงสิบเหลี่ยม ทรงเหลี่ยมลูกบาศก์ สามเหลี่ยม พีระมิด เป็นต้น ดังรูปที่ 2.13 และเมื่อนำตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด มาเพิ่มประสิทธิภาพให้ยา lincomycin พบว่า สามารถต้านเชื้อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมบวกได้ 2 ชนิด คือ S. aureus and S. pyogenes และใช้ความเข้มข้นที่น้อยกว่ายามาตรฐาน รวมถึงมีระยะเวลาในการต้านเชื้อแบคทีเรียนานถึง 15 นาที จึงเป็นการยืนยันได้ว่า อนุภาคทองระดับนาโนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียในยา



รูปที่ 2.13 ภาพถ่าย TEM ของ AuNPs [20]

จากงานวิจัยของ อภิวัฒน์ ชมภูสอ [21] จะเป็นการศึกษาวิธีการสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ในการนำมารักษาโรคมะเร็ง โดยจะยกตัวอย่างวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนแบบเปลือก โดยที่โครงสร้างนาโนแบบเปลือกจะถูกพัฒนามาจากกลุ่มวิจัยของ Halas ซึ่งใช้การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกาก่อนแล้วจึงทำการเคลือบทองลงบนพื้นผิวของซิลิกา โดยทั่วไปแล้วการสังเคราะห์โครงสร้างแบบเปลือกจะประกอบไปด้วย 2 ขั้นตอน ซึ่งในขั้นตอนแรกจะเป็นการสังเคราะห์แกนกลาง (core) และขั้นที่สองเป็นการเคลือบอนุภาคทองลงบนแกนกลางที่เตรียมไว้(shell) โดยอนุภาคนาโนและซิลิกา เตรียมได้จากวิธีการของสโตเบอร์ โดยพื้นผิวของซิลิกาจะถูกปรับให้เป็นหมู่อะมิโน เพื่อเพิ่มความสามารถในการจับกับไอออนของทอง โดยทั่วไปแล้วนิยมใช้ 3-aminopropyltriethoxysilane ขั้นตอนที่สองจะทำการเคลือบทองลงบนหมู่อะมิโน ซึ่งวิธีการ

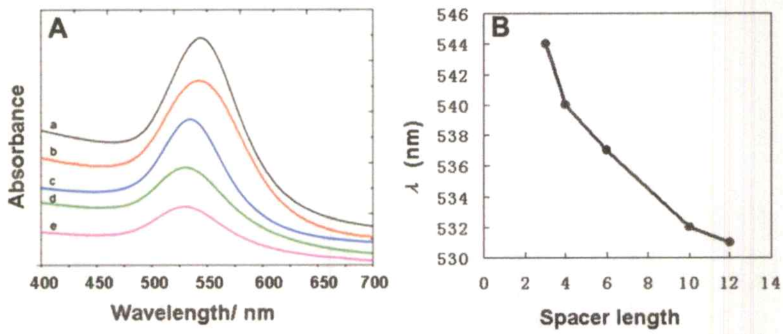
สังเคราะห์แสดงได้ ดังรูปที่ 2.14 โดยที่โครงสร้างแบบเปลือกสามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงอินฟราเรดสั้นได้ดีสามารถนำไปใช้ในการฆ่ามะเร็งด้วยความร้อนซึ่ง West ได้เสนอวัสดุแบบเปลือกของทองเพื่อนำไปใช้ในการฆ่าเซลล์มะเร็งเต้านมโดยใช้แสง เลเซอร์ที่ความยาวคลื่น 820 นาโนเมตร ความเข้ม 35 วัตต์/ตารางเซนติเมตร โดยความร้อนที่เกิดขึ้นเท่ากับ 37.4±6.6 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 4-6 นาที



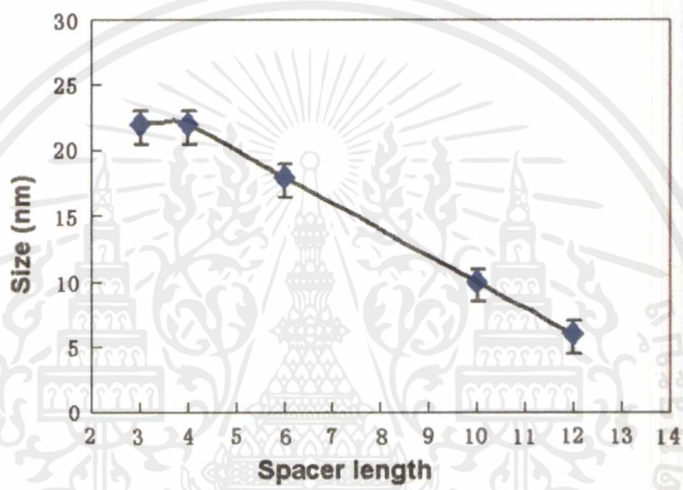
รูปที่ 2.14 แสดงวิธีการสังเคราะห์โครงสร้างระดับนาโนแบบเปลือก [21]

ข. การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน

จากการศึกษาของ Yazhuo Shang และคณะ [22] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนจากสารลดแรงตึงผิว โดยใช้รังสียูวีทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันของ $HAuCl_4$ และไม่มีการเติมสารรีดิวซ์หรือสารออแกนิคชนิดอื่นๆเข้าไป ซึ่งเตรียมได้จากใส่สารลดแรงตึงผิว ความเข้มข้น 1.35×10^{-2} M ลงไป และสารละลายทองระดับนาโนความเข้มข้น 5×10^{-3} M ทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำสารละลายที่ผสมแล้วเทใส่ควอตซ์ และนำไปให้รังสี UV ที่กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 300 W เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ที่หลอดรังสียูวีทำมาจากหลอดไฟเมอร์คิวลี โดยตั้งให้ห่างจากหลอดยูวีเป็นระยะ 2 cm สาระลายที่ได้จะมีสีม่วงใส ในการศึกษานี้ยังมีการใช้สารลดแรงตึงผิวที่แตกต่างกัน คือ Gemini SDS SDBS DTAB CTAB และ Triton X-100 สังเกตว่า เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ พบว่าทำให้อนุภาคทองระดับนาโนเกิดขึ้นได้ดีกว่า เนื่องจากถ้าใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ ส่งผลให้แรงผลักระหว่างไอออนของ $(AuIIICl_4)^-$ กับประจุลบของสารลดแรงตึงผิวมีไม่มาก จึงไม่เกิดการการจับตัวกันของอนุภาคทอง ดังนั้น จึงมีการเลือกใช้ Gemini ในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน และมีการควบคุมความยาวสายโซ่ของ Gemini เพื่อดูขนาดของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อนำไปวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของสารด้วยเครื่องยูวี-วิสสิเบิล ดังรูปที่ 2.15 พบว่า มีพีคการดูดกลืนปรากฏอยู่ในช่วง 544 – 531 nm. เมื่อเพิ่มความยาวของสายโซ่ของ Gemini มากขึ้น เนื่องจากมีอนุภาคทองระดับนาโนเกิดขึ้น จึงทำให้พีคเคลื่อนจาก 540 nm และในการวิเคราะห์เพื่อศึกษารูปร่างและขนาดของอนุภาคด้วยเครื่อง TEM ดังรูปที่ 2.16 เมื่อเพิ่มความยาวสายโซ่ของ Gemini จะทำให้อนุภาคทองระดับนาโนที่ได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยลดลงอยู่ในช่วง 22-7 nm.

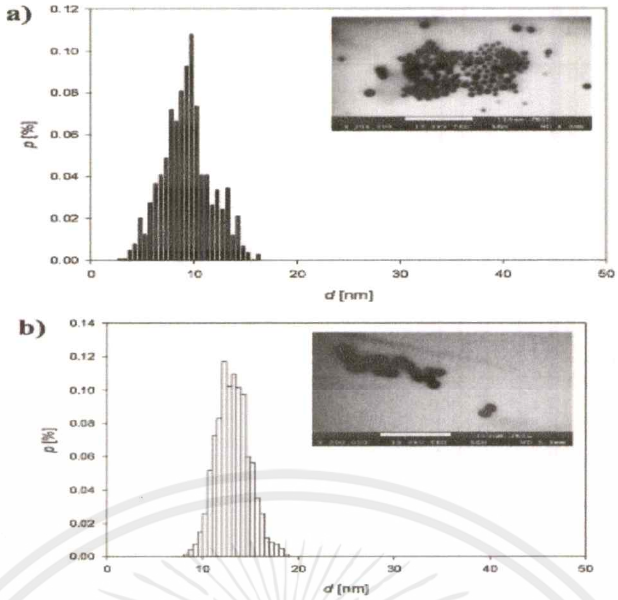


รูปที่ 2.15 สเปกตรัมการดูดกลืนของอนุภาคทอง a. Au-GEM 16-3-16 b. Au-GEM 16-4-16 c. Au-GEM 16-6-16 d. Au-GEM 16-10-16 e. Au-GEM 16-12-16 [22]

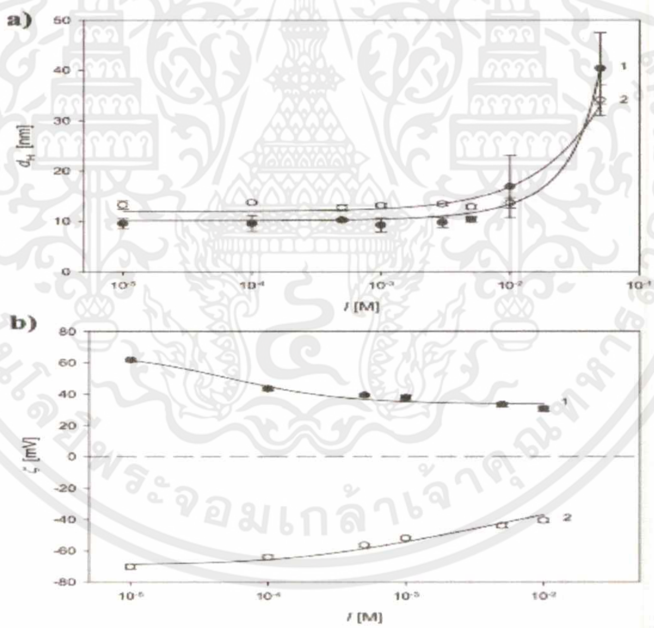


รูปที่ 2.16 ขนาดอนุภาคทองระดับนาโนกับจำนวนของสายโซ่ของ Gemini ที่เพิ่มขึ้น [22]

ในงานวิจัยของ Maciejewska-Prończuk และคณะ [23] การศึกษานี้จะอ้างอิงวิธีการของ Winkler ในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน โดยใช้กระบวนการตกตะกอน ในขั้นตอนแรกจะทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนผ่านปฏิกิริยารีดักชันซึ่งใช้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรท และทำการปรับปรุงพื้นผิวโดยใช้คริสทีมีน ทำให้พื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโนมีประจุเป็นบวก ในขั้นตอนที่สองจะทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนผ่านกระบวนการ Turkevich method ซึ่งทำให้พื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโนมีประจุเป็นลบ และในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการขึ้นรูปอนุภาคทองระดับนาโนจากการเคลือบแบบ 1 ชั้น และแบบ 2 ชั้น บนตัวรับรู้ภายใต้สภาวะการไหลของสารละลาย โดยใช้ควอตซ์คริสตัลไมโครบาลานซ์ ซึ่งสามารถยืนยันผลได้จากการไปตรวจวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคด้วยเครื่อง TEM พบว่าอนุภาคทองระดับนาโนที่มีประจุบวกจะมีขนาดอนุภาคอยู่ที่ 9 ± 3 nm และอนุภาคทองระดับนาโนที่มีประจุลบจะมีขนาดอนุภาคอยู่ที่ 14 ± 2 nm ดังรูปที่ 2.17 และมีค่า hydrodynamic diameter (d_H) ซึ่งสังเกตว่า AuNPsTC(–) จะมีค่าคงที่เมื่อความแรงไอออนในสารละลายอยู่ที่ 10^{-2} M และค่า d_H ของ AuNPsCH(+) จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีค่าความแรงไอออนในสารละลายมากกว่า 3×10^{-3} M ซึ่งจะทำให้เกิดการตกตะกอน ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.17 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของ a.)AuNPsCH(+) และ b.) AuNPsTC(–) [23]



รูปที่ 2.18 ภาพ a) hydrodynamic diameter (dH) และ ภาพ b) ค่าศักย์ไฟฟ้าเซต้าของ (ζ) 1) (●) AuNPsCH(+) และ 2) (○) AuNPsTC(–) [23]

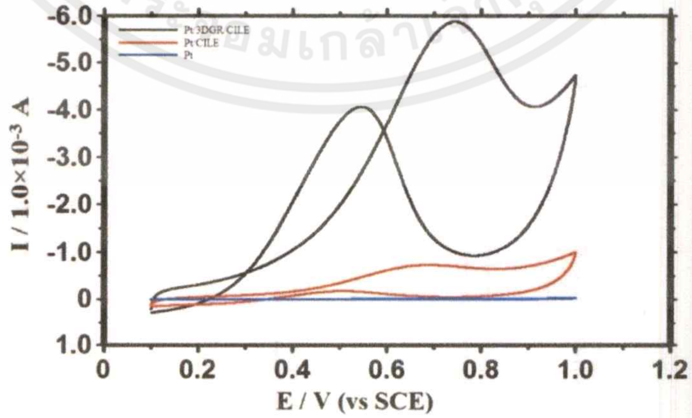
2.3.2 อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน

อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนเป็นโลหะสีเทาขาว ไม่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา มีความหนาแน่น และมีความต้านทานต่อการกัดกร่อนสูง ส่วนใหญ่อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนจะถูกนำมาผสมกับธาตุโลหะชนิดอื่นๆ เช่น นิกเกิล และคอปเปอร์ อีกทั้งอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนมี

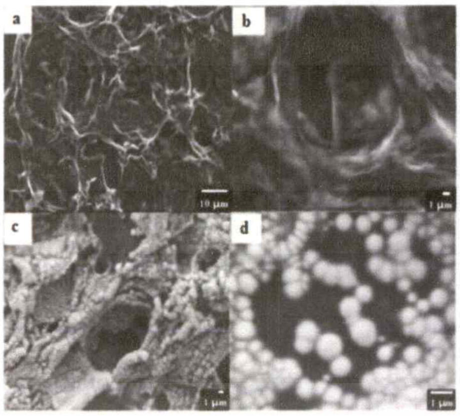
คุณสมบัติในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และคุณสมสมบัติทางด้านออปโตอิเล็กทรอนิกส์ จึงเป็นอนุภาคนาโลหะอีกชนิดที่มีศักยภาพในการนำมาประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ [24]

ก. การประยุกต์ใช้อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน

จากงานวิจัยของ Xiaofeng และคณะ [25] ได้ประยุกต์ใช้อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่ได้รับการปรับแต่งด้วยอิเล็กโทรดแบบดัดแปลงสามมิติกราฟีนสำหรับเมทานอลอิเล็กโทรออกซิเดชัน โดยที่ตัวกราฟีนได้ถูกนำมาทำเป็นกราฟีนออกไซด์เพื่อประยุกต์ใช้ในทางเคมีไฟฟ้าในหลากหลายงานวิจัย เพราะเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม รวดเร็ว และง่าย ในการทดลองนี้จะทำการปรับแต่งด้วยอิเล็กโทรด carbon ionic liquid electrode (CILE) ทำได้จากใช้สารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ ความเข้มข้น 0.1 M กราฟีนออกไซด์ 3 mg/mL ลิเทียมเปอร์คอเลต ความเข้มข้น 0.15 M จากนั้นนำไปปั่นกวน แล้วพักไว้ จากนั้นเตรียมอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน ใช้กรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.1 M และสารละลายแพลตินิกคลอโรออเรท (H_2PtCl_6) นำไปปั่นกวนและทำฟิล์มสลับชั้นกับ CILE ที่เตรียมไว้ เพื่อเปรียบเทียบพีคของปฏิกิริยารีดอกซ์ที่เกิดขึ้นจึงได้นำมาตรวจวัดด้วย cyclic voltammeter พบว่า ในการใช้ Pt/3DGR/CILE มีพีคเกิดขึ้นใหญ่ที่สุด เมื่อเทียบกับ Pt/CILE และ Pt ดังรูปที่ 2.19 และเพื่อดูลักษณะและขนาดของอนุภาค จึงใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ในการตรวจวัด พบว่า จากภาพ 1a. กับ 1b. มีลักษณะโครงสร้างคล้ายโพรงที่มีแผ่นกราฟีนยึดติดกัน โดยมีขนาดของรูในช่วงมากกว่า 10 nm และภาพ 1c. กับ 1d. พบว่า มีปริมาณของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่ถูกเคลือบแล้ว มีขนาดอยู่ในช่วงมากกว่า 100 nm ซึ่งมีการเคลือบบน 3DGR ทั้งหมด ดังรูปที่ 2.20 ดังนั้น อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่ได้รับการปรับแต่งด้วยอิเล็กโทรดแบบดัดแปลงสามมิติกราฟีน สามารถใช้สำหรับเป็นออกซิเดชันเชิงเร่งปฏิกิริยาด้วยไฟฟ้าของเมทานอลได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติในการเร่งปฏิกิริยาดี เพราะมีพื้นที่มาก ค่าการนำไฟฟ้าสูง และสามารถนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในด้านอิเล็กโทรเคมีได้อีกด้วย



รูปที่ 2.19 ค่าศักย์ไฟฟ้าของสาร Pt/3DGR/CILE, Pt/CILE และ Pt [25]



รูปที่ 2.20 ภาพถ่าย SEM (a, b) 3DGR/CILE (c, d) Pt/3DGR/CILE [25]

จากงานวิจัยของ Mohammad Reza MilaniHosseini และคณะ [26] ได้มีการนำอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนมาประยุกต์ใช้เป็นตัวเคลือบทางด้านเคมี โดยกระบวนการสังเคราะห์ PtNPs จะใช้วิธีการทำแบบสองเฟส จากนาย Brust โดยจะมีการใช้ 11-mercaptoundecanoic acid เป็นตัวป้องกันการตกตะกอน ในเวลาต่อมาสารละลายของ $PtCl_2$ (0.008 mmol ใน 10 ml) ถูกเติมลงไปในสารละลาย TOAB (0.01 mmol ใน 20 ml toluene) ซึ่ง TOAB เป็นสารลดแรงตึงผิว หลังจากนั้น $PtCl_2$ จะแพร่ไปยังเฟสของออร์แกนิค ต่อมา 11-mercaptoundecanoic acid (0.01 mmol ใน 20 ml toluene) ถูกเติมลงไปในส่วนผสม เมื่อผ่านไป 5 นาที $NaBH_4$ จะถูกเติมลงไป หลังจากนั้นทำการปั่นกวน 3 ชั่วโมง ส่วนชั้นน้ำจะถูกกำจัดออกไปและชั้นของออร์แกนิคจะถูกทำให้ระเหยในเครื่องสุญญากาศ ซึ่งจะทำให้ได้ออกมาเป็นของแข็งและทำการล้างด้วยคลอโรฟอร์มและน้ำปราศจากไอออน หลังจากนั้นทำการกรองซึ่งจะทำให้ได้อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน โดยจะศึกษาผลของการเปรียบเทียบค่าความไวและค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดของอนุภาคทองและแพลทินัมระดับนาโน พบว่าค่าความไวในการวิเคราะห์จะมีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้น และสามารถทนต่อสารละลายเมทานอล เอทานอล เอทิลอะซิเตรท และอะซิโตน ที่ความเข้มข้นอยู่ในช่วง 1.4-400 $mg.L^{-1}$ ทำให้สรุปได้ว่า อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนสามารถใช้แทนอนุภาคทองระดับนาโนได้ในการเป็นตัวเคลือบทางด้านเคมี ดังแสดงในรูปที่ 2.21

Table 1
Sensitivity, detection limits and linear dynamic range of Au and Pt sensing film.

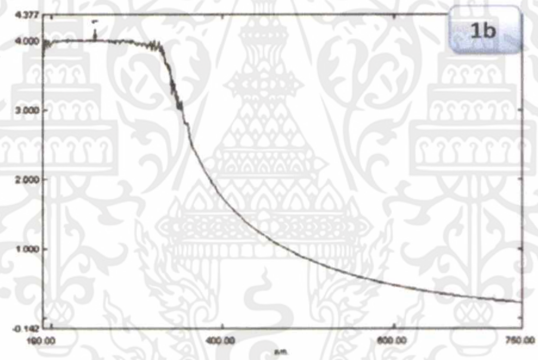
Vapors	Au				Pt			
	Sensitivity ($\Delta R/R_0$)/C_{ppm}	Linear dynamic range	(R^2)	LOD ($mg\,L^{-1}$)	Sensitivity ($\Delta R/R_0$)/C_{ppm}	Linear dynamic range	(R^2)	LOD ($mg\,L^{-1}$)
Methanol	0.014	7–50	0.997	7	0.013	1.4–50	0.995	1.4
Ethanol	0.014	7–50	0.992	7	0.009	3.5–50	0.997	3.5
Ethyl acetate	0.003	–[a]	0.995	119	0.003	–[a]	0.999	79
Acetone	0.001	–[a]	0.995	139	0.001	–[a]	0.990	3.5

[a] Linear dynamic range has not been determined.

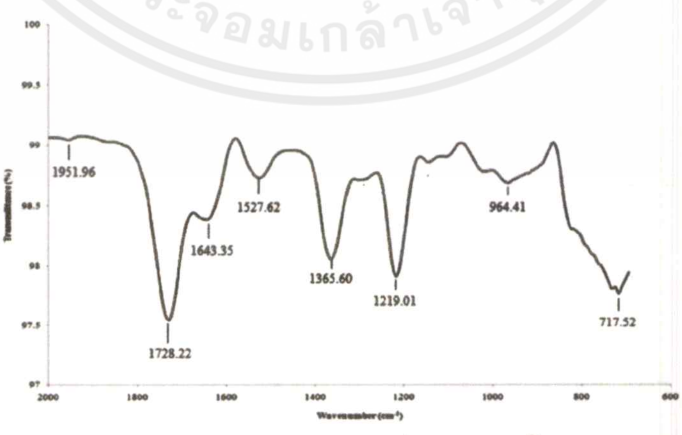
รูปที่ 2.21 ตารางแสดงค่าความไวในการวิเคราะห์และค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด [26]

ข. การสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน

จากงานวิจัยของ A.Thirumurugan และคณะ [27] โดยในปัจจุบันการสังเคราะห์ทางชีวภาพของอนุภาคนาโนที่ใช้สารสกัดจากพืชกำลังได้รับความสำคัญเป็นอย่างมากที่สุด โดยที่กระบวนการการสังเคราะห์ PtNPs จะเป็นวิธีการทั่วไปที่ถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์ คือ น้ำใบสะเดาถูกเติมลงไปในสารละลาย $H_2PtCl_6 * 6H_2O$ มีการให้ความร้อนเนื่องจากอุณหภูมิจะมีผลต่อกระบวนการรีดักชัน สำหรับการควบคุมการทดลองจะใช้สารละลาย Pt ในปริมาณเท่ากันภายใต้สภาวะเงื่อนไขการเกิดปฏิกิริยาเดียวกัน ซึ่งสามารถยืนยันผลได้จากการนำไปวิเคราะห์สเปกตรัมทางยูวี-วิส คือ มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 241 นาโนเมตร ซึ่งถือได้ว่าเป็นสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของการเกิดอนุภาคแพลทินัมนาโน ดังแสดงในรูปที่ 2.22 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ดังแสดงในรูปที่ 2.23 ซึ่งปรากฏสเปกตรัมที่ในช่วงเลขคลื่น 1728 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C=O สเปกตรัมในช่วงเลขคลื่น 1365 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบ Rocking ของพันธะ C-H และสเปกตรัมในช่วงเลขคลื่น 1219 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C-N มีความสอดคล้องกับหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคแพลทินัมในระดับนาโน

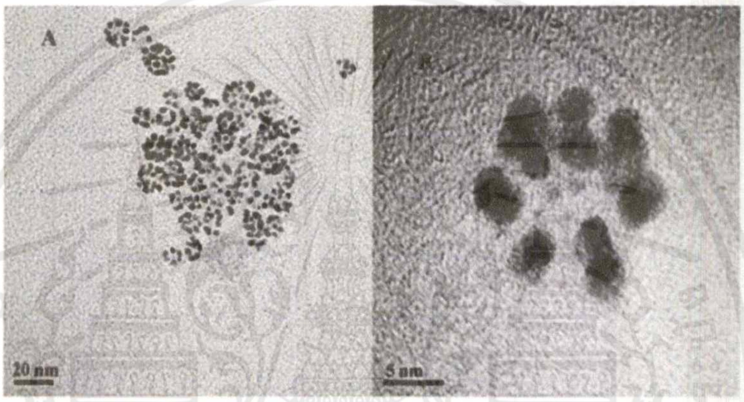


รูปที่ 2.22 สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นสูงสุด 241 nm [27]



รูปที่ 2.23 สเปกตรัม FTIR ของอนุภาคแพลทินัมนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นมาโดยใช้สารสกัดจากใบสะเดา [27]

และในงานวิจัยของ Angshuman Pal และคณะ [28] เป็นวิธีการสังเคราะห์ในไมโครอิมัลชันแบบ monodispersed PtNPs ซึ่งมีการใช้วิธีนี้อย่างแพร่หลาย เพราะสามารทำการสังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิห้อง (25 ± 2 °C) ซึ่งใช้เวลาที่น้อยกว่า 1 นาที ในส่วนของการทดลองจะเป็นการศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมในระดับนาโน ซึ่งสารละลายของแพลทินัมจะถูกรีดิวซ์โดยใช้ $NaBH_4$ และสารละลายโลหะจะถูกผสมภายใต้การปั่นกวนที่อุณหภูมิคงที่ที่ 25 ± 2 องศาเซลเซียส พบเห็นการรวมตัวกันของอนุภาคเกิดขึ้นทันที ซึ่งสามารถยืนยันผลได้ด้วยการนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM แสดงในรูปที่ 2.24 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเห็นถึงอนุภาคแพลทินัมในระดับนาโนขนาด 3 ± 1 nm ที่ได้ทำการสังเคราะห์ขึ้นมา



รูปที่ 2.24 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM (a) อนุภาคนาโนแพลทินัม (b) ส่วนขยายจากภาพ a [28]

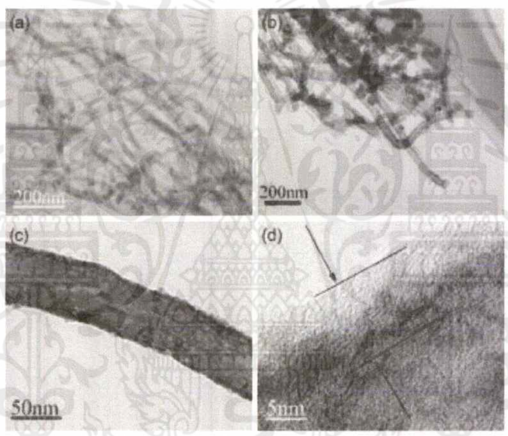
2.4 เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค (Layer-by-Layer)

เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นเป็นเทคนิคที่ถูกใช้ในการสร้างและเป็นการเคลือบ ฟิล์มขนาดเล็กจำนวนหลายชั้น ซึ่งจำเป็นต้องมีการควบคุมสัดส่วนของปริมาณหรือความเข้มข้นสาร ความบาง-หนา และรูปทรงในระดับนาโนสเกลเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยปฏิกิริยาเกิดผ่านแรงไฟฟ้าสถิตระหว่างประจุบวกและประจุลบบนพื้นผิวของอนุภาค ซึ่งเทคนิคนี้มีการสังเคราะห์ที่หลากหลายรูปแบบ เช่น การแช่ การพ่น การใช้แม่เหล็กไฟฟ้า เป็นต้น โดยฟิล์มที่ได้จะมีจำนวนหลายชั้น และข้อดีในการใช้วิธีนี้ คือ ง่ายต่อการสังเคราะห์ มีราคาไม่แพง ประยุกต์ใช้กับวัสดุชนิดอื่นๆได้หลากหลายไม่ว่าจะเป็น โพลีไอออน โลหะ เซรามิก อนุภาคระดับนาโน และโมเลกุลทางชีวภาพ เป็นต้น [29]

2.4.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค

ในงานวิจัยของ Ning Du และคณะ [30] ได้ทำการศึกษาการใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเป็นเซนเซอร์สำหรับการตรวจวัดก๊าซแอมโมเนีย โดยวิธีการสังเคราะห์จะมีการใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ เช่น Sodium(styrenesulfonate) หรือ PSS และ poly(diallyldimethylammonium chloride) หรือ (PDDA) เคลือบลงบนพื้นผิวของคาร์บอนนาโนทิวบ์ ต่อจากนั้นนำสารละลาย In_2Cl_3 และกรดซิติก ลงไปในสารละลายของคาร์บอนนาโนทิวบ์ที่

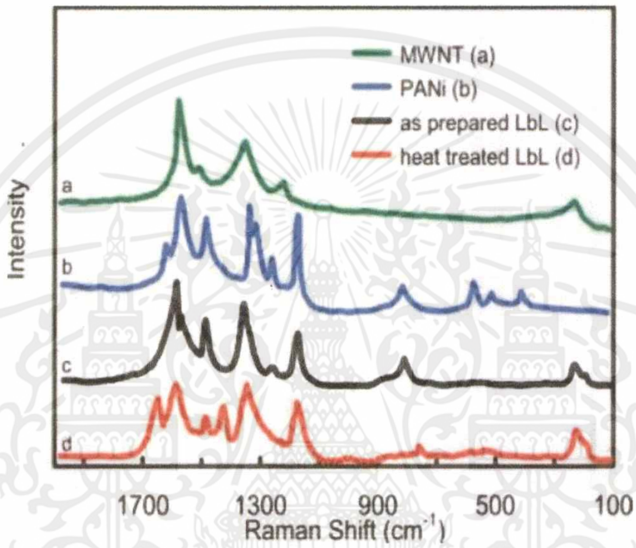
ได้ทำการปรับปรุงพื้นผิวแล้ว โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นปฏิกิริยาระหว่างแรงระหว่างประจุ หลังจากนั้นเติมสารละลาย $NaBH_4$ ลงไป เพื่อเป็นการรีดิวซ์ In^{3+} ไปเป็น In^0 แล้วทำการเคลือบลงบนพื้นผิวของคาร์บอนนาโนทิวบ์ และทำการวิเคราะห์ผลโดยจะศึกษารูปร่างและขนาดของอนุภาคโดยใช้เครื่อง TEM ดังรูปที่ 2.25 พบว่า a. เส้นผ่านศูนย์กลางของคาร์บอนนาโนทิวน์มีค่าเท่ากับ 20-40 nm b. แสดงถึงการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น พบว่า ท่อระดับนาโนมีลักษณะขรุขระ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 30-60 nm c. แสดงถึงคาร์บอนนาโนทิวบ์มีการถูกคลือบ ที่กำลังขยาย 50 nm. และภาพ d. แสดงถึงชั้นที่มีการเคลือบทั้งหมด 2 ชั้น คือชั้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์กับชั้นของ In_2Cl_3 ซึ่งมีความหนาของชั้นอยู่ที่ 10 nm และเมื่อมีการใช้ท่อระดับนาโนที่มี In_2O_3 ชนิดแบบแตกหักทดสอบกับความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย 20 ppm พบว่า ความไวในการตรวจวัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนียมาก และให้ความว่องไวในการตรวจวัดอยู่ที่ 2500 (สัญญาณที่ตรวจวัด) และมีค่าการทำซ้ำถึง 9 ครั้งอีกด้วย



รูปที่ 2.25 ภาพ TEM ของ a. คาร์บอนนาโนทิวบ์ b. c. และ d. คาร์บอนนาโนทิวบ์ที่มีการเคลือบแบบชั้นต่อชั้น [30]

ในงานวิจัยของ Md Nasim Hyder และคณะ [31] ได้ทำการศึกษาการใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาคเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านอิเล็กโทรด โดยจะมีการนำ Multiwall Carbon Nanotube (MWNT) มาเคลือบกับเส้นใยระดับนาโนของโพลีอะนิลีนโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค โดยที่การทดลองจะมีการนำสารสารละลายโพลีอะนิลีนที่เป็นประจุบวกนำมาทำการเคลือบลงบน MWNTs ที่มีประจุลบของหมู่คาร์บอกซิลิกบนพื้นผิว(ตัดดีไหม) จากนั้นทำการให้ความร้อนเพื่อเพิ่มความเสถียรและการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิครามเมน ดังรูปที่ 2.26 a. พบว่า MWNTs มีการปรากฏพีคขึ้น 2 พีค คือ 1580 และ 1355 cm^{-1} แสดงถึงการเกิดความไม่สมบูรณ์ในแผ่นกราฟีนและด้านปลายท่อมีหมู่ฟังก์ชันของ COOH b. พีคของโพลีอะนิลีนมีการปรากฏ C=C stretching ของควีนนอยด ที่เลขคลื่น 1580 cm^{-1} C=N stretching ของควีนนอยด ที่เลขคลื่น 1486 cm^{-1} และ C-H bending ของอะโรมาติกที่เลขคลื่น 1166 cm^{-1} c. พีคของ MWNTs กับโพลีอะนิลีนที่มีการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น มีการปรากฏพีคของ C-H bending ของวงควีนนอยดที่เลขคลื่น 1170 cm^{-1} C-H bending ของวงเบนซีนที่เลขคลื่น

1260 cm^{-1} C-N*+ stretching ของเรดิคัลไอออนบวกที่เลขคลื่น 1338 cm^{-1} และ C=N stretching ของควีนนอยด ที่เลขคลื่น 1484 cm^{-1} เมื่อเปรียบเทียบกับ d. ที่มีการนำ MWNTs กับ โพลีอะนิลีนที่มีการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นมาให้ความร้อน พบว่า มีพีคใหม่ปรากฏขึ้นที่เลขคลื่น 1656 cm^{-1} ซึ่งอาจเป็นพีคของ C=O หรือการสร้างพันธะเอไมด์ระหว่าง MWNTs กับ โพลีอะนิลีน และเมื่อนำมาใช้เป็นอิเล็กโทรด พบว่า มีความเสถียร ให้ค่าพลังงานและความหนาแน่นของพลังงานสูงสุดอยู่ที่ 220 วัตต์ต่อชั่วโมง และ 100 กิโลวัตต์ ตามลำดับ และสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้มากกว่า 1000 ครั้ง โดยมีการเสื่อมสภาพเพียงแค่ 4 % และยิ่งไปกว่านั้นประสิทธิภาพของกระแสไฟฟ้ามีการเพิ่มขึ้นจาก 80 % ไปจนถึง 90 % หลังจากมีการใช้ 1000 ครั้ง

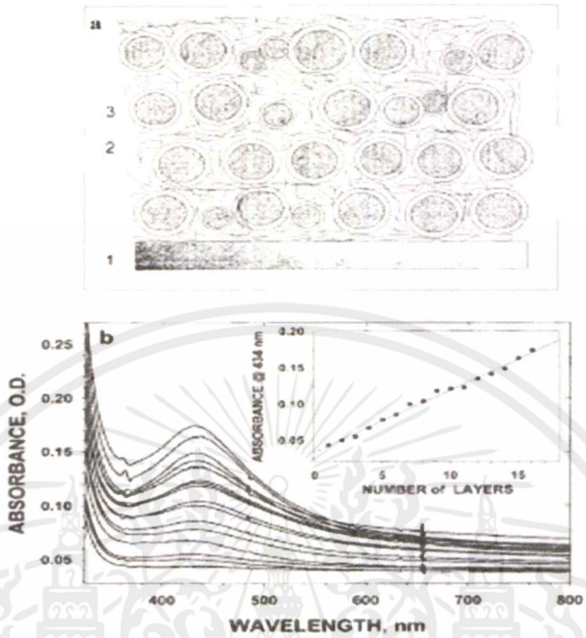


รูปที่ 2.26 สเปกตรัมรามานของ a. MWNT b. โพลีอะนิลีน c. MWNT กับ โพลีอะนิลีนที่มีการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น d. MWNTs กับ โพลีอะนิลีนที่มีการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นมาให้ความร้อน [31]

2.4.2 การสังเคราะห์วัสดุนาโนโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค

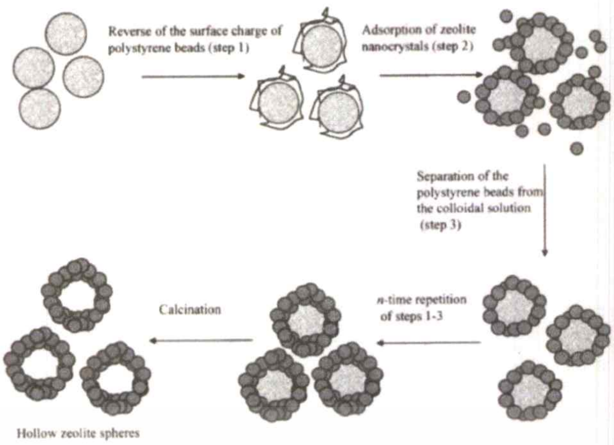
งานวิจัยของ Isabel Pastoriza-Santos และคณะ [32] ได้มีการนำอนุภาคเงินระดับนาโนมาเคลือบกับไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยจะใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น โดยการทดลองในขั้นตอนแรกจะนำสารละลาย TOB มาผสมกับ acetylacetone ความเข้มข้นอย่างละ 5.75 M ในสารละลายเมทานอล ต่อจากนั้นทำการโซนิเคทในอ่างอัลตราซาวด์เป็นเวลา 2-3 นาที จะได้สารละลายใสไม่มีสี ส่วนในขั้นตอนที่สองจะนำสารละลาย $AgNO_3$ ความเข้มข้น 3.8 mM และน้ำกลั่นละลายใน DMF นำมาละลายเข้าด้วยกันและนำไปผสมกับสารละลายที่เตรียมได้ในขั้นตอนแรก ทำการปั่นกวนและให้ความร้อนเป็นเวลา 90 นาที สังเกตเห็นได้ว่าสารละลายจะมีสีดำเขียว หลังจากนั้นจะเป็นการขึ้นรูปแบบฟิล์มซึ่ง $Ag@TiO_2$ มีประจุที่พื้นผิวเป็นประจุบวก และมีการใช้สารละลายโพลีอะคริลิคแอซิดที่มีประจุเป็นลบ เพื่อให้เกิดแรงระหว่างประจุ โดยการขึ้นรูปหลายๆชั้นจะวิเคราะห์ผลดังรูปที่ 2.27 จากภาพ a. เป็นแผนภาพในการเคลือบหลายๆชั้น และภาพ b. เป็นการนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสสิเบิล พบว่า เมื่อมีการเคลือบจำนวนชั้นมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงก็จะเพิ่ม

มากขึ้นด้วย และมีการปรากฏพีคของ Ag ขึ้นที่ความยาวคลื่น 434 nm ซึ่งเป็นผลมาจาก การดูดกลืนของเซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์

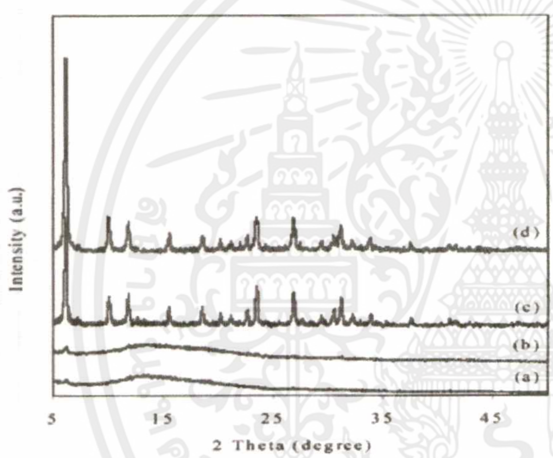


รูปที่ 2.27ภาพตัวอย่าง a. ฟิล์มอนุภาคนาโนที่ใช้เทคนิคการเคลือบแบบชั้นต่อชั้น และ ภาพ b. สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของยูวี-วิสสิเบิลของฟิล์มที่มีการเคลือบหลายชั้น [32]

จากงานวิจัยของ Valentin Valtchev และคณะ [33] ได้มีการเตรียมฟิล์มซีโอไลต์ขึ้นบนเม็ดของโพลีสไตรีนที่มีประจุเป็นลบ โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น ซึ่งตัวที่โดยนำมาเคลือบซีโอไลตจะมีการนำมาเปรียบเทียบกัน คือ คือ LTA FAU BEA และ MFI โดยการทดลองในขั้นตอนแรกเป็นการสังเคราะห์ซีโอไลต์ จากนั้นทำการปั่นเหวี่ยงและนำมาละลายในน้ำ เพื่อเป็นการปรับพีเอชของสารแขวนลอยให้มีค่าเท่ากับ 9.5 โดยใช้สารละลายแอมโมเนีย ความเข้มข้น 0.10 M โดยปริมาณของซีโอไลต์ที่ใช้อยู่ในช่วง 2 และ 3% โดยมวล และในขั้นที่สองเป็นการเตรียมโพลีสไตรีนที่ใช้เป็นตัวซัพพอร์ตของซีโอไลต์ ทำได้โดยนำโพลีสไตรีนแช่ในสารละลายแอมโมเนีย เป็นเวลา 15 นาที เพื่อปรับ pH ของสารละลายให้เป็น 9.0 เพื่อให้เป็นประจุบวก จากนั้นนำไปแช่ในสารแขวนลอยของซีโอไลต์ที่เตรียมไว้ ทำซ้ำในขั้นตอนการปรับ pH จนถึงขั้นตอนการแช่ในสารแขวนลอย เพื่อให้เกิดการเคลือบของจำนวนชั้นเพิ่มขึ้น และนำไปเผาเป็นขั้นตอนสุดท้าย ดังรูปที่ 2.28 และทำการศึกษาการจัดเรียงตัวของผลึกโดยนำไปวิเคราะห์ด้วย XRD ดังรูปที่ 2.29 จากภาพ a. พบว่า มีพีคปรากฏที่ 6.3° แสดงถึงรูพรุนของโพลีสไตรีน b. พบว่า ค่าความเข้มของพีคเพิ่มมากขึ้น หลังจากมีการเคลือบซ้ำจำนวน 10 ครั้ง และพีคของ LTA ที่เคลือบบนโพลีสไตรีน มีค่าสูงกว่า FAU ที่เคลือบบนโพลีสไตรีน



รูปที่ 2.28 ขั้นตอนการเตรียมซีโอไลต์โดดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น [33]



รูปที่ 2.29 ภาพ XRD ของวัสดุผสมของโพลีสไตรีนกับซีโอไลต์ FAU [33]

a. ทำซ้ำ 5 ครั้ง

b. ทำซ้ำ 10 ครั้ง

C. ทำซ้ำ 10 ครั้งและนำไปเผา

d. FAU

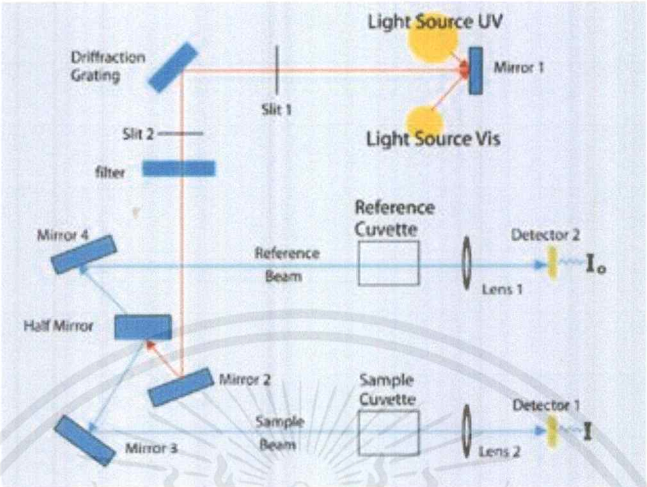
2.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์ (Charecterization)

โครงงานพิเศษนี้ได้ทำการสังเคราะห์วัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม และสามารถพิสูจน์เอกลักษณ์ได้ดังต่อไปนี้

2.5.1. ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี (UV-vis Spectrophotometry)

เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสง ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่สามารถทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืน โดยที่ตัวอย่างจะวางอยู่ในเครื่องมือ ซึ่งความยาวคลื่นแสง จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง โดยส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบ เชิงซ้อน และสารอนินทรีย์โดยส่วนใหญ่จะสามารถดูดกลืนแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงยูวี และช่วงความยาวคลื่นที่มองเห็นได้ (หรือแสงขาว) เมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงในช่วงรังสียูวีหรือแสงขาวที่มีพลังงาน เหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้ว เปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับ พลังงานสูงกว่า และเมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจาก แหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นในค่าต่างๆตาม

กฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสงหรือค่า absorbance ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้นจึงสามารถระบุชนิดและปริมาณของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างได้ [34]



รูปที่ 2.30 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-vis spectrophotometer [35]

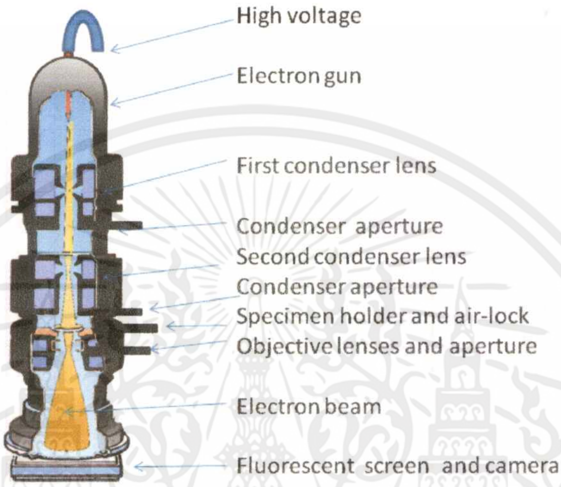
2.5.2 ศักย์ซีต้า (Zeta potential)

ศักย์ซีต้า โดยที่ค่าศักย์ซีต้าจะเป็นค่าความต่างศักย์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าบริเวณพื้นผิวอนุภาคกับศักย์ไฟฟ้าในชั้นสารละลาย ซึ่งค่าศักย์ซีต้าที่ได้สามารถที่จะบอกถึงค่าความคงตัวของการกระจายตัวของอนุภาค โดยที่อนุภาคที่มีค่าศักย์ซีต้าเป็นบวกหรือลบที่มากจะเกิดการหักล้างต่อกันจะเกิดการเสถียรภาพการกระจายตัว แต่ถ้าอนุภาคมีค่าศักย์ซีต้าเป็นบวกหรือลบน้อยจะทำให้ไม่มีแรงป้องกันอนุภาคอื่นที่เข้ามา จึงส่งผลทำให้ไม่เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวหรือเกิดการรวมกัน โดยที่หลักการการทำงานของเครื่องจะเป็นการวัดอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคเมื่อทำให้อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้า โดยใช้ Laser Doppler Velocimetry (LDV) โดยที่ค่าศักย์ซีต้าจะขึ้นกับค่าพีเอช ซึ่งอนุภาคแขวนลอยจะเสถียรเมื่อศักย์ซีต้ามีค่ามากกว่า +30 มิลลิโวลต์ หรือน้อยกว่า -30 มิลลิโวลต์ ในสภาวะที่ค่าพีเอชต่ำ จะให้ค่าศักย์ซีต้าสูงกว่าสภาวะที่ค่าพีเอชสูง ถ้าค่าศักย์ซีต้ามีค่าอยู่ในช่วง -30 ถึง 30 มิลลิโวลต์ หรือประมาณ 0 สารแขวนลอยจะไม่เสถียร จะมีการเกาะตัวกันเป็นก้อนและตกตะกอน เรียกจุดที่ศักย์ซีต้าเท่ากับศูนย์ว่า “Isoelectric point” [36]

2.5.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscopy; TEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน เป็นเครื่องมือที่อาศัยลำแสงอิเล็กตรอนส่องผ่านตัวอย่าง ที่ได้ผ่านการตรียมตัวอย่างและตัดให้มีลักษณะบางเป็นพิเศษ ซึ่งจะมีกำลังขยายสูงมากถึง 620,000 เท่า โดยหลักการทำงานจะอาศัยลำแสงอิเล็กตรอนวิ่งไปชนกับวัตถุที่ต้องการจะส่อง โดยอาศัยการป้อนพลังงานไฟฟ้าไปยังขดลวดที่เป็นขั้วแคโทด เมื่อพลังงานมากพออิเล็กตรอนจะถูกปลดปล่อยออกมา แต่เนื่องจากอิเล็กตรอนเป็นขั้วประจุไฟฟ้า ก็จะวิ่งเข้าไปหาอนุภาคที่มีขั้วประจุ

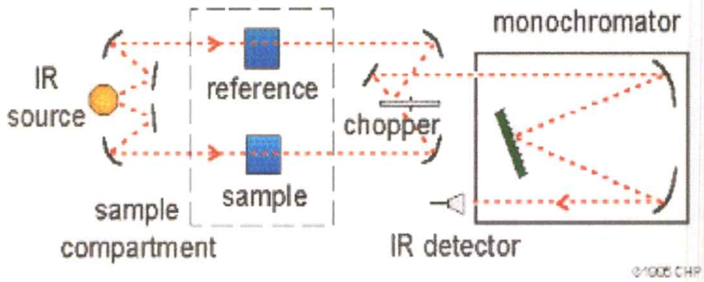
ต่างกันเช่นในอากาศ ทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถวิ่งเข้าไปชนเป้าชิ้นตัวอย่างหรือตัวอย่างได้ ดังนั้น ภายในกล้องจุลทรรศน์จะต้องทำให้เป็นระบบสุญญากาศ และจะมี Condenser เป็นตัวเพิ่มความเข้มแสง ซึ่งจะใช้เป็นขดลวดพันรอบแท่งเหล็ก เพื่อเหนี่ยวนำให้ทิศทางของลำอิเล็กตรอนอยู่ในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจะให้เกิดความเข้มของอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น โดยจะเกิดเป็นภาพ 2 มิติ โดยที่วัตถุที่มีค่าเลขอะตอม (Atomic number) มาก ภาพที่ได้จะเห็นเป็นสีดำ ส่วนวัตถุที่มีค่าเลขอะตอมน้อย ภาพที่เห็นจะเป็นสีขาว [37]



รูปที่ 2.31 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน [38]

2.5.4 ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FTIR)

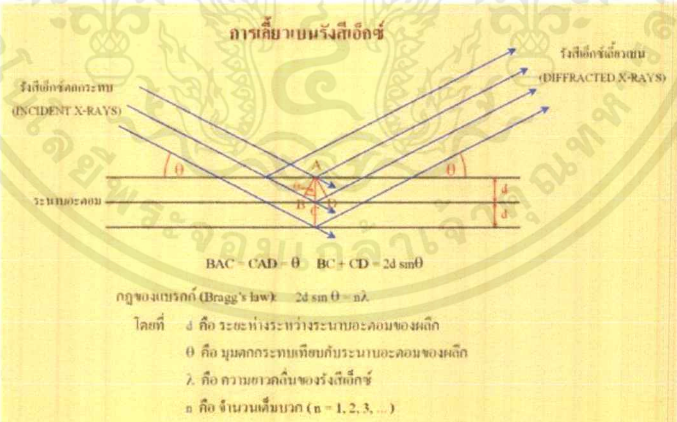
ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุที่เป็นสารอินทรีย์หรืออนินทรีย์เพื่อตรวจวิเคราะห์หาโครงสร้างและองค์ประกอบของโมเลกุลรวมกับเทคนิคอื่นโดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสีช่วงกลางอินฟราเรด (Middle infrared region) ประมาณ 400 - 4000 cm^{-1} เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่น (Stretching) หรือการหมุน (Bending) ของพันธะโควาเลนซ์ในโมเลกุล จะทำให้โมเลกุลดังกล่าวเกิดการดูดกลืนแสง และมีการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ของโมเลกุล จากนั้นเครื่องมือจะวัดค่าความเข้มแสงต่อความถี่หรือความยาวคลื่น (Wave number) ได้ผลเป็นสเปกตรัม ซึ่งในแต่ละพันธะของหมู่ฟังก์ชันจะแสดงค่าความยาวคลื่นเฉพาะต่างกัน [39]



รูปที่ 2.32 ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR [40]

2.5.5 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction; XRD)

การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอ็กซ์(X-ray) มาใช้วิเคราะห์และระบุชนิดสารประกอบโครงสร้างของผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative) เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะอาศัยหลักการของการยิงรังสีเอ็กซ์ไปตกกระทบที่ตัวชิ้นงาน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนและเกิดการสะท้อนออกมาในมุมต่างกันออกไปโดยมีหัววัดสัญญาณ (Detector) เป็นตัวรับข้อมูลองค์ประกอบและโครงสร้างของสารจะมีองศาในการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ในมุมที่แตกต่างกันออกไปขึ้นกับองค์ประกอบรูปร่าง และลักษณะผลึกซึ่งผลที่ได้ออกมาจะสามารถบ่งชี้ชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆได้ นอกจากนั้นแล้วยังสามารถศึกษาและวิเคราะห์ปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึกและความสมบูรณ์ของผลึกของสารประกอบในสารตัวอย่าง [41]



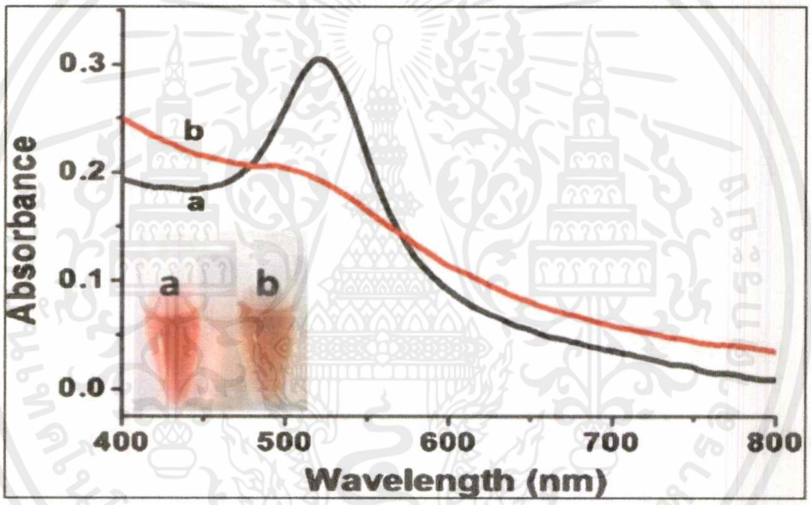
รูปที่ 2.33 แสดงหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ [42]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Na Pan และคณะ [43] ได้ทำการศึกษาตัวตรวจวัดเชิงสีของซีสเทอีนโดยมีการใช้วัสดุนาโนโลหะผสมของทองแพลทินัม โดยการทดลองจะเป็นการเตรียม Au@Pt core-shell nanohybrids (Au@PtNHs) โดยที่ Au@PtNHs จะเตรียมได้โดยนำสารละลายของทองในระดับนาโน

ความเข้มข้น 3.2 nM ผสมกับสารละลายของ K_2PtCl_6 1.0 nM และให้ความร้อนที่ 80 °C หลังจากนั้นเติมกรดแอสคอร์บิกลงไป 5 mM ซึ่งสุดท้ายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีแดงเป็นสีน้ำตาลแสดงให้เห็นถึงการรวมตัวกันของ Au@PtNHs จากนั้นนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสสิเบิล พบว่า a. สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 nm และ b. สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนเกิดปฏิกิริยากับสารละลายของแพลทินัมจะให้พีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 505 nm แสดงให้เห็นถึงการรวมกันของอนุภาคนาโนของทองและแพลทินัม จึงส่งผลให้สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีแดงเป็นสีน้ำตาล ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.34

ในงานวิจัยพบว่าความเข้มข้นของสารละลาย Au@PtNHs จะอยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.01-10 pM ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นค่าการดูดกลืนจะมีค่าลดลง และมีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ที่ 10 nM - 20 μM และมีค่าความเป็นเส้นตรงได้เท่ากับ R^2 = 0.99 และขีดจำกัดในการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 5.0 nM

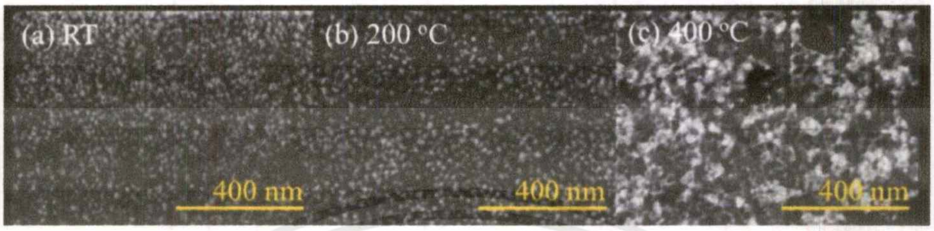


รูปที่ 2.34 สเปกตรัมการดูดกลืนของ a. สารละลายอนุภาคทองระดับนาโน และ b. สารละลายอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม [43]

จากงานวิจัยของ Cian McKeown และคณะ [44] ได้นำวัสดุนาโนโลหะผสมของทองแพลทินัมนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดฟอร์มิก โดยที่ตัวเร่งปฏิกิริยา Au-Pt จะแสดงให้เห็นว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าที่ดีในปฏิกิริยารีดักชันของกรดฟอร์มิก ในการทดลองจะเป็นการสังเคราะห์โดยใช้เทคนิคการเคลือบ โดยที่ Ti จะทำหน้าที่เป็นกาวโดยจะเคลือบลงไปบนซิลิกอนซับสเตรท หลังจากนั้นนำแผ่นทอง 20 nm และแผ่นแพลทินัมขนาด 10 nm นำมาเคลือบตามลำดับ และหลอมด้วย Forming gas เป็นเวลา 1 ชม. และให้ความร้อนโดยไม่ให้มีแก๊สออกซิเจนในเตาหลอม และนำไปวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง SEM พบว่า a. จะเห็นพื้นผิวของอิเล็กโทรดที่มีผลึกอนุภาคระดับนาโนเรียงตัวอยู่ ที่สภาวะอุณหภูมิห้อง b. หลังจากให้ความร้อนที่ 200 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะพบพื้นผิวของแพลทินัมมีขนาดใหญ่ขึ้น สังเกตได้จากจุดสีขาวมีขนาดใหญ่ขึ้น

และ c. หลังจากให้ความร้อน 400 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าชั้นของโลหะแยกกันอย่างชัดเจน สังเกตได้จากจุดที่มีความสว่างและจุดที่ดำบนภาพของ SEM ดังแสดงในรูปที่ 2.35

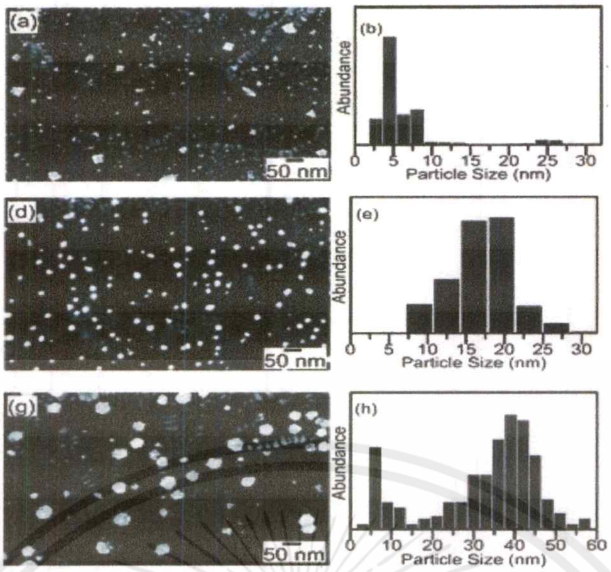
ในท้ายที่สามารถสรุปได้ว่าตัวเร่งปฏิกิริยาที่ทำมาจากอนุภาคโลหะผสมของทองและแพลทินัมมีความเสถียรและมีประสิทธิภาพในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดฟอร์มิก



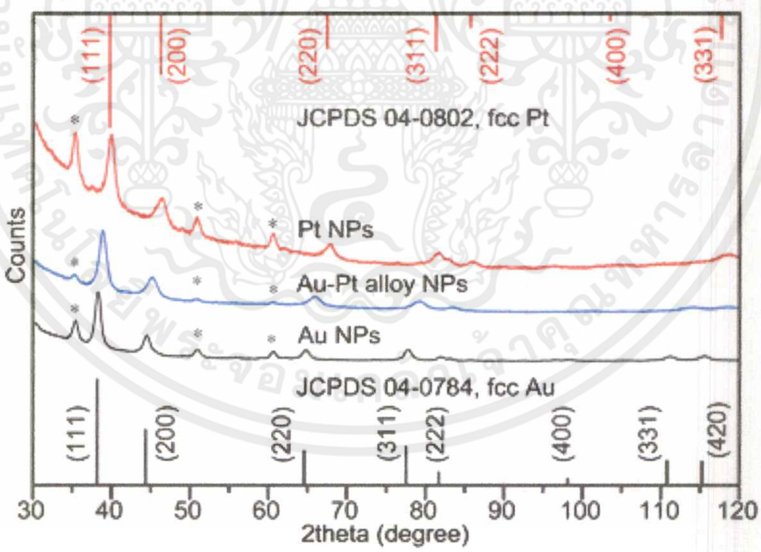
รูปที่ 2.35 ภาพ TEM ของพื้นผิวตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดฟิล์มแผ่นบาง a. ที่อุณหภูมิห้อง b. ที่อุณหภูมิ 200 °C และ c. ที่อุณหภูมิ 400 °C [44]

ในงานวิจัยของ Liyan Zhao และคณะ [45] ได้มีการนำวัสดุนาโนโลหะผสมของทองแพลทินัม ที่ใช้วิธีการตกตะกอนทางไฟฟ้าเคมีโดยสามารถนำมาไปประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของปฏิกิริยาอิเล็กโทรออกซิเดชันของเมทานอล โดยที่การทดลองจะเป็นการสังเคราะห์วัสดุนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม ซึ่งจะมีการนำสารละลาย $PtCl_4$ ที่ความเข้มข้น 1 mM สารละลาย $AuCl_3$ ที่ความเข้มข้น 1 mM และสารละลาย $NaClO_4$ 0.1 M ผสมเข้าด้วยกัน เมื่อตั้งทิ้งไว้จะเกิดการตกตะกอนร่วมบนกระจก ITO ซึ่งจะอาศัยวิธีการแอมเปอร์โรเมทรีที่มีศักย์ไฟฟ้า –0.3 V และทำให้แห้งโดยใช้แก๊สไนโตรเจน หลังจากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับอิเล็กโทรดที่ทำมาจาก Ag/AgCl และอิเล็กโทรดที่ทำมาจากแพลทินัม หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ผลด้วยเครื่อง TEM พบว่า 1a. และ 1b. อนุภาคแพลทินัมที่เคลือบลงไปบนกระจาก ITO มีการกระจายตัวของอนุภาคได้ดีและมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 4 nm ส่วนภาพ 1d. และ 1e. พบว่า มีอนุภาคเฉลี่ยของอนุภาคทองระดับนาโนที่เคลือบบนอิเล็กโทรดอยู่ที่ 18 nm และภาพ 1g. และ 1h. พบว่า มีอนุภาคเฉลี่ยของอนุภาคโลหะผสมอยู่ที่ 40 nm และมีการกระจายตัวของอนุภาคที่ดี ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.36 หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วย GIXRD พบว่า อนุภาคโลหะผสมของทองและแพลทินัมมีพีคปรากฏที่มุม 38.92° เป็นระนาบของ [111] แสดงให้เห็นถึงการเป็นวัสดุนาโนโลหะผสม ดังแสดงได้ในรูปที่ 2.37 และอนุภาคของทองกับแพลทินัมระดับนาโนจะมีรูปทรงผลึกแบบ FCC

ผลการทดลองพบว่าเมื่อมีการนำมาประยุกต์ใช้กับปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล จะมีช่วงความเป็นเส้นตรงที่ดีในสารละลายแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้น 1-11 mM ขีดจำกัดในการตรวจวัดต่ำถึง 0.1 Mm และมีความไวในการวิเคราะห์เท่ากับ 0.043 $mA.cm^{-2}$ mM^{-1}



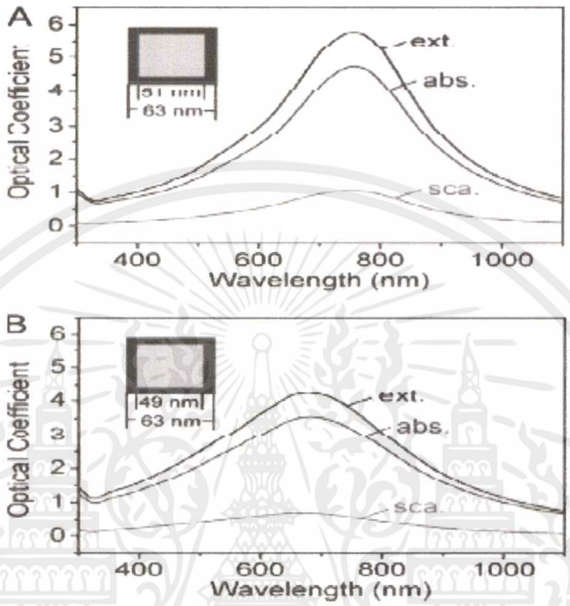
รูปที่ 2.36 ภาพ TEM ของ a. อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน d. อนุภาคทองระดับนาโน และ g. อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม กับกราฟแสดงอนุภาคเฉลี่ยของ b. อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน e. อนุภาคทองระดับนาโน และ h. อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม [45]



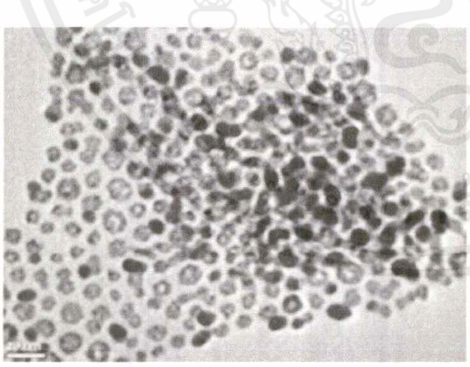
รูปที่ 2.37 ภาพของ GIXRD ของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน อนุภาคทองระดับนาโน และอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม [45]

จากการศึกษาของ Afzal Shah และคณะ [46] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมจากวิธีการรีดักชันทางเคมี ซึ่งเตรียมได้จากสารละลาย $AuCl_4$ ความเข้มข้น 0.2 Mm และสาระลาย $PtCl_6^{2-}$ โดยมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.2-0.8 Mm หลังจากนั้นนำกรดแทนนิค ความเข้มข้น 2% และสารละลายกรดซิติกลงไป 1% นำไปปั่นกวนที่อุณหภูมิ 100 °C เป็น

เวลา 15 นาที ตามด้วยปั่นกวนโดยไม่มีการให้ความร้อนเป็นเวลา 10 นาที เมื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสสิเบิล พบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายแพลทินัมมาก อาจทำให้เกิดการตกตะกอนได้ดังรูปที่ 2.38 และเมื่อนำมาทดสอบด้วยเครื่อง HRTEM พบว่า อนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 1 และ 6 nm ดังรูปที่ 2.39 และพบว่ามีระยะห่างระหว่างผลึกเท่ากัน คือ 2.30±0.01 A โดยมีพีคเกิดขึ้นที่ 378 และ 460 nm แสดงถึงการรีดักชันของ Pt(IV)



รูปที่ 2.38 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของยูวิ-วิสสิเบิลของอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน [46]



รูปที่ 2.39 ภาพ TEM ของอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม [46]

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

โครงงานพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาดังต่อไปนี้โดยที่จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้วิธีของเทอร์เควิช ซึ่งจะมีการใช้โซเดียมซิเตรทไตรเบสิคไดไฮเดรตเป็นตัวรักษาเสถียรภาพของทอง ต่อมาได้ทำการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโพลิไดแอลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ สำหรับการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโน ส่วนที่สองจะเป็นการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนโดยใช้วิธีการรีดักชันทางเคมีและใช้สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดร์ดกับโพลีอะคริลิคแอซิค เป็นตัวรีดิวซ์และตัวรักษาเสถียรภาพตามลำดับ โดยทำการศึกษาจากสภาวะที่เหมาะสมของความเข้มข้นสารละลายโพลีอะคริลิคแอซิดที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน และส่วนที่สามจะเป็นการสังเคราะห์อนุภาคนาโลหะผสมระดับนาโนของทองกับแพลทินัม โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค ซึ่งมีการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมจากปริมาตรของสารละลายแพลทินัมระดับนาโน ซึ่งมีเนื้อหาดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)

2.ขวดปรับปริมาตร (Volumetriflask)

3.บีกเกอร์ (Beaker)

4.กระบอกตวง (Cylinder)

5.ปิเปต (Pipette)

6.เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

7.เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Magnetic Stirrer)

8.เตาให้ความร้อน (Hot plate)

9.อ่างน้ำ (Water bath)

10.ช้อนตักสาร (Spatula)

11.เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical balance)

12.ไมโครปิเปตขนาด 1000 µl รุ่น SL-1000XLS ผลิตโดยบริษัท Rainin,USA(Micripipett

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ	ประเภทรุ่น	บริษัทที่ผลิต	ประเทศที่ผลิต
1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer)	UV-1800	Shimadzu	ญี่ปุ่น
2. เครื่องวัดศักย์ซีต้า (Zeta potential analysis)	Zetasizer NanoZS	Malvern	อังกฤษ
3. เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟาเรด (FTIR)	IRTracer-100	Shimadzu	ญี่ปุ่น
4. กล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน(TEM)	TECNAI G2 20	FEI	สหรัฐอเมริกา
5. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ (XRD)	XRD-6100	Shimadzu	ญี่ปุ่น

3.3 สารเคมี

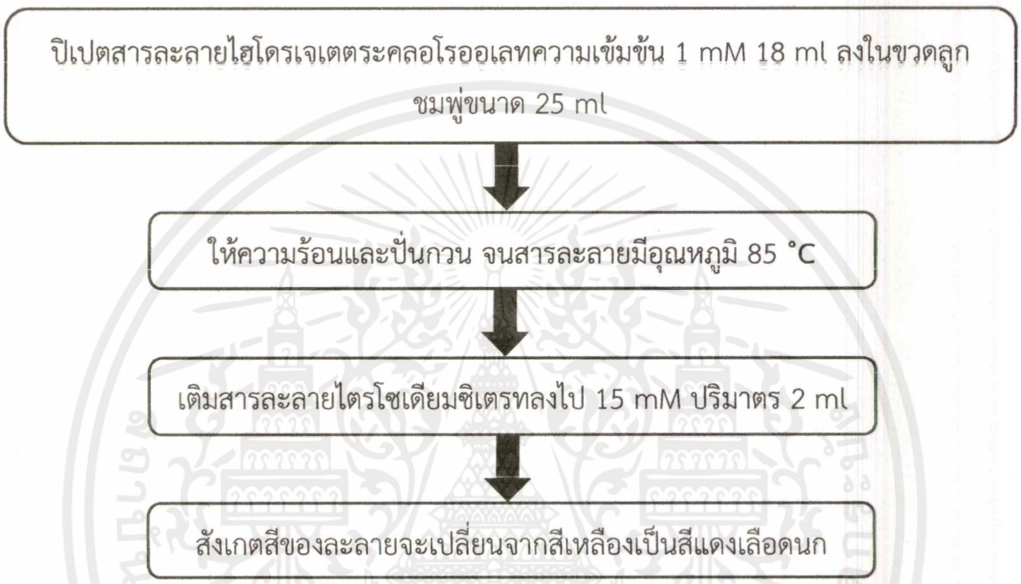
ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรโครงสร้าง	บริษัทที่ผลิต
1.เตตระคลอโรออเรทไตรไฮเดรต,Gold (III) chloride trihydrate	$HAuCl_4.3H_2O$	Sigma-Aldrich
2.โซเดียมซิเตรทไตรเบสิคไดไฮเดรต,Citrate tribasic dihydrate	$C_6H_5Na_3O_7.2H_2O$	Sigma-Aldrich
3.โพลิไดแอลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์,Poly(diallyldimethylammoniumchloride)	$(C_8H_{16}Cl_n)_n$	Sigma-Aldrich
4.คลอโรแพลทินิคแอซิดไฮเดรต,Chloroplatinic acid hydrat	$H_2Cl_4Pt.XH_2O$	Sigma-Aldrich
5.โพลีอะคริลิคแอซิด, Poly(acrylic acid)	$(C_3H_4O_2)X$	Sigma-Aldrich
6.โซเดียมโบโรไฮไดร์ด, Sodium borohydride	$NaBH_4$	Sigma-Aldrich

3.4 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมทองและเงิน

3.4.1. การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนด้วยวิธีของเทอร์ควิซ

ปิเปตสารละลายไฮโดรเจเตตระคลอโรออเลทความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 18 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 25 ml นำไปให้ความร้อนพร้อมทั้งปั่นกวนตลอดเวลาจนถึงอุณหภูมิ 80°C จากนั้นเติมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 15 mM ปริมาตร 2 ml ลงไป สังเกตสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีแดงองุ่นซึ่งสามารถแสดงรูปการณ์ทดลองดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการสังเคราะห์ AuNPs 1 mM ปริมาตร 20 ml โดยใช้ไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 15 mM

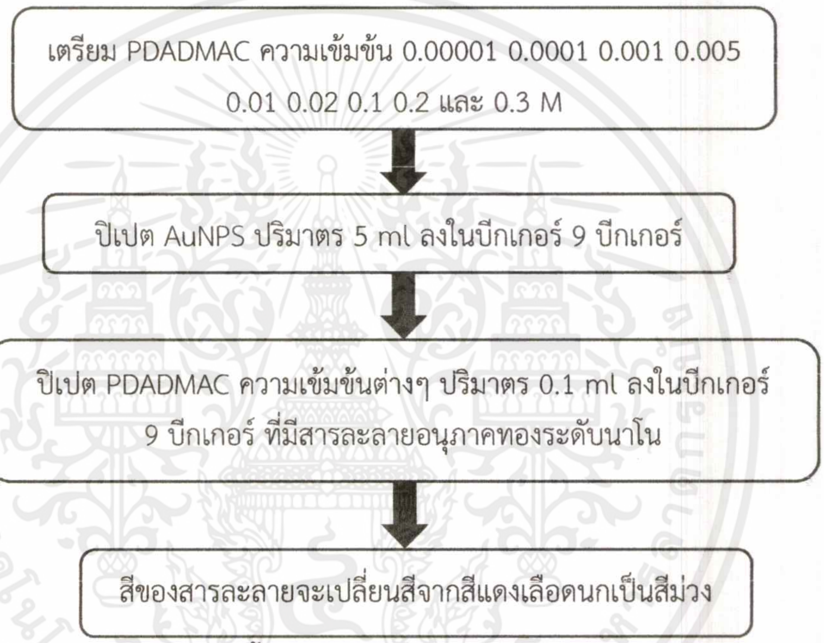
โดยจะทำการศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรต่างๆ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน

ลำดับ	ตัวแปร	การวิเคราะห์
1	ศึกษาผลของการดูดกลืนแสงของ AuNPs	UV-vis spectrophotometer
2	ศึกษาสภาพความเป็นประจุของ AuNPs	Zeta potential
3	ศึกษารูปร่างและขนาดของ AuNPs	TEM
4	ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของ AuNPs	FTIR
5	ศึกษาการจัดเรียงตัวของผลึกของ AuNPs	XRD
6	ศึกษาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของ AuNPs	EDX

ก. การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PDADMAC สำหรับการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคทองระดับนาโน

เตรียมสารละลาย PDADMAC ความเข้มข้น 0.00001 0.0001 0.001 0.005 0.01 0.02 0.1 0.2 และ 0.3 M แล้วปิเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์แล้วจากข้อ 3.1.4 มาปริมาตร 5 ml ลงในบีกเกอร์จำนวน 9 บีกเกอร์ จากนั้นปิเปตสารละลาย PDADMAC ที่ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆตามที่กล่าวมาข้างต้น ลงไปปริมาตร 0.1 ml ในบีกเกอร์ที่มีสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนอยู่แล้ว โดยทำบีกเกอร์ละความเข้มข้น หลังจากนั้นจะสังเกตสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีแดงองุ่นเป็นสีม่วง แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 3 วัน ซึ่งสามารถแสดงรูปการทดลองดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังวิธีการการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคทองระดับนาโนด้วยสารละลาย PDADMAC

โดยจะทำการศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 ตัวแปรต่างๆ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของอนุภาคทองระดับนาโนที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลาย PDADMAC

ลำดับ	ตัวแปร	การวิเคราะห์
1	ศึกษาผลของการดูดกลืนแสงของ AuNPs-PDADMAC	UV-vis spectrophotometer
2	ศึกษาสภาพความเป็นประจุของ AuNPs-PDADMAC	Zeta potential
3	ศึกษารูปร่างและขนาดของ AuNPs-PDADMAC	TEM
4	ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของ AuNPs-PDADMAC	FTIR
5	ศึกษาการจัดเรียงตัวของผลึกของ AuNPs-PDADMAC	XRD
6	ศึกษาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของ AuNPs-PDADMAC	EDX

3.4.2 การสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนโดยการทำปฏิกิริยารีดักชัน

เตรียมสารละลายแพลทินัมความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 25 ml สารละลาย PAA ความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 50 ml สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดร์ดความเข้มข้น 50 mM ปริมาตร 25 ml หลังจากนั้นเตรียมสารละลาย Pt:PAA:$NaBH_4$ ที่สภาวะ 1:0.1:5 mM โดยใส่น้ำปราศจากไอออนลงไปในบีกเกอร์ขนาด 25 ml ตามด้วยปิเปตสารละลายแพลทินัม และปิเปตสารละลาย PAA ตามอัตราส่วนที่กำหนดดังตารางที่ 3.5 ลงไปตามลำดับ

ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนความเข้มข้นของ Pt:PAA:$NaBH_4$ ที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน

สารเคมี	อัตราส่วนความเข้มข้น Pt : PAA : $NaBH_4$ (mM)						
	1:0.1:5	1:0.5:5	1:1:5	1:2:5	1:3:5	1:4:5	1:05:05
Pt 10 mM ปริมาตรที่ใช้ (mL)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
PAA 10 Mm ปริมาตรที่ใช้ (mL)	0.25	1.25	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50
$NaBH_4$ ปริมาตรที่ใช้ (mL)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
น้ำกลั่น ปริมาตรที่ใช้ (mL)	19.75	18.75	17.75	15.00	12.50	10.00	7.50
ปริมาตรรวม (mL)	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

หลังจากนั้นใส่แท่งแม่เหล็กลงไปและปั่นกวนเป็นเวลา 3 นาที จากนั้นเติมโซเดียมโบโรไฮไดร์ตามอัตราส่วนที่กำหนดดังตารางที่ 3.5 และปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งสามารถแสดงรูปการทดลองดังรูปที่ 3.3

เติมน้ำปราศจากไอออนลงไปตามอัตราส่วนที่กำหนดลงไปในบีกเกอร์ขนาด 25 ml

↓

ปิเปตสารละลายแพลทินัมลงไปตามสัดส่วนที่กำหนดลงไปในบีกเกอร์

↓

ปิเปตสาร PAA ลงไปตามสัดส่วนที่กำหนดลงไปในบีกเกอร์ และปั่นกวนเป็นเวลา 3 นาที

↓

ปิเปตสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดร์ดลงไปตามสัดส่วนที่กำหนดลงไปในบีกเกอร์

ปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลเข้ม

รูปที่ 3.3 แผนผังวิธีการการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนจากปฏิกิริยารีดักชัน

โดยจะทำการศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.6 ตัวแปรต่างๆ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน

ลำดับ	ตัวแปร	การวิเคราะห์
1	ศึกษาผลของการดูดกลืนแสงของ PtNPs	UV-vis spectrophotometer
2	ศึกษาสภาพความเป็นประจุของ PtNPs	Zeta potential
3	ศึกษารูปร่างและขนาดของ PtNPs	TEM
4	ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของ PtNPs	FTIR
5	ศึกษาการจัดเรียงตัวของผลึกของ PtNPs	XRD
6	ศึกษาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของ PtNPs	EDX

3.4.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมของอนุภาคแพลทินัมระดับอนุภาคนาโน สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองและแพลทินัมด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค

ปิเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ถูกปรับปรุงพื้นที่ผิวด้วย PDADMAC ที่ความเข้มข้นเท่ากับคือ 0.1 M ปริมาตร 2 ml ลงในบีกเกอร์ จำนวน 6 บีกเกอร์ จากนั้นปิเปตสารละลายอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน ที่สภาวะ 1:0.1:5 mM ที่เตรียมได้จากตอน 3.4.2 มาปริมาตร 3, 2.5, 2, 1.5, 1 และ 0.5 ml ลงไปในบีกเกอร์ตามลำดับ สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีม่วงกลายเป็นสีน้ำตาลเข้มตามปริมาตรของสารละลายอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่ใส่ลงไป และตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบการทดลองดังรูปที่ 3.4

ปิเปตสารละลาย AuNPs-PDADMAC ที่ความเข้มข้น PDADMAC คือ 0.1 M ปริมาตร 2 ml ลงไปในบีกเกอร์จำนวน 6 บีกเกอร์

↓

ปิเปตสารละลายอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน ที่สภาวะ 1:0.1:5 mM ปริมาตร 3 , 2.5 , 2 1.5 , 1 และ 0.5 ml ลงไปในบีกเกอร์ตามลำดับ

สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีม่วงกลายเป็นสีน้ำตาลเข้ม และตั้งทิ้งไว้ 1 วัน

รูปที่ 3.4 แผนผังวิธีการหาสภาวะที่เหมาะสมของสารละลายอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน ที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนของทองผสมกับอนุภาคนาโนของแพลทินัม (Au-Pt BNPs) ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค

โดยจะทำการศึกษาตัวแปรดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรต่างๆ และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลของอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินั

ลำดับ	ตัวแปร	การวิเคราะห์
1	ศึกษาผลของการดูดกลืนแสงของ Au-Pt BNPs	UV-vis spectrophotometer
2	ศึกษาสภาพความเป็นประจุของ Au-Pt BNPs	Zeta potential
3	ศึกษารูปร่างและขนาดของ Au-Pt BNPs	TEM
4	ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของ Au-Pt BNPs	FTIR
5	ศึกษาการจัดเรียงตัวของผลึกของ Au-Pt BNPs	XRD
6	ศึกษาธาตุที่เป็นองค์ประกอบของ Au-Pt BNPs	EDX

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

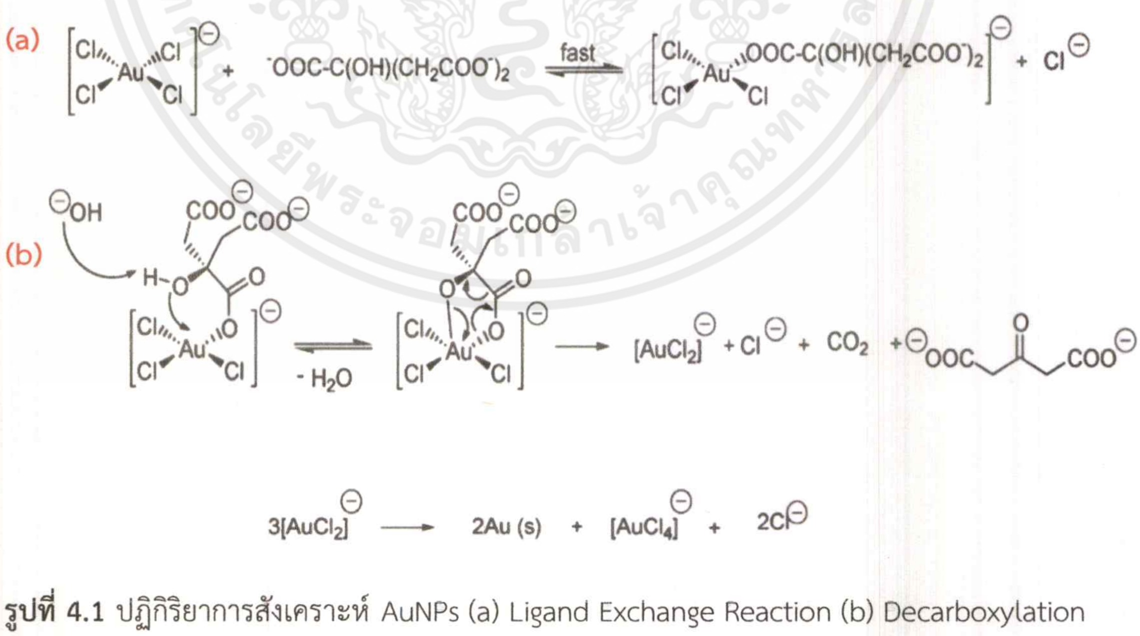
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยวิธีของเทอร์เควิช ต่อมาจะเป็นผลของการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนโดยใช้ปฏิกิริยารีดักชันและสุดท้ายเป็นผลของการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัมโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค

4.1 ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมทองและแพลทินัม

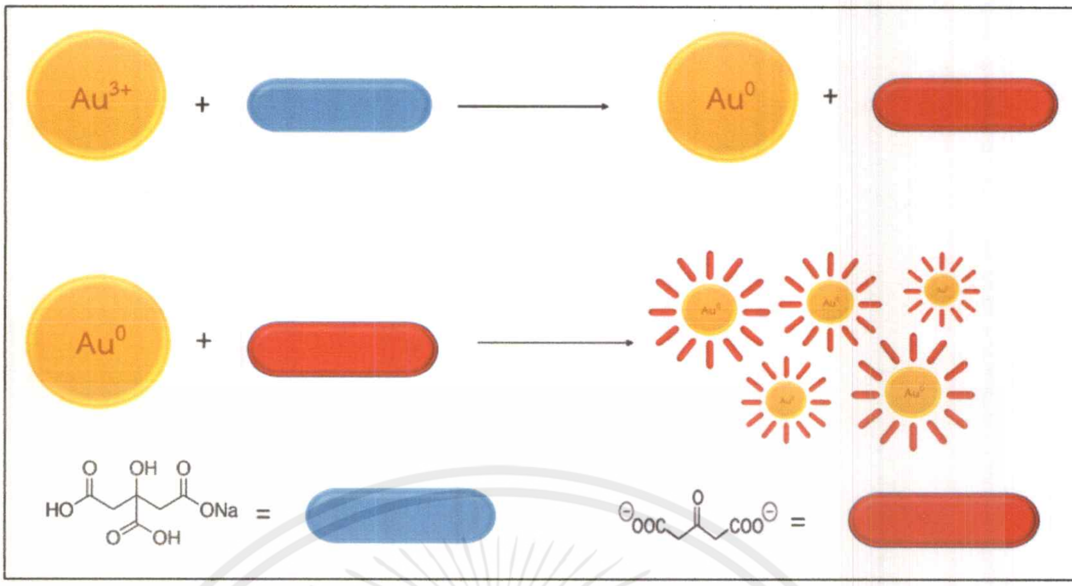
4.1.1 ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยวิธีของเทอร์เควิช

ก. ผลการศึกษาการหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน

งานวิจัยนี้ได้มีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน ด้วยวิธีเทอร์เควิช ซึ่งวิธีนี้จะอาศัยปฏิกิริยารีดักชันของไตรโซเดียมซิเตรท โดยที่ซิเตรทนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และเป็นสารรักษาเสถียรภาพภายใต้อุณหภูมิ 85 °C โดยที่สีของสารละลายจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเหลืองไปเป็นสีแดงองุ่น หลังจากนั้นจะได้เป็นสารละลาย AuNPs และมีการนำไปปรับปรุงพื้นผิวด้วย PDADMAC เพื่อนำไปใช้สำหรับการสังเคราะห์ Au-Pt BNPs ซึ่งจะมีกลไกของการสังเคราะห์ AuNPs แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ AuNPs (a) Ligand Exchange Reaction (b) Decarboxylation and Reduction of Au (III) [47]



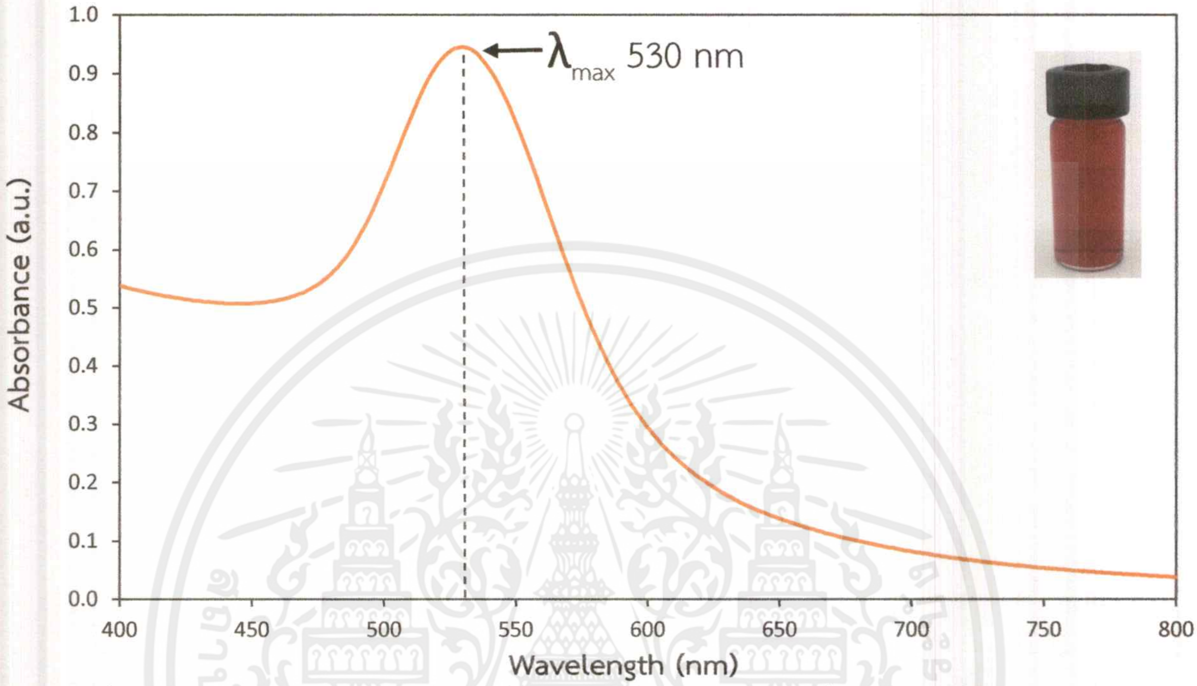
$$Au^{3+} + (Na_3C_6H_5O_7)n \longrightarrow Au^{3+}\text{-------------}C_5H_4O_5^-$$

$$Au^{3+}\text{-------------}C_5H_4O_5^- \longrightarrow Au^0\text{-------------}C_5H_4O_5^-$$

รูปที่ 4.2 การรักษาเสถียรภาพของไตรโซเดียมซิเตรท

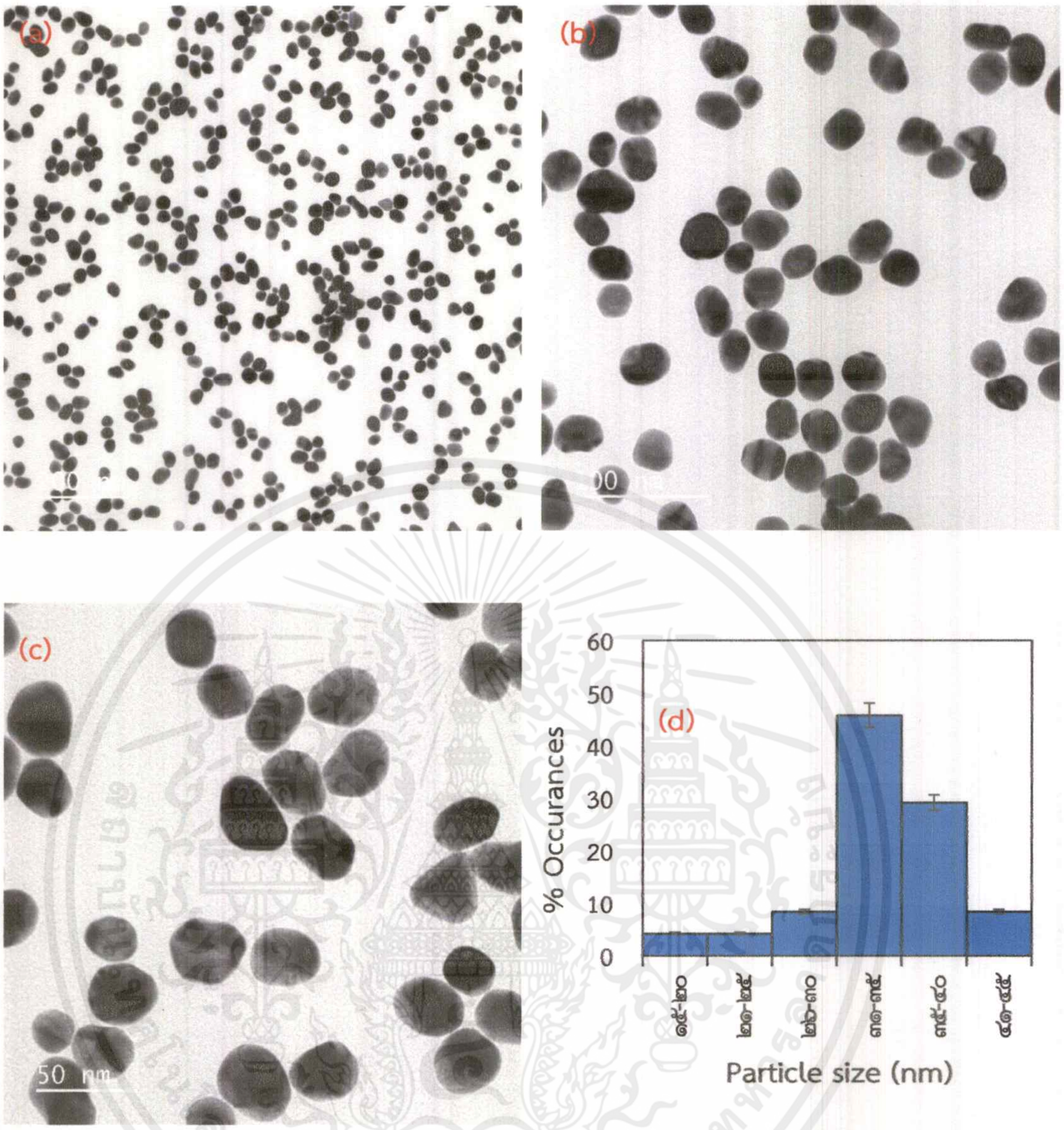
จากรูปที่ 4.1 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ AuNPs จะประกอบไปด้วย 2 ปฏิกิริยา โดยที่ปฏิกิริยาแรก (a) ซิเตรทไอออนเข้าไปทำปฏิกิริยากับเตตระคลอโรออเลทไตรไฮเดรต ซึ่งจะเกิดการแลกเปลี่ยนลิแกนด์อย่างรวดเร็ว โดยที่ซิเตรทไอออนจะเข้าไปแทนที่คลอไรด์ (Cl^-) ของเตตระคลอโรออเลทไตรไฮเดรต และปฏิกิริยาที่ 2 (b) หมู่ Hydroxyl ที่เกิดจากการแตกตัวของน้ำจะไปดึงไฮโดรเจนจากหมู่ Hydroxyl ของซิเตรทไอออน ทำให้ออกซิเจนไปสร้างพันธะกับทองได้เป็นวงไซคลิก จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยา Decarboxylation ในวงไซคลิกทำให้คาร์บอนไดออกไซด์หลุดออก ต่อมาจึงเกิดการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนทำให้พันธะระหว่างออกซิเจนกับทองแตกตัวออกเป็น 1,3-dicarboxyacetone และเกิดปฏิกิริยา Reduction ทำให้ Au^{3+} ถูกรีดิวซ์เป็น Au^+ โดย Au^+ จะไปรับอิเล็กตรอนจาก 1,3-dicarboxyacetone ซึ่งจะทำให้ได้เป็น Au^0 และจะถูกรักษาเสถียรภาพ [47] ดังรูปที่ 4.2 ซึ่งความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทมีผลกับขนาดของอนุภาค โดยที่ถ้ามีความเข้มข้นของซิเตรทสูง จะส่งผลให้เกิดประจุลบของหมู่ Carboxylate มาก ซึ่งประจุลบแต่ละตัวจะเสามารถผลักกันด้วยแรงทางไฟฟ้า ทำให้อนุภาคเกิดการกระจายตัวออกจากกันได้มากจึงส่งผลให้ขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็ก และถ้ามีความเข้มข้นของซิเตรทต่ำ จะส่งผลให้เกิดประจุลบของหมู่ Carboxylate น้อย จึงเกิดแรงที่ผลักที่น้อย ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันได้มากจึงส่งผลให้ขนาดของอนุภาคมีขนาดใหญ่ นอกจากนี้ขนาดของอนุภาคจะมีผลต่อลักษณะการเกิดสเปกตรัม ถ้าชนาดของอนุภาคมีขนาดเล็ก สเปกตรัมการดูดกลืนแสงจะเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่สั้นลง (Blue shift) และถ้าอนุภาคขนาดใหญ่ สเปกตรัมการดูดกลืนแสงจะเลื่อนไปทางความยาวคลื่นสูงขึ้น (Red shift) [48] โดยที่การหาความเข้มข้นที่ของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทสำหรับการสังเคราะห์

AuNPs สามารถวิเคราะห์โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่ทำการศึกษา คือ 15 mM ซึ่งผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.3



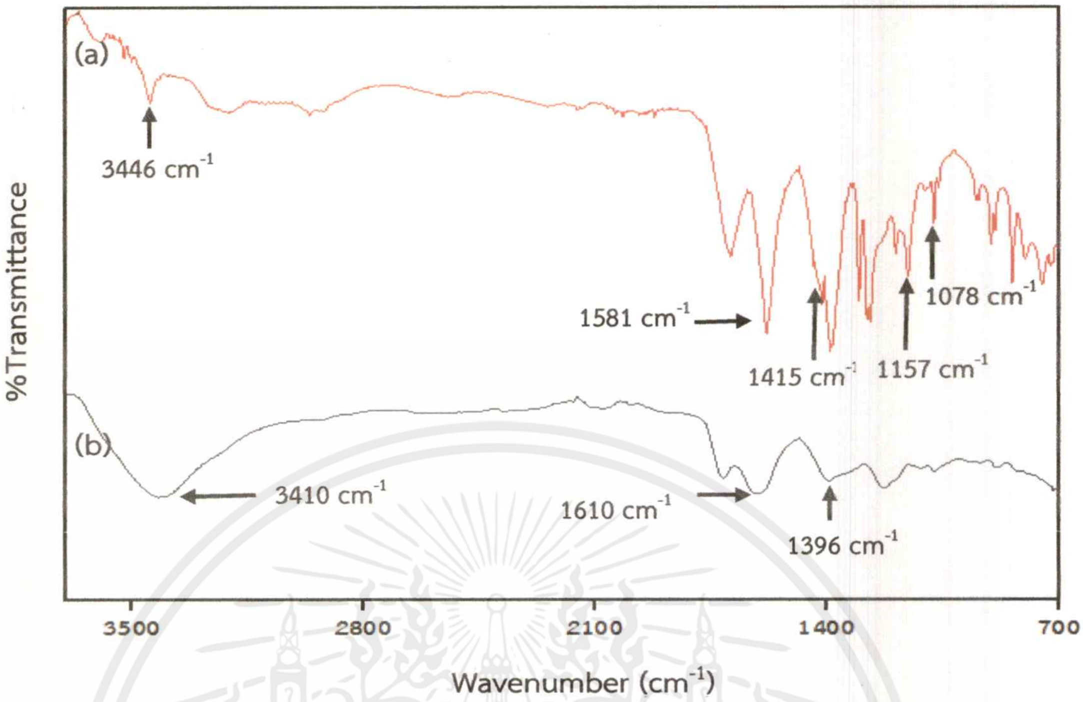
รูปที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสงของสารลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 15 mM

จากรูปที่ 4.3 จะพบว่าในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนที่มีความเข้มข้น 1 mM จะต้องใช้ความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 15 Mm โดยจะสังเกตเห็นค่าความยาวคลื่นสูงสุด คือ 530 nm เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทจะส่งผลต่อขนาดอนุภาคทองระดับนาโน ซึ่งเป็นสภาวะที่ขนาดอนุภาคทองระดับนาโนมีความเหมาะสม และไม่มีสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทมากเกินพอ จากนั้นจึงนำมาทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM เพื่อดูขนาดของอนุภาคทองระดับนาโนและการกระจายตัวของอนุภาค ได้ผลแสดงดังในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของอนุภาคทองระดับนาโนจากรูป (a) (b) และ (c) มีกำลังขยายเท่ากับ 200, 100 และ 50 nm ตามลำดับ และ (d) จะเป็นกราฟแสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยของอนุภาคทองระดับนาโน

จากรูปที่ 4.4 จากภาพ TEM จะแสดงให้เห็นลักษณะของอนุภาคทองระดับนาโนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นมา โดยมีลักษณะคล้ายทรงกลม เกิดการกระจายตัวของอนุภาคได้ดี และไม่มีการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน เมื่อทำการวิเคราะห์หาอนุภาคเฉลี่ยของอนุภาคทองระดับนาโน จะพบว่ามีขนาดอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุดอยู่ในช่วง 31-35 nm ดังแสดงในรูปกราฟแสดงอนุภาคเฉลี่ย หลังจากนั้นจึงมีการนำอนุภาคทองระดับนาโนไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารได้ผลดังรูปที่ 4.5



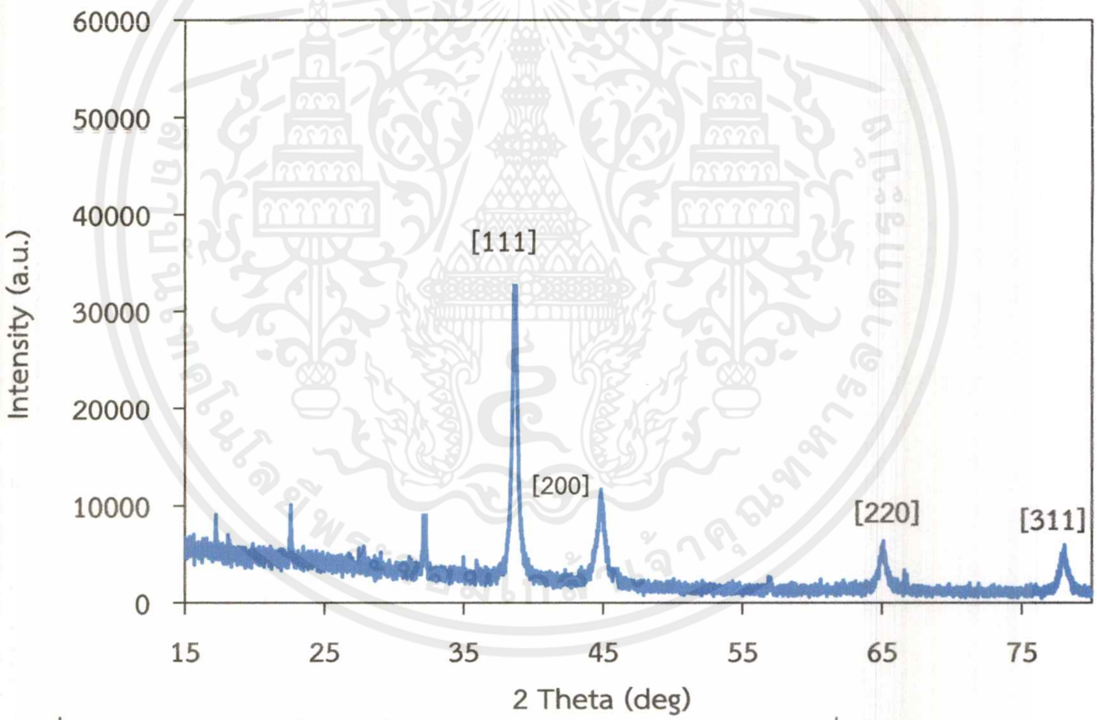
รูปที่ 4.5 สเปกตรัม FTIR ของ (a) ไตรโซเดียมซิเตรท (b) AuNPs

จากรูปที่ 4.5 (a) จะปรากฏสเปกตรัมของไตรโซเดียมซิเตรททที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 3446 cm^{-1} ซึ่งมีลักษณะของการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ O-H สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่น เท่ากับ 1581 cm^{-1} ซึ่งมีลักษณะของการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C=O สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1415 cm^{-1} เป็นลักษณะของการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C-O สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1157 cm^{-1} [1] เป็นลักษณะของการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C-C และสเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1078 cm^{-1} เป็นลักษณะของการสั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ C-O และ (b) จะปรากฏสเปกตรัมของอนุภาคทองระดับนาโนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยจะปรากฏสเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 3410 cm^{-1}ซึ่งมีลักษณะของการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ O-H สเปกตรัมที่มีเลขคลื่น เท่ากับ 1610 cm^{-1} เป็นลักษณะของการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C=O สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1396 cm^{-1} เป็นลักษณะของการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C-O และได้มีการนำสเปกตรัมของทั้งสองมาเปรียบเทียบกันดังตารางที่ 4.1 ทำให้เห็นได้ชัดว่าสเปกตรัมทั้งสองใกล้เคียงกัน จึงสามารถยืนยันได้ว่าอนุภาคทองระดับนาโนที่ได้ทำการสังเคราะห์ขึ้นมามีสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ [49]

ตารางที่ 4.1 แสดงหมู่ฟังก์ชันของไตรโซเดียมซิเตรท และหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคทองระดับนาโน

Sodium citrate		AuNPs	
เลขคลื่น (cm^{-1})	**พันธะ**	**เลขคลื่น (cm^{-1})**	**พันธะ**
3446	O-H stretching	3410	O-H stretching
1581	C=O stretching	1610	C=O stretching
1415	C-O stretching	1396	C-O stretching
1157	C-C stretching		
1078	C-O bending		

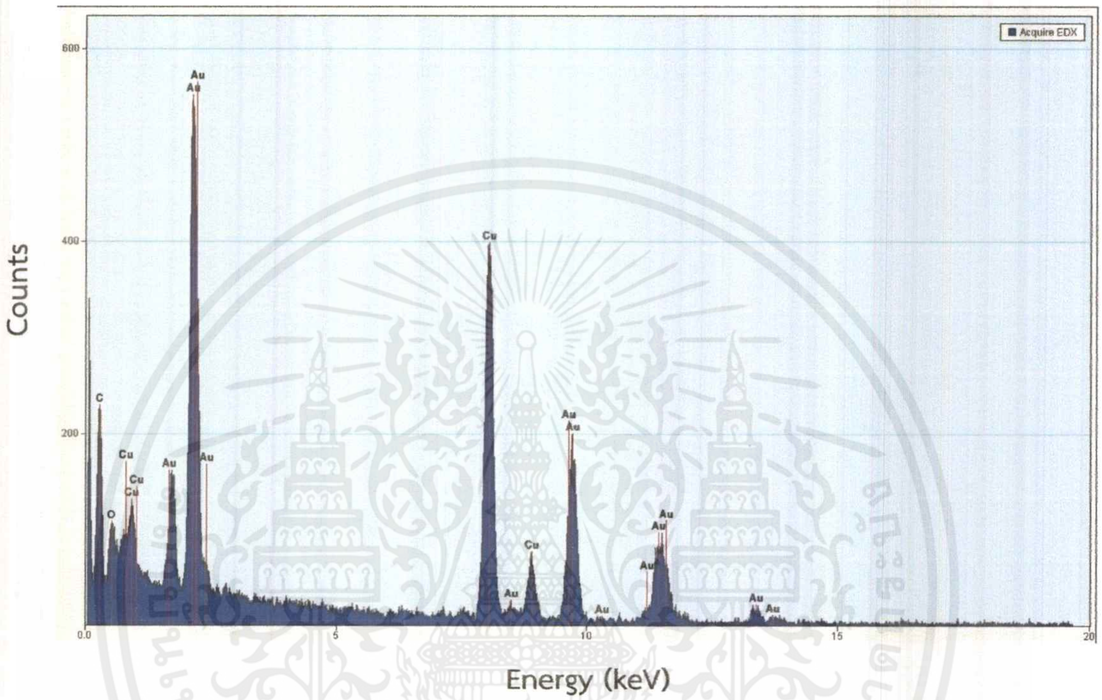
จากนั้น จึงทำการศึกษาการจัดเรียงตัวหรือการดูโครงสร้างผลึกของอนุภาคทองระดับนาโน ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer ได้ผลดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของอนุภาคทองระดับนาโน ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer

จากรูปที่ 4.6 อนุภาคทองระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์จะแสดงถึงสเปกตรัมที่มีค่า 2θ เท่ากับ 38.65° 45.87° 65.12° และ 77.15° ซึ่งตรงกับค่าระนาบที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ คือ [111] [200] [220] และ [311] ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับ XRD pattern ของ Au ในฐานข้อมูล JCPDS File number 04-0783 ที่มีค่า 2θ เท่ากับ 38.10° 44.30° 64.50° และ 77.50° จึงสามารถยืนยันได้ว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ขึ้นมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ FCC ของทองจริง [50]

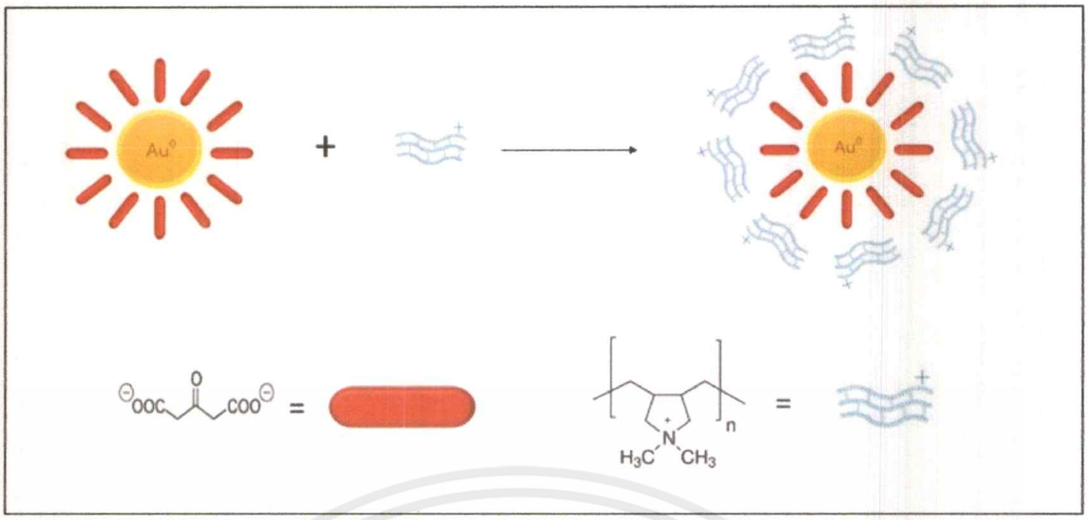
เพื่อเป็นการยืนยันผลองค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ในอนุภาคทองระดับนาโน จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX พบว่ามีพีคของทองเกิดขึ้น แสดงว่าอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีทองเป็นองค์ประกอบ โดยจะมีพีคของทองแดงเกิดขึ้นเนื่องมาจากว่ามีการใช้กริดในขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่างและจะมีพีคของคาร์บอนกับออกซิเจนเกิดขึ้นเพราะว่าเป็นธาตุในองค์ประกอบของสาร ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค EDX

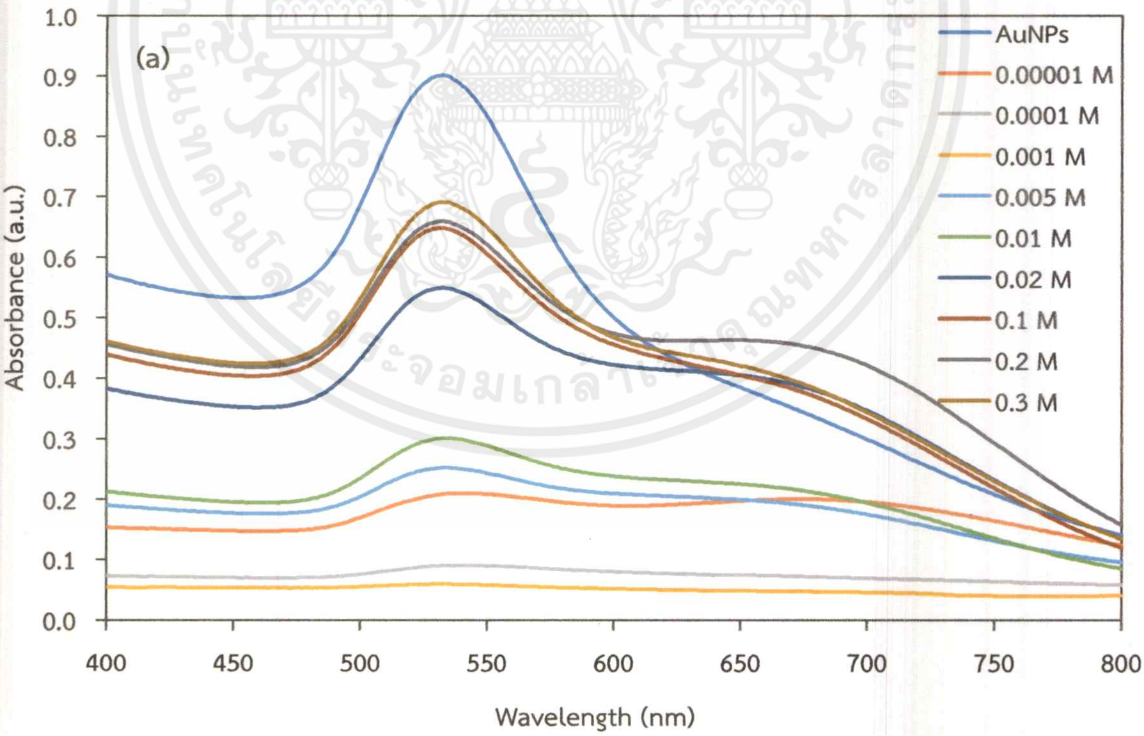
ข. ผลการศึกษาการหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PDADMAC สำหรับการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคทองระดับนาโน

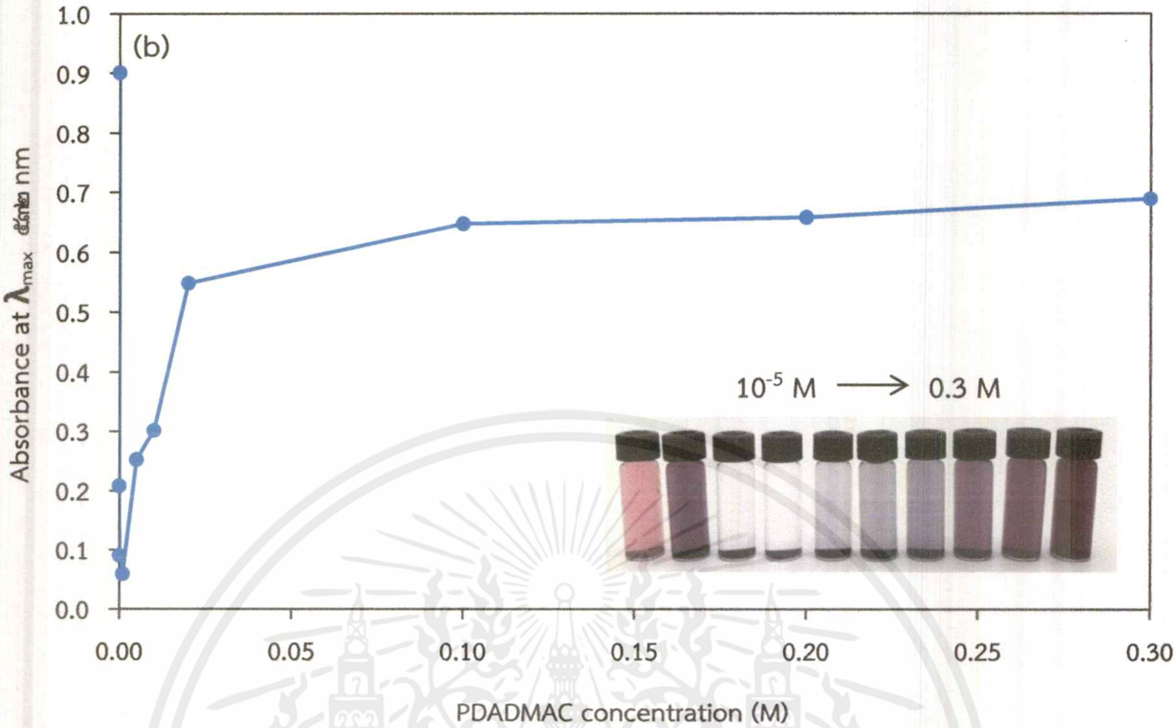
ในการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโน จะใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นที่อาศัยอันตรกิริยาระหว่างประจุลบของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรท ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ และประจุบวกสารละลาย PDADMAC ซึ่งทำหน้าที่ปรับปรุงสภาพพื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโน ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แผนภาพการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโนด้วยสารละลาย PDADMAC

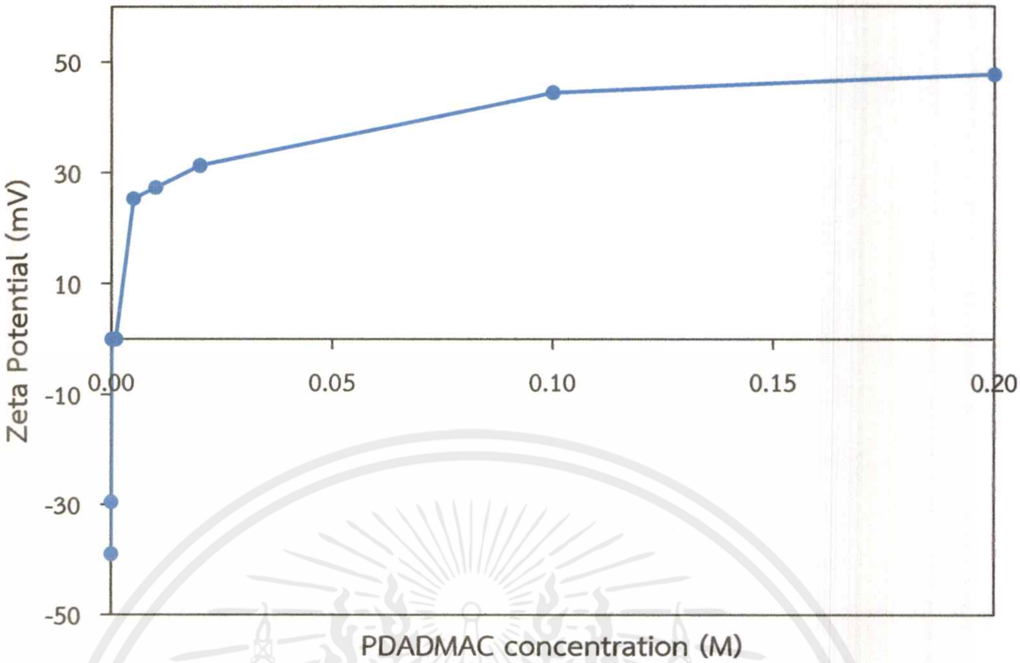
เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลาย PDADMAC จะส่งผลต่อการกระจายตัวของอนุภาคทองระดับนาโน จึงได้ทำการศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PDADMAC ในการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคทองระดับนาโน ได้ผลดังรูปที่ 4.9





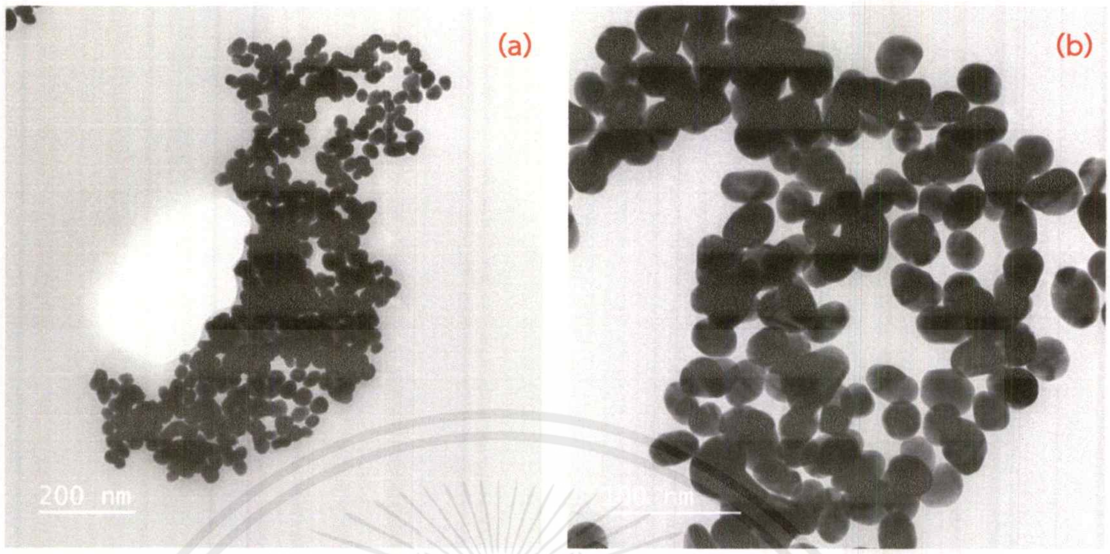
รูปที่ 4.9 ภาพ (a) สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ถูกปรับปรุงพื้นผิว และภาพ (b) ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 nm ของอนุภาคทองระดับนาโนที่ถูกปรับปรุงพื้นผิว

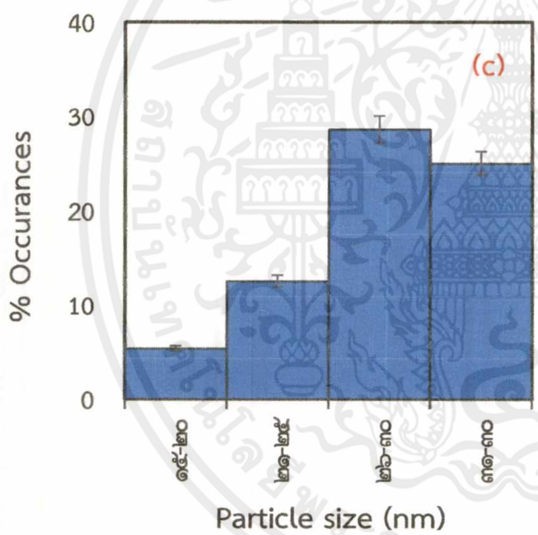
จากรูปที่ 4.9 สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วย PDADMAC จะมีสีของสารละลายเป็นสีม่วง โดยมีค่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเท่ากับ 532 nm และมีสเปกตรัมใหม่เกิดที่ 700 nm จากการสังเกตจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเติม PDADMAC ลงไป สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีม่วงแดงเป็นสีม่วง เมื่อความเข้มข้นของ PDADMAC อยู่ในช่วง 0.0001-0.001 M จะทำให้สารละลายเกิดการตกตะกอน จากนั้นเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย PDADMAC เพิ่มขึ้นจะทำให้อนุภาคที่ตกตะกอนไปแล้วสามารถกระจายตัวกลับขึ้นมาได้ เนื่องจากเป็นผลมาจากหมู่ Quaternary ammonium ของสารละลาย PDADMAC ที่มีประจุบวกมากขึ้น ส่งผลทำให้เกิดแรงผลักระหว่างประจุมากขึ้นด้วย [51] เพื่อเป็นการยืนยันว่าอนุภาคทองระดับนาโนได้ถูกสารละลาย PDADMAC ล้อมรอบเพื่อปรับปรุงพื้นผิวแล้ว จึงมีการนำไปวัดศักย์ซีต้าเพื่อดูประจุบนพื้นผิวอนุภาค ได้ผลดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงค่าศักย์ซีต้าของอนุภาคทองระดับนาโนที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารลาย PDADMAC

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าอนุภาคทองระดับนาโนก่อนที่จะมีการปรับปรุงสภาพพื้นผิวมีค่าศักย์ซีต้าเท่ากับ -39.00 mV เนื่องจากอนุภาคทองระดับนาโนที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิวจะมีประจุเป็นลบจากไตรโซเดียมซิเตรท เมื่อใส่สารละลาย PDADMAC ลงไป จะส่งผลทำให้ค่าศักย์ซีต้าเป็นค่าบวกมากขึ้น จนกระทั่งความเข้มข้นของ PDADMAC เท่ากับ 0.0001-0.001 M จะส่งผลทำให้อนุภาคทองระดับนาโนเกิดการตกตะกอนและค่าศักย์ซีต้าที่วิเคราะห์ได้เท่ากับ 0 mV จากนั้นเมื่อความเข้มข้นของ PDADMAC มากขึ้น ส่งผลให้ค่าศักย์ซีต้าเป็นประจุบวก คือ +25.32 27.33 31.34 44.47 47.76 และ 46.53 mV ตามลำดับ เนื่องจากสารละลาย PDADMAC ที่มีหมู่ Quaternary ammonium ได้ไปล้อมรอบอนุภาคทองระดับนาโนเพื่อปรับปรุงสภาพพื้นผิวแล้ว จึงทำให้ค่า ศักย์ซีต้าที่ได้แสดงค่าเป็นบวก แต่เนื่องจากการใช้ความเข้มข้นสูง จะทำให้มีปริมาณ PDADMAC มากเกินไป ส่งผลให้เกิดการปัญหาในขั้นตอนการสังเคราะห์ Au-Pt BNPs ดังนั้นความเข้มข้นที่เหมาะสมของ PDADMAC ที่ใช้สำหรับในการปรับปรุงสภาพพื้นผิวอนุภาคทองระดับนาโน คือ 0.1 M หลังจากนั้นเป็นการดูลักษณะของ PDADMAC ที่เข้าไปปรับปรุงสภาพพื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโนโดยนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM ได้ผลดังรูปที่ 4.11

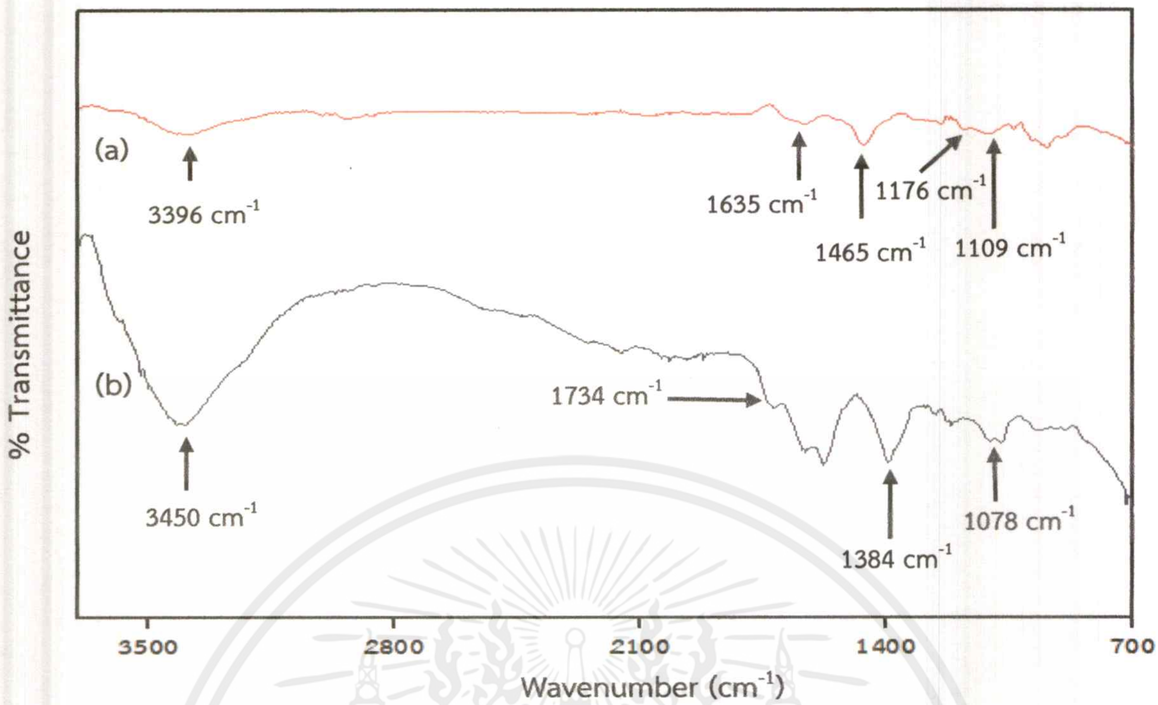




รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของ AuNPs-PDADMAC จากรูป (a) และ (b) มีกำลังขยายเท่ากับ 200 และ 100 nm ตามลำดับ และ (c) กราฟแสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยของ AuNPs-PDADMAC

เมื่อเติม PDADMAC ลงไปใน AuNPs สารละลาย PDADMAC จะเข้าไปล้อมรอบ AuNPs โดยจะอาศัยแรงยึดเหนี่ยวทางไฟฟ้าสถิตระหว่างหมู่ Quaternary ammonium กับหมู่ Carboxylate ซึ่งลักษณะการล้อมรอบของ PDADMAC มีลักษณะเป็นดังรูปที่ 4.11 และเมื่อทำการหาขนาดของอนุภาคเฉลี่ย AuNPs-PDAMAC จะพบว่ามีขนาดมากที่สุดอยู่ในช่วง 26-30 nm ดังแสดงในรูปกราฟแสดงอนุภาคเฉลี่ย เนื่องจากอนุภาคของทองที่ถูกล้อมรอบด้วย PDADMAC

หลังจากนั้นจึงมีการนำอนุภาคทองระดับนาโนไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารได้ผลดังรูปที่ 4.12



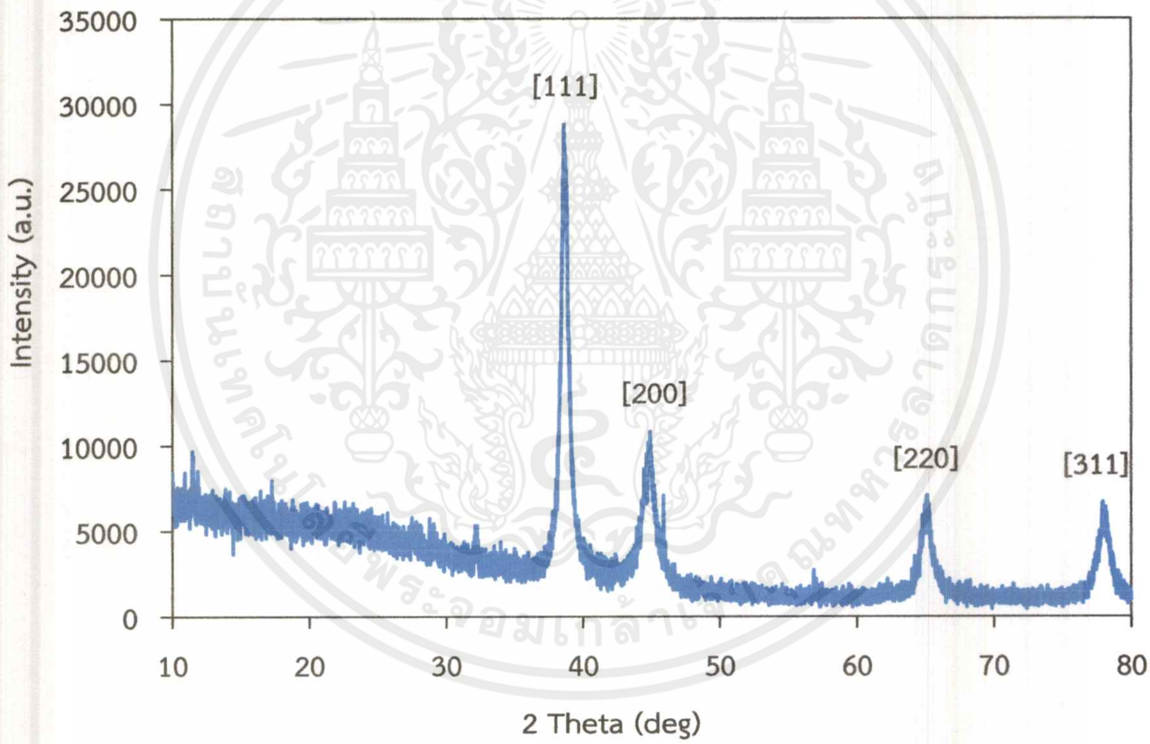
รูปที่ 4.12 สเปกตรัม FTIR ของ (a) PDADMAC (b) AuNPs-PDADMAC

จากรูปที่ 4.12 (a) PDADMAC จะปรากฏมีเลขคลื่นเท่ากับ 3396 cm^{-1} ซึ่งมีลักษณะของการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ O-H สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1635 , 1465 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ C-H สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1176 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C-N และสเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1109 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C-C และ (b) AuNPs-PDADMAC ปรากฏสเปกตรัมที่ในช่วงเลขคลื่น 3450 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ O-H สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1734 และ 1384 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ C-H และสเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1078 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C-N เมื่อนำสเปกตรัมของ AuNPs และ AuNPs-PDADMAC มาเปรียบเทียบกัน ดังตารางที่ 4.2 ทำให้เห็นได้ชัดว่าสเปกตรัมทั้งสองใกล้เคียงกัน จึงทำให้เห็นว่า PDADMAC ถูกใช้ในการปรับปรุงสภาพพื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโน

ตารางที่ 4.2 แสดงหมู่ฟังก์ชันของ PDADMAC และหมู่ฟังก์ชันของ AuNPs-PDADMAC

PDADMAC		AuNPs-PDADMAC	
เลขคลื่น (cm^{-1})	**พันธะ**	**เลขคลื่น (cm^{-1})**	**พันธะ**
3396	O-H stretching	3450	O-H stretching
1635 , 1465	C-H bending	1734 , 1384	C-H bending
1176	C-N stretching	1078	C-N stretching
1109	C-C stretching		

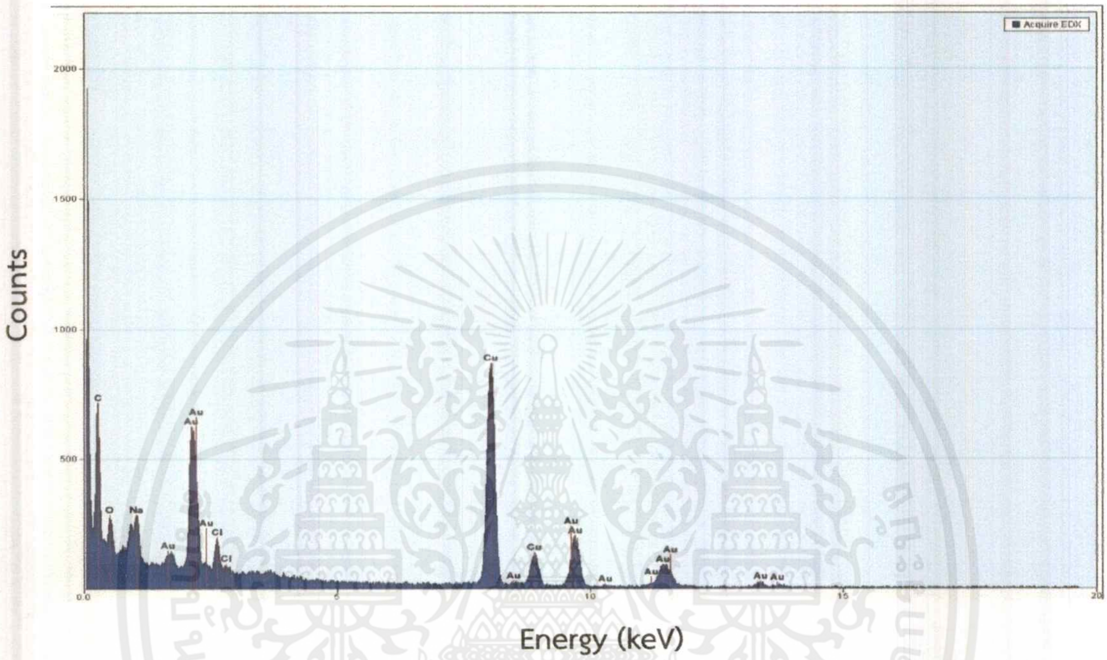
เพื่อเป็นการยืนยันผลจึงได้ทำการศึกษาลักษณะการจัดเรียงตัวของ AuNPs-PDADMAC ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer ได้ผลดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ AuNPs-PDADMAC ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer

จากรูปที่ 4.13 อนุภาคทองระดับนาโนที่ถูกปรับปรุงพื้นผิวด้วย PDAMAC จะแสดงถึงสเปกตรัมที่มีค่า 2θ คือ 38.68° 45.70° 65.14° และ 77.94° ซึ่งตรงกับค่าระนาบที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ คือ [111] [200] [220] และ [311] ซึ่งสอดคล้องกับ XRD pattern ของ Au ในฐานข้อมูล JCPDS File number 04-0783 จึงสามารถยืนยันได้ว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ขึ้นมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ FCC ของทองจริง [52]

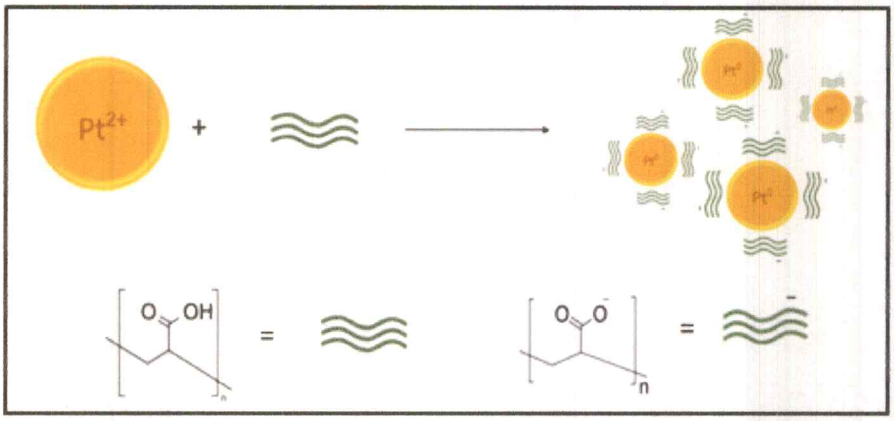
จะทำการยืนยันผลองค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ใน AuNPs-PDADMAC จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX พบว่ามีพีคของทองเกิดขึ้น แสดงว่ามีสารละลาย PDADMAC ปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโน โดยจะมีพีคของทองแดงเกิดขึ้นเนื่องมาจากว่ามีการใช้กริดในขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่างและจะมีพีคของคาร์บอน ออกซิเจนและคลอรีนเกิดขึ้นเพราะว่าเป็นธาตุในองค์ประกอบของสาร ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค EDX

4.1.2 ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนโดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชัน

ในโครงงานพิเศษนี้นี้ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน โดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชันของโซเดียมโบโรไฮไดร์ด และใช้สารละลายโพลีอะคริลิคแอซิด (PAA) เป็นตัวรักษาสเถียรภาพ ซึ่งสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสารละลายสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งสามารถแสด งกลไกการสังเคราะห์ของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน ดังรูปที่ 4.15

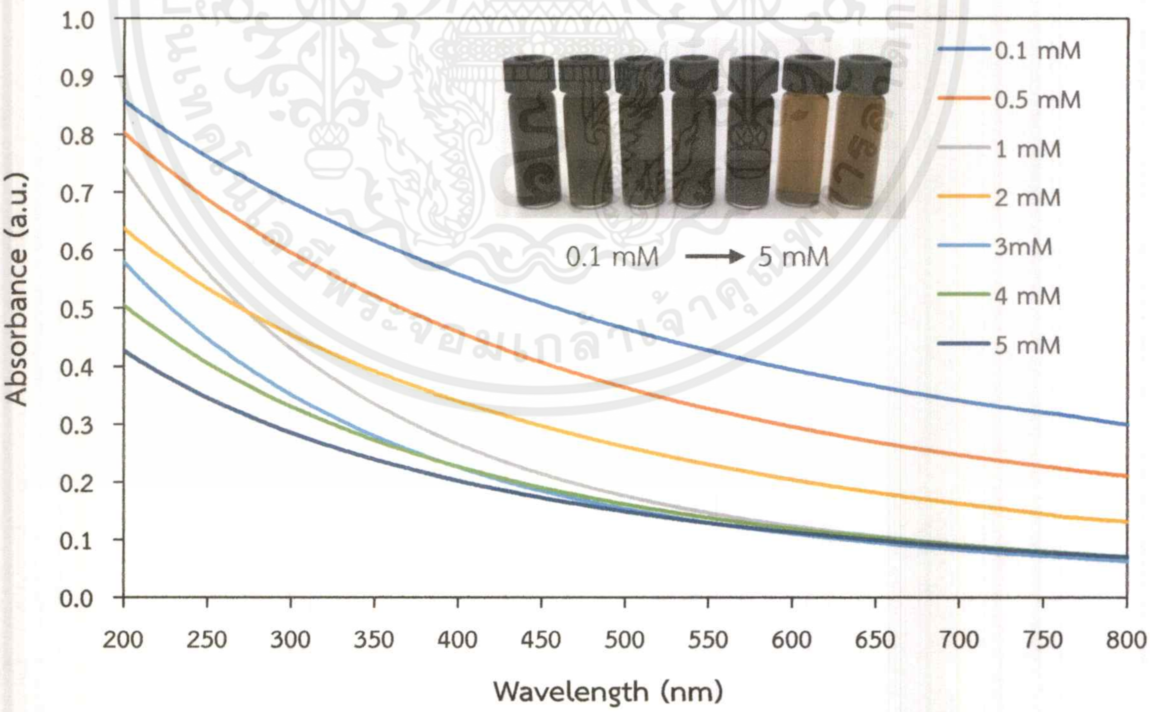


$$Pt^{2+} + (C_3H_4O_2)n \longrightarrow Pt^{2+} \text{-------------} C_3H_3O_2^{-}$$

$$Pt^{2+} + BH_4^{-} + 2H_2O \longrightarrow Pt^{0} + B(OH)_3 + 3.5H_2$$

รูปที่ 4.15 กลไกการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน

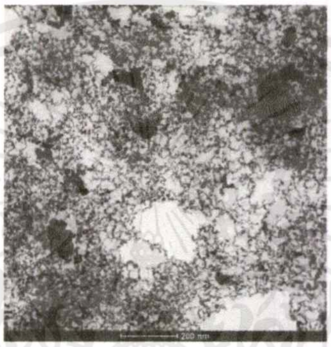
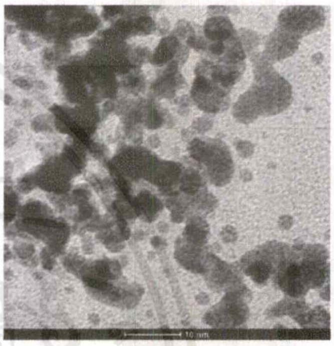
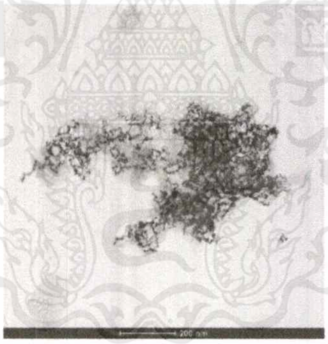
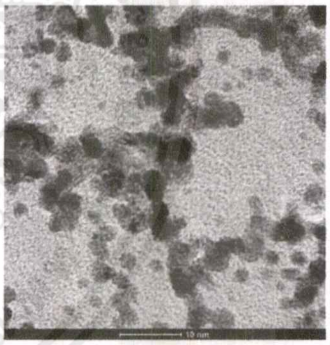
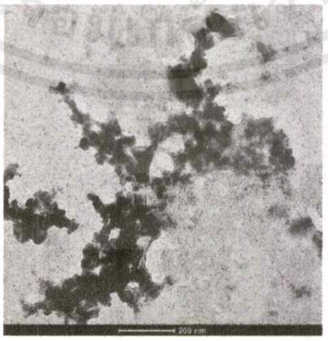
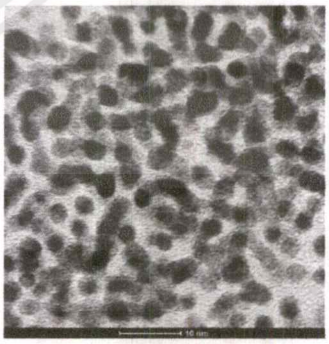
จากรูป 4.15 เป็นกลไกการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดร์ด ไปทำการรีดิวซ์ Pt^{2+} ให้กลายเป็น Pt^{0} และสารละลายโพลีอะคริลิคแอซิด (PAA) ที่มีหมู่ Carboxylate ทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพของ Pt^{0} จึงได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารละลาย PAA ที่ความเข้มข้น 0.1 0.5 1 2 3 4 และ 5 mM โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ซึ่งผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.16



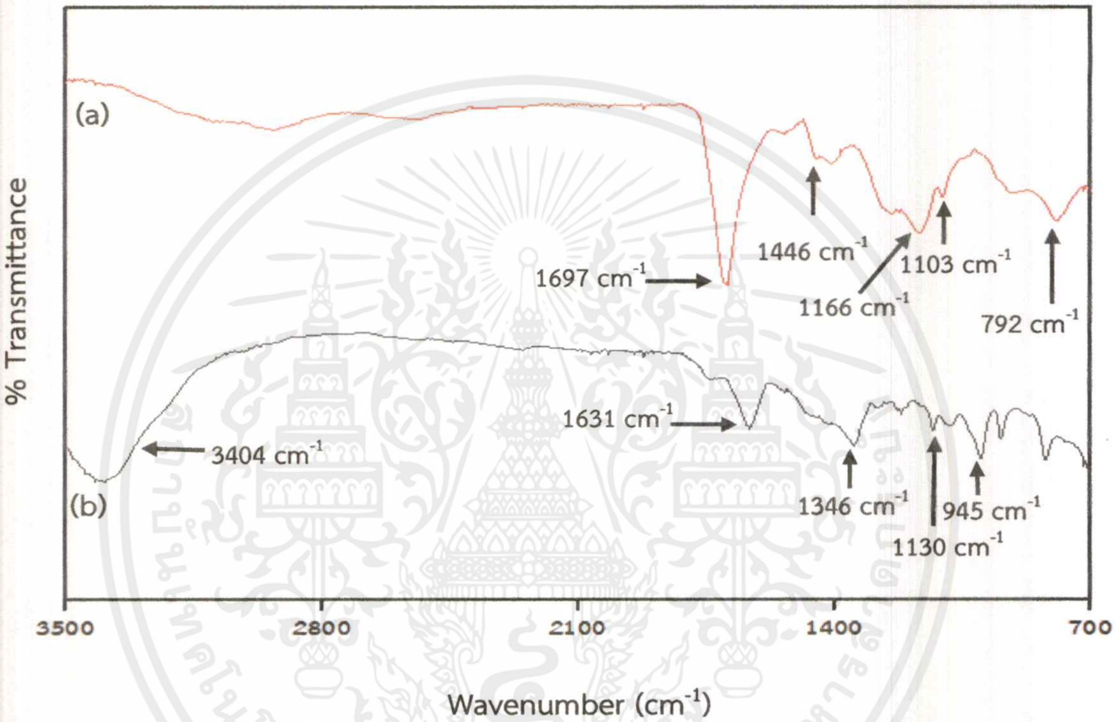
รูปที่ 4.16 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วย PAA ที่ความเข้มข้น 0.1 0.5 1 2 3 4 และ 5 mM

จากรูปที่ 4.16 เมื่อสังเกตสเปกตรัมของการดูดกลืนแสง พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงจะมีค่าลดลง เมื่อสารละลายมีสีน้ำตาลเข้ม จากนั้นทำการศึกษาขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง TEM ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM ของการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมนาโนที่ความเข้มข้นของ PAA คือ 0.1 1.0 และ 3.0 mM ตามลำดับ

ความเข้มข้นของ Poly(acrylic acid)	**ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM**	
0.1 mM		
1.0 mM		
3.0 mM		

จากตารางที่ 4.3 เป็นการศึกษาลักษณะของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่ความเข้มข้นของ PAA คือ 0.1 1.0 และ 3.0 mM ตามลำดับ จากภาพจะมีขนาดอนุภาคเล็กลักษณะคล้ายทรงกลม ซึ่งความเข้มข้นที่เหมาะสมของ PAA ที่จะนำมาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน คือ 0.1 mM เนื่องจากถ้าใช้ PAA ความเข้มข้นมากจะทำให้อนุภาคของ Pt มีขนาดเล็กและเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคจึงส่งผลให้เกิดการตกตะกอนได้ หลังจากนั้นจึงนำอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสาร ได้ผลดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 สเปกตรัม FTIR ของ (a) PAA (b) อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน

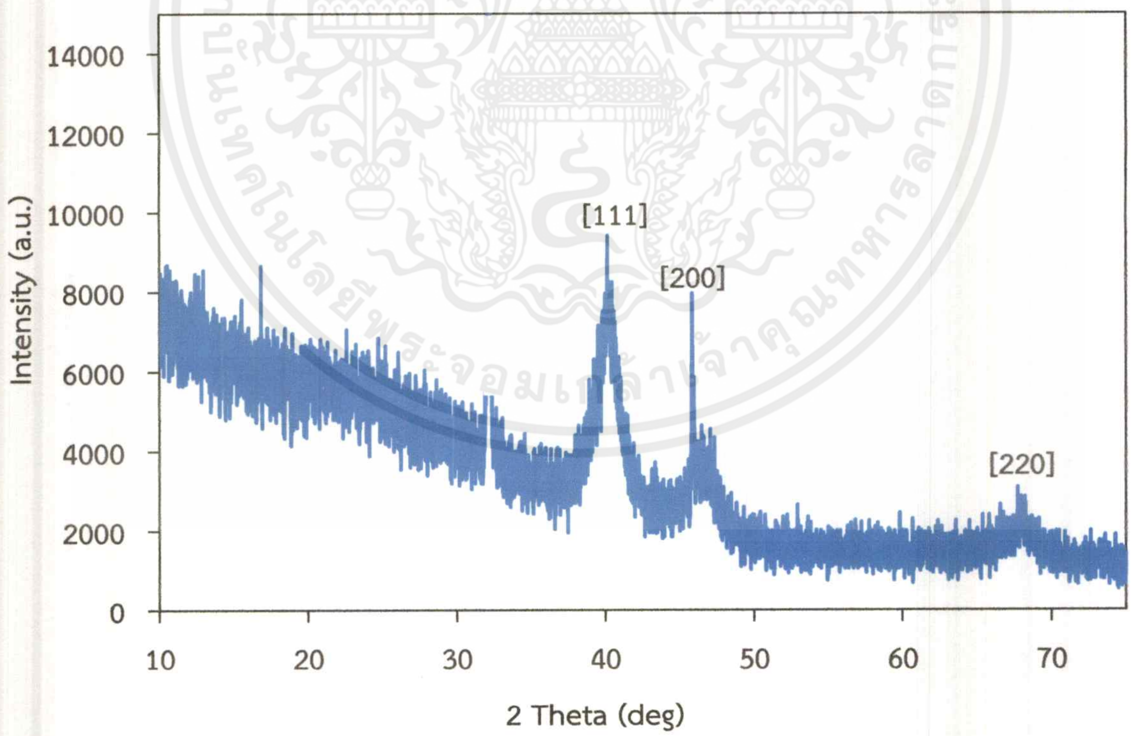
จากรูปที่ 4.17 (a) PAA จะปรากฏสเปกตรัมที่เลขคลื่นเท่ากับ 1697 cm^{-1} ซึ่งมีลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C=O สเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่นเท่ากับ 1446 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ C-H สเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่น 1166 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C-O สเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่น 1103 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ C-C และสเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่น 792 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ O-H และ (b) อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนจะปรากฏสเปกตรัมที่เลขคลื่นเท่ากับ 3404 cm^{-1} ซึ่งมีลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ O-H สเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่นเท่ากับ 1631 cm^{-1} เป็นลักษณะการการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C=O สเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่น 1346 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบการสั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ C-H สเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่น 1130 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C-O และสเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่น 945 cm^{-1} เป็นลักษณะการ

สั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ O-H และได้มีการนำสเปกตรัมของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนมาเปรียบเทียบกับสเปกตรัม PAA ดังตารางที่ 4.4 ทำให้เห็นได้ชัดว่าสเปกตรัมทั้งสองใกล้เคียงกัน แสดงว่า PAA เป็น ตัวที่ถูกนำมาใช้ในการรักษาเสถียรภาพของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน [53]

ตารางที่ 4.4 แสดงหมู่ฟังก์ชันของ PAA และหมู่ฟังก์ชันของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน

Poly(acrylic acid)		PtNPs	
เลขคลื่น (cm^{-1})	**พันธะ**	**เลขคลื่น (cm^{-1})**	**พันธะ**
1697	C=O stretching	3404	O-H stretching
1446	C-H bending	1631	C=O stretching
1166	C-O stretching	1346	C-H bending
1103	C-C bending	1130	C-O stretching
792	O-H bending	945	O-H bending

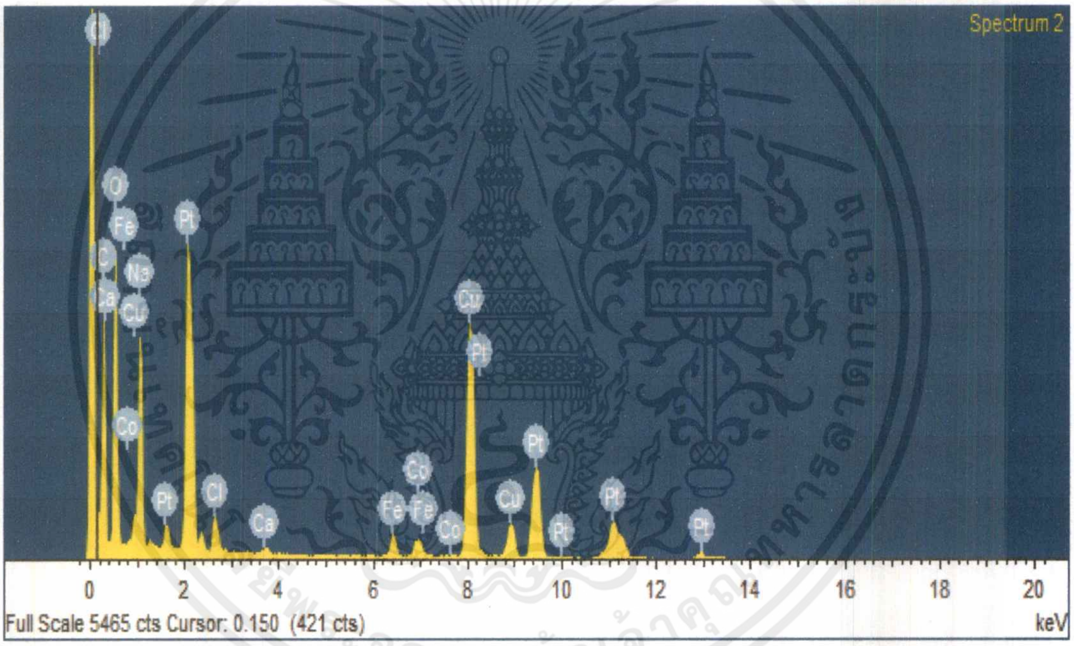
จากนั้น จึงทำการศึกษาการจัดเรียงตัวหรือการดูโครงสร้างผลึกของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer ได้ผลดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer

จากรูปที่ 4.18 อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ โดยใช้ PAA ความเข้มข้น 0.1 mM เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ จะแสดงถึงสเปกตรัมที่มีค่า 2θ เท่ากับ 40.14° 45.84° และ 68.44° และระนาบที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ คือ [111] [200] และ [220] ซึ่งการจัดเรียงตัวของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนไม่สอดคล้องกับ XRD pattern ของ Pt ในฐานข้อมูล JCPDS File number 04-0784 เนื่องจากไม่มีพีคของระนาบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ [311] เกิดขึ้น จึงไม่สามารถยืนยันยันได้ว่าอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นมีโครงสร้างผลึกแบบ FCC [54]

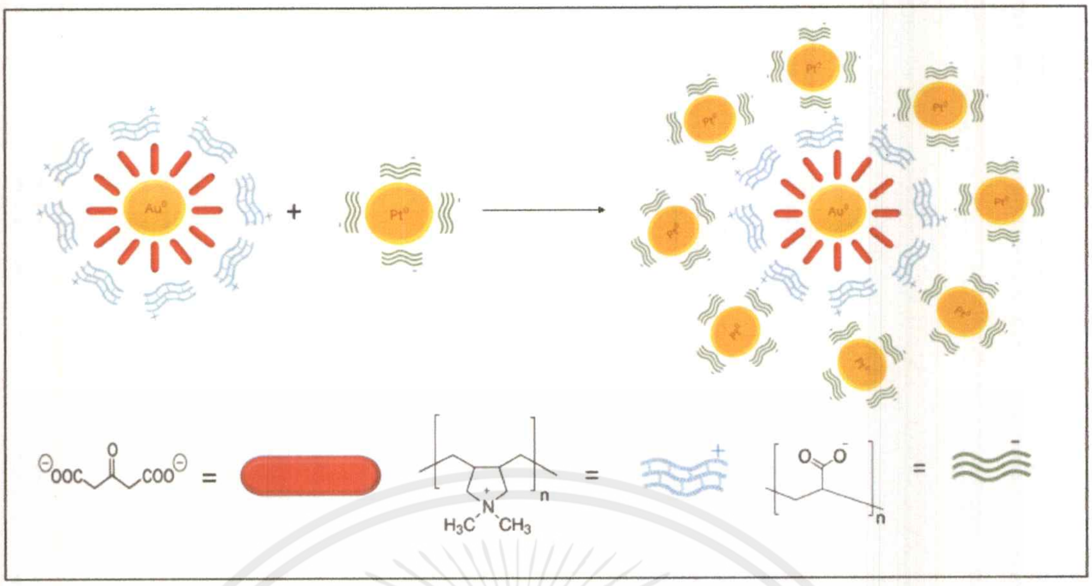
และเพื่อเป็นการยืนยันผลองค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ในอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX ได้ผลดังรูปที่ 4.19 จากรูปมีพีคของแพลทินัมเกิดขึ้นแสดงว่าอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นมามีแพลทินัมเป็นองค์ประกอบ โดยจะมีพีคของทองแดงเหล็กเกิดขึ้นเนื่องมาจากว่ามีการใช้กริดในขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่างและจะมีพีคข อง คาร์บอน ออกซิเจน โซเดียมและคลอรีนเกิดขึ้นเพราะว่าเป็นธาตุในองค์ประกอบของสาร



รูปที่ 4.19 ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค EDX

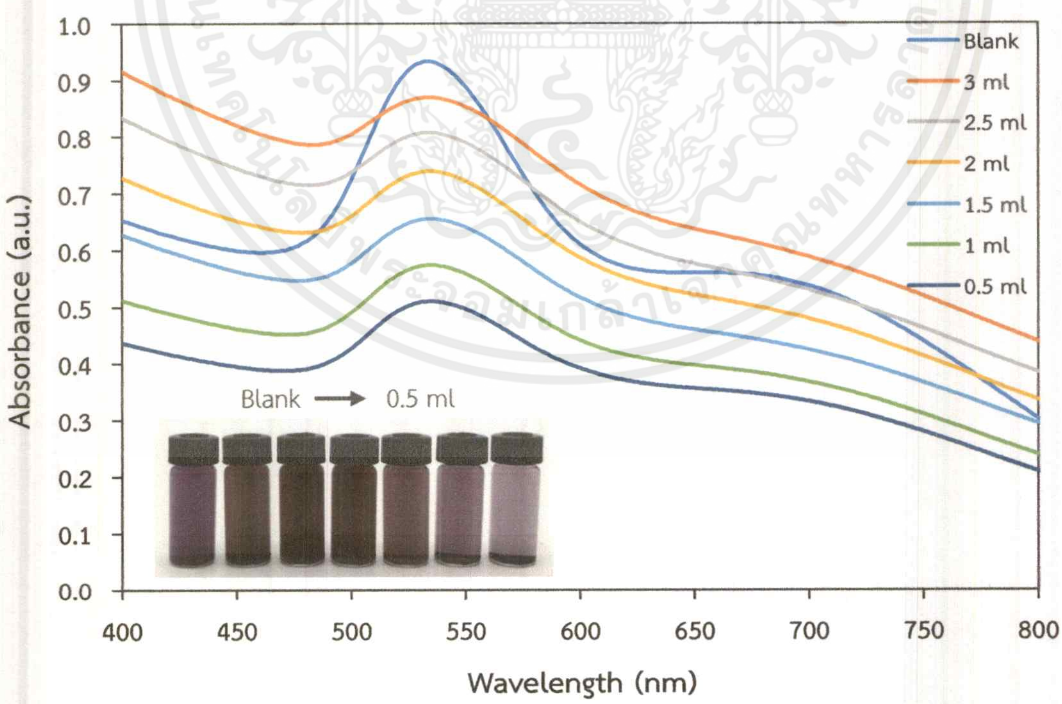
4.1.3 การหาสภาวะที่เหมาะสมของอนุภาคแพลทินัมระดับอนุภาคนาโน สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคโลหะผสมระดับนาโนของทองและแพลทินัมด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคโลหะผสมระดับนาโนของทองและแพลทินัม (Au-Pt BNPs) จะใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนที่มีตัวรักษาเสถียรภาพ คือ PDADMAC ที่มีหมู่ Quaternary Ammonium ที่ทำหน้าที่เป็นประจุบวกและอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่มีหมู่ Carboxylate ของสารละลายโพลีอะคริลิคแอซิด ที่ทำหน้าที่เป็นประจุลบ โดยใช้การเกิดปฏิกิริยาระหว่างแรงไฟฟ้าสถิตของประจุบวกและลบ ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แผนภาพการสังเคราะห์อนุภาคโลหะผสมระดับนาโนของทองและแพลทินัมด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวอนุภาค

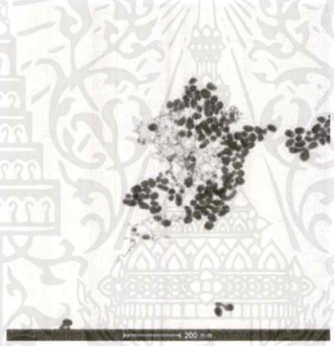
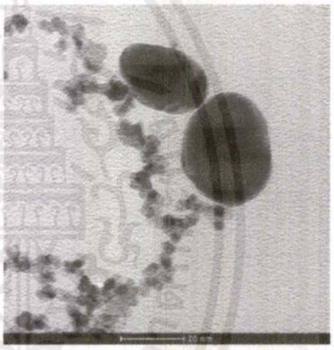
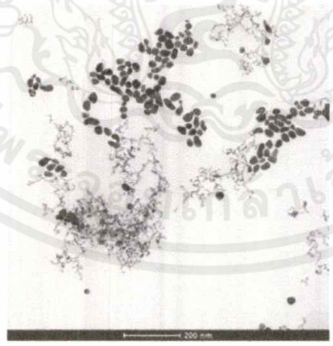
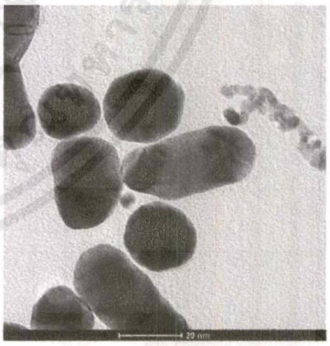
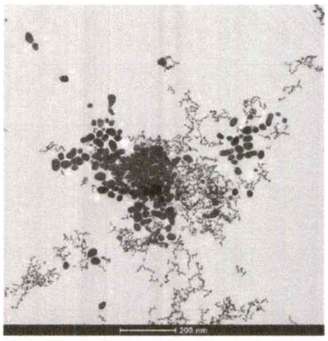
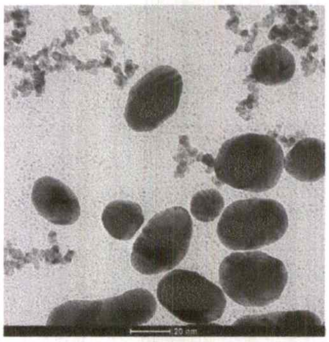
โดยขั้นตอนการสังเคราะห์นี้ได้มีการใช้สภาวะของสารละลายอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่แตกต่างกัน คือ 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 ml จากนั้นได้มีการนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ได้ผลดังรูปที่ 4.21



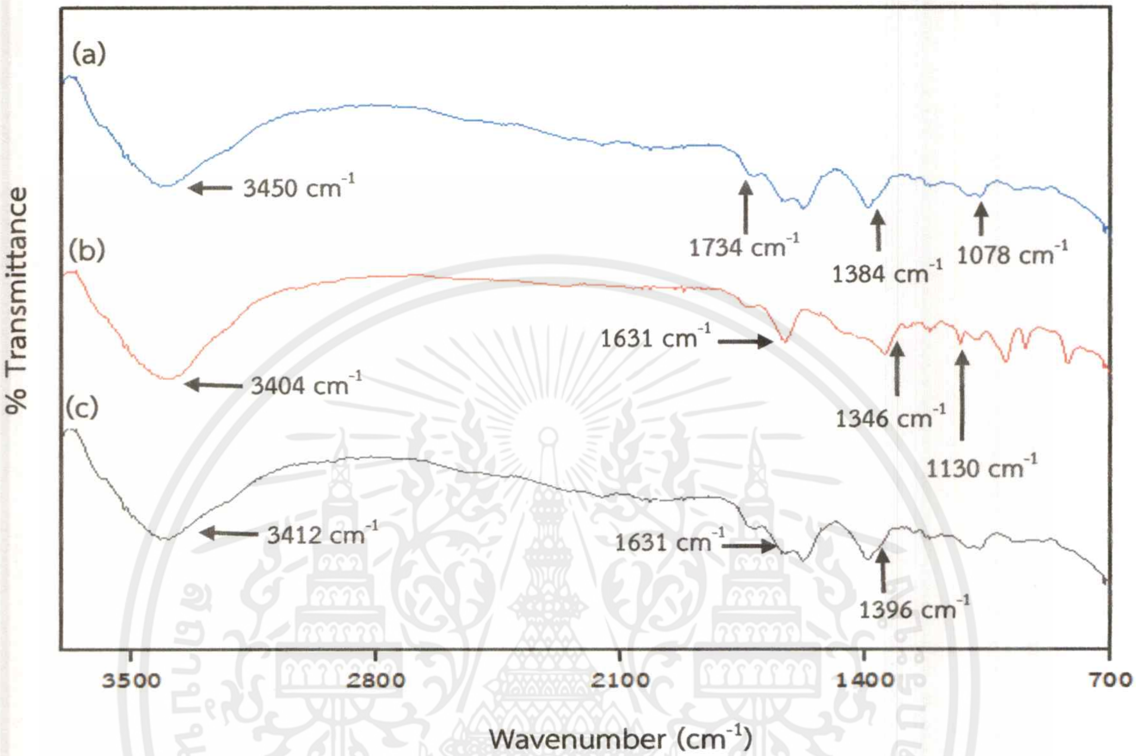
รูปที่ 4.21 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย Au-Pt BNPs

จากรูปที่ 4.21 สารละลายอนุภาคโลหะผสมระดับนาโนของทองและแพลทินัม จะมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับปริมาตรของสารละลายอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน โดยจะมีสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่ 532 nm หลังจากนั้นทำการศึกษาลักษณะของ Au-Pt BNPs โดยศึกษาปริมาตรที่ใช้ในการสังเคราะห์ ซึ่งจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM ได้ผลดังตารางที่ 4.5 โดยการใช้ปริมาตรที่แตกต่างกันออกไปในการศึกษาการตกตะกอนของ Au-Pt BNPs พบว่าถ้าหากใช้สารละลายแพลทินัมระดับนาโนที่ปริมาตร 2.0 mL ขึ้นไป จะทำให้สารละลายที่ได้เกิดการตกตะกอน ดังนั้น ในโครงการพิเศษนี้จึงเลือกใช้สารละลายแพลทินัมระดับนาโนที่ปริมาตร 0.5 mL ที่มีปริมาตรต่ำสุดและไม่ทำให้เกิดการตกตะกอน

ตารางที่ 4.5 ผลของการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM ของการสังเคราะห์อนุภาคโลหะผสมระดับนาโนของทองและแพลทินัม

ปริมาตรที่ใช้	ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM	
0.5 ml		
1.0 ml		
2.0 ml		

จากนั้นได้นำ Au-Pt BNPs ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสาร ได้ผลดังรูปที่ 4.22



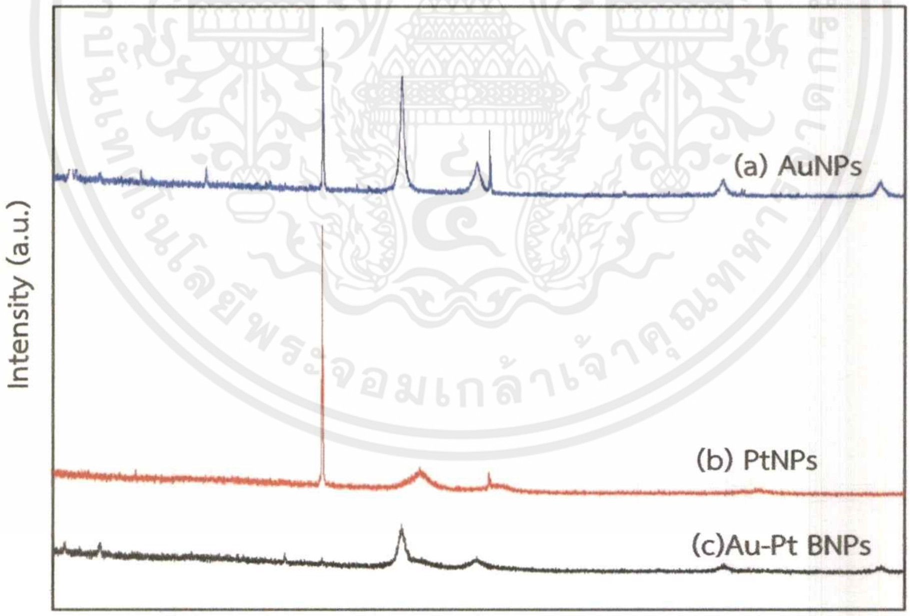
รูปที่ 4.22 สเปกตรัม FT-IR ของ (a) AuNPS-PDADMAC (b) PtNPs และ (c) Au-Pt BNPs ที่มีปริมาตรของ PtNPs 0.5 mL

จากรูปที่ 4.22 (a) จะปรากฏสเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 3450 cm^{-1} ซึ่งมีลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ O-H สเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 1734 , 1384 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ C-H และสเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 1078 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C-N (b) PtNPs จะปรากฏสเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 3404 cm^{-1} ซึ่งมีลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ O-H สเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 1631 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C=O สเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 1346 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ C-H และสเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 1130 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C-O และ (c) Au-PT BNPs ที่มีปริมาตรของ Pt-NPs 0.5 mL จะปรากฏสเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 3412 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ O-H สเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 1631 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C=O และสเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 1396 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ -COOH หลังจากนั้นได้นำสเปกตรัมทั้งสามมาเปรียบเทียบกัน แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงหมู่ฟังก์ชันของ AuNPs-PDADMAC ,PtNPs และหมู่ฟังก์ชันของ Au-Pt BNPs ที่มีปริมาตรของ Pt-NPs 0.5 mL

AuNPs-PDADMAC		PtNPs		Au-Pt BNPs	
เลขคลื่น (cm^{-1})	**พันธะ**	**เลขคลื่น (cm^{-1})**	**พันธะ**	**เลขคลื่น (cm^{-1})**	**พันธะ**
3450	O-H stretching	3404	O-H stretching	3412	O-H stretching
1734 ,1384	C-H bending	1631	C=O stretching	1631	C=O stretching
1078	C-N stretching	1346	C-H bending	1396	-COOH stretching
		1130	C-O stretching		

จากนั้น จึงทำการศึกษาการจัดเรียงตัวหรือการดูโครงสร้างผลึกของ Au-Pt BNPs ที่มีปริมาตรของ Pt-NPs 0.5 mL ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer ได้ผลดังรูปที่ 4.23



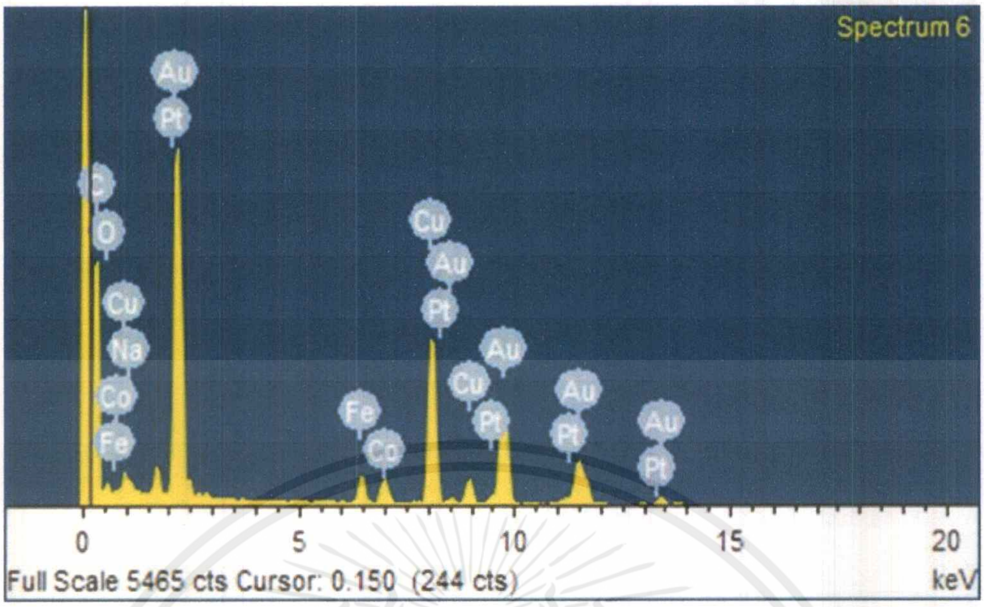
รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของ (a) AuNPS-PDADMAC (b) PtNPs และ (c) Au-Pt BNPs ที่มีปริมาตรของ Pt-NPs 0.5 mL ด้วย X-Ray Diffractometer

จากรูปที่ 4.23 (c) Au-Pt BNPs ที่มีปริมาตรของ Pt-NPs 0.5 ml จะแสดงระนาบที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ และค่า 2 Theta (deg) ซึ่งการจัดเรียงตัวของ Au-Pt BNPs นั้นมีโครงสร้างผลึกแบบ FCC ซึ่งจะสอดคล้องกับ XRD pattern ของ AuNPs กับ PtNPs จึงทำให้สามารถยืนยันได้ว่า Au-Pt BNPs มีโครงสร้างผลึกแบบ FCC เช่นเดียวกับแพลทินัมและทอง ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค่า 2 Theta (deg) และค่าระนาบที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ AuNPS-PDADMAC PtNPs และ Au-Pt BNPs ที่มีปริมาตรของ Pt-NPs 0.5 mL

ค่าระนาบที่เกิดจากการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	**ค่า 2 Theta (deg)**		
	AuNPs – PDADMAC	**PtNPs**	**Au-Pt BNPs**
111	38.68°	40.14°	38.66°
200	45.7°	45.84°	44.00°
220	65.14°	68.44°	65.18°
311	77.94°	-	78.09°

และเพื่อเป็นการยืนยันผลองค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ใน Au-Pt BNPs ที่มีปริมาตรของ Pt-NPs 0.5 mL จึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX ได้ผลดังรูปที่ 4.24 โดยตัวที่นำมาศึกษา EDX จะเป็นปริมาตร 0.5 ml จากรูป พบว่าเกิดพีคของ Au และ Pt สามารถยืนยันได้ว่า Au-Pt BNPs จะมีธาตุ Au และ Pt เป็นองค์ประกอบ โดยจะมีพีคของทองแดงและเหล็กเกิดขึ้นเนื่องมาจากว่ามีการใช้กริดในขั้นตอนของการเตรียมตัวอย่าง และจะมีพีคของคาร์บอน ออกซิเจนและโซเดียมเกิดขึ้นเพราะว่าเป็นธาตุในองค์ประกอบของสาร ซึ่งเหตุผลที่มีการเลือกใช้ปริมาตร 0.5 ml เพราะว่าหากใช้ปริมาตรที่มากกว่านี้จะส่งผลให้สารละลายเกิดการตกตะกอนได้



รูปที่ 4.24 ผลของการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค EDX

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

ในโครงงานพิเศษนี้ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยวิธีของเทอร์เควิช โดยได้ทำการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน โดยความเข้มข้นที่ใช้ในการสังเคราะห์คือ 15 mM โดยที่จะมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 530 nm หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM พบว่าขนาดของอนุภาคลักษณะคล้ายทรงกลม เกิดการกระจายตัวของอนุภาคได้ดีและไม่มีการเกาะกลุ่มกันเป็นก้อน ซึ่งจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 31-35 nm ต่อมานำไปวิเคราะห์ด้วย FTIR เพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสาร พบว่ามีสเปกตรัมของไตรโซเดียมซิเตรทที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 3446 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ O-H สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่น เท่ากับ 1581 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบ ยืดหดของพันธะ C=O สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1415 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-O สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1157 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-C และสเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1078 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ C-O และจะปรากฏสเปกตรัมของอนุภาคทองระดับนาโนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดยจะปรากฏสเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 3410 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ O-H สเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 1610 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C=O สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1396 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-O เมื่อนำสเปกตรัมของไตรโซเดียมซิเตรทและอนุภาคทองระดับนาโนมาเปรียบเทียบกัน ทำให้เห็นได้ชัดว่าสเปกตรัมทั้งสองใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer พบว่าจะมีค่า 2θ เท่ากับ 38.65° 45.87° 65.12° และ 77.15° และสุดท้ายนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX เพื่อเป็นการยืนยันผล พบว่า มีพีคของทองเกิดขึ้น สามารถสรุปได้ว่าอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีทองเป็นองค์ประกอบอยู่จริง

ต่อมาได้ทำการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลาย PDADMAC สำหรับการปรับปรุงพื้นผิวอนุภาคทองระดับนาโน โดยความเข้มข้นที่เหมาะสมที่จะต้องใช้ในการสังเคราะห์ คือ 0.1 M โดยจะมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดเท่ากับ 532 nm หลังจากนั้นนำไปวัดศักย์ซีต้า พบว่า ในตอนแรกที่ยังไม่ถูกปรับปรุงพื้นผิวจะมีค่าศักย์ซีต้าเท่ากับ -39.00 mV แต่เมื่อทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยสารละลาย PDADMAC จะทำให้ค่าศักย์ซีต้ามีค่าเป็นบวกเพิ่มมากขึ้นโดยมีค่าเท่ากับ 25.32 27.33 31.34 44.47 47.76 และ 46.53 mV หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM พบว่าขนาดของอนุภาคลักษณะคล้ายทรงกลม ซึ่งจะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วง 26-30 nm ต่อมานำไปวิเคราะห์ด้วย FTIR เพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสาร พบว่ามีพีคสเปกตรัม PDADMAC ปรากฏที่เลขคลื่นเท่ากับ 3396 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ O-H สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1635 , 1465 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ C-H สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1176 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-N และสเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1109 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-C และมีพีคสเปกตรัม AuNPs-PDADMAC ปรากฏที่เลขคลื่น 3450 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ O-H

สเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1734 และ 1384 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของพันธะ C-H และสเปกตรัมที่ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 1078 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-N เมื่อนำสเปกตรัมของ PDADMAC และ AuNPs-PDADMAC มาเปรียบเทียบกัน ทำให้เห็นได้ชัดว่าสเปกตรัมทั้งสองใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer พบว่าจะมีค่า 2θ เท่ากับ 38.68° 45.70° 65.14° และ 77.94° และสุดท้ายจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX เพื่อเป็นการยืนยันผล จะพบได้ว่า มีพีคของทองเกิดขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่าสารละลาย PDADMAC ถูกนำมาใช้เป็นตัวปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโน

หลังจากนั้นได้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนโดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชันของโซเดียมโบโรไฮไดร์ด และมีการใช้สารละลายโพลีอะคริลิคแอซิดเป็นสารรักษาสเถียรภาพ โดยที่ความเข้มข้นที่เหมาะสมของ PAA ที่ได้ทำการศึกษา คือ 0.1 mM ซึ่งถูกนำมาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม โดยจะมีการนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงซึ่งผลที่จะไม่ปรากฏพีคของการดูดกลืนแสง หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM พบว่าอนุภาคจะมีขนาดเล็กคล้ายทรงกลม ต่อมานำไปวิเคราะห์ด้วย FTIR เพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสาร พบว่ามีพีคสเปกตรัม PAA ปรากฏที่เลขคลื่นเท่ากับ 1697 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ C=O สเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่นเท่ากับ 1446 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอ (Bending) ของพันธะ C-H สเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่น 1166 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-O สเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่น 1103 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของพันธะ C-C และสเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่น 792 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของพันธะ O-H และมีพีคอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่ปรากฏสเปกตรัมที่เลขคลื่นเท่ากับ 3404 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ O-H สเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่นเท่ากับ 1631 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C=O สเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่น 1346 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของพันธะ C-H สเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่น 1130 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ C-O และสเปกตรัมปรากฏที่เลขคลื่น 945 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของพันธะ O-H เมื่อนำสเปกตรัมของ PAA และ อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน มาเปรียบเทียบกัน ทำให้เห็นได้ชัดว่าสเปกตรัมทั้งสองใกล้เคียงกัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer พบว่าจะมีค่า 2θ เท่ากับ 40.14° 45.84° และ 68.44° และสุดท้ายจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX เพื่อเป็นการยืนยันผล จะพบได้ว่ามีพีคของแพลทินัมเกิดขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่าอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่สังเคราะห์ขึ้นมาได้จะมีแพลทินัมเป็นองค์ประกอบอยู่จริง

สุดท้ายจะเป็นศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม โดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นบนพื้นผิวของอนุภาค และได้ทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของอนุภาคแพลทินัมระดับอนุภาคนาโนสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม โดยสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้สำหรับในการสังเคราะห์ คือ 0.5 mL เนื่องจากเป็นปริมาตรที่ไม่เกิดการตกตะกอนของสารละลาย ซึ่งมีค่าความยาวคลื่นสูงสุดมีค่าเท่ากับ 532 nm หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM พบว่าอนุภาคของแพลทินัมระดับนาโนไม่เกิดการเกาะบนอนุภาคของทองระดับนาโน ต่อมานำไปวิเคราะห์ด้วย FTIR เพื่อวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสาร พบว่ามีพีคสเปกตรัมอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม ปรากฏเลขคลื่นเท่ากับ 3412 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นแบบยืดหด (Stretching) ของพันธะ O-H สเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 1631 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืด

หดของพันธะ C=O และสเปกตรัมที่มีเลขคลื่นเท่ากับ 1396 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบยืดหดของพันธะ -COOH เมื่อนำสเปกตรัมของอนุภาคทองระดับนาโน อนุภาคแพลทินัมระดับนาโน และอนุภาคนาโนโลหะผสมของทองและแพลทินัม มาเปรียบเทียบกัน ทำให้เห็นได้ชัดว่าสเปกตรัมทั้งสามสอดคล้องกัน หลังจากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-Ray Diffractometer พบว่ามีระนาบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ขึ้นที่ระนาบ [111] [200] [220] และ [311] โดยจะมีโครงสร้างเป็นแบบ FCC และสุดท้ายจะนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX เพื่อเป็นการยืนยันผล พบว่ามีพีคของ Au และ Pt เกิดขึ้นจึงสามารถยืนยันได้ว่า Au-Pt BNPs จะมีธาตุ Au และ Pt เป็นองค์ประกอบ

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาในขั้นตอนของการสังเคราะห์อนุภาคนาโนโลหะผสมทองและแพลทินัม พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นมีค่าต่ำ จึงทำให้มีปริมาณของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโนมาเกาะที่พื้นผิวน้อย ส่งผลทำให้เมื่อทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของสารด้วยเครื่อง FTIR จึงทำให้ไม่พบพีคของสาร

ควรศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารละลาย PAA ที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนในช่วงของความเข้มข้นที่ลดลง คือ ศึกษาตั้งแต่ความเข้มข้น 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 mM ตามลำดับ เนื่องจากถ้าความเข้มข้นของ PAA ที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคแพลทินัมระดับนาโนมีค่าความเข้มข้นที่ลดลง จะส่งผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร. 2562. **วัสดุผสม.** [Online]. Available : http://www.mut.ac.th/research-detail-52

[2] Y. Shang, C. Min, J. Hu, T.Wang, H. Liu and Y. Hu, 2013. **Synthesis of gold nanoparticles by reduction of $HAuCl_4$ under UV irradiation.** Solid State Sciences, 15 , 17-23.

[3] สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. **การเคลือบฟิล์มบางแบบสปัตเตอริ่ง.** [Online]. Available : https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/262_MT10_75.pdf

[4] L. Zhao, P. Thomas, F. Heinig, M. Abd-Ellah and X. Wanga 2014. **Au–Pt alloy nanocatalysts for electro-oxidation of methanol and their application for fast-response non-enzymatic alcohol sensing.** Journal of Materials Chemistry C, Issue 15.

[5] C. McKeowna and F.Rhena. **Pt-Au Film Catalyst for Formic Acid Oxidation.** Procedia Engineering, 215 (2017) 211–218

[6] **วัสดุนาโนโลหะผสม.** [Online]. Available : https://en.wikipedia.org/wiki/Nanocomposite

[7] **Nanolayers composite.** [Online]. Available : https://pubsapp.acs.org/cen/science/88/8802scic8.html

[8] C. Czahor, IE. Anderson, TM. Riedemann and AM. Russell. 2017 **Deformation processed Al/Ca nano-filamentary composite conductors for HVDC applications.** Materials Science and Engineering 219.

[9] F. Zhao, D. Yao, R. Guo, L. Deng, A. Dong and J. Zhang. **Composites of Polymer Hydrogels and Nanoparticulate Systems for Biomedical and Pharmaceutical Applications.** Nanomaterials 2015, 5(4), 2054-2130

[10] **Nanocomposites, their Uses and Applications.** [Online]. Available : https://www.understandingnano.com/nanocomposites-applications.html

[11] P. Srinoi, Y. Chen, V. Vittur, Maria D. Marquez, and T. Randall Lee. 2018. **Bimetallic Nanoparticles: Enhanced Magnetic and Optical Properties for Emerging Biological Applications.**
Emerging Biological Applications

[12] Y. Zhao, C. Ye, W. Liu, R. Chen and X. Jiang. 2014. **Tuning the Composition of AuPt Bimetallic Nanoparticles for Antibacterial Application.** 8127- 8131.

[13] X. Cao , N. Wangb, S. Jia, L. Guo and K. Li. 2013. **Bimetallic AuPt nanochains: Synthesis and their application in electrochemical immunosensor for the detection of carcinoembryonic antigen.** Biosensors and Bioelectronics , 226–230.

[14] N. Peter, N. Luo, L. Wang, M. Mathew, M. Huzaifa Quaizar and C. Jian Zhong. 2005 **Platinum-Catalyzed Synthesis of Water-Soluble Gold–Platinum Nanoparticles**. 21, 4, 1623-1628.

[15] A. Pal, S. Shaha, S. Belochapkine , D.Tanner, E. Magner and S. Devi, 2009. **Room temperature synthesis of platinum nanoparticles in water-in-oil microemulsion.** Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects, 337 205–207

[16] K. Shim, L. Won-Chul. H. Yoon-Uk, M. Shahabuddin, P. Min-Sik , M. Hossain and J. Ho Kim. 2019. **Rationally designed bimetallic Au@Pt nanoparticles for glucose oxidation**. Scientific Reports.

[17] F. Fan, J. Zhangc, J. Lic, N. Zhang, R. Hong, X. Deng, P.Tang and D. Li. 2017. **Hydrogen sensing properties of Pt-Au bimetallic nanoparticles loaded on ZnO nanorods.** Sensors and Actuators B: Chemical , Volume 241, 31 March 2017, 895-903.

[18] A. Olajire and E. Omolola Adesina. 2017 **Green Approach to Synthesis of Pt and Bimetallic Au@Pt Nanoparticles Using Carica Papaya Leaf Extract and Their Characterization.** J Nanostruct 7(4) , 338-344.

[19] Y. Yi-Cheun, B. Creran and V. Rotello. 2012. **Gold nanoparticles: preparation, properties, and applications in bionanotechnology.** Nanoscale, 4, 1871.

[20] K. Shittu , M. Bankole, A. Abdulkareem, O. Abubakre and A. Ubaka. 2017 **Application of gold nanoparticles for improved drug efficiency.** Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.

[21] อภิวัฒน์ ชมภูสอ. 2019. **วิธีการสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ในการนำมารักษาโรคมะเร็ง.** [Online]. Available : http://scijournal.kku.ac.th/files/Vol_41_No_4_P_859-872.pdf

[22] Y. Shang, C. Min, J. Hu, T. Wang, H. Liu and Y.Hu. 2013 **Synthesis of gold nanoparticles by reduction of $HAuCl_4$ under UV irradiation.** Solid State Sciences Volume 15, January 2013 , 17-23.

[23] J. Maciejewska-Prończuk, M. Oćwieja, Z. Adamczyk and A. Pomorska. 2019. **Formation of gold nanoparticle bilayers on gold sensors.** , Colloids and Surface A 560 , (2019) 393-401.

[24] M. Sharon, I. Nandgavkar and M. Sharon. 2017. **Platinum nanocomposites and its applications: A review.** Advances in Materials Research, Vol. 6, No. 2 (2017) 129-153

[25] X. Wang, X. Niu, H. Sha, F. Shi, W. Chen, D. Ma and W. Sun. 2016. **Application of Platinum Nanoparticles Decorated Three-Dimensional Graphene Modified Electrode for Methanol Electrooxidation.** Electrochem Sci., 11 (2016) , 7395 – 7400.

[26] M. Reza, M. Hosseinia, H. Jamalabadi and M. Najafi. 2013. **A new application of functionalized platinum nanoparticles as chemiresistor coating.** Measurement Volume 46, Issue 9, November 2013, 3328-3332.

[27] A.Thirumurugan, P. Aswitha, C. Kiruthika, S. Nagarajan and A. Nancy Christy, 2016. **Green synthesis of platinum nanoparticles using Azadirachta indica – An eco-friendly approach.** Materials Letters, 170 (2016) 175-178.

[28] A. Pal, S. Shaha, S. Belochapkine , D.Tanner, E. Magner and S. Devi. 2009. **Room temperature synthesis of platinum nanoparticles in water-in-oil microemulsion.** Colloids and Surfaces A:Physicochemical and Engineering Aspects, 337 (2009) 205–207.

[29] **เทคนิค Layer-by-Layer.** [Online]. Available : http://www.sc.mahidol.ac.th/scpy/QSURE2015/courses_offered.htm

[30] N. Du, H. Zhang, B. D. Chen, X. Y. Ma, Z. H. Liu, J. B. Wu and D. R. Yang. 2006 **Porous Indium Oxide Nanotubes: Layer-by-Layer Assemblyon Carbon-Nanotube Templates and Applicationfor Room-Temperature NH_3Gas Sensors.** Advanced Materials , (2006)

[31] M. Nasim Hyder, S. Woo Lee, F. C-Cebeci, D. Schmidt, Y. ShaoHorn and P.Hammond. 2011. **Layer-by-Layer Assembled Polyaniline Nanofiber/Multiwall Carbon Nanotube Thin Film Electrodes for High-Power and High-Energy Storage Applications.** (2011) , 8552-8561.

[32] I. Pastoriza-Santos, D. Koktysh, A. Mamedov, M. Giersig, N. Kotov and L. Liz-Marza´n. 2000 **One-Pot Synthesis of Ag@TiO_2 Core-Shell Nanoparticlesand Their Layer-by-Layer Assembly.** Langmuir 2000, 16, 2731-2735.

[33] V. Valtchev and S. Mintova. 2001. **Layer-by-layer preparation of zeolite coatings of nanosized crystals.** Microporous and Mesoporous Materials ,Volume 43, Issue 1, March 2001, 41-49.

[34] **UV-vis spectrophophotometer.** [Online]. Available : http://www.mwit.ac.th/~sarawoot/chem40235.htm

[35] **ส่วนประกอบของเครื่อง UV-vis spectrophophotometer.** [Online]. Available : http://Commons.wikimedia.org/wiki/File:Schematic_of_UV_visible_spectrophotometer.png

[36] **ค่าศักย์ซีต้า.** [Online]. Available : http://digi.library.tu.ac.th/thesis/st/0436/03chapter2.pdf

[37] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. **กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscopy; TEM).** [Online]. Available : https://il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html

[38] **ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.** [Online]. Available : https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%88%E0%B8%B8%E0%B8%A5%E0%B8%97%E0%B8%A3%E0%B8%A3%E0%B8%A8%E0%B8%99%E0%B9%8C%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%A5%E0%B9%87%E0%B8%81%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%AD%E0%B8%99

[39] ซินโครตรอนไทยแลนด์. **เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared (IR) Spectroscopy).** [Online]. Available : https://www.slri.or.th/th/beamline/bl41.html?fbclid=IwAR3BwV9EOVPzmY9lWXbRLhB_KI_R_WY4r6-8CFaZLkUEgkFEOS41wEYhakA

[40] **ส่วนประกอบของเครื่อง** FTIR. [Online]. Available : http://www.seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/PPT%20MTT%20656%20Polymer%20Charact_spectroscopy.pdf

[41] ซินโครตรอนไทยแลนด์. **เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared (IR) Spectroscopy).** [Online]. Available : https://www.slri.or.th/th/beamline/bl41.html?fbclid=IwAR3BwV9EOVPzmY9lWXbRLhB_KI_R_WY4r6-8CFaZLkUEgkFEOS41wEYhakA

[42] ซินโครตรอนไทยแลนด์. **ส่วนประกอบของเครื่อง FTIR.** [Online]. Available : https://www.slri.or.th/th/beamline/bl41.html?fbclid=IwAR3BwV9EOVPzmY9lWXbRLhB_KI_R_WY4r6-8CFaZLkUEgkFEOS41wEYhakA

[43] N. Pan, W. Li-Ying, W. Liang-Liang, P. Chi-Fang and X. Zheng-Jun. **Colorimetric determination of cysteine by exploiting its inhibitory action on the peroxidase-like activity of Au@Pt core-shell nanohybrids.** Microchim Acta DOI 10.1007/s00604-016-1981-6

[44] C. McKeowna and F. Rhena. 2017. **Pt-Au Film Catalyst for Formic Acid Oxidation.** Procedia Engineering volume 215 , (2017) 211-218.

[45] L. Zhao, J. Thomas, N. Heinig, M. Abd-Ellah, X. Wang and K. T. Leung.2014. **Au–Pt alloy nanocatalysts for electro-oxidation of methanol and their application for fast-response non-enzymatic alcohol sensing.** Journal of Meterials Chemistry Issue 15.

[46] A. Shah, L. Rahman and R. Qureshi 2012. **Syhthesis Charecterization And Applications Of Bimettalic (Au-Ag, Au-Pt, Au-Ru) Alloy Nanoparticles.** Material Science 30 , (2012) , 133-149.

[47] I. Ojea-Jime´nez, F. Romero, N. Bastu and V. Puntes. 2010. **Small Gold Nanoparticles Synthesized with Sodium Citrate and Heavy Water: Insights into the Reaction Mechanism.** The Journal of Physical Chemistfy, 114 (2010) 1800–1804.

[48] S. Link and M. El-Sayed. 1999. **Size and Temperature Dependence of the Plasmon Absorption of Colloidal Gold Nanoparticles.** The Journal of Physical Chemistry, 103 (1999) 4212-4217.

[49] **กราฟอ้างอิง FTIR ของอนุภาคทองระดับนาโน.** [Online]. Available : http://www.ijfrcsce.org/download/browse/Volume_4/April_18_Volume_4_Issue_4/1524379024_22-04-2018.pdf

[50] **กราฟอ้างอิง XRD ของอนุภาคทองระดับนาโน.** [Online]. Available : https://www.researchgate.net/publication/269414028_Yucca-derived_synthesis_of_gold_nanomaterial_and_their_catalytic_potential

[51] N. Shalkevich, A. Shalkevich, L. Si-Ahmed and T. Bürgi. 2009. **Reversible formation of gold nanoparticle–surfactant composite assemblies for the preparation of concentrated colloidal solutions.** Physical Chemistry Chemical Physics, (2009).

[52] **กราฟอ้างอิง XRD ของสารละลาย PDADMAC.** [Online]. Available : https://www.researchgate.net/figure/XRD-spectra-of-PDADMAC-nanocomposite-Inset-represents-XRD-spectra-of-pure-PDADMAC_fig1_289571681

[53] **กราฟอ้างอิง FTIR ของ Poly(acrylic acid).** [Online]. Available :
https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2014/tb/c4tb01356e/unauth#!divAbstract
[54] **กราฟอ้างอิง XRD ของอนุภาคแพลทินัมระดับนาโน.** [Online]. Available :
https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2043-6262/3/2/025005

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การเตรียมสารละลาย

เตรียมสารละลายเตเตระคลอโรออเรทไตรไฮเดรต ($HAuCl_4.3H_2O$) ความเข้มข้น 1.0 mM ปริมาตร 250 ml.

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

$$\frac{g}{393.38\ g/mol} = \frac{(1\times10^{-3}M)(250\ ml)}{1000}$$

$$g = 0.0985\ g.$$

ดังนั้น ชั่งน้ำหนักของไฮโดรเจรเตเตระคลอโรออเรท 0.0985 กรัม ละลายและปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตร 250 ml ด้วยน้ำปราศจากไอออน (DI watwe) จะได้สารละลายไฮโดรเจนเตเตระคลอโรออเรทความเข้มข้น 1.0 mM ปริมาตร 250 ml

เตรียมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 15 mM ปริมาตร 100 ml.

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

$$\frac{g}{294.10\ g/mol} = \frac{(15\times10^{-3}M)(100\ ml)}{1000}$$

$$g = 0.4412\ g.$$

การหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารละลายโพลีไดแอลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDADMAC) ความเข้มข้น 1.0 mM

ที่ความเข้มข้น 1.0 M

$$C = \frac{\%10d}{Mw}$$

$$C = \frac{(20)(10)(1.04)}{161.5}$$

$$C = 1.287\ M$$

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(1.287)(V_1) = (1M)(25\ ml)$$
$$V_1 = 19.43\ ml$$

ที่ความเข้มข้น 0.3 M
$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(1.0\ M)(V_1) = (0.3\ M)(50\ ml)$$
$$V_1 = 15\ ml$$

ที่ความเข้มข้น 0.2 M
$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(0.3\ M)(V_1) = (0.2\ M)(50\ ml)$$
$$V_1 = 33.33\ ml$$

ที่ความเข้มข้น 0.1 M
$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(0.2\ M)(V_1) = (0.1\ M)(50\ ml)$$
$$V_1 = 25\ ml$$

ที่ความเข้มข้น 0.02 M
$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(0.1\ M)(V_1) = (0.02\ M)(50\ ml)$$
$$V_1 = 10\ ml$$

ที่ความเข้มข้น 0.01 M
$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(0.02\ M)(V_1) = (0.01\ M)(50\ ml)$$
$$V_1 = 25\ ml$$

ที่ความเข้มข้น 0.005 M
$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(0.01\ M)(V_1) = (0.005\ M)(50\ ml)$$
$$V_1 = 25\ ml$$

ที่ความเข้มข้น 0.001 M
$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(0.005\ M)(V_1) = (0.001\ M)(50\ ml)$$
$$V_1 = 10\ ml$$

ที่ความเข้มข้น 0.0001 M
$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(0.001\ M)(V_1) = (0.0001\ M)(50\ ml)$$

$$V_1 = 5 \text{ ml}$$

ที่ความเข้มข้น 0.00001 M

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(0.0001 \text{ M})(V_1) = (0.00001 \text{ M})(50 \text{ ml})$$

$$V_1 = 5 \text{ ml}$$

การเตรียมสารละลายคลอโรแพลทินิคแอซิดไฮเดรต ($H_2Cl_4Pt.XH_2O$) 10 mM

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

$$\frac{g}{409.81 \text{ g/mol}} = \frac{(10\times10^{-3}\text{mM})(25 \text{ ml})}{1000}$$

$$g = 0.1025 \text{ g.}$$

การเตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) 50 mM

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

$$\frac{g}{37.83 \text{ g/mol}} = \frac{(50\times10^{-3}\text{mM})(25 \text{ ml})}{1000}$$

$$g = 0.0472 \text{ g.}$$

การเตรียมสารละลายโพลีอะคริริคแอซิด (PAA) 10 mM

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

$$\frac{g}{72.00 \text{ g/mol}} = \frac{(10\times10^{-3}\text{mM})(50 \text{ ml})}{1000}$$

$$g = 0.0360 \text{ g.}$$

สังเคราะห์สารละลายแพลทินัมที่สภาวะ Pt : PAA : $NaBH_4$ = 1:0.1:5 mM ปริมาตร 25 ml

เตรียมสารละลาย Pt ความเข้มข้น 1 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (1\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

เตรียมสารละลาย PAA ความเข้มข้น 0.1 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (0.1\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 0.25\ ml$$

เตรียมสารละลาย $NaBH_4$ ความเข้มข้น 5 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(50\ mM)(V_1) = (5\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

ปริมาตรน้ำที่ใช้ คือ 25 - 2.5 - 0.25 - 2.5 ml = 19.75 ml

สังเคราะห์สารละลายแพลทินัมที่สภาวะ Pt : PAA : $NaBH_4$ = 1:0.5:5 mM ปริมาตร 25 ml

เตรียมสารละลาย Pt ความเข้มข้น 1 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (1\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

เตรียมสารละลาย PAA ความเข้มข้น 0.5 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (0.5\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 1.25\ ml$$

เตรียมสารละลาย $NaBH_4$ ความเข้มข้น 5 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(50\ mM)(V_1) = (5\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

ปริมาตรน้ำที่ใช้ คือ 25 - 2.5 – 1.25 - 2.5 ml = 18.75 ml

สังเคราะห์สารละลายแพลทินัมที่สภาวะ Pt : PAA : $NaBH_4$ = 1:1:5 mM ปริมาตร 25 ml

เตรียมสารละลาย Pt ความเข้มข้น 1 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (1\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

เตรียมสารละลาย PAA ความเข้มข้น 1 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (1\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

เตรียมสารละลาย $NaBH_4$ ความเข้มข้น 5 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(50\ mM)(V_1) = (5\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

ปริมาตรน้ำที่ใช้ คือ 25 - 2.5 – 2.5 - 2.5 ml = 17.75 ml

สังเคราะห์สารละลายแพลทินัมที่สภาวะ Pt : PAA : $NaBH_4$ = 1:2:5 mM ปริมาตร 25 ml

เตรียมสารละลาย Pt ความเข้มข้น 1 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (1\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

เตรียมสารละลาย PAA ความเข้มข้น 2 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (2\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 5\ ml$$

เตรียมสารละลาย $NaBH_4$ ความเข้มข้น 5 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(50\ mM)(V_1) = (5\ mM)(25\ ml)$$
$$(V_1) = 2.5\ ml$$

ปริมาตรน้ำที่ใช้ คือ 25 - 2.5 - 5 - 2.5 ml = 15 ml

สังเคราะห์สารละลายแพลทินัมที่สภาวะ Pt : PAA : $NaBH_4$ = 1:3:5 mM ปริมาตร 25 ml

เตรียมสารละลาย Pt ความเข้มข้น 1 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (1\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

เตรียมสารละลาย PAA ความเข้มข้น 3 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (3\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 7.5\ ml$$

เตรียมสารละลาย $NaBH_4$ ความเข้มข้น 5 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(50\ mM)(V_1) = (5\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

ปริมาตรน้ำที่ใช้ คือ 25 - 2.5 - 7.5 - 2.5 ml = 12.50 ml

สังเคราะห์สารละลายแพลทินัมที่สภาวะ Pt : PAA : $NaBH_4$ = 1:4:5 mM ปริมาตร 25 ml

เตรียมสารละลาย Pt ความเข้มข้น 1 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (1\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

เตรียมสารละลาย PAA ความเข้มข้น 4 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (4\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 10\ ml$$

เตรียมสารละลาย $NaBH_4$ ความเข้มข้น 5 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(50\ mM)(V_1) = (5\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

ปริมาตรน้ำที่ใช้ คือ 25 - 2.5 - 10 - 2.5 ml = 10 ml

สังเคราะห์สารละลายแพลทินัมที่สภาวะ Pt : PAA : $NaBH_4$ = 1:5:5 mM ปริมาตร 25 ml

เตรียมสารละลาย Pt ความเข้มข้น 1 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (1\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

เตรียมสารละลาย PAA ความเข้มข้น 5 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(10\ mM)(V_1) = (5\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 12.5\ ml$$

เตรียมสารละลาย $NaBH_4$ ความเข้มข้น 5 mM

$$C_1V_1 = C_2V_2$$
$$(50\ mM)(V_1) = (5\ mM)(25\ ml)$$
$$V_1 = 2.5\ ml$$

ปริมาตรน้ำที่ใช้ คือ 25 - 2.5 - 12.5 - 2.5 ml = 7.50 ml

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวปริญญาภรณ์ เกิดหมื่นไวย
(Ms. Parinyaphon Koedmuenwai)

วัน เดือน ปีเกิด 4 กรกฎาคม 2540

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2557 โรงเรียนสุรนารีวิทยา ๒ จ.นครราชสีมา

ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเก้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ-สกุล นางสาวพชรภา สิงลี
(Ms. Pacharapa Singlee)

วัน เดือน ปีเกิด 13 พฤษภาคม 2540

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย ปีการศึกษา 2557 โรงเรียนสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ

ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง