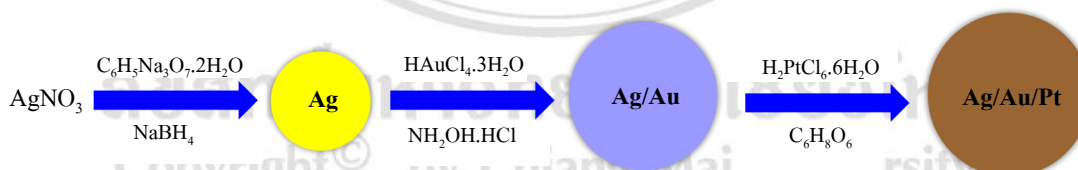


บทที่ 3

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ผลการเตรียมอนุภาคนาโนผสมของเงิน ทองคำ และแพลทินัม

อนุภาคนาโนผสมของเงิน ทองคำ และ แพลทินัม (Ag/Au/Pt) สามารถเตรียมได้ด้วยวิธีรีดักชันแบบลำดับขั้น ซึ่งเริ่มต้นจากการเตรียมอนุภาคนาโนเงินขึ้นมาก่อน โดยการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) ด้วยสารละลายโซเดียมซเตรทไตรเบสิกไดไฮเดรต ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) [16] ต่อจากนั้นนำอนุภาคนาโนเงินที่ได้ผสมกับสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรออร์เตไตรไฮเดรต ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) และตัวรีดิวซ์คือ สารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์ ($\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$) เพื่อทำการรีดิวซ์ให้ทองคำเกาะอยู่กับอนุภาคนาโนเงิน [29] หลังจากนั้นนำอนุภาคนาโนผสมของเงินและทองคำ (Ag/Au) ที่ได้ผสมกับสารละลายเฮกซะคลอโรแพลทินิกโฟสเฟตเฮกซะไฮเดรต ($\text{H}_2\text{PtCl}_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) แล้วเติมสารละลายกรดแอสคอร์บิก ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$) เพื่อทำการรีดิวซ์ให้แพลทินัมเกาะกับอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au [20] สามารถสรุปแผนภาพได้ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 การเตรียมอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ด้วยวิธีการรีดักชันแบบลำดับขั้น

เมื่อทำการเตรียมอนุภาคนาโนเงิน โดยเติมสารละลายโซเดียมซเตรทไตรเบสิกไดไฮเดรต และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ลงในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท พบว่า จากสารละลายสีไม่มีสีเปลี่ยนเป็นสารละลายสีเหลืองใส ดังภาพที่ 3.2 ซึ่งสันนิษฐานว่าการเปลี่ยนพฤติกรรมทางแสงนี้แสดงการเกิดขึ้นของอนุภาคนาโนเงิน โดยที่เงินที่มีเลขออกซิเดชันเป็นบวก (Ag^+) จะมีเลขออกซิเดชันลดลงเป็นศูนย์ (Ag^0) ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen และ คณะ [16] และ Solomon และ คณะ [79]

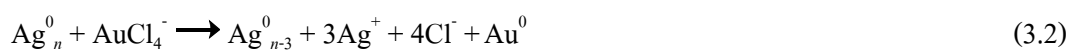


ภาพที่ 3.2 สีของสารละลายของอนุภาคนาโนเงินที่เตรียมได้

อนุภาคนาโนเงินที่ได้ถูกนำไปเตรียมอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au โดยใช้สารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์เป็นตัวรีดิวซ์ของสารละลายไฮโดรเจนเตระคลอโรอูเรตไตรไฮเดรต เมื่อเติมสารละลายไฮดรอกซิลามีนไฮโดรคลอไรด์และสารละลายไฮโดรเจนเตระคลอโรอูเรตไตรไฮเดรตลงในอนุภาคนาโนเงิน พบว่า มีการเปลี่ยนสีของสารละลายจากสีเหลืองใสเป็นสารสีน้ำเงินอมม่วง ดังภาพที่ 3.3 ซึ่งสันนิษฐานว่าการเปลี่ยนแปลงของสีดังกล่าวนี้เป็นสมบัติทางแสงที่แสดงถึงการเกิดของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au โดยทองคำมีเลขออกซิเดชันลดลงเป็นศูนย์ (Au^0) และเกิดอนุภาคนาโนทองคำเกาะบนผิวของอนุภาคนาโนเงิน ดังสมการที่ 3.1 ในขณะเดียวกันนี้ อนุภาคนาโนเงิน (Ag^0) บางส่วนจะถูกออกซิไดซ์เป็น Ag^+ ดังสมการที่ 3.2 [80]

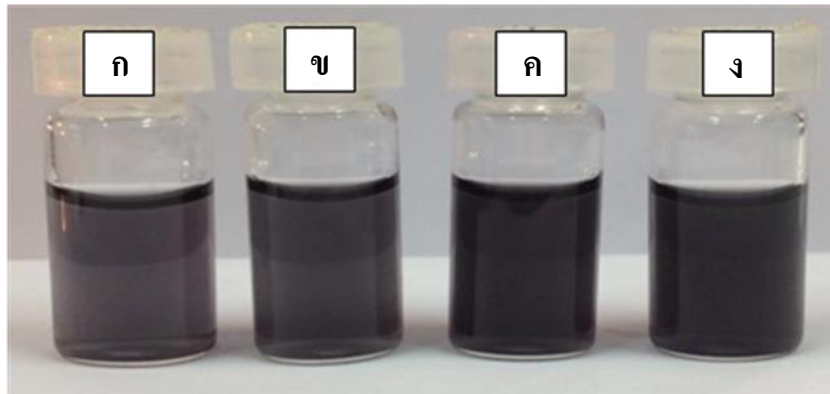


ภาพที่ 3.3 สีของสารละลายของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au ที่เตรียมได้



อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au ที่ได้ถูกนำไปเตรียมอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt โดยใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นตัวรีดิวซ์ของสารละลายเฮกซะคลอโรแพลทินิกโฟแอซิดเฮกซะไฮเดรต เมื่อเติม

สารละลายกรดแอสคอร์บิกและสารละลายเฮกซะคลอโรแพลตินิกโฟแอซิดเฮกซะไฮเดรตลงในอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au พบว่า สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีน้ำเงินอมม่วงกลายเป็นสีดำ ดังภาพที่ 3.4 ซึ่งสันนิษฐานว่าสีของสารละลายดังกล่าวที่เปลี่ยนแปลงไปนี้เป็นสมบัติทางแสงที่แสดงการเกิดอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt โดยที่แพลทินัมมีเลขออกซิเดชันลดลงเป็นศูนย์ (Pt⁰) เกิดอนุภาคนาโนแพลทินัมเกาะบนผิวของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au และในขณะเดียวกันนี้ อนุภาคนาโนเงิน (Ag⁰) บางส่วนอาจจะถูกออกซิไดซ์เป็น Ag⁺ ดังสมการที่ 3.3 [21, 41]



ภาพที่ 3.4 สีของสารละลายของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่เตรียมได้ เมื่อมีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น (ก) 0.4 (ข) 0.8 (ค) 1.0 และ (ง) 1.2 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.5 สีของสารละลายของอนุภาคนาโนแพลทินัมที่เตรียมได้

สำหรับการเตรียมอนุภาคนาโนแพลทินัมโดยใช้สารละลายของกรดแอสคอร์บิกเป็นตัวรีดิวซ์ของสารละลายเฮกซะคลอโรแพลตินิกโฟแอซิดเฮกซะไฮเดรต เมื่อเติมสารละลายกรดแอสคอร์บกลงในสารละลายเฮกซะคลอโรแพลตินิกโฟแอซิดเฮกซะไฮเดรต พบว่า จากสารละลายสีเหลืองใสกลายเป็นสีน้ำตาลใส ดังภาพที่ 3.5 ซึ่งสันนิษฐานว่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นดังกล่าวนี้เป็น

สมบัติทางแสงที่แสดงการเกิดเป็นอนุภาคนาโนแพลทินัม โดยที่แพลทินัมมีเลขออกซิเดชันลดลงเป็นศูนย์ (Pt^0) [19] และจะเห็นได้ว่าสีของสารละลายของอนุภาคนาโนแพลทินัมที่เตรียมได้จะแตกต่างจากสีของสารละลายของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt (ภาพที่ 3.4)

ส่วนการเตรียมอนุภาคนาโนทองคำโดยใช้สารละลายโซเดียมซิงเตรทไตรเบสิกไดไฮดรตเป็นตัวรีดิวซ์ของสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรออร์เตไตรไฮดรต เมื่อเติมสารละลายโซเดียมซิงเตรทไตรเบสิกไดไฮดรตลงในสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรออร์เตไตรไฮดรต พบว่า จากสารละลายสีเหลืองใสเปลี่ยนเป็นสีแดงเข้มใส ดังภาพที่ 3.6 ซึ่งสันนิษฐานว่าการเปลี่ยนสีดังกล่าวนี้เป็นสมบัติทางแสงที่แสดงการเกิดเป็นอนุภาคนาโนทองคำ โดยที่ทองคำมีเลขออกซิเดชันลดลงเป็นศูนย์ (Au^0) เนื่องจากมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Feng และ คณะ [20]



ภาพที่ 3.6 สีของสารละลายของอนุภาคนาโนทองคำที่เตรียมได้

3.2 ผลการศึกษาลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนผสมของเงิน ทองคำ และแพลทินัม

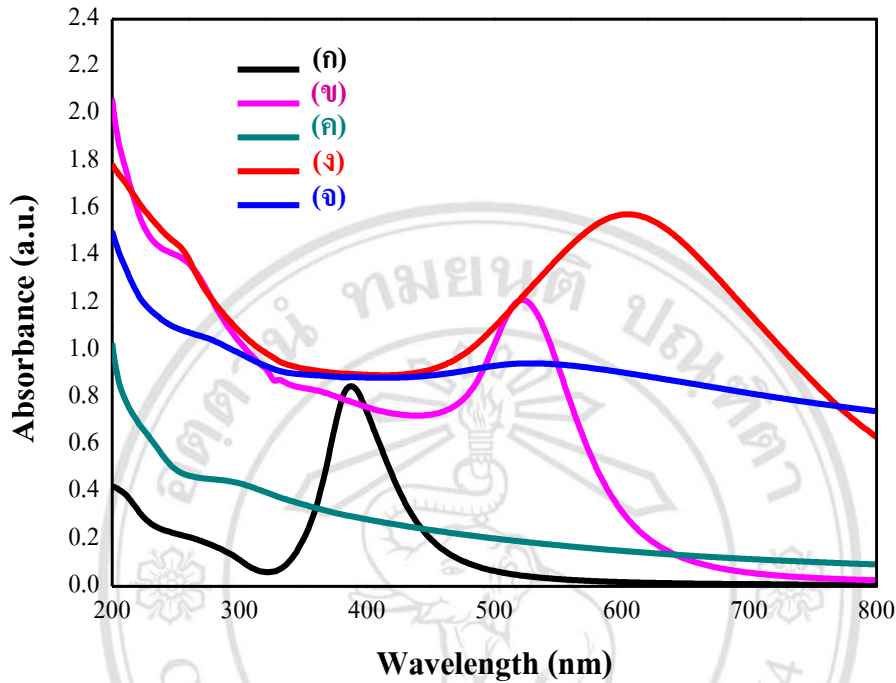
3.2.1 ผลการศึกษาสมบัติทางแสง

การศึกษาสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคอัลตราไวโอเลตและวิลิเบิลสเปกโทรสโกปีให้ผลแสดงดังภาพที่ 3.7 และ 3.8

จากภาพที่ 3.7ก พบว่า สเปกตรัมในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิลิเบิลของอนุภาคนาโนเงินมีพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร ซึ่งเป็นเซอร์เฟจ พลาสมอน เรโซแนนซ์ของอนุภาคนาโนเงินและสอดคล้องกับการรายงานของ Chen และคณะ [16] จากภาพที่ 3.7ข จะเห็นได้ว่าอนุภาคนาโนทองคำมีพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 530 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Philip และคณะ [52] จากภาพที่ 3.7ค พบว่า อนุภาคนาโนแพลทินัมไม่มีพีคการดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเลตและวิลิเบิล ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ Xu และคณะ

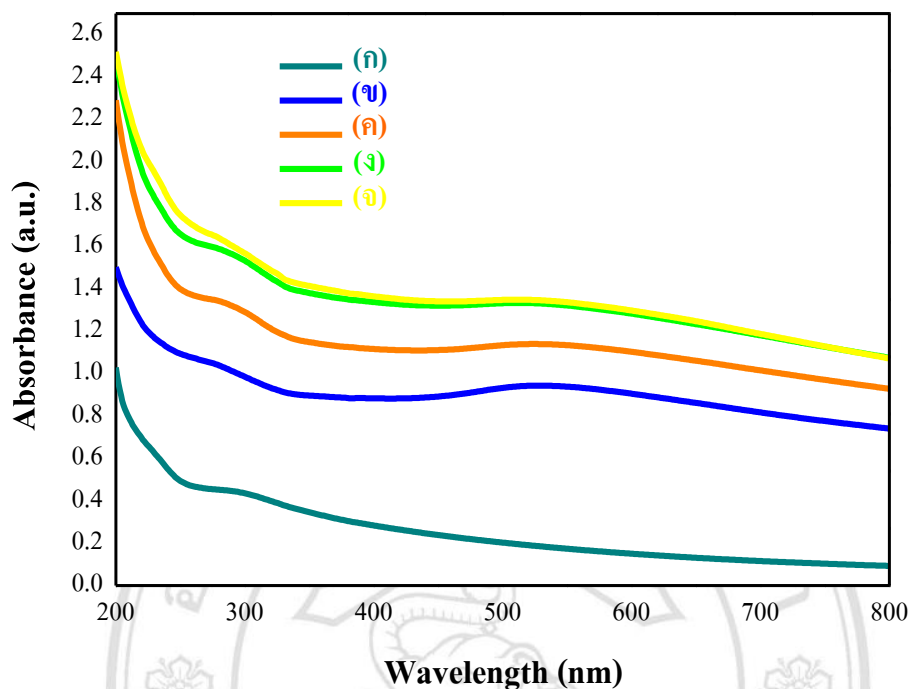
[33] จากภาพที่ 3.7g พบพีคการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au คือ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 605 นาโนเมตร ซึ่งปรากฏที่ความยาวคลื่นสูงกว่าของอนุภาคนาโนเงินและอนุภาคนาโนทองคำที่เป็นอนุภาคนาโนโลหะชนิดเดี่ยว สอดคล้องกับการรายงานของ Kumar และคณะ [81] จากการตรวจสอบสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนผสมของเงินและทองคำ พบว่า อนุภาคนาโนผสมของเงินและทองคำมีพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 604 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่สูงกว่าของอนุภาคนาโนของเงิน (ความยาวคลื่นประมาณ 424 นาโนเมตร) และอนุภาคนาโนทองคำ (ความยาวคลื่นประมาณ 518 นาโนเมตร) นอกจากนี้ Vongsavat และ คณะ [3] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนผสมของทองคำและเงิน โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารละลายของทองคำที่เติมลงในอนุภาคนาโนเงิน พบว่า อนุภาคนาโนผสมของทองคำและเงินมีพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นในช่วงวิสิเบิลไปจนถึงใกล้อินฟราเรด และยังมีความยาวคลื่นสูงกว่าของอนุภาคนาโนของเงินอีกด้วย จึงสันนิษฐานว่าเกิดเป็นอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au และภาพที่ 3.7จ แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.4 มีความกว้างของสเปกตรัมมาก จึงไม่สามารถระบุพีคการดูดกลืนแสงที่ชัดเจนได้ โดยลักษณะดังกล่าวของสเปกตรัมนี้คล้ายกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนแพลทินัม [20] สอดคล้องกับการรายงานของ Li และคณะ [21] ที่ศึกษาสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนผสมของเงินและแพลทินัม โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารละลายของแพลทินัมที่เติมลงในอนุภาคนาโนเงิน พบว่า อนุภาคนาโนเงินมีพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 390 นาโนเมตร ในขณะที่ปริมาณของแพลทินัมเพิ่มขึ้นนั้นความเข้ม (intensity) ของเซอร์เฟจ พลาสมอน เรโซแนนซ์ของเงินลดลงจนกระทั่งหายไปมากที่สุด แสดงให้เห็นการค่อยๆ เพิ่มขึ้นในการเกาะของแพลทินัมบนผิวของอนุภาคนาโนเงิน นอกจากนี้ จากงานวิจัยของ Liang และ คณะ [30] ที่ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนผสมของทองคำและแพลทินัม โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารละลายแพลทินัมที่เติมลงในอนุภาคนาโนทองคำ พบว่า อนุภาคนาโนทองคำมีพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร เมื่อแพลทินัมเคลือบบนอนุภาคนาโนทองคำ พีคการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนทองคำจะหายไป ซึ่งการที่พฤติกรรมทางแสงของอนุภาคนาโนทองคำและเงินหายไปเมื่อมีโลหะแพลทินัมผสมอยู่นั้นจึงสันนิษฐานว่าอนุภาคนาโนแพลทินัมเคลือบบนอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au Sanchez-Ramirez และ คณะ [82] ได้ทำการจำลองสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนผสมของทองคำและเงิน โดยคำนวณตาม Mie's theory แล้วทำการเปรียบเทียบสเปกตรัมที่ได้กับผลที่ได้จากการทดลอง พบว่า สเปกตรัมที่ได้จากทางทฤษฎีมีความคล้ายคลึงกับสเปกตรัมจากการทดลอง กล่าวคือ พบเซอร์เฟจ พลาสมอน เรโซแนนซ์ของอนุภาคนาโนผสมของทองคำและเงินอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 419-521 นาโนเมตร โดยขึ้นกับอัตราส่วนองค์ประกอบของเงินต่อทองคำที่ใช้ในการผสมกัน โดยทั่วไปสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนนั้นขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ขนาด รูปร่าง

และองค์ประกอบทางเคมี จึงได้เพียงสันนิษฐานว่าองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคที่เปลี่ยนไปจึงทำให้พฤติกรรมทางแสงเปลี่ยน



ภาพที่ 3.7 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ (ก) อนุภาคนาโนเงิน (ข) อนุภาคนาโนทองคำ (ค) อนุภาคนาโนแพลทินัม (ง) อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au (จ) อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.4

จากภาพ 3.8ข-จ จะเห็นได้ว่าอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.4 0.8 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ มีลักษณะของสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่คล้ายคลึงกัน คือ สเปกตรัมมีความกว้างมาก จึงไม่เหมาะกับการระบุพิการดูดกลืนแสง ซึ่งคล้ายกับสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนแพลทินัม (ภาพที่ 3.8ก) ที่มีการรายงานว่าไม่มีพิการดูดกลืนแสงในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิล [33] จาก Endo และคณะ [83] ศึกษาสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนผสมของทองคำและแพลทินัม พบว่า อนุภาคนาโนผสมของทองคำและแพลทินัม ที่มีอัตราส่วนของทองคำต่อแพลทินัมเป็น 1:1 และ 1:3 แสดงพฤติกรรมทางแสงที่คล้ายคลึงกับอนุภาคนาโนแพลทินัม โดยสเปกตรัมการดูดกลืนแสงมีความกว้างมาก ทำให้ไม่สามารถระบุพิการดูดกลืนแสงได้ จึงสันนิษฐานว่า เมื่อมีการเพิ่มปริมาณแพลทินัมที่ใช้จะส่งผลต่อสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนผสมค่อนข้างน้อย



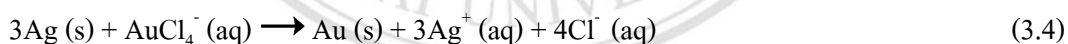
ภาพที่ 3.8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของ (ก) อนุภาคนาโนแพลทินัม และอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น (ข) 0.4 (ค) 0.8 (ง) 1.0 และ (จ) 1.2 ตามลำดับ

3.2.2 ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐาน

การศึกษาพื้นฐานของอนุภาคนาโนที่เตรียมได้โดยการตรวจสอบขนาดและรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านให้ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3.9 และ 3.10

จากภาพที่ 3.9ก พบว่า อนุภาคนาโนเงินที่เตรียมได้มีรูปร่างที่เกือบเป็นทรงกลม และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 8 ± 2 นาโนเมตร ซึ่งขนาดของอนุภาคนาโนเงินที่เตรียมได้นี้มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ Chen และ คณะ [16] ที่เตรียมอนุภาคนาโนเงินที่มีขนาดประมาณ 9.6 นาโนเมตร จากผลการวิเคราะห์พื้นฐานของอนุภาคนาโนเงินนี้ให้ผลสอดคล้องกับสมบัติการดูดกลืนแสง โดยอนุภาคนาโนเงินที่มีขนาดใกล้เคียงกันแสดงพฤติกรรมทางแสงที่คล้ายคลึงกันคือ มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 400 นาโนเมตร ในขณะที่อนุภาคนาโนทองคำที่เตรียมได้ (ภาพที่ 3.9ข) มีรูปร่างที่เกือบเป็นทรงกลม และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 15 ± 1 นาโนเมตร ผลการวิเคราะห์ทางพื้นฐานให้ผลสอดคล้องกับพฤติกรรมการดูดกลืนแสง กล่าวคือ อนุภาคนาโนทองคำที่มีขนาดประมาณ 15 นาโนเมตรนั้นจะมีเซอร์เฟอพลาสมอนเรโซแนนซ์ที่ความยาวคลื่นประมาณ 530 นาโนเมตร ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของอนุภาคนาโนทองคำที่มีขนาดดังกล่าว โดยมีงานวิจัยหลากหลาย [51, 84-86] ได้

ชี้ให้เห็นถึงข้อเท็จจริงดังกล่าวแล้ว ส่วนการตรวจสอบลักษณะพื้นฐานของอนุภาคนาโนของแพลทินัม (ภาพที่ 3.9ค) พบว่า อนุภาคนาโนของแพลทินัมที่เตรียมได้มีรูปร่างเกือบจะเป็นทรงกลม มีผิวขรุขระมาก และขนาดของอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 22 ± 5 นาโนเมตร จากภาพที่ 3.9ง หลังจากการรีดักชันของทองคำบนผิวของอนุภาคนาโนเงิน จะเห็นได้ว่า ตรงกลางของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au มีลักษณะกลวง การเกิดลักษณะที่มีรูกลวงตรงกลางนี้เป็นลักษณะที่เคยปรากฏในรายงานการวิจัยมาก่อน เป็นผลจากการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างอนุภาคกับไอออนในสารละลาย สำหรับกรณีของอนุภาคนาโนเงินและไอออนทองคำนั้นจากงานวิจัยของ Cui และ คณะ [29] และ Smova-Sloufova และ คณะ [80] อธิบายว่าเกิดจากการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ระหว่างอนุภาคนาโนเงินกับ AuCl_4^- เมื่อค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของทองคำ ($\text{AuCl}_4^-/\text{Au}$; $E^0 = 0.99 \text{ V vs. SHE}$) มีค่าสูงกว่าค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของเงิน (Ag^+/Ag ; $E^0 = 0.80 \text{ V vs. SHE}$) ดังนั้น อนุภาคนาโนเงินบางส่วนจะถูกออกซิไดซ์กลายเป็น Ag^+ ในขณะที่ Au^{3+} จะถูกรีดิวซ์เป็น Au^0 เกาะบนผิวของอนุภาคนาโนเงิน ดังสมการที่ 3.4 เมื่อสังเกตจากขนาดของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au ที่เตรียมได้มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 18 ± 4 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าอนุภาคนาโนเงิน (มีขนาดประมาณ 8 ± 2 นาโนเมตร) จึงสันนิษฐานว่าเกิดเป็นอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Cui และ คณะ [29] และ Kumar คณะ [81] ที่พบว่า หลังจากทีทองคำเกาะบนผิวของอนุภาคนาโนเงิน จะเกิดเป็นอนุภาคนาโนผสมของเงินและทองคำซึ่งมีขนาดที่ใหญ่กว่าอนุภาคนาโนเงิน ผลการวิเคราะห์ทางสัณฐานให้ผลสอดคล้องกับสมบัติทางแสง กล่าวคือ อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au มีพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงกว่าของอนุภาคนาโนเงิน ซึ่งอาจจะบ่งบอกถึงการเกิดโลหะผสม

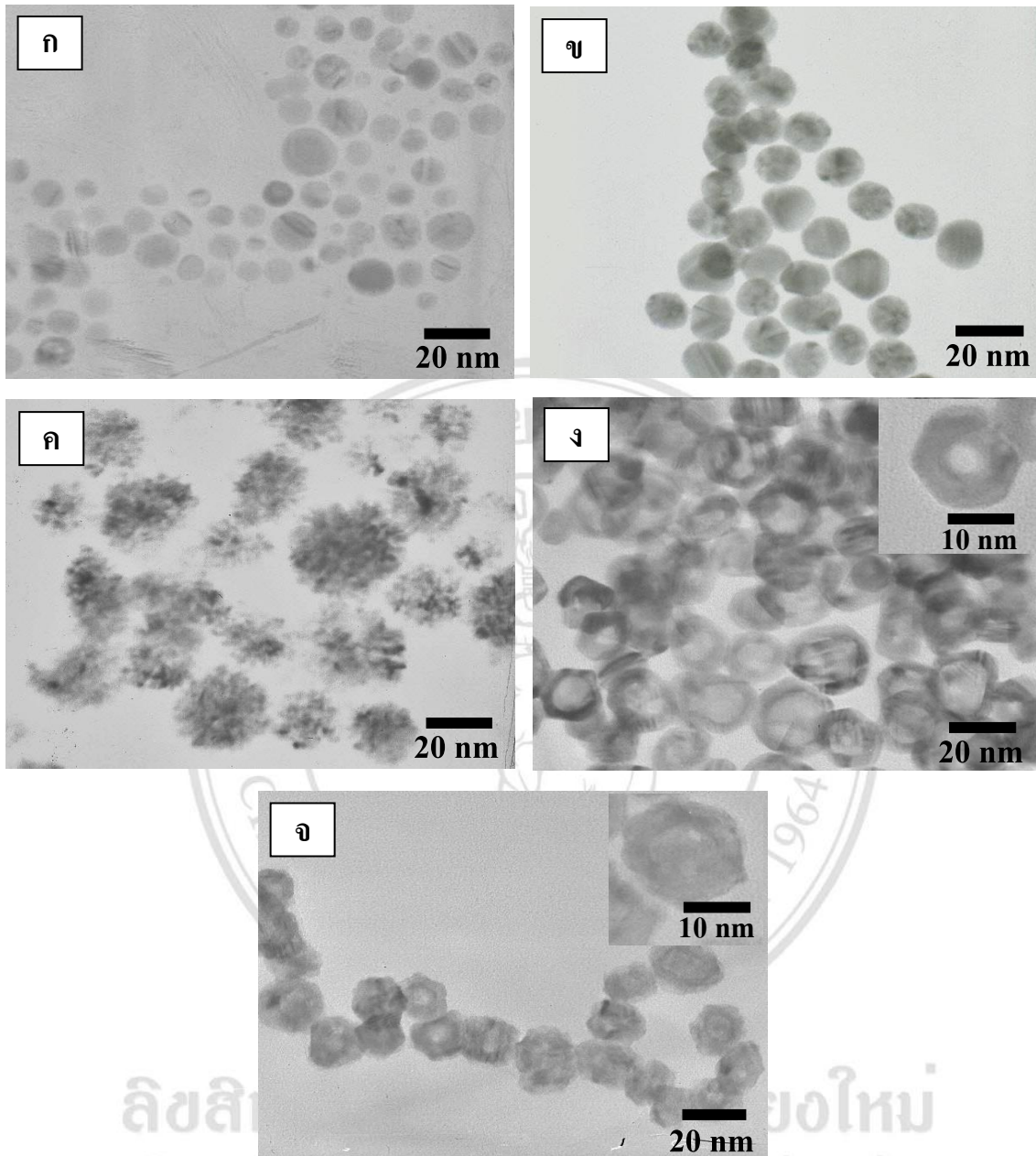


หลังจากที่อนุภาคนาโนแพลทินัมเกาะบนอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au จากภาพที่ 3.9จ พบว่า อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt (ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.4) มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 20 ± 4 นาโนเมตร อนุภาคมีรูปร่างที่เกือบเป็นทรงกลม โดยบริเวณผิวของอนุภาคมีความขรุขระมาก เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au และจะเห็นได้ว่าที่บริเวณตรงกลางของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt มีลักษณะที่กลวงน้อยกว่าของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au ซึ่งสันนิษฐานว่าอาจจะแสดงถึงการเกาะของอนุภาคแพลทินัมบนอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au คล้ายคลึงกับลักษณะที่พบในอนุภาคนาโนผสมของเงินและแพลทินัม [21] ซึ่งผลการวิเคราะห์ทางสัณฐานให้ผลสอดคล้องกับพฤติกรรมทางแสง กล่าวคือ เมื่อแพลทินัมเกาะบนผิวของอนุภาคนาโนเงินจะทำให้พีคการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนเงินหายไป นอกจากนี้ยังไม่สามารถตรวจวัดอนุภาคนาโนแพลทินัมอิสระ จึงอาจเป็นการยืนยันว่าแพลทินัมที่เกิดขึ้นจับอยู่กับเงินและทองคำ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยเห็นว่าหาก

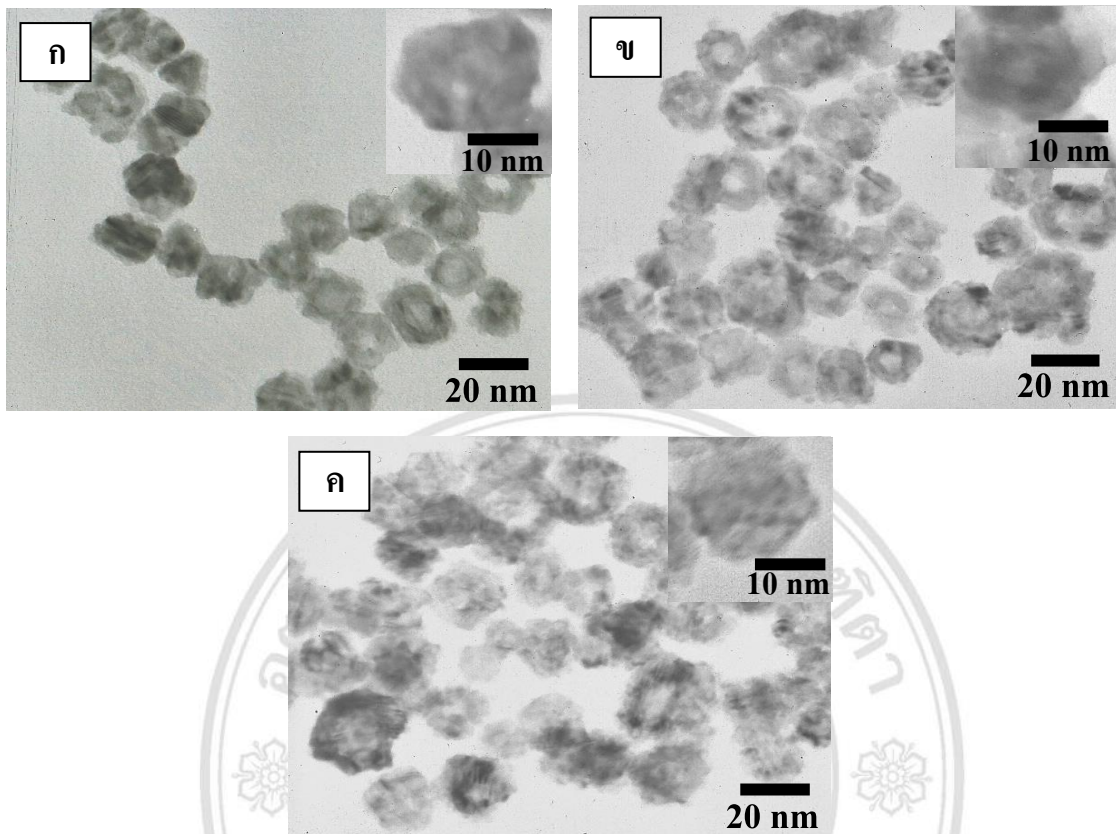
ต้องการชี้ชัดลงไปว่ามีอนุภาคแพลทินัมเกาะอยู่บนผิวของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au ต้องใช้เทคนิคจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (scanning transmission electron microscope; STEM) โดยใช้ร่วมกับ high angle annular dark-field detector; HAADF ซึ่งจากตัวอย่างการรายงานของ Wang และคณะ [35] พบว่า เทคนิคดังกล่าวนี้สามารถตรวจสอบลักษณะการยึดเกาะกันของอนุภาคนาโนผสมของทองคำ พลาลาเดียม และแพลทินัมได้

จากภาพที่ 3.10ก-ค พบว่า อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt (ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.8 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ) มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 20 ± 3 21 ± 4 และ 22 ± 4 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งมีขนาดที่ไม่แตกต่างกันมาก คล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Xu และ คณะ [33] ที่พบว่าอนุภาคนาโนผสมของทองคำและแพลทินัม ที่มีอัตราส่วนอะตอมของทองคำต่อแพลทินัมเป็น 1:4 1:1 และ 4:1 มีขนาดของอนุภาคเป็น 3.7 4.4 และ 4.5 นาโนเมตร ตามลำดับ จึงสันนิษฐานว่าอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมที่ใช้ไม่ต่างกันมากทำให้ขนาดของอนุภาคนาโนที่เตรียมได้ไม่แตกต่างกัน และจากภาพที่ 3.10ก-ค อนุภาคมีรูปร่างที่เกือบเป็นทรงกลม โดยบริเวณผิวของอนุภาคมีความขรุขระมาก และที่บริเวณตรงกลางของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt มีลักษณะที่กลวงน้อยกว่าของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au (ภาพที่ 3.9ง) นอกจากนี้ จากภาพเล็ก (inset) ที่แทรกในภาพที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าที่บริเวณตรงกลางของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt มีลักษณะที่กลวงน้อยลงเมื่อมีการเติมปริมาณของแพลทินัมเพิ่มขึ้น ซึ่งสันนิษฐานว่าเกิดการเกาะของอนุภาคแพลทินัมบนอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au และการที่ไม่พบอนุภาคนาโนแพลทินัมอิสระอาจจะเป็นการยื่นยื่นการเกาะของโลหะแพลทินัมบนอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 3.9 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของ (ก) อนุภาคนาโนเงินที่มีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 8 ± 2 นาโนเมตร (ข) อนุภาคนาโนทองคำที่มีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 15 ± 1 นาโนเมตร (ค) อนุภาคนาโนแพลทินัมที่มีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 22 ± 5 นาโนเมตร (ง) อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au ที่มีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 18 ± 4 นาโนเมตร และ (จ) อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.4 โดยมีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 20 ± 4 นาโนเมตร



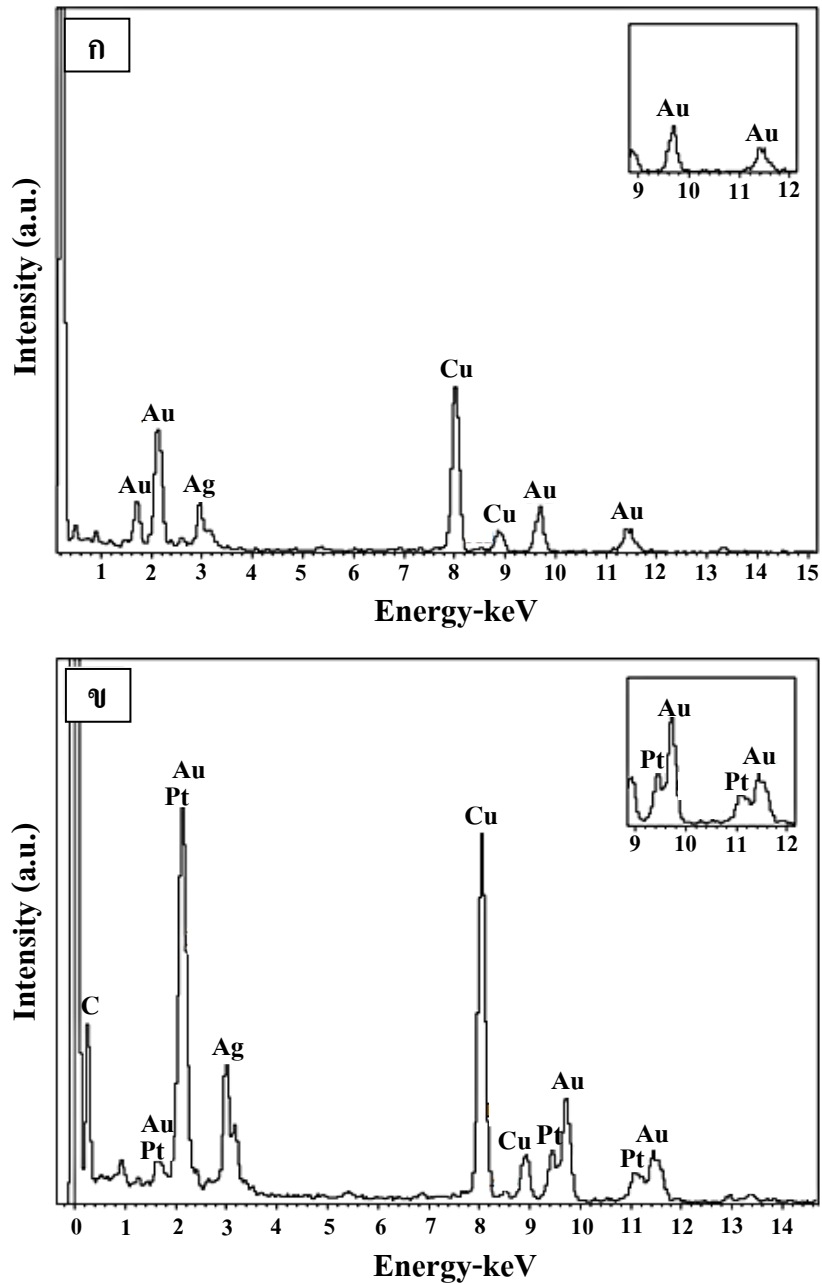
ภาพที่ 3.10 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมที่ต่างกันคือ (ก) 0.8 โดยมีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 20 ± 3 นาโนเมตร (ข) 1.0 โดยมีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 21 ± 4 นาโนเมตร และ (ค) 1.2 โดยมีขนาดของอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 22 ± 4 นาโนเมตร ตามลำดับ

3.2.3 ผลการศึกษาของคัพประกอบทางเคมี

การศึกษาของคัพประกอบทางเคมีของอนุภาคนาโนผสมที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ โดยที่เครื่องตรวจวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ติดตั้งอยู่กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และแบบส่องกราด ซึ่งแสดงผลดังภาพที่ 3.11 และตารางที่ 3.1 ตามลำดับ

เมื่อนำอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au ที่เตรียมได้จากข้อ 2.2.4 มาตรวจสอบของคัพประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ โดยที่เครื่องตรวจวัดการกระจายพลังงานของรังสีที่ติดตั้งอยู่กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ได้ผลดังภาพ 3.11 จากภาพที่ 3.11 ก พบว่า มีพีคเกิดขึ้นที่ตำแหน่งค่าพลังงานประมาณ 2.9 กิโลอิเล็กตรอน โวลต์ ซึ่งเป็นตำแหน่งค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ชนิด L_{α} ของเงิน ส่วนพีคที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งค่าพลังงานประมาณ 2.1 และ 9.7

กิโวลีเล็กตรอน โวลต์เป็นรังสีเอกซ์ชนิด $M\alpha$ และ $L\alpha$ ของทองคำ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนโลหะผสมที่เตรียมได้นั้นมีทั้งเงินและทองคำเป็นองค์ประกอบอยู่ในสารตัวอย่าง การตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่เตรียมได้จากข้อ 2.2.5 แสดงผลดังภาพ 3.11ข จะเห็นได้ว่ายังคงมีฟลักเกิดขึ้นที่ตำแหน่งค่าพลังงานประมาณ 2.9 กิโวลีเล็กตรอน โวลต์ ซึ่งเป็นค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ชนิด $L\alpha$ ของเงิน ส่วนรังสีเอกซ์ของทองคำและแพลทินัมโดยส่วนใหญ่ในนั้นมีค่าใกล้เคียงกันจึงปรากฏฟลักที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันมาก ทำให้จำแนกรังสีเอกซ์ของโลหะทั้งสองนั้นมีความยุ่งยากในช่วงพลังงานต่ำกว่า 9 กิโวลีเล็กตรอน โวลต์ อย่างไรก็ตามเราสามารถระบุรังสีเอกซ์ที่เกิดของทองคำและแพลทินัมได้ในช่วงพลังงาน 9-12 กิโวลีเล็กตรอน โวลต์ ดังแสดงในภาพเล็ก (inset) ที่แทรกใน 3.11ข โดยฟลักที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งค่าพลังงาน 9.71 กิโวลีเล็กตรอน โวลต์ เป็นรังสีเอกซ์ที่เกิดจากทองคำ ในขณะที่ฟลักที่ตำแหน่งค่าพลังงานประมาณ 9.44 กิโวลีเล็กตรอน โวลต์ เป็นค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ของแพลทินัม เมื่อเปรียบเทียบขนาดเล็กของ 3.11ก และ 3.11ข จะเห็นได้ว่า ที่ภาพ 3.11ก มีเพียงสัญญาณของทองคำ แต่ภาพ 3.11ข มีสัญญาณของทองคำ และแพลทินัมเพิ่ม จากข้อมูลดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนโลหะผสมที่เตรียมได้ในข้อ 2.2.5 นั้นมีทั้งเงิน ทองคำ และแพลทินัมเป็นองค์ประกอบอยู่ในสารตัวอย่าง นอกจากนี้ จากภาพที่ 3.11 ยังพบสัญญาณอื่นที่ไม่ใช่ของเงิน ทองคำ และแพลทินัม ได้แก่ ฟลักที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งค่าพลังงานประมาณ 8.04 กิโวลีเล็กตรอน โวลต์ ที่มีความสอดคล้องกับค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ของทองแดง (Cu) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของกรดทองแดงที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่าง และฟลักที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งค่าพลังงานประมาณ 0.27 กิโวลีเล็กตรอน โวลต์ ที่สอดคล้องกับค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ของคาร์บอน (C) ที่ใช้ในการเคลือบบนสารตัวอย่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจวัดของเครื่องมือ [87]



ภาพที่ 3.11 สเปกตรัมการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ของอนุภาคนาโนผสมของ (ก) Ag/Au และ (ข) Ag/Au/Pt (ที่อัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.4) โดยที่เครื่องตรวจวัดการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ติดตั้งอยู่กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

จากตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วน โดยอะตอมของธาตุในอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au และของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt เมื่อมีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมที่แตกต่างกัน ที่ถูกตรวจวัดด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ติดตั้งอยู่กับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยทำการตรวจสอบหลายๆ บริเวณของสารตัวอย่าง พบว่า อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au มี

อัตราส่วนอะตอมลดลงจากค่าที่ได้จากการคำนวณอย่างเห็นได้ชัดโดยลดลงจาก 9:1 ไปเป็น 5:1 และ 3:1 จากค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของทองคำ ($\text{AuCl}_4^-/\text{Au}$; $E^0 = 0.99 \text{ V vs. SHE}$) มีค่าสูงกว่าค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของเงิน (Ag^+/Ag ; $E^0 = 0.80 \text{ V vs. SHE}$) ทำให้อนุภาคนาโนเงินบางส่วนถูกออกซิไดซ์เป็น Ag^+ [29] และสันนิษฐานว่าการถูกออกซิไดซ์ในแต่ละบริเวณของอนุภาคนาโนเงินไม่เท่ากัน จึงทำให้การตรวจวัดด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์พบว่าอัตราส่วนของเงินต่อทองคำที่ได้ต่างกัน (ที่ 5:1 และ 3:1) และจากการตรวจวัดด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt (จากตารางที่ 3.1) เมื่ออัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมในอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au เพิ่มขึ้น พบว่า องค์ประกอบทางเคมีของแพลทินัมที่ตรวจสอบได้มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นด้วย ในขณะที่อัตราส่วนอะตอมของเงินลดลงเมื่อเทียบกับทองคำ ซึ่งสันนิษฐานว่าเมื่อมีการเติมแพลทินัมลงไปอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au แล้วทำให้อนุภาคนาโนเงินบางส่วนถูกแพลทินัมออกซิไดซ์กลายเป็น Ag^+ เนื่องจากค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของแพลทินัม ($\text{PtCl}_6^{2-}/\text{Pt}$; $E^0 = 1.44 \text{ V vs. SCE}$) สูงกว่าค่าศักย์ไฟฟ้ารีดักชันมาตรฐานของเงิน (Ag^+/Ag ; $E^0 = 0.80 \text{ V vs. SCE}$) [21] และจากอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมที่ใส่เพิ่มขึ้นในอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au นั้นมีค่าที่ต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงสันนิษฐานว่า ปริมาณการถูกออกซิไดซ์ของอนุภาคนาโนเงินด้วยแพลทินัมก็น่าจะใกล้เคียงกันด้วย ดังนั้น เมื่อนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิคการกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ ทำให้อัตราส่วนองค์ประกอบของเงินที่ลดลงมีค่ากว้างไปมา

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนโดยอะตอมของธาตุในอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au และของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมแตกต่างกัน

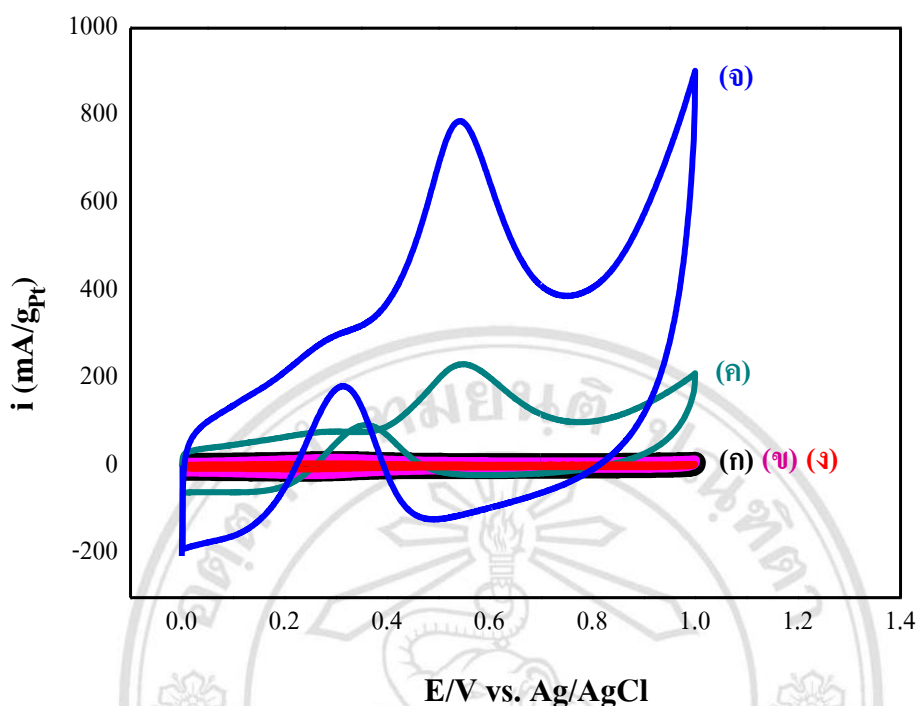
อนุภาคนาโน	อัตราส่วนโดยอะตอมของแต่ละธาตุ		
Ag/Au (9:1)	5	1	-
	3	1	-
Ag/Au/Pt (9:1:0.2)	1	1	0.4
Ag/Au/Pt (9:1:0.5)	1.2	1	0.8
Ag/Au/Pt (9:1:0.7)	1.1	1	1.0
Ag/Au/Pt (9:1:1.0)	1.2	1	1.2

3.3 ผลการศึกษาสมบัติการเร่งปฏิกิริยา

การศึกษาสมบัติการเร่งปฏิกิริยาสำหรับออกซิเดชันของเมทานอล โดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี ที่ค่าอัตราการสแกน 50 มิลลิโวลต์ต่อวินาที และช่วงสแกนศักย์ไฟฟ้า 0 ถึง 1000 มิลลิโวลต์ ซึ่งจะแสดงผลได้ดังภาพที่ 3.12 และ 3.13

จากการศึกษาในเบื้องต้น จากภาพที่ 3.12 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลของอนุภาคนาโนเงิน อนุภาคนาโนทองคำ อนุภาคนาโนแพลทินัม อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au และอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.4 ซึ่งได้จากการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าในสารละลายเมทานอลความเข้มข้น 2 โมลาร์ ผสมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1 โมลาร์ที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี เมื่อตรวจสอบการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลของอนุภาคนาโนโลหะชนิดเดียวคือ อนุภาคนาโนเงิน อนุภาคนาโนทองคำ และอนุภาคนาโนของแพลทินัม จากภาพที่ 3.12ก-ข พบว่า อนุภาคนาโนเงิน และอนุภาคนาโนทองคำไม่พบพีคแอโนดิกและแคโทดิกของการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งเป็นพีคที่แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล ซึ่งแสดงว่าอนุภาคทั้งสองไม่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล ซึ่งคล้ายกับการรายงานของ Feng และ คณะ [20] ที่พบว่าอนุภาคนาโนทองคำไม่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล ส่วนอนุภาคนาโนของแพลทินัม จากภาพที่ 3.12ค พบว่า มีการปรากฏพีคของการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ ซึ่งเป็นพีคที่แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล โดยพีคแรกคือ แอโนดิกพีค (พีคที่มีการสแกนศักย์ไฟฟ้าไปข้างหน้าซึ่งแสดงการเกิดของปฏิกิริยาออกซิเดชัน) จะเห็นได้ว่ามีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 0.56 โวลต์ (ในเส้นบน) โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้คือ 225 มิลลิแอมแปร์ และ พีคที่สองคือ แคโทดิกพีค (พีคที่มีการสแกนศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน) มีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 0.36 โวลต์ (ในเส้นล่าง) และค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้คือ 90 มิลลิแอมแปร์ ดังนั้น เมื่อทำการเปรียบเทียบการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลของอนุภาคนาโนโลหะชนิดเดียวทั้งหมดในที่นี้คือ อนุภาคนาโนเงิน อนุภาคนาโนทองคำ และอนุภาคนาโนแพลทินัม ก็จะพบว่าอนุภาคนาโนแพลทินัมมีการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลและมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาที่ดีที่สุด จากนั้น เมื่อทำการตรวจสอบการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลของอนุภาคนาโนผสมของโลหะสองชนิดคือ อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au (ภาพที่ 3.12ง) พบว่า ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au ไม่มีพีคของแอโนดิกและแคโทดิกเกิดขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับอนุภาคนาโนเงินและอนุภาคนาโนทองคำที่เป็นอนุภาคนาโนโลหะชนิดเดียว แสดงให้เห็นว่าไม่มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล หลังจากนั้น เมื่อทำการตรวจสอบการเร่ง

ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลของอนุภาคนาโนผสมของโลหะสามชนิดคือ อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt (ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.4) จากภาพที่ 3.12จ พบว่า อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt มีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล เนื่องจาก มีพีคของการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์เกิดขึ้น ซึ่งคล้ายกับของอนุภาคนาโนแพลทินัม โดยจะเห็นได้ว่าอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt มีแอนโอดิกพีคหรือพีคของการสแกนศักย์ไฟฟ้าไปข้างหน้า (เส้นบน) ที่มีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 0.54 โวลต์ โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้คือ 800 มิลลิแอมแปร์ ส่วนแคโทดิกพีคหรือพีคของการสแกนศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับ (เส้นล่าง) มีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้าประมาณ 0.32 โวลต์ และค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้คือ 190 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งจาก Atae-Esfahani และ คณะ [19] พบว่า แอนโอดิกพีคที่เกิดจากการสแกนศักย์ไฟฟ้าไปข้างหน้าเป็นการแสดงประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลระหว่างอนุภาคนาโนแพลทินัมกับอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt จะพบว่า แอนโอดิกพีคของอนุภาคนาโนแพลทินัมมีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้า (0.56 โวลต์) มากกว่าของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt (0.54 โวลต์) เล็กน้อย แต่กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดค่าได้ของอนุภาคนาโนแพลทินัม (225 มิลลิแอมแปร์) มีค่าน้อยกว่าของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt (800 มิลลิแอมแปร์) ประมาณ 3.5 เท่า ดังนั้น อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt จึงมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลได้ดีกว่าอนุภาคนาโนแพลทินัม ซึ่งคล้ายกับที่พบในอนุภาคนาโนผสมของทองคำและแพลทินัมมีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลดีกว่าอนุภาคนาโนแพลทินัม เมื่อเปรียบเทียบจากแอนโอดิกพีคของอนุภาคนาโนผสมของทองคำและแพลทินัมมีค่ากระแสไฟฟ้าสูงกว่าของอนุภาคนาโนแพลทินัม [19] และนอกจากนี้ Kuai และ คณะ [88] ยังพบว่า แคโทดิกพีคที่เกิดจากการสแกนศักย์ไฟฟ้าย้อนกลับเป็นการแสดงถึงความสามารถของตัวเร่งปฏิกิริยาในการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่เป็นพิษที่เกิดขึ้นในกระบวนการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ของอนุภาคนาโนแพลทินัมกับอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt จะพบว่า แคโทดิกพีคของอนุภาคนาโนแพลทินัมมีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้า (0.36 โวลต์) สูงกว่าของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt (0.32 โวลต์) เล็กน้อย แต่ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ของอนุภาคนาโนแพลทินัม (90 มิลลิแอมแปร์) น้อยกว่าของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt (190 มิลลิแอมแปร์) ประมาณ 2.1 เท่า ดังนั้น อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt จึงมีความสามารถในการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้ดีกว่าอนุภาคนาโนแพลทินัม

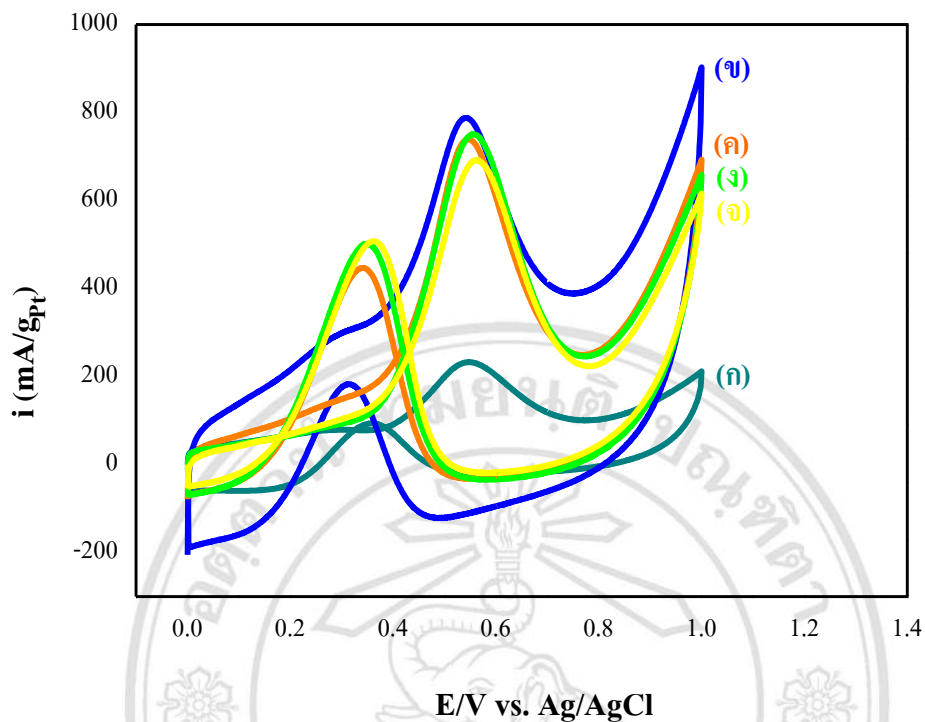


ภาพที่ 3.12 ไซคลิกโวลแทมโมแกรมระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้า (E) และกระแสไฟฟ้าที่วัดได้ (i) ของ (ก) อนุภาคนาโนเงิน (ข) อนุภาคนาโนทองคำ (ค) อนุภาคนาโนแพลทินัม (ง) อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au และ (จ) อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt (ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.4) สำหรับการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล

จากภาพที่ 3.13 แสดงไซคลิกโวลแทมโมแกรมสำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลของอนุภาคนาโนแพลทินัม และอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมที่แตกต่างกันคือ 0.4 0.8 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ ซึ่งได้จากการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าในสารละลายเมทานอลผสมกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เทคนิคไซคลิกโวลแทมเมตรี พบว่า ไซคลิกโวลแทมโมแกรมของอนุภาคนาโนแพลทินัม และอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt มีลักษณะที่คล้ายกันคือ มีการเกิดขึ้นของพีคแอโนดิกและแคโทดิกที่แสดงถึงการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล เมื่อเปรียบเทียบแอโนดิกพีคของอนุภาคนาโนแพลทินัมและอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt จะพบว่า แอโนดิกพีคของอนุภาคนาโนแพลทินัมและอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt มีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกันเล็กน้อย แต่ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ของแอโนดิกพีค (i_a) ของอนุภาคนาโนแพลทินัมมีค่าน้อยกว่าของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt (จากตารางที่ 3.2) แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt มีการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลได้ดีกว่าอนุภาคนาโนแพลทินัม เมื่อทำการเปรียบเทียบแคโทดิกพีคของอนุภาคนาโนแพลทินัม และอนุภาคนาโนผสมของ

Ag/Au/Pt จะพบว่าแคโทดิกพีคของอนุภาคนาโนแพลทินัมและอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt มีกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกันเล็กน้อย แต่ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ของแคโทดิกพีค (i_c) ของอนุภาคนาโนแพลทินัมมีค่าน้อยกว่าของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt (จากตารางที่ 3.2) แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt มีความสามารถในการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ดีกว่าอนุภาคนาโนแพลทินัม นอกจากนี้ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมที่แตกต่างกัน จากกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ของแคโทดิกพีค จากตารางที่ 3.2 พบว่า มีค่าที่ไม่ต่างกันจึงทำให้มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งสันนิษฐานว่าเกิดจากอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัม (0.4 0.8 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ) ในอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au ที่ไม่ต่างกันมากนัก แต่เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt จากค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ของแคโทดิกพีค (i_c) จะพบว่าที่อัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.4 มีค่ากระแสไฟฟ้าต่ำสุดจึงมีความสามารถในการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ได้น้อยที่สุด ส่วนที่อัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเพิ่มขึ้นเป็น 0.8 1.0 และ 1.2 มีค่ากระแสไฟฟ้าใกล้เคียงกันจึงมีความสามารถในการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ไม่ต่างกัน แต่สำหรับกรณีของการนำไปประยุกต์ใช้งานในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้เมทานอลโดยตรง อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.8 น่าจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อเป็นการลดการใช้โลหะที่มีราคาแพงอย่างแพลทินัม และยังสามารถกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ดีทำให้มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาที่ดีขึ้น

โดยทั่วไปนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอลของอนุภาคนาโนแพลทินัมมักจะมีสารตัวกลางเกิดขึ้นคือ คาร์บอนมอนอกไซด์ สารตัวกลางนี้จะไปดูดซับที่ผิวของอนุภาคนาโนแพลทินัมแล้วส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาได้ช้าลงและอาจทำให้เกิดการเสถียรภาพในการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไป จึงมีการนำอนุภาคนาโนเงินและอนุภาคนาโนทองคำ [20, 21] เข้ามาใช้ร่วมกับอนุภาคนาโนแพลทินัมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเร่งปฏิกิริยา สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของการเร่งปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt นี้ อาจเกิดจากอนุภาคนาโนทองคำที่สามารถจับกับคาร์บอนมอนอกไซด์แล้วช่วยทำให้แพลทินัมเกิดการเร่งปฏิกิริยาที่ดีขึ้น [63] ส่วนอนุภาคนาโนเงินสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของอนุภาคนาโนทองคำสำหรับคาร์บอนมอนอกไซด์ [36, 60] และอนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au ที่กลางช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของอนุภาคนาโนแพลทินัมกับโมเลกุลของเมทานอล ดังนั้น อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt จึงน่าจะสามารถนำไปพัฒนาในการเป็นตัวเร่งที่ใช้ในเซลล์เชื้อเพลิงได้ต่อไป



ภาพที่ 3.13 ไชคลิกโวลแทมโมแกรมระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้า (E) และกระแสไฟฟ้า (i) ที่วัดได้ของ (ก) อนุภาคนาโนแพลทินัม และ (ข-จ) อนุภาคนาโนผสมของ Ag/Au/Pt ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.4 0.8 1.0 และ 1.2 ตามลำดับ สำหรับการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของเมทานอล

ตารางที่ 3.2 ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ของแอโนดิกพีค (i_a) และแคโทดิกพีค (i_c)

ตัวเร่ง	i_a (mA/g _{Pt})	i_c (mA/g _{Pt})
Pt	225	90
Ag/Au/Pt (ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.4)	800	190
Ag/Au/Pt (ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 0.8)	735	450
Ag/Au/Pt (ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 1.0)	750	490
Ag/Au/Pt (ที่มีอัตราส่วนอะตอมของแพลทินัมเป็น 1.2)	700	500