บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากผลการศึกษาสามารถอภิปรายผลการทดลองการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ โดยขั้นตอนแรกได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน

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

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

4.1.1 ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว (Green Synthesis, Photo Reduction)

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว ชนิดและความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ ตลอดจนเวลาที่ใช้สัมผัสกับพลังงานจากหลอด UV-C มีส่วนสำคัญในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน จึงต้องทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้

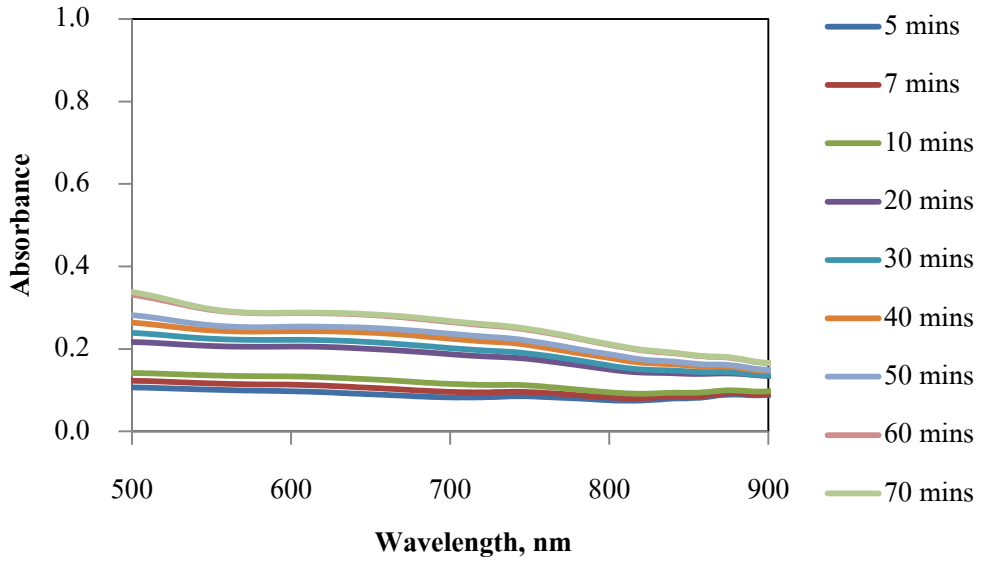
4.1.1.1 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA

โดยหลักการของสารรักษาเสถียรภาพ PAA จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีฟ้า ซึ่งความเข้มข้นและเวลาที่สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C มีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นดังต่อไปนี้

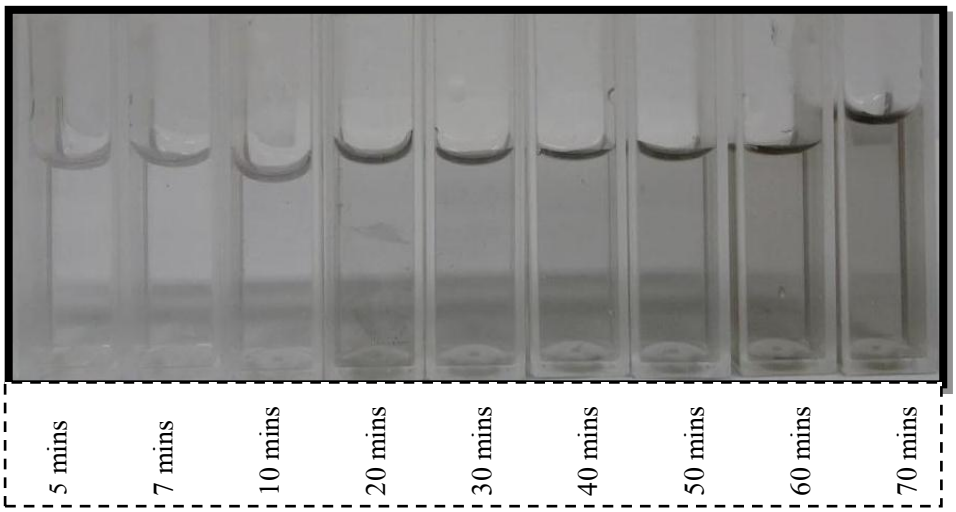
ก. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 2 mM

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

A



B

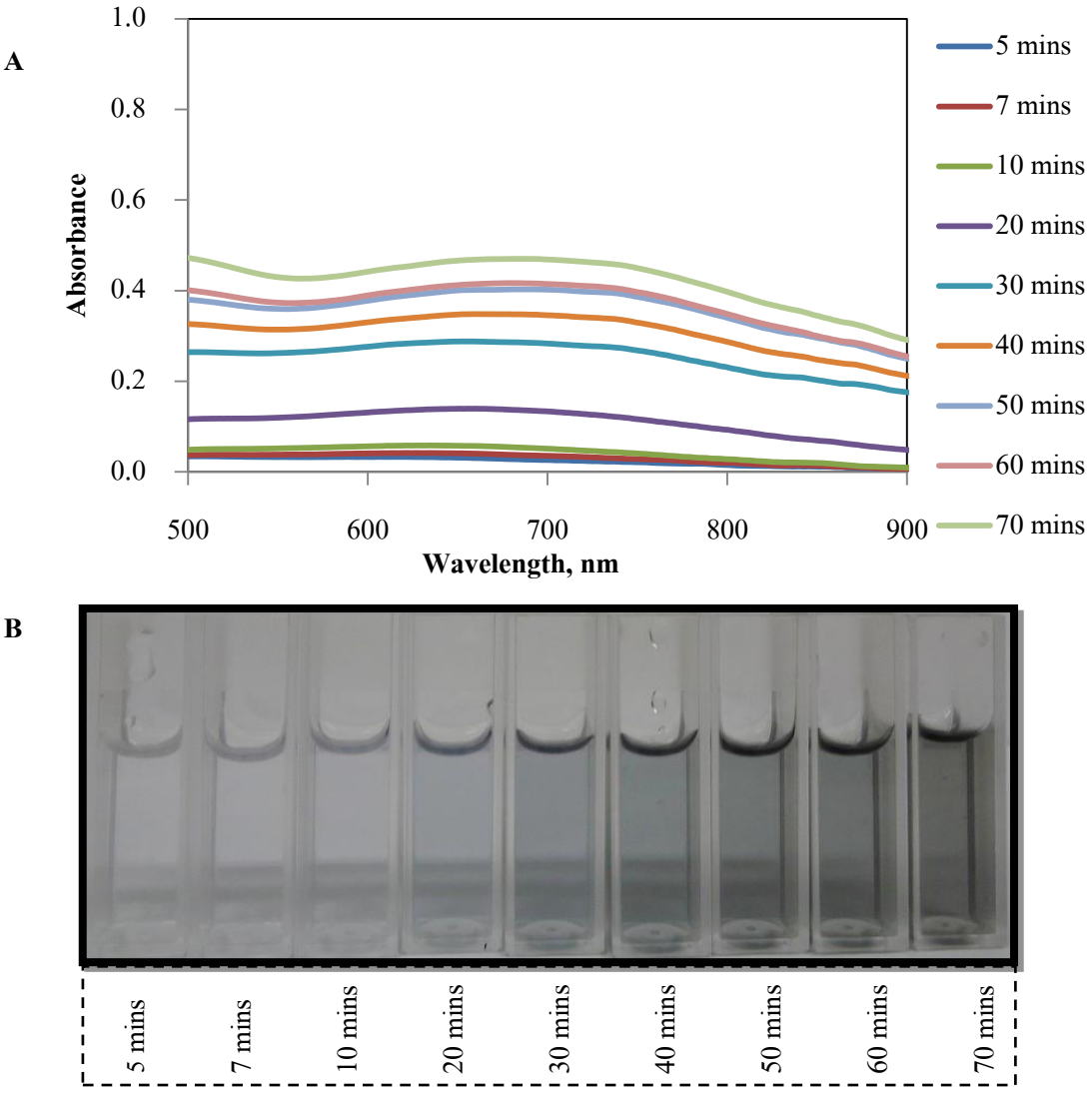


รูปที่ 4.1 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 2 mM ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PAA ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 5 มิลลิโมลาร์

ข. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 5 mM

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

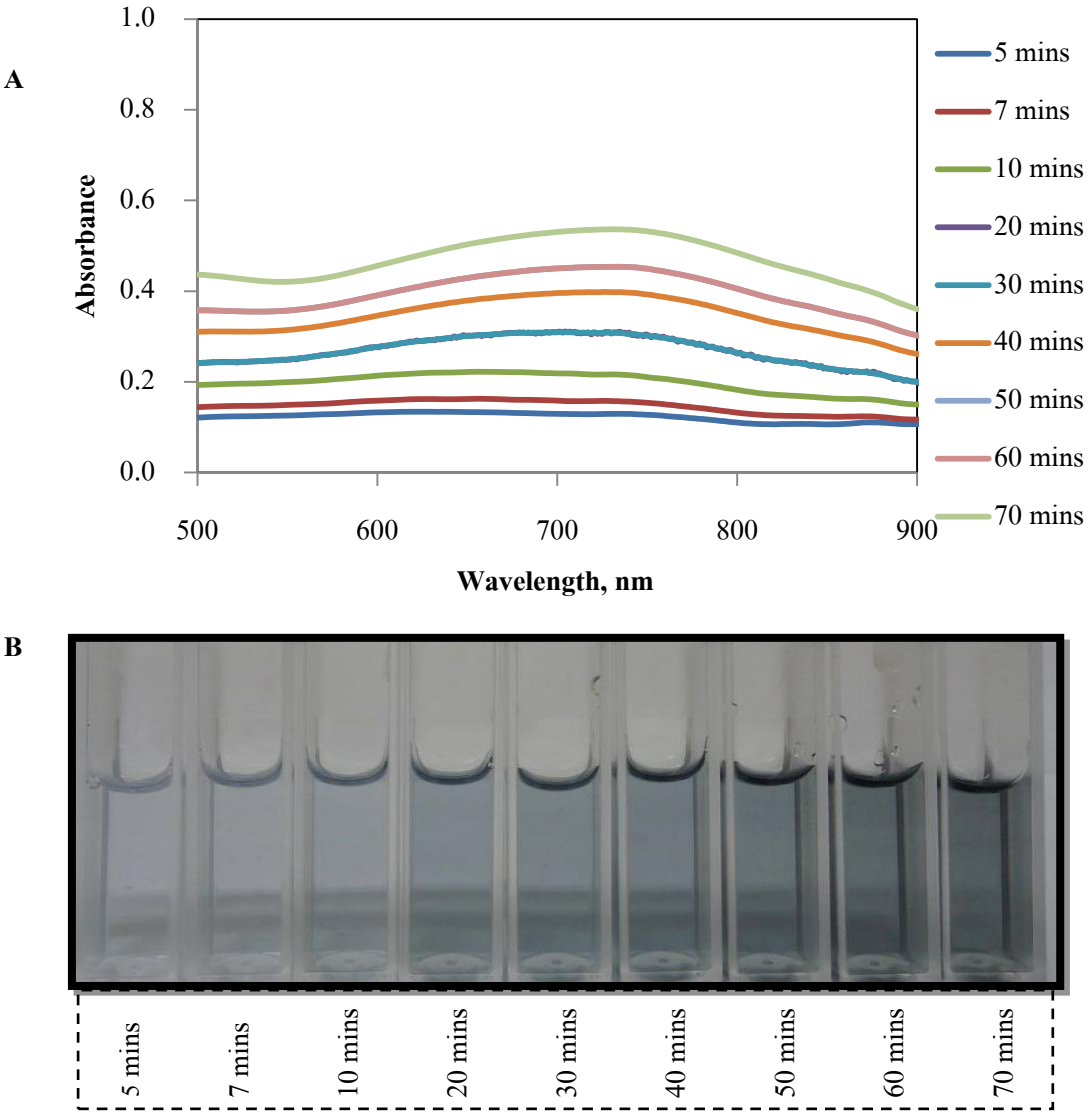


รูปที่ 4.2 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 5 mM ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PAA ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 7 mM

ค. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 7 mM

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

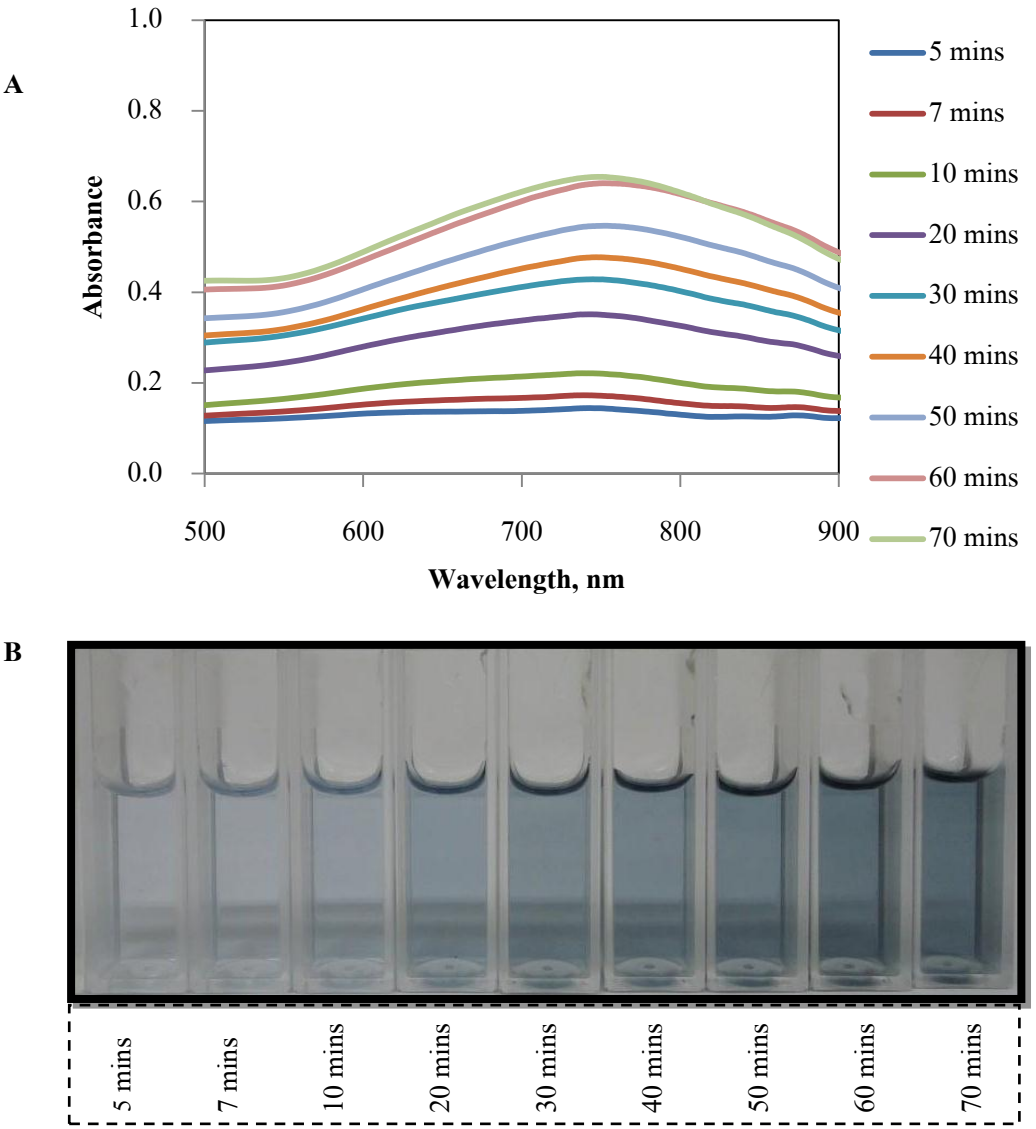


รูปที่ 4.3 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 7 mM
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.3 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PAA ก็ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 9 mM

ง. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM

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

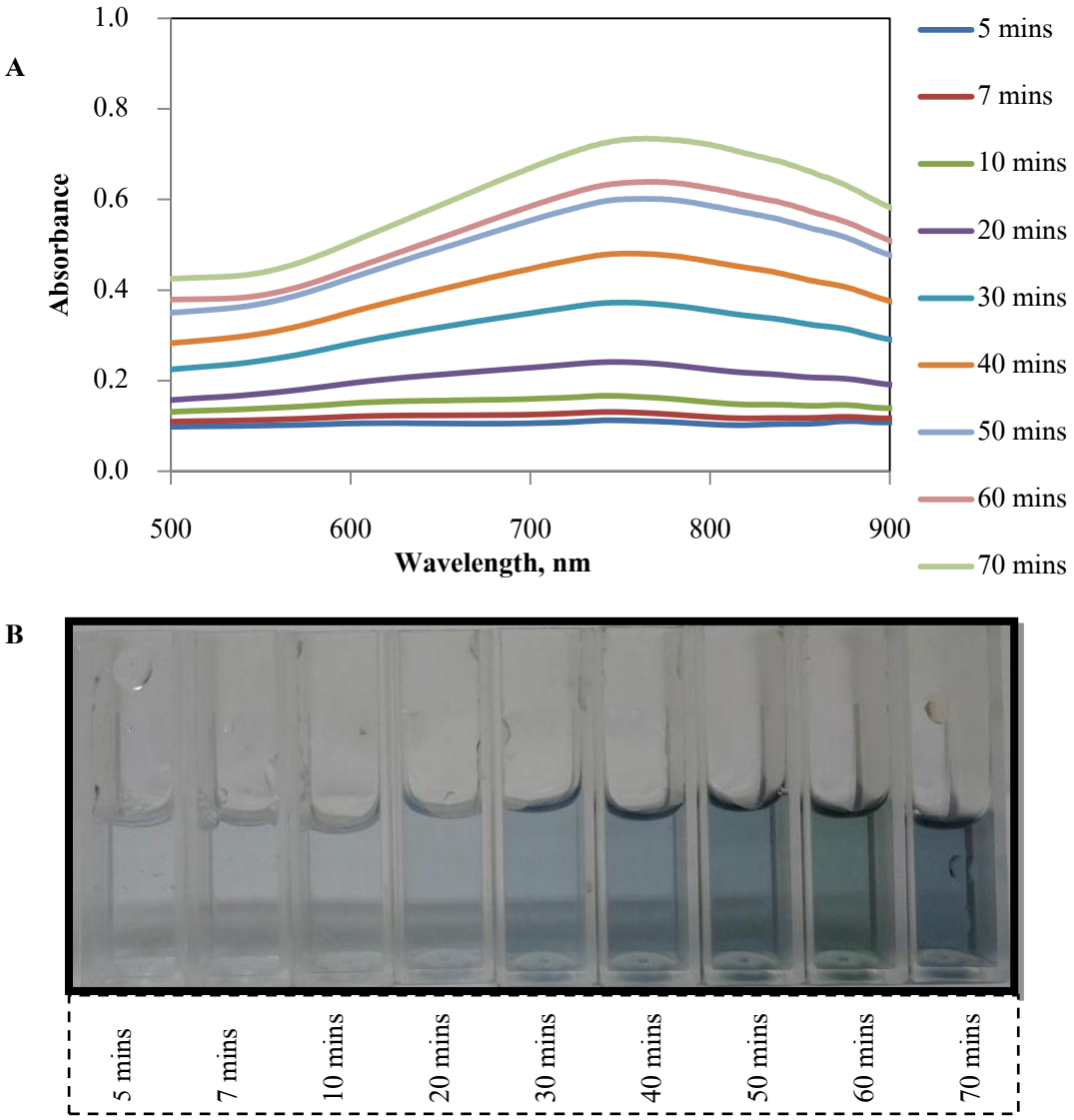


รูปที่ 4.4 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.4 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PAA แสดงว่าอนุภาคเงินเกิดความเสถียร แต่ความเข้มข้นของสารเพิ่มความคงตัวอาจจะยังน้อยเกินไป จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 13 mM

จ. สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 13 mM

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



รูปที่ 4.5 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 13 mM
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

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

สรุปผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA

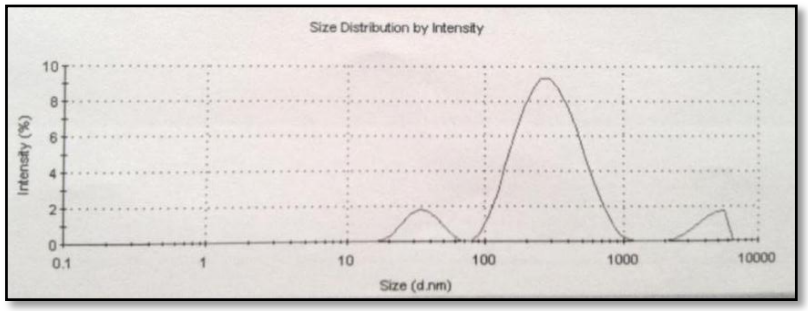
การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการสัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ70 นาที ตามลำดับ และใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 2, 5, 7, 9, และ13 mM จะได้สารละลายสีฟ้า

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

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

ก

ข



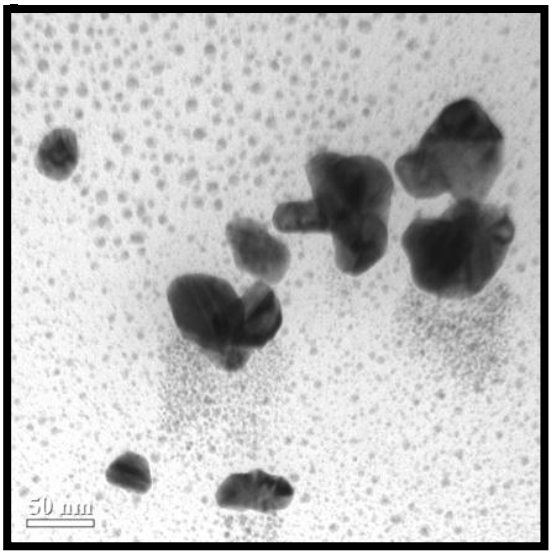
ชนิดของ สารเพิ่มความคงตัว	ครั้งที่1 (mV)	ครั้งที่2 (mV)	ครั้งที่3 (mV)	ค่าเฉลี่ย (mV)
PAA	-14.33	-15.48	-13.15	-14.32

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงประจุของอนุภาค

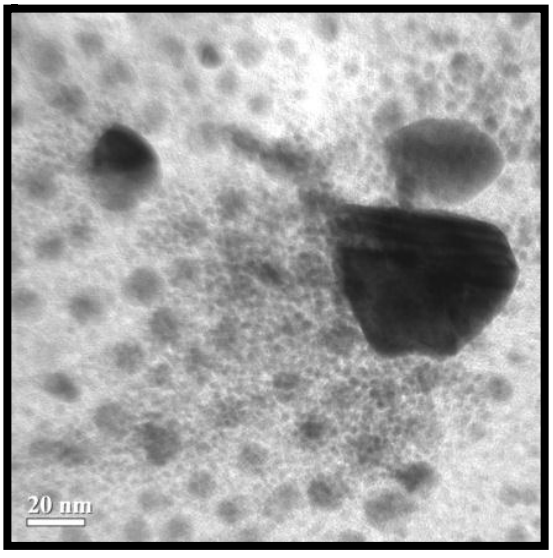
รูปที่ 4.6 แสดงผลการศึกษาขนาดและประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารเพิ่มความคงตัว PAA ความเข้มข้น 9 mM

ก. สีของสารละลาย ข. ขนาดของอนุภาค

ก



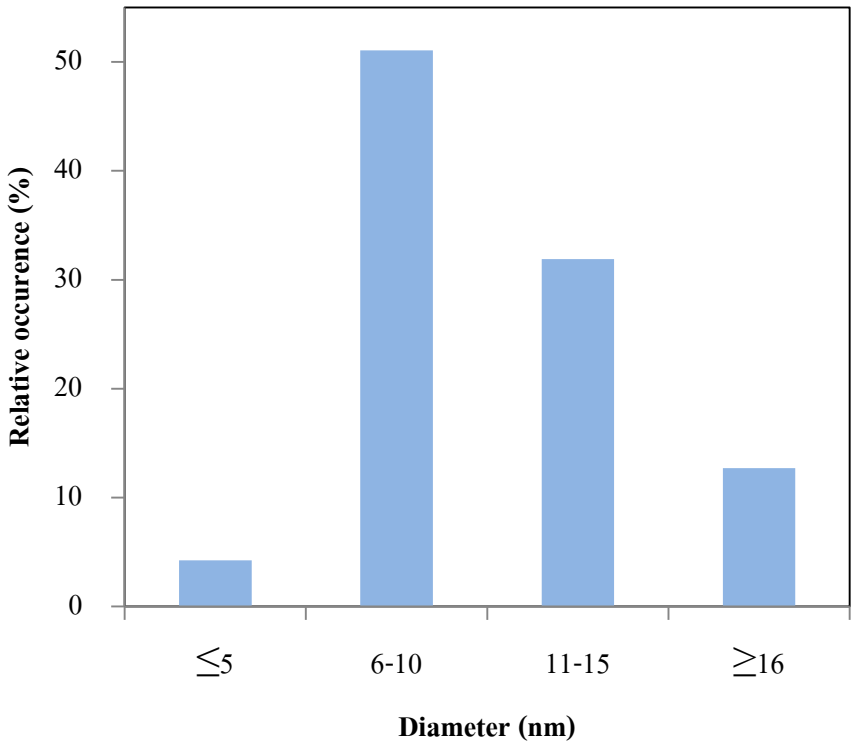
ข



รูปที่ 4.7 แสดงผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM

ก. ขนาดสเกล 50 nm ข. ขนาดสเกล 20 nm

จากรูปที่ 4.7 พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดอนุภาคมากมายที่เกิดขึ้น รูปที่ 4.8 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค



รูปที่ 4.8 แสดงค่าการกระจ่ายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM

สรุปผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM

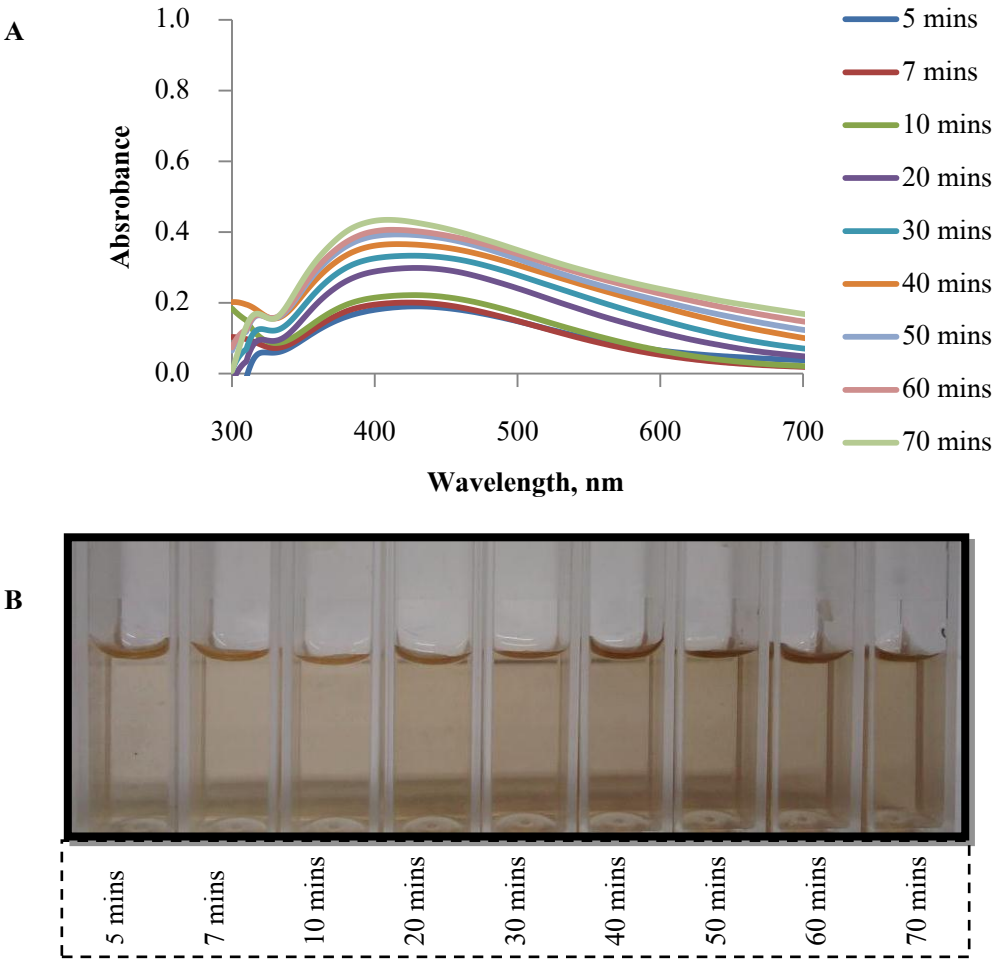
การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 9 mM จะได้สารละลายสีฟ้า แต่เนื่องจากผลการศึกษาขนาดและประจุ พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนยังมีขนาดใหญ่ จึงต้องทำการศึกษาชนิดของสารเพิ่มความคงตัวชนิดอื่นต่อไป

4.1.1.2 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS

โดยหลักการของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีส้ม ซึ่งความเข้มข้นและระยะเวลาที่สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C มีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นดังต่อไปนี้

ก. สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM

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

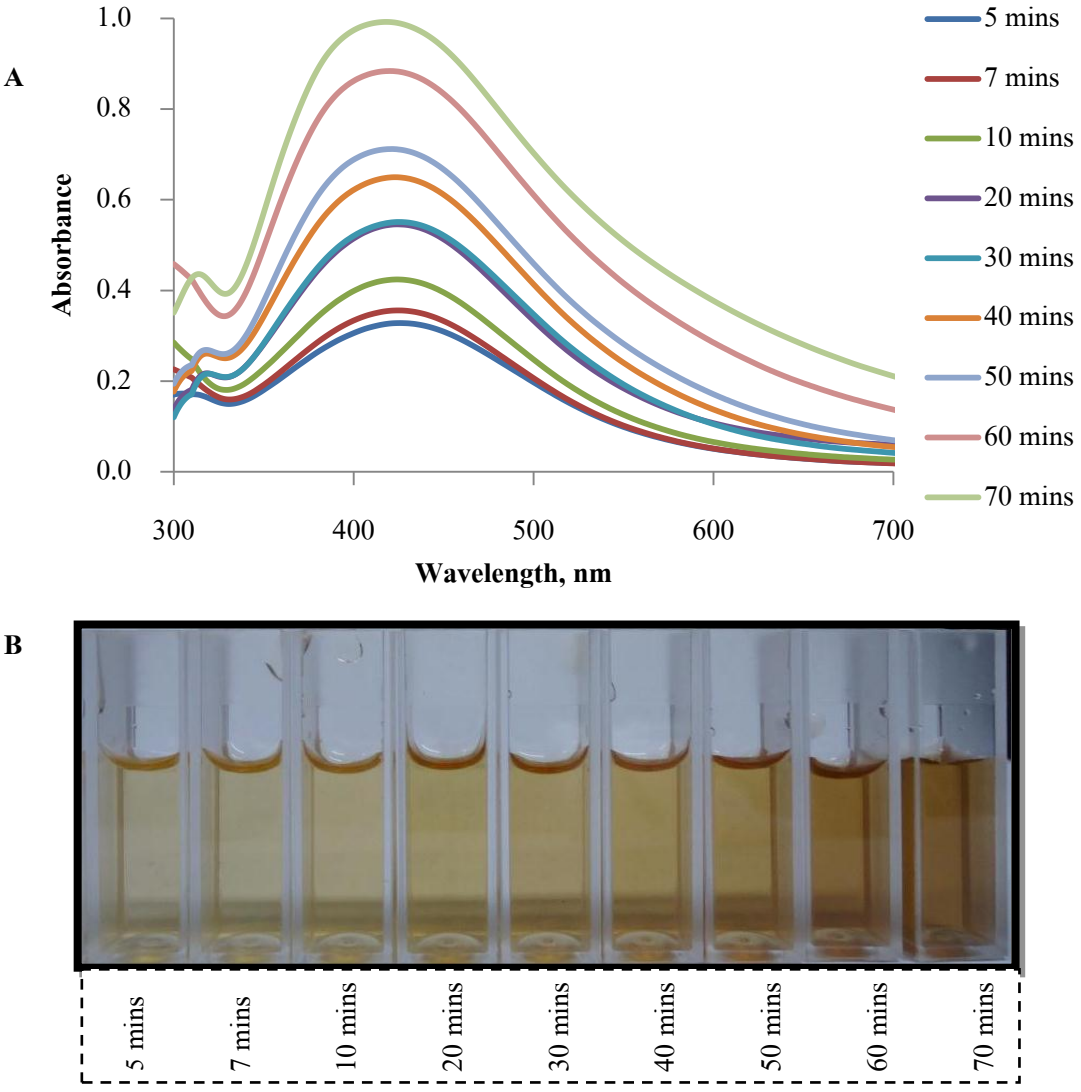


รูปที่ 4.9 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.9 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 4 mM

ข. สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 4 mM

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

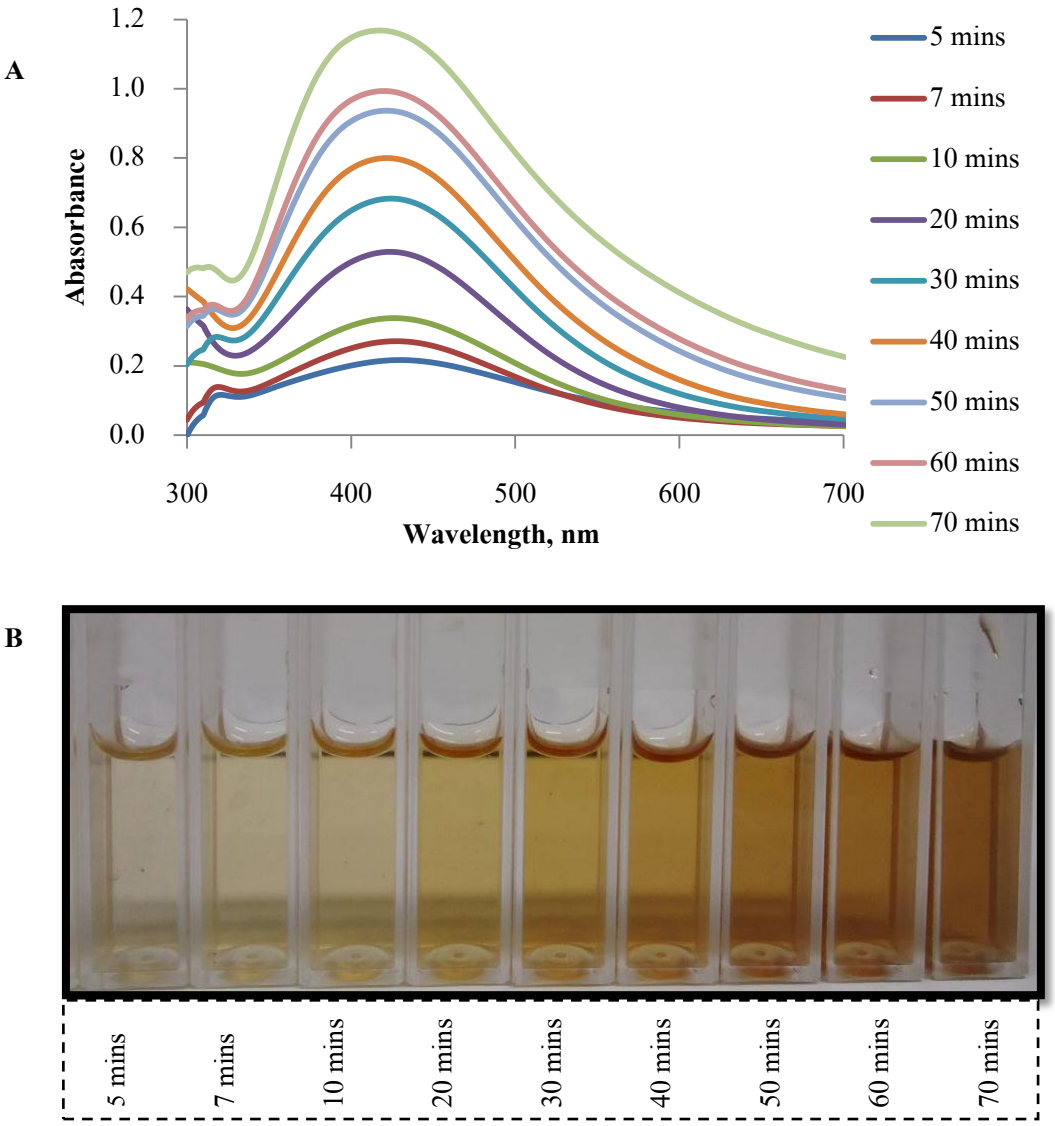


รูปที่ 4.10 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 4 mM
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.10 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 5 mM

ค. สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 5 mM

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

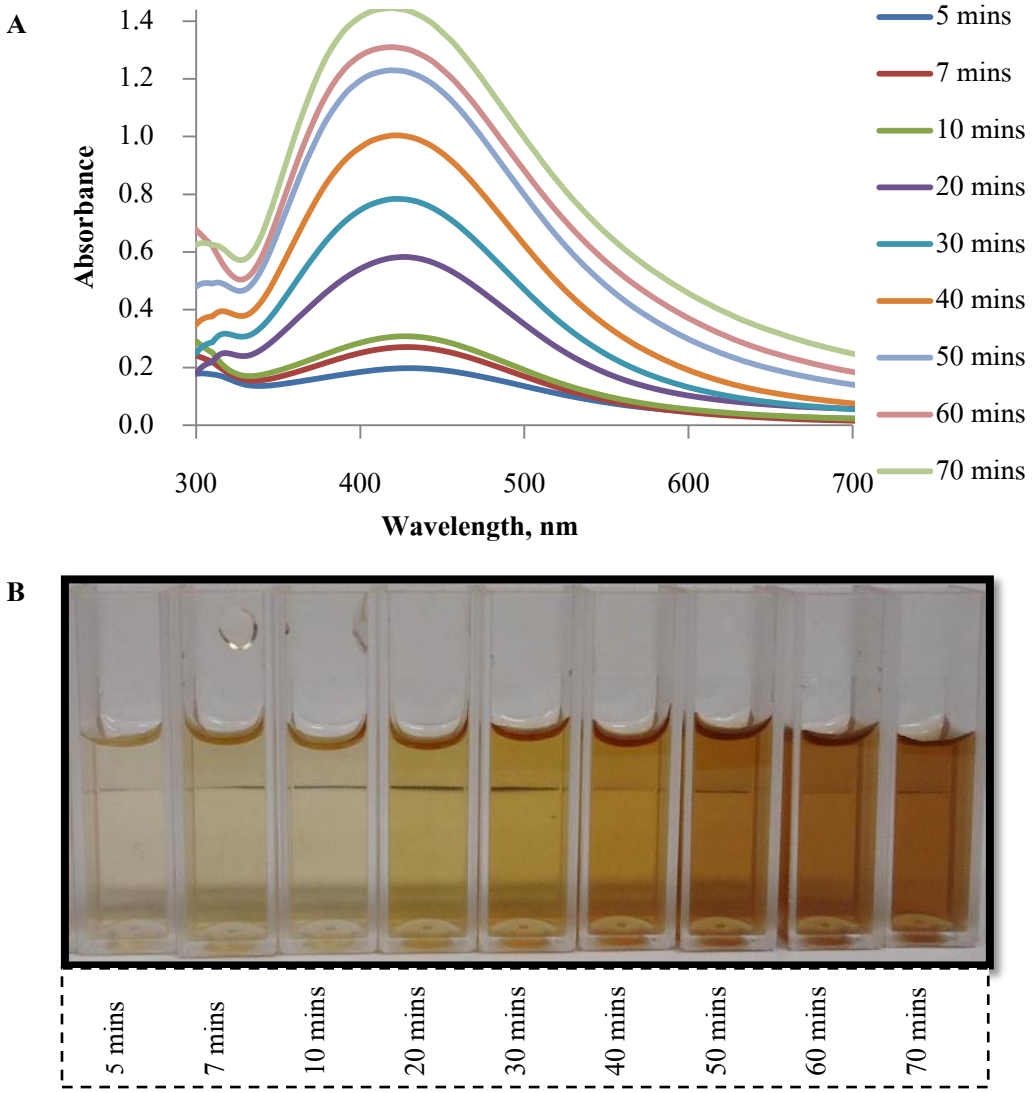


รูปที่ 4.11 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 5 mM
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.11 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ยังไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 7 mM

ง. สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM

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

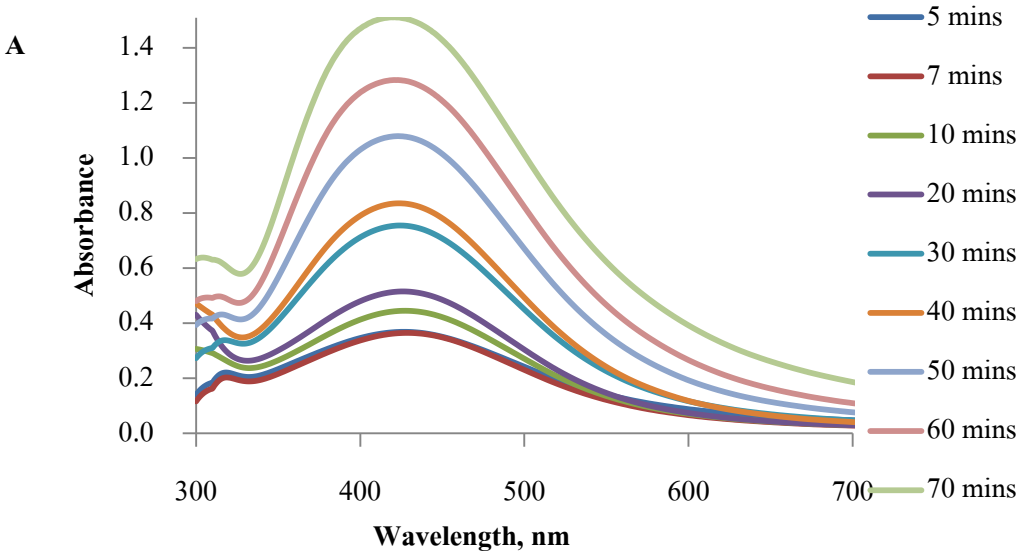


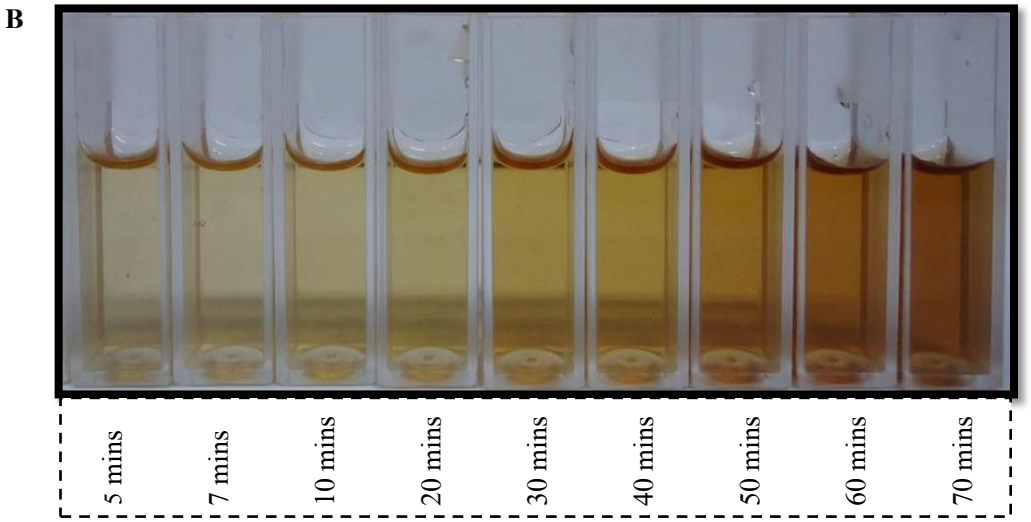
รูปที่ 4.12 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.12 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS แสดงว่าอนุภาคเงินเสถียร แต่ความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพอาจจะยังน้อยเกินไป จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 9 mM

ง. สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 9 mM

สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 9 mM สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C นาน 5-70 นาที วิเคราะห์ผลการศึกษาด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลดังรูปที่ 4.12





รูปที่ 4.13 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 9 mM
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

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

สรุปผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS

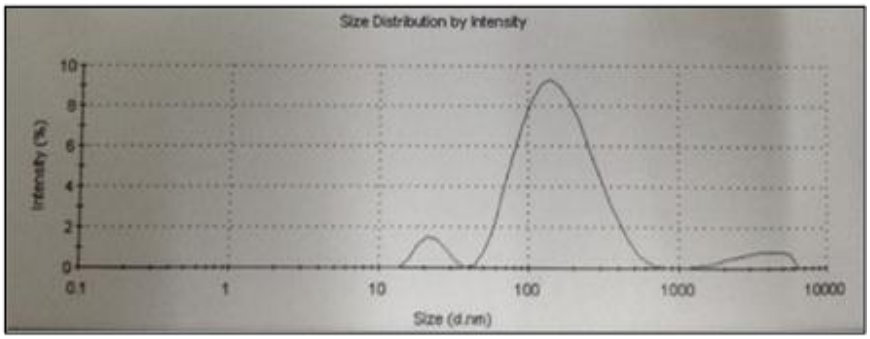
การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการสัมผัสพลังงานจากหลอด UVC นาน 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ70 นาที ตามลำดับ และใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1, 4, 5, 7, และ9 mM จะได้สารละลายสีส้ม

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

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

ก

ข



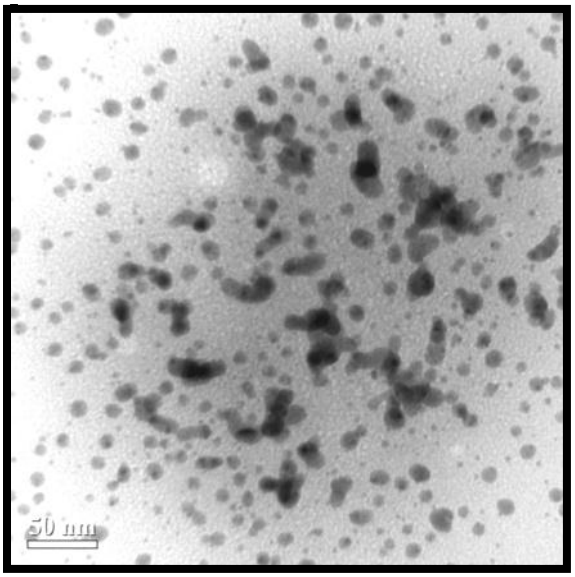
ชนิดของ สารเพิ่มความคงตัว	ครั้งที่1 (mV)	ครั้งที่2 (mV)	ครั้งที่3 (mV)	ค่าเฉลี่ย (mV)
CoPSS	-25.47	-28.91	-27.42	-27.36

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงประจุของอนุภาค

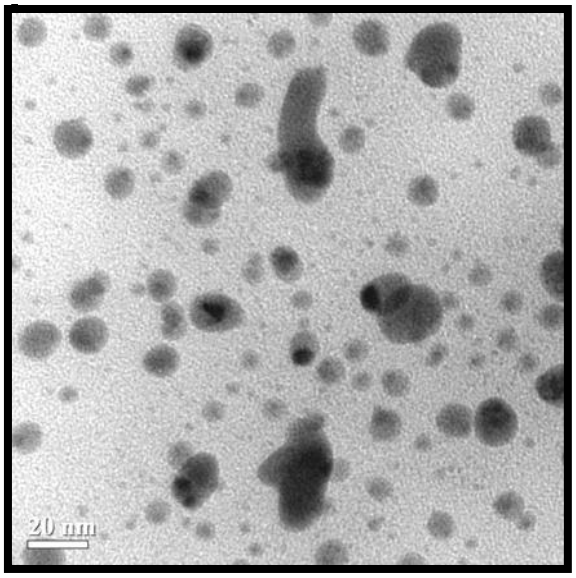
รูปที่ 4.14 แสดงผลการศึกษาขนาดและประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM

ก. สีของสารละลาย ข. ขนาดของอนุภาค

ก



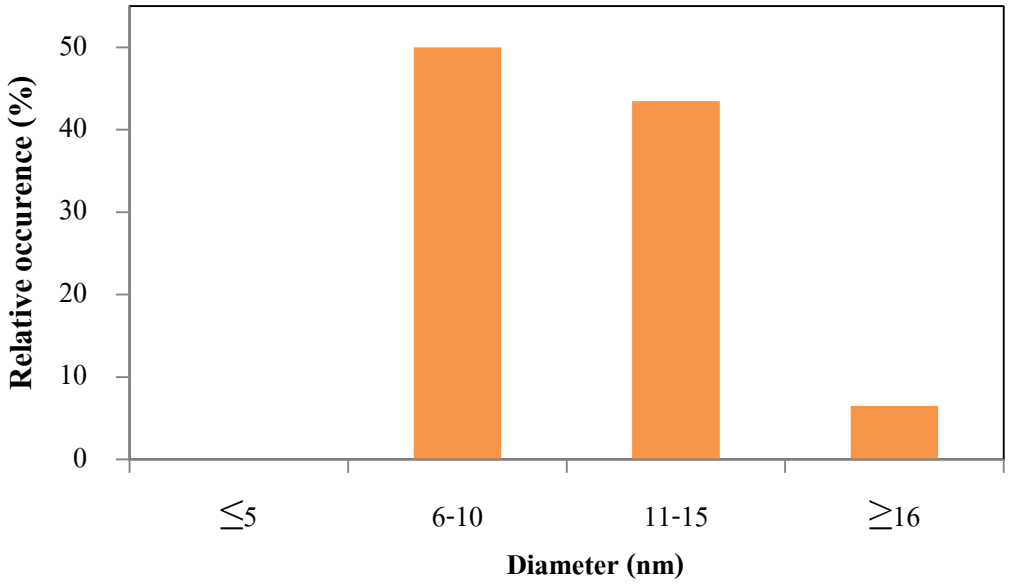
ข



รูปที่ 4.15 แสดงผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM

ก. ขนาดสเกล 50 nm ข. ขนาดสเกล 20 nm

จากรูปที่ 4.15 พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดอนุภาคมากมายที่เกิดขึ้น รูปที่ 4.16 ได้แสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค



รูปที่ 4.16 แสดงค่าการกระจ่ายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM

สรุปผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM

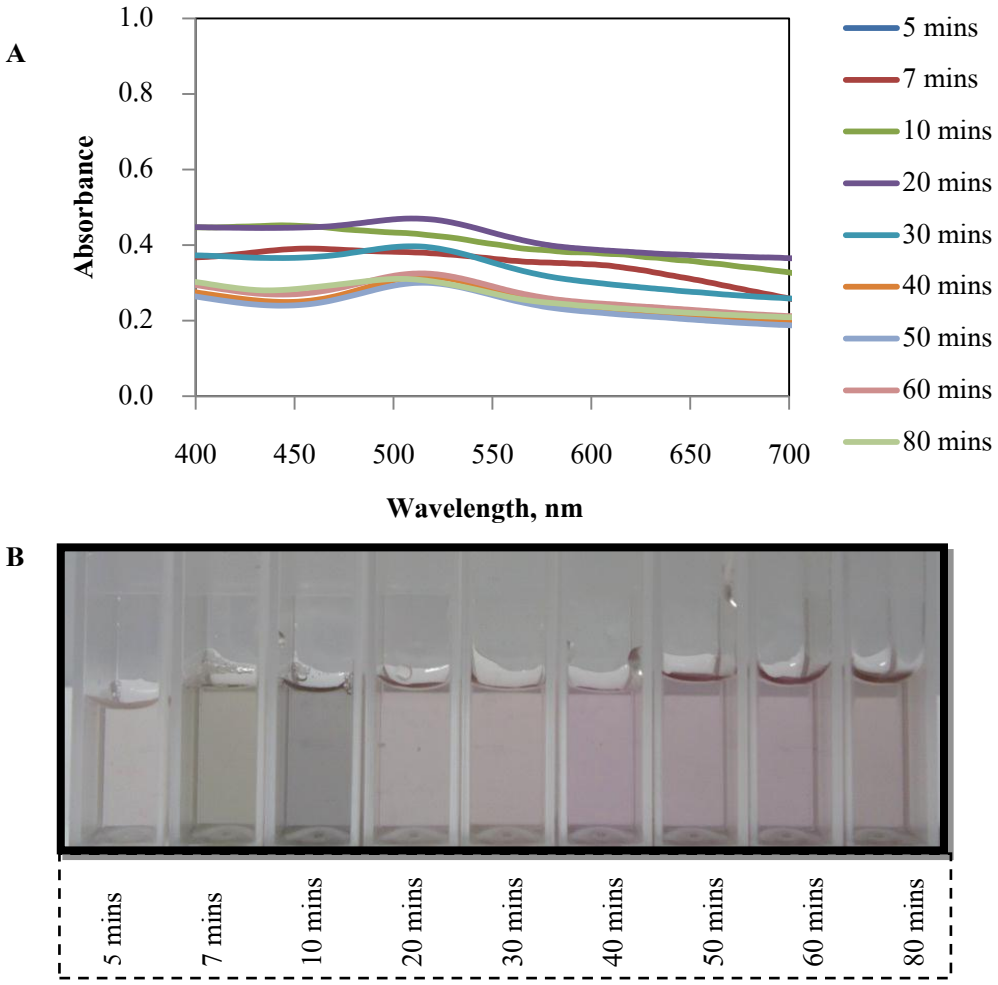
การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 7 mM จะได้สารละลายสีส้ม และผลการศึกษาขนาดและประจุ พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดเล็กเหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ แต่การประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ สีของสารละลายจะมีสีเหลืองอ่อน ซึ่งเป็นเฉดสีเดียวกับสารละลายก่อนการประยุกต์ใช้งาน อาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง จึงต้องทำการศึกษาชนิดของสารรักษาเสถียรภาพ อีกหนึ่งชนิด ดังนี้

4.1.1.3 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA

โดยหลักการของสารเพิ่มความคงตัว PMA จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีส้ม ซึ่งความเข้มข้นและระยะเวลาที่สัมผัสพลังงานจากหลอด UV-C มีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นดังต่อไปนี้

ก. สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM

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

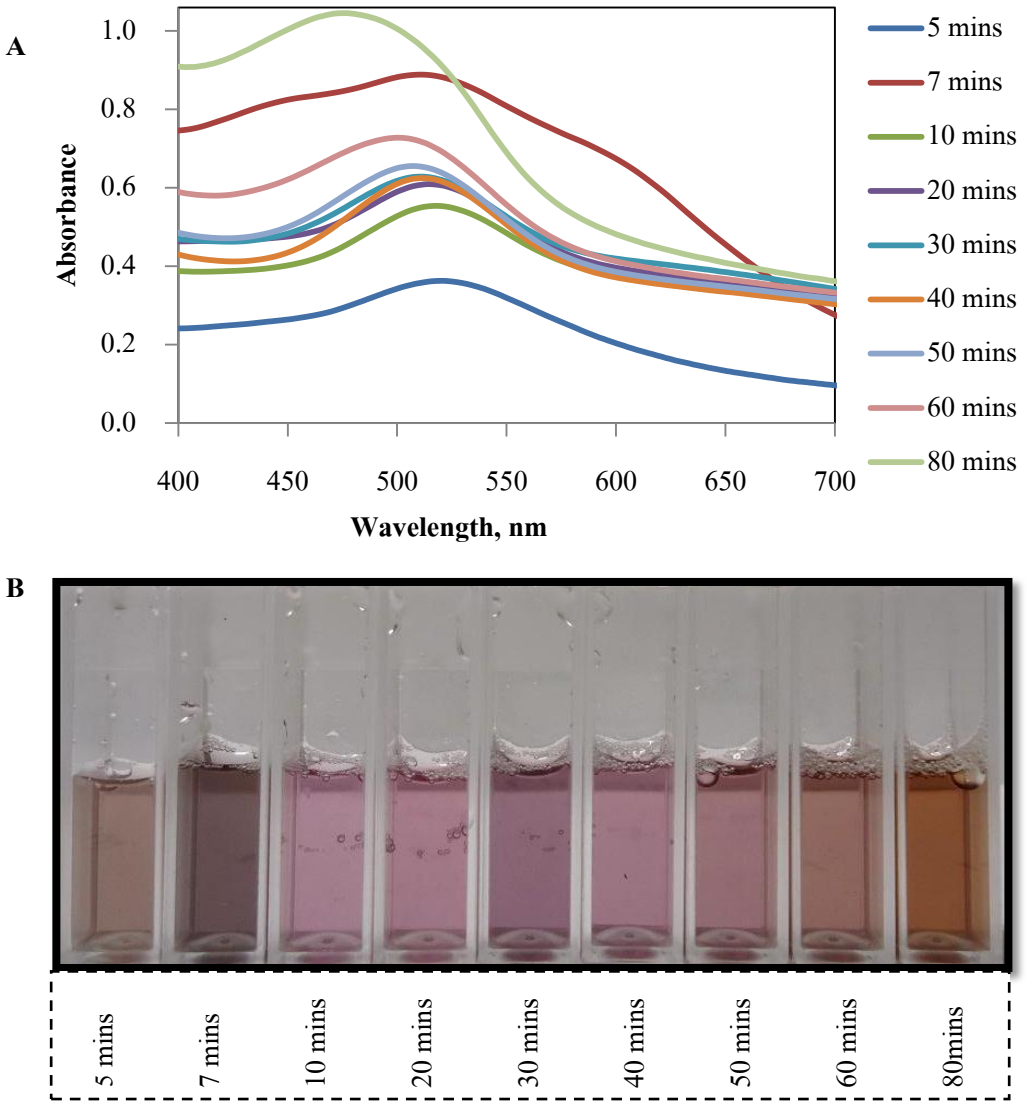


รูปที่ 4.17 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.17 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PMA ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 3 mM

ข. สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 3 mM

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

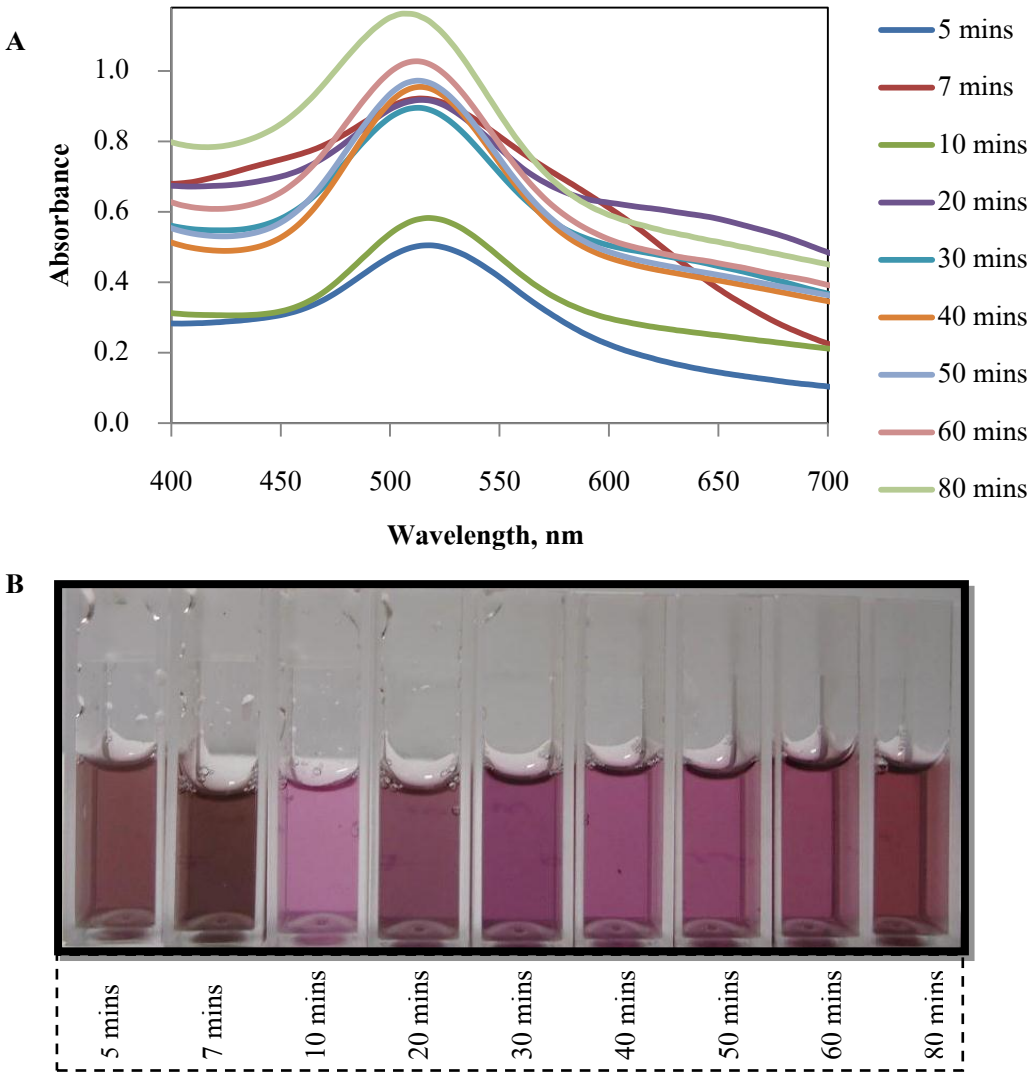


รูปที่ 4.18 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 3 mM
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.18 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PMA ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 5 mM

ค. สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 5 mM

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

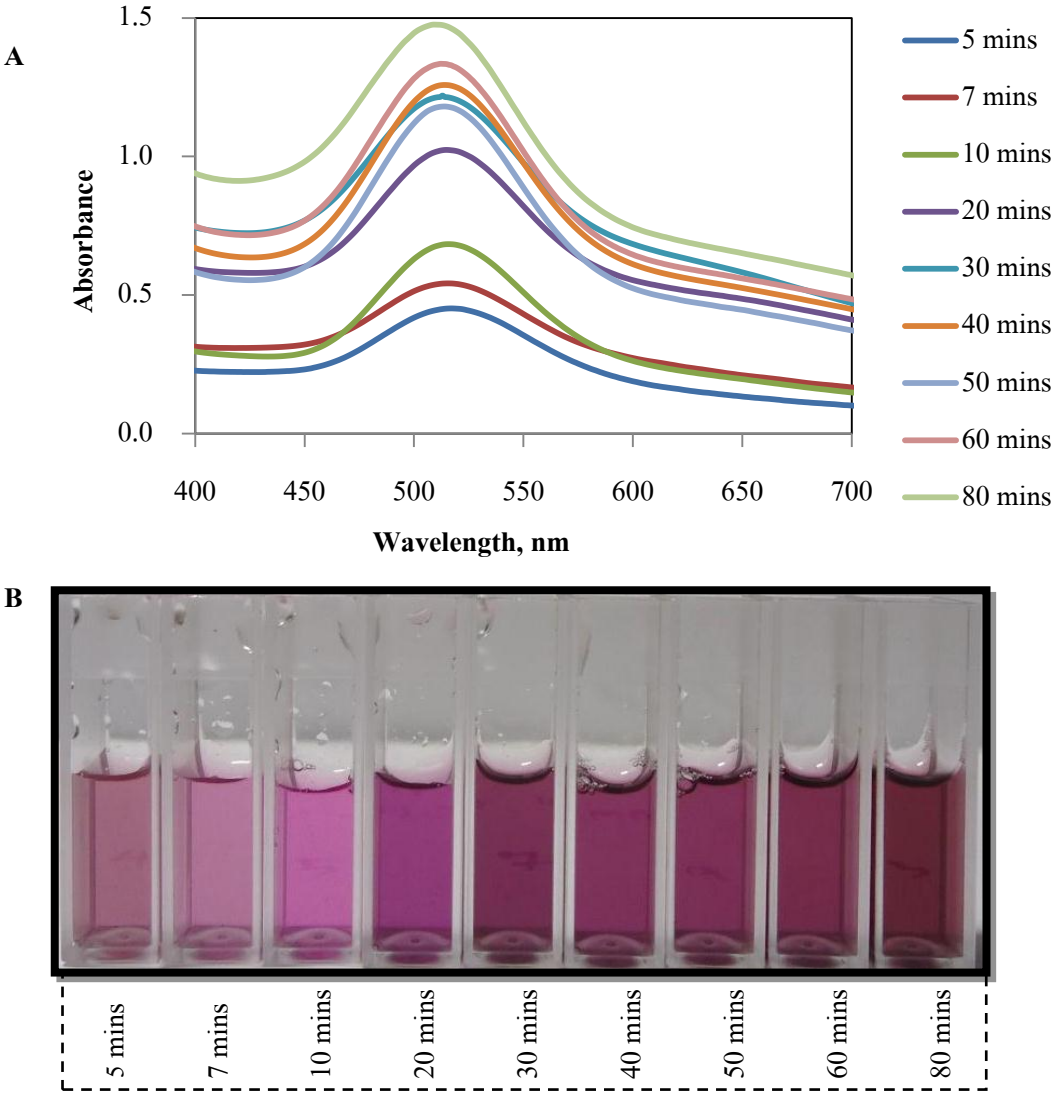


รูปที่ 4.19 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 5 mM
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.19 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PMA ก็ไม่เพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่งผลให้อนุภาคเงินระดับนาโนยังไม่เสถียร จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 7 mM

ง. สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM

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

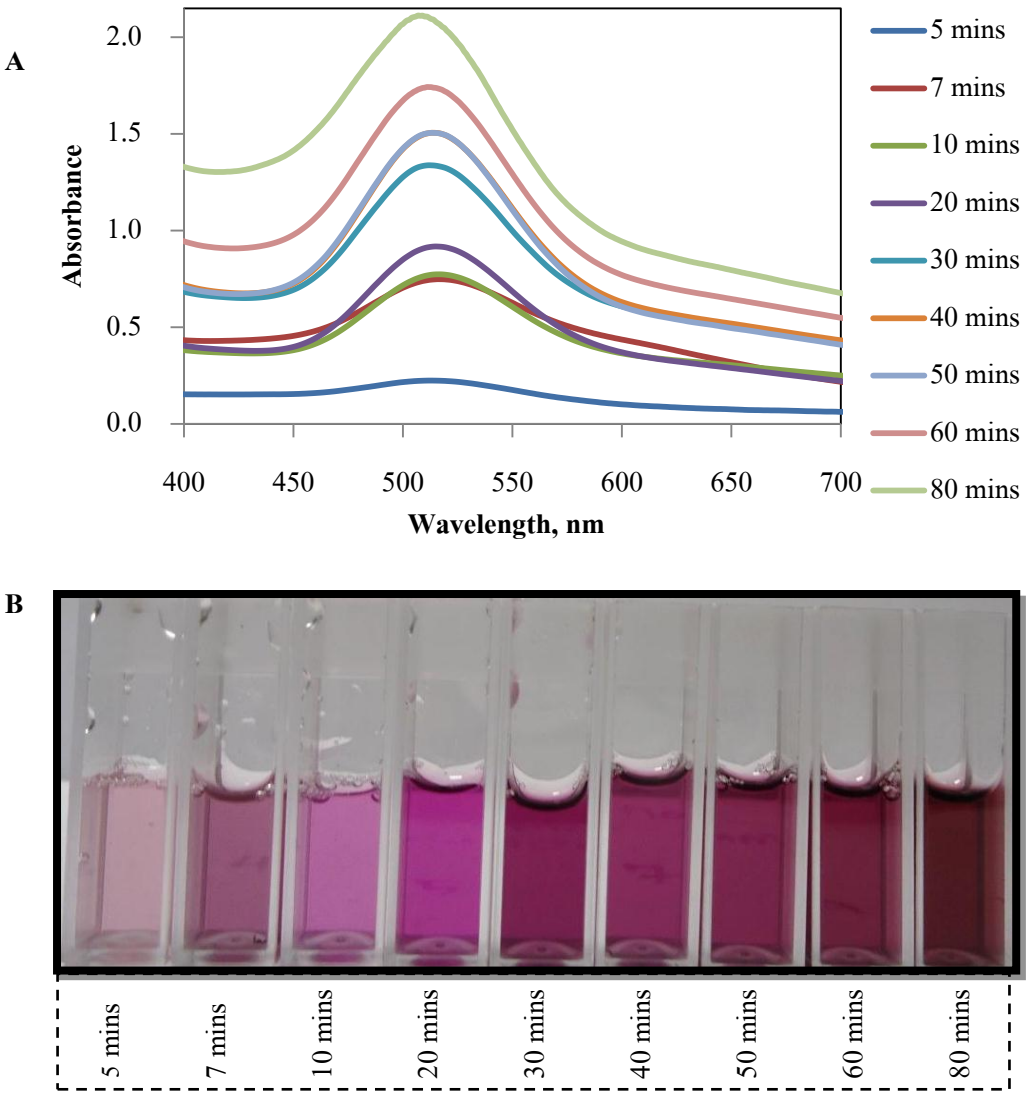


รูปที่ 4.20 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.20 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายพบว่าความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ PMA แสดงว่าอนุภาคเงินเกิดความเสถียร แต่ความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ อาจจะยังน้อยเกินไป จึงทำการศึกษาต่อในความเข้มข้นที่ 9 mM

ง. สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 9 mM

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



รูปที่ 4.21 แสดงข้อมูลของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 9 mM
ค่าการดูดกลืนแสง (A) และ สีของสารละลาย (B)

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

สรุปผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA

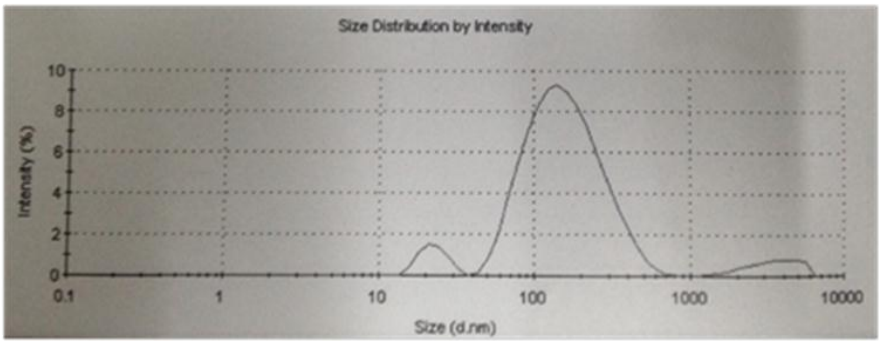
การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียว โดยการสัมผัสพลังงานจากหลอด UVC นาน 5, 7, 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ80 นาที ตามลำดับ และใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1, 3, 5, 7, และ9 mM จะได้สารละลายสีชมพู

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

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

ก

ข



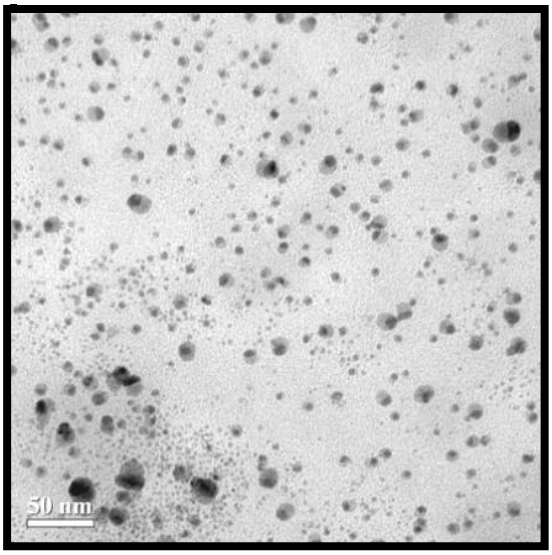
ชนิดของ สารเพิ่มความคงตัว	ครั้งที่1 (mV)	ครั้งที่2 (mV)	ครั้งที่3 (mV)	ค่าเฉลี่ย (mV)
PMA	-41.51	-38.76	-40.81	-37.90

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงประจุของอนุภาค

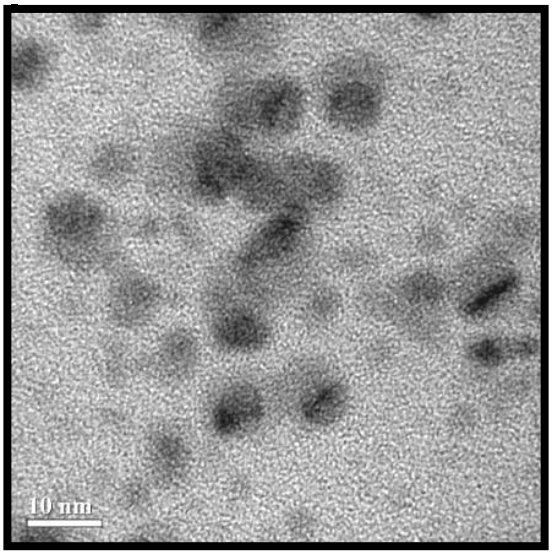
รูปที่ 4.22 แสดงผลการศึกษาขนาดและประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM

ก. สีของสารละลาย ข. ขนาดของอนุภาค

ก



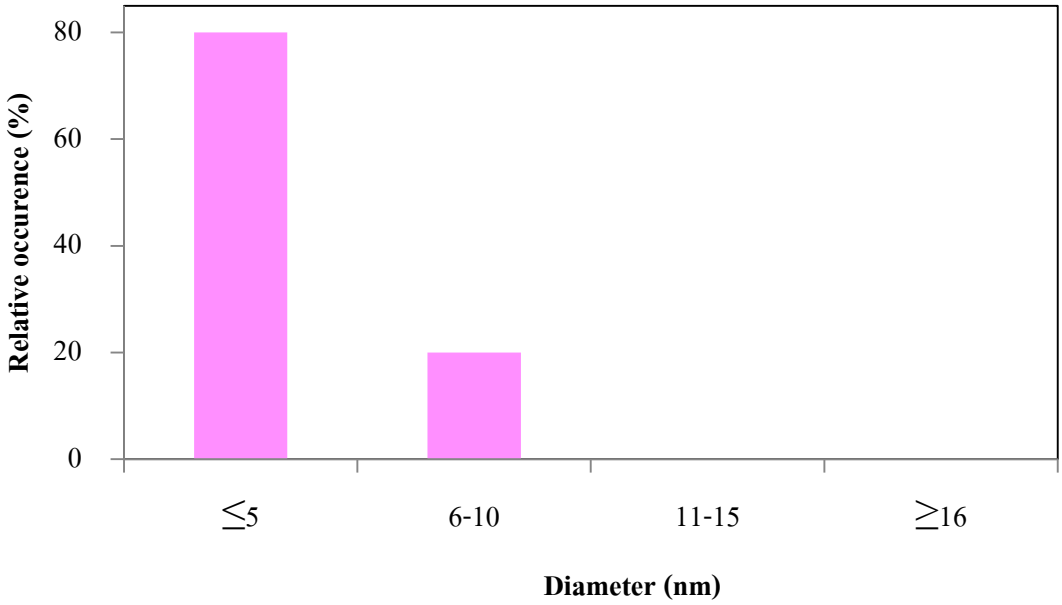
ข



รูปที่ 4.23 แสดงผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM

ก. ขนาดสเกล 50 nm ข. ขนาดสเกล10 nm

จากรูปที่ 4.23 พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดอนุภาคมากมายที่เกิดขึ้น รูปที่ 4.24 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค



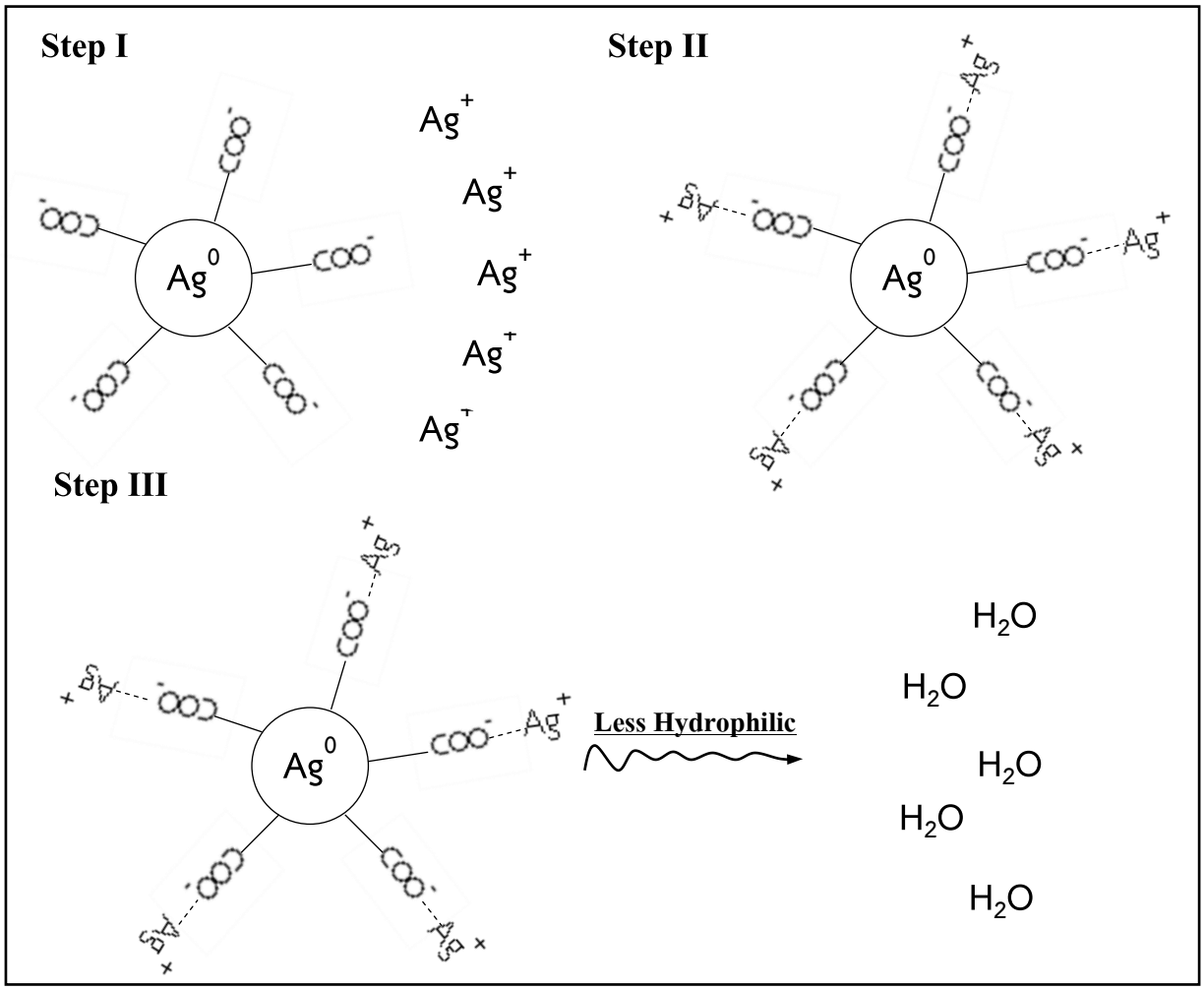
รูปที่ 4.24 แสดงค่าการกระจ่ายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM

สรุปผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเคมีสีเขียวโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 7 mM จะได้สารละลายสีชมพู และผลการศึกษาขนาดและประจุ พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดเล็กและเสถียรมาก ตลอดจนสีของสารละลายฯ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ สีของสารละลายฯจะเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเหลือง ซึ่งเกิดการเปลี่ยนสีแตกต่างกันอย่างชัดเจน จึงเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้มากที่สุด

4.1.2 กลไกการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโน ที่สังเคราะห์โดยวิธีการรีดักชันทางแสง ในที่นี้จะอธิบายในกรณีการใช้ PMA เป็นสารรักษาเสถียรภาพ

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยปฏิกิริยารีดักชันโดยการใช้พลังงานของแสงจากหลอด UV-C ทำให้เกิดสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีชมพู ซึ่งสารละลายที่ให้สีชมพูเกิดจากพลังงานของแสงจากหลอด UV-C มีพลังงานต่ำ ทำให้ปฏิกิริยารีดักชันของซิลเวอร์ไอออนเกิดขึ้นอย่างไม่สมบูรณ์ ส่งผลให้มีปริมาณของซิลเวอร์ไอออนเหลืออยู่ ซิลเวอร์ไอออนที่เหลืออยู่จะเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคเงินระดับนาโน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนในรูปของ Ag^{+}/COO^{-} ซึ่งสารประกอบเชิงซ้อนชนิดนี้จะเหนี่ยวนำให้อนุภาคของน้ำที่อยู่รอบๆเกิดการผลักออกจากโครงสร้าง ซึ่งแน่นอนว่าจะทำให้สารประกอบเชิงซ้อน Ag^{+}/COO^{-} มีความชอบน้ำลดน้อยลง ระยะห่างที่โมเลกุลของน้ำถูกผลักออกออกจากสารประกอบเชิงซ้อน Ag^{+}/COO^{-} ทำให้ค่าการกระเจิงแสงแตกต่างกัน สีที่เห็นก็จะปรากฏออกมาแตกต่างกัน ซึ่งสามารถอธิบายโดยการใช้รูปที่ 4.25 ได้ดังนี้



รูปที่ 4.25 แสดงกลไกการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเคมีสีเขียว

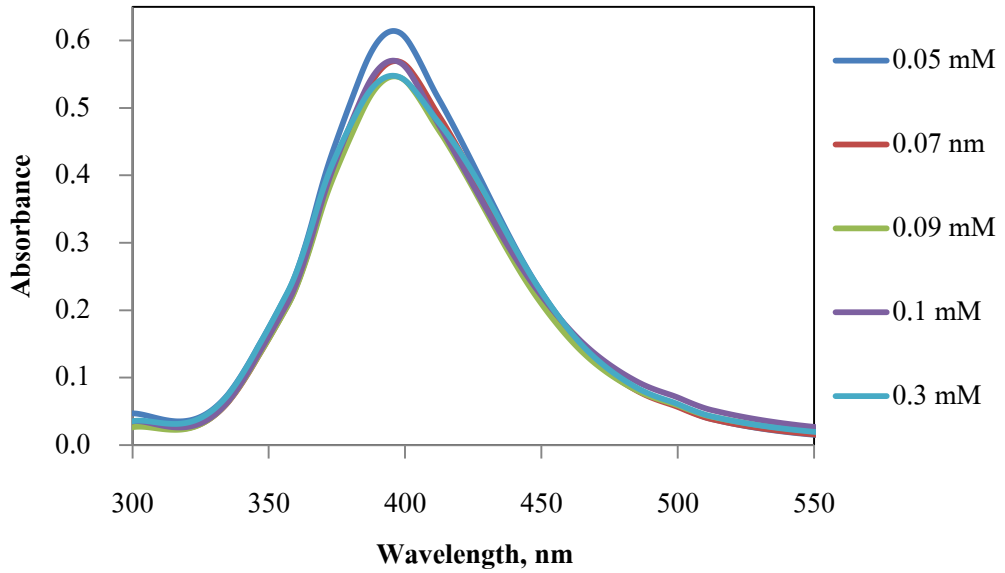
4.1.3 ผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี (Chemical reduction)

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี ชนิดและความเข้มข้นของสารรักษาเสถียรภาพ มีส่วนสำคัญในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน จึงต้องทำการศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ดังนี้

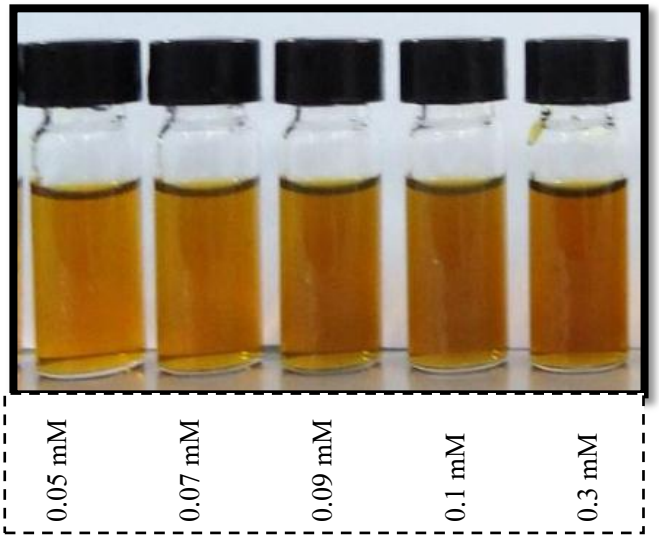
4.1.3.1 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA

โดยหลักการของสารรักษาเสถียรภาพ PAA จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีเหลือง ซึ่งความเข้มข้นมีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นและได้ผลการศึกษาดังนี้

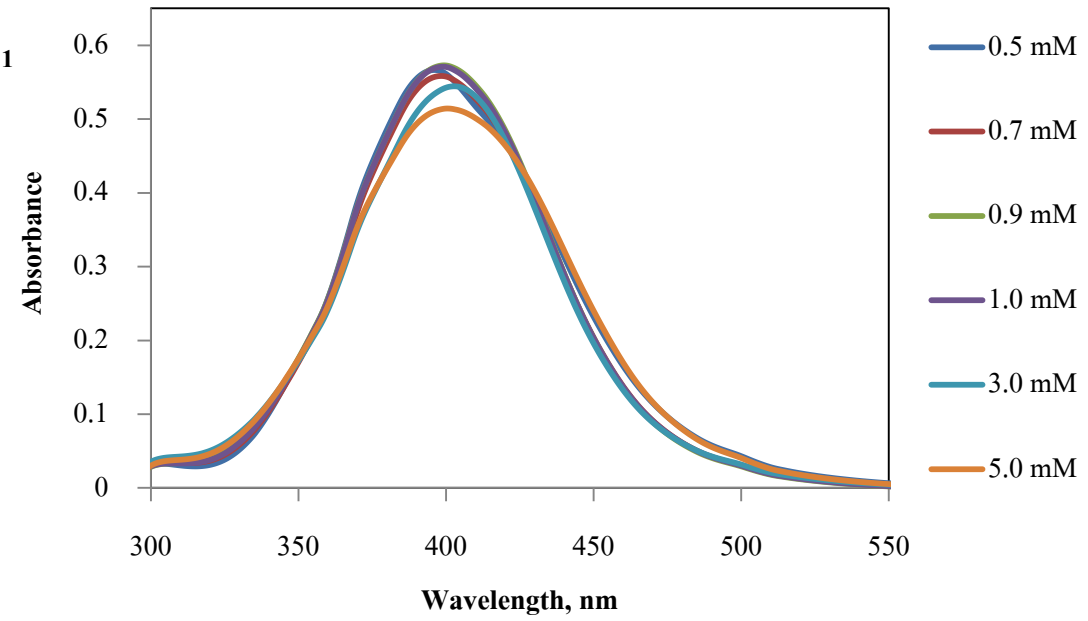
ก.1



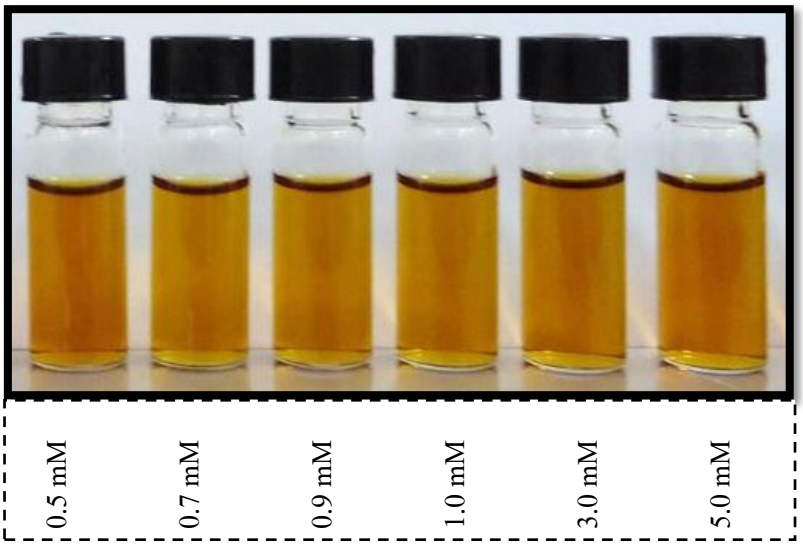
ก.2



ข.1



ข.2



รูปที่ 4.26 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA

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

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

จากผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 0.05-5.0 mM ได้สารละลายสีเหลือง ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกัน ส่งผลให้การนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ไม่เหมาะสม เพราะสีของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงยังอยู่ในเฉดสีเดียวกัน แต่เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์วิเคราะห์ จึงทำการเลือกสารเพิ่มความคงตัวความเข้มข้นที่ 1 mM เพราะเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม มีการใช้สารเคมีไม่มากหรือน้อยจนเกินไป

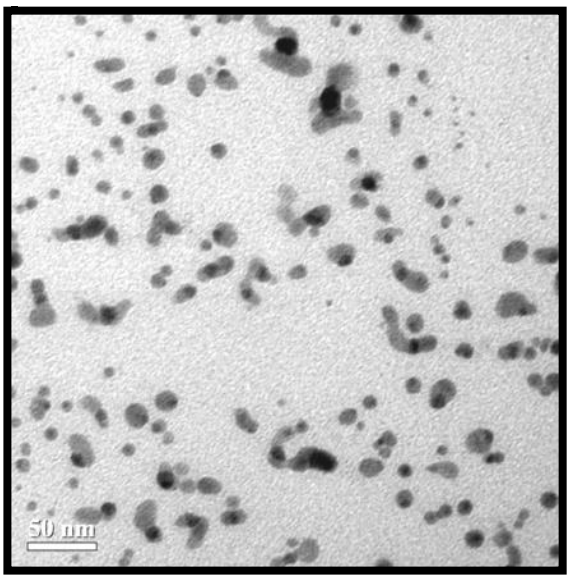
เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษาอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ ช่วยให้อนุภาคเงินเกิดความเสถียร จึงใช้เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Zetasizer Nano ZS) เพื่อทำการศึกษาประจุของอนุภาคเงินระดับนาโน ได้ผลการศึกษาดังตารางที่ 4.4 และทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน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

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

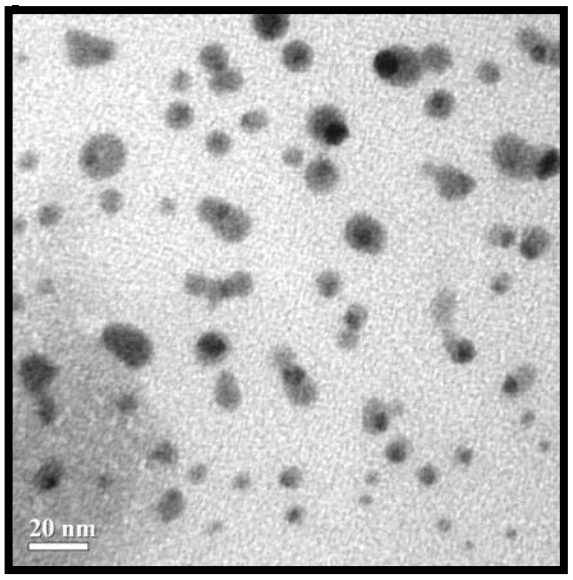
ตารางที่ 4.4 (ซ้าย) แสดงผลการศึกษาประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

รูปที่ 4.27 (ขวา) แสดงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

ก

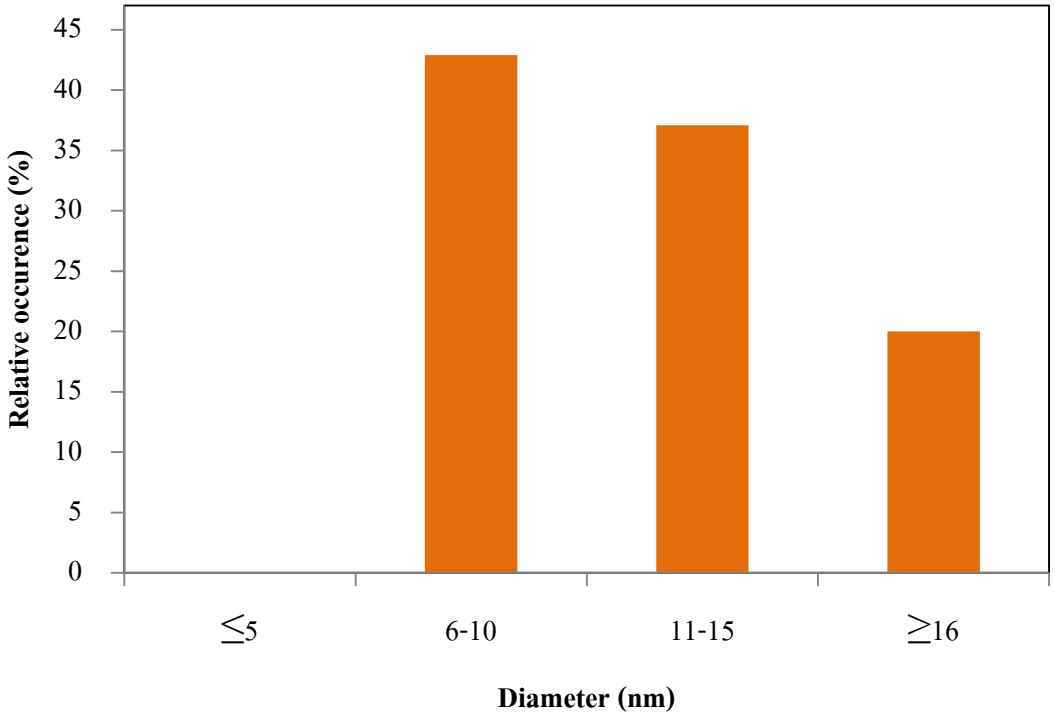


ข



รูปที่ 4.28 แสดงผลการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี
โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM
ก. ขนาดสเกล 50 nm ข. ขนาดสเกล 20 nm

จากรูปที่ 4.28 พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดอนุภาคมากมายที่เกิดขึ้น รูปที่ 4.30 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค



รูปที่ 4.29 แสดงค่าการกระจ่ายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

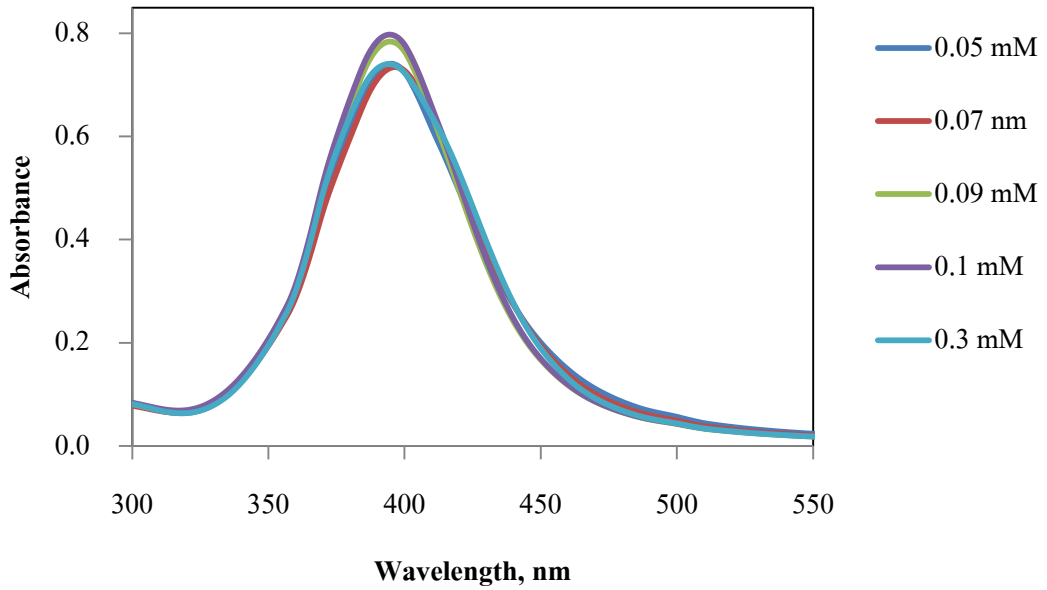
สรุปผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

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

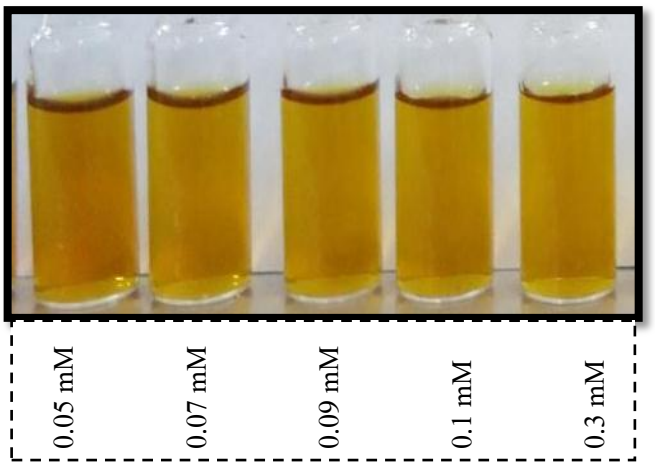
4.1.3.2 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS

โดยหลักการของสารรักษาเสถียรภาพ CoPSS จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีเหลืองเช่นเดียวกัน ซึ่งความเข้มข้นมีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นและได้ผลการศึกษาดังนี้

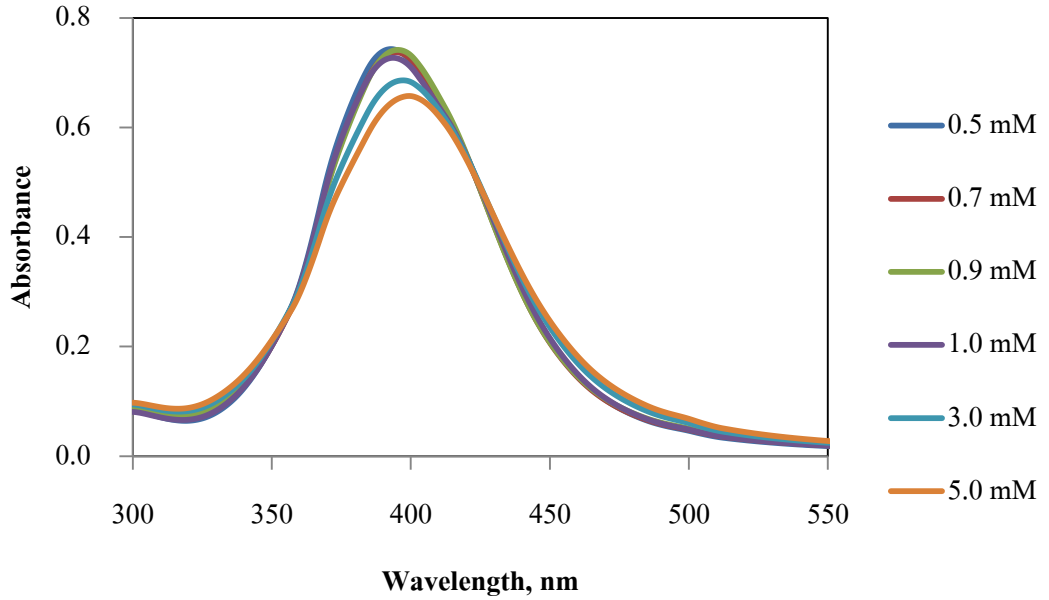
ก.1



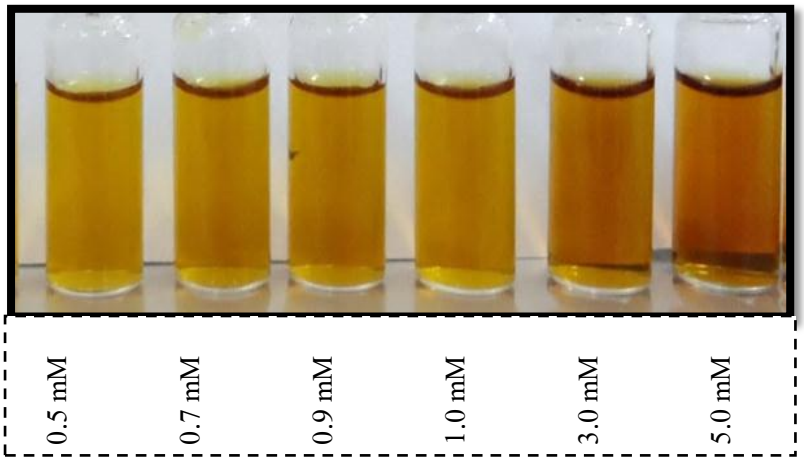
ก.2



ข.1



ข.2



รูปที่4.30 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS

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

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

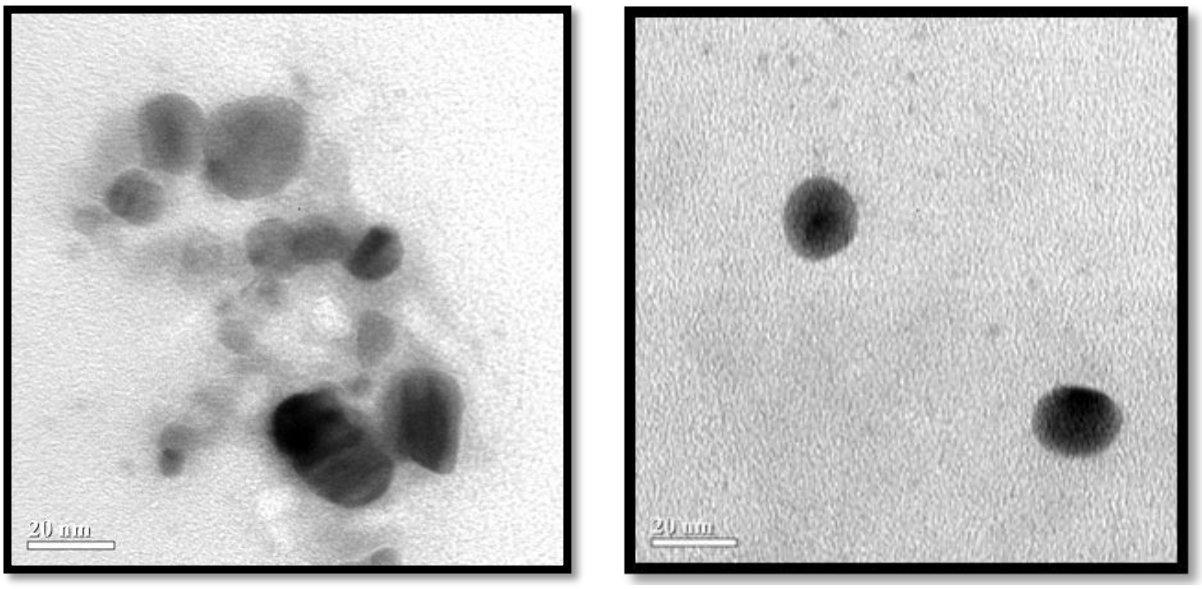
จากผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 0.05-5.0 mM ได้สารละลายสีเหลือง ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกัน ส่งผลให้การนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ไม่เหมาะสม เพราะสีของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงยังอยู่ในเฉดสีเดียวกัน แต่เพื่อเป็นการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ จึงทำการเลือกสารรักษาเสถียรภาพ ที่ความเข้มข้น 1 mM เพราะเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม มีการใช้สารเคมีไม่มากหรือน้อยจนเกินไป

เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษาอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ ช่วยให้อนุภาคเงินเกิดความเสถียร จึงใช้เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Zetasizer Nano ZS) เพื่อทำการศึกษาประจุของอนุภาคเงินระดับนาโน ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.5 และทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.32

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

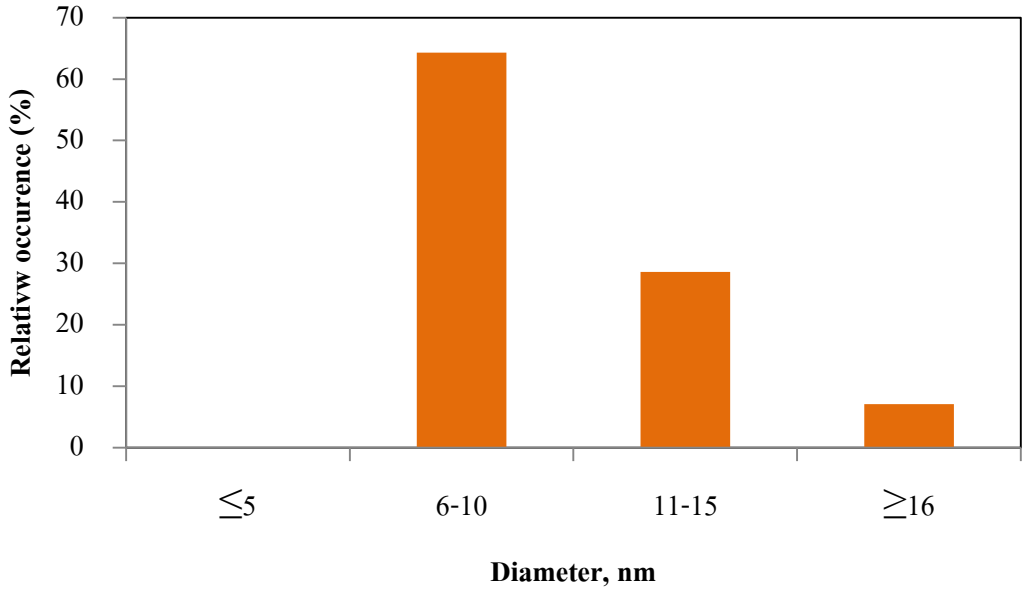
ตารางที่ 4.5 (ซ้าย) แสดงผลการศึกษาประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM

รูปที่ 4.31 (ขวา) แสดงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM



รูปที่ 4.32 แสดงผลการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM ขนาดสเกล 20 nm

จากรูปที่ 4.33 พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดอนุภาคมากมายที่เกิดขึ้น รูปที่ 4.33 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค



รูปที่ 4.33 แสดงค่าการกระจ่ายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM

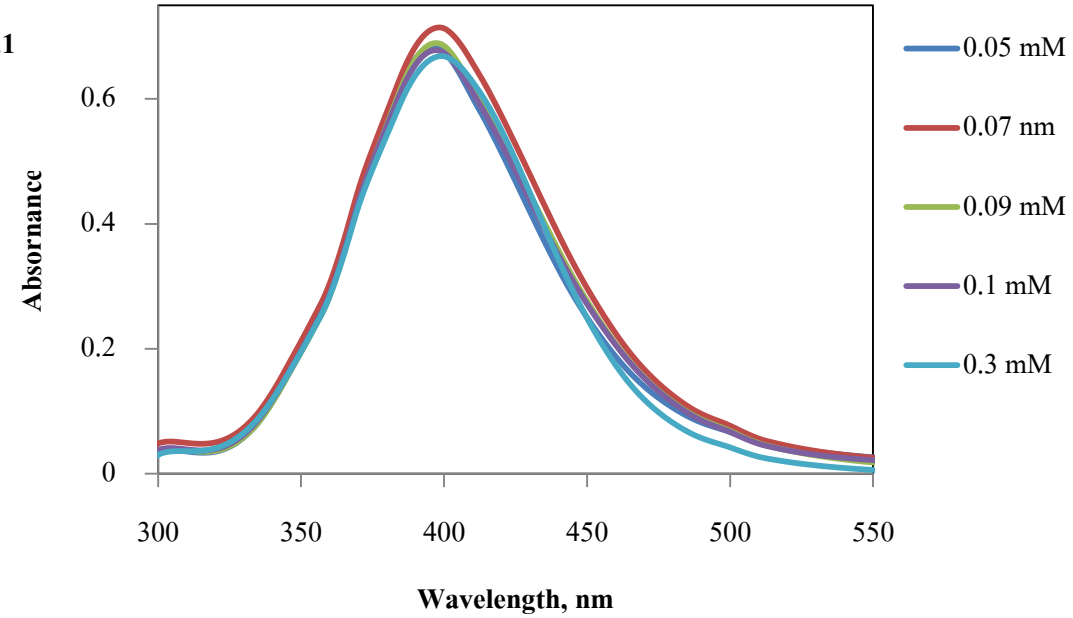
สรุปผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ CoPSS ความเข้มข้น 1 mM จะได้สารละลายสีเหลือง และผลการศึกษาประจุ พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดเล็กและเสถียรมาก ตลอดจนสีของสารละลายฯ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สีของสารละลายฯจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเหลืองอ่อน ซึ่งเปลี่ยนเฉดสีใกล้เคียงกับสารละลายฯ จึงไม่เหมาะสมที่จะประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้

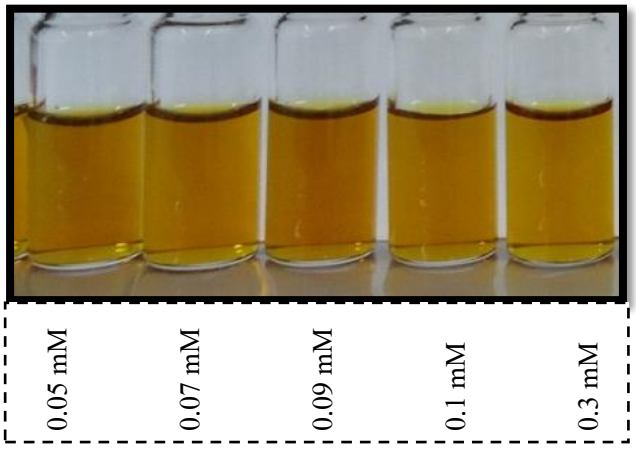
4.1.3.3 ใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA

โดยหลักการของสารรักษาเสถียรภาพ PMA จะให้สารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนสีเหลือง ซึ่งความเข้มข้นมีส่วนสำคัญ จึงทำการศึกษาที่ความเข้มข้นและได้ผลการศึกษาดังนี้

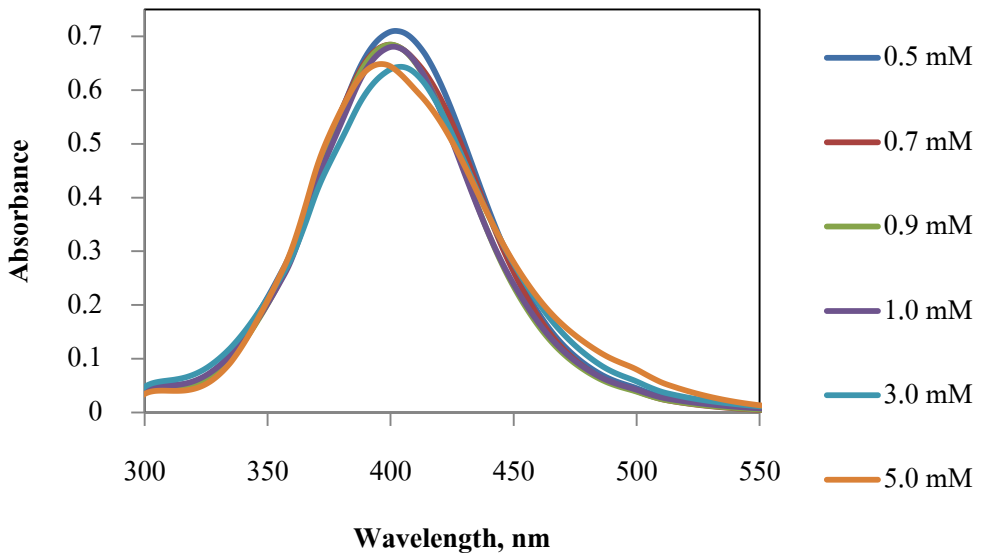
ก.1



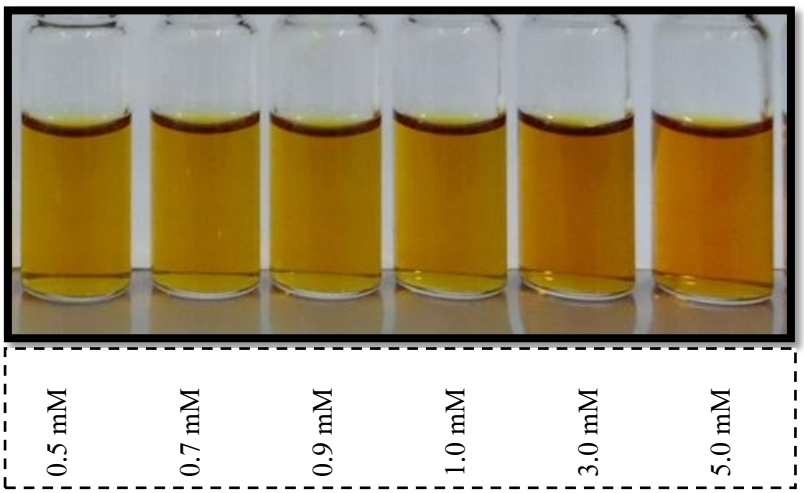
ก.2



ข.1



ข.2



รูปที่4.34 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA

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

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

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

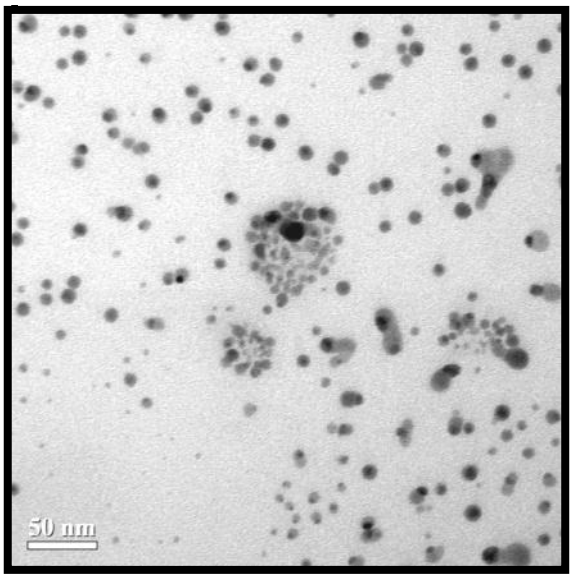
เพื่อเป็นการยืนยันผลการศึกษาอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีสารรักษาเสถียรภาพ ช่วยให้อนุภาคเงินเกิดความเสถียร จึงใช้เครื่องวัดศักย์ไฟฟ้าซีต้า (Zetasizer Nano ZS) เพื่อทำการศึกษาประจุของอนุภาคเงินระดับนาโน ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.6 และทำการศึกษาลักษณะทางกายภาพของอนุภาคด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope: TEM) ได้ผลการศึกษาดังรูปที่ 4.36

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

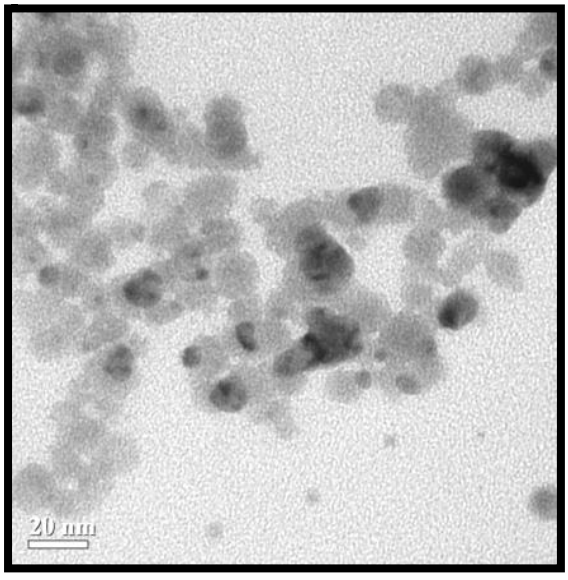
ตารางที่ 4.6 (ซ้าย) แสดงผลการศึกษาประจุสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

รูปที่ 4.35 (ขวา) แสดงสีของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PAA ความเข้มข้น 1 mM

ก

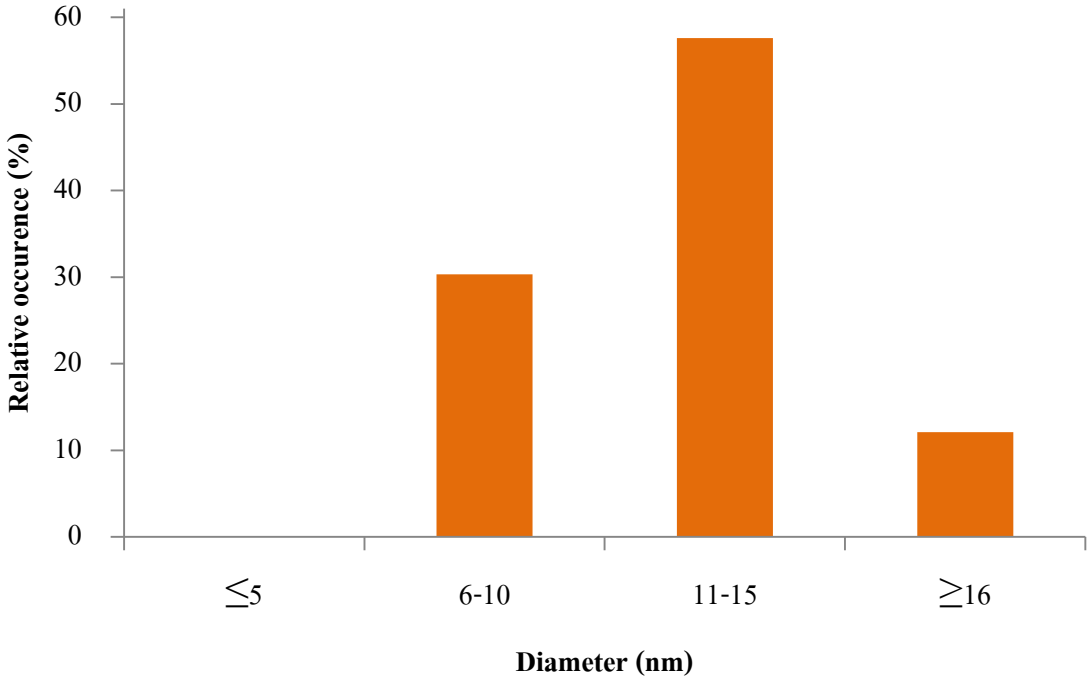


ข



รูปที่ 4.36 แสดงผลการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี
โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM
ก. ขนาดสเกล 50 nm ข. ขนาดสเกล 20 nm

จากรูปที่ 4.37 พบว่า อนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดอนุภาคมากมายที่เกิดขึ้น รูปที่ 4.37 จะแสดงถึงค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาค

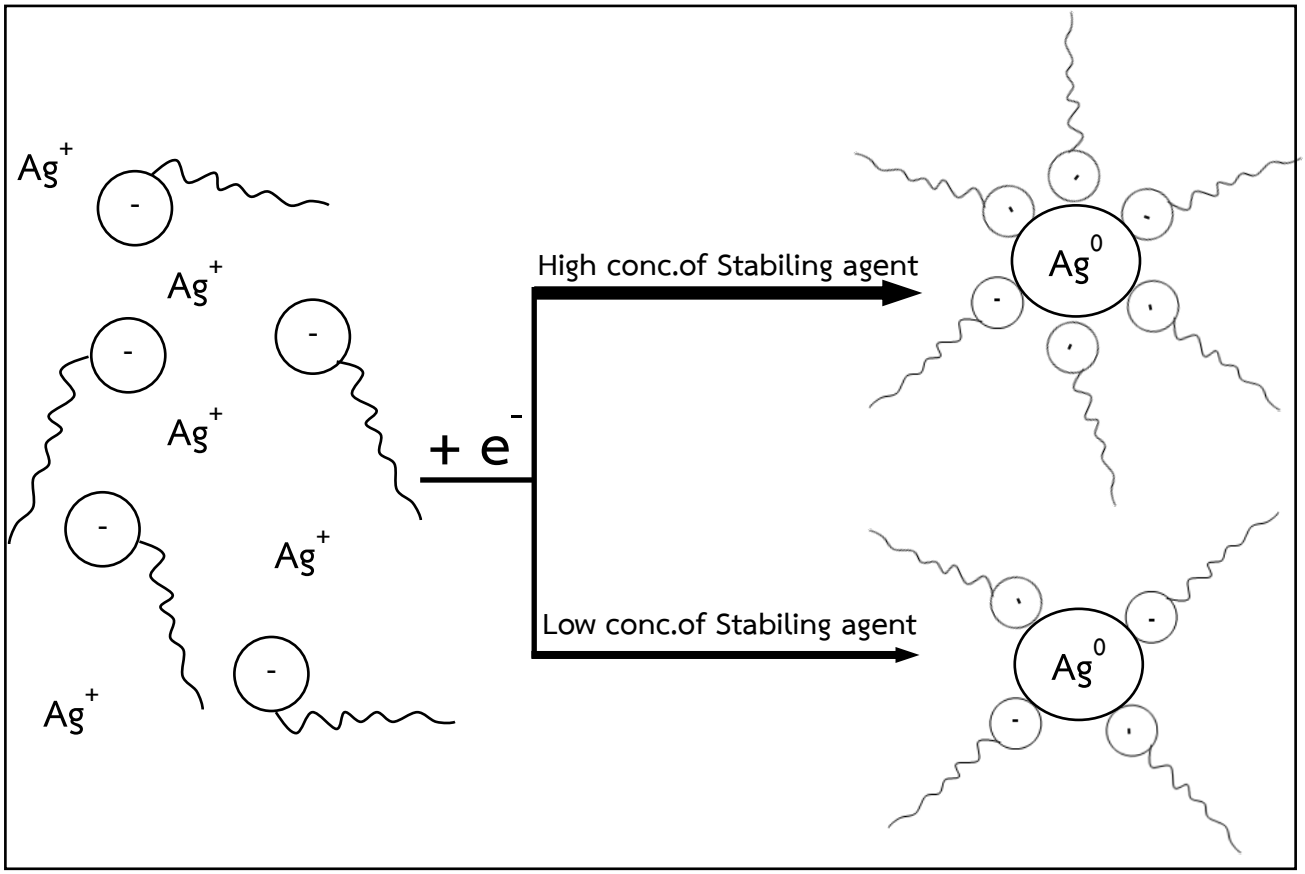


รูปที่ 4.37 แสดงค่าการกระจ่ายตัวของขนาดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM

สรุปผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมี โดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ PMA ความเข้มข้น 1 mM

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

4.1.4 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีทางเคมีโดยการใช้สารรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing agent) ช่วยรักษาเสถียรภาพ มีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.38 แสดงกลไกการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้สารรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing agent) ช่วยรักษาเสถียรภาพ

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