

การเตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนให้ตัวทำละลายอินทรีย์

The preparation of Silver Nanoparticles dispersing in organic media.

นางสาวอรพร วงษ์อุระ เลขประจำตัวนสิต 5333139823

นางสาวพิมพ์ชนก เล่าห์ทวีรุ่งเรือง เลขประจำตัวนสิต 5333103123

เคมี

2556



ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# การเตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนในตัวทำละลายอินทรีย์

The preparation of Silver Nanoparticles dispersing in organic media.



โดย

นางสาวอรพร วงษ์อุระ เลขประจำตัว 5333139823

นางสาวพิมพ์ชนก เล่าห์ทวีรุ่งเรือง เลขประจำตัว 5333103123

ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

เรื่อง การเตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนในตัวทำละลายอินทรีย์  
The preparation of Silver Nanoparticles dispersing in organic media.  
โดย นางสาวอรพร วงษ์อุระ เลขประจำตัวนิต 5333139823  
นางสาวพิมพ์ชนก เล่าห์ทวีรุ่งเรือง เลขประจำตัวนิต 5333103123

ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบโครงการ

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. กณศ วงษ์ระวี)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ภัตสรพล งามอุโฆษ)

รายงานฉบับนี้ได้รับความเห็นชอบและอนุมัติโดยหัวหน้าภาควิชาเคมี

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย พาราสุข)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

วันที่..... เดือน มีนาคม พ.ศ.2557

ชื่อโครงการ	การเตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนในตัวทำละลายอินทรีย์		
ชื่อนิติในโครงการ	นางสาวอรพร	วงศ์อุระ	เลขประจำตัวนิติ 5333139823
	นางสาวพิมพ์ชนก	เลาห์ทวีรุ่งเรือง	เลขประจำตัวนิติ 5333103123
อาจารย์ที่ปรึกษาอาจารย์	ดร.กณศ วงษ์ระวี		
	ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2556		

## บทคัดย่อ

อนุภาคเงินระดับนาโนกำลังเป็นที่นิยมน้อย่างแพร่หลายในงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี เนื่องจากการมีคุณสมบัติพิเศษในเชิงแสง ไฟฟ้าและเคมี ส่วนใหญ่แล้วการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนจะเตรียมได้จากปฏิกิริยารีดักชันของไอออน โลหะเงิน ( $Ag^+$ ) และตัวรีดิวซ์ อย่างไรก็ตามยังมีข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้โดยเฉพาะงานที่ทำในตัวทำละลายอินทรีย์ จึงจำเป็นต้องย้ายเฟสของอนุภาคเงินระดับนาโนให้กระจายตัวอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ ด้วยเหตุนี้เองการศึกษานี้ได้พัฒนาวิธีอย่างง่ายในการเคลื่อนย้ายเฟสอนุภาคเงินระดับนาโนรูปร่างทรงกลมจากชั้นน้ำให้กระจายตัวในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ด้วยการใช้สารลดแรงตึงผิวเตตระออกทิลแอม โมเนียม โบรไมด์ (Tetraoctylammonium bromide; TOAB) พบว่าที่สภาวะความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสม วิธีการดังกล่าวสามารถเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินจากชั้นน้ำไปยังตัวทำละลายอินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ โทลูอินและคลอโรฟอร์ม ที่อุณหภูมิห้องและ  $pH = 7$  ได้อย่างสมบูรณ์ อีกทั้งยังได้ประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวในการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนรูปร่างที่เป็นแผ่นด้วย นอกจากนี้การกระจายตัวและความเสถียรของอนุภาคเงินระดับนาโนได้ถูกทดสอบโดยการนำไปผสมกับพอลิเมอร์พอลิสไตรีน แล้วนำไปขึ้นรูปเป็นแผ่น พบว่าอนุภาคเงินในตัวทำละลายโทลูอินนั้นมีการกระจายตัวและความเสถียรในพอลิสไตรีนสูงเนื่องจากเมื่อนำแผ่นพอลิเมอร์ไปแช่สารละลายเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนนั้นไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Title** The preparation of Silver Nanoparticles dispersing in organic media.

**Name** Miss Oraporn Wong-u-ra ID 5333139823  
Miss Pimchanok Laotaweerungruang ID 5333103123

**Advisor** Kanet Wongravee, Ph.D.  
Department of Chemistry, Faculty of Science, Chulalongkorn University

## Abstract

Silver nanoparticles (AgNPs) have attracted a great interest due to their shape- and size-dependent optical, electrical and chemical properties. As AgNPs are mostly synthesized in aqueous solution through the reduction mechanism of silver ions ( $\text{Ag}^+$ ) and strong reducing agent, however, some specific applications may call for the transfer of the formed AgNPs from a polar (aqueous solution) to non-polar environment (or vice versa) after synthesis. This study focuses on the development of a simple approach by using cationic surfactant, namely Tetraoctylammonium bromide (TOAB), as capping agent to modify the hydrophilicity / hydrophobicity of the AgNP surface. Phase transfer of the already formed AgNPs from a polar (aqueous solution) to non-polar environments (toluene and chloroform media) have been accomplished at room temperature and neutral pH using the optimal amount of the surfactant (TOAB). Phase transfer of silver nanoplate (AgNPs) using the approach is also investigated. In addition, dispersibility and stability of AgNPs in toluene media was evaluated by mixing with polystyrene. It was found that the transferred AgNPs is highly dispersed and stable in the polystyrene strap as they do not reach from the strap after adding the etching agent (sodium chloride).

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและรายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยดีเนื่องจากได้รับการความกรุณาอย่างสูงจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงาน อ.ดร. คณศ วงษ์ระวี อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และแนะแนวทางในการดำเนินงานวิจัย อีกทั้งเสียสละเวลาให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เพื่อทำให้งานวิจัยครั้งนี้ผ่านไปได้ด้วยดี และขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์ และอ.ดร. ภัตสรพอล งามอุโฆษ ที่กรุณาสละเวลาในการตรวจทาน แก้ไขให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และให้เกียรติมาเป็นประธาน และกรรมการในการสอบงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ ดร.เทวารักษ์ ปานกลาง และนายกริชพล นิธิชัยวินิจ รวมถึงสมาชิกหน่วยปฏิบัติการวิจัยอุปกรณ์รับรู้ (Sensor Research Unit) ที่กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะ และให้ความรู้เกี่ยวกับเทคนิคต่างๆ ในงานวิจัย การใช้และการดูแลเครื่องมือ อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสารเคมีที่จำเป็น รวมไปถึงการให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ทางผลจากเทคนิคต่างๆ

ขอขอบคุณ โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนในการดำเนินงานการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณท่านอาจารย์ภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนทั้งด้านความรู้และทักษะต่างๆจนทำให้สามารถนำทักษะที่ได้รับมาใช้ในการทำงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จ

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญรูปประกอบ	ช
สารบัญตารางประกอบ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 มूलเหตุจูงใจ	1
1.2 แนวคิดของโครงการ	2
1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.4 วัตถุประสงค์	5
1.5 ขอบเขตงานวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความหมายของนาโนเทคโนโลยี	6
2.2 การสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโน	6
2.3 สมบัติบางประการของอนุภาคเงินระดับนาโนเมตร	8
2.3.1 สมบัติเชิงแสง (Optical properties)	8
2.3.2 พื้นที่ผิวต่อปริมาตรกับความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา	9
2.4 กลไกในการเคลื่อนย้ายเฟสของอนุภาคเงินระดับนาโน	9
2.5 Ultraviolet and Visible Absorption Spectroscopy: UV-VIS	11
บทที่ 3 การทดลอง	
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์	13
3.2 การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (ทรงกลม)	13
3.2.1 การศึกษาผลของปริมาณของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนและหาปริมาณที่เหมาะสม	13
3.2.2 การศึกษาผลของปริมาณของไตรโซเดียมซิเตรตในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนและหาปริมาณที่เหมาะสม	15

	หน้า
3.2.3 การศึกษาผลของไตร โซเดียมซิเตรตในการย้ายเฟสอนุภาคเงินระดับนาโน ที่สังเคราะห์ได้จากชั้นน้ำไปสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์	16
3.2.4 การศึกษาผลของปริมาณของ TOAB ในการย้ายเฟสอนุภาคเงินระดับนาโน ที่สังเคราะห์ได้จากชั้นน้ำไปสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม	18
3.2.5 การศึกษาผลของการผสมอนุภาคเงินระดับนาโนกับพอลิสไตรีน โดยใช้ตัวทำละลายโทลูอิน	20
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง</b>	
4.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลม	21
4.1.1 ผลของปริมาณของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการสังเคราะห์ อนุภาคเงินระดับนาโน	21
4.1.2 ผลของปริมาณของไตร โซเดียมซิเตรตในการสังเคราะห์ อนุภาคเงินระดับนาโน	23
4.1.3 ผลของไตร โซเดียมซิเตรตในการย้ายเฟสอนุภาคเงินระดับนาโน ที่สังเคราะห์ได้จากชั้นน้ำไปสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์	24
4.1.4 ผลของปริมาณของ TOAB ในการย้ายเฟสอนุภาคเงินระดับนาโน ที่สังเคราะห์ได้จากชั้นน้ำไปสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม	26
4.1.5 ผลของการเคลื่อนย้ายอนุภาคมาสู่ตัวทำละลายอินทรีย์	31
4.1.6 ผลการผสมระหว่างอนุภาคเงินระดับนาโนกับพอลิสไตรีนโดยใช้โทลูอิน	31
4.2 การเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบแผ่นจากชั้นน้ำไปสู่ชั้นโทลูอิน	33
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง</b>	
บรรณานุกรม	37
ประวัติผู้วิจัย	39



## สารบัญรูปประกอบ

	หน้า
รูป 1.1 แสดงผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี	1
รูป 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของวิทยาศาสตร์หลายแขนง ซึ่งมีส่วนสำคัญในงานทางด้านนาโนเทคโนโลยี	6
รูป 2.2 แสดงกระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่าง (Top-Down Approach)	7
รูป 2.3 แสดงกระบวนการสังเคราะห์แบบล่างสู่บน (Bottom-Up Approach)	7
รูป 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มหมอกอิเล็กทรอนิกส์และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	8
รูป 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคที่เล็กลงกับการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร	9
รูป 2.6 แสดงโครงสร้างของไมเซลล์และรีเวิร์สไมเซลล์	10
รูป 2.7 แสดงโครงสร้างของ TOAB และการทำให้ผิวของอนุภาคมีความไม่ชอบน้ำ	10
รูป 2.8 แสดงการเกิดไบเลเยอร์	11
รูป 2.9 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่อง UV-Vis Spectroscopy	12
รูป แสดงการหาสภาวะที่เหมาะสมของปริมาณ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ในการสังเคราะห์ห่ออนุภาคเงินระดับนาโน	14
รูป แสดงการสังเคราะห์ห่ออนุภาคเงินระดับนาโน	15
รูป แสดงการสังเคราะห์ห่ออนุภาคเงินระดับนาโนในระบบที่มีและไม่มีไตรโซเดียมซิเตรต	17
รูป แสดงการเคลื่อนย้ายอนุภาคไปสู่ชั้นโทลูอิน	17
รูป แสดงการหาปริมาณ TOAB ที่เหมาะสมที่ใช้เคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโน จากชั้นน้ำไปชั้นโทลูอิน	19
รูป แสดงการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนรูปแบบทรงกลมกับพอลิสไตรีน	20
รูป 4.1 แสดงผลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่อการสังเคราะห์ห่ออนุภาคเงินระดับนาโน (A) สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน (B) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่อ ซิลเวอร์ไอออนและค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่อง UV-Vis Spectroscopy ที่บริเวณ $\lambda_{\max} = 391.81 \text{ nm}$	22

- รูป 4.2 แสดงผลของไตรโซเดียมซิติเรตต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน
- (A) สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน
- (B) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของไตรโซเดียมซิติเรตต่อซิลเวอร์ไอออนต่อค่าการดูดกลืนแสงที่บริเวณ  $\lambda_{\max} = 393.25 \text{ nm}$  และต่อความยาวคลื่นที่สารมีการดูดกลืนแสงสูงสุด 23
- รูป 4.3 แสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในสภาวะที่มีปริมาณของไตรโซเดียมซิติเรตแตกต่างกัน (A) ปริมาณน้อย (B) ปริมาณมาก 24
- รูป 4.4 แสดงผลการเคลื่อนย้ายอนุภาคของอนุภาคเงินระดับนาโนเปรียบเทียบระหว่างอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี (ซ้าย) และไม่มีไตรโซเดียมซิติเรต (ขวา) 25
- รูป 4.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างสภาวะที่ไม่มีกับสภาวะที่มีที่มีไตรโซเดียมซิติเรต 25
- รูป 4.6 แสดงผลการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนและการกระจายตัวของอนุภาคในชั้นโทลูอินและชั้นน้ำในสภาวะที่ใช้ปริมาณ TOAB ที่แตกต่างกัน 27
- รูป 4.7 แสดงผลของปริมาณ TOAB ต่อการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนไปสู่ชั้นโทลูอิน
- (A) สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในชั้นโทลูอิน
- (B) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ TOAB ต่อซิลเวอร์ไอออนและค่าการดูดกลืนแสงที่บริเวณ  $\lambda_{\max} = 416.51 \text{ nm}$
- (C) ภาพแสดงการยึดจับของสารลดแรงตึงผิวบนผิวของอนุภาคเงินระดับนาโน 27
- รูป 4.8 แสดงผลการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนและการกระจายตัวของอนุภาคในชั้นคลอโรฟอร์ม
- (A) สารละลายหลังทำการเคลื่อนย้าย (B) สารละลายเฉพาะชั้นคลอโรฟอร์ม 29
- รูป 4.9 แสดงผลของปริมาณ TOAB ต่อการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนไปสู่ชั้นคลอโรฟอร์ม
- (A) สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในชั้นคลอโรฟอร์ม
- (B) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ TOAB ต่อซิลเวอร์ไอออนและค่าการดูดกลืนแสง ที่บริเวณ  $\lambda_{\max} = 412.58 \text{ nm}$  30

รูป 4.10 สเปกตรัมเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน มาสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์	31
รูป 4.11 แสดงผลการผสมอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมลงในพอลิสไตรีน	32
รูป 4.12 แสดงผลการทดสอบอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมกับไซเดียมคลอไรด์	32
รูป 4.13 แสดงผลการทดสอบการกระจายตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนในพอลิสไตรีน	33
รูป 4.14 แสดงผลการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโน (รูปแบบแผ่น) และการกระจายตัวของอนุภาคในชั้นโทลูอีน (ซ้าย) และเมื่อใส่โบโรไฮโดรด์เพิ่มลงไป (ขวา)	34
รูป 4.15 แสดงรูปแบบการจับตัวของ TOAB บนผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบแผ่น เพื่อทำการเคลื่อนย้ายอนุภาค	34

## สารบัญตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงการเตรียมสารและสัดส่วน โมลของ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ใช้ในระบบ	14
ตารางที่ 3.2 แสดงการเตรียมสารและสัดส่วน โมลของ ไตร โซเดียมซิเตรตที่ใช้ในระบบ	15
ตารางที่ 3.3 แสดงการเตรียมสารและสัดส่วน โมลของ TOAB และปริมาณ โทลูอินที่ใช้ในระบบ สำหรับการศึกษาผลของ ไตร โซเดียมซิเตรต	17
ตารางที่ 3.4 แสดงการเตรียมสารและสัดส่วน โมลของ TOAB และปริมาณ โทลูอินที่ใช้ในระบบ	18

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 มุลเหตุจูงใจ

ปัจจุบันอนุภาคเงินระดับนาโน (Silver Nanoparticles, AgNPs) กำลังได้รับความนิยม และเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการมีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากโลหะเงินทั่วไป ยกตัวอย่างเช่น

1. การมีสมบัติเชิงแสง อนุภาคเงินระดับนาโนนั้นมีสีเฉพาะและสามารถเปลี่ยนสีได้ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน ด้วยเหตุนี้จึงสามารถนำ AgNPs มาประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์ได้
2. การมีสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตหมึกที่นำไฟฟ้าได้หรือใช้ติดกับเส้นใยสังเคราะห์หรือธรรมชาติเพื่อให้เส้นใยนำไฟฟ้าได้
3. การมีสมบัติแม่เหล็ก ประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์เพื่อนำยารักษาโรคไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ
4. ในการยับยั้งและฆ่าเชื้อแบคทีเรีย สามารถนำไปผสมกับผงซักฟอกหรือผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้



รูป 1.1 แสดงผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากงานวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี



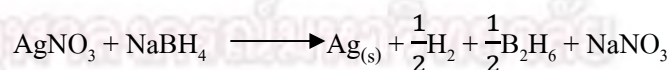
อย่างไรก็ตาม กระบวนการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยทั่วไปนั้นเกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของไอออนโลหะเงิน  $Ag^+$  โดยทั่วไปนั้นปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นในตัวทำละลายที่เป็นน้ำเท่านั้น ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้การประยุกต์ใช้ AgNPs นั้นมีข้อจำกัดในการนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในตัวทำละลายที่มีสภาพความมีขั้วต่ำ (non-polar) หากสามารถสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีการกระจายตัวในตัวทำละลายอินทรีย์ได้นั้น จะช่วยให้พบประยุกต์ในงานทางด้านนาโนเทคโนโลยีพัฒนาเพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น

1. เพิ่มสมบัติทางไฟฟ้าในอุตสาหกรรมพลาสติกและช่วยในการตรวจสอบสารพิษที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น โพลีอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (PAHs) เป็นต้น
2. พัฒนางานทางด้านการผลิตขนแปรงสีฟัน หากสามารถทำให้ SNP เข้าไปอยู่ใน polymer ที่ใช้ผลิตขนแปรงสีฟันจะช่วยทำให้ลดการสะสมของแบคทีเรียที่ขนแปรงได้
3. ในงานเคลือบพื้นกระเบื้องหรือผนังห้องน้ำซึ่งจะมีกลไกช่วยลดการสะสมของแบคทีเรียได้
4. สามารถพัฒนา โดยการนำไปใช้เป็นตัวชี้เฉพาะ (marker) ในการตรวจสอบน้ำมัน

อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในตัวทำละลายอินทรีย์โดยตรงนั้นมีข้อจำกัดอย่างมาก อาจเนื่องมาจากขั้นตอนที่ซับซ้อน สสารที่ใช้ทำปฏิกิริยามีราคาแพงและไม่สามารถผลิตในปริมาณมาก ๆ ได้ อีกทั้งการกระจายตัวของอนุภาคยังมีความเสถียรน้อยโดยจะเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคในภายหลัง (Aggregation)

## 1.2 แนวคิดของโครงการ

จากที่ได้กล่าวมาแล้วถึงข้อจำกัดในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในตัวทำละลายอินทรีย์โดยตรงนั้นกระทำได้ยากเนื่องจากมีขั้นตอนที่ซับซ้อนอีกทั้งการกระจายตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนในตัวทำละลายอินทรีย์ก็มีความเสถียรน้อย คณะผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดที่จะสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในตัวทำละลายน้ำจากปฏิกิริยารีดักชันของไอออนโลหะเงิน ( $Ag^+$ ) กับตัวรีดิวซ์ ( $NaBH_4$ ) ตามสมการเคมีดังนี้



จากนั้นเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากชั้นน้ำให้กระจายตัวสู่ชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีความมีขั้วน้อยจนถึงตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ในที่นี้พิจารณาเลือกใช้โทลูอีน (Toluene) และคลอโรฟอร์ม (Chloroform) โดยใช้สารลดแรงตึงผิวที่เป็นสารประเภท cationic surfactant คือ เตตระออกทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Tetraoctylammonium bromide; TOAB) ปริมาณต่างๆ เพื่อทำการเปรียบเทียบสถานะที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดเป็น reverses micelles ล้อมรอบ



อนุภาคเงินระดับนาโน เพิ่มความเป็น Hydrophobic เพื่อใช้ในการดึงอนุภาคให้เคลื่อนย้ายไปที่ชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ รวมทั้งการพยายามใช้กลไกดังกล่าวในการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนรูปร่างต่าง ๆ ในตัวทำละลายอินทรีย์โดยไม่ต้องมีการปรับค่า pH อีกทั้งยังทำบทประยุกต์ในการผสมอนุภาคเงินระดับนาโนในพอลิเมอร์พอลิไสตีเร็น

### 1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากแนวคิดข้างต้นที่กล่าวมามีคณะวิจัยที่ได้ให้ความสนใจที่จะศึกษาการทดลองเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนจากชั้นน้ำไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งได้อธิบายไว้พอสังเขปดังนี้

ในปี 2003 Ashavani Kumar<sup>[1]</sup> และคณะวิจัยทำการเตรียมอนุภาคโลหะเงินระดับนาโนโดยใช้สารละลาย  $Ag_2SO_4$  ที่ pH=9 นำมารีดิวซ์ด้วย  $NaBH_4$  เติมตัวทำละลายอินทรีย์ (Hexane) ที่ผสมอยู่กับ ODA (octadecylamine) ที่ใช้เป็นสารลดแรงตึงผิวเพื่อทำให้อนุภาคเคลื่อนเข้ามาสู่ตัวทำละลายอินทรีย์โดยส่วนที่มีขั้วจะเข้ามาจับกับอนุภาค ส่วนที่ไม่มีขั้วจะกระจายตัวเกิดเป็นรูปแบบของ reverse micelles โดยติดตามปริมาณอนุภาคเงินระดับนาโนที่เคลื่อนย้ายไปในตัวทำละลายอินทรีย์ที่สภาวะต่างๆ โดยใช้ UV-spectrophotometer

ในปี 2006 Tarun Kumar Misra<sup>[2]</sup> และคณะผู้วิจัยทำการทดลองเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายอนุภาคทองคำระดับนาโนในตัวทำละลายอินทรีย์คือ mesitylene ที่ประกอบด้วย C-undecylcalix[4]-resorcinarene (C11-resorcinarene) โดยการเตรียมอนุภาคทองคำระดับนาโนจากปฏิกิริยารีดักชันของสารละลาย  $HAuCl_4$  กับไตรโซเดียมไซเตรต ( $Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$ ) ที่ pH = 11 จากนั้นเติม mesitylene ที่ผสมกับ C-undecylcalix[4]-resorcinarene หรือเรียกว่า C11-resorcinarene ทำหน้าที่เป็น capping agent และเป็นสารที่ทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายอนุภาคทองคำระดับนาโนจากชั้นน้ำไปที่ชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์

ในปี 2007 Satyabrata Si<sup>[3]</sup> และคณะวิจัยทำการเตรียมอนุภาคโลหะระดับนาโนโดยใช้ Redox-active amphiphiles (ที่มีสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิวและให้อิเล็กตรอน) ใช้สารละลาย  $HAuCl_4$  นำมาผสมกับสาร Redox-active amphiphiles คือ Oleic-Trp-COOH, Stearic-Trp-COOH, Lauric-Trp-COOH, Oleic-Tyr-COOH โดยส่วนของ Tryptophan และ Tyrosine จะรีดิวซ์ไอออนของโลหะเงิน  $Ag^+$  หรือทอง  $Au^{2+}$  จากนั้น ส่วนที่มีขั้วจะเข้ามาจับกับอนุภาค ส่วนที่ไม่มีขั้วจะกระจายตัวเกิดเป็นรูปแบบของ reverse micelles (ในสภาวะ pH = 11) และทำการ capping ปลาย  $-COO^-$  โดยเติม HCl อินทรีย์ สามารถวัดปริมาณของสารในสภาวะต่างๆ โดยใช้ UV-spectrophotometer (ในสภาวะ pH = 2-3) ทำให้  $-COOH$  อนุภาคจึงจะเคลื่อนจากสารละลายน้ำไปสู่สารละลายอินทรีย์ สามารถวัดปริมาณของอนุภาคโลหะระดับนาโนที่ถูกเคลื่อนย้ายขึ้นไปในสภาวะต่างๆ โดยใช้เครื่อง UV-spectrophotometer

ในปี 2008 Doowon Seo<sup>[4]</sup> และคณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนใน cyclohexane โดยการเตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนจากสารละลาย  $\text{AgNO}_3$  ที่ควบคุม pH = 2, 7 และ 11 ถูกรีดิวซ์ด้วย  $\text{NaBH}_4$  ที่ผสมกับสารลดแรงตึงผิวคือ oleic acid จากนั้นส่วนที่มีหัวของ oleic acid เข้าจับ  $\text{Ag}^+$  และส่วนที่ไม่มีหัวกระจายอยู่รอบๆ เกิดเป็น reverse micelles เมื่อเติม cyclohexane และ  $\text{H}_3\text{PO}_4$  ลงไป อนุภาคจะเคลื่อนจากชั้นน้ำไปที่ชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้เครื่อง UV-spectrophotometer

ในปี 2009 Abhishek P. Kulkarni<sup>[5]</sup> และคณะ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินในระดับนาโนที่มีขนาด และแกนความยาวที่แตกต่างกันตั้งแต่ 50 – 100 นาโนเมตร โดยทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนในชั้นน้ำ จากนั้นใช้ sodium oleate เป็น surfactant เคลื่อนย้ายอนุภาคที่สังเคราะห์ได้ไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ยกตัวอย่างเช่น Alcohol, Acetone, dimethylformamide และ hexanes จะใช้วิธีการตรวจสอบประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยเครื่อง scanning electron microscopy (SEM) และ UV-spectrophotometer

ในปี 2010 Xinnan Wang<sup>[6]</sup> และคณะ ได้ทำการศึกษาหาวิธีการอย่างง่ายและรวดเร็วในการย้ายเฟสของอนุภาคเงิน/ทองคำระดับนาโนที่มีขนาดแตกต่างกัน 20 นาโนเมตร จนถึง 118 นาโนเมตร คณะผู้วิจัยได้ทดลองทำการสังเคราะห์อนุภาคเงิน/ทองคำระดับนาโนในชั้นน้ำ และย้ายเฟสไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ (chloroform) โดยเปรียบเทียบความรวดเร็วในการย้ายเฟสที่มีผลมาจากความแตกต่างกันของ chain length ของ alkylamine 3 ชนิดที่ทำหน้าที่เป็น surfactant คือ Dodecylamine (DDA), Octadecylamine (ODA) และ hexadecylamine (HDA) จากนั้นตรวจสอบประสิทธิภาพในการย้ายเฟสของอนุภาคเงิน/ทองคำระดับนาโนด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer และ transmission electron microscopy (TEM)

ในปี 2013 Lijia Liu<sup>[7]</sup> และคณะ ได้ทำการทดลองเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีรูปร่างแบบ Triangular จากชั้นน้ำไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ ผ่านปฏิกิริยา Amide Coupling ทางผู้วิจัยทำการปรับปรุง silver nanoprisms ที่สังเคราะห์ได้ในชั้นน้ำกับ 16-mercaptohexadecanoic acid (MHA) หลังจากนั้นจะใช้ secondary amines ซึ่งทำหน้าที่เป็น surfactant ในการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ คือ Chloroform ทางผู้วิจัยได้รายงานผลจากการศึกษาว่า dicyclohexylamine สามารถเป็น surfactant ที่ทำให้ silver nanoprisms สามารถกระจายตัวในชั้นของ chloroform ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจากการตรวจสอบด้วยเครื่อง UV-spectrophotometer, transmission electron microscopy (TEM) และ Fouriertransform infrared (FTIR)

งานวิจัยข้างต้นที่กล่าวมา แสดงให้เห็นว่ามีนักวิจัยจำนวนมากไม่น้อยที่พยายามสนใจที่ศึกษา การทดลองเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายอนุภาคโลหะระดับนาโนจากชั้นน้ำไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ อย่างไรก็ตามการย้ายเฟสยังคงมีขั้นตอนที่ซับซ้อน ยุ่งยาก ใช้สารเคมีที่มีราคาแพงและยังสามารถเคลื่อนย้ายได้เพียงอนุภาคที่มีขนาดเล็กเท่านั้น ไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนหลากหลายรูปร่าง และทำการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากชั้นน้ำที่มีรูปร่างต่าง ๆ ไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ในขั้นตอนเดียว และมีความเสถียรสูง

#### 1.4 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาระบวนการเตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีความเข้มข้นสูง การกระจายตัวที่ดี และความเสถียรสูงในน้ำ
2. พัฒนาระบวนการย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนในชั้นน้ำไปสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีสภาพขั้วแตกต่างกัน โดยใช้สารลดแรงตึงผิว (Cationic surfactant)
3. ประยุกต์ใช้อนุภาคเงินระดับนาโนในตัวทำละลายอินทรีย์ในการขึ้นรูปพอลิเมอร์

#### 1.5 ขอบเขตงานวิจัย

ศึกษาผลจากการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนจากปฏิกิริยารีดักชันระหว่าง  $Ag^+$  กับ  $BH_4^-$  โดยไม่เติม stabilizer และหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของ TOAB ซึ่งเป็น cationic surfactant ที่ทำหน้าที่ Capping agent ในการย้ายเฟสของอนุภาคเงินระดับนาโนจากชั้นน้ำไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์คือ โทลูอิน (Toluene) และคลอโรฟอร์ม (Chloroform) อีกทั้งยังศึกษาและประยุกต์การขึ้นรูปของอนุภาคนาโน โดยการนำอนุภาคเงินระดับนาโนไปรวมกับพอลิสไตรีน (polystyrene)

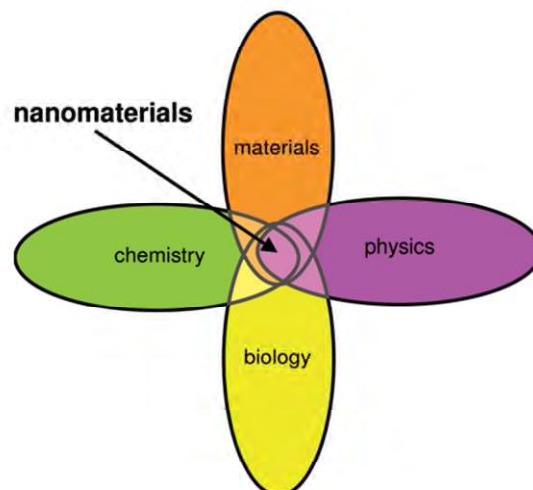
## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความหมายของนาโนเทคโนโลยี

นาโน (Nano) มีรากศัพท์มาจากภาษากรีก ซึ่งแปลว่า เล็กหรือแคระ แต่ในความหมายทางวิทยาศาสตร์หมายถึงมาตราวัดความยาวตามมาตราเมตริก 1 นาโนเมตร หรือมีขนาด 1 ในพันล้านส่วนของ 1 เมตร ( $10^{-9}$  เมตร) ดังนั้น วัตถุที่มีขนาดความยาว 1 นาโนเมตร จะมีขนาดเล็กมาก

คำว่า นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) จึงเป็นวิทยาศาสตร์การประยุกต์แขนงใหม่ ที่ศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับการสร้างหรือการสังเคราะห์สิ่งต่าง ๆ ที่มีขนาดเล็กในระดับโมเลกุลหรืออะตอม การศึกษาทางด้านนาโนเทคโนโลยีมีความจำเป็นต้องอาศัยการผสมผสานของวิทยาศาสตร์หลายแขนง เช่น ชีววิทยา เคมี ฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ เพื่อให้ทำให้นาโนเทคโนโลยีนั้นมีความสามารถที่จะสร้างและจัดเรียงอนุภาคต่างๆ ได้ตามความต้องการ ก่อให้เกิดโครงสร้างของสารในแบบใหม่ที่มีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากเดิม ยกตัวอย่างเช่น โดยปกติแล้วอนุภาคเงินไม่สามารถกำจัดเชื้อโรคได้ แต่เมื่อนำอนุภาคเงินมาจัดเรียงอะตอมใหม่กลายเป็น อนุภาคเงินระดับนาโนทำให้มีคุณสมบัติในการกำจัดเชื้อโรคได้ เป็นต้น<sup>[8]</sup>



รูป 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของวิทยาศาสตร์หลายแขนงซึ่งมีส่วนสำคัญในงานทางนาโนเทคโนโลยี

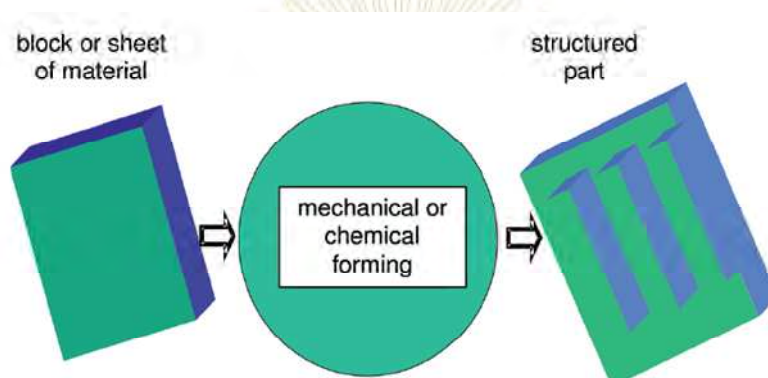
#### 2.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโน

ในการสังเคราะห์นั้นสามารถแบ่งได้ตามลักษณะการทำให้เกิดอนุภาคนาโน ซึ่งจะแบ่งได้ 2 วิธีคือ 1) การทำโครงสร้างขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงระดับนาโนหรือกระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่าง (Top-Down Approach) กับ 2) การสังเคราะห์จากอนุภาคเล็กประกอบขึ้น



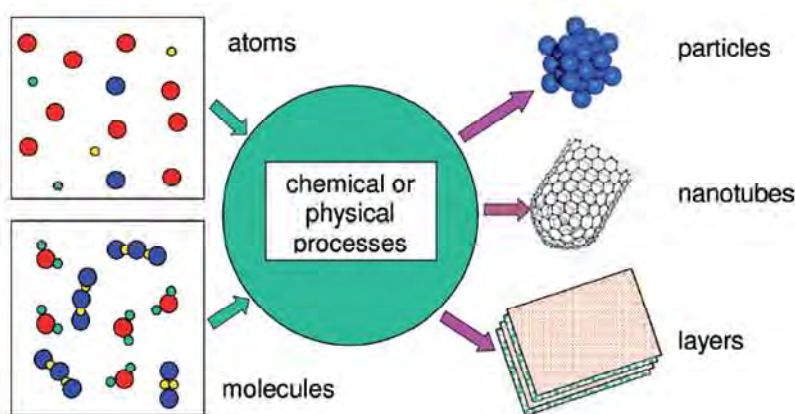
เป็นโครงสร้างใหญ่หรือ กระบวนการสังเคราะห์แบบล่างสู่บน (Bottom-Up Approach) โดยจะอธิบายรายละเอียดต่อไปนี้<sup>[9]</sup>

กระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่าง (Top-Down Approach) เป็นการใช้อุปกรณ์ตัดแบ่งแยก เจาะหรือบดให้วัสดุที่มีขนาดใหญ่จนมีขนาดเล็กลง จนได้โครงสร้างวัสดุระดับนาโนเมตร เทคนิคแบบที่ใช้กระบวนการนี้ ยกตัวอย่างเช่น โฟโต้ ลิโทกราฟี (Photo lithography) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการสร้างวงจรมicroอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือสามารถทำได้ในปริมาณมากต่อครั้งและสามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง แต่อนุภาคจะมีขนาดที่ค่อนข้างไม่สม่ำเสมอ



รูป 2.2 แสดงกระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่าง (Top-Down Approach)

กระบวนการสังเคราะห์แบบล่างสู่บน (Bottom-Up Approach) คือการนำอะตอมหรือโมเลกุลมาจัดเรียงให้เป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ ตามรูปแบบที่ต้องการอย่างถูกต้องแม่นยำ เป็นวิธีการทางเคมีผ่านปฏิกิริยารีดักชันของสารประกอบเกลือของโลหะที่ละลายน้ำกับตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสม เพื่อรีดิวซ์ให้กลับมาเป็นโลหะที่มีเลขออกซิเดชันเท่ากับศูนย์ นักวิจัยส่วนใหญ่มักจะเติมสารช่วยเพิ่มความเสถียร (stabilizer) เพื่อช่วยป้องกันไม่ให้อนุภาคเกิดการเกาะรวมกลุ่มกัน ข้อดีของวิธีนี้คือจะได้อนุภาคนาโนที่มีขนาดสม่ำเสมอและสามารถควบคุมการสังเคราะห์ได้



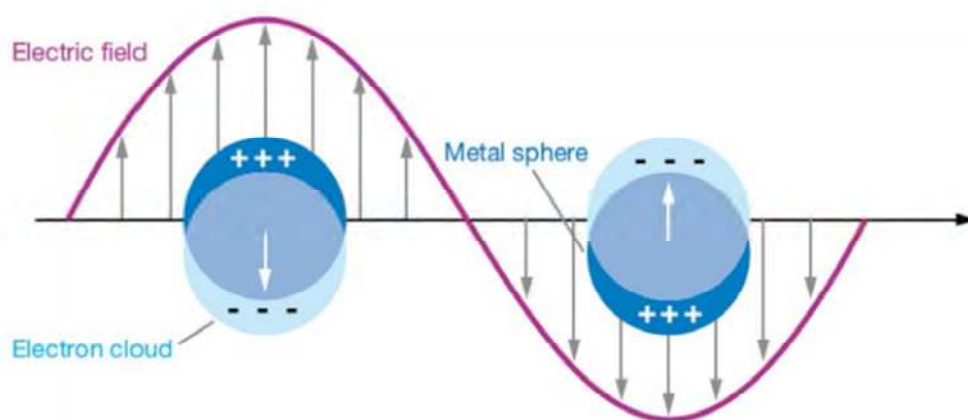
รูป 2.3 แสดงกระบวนการสังเคราะห์แบบล่างสู่บน (Bottom-Up Approach)

## 2.3 สมบัติบางประการของอนุภาคเงินระดับนาโนเมตร

การที่ขนาดของวัสดุมีขนาดเล็กลง จะส่งผลโดยตรงกับสัดส่วนของจำนวนอะตอมที่อยู่บนบริเวณผิวหน้า (Surface) และผิวสัมผัสของวัสดุมากขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของจำนวนอะตอมที่บริเวณผิวสัมผัสจะทำให้วัสดุนาโนมีคุณสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงแสง และสมบัติทางแม่เหล็กแตกต่างจากวัสดุที่มีขนาดใหญ่ ด้วยสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากเดิมนี้ทำให้วัสดุนาโนได้รับความสนใจอย่างมาก ยกตัวอย่างของสมบัติบางประการของอนุภาคเงินระดับนาโน

### 2.3.1 สมบัติเชิงแสง (Optical properties)

เนื่องจากประโยชน์มากมายที่เกิดขึ้นจากการมีสมบัติเชิงแสงที่เปลี่ยนแปลงไปของอนุภาคเงินระดับนาโน ทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนถูกนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เครื่องตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากการที่อนุภาคเงินระดับนาโนมีคุณสมบัติพิเศษของการดูดกลืนแสง (Absorbing light) และการกระเจิงของแสง (Scattering light) ที่แตกต่างจากสีข้อมฟ้าหรือเม็ดสีต่างๆ โดยสีที่เกิดขึ้นของอนุภาคเงินระดับนาโนนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาค ซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระที่บริเวณผิวของโลหะในลักษณะพร้อมเพรียงกัน ปรากฏการณ์การสั่นที่เกิดขึ้นนี้ เรียกว่า โลกอิลส์ เซอร์เฟส พลาสมอนเรโซแนนซ์ (Localized Surface Plasmon Resonance; LSPR) ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนกับนิวเคลียสเมื่อได้รับแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการสั่นพ้อง เกิดความยาวคลื่นที่สอดคล้องกับความยาวคลื่นของแสงที่ได้รับ โดยความถี่ของการสั่นขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (Electron Density), มวลสัมพัทธ์อิเล็กตรอน (Effective Electron Mass) และขนาดรูปร่างของการกระจายประจุ (Charge Distribution) <sup>[10]</sup>

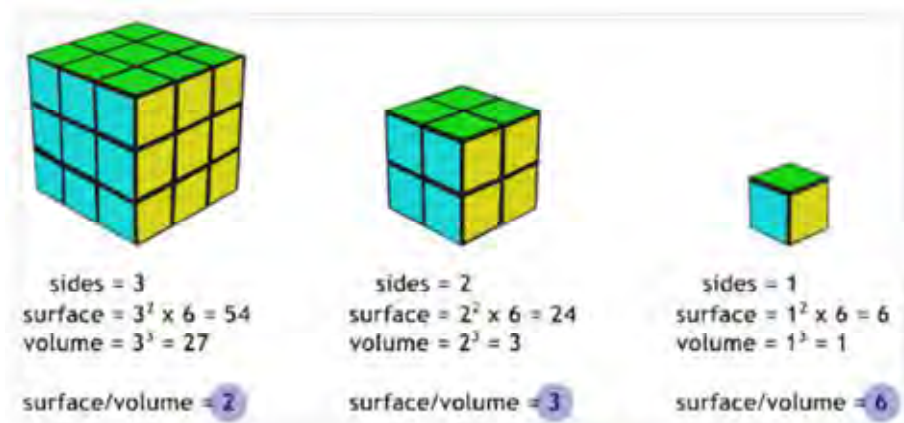


รูป 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มหมอกอิเล็กตรอนและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า



### 2.3.2 พื้นที่ผิวต่อปริมาตรกับความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา

เมื่อโลหะขนาดใหญ่ถูกทำให้เล็กลงเป็นอนุภาคขนาดเล็กที่มีมวลคงที่เท่าเดิมนั้น เป็นผลทำให้อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างเช่น อนุภาคที่มีขนาดเล็กลงจาก 3 นาโนเมตรเป็น 1 นาโนเมตรจะมีจำนวนอะตอมที่บริเวณผิวหน้าเพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 70 ดังนั้นเมื่อมีจำนวนของอะตอมที่บริเวณผิวหน้าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีที่บริเวณผิวหน้าได้รวดเร็วขึ้น จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการเร่งปฏิกิริยาเคมีและการใช้เป็นตัวกรองแบบพิเศษ

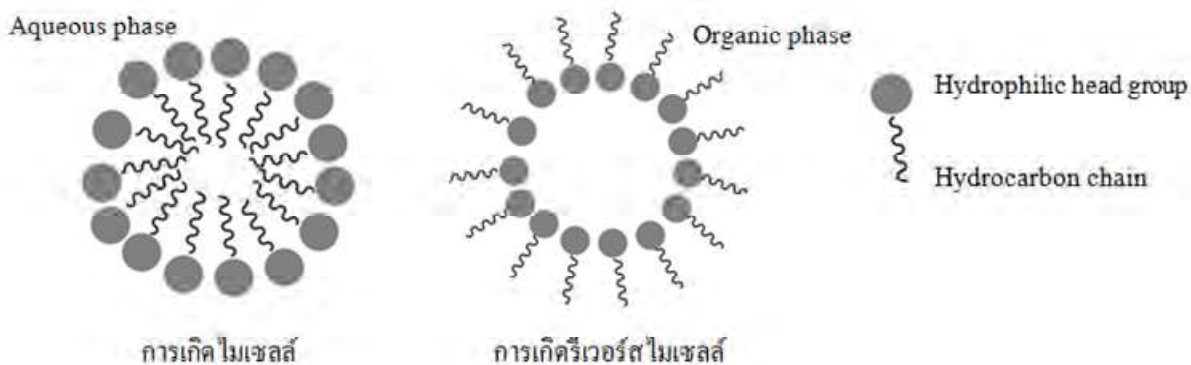


รูป 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของขนาดอนุภาคที่เล็กลงกับการเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร

## 2.4 กลไกในการเคลื่อนย้ายเฟสของอนุภาคเงินระดับนาโน

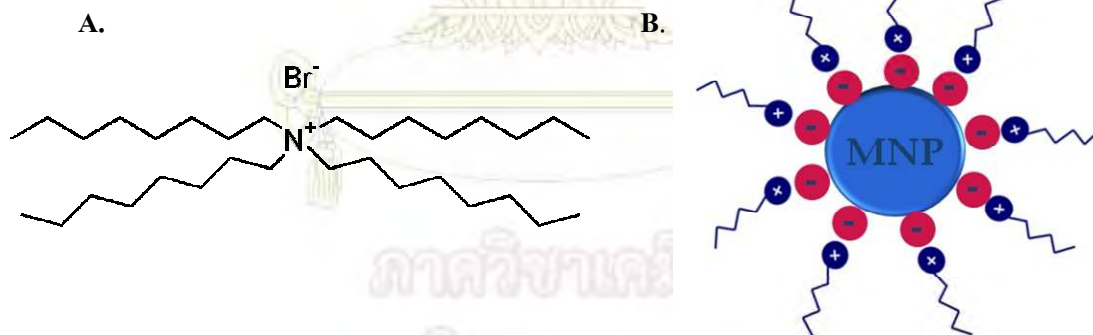
การเคลื่อนย้ายเฟสของอนุภาคเงินระดับนาโนจากชั้นน้ำไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ ต้องอาศัยการทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันในชั้นน้ำมีความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobicity) เพิ่มมากขึ้น โดยการเติมสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ลงไปในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดเป็นรีเวิร์สไมเซลล์ (Reverse micelle)

โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวแต่ละโมเลกุลจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ซึ่งมักจะเป็นส่วนที่มีขั้ว เช่น หมู่คาร์บอกซิลิก หมู่อะมิโน เป็นต้น และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เช่น สายไฮโดรคาร์บอน กรดไขมัน เป็นต้น โดยโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวสามารถจับกลุ่มกันเป็นลักษณะทรงกลม เรียกว่า ไมเซลล์ (micelle) เมื่อทำการละลายสารลดแรงตึงผิวในน้ำที่มีความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงกว่าความเข้มข้นเฉพาะค่าหนึ่ง ซึ่งจะเรียกว่า ค่าความเข้มข้นวิกฤตของการเกิดไมเซลล์ (Critical Micelle Concentration; CMC) ลักษณะของไมเซลล์นั้นเกิดจากการที่โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวหันส่วนที่ไม่มีขั้วเข้าหากันและหันส่วนที่มีขั้วออกด้านนอก แต่ถ้าละลายสารลดแรงตึงผิวลงในสารละลายอินทรีย์ โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันด้านที่มีขั้วเข้าหากันเองและหันด้านที่ไม่มีขั้วออกด้านนอก เกิดเป็นรีเวิร์สไมเซลล์ (Reverse micelle)



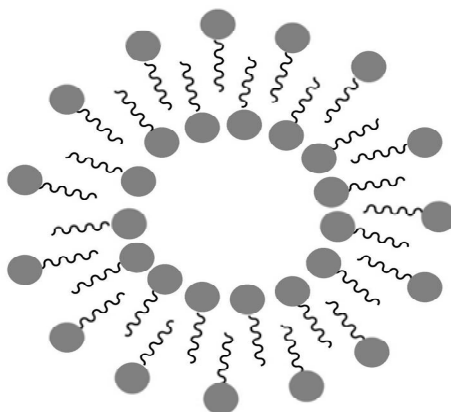
รูป 2.6 แสดงโครงสร้างของไมเซลล์และรีเวอร์สไมเซลล์

สารลดแรงตึงผิว คือ เตตระออกทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ (Tetraoctylammonium bromide; TOAB) เป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก โดยการเคลื่อนย้ายเฟสของอนุภาคเงินระดับนาโนนั้น จะต้องเติมสารลดแรงตึงผิวลงไป บริเวณส่วนที่มีขั้วของสารลดแรงตึงผิวจะเกิดแรงดึงดูดอิเล็กทรอนิกส์กับประจุลบของซีเตรตที่บริเวณผิวของอนุภาคเงินระดับนาโน ส่วนบริเวณที่ไม่มีขั้วจะหันออกไปทางชั้นน้ำ ทำให้เกิดเป็นรีเวอร์สไมเซลล์ เมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวปริมาณที่เหมาะสม จะสามารถทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนมีความเป็น hydrophobicity เพียงพอที่จะเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ได้



รูป 2.7(A) แสดงโครงสร้างของ TOAB และ (B) การทำให้ผิวของอนุภาคมีความไม่ชอบน้ำ

ปริมาณสารลดแรงตึงผิวมีผลต่อประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ หากสารลดแรงตึงผิวมีน้อยเกินไปการเคลื่อนย้ายจะมีประสิทธิภาพลดลง แต่ถ้าหากสารลดแรงตึงผิวมีมากเกินไปจะทำให้ภาวะไบเลเยอร์ (bilayer) ดังรูป 2.8 ขึ้นได้ ทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนไม่สามารถย้ายไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ได้



รูป 2.8 แสดงการเกิดไบเลเซอร์

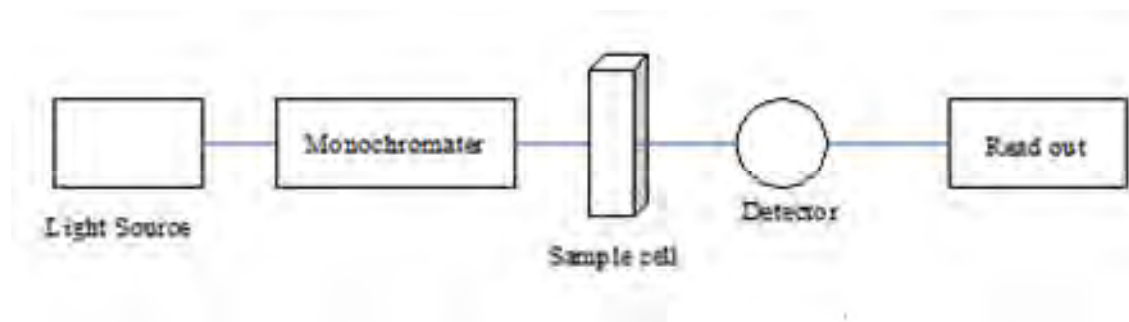
## 2.5 Ultraviolet and Visible Absorption Spectroscopy: UV-VIS

เทคนิค Ultraviolet และ Visible Absorption Spectroscopy เป็นวิธีที่ใช้วิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพวิเคราะห์ สามารถวิเคราะห์สารทั้งที่มีสีและไม่มีสี ซึ่งได้รับความนิยมสูงเนื่องจากให้ความเที่ยง ความแม่นยำและความรวดเร็วในการตรวจวัด

หลักการของเทคนิคนี้คือ วัดการดูดกลืนแสงที่หายไปเมื่อผ่านสารตัวอย่าง โดยแสงที่ให้ เป็นลำแสงที่เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องกันไปผ่านสารละลายตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในวัตถุใสที่ไม่ดูดกลืนแสงในช่วงที่ตรวจวัดแล้วทะลุออกไป เช่น ควอตซ์ หรือ พลาสติก เป็นต้น โดยสเปกตรัมที่หายไป จะเรียกว่าสเปกตรัมดูดกลืน (Absorption spectrum) ซึ่งสารแต่ละชนิดจะดูดกลืนแสงแตกต่างกัน ขึ้นกับโครงสร้างสารที่สามารถตรวจวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคนี้ใน โครงสร้างต้องมีวงแหวนโรมาติก หรือมีจำนวนอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว ซึ่งสารที่มีโครงสร้างต่างกัน ระดับพลังงานภายในโมเลกุลก็จะต่างกัน ทำให้การดูดกลืนพลังงานแตกต่างกัน และส่งผลทำให้เส้นสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่มีความแตกต่างกันด้วย<sup>[11]</sup>

องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ของเครื่อง UV-Vis แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ

1. แหล่งกำเนิดแสง (Light source) ประกอบด้วย Deuterium lamp และ Tungsten lamp
2. โมโนโครเมเตอร์ (Monochromator) ใช้แยกแสงให้ได้ความยาวคลื่นที่ต้องการ
3. ดีเทกเตอร์ (Detector)
4. เครื่องประมวลผลและอ่านผล (Data system and read-out units) ดังแสดงในรูป 2.9



รูป 2.9 แสดงส่วนประกอบหลักของเครื่อง UV-Vis Spectroscopy

ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารละลายจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายตามกฎของเบียร์และแลมเบิร์ต (Beer-Lambert law) ดังสมการ

$$A = \epsilon bc = -\log P / P_0$$

โดย  $A$  = แอบซอร์พแตนซ์ (absorbance)

$\epsilon$  = โมลาร์แอบซอร์พตีวิตี (molar absorptivity)

มีหน่วยเป็น (ลิตร/โมล/เซนติเมตร)

$b$  = ความกว้างของเซลล์มีหน่วยเป็น (เซนติเมตร)

$c$  = ความเข้มข้นของสารละลายมีหน่วยเป็น (โมลต่อลิตร)

โดยค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) นั้นเป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายซึ่งสามารถใช้ติดตามปริมาณของอนุภาคเงินระดับนาโนได้ โดยถ้ามีปริมาณของอนุภาคเงินระดับนาโนมากในสารละลายจะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงมากขึ้น

คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

##### สารเคมี

1. ซิลเวอร์ไนเตรต ( $\text{AgNO}_3$ )
2. โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ )
3. ไตรโซเดียมซีเตรต ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ )
4. พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP; Polyvinylpyrrolidone) 5% in EtOH
5. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 30% w/w
6. TOAB (Tetraoctylammonium bromide)
7. Deionized water
8. โทลูอีน (Toluene)
9. คลอโรฟอร์ม (Chloroform)
10. พอลิสไตรีน (PS; Polystyrene)
11. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)
12. กรดไนตริก (conc.  $\text{HNO}_3$  65%)

##### อุปกรณ์

1. เครื่อง UV-Vis Spectroscopy
2. เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic Stirrer)

#### 3.2 การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (ทรงกลม)

##### 3.2.1 การศึกษาผลของปริมาณของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนและหาปริมาณที่เหมาะสม

เปิดสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเข้มข้น 50 mM ปริมาตร 10  $\mu\text{L}$  และโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 10 mM ปริมาตร 10  $\mu\text{L}$  ลงไปในน้ำกลั่นปริมาตร 2 mL ลงที่บรรจุอยู่ในขวดที่ใช้สำหรับวัดด้วยเครื่องยูวีวิสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ตามลำดับแล้วจึงคนให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที นำไปวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy บันทึกค่าการดูดกลืนแสงและ  $\lambda_{\text{max}}$  จากนั้นทำการ

เพิ่มปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการวัดแต่ละครั้งให้มีสัดส่วนโมลต่อซิลเวอร์ไอออนในระบบดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงการเตรียมสารและสัดส่วนโมลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ใช้ในระบบ

อัตราส่วนโมล $\text{NaBH}_4 / \text{Ag}^+$	ปริมาณของ $\text{NaBH}_4$ ( $\mu\text{L}$ )
0.2	10
0.4	20
0.6	30
0.8	40
1.0	50
1.2	60
1.4	70
1.6	80
1.8	90
2.0	100
2.2	110
2.4	120
2.6	130
2.8	140
3.0	150



รูปแสดงการหาสภาวะที่เหมาะสมของปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน



### 3.2.2 การศึกษาผลของปริมาณของไตรโซเดียมซิเตรตในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน และหาปริมาณที่เหมาะสม

ปีเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 50 mM และสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 75 mM ปริมาตรต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ผสมกันในขวดแก้วปริมาตร 10 mL แล้วใช้เครื่องกวนสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตและไตรโซเดียมซิเตรตให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที

ตารางที่ 3.2 แสดงการเตรียมสารและสัดส่วนโมลของไตรโซเดียมซิเตรตที่ใช้ในระบบ

ขั้นตอน	อัตราส่วนโมล Trisodiumcitrate / Ag <sup>+</sup>	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	5.0	10.0
เตรียมสารละลาย AgNO <sub>3</sub> +Trisodiumcitrate (Stock solution 1)	ปริมาณของ AgNO <sub>3</sub> (μL)	600	500	400	400	300	200	200
	ปริมาณของ Trisodiumcitrate (μL)	400	500	533	667	600	667	1333
ในระบบการสังเคราะห์	ปริมาณของ AgNO <sub>3</sub> + Trisodiumcitrate (stock solution 1) ที่ต้องใช้ (μL)	167	200	233	267	300	433	767
	ปริมาตรของ NaBH <sub>4</sub> ที่ต้องใช้ (μL)	50						
	ปริมาตรน้ำที่ต้องนำออกจากระบบ (μL)*	220	250	280	320	350	480	820

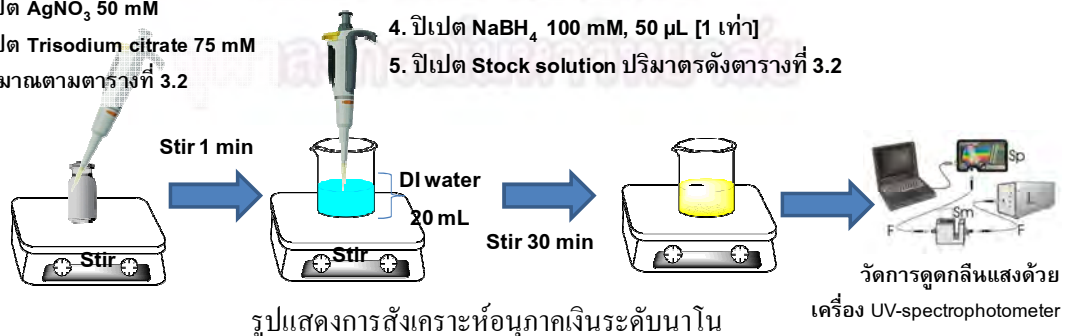
หมายเหตุ\* เนื่องจากปริมาตรสารที่เพิ่มเข้าไป อาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในระบบจึงต้องนำน้ำออก

หลังจากนั้นเตรียมบีกเกอร์ขนาด 50 ml ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 20 ml ปีเปตน้ำออกตามตารางที่ 3.2 เพื่อควบคุมปริมาตรรวมให้เท่ากันทุกการทดลอง ปีเปตสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 100 mM ปริมาตร 500 μl (ซึ่งปริมาณสารที่ใช้เป็นอัตราส่วน โมลของสารที่เหมาะสมที่หาได้จากข้อ 3.1.1 คือใช้ Ag<sup>+</sup>: NaBH<sub>4</sub> เท่ากับ 1:1) ลงไป และใช้เครื่องกวนสารละลายให้เข้ากันอยู่ตลอดเวลา ใส่สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ผสมกับไตรโซเดียมซิเตรตที่เตรียมไว้ลงไปอย่างรวดเร็วเป็นปริมาณดังตารางที่ 3.2 และกวนสารละลายทิ้งไว้ให้ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาทีจึงนำสารละลายไปวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy

#### AgNO<sub>3</sub>+ Trisodiumcitrate solution

1. ปีเปต AgNO<sub>3</sub> 50 mM
2. ปีเปต Trisodium citrate 75 mM ปริมาณตามตารางที่ 3.2

3. ปีเปตน้ำออกปริมาตรดังตารางที่ 3.2
4. ปีเปต NaBH<sub>4</sub> 100 mM, 50 μL [1 เท่า]
5. ปีเปต Stock solution ปริมาตรดังตารางที่ 3.2



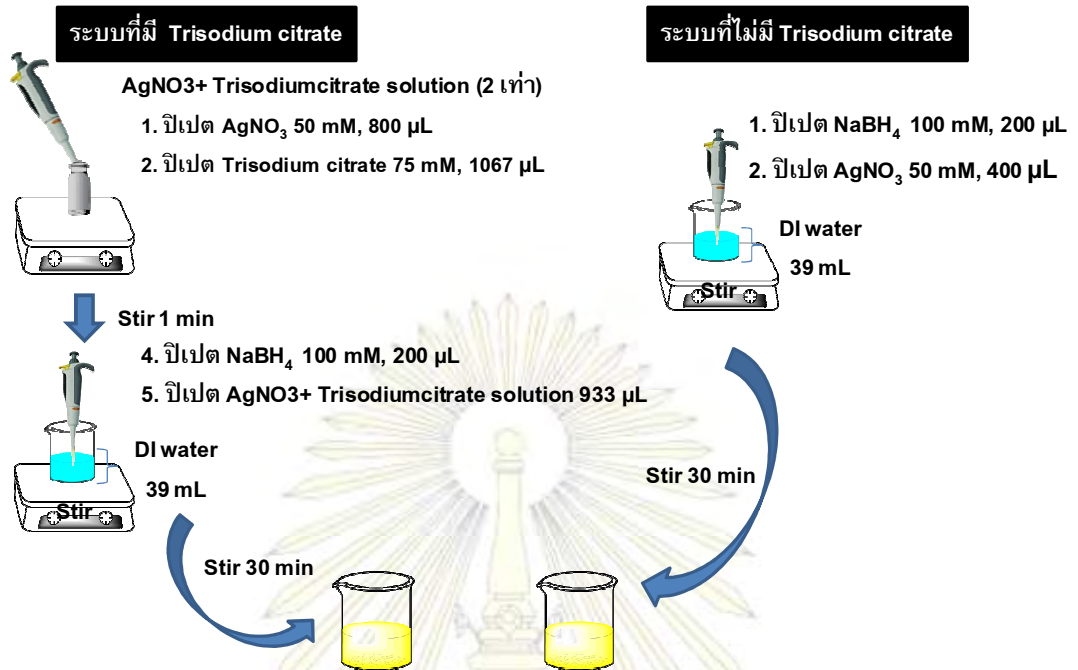
### 3.2.3 การศึกษาผลของไตรโซเดียมซีเตรตในการย้ายเฟสอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากชั้นตัวทำละลายน้ำไปสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์

#### การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในระบบที่มีไตรโซเดียมซีเตรต

ปีเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 50 mM ปริมาตร 800  $\mu\text{L}$  และสารละลายไตรโซเดียมซีเตรตเข้มข้น 75 mM ปริมาตร 1,067  $\mu\text{L}$  ลงไปในขวดแก้ว ขนาด 10 mL และกวนสารละลายเป็นเวลา 5 นาที (สำหรับเป็น  $\text{AgNO}_3 + \text{Trisodiumcitrate}$  solution) ปีเปตสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 100 mM ปริมาตร 200  $\mu\text{L}$  และผสมกับ  $\text{AgNO}_3 + \text{Trisodiumcitrate}$  solution ของซิลเวอร์ไนเตรตและไตรโซเดียมซีเตรตปริมาตร 933  $\mu\text{L}$  ลงไปอย่างรวดเร็ว (ซึ่งปริมาณสารที่ใช้เป็นอัตราส่วน โมลของสารที่เหมาะสมที่หาได้จากข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 คือใช้  $\text{Ag}^+ : \text{NaBH}_4 : \text{Trisodiumcitrate}$  เท่ากับ 1:1:2) ตามลำดับลงในบีกเกอร์ขนาด 50 mL ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 39 mL โดยให้มีการกวนสารละลายในบีกเกอร์อยู่ตลอดเวลา ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ (เป็นเวลา 30 นาที) และสังเกตการเปลี่ยนแปลงของสารละลายที่เตรียมได้

#### การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในระบบที่ไม่มีไตรโซเดียมซีเตรต

ปีเปตสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 100 mM ปริมาตร 200  $\mu\text{L}$  และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเข้มข้น 50 mM ปริมาตร 400  $\mu\text{L}$  ลงไปอย่างรวดเร็ว (ซึ่งปริมาณสารที่ใช้เป็นอัตราส่วน โมลของสารที่เหมาะสมที่หาได้จากข้อ 3.1.1 คือใช้  $\text{Ag}^+ : \text{NaBH}_4$  เท่ากับ 1:1) ตามลำดับลงในบีกเกอร์ขนาด 50 mL ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 39 mL โดยให้มีการกวนสารละลายในบีกเกอร์อยู่ตลอดเวลาแล้วปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ (เป็นเวลา 30 นาที) สังเกตลักษณะของสารละลายที่เกิดขึ้น

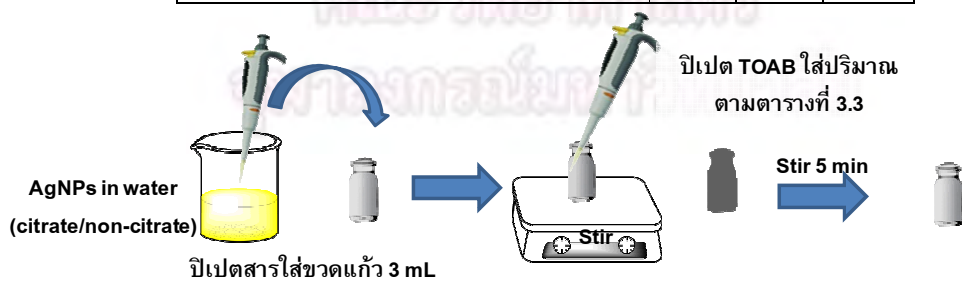


รูปแสดงการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในระบบที่มีและไม่มีไตรโซเดียมซิเตรต

หลังจากนั้นให้นำสารละลายที่ได้ออกมาตัวอย่างละ 3 mL เพื่อนำไปทดลองเคลื่อนย้ายอนุภาคสู่ชั้นโทลูอินโดยใช้ TOAB (ในตัวทำละลายโทลูอิน) เข้มข้น 50 mM ปริมาตรดังแสดงในตารางที่ 3.3 สังเกตลักษณะสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่ได้ของทั้งสองระบบ

ตารางที่ 3.3 แสดงการเตรียมสารและสัดส่วน โมลของ TOAB และปริมาณ โทลูอินที่ใช้ในระบบ

อัตราส่วน โมล TOAB/ Ag <sup>+</sup>	3	17	33
ปริมาณของ [TOAB] 50 mM ( $\mu$ L) ที่ใช้	100	500	1000
ปริมาตร Toluene ที่ใส่เพิ่ม ( $\mu$ L)	900	500	0



รูปแสดงการเคลื่อนย้ายอนุภาคไปสู่ชั้นโทลูอิน

### 3.2.4 การศึกษาผลของปริมาณของ TOAB ในการย้ายเฟสอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมที่สังเคราะห์ได้จากชั้นตัวทำละลายน้ำไปสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ที่เหมาะสม

#### ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์คือโทลูอีน

##### เตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลม

ปีเปตสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 50 mM ปริมาตร 6 mL และสารละลายไตรโซเดียมซิเตรดเข้มข้น 75 mM ปริมาตร 8 mL ลงไปในขวดแก้ว ขนาด 15 mL และกวนสารละลายเป็นเวลา 1 นาที (สำหรับเป็น  $\text{AgNO}_3$ + Trisodiumcitrate solution)

ปีเปตสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 100 mM ปริมาตร 2 mL และเทสารละลายผสมซิลเวอร์ไนเตรดและไตรโซเดียมซิเตรดปริมาตร 10 mL ลงไปอย่างรวดเร็ว ตามลำดับลงในบีกเกอร์ขนาด 150 mL ที่มีน้ำกลั่นปริมาตร 68 mL (ซึ่งปริมาณสารที่ใช้เป็นอัตราส่วน โมลของสารที่เหมาะสมที่หาได้จากข้อ 3.1.1 และ 3.1.2 คือใช้  $\text{Ag}^+ : \text{NaBH}_4 : \text{Trisodiumcitrate}$  เท่ากับ 1:1:2) โดยจะให้มีการกวนสารละลายในบีกเกอร์อยู่ตลอดเวลา แล้วจึงปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ (เป็นเวลา 30 นาที) และสังเกตลักษณะของสารละลายที่เกิดขึ้น

##### การเคลื่อนย้ายอนุภาคจากชั้นน้ำไปชั้นโทลูอีน

ปีเปตสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมที่เตรียมไว้ปริมาตร 6 mL ลงในขวดแก้วขนาด 10 mL แล้วจึงปีเปตสารละลาย TOAB (ในตัวทำละลายโทลูอีน) เข้มข้น 300 mM และปรับปริมาตรของชั้นโทลูอีนให้เป็น 2 mL ตามลำดับ (ตารางที่ 3.4) โดยให้มีการกวนสารละลายอยู่ตลอดเวลา กวนสารทิ้งไว้ให้เกิดการเคลื่อนย้ายอนุภาคเป็นเวลาประมาณ 3 นาที แล้วจึงปีเปตสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 100 mM เพิ่มลงไป 200  $\mu\text{L}$  และกวนสารละลายต่ออีก 1 นาที หลังจากนั้นนำมาแยกชั้นโทลูอีน (ชั้นบน) ออกจากชั้นน้ำ (ชั้นล่าง) ทำการสังเกตสีของสารละลายและนำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy

ตารางที่ 3.4 แสดงการเตรียมสารและสัดส่วน โมลของ TOAB และปริมาณ โทลูอีนที่ใช้ในระบบ

อัตราส่วน โมล TOAB/ $\text{Ag}^+$	0	2	4	8	12	16	20	24
ปริมาณของ [TOAB] 30 mM ( $\mu\text{L}$ ) ที่ใช้	0	100	200	400	600	800	1000	1200
ปริมาตร Toluene ที่ใส่เพิ่ม (mL)	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8

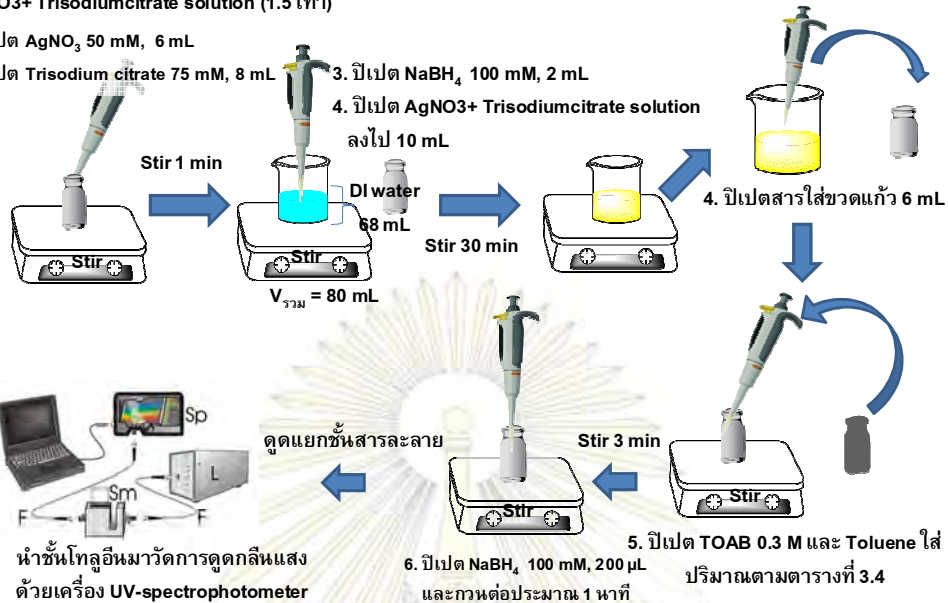
### AgNO<sub>3</sub>+ Trisodiumcitrate solution (1.5 เท่า)

1. บีบอัด AgNO<sub>3</sub> 50 mM, 6 mL

2. บีบอัด Trisodium citrate 75 mM, 8 mL

3. บีบอัด NaBH<sub>4</sub> 100 mM, 2 mL

4. บีบอัด AgNO<sub>3</sub>+ Trisodiumcitrate solution ลงไป 10 mL



รูปแสดงการหาปริมาณ TOAB ที่เหมาะสมที่ใช้เคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนจากชั้นน้ำไปชั้นโทลูอิน

### ขั้นตอนการทำละลายอินทรีย์คือคลอโรฟอร์ม

#### เตรียมอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลม

สังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเข้มข้น 0.5 mM ในตัวทำละลายน้ำ โดยมีวิธีการเหมือนกับที่ทำในระบบเดียวกับโทลูอินและให้มีสัดส่วนโมลของสารชนิดต่างๆที่ใช้ต่อซิลเวอร์ไอออนเท่าเดิม (Ag<sup>+</sup>: NaBH<sub>4</sub>: Trisodiumcitrate เท่ากับ 1:1:2) และปริมาตรรวมของระบบเท่ากับ 80 mL

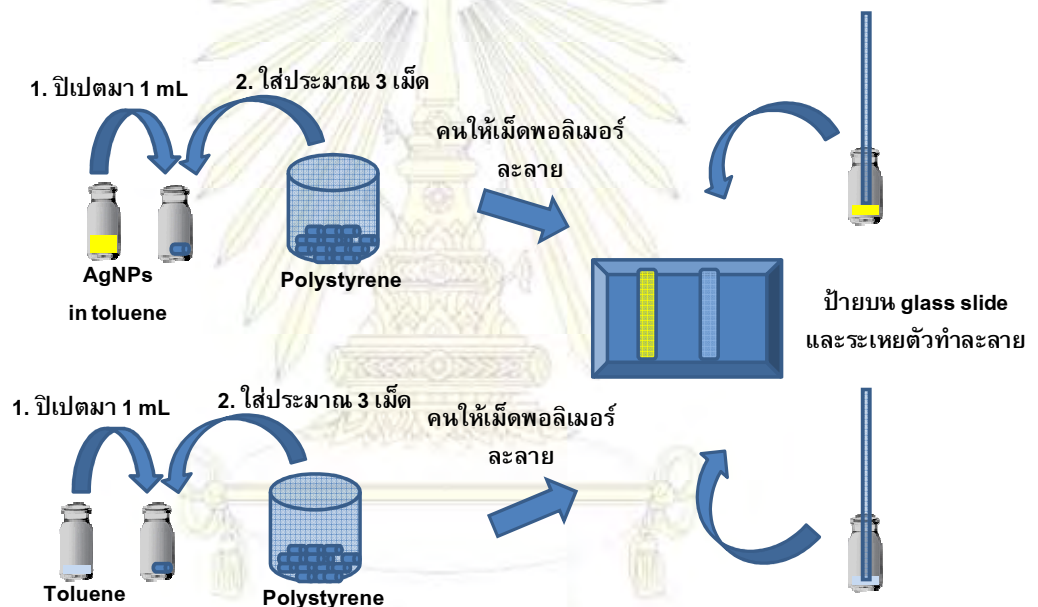
#### การเคลื่อนย้ายอนุภาคจากชั้นน้ำไปชั้นคลอโรฟอร์ม

วิธีการศึกษาการเคลื่อนย้ายไปสู่ชั้นคลอโรฟอร์มทำโดยใช้วิธีการเคลื่อนย้ายและตรวจสอบที่เหมือนกับระบบการเคลื่อนย้ายจากชั้นน้ำไปสู่ชั้นโทลูอินแต่เปลี่ยนตัวทำละลายเป็นคลอโรฟอร์ม โดยให้มีอัตราส่วนปริมาตรระหว่างชั้นน้ำกับชั้นคลอโรฟอร์มเท่ากับ 6: 2 และใช้สัดส่วนของ TOAB ต่อซิลเวอร์ไอออนที่แตกต่างไป คืออัตราส่วนโมลของ TOAB/ Ag<sup>+</sup> เท่ากับ 0, 0.133, 0.5, 1, 2, 4, 8, 12 ตามลำดับ



### 3.2.5 การศึกษาผลการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนรูปแบบทรงกลมกับพอลิสไตรีนโดยใช้ตัวทำละลายโทลูอีน

นำอนุภาคนาโนที่มีรูปแบบการสังเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสังเคราะห์รูปแบบทรงกลมในชั้นโทลูอีนมาปริมาณ 1 mL (ข้อที่ 3.1.4) ใส่ในขวดแก้ว แล้วจึงใส่เม็ดพอลิสไตรีนลงไป 3 เม็ด แล้วคนให้เม็ดพอลิเมอร์ละลาย หลังจากนั้นให้นำไปปาดบนแผ่นแก้ว (glass slide) เพื่อทำให้เป็นแผ่น และระเหยตัวทำละลายจนหมด โดยมีการละลายพอลิสไตรีนลงในในตัวทำละลายโทลูอีนเพื่อใช้เทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้น โดยการสังเกตสีของพอลิเมอร์ของทั้งสองระบบ จากนั้นทำการทดสอบการกระจายตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนในพอลิสไตรีนด้วยสารละลายเกลือ (โซเดียมคลอไรด์)



รูปแสดงการผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนรูปแบบทรงกลมกับพอลิสไตรีน

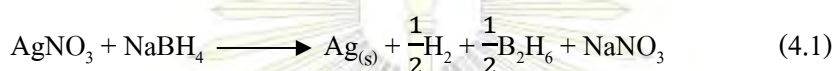


## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

#### 4.1 การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลม (Spherical Silver nanoparticles)

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบและวิธีการซึ่งวิธีการที่เลือกนำมาใช้เป็นวิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเชิงเคมีและเป็นวิธีการอย่างง่ายที่ใช้โดยทั่วไปคือปฏิกิริยารีดักชันของไอออนโลหะเงินและมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ (ให้อิเล็กตรอน) มีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังนี้<sup>[12]</sup>

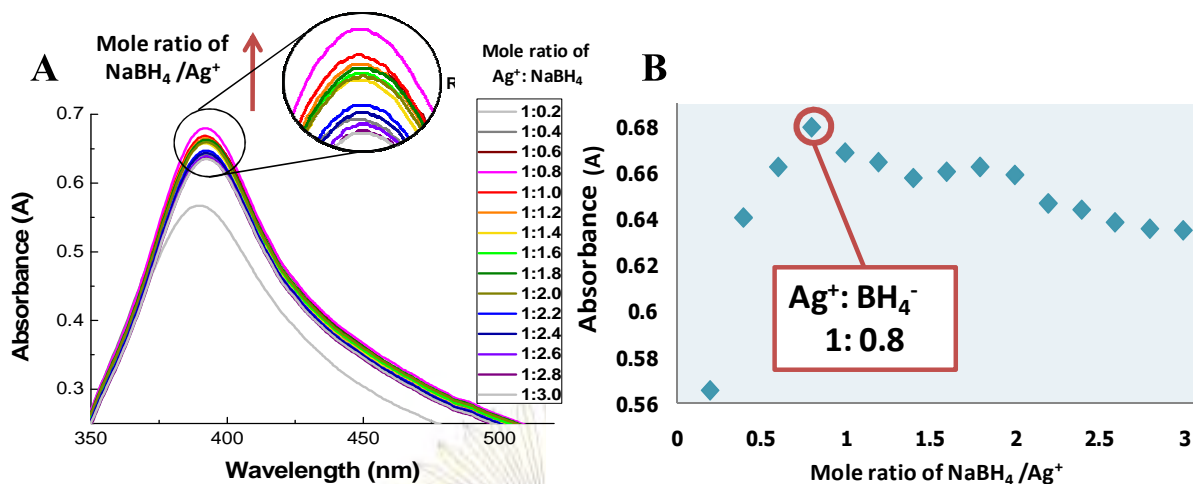


อนุภาคเงินระดับนาโนที่เกิดขึ้นจะถูกทำให้เสถียรมากขึ้น โดยใช้ไตรโซเดียมซิเตรตเป็น Stabilizer ล้อมรอบบริเวณผิวอนุภาคทำให้ไม่เกิดการจับตัวกันของแต่ละอนุภาค (Aggregation) อีกทั้งยังทำให้สามารถปรับเปลี่ยนพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนได้ด้วย capping agent อื่นๆ ได้เพื่อเพิ่มความหลากหลายในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น

ในกระบวนการสังเคราะห์ต่างๆ ที่กล่าวมานั้นต้องทำในชั้นน้ำเนื่องจากสมบัติการละลายของซิลเวอร์ไอออน ซึ่งหากต้องการอนุภาคเงินระดับนาโนที่กระจายตัวในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์นั้นสามารถทำได้โดยการเคลื่อนย้ายอนุภาคด้วยสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ที่มีทั้งส่วนที่ชอบน้ำและไม่ชอบน้ำ โดยส่วนที่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิวนั้นจะจับที่ผิวอนุภาคส่งผลให้อนุภาคเสมือนถูกล้อมรอบด้วยส่วนที่ไม่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิว ส่งผลให้มีความเป็น Hydrophobic มากขึ้น จึงสามารถกระจายตัวในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ได้ ในการทดลองนี้ได้ทำการหาปริมาณที่เหมาะสมของตัวรีดิวซ์ (โซเดียมโบโรไฮไดรด์), ปริมาณ Stabilizer (ไตรโซเดียมซิเตรต) และ Phase transfer agent (TOAB) โดยติดตามการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนของเงินด้วยเครื่องยูวีบีเอสเปกโตรมิเตอร์

##### 4.1.1 ผลของปริมาณของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนผ่านปฏิกิริยารีดักชันของไอออนโลหะเงินที่ใช้ตัวรีดิวซ์ คือโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ในการศึกษาเพื่อหาปริมาณตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสมโดยกำหนดปริมาณซิลเวอร์ไอออนที่ใช้และทำการไทเทรตเพิ่มปริมาณสัดส่วนโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่อหนึ่ง โมลของซิลเวอร์ไอออนจาก 0.2 – 3 เท่า โดยติดตามการเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.1



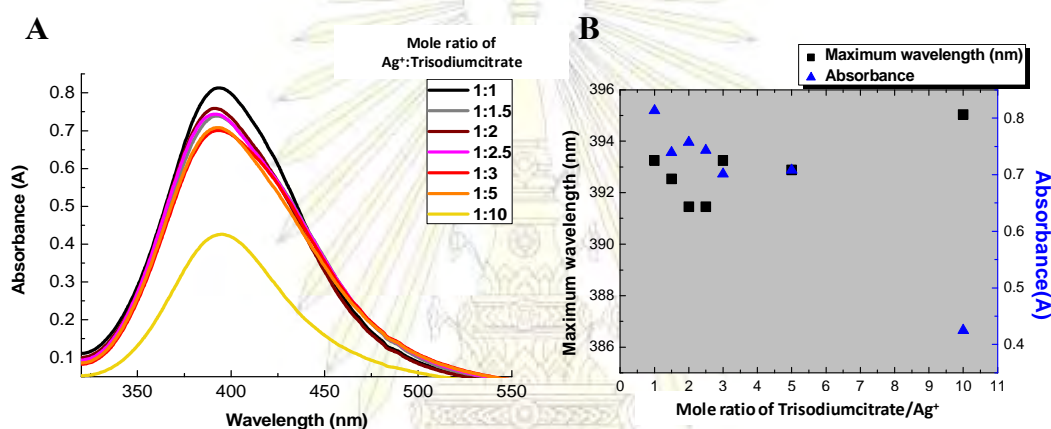
รูปที่ 4.1 แสดงผลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (A) สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน (B) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่อซิลเวอร์ไอออนและค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่บริเวณ  $\lambda_{\text{max}} = 391.81 \text{ nm}$

จากการสังเกตด้วยตาเปล่านั้นพบว่าเมื่อเกิดอนุภาคเงินระดับนาโนจากปฏิกิริยารีดักชันขึ้นแล้วนั้นสารละลายจะเปลี่ยนแปลงลักษณะจากสารละลายใสเป็นสีเหลือง และเมื่อทำการตรวจวัดสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy (รูปที่ 4.1A) พบว่ามีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นเท่ากับ  $\lambda_{\text{max}} = 391.81 \text{ nm}$  ซึ่งเป็นตำแหน่งพลาสมอน (Plasmon band) เอกลักษณะของอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรรูปแบบทรงกลม<sup>[13]</sup> โดยพบว่าค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นดังกล่าวนี้มีการเปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับสัดส่วนของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน แต่สำหรับค่า  $\lambda_{\text{max}}$  นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงแสดงถึงขนาดของอนุภาคที่ตั้งเคราะห์ได้ในสัดส่วนต่าง ๆ คงที่แตกต่างกันเพียงจำนวนของอนุภาคที่ตั้งเคราะห์ได้เท่านั้น เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงมาพลอตกับสัดส่วนของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (รูปที่ 4.1B) พบว่าเมื่อสัดส่วนของโซเดียมโบโรไฮไดรด์เพิ่มมากขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นด้วย แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณของอนุภาคเงินระดับนาโน โดยมีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุดเมื่อใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์มีสัดส่วนโมลเป็น 0.8 เท่าของซิลเวอร์ไอออน จึงถือเป็นจุดที่มีปริมาณที่เหมาะสมสำหรับการรีดิวซ์ซิลเวอร์ไอออนทั้งหมดในระบบหลังจากนั้นพบว่าลักษณะของกราฟต่ำลงเล็กน้อยและคงที่ซึ่งแสดงถึงสถานะที่ไม่มีอนุภาคเงินระดับนาโนเกิดขึ้นใหม่ในระบบเพิ่มขึ้นอีก

ดังนั้นในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนจึงเลือกใช้ปริมาณของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่มีสัดส่วนเท่ากับ 1 เท่าของซิลเวอร์ไอออนเพื่อให้มีปริมาณที่มากพอสำหรับรีดิวซ์ซิลเวอร์ไอออนทั้งหมดในระบบ

#### 4.1.2 ผลของปริมาณของไตรโซเดียมซิเตรตในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน

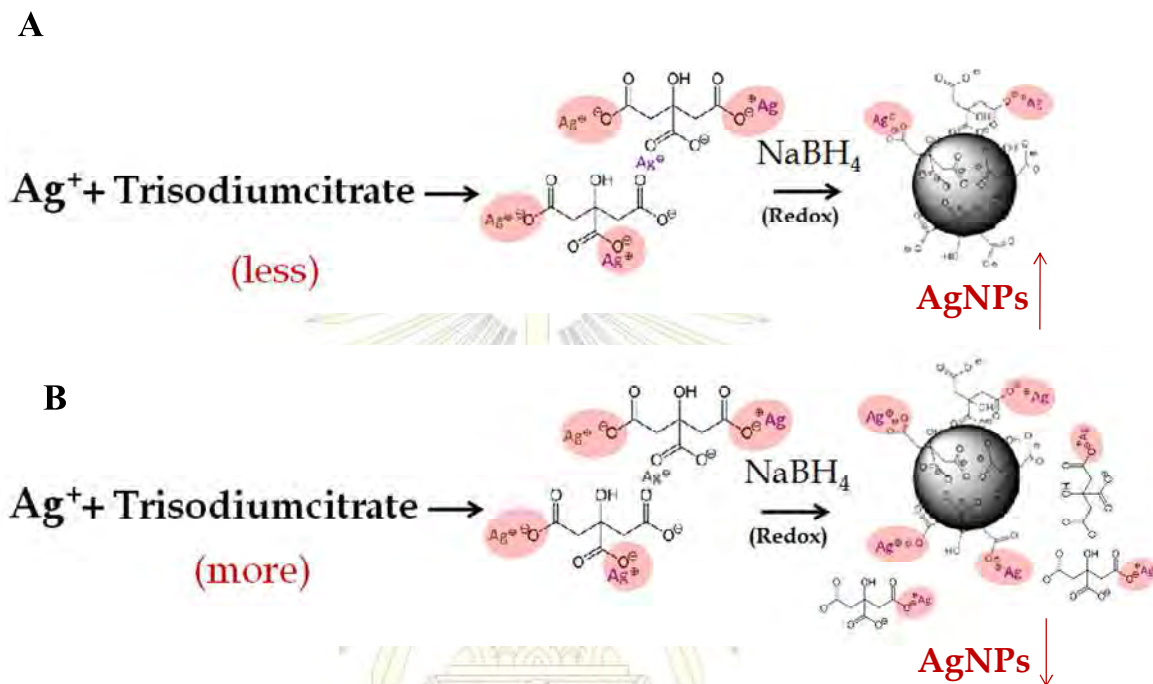
ในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์นั้น จากสมการเคมีที่ 4.1 จะมีโบโรไฮไดรด์ ( $\text{BH}_4^-$ ) ซึ่งสามารถไปล้อมรอบอนุภาคเงินระดับนาโนทำให้อนุภาคมีความเสถียรมากขึ้น<sup>[12]</sup> แต่เนื่องจากโบโรไฮไดรด์จะมีการสลายตัวอย่างช้า ๆ อยู่ตลอดเวลา<sup>[14]</sup> ในระบบ อีกทั้งเพื่อเป็นการเพิ่มทางเลือกในการที่จะปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโน การทดลองส่วนนี้จึงใช้ไตรโซเดียมซิเตรตในการเพิ่มความเสถียร<sup>[15]</sup> และปรับเปลี่ยนพื้นผิวให้กับอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ โดยในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณของไตรโซเดียมซิเตรตที่เหมาะสมสำหรับอนุภาคเงินระดับนาโน โดยใช้สัดส่วนไตรโซเดียมซิเตรตต่อหนึ่งโมลของซิลเวอร์ไอออนเป็น 1 – 10 เท่าในการสังเคราะห์



รูปที่ 4.2 แสดงผลของไตรโซเดียมซิเตรตต่อการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโน (A) สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนจากเครื่องยูวีวิสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (B) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของไตรโซเดียมซิเตรตต่อซิลเวอร์ไอออนต่อค่าการดูดกลืนแสงที่บริเวณ  $\lambda_{\max} = 393.25 \text{ nm}$  และต่อความยาวคลื่นที่สารมีการดูดกลืนแสงสูงสุด

เมื่อทำการตรวจวัดสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy (รูปที่ 4.2A) พบว่ามีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเท่ากับ  $\lambda_{\max} = 393.25 \text{ nm}$  ซึ่งอยู่ในช่วงที่เป็นเอกลักษณ์ของอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรรูปแบบทรงกลมและมีการเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสงของแสงเมื่อใช้สัดส่วนของไตรโซเดียมซิเตรตที่ต่างกันไปและจากรูปที่ 4.2B พบว่าเมื่อใช้สัดส่วนของไตรโซเดียมซิเตรตเพิ่มมากขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงซึ่งแสดงถึงจำนวนอนุภาคเงินระดับนาโนที่ลดลง โดยกราฟการดูดกลืนแสงและ  $\lambda_{\max}$  มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในแต่ละสัดส่วนของไตรโซเดียมซิเตรตซึ่งหมายถึงอนุภาคมีขนาดอยู่ในช่วงเดิม ทั้งนี้เป็นไปได้ว่าเกิดการจับกันระหว่างซิลเวอร์ไอออนกับหมู่คาร์บอกซิลที่มีการแตกตัวเป็นไอออนของโมเลกุลของไตรโซเดียมซิเตรตในระบบเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับซิลเวอร์ทำให้มี

ปริมาณของซิลเวอร์ไอออนอิสระลดน้อยลง ดังนั้นซิลเวอร์ไอออนที่จะถูกรีดิวซ์ให้เกิดเป็นอนุภาคเงินระดับ นาโนจึงมีแนวโน้มที่จะเกิดการ Aggregation กันมากขึ้น ทำให้มีอนุภาคเงินระดับนาโนที่กระจายตัวในสารละลายลดลง (รูปที่ 4.3)



รูปที่ 4.3 แสดงปฏิกิริยาการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในสถานะที่มีปริมาณของไตรโซเดียมซิเตรตแตกต่างกัน (A) ปริมาณน้อย (B) ปริมาณมาก

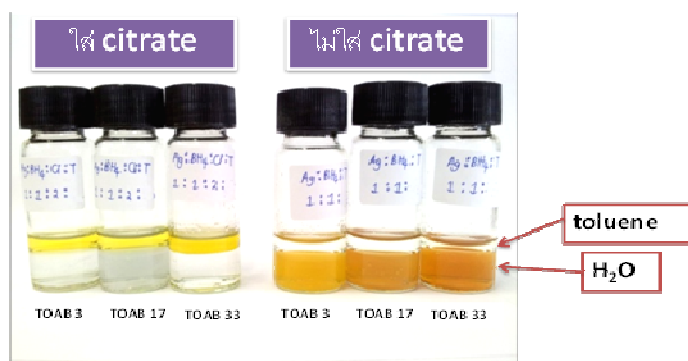
เพราะฉะนั้นปริมาณที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คือมีสัดส่วนไตรโซเดียมซิเตรตต่อหนึ่งโมลของซิลเวอร์ไอออนเป็น 2 เท่า เนื่องจากเป็นสถานะที่ทำให้เกิดการจับของไตรโซเดียมซิเตรตที่บริเวณผิวของอนุภาคแล้วให้ปริมาณอนุภาคเงินระดับนาโนที่ไม่เกิดการ Aggregation สูง

#### 4.1.3 ผลของไตรโซเดียมซิเตรตในการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากชั้นตัวทำละลายน้ำไปสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์

จากการหาสถานะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนให้สัดส่วนโมลของซิลเวอร์ไอออน: โซเดียมโบโรไฮไดรด์: ไตรโซเดียมซิเตรตเท่ากับ 1:1:2 ถูกนำมาใช้ในการศึกษาความจำเป็นของไตรโซเดียมซิเตรตต่อการปรับปรุงพื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนเพื่อให้สามารถกระจายตัวอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ได้โดยการใส่สารลดแรงตึงผิว TOAB (Tetraoctylammonium bromide) เพื่อเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนจากชั้นน้ำไปสู่ชั้นตัวทำ

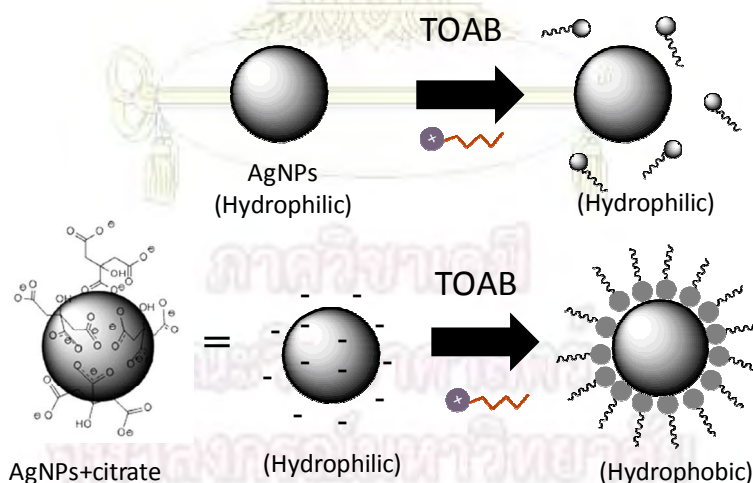


ละลายอินทรีย์ (โทลูอีน) ในสัดส่วนโมลของไตรโซเดียมซิเตรตต่อซิลเวอร์ไอออนเป็น 3, 17 และ 33 เท่า



รูปที่ 4.4 แสดงผลการเคลื่อนย้ายอนุภาคของอนุภาคเงินระดับนาโนเปรียบเทียบระหว่างอนุภาคเงินระดับนาโนที่มี (ซ้าย) และไม่มีไตรโซเดียมซิเตรต (ขวา)

จากผลการทดลอง (รูปที่ 4.4) จะสังเกตได้ว่าในสภาวะความเข้มข้น TOAB ใดๆ ในระบบที่อนุภาคเงินระดับนาโนไม่มีซิเตรตล้อมรอบนั้น อนุภาคเงินระดับนาโนจะไม่มีการเคลื่อนย้ายจากชั้นน้ำไปสู่ชั้นโทลูอีนได้เลย ส่วนในระบบที่อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีซิเตรตล้อมรอบนั้น อนุภาคสามารถเคลื่อนย้ายจากชั้นน้ำสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ได้ทั้งหมด โดยจะสังเกตได้จากชั้นสีเหลืองที่เป็นรูปแบบของอนุภาคเงินระดับนาโนที่เป็นทรงกลมทั่วไปปรากฏอยู่ในสารละลายชั้นบนซึ่งเป็นชั้นของโทลูอีน



รูปที่ 4.5 ภาพแสดงการเปรียบเทียบระหว่างสภาวะที่ไม่มีกับสภาวะที่มีที่มีไตรโซเดียมซิเตรต

จากรูปที่ 4.5 พบว่าโมเลกุลซิเตรต นอกจากจะทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนที่ความเสถียรมากขึ้นแล้วยังทำให้พื้นผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนมีความเป็นลบเพิ่มมากขึ้นทำให้ TOAB ที่เป็น Cationic Surfactant นั้นสามารถจับที่ผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนได้ดีและเหนียวนานำให้เกิดการเคลื่อนย้ายอนุภาคจากชั้นน้ำไปสู่ชั้นโทลูอีนได้ ดังนั้นจากการทดลองดังกล่าว จึงสรุปได้ว่าซิเตรต



มีความจำเป็นสำหรับการเคลื่อนย้ายอนุภาคจากชั้นน้ำไปชั้นตัวทำละลายอินทรีย์เมื่อใช้สารลดแรงตึงผิวที่มีขั้วเป็นบวก (Cationic Surfactant)

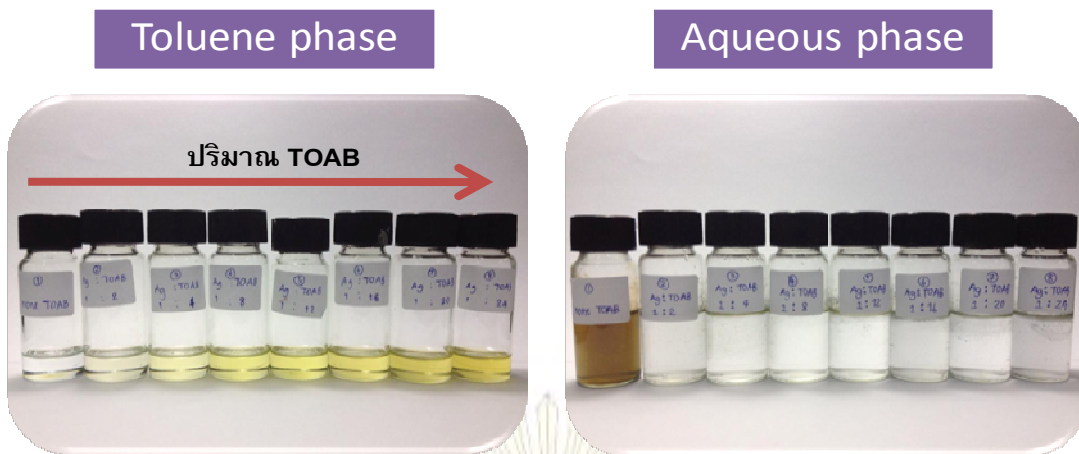
#### 4.1.4 ผลของปริมาณของ TOAB ในการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมที่สังเคราะห์ได้จากชั้นตัวทำละลายน้ำไปสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์

ในการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการย้ายอนุภาคจากตัวทำละลายน้ำไปสู่ตัวทำละลายอินทรีย์นั้นจะใช้สัดส่วนโมลของซิลเวอร์ไอออน: โซเดียมโบโรไฮไดรด์: ไตรโซเดียมซิเตรดเท่ากับ 1:1:2 ที่ได้ศึกษาแล้วพบว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนให้มีพื้นผิวเหมาะสมที่จะใช้เคลื่อนย้ายอนุภาคด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีขั้วเป็นบวก (Cationic Surfactant) โดยสารที่ใช้ในการทดลองนี้คือ TOAB โดยจะไปจับที่ผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนที่มีซิเตรดล้อมรอบและสภาพขั้วเป็นลบ ทำให้ด้านที่เป็นประจุบวกของ TOAB สามารถจับอนุภาคซิเตรดที่อยู่บริเวณผิวเกิดเป็น monolayer โดยมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) อยู่รอบด้านนอกทำให้อนุภาคสามารถกระจายตัวอยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ได้เนื่องจากสภาพขั้วที่ใกล้เคียงกัน และตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้มี 2 ชนิดคือ โทลูอินและคลอโรฟอร์มเพื่อใช้ศึกษาผลจากสภาวะที่สภาพขั้วที่ต่างกันของตัวทำละลายอินทรีย์ต่อการกระจายตัวของอนุภาค

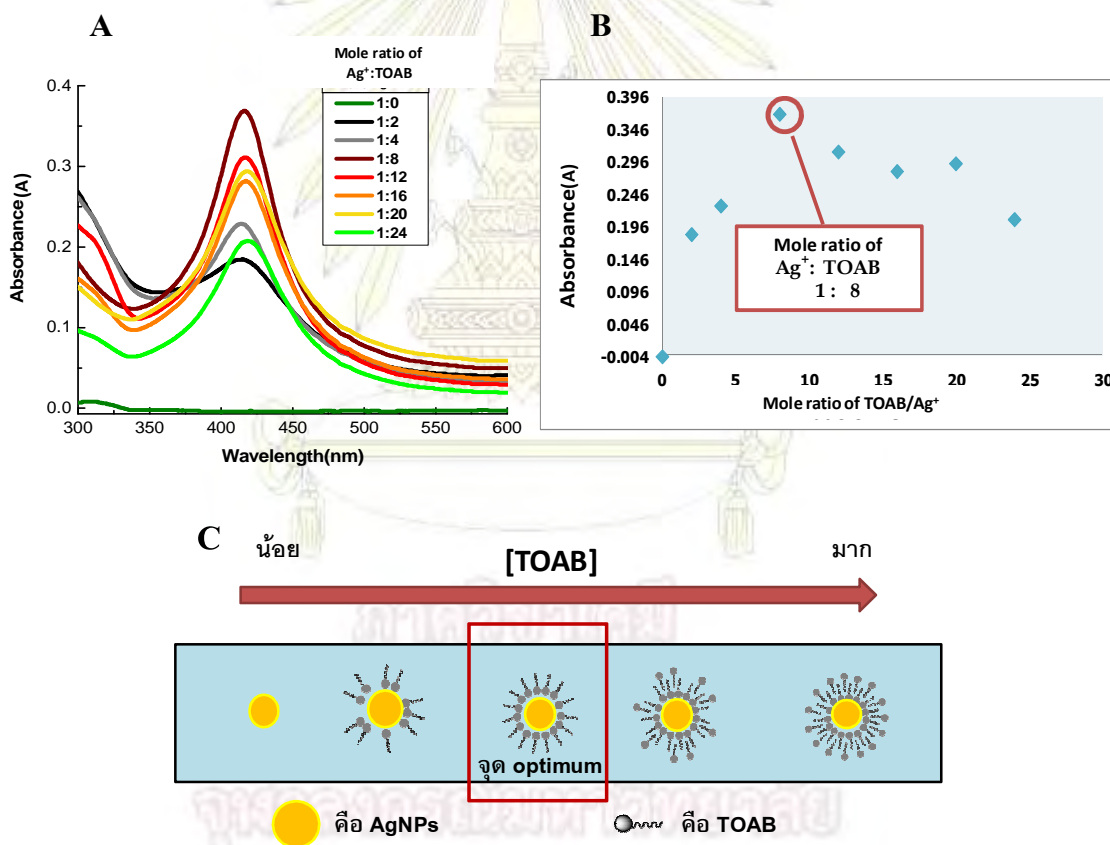
ตัวทำละลายอินทรีย์ คือ โทลูอิน

การศึกษาผลเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของโมลของ TOAB ต่อหนึ่งโมลของซิลเวอร์ไอออนในระบบเป็น 0 - 24 เท่าสำหรับการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนไปสู่ชั้นโทลูอิน (ตัวทำละลายไม่มีขั้ว) โดยในการทดลองสังเกตได้ว่าสารละลายสีเหลืองของอนุภาคเงินระดับนาโนในชั้นน้ำ (ชั้นล่าง) เคลื่อนย้ายไปยังชั้นโทลูอิน (ชั้นบน) นั้นสารละลายในชั้นโทลูอินจะกลายเป็นสีเหลืองที่มีความเข้มเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของ TOAB ที่มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.6 และเมื่อนำเอาชั้นโทลูอินมาตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ได้ผลดังรูปที่ 4.7

คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



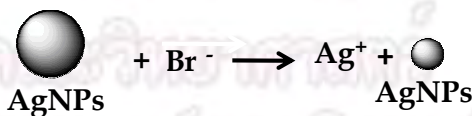
รูปที่ 4.6 แสดงผลการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนและการกระจายตัวของอนุภาคในชั้นโทลูอินและชั้นน้ำในสภาวะที่ใช้ปริมาณ TOAB ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.7 แสดงผลของปริมาณ TOAB ต่อการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนไปสู่ชั้น โทลูอิน (A) สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในชั้นโทลูอิน (B) กราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน โมลของ TOAB ต่อซิลเวอร์ไอออนและค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องยว ีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่บริเวณ  $\lambda_{max} = 416.51 \text{ nm}$  (C) ภาพแสดงการยึดจับของสารลดแรงตึงผิวบนผิว ของอนุภาคเงินระดับนาโน

จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.7A แสดงให้เห็นการมีอยู่ของอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมกระจายตัวอยู่ในชั้นโทลูอินจากการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่ามีการดูดกลืนแสงที่บริเวณ  $\lambda_{\max} = 416.51 \text{ nm}$  ซึ่งอยู่ในช่วงที่เป็นเอกลักษณ์ของอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรรูปแบบทรงกลม โดยในแต่ละสัดส่วน TOAB ที่ใช้จะให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งของ  $\lambda_{\max}$  ที่แตกต่างกันโดยเมื่อนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ (รูปที่ 4.7B) พบว่าเมื่อเราเพิ่มปริมาณของ TOAB มากขึ้นทำให้ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นแสดงว่าอนุภาคเงินระดับนาโนสามารถย้ายไปในชั้นโทลูอินได้มากขึ้นเนื่องจากการจับตัวของสารลดแรงดึงผิวบริเวณผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนจนทำให้เกิดสถานะที่พื้นผิวอนุภาคไม่ชอบน้ำ (Hydrophilic) เพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลให้ความสามารถในการกระจายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากสภาพขั้วที่เริ่มใกล้เคียงกัน จนถึงจุดสูงสุดของค่าการดูดกลืนแสงที่สัดส่วนโมลของ TOAB ต่อซิลเวอร์ในเตรตเท่ากับ 8 เป็นจุดที่สารลดแรงดึงผิวล้อมรอบอนุภาคจนเกิดเป็น monolayer ส่งผลให้มีการเคลื่อนย้ายอนุภาคไปสู่ตัวทำละลายอินทรีย์มากที่สุดจึงถือเป็นจุดที่ปริมาณ TOAB มีความเหมาะสมมากที่สุด หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณของ TOAB มากขึ้นจะพบว่าปริมาณของอนุภาคเงินระดับนาโนที่ตรวจพบมีค่าลดลงเพราะสารลดแรงดึงผิวเริ่มเกิดเป็นรูปแบบ bilayer ทำให้เกิดสถานะที่ไม่ชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น (Hydrophobic) กับอนุภาคทำให้ความสามารถในการกระจายตัวของอนุภาคในตัวทำละลายอินทรีย์ลดลงดังรูปที่ 4.7C

ถ้าทำการเปรียบเทียบสีของสารละลายในชั้นน้ำก่อนและหลังทำการเคลื่อนย้ายพบว่าสารละลายกลายเป็นสีใส และเมื่อนำไปตรวจสอบด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ไม่พบซิลเวอร์ไอออนอยู่ในระบบที่มี TOAB เป็นส่วนประกอบทั้งที่ TOAB อาจเกิดเป็น bilayer ต่ออนุภาคหรืออนุภาคไม่ได้ถูกเคลื่อนย้ายขึ้นไปในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ จึงคาดว่าอนุภาคบางส่วนสลายไปเนื่องจากการเกิดการกัดของเฮไลด์ไอออน<sup>[16]</sup> (ในที่นี้คือโบรไมด์ไอออน (Br<sup>-</sup>) ที่เป็นองค์ประกอบของ TOAB) ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) เปลี่ยนอนุภาคเงินระดับนาโน (Ag<sup>0</sup>) เกิดเป็นซิลเวอร์ไอออน (Ag<sup>+</sup>) ดังนี้



ซึ่งสามารถพิสูจน์การโดนกัดของอนุภาคเงินระดับนาโน (Ag<sup>0</sup>) เกิดเป็นซิลเวอร์ไอออน (Ag<sup>+</sup>) ได้โดยการใส่โซเดียมโบโรไฮไดรด์ลงไปเพิ่มอีกทีก่อนทำการแยกชั้นตัวทำละลายเพื่อรีดิวซ์ให้ซิลเวอร์ไอออนให้เกิดกลับเป็นอนุภาคเงินระดับนาโน พบว่าเมื่อทำการทดลองสารละลายมีสีเหลืองเพิ่มมากขึ้นซึ่งแสดงถึงการเพิ่มขึ้นของอนุภาคเงินระดับนาโนจริง จึงถือเป็นข้อเสียหนึ่งของสาร TOAB ที่นำมาใช้เป็นตัวเคลื่อนย้าย เพราะมีส่วนของโบรไมด์ไอออนที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโน

เมื่อสังเกตจากสารละลายที่สังเคราะห์ได้ (รูปที่ 4.6) พบว่าในชั้นโทลูอีนที่เป็นสารละลายใสจะมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ TOAB เข้าไปในระบบเพิ่มขึ้นแต่ในชั้นน้ำสารละลายทุกขวดที่มีการใส่ TOAB ในระบบจะกลายเป็นสารละลายใสเนื่องจากผลของการกักตัวของโพรไมด์ และในชั้นน้ำระบบที่ไม่มี TOAB ที่ช่วยเพิ่มความเสถียรของอนุภาคเงินระดับนาโนในตัวทำละลายผสมนั้นส่งผลให้อนุภาคจับตัวกันเพราะความไม่เสถียรของอนุภาคและเกาะติดที่ผิวของภาชนะในสภาพขี้วของตัวทำละลายที่เปลี่ยนไป<sup>[17]</sup> โดยจะเห็นว่าในชั้นน้ำมีตะกอนดำปริมาณเล็กน้อยเคลือบอยู่ที่ผิวภาชนะ

ตัวทำละลายอินทรีย์ คือ คลอโรฟอร์ม

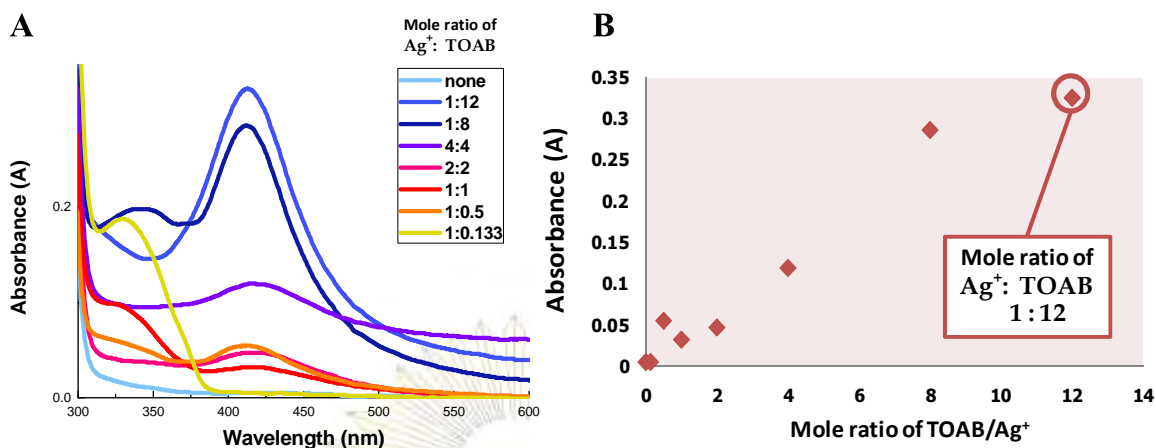
การศึกษาผลเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของโมลของ TOAB ต่อหนึ่งโมลของซิลเวอร์ไอออนในระบบเป็น 0 - 12 เท่า สำหรับการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนไปสู่ชั้นคลอโรฟอร์ม (ตัวทำละลายไม่มีขี้ว) โดยในการทดลองสังเกตได้ว่าสารละลายสีเหลืองของอนุภาคเงินระดับนาโนในชั้นน้ำ (ชั้นบน) ถูกทำการเคลื่อนย้ายไปสู่สารละลายคลอโรฟอร์ม (ชั้นล่าง) และบางส่วนมีการจับตัวกันของอนุภาคส่งผลให้ให้เกิดเป็นฟิล์มสีต่างๆเคลือบอยู่ที่ผิวภาชนะ โดยเมื่อทำการแยกชั้นของคลอโรฟอร์มออกมาพบว่าสารละลายเริ่มมีสีเหลืองในระบบที่สัดส่วน TOAB สูงๆและมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของ TOAB ที่มากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงผลการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนและการกระจายตัวของอนุภาคในชั้นคลอโรฟอร์ม

(A) สารละลายหลังทำการเคลื่อนย้าย (B) สารละลายเฉพาะชั้นคลอโรฟอร์ม



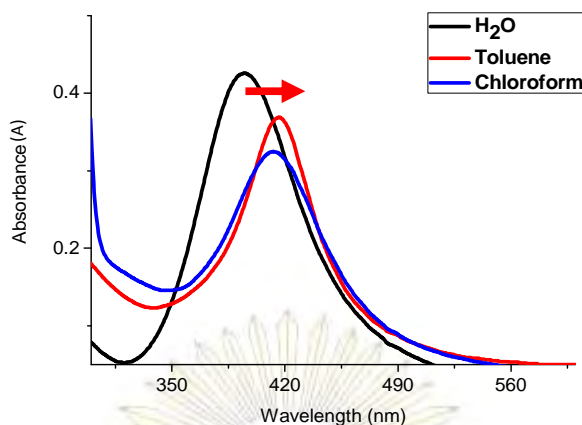


รูปที่ 4.9 แสดงผลของปริมาณ TOAB ต่อการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนไปสู่ชั้นคลอโรฟอร์ม (A) สเปกตรัมแสดงการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในชั้นคลอโรฟอร์ม (B) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนโมลของ TOAB ต่อซิลเวอร์ไอออนและค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่บริเวณ  $\lambda_{\max} = 412.58 \text{ nm}$

จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.9A พบว่าสารละลายมีการดูดกลืนแสงที่บริเวณ  $\lambda_{\max} = 412.58 \text{ nm}$  ซึ่งอยู่ในช่วงที่เป็นเอกลักษณ์ของอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรรูปแบบทรงกลม โดยค่าการดูดกลืนโดยในแต่ละปริมาณ TOAB ที่ใช้จะให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่งของ  $\lambda_{\max}$  ที่แตกต่างกันโดยเมื่อนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ (รูปที่ 4.9B) พบว่าเมื่อระบบมีปริมาณ TOAB เพิ่มมากขึ้นค่าการดูดกลืนแสงจะสูงขึ้นแสดงถึงอนุภาคเงินระดับนาโนสามารถย้ายไปสู่ชั้นคลอโรฟอร์มได้เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับระบบโพลีเมอร์และสูงสุดที่สัดส่วนโมลของ TOAB/Ag<sup>+</sup> เท่ากับ 12 เท่าและการที่สารละลายที่ใช้ทำการเคลื่อนย้ายเกิดฟิล์มสีต่างๆเคลือบอยู่ที่ผิวภาชนะ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากสมบัติของขั้วสารละลายที่ทำให้เกิดความไม่เสถียรของอนุภาคเงินระดับนาโนบางส่วนในชั้นคลอโรฟอร์ม



#### 4.1.5 ผลของการเคลื่อนย้ายอนุภาคมาสู่ตัวทำละลายอินทรีย์

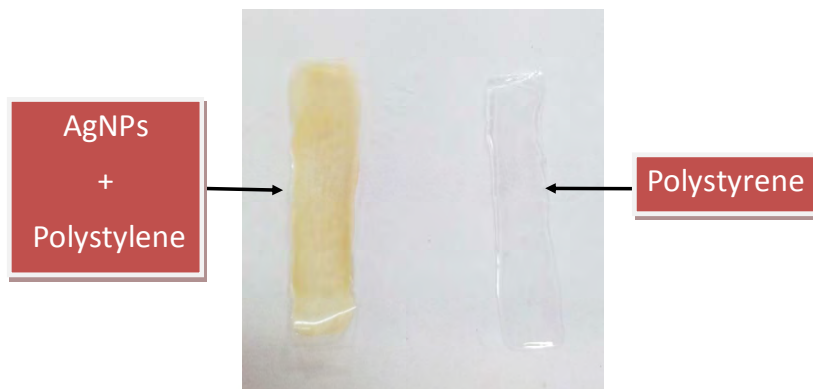


รูปที่ 4.10 สเปกตรัมเปรียบเทียบการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนมาสู่ชั้นตัวทำละลายอินทรีย์

จากกราฟพบว่าหลังทำการเคลื่อนย้ายไปตัวทำละลายอินทรีย์พีค Shift ไปทางที่ความยาวคลื่นสูงขึ้นอาจเนื่องมาจากการที่ cationic surfactant มาจับที่บริเวณผิวอนุภาคส่งผลให้อิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่อยู่รอบอนุภาคถูกหน่วงให้เคลื่อนที่ได้ช้าลง (ความถี่การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนลดลง) หรืออาจเกิดจากค่า reflective index ของแต่ละตัวทำละลายที่มีค่าแตกต่างกันส่งผลให้ของตำแหน่งพีคเกิดการเปลี่ยนแปลง

#### 4.1.6 ผลการผสมระหว่างอนุภาคเงินระดับนาโนกับพอลิस्टาไทริน โดยใช้โทลูอิน

เมื่อสามารถทำให้อนุภาคกระจายตัวอยู่ในชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ (โทลูอิน) ได้มีประสิทธิภาพแล้ว ได้นำเอามาประยุกต์ใช้ในการทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนสามารถกระจายตัวอยู่ในสารจำพวกพอลิเมอร์เนื่องจากสมบัติการละลายของพอลิเมอร์ที่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ โดยในการทดลองนี้ใช้เป็นสารพอลิस्टาไทรินทำโดยการผสมพอลิस्टาไทรินลงไปในโทลูอินที่มีอนุภาคเงินระดับนาโนกระจายตัวอยู่แล้วทำการระเหยตัวทำละลายพบว่าได้ผลดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงผลการผสมอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมลงในพอลิสไตรีน

จากรูปที่ 4.11 พบว่าโพลีเมอร์ที่มีส่วนของอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลม สามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกับพอลิสไตรีนได้และไม่เกิดการจับตัวกันของอนุภาคเกิดขึ้นและเมื่อทำการระเหยโพลีเมอร์จนหมดแล้วอนุภาคเงินระดับนาโนยังสามารถกระจายตัวได้ดีและมีความเสถียรอยู่ในพอลิสไตรีนที่กลายเป็นของแข็งได้ดี โดยสังเกตจากสีของสารที่เกิดขึ้น

ในการนำสารประเภทพอลิเมอร์มาประยุกต์ใช้โดยคาดหวังว่าการทำให้เกิดกระจายตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนจะสามารถเพิ่มคุณสมบัติต่างๆให้แก่พอลิเมอร์นั้นๆได้ โดยอนุภาคนั้นต้องมีการกระจายตัวที่ดีให้เป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์เพื่อที่จะไม่เกิดการสลายตัวโดยง่ายและเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีสำหรับการเพิ่มเติมคุณสมบัติต่างๆ ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบการกระจายตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนในพอลิสไตรีน โดยใช้สารละลายประเภทเกลือเฮไลต์ ซึ่งมีความสามารถในการเกิดการออกซิไดซ์ (Oxidize) ให้ซิลเวอร์ ( $Ag^0$ ) เกิดเป็นซิลเวอร์ไอออน ( $Ag^+$ ) ได้จึงถูกนำมาใช้ในการทดสอบโดยสารละลายที่ใช้คือ โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)

โดยก่อนทำการทดสอบต้องนำสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่จะใช้มาหยดลงในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนในชั้นน้ำ (ที่ถูกนำมาใช้ในการเคลื่อนย้ายอนุภาค) เพื่อดูผลของความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ควรใช้ในการทดสอบ ซึ่งให้ผลดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมกับโซเดียมคลอไรด์

จากรูปที่ 4.12 เมื่อใส่โซเดียมคลอไรด์ลงไปในการละลายอนุภาคเงินระดับนาโนที่อยู่ในชั้นน้ำพบว่าสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสารละลายที่ขุ่นเล็กน้อยเนื่องจากสมบัติของคลอไรด์ไอออนที่สามารถกัดผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมให้เกิดเป็นซิลเวอร์ไอออนแล้วจึงนำโซเดียมคลอไรด์มาทดสอบการกระจายตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมในพอลิสไตรีนดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบการกระจายตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน(ทรงกลม) ในพอลิสไตรีน

จากการทดสอบการกระจายตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลม (รูปที่ 4.13) แสดงให้เห็นว่าอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมกระจายตัวอยู่เป็นเนื้อเดียวกับพอลิสไตรีนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อทดสอบโดยการหยดโซเดียมคลอไรด์ลงไปโดยทั่วแล้วและทิ้งไว้เป็นระยะเวลาหนึ่ง พบว่าสีของอนุภาคเงินระดับนาโนในพอลิสไตรีนไม่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับทดสอบในสารละลายก่อนหน้าที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก (รูปที่ 4.12)

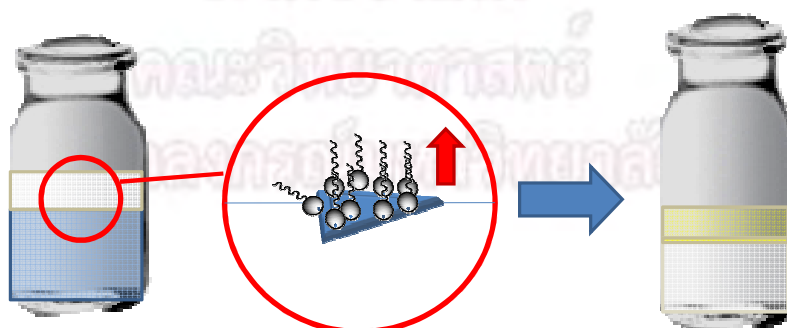
#### 4.2 การเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบแผ่นจากชั้นน้ำไปสู่ชั้นโทลูอีน

หลังจากสามารถทำการทดลองอนุภาคเงินระดับนาโนในรูปแบบทรงกลมได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้วจึงได้พัฒนาทำการทดลองเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนในรูปแบบแผ่น(ซึ่งลักษณะเฉพาะของสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบแผ่นที่ใช้จะมีสีของสารละลายเป็นสีน้ำเงินเข้ม) โดยใช้ TOAB ในการเคลื่อนย้ายอนุภาค ซึ่งมีสัดส่วนโมลของ TOAB ที่ใช้ต่อโมลของซิลเวอร์ไอออนเท่ากับ 2-8 เท่า



รูปที่ 4.14 แสดงผลการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโน (รูปแบบแผ่น) และการกระจายตัวของอนุภาคในชั้นโทลูอิน (ซ้าย) และเมื่อใส่โบโรไฮไดรด์เพิ่มลงไป (ขวา)

จากรูปที่ 4.14 พบว่าหลังทำการเคลื่อนย้ายสีของสารละลายบนชั้นโทลูอินมีสีเหลืองใสเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการสลายตัวไปของอนุภาคซิลเวอร์ในรูปแบบแผ่นกลายเป็นอนุภาคนาโนรูปแบบทรงกลม ส่วนชั้นล่างเกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายจากสีน้ำเงินเป็นสารละลายใส เนื่องจากความสามารถในการล้อมรอบของ TOAB ที่จะดึงอนุภาคขึ้นมาบนชั้นโทลูอินไม่มีประสิทธิภาพจากรูปแบบของอนุภาคที่เป็นลักษณะแผ่นทำให้การดึงไปสู่ชั้นตัวทำละลายมีแรงกระทำต่ออนุภาคไม่ทั่วทั้งอนุภาค (รูปที่ 4.14) เมื่อเปรียบเทียบกับในรูปแบบทรงกลมทำให้มีอนุภาคบางส่วนจับตัวกันอยู่ระหว่างชั้นตัวทำละลายทั้งสองและอีกส่วนหนึ่งอาจถูกกักด้วยโบร-ไมด์ไอออนทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลงและลักษณะใกล้เคียงกับอนุภาครูปแบบทรงกลมทำให้สามารถดึงขึ้นไปได้บางส่วนที่จะสังเกตเห็นเป็นสารละลายสีเหลืองอ่อนในชั้นบนดังรูปที่ 4.13 (ซ้าย) หรือสลายตัวเป็นเป็นซิลเวอร์ไอออนขึ้น ซึ่งทำการพิสูจน์ด้วยการใส่โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ลงไปเพิ่มเพื่อรีดิวซ์ให้ซิลเวอร์ไอออนเกิดกลับเป็นอนุภาคเงินระดับนาโน และพบว่าสารละลายมีสีเหลืองเข้มขึ้นจริงแสดงถึงการมีอยู่ของซิลเวอร์ไอออนในระบบจากการกักของโบรไมด์ ดังรูปที่ 4.14 (ขวา)



รูปที่ 4.15 แสดงรูปแบบการจับตัวของ TOAB บนผิวของอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบแผ่น เพื่อทำการเคลื่อนย้ายอนุภาค



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในตัวทำละลายน้ำจากปฏิกิริยารีดักชันของไอออนโลหะเงิน ( $\text{Ag}^+$ ) กับตัวรีดิวซ์ ( $\text{NaBH}_4$ ) และไตรโซเดียมซิเตรต ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ ) เป็นตัวให้ความเสถียร (Stabilizer) ในสถานะที่เป็นกลางมี pH = 7 จากนั้นเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้จากชั้นน้ำให้กระจายตัวสู่ชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน พิจารณาเลือกใช้โทลูอีน (Toluene) และคลอโรฟอร์ม (Chloroform) โดยใช้สมบัติของสารลดแรงตึงผิวคือ เตตระออกทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Tetraoctylammonium bromide; TOAB) ที่สามารถจับกับซิเตรตที่ผิวรอบอนุภาคเกิดเป็น reverse micelles ล้อมรอบอนุภาคเพิ่มความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ในการดึงอนุภาคให้เคลื่อนย้ายไปที่ชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ กระบวนการและกลไกการย้ายเฟสของอนุภาคเงินระดับนาโนติดตามได้ด้วยค่าการดูดกลืนแสงของ UV-Vis spectrometer

จากการศึกษาหาสภาวะเหมาะสมในการย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนจากตัวทำละลายน้ำไปสู่ตัวทำละลายอินทรีย์นั้น พบว่าสัดส่วนโมลของซิลเวอร์ไอออน: โซเดียมโบโรไฮไดรด์: ไตรโซเดียมซิเตรตเท่ากับ 1:1:2 เป็นสภาวะเหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนที่มีพื้นผิวเหมาะสมที่จะใช้เคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนจากชั้นน้ำไปชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่ง TOAB ที่เป็นสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก (Cationic Surfactant) จะเกิดอันตรกิริยา (interaction) กับซิเตรตที่อยู่บริเวณผิวเกิดเป็น reverse micelle ล้อมรอบอนุภาคที่เหมาะสมสำหรับย้ายเฟสไปยังตัวทำละลายอินทรีย์

การศึกษาผลของปริมาณ TOAB ในการเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมจากชั้นน้ำไปยังชั้นตัวทำละลายอินทรีย์ 2 ชนิดคือ โทลูอีนและคลอโรฟอร์มพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเคลื่อนย้ายด้วยระบบที่ใช้ตัวทำละลายอินทรีย์เป็นโทลูอีนนั้นมีสัดส่วนโดยโมลของ  $\text{Ag}^+$ : TOAB เท่ากับ 1:8 เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับการใช้คลอโรฟอร์มพบว่าคลอโรฟอร์มมีประสิทธิภาพในการรองรับอนุภาคที่ถูกเคลื่อนย้ายมากกว่าเนื่องจากมีสภาพความเข้มข้นมากกว่า อย่างไรก็ตามอนุภาคยังไม่มีเสถียรภาพเท่าที่ควรในตัวทำละลายอินทรีย์ เนื่องจาก TOAB ที่มีส่วนของโบรไมด์ในโมเลกุล ซึ่งมีความสามารถในการกักอนุภาคเงินระดับนาโนทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนเกิดการสลายตัวตลอดเวลา ในการศึกษาผลเคลื่อนย้ายอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบแผ่นจากชั้นน้ำไปยังชั้นโทลูอีน พบว่ามีอนุภาคทรงกลมถูกเคลื่อนย้ายไปเพราะอนุภาคบางส่วนเกิดการสลายตัวกลายเป็นรูปแบบทรงกลมก่อนจากผลของเฮไลต์ และอนุภาคที่มีรูปแบบเป็นแผ่นนั้นไม่สามารถย้ายเฟสไปยังตัวทำละลายอินทรีย์ได้ด้วยวิธีการนี้



นอกจากนี้ยังมีบทประยุกต์ของอนุภาคเงินระดับนาโนในตัวทำละลายอินทรีย์ โดยการประยุกต์ให้อนุภาคเงินระดับนาโนสามารถกระจายตัวอยู่ในสารจำพวกพอลิเมอร์ ได้แก่ พอลิสไตรีน โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ คือ โทลูอิน พบว่าโทลูอินที่มีส่วนของอนุภาคเงินระดับนาโนรูปแบบทรงกลมนั้นสามารถละลายเป็นเนื้อเดียวกับพอลิสไตรีนได้ ไม่เกิดการจับตัวกันของอนุภาค กระจายตัวได้ดี อีกทั้งยังมีความเสถียรอยู่ในพอลิสไตรีนได้ดีอีกด้วย



ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บรรณานุกรม

- [1] Ashavani, K.; Hrushikesh, J.; Renu, P.; A.B., M.; Murali, S. Phase transfer of silver nanoparticles from aqueous to organic solutions using fatty amine molecules. *Journal of Colloid and Interface Science*. **2003**, 264, 396–401.
- [2] Tarun, K.; Tse-Shien, C.; Chuen-Ying, L. Phase transfer of gold nanoparticles from aqueous to organic solution containing resorcinarene. *Journal of Colloid and Interface Science*. **2006**, 297, 584–588.
- [3] Satyabrata, S.; Enakshi, D.; Tarun, K. In Situ Synthesis of Gold and Silver Nanoparticles by Using Redox-Active Amphiphiles and Their Phase Transfer to Organic Solvents. *Chemistry – A European Journal*. **2007**, 13, 9850 - 9861.
- [4] Seo, D.; Yoon, W.; Park, S.; Kim, J.; Kim, J. The preparation of hydrophobic silver nanoparticles via solvent exchange method. *Physicochemical and Engineering Aspects*. **2008**, 158-161.
- [5] Kulkarni, P.A.; Munechika, K.; Noone, M. K.; Smith, M.J.; Ginger, S.D. Phase Transfer of Large Anisotropic Plasmon Resonant Silver Nanoparticles from Aqueous to Organic Solution. *Langmuir*. **2009**, 25(14), 7932–7939.
- [6] Wang, X.; Xu, S.; Zhou, J.; Xu, W. A rapid phase transfer method for nanoparticles using alkylamine stabilizers. *Journal of Colloid and Interface Science*, **2010**, 348 (1), 24-28.
- [7] Liu, L.; Kelly, L.T. Phase Transfer of Triangular Silver Nanoprisms from Aqueous to Organic Solvent by an Amide Coupling Reaction. *Langmuir*. **2013**, 29, 7052-7060.
- [8] Vollath D. 2008. Nanomaterials: An Introduction to Synthesis, Properties and Applications [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: [http://www.wiley-vch.de/books/sample/3527315314\\_c01.pdf](http://www.wiley-vch.de/books/sample/3527315314_c01.pdf). (สืบค้นเมื่อ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557).
- [9] ฝ่ายชุมชนและผู้ค้ำชูโอกาส สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2009. นาโนเทคโนโลยี [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/33.pdf>. (สืบค้นเมื่อ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557).
- [10] Oldenburg, J. S. 2013. Silver Nanoparticles: Properties and Applications [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.sigmaaldrich.com/materials-science/nanomaterials/silver-nanoparticles.html>. (สืบค้นเมื่อ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557).

- [11] ดลยา บัวอูย; นฤมล ชัชวาลย์. การสังเคราะห์และตรวจสอบโครงสร้างสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกซีอะพาไทต์ที่มีโพรงสำหรับการใช้เป็นวัสดุกักเก็บสาร. [โครงการการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ วิทยาลัยวิทยาศาสตร์บัณฑิต]. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: 2556.
- [12] Solomon, D.S.; Bahadory, M.; Jeyarajasingam, V.A.; Rutkowsky, A.S.; Boritz, C. Synthesis and Study of Silver Nanoparticles. *Journal of Chemical Education*. **2007**, 84(2), 322-325.
- [13] Wongravee, K.; Parnklang, T.; Pienpinijtham, P.; Lertvachirapaiboon, C.; Ozaki, Y.; Thammacharoen, C.; Ekgasit, S. Chemometric analysis of spectroscopic data on shape evolution of silver nanoparticles induced by hydrogen peroxide. *Physical Chemistry Chemical Physics*. **2013**, 15, 4183-4189
- [14] Van, H.L.D.; Zukoski, F.C. Formation Mechanisms and Aggregation Behavior of Borohydride Reduced Silver Particles. *Langmuir*. **1998**, 14 (24), 7034–7046.
- [15] Roh, J.; Umh, N. H.; Sim, J.; Park, S.; Yi, J.; Kim, Y. Dispersion stability of citrate- and PVP-AgNPs in biological media for cytotoxicity test. *Korean Journal of Chemical Engineering*. **2013**, 30(3), 671-674.
- [16] Espinoza, G. M.; Hinks, L.M.; Mendoza, M.A.; Pullman, P.D.; Peterson, I.K. Kinetics of Halide-Induced Decomposition and Aggregation of Silver Nanoparticles. *The Journal of Physical Chemistry C*. **2012**, 116 (14), 8305–8313.
- [17] Perfinity[ออนไลน์]. แหล่งที่มา:<http://www.perfinity.com/downloads/Solvent%20Miscibility%20and%20Polarity%20Chart.pdf>. (สืบค้นเมื่อ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557).

## ประวัติผู้วิจัย

นางสาวอรพร วงษ์อุระ เกิดเมื่อวันที่ 10 เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2534 ที่นครพนม สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายสายสามัญ แผนการเรียนการสอน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนปิยะมหาราชาลัย จังหวัดนครพนม เมื่อปี การศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2553 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ หลังจากจบการศึกษาปริญญาตรี บ้านเลขที่ 411/67 ยูดีไลท์คอนโด ถนนประชาอุทิศ แขวงห้วยขวาง เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310

นางสาวพิมพ์ชนก เล่าห์ทวีรุ่งเรือง เกิดเมื่อวันที่ 3 เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2535 ที่ จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายสายสามัญ แผนการเรียนการสอน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ จากโรงเรียนพระมหารดาภิเษกอนุเคราะห์ กรุงเทพฯ เมื่อปี การศึกษา 2552 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2553 ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ หลังจากจบการศึกษาปริญญาตรี บ้านเลขที่ 99/134 ซ.นวมินทร์51 แขวงคลองจั่น เขต บางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

ภาควิชาเคมี  
คณะวิทยาศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย