

การตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนด้วยเทคนิคการตรวจวัดสีที่มีความจำเพาะสูง
โดยอาศัยอนุภาคทองคำระดับนาโนที่ปราศจากตัวติดตามในการวิเคราะห์

A COLORIMETRIC APPROACH FOR MEASURING DOPAMINE
WITH ULTRA HIGH SELECTIVITY USING LABEL-FREE
GOLD NANOPARTICLES



นางสาวกรรชนก อร่าวัฒน์ชานนท์
นายอพลพัทธ์ จารุศรีกิตติวุฒิ
นายอัญญพัล กุศลจรรย์กุล

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนด้วยเทคนิคการตรวจวัดสีที่มีความจำเพาะสูง
โดยอาศัยอนุภาคทองคำระดับนาโนที่ปราศจากตัวติดตามในการวิเคราะห์

A COLORIMETRIC APPROACH FOR MEASURING DOPAMINE
WITH ULTRA HIGH SELECTIVITY USING LABEL-FREE
GOLD NANOPARTICLES



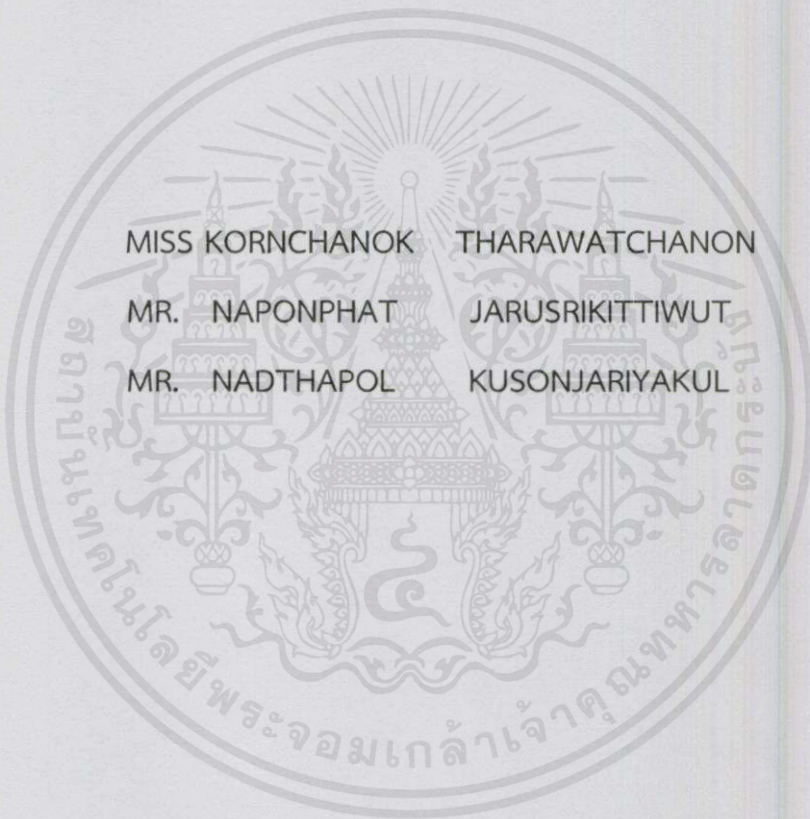
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาเคมีอุตสาหกรรม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีลิขสิทธิ์สงวนเนื้อหาและสิ่งอื่นใดของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

A COLORIMETRIC APPROACH FOR MEASURING DOPAMINE
WITH ULTRA HIGH SELECTIVITY USING LABEL-FREE
GOLD NANOPARTICLES



MISS KORNCANOK THARAWATCHANON
MR. NAPONPHAT JARUSRIKITTIWUT
MR. NADTHAPOL KUSONJARIYAKUL

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรแจกจ่ายให้ผู้อื่นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
ACADEMIC YEAR 2014

หัวข้อโครงการพิเศษ

การตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนด้วยเทคนิคการตรวจวัดสีที่มีความจำเพาะสูง โดยอาศัยอนุภาคทองระดับนาโนที่ปราศจากตัวติดตามในการวิเคราะห์

A Colorimetric Approach for Measuring Dopamine with Ultra High Selectivity Using Label-Free Gold Nanoparticles

ชื่อนักศึกษา

นางสาวกรชนก ธราวัฒน์ชานนท์ รหัสนักศึกษา 54050117
นายณพลพัทธ์ จารุศรีกิตติวุฒิ รหัสนักศึกษา 54050167
นายณัฐพล กุศลจรรย์กุล รหัสนักศึกษา 54050168

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. เอกรัฐ เดชศรี

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. ขวาลย์ ศรีวงษ์ ประธานกรรมการ	
ดร. กิตติมนต์ จิระกิตติดุลย์ กรรมการ	กิตติมนต์
ดร. เอกรัฐ เดชศรี กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	เอกรัฐ ๑๕๕๗

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก แปร และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนด้วยเทคนิคการตรวจวัดสีที่มีความจำเพาะสูง โดยอาศัยอนุภาคทองระดับนาโนที่ปราศจากตัวติดตามในการวิเคราะห์		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกรชนก ธราววัฒน์ชานนท์ รหัสนักศึกษา	54050117	
	นายณพลพัทธ์ จารุศรีกิตติวุฒิ รหัสนักศึกษา	54050167	
	นายณัฐพล กุศลจรรย์กุล รหัสนักศึกษา	54050168	
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. เอกรัฐ เดชศรี		

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ อนุภาคทองระดับนาโนจะถูกเตรียมโดยปฏิกิริยารีดักชันของโกลด์คลอไรด์ไตรไฮเดรท ซึ่งมีโซเดียมซิติเรททำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพ ด้วยคุณสมบัติทางไฟฟ้าสถิตของสารรักษาเสถียรภาพทำให้ได้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนสีแดงเข้มที่มีความเสถียร จากนั้นคุณลักษณะต่างๆของอนุภาคทองระดับนาโนจะถูกศึกษาด้วยการใช้เทคนิค UV-visible spectroscopy, FTIR, zeta potential และ TEM ซึ่งอนุภาคทองระดับนาโนสีแดงเข้มนี้จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร มีขนาดโดยเฉลี่ยและประจุบนพื้นผิวของอนุภาคทองที่ใช้โซเดียมซิติเรทเป็นสารรักษาเสถียรภาพ คือ 13-14 นาโนเมตร และ -58.77 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ เมื่อทำการเติมสารละลายโดพามีนลงในสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน สารละลายจะเปลี่ยนจากสีแดงเข้มไปเป็นสีม่วง น้ำเงิน และสีเทา จากสมบัติทางแสงของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อทำการผสมกับสารละลายโดพามีนจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่หลากหลายซึ่งมีผลการตอบสนองที่รวดเร็วและให้ช่วงความเป็นเส้นตรงตั้งแต่ 60-500 μM โดยมีสมการถดถอยคือ $y = 0.0060x - 0.1315$ และมีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r^2) เท่ากับ 0.9964 ส่วนขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (3SD/slope) และขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (10SD/slope) จะมีค่าเท่ากับ 12.85 μM และ 42.83 μM ตามลำดับ ส่งผลให้การใช้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนสีแดงเข้มที่มีโซเดียมซิติเรทเป็นสารรักษาเสถียรภาพสามารถเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการตรวจวัดโดพามีนในยาโดยอาศัยการตรวจวัดทางสี

คำสำคัญ: อนุภาคทองระดับนาโน การตรวจวัดทางสี โดพามีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	A Colorimetric Approach for Measuring Dopamine with Ultra High Selectivity using Label-Free Gold Nanoparticles
Students	Miss Kornchanok Tharawatchanon Student ID 54050117 Mr. Naponphat Jarusrikittiwut Student ID 54050167 Mr. Nadthapol Kusonjariyakul Student ID 54050168
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Academic Year	2014
Advisor	Dr. Ekarat Detsri

ABSTRACT

In the present study, gold nanoparticles were prepared by chemical reduction of gold chloride trihydrate using sodium citrate as the stabilizing and reducing agent. The electrostatic properties of stabilizing agent was provided the dark red stable solution of gold nanoparticles. The characteristics of the gold nanoparticles were investigated using UV-visible spectroscopy, FTIR, zeta potential and TEM. The gold nanoparticles were displayed a dark red color which a maximum absorbance at 520 nm. The average size and surface charges of sodium citrate stabilized gold nanoparticles were 13-14 nm and -58.77 mV, respectively. Upon the addition of dopamine solution, the dark red color of gold nanoparticles was changed to purple, blue and grey. The optical properties of gold nanoparticles exhibited excellent color changes of dopamine with a quick response time, a wide linear range between 60-500 μM with a regression equation of $y = 0.0060x - 0.1315$ and a correlation coefficient (r^2) of 0.9964. The LOD (3SD/slope) and LOQ (10SD/slope) were 12.85 μM and 42.83 μM , respectively. The sodium citrate stabilized gold nanoparticles, dark red solution are promising to be an alternative method for colorimetric detection of dopamine in pharmaceutical section.

Keywords: Gold nanoparticles, Colorimetric detection, dopamine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือและความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เอกรัฐ เดชศรี ที่ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้มีความสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติคุณ และท่านอาจารย์ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ ที่ให้ความรู้และชี้แนะแนวทางแก้ไขโครงการพิเศษนี้ให้มีความสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ให้ความรู้และคำแนะนำ เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่คณะวิทยาศาสตร์, เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยติดต่อประสานงาน ทำให้โครงการพิเศษนี้ดำเนินลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณครอบครัว รุ่งพี และเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจที่ติดลวดมา

นางสาวกรชนก ธราวัฒน์ชานนท์

นายณพลพัทธ์ จารุศรีกิตติวุฒิ

นายณัฐพล กุศลจรรย์ากุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำย่อและสัญลักษณ์.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและเทคโนโลยี.....	4
2.2 อนุภาคระดับนาโน.....	5
2.2.1 อนุภาคของระดับนาโน.....	6
2.2.2 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโน.....	7
2.2.3 การรักษาเสถียรภาพของอนุภาคระดับนาโน.....	11
2.3 ปฏิกิริยาการเชื่อมประสานของนาโน.....	13
2.4 การมองเห็นสีของวัตถุ.....	14
2.5 เทคนิคการขึ้นรูปแบบขั้นต่อขั้น.....	15
2.6 โดพามีน.....	18
2.7 โรคพาร์กินสัน.....	20
2.8 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	23
2.8.1 กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม ; AFM.....	23
2.8.2 Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ; FTIR.....	24
2.8.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ; TEM.....	25
2.8.4 UV-Vis spectrophotometer.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8.5 X-ray Diffractometer ; XRD.....	28
2.8.6 เครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า.....	29
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
2.9.1 ตัวรับรู้การตรวจวัดทางสีที่เลือกจำเพาะและว่องไวต่อปรอท (II) โดยใช้อนุภาค ของระดับนาโนที่มีหมู่ฟังก์ชัน 4-mercaptophenylboronic acid.....	31
2.9.2 การตรวจวัดทางสีของโพแทสเซียมไอออนโดยใช้อนุภาคของระดับนาโนที่ผ่าน การดัดแปลงพื้นผิวด้วยแอบแทมเมอร์.....	32
2.9.3 ตัวรับรู้การตรวจวัดทางสีในการตรวจวัดซัลเฟตโดยใช้อนุภาคของระดับนาโน ที่ผ่านการดัดแปลงด้วย Cysteamine (Cyst-AuNPs).....	32
2.9.4 ตัวรับรู้การตรวจวัดทางสีของ Cysteine โดยใช้อนุภาคของระดับนาโนที่มีหมู่ ฟังก์ชันเป็น Carboxymethyl cellulose.....	33
2.9.5 การใช้ Poly (L-methionine) และอนุภาคของระดับนาโนในการดัดแปลง ขั้วไฟฟ้าเพื่อตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนและกรดยูริกที่ว่องไวและต่อเนื่อง พร้อมกัน.....	34
2.9.6 การใช้อนุภาคของระดับนาโนในการตรวจทางสีเพื่อหาปริมาณโดพามีนในยูรีน และเซรัม.....	34
2.9.7 การตรวจวัดสีของ Cd (II) โดยใช้อนุภาคของที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็น di-(1H-pyrrol-2-yl) methanethione.....	35
2.9.8 การตรวจวัดทางสีของ D-amino acid โดยใช้หลักการต้านการเกิดการรวมตัว ของอนุภาคของระดับนาโน.....	36
2.9.9 การนำเทคนิคการขึ้นรูปแบบขั้นต่อขั้นไปใช้สร้างวัสดุประกอบของ Toluieine blue-graphene และอนุภาคของระดับนาโนเพื่อใช้เป็นแอบทาเซ็นเซอร์สำหรับ ตรวจวัดปริมาณทรอมบิน.....	36
2.9.10 การใช้เทคนิคการขึ้นรูปขั้นต่อขั้นในการขึ้นรูปฟิล์มอนุภาคของระดับนาโนลง บน Substrate ที่มีหมู่ amine.....	37
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	39
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	39
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	39
3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	40
3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.1 การสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโนโดยวิธีของเทอร์เควิช.....	41
3.4.2 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคของระดับนาโนและ สารละลายมาตรฐานโดพามีน.....	42
3.4.3 การศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีนด้วยสารละลาย อนุภาคของระดับนาโน.....	45
3.4.4 การเตรียมแผ่นฟิล์มของอนุภาคของระดับนาโนโดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูป แบบชั้นต่อชั้นโดยใช้สารปรับสภาพพื้นผิวของ substrate เป็น PDADMAC และ PSS.....	56
3.4.5 การเตรียมแผ่นฟิล์มของอนุภาคของระดับนาโนโดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูป แบบชั้นต่อชั้นโดยใช้สารปรับสภาพพื้นผิวของ substrate เป็น PDADMAC และไตรโซเดียมซิติเรท.....	59
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	66
4.1 ผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโน	66
4.2 ผลการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคของระดับนาโนและสารละลาย มาตรฐานโดพามีน.....	75
4.3 ผลการศึกษาการสร้างฟิล์มของอนุภาคของระดับนาโนโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบ ชั้นต่อชั้น.....	95
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	122
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	122
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	123
เอกสารอ้างอิง.....	124
ภาคผนวก ก.....	132
ภาคผนวก ข.....	134
ประวัติผู้จัดทำ.....	140

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างพอลิอิเล็กโทรไลต์.....	17
4.1 แสดงความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM.....	68
4.2 แสดงขนาดของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรททั้ง 3 ความเข้มข้น.....	74
4.3 แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับได้ (% Recovery) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM.....	80
4.4 แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับได้ (% Recovery) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM.....	86
4.5 แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับได้ (% Recovery) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM.....	92
4.6 แสดงผลการวิเคราะห์อนุภาคทองที่ใช้ซิเตรทความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM กับสารละลายโดพามีน.....	94
4.7 แสดงสภาวะของการปรับปรุงสภาพของสารละลาย PDADMAC.....	103
4.8 แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ PDADMAC สภาวะที่ 1...	113
4.9 แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ PDADMAC สภาวะที่ 2...	115
4.10 แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ PDADMAC สภาวะที่ 4.	116

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบขนาดต่างๆ.....	5
2.2 แสดงรูป Lycurgus cup.....	6
2.3 กลไกการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนด้วยวิธีของบลัสท์และซิฟรอน.....	9
2.4 การเกิดชั้นที่มีประจุคู่ (Electric double layer).....	11
2.5 แสดงการรักษาเสถียรภาพโดยแรงต้านทางไฟฟ้า (Electrostatic stabilization).....	12
2.6 แสดงการรักษาเสถียรภาพโดยความเคาะ.....	13
2.7 แผนผังการเกิดเซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) ของอนุภาคทรงกลม.....	14
2.8 แสดงการมองเห็นสีของวัตถุ.....	14
2.9 สีที่มองเห็นจากการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ.....	14
2.10 แผนผังแสดงขั้นตอนการสร้างแผ่นฟิล์มบางด้วยเทคนิคการขึ้นรูปขั้นต่อขั้น.....	15
2.11 แสดงโครงสร้างของโดพามีน.....	18
2.12 ส่วนประกอบของเบซาลแกงเกลียในสมอง.....	20
2.13 การทำงานของเครื่อง Atomic Force Microscope ; AFM.....	23
2.14 ส่วนประกอบของเครื่อง TEM.....	26
2.15 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis spectrophotometer.....	27
2.16 การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของ Bragg's Law.....	28
2.17 ไอออนและความต่างศักย์ที่ทำหน้าที่เป็นขั้วบนผิวของอนุภาคสารแขวนลอย.....	30
3.1 แผนผังวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองที่ใช้ซิเตรทความเข้มข้น 1, 10, 20 และ 50 mM.....	41
3.2 แผนผังวิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM และสารละลายโดพามีน.....	42
3.3 แผนผังวิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM และสารละลายโดพามีน.....	43
3.4 แผนผังวิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM และสารละลายโดพามีน.....	44
3.5 แผนผังวิธีการศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีนด้วยอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM.....	46
3.6 แผนผังวิธีการศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีนด้วยอนุภาคทองที่ไม่ทำกรณีที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM.....	47

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 แผนผังวิธีการศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีนด้วยอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM.....	48
3.8 แผนผังวิธีการศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการวิเคราะห์.....	49
3.9 แผนผังวิธีการหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (Recovery) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM.....	50
3.10 แผนผังวิธีการหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (Recovery) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM.....	52
3.11 แผนผังวิธีการหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (Recovery) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM.....	54
3.12 แผนผังวิธีการศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์....	55
3.13 แผนผังวิธีการปรับสภาพพื้นผิวบน Substrate.....	57
3.14 แผนผังวิธีการสร้างแผ่นฟิล์มของอนุภาคทอง.....	58
3.15 แผนผังวิธีการศึกษากลศาสตร์การดูดซับของอนุภาคทองบนแผ่นฟิล์ม.....	58
3.16 แผนผังวิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของแผ่นฟิล์มอนุภาคทอง.....	59
3.17 แผนผังวิธีการหาความเหมาะสมของสารละลาย PDADMAC.....	60
3.18 แผนผังวิธีการปรับสภาพพื้นผิวบน substrate ด้วย PDADMAC ที่ปรับสภาพแล้ว.....	61
3.19 แผนผังวิธีการศึกษาความเหมาะสมของการสร้างแผ่นฟิล์มที่ใช้สารปรับสภาพพื้นผิวต่างชนิดกัน.....	62
3.20 แผนผังวิธีการศึกษากลศาสตร์การดูดซับของสารละลายอนุภาคทองบนแผ่นฟิล์ม.....	62
3.21 แผนผังวิธีการศึกษาหาความเหมาะสมของจำนวนชั้นในการสร้างแผ่นฟิล์ม.....	63
3.22 แผนผังวิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของแผ่นฟิล์มอนุภาคทอง และสารละลายโดพามีน	64
4.1 แผนภาพการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน.....	66
4.2 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทความเข้มข้น 1, 10, 20 และ 50 mM.....	67
4.3 สเปกตรัม FTIR ของ (a) อนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM, (b) อนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM, (c) อนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM และ (d) สารละลายซิเตรท.....	69
4.4 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน.....	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของอนุภาคทอง ที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM (A) กำลังขยาย 11500X (a), กำลังขยาย 25000X (b) และกำลังขยาย 62000X (c) และกราฟแสดงขนาดเฉลี่ยของอนุภาคทอง (B).....	71
4.6 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของอนุภาคทอง ที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM (A) กำลังขยาย 11500X (a), กำลังขยาย 25000X (b) และกำลังขยาย 62000X (c) และกราฟแสดงขนาดเฉลี่ยของอนุภาคทอง (B).....	72
4.7 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของอนุภาคทอง ที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM (A) กำลังขยาย 11500X (a), กำลังขยาย 25000X (b) และกำลังขยาย 62000X (c) และกราฟแสดงขนาดเฉลี่ยของอนุภาคทอง (B).....	73
4.8 ขนาดของอนุภาคทองเมื่อไอออนของซิเตรทเข้าทำปฏิกิริยา.....	74
4.9 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM ที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายโดพามีนความเข้มข้น 10-500 μM (A) และสีของสารละลาย (B)...	75
4.10 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายอนุภาคทองกับสารละลายโดพามีน.....	76
4.11 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของสารละลายผสมของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM และสารละลายโดพามีน กำลังขยาย 5000X (a), 11500X (b), กำลังขยาย 25000X (c) และกำลังขยาย 62000X (d).....	77
4.12 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM ที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายโดพามีน (A) กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกับความเข้มข้นต่างๆ (B).....	78
4.13 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวบวกันแต่ละชนิด (A) และสีสารละลาย (B).....	81
4.14 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM ที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายโดพามีนความเข้มข้น 10-1000 μM (A) และสีของสารละลาย (B)..	82
4.15 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของสารละลายผสมของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM และสารละลายโดพามีน กำลังขยาย 11500X (a), กำลังขยาย 25000X (b) และกำลังขยาย 62000X (c).....	84
4.16 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM ที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายโดพามีน (A) กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นต่างๆ (B).....	85

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.17 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวרבกวน์แต่ละชนิด (A) และสี่สารละลาย (B).....	87
4.18 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM ที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายโดพามีนความเข้มข้น 20-1000 μM (A) และสี่ของสารละลาย (B)..	88
4.19 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของสารละลายผสมของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM และสารละลายโดพามีนกำลังขยาย 11500X (a), กำลังขยาย 25000X (b) และกำลังขยาย 62000X (c).....	90
4.20 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM ที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายโดพามีน (A) กราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นต่างๆ (B).....	91
4.21 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวרבกวน์แต่ละชนิด (A) และสี่สารละลาย (B).....	93
4.22 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทที่ความเข้มข้นต่างๆ (A) และสี่ของแผ่นฟิล์ม (B).....	96
4.23 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆในการดูดซับ (A) และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่เวลาต่างๆในการดูดซับของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM (B).....	98
4.24 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆในการดูดซับ (A) และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่เวลาต่างๆในการดูดซับของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM (B).....	99
4.25 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆในการดูดซับ (A) และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่เวลาต่างๆในการดูดซับของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM (B).....	100
4.26 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM ก่อนและหลังตรวจวัดสารละลายโดพามีน (A) และสี่ของแผ่นฟิล์ม (B).....	101
4.27 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM ก่อนและหลังตรวจวัดสารละลายโดพามีน (A) และสี่ของแผ่นฟิล์ม (B).....	102
4.28 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM ก่อนและหลังตรวจวัดสารละลายโดพามีน (A) และสี่ของแผ่นฟิล์ม (B).....	102
4.29 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มในแต่ละสภาวะ (A) และสี่ของแผ่นฟิล์ม (B).....	104

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 สเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆในการดูดซับ (A) และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่เวลาต่างๆในการดูดซับอนุภาคทองโดยใช้ PDADMAC สภาวะที่ 1 (B).....	106
4.31 สเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆในการดูดซับ (A) และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่เวลาต่างๆในการดูดซับอนุภาคทองโดยใช้ PDADMAC สภาวะที่ 2 (B).....	107
4.32 สเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆในการดูดซับ (A) และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่เวลาต่างๆในการดูดซับอนุภาคทองโดยใช้ PDADMAC สภาวะที่ 4 (B).....	108
4.33 สเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงที่จำนวนชั้นต่างๆของแผ่นฟิล์ม (A) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดกับจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มที่ PDADMAC สภาวะที่ 1.....	110
4.34 สเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงที่จำนวนชั้นต่างๆของแผ่นฟิล์ม (A) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดกับจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มที่ PDADMAC สภาวะที่ 2.....	111
4.35 สเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงที่จำนวนชั้นต่างๆของแผ่นฟิล์ม (A) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดกับจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มที่ PDADMAC สภาวะที่ 4.....	112
4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางแนวตั้งของแผ่นฟิล์มกับจำนวนชั้นบนแผ่นฟิล์มที่ PDADMAC สภาวะที่ 1 , 2 และ 4.....	117
4.37 รูปแบบของ XRD ในอนุภาคทองระดับนาโนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วย PDADMAC สภาวะที่ 1, 2 และ 4 ตามลำดับ.....	118
4.38 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ PDADMAC สภาวะที่ 1 ก่อนและหลังตรวจวัดสารละลายโดพามีน.....	119
4.39 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ PDADMAC สภาวะที่ 2 ก่อนและหลังตรวจวัดสารละลายโดพามีน.....	120
4.40 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ PDADMAC สภาวะที่ 4 ก่อนและหลังตรวจวัดสารละลายโดพามีน.....	120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อและสัญลักษณ์

GNPs	Gold nanoparticles
AuNPs	Gold nanoparticles
LBL	Layer-by-Layer
DA	Dopamine
PDAD	Poly (diallyl dimethyl ammonium chloride)
PSS	Poly (4-styrene sulfonic acid) sodium salt
UV-Vis spectrophotometry	Ultraviolet-Visible spectrophotometry
XRD	X-ray diffractometer
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectrophotometer
TEM	Transmission Electron Microscope
AFM	Atomic Force Microscope
mL	มิลลิลิตร
mM	มิลลิโมลาร์
μ M	ไมโครโมลาร์
nm	นาโนเมตร
mV	มิลลิโวลต์
%Wt	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ด้วยความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในสมัยนี้มีความก้าวหน้ามากกว่าในสมัยก่อนและก็ยังคงมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นรวมทั้งความก้าวหน้าทางด้านนาโนเทคโนโลยีก็เช่นเดียวกัน นาโนเทคโนโลยี คือศาสตร์ทางวิทยาศาสตร์ที่ทำการศึกษเกี่ยวกับสสารที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรและศึกษาเกี่ยวกับการปรับเปลี่ยนสสารระดับอะตอมและโมเลกุล ด้วยนาโนเทคโนโลยีนี้ทำให้เกิดสสารขนาดระดับนาโนหรือเรียกกันว่าอนุภาคระดับนาโนซึ่งมีสมบัติหลากหลายและเป็นลักษณะเฉพาะ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากไม่ว่าจะเป็นสมบัติทางเคมี สมบัติทางกายภาพ หรือสมบัติทางแสงเป็นต้น และในหลายปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยทำการศึกษเกี่ยวกับอนุภาคในระดับนาโนมากยิ่งขึ้น มีการนำธาตุหลายชนิดเพื่อมาทำให้เป็นอนุภาคในระดับนาโนหนึ่งในนั้นคือทอง ซึ่งสมบัติทางแสงเป็นหนึ่งในสมบัติที่จำเพาะและน่าสนใจของอนุภาคทองในระดับนาโน เช่น เมื่ออนุภาคมีรูปร่างทรงกลมขนาด 20 นาโนเมตรสีที่ตามนุษย์มองเห็นจะเป็นสีแดง และหากอนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้นสีจะเปลี่ยนไป เช่น สีม่วง สีฟ้าเป็นต้น ด้วยสมบัติทางแสงและสมบัติอื่นๆของอนุภาคทองระดับนาโนที่จำเพาะทำให้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ เช่น นำไปใช้เป็นตัวเร่ง, ใช้ทำตัวรับรู้ทางสี, ใช้ในแวดวงเทคโนโลยีชีวภาพ, อุปกรณ์ทางไฟฟ้าและยา เป็นต้น

เนื่องจากในปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะมีผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับประเทศอื่นๆทั่วโลก และโรคพาร์กินสันนั้นเป็นโรคความเสื่อมของระบบประสาทที่มักพบในประชากรที่มีอายุมากกว่า 55 ปี ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้สูงที่จะพบผู้ป่วยโรคพาร์กินสันมากขึ้นในอนาคต โรคพาร์กินสันเกิดจากเซลล์ในสมองที่เรียกว่าซับสแตนเชีย ไนกรา (Substantia nigra) สร้างสารสื่อประสาทโดพามีนได้น้อยลง ซึ่งโดพามีนจะทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมไปยังกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อประสานการทำงานกันได้ดี เมื่อปริมาณโดพามีนน้อยลงจะส่งผลให้การทำงานของกล้ามเนื้อผิดปกติไป ซึ่งโรคพาร์กินสันจะประกอบด้วยกลุ่มอาการดังต่อไปนี้ อาการสั่นซึ่งมักเกิดขึ้นที่มือ แขน ขา กราม หน้า อาการเกร็งแขน ขาและลำตัว การเคลื่อนไหวช้า เสียการทรงตัว

โดยงานวิจัยนี้ได้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การใช้สารละลายอนุภาคทองในระดับนาโนเป็นตัวตรวจวัดโดพามีน ส่วนที่ 2 คือนำอนุภาคทองในระดับนาโนมาสร้างแผ่นฟิล์มบางบนแผ่นกระจกสไลด์ โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique) เพื่อใช้เป็นตัวตรวจวัดโดพามีนโดยทั้ง 2 ส่วนจะอาศัยเทคนิคการตรวจวัดสี (Colorimetric method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์อนุภาคทองในระดับนาโนด้วยวิธีของเทอร์เควิช (Turkevich method)
2. เพื่อสร้างแผ่นฟิล์มบางของอนุภาคทองในระดับนาโนด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique)
3. เพื่อศึกษาการตรวจวัดปริมาณโดพามีนด้วยเทคนิคการตรวจวัดสี (Colorimetric method) โดยการใช้สารละลายอนุภาคทองในระดับนาโน
4. เพื่อศึกษาการตรวจวัดปริมาณโดพามีนด้วยเทคนิคการตรวจวัดสี (Colorimetric method) โดยการใช้แผ่นฟิล์มบางของอนุภาคทองในระดับนาโน
5. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนโดยใช้อนุภาคทองในระดับนาโน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิติเตรทที่มีผลต่อขนาดของอนุภาคทองระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยวิธีของเทอร์เควิช (Turkevich method)
2. ศึกษาประสิทธิภาพของสารละลายอนุภาคทองในระดับนาโน ในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดปริมาณโดพามีน
3. ศึกษาความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิติเตรทที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองในระดับนาโนเพื่อทำฟิล์มบางโดยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique)
4. ศึกษาประสิทธิภาพของแผ่นฟิล์มบางอนุภาคทองในระดับนาโน ในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดปริมาณโดพามีน

1.4 สมมติฐานของงานวิจัย

1. สามารถใช้อนุภาคทองในระดับนาโนในการตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนด้วยเทคนิคการตรวจวัดสี (Colorimetric method) ได้
2. สามารถใช้สารละลายอนุภาคทองในระดับนาโนในการสร้างแผ่นฟิล์มบางเพื่อนำไปตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนด้วยเทคนิคการตรวจวัดสี (Colorimetric method) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองในระดับนาโน เพื่อนำไปใช้ในการสร้างแผ่นฟิล์มบาง
2. สามารถใช้สารละลายอนุภาคทองในระดับนาโนและแผ่นฟิล์มบางของอนุภาคทองในระดับนาโนในการตรวจวัดปริมาณโดพามีนที่ความเข้มข้นต่ำได้
3. วิธีที่ใช้ในการตรวจวัดนี้จะมีความจำเพาะเจาะจงสูง
4. วิธีที่คิดค้นไม่ยุ่งยากและให้ผลที่ถูกต้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

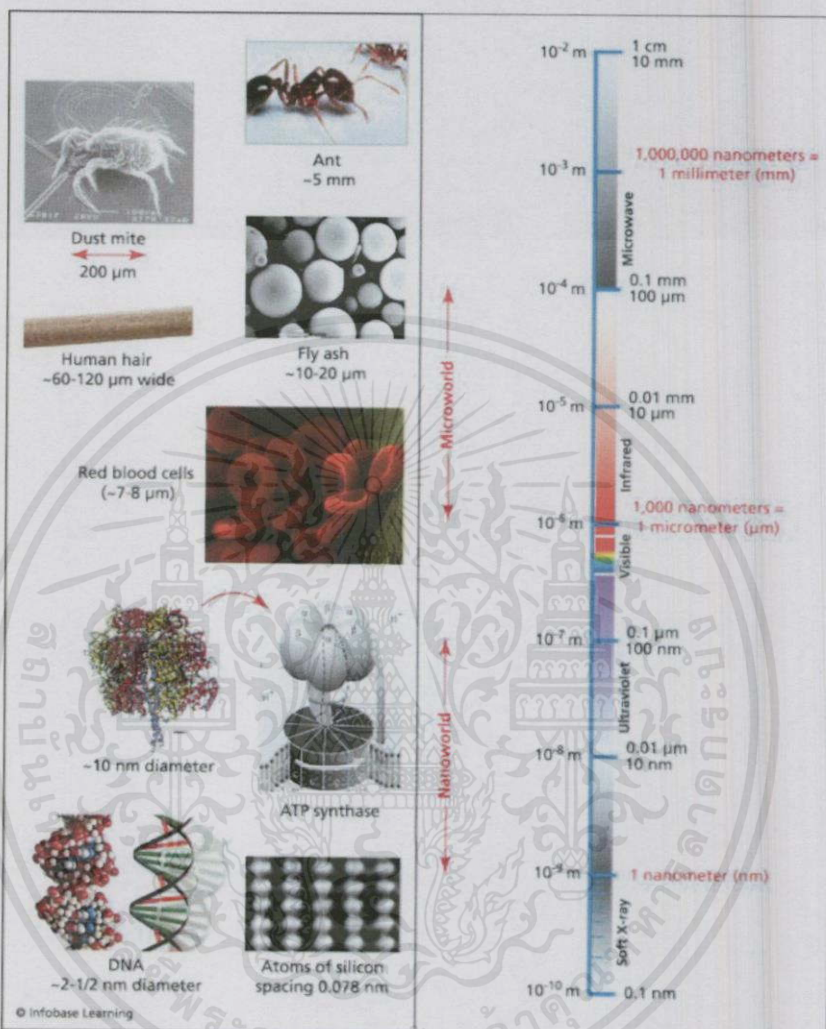
วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยีถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน มีรากฐานมาจากแนวความคิดของนักฟิสิกส์ชาวอเมริกันที่มีชื่อว่า ริชาร์ด ฟิลลิปส์ เฟย์แมน (Richard Phillips Feynman) [1] ซึ่งเป็นเจ้าของหัวข้อสนทนาที่กล่าวว่า “There is plenty room at the bottom” ในงานประชุมประจำปีของสมาคมฟิสิกส์อเมริกาซึ่งจัดขึ้นในวันที่ 29 ธันวาคม ค.ศ. 1959 ที่สถาบันเทคโนโลยีแคลิฟอร์เนีย ในหัวข้อการสนทนานี้เขาได้อภิปรายถึงแนวความคิดการจัดเรียงและควบคุมสิ่งที่มีขนาดเล็กระดับอะตอม ทำให้นักวิทยาศาสตร์จำนวนไม่น้อยเริ่มหันมาให้ความสนใจในการสร้างเครื่องมือในการจัดเรียงอะตอม ต่อมาในปี ค.ศ.1974 ศาสตราจารย์โนริโอะ ทานิกุชิ (Norio Taniguchi) มหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์ญี่ปุ่นได้บัญญัติคำว่า นาโนเทคโนโลยี [1] จากนั้นในปี ค.ศ.1981 เกร็ด บินนิค (Gerd Binnig) และไฮน์ริช โรห์เลอร์ (Heinrich Rohrer) ซึ่งทำงานที่ห้องปฏิบัติการวิจัยของไอบีเอ็มซูริช [1] ได้ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดในอุโมงค์ (Scanning Tunneling Microscope) ซึ่งทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถมองเห็นอะตอมได้เป็นครั้งแรก ต่อมาทั้งสองท่านได้รับรางวัลโนเบลในปี ค.ศ. 1986 จากการค้นพบครั้งนี้ และในปี ค.ศ. 1989 ดอน ไอเกลอร์ (Don Eigler) และเออฮาร์ด ชไวเซอร์ (Erhard Schweizer) ที่ศูนย์วิจัยไอบีเอ็ม [1] สามารถจัดเรียงอะตอมของก๊าซซีนอน 35 อะตอมให้เป็นตัวอักษรรูปโลโก้ IBM โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดในอุโมงค์ ด้วยความสำเร็จในการจัดเรียงอะตอมได้อย่างแม่นยำนี้นำไปสู่การประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีมากยิ่งขึ้น

นาโนศาสตร์ (Nanoscience) คือวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ทำการศึกษาเกี่ยวกับวัตถุและโครงสร้างที่มีขนาดเล็กโดยประมาณ 1-100 นาโนเมตร โดย 1 นาโนเมตรมีขนาดเท่ากับ 1 ใน 1 พันล้านเมตรหรือยาวเท่ากับอะตอมของไฮโดรเจนต่อเรียงกัน 10 อะตอม โครงสร้างระดับนาโนนี้นับรวมถึงอุปกรณ์ที่เล็กที่สุดที่มนุษย์สร้างขึ้นและชีวโมเลกุลที่ใหญ่ที่สุดของสิ่งมีชีวิตเช่นกัน วัตถุที่มีขนาดหรือโครงสร้างระดับนาโนจะมีสมบัติที่จำเพาะและแตกต่างไปจากวัตถุขนาดใหญ่ (bulk objects) ไม่ว่าจะเป็นสมบัติทางฟิสิกส์ สมบัติทางเคมี [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาก่อน ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ขึ้นหรือดัดแปลงสิ่งนี้ในทางใดๆ อย่างหนึ่งอย่างใด

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) หรือเรียกอย่างย่อว่านาโนเทค (Nanotech) คือเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการจัดเรียงโครงสร้างของสสารได้ในระดับอะตอมและระดับโมเลกุล [3]

เพื่อสร้างวัสดุหรือเครื่องมือที่มีขนาดเล็กในระดับนาโน รวมถึงการนำโครงสร้างในระดับนาโนไปประยุกต์ใช้ ทำให้วัสดุหรือเครื่องมือที่ได้รับมีสมบัติที่จำเพาะ



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบขนาดต่างๆ [4]

จากรูปที่ 2.1 แสดงถึงการเปรียบเทียบขนาดที่ชัดเจน ซึ่งจะเห็นได้ว่ามดเป็นสัตว์ที่มีขนาดเล็กโดยมีขนาดประมาณ 5 มิลลิเมตรหรือเมื่อเปลี่ยนเป็นหน่วยนาโนเมตรคือ 5 ล้านนาโนเมตร และสำหรับมนุษย์ส่วนที่เล็กที่สุดของร่างกายที่สามารถมองเห็นได้อย่างเช่นเส้นผมซึ่งมีขนาด 60,000-120,000 นาโนเมตร แต่ถ้าหากเป็นสายดีเอ็นเอจะมีขนาดที่เล็กถึง 0.5-2 นาโนเมตร

2.2 อนุภาคระดับนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ได้อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยทั่วไปอนุภาคระดับนาโนของโลหะและโลหะออกไซด์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 1-100 นาโนเมตร สมบัติต่างๆของอนุภาคระดับนาโนมีความแตกต่างไปจากโลหะขนาดใหญ่ (Bulk

metal) ทั้งสมบัติทางฟิสิกส์และสมบัติทางเคมี เช่น จุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่า, พื้นที่ผิวมากกว่า สมบัติทางแสงและสมบัติเชิงกล เป็นต้น ดังนั้นการนำนาโนศาสตร์และนาโนเทคโนโลยีมาใช้กับอนุภาคระดับนาโนจึงมีส่วนสำคัญในการสร้างวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือที่มีสมบัติ ความสามารถที่จำเพาะตรงต่อความต้องการของผู้ที่นำไปใช้งาน

2.2.1 อนุภาคทองระดับนาโน (Gold nanoparticles)

ด้วยสมบัติทางแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่มีความหลากหลาย ทำให้มีประวัติศาสตร์การนำอนุภาคระดับนาโนมาใช้ที่ยาวนานตั้งแต่สมัยโบราณ ในช่วง 1200-1300 ก่อนคริสต์ศักราช [5] มีการค้นพบทองที่สามารถละลายน้ำได้ในประเทศจีนและอียิปต์ ต่อมาเป็นตัวอย่างที่ใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่มีชื่อเสียงนั่นคือ โลเคอกัสคัพ (Lycurgus cup) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 ซึ่งปรากฏขึ้นในช่วงคริสต์ศักราชที่ 290-325 [5] ปัจจุบันแก้วใบนี้ถูกเก็บรักษาไว้ที่พิพิธภัณฑสถานบริติช (British Museum) แก้วที่พิเศษใบนี้สามารถเปลี่ยนสีได้เมื่อมีแสงส่องผ่าน จากแก้วสีเขียวมัวดังรูป 2.2 (ก) จะเปลี่ยนเป็นสีแดงดังรูป 2.2 (ข) ทั้งนี้ที่มีแสงส่องผ่าน และจากการวิเคราะห์ทำให้ทราบว่าแก้วใบนี้มีอนุภาคระดับนาโนของเงินและทองที่มีขนาดโดยประมาณ 70 นาโนเมตรในอัตราส่วน 14 ต่อ 1 ทำให้เกิดสมบัติทางแสงที่เฉพาะตัวนี้



รูปที่ 2.2 แสดงรูป Lycurgus cup

(ก) สีของแก้วเมื่อไม่มีแสงส่องผ่าน (ข) สีของแก้วเมื่อมีแสงส่องผ่าน [5]

จนกระทั่งยุคกลาง ช่วงเวลาคริสต์ศตวรรษที่ 5 ถึง คริสต์ศตวรรษที่ 15 การนำอนุภาคทองระดับนาโนส่วนใหญ่มาใช้ในด้านการรักษาโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจ, กามโรค, โรคบิด, โรคลมบ้าหมู, ไม่ผ่านการรักษาเนื่องอกรวมถึงการนำไปใช้เพื่อวินิจฉัยโรคซิฟิลิส [5] จนกระทั่งในปี 1857 ไมเคิล ฟาราเดย์

(Michael Faraday) เป็นผู้บุกเบิกการสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโนเพื่อใช้ในศึกษาทางวิทยาศาสตร์ [5] ทำให้หลังจากนี้มีรายงานทางวิทยาศาสตร์มากมายถูกตีพิมพ์ไม่ว่าจะเป็นวิธีการสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนใหม่, รูปร่างใหม่และเปิดเผยสมบัติที่เฉพาะตัวเป็นต้น

2.2.2 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโน

การสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโนโดยใช้สารเคมีประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ (ก) การใช้สารเคมีที่เป็นตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) เช่น โบโรไฮไดรด์, อะมิโนบอร์เรน, ไฮดราซีน, ฟอร์มอลดีไฮด์, ไฮดรอกซีลามีน, แอลกอฮอล์ทั้งชนิดอิ่มและไม่อิ่มตัว, ซิตรีคและโอเลอิก แอซิด, โพลีออล, น้ำตาล, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, ซัลไฟต์ เป็นต้น (ข) การใช้สารรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing agent) เช่น ไตรโซเดียมซิเตรทไดไฮเดรท, ลิแกนด์ของซิลเฟออร์ โดยเฉพาะไทโอเลท, ลิแกนด์ของฟอสฟอรัส, ลิแกนด์ของไนโตรเจน, ลิแกนด์ของออกซิเจน, เดนไดรเมอร์, พอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิวเช่น เซททิวไตรเมทิวแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) การสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโนด้วยสารเคมีมีหลายวิธีดังต่อไปนี้

1. วิธีของเทอร์เควิช (Turkevich method)

วิธีนี้ใช้ไตรโซเดียมซิเตรท ไดไฮเดรท เป็นทั้งตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพ ซึ่งเทอร์เควิชเป็นผู้เสนอวิธีนี้ในปี ค.ศ.1951 [6] การสังเคราะห์ทำได้โดยนำสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรออลไปให้ความร้อน จากนั้นใส่ซิเตรทลงไปแล้วทำการปั่นกวนอย่างต่อเนื่องทำให้ได้สารละลายอนุภาคของระดับนาโนสีแดงอู่นและมีขนาดประมาณ 20 นาโนเมตร จนกระทั่งในปี 1973 เฟรินซ์ (Frens) [7] ได้พัฒนาต่อจากวิธีของเทอร์เควิช ทำได้โดยการปรับอัตราส่วนซิเตรทต่อทอง ขนาดของอนุภาคของระดับนาโนที่ได้มีตั้งแต่ 15-150 นาโนเมตร ซึ่งมีการกระจายตัวของขนาดในช่วงกว้าง (polydisperse) และขนาดส่วนใหญ่ที่ได้มีขนาดใหญ่มากกว่า 20 นาโนเมตร หลังจากนั้นนักวิจัยหลายกลุ่มได้พยายามพัฒนาต่อยอดวิธีของเทอร์เควิชและเฟรินซ์ เพื่อสร้างวิธีการสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโนโดยใช้ซิเตรทให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยคิมลิ่งและคณะ (Kimling) [8] ได้ระบุไว้ว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของซิเตรทสูงจะทำให้อนุภาคระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเล็ก ในทางตรงกันข้ามหากใช้ความเข้มข้นของซิเตรทน้อยขนาดของอนุภาคที่ได้จะมีขนาดใหญ่ ยิ่งไปกว่านั้นการเติมซิเตรทลงไปในการสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรออลจะมีผลทำให้ค่าพีเอชเปลี่ยนแปลง[9] และส่งผลต่อขนาดและการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Size distribution) [10] ด้วยการควบคุมค่าพีเอชทำให้สามารถควบคุมการกระจายตัวของขนาดให้แคบลงได้

(Monodisperse) ขนาดที่ได้อยู่ในช่วง 20-40 นาโนเมตร [11,12] มีอีกหลายวิธีที่สามารถพัฒนาวิธีของเทอร์ควิชเช่นการเพิ่มอนุหภูมิ [13], การฉายแสงฟลูออเรสเซน [14] และการใช้อัลตราซาวด์กำลังสูง [15] อนุภาคทองระดับนาโนที่ซีเตรทเป็นสารรักษา เสถียรภาพมักจะมีขนาดใหญ่กว่า 10 นาโนเมตรเนื่องจากความสามารถในการรีดิวซ์ของซีเตรทนั้นไม่รุนแรงมาก ต่อมาคณะของพันเทส (Puntes) ได้ทำการศึกษาการใช้น้ำที่มีอะตอมของดิวทีเรียม (D_2O) แทนการใช้น้ำปกติ ผลลัพธ์ที่ได้คือสามารถสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนที่มีขนาด 5 นาโนเมตรได้สำเร็จ [16]

1.1 การใช้ซีเตรทเป็นแค่สารรักษาเสถียรภาพเท่านั้น

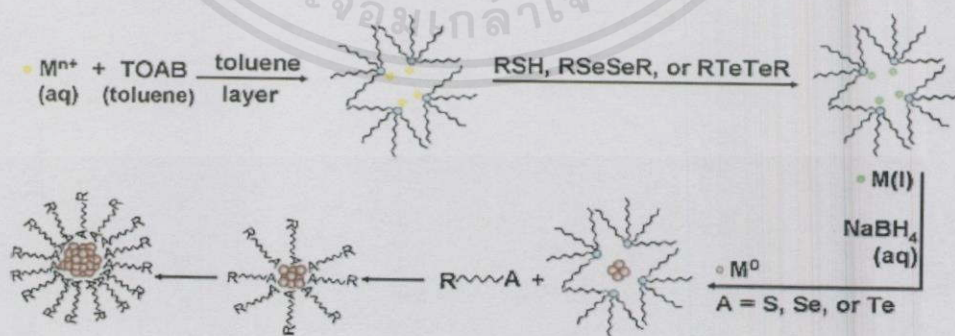
โดยทั่วไปการใช้ซีเตรทในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนนั้น จะต้องใช้อุณหภูมิสูงเนื่องจากความสามารถในการรีดิวซ์ของซีเตรทต่ำทำให้สลิต (Slot) ได้ทำการคิดค้นวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนใหม่ [17] โดยการผสมกรดแทนนิกกับซีเตรท ซึ่งกรดแทนนิกจะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์แทนซีเตรท แต่ซีเตรทยังคงทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพอยู่และใช้อุณหภูมิเพียงแค่ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ต่อมาคณะของนาราน (Natan) ได้เสนอการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ และยังคงใช้ซีเตรทเป็นสารรักษาเสถียรภาพเหมือนเดิม [18] ขั้นตอนการสังเคราะห์คือผสมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ลงในสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอูเรทที่อุณหภูมิห้อง ทำให้สามารถสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนที่มีขนาด 6 นาโนเมตรได้

1.2 การใช้วิธีเติมย้อนกลับ (Reverse addition method)

วิธีนี้เป็นอีกวิธีที่ทำการดัดแปลงวิธีของเทอร์ควิช โดยมีเดซี (Daizy) [19] เป็นผู้ริเริ่มการใช้วิธีเปลี่ยนลำดับการเติมย้อนกลับ เดซีได้ทำการศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน 3 วิธีคือ 1.การเติมสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอูเรทลงในสารละลายผสมของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เย็นกับ polyethylene glycol (PEG) และทำการปั่นกวน, 2.การเติมสารละลายผสมของซีเตรท, แทนนิกแอสิดและโพแทสเซียมคาร์บอเนทลงในสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอูเรทซึ่งสารละลายทั้งสองชนิดมีการให้ความร้อนที่ $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ และปั่นกวนก่อนนำมาผสมกัน วิธีสุดท้ายคือการสังเคราะห์โดยใช้ซีเตรทโดยการเปลี่ยนลำดับการเติมสาร จากการเติมสารละลายซีเตรทลงในสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอูเรทที่มีการให้ความร้อน เป็นการเติมสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอูเรทลงในสารละลาย ซีเตรทที่มีการให้ความร้อนแทน ซึ่งวิธีแรกได้ขนาดของอนุภาคทองที่ 3-4 นาโนเมตร วิธีที่สองได้ขนาด 6 นาโนเมตร และวิธีสุดท้ายที่ใช้วิธีการเติมย้อนกลับได้ขนาด 9 นาโนเมตร

1.3 วิธีของบลัสท์และชิฟฟรอน (Burst - Schiffrin method)

วิธีนี้เป็นวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนในระบบ 2 วัฏภาคซึ่งมีบลัสท์และชิฟฟรอน (Burst-Schiffrin) [20] เป็นผู้คิดค้นซึ่งได้รับการตีพิมพ์ในปี ค.ศ.1994 การสังเคราะห์ที่เกิดขึ้นในตัวทำละลายอินทรีย์เช่นโทลูอีนที่มีการผสมอัลคิลโทอล โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์และเตตระออกทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (octylammonium bromide, TOAB) ทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพและสารเปลี่ยนวัฏภาค (phase transfer agent) ทำให้สามารถสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนที่มีขนาดเล็กกว่า 5 นาโนเมตรได้ ทั้งนี้กลไกการเกิดปฏิกิริยาของวิธีการสังเคราะห์ยังเป็นที่ยกเถียงกันอยู่ในกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ โดยข้อสันนิษฐานหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับคือโทอลจะรีดิวซ์ Au(III) ไปเป็น Au(I) และก่อตัวเป็น $[AuSR]_n$ เหมือนพอลิเมอร์ตามสมการ $3RSH + AuCl_4^- \rightarrow AuSR + RSSR$ [21,22] ต่อมาเลนnox (Lennox) และคณะ [23] ได้แสดงให้เห็นว่าสปีชีส์ของโลหะตั้งต้นก่อนการเติมตัวรีดิวซ์จะอยู่ในรูปสารเชิงซ้อน $[TOA][AuX_2]$ ไม่ใช่ $[AuSR]_n$ เหมือนพอลิเมอร์ตามสมการ $[TOA][AuX_2] + 2RSH \rightarrow [TOA][AuX_2] + RSSR + 2HX$ ท้ายที่สุดหยิง ลี (Ying- Li) และคณะได้ให้คำอธิบายเกี่ยวกับกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ของวิธีบลัสท์และชิฟฟรอนในปี ค.ศ.2011 [24] เมื่อทำการแยกวัฏภาคอินทรีย์ออกแล้วที่มีโทอลผสมอยู่ในวัฏภาคนี้มีไมเซลล์ของสารเชิงซ้อน $[TOA][AuX_2]$ อยู่เมื่อทำการเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ลงไปจะเกิดการรีดิวซ์ทำให้เกิดอนุภาคทองระดับนาโนที่มีไมเซลล์ของ $[TOA]$ ล้อมรอบอยู่ ต่อจากนั้นลิแกนด์โทโอเลทที่เกิดจากปฏิกิริยารีดักชันของไดซัลไฟด์และโทอลที่ยังไม่ได้ทำปฏิกิริยาในตัวทำละลายอินทรีย์จะแพร่ผ่านชั้นไมเซลล์ และเกิดพันธะ Au-S ทำให้ได้อนุภาคทองระดับนาโนที่มีลิแกนด์รักษาเสถียรภาพ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กลไกการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนด้วยวิธีของบลัสท์และชิฟฟรอน [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้มีการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งข้อดีของวิธีการสังเคราะห์นี้คือการสังเคราะห์ที่สะดวกขึ้น สามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้อง อนุภาคทองระดับนาโนที่ได้มีความเสถียรต่อความร้อนและอากาศ, สามารถทำการแยกหรือละลายซ้ำในตัวทำละลายอินทรีย์ได้โดยไม่เกิดการรวมตัวหรือเสียสภาพและสามารถใส่หมู่ฟังก์ชันได้ง่ายโดยใช้วิธีแทนที่ลิแกนด์ (ligand substitution) ในปี 1995 วิธีของบลัสท์และซิฟฟรอนได้รับการพัฒนาต่อโดยการใช้พาราเมอร์แคปโทฟีนอล (p-mercaptophenol) เป็นสารรักษาเสถียรภาพให้อนุภาคทองระดับนาโนและสังเคราะห์ในสารละลายเมทานอลโดยปราศจากสารเปลี่ยนวัฏภาคอย่าง TOAB ทำให้ไม่มีสิ่งเจือปนจาก TOAB [25] ส่งผลให้วิธีนี้กลายเป็นระบบหนึ่งวัฏภาคเนื่องจากเมทานอลสามารถทำละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเอทและพาราเมอร์แคปโทฟีนอลได้ และไทออลสามารถละลายในตัวทำละลายเดียวกันกับไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเอท

1.4 วิธีซิดโกรท (Seed-growth method)

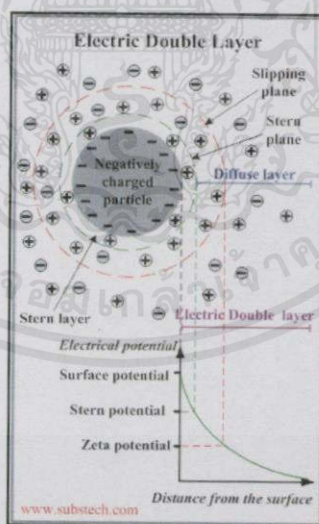
วิธีนี้แบ่งถูกแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมซิดของอนุภาคทองระดับนาโน ขั้นที่สองใส่ซิดที่ได้จากขั้นตอนแรกลงในสารละลายโกรทซึ่งประกอบด้วยเตตระคลอโรอโรเอท, ตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพ Au^0 ที่เกิดขึ้นใหม่จะเข้าไปรวมตัว บนผิวของซิดเพื่อทำให้เกิดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้น โดยตัวรีดิวซ์ที่ใช้ในขั้นตอนที่สองนั้นต้องเป็นสารที่มีความสามารถในการรีดิวซ์ไม่แรงมาก เพื่อให้ Au^0 ที่เกิดขึ้นใหม่สามารถรวมตัวกับซิดได้เท่านั้น ไม่มีการเกิดนิวเคลียสของอนุภาคใหม่ ยิ่งไปกว่านั้นด้วยการใช้ตัวรีดิวซ์ที่อ่อนทำให้ขั้นตอนที่สองเกิดช้ากว่าขั้นตอนแรกมาก แต่ด้วยข้อดีของวิธีการสังเคราะห์นี้คือสามารถควบคุมขนาดและรูปร่างได้, สามารถทำซ้ำเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นได้ ในปี 1998 [26] นาธาน (Natan) และคณะได้ใช้วิธีนี้ในการสังเคราะห์ซิด Au ได้สำเร็จ โดยการใช้ซิเตรทเป็นตัวรีดิวซ์และล้อมรอบซิด Au ทรงกลมที่มีขนาด 12 นาโนเมตร ต่อมาคณะของเมอร์ฟี (Murphy) [27] ได้ตีพิมพ์เกี่ยวกับการสังเคราะห์ซิด Au ที่เป็นทรงกลมเช่นเดียวกันแต่มีขนาดที่เล็กเพียงแค่ 3.5 นาโนเมตร ทำได้โดยการเติมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เย็นจัดลงในสารผสมของไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเอทและซิเตรท หลังจากนั้นวิธีของเมอร์ฟีได้ถูกนำไปดัดแปลงโดยเอลไซเยท [28] (El-Sayed) ซึ่งใช้สารรักษาเสถียรภาพเป็นเฮกซะเดคซิลไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ (hexadecyltrimethylammonium bromide, CTAB) แทนซิเตรท ซิดที่ได้จะมีขนาดเล็กเพียง 4 นาโนเมตรและเมื่อนำไปใช้สังเคราะห์ อนุภาคทองระดับนาโนจะมีการกระจายตัวของขนาดใกล้เคียงกัน เนื่องจากวิธีซิดโกรทสามารถควบคุมรูปร่างและขนาดได้ จึงมีการนำวิธีนี้ไปใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนรูปร่างต่างๆที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นทรงกลม, กิ่งทรงกลม, แท่ง และรูปร่างอื่นๆ [29-33]

2.2.3 การรักษาเสถียรภาพของอนุภาคระดับนาโน

เนื่องจากอนุภาคระดับนาโนมีขนาดเล็กทำให้มีพื้นที่ผิวมากซึ่งส่งผลให้มีพลังงานพื้นผิว (Surface energy) มากเช่นเดียวกัน และด้วยพลังงานที่มีมากนี้ทำให้อนุภาคระดับนาโนไม่เสถียร อนุภาคระดับนาโนจึงมีแนวโน้มที่จะลดพลังงานพื้นผิวด้วยตัวเอง โดยการรวมตัวเพื่อลดพื้นที่ผิวผ่านแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der waals force) ดังนั้นเมื่อสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนได้จึงต้องมีการรักษาเสถียรภาพ เพื่อให้อนุภาคระดับนาโนให้ยังคงเป็นอนุภาคระดับนาโนในตามขนาดที่ต้องการอยู่ไม่เกิดการรวมตัวขึ้น หลักการรักษาเสถียรภาพให้อนุภาคระดับนาโนมี 2 ประเภทหลักดังนี้ [34]

1. การรักษาเสถียรภาพด้วยแรงต้านทางไฟฟ้า (Electrostatic stabilization)

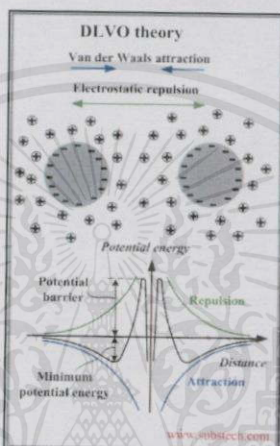
หลักการคือการใช้แรงต้านทางไฟฟ้า (Electrostatic force) เพื่อต้านแรงแวนเดอร์วาลส์ เมื่ออนุภาคอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวอนุภาคขนาดเล็กอย่างอนุภาคระดับนาโนมีพลังงานพื้นผิวสูง จะดูดซับประจุที่อยู่ล้อมรอบจากตัวกลางที่เป็นของเหลวไว้บนผิว ดังนั้นวิธีการรักษาเสถียรภาพนี้จึงว่องไวต่อของเหลวที่มีขั้วซึ่งสามารถละลายอิเล็กโทรไลต์ได้ (Electrolyte) การดูดซับอนุภาคหรือประจุนี้จะขึ้นอยู่กับชนิดของอนุภาคนั้นๆด้วยเมื่อเกิดการดูดซับประจุบนผิวของอนุภาคส่งผลให้เกิดชั้นที่มีประจุคู่ (Electric double layer) ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การเกิดชั้นที่มีประจุคู่ (Electric double layer) [35]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งโดย Electric double layer คือ ชั้นที่ล้อมรอบอนุภาคในตัวกลางที่อนุภาคกระจายตัวอยู่ไว้ขณะอยู่กับที่ ซึ่งรวมทั้งไอออนที่ถูกดูดซับไปบนผิวของอนุภาคและชั้นของไอออนที่มีประจุ

ตรงกันข้ามซึ่งกระจายตัวอยู่ในตัวกลางเช่นกัน กล่าวคือเมื่ออนุภาคดูดซับประจุลบไว้บนพื้นผิวแล้ว ประจุตรงข้ามที่กระจายตัวอยู่ในตัวกลางอย่างประจุบวกจะดึงดูดกับประจุลบที่อยู่บนผิวของอนุภาค ทำให้เกิดชั้นสเตอร์น (Stern layer) ขึ้น ต่อมาคือ Diffuse layer ซึ่งเกิดจากการรวมตัวของไอออนอิสระในตัวกลางที่ใกล้อนุภาค เช่นเดียวกันกับ Stern layer ไอออนเหล่านี้ดึงดูดกันด้วยแรงทางไฟฟ้าของประจุที่แตกต่างกัน แต่เมื่ออนุภาคเกิดการเคลื่อนที่ในตัวกลาง จะเกิดชั้นล้อมรอบอนุภาคที่เรียกว่า Slipping plane ซึ่งจะมีผลจะมีผลต่อแรงกระทำต่อกันเมื่ออนุภาคสองอนุภาคเคลื่อนที่เข้าใกล้กันดังรูปที่ 2.5 ซึ่งอธิบายได้ด้วยทฤษฎีดีเอลวีโอ (DLVO theory)



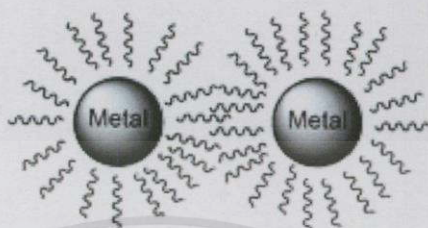
รูปที่ 2.5 แสดงการรักษาเสถียรภาพโดยแรงต้านทางไฟฟ้า (Electrostatic stabilization) [35]

อย่างที่ได้อธิบายไปข้างต้นอนุภาคระดับนาโนมีพลังงานพื้นผิวมาก จะเกิดการรวมตัวกันเนื่องจากแรงแวนเดอร์วาลส์เพื่อลดพลังงานพื้นผิว และเนื่องจากบนผิวของอนุภาคมีชั้นที่มีประจุอยู่โดยชั้นนอกสุดซึ่งเป็น Slipping plane จะมีประจุบวก โดยทฤษฎีนี้กล่าวไว้ว่าเมื่ออนุภาคสองอนุภาคเคลื่อนที่เข้าหากัน สิ่งที่เกิดขึ้นคืออนุภาคทั้งสองสามารถเคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันได้เนื่องจากแวนเดอร์วาลส์ระยะหนึ่งเท่านั้น เพราะมีแรงต้านของประจุไฟฟ้าที่เหมือนกันอยู่ แต่หากแรงต้านทางไฟฟ้านี้มีน้อยกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ สิ่งที่เกิดขึ้นคืออนุภาคเกิดการรวมตัวกัน ซึ่งเป็นสถานะที่อนุภาคไม่เสถียรนั่นเอง ในทางตรงกันข้ามหากแรงผลักทางไฟฟ้ามีมากกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ อนุภาคจะรักษาระยะห่างจากกันได้ไม่เกิดการรวมตัว แสดงถึงสถานะที่อนุภาคเสถียร

2. การรักษาเสถียรภาพด้วยความเกะกะ (Steric stabilization)

หลักการของวิธีการรักษาความเสถียรนี้คือการใช้พอลิเมอร์หรือสารอินทรีย์ที่มีสายโซ่ยาวหรือหมู่ฟังก์ชันที่มีความเกะกะสูงในการยึดที่ผิวของอนุภาค ดังรูปที่ 2.6 โดยวิธีการรักษาเสถียรภาพด้วยแรงผลักด้านทางไฟฟ้าจะใช้ตัวกลางที่มีประจุอิสระกระจายตัวอยู่แต่วิธีนี้จะใช้ตัวกลาง

ที่เป็นพอลิเมอร์หรือสารที่มีขนาดโมเลกุลขนาดใหญ่แทนโดยโมเลกุลเหล่านี้จะถูกอนุภาคดึงดูดและยึดติดที่ผิวทำให้เกิดชั้นของโมเลกุลขนาดใหญ่ล้อมรอบอนุภาคส่งผลให้อนุภาคไม่สามารถรวมตัวกันได้เนื่องจากถูกชั้นของโมเลกุลขนาดใหญ่ที่ล้อมรอบอนุภาคขวางไว้



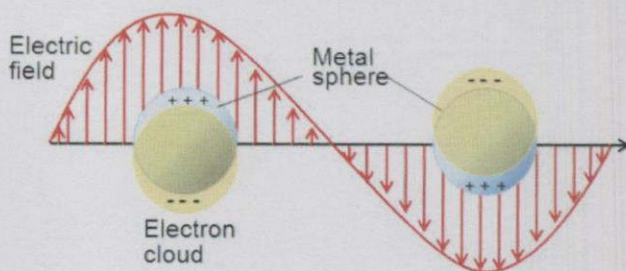
Steric stabilization

รูปที่ 2.6 แสดงการรักษาเสถียรภาพโดยความเกะกะ [36]

2.3 ปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance)

สมบัติที่น่าสนใจของอนุภาคโลหะระดับนาโนอย่างหนึ่งคือสมบัติทางแสง เช่นเมื่อ อนุภาคทองระดับนาโนมีขนาด 20 นาโนเมตรจะมีสีแดงอู่น, อนุภาคเงินระดับนาโนมีสีเหลือง ในขณะที่อนุภาคระดับนาโนของแพลทินัมและพาราเดียมมีสีดำเป็นต้น [5] ความแตกต่างของสีของอนุภาคระดับนาโนที่ตาของมนุษย์สามารถเห็นนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่แสงตกกระทบอนุภาคโลหะ แสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งการสั่นของอิเล็กตรอนนี้ทำให้เกิดการแยกระหว่างประจุบวกและประจุลบดังรูปที่ 2.7 การสั่นสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นที่จำเพาะ ปรากฏการณ์นี้จะเหนี่ยวนำให้เกิดแถบการดูดกลืนเซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ ซึ่งสามารถวัดได้ในช่วงความยาวคลื่นยูวีถึงวิสิเบิลไลท์ โดยความเข้มของการดูดกลืนความยาวคลื่นที่ดูดกลืนนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่ผิวของโลหะชนิดนั้นๆ, ขนาดของอนุภาค, รูปร่างและค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของตัวกลางที่อนุภาคกระจายตัวอยู่ สำหรับอนุภาคทองระดับนาโนมีแถบการดูดกลืนอยู่ที่ 520 นาโนเมตร [37] ด้วยปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้ทำให้อนุภาคทองระดับนาโนถูกนำไปใช้เป็นตัวรับรู้ทางแสงหรือตัวรับรู้การตรวจวัดทางสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แผนผังการเกิดเซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) ของอนุภาคทรงกลม [38]

2.4 การมองเห็นสีของวัตถุ

การมองเห็นสีต่างๆของวัตถุเกิดจากเมื่อมีแสงมาตกกระทบกับวัตถุ วัตถุจะเกิดการดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) ที่ความยาวคลื่นจำเพาะและสะท้อนแสงที่ความยาวคลื่นอื่นที่ไม่ถูกดูดกลืนเข้าสู่ดวงตามนุษย์ดังรูปที่ 2.8 จึงทำให้เห็นสีของวัตถุได้ โดยสีที่ปรากฏจะแสดงในลักษณะตรงข้ามสีที่ดูดกลืน ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.8 แสดงการมองเห็นสีของวัตถุ [39]



Wavelength [nm]	Absorbed color	Complementary color
650-780	red	blue-green
595-650	orange	greenish blue
560-595	yellow-green	purple
500-560	green	red-purple
490-500	bluish green	red
480-490	greenish blue	orange
435-480	blue	yellow
380-435	violet	yellow-green

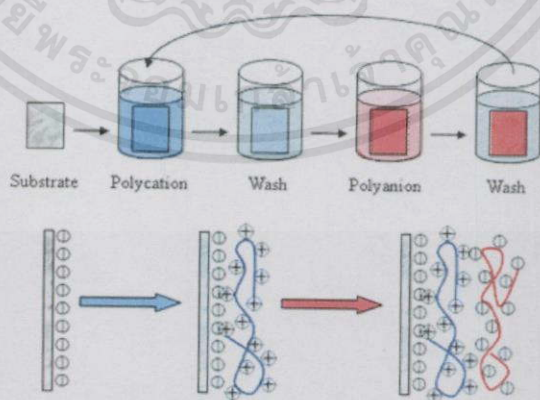
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอน ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 สีที่มองเห็นจากการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ [40]

จากรูปที่ 2.8 และรูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีแสงมาตกกระทบวัตถุ วัตถุจะเกิดการดูดกลืนแสงในช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) ในช่วงความยาวคลื่นหนึ่งและแสงที่ความยาวคลื่นอื่นที่ไม่ถูกดูดกลืนจะถูกสะท้อนหรือส่องผ่านออกมาเข้าสู่ดวงตามนุษย์ จึงทำให้เห็นสีของวัตถุแตกต่างกันไป เช่น เมื่อวัตถุดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นช่วง 435-480 นาโนเมตรซึ่งเป็นแสงสีน้ำเงิน จะทำให้เห็นสีของวัตถุนั้นปรากฏเป็นสีเหลือง

2.5 เทคนิคการขึ้นรูปชั้นต่อชั้น (Layer-By-Layer self-assembly technique)

เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นเป็นเทคนิคการสร้างแผ่นฟิล์มบาง เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในปี 1966 [41] โดยอาเคอ ไอลอร์ (R.K. Iler) หลักการของเทคนิคนี้คืออาศัยแรงดึงดูดของประจุที่แตกต่างกันของพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) สลับกันบนซับสเตรท (Substrate) เช่น แก้ว ซิลิกอนหรือโลหะ พอลิอิเล็กโทรไลต์ [42] คือ คือพอลิเมอร์ซึ่งประกอบด้วยหน่วยโมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันซึ่งสามารถเกิดประจุได้โดย Polyelectrolyte สามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือพอลิแอนไอออน (Polyanion) และพอลิแคทไอออน (Polycation) สมบัติของพอลิอิเล็กโทรไลต์เหมือนเกลือซึ่งเป็นสารละลายที่สามารถนำไฟฟ้าได้และพอลิเมอร์ซึ่งเป็นสารที่มีมวลโมเลกุลสูงและความหนืดพอลิแอนไอออนคือพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยโมโนเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันซึ่งสามารถเกิดประจุลบได้ส่วนพอลิแคทไอออนคือพอลิเมอร์ที่มีหมู่ฟังก์ชันของโมโนเมอร์ที่สามารถเกิดประจุบวกได้ แผ่นผังแสดงขั้นตอนเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer self-assembly technique) แสดงไว้ดังรูปที่ 2.10 และตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่าง พอลิอิเล็กโทรไลต์



รูปที่ 2.10 แผ่นผังแสดงขั้นตอนการสร้างแผ่นฟิล์มบางด้วยเทคนิคการขึ้นรูปชั้นต่อชั้น [43]

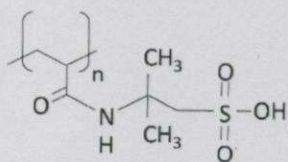
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด

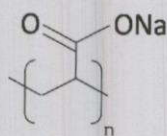
polyelectrolyte

โครงสร้างและชื่อ

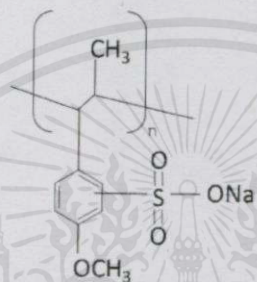
Polyanion



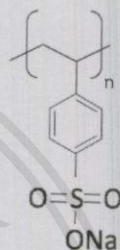
Poly(2-acrylamido-2-methyl-1-propanesulfonic acid)



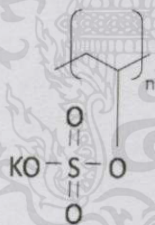
Poly(sodium acrylic acid)



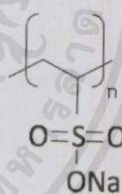
Poly(sodium anetholesulfonic acid)



Poly(sodium 4-styrenesulfonate)



Poly(potassium vinyl sulfate)



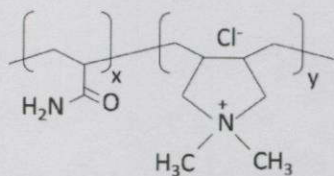
Poly(sodium vinylsulfonic acid)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

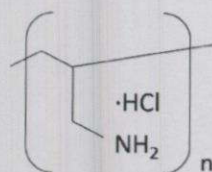
ชนิด
polyelectrolyte

โครงสร้างและชื่อ

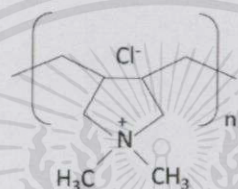
Polycation



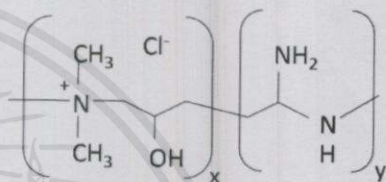
Poly(acrylamide co-diallyldimethyl ammonium chloride)



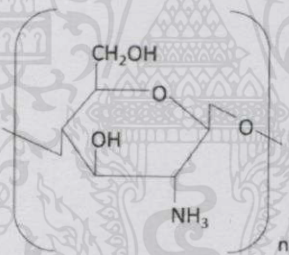
Poly(allylamine hydrochloride)



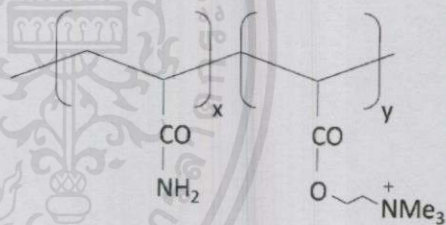
Poly(diallyldimethyl ammonium chloride)



Poly(dimethylamine-co-epichlorohydrin-co-ethylenediamine)



Chitosan



cationic polyacrylamide

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างพอลิอิเล็กโทรไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีค่านำไปใช้

2.6 โดพามีน

โดพามีน (dopamine) เป็นสารเคมีที่พบตามธรรมชาติในร่างกายของเรา ซึ่งสังเคราะห์โดยเนื้อเยื่อประสาทและต่อมหมวกไตเป็นส่วนใหญ่ [44] ทำหน้าที่เป็นทั้งสารสื่อประสาทและฮอร์โมน นอกจากนี้ยังเป็นสารตั้งต้นของการสังเคราะห์นอร์เอพิเนฟริน (norepinephrine หรือ noradrenaline) และ เอพิเนฟริน (epinephrine หรือ adrenaline) ทั้งนี้โดพามีนในสมองจะทำหน้าที่เป็นสารสื่อประสาทจะไปกระตุ้นโดพามีนรีเซพเตอร์ (dopamine receptor) ในระบบประสาทซิมพาเทติก (sympathetic nervous system) ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจ และความดันโลหิตเพิ่มขึ้น นอกจากนี้โดพามีนยังมีบทบาทเป็นฮอร์โมนที่หลั่งโดย ไฮโปทาลามัส (hypothalamus) เพื่อยับยั้งการหลั่งโพรแลคติน (prolactin) จากต่อมพิทูอิทารีส่วนหน้า (anterior lobe of the pituitary) แต่จะช่วยเพิ่มการหลั่งฮอร์โมนที่ช่วยในการเจริญเติบโต (growth hormone) ถ้าคนเรามีการหลั่งสารโดพามีนออกมาน้อยเกินไปหรือเซลล์สมองส่วนที่สร้างโดพามีนตาย ซึ่งพบได้ในผู้สูงอายุ ทำให้ผู้สูงอายุบางคนมีอาการทางระบบประสาท คือ โรคพาร์กินสัน ที่จะมีอาการมือไม้สั่น เกร็ง เคลื่อนไหวช้า เพราะโดพามีนเป็นฮอร์โมนที่มีความสำคัญต่อการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายนั่นเอง ตรงกันข้ามถ้าหากมีสารโดพามีนหลั่งออกมามาก ก็ทำให้เป็นคนคิดเร็ว สมองมีการตอบสนองดี สั่งการเร็ว อาจทำให้เป็นคนหุนหันพลันแล่น ไฮเปอร์ หรือก้าวร้าวได้ และถ้ายังมีมากเกินไป คนนั้นอาจกลายเป็นคนหวาดระแวง บ้าคลั่ง มีอาการป่วยทางจิต หรือเรียกว่าโรคจิตเภท เพราะสารนี้จะไปกระทบกับสมองส่วนฟรอนทัลที่ทำหน้าที่ควบคุมอารมณ์ ความรู้สึกนึกคิด การเรียนรู้และความจำ



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของโดพามีน

ข้อมูลทั่วไป

1. ชื่อทาง IUPAC 4-(2-aminoethyl)-1,2-benzenediol [45]
2. ชื่อเรียกอื่น 4-(2-aminoethyl)pyrocatechol, 3-hydroxytyramine, 3,4-dihydroxyphenethylamine, α -(3,4-dihydroxyphenyl)- β -amino-ethane
3. สูตรโมเลกุล $C_8H_{11}NO_2$ มวลโมเลกุล 153.18 g/mol
4. องค์ประกอบทางเคมีคือ C 62.73%, H 7.24%, N 9.14%, O 20.89%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนลิขสิทธิ์โดยมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิราวุฒวิทยาลัย
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางการค้าโดพามีนจะอยู่ในรูปของแข็งมี 2 แบบคือ

1. Dopamine hydrochloride สูตรโมเลกุล $C_8H_{11}NO_2 \cdot HCl$ มวลโมเลกุล 189.64 g/mol
2. Dopamine hydrobromide สูตรโมเลกุล $C_8H_{11}NO_2 \cdot HBr$ มวลโมเลกุล 234.10 g/mol

คุณสมบัติทางเภสัชวิทยาของยาโดพามีน

ชื่อยา Dopamine HCl แบบ injection 250 mg/10 ml amp. ที่ใช้ในโรงพยาบาล

ข้อบ่งใช้

เพื่อเพิ่มความดันโลหิตในภาวะที่ไม่ใช่จากการขาดเลือด หรือสารน้ำในร่างกาย และอาจใช้ในขนาดต่ำเพื่อเพิ่มปริมาณเลือดไปเลี้ยงไต

ข้อห้ามใช้

1. ห้ามใช้ในผู้ป่วยที่มีภาวะหัวใจเต้นเร็วผิดจังหวะ (Tachyarrhythmia) หรือ Ventricular fibrillation และ Phaeochromocytoma
2. ห้ามใช้ในผู้ป่วยที่แพ้ยานี้

ปริมาณยาโดพามีนที่ใช้ในการรักษา

เด็ก ต่ำสุด 1-20 mcg/kg/min สูงสุดไม่เกิน 50 mcg/kg/min

ใหญ่ ต่ำสุด 1-5 mcg/kg/min สูงสุดไม่เกิน 20 mcg/kg/min

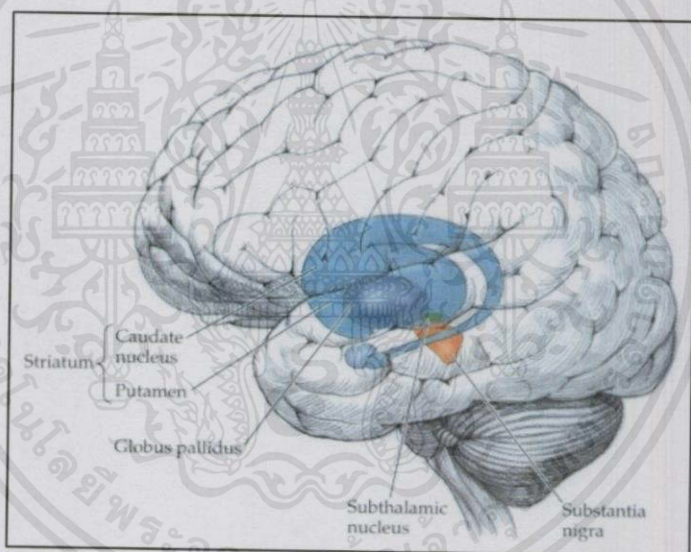
ผลกระทบบ้างเคียงที่สำคัญของยาโดพามีน

1. ชักนำให้มีการเต้นของหัวใจที่ผิดจังหวะทั้งแบบ Supraventricular และ Ventricular arrhythmias
2. เพิ่มความต้องการออกซิเจนของกล้ามเนื้อหัวใจ ซึ่งอาจทำให้อาการกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดรุนแรงขึ้น
3. ผลจากการกระตุ้น alpha-1 receptor ทำให้เกิดการขาดเลือดไปเลี้ยงอวัยวะส่วนปลาย โดยเฉพาะเมื่อใช้ยานี้ในปริมาณสูงหรือระยะยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 โรควาร์กินสัน

โรควาร์กินสันมาจากชื่อผู้ค้นพบโรคนี้คือนายเจมส์ พาร์กินสัน แพทย์ชาวอังกฤษที่เป็นผู้อธิบายกลุ่มอาการที่มีอาการสั่นของมือและมีการเคลื่อนไหวได้น้อยก็คือโรควาร์กินสันซึ่งมีการเขียนรายงานเป็นครั้งแรกในโลกตีพิมพ์เป็นบทความเรื่อง “An Essay on the Shaking Palsy” [46] ในปี ค.ศ.1817 โดยชื่อโรควาร์กินสันได้รับการตั้งขึ้นภายหลังโดยแพทย์ชาวฝรั่งเศสชื่อ Jean-Martin Charcot ขณะที่ก่อนหน้านี้โรควาร์กินสันได้ถูกเรียกอยู่หลายชื่อเช่นโรค Paralysis agitans สำหรับในประเทศไทยชื่อโรควาร์กินสันเพิ่งเป็นที่รู้จักไม่นานมานี้ สมัยก่อนคนจะรู้จักโรควาร์กินสันในชื่อโรค สั่นนิบาตและ Jean-Martin Charcot เป็นคนแรกที่กล่าวถึงอาการของโรคนี้ได้ครบถ้วนทั้ง 4 อย่าง ได้แก่ อาการสั่น อาการแข็งเกร็ง อาการเคลื่อนไหวช้า และอาการเสียการทรงตัว โดยส่วนใหญ่จะพบบ่อยในผู้สูงอายุ



รูปที่ 2.12 ส่วนประกอบของเบซาลแกงเกลียในสมอง [47]

โรควาร์กินสันนั้นเกิดจากการเสื่อมของระบบประสาทในสมอง โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นใน ส่วนของเบซาลแกงเกลีย (Basal ganglia) ที่อยู่ในสมองส่วนลึก [48-49] ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มเซลล์ ศูนย์กลางหลายๆ ส่วน ได้แก่ คอเดต (Caudate) ปูตาเมน (Putamen) โกลบัล พาลลิดีส (Globus pallidus) สับทาลามิก (Subthalamic) และสับสแตนเชีย ไนกรา (Substantia nigra) กลุ่มเซลล์ ศูนย์กลางนี้อยู่ในตำแหน่งใกล้เคียงกันและมีใยประสาทเชื่อมต่อกัน เซลล์เหล่านี้มีหน้าที่กระตุ้นการ หลั่งสารอะเซทิลโคลีน ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ สารนี้ต้องมี ปริมาณที่สมดุลกับสารโดพามีนที่ผลิตมาจากสับสแตนเชียไนกราและต่อมหมวกไต (Adrenal gland) สารโดพามีนทำหน้าที่ยับยั้งสารอะเซทิลโคลีนทำให้การเคลื่อนไหวมีความราบเรียบ เมื่อกลุ่มเซลล์ที่

ผลิตโดพามีนเสื่อมหรือตายลงจึงส่งผลให้ระดับโดพามีนในสมองลดลงสูญเสียการยับยั้งฤทธิ์ของอะเซทิลโคลีนฤทธิ์ของอะเซทิลโคลีนจึงเด่นชัดมากขึ้น และจะไปกระตุ้นเซลล์ประสาทให้มีการส่งคลื่นประสาทออกมามากขึ้น เพิ่มการทำงานของเซลล์แอลฟามอเตอร์นิวโรนของไขสันหลังกล้ามเนื้อจึงมีความตึงตัวสูง เกิดอาการสั่นแข็งเกร็ง เคลื่อนไหวเชื่องช้าและการทรงตัวผิดปกติ

สำหรับสาเหตุหรือปัจจัยเสี่ยงที่ทำให้เกิดการเสื่อมและตายของเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่ผลิตสารโดพามีนนั้น พบว่าเกิดจากการสับบู่หรือโดยคนที่สับบู่หรือมากจะมีปัจจัยเสี่ยงสูงการได้รับการกระทบกระเทือนทางสมอง การอาศัยอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีมลพิษ มีการปนเปื้อนสารพิษต่างๆ เช่น ตัวทำละลาย สารที่ใช้เคลือบไม้หรือสารปรอทเป็นต้น ปัจจุบันยังเชื่อว่าโรคพาร์กินสันเกิดจากปัจจัยทางพันธุกรรมร่วมกับปัจจัยของสิ่งแวดล้อมด้วย

อาการของโรคพาร์กินสันที่สำคัญคือ [50]

1. อาการสั่นพบได้ค่อนข้างบ่อย มักพบที่บริเวณมือ แขน อาจพบบริเวณริมฝีปาก คาง ลำตัว และขาได้ ซึ่งอาการสั่นในโรคนี้มีลักษณะสำคัญคือ มักจะสั่นมากตอนเวลานิ่งหรือพัก แต่ถ้าหากเวลาเคลื่อนไหวหรือทำกิจกรรมอาการสั่นก็จะน้อยลง โดยอาการสั่นมักจะเริ่มที่ซีกใดซีกหนึ่งก่อน หลังจากนั้นอาจไปที่ซีกตรงข้ามหรือที่ปลายเท้าความถี่ของการสั่นขณะพักโดยปกติจะประมาณ 3-5 ครั้งต่อวินาที แต่ในบางรายอาจจะมีควมถี่สูงถึง 7-12 ครั้งต่อวินาทีอาการสั่นจะมีความรุนแรงเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาการเป็นโรค

2. อาการแข็งเกร็งคือ อาการที่มีความตึงตัวหรือแรงต้านทานของกล้ามเนื้อที่เกิดขึ้นในขณะที่ยู่ในสภาวะพักนั้นๆ เคลื่อนไหว มักเป็นกับกล้ามเนื้อบริเวณคอ ลำตัว ส่วนโคนแขนและโคนขา เป็นอาการที่พบได้บ่อยกว่าอาการสั่นจะมีอาการแข็งเกร็งในด้านเดียวกับที่มีอาการสั่นอาการจะเป็นมากขึ้นในขณะยืน หรือพยายามตั้งใจที่จะกระทำสิ่งใดสิ่งหนึ่งและจะทำให้มีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อบริเวณดังกล่าว

3. อาการเคลื่อนไหวช้า ระยะเวลาผู้ป่วยอาจรู้สึกทำอะไรช้าลง เคลื่อนไหวไม่กระฉับกระเฉง ว่องไวเหมือนเดิม โดยเฉพาะระยะเริ่มต้นของการเคลื่อนไหว ถ้าเป็นมากขึ้นอาจทำให้เดินเองไม่ได้ ต้องใช้ไม้เท้าหรือมีคนพยุงเดิน

4. อาการเสียการทรงตัว อาการนี้มักเกิดกับผู้ป่วยเมื่อป่วยเป็นโรคพาร์กินสันแล้วประมาณ 2-5 ปี การเดินของผู้ป่วยโรคพาร์กินสันมีลักษณะเฉพาะคือ เมื่อผู้ป่วยเริ่มเดินจะขอยเท้าถี่และก้าวสั้นๆ และลำตัวมักโน้มเอียงไปข้างหน้าซึ่งการโน้มตัวไปข้างหน้า ถ้าเป็นมากอาจมีปัญหาด้านการทรงตัวทำให้ผู้ป่วยหกล้มได้ง่าย

การวินิจฉัย

โดยทั่วไปแพทย์สามารถวินิจฉัยได้จากการซักถามประวัติ ตรวจร่างกายและทางระบบประสาทอย่างละเอียด ผู้ป่วยบางรายอาจจำเป็นต้องได้รับการตรวจพิเศษเพิ่มเติม เช่น ตรวจเลือด เอ็กซเรย์สมองด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อดูให้แน่นอนว่าผู้ป่วยมีได้ป่วยด้วยโรคอื่นที่มีอาการคล้ายโรคพาร์กินสัน

การรักษา

1. รักษาด้วยยา ซึ่งแม้ว่ายาจะไม่สามารถทำให้เซลล์สมองที่ตายไปแล้วฟื้นตัวกลับมาทดแทนเซลล์เดิมได้ แต่ก็จะทำให้สารโดพามีนในสมองมีปริมาณเพียงพอกับความต้องการของร่างกายได้ สำหรับยาที่ใช้ในปัจจุบันคือ ยากลุ่ม LEVODOPA และยากลุ่ม DOPAMINE AGONIST เป็นหลัก การใช้ยาแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับอาการวินิจฉัยจากแพทย์ตามความเหมาะสม
2. ทำกายภาพบำบัด จุดมุ่งหมายของการรักษาก็คือให้ผู้ป่วยกลับคืนสู่สภาพชีวิตที่ใกล้เคียงคนปกติที่สุด สามารถเข้าสังคมได้อย่างดี มีความสุขทั้งกายและใจ ซึ่งมีหลักวิธีปฏิบัติง่ายๆ คือ
 - 2.1 ฝึกการเดินให้ค่อยๆ ก้าวขาแต่พอดี โดยเอาส้นเท้าลงเต็มฝ่าเท้าและแกว่งแขนไปด้วยขณะเดินเพื่อช่วยในการทรงตัวดี นอกจากนี้ควรหมั่นจัดทำทางในอิริยาบถต่างๆ ให้ถูกสุขลักษณะ รองเท้าที่ใช้ควรเป็นแบบส้นเตี้ย และพื้นต้องไม่ทำมาจากยางหรือวัสดุที่เหนียวติดพื้นง่าย
 - 2.2 เมื่อถึงเวลานอน ไม่ควรให้นอนเตียงที่สูงเกินไป เวลาจะขึ้นเตียงต้องค่อยๆ เอนตัวลงนอนตะแคงข้างโดยใช้ศอกยันก่อนยกเท้าขึ้นเตียง
 - 2.3 ฝึกการพูด โดยญาติจะต้องให้ความเข้าอกเข้าใจค่อยๆ ฝึกผู้ป่วย และควรทำในสถานที่ที่เงียบสงบ
3. การผ่าตัด โดยมากจะได้ผลดีในผู้ป่วยที่มีอายุน้อยและมีอาการไม่มากนักหรือในผู้ที่มีอาการแทรกซ้อนจากยาที่ใช้มาเป็นระยะเวลาหลายๆ เช่น อาการสั่นที่รุนแรงหรือมีการเคลื่อนไหวแขนขา มากผิดปกติจากยา ปัจจุบันมีการใช้วิธีกระตุ้นไฟฟ้าที่สมองส่วนลึกโดยผ่าตัดฝังไว้ในร่างกาย พบว่ามีผลดีแต่ค่าใช้จ่ายสูงมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

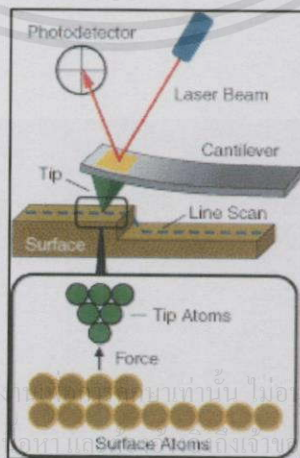
2.8 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.8.1 กล้องจุลทรรศน์แบบแรงอะตอม (Atomic Force Microscope; AFM)

เครื่อง AFM จัดอยู่ในกลุ่มเครื่องมือจำพวกกล้องจุลทรรศน์แบบหัวสแกน (Scanning Probe Microscopy; SPM) โดยเครื่องมือในกลุ่มนี้จะใช้ปลายแหลมที่มีขนาดเล็กระดับนาโนเมตรลากไปบนพื้นผิวและตรวจสอบคุณสมบัติของพื้นผิวนั้นทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ ทำให้สามารถศึกษาวัตถุที่มีขนาดเล็กระดับนาโนเมตรได้

หลักการการทำงานของเครื่อง AFM

เครื่อง AFM เป็นเครื่องมือที่ใช้ทางด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโน โดยสามารถศึกษาแบบ High resolution ที่มีความละเอียดอยู่ในระดับมากถึง 0.1 นาโนเมตร เครื่อง AFM ประกอบด้วย อุปกรณ์ตรวจจับหรือหัววัด (Probe) ที่มีปลายแหลมเล็กที่ทำจากวัสดุซิลิกอนไนไตรด์ (Silicon nitride; Si_3N_4) ซึ่งติดอยู่กับคานยื่นที่โค้งงอได้ที่เรียกว่าแคนทิลิวเวอร์ (Cantilever) โดยโพรบหรือ AFM tip นั้นจะมีรัศมีที่ปลายเข็ม (End radius) อยู่ในระดับเพียงไม่กี่นาโนเมตร ทั่วไปมีขนาดประมาณ 5-20 นาโนเมตรเมื่อเครื่อง AFM ลากส่วนปลายเข็มแหลมนี้ไปบนพื้นผิวของตัวอย่าง จะมีแรงกระทำระหว่างอะตอมที่ปลายเข็มแหลมกับอะตอมหรือโมเลกุลบนพื้นผิวเกิดขึ้นเช่นแรง Van de Waals และแรงพันธะเคมีอื่นๆ จากแรงกระทำนี้เองสามารถทำให้คานยื่นโค้งงอและจะถูกตรวจวัดได้ด้วยแสงเลเซอร์ที่ส่องผ่านไปกระทบที่ส่วนปลายของคานยื่นและสะท้อนมายังจุดรับแสง (Photodiodes หรือ Laser detector) ถึงแม้ว่าแรงกระทำจะมีขนาดน้อยมากในระดับพิโคนิวตัน (Piconewton, pN) ก็ตาม แต่เครื่อง AFM ก็สามารถตรวจวัดขนาดของแรงปฏิสัมพันธ์ระหว่างความสัมพันธ์เชิงตำแหน่งของส่วนปลายเข็มแหลมกับพื้นผิวของวัตถุในขณะที่สแกนบนพื้นผิวได้ด้วย ความช่วยเหลือของอุปกรณ์ควบคุมตำแหน่ง (Piezoelectric tube) ซึ่งจะถูกนำมาแปรสัญญาณและประมวลผลด้วยระบบคอมพิวเตอร์เพื่อนำมาสร้างเป็นภาพสามมิติของพื้นผิวที่มีกำลังขยายสูงไปแสดงบนจอภาพทำให้สามารถศึกษาลักษณะเชิงโครงสร้างของพื้นผิวในระดับอะตอมหรือโมเลกุลรวมทั้งขนาดและการจัดเรียงได้



รูปที่ 2.13 การทำงานของเครื่อง Atomic Force Microscope (AFM) [51]

จากรูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างเครื่องมือ Atomic Force Microscope ซึ่งจากภาพบริเวณตรงกลางก็คือบริเวณที่จะใช้วางชิ้นงานและก็เป็นบริเวณที่จะมีเข็มวัด (Probe tip) วางอยู่ด้วย ส่วนที่บริเวณด้านบนของเครื่องมือจะมีกล้อง Video Microscope ติดตั้งไว้ เพื่อใช้สำหรับดูตำแหน่งของเข็มที่จะทำการวางลงบนบริเวณต่างๆบนผิว ส่วนภาพที่เกิดขึ้นจากกล้องจะแสดงออกมาทางจอทีวี นอกจากนี้ทางด้านบนยังมีแหล่งให้กำเนิดแสงเลเซอร์ ที่จะใช้สำหรับเป็นตัวบอกตำแหน่งของเข็มที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเคลื่อนที่

วิธีการทำงานของเครื่อง AFM ที่นำมาใช้งานทางด้านวิทยาศาสตร์ระดับนาโน สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี [52] ได้แก่

1. การสัมผัสแบบต่อเนื่องเป็นการสัมผัสพื้นผิวพร้อมกับการลากปลายแหลมไปบนพื้นผิวนั้นๆตลอดเวลา ข้อเสียของวิธีนี้คือจะทำให้เกิดแรงต้านในแนวของการเคลื่อนที่ซึ่งขนานกับพื้นผิวขึ้น อาจทำให้คานของโพรบที่ใช้วัดเกิดการโก่งงอตัวหรือเกิดบิดเบี้ยวไป โดยที่มิได้เกิดจากแรงดึงดูดที่ปลายเนื่องจากแรงในแนวตั้งฉากเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ข้อมูลความสูงของพื้นผิวที่วัดได้นั้นอาจผิดไปจากความสูงที่แท้จริง
2. การสัมผัสแบบไม่ต่อเนื่องเป็นการสัมผัสพื้นผิวโดยให้ปลายแหลมสัมผัสกับพื้นผิวเป็นระยะเวลาสั้นๆในแนวตั้งฉากกับพื้นผิว คล้ายกับการใช้ปลายนิ้วเคาะโต๊ะเป็นจังหวะๆด้วยลักษณะการสัมผัสแบบนี้แรงต้านในแนวตั้งฉากจะไม่เกิดขึ้น แต่เนื่องจากปลายแหลมสัมผัสพื้นผิวเป็นระยะสั้นๆ จึงทำให้เกิดการสั่นของคานซึ่งจะส่งผลให้ค่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้นั้นไม่คงที่หรือไม่แม่นยำได้

2.8.2 ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer; FT-IR)

Fourier Transform Infrared Spectrometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของสาร โดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ในช่วงเลขคลื่น (Wave number) ประมาณ $12,800-10\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งของแข็ง, ของเหลว และก๊าซซึ่งวิเคราะห์ตัวอย่างใช้เวลาอันน้อยและไม่สิ้นเปลืองสารเคมี จึงนิยมนำมาใช้เพื่อการตรวจสอบสารในเชิงคุณภาพหรือเพื่อยืนยันสูตรโครงสร้างของตัวอย่าง

รังสีอินฟราเรด (Infrared radiation) เป็นรังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าแต่ให้ความร้อนที่สัมผัสได้ รังสีอินฟราเรดอยู่ระหว่างช่วง Visible radiation กับ Microwave radiation โดยช่วงของรังสีอินฟราเรดแบ่งเป็น 3 ช่วงได้แก่ Near Infrared ($12,800 - 4,000\text{ cm}^{-1}$), Middle Infrared ($4,000 - 200\text{ cm}^{-1}$) และ Far Infrared ($200 - 10\text{ cm}^{-1}$) ช่วงของรังสีอินฟราเรดที่ใช้

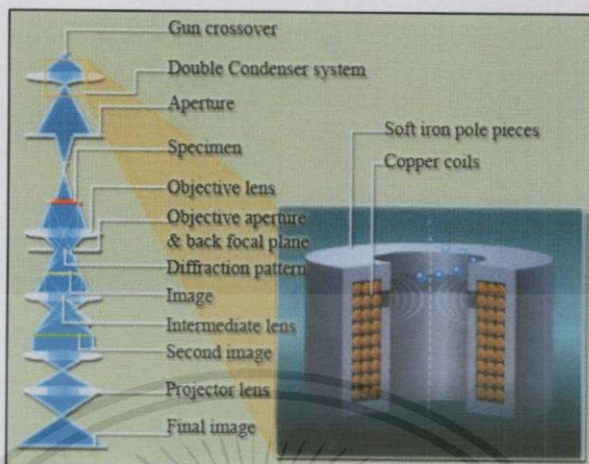
ประโยชน์ในการวิเคราะห์ทางเคมีได้แก่ช่วง Middle IR เนื่องจากรังสีอินฟราเรดมีพลังงานค่อนข้างต่ำ เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลโดยเกิดการสั่นแบบยืด (Stretching) และแบบงอ (Bending) ของพันธะในโมเลกุลของสาร การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเป็นขบวนการควันไทส์ (Quantized) กล่าวคือ การที่สารจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดนั้น ความถี่ของรังสีที่ถูกดูดกลืนจะต้องตรงกับความถี่ของการสั่นของพันธะนั้น การที่โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของรังสีอินฟราเรดต้องเท่ากับ ความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้นๆ ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิด จะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะ และแตกต่างกันไป ทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารอินทรีย์ได้ การแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้แสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง Wave number กับ Transmittance ซึ่งเรียกว่า Infrared spectrum

2.8.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope ; TEM)

Transmission electron microscope (TEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างขนาดเล็กและบาง ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ และการสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนั่นเอง เครื่อง TEM เหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่างซึ่งตัวอย่างที่ใช้ศึกษาต้องเป็นตัวอย่างที่แบนและบางมากที่มีความหนาประมาณ 10^{-6} เมตร TEM นี้จะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก ซึ่งกำลังขยายสูงสุดประมาณ 0,1 นาโนเมตร

Transmission electron microscope (TEM) จะประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษา (Specimen) ไปซึ่งตัวอย่างที่จะศึกษาจะต้องมีลักษณะที่แบนและบางมาก (บ่อยครั้งที่พบว่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1 - 100 นาโนเมตร) จากนั้นจะเกิดการกระเจิงอนุภาคขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไป และอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่งานี้ก็จะถูกปรับโฟกัสของภาพโดยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ทำหน้าที่ขยายภาพให้ได้รายละเอียดมากที่สุด จากนั้นจะได้รับการขยายด้วยเลนส์ทอดภาพไปสู่จอรับ

(Projector lens) และปรับโฟกัสของลำอนุภาคอิเล็กตรอนให้ยาวพอดีที่จะปรากฏบนฉากเรืองแสงสุดท้ายจะเกิดการสร้างภาพขึ้นมาได้



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของเครื่อง TEM [53]

2.8.4 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer)

UV-VIS Spectrophotometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า Intensity ในช่วงรังสียูวีและช่วงแสงขาวที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้

คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงของสารเมื่อโมเลกุลของตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสงแล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่างๆตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสงดังนั้นจึงสามารถใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่างๆที่มีอยู่ในตัวอย่างได้

ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ประกอบไปด้วย

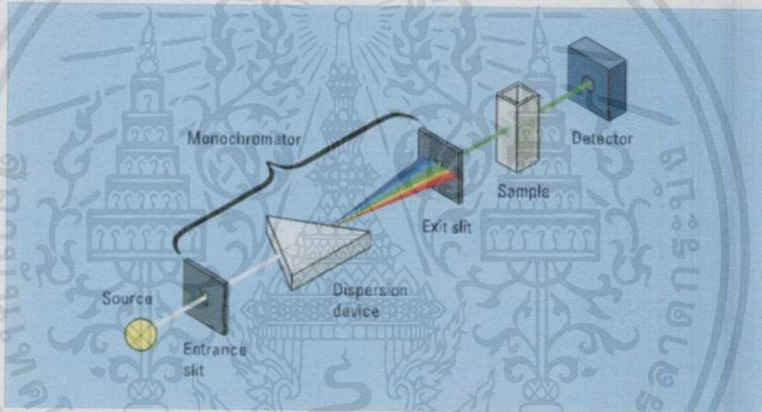
1. แหล่งกำเนิดแสงในเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์จะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ตลอดเวลารวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอด้วยหลอดกำเนิดแสงมีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมาซึ่งต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าดูดกลืนแสงช่วงรังสียูวีจะใช้หลอดดีวเทอเรียมและรังสีสีเบิลใช้หลอดทังสเตน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้บนเว็บไซต์เพื่อการเรียนรู้เท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Monochromator ส่วนประกอบนี้เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมแสงโดยจะทำให้แสงที่ออกมาจากต้นกำเนิดแสงซึ่งเป็นพอลิโครเมติก ให้เป็นแสงโมนโครเมติก ซึ่งเป็นแถบแสงแคบๆหรือมีความยาวคลื่นเดียวโดยใช้ฟิลเตอร์ (กระจกสี) ปริซึม (Prism) หรือ เกรตติง (Grating)

3. เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่างเซลล์ที่ใส่สารตัวอย่าง (Cell sample) บางครั้งอาจเรียกว่า คิวเวทท์ (Cuvettes) รูปแบบที่ใช้กันทั่วไปได้แก่เซลล์ที่ทำด้วยแก้วธรรมดา จะใช้ได้เฉพาะช่วงวิสิเบิลเพราะเนื้อแก้วธรรมดาดูดกลืนแสงในช่วงยูวีได้ และเซลล์ที่ทำด้วยซิลิกาและควอร์ตซ์ (Quartz) ใช้ได้ทั้งช่วงยูวีและวิสิเบิล

4. Detector ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูงคือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย ก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้เครื่องวัดแสงที่ยังนิยมกันอยู่ในปัจจุบันคือหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier tube, PMT) และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิกอนไดโอด (Silicon diode detector)



รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer [54]

การจำแนกประเภทของเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท [55] ได้แก่

1. สเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงเดี่ยว (Single-Beam spectrophotometer) เมื่อลำรังสีออกจากแหล่งกำเนิดรังสีจะผ่านเลนส์ โมนโครเมเตอร์ที่เป็น Grating ผ่านสารตัวอย่างแล้วจึงเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ เนื่องจากสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ประเภทนี้ใช้ลำรังสีเพียงลำเดียวผ่านจากโมนโครเมเตอร์ไปสู่สารละลายที่ต้องการวัด ดังนั้นลำรังสีนี้จะไปสู่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณทันที

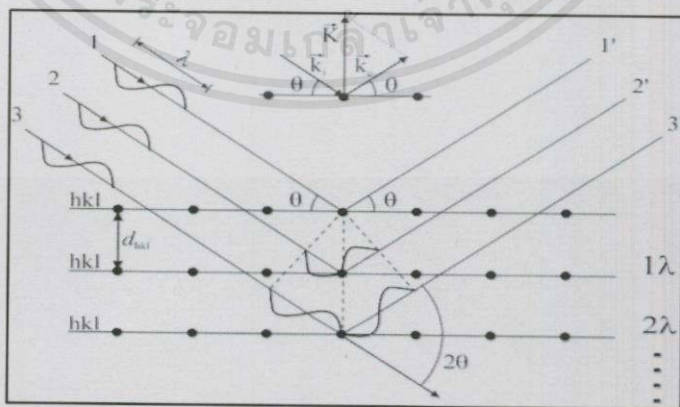
2. สเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบลำแสงคู่ (Double-Beam Spectrophotometer) ลำรังสีจะผ่านโมนโครเมเตอร์ 2 ครั้งด้วยกัน ทำให้ได้ลำรังสีความยาวคลื่นเดียวอย่างมีประสิทธิภาพและความละเอียดมากขึ้น เมื่อออกจาก Exit slit แล้วลำรังสีจะไปสู่อุปกรณ์ตัดลำรังสี (Beam chopper) ก็จะ

สะท้อนไปผ่านสารตัวอย่างในขณะที่เดียวกันลำรังสีจะผ่านไปผ่านสารอ้างอิง ด้วยวิธีนี้ ลำรังสีลำเดียวที่ผ่านโมนิโครเมเตอร์จะถูกอุปกรณ์ตัดลำรังสีแยกออกเป็นลำรังสีสองลำที่มีความเข้มเท่ากันตลอดเวลา เมื่อลำรังสีทั้งสองนี้ไปตกกระทบ Phototube ความแตกต่างของความเข้มจะกลายเป็นสัญญาณส่งต่อไปยังอุปกรณ์บันทึกสัญญาณต่อไป

2.8.5 วิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer; XRD)

เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์หรือ X-ray Diffractometer เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างได้อีกด้วยในผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิดจะมีขนาดของ Unit Cell ที่ไม่เท่ากัน ทำให้รูปแบบของการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ที่ออกมาไม่เท่ากันทำให้เราสามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่างๆ กับรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ได้ ซึ่งจะทำให้เราทราบว่าในตัวอย่างนั้นมีสารประกอบอะไรอยู่บ้าง

เครื่อง XRD เป็นเครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ในผลึกของตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการของ Bragg's law หรือ $2d \sin\theta = n\lambda$ เมื่อ λ คือความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์, d คือระยะระหว่างระนาบที่ขนานกัน, θ คือมุมที่สะท้อนจากระนาบซึ่งจะเท่ากับมุมตกกระทบ, n คือลำดับของการเลี้ยวเบนมีค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม, 2θ คือมุมเลี้ยวเบนที่เป็นมุมระหว่างรังสีตกกระทบทำกับรังสีสะท้อนในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ยังผ่านชั้นผลึกที่อยู่ในตัวอย่าง โดยจะใช้ Detector รับความเข้มของรังสีเอ็กซ์ที่เกิดจากการเลี้ยวเบนในมุมต่างๆของการทดสอบ



รูปที่ 2.16 การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์บนระนาบของผลึกที่เป็นไปตามกฎของ Bragg's Law [56]

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ของ XRD จะสามารถหองค์ประกอบของตัวอย่างได้แล้วยังสามารถคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบต่างๆที่อยู่ในตัวอย่าง, คำนวณหาขนาดอนุภาคของแต่ละ Unit cell, ความเครียดของตัวอย่าง, ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่าง นอกจากนี้ยังสามารถทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบของฟิล์มบางและคำนวณค่าความหนาของชั้นฟิล์มบางได้แต่ก็ยังมีข้อจำกัดของการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้คือไม่สามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เป็น Amorphous ได้ เนื่องจากตัวอย่างกลุ่มนี้จะไม่เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ แต่เราอาจสามารถให้ XRD คำนวณหาปริมาณของส่วนที่เป็น Amorphous ในตัวอย่างว่ามีสัดส่วนที่ % ได้ โดยการใช้การเปรียบเทียบกับปริมาณของสารมาตรฐานที่ทราบค่าแน่นอน

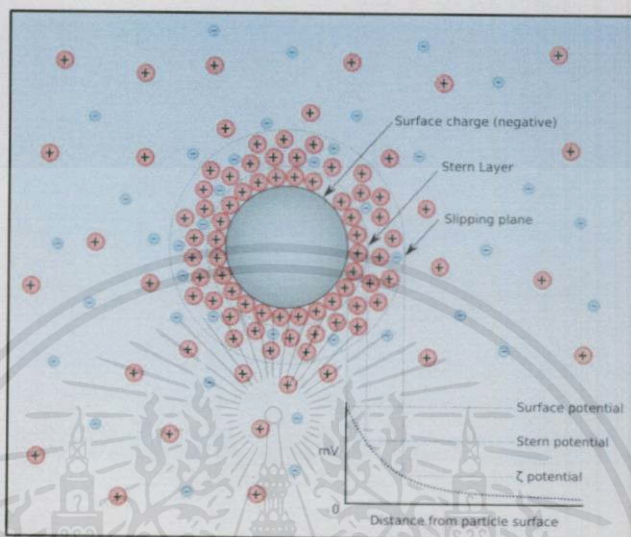
ลักษณะตัวอย่างที่เหมาะสมในการทดสอบสามารถทำการวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งในรูปแบบของแข็งหรือตัวอย่างที่เป็น Powder ได้ ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของแข็ง ด้านที่ต้องการทดสอบผิวจะต้องเรียบ ส่วนในกรณีตัวอย่างที่เป็นผง จะต้องมีความละเอียดน้อยกว่า 325 mesh หรือประมาณ 40 micron (ผงละเอียดคล้ายผงแป้ง) จึงจะให้ผลการทดสอบที่ดี โดยปริมาณที่ต้องใช้ในการทดสอบต่อครั้ง อยู่ประมาณ 1-2 กรัม ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นก้อนต้องมีขนาดกว้างยาวไม่เกิน 10 cm ทั้งนี้พื้นที่ที่จะทำการทดสอบเป็นเพียงบริเวณเล็กๆประมาณ 10 mm เท่านั้นกรณีที่ตัวอย่างมีปริมาณน้อยมากๆอาจทำการทดสอบได้โดยทางห้องปฏิบัติการจะใช้แผ่น Zero Background ในการวางตัวอย่างเพื่อทำการทดสอบ และในกรณีที่ต้องการทดสอบ Thin film เพื่อหาความหนาของชั้นฟิล์มความหนาของฟิล์มที่เตรียมต้องอยู่ระหว่าง 10 nm – 100 nm ต่ำกว่า 10 nm ผลการทดสอบจะผิดพลาดมากและหากหนาเกิน 100 nm จะไม่สามารถคำนวณความหนาได้

2.8.6 เครื่องวัดค่าศักย์ซีต้า (Zeta potential)

ค่าศักย์ซีต้าคือค่าความต่างศักย์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าบริเวณพื้นผิวอนุภาคกับศักย์ไฟฟ้าในชั้นสารละลาย ซึ่งค่าศักย์ซีต้าที่ได้สามารถทำนายค่าความคงตัวของการกระจายตัวของอนุภาคได้ อนุภาคที่มีค่าศักย์ซีต้าเป็นบวกหรือลบมากจะเกิดการหักล้างต่อกันเกิดเสถียรภาพการกระจายตัว แต่ถ้าอนุภาคมีค่าศักย์ซีต้าเป็นบวกหรือลบน้อย ทำให้ไม่มีแรงป้องกันอนุภาคอื่นที่เข้ามา ดังนั้นจึงไม่เกิดเสถียรภาพการกระจายตัวหรือเกิดการรวมตัวกัน

หลักการทำงานของเครื่องวัดค่าศักย์ซีต้าคือการวัดอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคเมื่อทำให้อยู่ภายใต้สนามไฟฟ้า โดยใช้ Laser Doppler Velocimetry ค่าศักย์ซีต้าขึ้นกับค่าพีเอช ซึ่งอนุภาคแขวนลอยจะเสถียรเมื่อศักย์ซีตามีค่ามากกว่า +30 มิลลิโวลต์ หรือน้อยกว่า -30 มิลลิโวลต์

สภาวะที่ค่าพีเอชต่ำ (กรด) จะให้ค่าศักย์ซีต้าสูงกว่าสภาวะที่ค่าพีเอชสูง (เบส) ถ้าศักย์ซีต้ามีค่าอยู่ในช่วง -30 ถึง 30 มิลลิโวลต์หรือประมาณศูนย์สารแขวนลอยจะไม่เสถียรจะมีการเกาะตัวกันเป็นก้อนและตกตะกอน เรียกจุดที่ศักย์ซีต้าเท่ากับศูนย์ว่า "Isoelectric point" [57]



รูปที่ 2.17 ไอออนและความต่างศักย์ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นวนผิวของอนุภาคสารแขวนลอย [58]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.9.1. *ตัวรับรู้การตรวจวัดทางสีที่เลือกจำเพาะและว่องไวต่อปรอท (II) โดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่มีหมู่ฟังก์ชัน 4-mercaptophenylboronic acid (Selective and sensitive colorimetric sensor of mercury (II) based on gold nanoparticles and 4-mercaptophenylboronic acid)*

ในงานวิจัยนี้ Y. Zhou และคณะ [59] ได้ทำการศึกษาการตรวจวัดทางสีของปรอท (II) ซึ่งอาศัยความสามารถในการต้านการเกิดการรวมตัวของอนุภาคทองระดับนาโนของปรอทโดยใช้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่เกิดการรวมตัวเนื่องจาก 4-mercaptophenylboronic acid (MPBA) ซึ่งมีสีน้ำเงิน เมื่อมีการเติมปรอท (II) ลงในสารละลายอนุภาคทองดังกล่าวสีจะเป็นสีแดง

MPBA สามารถยึดกับอนุภาคทองระดับนาโนผ่านพันธะ Au-S ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาค เมื่อผสม MPBA ลงในสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน สารละลายเปลี่ยนสีจากสีแดงซึ่งดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 520 นาโนเมตรไปเป็นสีน้ำเงินซึ่งดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่น 690 นาโนเมตร ซึ่งเป็นสีที่บ่งบอกถึงสภาวะที่อนุภาคเกิดการรวมตัวและมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจาก MPBA ที่ยึดกับอนุภาคทองมีหมู่ Boronic acid ซึ่งสามารถเกิดการเสียน้ำด้วยตัวเอง (Self dehydration) เกิดเป็นวง Boroxine กับ Boronic acid หมู่อื่นๆที่ยึดอยู่บนผิวของอนุภาค ส่งผลให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกัน แต่เมื่อนำสารละลายอนุภาคทองที่ผสมกับ MPBA แล้วเติมปรอท (II) ลงไป สิ่งที่เกิดขึ้นคือสารละลายเปลี่ยนสีจากสีน้ำเงินกลายเป็นสีแดง บ่งบอกให้รู้ว่าปรอทมีความสามารถในการยับยั้งการรวมตัวของอนุภาคทองระดับนาโนซึ่งเกิดจาก MPBA ได้เนื่องจากการศึกษาด้วย X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) แสดงให้เห็นว่าสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนเมื่อผสมกับ MPBA จะพบพีค Binding energy ที่ 165 และ 190 eV แยกออกจากกันอย่างชัดเจน ทำให้ทราบว่า MPBA ยึดกับอนุภาคทองเรียบร้อยแล้วเกิดการรวมตัว แต่เมื่อสารละลายผสมของอนุภาคทองกับ MPBA ผสมกับปรอท (II) พีค Binding energy ทั้งสองที่พบจะหายไป แสดงให้เห็นว่า MPBA ไม่ได้ยึดกับอนุภาคทองอีกต่อไปอนุภาคเกิดการกระจายตัว โดยมีภาพถ่ายจาก Electron Transmission Microscopy (TEM) เป็นเครื่องช่วยยืนยันสิ่งที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2. การตรวจวัดทางสีของโพแทสเซียมไอออนโดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่ผ่านการดัดแปลงพื้นผิวด้วยแอบเทมเมอร์ (Colorimetric detection of potassium ions using aptamer-functionalized gold nanoparticles)

งานวิจัยนี้ Z. Chen และคณะ [60] นำเสนอการใช้ anti-K⁺ aptamer ซึ่งมีความจำเพาะต่อโพแทสเซียมไอออน โดยนำมาใช้เพื่อรักษาเสถียรภาพให้กับอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อมีโพแทสเซียมไอออนผสมกับสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนซึ่งมี anti-K⁺ aptamer ล้อมรอบอยู่ จะเกิดการเปลี่ยนสีจากแดงอู๋นไปเป็นสีม่วง

anti-K⁺ aptamer สามารถยึดเกาะกับอนุภาคทองระดับนาโนผ่านพันธะ Au-S จากหมู่ thiol โดย aptamer ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีลำดับโอลิโกนิวคลีโอไทด์ดังนี้คือ 5'TTTGGTTGGTGGTGGTTGTTT-3'-(CH₂)₆-SH และมีโครงสร้างเป็นขดแบบสุ่ม ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรักษาเสถียรภาพให้อนุภาคทองไม่ให้เกิดการรวมตัวกัน เมื่อเติมโพแทสเซียมลงในสารละลายอนุภาคทองที่มี aptamer ล้อมรอบ จากโครงสร้างที่เป็นขดแบบสุ่มของ aptamer เมื่อโพแทสเซียมไอออนปรากฏ aptamer จะเปลี่ยนโครงสร้างกลายเป็น G-quadruplex และทำให้เกิดการรวมตัวโดยโพแทสเซียมไอออนจะทำตัวเป็นสะพานเชื่อมอนุภาคทองระดับนาโนที่มี aptamer ล้อมรอบแต่ละตัวเข้าด้วยกัน จากการศึกษาด้วยเทคนิค UV-Vis spectroscopy ผลที่ได้คือค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตรเปลี่ยนไป เมื่อความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอออนมากขึ้นค่าการดูดกลืนแสงลดลง สีเปลี่ยนจากสีแดงอู๋นไปเป็นสีม่วง

2.9.3. ตัวรับรู้การตรวจวัดทางสีในการตรวจวัดซัลเฟตโดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่ผ่านการดัดแปลงด้วย cysteamine (cyst-AuNPs) (A label-free colorimetric sensor for sulfate based on the inhibition of peroxidase-like activity of cysteamine-modified gold nanoparticles)

งานวิจัยนี้ D. Zhao และคณะ [61] นำเสนอการใช้สารละลาย 3,3',5,5'-tetramethylbenzidine (TMB) ที่ถูกออกซิไดซ์ด้วย H₂O₂ ซึ่งเขียนใหม่ได้ว่า oxTMB ซึ่งเป็นสารละลายสีฟ้าโดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่ผ่านการดัดแปลงพื้นผิวด้วย cysteamine เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยา เมื่อมีการเติมซัลเฟตลงในสารละลาย oxTMB จะทำให้ได้สีฟ้าที่ใสมากขึ้น

โดยอนุภาคทองระดับนาโนที่ดัดแปลงผิวด้วย cysteamine (Cyst-AuNPs) ซึ่งมีสีแดงที่มีค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร จากการศึกษาด้วยเทคนิค UV-Vis spectroscopy โดยการนำสารละลายอนุภาคทอง cyst-AuNPs มาผสมกับ oxTMB ทำให้ได้สารละลายที่มีสีฟ้าซึ่งมีค่าการ

ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 652 นาโนเมตรเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสารผสม cyst-AuNPs การผสมซัลเฟตลงในสารละลาย oxTMB ที่ผสม cyst-AuNPs ซัลเฟตจะเกิดการรวมตัวกับอนุภาคทองและแยกตัวออกจากสารละลาย เมื่อปริมาณของซัลเฟตเพิ่มขึ้น อนุภาคทองระดับนาโนที่เกิดการรวมตัวมากขึ้นส่งผลให้ปริมาณอนุภาคทองที่จะใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของ TMB น้อยลงทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 652 นาโนเมตรลดลงส่งผลให้ได้สารละลายที่มีสีฟ้าซีดยิ่งขึ้น

2.9.4. ตัวรับรู้การตรวจวัดทางสีของ cysteine โดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็น carboxymethyl cellulose (CMC) (A colorimetric sensor for determination of cysteine by carboxymethyl cellulose-functionalized gold nanoparticles)

รายงานชิ้นนี้ X. Wei และคณะ [62] ได้นำเสนอการใช้ carboxymethyl cellulose (CMC) เป็นทั้งตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพเพื่อใช้ในการหาปริมาณ cysteine ใน urine ของมนุษย์ โดยอนุภาคทองระดับนาโนสามารถสังเคราะห์ได้โดยการรีดิวซ์สารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอไรด์ด้วย sodium carboxymethyl cellulose ทำให้ได้สารละลาย CMC-AuNPs ที่มีสีแดง

เนื่องจาก CMC เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ยาวที่มีมวลโมเลกุล 2.5×10^5 กรัมต่อโมล ทำให้เมื่อนำมาใช้เป็นตัวรีดิวซ์และรักษาเสถียรภาพให้อนุภาคทอง ด้วยความเกาะกัที่ยึดเกาะบนพื้นผิวอนุภาคส่งผลให้ cysteine สามารถเข้ามายึดกับอนุภาคทองระดับนาโนได้น้อย ดังนั้นจึงทำการแก้ปัญหานี้โดยการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ลงไปเพื่อช่วยให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคทองระดับนาโนกับ cysteine มากยิ่งขึ้น โดยสีของสารละลาย CMC-AuNPs มีสีแดงซึ่งแสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตร เมื่อเติม cysteine ลงไปค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตรจะลดลงในขณะที่ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตรเพิ่มขึ้น และสีสารละลายจะเปลี่ยนไปเป็นสีฟ้า แต่เพื่อศึกษาให้แน่นอนว่า cysteine เป็นสารที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคทอง ไม่ใช่เป็นเพราะเกลือเป็นสารหลักที่ทำให้เกิดการรวมตัว โดยศึกษาเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาตั้งแต่ 2-60 นาทีโดยปราศจากการเติมเกลือด้วยเทคนิค UV-Vis spectroscopy พบว่าเมื่อเวลาที่ใช้เพิ่มขึ้นค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตรแสดงให้เห็นว่า cysteine มีความสามารถในการเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคทองระดับนาโนได้ด้วยตัวเองอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.9.5. การใช้ poly(L-methionine) และอนุภาคทองระดับนาโนในการดัดแปลง
ขั้วไฟฟ้าเพื่อตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนและยูริกแอซิดที่ว่องไวและต่อเนื่องพร้อมกัน
(Simultaneous and sensitive detection of dopamine and uric acid using a
poly(L-methionine)/goldnanoparticle-modified glassy carbon electrode)**

ในงานวิจัยนี้ R. Ojani และคณะ [63] ได้นำเสนอการสังเคราะห์ขั้วไฟฟ้าที่ได้รับการดัดแปลงด้วยอนุภาคทองระดับนาโนซึ่งถูกยึดเกาะบน poly(L-methionine) (PMT) ซึ่งสามารถเขียนโดยย่อได้ว่า nano-Au/PMT/GCE และนำขั้วไฟฟ้านี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ทางไฟฟ้าด้วยเทคนิค Cyclic voltammetry (CV) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของขั้วไฟฟ้าที่ทำการสร้างขึ้น

ขั้นแรกของการศึกษาคือการสังเคราะห์ขั้วไฟฟ้าที่มี poly(L-methionine) เกาะอยู่บนขั้วไฟฟ้า (GCE) โดยทำความสะอาดขั้วให้เรียบร้อย จากนั้นนำขั้วไฟฟ้าไปจุ่มสารละลาย poly(L-methionine) และทำการแกนดักขั้วไฟฟ้าในช่วง -0.6 ถึง 2 โวลต์ โดยมีขั้วไฟฟ้าอ้างอิงคือขั้วคาโลเมลทำให้ได้ขั้วไฟฟ้าใหม่คือ PMT/GCE ต่อมานำ PMT/GCE มาจุ่มสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเธนและให้ศักย์ที่ -0.23 โวลต์ทำให้เกิดขั้วไฟฟ้า nano-Au/ PMT/GCE จากนั้นนำขั้วไฟฟ้าที่แตกต่างกันสามชนิดคือ GCE, PMT/GCE และ nano-Au/PMT/GCE มาใช้เป็นขั้วไฟฟ้าทำงานเพื่อศึกษาความแตกต่าง โดยการนำขั้วไฟฟ้าทั้ง 3 ชนิดมาทำการตรวจวัดสารผสมโดพามีนและยูริกแอซิดด้วยเทคนิค CV พบว่าขั้วไฟฟ้า GCE ไม่มีพิกัดออกซิเดชันเกิดขึ้น เมื่อใช้ขั้วไฟฟ้า PMT/GCE เกิดพิกัดออกซิเดชันที่แยกออกจากกัน 2 พิกัดชัดเจน โดยพิกัดที่ขึ้นที่ศักย์ 0.23 โวลต์คือโดพามีนและที่ศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 0.37 โวลต์คือยูริกแอซิด สุดท้ายการใช้ขั้วไฟฟ้า nano-Au/PMT/GCE ยังคงปรากฏพิกัดออกซิเดชันที่แยกออกจากกัน 2 พิกัดชัดเจนและให้สัญญาณกระแสที่มากกว่าขั้วไฟฟ้า PMT/GCE และด้วยพิกัดที่แยกจากกันได้อย่างชัดเจนทำให้ขั้วไฟฟ้า nano-Au/PMT/GCE มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์โดพามีนและยูริกแอซิดพร้อมกันได้

**2.9.6. การใช้อนุภาคทองระดับนาโนในการตรวจทางสีเพื่อหาปริมาณโดพามีนในยูรีน
และเซรัม (Gold-nanoparticle-based colorimetric array for detection of
dopamine in urine and serum)**

ในงานวิจัยนี้ Y. Leng และคณะ [64] ได้เสนอวิธีการตรวจวัดทางสีซึ่งเกิดจากอนุภาคทองระดับนาโนรวมตัวกับโดพามีนและใช้ Thioglycolic acid (TGA) เพื่อทำให้เกิดการรวมตัวมากยิ่งขึ้น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสีของสารละลายอนุภาคทองจะเปลี่ยนไปจากสีแดงเป็นสีม่วงจนถึงสีเหลืองตามลำดับ ซึ่งถูกนำไปใช้เพื่อหาปริมาณโดพามีนในตัวอย่างยูรินและเซรัมของมนุษย์

การศึกษาเริ่มจากการผสมสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่มีสีแดงกับสารละลายโดพามีน ทำให้สารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วง จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค TEM พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของโดพามีนที่เพิ่มขึ้น ขนาดของอนุภาคที่เกิดการรวมตัวจะมีขนาดใหญ่ขึ้นตามเช่นกัน จากนั้นเติม TGA ลงในสารละลายผสมของอนุภาคทองและโดพามีนทำให้สีของสารละลายเปลี่ยนอีกครั้งจากสีม่วงเป็นสีเหลือง เนื่องจากหมู่ไทออลที่อยู่ใน TGA ซึ่งสามารถเกิดพันธะ Au-S บนผิวของอนุภาคทองแล้วยังมีพันธะไฮโดรเจนที่สามารถเกิดขึ้นได้ระหว่างโดพามีนที่ล้อมรอบอนุภาคทองส่งผลให้เกิดการรวมตัวยิ่งขึ้น หลังจากนั้นทำการศึกษาความเลือกจำเพาะของวิธีด้วยเทคนิค UV-Vis spectroscopy โดยการผสมสารชีวโมเลกุลและไอออนต่างๆที่สามารถพบได้ในยูรินและเซรัมที่ความเข้มข้น 5×10^{-5} โมลาร์และโดพามีนที่ความเข้มข้น 10^{-6} โมลาร์กับสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่มีการผสม TGA พบว่าอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 580 ต่อ 525 นาโนเมตรสูงสุดเมื่อผสมกับโดพามีนเท่านั้น

2.9.7. การตรวจวัดทางสีของแคดเมียม (II) ไอออนโดยใช้อนุภาคทองที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็น di-(1H-pyrrol-2-yl) methanethione (Colorimetric detection of Cd(II) ions based on di-(1H-pyrrol-2-yl)methanethione functionalized gold nanoparticles)

งานวิจัยนี้ Y. M. Sung และคณะ [65] ได้ทำการศึกษการใช้ di-(1H-pyrrol-2-yl) methanethione (DP) เป็นสารรักษาเสถียรภาพและใช้ไซเตรทเป็นตัวรีดิวซ์ซึ่งสารละลายมีสีแดง จากนั้นนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาแคดเมียม (II) ไอออน ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคทองแล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนสีไปเป็นสีน้ำเงิน

สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวด้วย DP ซึ่งได้จากการผสมสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ไซเตรทเป็นตัวรีดิวซ์กับ DP ทำให้ได้อนุภาคนาโนที่เขียนอย่างย่อได้ว่า DP-AuNPs ซึ่งมีสีแดง โดย DP จะยึดกับอนุภาคทองผ่านพันธะ Au-S จากนั้นนำสารละลาย DP-AuNPs ใช้ในการตรวจวัดแคดเมียมไอออนและไอออนของโลหะชนิดอื่นเพื่อเปรียบเทียบ จากการศึกษาด้วยเทคนิค UV-Vis spectroscopy ผลที่ได้คือมีเพียงแคดเมียมไอออนเท่านั้นที่เปลี่ยนสีของสารละลาย DP-AuNPs จากสีแดงให้กลายเป็นสีม่วงโดยค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตรลดลง ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 635 นาโนเมตรเพิ่มขึ้น ในขณะที่ไอออนของ

โลหะอื่นๆ มีค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ส่งผลให้สีของสารละลาย DP-AuNPs ยังคงมีสีแดง

2.9.8. การตรวจวัดทางสีของ D-amino acid โดยใช้หลักการต้านการเกิดการรวมตัวของอนุภาคทองระดับนาโน (Colorimetric detection of D-amino acids based on anti-aggregation of gold nanoparticles)

ในงานวิจัยนี้ L. F. Yuan และคณะ [66] ได้นำเสนอการตรวจวัด D-amino acid (DAA) ซึ่งใช้ D-Ala เป็นตัวแทนของ DAA โดยใช้ D-amino acid oxidase (DAAO) ในการต้านการเกิดการรวมตัวของ D-Ala กับอนุภาคทองระดับนาโนซึ่งเกิดจากการเหนี่ยวนำของ 4-mercaptobenzoic acid (4-MBA) และคอปเปอร์ (II) ทำให้สีของสารละลายอนุภาคทองเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีแดง

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-Vis spectroscopy ในสภาวะที่ยังไม่มีการผสม D-Ala ลงในสารละลายผสมของ DAAO, 4-MBA, สารละลายอนุภาคทองระดับนาโน, สารละลายคอปเปอร์ (II) คลอไรด์ สารละลายมีสีม่วงถึงน้ำเงินที่มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร แต่เมื่อมีผสม D-Ala ลงในสารละลายผสมข้างต้นสารละลายจะเปลี่ยนสีเป็นสีแดง ซึ่งทำให้เกิดพีคค่าการดูดกลืนแสงใหม่ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร โดยค่าการดูดกลืนจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของ D-Ala ที่เพิ่มขึ้นและค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตรลดลงตามความเข้มข้นของ D-Ala ที่เพิ่มขึ้นโดยมีภาพถ่ายจากเทคนิค TEM ช่วยยืนยันว่า D-Ala เป็นสารที่ทำให้เกิดการกระจายตัวของอนุภาคทองระดับนาโนโดย DAAO จะออกซิไดซ์ D-Ala เพื่อสร้าง H_2O_2 ซึ่งจะไปออกซิไดซ์ 4-MBA อีกทีเพื่อสร้างพันธะไดซัลไฟด์ระหว่าง 4-MBA ด้วยกันทำให้ไม่เหลือซัลเฟอร์ที่สามารถเกิดพันธะกับผิวของอนุภาคได้ ส่งผลให้อนุภาคทองกระจายตัวและมีสีแดง

2.9.9. การนำเทคนิคการขึ้นรูปชั้นต่อชั้นไปใช้สร้างวัสดุประกอบของ toluidine blue-graphene และอนุภาคทองระดับนาโนไปเพื่อใช้เป็นแอมบตาเซ็นเซอร์ สำหรับตรวจวัดปริมาณทรอมบิน (Label-free electrochemical aptasensor for sensitive thrombin detection using layer-by-layer self-assembled multilayers with toluidine blue-graphene composites and gold nanoparticles)

ในงานวิจัยนี้ S. Xie และคณะ [67] ได้นำเสนอการสร้างขั้วไฟฟ้าซึ่งประยุกต์ใช้เทคนิคการขึ้นรูปชั้นต่อชั้นด้วยอนุภาคทองระดับนาโนและวัสดุประกอบของ toluidine blue-grapheme (Tb-Gra) ซึ่งสามารถเขียนอย่างย่อได้ว่า $\{Tb-Gra/nano-Au\}_n$ และใช้ thiolated thrombin aptamer

(TBA) ในการยึดกับอนุภาคทองเมื่อมีทรอมบินปรากฏจะสามารถรวมตัวกับ TBA เกิดเป็นสารเชิงซ้อนบนผิวของขั้วไฟฟ้าที่ดัดแปลงมาและทำการวัดค่ากระแสที่เปลี่ยนไป

การศึกษาในงานวิจัยนี้เริ่มจากการสร้างแอบทาเซ็นเซอร์ ซึ่งทำได้โดยทำความสะอาดขั้วไฟฟ้า (GCE) ด้วยผงอลูมิน่า ล้างด้วยน้ำและแอลกอฮอล์ จากนั้นนำ GCE มาจุ่มในสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเทและให้ศักย์ไฟฟ้าที่ -0.2 โวลต์เพื่อให้อนุภาคทองระดับนาโนยึดเกาะกับ GCE จากนั้นนำขั้วไฟฟ้านี้ไปจุ่มวัสดุประกอบ Tb-Gra สลับกับสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน 2 รอบทำให้ได้ขั้วไฟฟ้าที่ประกอบด้วยชั้นฟิล์มของวัสดุประกอบซึ่งสามารถเขียนได้ว่า {Tb-Gra/nano-Au} จำนวน 4 ชั้น สุดท้ายนำขั้วไฟฟ้านี้ไปจุ่ม TBA เป็นชั้นสุดท้ายเพื่อใช้ในการตรวจวัดทรอมบิน โดยการศึกษาใช้ขั้วไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 3 ชนิดซึ่งใช้เป็นขั้วไฟฟ้าทำงาน คือ GCE, ขั้วไฟฟ้าที่มี {Tb-Gra/nano-Au} 4 ชั้นและขั้วไฟฟ้าที่มี {Tb-Gra/nano-Au} 4 ชั้นที่รวมกับ TBA แล้ว ขั้วไฟฟ้าอ้างอิงคือขั้วคาโลเมล ทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Cyclic voltammetry (CV) ในสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ โดยผลที่ได้คือ GCE ไม่ปรากฏพีครีดอกซ์เกิดขึ้น ขั้วไฟฟ้าที่มี {Tb-Gra/nano-Au} 4 ชั้นปรากฏพีครีดอกซ์ที่ให้กระแสสูง เนื่องจากความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ดีของกราฟีนและอนุภาคทอง ขั้วไฟฟ้าที่ {Tb-Gra/nano-Au} 4 ชั้นที่รวมกับ TBA แล้ว ปรากฏพีครีดอกซ์ที่ให้กระแสน้อยลงสุดท้ายเมื่อใช้ขั้วไฟฟ้าตรวจวัดทรอมบิน พีครีดอกซ์ที่เกิดขึ้นให้กระแสน้อยลงอย่างมาก เนื่องจาก TBA ที่ยึดกับทรอมบินบนผิวของขั้วไฟฟ้าทำให้ความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ดีของกราฟีนและอนุภาคทองลดลง

2.9.10. การใช้เทคนิคการขึ้นรูปชั้นต่อชั้นในการขึ้นรูปฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนลงบน substrate ที่มีหมู่เอมีน (Layer-by-layer assembled gold nanoparticle films on amine-terminated substrates)

ในงานวิจัยนี้ F. Zhang และคณะ [68] ได้ทำการศึกษาการสร้างแผ่นฟิล์มจากอนุภาคทองระดับนาโนลงบน substrate ที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวให้มีหมู่ฟังก์ชันเป็น aminosilane ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปชั้นต่อชั้นโดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนและ poly(allylamine hydrochloride) (PAH)

Substrate ที่ใช้ในการงานวิจัยนี้ผ่านการล้างด้วยสารละลายผสมของซัลฟิวริกแอซิดและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ อัตราส่วนโดยปริมาตร 7:3 จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นและเมทานอลตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุภาคให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า นำ substrate ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วมาปรับปรุงพื้นผิวด้วย p-aminophenyltrimethoxysilane (APhS) ในสารละลาย tetrahydrofuran (THF) สุดท้ายนำ substrate ที่ปรับ

สภาพผิวแล้วมาจุ่มสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนสลักกับ PAH เป็นจำนวน 5 รอบ จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยใช้ AFM ผลปรากฏว่าเมื่ออนุภาคทองที่ยึดเกาะกับ substrate ค่า rms จะเท่ากับ 2.6 นาโนเมตรและมีการจัดเรียงอย่างชิดครอบคลุมทั่วผิวของ substrate เมื่อนำ substrate นี้ไปจุ่มสารละลาย PAH ค่า rms จะเพิ่มขึ้นเป็น 2.9 นาโนเมตร แต่เมื่อวัดค่า rms ของชั้นอนุภาคทองที่สองซึ่งยึดอยู่กับชั้น PAH พบว่าซึ่งเท่ากับ 4.8 นาโนเมตร ซึ่งเป็นผลมาจากอนุภาคทองที่อยู่ด้านล่างอนุภาคอื่นเกิดการรวมตัวกัน จึงเป็นข้อสรุปที่ว่าเมื่อทำการขึ้นรูปชั้นต่อชั้นไปเรื่อยๆ การรวมตัวของอนุภาคจะยิ่งมากขึ้นตามส่งผลให้ค่า rms เพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ขวดรูปخمพู่
2. ขวดวัดปริมาตร
3. ปีกเกอร์
4. กระบอกตวง
5. เทอร์โมมิเตอร์
6. แผ่นกระจก
7. ไมโครปิเปตขนาด 5000 μl รุ่น SL-5000XLS และขนาด 1000 μl รุ่น SL-1000XLS ผลิตโดย บริษัท Rainin, ประเทศสหรัฐอเมริกา
8. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
9. เตาให้ความร้อน
10. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า พร้อมแท่งกวนแม่เหล็ก
11. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เครื่องมือ	ประเภทรุ่นของเครื่องมือ	บริษัทที่ผลิต	ประเทศที่ผลิต
เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer)	Evolution 201 Series	Thermo scientific	สหรัฐอเมริกา
เครื่องวัด Zeta potential analysis	Zetasizer NanoZS	Malvern	อังกฤษ
เครื่องตรวจวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer ; XRD)	D8 Advance	Bruker	เยอรมนี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะผลิตใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือ	ประเภทรุ่นของ เครื่องมือ	บริษัทที่ผลิต	ประเทศที่ผลิต
เครื่องมือวิเคราะห์สารด้วย อินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer ; FTIR)	Spectrum GX	Perkin Elmer	สหรัฐอเมริกา
กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่อง ผ่าน (Transmission Electron Microscope ; TEM)	JEM-2100	JEOL	ญี่ปุ่น
กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscope ; AFM)	SPA400	Seiko Instrument Inc	ญี่ปุ่น

3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

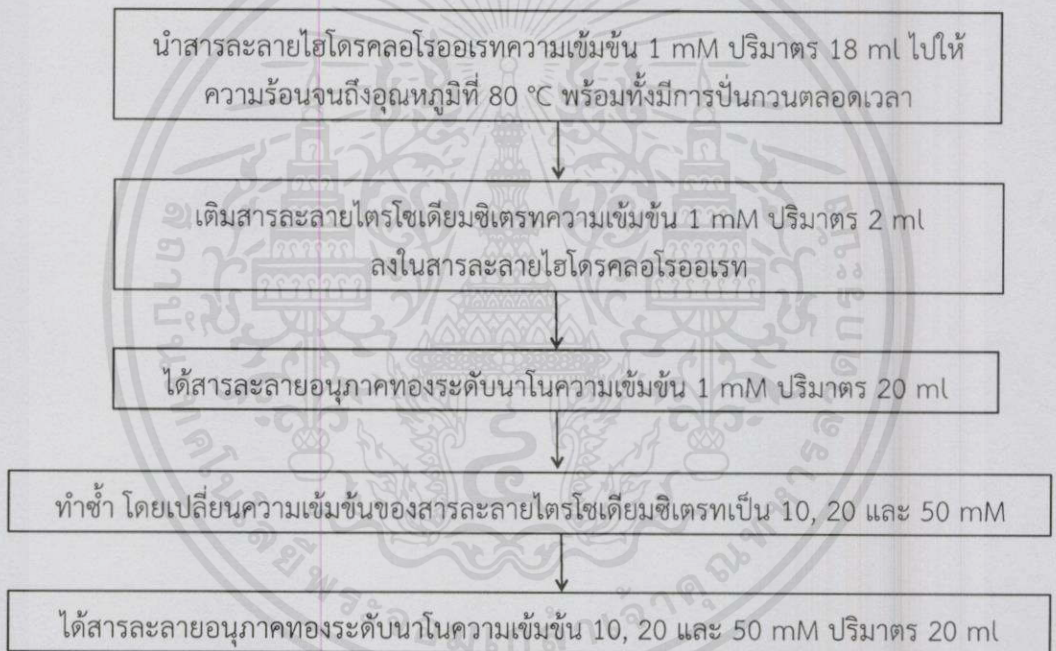
สารเคมี	สูตรโครงสร้าง	บริษัทที่ผลิต	ประเทศที่ผลิต
พอลิไดอัลริลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (Poly (diallyldimethylammonium chloride) ; PDADMAC)	$(C_8H_{16}Cl(N))_n$	Sigma- Aldrich	สหรัฐอเมริกา
พอลิสไตรีนซัลโฟเนต (Poly (sodium 4- styrenesulfonate) ; PSS)	$(C_8H_7NaO_3S)_n$	Sigma- Aldrich	สหรัฐอเมริกา
โดพามีนไฮโดรคลอไรด์ (Dopamine hydrochloride)	$C_8H_{12}ClNO_2$	Sigma- Aldrich	สหรัฐอเมริกา
เตตระคลอโรออโรเรทไตรไฮเดรต (Gold (III) chloride trihydrate)	$HAuCl_4 \cdot$ $3H_2O$	Sigma- Aldrich	สหรัฐอเมริกา
โซเดียมคลอไรด์ (Sodium Chloride)	NaCl	Sigma- Aldrich	สหรัฐอเมริกา
ไตรโซเดียมซิเตรท (Sodium citrate tribasic dehydrate)	$C_6H_9O_9Na$	Sigma- Aldrich	สหรัฐอเมริกา

3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโนโดยวิธีของเทอร์เควิช (Turkevich Method)

1.วิธีการสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโน

ปีเปตสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเททความเข้มข้น 1 mM ปริมาตร 18 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 25 ml จากนั้นนำสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเททไปให้ความร้อนบนเตาให้ความร้อน พร้อมทั้งปั่นกวนตลอดเวลาจนถึงอุณหภูมิ 80 °C จากนั้นเติมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 1, 10, 20 และ 50 mM ปริมาตร 2 ml ลงไปในสารละลายที่ผ่านการให้ความร้อนที่ละความเข้มข้นตามลำดับ แล้วสังเกตสีของสารละลายโดยสารละลายจะเปลี่ยนสีจากสีเหลืองไปเป็นสีแดงอมน้ำ ซึ่งสามารถแสดงรูปการทดลองดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการสังเคราะห์อนุภาคด้วยซิเตรทที่ความเข้มข้น 1, 10, 20 และ 50 mM

2.การวิเคราะห์ผล

1. UV-Vis spectrophotometer

นำสารละลายอนุภาคของระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยไตรโซเดียมซิเตรทที่ความเข้มข้น 1, 10, 20 และ 50 mM ไปทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยการใส่สารละลายลงในคิวเวท สแกนสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1000 – 200 nm ที่ละความเข้มข้นตามลำดับ

2. Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)

นำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ และไตรโซเดียมซิเตรท อบในตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 80-90 °C จนได้ผงของอนุภาคทองระดับนาโนและไตรโซเดียมซิเตรท จากนั้นนำไปอัดเม็ด แล้วตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง IR เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของอนุภาคทองระดับนาโนและไตรโซเดียมซิเตรท เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างของสารทั้งสอง

3. Transmission Electron Microscope (TEM)

นำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ ไปหยดลงบนกริดเพื่อนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM เพื่อศึกษาลักษณะรูปร่างการกระจายตัวของอนุภาคทองระดับนาโน

4. Zeta potential

นำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Zeta potential เพื่อศึกษาสภาพความเป็นประจุของอนุภาคทองระดับนาโน

3.4.2 การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนและ สารละลายมาตรฐานโดพามีน

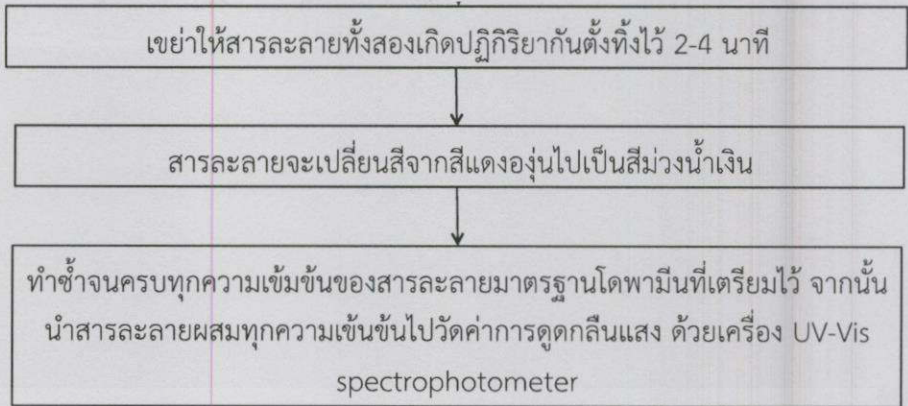
เลือกความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรทที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.4.1 มาศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน

1. วิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ความเข้มข้น 10 mM และสารละลายมาตรฐานโดพามีน

เตรียมสารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80, 100, 300 μM และสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 10 mM จากนั้นนำสารละลายโดพามีนที่ความเข้มข้นดังกล่าวไปผสมกับสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ในอัตราส่วนปริมาตรของโดพามีนต่อสารละลายทองเท่ากับ 7 : 2 จากนั้นสังเกตสีของสารละลายผสมและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ซึ่งสามารถแสดงรูปการทดลองดังรูปที่ 3.2

ปิเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 2 ml
ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 25 ml

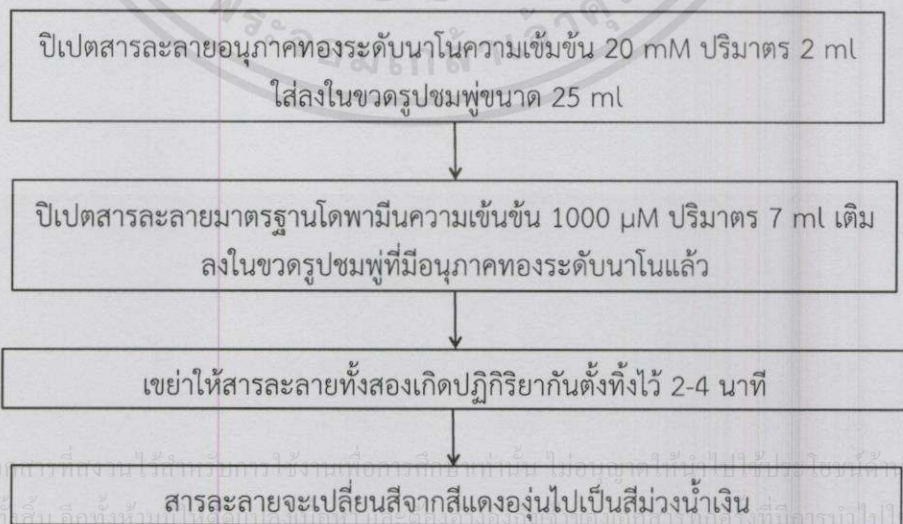
ปิเปตสารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 1000 μM ปริมาตร 7 ml เติมน้ำลงในขวดรูปชมพู่ที่มีอนุภาคทองระดับนาโนแล้ว



รูปที่ 3.2 แผนผังวิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM และสารละลายโดพามีน

2. วิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ความเข้มข้น 20 mM และสารละลายมาตรฐานโดพามีน

เตรียมสารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80, 100, 300, 500, 700, 800, 900, 1000 μM และสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 20 mM จากนั้นนำสารละลายโดพามีนที่ความเข้มข้นดังกล่าวไปผสมกับสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ในอัตราส่วนปริมาตรของโดพามีนต่อสารละลายทองเท่ากับ 7 : 2 จากนั้นสังเกตสีของสารละลายผสม และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการวิจัยและเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์เพื่อการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

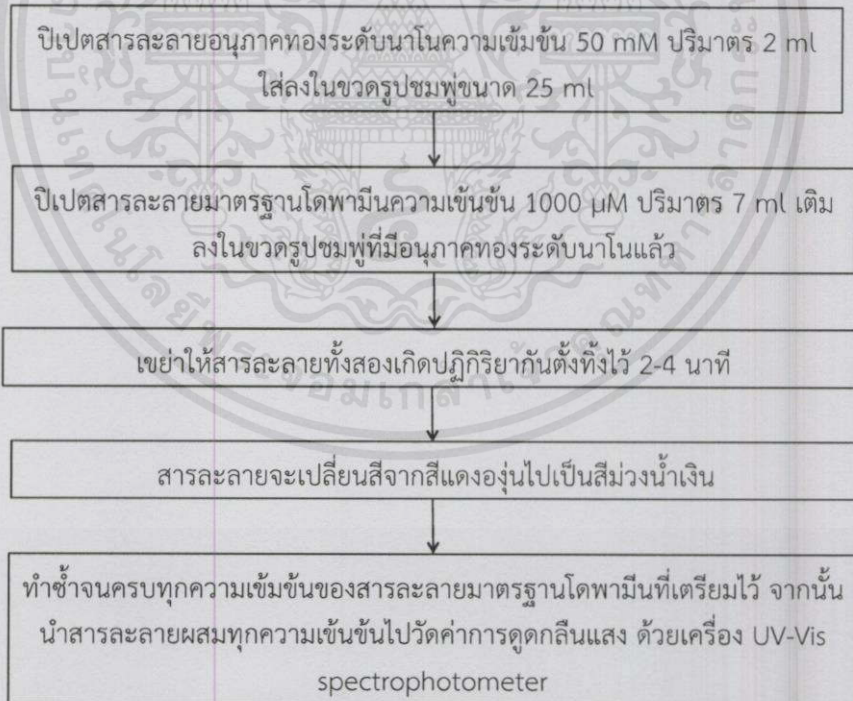
ทำซ้ำจนครบทุกความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโทพามีนที่เตรียมไว้ จากนั้น นำสารละลายผสมทุกความเข้มข้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

รูปที่ 3.3 แผนผังวิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM และสารละลายโทพามีน

3. วิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ความเข้มข้น 50 mM และสารละลายมาตรฐานโทพามีน

เตรียมสารละลายมาตรฐานโทพามีนความเข้มข้น 20, 50, 70, 80, 100, 300, 400, 500, 600, 800, 1000 μM และสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM จากนั้นนำสารละลายโทพามีนที่ความเข้มข้นดังกล่าวไปผสมกับสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ในอัตราส่วนปริมาตรของโทพามีนต่อสารละลายทองเท่ากับ 7 : 2 จากนั้นสังเกตสีของสารละลายผสมและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่

3.4



รูปที่ 3.4 แผนผังวิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น

เอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้า โดยผู้พิมพ์เห็นว่าเป็นประโยชน์แก่การศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้ที่นำเอกสารไปเผยแพร่จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

50 mM และสารละลายโทพามีน

4. วิเคราะห์ผล

1. UV-Vis spectrophotometer

นำสารละลายผสมของอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายมาตรฐานโดพามีน ไปทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยการใส่สารละลายผสมลงในควิวเวท สแกนสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1000 – 200 nm ที่ละความเข้มข้นตามลำดับ

2. Transmission Electron Microscope (TEM)

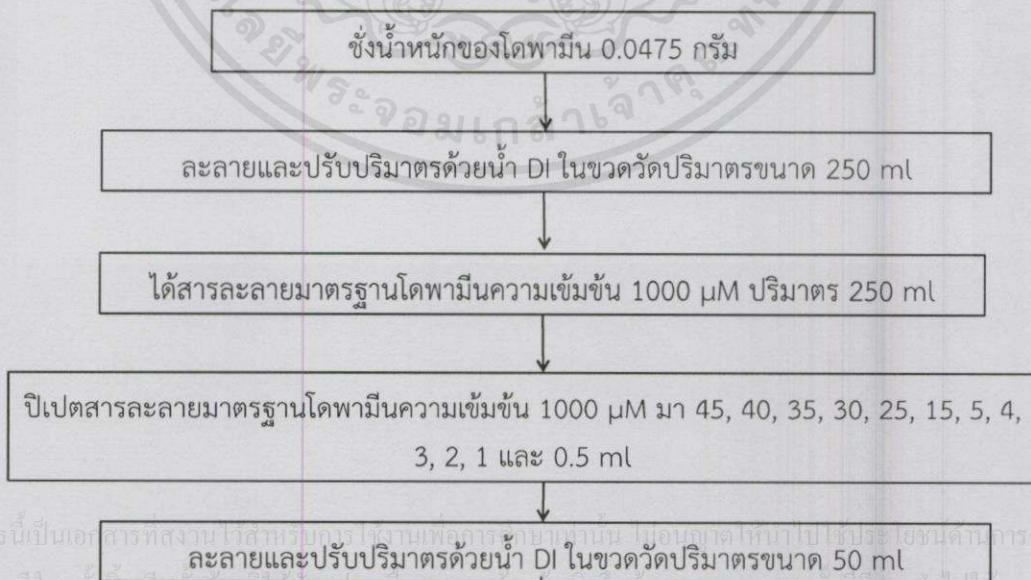
นำสารละลายผสมของอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายมาตรฐานโดพามีน ไปหยดลงบนกริดและนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM เพื่อศึกษาลักษณะรูปร่างการกระจายตัวของอนุภาคทองระดับนาโน

3.4.3 การศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีนด้วย สารละลายอนุภาคทองระดับนาโน

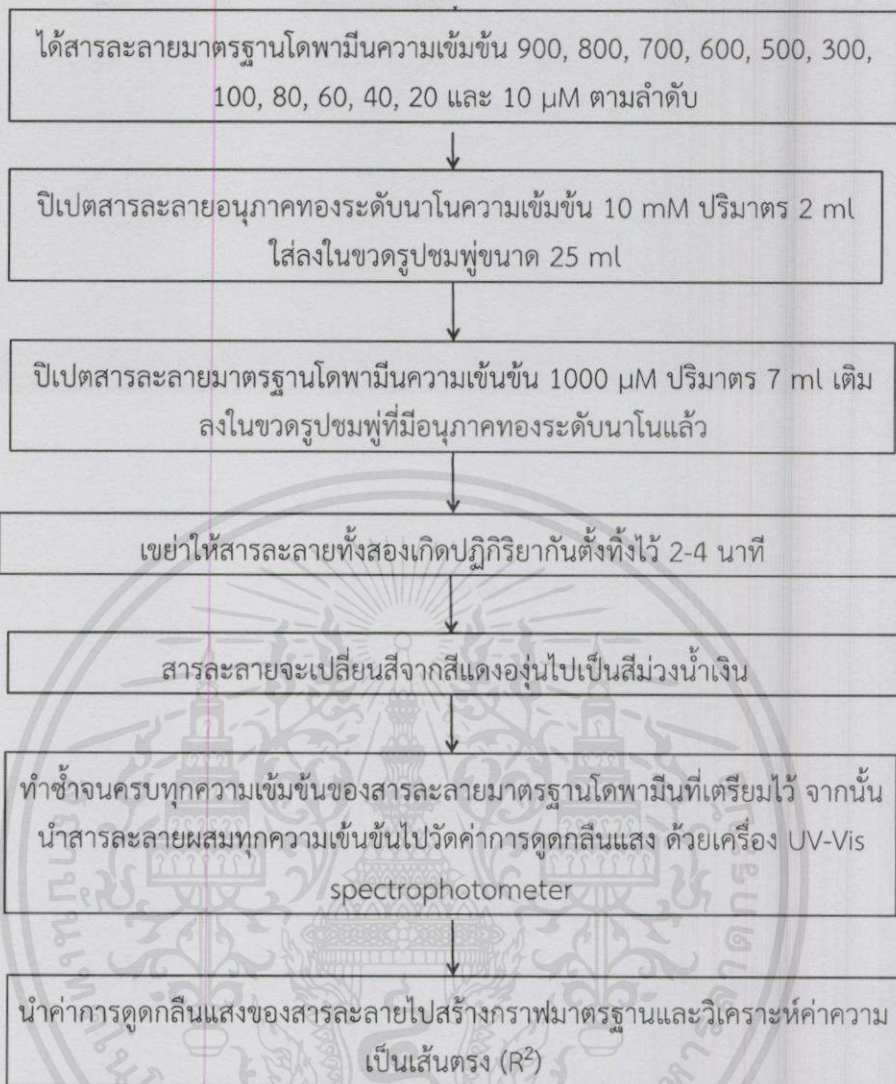
1. การศึกษาความเป็นเส้นตรง

1.1 วิธีการศึกษาความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีน ด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 10 mM

ศึกษาโดยการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโดพามีนที่ความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80, 100, 300, 500, 600, 700, 800, 900 และ 1000 μM จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นเส้นตรง (R^2) ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังที่รูปที่ 3.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากร ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารก่อนการนำข้อมูลไปใช้

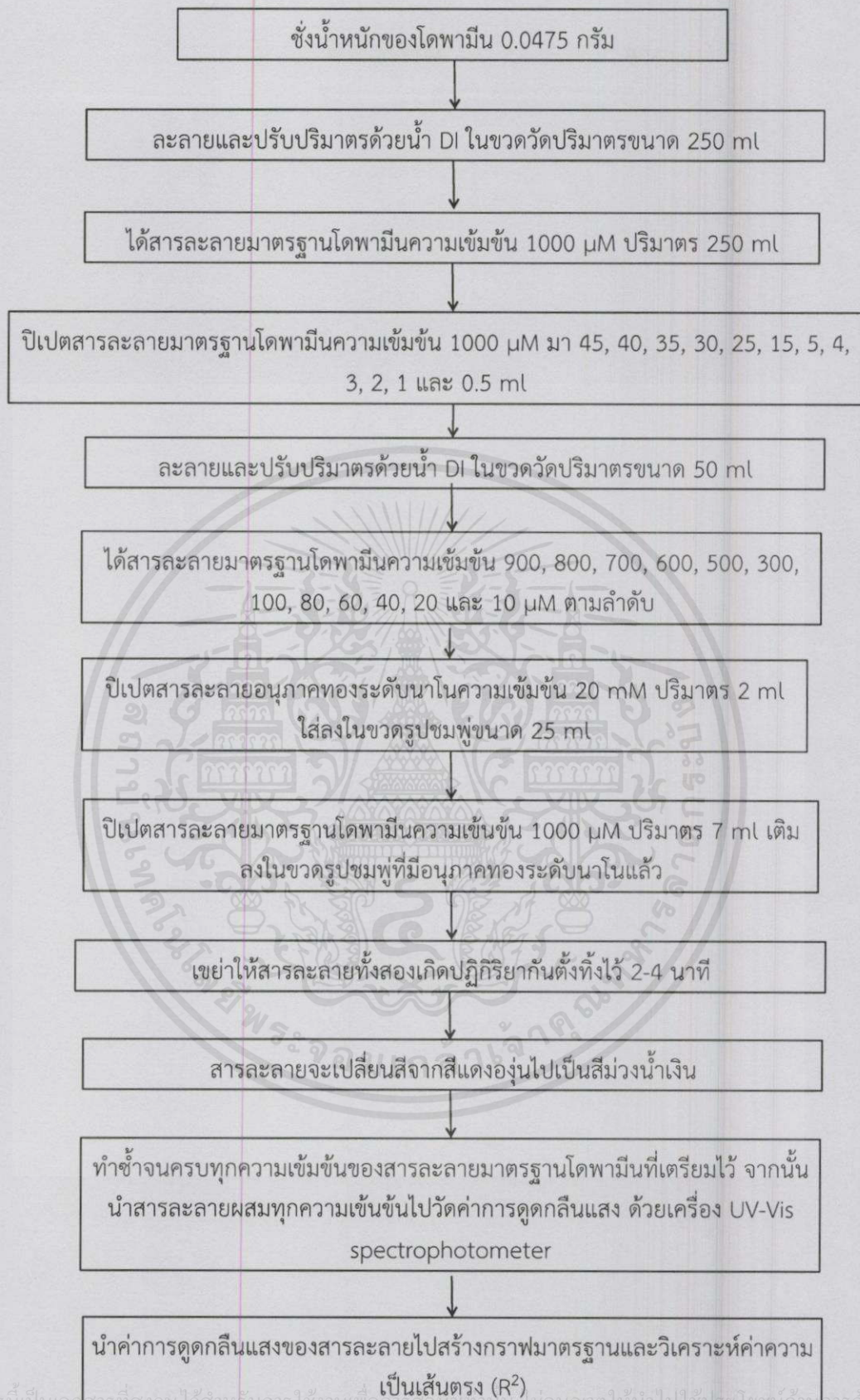


รูปที่ 3.5 แผนผังวิธีการศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีน ด้วยอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรตเข้มข้น 10 mM

1.2 วิธีการศึกษาความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีน ด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 20 mM

ศึกษาโดยการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโดพามีนที่ความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80, 100, 300, 500, 700, 800, 900 และ 1000 μM จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นเส้นตรง (R^2) ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

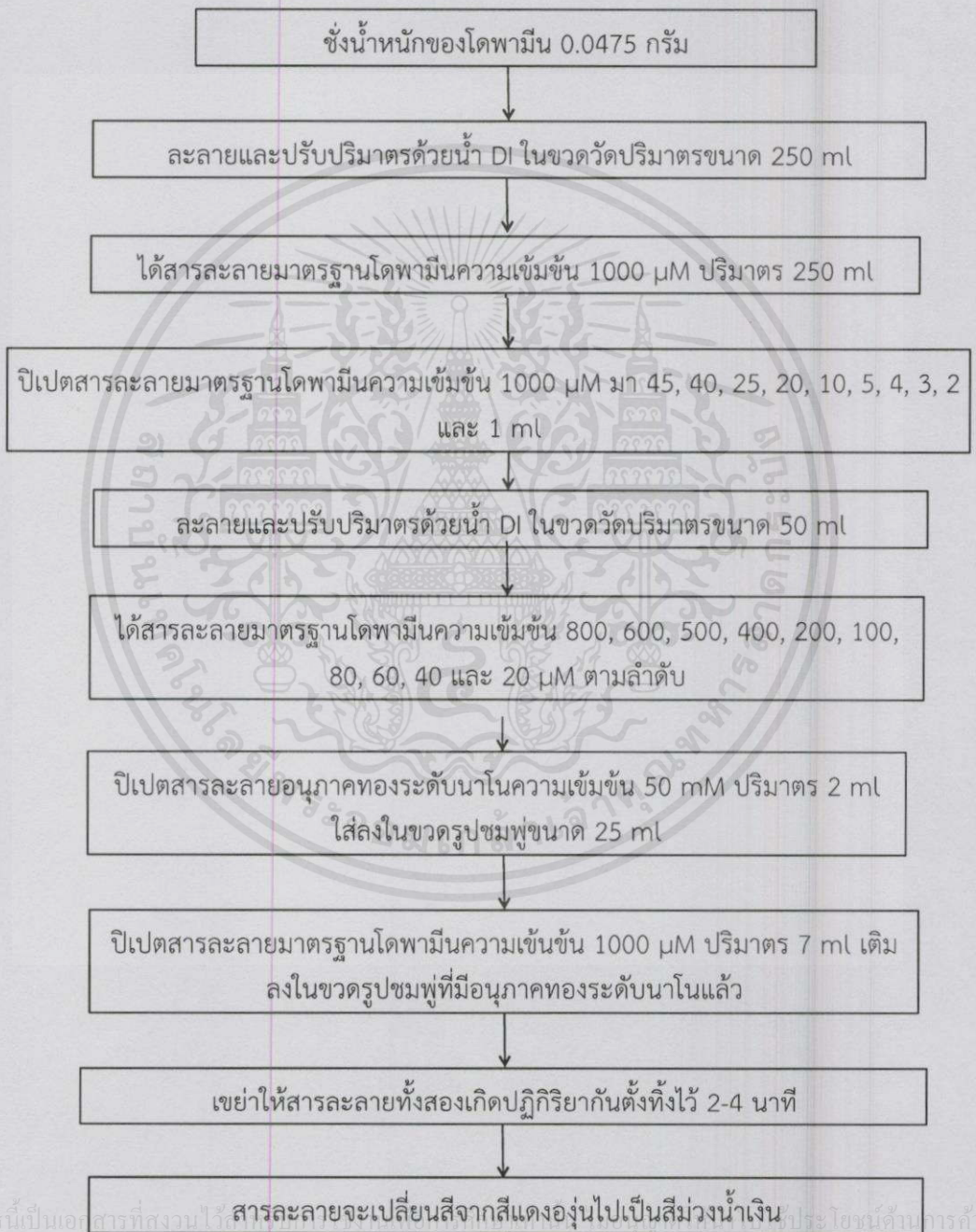


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นใดได้หากำ

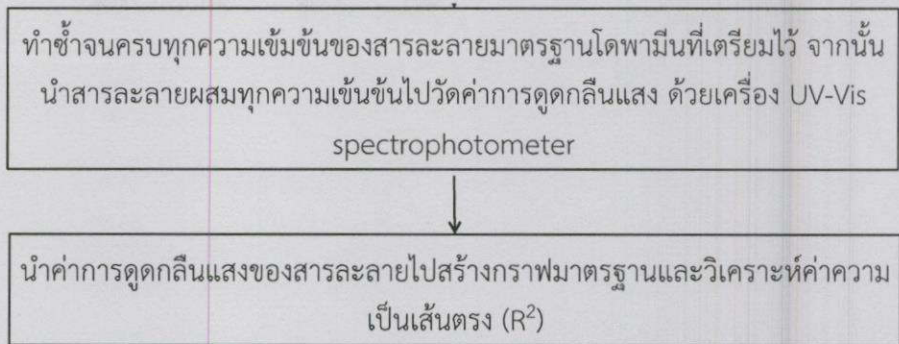
รูปที่ 3.6 แผนผังวิธีการศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีน ด้วยอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM

1.3 วิธีการศึกษาความเป็นเส้นตรงของการวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีน ด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM

ศึกษาโดยการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานโดพามีนที่ความเข้มข้น 20, 40, 60, 80, 100, 200, 400, 500, 600, 800 และ 1000 μM จากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าความเป็นเส้นตรง (R^2) ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



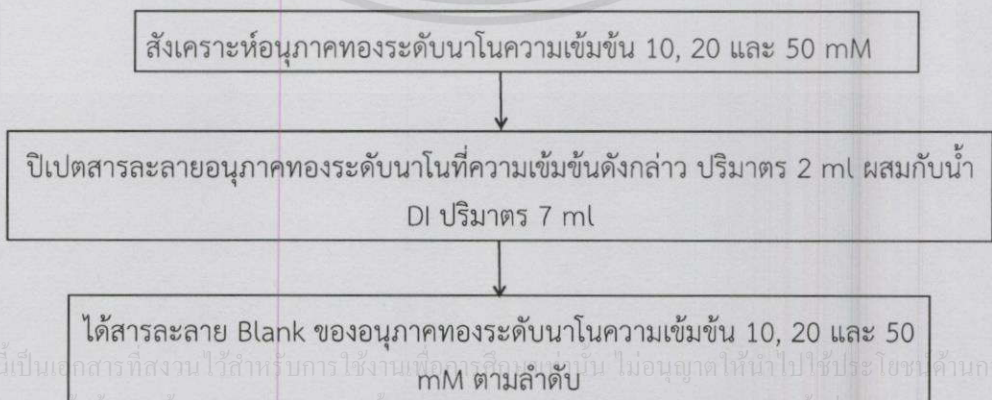
รูปที่ 3.7 แผนผังวิธีการศึกษาความเป็นเส้นตรงของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีน ด้วยอนุภาคทองที่สังเคราะห์ที่เตรียมความเข้มข้น 50 mM

2. การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection) และขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation)

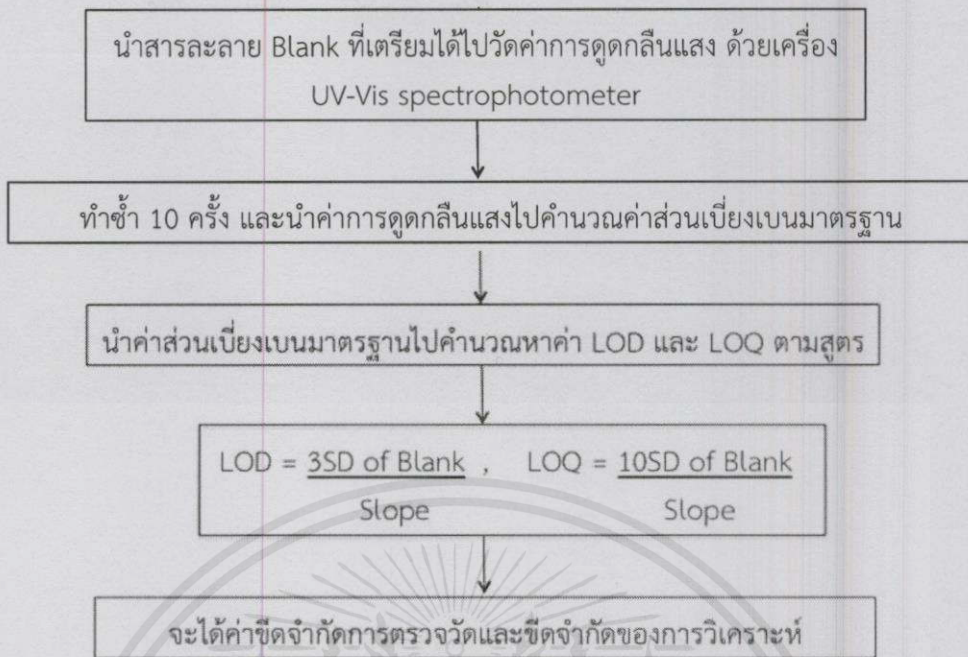
การศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (Limit of detection) เป็นการศึกษาปริมาณที่ต่ำที่สุดของโดพามีนที่ตรวจวัดได้ และขีดจำกัดการวิเคราะห์ (Limit of quantitation) เป็นการศึกษาปริมาณต่ำที่สุดของโดพามีนที่สามารถวิเคราะห์ได้ โดยอาศัยข้อมูลจากการสร้างกราฟมาตรฐาน

2.1 วิธีการศึกษาขีดจำกัดของการตรวจวัด (limit of detection) และขีดจำกัดของการวิเคราะห์ (Limit of quantitation)

ทำได้โดยการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM และนำไปผสมกับน้ำ DI ในอัตราส่วนปริมาตรเป็น 2 : 7 ml เพื่อใช้เป็นสารละลายแบล็ค จากนั้นนำสารละลายผสมไปวัดค่าการดูดกลืนแสง และทำซ้ำ 10 ครั้ง และนำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่าความชันของข้อมูลจากการสร้างกราฟมาตรฐานของสารละลายโดพามีนที่ความเข้มข้นต่างๆ ไปคำนวณค่า LOD และ LOQ ต่อไป ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้ง



หมายเหตุ ค่า Slope หาได้จากการสร้างกราฟมาตรฐาน

รูปที่ 3.8 แผนผังวิธีการศึกษาขีดจำกัดการตรวจวัดและขีดจำกัดการวิเคราะห์

3. การศึกษาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (Recovery)

3.1 วิธีการศึกษาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน ด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน

ความเข้มข้น 10 mM

ตัวอย่างที่ใช้ : น้ำดื่ม (Drinking Water)

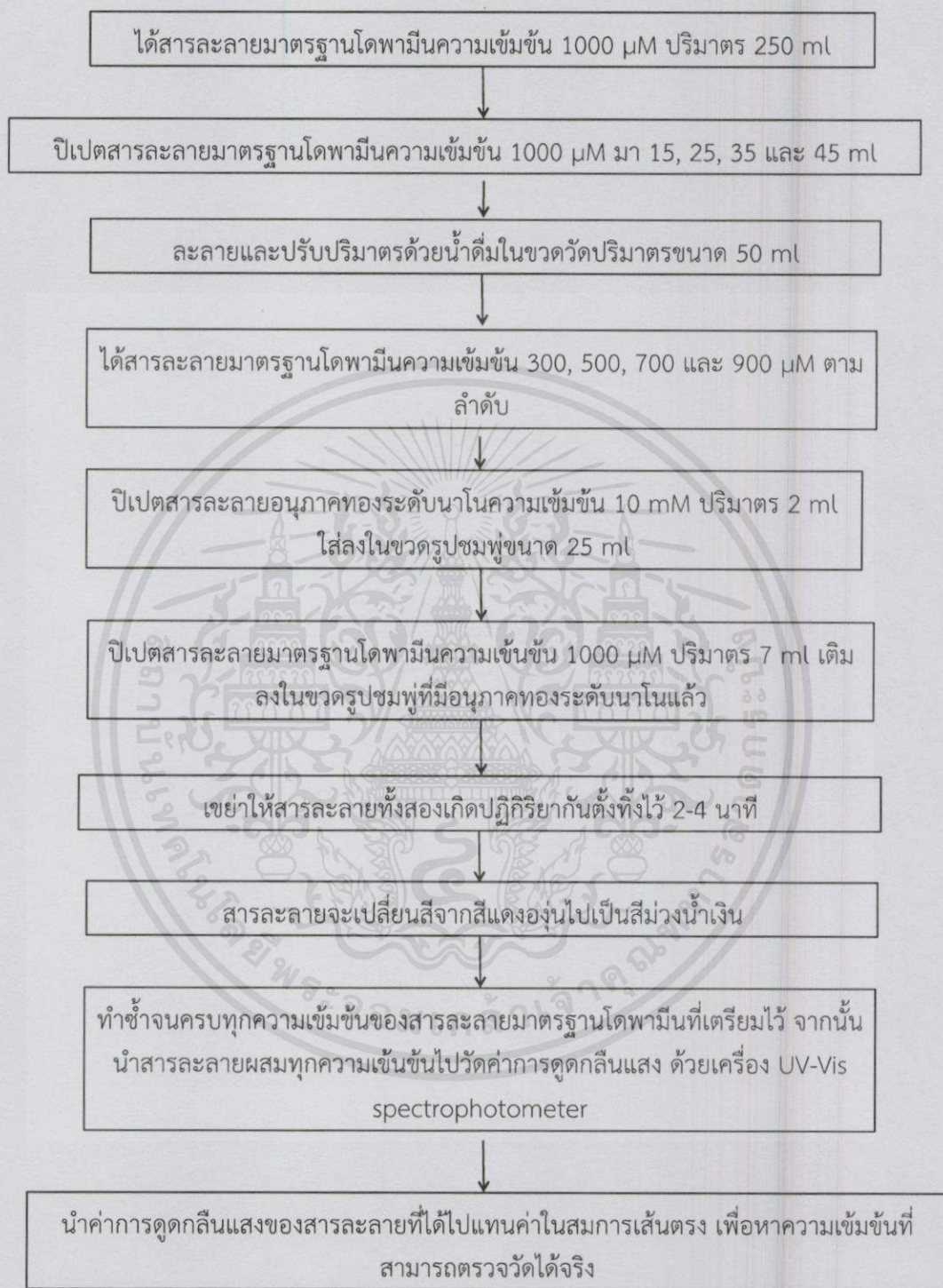
สารมาตรฐานโดพามีนที่เติมลงมีความเข้มข้นดังนี้ 300, 500, 700, 900 และ 1000 μM

ทำได้โดยการเตรียมสารละลายโดพามีนความเข้มข้น 300, 500, 700, 900 และ 1000 μM ด้วยน้ำดื่ม จากนั้นนำสารละลายโดพามีนแต่ละความเข้มข้นไปทดสอบด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 10 mM สังเกตสีของสารละลายที่เปลี่ยนไป จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย และนำค่าการดูดกลืนแสงไปแทนค่าในสมการเส้นตรง เพื่อหาความเข้มข้นที่สามารถตรวจวัดได้จริง และนำความเข้มข้นที่ได้ไปแทนค่าในสูตรหา %Recovery ต่อไป ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.9

ชั่งน้ำหนักของโดพามีน 0.0475 กรัม

ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำดื่มในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 ml

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีสงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่โฆษณาหรือการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อผลของการใช้เอกสารเหล่านี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

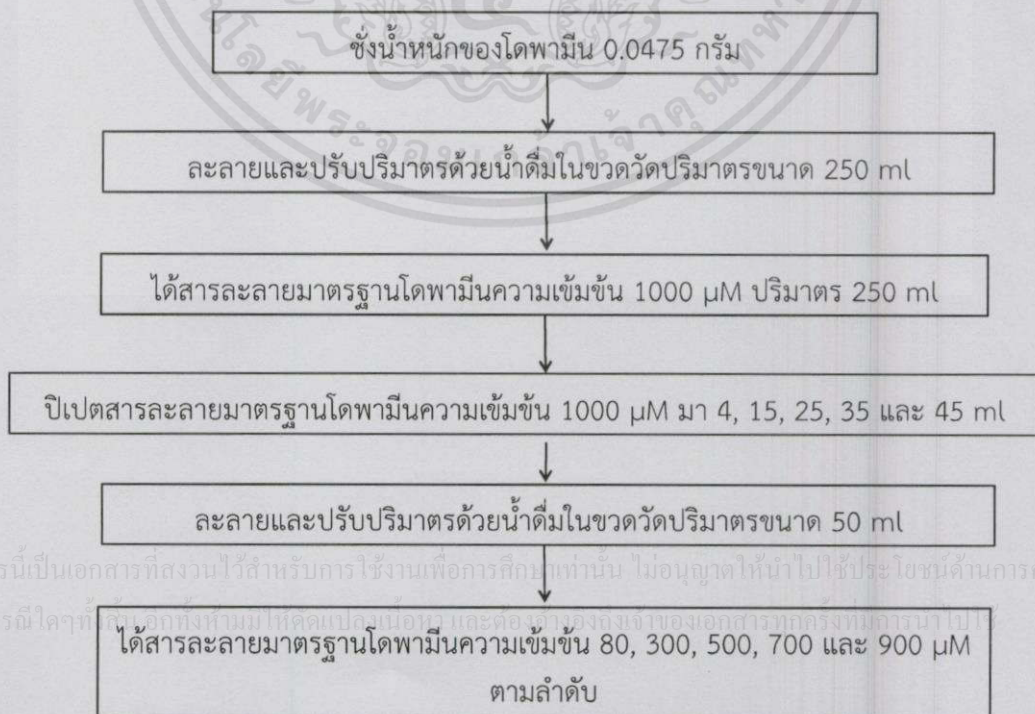


รูปที่ 3.9 แผนผังวิธีการหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (Recovery) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM

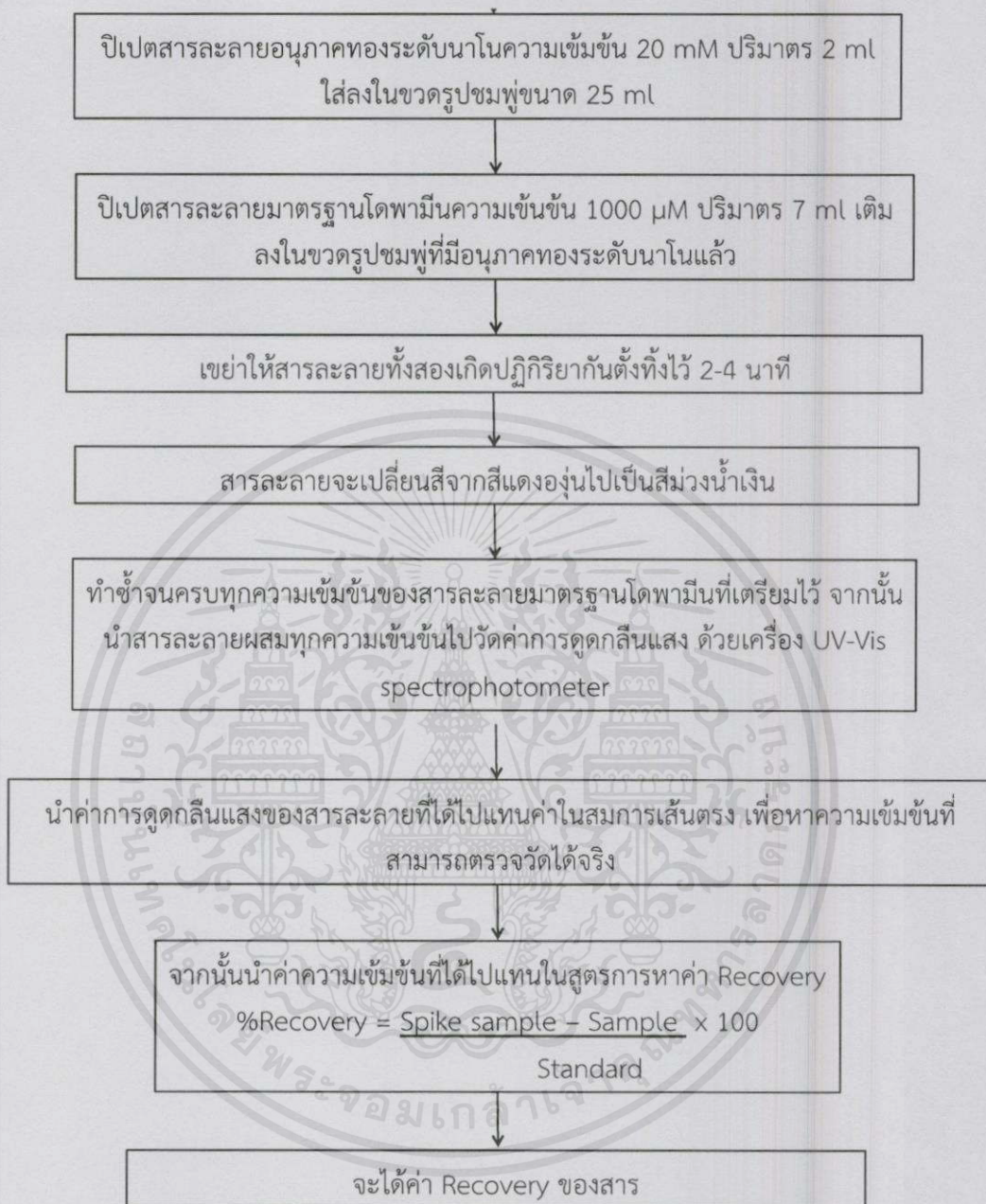
3.2 วิธีการศึกษาหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน ด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 20 mM

ตัวอย่างที่ใช้ : น้ำดื่ม (Drinking Water)

สารมาตรฐานโดพามีนที่เติมมีความเข้มข้นดังนี้ 80, 300, 500, 700 และ 900 μM ทำได้โดยการเตรียมสารละลายโดพามีนความเข้มข้น 80, 300, 500, 700 และ 900 μM ด้วยน้ำดื่ม จากนั้นนำสารละลายโดพามีนแต่ละความเข้มข้นไปทดสอบด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 20 mM สังเกตสีของสารละลายที่เปลี่ยนไป จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย และนำค่าการดูดกลืนแสงไปแทนค่าในสมการเส้นตรง เพื่อหาความเข้มข้นที่สามารถตรวจวัดได้จริง และนำความเข้มข้นที่ได้ไปแทนค่าในสูตรหา %Recovery ต่อไป ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีข้อสงสัยหรือข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งไปยังผู้จัดทำเอกสาร



รูปที่ 3.10 แผนผังวิธีการหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (Recovery) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM

3.3 วิธีการศึกษาหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน ด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM

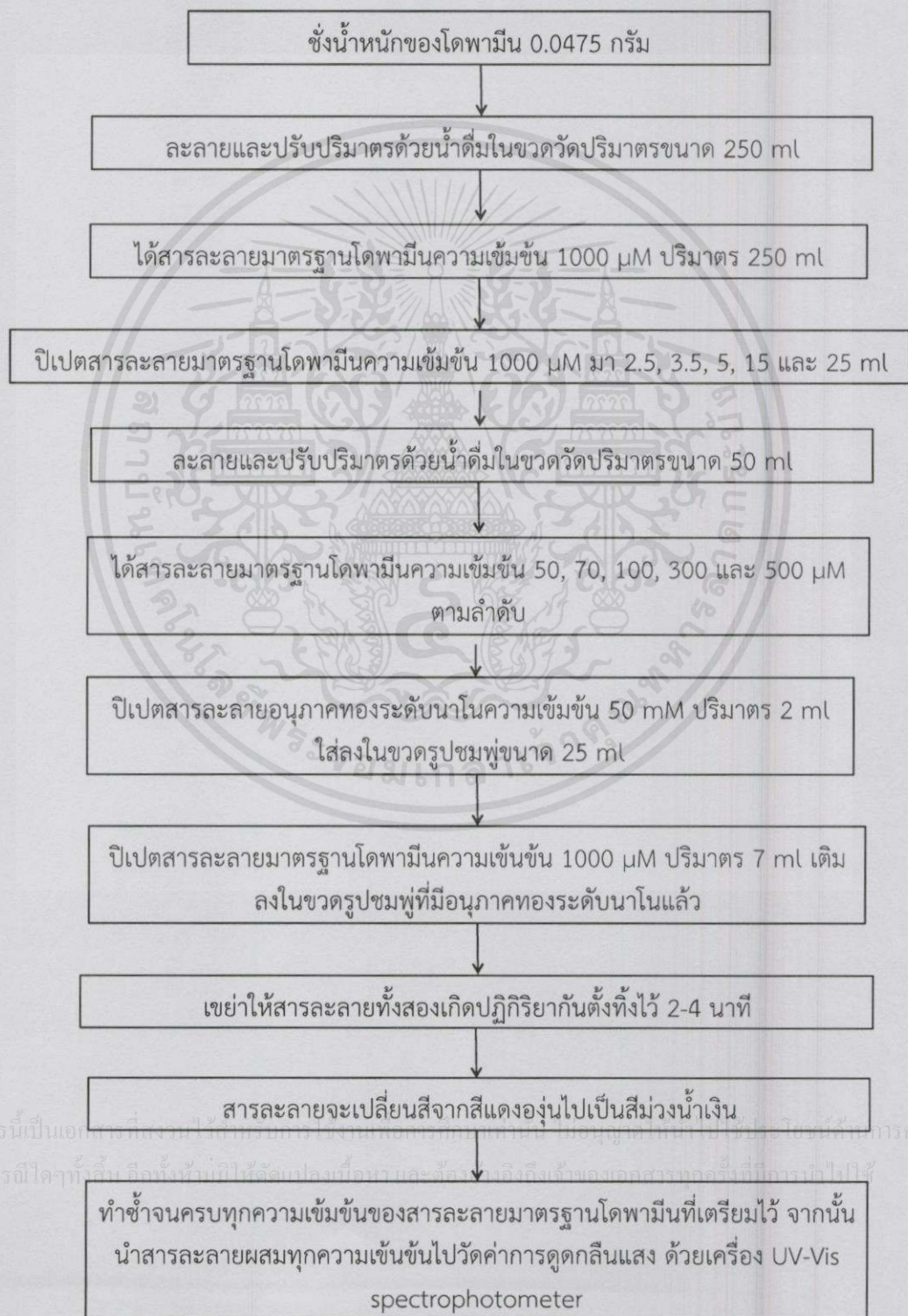
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตัวอย่างที่ใช้ : น้ำดื่ม (Drinking Water)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ออกไปและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารมาตรฐานโครมาทินที่เติมมีความเข้มข้นดังนี้ 50, 70, 100, 300 และ 500 µM

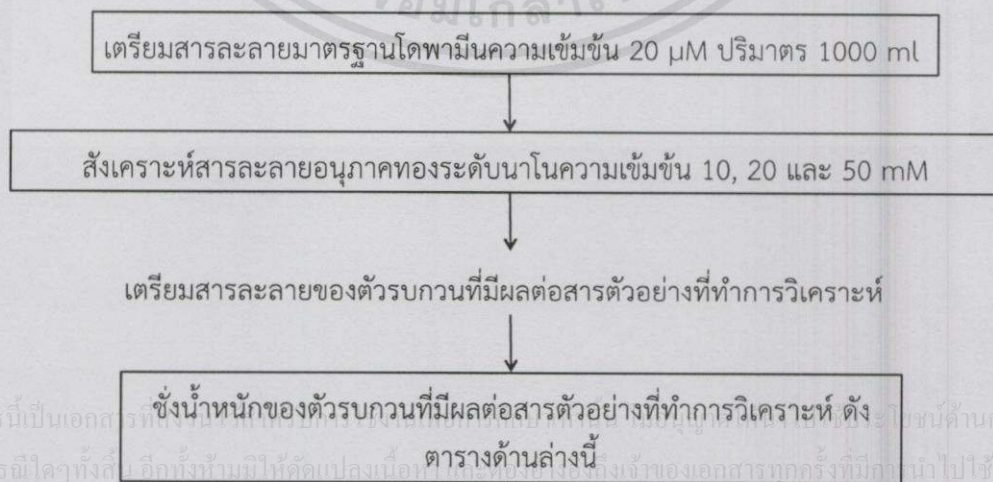
ทำได้โดยการเตรียมสารละลายโดพามีนความเข้มข้น 50, 70, 100, 300 และ 500 μM ด้วยน้ำดื่ม จากนั้นนำสารละลายโดพามีนแต่ละความเข้มข้นไปทดสอบด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM สังเกตสีของสารละลายที่เปลี่ยนไป จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย และนำค่าการดูดกลืนแสงไปแทนค่าในสมการเส้นตรง เพื่อหาความเข้มข้นที่สามารถตรวจวัดได้จริง และนำความเข้มข้นที่ได้ไปแทนค่าในสูตรหา %Recovery ต่อไป ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.11





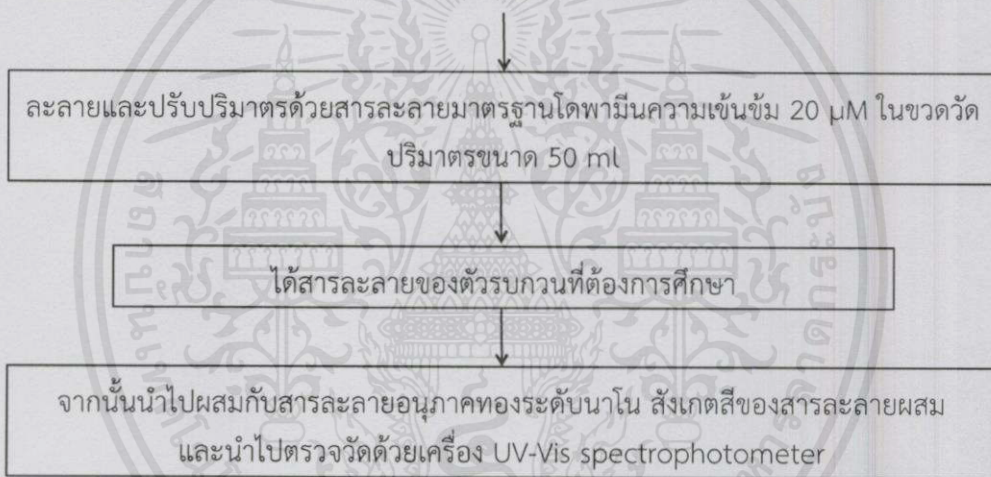
รูป 3.11 แผนผังวิธีการหาค่าคืนกลับของสารมาตรฐาน (Recovery) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซีเตรทเข้มข้น 50 mM

4. การศึกษาผลกระทบของตัวרבวงที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ เตรียมสารละลายของกรดซิตริก, โพลีแซ็กคาไรด์, แอสคอบิกแอซิด, กรดยูริก และกลูโคส ความเข้มข้น 1, 5 และ 10 mM โดยใช้สารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 20 μM เป็นตัวทำละลาย จากนั้นทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM และนำไปผสมกับสารละลายของตัวרבวง ในอัตราส่วนปริมาตรของสารละลายตัวרבวงต่อสารละลายทองระดับนาโนเท่ากับ 7 : 2 แล้วสังเกตสีของสารละลายผสมและนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาโดยผู้จัดทำเอกสาร หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ชนิดตัวบวกรวม	ความเข้มข้นของตัวบวกรวม (mM)		
	1	5	10
กรดซิตริก	0.0105 g	0.0525 g	0.1050 g
แอสคอบิกแอซิด	0.0088 g	0.0440 g	0.0880 g
โพแทสเซียมคลอไรด์	0.0037 g	0.0187 g	0.0373 g
กรดยูริก	0.0084 g	0.0420 g	0.0840 g
กลูโคส	0.0097 g	0.0450 g	0.0901 g



รูปที่ 3.12 แผนผังวิธีการศึกษาผลกระทบของตัวบวกรวมที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

5. วิเคราะห์ผล

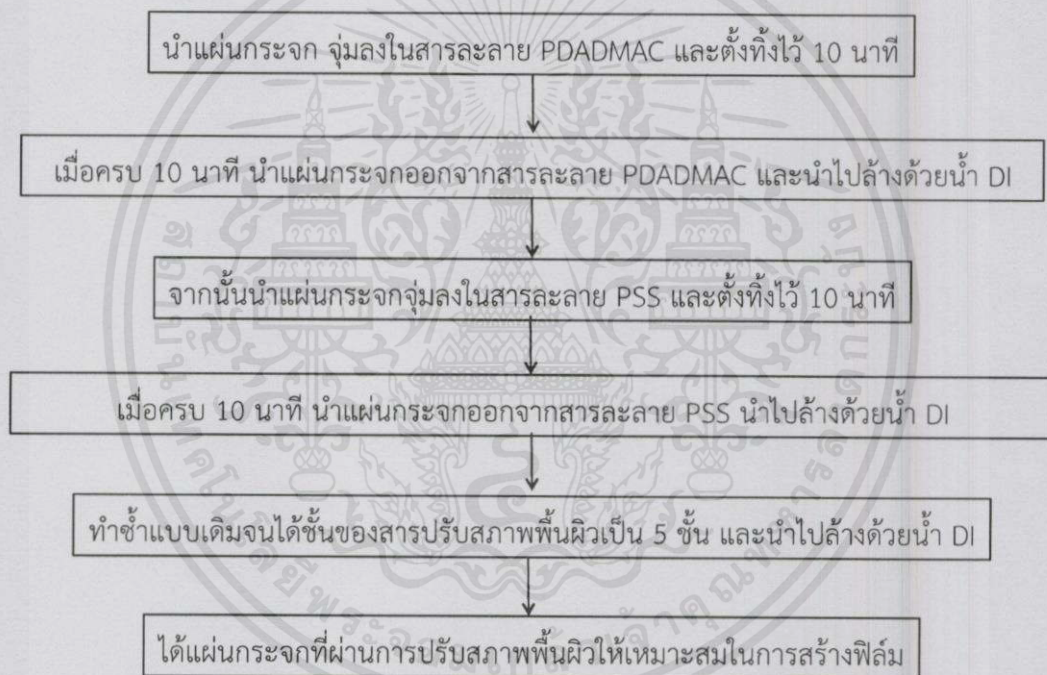
1. UV-Vis spectrophotometer

นำสารละลายผสมของอนุภาคของระดับนาโนและสารละลายมาตรฐานโดพามีน ไปทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยการใส่สารละลายผสมลงในคิวเวท สแกนสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1000 – 200 nm ที่ละความเข้มข้นตามลำดับ

3.4.4 การเตรียมแผ่นฟิล์มของอนุภาคของระดับนาโน โดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique) โดยใช้สารปรับสภาพพื้นผิวของ substrate เป็น PDADMAC และ PSS

1. วิธีการปรับสภาพพื้นผิวของ substrate

เตรียมสารละลาย PDADMAC และสารละลาย PSS ความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 1000 ml แล้วชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 58.5 กรัม (ความเข้มข้น 1 M) ลงไปในสารละลายทั้งสอง จากนั้นนำแผ่นกระจกมาจุ่มลงในสารละลาย PDADMAC เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบ 10 นาที ก็นำแผ่นกระจกขึ้นจากสารละลายแล้วนำไปล้างด้วยน้ำ DI ต่อมานำไปจุ่มลงในสารละลาย PSS เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบ 10 นาที ก็นำแผ่นกระจกขึ้นจากสารละลายแล้วนำไปล้างด้วยน้ำ DI ทำการจุ่มสลับระหว่างสารละลายทั้งสองจนได้จำนวนชั้นเท่ากับ 5 ชั้น จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำ DI เช่นเดิม โดยชั้นสุดท้ายเป็นชั้นของสารละลาย PDADMAC จะได้แผ่นกระจกที่ปรับสภาพพื้นผิวที่เหมาะสมในการสร้างแผ่นฟิล์มต่อไป ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.13

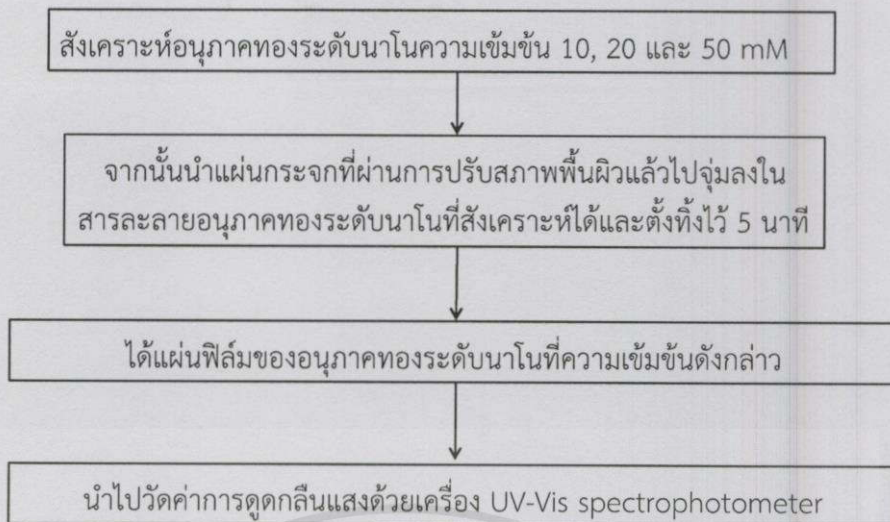


รูปที่ 3.13 แผนผังวิธีการปรับสภาพพื้นผิวบน substrate

2. การสร้างแผ่นฟิล์มของอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 1, 10, 20 และ

50 mM

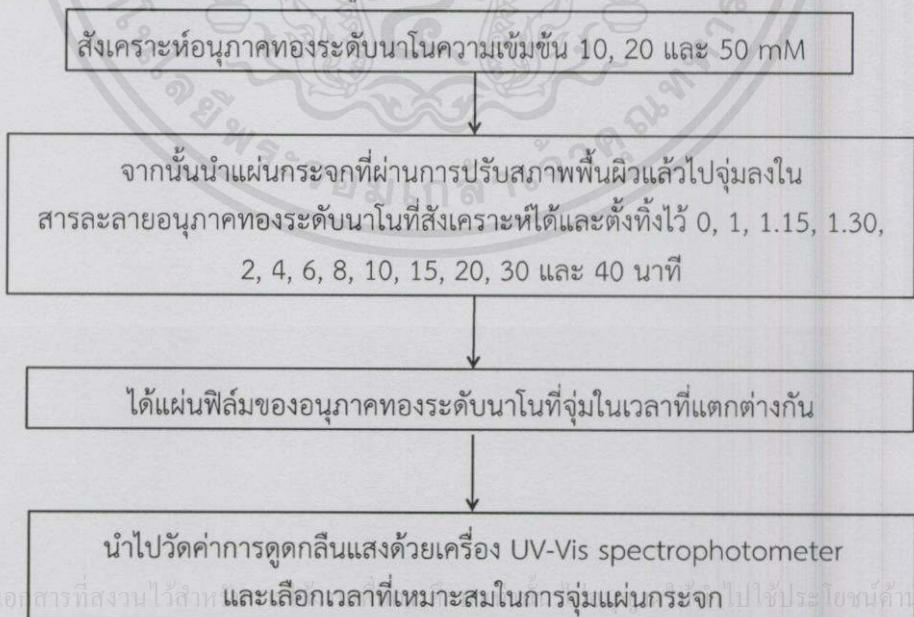
เตรียมสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 1, 10, 20 และ 50 mM จากนั้นนำแผ่นกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวแล้ว ไปจุ่มลงในสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ความเข้มข้นดังกล่าว ตามลำดับ จากนั้นจะได้แผ่นฟิล์มบางของอนุภาคทองระดับนาโน และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แผนผังวิธีการสร้างแผ่นฟิล์มของอนุภาคของระดับนาโน

3. การศึกษากลศาสตร์การดูดซับของสารละลายอนุภาคของระดับนาโน บนแผ่นฟิล์ม

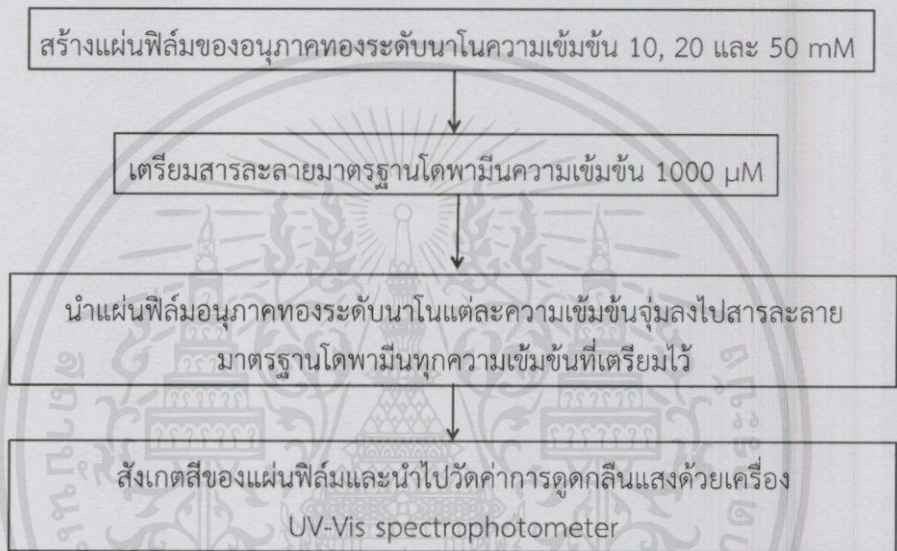
ทำการสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโน ที่เหมาะสมในการสร้างแผ่นฟิล์มซึ่งหาได้จาก การทดลองขั้นที่ 2 จากนั้นนำแผ่นกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวแล้ว มาจุ่มลงในสารละลายอนุภาคของระดับนาโนและตั้งทิ้งไว้ในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer เพื่อศึกษากลศาสตร์การดูดซับของอนุภาคของระดับนาโนบนแผ่นฟิล์ม ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.15



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ และเลือกเวลาที่เหมาะสมในการจุ่มแผ่นกระจก ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดรูปที่ 3.15 แผนผังวิธีการศึกษากลศาสตร์การดูดซับของอนุภาคของระดับนาโนบนแผ่นฟิล์ม

4. ศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโน และสารละลาย โดพามีน

ทำการสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM จากนั้นเตรียมสารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 1000 μM และนำแผ่นฟิล์มที่เตรียมไว้มาจุ่มลงในสารละลายมาตรฐานโดพามีนที่ความเข้มข้นต่างๆ สังเกตสีบนแผ่นฟิล์ม และนำแผ่นฟิล์มไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แผนผังวิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโน

5. วิเคราะห์ผล

1. UV-Vis spectrophotometer

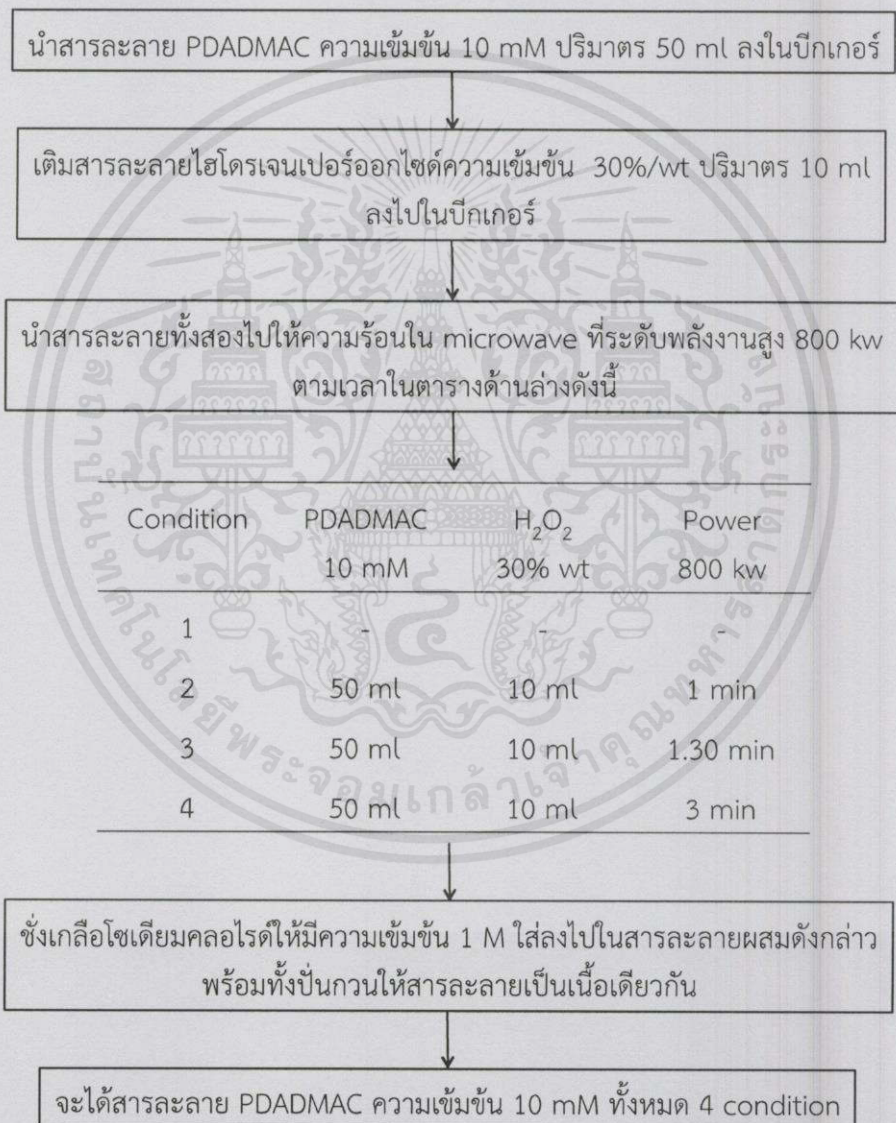
นำแผ่นฟิล์มของอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้นต่างๆที่เตรียมไว้ และแผ่นฟิล์มของอนุภาคทองระดับนาโนที่ผ่านการจุ่มโดพามีน ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยการทำให้แผ่นฟิล์มไปวางไว้ตรงช่องวางตัวอย่างแล้วทำการสแกนสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1000 – 200 nm ที่ละความเข้มข้นตามลำดับ

3.4.5 การเตรียมแผ่นฟิล์มของอนุภาคทองระดับนาโน โดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique) โดยใช้สารปรับสภาพพื้นผิวของ substrate เป็น PDADMAC และไตรโซเดียมซิเตรท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณิใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วิธีการศึกษาหาความเหมาะสมของการลดมวลโมเลกุลของ PDADMAC

เตรียมสารละลาย PDADMAC ความเข้มข้น 10 mM ปริมาตร 50 ml ใส่ลงในบีกเกอร์ จากนั้นเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้น 30%/wt ปริมาตร 10 ml ลงไปในสารละลายเพื่อใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ตัดสายโซ่โมเลกุลของ PDADMAC ให้สั้นลง จากนั้นนำสารละลายผสมไปให้ความร้อนด้วยเครื่องไมโครเวฟที่ระดับพลังงานสูงตามเวลาดังนี้ 0, 1, 1:30 และ 3 นาที ตามลำดับ จากนั้นชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 1 M ใส่ลงไปในสารละลายพร้อมทั้งปั่นจนให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.17

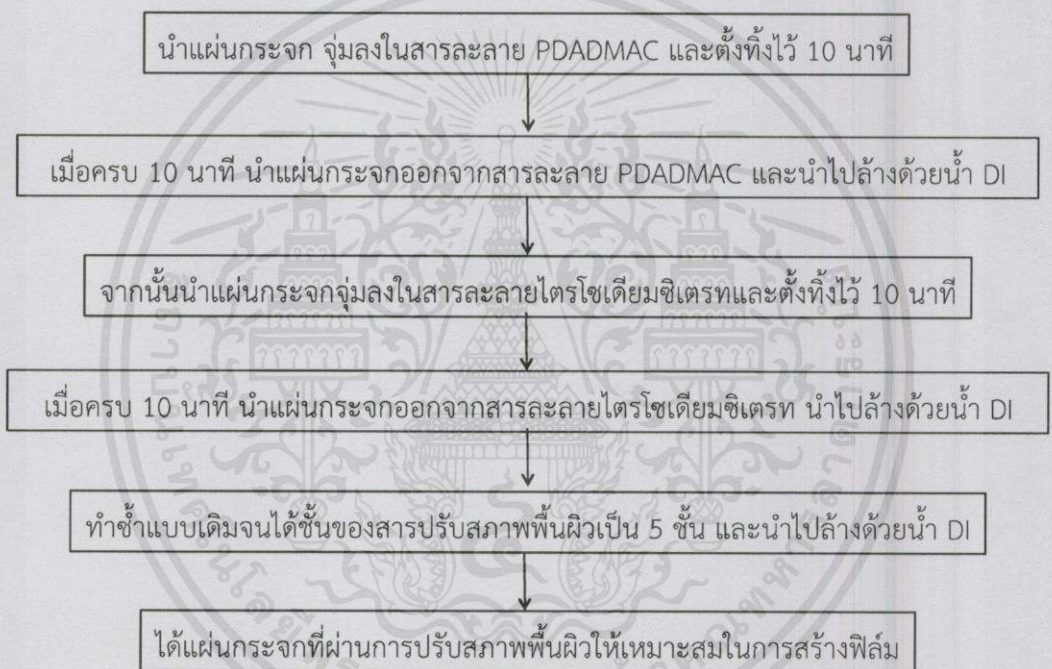


รูปที่ 3.17 แผนผังวิธีการหาความเหมาะสมของสารละลาย PDADMAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วิธีการปรับสภาพพื้นผิวของ substrate

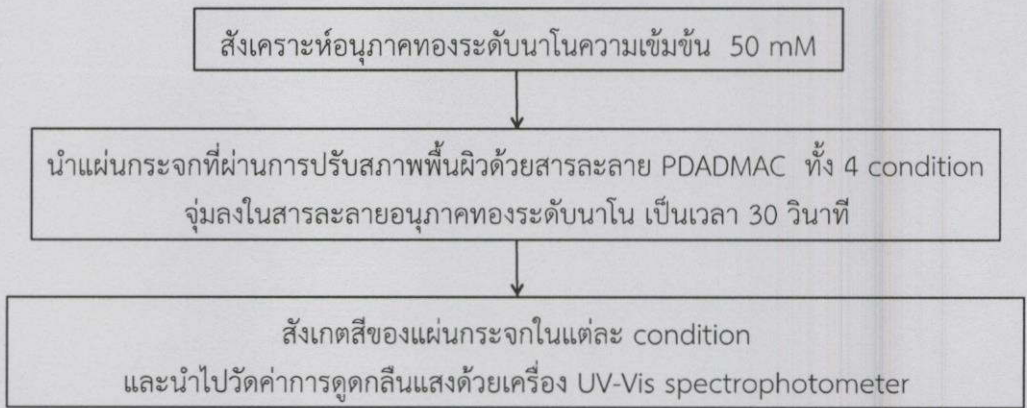
ทำการเตรียมสารละลาย PDADMAC ตามขั้นที่ 1 และเตรียมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 10 mM จากนั้นนำแผ่นกระจกมาจุ่มลงในสารละลาย PDADMAC เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบ 10 นาที ก็นำแผ่นกระจกขึ้นจากสารละลายแล้วนำไปล้างด้วยน้ำ DI ต่อมนำไปจุ่มลงในสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทเป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบ 10 นาที ก็นำแผ่นกระจกขึ้นจากสารละลายแล้วนำไปล้างด้วยน้ำ DI ทำการจุ่มสลับระหว่างสารละลายทั้งสองจนได้จำนวนชั้นเท่ากับ 5 ชั้น จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำ DI เช่นเดิม โดยชั้นสุดท้ายเป็นชั้นของสารละลาย PDADMAC ทำซ้ำเช่นเดิมจนครบทุก condition ของสารละลาย PDADMAC จะได้แผ่นกระจกที่ปรับสภาพพื้นผิวที่เหมาะสมในการสร้างแผ่นฟิล์มต่อไป ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แผนผังวิธีการปรับสภาพพื้นผิวบน substrate ด้วย PDADMAC ที่ปรับสภาพแล้ว

3. วิธีการศึกษาความเหมาะสมของการสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนบนแผ่นกระจกที่ใช้สารปรับสภาพพื้นผิวต่างชนิดกัน

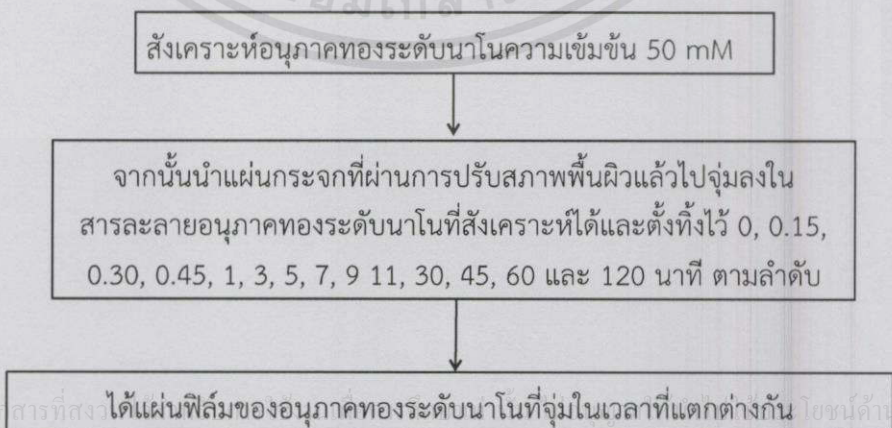
ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM จากนั้นนำแผ่นกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลาย PDADMAC ทั้ง 4 condition จุ่มลงในอนุภาคทองระดับนาโนเป็นเวลา 30 วินาที สังเกตสีของแผ่นกระจกในแต่ละ condition และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.19 โดยทั้งสี และทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 แผนผังวิธีการศึกษาความเหมาะสมของการสร้างแผ่นฟิล์มที่ใช้สารปรับสภาพพื้นผิวต่างชนิดกัน

4. วิธีการศึกษากลศาสตร์การดูดซับของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนบนแผ่นฟิล์ม

เลือกแผ่นกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวที่เหมาะสมในการสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนจากขั้นตอนที่ 3 มา 3 condition ดังนี้ condition 1, condition 2 และ condition 4 มาศึกษากลศาสตร์การดูดซับของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนและนำผลจากการศึกษาทั้ง 3 condition มาเปรียบเทียบกัน โดยทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM จากนั้นนำแผ่นกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวใน condition ต่างๆ จุ่มลงในสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ตามเวลาดังนี้ 0, 0.15, 0.30, 0.45, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 30, 45, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ ได้แผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน นำแผ่นฟิล์มไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer และเลือกเวลาที่เหมาะสมในการสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโน ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer
และเลือกเวลาที่เหมาะสมในการจุ่มแผ่นกระจก

รูปที่ 3.20 แผนผังวิธีการศึกษาการดูดซับของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนบน
แผ่นฟิล์ม

5. วิธีการศึกษาหาความเหมาะสมของจำนวนชั้นในการสร้างแผ่นฟิล์ม

เลือกแผ่นกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวที่เหมาะสมในการสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนจากขั้นตอนที่ 3 มา 3 condition ดังนี้ condition 1, condition 2 และ condition 4 มาศึกษาหาความเหมาะสมของจำนวนชั้นในการสร้างแผ่นฟิล์มของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนและนำผลจากการศึกษาทั้ง 3 condition มาเปรียบเทียบกัน โดยทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM จากนั้นนำแผ่นกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวใน condition ต่างๆ จุ่มลงในสารละลายทองทิ้งไว้ 15 วินาที จากนั้นนำมาจุ่มลงในสารละลาย PDADMAC แต่ละ condition เป็นเวลา 10 นาที และทำการจุ่มสลับระหว่างสารละลายทั้ง 2 ชนิด ให้ได้จำนวนชั้นเป็น 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 และ 15 ชั้น จากนั้นนำแผ่นฟิล์มไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer และทำการเลือกจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการสร้างแผ่นฟิล์ม ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.21

สังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM

จากนั้นนำแผ่นกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวแล้วไปจุ่มลงในสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้และตั้งทิ้งไว้ 15 วินาที จากนั้นไปจุ่มลงในสารละลาย PDADMAC ในแต่ละ condition เป็นเวลา 10 นาที

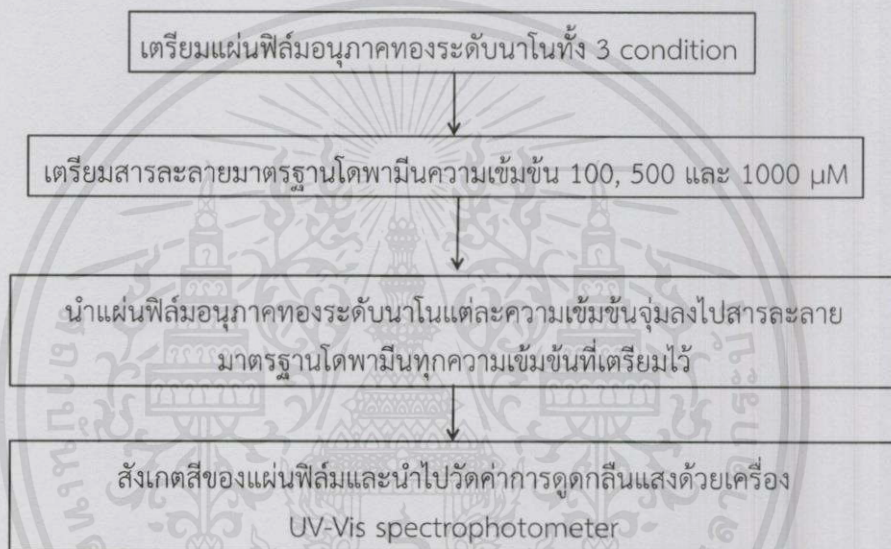
ทำการจุ่มสลับระหว่างสารละลายทั้งสองให้ได้จำนวนชั้นเป็น 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 และ 15 ชั้น

นำแผ่นฟิล์มไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer
และเลือกจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการสร้างแผ่นฟิล์ม

รูปที่ 3.21 แผนผังวิธีการศึกษาหาความเหมาะสมของจำนวนชั้นในการสร้างแผ่นฟิล์ม

6. วิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนบนแผ่นฟิล์มและสารละลายโดพามีน

เลือกแผ่นฟิล์มที่สร้างจากแผ่นกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวที่เหมาะสม จากขั้นตอนที่ 3 มา 3 condition ดังนี้ condition 1, condition 2 และ condition 4 มาศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายโดพามีน แล้วนำผลจากการศึกษาทั้ง 3 condition มาเปรียบเทียบกัน โดยทำการนำแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่เตรียมไว้ ไปจุ่มลงในสารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 100, 500 และ 1000 μM ตามลำดับสังเกตสีของแผ่นฟิล์ม และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ซึ่งสามารถแสดงการทดลองดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แผนผังวิธีการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโน และสารละลายโดพามีน

7. วิเคราะห์ผล

1. UV-Vis spectrophotometer

นำแผ่นฟิล์มของอนุภาคทองระดับนาโนที่เตรียมไว้ทั้งในการศึกษาความเหมาะสมของจำนวนชั้นและการศึกษากลศาสตร์การดูดซับ พร้อมด้วยแผ่นฟิล์มของอนุภาคทองระดับนาโนที่ผ่านการจุ่มโดพามีน ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยการทำให้แผ่นฟิล์มไปวางไว้ตรงช่องวางตัวอย่างแล้วทำการสแกนสเปกตรัมที่ความยาวคลื่น 1000 – 200 nm ที่ละความเข้มข้นตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีให้นำไปใช้

2. Atomic Force Microscope (AFM)

นำแผ่นฟิล์มของอนุภาคของระดับนาโนที่สร้างจากสารปรับสภาพพื้นผิวในแต่ละ condition ไปตรวจวัดลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม เพื่อศึกษาความแตกต่างและจำนวนชั้นของพื้นผิวของแผ่นฟิล์ม

3. X-ray Diffractometer (XRD)

นำแผ่นฟิล์มของอนุภาคของระดับนาโนที่สร้างจากสารปรับสภาพพื้นผิวในแต่ละ condition ไปทำการตรวจวัดลักษณะทางสัณฐานของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง XRD เพื่อศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของแผ่นฟิล์มอนุภาคของระดับนาโนที่แตกต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

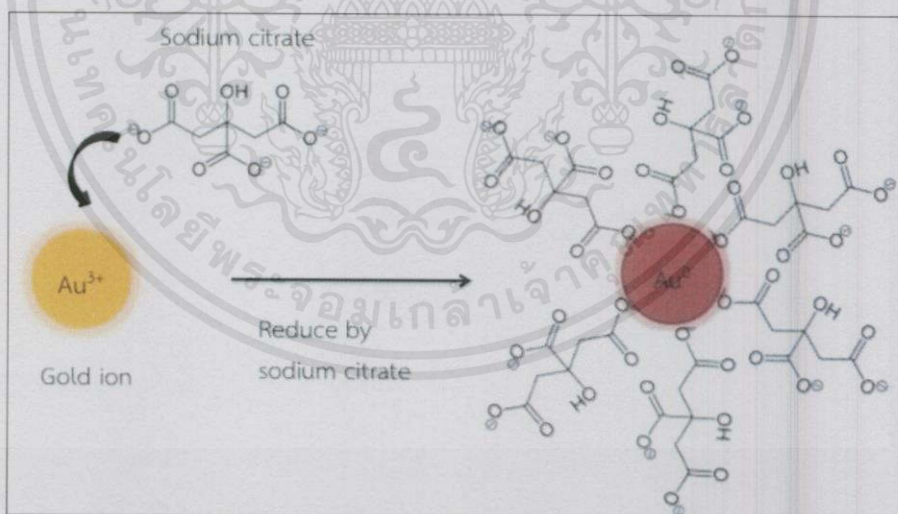
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากผลการศึกษาสามารถอภิปรายและวิจารณ์ผลการทดลองการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนด้วยวิธีของเทอร์เควิช (Turkevich method) เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ในการหาปริมาณโดพามีน ซึ่งมีรายละเอียดของผลการทดลองและวิจารณ์ผลแต่ละหมวดหมู่ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนด้วยวิธีของเทอร์เควิช (Turkevich method) มาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน ซึ่งกระบวนการจะอาศัยการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของไตรโซเดียมซิเตรทที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และเป็นสารรักษาเสถียรภาพภายใต้การควบคุมอุณหภูมิในช่วง 80 °C แล้วสังเกตสีของสารละลายโดยสารละลายจะเปลี่ยนสีจากเหลืองไปเป็นสีแดงอมน้ำ จากนั้นจะได้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนเพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ต่อไป ซึ่งสามารถแสดงกลไกการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนดังรูปที่ 4.1



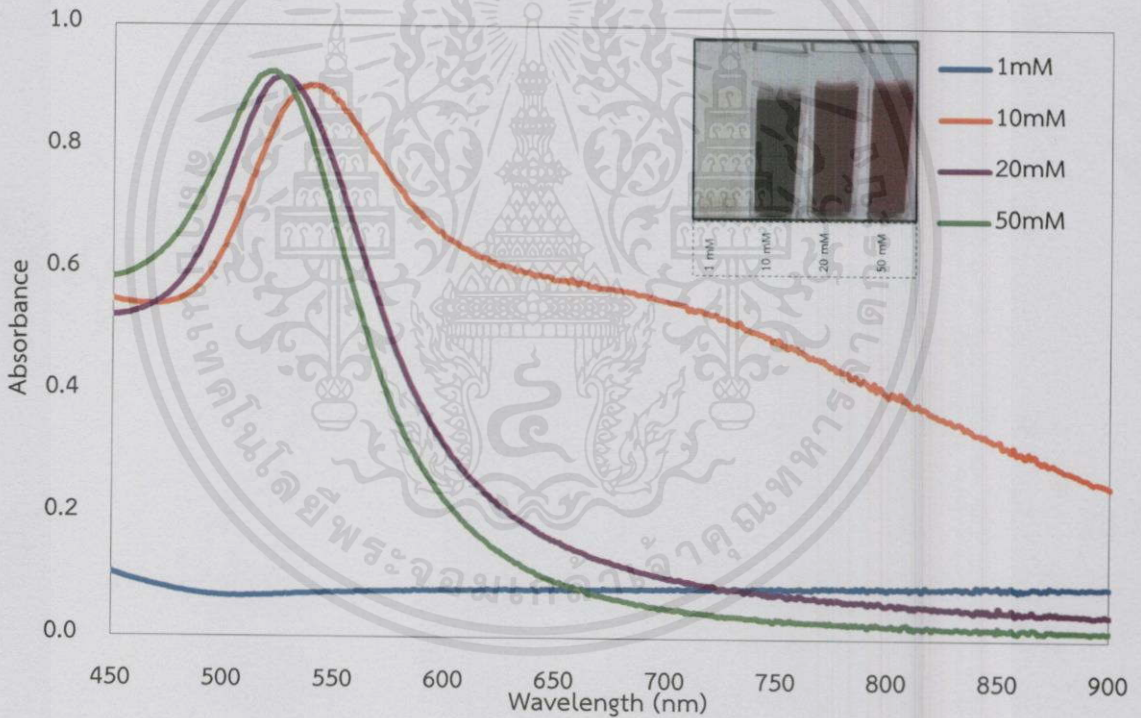
รูปที่ 4.1 แผนภาพการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน

จากรูปที่ 4.1 กลไกการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน โดยเริ่มจากไตรโซเดียมซิเตรทเมื่ออยู่ในรูปสารละลายจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออน ได้เป็นซิเตรทไอออน แล้วซิเตรทไอออนจะเข้าไปรีดิวซ์ไอออนของทองที่มีประจุบวกสามในสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเรท ให้เป็นทองที่เป็น

กลางทางไฟฟ้า จากนั้นซิเตรทไอออนที่หลีกเลี่ยงการเกิดปฏิกิริยารีดักชันก็เข้าไปล้อมจับกับอนุภาคทองดังรูปที่ 4.1 ประจุลบบนซิเตรทไอออนแต่ละตัวจะเกิดแรงผลักกัน ซึ่งแรงผลักของซิเตรทไอออนจะเกิดมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซิเตรทไอออนนั้นๆ หากความเข้มข้นของซิเตรทไอออนสูง แรงผลักก็จะสูงส่งผลให้อนุภาคทองระดับนาโนมีขนาดเล็ก และในทางตรงกันข้ามหากความเข้มข้นของซิเตรทไอออนต่ำ แรงผลักก็จะน้อยส่งผลให้อนุภาคทองระดับนาโนมีขนาดใหญ่

4.1.1 การศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรท

อิทธิพลของความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรทที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพ ในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน สามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรทที่ทำการศึกษาคือที่ความเข้มข้น 1, 10, 20 และ 50 mM ซึ่งผลการศึกษาดังรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทความเข้มข้น 1, 10, 20 และ 50 mM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนแสงร่วมกับสีของสารละลายของอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 1 mM พบว่าไม่เพียงพอต่อการรีดิวซ์สารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเรทให้เป็นอนุภาคทองระดับนาโน และยังไม่มีเพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคทองระดับนาโน จึงไม่มีการแสดงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นในช่วงแสงที่มองเห็นได้ (Visible light) สำหรับค่าการดูดกลืนแสงและสีของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM พบว่าเพียงพอต่อการรีดิวซ์สารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเรทให้เป็นอนุภาคทองระดับนาโนและเพียงพอต่อการคงตัวของอนุภาคทองระดับนาโน แต่ขนาดของอนุภาคทองระดับนาโนจะมีขนาดเล็กใหญ่แตกต่างกันไป ขึ้นกับความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรท โดยสังเกตจากสีของสารละลายและลักษณะของสเปกตรัมที่มีการ shift แบบ blue shift กล่าวคือ เมื่อความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพเพิ่มขึ้น การดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่สูงที่สุดจะลดลงเป็นลำดับ โดยจะเห็นได้จากตารางที่ 4.1 ความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของอนุภาคทองระดับนาโนเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM ที่ดูดกลืนแสง จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ที่ 538, 525 และ 522 nm ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีเซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) ดังนี้ ปรากฏการณ์เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) คือปรากฏการณ์เชิงแสงซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอิเล็กตรอนที่อยู่ในโลหะระดับนาโน เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกมาตกกระทบโลหะ กลุ่มอิเล็กตรอนที่อยู่ในโลหะระดับนาโนจะเกิดการสั่น โดยอันตรกิริยาที่แสงจะตกกระทบโลหะเกิดได้สองแบบ คือ แสงจะตกกระทบและสะท้อนออกไปด้วยความยาวคลื่นเท่าเดิมทุกทิศทาง เรียกว่าการกระเจิงแสง และในขณะเดียวกัน บางโฟตอนจะถูกดูดกลืนและถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานการสั่น โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างระดับนาโนของทองจะเกิดทั้งกระบวนการกระเจิงแสงและการดูดกลืน ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคนาโน โดยอนุภาคทองระดับนาโนที่มีรูปร่างแบบทรงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 nm ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 520 nm ซึ่งจะให้สีแดงอมงุ่น

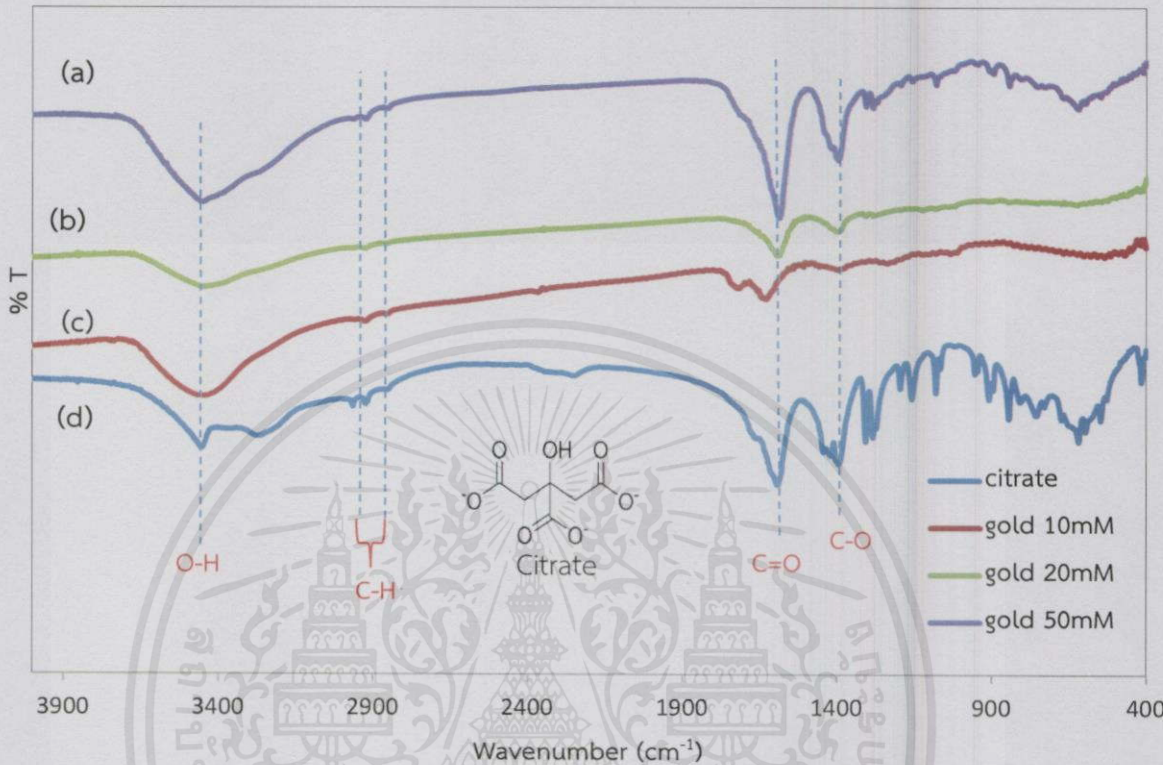
ตารางที่ 4.1 แสดงความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM

ความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรท (mM)	ความยาวคลื่นสูงสุด (λ_{max}), (nm)
10	540
20	525
50	522

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อยืนยันการประสบความสำเร็จในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน สามารถอธิบายด้วย FTIR ในการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สเปกตรัม FTIR ของ (a) อนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรตเข้มข้น 50 mM, (b) อนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรตเข้มข้น 20 mM, (c) อนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรตเข้มข้น 10 mM และ (d) สารละลายซิเตรต

จากการวิเคราะห์หาโครงสร้างของอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์โดยไตรโซเดียมซิเตรตความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM ด้วยเครื่อง FTIR สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.3

จากรูปที่ 4.3 สเปกตรัมที่ปรากฏในช่วงความยาวคลื่น 1405 และ 1610 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดและหด (stretching) ของพันธะ C-O และพันธะ C=O ตามลำดับ ซึ่งเป็นการสั่นในหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิก (COO) ในช่วงความยาวคลื่น 2972 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดและหด (stretching) ของพันธะ C-H และในช่วงความยาวคลื่น 3480 cm^{-1} เป็นลักษณะการสั่นแบบยืดและหด (stretching) ของพันธะ O-H ซึ่งเป็นการสั่นในหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิก (COO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.3 เมื่อนำสเปกตรัมของอนุภาคทองระดับนาโนทั้ง 3 ความเข้มข้น (a), (b) และ (c) มาเปรียบเทียบกับโครงสร้างของไตรโซเดียมซิเตรท (d) จะเห็นได้ว่ามีสเปกตรัมของโครงสร้างที่ตรงกันคือ สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันของกรดคาร์บอกซิลิก (COO⁻) ของไตรโซเดียมซิเตรทบริสุทธิ์ จึงสามารถยืนยันได้ว่าสารที่สังเคราะห์คืออนุภาคทองระดับนาโน

เพื่อยืนยันผลความสัมพันธ์ระหว่างตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพที่ความเข้มข้นสูงซึ่งจะส่งผลให้อนุภาคทองระดับนาโนเล็กลงตามลำดับ สามารถอธิบายได้ด้วยการวัดค่าศักย์ซีต้า วิเคราะห์ประจุของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิเตรททั้ง 3 ความเข้มข้นเปรียบเทียบกัน ผลการวิเคราะห์ประจุได้ดังรูปที่ 4.4

Concentration (mM)	Zeta potential (mV)			Average (mV)
	No.1	No.2	No.3	
10	-43.70	-43.50	-43.70	-43.63
20	-49.50	-49.00	-49.20	-49.23
50	-59.90	-58.40	-58.00	-58.77

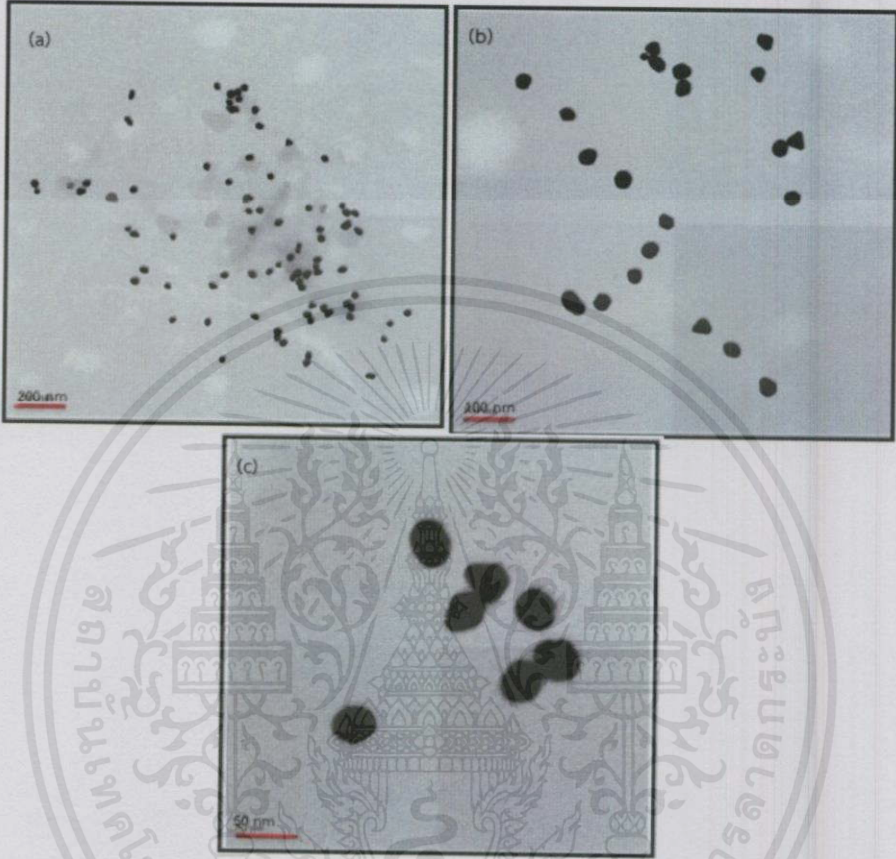
รูปที่ 4.4 แสดงค่าศักย์ไฟฟ้าซีต้าของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน

จากค่าศักย์ซีต้าของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีของเทอร์เควิช (Turkevich Method) นั้นมีค่าติดลบ สามารถอธิบายได้ว่าอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ถูกเคลือบด้วยประจุลบ (anion) ของไตรโซเดียมซิเตรท จึงทำให้ค่าศักย์ซีต้าของอนุภาคทองระดับนาโนมีประจุลบ ตามคุณสมบัติของสารรักษาเสถียรภาพ ซึ่งผลค่าศักย์ซีต้าของอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM มีค่าเท่ากับ -43.63, -49.23 และ -58.77 mV ตามลำดับ โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพเพิ่มขึ้น สภาพความเป็นประจุลบของสารละลายก็มากขึ้น แสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพสูงๆ จะมีผลทำให้ขนาดของอนุภาคทองระดับนาโนเล็กลง เนื่องจากอนุภาคถูกล้อมรอบด้วยประจุลบของสารรักษาเสถียรภาพได้มาก ดังเห็นได้จากผลของค่าศักย์ซีตาดังกล่าว

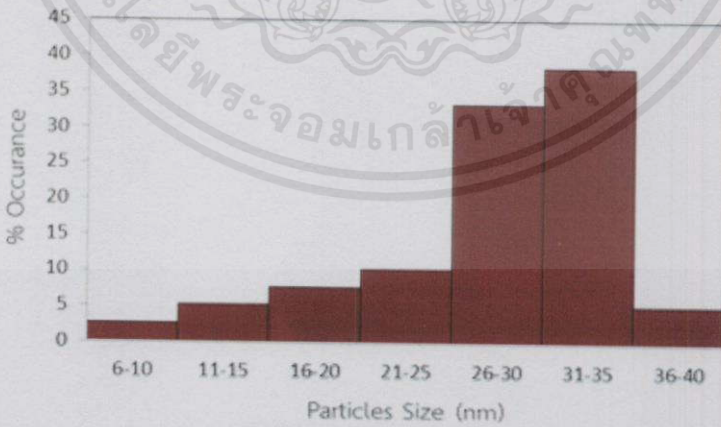
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อยืนยันขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคทองระดับนาโน จะสามารถอธิบายได้ด้วยการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคของอนุภาคทองระดับนาโนด้วยเครื่อง TEM ดังแสดงในรูปที่ 4.5, 4.6 และ 4.7

A



B

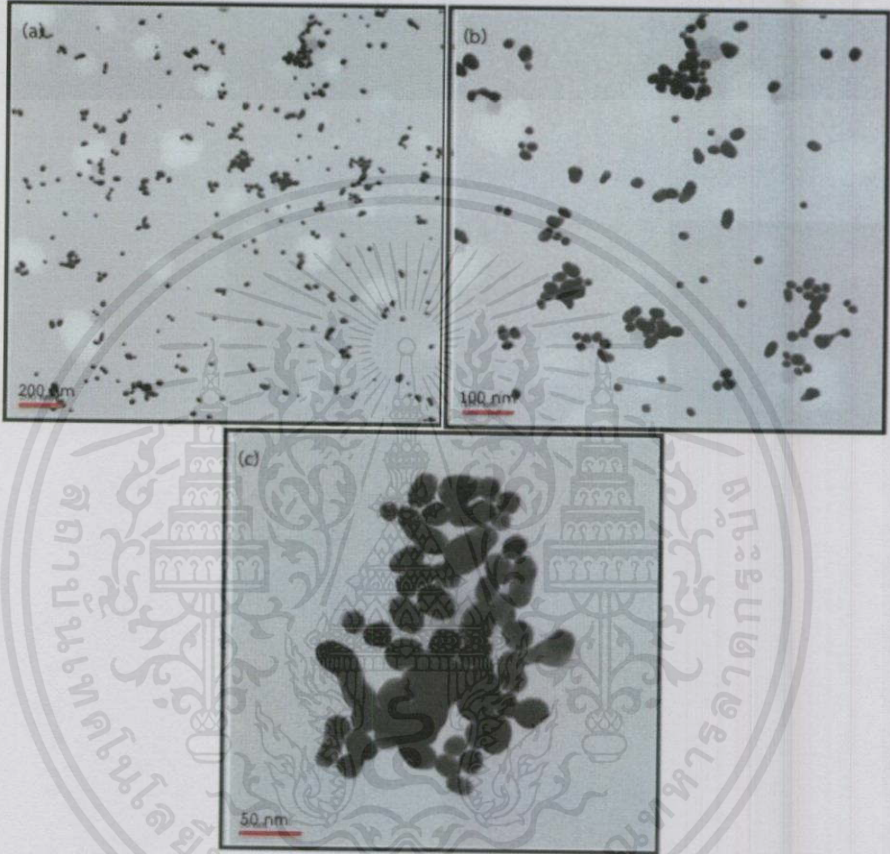


รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM (A)

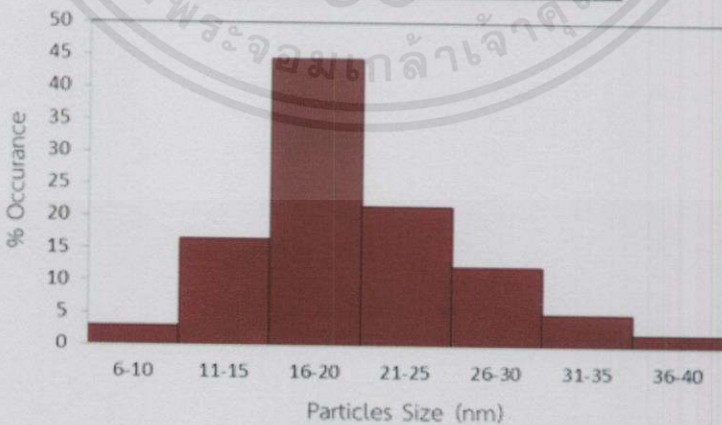
กำลังขยาย 11500X (a), กำลังขยาย 25000X (b) และกำลังขยาย 62000X (c) และกราฟ
 แสดงขนาดเฉลี่ยของอนุภาคทองระดับนาโน (B) ที่เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 (A) แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมไซเตรตความเข้มข้น 10 mM จากอนุภาคที่มีการกระจายตัวเมื่อนำมาหาขนาดเฉลี่ยจะสามารถเห็นได้ดังกราฟแสดงขนาดเฉลี่ยของอนุภาคทองระดับนาโน รูปที่ 4.5 (B) ซึ่งสรุปได้ว่าอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมไซเตรตความเข้มข้น 10 mM จะมีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคอยู่ที่ 31-35 nm

A

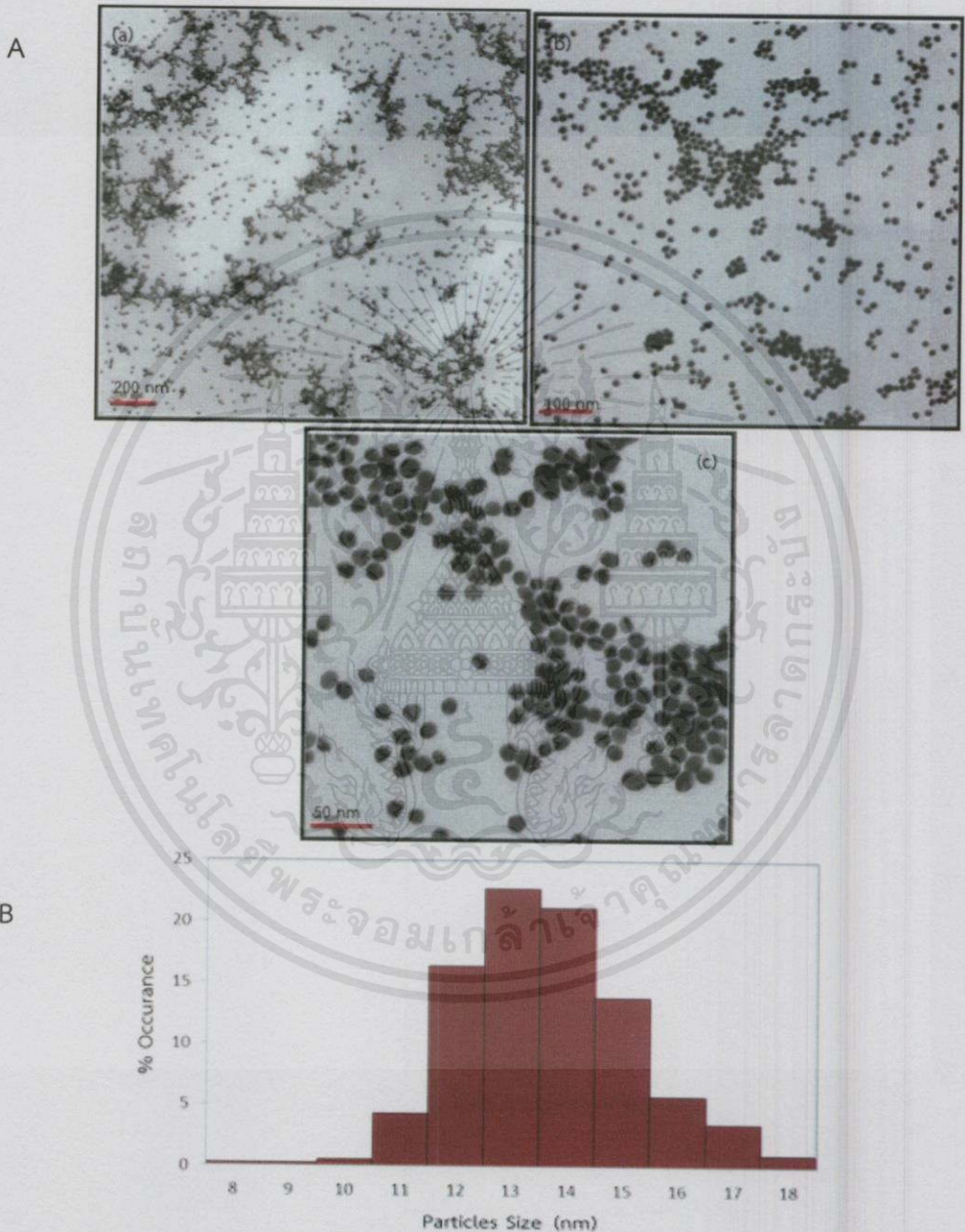


B



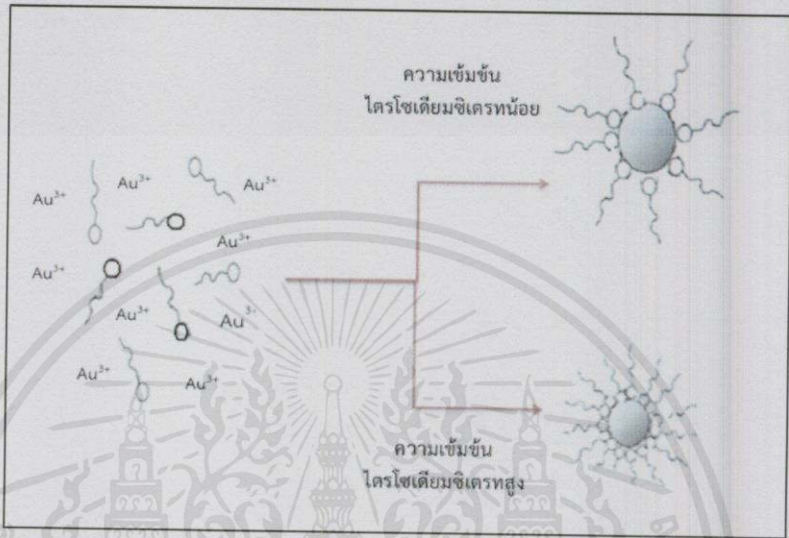
รูปที่ 4.6 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไซเตรตเข้มข้น 20 mM (A) การถ่ายภาพที่ 11500X (a), ที่ 25000X (b) และที่ 62000X (c) และกราฟแสดงขนาดเฉลี่ยของอนุภาคทองระดับนาโน (B)

จากรูปที่ 4.6 (A) แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมไซเตรตความเข้มข้น 20 mM จากอนุภาคที่มีการกระจายตัวเมื่อนำมาหาขนาดเฉลี่ยจะสามารถเห็นได้ดังกราฟแสดงขนาดเฉลี่ยของอนุภาคทองระดับนาโน รูปที่ 4.6 (B) ซึ่งสรุปได้ว่าอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมไซเตรตความเข้มข้น 20 mM จะมีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคอยู่ที่ 16-20 nm



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไซเตรตเข้มข้น 50 mM (A) เอกสารนี้เป็นเอกสารกำลังขยาย 11500X (a), กำลังขยาย 25000X (b) และกำลังขยาย 62000X (c) และกราฟที่ 4.7 (B) แสดงขนาดเฉลี่ยของอนุภาคทองระดับนาโน (B) ซึ่งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 (A) แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 50 mM จากอนุภาคที่มีการกระจายตัวเมื่อนำมาหาขนาดเฉลี่ยจะสามารถเห็นได้ดังกราฟแสดงขนาดเฉลี่ยของอนุภาคทองระดับนาโน รูปที่ 4.7 (B) ซึ่งสรุปได้ว่าอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 50 mM จะมีขนาดเฉลี่ยของอนุภาคอยู่ที่ 13-14 nm



รูปที่ 4.8 ขนาดของอนุภาคทองระดับนาโนเมื่อไอออนของซิเตรทเข้าทำปฏิกิริยา

จากรูปที่ 4.8 สามารถอธิบายได้ว่า เมื่ออนุภาคระดับนาโนถูกล้อมรอบด้วยไอออนที่มีความแรงมากๆ หรือความเข้มข้นสูง อนุภาคระดับนาโนจะถูกบีบอัดทำให้มีขนาดของอนุภาคเล็กลง ซึ่งการทดลองและวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM มีผลการวิเคราะห์ที่สอดคล้องกัน คืออนุภาคทองระดับกับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิเตรทที่มีความเข้มข้นสูงสุดคือ 50 mM มีขนาดอนุภาคเล็กสุด ซึ่งมีขนาดเฉลี่ยที่ 13-14 nm ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และความเข้มข้น 20 mM มีขนาดอนุภาคใหญ่ขึ้น ซึ่งมีขนาดเฉลี่ยที่ 16-20 nm ดังแสดงในรูปที่ 4.6 สุดท้ายที่ความเข้มข้น 10 mM มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด ซึ่งมีขนาดเฉลี่ย 31-35 nm ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และสามารถสรุปขนาดของอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิเตรททั้ง 3 ความเข้มข้น ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงขนาดของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรททั้ง 3 ความเข้มข้น

อนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น (mM)	ขนาดเฉลี่ยของอนุภาคทองระดับนาโน (nm)
10	31-35
20	16-20
50	13-14

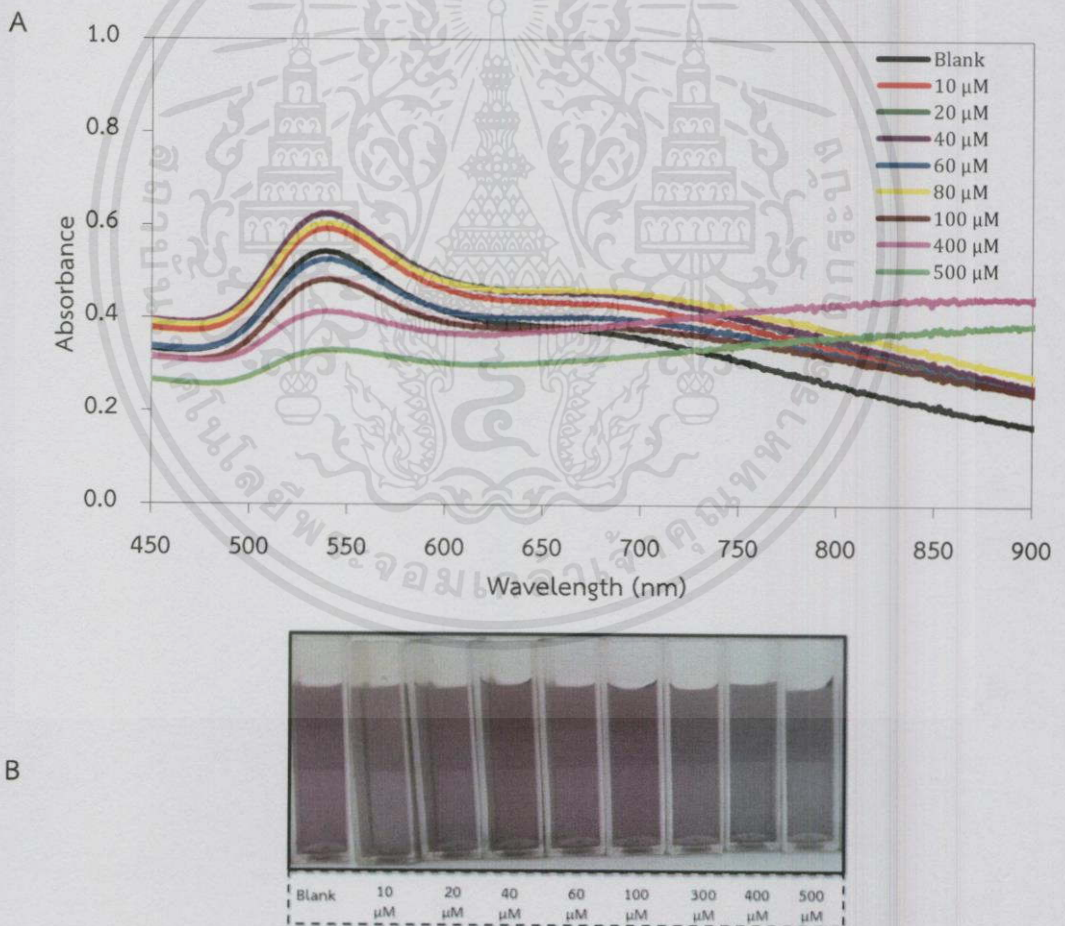
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการเผยแพร่

4.2 ผลการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายมาตรฐานโดพามีน

สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีของเทอร์เควิช (Turkevich Method) จะให้สีของสารละลายเป็นโทนสีแดงที่แตกต่างกัน ตามความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพ ซึ่งผลของการนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ก็จะให้ผลที่แตกต่างกันตามลักษณะของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ เช่นกัน โดยผลการศึกษาที่มีดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 10 mM และสารละลายมาตรฐานโดพามีน

ทำได้โดยการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 10 mM และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของโดพามีนที่ความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ดังแสดงในรูปที่ 4.9

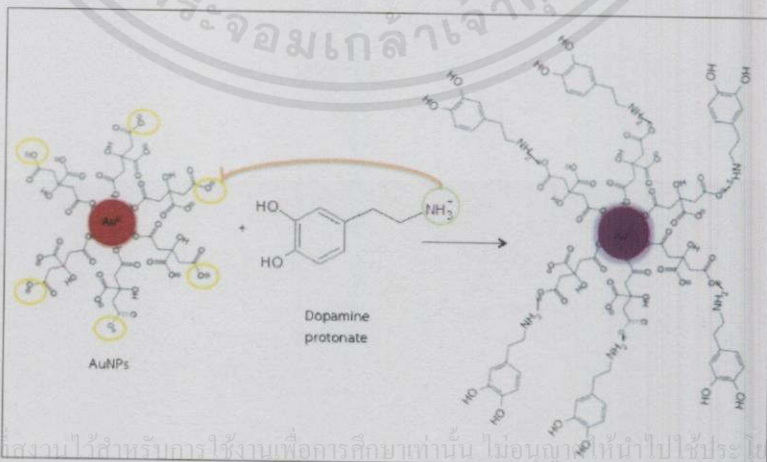


รูปที่ 4.9 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM ที่ประยุกต์ใช้ไม่มากเป็นตัวรับรู้สารละลายโดพามีนความเข้มข้น 10-500 μM (A) และสีของสารละลาย (B) นำไปใช้

ผลการศึกษารูปที่ 4.9 พบว่าสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีของเทอร์เควิช (Turkevich Method) โดยใช้ไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 10 mM เป็นตัวรีดิวซ์ และสารรักษาเสถียรภาพ มีการเปลี่ยนแปลงสีที่สามารถสังเกตเห็นได้โดยเปลี่ยนแปลงจากสีชมพูม่วง กลายเป็นสีม่วงน้ำเงิน ที่ความเข้มข้นของสารละลายโดพามีน 400 μM เป็นต้นไป

และจากรูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย โดยสีของสารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเพราะโดพามีนสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโน ที่อยู่ในสารละลายเกิดเป็นสารประกอบในรูป $[\text{AuCOO}^- \cdot \text{NH}_3^+]$ ด้วยโครงสร้างของโดพามีนที่มีขนาดใหญ่เมื่อเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโน ส่งผลให้สารประกอบที่เกิดขึ้นมีโครงสร้างขนาดใหญ่ตามไปด้วย และด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้สีที่ปรากฏมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสมบัติทางแสงของอนุภาคทองระดับนาโนจะมีการเปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับขนาดและรูปร่างของมัน

สำหรับการออกแบบเซนเซอร์ชนิดใช้แสง (Optical sensor) การติดตามการเปลี่ยนแปลงการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่จำเพาะเจาะจงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ในกรณีนี้จะอธิบายการสร้างตัวรับรู้ของอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 10 mM เป็นสารละลายเสถียรภาพ (จากรูปที่ 4.9) โดยพบว่าอนุภาคทองระดับนาโนดังกล่าวสามารถที่จะเปลี่ยนสีเมื่อเกิดปฏิกิริยากับสารละลายโดพามีน โดยสีที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจะเปลี่ยนจากสีชมพูม่วง $[\text{Au-COO}^-]$ เป็นสีม่วงน้ำเงิน $[\text{AuCOO}^- \cdot \text{NH}_3^+]$ ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 4.10 โดยจะพบว่าสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนดังกล่าวที่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายโดพามีนจะแสดงพีคของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 539 และ 691 nm โดยความยาวคลื่นที่ 539 nm จะเป็นพีคของการดูดกลืนแสงของ $[\text{Au-COO}^-]$ และที่ความยาวคลื่น 691 nm เป็นพีคของการดูดกลืนแสงของ $[\text{AuCOO}^- \cdot \text{NH}_3^+]$ ซึ่งในการศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีนก็จะใช้ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ 539 และ 691 nm ในการติดตามผลต่อไป [69]



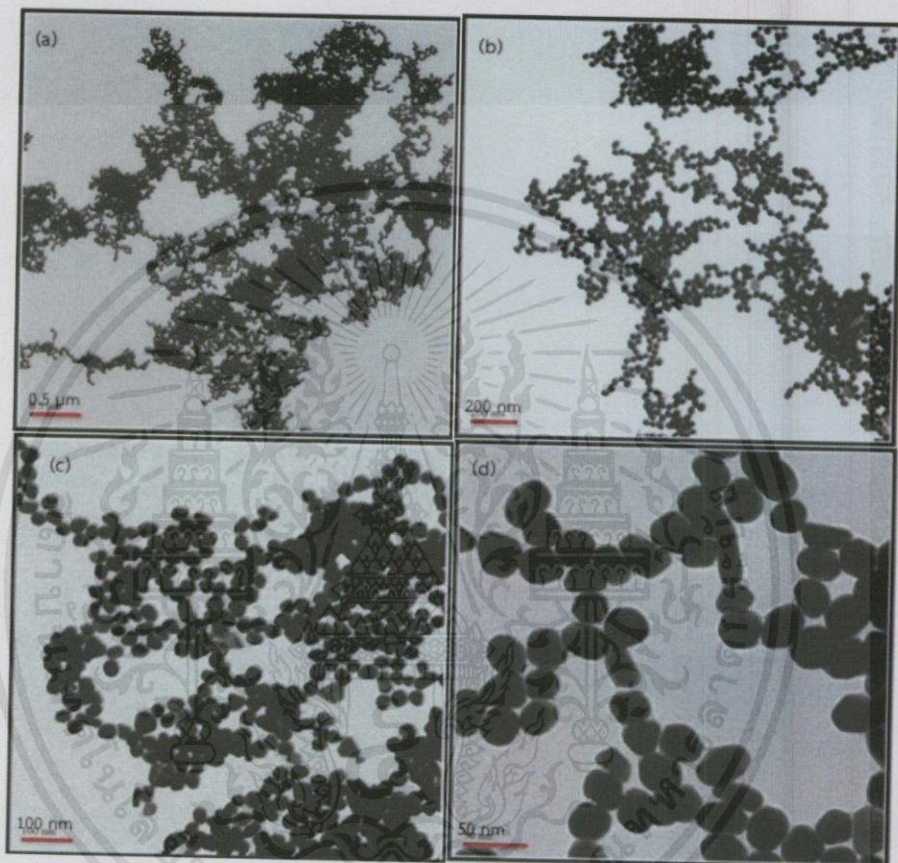
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 กลไกการเกิดปฏิกิริยาของสารละลายอนุภาคทองกับสารละลายโดพามีน

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 10 mM เป็นตัวรับรู้ สามารถตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนได้ตั้งแต่ความเข้มข้น 400 μM เป็นต้นไป

เพื่อยืนยันการรวมตัวของอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายโดพามีน จะสามารถอธิบายได้ด้วยการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยเครื่อง TEM ดังแสดงในรูปที่ 4.11



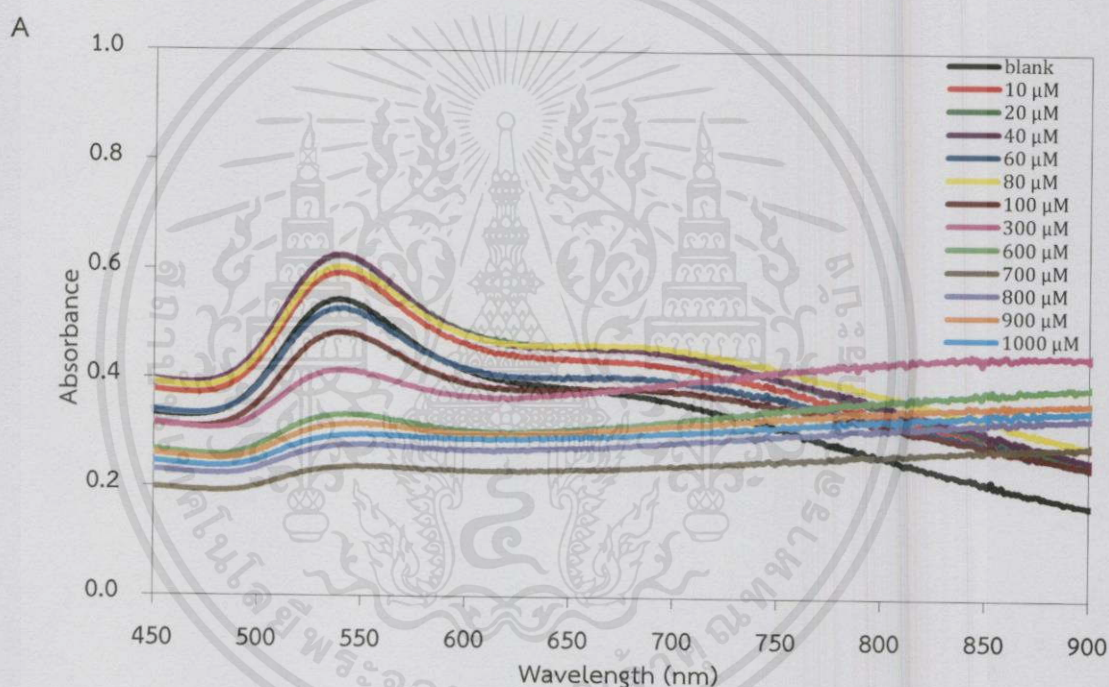
รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของสารละลายผสมของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM และสารละลายโดพามีน กำลังขยาย 5000X (a), 11500X (b), กำลังขยาย 25000X (c) และกำลังขยาย 62000X (d)

จากรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นการกระจายตัวของอนุภาคของสารละลายผสม โดยจะเห็นว่าอนุภาคของสารละลายมีการเกาะกลุ่มและรวมตัวกันมีลักษณะเป็นร่างแห ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายโดพามีน

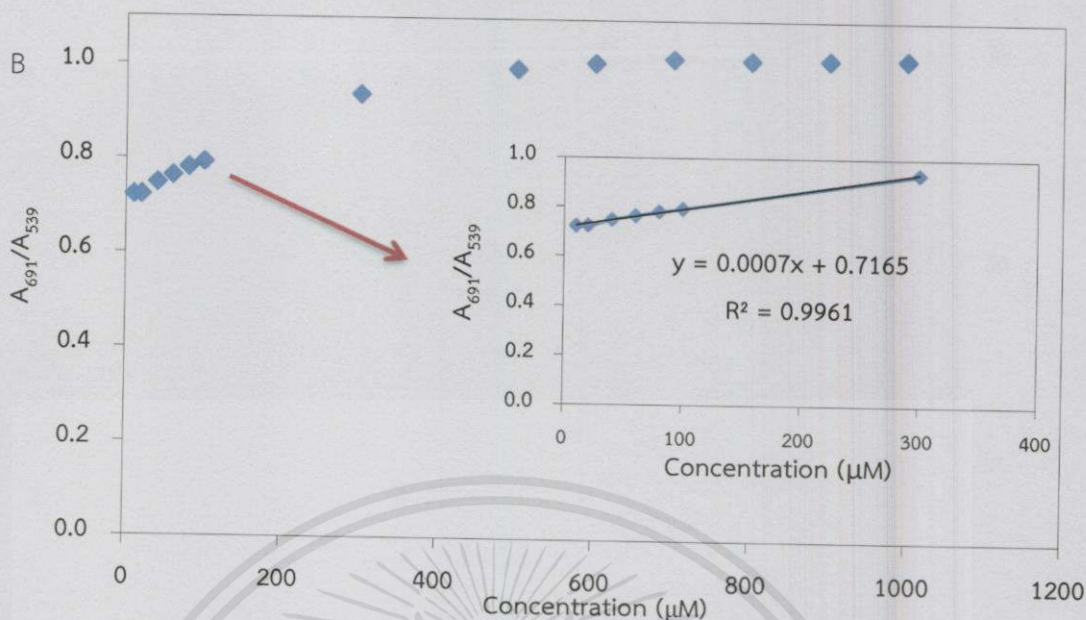
เพื่อศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีนด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หลายคุณลักษณะด้วยกัน ดังนี้

1. ผลการศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

การศึกษาความเป็นเส้นตรงทำได้โดยศึกษาผลของปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายมาตรฐานโดพามีน มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยใช้สารละลายมาตรฐานโดพามีนในช่วงความเข้มข้น 10-1000 μM จากนั้นนำผลค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 539 และ 691 nm มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 691 nm ต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 539 nm กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโดพามีน จากนั้นทำการเลือกช่วงอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นที่แสดงแนวโน้มความเป็นเส้นตรง ไปสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อหาสมการเส้นตรงต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.12



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM ที่ประยุกต์เป็นตัวรับรู้สารละลายโดพามีน (A) และกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นต่างๆของสารละลาย (B)

จากรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโดพามีนในช่วงความเข้มข้น 10 – 300 μM มาสร้างกราฟมาตรฐานจะได้สมการเส้นตรง $y = 0.0007x + 0.7165$ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9961 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

2. ผลการศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Limit of Detection ; LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (Limit of Quantitation)

ค่า LOD และ LOQ ศึกษาโดยการนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 10, 20, 40, 60, 80, 100 และ 300 μM มาตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานจะได้สมการเส้นตรง $y = 0.0007x + 0.7165$ จากกราฟมาคำนวณหาค่า LOD และ LOQ เมื่อ blank มีสัญญาณ ซึ่งได้ค่า $\text{LOD} = 63.42 \mu\text{M}$ และค่า $\text{LOQ} = 211.43 \mu\text{M}$ ดังแสดงในภาคผนวก ข (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการศึกษาค่าร้อยละของการวิเคราะห์การคืนกลับ (Recovery)

ค่าร้อยละของการวิเคราะห์การคืนกลับ (Recovery) ศึกษาโดยเตรียมสารละลายมาตรฐานโดพามีนที่ความเข้มข้น 300, 500, 700, 900 และ 1000 μM เติมลงในตัวอย่างแล้วตรวจวัดด้วยอนุภาคของระดับนาโน และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำผลที่ได้ไปคำนวณค่าร้อยละของการวิเคราะห์การคืนกลับ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับได้ (%Recovery) ของอนุภาคของที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM

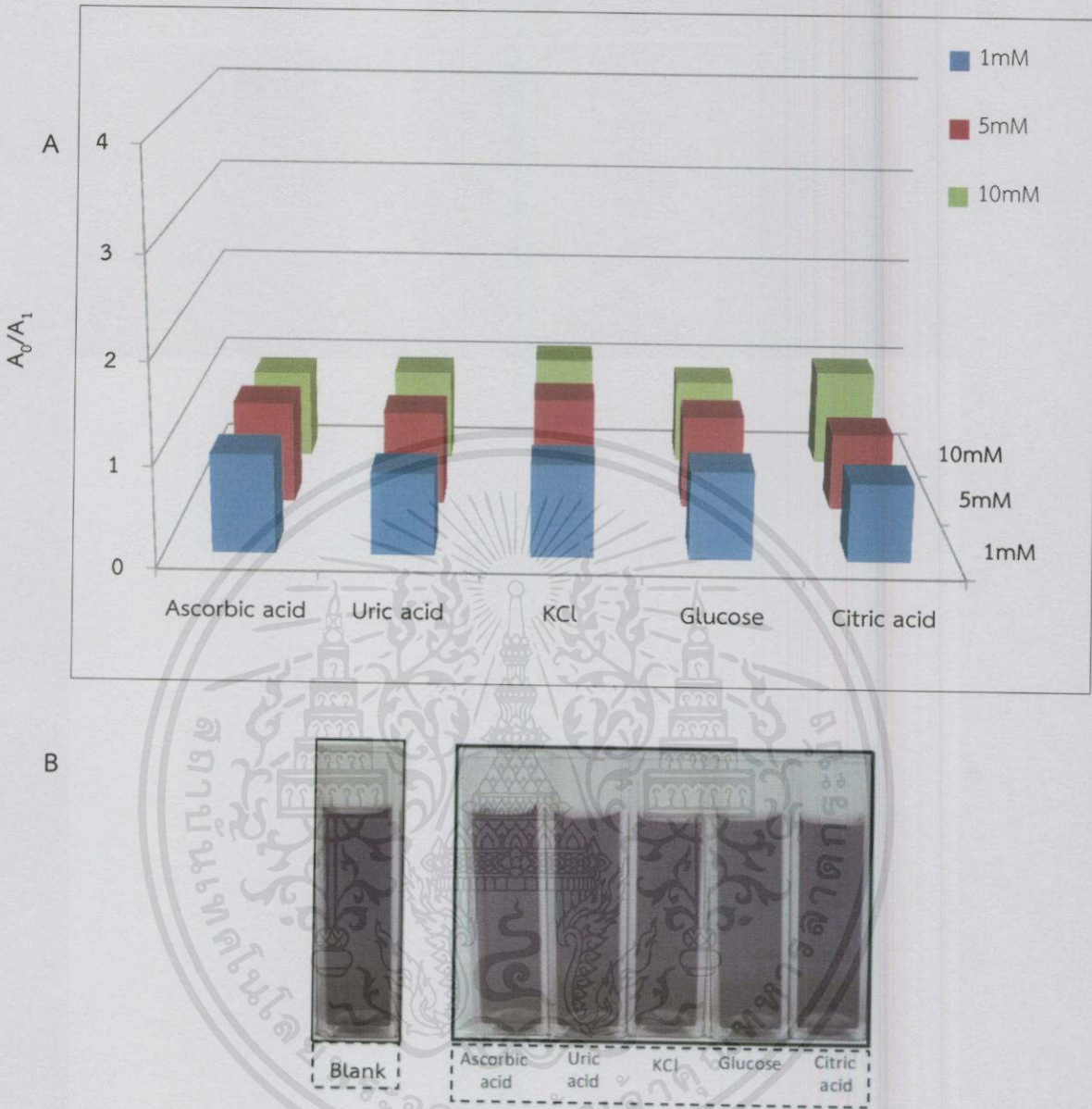
ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารละลายโดพามีน (μM)		%Recovery
	ที่เติม	ที่พบในตัวอย่าง	
น้ำดื่ม	0	ND	ND
	300	306.43 ± 0.0040	102.1
	500	511.14 ± 0.0038	102.2
	700	697.00 ± 0.0034	99.6
	900	884.29 ± 0.0034	98.3
	1000	1014.57 ± 0.0039	101.5

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) ที่แสดงวิธีคำนวณไว้ในภาคผนวก ข (2) อยู่ในช่วง 98 – 103 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4. ผลการศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำกรวิเคราะห์

การศึกษาตัวผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำกรวิเคราะห์ ศึกษาโดยการเตรียมสารละลายตัวรบกวนแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 1, 5 และ 10 mM โดยใช้สารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 20 μM เป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยอนุภาคของระดับนาโน พร้อมทั้งวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลงค์ (A_0) และค่าการดูดกลืนแสงของตัวรบกวน (A_1) กับชนิดของตัวรบกวน เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของตัวรบกวนแต่ละชนิดและแต่ละความเข้มข้นดังแสดงในรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้



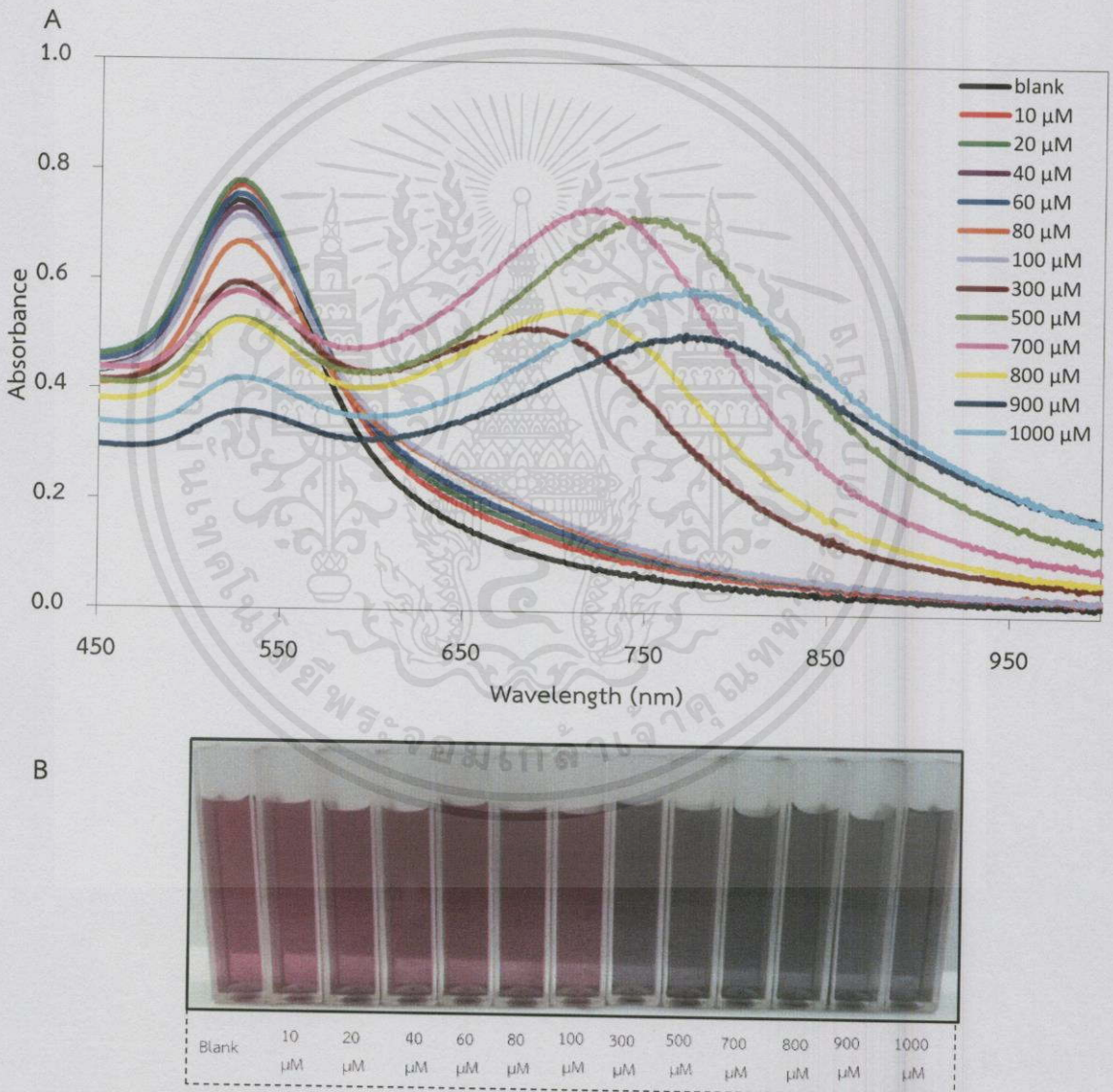
รูปที่ 4.13 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวรบกวนแต่ละชนิด (A) และสีสารละลาย (B)

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าตัวรบกวนแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 1, 5 และ 10 mM ไม่ส่งผลกระทบต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งจะสังเกตได้จากสีของสารละลายแบบลงค์เมื่อเทียบกับสีของสารละลายตัวรบกวนที่มีสีเดียวกัน คือสีชมพูม่วง แสดงว่าตัวรบกวนไม่ส่งผลกระทบต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมไซเตรทความเข้มข้น 20 mM และสารละลายมาตรฐานโดพามีน

ทำได้โดยการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 20 mM และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของโดพามีนที่ความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไซเตรทเข้มข้น 20 mM ที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายโดพามีนความเข้มข้น 10-1000 μM (A) และสีของสารละลาย (B)

ผลการศึกษารูปที่ 4.14 พบว่าสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีของเทอร์เควิช (Turkevich Method) โดยใช้ไตรโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 20 mM เป็นสารรักษาเสถียรภาพ มีการเปลี่ยนแปลงสีที่สามารถสังเกตเห็นได้โดยเปลี่ยนแปลงจากสีชมพูม่วงกลายเป็นสีม่วงน้ำเงิน ที่ความเข้มข้นของสารละลายโดพามีน 300 μM เป็นต้นไป

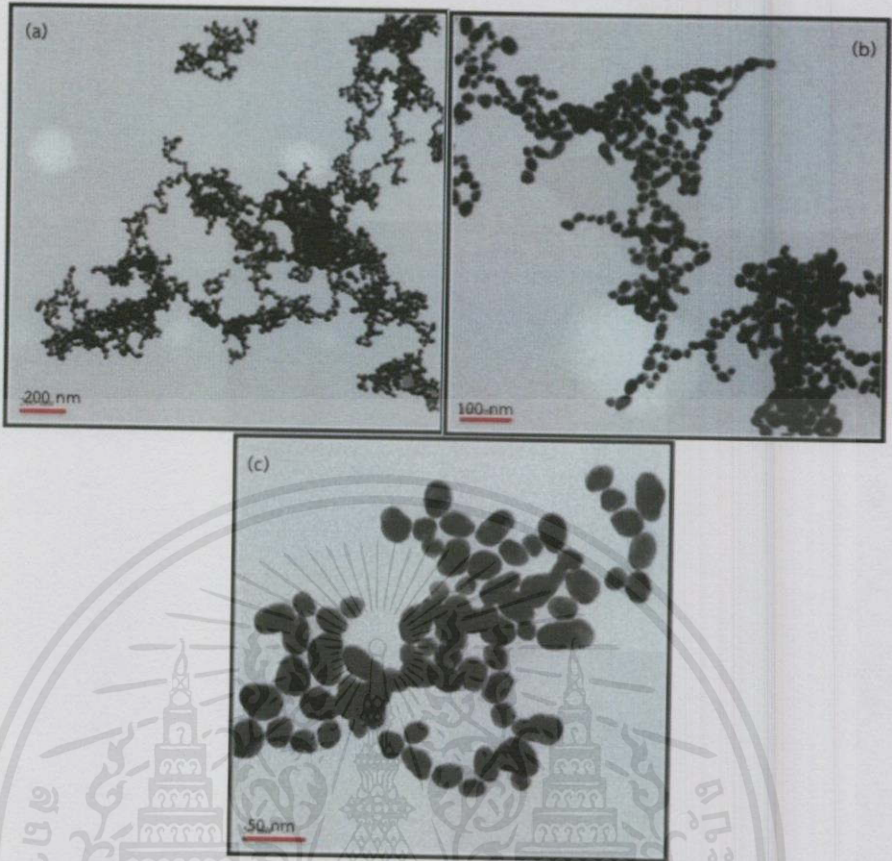
และจากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย โดยสีของสารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเพราะโดพามีนสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโนที่อยู่ในสารละลายเกิดเป็นสารประกอบที่มีรูปร่างขนาดใหญ่ ซึ่งแสดงการเกิดปฏิกิริยาดังรูปที่ 4.10 ด้วยโครงสร้างของโดพามีนที่มีขนาดใหญ่เมื่อเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโน ส่งผลให้สารประกอบที่เกิดขึ้นมีโครงสร้างขนาดใหญ่ตามไปด้วย และด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้สีที่ปรากฏมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสมบัติทางแสงของอนุภาคทองระดับนาโนจะมีการเปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับขนาดและรูปร่างของมัน

โดยจะพบว่าสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนดังกล่าวที่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายโดพามีนจะแสดงพีคของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 524 และ 726 nm โดยความยาวคลื่นที่ 524 nm จะเป็นพีคการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนและที่ความยาวคลื่น 726 nm เป็นพีคการดูดกลืนแสงของสารประกอบของอนุภาคทองระดับนาโนและโดพามีน ซึ่งในการศึกษาคูณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีนก็จะใช้ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ 524 และ 726 nm ในการติดตามผลต่อไป

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 20 mM เป็นตัวรับรู้ สามารถตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนได้ตั้งแต่ความเข้มข้น 300 μM เป็นต้นไป

เพื่อยืนยันการรวมตัวของอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายโดพามีน จะสามารถอธิบายได้ด้วยการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยเครื่อง TEM โดยภาพที่ปรากฏขึ้นคือภาพของจุดบนตัวอย่างที่ถูกขยายด้วยกำลังขยายสูงจนสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังแสดงในรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของสารละลายผสมของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM และสารละลายโดพามีน กำลังขยาย 11500X (a), กำลังขยาย 25000X (b) และกำลังขยาย 62000X (c)

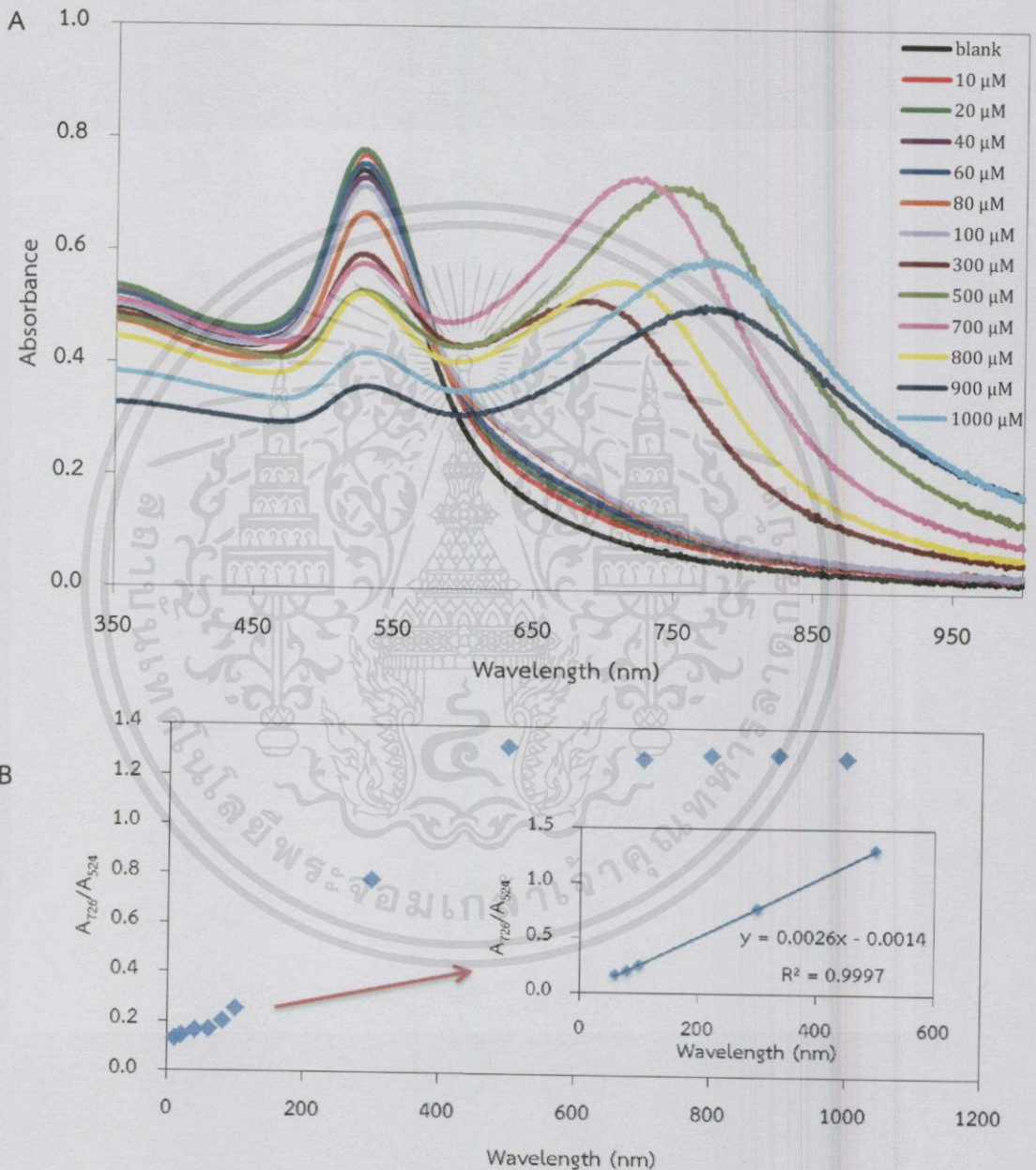
จากรูปที่ 4.15 แสดงให้เห็นการกระจายตัวของอนุภาคของสารละลายผสม โดยจะเห็นว่าอนุภาคของสารละลายมีการเกาะกลุ่มและรวมตัวกันมีลักษณะเป็นร่างแห ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายโดพามีน

เพื่อศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีนด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หลายคุณลักษณะด้วยกัน ดังนี้

1. ผลการศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

การศึกษาความเป็นเส้นตรงทำได้โดยศึกษาผลของปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายมาตรฐานโดพามีน มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยใช้สารละลายมาตรฐานโดพามีนในช่วงความเข้มข้น 10-1000 μM

จากนั้นนำผลค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 524 และ 726 nm มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 726 nm ต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 524 nm กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโดพามีน จากนั้นทำการเลือกช่วงอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นที่แสดงแนวโน้มความเป็นเส้นตรง ไปสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อหาสมการเส้นตรงต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM ที่ประยุกต์เป็นตัวรับรู้สารละลายโดพามีน (A) และกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลาย (B) นำมาใช้

จากรูปที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกับสารละลายมาตรฐานโดพามีนในช่วงความเข้มข้น 60-500 μM มาสร้างกราฟมาตรฐาน จะได้สมการเส้นตรง $y = 0.0026x - 0.0014$ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9997 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

2. ผลการศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Limit of Detection ; LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (Limit of Quantitation)

ค่า LOD และ LOQ ศึกษาโดยการนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 60, 80, 100, 300 และ 500 μM มาตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานจะได้สมการเส้นตรง $y = 0.0026x - 0.0014$ จากกราฟมาคำนวณหาค่า LOD และ LOQ เมื่อ blank มีสัญญาณ ซึ่งได้ค่า LOD = 17.31 μM และค่า LOQ = 57.69 μM ดังแสดงในภาคผนวก ข (3)

3. ผลการศึกษาค่าร้อยละของการวิเคราะห์การคืนกลับ (Recovery)

ค่าร้อยละของการวิเคราะห์การคืนกลับ (Recovery) ศึกษาโดยเตรียมสารละลายมาตรฐานโดพามีนที่ความเข้มข้น 80, 300, 500, 700 และ 900 μM เติมลงในตัวอย่าง แล้วตรวจวัดด้วยอนุภาคทองระดับนาโน และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำผลที่ได้ไปคำนวณค่าร้อยละของการวิเคราะห์การคืนกลับ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

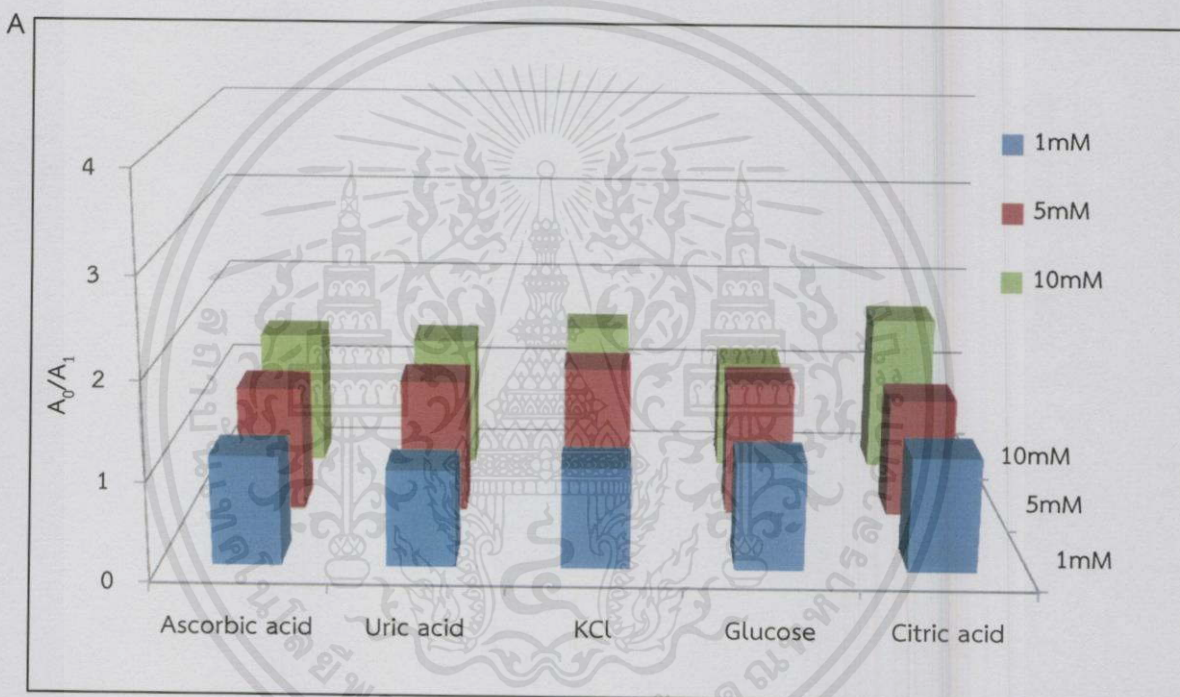
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับได้ (%Recovery) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารละลายโดพามีน (μM)		%Recovery
	ที่เติม	ที่พบในตัวอย่าง	
น้ำดื่ม	0	ND	ND
	80	79.23 \pm 0.0021	99.0
	300	300.25 \pm 0.0023	100.0
	500	510.50 \pm 0.0025	102.1
	700	695.96 \pm 0.0018	99.4
	900	878.23 \pm 0.0021	97.6

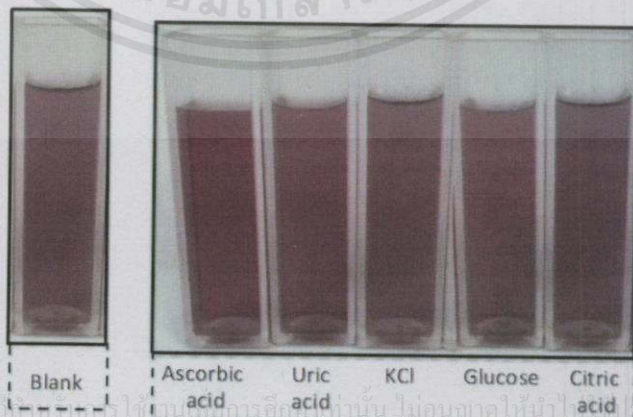
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ในอนุภาคทองคำไปใช้ประโยชน์ด้านการวิจัย

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งจากตารางที่ 4.4 นี้ จะเห็นได้ว่าค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) ที่แสดงวิธีคำนวณไว้ในภาคผนวก ข (4) อยู่ในช่วง 97 – 103 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4. ผลการศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ การศึกษาตัวผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ศึกษาโดยการเตรียมสารละลายตัวรบกวนแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 1, 5 และ 10 mM โดยใช้สารละลายมาตรฐานโทพามีนความเข้มข้น 20 μM เป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยอนุภาคทองระดับนาโน พร้อมทั้งวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลนด์ (A_0) และค่าการดูดกลืนแสงของตัวรบกวน (A_1) กับชนิดของตัวรบกวน เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของตัวรบกวนแต่ละชนิดและแต่ละความเข้มข้นดังแสดงในรูปที่ 4.17



B



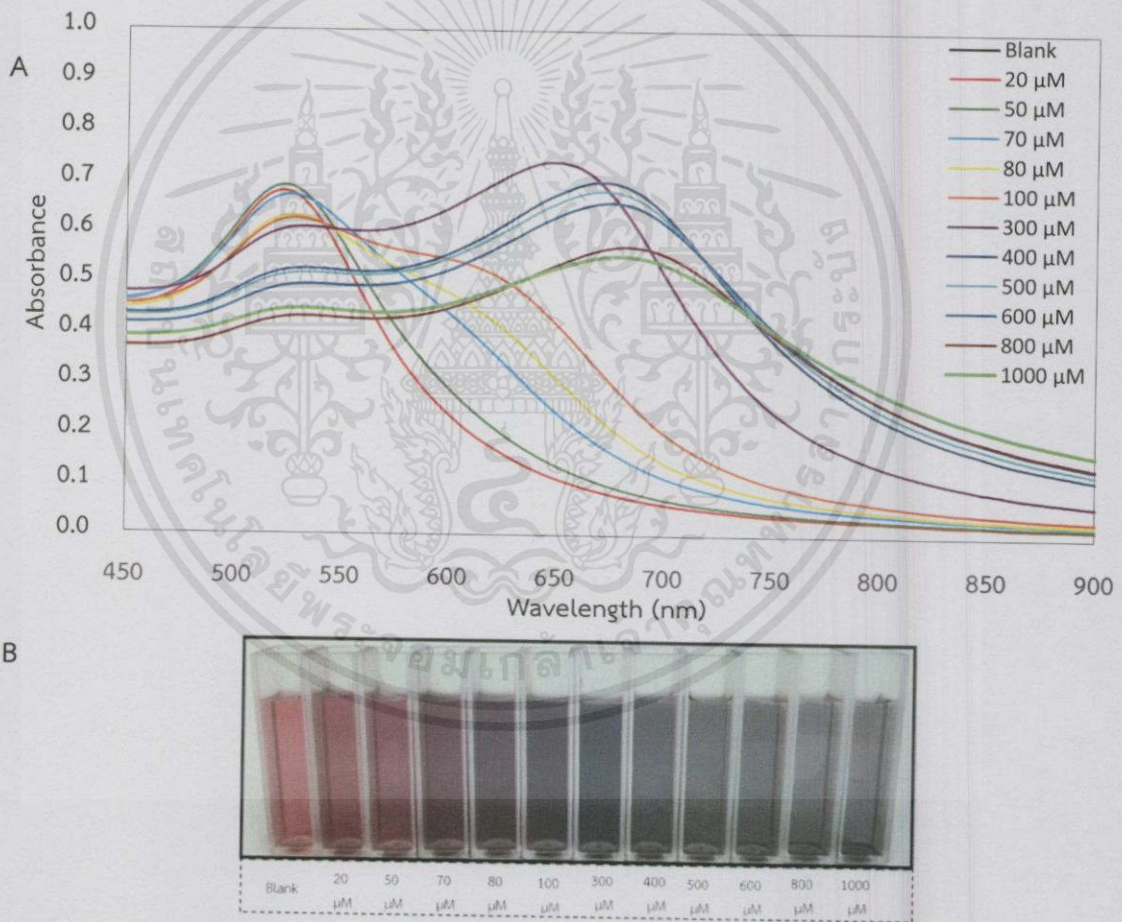
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาใช้โดยไม่มีการตีพิมพ์ในนิตยสารหรือนิตยสารใด ๆ ภายใต้งานวิจัยของศูนย์ด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.17 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวรบกวนแต่ละชนิด (A) และสีสารละลาย (B)

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าตัวรบกวนแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 1, 5 และ 10 mM ไม่ส่งผลกระทบต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ซึ่งจะสังเกตได้จากสีของสารละลายแบลนด์เมื่อเทียบกับสีของสารละลายตัวรบกวนที่มีสีเดียวกัน คือสีชมพูม่วง แสดงว่าตัวรบกวนไม่ส่งผลกระทบต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์

4.2.3 ผลการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 50 mM และสารละลายมาตรฐานโดพามีน

ทำได้โดยการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 50 mM และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณของโดพามีนที่ความเข้มข้นต่างๆ จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM ที่ประยุกต์ใช้

เป็นตัวรับรู้สารละลายโดพามีนความเข้มข้น 20-1000 μM (A) และสีของสารละลาย (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการศึกษารูปที่ 4.18 พบว่าสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีของเทอร์เควิช (Turkevich Method) โดยใช้ไตรโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 50 mM เป็นสารรักษาเสถียรภาพ มีการเปลี่ยนแปลงสีที่สามารถสังเกตเห็นได้โดยเปลี่ยนแปลงจากสีชมพูม่วงกลายเป็นสีม่วงน้ำเงิน ที่ความเข้มข้นของสารละลายโดพามีน 70 μM เป็นต้นไป

และจากรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย โดยสีของสารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเพราะโดพามีนสามารถเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโนที่อยู่ในสารละลายเกิดเป็นสารประกอบที่มีรูปร่างขนาดใหญ่ ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาดังรูปที่ 4.11 ด้วยโครงสร้างของโดพามีนที่มีขนาดใหญ่เมื่อเข้าทำปฏิกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโน ส่งผลให้สารประกอบที่เกิดขึ้นมีโครงสร้างขนาดใหญ่ตามไปด้วย และด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้สีที่ปรากฏมีการเปลี่ยนแปลงจากสารละลายสีแดงไปเป็นสีน้ำเงิน เนื่องจากสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนจะมีการเปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับขนาดและรูปร่างของมัน

โดยจะพบว่าสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนดังกล่าวที่เกิดปฏิกิริยากับสารละลายโดพามีนจะแสดงพีคของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 และ 679 nm โดยความยาวคลื่นที่ 530 nm จะเป็นพีคการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนและที่ความยาวคลื่น 679 nm เป็นพีคการดูดกลืนแสงของสารประกอบระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนและโดพามีน ซึ่งในการศึกษาคคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีนก็จะใช้ค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ 530 และ 679 nm ในการติดตามผลต่อไป

จากผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าการประยุกต์ใช้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้น 50 mM เป็นตัวรับรู้ สามารถตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนได้ตั้งแต่ความเข้มข้น 70 μM เป็นต้นไป

เพื่อยืนยันการรวมตัวของอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายโดพามีนจะสามารถอธิบายได้ด้วยการศึกษาโครงสร้างระดับจุลภาคด้วยเครื่อง TEM โดยภาพที่ปรากฏขึ้นคือภาพของจุดบนตัวอย่างที่ถูกขยายด้วยกำลังขยายสูงจนสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังแสดงในรูปที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 ภาพถ่ายจากเครื่อง TEM ของสารละลายผสมของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรท เข้มข้น 50 mM และสารละลายโดพามีน กำลังขยาย 11500X (a), กำลังขยาย 25000X (b) และกำลังขยาย 62000X (c)

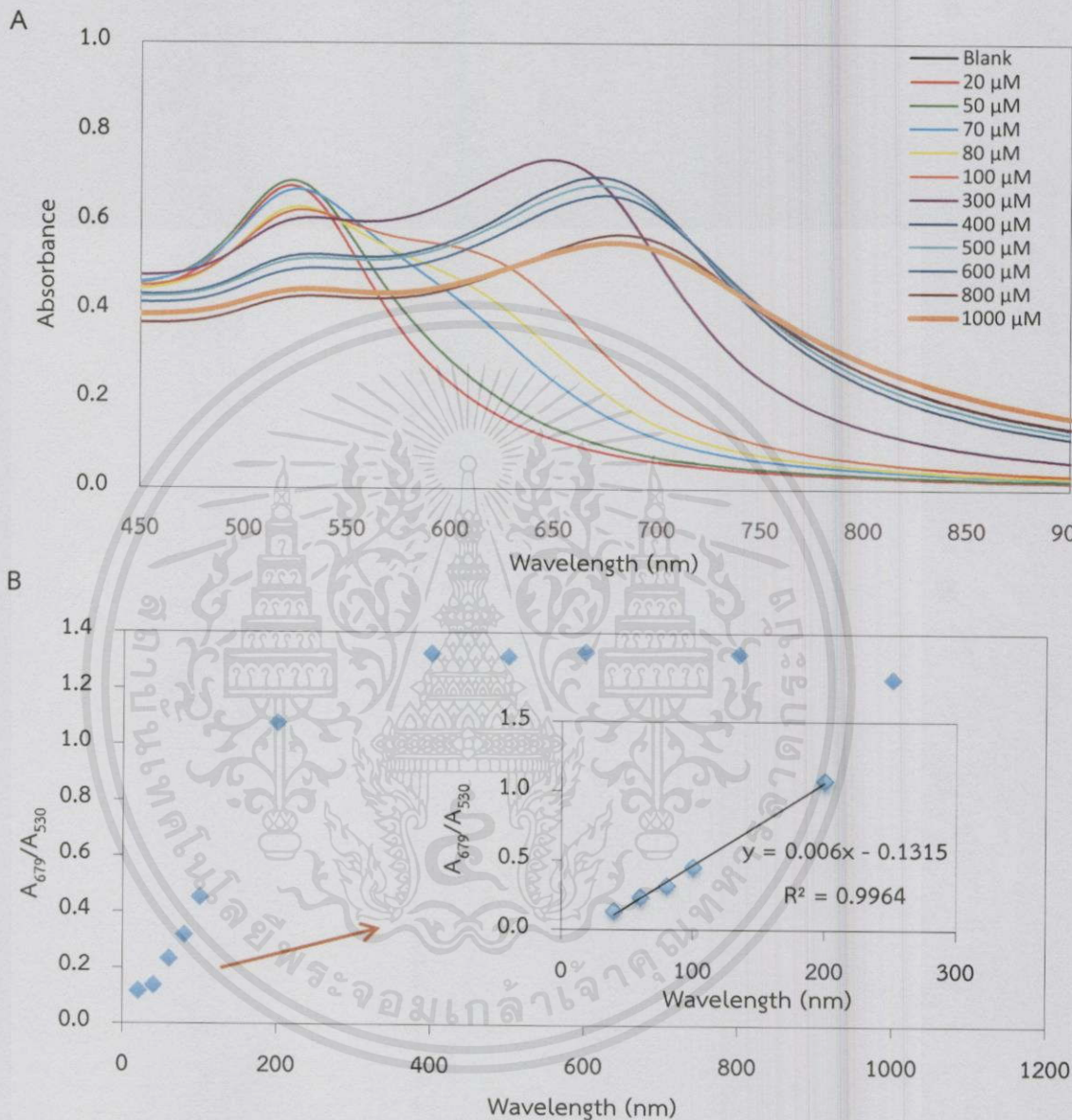
จากรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นการกระจายตัวของอนุภาคของสารละลายผสม โดยจะเห็นว่าอนุภาคของสารละลายมีการเกาะกลุ่มและรวมตัวกันมีลักษณะเป็นร่างแห ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายโดพามีน

เพื่อศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หาปริมาณโดพามีนด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์หลายคุณลักษณะด้วยกัน ดังนี้

1. ผลการศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

การศึกษาความเป็นเส้นตรงทำได้โดยศึกษาผลของปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายมาตรฐานโดพามีน มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer โดยใช้สารละลายมาตรฐานโดพามีนในช่วงความเข้มข้น 10-1000 μM จากนั้นนำผลค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 530 และ 679 nm มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 679 nm ต่อค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว

คลื่น 530 nm กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโดพามีน จากนั้นทำการเลือกช่วงอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นที่แสดงแนวโน้มความเป็นเส้นตรง ไปสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อหาสมการเส้นตรงต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM ที่ประยุกต์เป็นตัวรับรู้สารละลายโดพามีน (A) และกราฟมาตรฐานแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นต่างๆของสารละลาย (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำอัตราส่วนของค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายกับสารละลายมาตรฐานโดพามีนในช่วงความเข้มข้น 40-200 μM มาสร้างกราฟมาตรฐาน จะได้สมการเส้นตรง $y = 0.0006x - 0.1315$ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มีค่าเท่ากับ 0.9964 ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

2. ผลการศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Limit of Detection ; LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (Limit of Quantitation)

ค่า LOD และ LOQ ศึกษาโดยการนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้สารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 40, 60, 80, 100 และ 200 μM มาตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง แล้วนำค่าที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน จะได้สมการเส้นตรง $y = 0.0006x - 0.1315$ จากกราฟมาคำนวณหาค่า LOD และ LOQ เมื่อ blank มีสัญญาณ ซึ่งได้ค่า LOD = 12.85 μM และค่า LOQ = 42.83 μM ดังแสดงในภาคผนวก ข (5)

3. ผลการศึกษาค่าร้อยละของการวิเคราะห์การคืนกลับ (Recovery)

ค่าร้อยละของการวิเคราะห์การคืนกลับ (Recovery) ศึกษาโดยเตรียมสารละลายมาตรฐานโดพามีนที่ความเข้มข้น 50, 70, 100, 300 และ 500 μM เติมลงในตัวอย่าง แล้วตรวจวัดด้วยอนุภาคทองระดับนาโน และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำผลที่ได้ไปคำนวณค่าร้อยละของการวิเคราะห์การคืนกลับ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

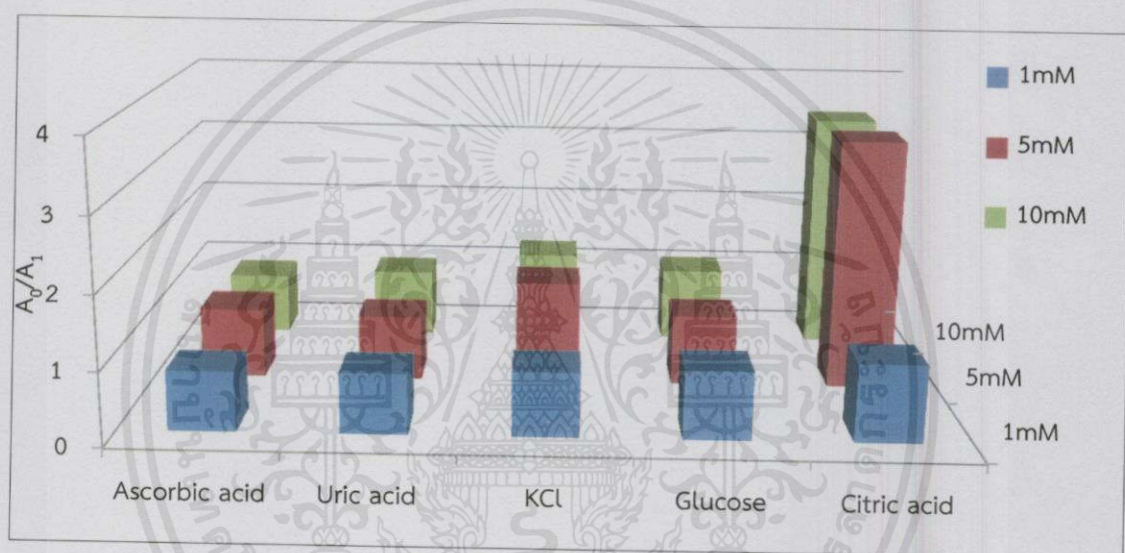
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าร้อยละของการคืนกลับได้ (%Recovery) ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสารละลายโดพามีน (μM)		%Recovery
	ที่เติม	ที่พบในตัวอย่าง	
น้ำดื่ม	0	ND	ND
	50	51.01 \pm 0.0018	102.0
	70	72.02 \pm 0.0019	102.9
	100	98.05 \pm 0.0021	98.1
	300	307.00 \pm 0.0020	102.3
	500	498.03 \pm 0.0017	99.6

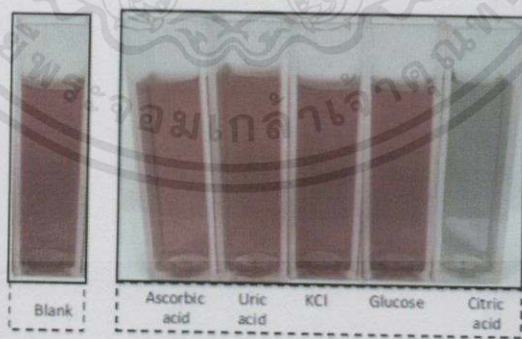
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่าร้อยละการคืนกลับ (%Recovery) ที่แสดงวิธีไม่มีการผิดเพี้ยน อีกทั้งห่ามีให้ค่าเฉลี่ยสูงเกิน 100 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้คำนวณไว้ในภาคผนวก ข (6) อยู่ในช่วง 98 - 103 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

4. ผลการศึกษาผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ การศึกษาตัวผลกระทบของตัวรบกวนที่มีผลต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ ศึกษาโดยการเตรียมสารละลายตัวรบกวนแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 1, 5 และ 10 mM โดยใช้สารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 50 μM เป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำไปวิเคราะห์ด้วยอนุภาคทองระดับนาโน พร้อมทั้งวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายและสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลนด์ (A_0) และค่าการดูดกลืนแสงของตัวรบกวน (A_1) กับชนิดของตัวรบกวน เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของตัวรบกวนแต่ละชนิดและแต่ละความเข้มข้นดังแสดงในรูปที่ 4.21

A



B



รูปที่ 4.21 ค่าการดูดกลืนแสงของตัวรบกวนแต่ละชนิด (A) และสีสารละลาย (B)

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าตัวรบกวนแต่ละชนิดที่ความเข้มข้น 1, 5 และ 10 mM ของตัวรบกวนทุกชนิดยกเว้นกรดซิตริกไม่ส่งผลกระทบต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ สำหรับกรดซิตริกนั้นจะส่งผลกระทบต่อสารตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 5 mM ขึ้นไป ซึ่งในสภาพจะ

ปกติตัวอย่างที่ทำการศึกษาจะมีปริมาณความเข้มข้นของกรดซिटริกไม่ถึง 5 mM ดังนั้นกรดซिटริกจึงไม่ส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์ใดๆ โดยจะสามารถสังเกตได้จากสีของสารละลายแบบลงค์เมื่อเทียบกับสีของสารละลายตัวรบกวนที่มีสีเดียวกันคือสีแดง แสดงว่าตัวรบกวนไม่ส่งผลกระทบต่อสารตัวอย่างที่ทำการศึกษา ยกเว้นกรดซิทริกที่ให้สารละลายสีเทาซึ่งรูปร่างที่ปรากฏ

จากผลการศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิทเรทความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM กับสารละลายโดพามีนสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์อนุภาคทองที่ใช้ซิทเรทความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM กับสารละลายโดพามีน

คุณลักษณะที่ศึกษา	ความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิทเรทที่ใช้สังเคราะห์อนุภาคทอง (mM)		
	10	20	50
ความเป็นเส้นตรง (Linearity)	$y = 0.0007x + 0.7165$	$y = 0.0026x - 0.0014$	$y = 0.0060x - 0.1315$
ช่วงความเข้มข้นที่ วิเคราะห์ (μM)	10-300	60-500	40-200
ค่าสัมประสิทธิ์ การตัดสิ้นใจ (R^2)	0.9961	0.9997	0.9964
ขีดจำกัดต่ำสุดที่ สามารถตรวจวัดได้ (LOD)	63.42 μM	17.31 μM	12.85 μM
ขีดจำกัดต่ำสุดที่ สามารถวิเคราะห์ได้ (LOQ)	211.43 μM	57.69 μM	42.83 μM
ค่าร้อยละของ การวิเคราะห์คืนกลับ (%Recovery)	98 – 103 %	97 – 103 %	98 – 103 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาคณลักษณะของวิธีวิเคราะห์การหาปริมาณโดพามีนด้วยอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้นที่ต่างกัน พบว่าอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 50 mM มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนสูงสุด สำหรับอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 20 mM มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดปริมาณโดพามีนรองลงมา ส่วนอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 10 mM มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดปริมาณโดพามีนต่ำที่สุด ซึ่งพิจารณาได้จากค่า LOD และ LOQ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

4.3 ผลการศึกษาการสร้างฟิล์มของอนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique)

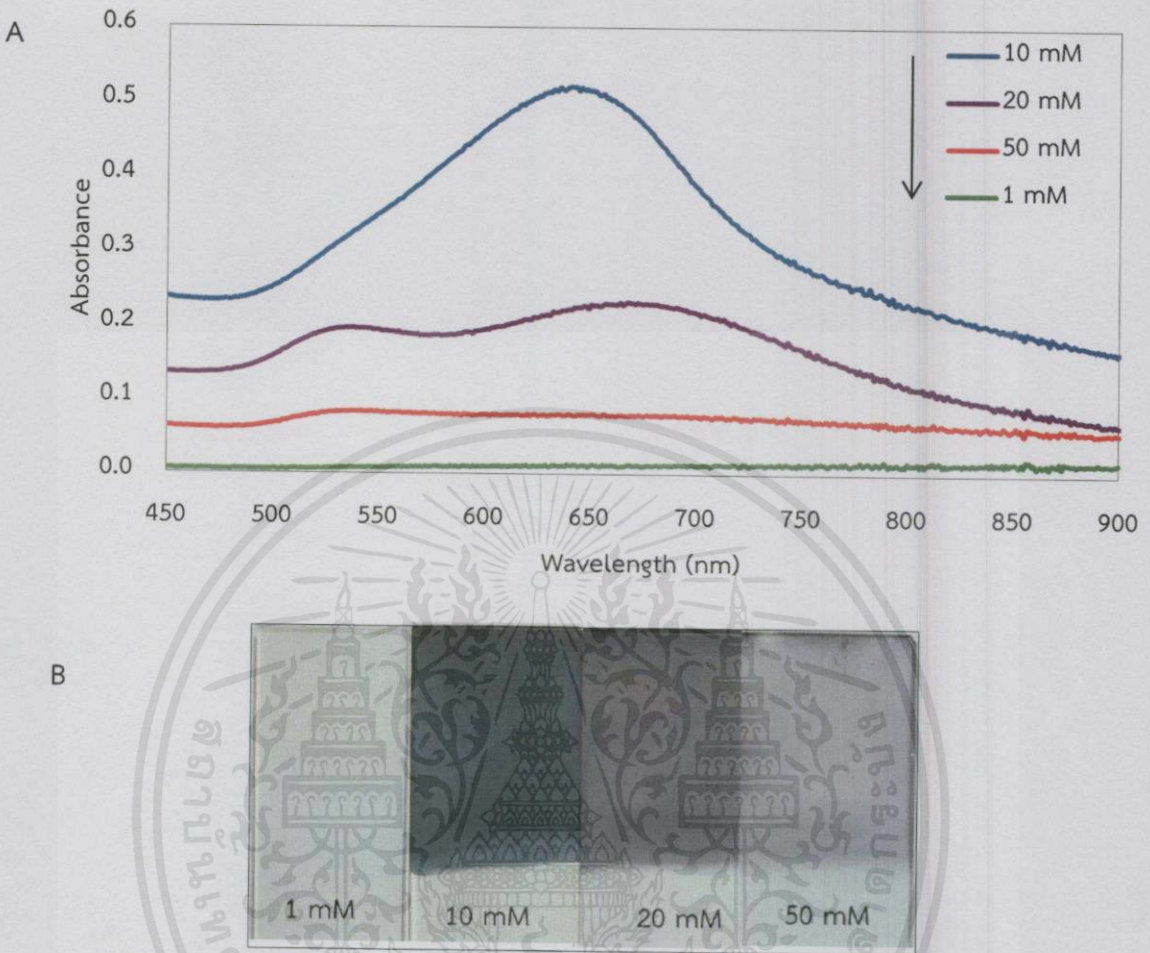
เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น เป็นเทคนิคในการสร้างฟิล์มบางเทคนิคหนึ่งโดยเทคนิคนี้เป็นการเคลือบผิวโดยอาศัยการเรียงตัวของขั้วพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่ต่างกัน ขั้นตอนแรกจะทำการเตรียมพื้นผิว (Substrate) ให้มีประจุบวก (Polycation) ก่อน เนื่องจากไตรโซเดียมซิติเรทที่ใช้เคลือบอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้นั้นมีประจุลบ (Polyanion)

4.3.1 ผลการวิเคราะห์แผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอนุภาคทองระดับนาโน

ในการสร้างแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอนุภาคทองระดับนาโนที่เคราะห์ได้จากไตรโซเดียมซิติเรท จะเกิดจากการที่พอลิอิเล็กโทรไลต์ถูกดูดซับไว้บน substrate ที่มีประจุตรงกันข้าม (Polyanion และ Polycation) เพื่อเป็นการปรับประจุของ substrate ให้มีคุณสมบัติตามต้องการโดยจำนวนชั้นของพอลิอิเล็กโทรไลต์ และปริมาณความเข้มข้นขึ้นอยู่กับสมบัติที่ต้องการและการนำไปใช้ประโยชน์เช่นเดียวกัน

ทำการศึกษาความแตกต่างของความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิติเรทที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนที่นำมาสร้างเป็นแผ่นฟิล์ม โดยใช้ไตรโซเดียมซิติเรทเกรดวิเคราะห์มาเตรียมเป็นสารละลาย เพื่อศึกษาความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิติเรทที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนเพื่อเคลือบลงบนแผ่นฟิล์ม แล้วนำฟิล์มที่ถูกสังเคราะห์ในสภาวะความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิติเรทที่เหมาะสมไปวิเคราะห์ และนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไซเตรทที่ความเข้มข้นต่างๆ (A) และสีของแผ่นฟิล์ม (B)

จากผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่เคลือบด้วยอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ไซเตรทเป็นตัวรีดิวซ์และเป็นสารรักษาเสถียรภาพที่ความเข้มข้นต่างๆ ในการสังเคราะห์นั้น ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงไปตามความเข้มข้นของไซเตรทที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์และเป็นสารรักษาเสถียรภาพ จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไซเตรทในช่วงความเข้มข้น 10 - 50 mM จะมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงตามความเข้มข้นของไซเตรทที่เพิ่มสูงขึ้น และจากสีของแผ่นฟิล์มสอดคล้องกับสเปกตรัมที่ปรากฏคืออนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไซเตรทความเข้มข้นต่ำๆแผ่นฟิล์มจะมีสีเข้ม ค่าการดูดกลืนแสงจึงสูง ในทางตรงกันข้ามอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไซเตรทความเข้มข้นสูงๆแผ่นฟิล์มจะมีสีจาง ค่าการดูดกลืนแสงจึงต่ำ ทั้งนี้เนื่องมาจาก เมื่อนำอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไซเตรทความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM มาสร้างฟิล์ม อนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไซเตรทความ

เข้มข้น 10 mM จะมีประจุลบของซีเตรทไอออนล้อย่น้อยส่งผลให้เวลาที่อนุภาคทองระดับนาโนไปยึดเกาะบนแผ่นกระจกที่มีประจุบวก จะเกิดการยึดเกาะได้มากทั้งนี้เพราะว่าแรงผลักรของประจุลบในสารละลายน้อย การเกิดอันตรกิริยาระหว่างประจุบวกและประจุลบจึงเกิดได้ดี แผ่นฟิล์มจึงมีสีเข้มสำหรับอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมความเข้มข้น 20 mM จะมีประจุลบของซีเตรทไอออนล้อย่น้อยมากขึ้น ส่งผลให้เวลาที่อนุภาคทองระดับนาโนไปยึดเกาะบนแผ่นกระจกที่มีประจุบวก เกิดการยึดเกาะได้น้อยลงทั้งนี้เพราะว่าแรงผลักรของประจุลบในสารละลายจะมีเพิ่มมากขึ้น การเกิดอันตรกิริยาระหว่างประจุบวกและประจุลบจึงเกิดได้น้อยลง แผ่นฟิล์มจึงมีสีจางลง และสำหรับอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซีเตรทความเข้มข้น 50 mM จะมีประจุลบของซีเตรทไอออนล้อย่น้อยมาก ส่งผลให้เวลาที่อนุภาคทองระดับนาโนไปยึดเกาะบนแผ่นกระจกที่มีประจุบวกเกิดการยึดเกาะได้ยากทั้งนี้เพราะว่าแรงผลักรของประจุลบในสารละลายมีมาก การเกิดอันตรกิริยาระหว่างประจุบวกและประจุลบจึงเกิดได้น้อยมาก แผ่นฟิล์มจึงมีสีจางมาก และสำหรับสเปกตรัมของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซีเตรทความเข้มข้น 1 mM ไม่มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นใดๆเลย ซึ่งสามารถคาดเดาได้ว่าเกิดจากความเข้มข้นของไตรโซเดียมซีเตรทที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์และเป็นสารรักษาเสถียรภาพไม่เพียงพอในการสังเคราะห์อนุภาคทอง ทำให้ขนาดของอนุภาคมีขนาดใหญ่เกิดการตกตะกอน เมื่อนำมาสร้างแผ่นฟิล์มจึงไม่เกิดการยึดเกาะบนแผ่นกระจก ทำให้ไม่เกิดการดูดกลืนแสงเลย

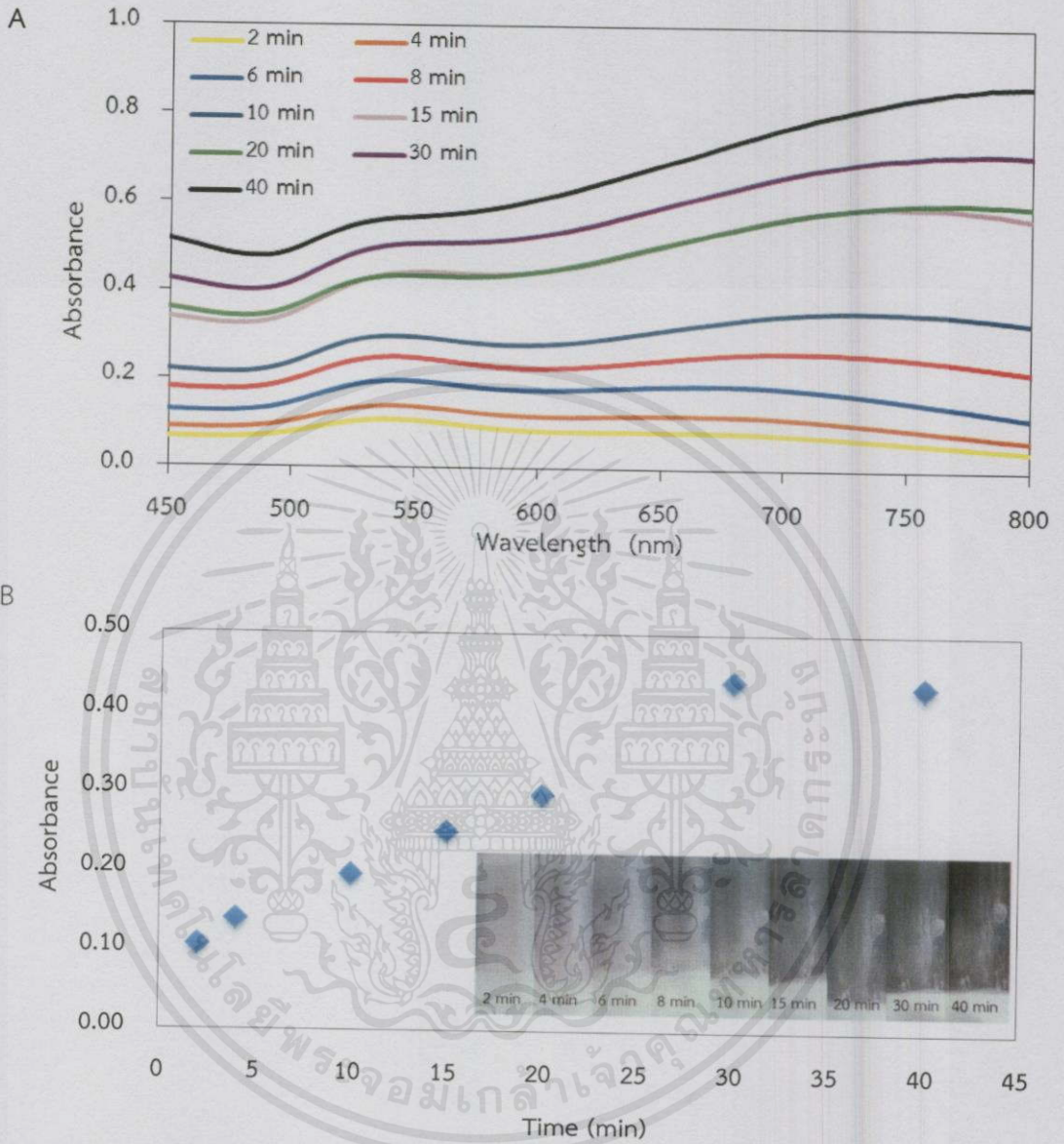
จากผลการศึกษาดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการวิเคราะห์แผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์จากไตรโซเดียมซีเตรทที่ความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM เพื่อเปรียบเทียบผลการประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายโคพามีนต่อไป

4.3.2 ผลการศึกษากลศาสตร์การดูดซับของอนุภาคทองระดับนาโนบนแผ่นฟิล์ม (Kinetic adsorption)

การศึกษากลศาสตร์การดูดซับ (Kinetic adsorption) เป็นการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาของการดูดซับของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโน ซึ่งวิธีการศึกษากระบวนการดูดซับทำได้โดยใช้เทคนิคทางสเปกโทรสโกปีที่เหมาะสม เช่น การวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยการศึกษาพลศาสตร์การดูดซับนั้นเพื่อวิเคราะห์ว่าความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยสารละลายไตรโซเดียมซีเตรทความเข้มข้นแตกต่างกัน จะมีผลต่อความสามารถในการเคลือบฟิล์มในระยะเวลาที่แตกต่างกันหรือไม่

วิเคราะห์โดยนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยไตรโซเดียมซีเตรท ที่มีความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM มาทำการเคลือบเป็นฟิล์มลงบนแผ่นกระจกเวลาการเคลือบแตกต่างกัน แล้ววิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาหรือกลศาสตร์การดูดซับในการเคลือบฟิล์มก่อนนำไปทำการประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ (Sensor) โดยสามารถอธิบายความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองที่

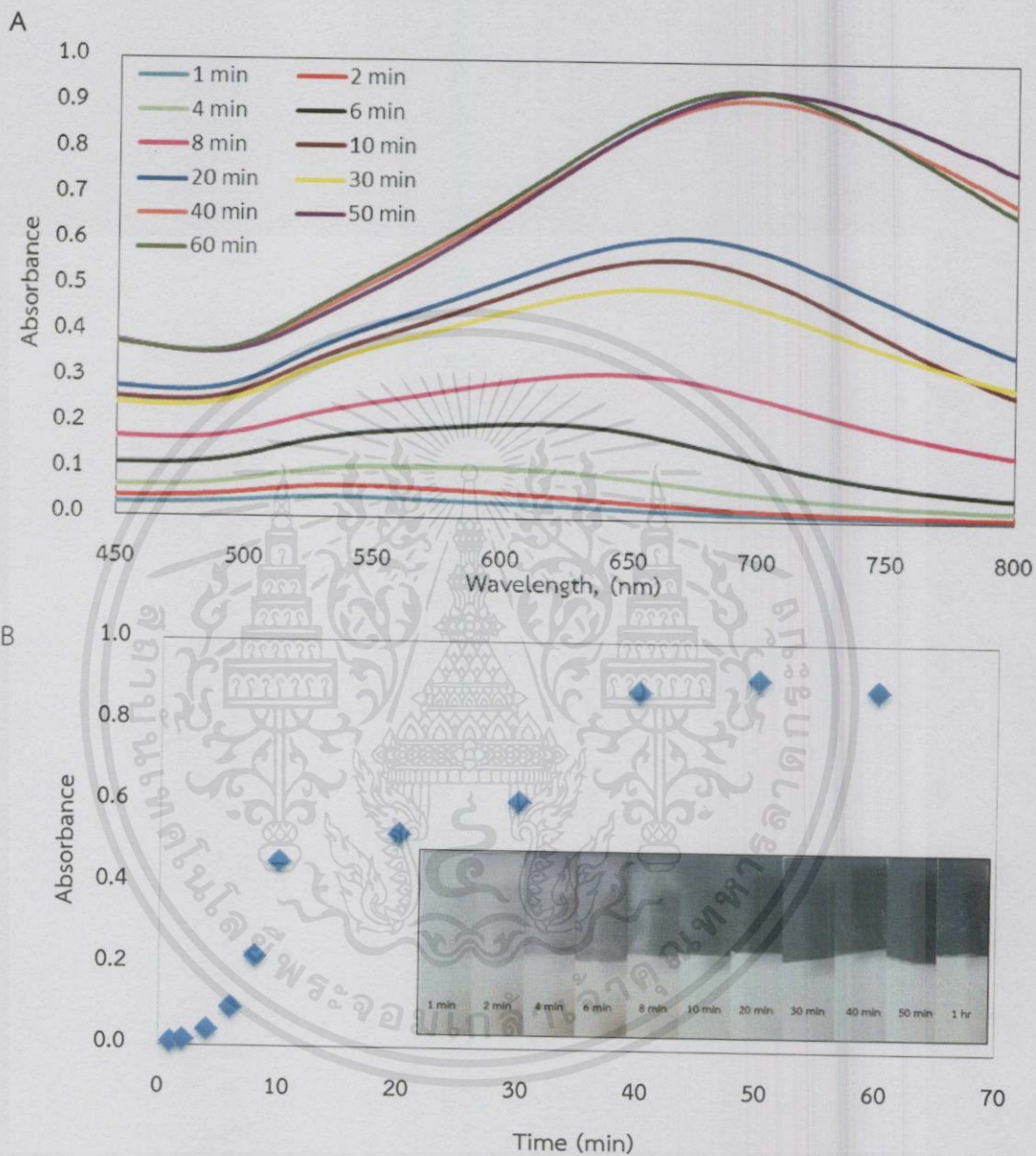
สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิเตรทที่มีความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.23, 4.24 และ 4.25 ตามลำดับ



รูปที่ 4.23 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆในการดูดซับ (A) และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่เวลาต่างๆในการดูดซับของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 10 mM (B)

จากรูปที่ 4.23 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 10 mM ที่ระยะเวลาในการจุ่มฟิล์มแตกต่างกัน พบว่าระยะเวลาในช่วง 15 นาทีแรกของการจุ่มฟิล์มที่ได้ แผ่นฟิล์มจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อจุ่มฟิล์มโดยให้ระยะเวลาที่เกินไปจาก 15 นาที พบว่าค่าแผ่นฟิล์มดูดกลืนแสงคงที่ เนื่องจากฟิล์มที่ได้จากการเคลือบอนุภาคทองระดับนาโนมีลักษณะของผิวฟิล์มที่เรียบและอนุภาคทองมีการ

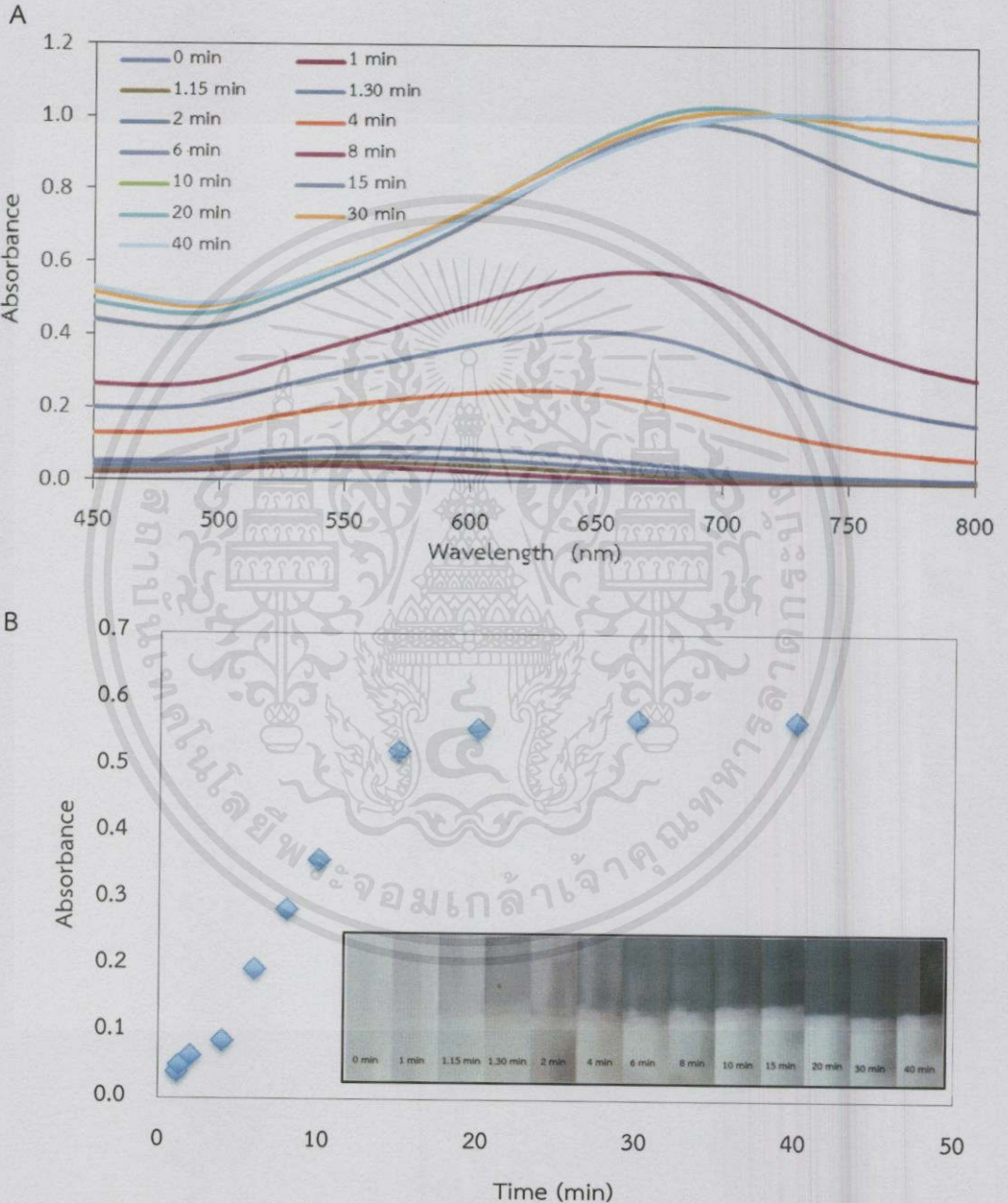
กระจายตัวมากขึ้นและสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาในการดูดซับของอนุภาคทองบนแผ่นฟิล์ม เพื่อสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 10 mM ในระยะเวลา 15 นาที ก็เพียงพอในการดูดซับของอนุภาคทองบนแผ่นฟิล์ม



รูปที่ 4.24 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆในการดูดซับ (A) และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่เวลาต่างๆในการการดูดซับของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิติเรทเข้มข้น 20 mM (B)

จากรูปที่ 4.24 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 20 mM ที่ระยะเวลาในการจุ่มฟิล์มแตกต่างกัน พบว่าระยะเวลาในช่วง 20 นาทีแรกของการจุ่มฟิล์มที่ได้ แผ่นฟิล์มจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

และเมื่อจุ่มฟิล์มโดยให้ระยะเวลาที่เกินไปจาก 20 นาที พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มคงที่ เนื่องจากฟิล์มที่ได้จากการเคลือบอนุภาคทองระดับนาโนมีลักษณะของผิวฟิล์มที่เรียบและอนุภาคทองมีการกระจายตัวมากขึ้นและสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาในการดูดซับของอนุภาคทองบนแผ่นฟิล์มเพื่อสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 20 mM ในระยะเวลา 20 นาที ก็เพียงพอในการดูดซับของอนุภาคทองบนแผ่นฟิล์ม



รูปที่ 4.25 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆในการดูดซับ (A) และค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาว

คลื่นสูงสุดที่เวลาต่างๆในการดูดซับของอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิติเรทเข้มข้น 20 mM

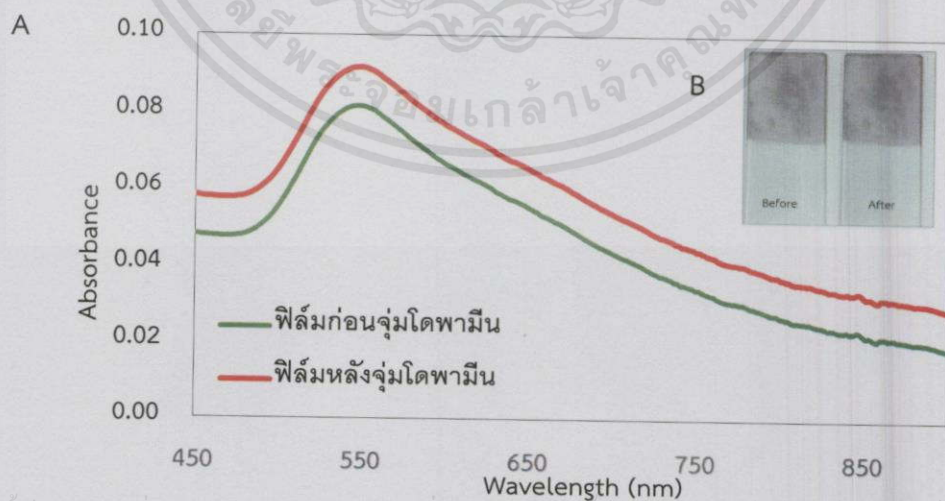
ไม่ผ่านการฉีดใดๆทั้ง 50 mM (B) มีให้คำแปลเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.25 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 50 mM ที่ระยะเวลาในการจุ่มฟิล์มแตกต่างกัน พบว่าระยะเวลาในช่วง 15 นาทีแรกของการจุ่มฟิล์มที่ได้ แผ่นฟิล์มจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อจุ่มฟิล์มโดยให้ระยะเวลาที่เกินไปจาก 15 นาที พบว่าค่าแผ่นฟิล์มดูดกลืนแสง เนื่องจากฟิล์มที่ได้จากการเคลือบอนุภาคทองระดับนาโนมีลักษณะของผิวฟิล์มที่เรียบและอนุภาคทองมีการกระจายตัวมากขึ้นและสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาในการดูดซับของอนุภาคทองบนแผ่นฟิล์มเพื่อสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 50 mM ในระยะเวลา 15 นาทีก็เพียงพอในการดูดซับของอนุภาคทองบนแผ่นฟิล์ม

4.3.3 ผลการศึกษาการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายโดพามีน

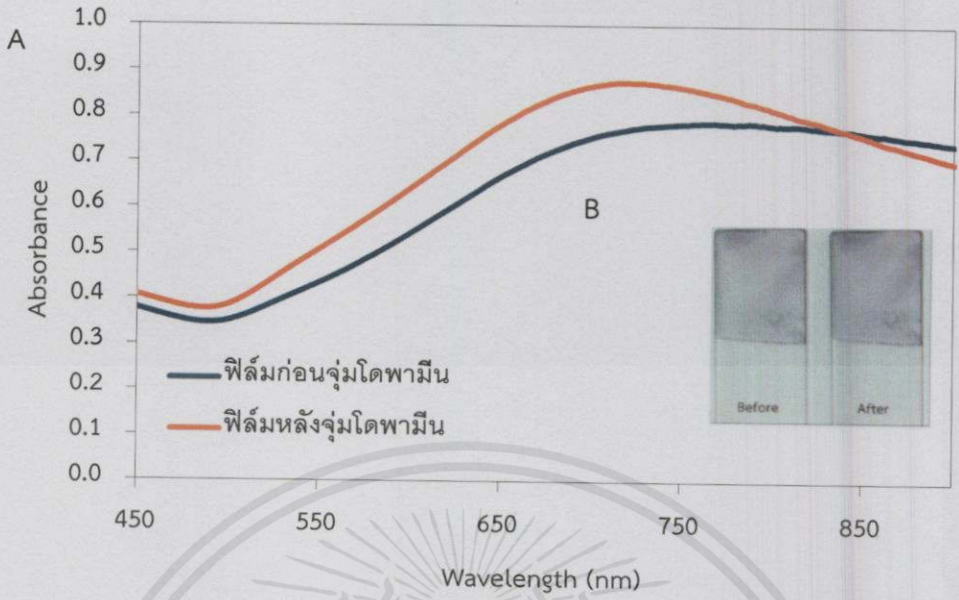
แผ่นฟิล์มที่สร้างจากอนุภาคทองระดับนาโน สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในกระบวนการที่หลากหลาย และด้วยคุณสมบัติของอนุภาคทองระดับนาโนที่มีประจุทางไฟฟ้าเป็นลบ ทำให้สามารถตรวจวัดหาปริมาณโลหะและสารที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวกได้หลากหลายชนิด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนมาตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนด้วยวิธีการตรวจวัดสี

เมื่อนำแผ่นฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยไตรโซเดียมซิติเรทความเข้มข้น 10 , 20 และ 50 mM เป็นตัวตรวจวัดสารละลายโดพามีนความเข้มข้น 1000 μM โดยการนำแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนมาแช่ในสารละลายโดพามีน แล้วทำการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer เพื่อศึกษาความสามารถในการตรวจวัดและความเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสง เพื่อให้ทราบความไวในการตอบสนองของแผ่นฟิล์มเมื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายโดพามีน เปรียบเทียบกัน โดยสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.26, 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ

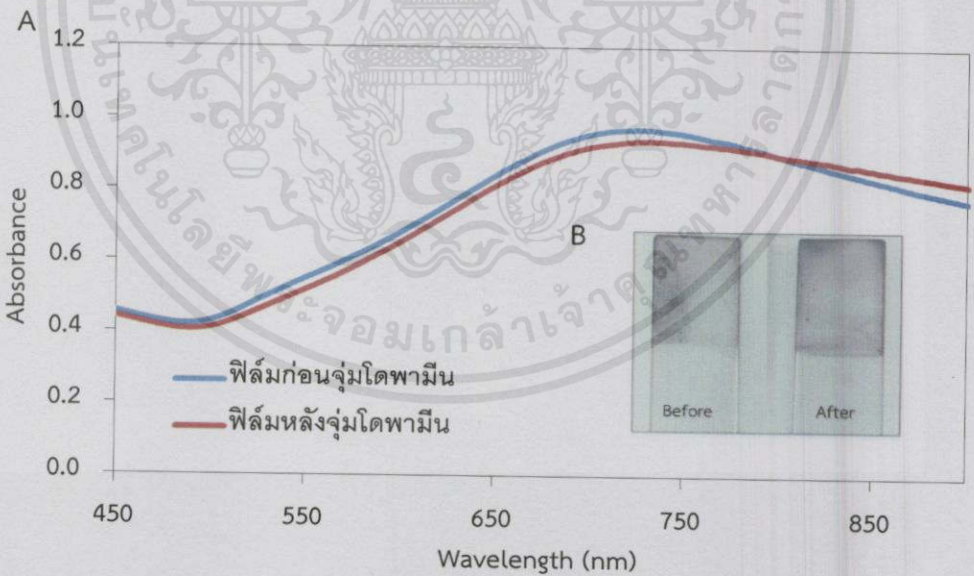


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.26 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิติเรทที่เข้มข้น 10 mM ก่อนและหลังตรวจวัดสารละลายโดพามีน (A) และสีของแผ่นฟิล์ม (B)



รูปที่ 4.27 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 20 mM ก่อนและหลังตรวจวัดสารละลายโดพามีน (A) และสีของแผ่นฟิล์ม (B)



รูปที่ 4.28 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองที่สังเคราะห์ด้วยซิเตรทเข้มข้น 50 mM ก่อนและหลังตรวจวัดสารละลายโดพามีน (A) และสีของแผ่นฟิล์ม (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ทำการแก้ไขใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์แผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายโดพามีนความเข้มข้น 1000 μM ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ในรูปที่ 4.26, 4.27 และ 4.28 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้แผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนทั้ง 3 ความเข้มข้นตรวจวัดสารละลายโดพามีน ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มก่อนตรวจวัดโดพามีนและค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มหลังตรวจวัดโดพามีนมีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนทั้ง 3 ความเข้มข้น ไม่สามารถนำไปเป็นตัวตรวจวัดสารละลายโดพามีนได้ เนื่องจากเมื่อสังเกตสภาพสีของแผ่นฟิล์มก่อนนำไปตรวจวัดทั้ง 3 ความเข้มข้น จะเห็นว่าแผ่นฟิล์มมีสีม่วงน้ำเงิน ซึ่งเป็นช่วงสีที่แสดงถึงการรวมตัวของอนุภาคที่ยึดเกาะบนแผ่นฟิล์มว่ามีขนาดใหญ่ขึ้น โดยมีสีเดียวกับแผ่นฟิล์มที่นำไปตรวจวัดโดพามีนแล้ว เมื่อทำการศึกษาค้นคว้าดังกล่าวพบว่าสาเหตุที่แผ่นฟิล์มเป็นเช่นนั้น เกิดจากที่อนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ เมื่อไปเคลือบบนแผ่นกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย PDADMAC ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ ทำให้อนุภาคทองระดับนาโนถูกล้อมรอบด้วย PDADMAC จับตัวกันเกิดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นส่งผลให้แผ่นฟิล์มที่ได้จึงมีสีม่วงน้ำเงิน และเมื่อนำไปตรวจวัดสารละลายโดพามีนจึงไม่เกิดการเปลี่ยนสีบนแผ่นฟิล์ม ด้วยปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงทำการหาวิธีการแก้ปัญหาโดยการลดขนาดโมเลกุลของ PDADMAC ในขั้นตอนต่อไป

4.3.4 ผลการศึกษาความเหมาะสมของการลดขนาดโมเลกุลของ PDADMAC

จากการศึกษาหัวข้อที่ 4.3.3 พบว่ามวลโมเลกุลของสารละลาย PDADMAC มีขนาดใหญ่มาก และส่งผลกระทบต่อการใช้ประยุกต์ใช้งาน ด้วยเหตุนี้จึงทำการปรับปรุงสภาพของ PDADMAC ที่ใช้เป็นสารปรับสภาพพื้นผิวของ substrate ให้มีมวลโมเลกุลต่ำลง พร้อมทั้งเปลี่ยนชนิดของโพลีเอทิลีนไกล์คอลที่ให้ประจุลบเป็นไตรโซเดียมซิติเรทแทนสารละลาย PSS

การปรับปรุงสภาพของ PDADMAC ให้มีมวลโมเลกุลต่ำลงนั้นในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น มาเป็นตัวตัดสายโซ่โมเลกุลของ PDADMAC พร้อมทั้งให้ความร้อนด้วยเครื่อง Microwave กำลังไฟ 800 kw เป็นตัวช่วงเร่งปฏิกิริยา โดยสถานะในการลดขนาดโมเลกุลของ PDADMAC แบ่งเป็น 4 Condition เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกันดังตารางที่ 4.7

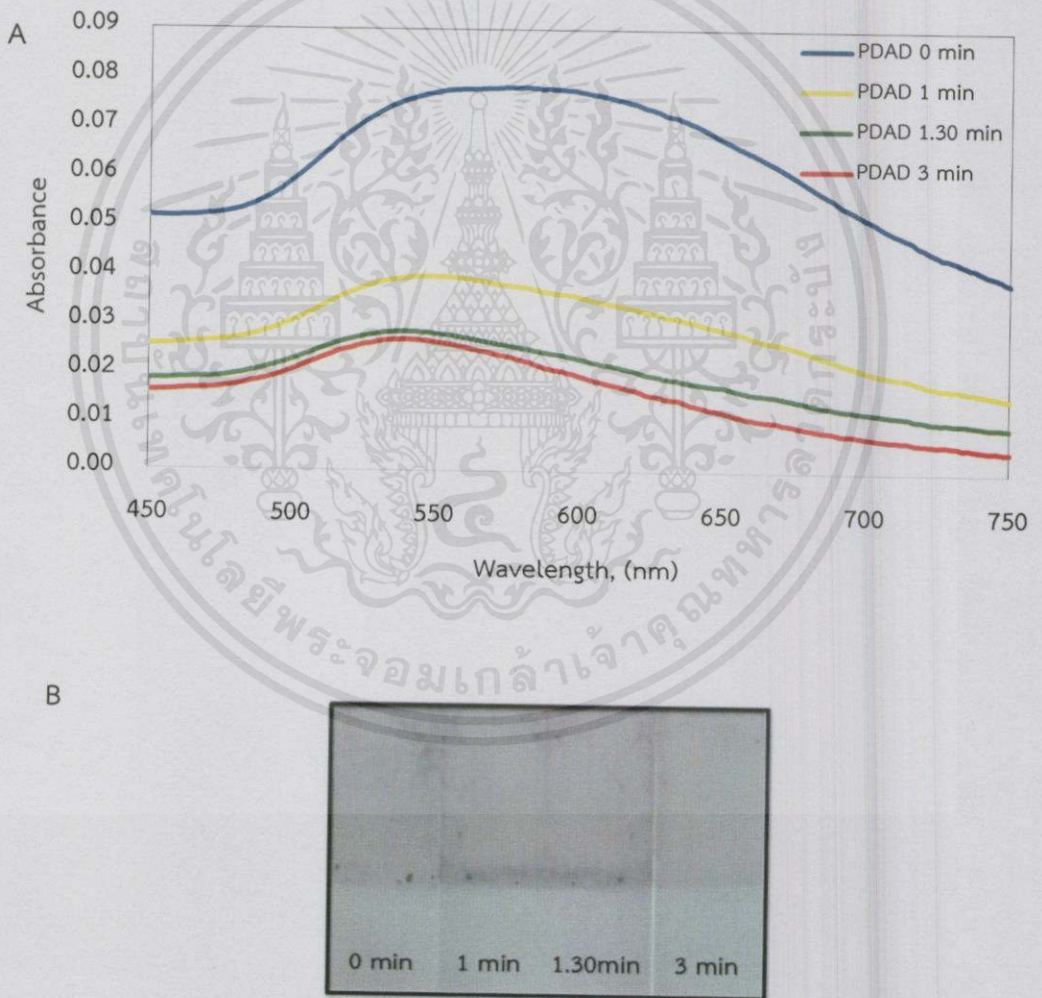
ตารางที่ 4.7 แสดงสถานะของการปรับปรุงสภาพของสารละลาย PDADMAC

Condition	PDADMAC	H ₂ O ₂	Power
	10 mM	30% wt	800 kw
1	50 ml	-	-
2	50 ml	10 ml	1 min
3	50 ml	10 ml	1.30 min
4	50 ml	10 ml	3 min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราเตรียมสารละลายของ PDADMAC ทั้ง 4 สภาวะ และนำไปปรับสภาพพื้นผิว substrate เรียบร้อยแล้ว ก็นำไปสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคของระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer และนำผลการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกันในแต่ละสภาวะดังแสดงในรูปที่ 4.29

หมายเหตุ ที่เลือกใช้อนุภาคของระดับนาโนที่ความเข้มข้น 50 mM เนื่องจากผลการศึกษาขั้นที่ 4.3.1 จะเห็นว่าอนุภาคของระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM เมื่อนำมาสร้างแผ่นฟิล์มจะให้ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงสุด และให้สีของแผ่นฟิล์มชัดเจนสุดเป็นสีชมพู เหมาะแก่การศึกษาการประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดโดพามีน



รูปที่ 4.29 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มในแต่ละสภาวะ (A) และ สีของแผ่นฟิล์ม (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารผลงานวิจัยหรือบริการเชิงพาณิชย์ที่เผยแพร่ในนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.29 วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มที่เคลือบด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน พบว่าสเปกตรัมของการค่าการดูดกลืนแสงแต่ละ Condition มีแนวโน้มค่าการดูดกลืนแสงลดลงเมื่อเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น อีกทั้งรูปร่างของสเปกตรัมที่ปรากฏมีแนวโน้มที่มีลักษณะเป็นพีคที่แคบลงเป็นลำดับแสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา ระยะเวลาในการให้ความร้อนยิ่งสูงปฏิกิริยาก็จะยิ่งเกิดขึ้น และจากภาพแสดงสีของแผ่นฟิล์มพบว่าสีของแผ่นฟิล์มที่ปรากฏมีสีชมพู ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงสภาพของ PDADMAC มีประสิทธิภาพดีขึ้น ไม่ส่งผลให้เกิดการจับตัวกันของ PDADMAC ที่เป็นสารปรับสภาพพื้นผิวกับอนุภาคทองระดับนาโน ดังนั้นงานวิจัยนี้ถึงทำการศึกษาค้นคว้าผลจากการปรับสภาพ PDADMAC 3 สภาวะ คือ สภาวะที่ 1, 2 และ 4 สำหรับ สภาวะที่ 3 นั้นมีระยะเวลาในการให้ความร้อนไม่แตกต่างจากสภาวะที่ 1 การแสดงผลจะไม่แตกต่างกัน จึงเลือกศึกษาที่สภาวะที่ 1 แทน โดยจะทำการศึกษากลศาสตร์การดูดซับของอนุภาคทองบนแผ่นฟิล์มต่อไป

4.3.5 ผลการศึกษาผลจนวนโมเลกุลของ PDADMAC หลังจากที่ผ่านมาการปรับสภาพแล้ว

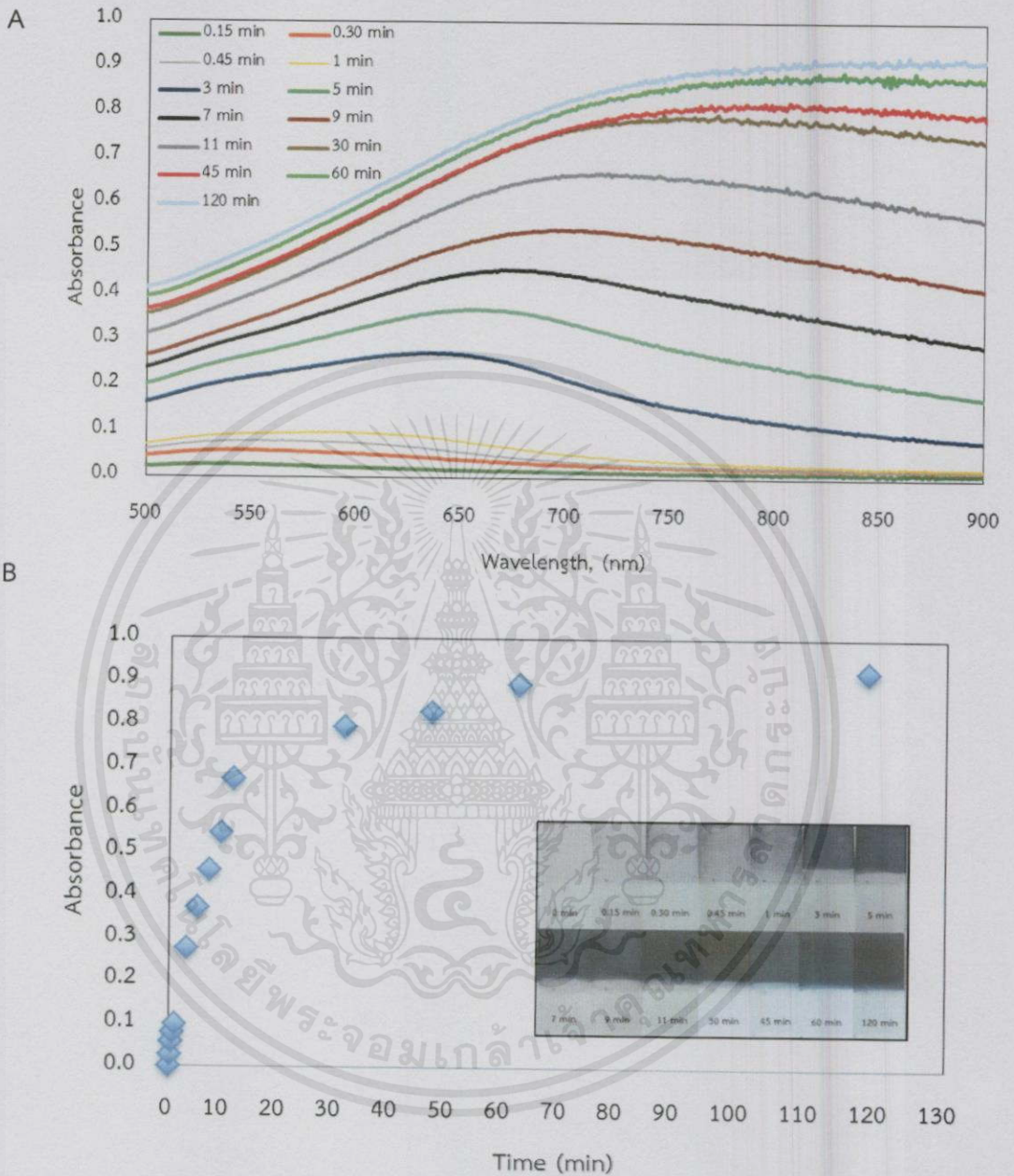
จากผลการศึกษาการลดมวลโมเลกุลของ PDADMAC ด้วยเครื่อง GPC ที่ได้จากการส่งตรวจวิเคราะห์พบว่ามวลโมเลกุลของสาร PDADMAC ที่ไม่ผ่านการลดมวลโมเลกุลมีมวลโมเลกุลน้อยกว่า PDADMAC ที่ผ่านการลดมวลโมเลกุลแล้ว ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว PDADMAC ที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพต้องมีมวลโมเลกุลสูงกว่า PDADMAC ที่ปรับสภาพแล้วมาก ทำให้ผลการวิเคราะห์ไม่น่าเชื่อถือ ซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดของทางผู้วิเคราะห์ ในงานวิจัยนี้จึงไม่นำผลของเครื่อง GPC มาแสดง

4.3.6 ผลการศึกษากลศาสตร์การดูดซับของอนุภาคทองระดับนาโนบนแผ่นฟิล์ม (Kinetic adsorption)

การศึกษากลศาสตร์การดูดซับ (Kinetic adsorption) เป็นการศึกษาอัตราเร็วปฏิกิริยาของการดูดซับของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโน ซึ่งวิธีการศึกษากระบวนการดูดซับทำได้โดยใช้เทคนิคทางสเปกโทรสโกปีที่เหมาะสม เช่น การวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยการศึกษากลศาสตร์การดูดซับนั้นเพื่อวิเคราะห์ว่าการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารละลาย PDADMAC ที่ผ่านการลดขนาดมวลโมเลกุลที่สภาวะต่างกัน จะมีผลต่อความสามารถในการเคลือบฟิล์มในระยะเวลาที่แตกต่างกันหรือไม่

วิเคราะห์โดยการนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM มาทำการเคลือบเป็นฟิล์มลงบนแผ่นกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย PDADMAC ทั้ง 3 สภาวะและใช้เวลาในการเคลือบแตกต่างกัน แล้ววิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วย UV-Vis spectrophotometer เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาหรือกลศาสตร์การดูดซับในการเคลือบฟิล์มก่อนนำไปประยุกต์ใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกประการ

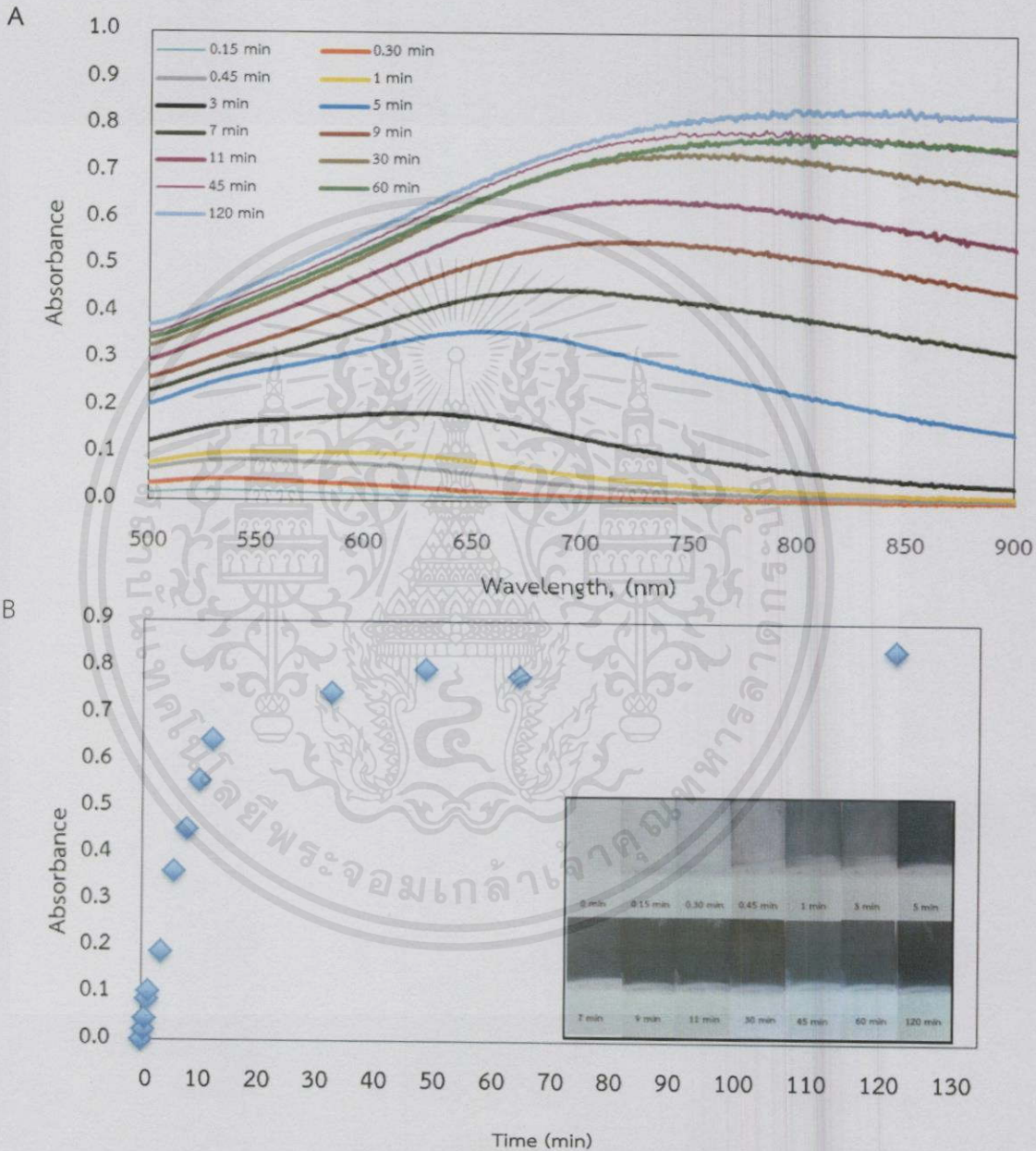
เป็นตัวรับรู้ (Sensor) โดยสามารถอธิบายความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงได้ดังรูปที่ 4.30, 4.31 และ 4.32



รูปที่ 4.30 สเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆในการดูดซับ (A) และค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่เวลาต่างๆในการดูดซับของอนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้ PDADMAC สภาวะที่ 1 (B)

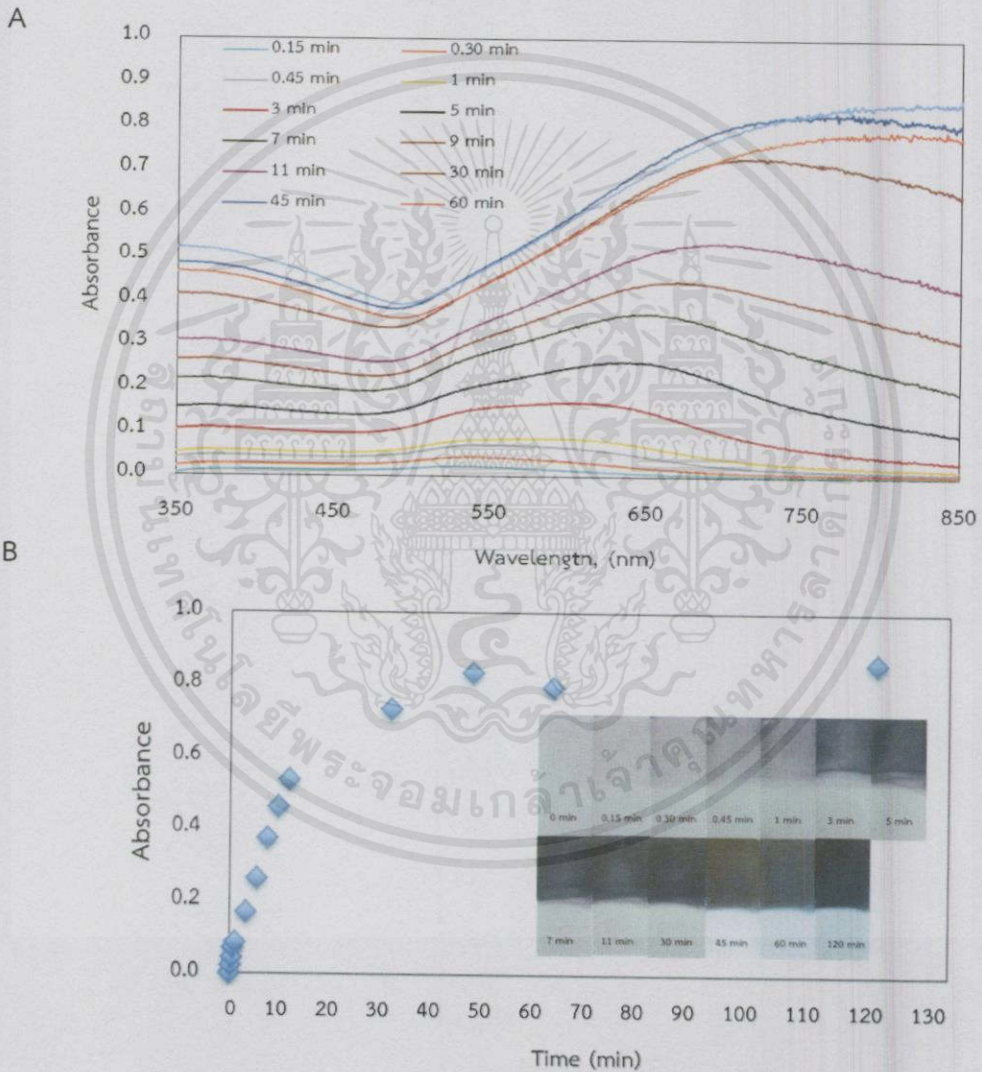
จากรูปที่ 4.30 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ PDADMAC สภาวะที่ 1 ที่ระยะเวลาในการจุ่มฟิล์มแตกต่างกัน พบว่าระยะเวลาในช่วง 15 วินาทีแรกของการจุ่มฟิล์มที่ได้ แผ่นฟิล์มจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และ

เมื่อจุ่มฟิล์มโดยให้ระยะเวลาที่เกินไปจาก 30 นาที พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ความยาวคลื่นคงที่ เนื่องจากฟิล์มที่ได้จากการเคลือบอนุภาคทองระดับนาโนมีลักษณะของผิวฟิล์มที่เรียบและอนุภาคทองมีการกระจายตัวมากขึ้นและสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาในการดูดซับของอนุภาคทองบนแผ่นฟิล์มเพื่อสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ PDADMAC สภาวะที่ 1 ในระยะเวลา 15 วินาที เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีสีชมพูสำหรับประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดต่อไป



รูปที่ 4.31 สเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆในการดูดซับ (A) และค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่เวลาต่างๆในการดูดซับของอนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้ PDADMAC สภาวะที่ 2 (B)

จากรูปที่ 4.31 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ PDADMAC สภาวะที่ 2 ที่ระยะเวลาในการจุ่มฟิล์มแตกต่างกัน พบว่าระยะเวลาในช่วง 15 วินาทีแรกของการจุ่มฟิล์มที่ได้ แผ่นฟิล์มจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อจุ่มฟิล์มโดยให้ระยะเวลาที่เกินไปจาก 30 นาที พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ความยาวคลื่นคงที่ เนื่องจากฟิล์มที่ได้จากการเคลือบอนุภาคทองระดับนาโนมีลักษณะของผิวฟิล์มที่เรียบและอนุภาคทองมีการกระจายตัวมากขึ้นและสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาในการดูดซับของอนุภาคทองบนแผ่นฟิล์มเพื่อสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ PDADMAC สภาวะที่ 2 ในระยะเวลา 15 วินาที เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีสีชมพูสำหรับประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดต่อไป



รูปที่ 4.32 สเปกตรัมค่าการดูดกลืนแสงที่เวลาต่างๆในการดูดซับ (A) และค่าการดูดกลืนที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่เวลาต่างๆในการดูดซับของอนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้ PDADMAC สภาวะที่ 4 (B)

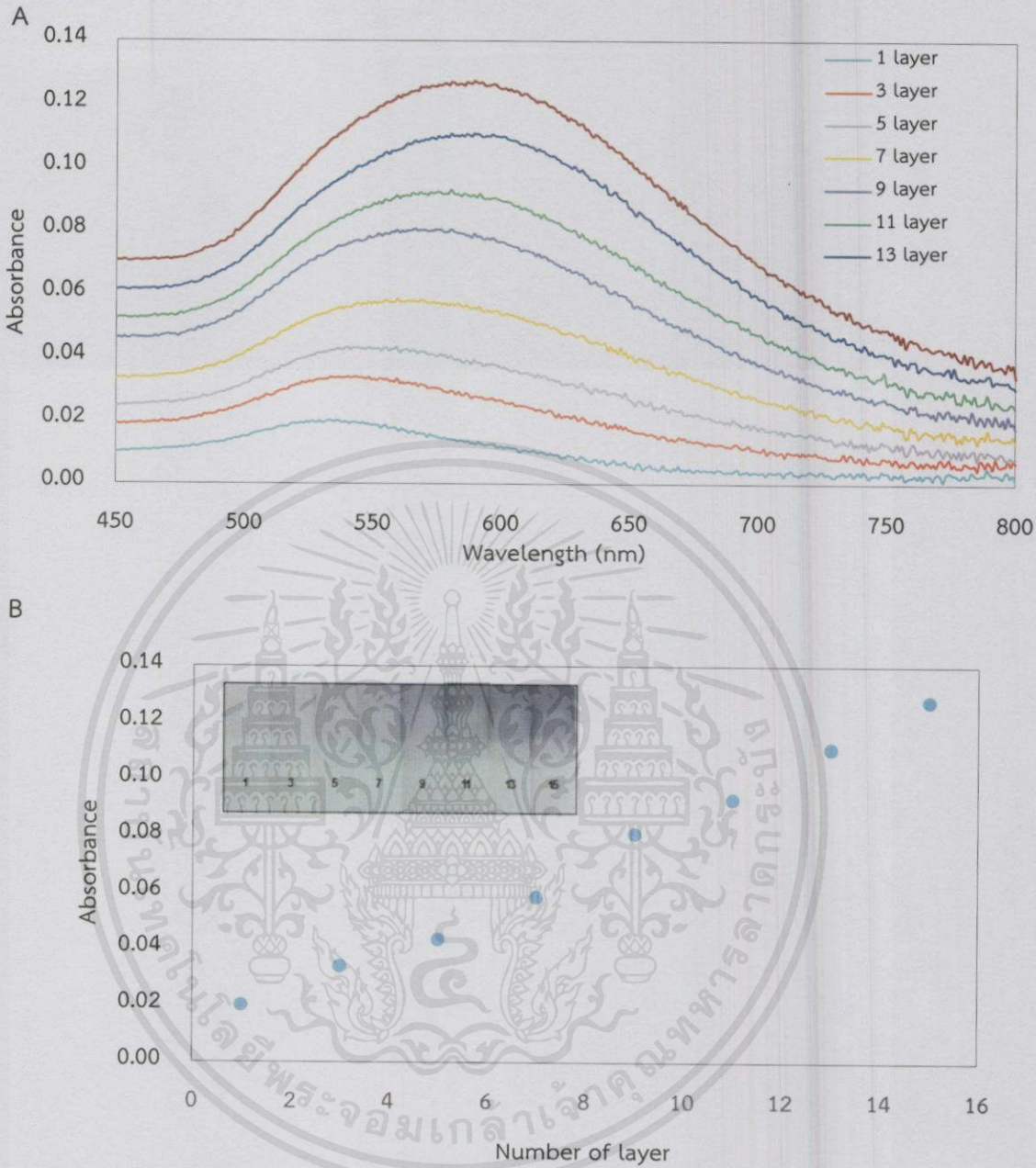
เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเคมีอินทรีย์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยไม่ผ่านการคัดลอกหรือแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.32 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ PDADMAC สภาวะที่ 4 ที่ระยะเวลาในการจุ่มฟิล์มแตกต่างกัน พบว่าระยะเวลาในช่วง 15 วินาทีแรกของการจุ่มฟิล์มที่ได้ แผ่นฟิล์มจะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อจุ่มฟิล์มโดยให้ระยะเวลาที่เกินไปจาก 30 นาที พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่ความยาวคลื่นคงที่ เนื่องจากฟิล์มที่ได้จากการเคลือบอนุภาคทองระดับนาโนมีลักษณะของผิวฟิล์มที่เรียบและอนุภาคทองมีการกระจายตัวมากขึ้นและสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาในการดูดซับของอนุภาคทองบนแผ่นฟิล์มเพื่อสร้างแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ PDADMAC สภาวะที่ 4 ในระยะเวลา 15 วินาที เพื่อให้ได้แผ่นฟิล์มที่มีสีชมพูสำหรับประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดต่อไป

4.3.7 ผลการศึกษาจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มที่มีผลต่อการสร้างฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโน

เป็นการศึกษาความแตกต่างของจำนวนชั้นการเคลือบฟิล์มที่มีผลต่อการสร้างฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้สารปรับสภาพพื้นผิว PDADMAC ที่แตกต่างกันทั้ง 3 สภาวะ ในการประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ โดยทำการวิเคราะห์ผลด้วย UV-Vis spectrophotometer ศึกษาผลของจำนวนชั้นในการเคลือบฟิล์มก่อนนำไปทำการประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้ (Sensor) โดยจะสามารถอธิบายค่าการดูดกลืนแสงได้ดังรูปที่ 4.33, 4.34 และ 4.35

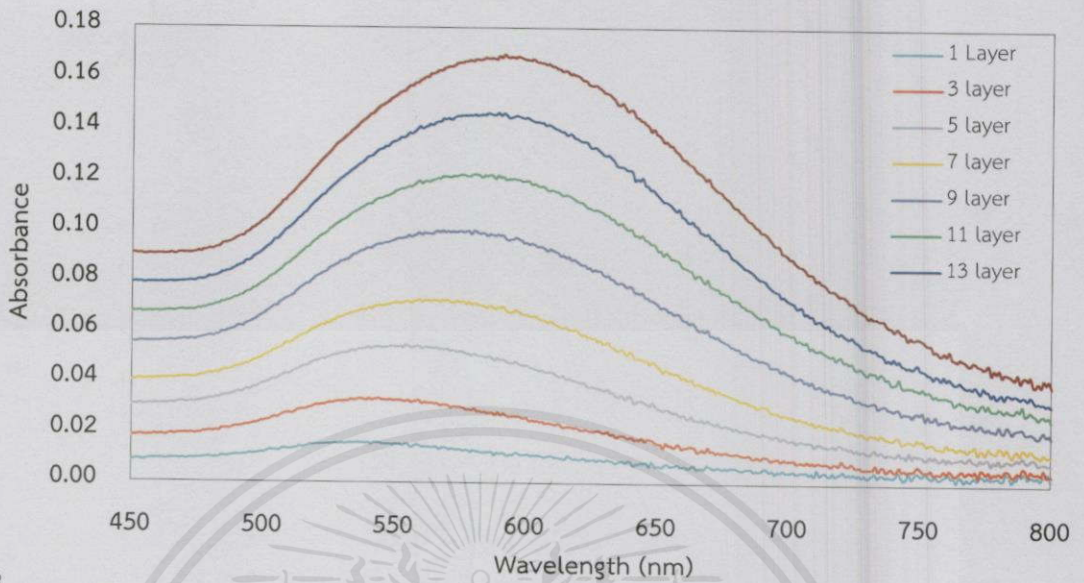
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



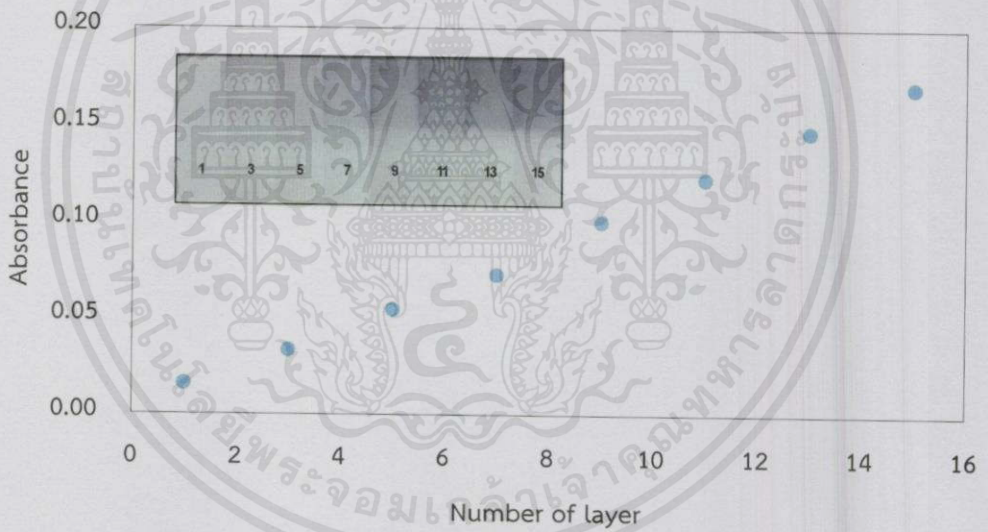
รูปที่ 4.33 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่จำนวนชั้นต่างๆของแผ่นฟิล์ม (A) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดกับจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มที่ PDADMAC สภาวะที่ 1 (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A

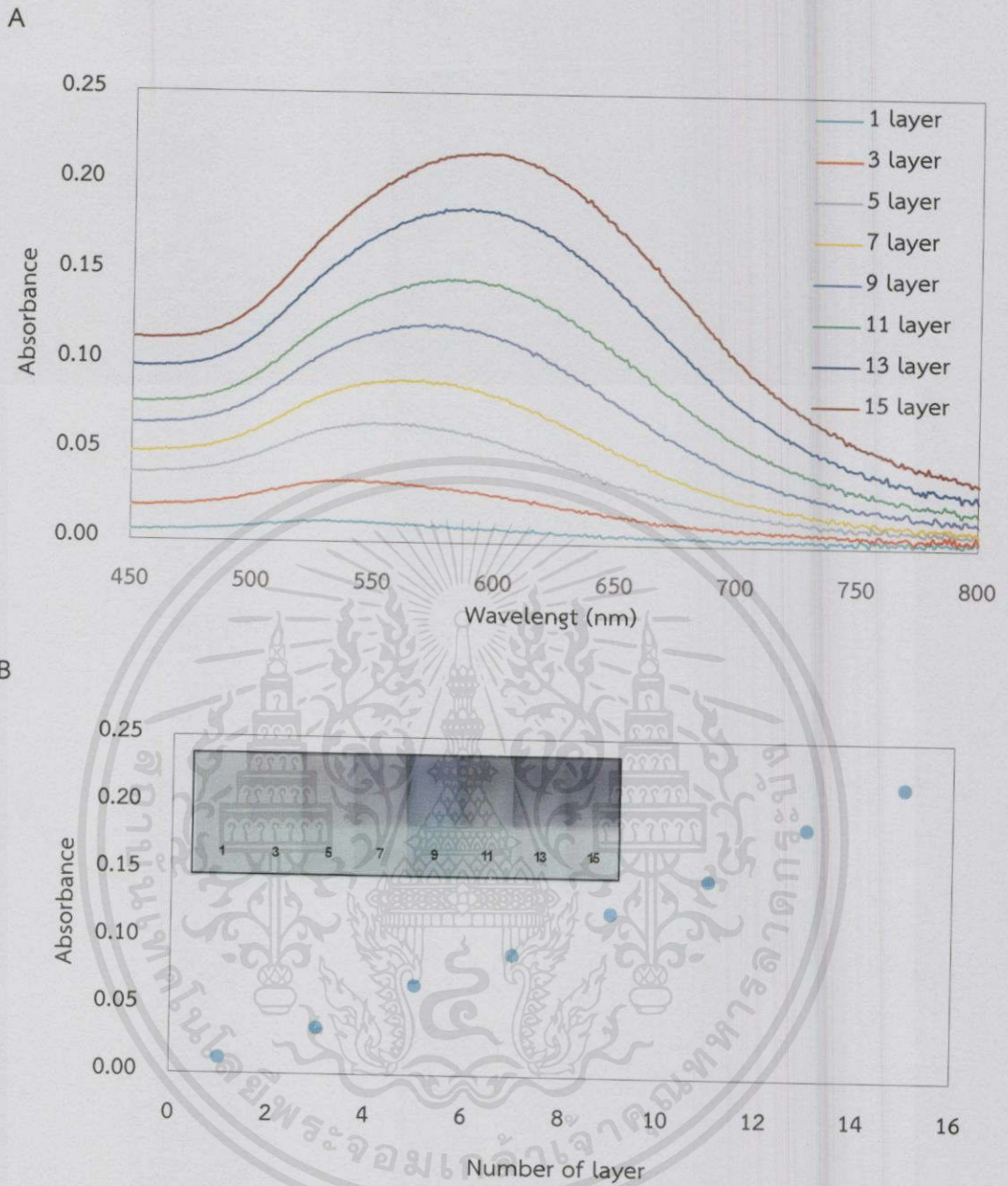


B



รูปที่ 4.34 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่จำนวนชั้นต่างๆของแผ่นฟิล์ม (A) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด กับจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มที่ PDADMAC สภาวะที่ 2 (B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่จำนวนชั้นต่างๆของแผ่นฟิล์ม (A) และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด กับจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มที่ PDADMAC สภาวะที่ 4 (B)

จากรูปที่ 4.33, 4.34 และ 4.35 วิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของฟิล์มที่เคลือบด้วยสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนบนแผ่นกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วย PDADMAC ทั้ง 3 สภาวะ ให้มีความหนาของชั้นฟิล์มเท่ากับ 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 และ 15 ชั้น ซึ่งกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดกับจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์ม ทั้ง 3


สภาวะ มีลักษณะของกราฟเป็นเส้นตรง คือค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น และเมื่อสังเกตสีของแผ่นฟิล์มจะได้ว่าฟิล์มที่มีความหนาท่ำกว่าจะให้สีบนแผ่นฟิล์มที่อ่อนกว่า ซึ่งให้แผ่นฟิล์มเป็นสีชมพูส่วนฟิล์มที่มีความหนาสูงขึ้น สีบนแผ่นฟิล์มจะเข้มขึ้นจากสีชมพูกลายเป็นสีม่วงน้ำเงิน ซึ่งไม่เหมาะในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัด ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ฟิล์มหนา 1 ชั้นที่มีค่าการดูดกลืนแสงค่อนข้างต่ำ แต่สีของแผ่นฟิล์มให้สีชมพูอ่อนเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดปริมาณโดพามีน

4.3.8 ผลการศึกษาความแตกต่างของจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโน

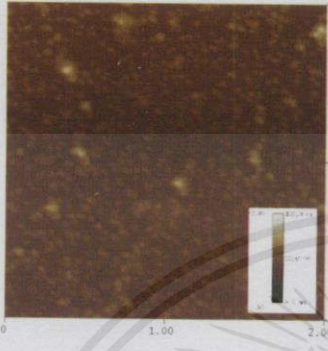
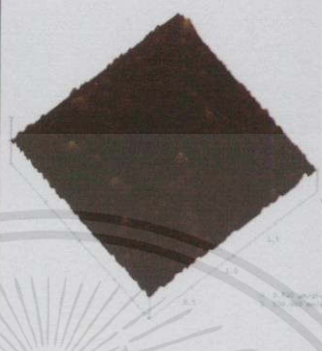


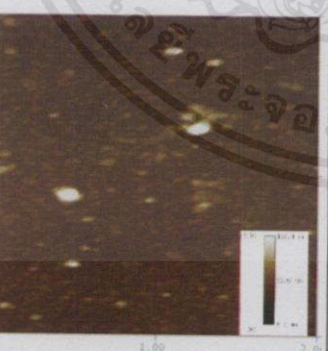

เพื่อยืนยันผลของจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์ม ในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลความแตกต่างของจำนวนชั้นของฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนด้วยการตรวจวัดลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่อง AFM สามารถตรวจวัดสภาพความสูงต่ำของพื้นผิวได้จากมุมสะท้อนของลำแสงเลเซอร์ที่ยิงลงไป และจะสามารถทราบความแตกต่างของจำนวนชั้นของฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนได้

การวิเคราะห์ทำได้โดยการนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนมาเคลือบลงบนแผ่นกระจกที่ทำการปรับสภาพพื้นผิวด้วย PDADMAC สภาวะต่างๆ ให้มีจำนวนชั้นแตกต่างกัน แล้วนำแผ่นฟิล์มที่ได้ไปส่องด้วยเครื่อง AFM เพื่อศึกษาค่าความแตกต่างของลักษณะพื้นผิวได้ดังตารางที่ 4.8, 4.9 และ 4.10

ตารางที่ 4.8 แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ PDADMAC สภาวะ 1

จำนวนชั้น	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM)		ค่า RMS, (nm)	ความหนา (nm)
	2 มิติ (scanned at 2 μm)	3 มิติ (scanned at 2 μm)		
1			3.17	5.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวน ชั้น	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM)		ค่า RMS, (nm)	ความหนา (nm)
	2 มิติ (scanned at 2 μm)	3 มิติ (scanned at 2 μm)		
3			9.81	9.97
5			5.44	11.81
7			16.94	18.56

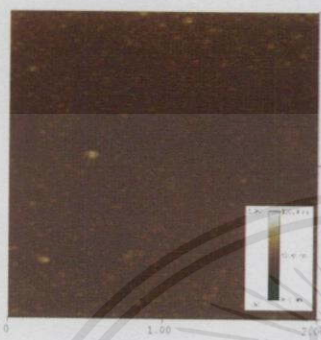
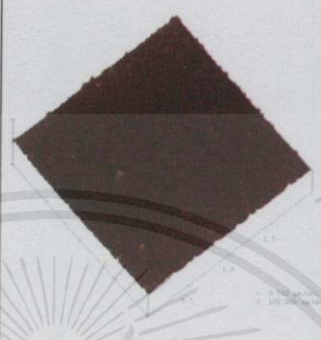




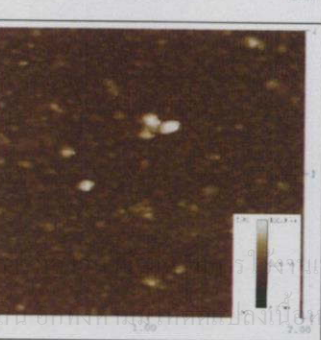

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ PDADMAC สภาวะที่ 2

จำนวน ชั้น	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM)		ค่า RMS, (nm)	ความหนา (nm)
	2 มิติ (scanned at 2 μm)	3 มิติ (scanned at 2 μm)		
1			5.86	5.11
3			9.59	10.75
5			8.53	11.25
7			9.56	14.10

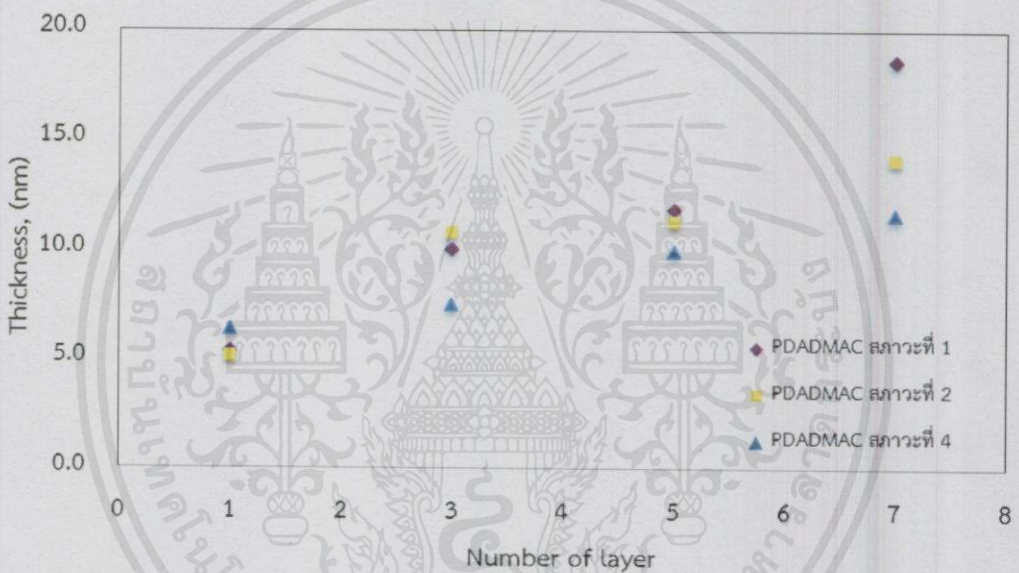
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่แบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ PDADMAC สภาวะที่ 4

จำนวน ชั้น	ภาพจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM)		ค่า RMS, (nm)	ความหนา (nm)
	2 มิติ (scanned at 2 μm)	3 มิติ (scanned at 2 μm)		
1			43.59	6.32
3			11.96	7.43
5			16.96	9.93
7			7.50	11.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่าใครฉีกเอาไปก็ไม่ได้สิทธิ์มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 พบว่ารูปร่างของอนุภาคของระดับนาโนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มที่มีจำนวนชั้นแตกต่างกันนั้น บริเวณที่มีอนุภาคของระดับนาโนอยู่เกาะกลุ่มกันเป็นจำนวนมาก จะส่งผลให้แผ่นฟิล์มมีความหนามากขึ้น โดยบนแผ่นฟิล์มที่จำนวนชั้น 1 ชั้นจะมีความเรียบและอนุภาคเล็กที่สุด เมื่อจำนวนชั้นมากขึ้น ความสูงของชั้นบนแผ่นฟิล์มจะเพิ่มสูงขึ้นและมีอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งอาจเกิดจากการที่อนุภาคของระดับนาโนถูกซ้อนทับกันหลายชั้น โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AFM นั้นจะสามารถแสดงพื้นผิวของแผ่นฟิล์มและสามารถอธิบายถึงลักษณะของพื้นผิวของแผ่นฟิล์มได้ ซึ่งแสดงตามค่าความหนาและค่าความขรุขระของแผ่นฟิล์ม โดยค่าความหนาของแผ่นฟิล์มจะแปรผันตรงกับจำนวนชั้นบนแผ่นฟิล์ม กล่าวคือเมื่อจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มมากขึ้น ค่าความหนาของแผ่นฟิล์มก็มากขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงได้ดังรูปที่ 4.36

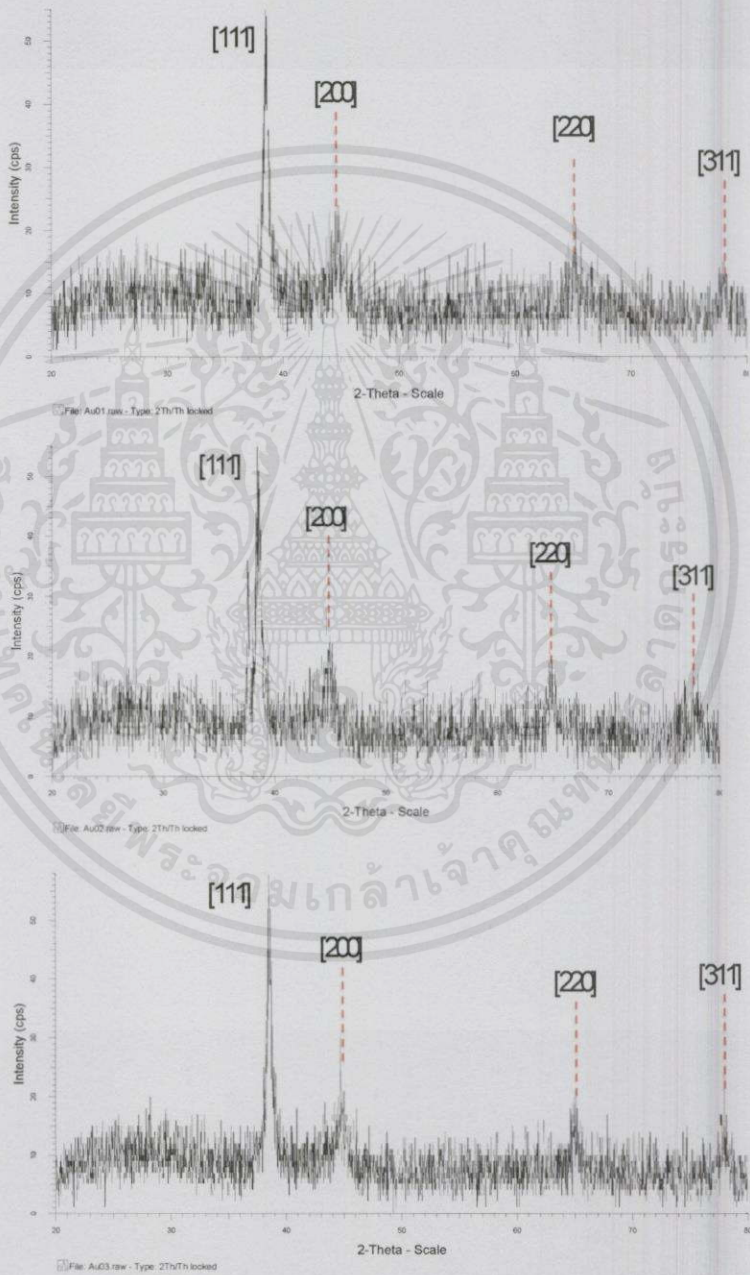


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางแนวตั้งของแผ่นฟิล์มกับจำนวนชั้นบนแผ่นฟิล์มที่ PDADMAC สภาวะที่ 1, 2 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้วงเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.8 ผลการศึกษาพื้นฐานของฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนด้วยเครื่อง XRD

ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของตัวอย่างสามารถแยกแยะประเภทและชนิดว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใดหรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นธาตุชนิดใด โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัดโดยตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์ได้แก่ อนุภาคทองระดับนาโนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วย PDADMAC ทั้ง 3 condition ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.37



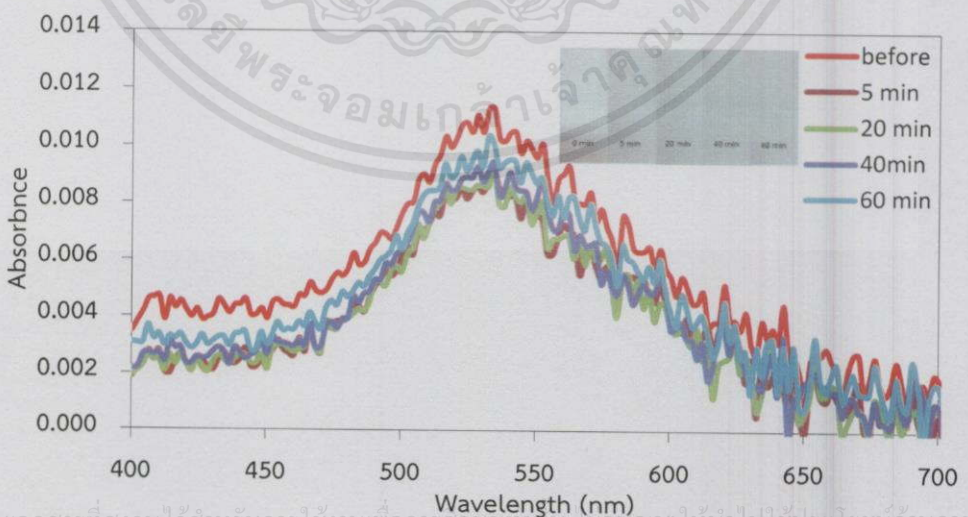
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าในรูปแบบที่ 4.37 รูปแบบของ XRD ในอนุภาคทองระดับนาโนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มที่ปรับสภาพพื้นผิวด้วย PDADMAC สภาวะที่ 1, 2 และ 4 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของอนุภาคทองระดับนาโนที่เคลือบบนแผ่นฟิล์มที่ใช้สภาวะในการปรับสภาพพื้นผิวแตกต่างกัน ด้วยเครื่อง XRD จะเห็นสเปกตรัมที่มีพีคสูงที่สุดมีค่า 2θ ประมาณ 38° ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเลี้ยวเบนของผลึกโครงสร้างของ AuNPs ส่วนค่า 2θ ที่ 45° , 65° และ 78° ซึ่งเกี่ยวข้องกับการหักเหแสงของโครงสร้างผลึกของอนุภาคทองระดับนาโนที่ [200], [220] และ [311] ตามลำดับ ดังนั้นสามารถวิเคราะห์ได้ว่าฟิล์มที่เคลือบบนกระจกที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวที่แตกต่างกันนั้นเป็นโครงสร้างของอนุภาคทองระดับนาโน ซึ่งยืนยันได้จากการเทียบข้อมูลมาตรฐาน [68]

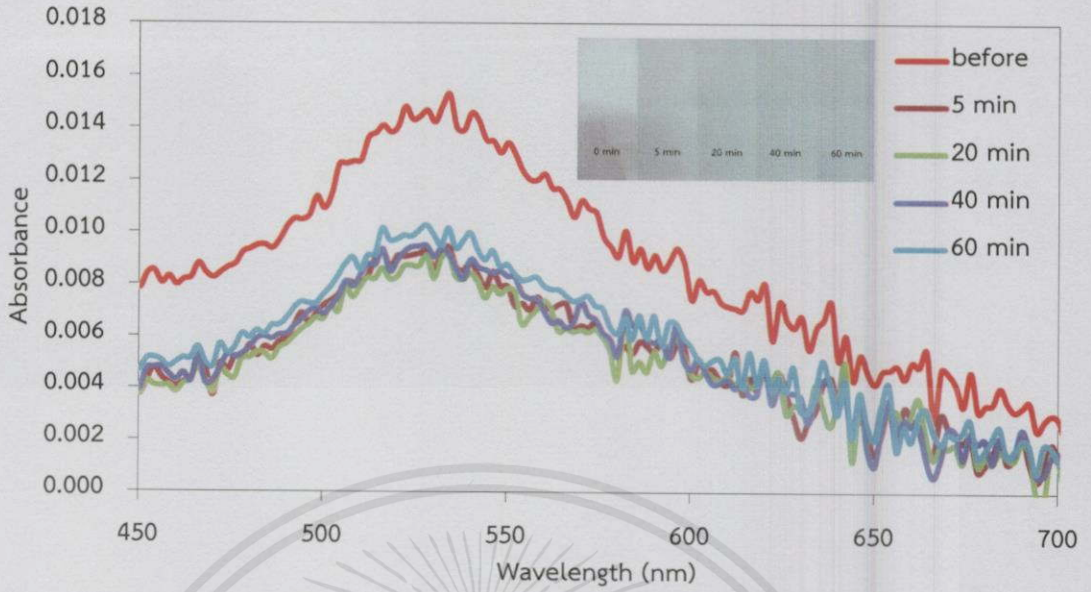
4.3.9 ผลการศึกษาการดูดกลืนแสงของฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ประยุกต์ใช้ตรวจวัดสารละลายโดพามีน

แผ่นฟิล์มที่สร้างจากอนุภาคทองระดับนาโน สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในกระบวนการที่หลากหลาย และด้วยคุณสมบัติของอนุภาคทองระดับนาโนที่มีประจุทางไฟฟ้าเป็นลบ ทำให้สามารถตรวจวัดหาปริมาณโลหะและสารที่มีประจุไฟฟ้าเป็นบวกได้หลากหลายชนิด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนมาตรวจวัดหาปริมาณโดพามีนด้วยวิธีการตรวจวัดสี

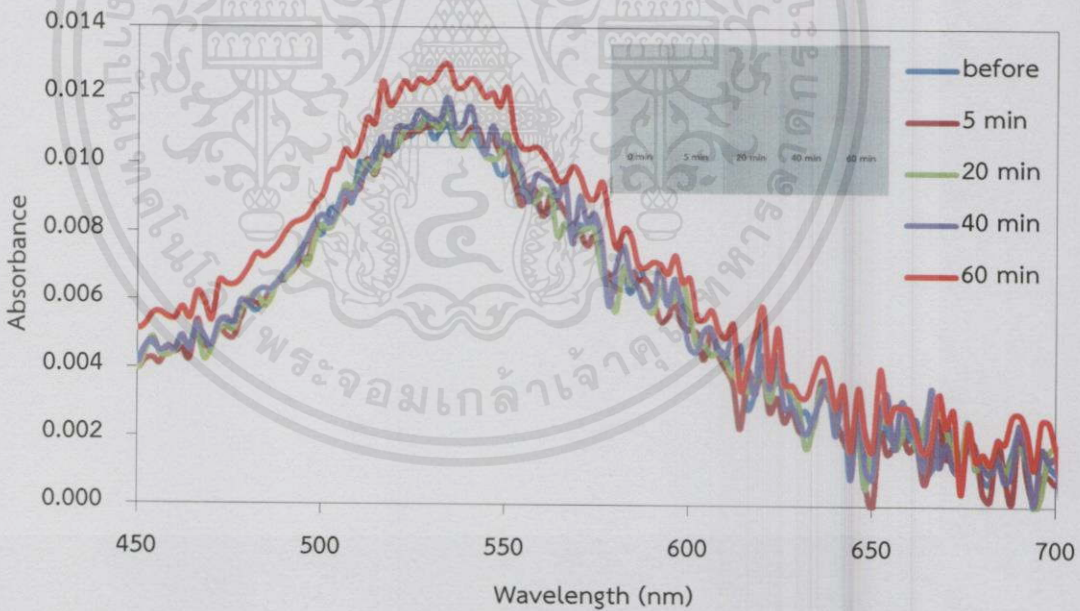
เมื่อนำแผ่นฟิล์มที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM ที่ผ่านการปรับสภาพพื้นผิวด้วยสารปรับสภาพพื้นผิว PDADMAC ในสภาวะที่แตกต่างกัน เป็นตัวตรวจวัดสารละลายโดพามีนความเข้มข้น 1000 μM โดยการนำแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนมาแช่ในสารละลายโดพามีนและตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลาแตกต่างกันแล้วทำการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer เพื่อศึกษาความสามารถในการตรวจวัดและความเปลี่ยนแปลงของค่าการดูดกลืนแสง เพื่อให้ทราบความไวในการตอบสนองของแผ่นฟิล์มเมื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายโดพามีน เปรียบเทียบกัน โดยสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.38, 4.39 และ 4.40 ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า มีอนุภาคให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า รูปที่ 4.38 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ PDADMAC สภาวะที่ 1 ก่อน และหลังตรวจวัดสารละลายโดพามีน



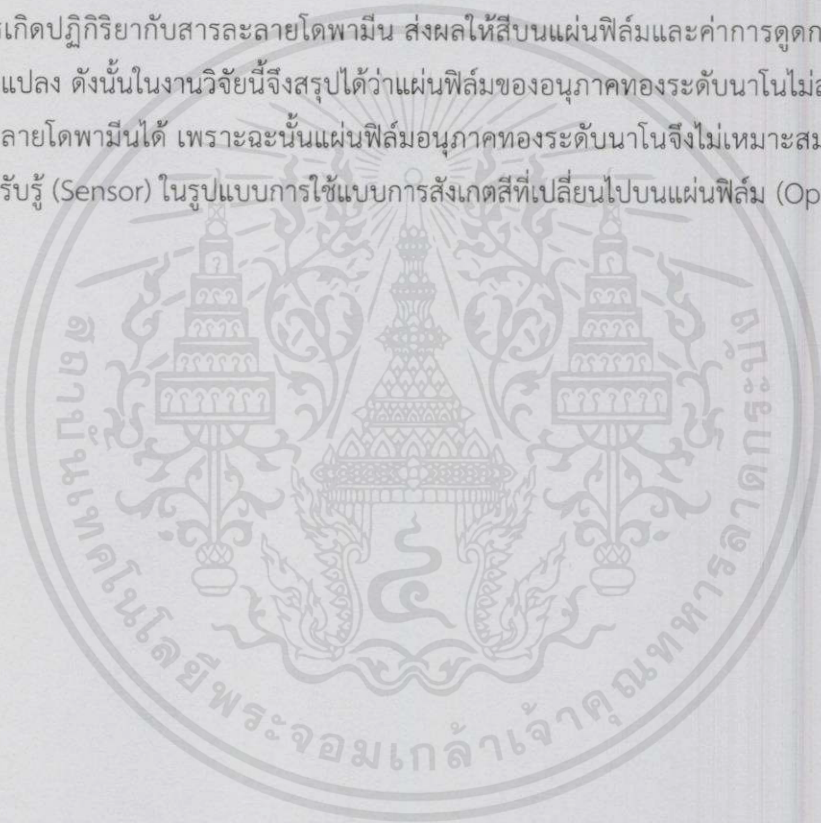
รูปที่ 4.39 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ PDADMAC สภาวะที่ 2 ก่อน และหลังตรวจวัดสารละลายโดพามีน



รูปที่ 4.40 ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ PDADMAC สภาวะที่ 4 ก่อน และหลังตรวจวัดสารละลายโดพามีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์แผ่นฟิล์มอนุภาคของระดับนาโนที่ประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดสารละลายโดพามีนความเข้มข้น 1000 μM ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ในรูปที่ 4.38, 4.39 และ 4.40 จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้แผ่นฟิล์มอนุภาคของระดับนาโนทั้ง 3 ความเข้มข้นตรวจวัดสารละลายโดพามีน ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มก่อนตรวจวัดโดพามีนและค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มหลังตรวจวัดโดพามีนมีค่าใกล้เคียงกันมาก แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มอนุภาคของระดับนาโนทั้ง 3 ความเข้มข้น ไม่สามารถนำไปเป็นตัวตรวจวัดสารละลายโดพามีนได้ เนื่องจากเมื่อสังเกตสภาพสีของแผ่นฟิล์มก่อนนำไปตรวจวัดทั้ง 3 ความเข้มข้น จะเห็นว่าแผ่นฟิล์มมีสีชมพูไม่เปลี่ยนแปลง แม้ว่าทิ้งไว้เป็นระยะเวลานานขึ้นก็ตาม จากการศึกษาปรากฏการณ์ดังกล่าวที่เกิดขึ้นทำให้ทราบว่าอนุภาคของระดับนาโนเมื่อนำมาเคลือบสร้างเป็นแผ่นฟิล์มจะมีความเสถียรสูงมาก จึงไม่ตอบสนองต่อการเกิดปฏิกิริยากับสารละลายโดพามีน ส่งผลให้สีบนแผ่นฟิล์มและค่าการดูดกลืนแสงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสรุปได้ว่าแผ่นฟิล์มของอนุภาคของระดับนาโนไม่สามารถตรวจวัดสารละลายโดพามีนได้ เพราะฉะนั้นแผ่นฟิล์มอนุภาคของระดับนาโนจึงไม่เหมาะสมในการนำมาทำเป็นตัวรับรู้ (Sensor) ในรูปแบบการใช้แบบการสังเกตสีที่เปลี่ยนไปบนแผ่นฟิล์ม (Optical Sensor)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนด้วยวิธีของเทอร์เควิช (Turkevich Method) และประดิษฐ์ฟิล์มบางของอนุภาคทองระดับนาโน ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique) สำหรับประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้เพื่อหาปริมาณโดพามีน ซึ่งอาศัยเทคนิควิธีการสังเกตสีที่เปลี่ยนไป (Colorimetric method) โดยการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนด้วยวิธีของเทอร์เควิชนั้นได้ใช้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรทเป็นทั้งตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพ ภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 80 °C ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน คือศึกษาความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพที่มีผลต่ออนุภาคทองระดับนาโน พร้อมทั้งศึกษาความแตกต่างระหว่างการประยุกต์ใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่ความเข้มข้นแตกต่างกันเป็นตัวตรวจวัดสารละลายโดพามีน

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ไตรโซเดียมซิเตรทเป็นตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพอยู่ 3 ความเข้มข้น คือไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้นที่ 10, 20 และ 50 mM ซึ่งความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรททั้ง 3 ความเข้มข้นจะส่งผลให้ได้อนุภาคทองระดับนาโนที่มีขนาดแตกต่างกัน เนื่องจากผลของประจุลบที่ล้อมรอบอนุภาคทอง โดยสามารถวิเคราะห์ได้จากค่า Zeta potential ของอนุภาคทอง ซึ่งได้ผลดังนี้คือ ที่ใช้ไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM มีค่าศักย์ซีต้าเท่ากับ -43.63, -49.23 และ -58.77 mV ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถยืนยันขนาดของอนุภาคทองระดับนาโนได้จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพด้วยเครื่อง TEM ได้ผลดังนี้คือ ที่ใช้ไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM อนุภาคทองมีขนาด 31-35, 16-20 และ 13-14 nm ตามลำดับ

เมื่อนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่มีตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 10, 20 และ 50 mM ไปประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจวัดหาปริมาณโดพามีน พบว่าอนุภาคทองระดับนาโนที่ความเข้มข้น 50 mM มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดปริมาณโดพามีนมากที่สุด ซึ่งมีค่า LOD = 12.85 μM และ LOQ = 42.83 μM และอนุภาคทองระดับนาโนที่ความเข้มข้น 20 mM มีประสิทธิภาพรองลงมา ซึ่งมีค่า LOD = 17.31 μM และ LOQ = 57.69 μM ส่วนอนุภาคทองระดับนาโนที่ความเข้มข้น 10 mM มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดโดพามีนได้ต่ำที่สุด ซึ่งมีค่า LOD = 63.42 μM และ LOQ = 211.43 μM จากผลการศึกษาดังกล่าวจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพมีผลต่อขนาดอนุภาค ซึ่งถ้าใช้ตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพที่มี

ความเข้มข้นสูงจะทำให้ได้อนุภาคนาโนที่มีขนาดเล็กส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาในหาปริมาณสารตัวอย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ในส่วนการนำอนุภาคของระดับนาโนไปประดิษฐ์เป็นฟิล์มบางโดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer Technique) การเตรียมแผ่นกระจก (substrate) จะต้องเตรียมให้มีประจุบวก (Polycation) และประจุลบ (Polyanion) โดยใช้สารละลายพอลิได้อัลริลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (PDADMAC) และสารละลายไตรโซเดียมซิเตรท เคลือบฟิล์มซ้อนทับกันตามลำดับ แล้วจึงเคลือบทับด้วยสารละลายอนุภาคของระดับนาโนโดยตั้งทิ้งไว้ 15 วินาที แล้วนำไปทดสอบกับสารละลายโดพามีนซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า แผ่นฟิล์มอนุภาคของระดับนาโนไม่ตอบสนองต่อสารละลายโดพามีน กล่าวคือ สีของแผ่นฟิล์มไม่มีการเปลี่ยนแปลงไป ยังคงมีสีชมพูเช่นเดิม ทั้งนี้เนื่องมาจากอนุภาคของระดับนาโนเมื่อยึดเกาะเป็นแผ่นฟิล์มจะมีความเสถียรสูงมาก ทำให้ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกับสารละลายโดพามีนได้ ดังนั้นการนำแผ่นฟิล์มอนุภาคของระดับนาโนมาประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณสารตัวอย่างด้วยวิธีการสังเกตสีจึงไม่เหมาะสม

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการสังเคราะห์และประดิษฐ์ฟิล์มบางอนุภาคของระดับนาโน ด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique) สำหรับประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้เพื่อใช้หาปริมาณโดพามีน พบปัญหาและเทคนิคบางประการที่สามารถนำไปปรับปรุงการทดลองให้ได้ผลลัพธ์ออกมาดีที่สุด โดยปัญหาและข้อเสนอแนะมีดังนี้

1. การสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโนต้องควบคุมอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ในช่วง 80 °C และไม่ควรเกิน 100 °C เพื่อป้องกันการตกตะกอนของอนุภาคของระดับนาโนขณะทำการสังเคราะห์ อาจทำการศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโนหรือวิธีการสังเคราะห์อนุภาคของวิธีอื่น

2. การขึ้นรูปเตรียมแผ่นฟิล์มด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique) ต้องล้างด้วยน้ำสะอาดทุกครั้งเพื่อกำจัดพอลิเมอร์ที่ติดซับบนพื้นผิว (substrate) มากเกินไป

3. เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการศึกษาหาความเหมาะสมของค่า pH ในการทำปฏิกิริยากับโดพามีน ดังนั้นควรศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในงานวิจัยต่อไป

4. การใช้พอลิอิเล็กโทรไลต์ในการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มอนุภาคของนี้ ไม่เหมาะสมในการตรวจวัดโดพามีน เนื่องจากสีของแผ่นฟิล์มไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีที่ชัดเจน ดังนั้นอาจเปลี่ยนชนิดของพอลิอิเล็กโทรไลต์หรือเปลี่ยนเทคนิคที่ใช้ในการขึ้นรูปฟิล์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารทศงาน ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] National Nanotechnology Initiative. (2558). **Nanotechnology Timeline**.
[Online]. Available : <http://www.nano.gov/timeline>.
- [2] Nanosense. (2558) **Lesson 1 : Introduction to Nanoscience Student Materials**.
[Online]. Available : nanosense.sri.com/.../introduction/SM_Lesson1Student.
- [3] Houghton Mifflin Company. (2558) **Nanotechnology**.
[Online]. Available : <http://dictionary.reference.com/browse/nanotechnology>.
- [4] Sholto. (2558) **Nanoscale**. [Online]. Available :
<http://www.sholtoainslie.com/wp-content/uploads/2013/03/NanoScale.jpg>.
- [5] Satoshi Horikoshi, Nick Serpone. 2013. **Introduction to Nanoparticles
Microwaves in Nanoparticle Synthesis**. First Edition. Wiley-VCH Verlag GmbH
& Co. KGaA.
- [6] J. Turkevich, P.C. Stevenson, J. Hillier. 1951. Discuss. *Faraday Soc.* (11) : 55-75.
- [7] G. Frens. 1973. "Controlled nucleation for the regulation of the particles size in monodisperse gold suspension." *Nature: Phys. Sci.* (241) : 20-21.
- [8] J. Kimling, M. Maier, B. Okenve, V. Kotaidis, H. Ballot, A. Plech. 2006. "Turkevich method for gold nanoparticles synthesis revisited." *J. Phys. Chem. B.* (110) : 15700-15707.
- [9] X. Ji, X. Song, J. Li, Y. Bai, W. Yang, X. Peng. 2007. "Size control gold nanocrystals in citrate reduction: the third role of citrate" *J. Am. Chem. Soc.* (1291) : 13939-13948.
- [10] C. Li, D. Li, G. Wan, J. Xu, W. Hou. 2011. "Facile synthesis of concentrated gold nanoparticles with low size-distribution in water: temperature and pH controls." *Nanoscale Res. Lett.* (6) : 440.
- [11] M.R. Rahman, F.S. Saleh, T. Okajima, T. Ohsaka. 2011. "pH dependence of the size and crystallographic orientation of the gold nanoparticles prepared by seed mediated growth." *Langmuir.* (27) : 5126-5135.
- [12] H. Xia, S. Bai, J. Hartmann, D. Wang. 2010. "Synthesis of monodisperse quasi spherical gold nanoparticles in water via silver(I)-assisted citrate reduction." *Langmuir.* (26) : 3585-3589.

- [13] A. Rohiman, I. Anshori, A. Surawijaya, I. Idris. 2011. "Study of colloidal gold synthesis using Turkevich method." *AIP Conf. Proc.* (1415) : 39-42.
- [14] J.H. Kim, B.W. Lavin, R.D. Burnett, B.W. Boote. 2011. "Controlled synthesis of gold nanoparticles by fluorescent light irradiation." *Nanotechnology.* (22) : 285602.
- [15] C.H. Su, P.L. Wu, C.S. Yeh. 2003. "Sonochemical synthesis of well-dispersed gold nanoparticles at the ice temperature." *J. Phys. Chem. B.* (107) : 14240-14243.
- [16] I. Ojea-Jimenez, F.M. Romero, N.G. Bastus, V. Puntes. 2010. "Small gold nanoparticles synthesized with sodium citrate and heavy water: insight into the mechanism." *J. Phys. Chem. C.* (114) : 1800-1804.
- [17] J.W. Slot, H.J. Geuze. 1985. "A new method of preparing gold probes for multiple-label cytochemistry." *Eur. J. Cell Biol.* (38) : 87-93.
- [18] K.R. Brown, A.P. Fox, M.J. Natan. 1996. "Morphology-dependent electrochemistry of cytochrome c at Au colloid-modified SnO₂ electrodes." *J. Am. Chem. Soc.* (118) : 1154-1157.
- [19] D. Philip. 2008. "Synthesis and spectroscopic characterization of gold nanoparticles." *Spectrochim. Acta.* (71) : 80-85.
- [20] M. Brust, M. Walker, D. Bethell, D.J. Schiffrin, R.J. Whyman. 1994. "Synthesis of thiol-derivatised gold nanoparticles in a two-phase Liquid-Liquid system." *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* (7) : 801-802.
- [21] Alvarez, M. M. Khoury, J. T. Schaaff, T. G. Shafigullin, M. Vezmar, I. Whetten. 1997. "Critical sizes in the growth of Au clusters." *L.Chem. Phys. Lett.* (266) : 91-98.
- [22] Schaaff, T. G. Shafigullin, M. N. Khoury, J. T. Vezmar, I. Whetten, R. L. Cullen, W. G. First, P. N. Gutierrez-Wing, C. Ascensio, J. Jose-Yacamán, M. J. J. 1997. "Isolation of smaller nanocrystal Au molecules: Robust quantum effects in optical spectra." *Phys. Chem. B.* (101) : 7885-7891.
- [23] Goulet, P. J. G. Lennox, R. B. 2010. "New insights into Brust-Schiffrin metal nanoparticles synthesis." *J. Am. Chem. Soc.* (132) : 9582-9584.
- [24] Y. Li, O. Zaluzhna, B. Xu, Y. Gao, J.M. Modest, Y.J. Tong. 2011. "Mechanistic insight into the Brust-Schiffrin two-phase synthesis of organochalcogenate-protected metal nanoparticles." *J. Am. Chem. Soc.* (133) : 2092-2095.

- [25] M. Brust, J. Fink, D. Bethell, D.J. Schiffrin, C.J. Kiely. 1995. "Synthesis and reactions of functionalized gold nanoparticles." *J. Chem. Soc. Chem. Commun.* (16) : 1655-1656.
- [26] K.R. Brown, M.J. Natan. 1998. "Hydroxylamine seeding of colloidal Au nanoparticles in solution and on surfaces." *Langmuir.* (14) : 726-728.
- [27] N.R. Jana, L. Gearheart, C.J. Murphy. 2001. "Seed-mediated growth approach for shape-controlled synthesis of spheroidal and rod-like gold nanoparticles using surfactant template." *Adv. Mater.* (13) : 1389-1393.
- [28] B. Nikoobakht, M.A.E.I-Sayed. 2003. "Preparation and growth mechanism of gold nanorods using seed-mediated growth method." *Chem. Mater.* (15) : 1957-1962.
- [29] T.K. Sau, C.J. Murphy. 2004. "Room temperature, high-yield synthesis of multiple shapes of gold nanoparticles in aqueous solution." *J. Am. Chem. Soc.* (126) : 8648-8649.
- [30] M.S. Bakshi, F. Possmayer, N.O. Petersen. 2008. "Aqueous-phase room-temperature synthesis of gold nanoparticles: soft template effect of Gemini surfactant." *J. Phys. Chem. C.* (112) : 8259- 8265.
- [31] Y. Zhang, F.G. Xu, Y.J. Sun, C.L. Guo, K. Cui, Y. Shi, Z.W. Wen, Z. Li. 2010. "Seed-mediated synthesis of Au nanocages and their electrocatalytic activity towards glucose oxidation." *Chem. Eur. J.* (16) : 9248- 9256.
- [32] X.S. Kou, Z.H. Sun, Z. Yang, H.J. Chen, J.F. Wang. 2009. "Curvature-directed assembly of gold nanocube, nanobranches, and nanospheres." *Langmuir.* (25) : 1692-1698.
- [33] G.H. Jeong, M. Kim, Y.W. Lee, W. Choi, W.T. Oh, Q.H. Park, S.W. Han. 2009. "Polyhedral Au nanocrystal exclusively bond by {110} facets: The rhombic dodecahedron." *J. Am.Chem. Soc.* (131) : 1672-1673.
- [34] Shodhganga. (2558). **Chapter 1: Introduction to metal nanoparticles and fundamental aspects of high energy radiation in synthesis metal nanoparticles.** [Online]. Available : http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/11458/6/06_chapter%201.pdf.

[35] Dmitri K. 2013. **Stabilization of colloids** [Online]. Available :

http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=stabilization_of_colloids.

- [36] A. Balanta, C. Godard, C. Claver. 2011. "Pd nanoparticles for C–C coupling reactions." *Chem. Soc. Rev.* (40) : 4973-4985.
- [37] X. Huang, M. A. El-Sayed. 2010. "Gold nanoparticles: Optical properties and implementations in cancer diagnosis and photothermal therapy." *J. Adv. Res.* (1) : 13–28.
- [38] Shodhganga. (2558) **Introduction to metal nanoparticles and fundamental aspects of high energy radiation in synthesis metal nanoparticles.** [Online] Available : http://shodhganga.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/11458/6/06_Chapter%201.pdf.
- [39] A. Owen. 2000. **Transmission and color.** [Online]. Available : <http://www.chem.agilent.com/en-US/products-services/Instruments-Systems/Molecular-Spectroscopy/Pages/tutorial.aspx>.
- [40] A. Owen. 2000. **Absorbance and complimentary colors.** [Online]. Available : <http://www.chem.agilent.com/en-US/products-services/Instruments-Systems/Molecular-Spectroscopy/Pages/tutorial.aspx>.
- [41] R.K. Iler. 1996. "Multilayers of colloidal particles." *J. Colloid Interface Sci.* (21) : 569-594.
- [42] A.D. McNaught and A. Wilkinson. 1997. **Compendium of Chemical Terminology.** 2nd.
- [43] Y. Xiang, S. Lu, S. P. Jiang. 2012. "Layer-by-layer self-assembly in the development of electrochemical energy conversion and storage devices from fuel cells to supercapacitors." *Chem. Soc. Rev.* (41) : 7291-7321.
- [44] ศูนย์การเรียนรู้สุขภาพและพฤติกรรมสุขภาพ. 2551. **โดปามีน – สารเคมีในสมอง.** [Online]. Available : <http://www.vachiraphuket.go.th/www/public-health/?name=knowledge&file=readknowledge&id=172>
- [45] M.J.O'Neil. "Dopamine." *The Merch Index.* 14 (2006) : 578-579
- [46] Parkinson J. 1817. **An Essay on the shaking Palsy.** London: Sherwood, Neely, and Jones.
- [47] **The Basal Ganglia in Neurodegenerative Diseases.** [Online]. Available : <http://www.upright-health.com/basal-ganglia.html>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารทวงงาน ให้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [48] นิพนธ์ พวงวรินทร์, บรรณาธิการ. 2536. **โรคพาร์กินสัน PARKINSON'S DISEASE.** กรุงเทพฯ : เรือนแก้วการพิมพ์.
- [49] รุ่งโรจน์ พิทยศิริ, กัมมัตต์ พันธุมจินดา และท่านผู้หญิง ศรีจิตรา บุณนาค. 2549. **โรคพาร์กินสัน รักษาได้.** กรุงเทพฯ : ศูนย์รักษาโรคพาร์กินสัน และกลุ่มโรคความเคลื่อนไหวผิดปกติ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย.
- [50] รุ่งโรจน์ พิทยศิริ, บรรณาธิการ. 2553. **คู่มือแนวทางการวินิจฉัยและรักษาโรคพาร์กินสัน สำหรับแพทย์ในเวชปฏิบัติ CLINICAL PRACTICE GUIDELINE FOR DIAGNOSIS AND MANAGEMENT OF PARKINSON'S DISEASE.** กรุงเทพฯ : ศูนย์รักษาโรคพาร์กินสัน และกลุ่มโรคความเคลื่อนไหวผิดปกติ โรงพยาบาลจุฬาลงกรณ์ สภากาชาดไทย.
- [51] Keysight Technologies. 2015. **Atomic Force Microscopy - What is it?.** [Online]. Available : <http://www.keysight.com/main/editorial.jspx?ckey=1774141&id=1774141&nid=-33986.0&lc=spa&cc=VE>.
- [52] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2558. **การสร้างโครงสร้างนาโนโดยเทคโนโลยีปัจจุบัน.** [Online]. Available : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/scibook/nanotech/page/Unit4-3.html>.
- [53] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2558. **การสร้างโครงสร้างนาโนโดยเทคโนโลยีปัจจุบัน.** [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>
- [54] **Uv-vis spectrophotometer.** [Online]. Available : <http://glasswarechemical.com/scientific-instrument/%E0%B8%AB%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3-uv-vis-spectrophotometer>.
- [55] **Uv-vis spectrophotometer.** [Online]. Available : <http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/component/k2/item/140-uv-visible-spectrophotometer.html>.
- [56] **X-ray diffraction–Bruker D8 Discover.** [Online]. Available : <https://fys.kuleuven.be/iks/nvsf/experimental-facilities/x-ray-diffraction-2013-bruker-d8-discover>.

- [57] พิศิษฐ์ สิงห์ใจ. 2551. “การวัดขนาดอนุภาคระดับนาโนโดยใช้เครื่อง DLS และ Zeta Potential Sizer.” *วารสารคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*. 2 : 148-153.
- [58] **Zeta potential**. [Online]. Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Zeta_potential.
- [59] Y. Zhou, H. Dong, L. Liu, M. Li, K. Xiao, M. Xu. 2014. “Selective and sensitive colorimetric sensor of mercury (II) based on gold nanoparticles and 4-mercaptophenylboronic acid.” *Sens. Actuators. B.* (196) : 106-111.
- [59] Z. Chen, Y. Huang, X. Li, T. Zhou, H. Ma, H. Qiang, Y. Liu. 2013. “Colorimetric detection of potassium ions using aptamer-functionalized gold nanoparticles.” *Anal. Chim. Acta.* (787) : 189-192.
- [60] D. Zhao, C. Chen, L. Lu, F. Yang, X. Yang. 2015. “A label-free colorimetric sensor for sulfate based on the inhibition of peroxidase-like activity of cysteamine-modified gold nanoparticles.” *Sens. Actuators. B.* (215) : 437-444.
- [61] X. Wei, L. Qi, J. Tan, R. Liu, F. Wang. 2010. “A colorimetric sensor for determination of cysteine by carboxymethyl cellulose-functionalized gold nanoparticles.” *Anal. Chim. Acta.* (671) : 80-84.
- [62] R. Ojani, J.B. Raoof, A. A. Maleki, S. Safshekan. 2014. “Simultaneous and sensitive detection of dopamine and uric acid using a poly(L-methionine) /goldnanoparticle-modified glassy carbon electrode.” *Chinese Journal of Catalysis.* (35) : 423-429.
- [63] Y. Leng, K. Xie, L. Ye, G. Li, Z. Lu, J. He. 2015. “Gold-nanoparticle-based colorimetric array for detection of dopamine in urine and serum.” *Talanta.* (139) : 89-95.
- [64] Y. M. Sung, S. P. Wu. 2014. “Colorimetric detection of Cd(II) ions based on di-(1H-pyrrol-2-yl)methanethione functionalized gold nanoparticles.” *Sens. Actuators B.* (201) : 86-91.
- [65] L. F. Yuan, Y. J. He, H. Zhao, Y. Zhou, P. Gu. 2014. “Colorimetric detection of D-amino acids based on anti-aggregation of gold nanoparticles.” *Chin. Chem. Lett.* (25) : 995-1000.
- [66] S. Xie, R. Yuan, Y. Chai, L. Bai, Y. Yuan, Y. Wang. 2012. “Label-free electrochemical aptasensor for sensitive thrombin detection using layer-by-layer self-assembled multilayers with toluidine blue–graphene composites and gold nanoparticles.” *Talanta.* (98) : 7-13.

- [67] F. Zhang, M.P. Srinivasan. 2008. "Layer-by-layer assembled gold nanoparticle films on amine-terminated substrates." *J. Colloid Interface Sci.* (39) : 450-456.
- [68] H.C. Lee, T.H. Chen, W.L. Tseng. C.H. Lin. 2012. "Novel core etching technique of gold nanoparticles for colorimetric dopamine detection." *Analyst.* (137) : 5352-5357.
- [69] Q.F. Zhou. J.C. Bao. Z. Xu. 2002. "Shape-controlled synthesis of nanostructured gold by a protection–reduction technique." *J. Mater. Chem.* (12) : 384-387.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การเตรียมปริมาณสารเคมี

1. การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนด้วยวิธีของเทอร์เควิช (Turkevich Method)

1.1 การเตรียมสารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเททความเข้มข้น 1 mM

ชั่งน้ำหนักของไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเทท 0.0985 กรัม ละลายและปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 ml ด้วยน้ำ DI จะได้สารละลายไฮโดรเจนเตตระคลอโรอโรเททความเข้มข้น 1 mM ปริมาตร 250 ml

1.2 การเตรียมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 1, 10, 20 และ 50 mM

ชั่งน้ำหนักของไตรโซเดียมซิเตรท 0.0149, 0.1471, 0.2941 และ 0.7353 กรัมตามลำดับ ละลายและปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml ด้วยน้ำ DI จะได้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 1, 10, 20 และ 50 mM

2. การศึกษาปรากฏการณ์รับรู้ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนและสารละลายมาตรฐานโดพามีน

2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 1000 μ M

ชั่งน้ำหนักโดพามีน 0.0475 กรัม ละลายและปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 ml ด้วยน้ำ DI ได้สารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 1000 μ M

2.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 10, 20, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 300, 500, 700, 800 และ 900 μ M

ปิเปตสารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 1000 μ M มา 0.5, 1, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 5, 15, 25, 35, 40 และ 45 ml ตามลำดับ ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
จะได้สารละลายมาตรฐานโดพามีนความเข้มข้น 10, 20, 40, 50, 60, 70, 80, 100, 300, 500, 700, 800 และ 900 μ M ตามลำดับ

3. การเตรียมแผ่นฟิล์มของอนุภาคทองระดับนาโน โดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique) โดยใช้สารปรับสภาพพื้นผิวของ substrate เป็น PDADMAC ,PSS และ ไตรโซเดียมซิเตรท

3.1 การเตรียมสารละลาย PDADMAC ความเข้มข้น 10 mM

ปีเปตสารละลาย PDADMAC ปริมาตร 7.48 ml จากนั้นละลายและปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 ml ด้วยน้ำ DI แล้วชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 58.5 กรัม เติมลงไปนในสารละลาย PDADMAC ปริมาตร 1000 ml พร้อมทั้งปั่นกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3.2 การเตรียมสารละลาย PSS ความเข้มข้น 10 mM

ชั่งน้ำหนักของ PSS 2.06 กรัม ละลายและปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 ml ด้วยน้ำ DI จากนั้นชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 58.5 กรัม เติมลงไปนในสารละลาย PSS ปริมาตร 1000 ml พร้อมทั้งปั่นกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน

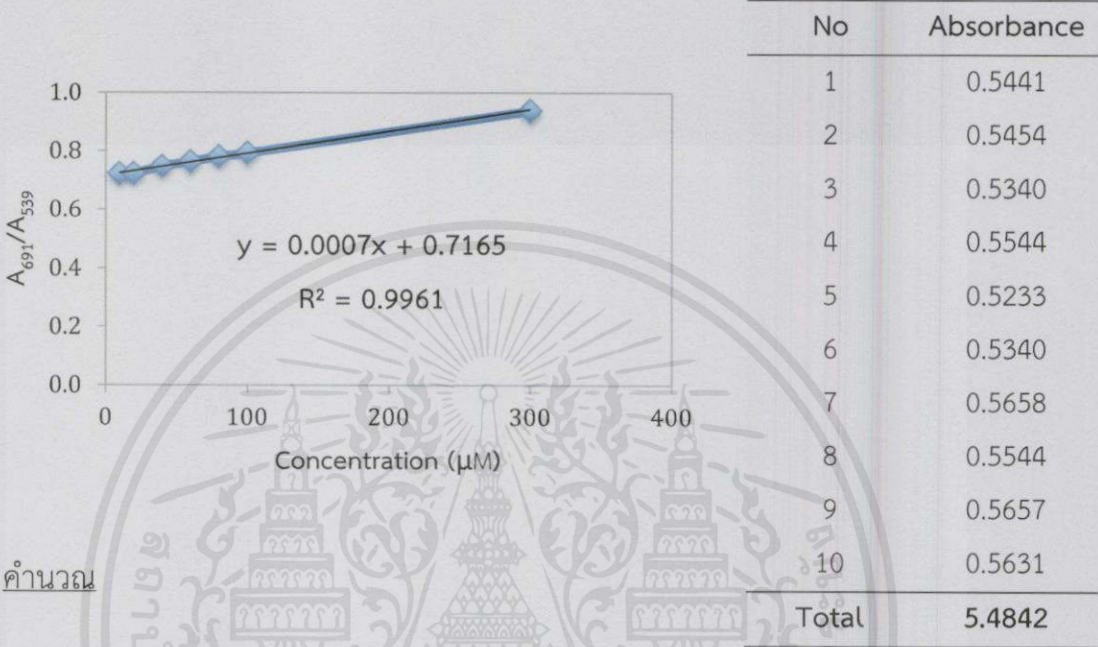
3.3 การเตรียมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรทความเข้มข้น 10 mM

ชั่งน้ำหนักของไตรโซเดียมซิเตรท 0.1471 กรัม ละลายและปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml ด้วยน้ำ DI จากนั้นชั่งเกลือโซเดียมคลอไรด์ 2.925 กรัม เติมลงไปนในสารละลายไตรโซเดียมซิเตรท ปริมาตร 50 ml พร้อมทั้งปั่นกวนสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

1. การคำนวณหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Limit of Detection ; LOD) และ ขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (Limit of Quantitation) ของอนุภาคของระดับนาโน ความเข้มข้น 10 mM



คำนวณ

Average of blank = 0.5484

SD of blank = 0.0148

สูตร $LOD = \frac{3SD \text{ of blank}}{\text{Slope}}$

$3SD = 3 \times 0.0148 = 0.0444$	$LOD = \frac{0.0444}{0.0007}$
$Slope = 0.0007$	$LOD = 63.42 \mu M$

สูตร $LOQ = \frac{10SD \text{ of blank}}{\text{Slope}}$

$3SD = 10 \times 0.0148 = 0.1480$	$LOQ = \frac{0.1480}{0.0007}$
$Slope = 0.0007$	$LOQ = 211.43 \mu M$

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การศึกษาค้นคว้าวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การคำนวณหาค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ (Recovery) ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 10 mM

$$\text{สูตร} \quad \% \text{ Recovery} = \frac{\text{Spiked sample} - \text{Sample}}{\text{Standard}} \times 100$$

ความเข้มข้นโดพามีน (μM)	Absorbance			ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3		
300	0.9319	0.9344	0.9266	0.931	0.004
500	1.0749	1.0778	1.0703	1.0743	0.0038
700	1.2051	1.2075	1.2008	1.2044	0.0034
900	1.3363	1.3392	1.331	1.3355	0.0042
1000	1.427	1.4304	1.4227	1.4267	0.0039

จากสมการเส้นตรง $y = 0.0007x + 0.7165$ จะได้

ตัวอย่างการคำนวณหา %recovery ของโดพามีนความเข้มข้น 300 μM

ความเข้มข้นของโดพามีนที่พบในตัวอย่างเท่ากับ

$$0.9310 = 0.0007x + 0.7165$$

$$x = 306.43 \mu\text{M}$$

นำค่าความเข้มข้นของโดพามีนที่พบในตัวอย่างไปแทนค่าในสูตร จะได้

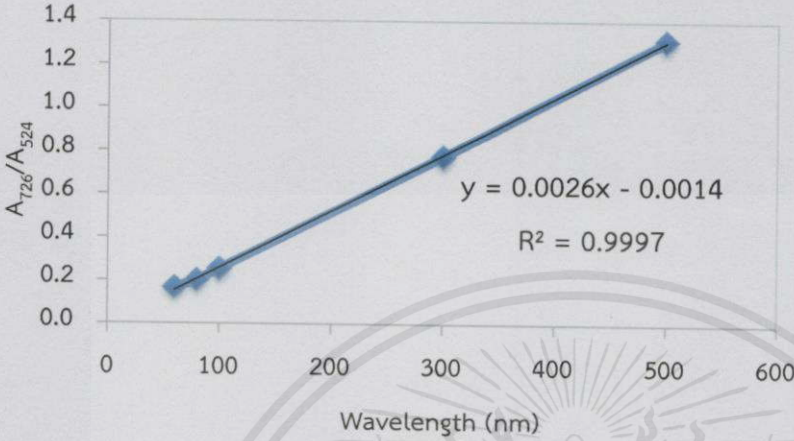
$$\% \text{ Recovery} = \frac{306.43 - 0}{300} \times 100$$

$$= 102.1$$

$$\% \text{ Recovery} = 102.1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การคำนวณหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Limit of Detection ; LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (Limit of Quantitation) ของอนุภาคทองระดับนาโน ความเข้มข้น 20 mM



No	Absorbance
1	0.7443
2	0.7322
3	0.7542
4	0.7327
5	0.7297
6	0.7554
7	0.7513
8	0.7214
9	0.7748
10	0.7367
Total	7.4327

คำนวณ

Average of blank = 0.7433

SD of blank = 0.0150

สูตร $LOD = \frac{3SD \text{ of blank}}{\text{Slope}}$

$3SD = 3 \times 0.0150 = 0.0450$

Slope = 0.0026

$LOD = \frac{0.0450}{0.0026}$

LOD = 17.31 μM

สูตร $LOQ = \frac{10SD \text{ of blank}}{\text{Slope}}$

$3SD = 10 \times 0.0150 = 0.045$

$LOQ = \frac{0.1500}{0.0026}$

LOQ = 57.69 μM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การคำนวณหาค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ (Recovery) ของสารละลายอนุภาคของระดับนาโนความเข้มข้น 20 mM

$$\text{สูตร} \quad \% \text{ Recovery} = \frac{\text{Spiked sample} - \text{Sample}}{\text{Standard}} \times 100$$

ความเข้มข้นโดพามีน (μM)	Absorbance			ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3		
80	0.2045	0.2073	0.2020	0.2046	0.0022
300	0.7787	0.7819	0.7763	0.7790	0.0023
500	1.3256	1.3291	1.3231	1.3259	0.0025
700	1.8083	1.8101	1.8058	1.8081	0.0018
900	2.2815	2.2843	2.2792	2.2820	0.0020

จากสมการเส้นตรง $y = 0.0026x - 0.0014$ จะได้

ตัวอย่างการคำนวณหา %recovery ของโดพามีนความเข้มข้น 80 μM

ความเข้มข้นของโดพามีนที่พบในตัวอย่างเท่ากับ

$$0.2046 = 0.0026x - 0.0014$$

$$x = 79.23 \mu\text{M}$$

นำค่าความเข้มข้นของโดพามีนที่พบในตัวอย่างไปแทนค่าในสูตร จะได้

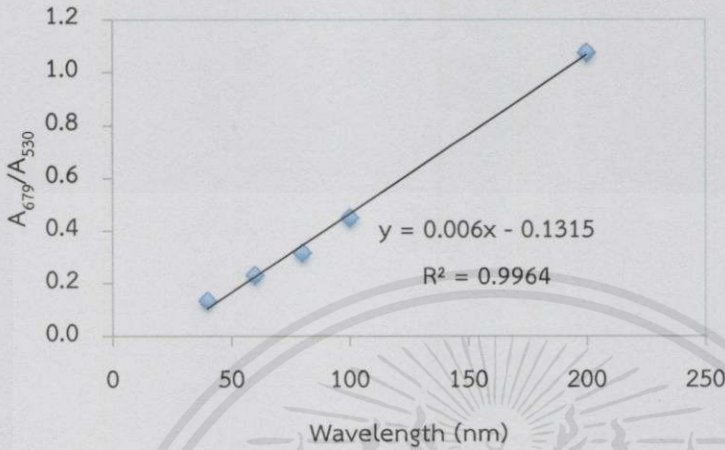
$$\% \text{ Recovery} = \frac{79.23 - 0}{80} \times 100$$

$$80$$

$$\% \text{ Recovery} = 99.0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.การคำนวณหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (Limit of Detection ; LOD) และขีดจำกัดต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (Limit of Quantitation) ของอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM



No	Absorbance
1	0.6029
2	0.6152
3	0.6383
4	0.6448
5	0.6007
6	0.6257
7	0.5805
8	0.5616
9	0.6418
10	0.6108
Total	6.1223

คำนวณ

Average of blank = 0.6122

SD of blank = 0.0257

สูตร $LOD = \frac{3SD \text{ of blank}}{\text{Slope}}$

$$3SD = 3 \times 0.0257 = 0.0771$$

$$\text{Slope} = 0.0060$$

$$LOD = \frac{0.0771}{0.0060}$$

$$LOD = 12.85 \mu\text{M}$$

สูตร $LOQ = \frac{10SD \text{ of blank}}{\text{Slope}}$

$$3SD = 10 \times 0.0257 = 0.2570$$

$$\text{Slope} = 0.0060$$

$$LOQ = \frac{0.2570}{0.0060}$$

$$LOQ = 42.83 \mu\text{M}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถใช้สอยบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้นไปขอสงวนไว้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การคำนวณหาค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ (Recovery) ของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนความเข้มข้น 50 mM

$$\text{สูตร} \quad \% \text{ Recovery} = \frac{\text{Spiked sample} - \text{Sample}}{\text{Standard}} \times 100$$

ความเข้มข้นโดพามีน (μM)	Absorbance			ค่าเฉลี่ย	SD
	1	2	3		
50	0.1745	0.1768	0.1724	0.1746	0.0018
70	0.3005	0.3030	0.2984	0.3006	0.0019
100	0.4565	0.4596	0.4544	0.4568	0.0021
300	1.7105	1.7129	1.7080	1.7105	0.0020
500	2.8566	2.8589	2.8547	2.8567	0.0017

จากสมการเส้นตรง $y = 0.0060x - 0.1315$ จะได้

ตัวอย่างการคำนวณหา %recovery ของโดพามีนความเข้มข้น 50 μM

ความเข้มข้นของโดพามีนที่พบในตัวอย่างเท่ากับ

$$0.1746 = 0.0060x - 0.1315$$

$$x = 51.02 \mu\text{M}$$

นำค่าความเข้มข้นของโดพามีนที่พบในตัวอย่างไปแทนค่าในสูตร จะได้

$$\% \text{Recovery} = \frac{51.02 - 0}{50} \times 100$$

$$= 102.03$$

$$\% \text{Recovery} = 102.03$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ - สกุล

นางสาวกรชนก ธราวัฒน์ขานนท์

วัน เดือน ปีเกิด

22 มีนาคม 2536

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา

จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ

ปีการศึกษา 2553

ระดับปริญญาตรี

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง



ชื่อ - สกุล

นายณพลพัทธ์ จารุศรีกิตติวุฒิ

วัน เดือน ปีเกิด

25 กรกฎาคม 2535

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา

จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนวัดสุทธิวราราม

ปีการศึกษา 2553

ระดับปริญญาตรี

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง



ชื่อ - สกุล

นายณัฐพล กุศลจรรย์กุล

วัน เดือน ปีเกิด

28 ธันวาคม 2535

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา

จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย

จากโรงเรียนหนองแค “สรกิจพิทยา”

ปีการศึกษา 2553

ระดับปริญญาตรี

วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาแล
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้