

การตรวจวิเคราะห์ไมนออกซิديلโดยใช้อนุภาคทองระดับนาโน  
เป็นเซนเซอร์

DETERMINATION OF MINOXIDIL BASED ON GOLD  
NANOPARTICLES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

การตรวจวิเคราะห์ไมนออกซิดีลโดยใช้อนุภาคทองคำระดับนาโน  
เป็นเซนเซอร์

DETERMINATION OF MINOXIDIL BASED ON GOLD  
NANOPARTICLES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# DETERMINATION OF MINOXIDIL BASED ON GOLD NANOPARTICLES



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การตรวจวิเคราะห์ไมนออกซิديلโดยใช้อนุภาคทองคำระดับนาโนเป็น  
เซนเซอร์  
Determination of Minoxidil Based on Gold Nanoparticles

ชื่อนักศึกษา นางสาวชมพูนุช ดวงดีวงศ์ รหัส 57050395  
นางสาวนุสมล พรมคงแก้ว รหัส 57050444  
นางสาวอักษรา ผดุงศิลป์ รหัส 57050558

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชา เคมี  
ปีการศึกษา 2560  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี  
อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการคุมสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เขิงขัน ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี กรรมการ	
ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิติลโดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนเป็นเซนเซอร์	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวชมพูนุช ดวงดีวงศ์	รหัส 57050395
	นางสาวนุสมล พรหมคงแก้ว	รหัส 57050444
	นางสาวอักษรา ผดุงศิลป์	รหัส 57050558
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)	
ภาควิชา	เคมี	
คณะ	วิทยาศาสตร์	
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)	
ปีการศึกษา	2560	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ชีราทรง	

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ พัฒนาริธีตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิติล โดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนเป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัด สังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนตามวิธีของเทอร์ควิช ซึ่งบนพื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโนจะถูกรักษาเสถียรภาพด้วยโซเดียมซิเตรท การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับไมนอกซิติล คาดว่าหมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) บนไมนอกซิติลเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) กับหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคทองระดับนาโน ทำให้ไมนอกซิติลเกิดการเหนี่ยวนำอนุภาคทองระดับนาโนให้เกิดการรวมตัว สังเกตสีที่เปลี่ยนไปของอนุภาคทองระดับนาโน (Colorimetric method) จากสีแดงอ่อนเป็นสีม่วงและสีน้ำเงิน ตามลำดับ สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าหรือติดตามการเปลี่ยนแปลงของสีด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง (สูงสุด) ของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับความเข้มข้นของไมนอกซิติล มีช่วงความเป็นเส้นตรงตั้งแต่ 0-10 มิลลิโมลาร์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9844 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) น้อยกว่า 4% และขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์เท่ากับ 0.9 มิลลิโมลาร์ สามารถวิเคราะห์ได้ภายใน 2 นาที ซึ่งวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นมีข้อดีในแง่ของการวิเคราะห์อย่างรวดเร็วและง่าย

**คำสำคัญ :** ไมนอกซิติล การรวมตัว การสังเกตสีด้วยตาเปล่า อนุภาคทองระดับนาโน

<b>Title</b>	Determination of Minoxidil Based on Gold Nanoparticles
<b>Students</b>	Miss Chomphonud Duangdeewong Student ID 57050395 Miss Nootsamon Promkongkaew Student ID 57050444 Miss Aksara Phadungsilp Student ID 57050558
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
<b>Department</b>	Chemistry
<b>Faculty</b>	Science
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
<b>Academic Year</b>	2017
<b>Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Saowapak Teerasong

### Abstract

In this work, gold nanoparticles (AuNPs) based sensor for determination of minoxidil was developed. The AuNPs were synthesized by Turkevich method. The AuNPs surface was stabilized with citrate. The interaction occurred between amino group of minoxidil and hydroxyl group on AuNPs surface through hydrogen bond. Minoxidil was induced AuNPs to aggregate rapidly. This resulted in a colour change from red wine through purple, and then to blue that can be observed by the naked eye or UV-visible spectrophotometer. The spectra of AuNPs has a (maximum) absorbance 525 nm. When increased concentration of minoxidil, the absorbance of AuNPs decreased. The calibration curve was linear in range of 0–10 nM, with coefficient of determination ( $r^2$ ) 0.9844. A relative standard deviation (%RSD) was less than 4%. The limit of detection was calculated to be 0.9 mM. The analysis was completed by 2 min. The proposed method provides advantages in term of rapidly and simpler analysis.

**Keywords :** Minoxidil, Aregation, Colourimetric method, Gold nanoparticles

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาจากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำ ทั้งในส่วนของการชี้แจงความรู้ การจัดทำเอกสารการดำเนินงานโครงการพิเศษ ตลอดจนการแก้ไขปรับปรุง ตรวจสอบข้อบกพร่อง และคอยดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เขิงชั้น และ ผศ.ดร. เอกรัฐ เดชศรี เป็นอย่างสูง ที่เสียสละเวลาเป็นคณะกรรมการคุมสอบ ให้คำปรึกษา คำแนะนำและเสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ จนโครงการพิเศษเล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณอาจณรงค์ เมธาวีสรสรเสริญ และคุณอรฉัตร เลิศอิทธิพร และนักศึกษาปริญญาโททุกท่านในหน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ ที่คอยให้คำปรึกษา จนโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และหน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ ที่คอยอำนวยความสะดวก เอื้อเฟื้อสถานที่ และอุปกรณ์สารเคมี ที่ใช้ในการทำโครงการพิเศษเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจจนโครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

หากผิดพลาดประการใด ขออภัยมา ณ ที่นี้

ชมพูนุช ดวงดีวงศ์

นุสมล พรหมคงแก้ว

อักษรา ผดุงศิลป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 การใช้อนุภาคนาโนในการตรวจวัดไมนอกซิติล .....	13
2.4.1 อนุภาคระดับนาโนควอนตัมดอท (Quantumdots, QDs) .....	13
2.4.2 อนุภาคทองระดับนาโน (Gold nanoparticle) .....	14
2.5 ในงานวิจัยนี้.....	15
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการพิเศษ .....</b>	<b>16</b>
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ .....	16
3.1.1 สารเคมี .....	16
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัด.....	16
3.2 การเตรียมสารละลาย .....	17
3.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติล .....	17
3.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน .....	18
3.3 วิธีดำเนินการ .....	18
3.3.1 ศึกษาอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนและไมนอกซิติล .....	18
3.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ไมนอกซิติลด้วย อนุภาคทองระดับนาโน .....	18
3.3.2.1 ศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน .....	18
3.3.2.2 ศึกษาความเข้มข้นเมทานอลที่ใช้ในการเตรียมไมนอกซิติล .....	19
3.3.2.3 ศึกษาปริมาตรอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ในการทำอันตรกิริยา กับไมนอกซิติล .....	20
3.3.2.4 ศึกษาเวลาในการทำอันตรกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัด .....	20
3.3.2.5 ศึกษา pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด .....	21
3.3.3 ศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ .....	25
3.3.2.1 ศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity) .....	25
3.3.2.2 ศึกษาความเที่ยง (Accuracy) .....	26
3.3.2.3 ศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) .....	26
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล .....</b>	<b>28</b>
4.1 คุณลักษณะของอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้ .....	28
4.2 อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับไมนอกซิติล.....	28
4.3 ผลของสภาวะต่างๆที่มีผลต่อการตรวจวัดไมนอกซิติล.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.1 ผลของวิธีการสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโนต่อการตรวจวัด ไมนอกซิติล .....	30
4.3.2 ผลความเข้มข้นของเมทานอลที่ใช้ในการเตรียมไมนอกซิติล.....	32
4.3.3 ผลของปริมาตรอนุภาคของระดับนาโนที่ใช้ทำอันตรกิริยากับไมนอกซิติล....	33
4.3.4 ผลของเวลาในการทำอันตรกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัด.....	34
4.3.5 ผลของ pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด.....	35
4.3.6 ตารางสรุปสถานะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไมนอกซิติล .....	39
4.4 ผลของคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ไมนอกซิติลที่พัฒนาขึ้น.....	39
4.4.1 ผลการศึกษาความเป็นเส้นตรง .....	39
4.4.2 ผลการศึกษาความเที่ยง .....	41
4.4.3 ผลการศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด.....	43
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>44</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	44
5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	45
เอกสารอ้างอิง.....	46
ภาคผนวก.....	48
ภาคผนวก ก ค่าการดูดกลืนแสงของการศึกษาสถานะที่เหมาะสม.....	49
คำรับรองโครงการพิเศษ .....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง .....	16
4.1 ผลสรุปสมการเชิงเส้นและค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจ เมื่อใช้ปริมาตรอนุภาคทองระดับนาโน ปริมาตร 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิลิตร ตามลำดับทำอันตรกิริยากับไมนอกซิดิล เข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์.....	34
4.2 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไมนอกซิดิล .....	39
4.3 แสดงผลเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า %RSD.....	42
ก-1 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ของการศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน.....	49
ก-2 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ของการศึกษาความเข้มข้นเมทานอล.....	49
ก-3 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ของการศึกษาปริมาตรอนุภาคทองระดับนาโน .....	50
ก-4 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ของการศึกษาเวลา.....	50
ก-5 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ของการศึกษาค่า pH.....	51
ก-6 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ของการทดลองซ้ำ.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทางเคมีของไมนอกซิติล.....	4
2.2 บิดาแห่งวิชานาโนศาสตร์ ริชาร์ด ไฟน์แมน (Richard Feynman).....	7
2.3 แสดงการเกิดเซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์.....	8
2.4 แสดงการถ่ายโอนอิเล็กตรอนบริเวณหน้าผิวไฟฟ้าและสัญญาณการตรวจวัดด้วยเทคนิคโวลแทมเมตรีในไมนอกซิติล 0.8 $\mu$ M.....	14
4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน.....	28
4.2 (ก.)สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนเมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลความเข้มข้น 0, 2.5 และ 7.5 มิลลิโมลาร์ (ข.) สีของอนุภาคทองระดับนาโนเมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ (ค.) สีของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมลาร์ (ง.) สีของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลความเข้มข้น 7.5 มิลลิโมลาร์.....	29
4.3 อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับไมนอกซิติล.....	30
4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้สารละลายโซเดียมซิเตรทปริมาตร 7 และ 10 มิลลิลิตร.....	31
4.5 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลกับค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร.....	32
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลกับการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร.....	33
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการทำปฏิกิริยากับค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร.....	35
4.8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน.....	36
4.9 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน.....	37
4.10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน.....	38
4.11 (ก) สีของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน (ข) สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน (ค) กราฟมาตรฐานระหว่างสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลกับค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
AuNPs	Gold nanoparticles
DHT	Di-hydrotestosterone
SPR	Surface plasmon resonance



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันมีการใช้ไมนออกซิดิล (Minoxidil) เป็นส่วนผสมทางด้านเภสัชกรรมและทางการแพทย์ เพื่อใช้เป็นยาลดความดันโลหิตสูง (Antihypertensive drugs) ซึ่งยาไมนออกซิดิลชนิดรับประทานอาจส่งผลกระทบต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด นอกจากนี้ยังมีผลข้างเคียงอื่นๆที่เกิดขึ้น เช่น ทำให้ขนยาวขึ้น จึงมีงานวิจัยนำไมนออกซิดิลมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนผสมในยาปลูกผมชนิดน้ำแบบทาภายนอก เพื่อใช้รักษาอาการผมร่วง อันมีสาเหตุมาจากกรรมพันธุ์และฮอร์โมนเพศชายที่ชื่อว่า Testosterone โดย Testosterone สามารถเปลี่ยนไปเป็น Di-hydrotestosterone (DHT) ได้ ซึ่ง DHT มีผลทำให้รากผมมีขนาดเล็กลงและร่วงลงในที่สุด ไมนออกซิดิลมีฤทธิ์ที่ยับยั้งไม่ให้ฮอร์โมน Testosterone เปลี่ยนเป็น DHT โดยตัวยาไมนออกซิดิลจะซึมลงรูขุมขนบนหนังศีรษะ ออกฤทธิ์ช่วยขยายหลอดเลือดบริเวณหนังศีรษะให้กว้างขึ้น ขยายตัวมากขึ้นเพื่อช่วยให้เลือดไหลเวียนนำพาสารอาหารต่างๆมาหล่อเลี้ยงรากผมได้ดีขึ้น ทำให้ผมในระยะที่งอกยาว (Anagen) อยู่ได้นานขึ้น และทำให้ผมหนาขึ้นอีกด้วย

ในงานวิจัยด้านเภสัชกรรมมีการใช้ไมนออกซิดิล เป็นส่วนผสมในตัวยาปลูกผมเพื่อใช้รักษาอาการผมร่วง พบว่าหากใช้ยาปลูกผมที่มีปริมาณไมนออกซิดิลความเข้มข้นสูงในระดับ 5-10% โดยน้ำหนัก อาจมีผลข้างเคียงคือ อาจทำให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง เช่น เกิดผื่นแดง คันและอาการบวม (โดยเฉพาะที่บริเวณใบหน้าและลำคอ) ดังนั้นการใช้ยาปลูกผมชนิดน้ำแบบทาภายนอกที่มีไมนออกซิดิลเป็นส่วนผสม จึงควรอยู่ในการควบคุมของแพทย์

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า วิธีที่ใช้ในการหาปริมาณไมนออกซิดิลมีหลากหลายวิธี ได้แก่ High Performance Liquid Chromatography (HPLC) [1,2] Flow Injection Analysis (FIA) [3] Micellar Electrokinetic Capillary Chromatography (MEKC) [4] วิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ถูกใช้ในการตรวจวัดอย่างกว้างขวาง แต่มีข้อเสียคือ ใช้เวลานานในการตรวจวัด ใช้สารในปริมาณมาก ต้องทำอนุพันธ์และใช้เครื่องมือที่มีราคาแพงในการตรวจวัด ทำให้เกิดความยุ่งยากในการวิเคราะห์

ในปัจจุบันนาโนเทคโนโลยีได้รับความสนใจในการศึกษาวิจัยเป็นจำนวนมาก มีการนำอนุภาคทองระดับนาโนไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในด้านการแพทย์ ด้านสิ่งแวดล้อม ใช้เป็นตัวเร่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

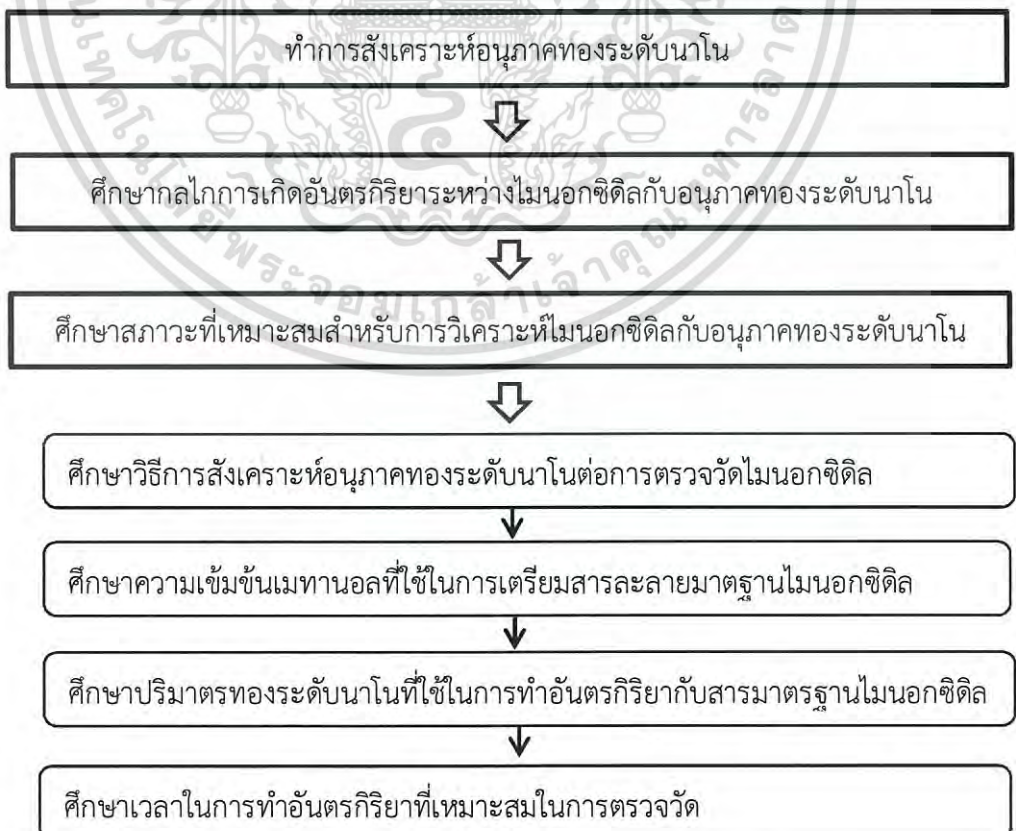
ปฏิกิริยาและอื่นๆ นอกจากนี้ด้วยคุณสมบัติพิเศษเชิงแสงที่เรียกว่า เซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface plasmon resonance, SPR) และความถี่ของอนุภาคทองระดับนาโนนี้ ทำให้อนุภาคทองระดับนาโนถูกนำไปใช้สำหรับการวิเคราะห์เชิงเคมีเพื่อหาปริมาณสารต่างๆที่สนใจได้

โครงการพิเศษนี้ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไมนอกซิดิลในยาปลุกผม โดยอาศัยการทำอันตรกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโน (Gold nanoparticle, AuNPs) และตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรี (UV-Visible Spectrophotometry) ซึ่งเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวกรวดเร็ว มีความไวในการตรวจวัดและให้ประสิทธิภาพที่ดี

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

- 1) พัฒนาการหาปริมาณไมนอกซิดิลโดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนเป็นตัวตรวจวัด
- 2) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีวิเคราะห์
- 3) ศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น
- 4) ศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้วิธีที่พัฒนาขึ้นในการหาปริมาณไมนอกซิดิลในยาปลุกผม

## 1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาพีเอช (pH) ที่เหมาะสมในการตรวจวัด



ศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ทราบวิธีวิเคราะห์ปริมาณไมนอกซิดิลในยาปลูกผมโดยมีอนุภาคของระดับนาโนเป็นเซนเซอร์ ร่วมกับการตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปคโตรโฟโตเมทรี ซึ่งเป็นเทคนิคอย่างง่าย รวดเร็วและมีความไวในการตรวจวัดสูง



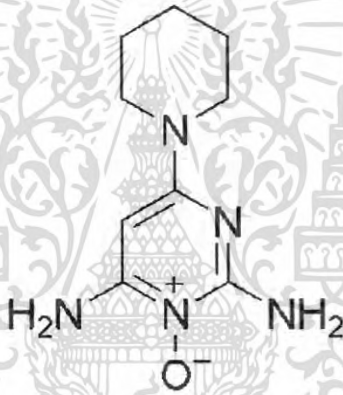
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ไมนออกซิดิล (Minoxidil)

ไมนออกซิดิล (IUPAC Name : 2,4-Diamino-6-piperidinopyrimidine-3-oxide) (รูปที่ 2.1) มีลักษณะเป็นผงผลึกสีขาว มีสูตรโมเลกุล คือ  $C_9H_{15}N_5O$  มวลโมเลกุลเท่ากับ 209.253 g/mol จุดหลอมเหลว 248 องศาเซลเซียส ( $^{\circ}C$ ) สามารถละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล โพรพิลีนไกลคอล และละลายในน้ำได้เล็กน้อย ไม่ละลายในคลอโรฟอร์มและอะซิโตน วิธีการเก็บรักษาไมนออกซิดิลควรเก็บในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า  $30^{\circ}C$  และเก็บในขวดสีชา



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไมนออกซิดิล

ทางการแพทย์ใช้ไมนออกซิดิลกับผู้ป่วยที่มีอาการความดันโลหิตสูงผิดปกติ โดยให้ผู้ป่วยรับประทานยาไมนออกซิดิลในรูปแบบเม็ด ซึ่งตัวยาคจะทำหน้าที่ขยายหลอดเลือดหรือลดความดันโลหิตสูงให้กลับมาเป็นปกติ หลังจากที่ใช้นี้กับผู้ป่วยชักระยะหนึ่ง แพทย์พบว่าผู้ป่วยส่วนมากได้รับผลข้างเคียงจากยาไมนออกซิดิล นั่นก็คือ ผมงอกขึ้นบริเวณศีรษะหลังจากทานยาไมนออกซิดิลติดต่อกันเป็นระยะเวลาานาน ซึ่งหลังจากแพทย์พบว่าผลข้างเคียงของไมนออกซิดิล คือ สามารถทำให้ผมงอกขึ้นได้ จึงได้ตัดแปลงการใช้ยานิดนี้มาเป็นยาสำหรับรักษาอาการผมร่วง โดยความเข้มข้นของยาไมนออกซิดิลที่สามารถรักษาอาการผมร่วงจะอยู่ในช่วง 2 - 5% โดยน้ำหนัก

ในปัจจุบันไมนออกซิดิลถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นส่วนประกอบในยารักษาอาการผมร่วง อันมีสาเหตุมาจากกรรมพันธุ์และฮอร์โมนเพศชายที่ชื่อว่า Testosterone โดย Testosterone สามารถเปลี่ยนไปเป็น DHT ซึ่งออกฤทธิ์ให้รากผมมีขนาดเล็กลงและฝ่อลงในที่สุด ไมนออกซิดิลสามารถยับยั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ให้ฮอร์โมน Testosterone เปลี่ยนไปเป็น DHT โดยตัวยาไมนอกซิดิลจะซึมลงรูขุมขนบนหนังศีรษะ ออกฤทธิ์ช่วยขยายหลอดเลือดบริเวณหนังศีรษะให้กว้างขึ้น ขยายตัวมากขึ้น เพื่อช่วยให้เลือดไหลเวียนนำพาสารอาหารต่างๆมาหล่อเลี้ยงรากผมให้ดีขึ้น ทำให้ผมในระยะที่งอกยาว (Anagen) อยู่ได้นานขึ้นและทำให้ผมหนาขึ้นอีกด้วย

องค์การอาหารและยา (อย.) กระทรวงสาธารณสุข จัดไมนอกซิดิลเป็นยาแบบใช้เฉพาะที่ ไมนอกซิดิลสำหรับรักษาอาการผมร่วงมี 2 สูตร ได้แก่ ความเข้มข้น 2% และ 5% โดยน้ำหนัก ถึงแม้ขนาดความเข้มข้น 5 % โดยน้ำหนัก จะได้ผลในการรักษาดีกว่าชนิด 2 % โดยน้ำหนัก แต่ก็อาจพบผลข้างเคียงได้มากกว่าเช่นกัน โดยยาปลูกผมที่มีไมนอกซิดิลเป็นส่วนผสมแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ชนิดรับประทาน และชนิดน้ำแบบทาภายนอก ซึ่งแต่ละประเภทยังมีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกัน

#### ชนิดรับประทาน

- มีประสิทธิภาพดีกว่ายาไมนอกซิดิลชนิดน้ำแบบทาภายนอก เนื่องจากเป็นยาแบบเม็ด ตัวยาค่อยๆละลายและถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้เร็วกว่า ทำให้ยาออกฤทธิ์ได้ดีกว่า จึงเห็นผลเร็วกว่า

- รับประทานได้ง่าย ไม่เลอะ ไม่เหนียว ซึ่งต่างจากการใช้ไมนอกซิดิลชนิดน้ำแบบทาภายนอก ที่อาจทำให้ศีรษะและผมที่โดนยา เหนียว เลอะ และเกิดอาการคัน

- แม้ว่ายาไมนอกซิดิลชนิดรับประทานจะได้ผลเร็วกว่าและชัดเจนกว่า แต่ยาทานจะไม่สามารถกำหนดจุดให้ผมหรือขนขึ้นได้ ดังนั้นผู้ที่ได้รับยาไมนอกซิดิลจึงมักจะมีขนขึ้นตามลำตัวด้วย

#### ชนิดน้ำแบบทาภายนอก

- สามารถกำหนดจุดให้ผมขึ้นได้

- เห็นผลช้ากว่ายาชนิดรับประทาน (ปกติจะใช้เวลาประมาณ 4-6 เดือน เพื่อให้ผมงอกเกิดขึ้น)

และเนื่องจากยาไมนอกซิดิลชนิดรับประทานอาจส่งผลกระทบต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด จึงควรแจ้งแพทย์หรือเภสัชกรให้ทราบก่อนการใช้ยาไมนอกซิดิลหากมีอาการหรือโรค ดังต่อไปนี้ มีอาการปวดหน้าอกจากเส้นเลือดหัวใจตีบ (Angina) ผิวหนึ่งเป็นแผล ไหม้แดด เป็นโรคไต โรคปอด โรคหัวใจ โรคระบบหลอดเลือด มีเนื้องอกในต่อมหมวกไต (Pheochromocytoma) มีประวัติหัวใจวายกำเริบ การแพ้ยาไมนอกซิดิล การตั้งครรภ์ การวางแผนในการตั้งครรภ์ และการให้นมบุตร เป็นต้น

เนื่องจากการใช้ยาปลูกผมที่มีไมนอกซิดิลเป็นส่วนประกอบอาจเกิดผลข้างเคียง เช่น การระคายเคืองของผิวที่สัมผัสกับยา หน้าแดง หัวใจเต้นเร็ว หัวใจเต้นผิดปกติ อาจมีอาการเจ็บหน้าอก

และ การหายใจติดขัด ขาหรือเท้าบวม อาจพบอาการชาตามมือ เท้า หรือที่ใบหน้า ดังนั้นการใช้ยาปฏิชีวนะที่มีเมานอกซิดิลเป็นส่วนประกอบต้องอยู่ในการควบคุมของแพทย์

## 2.2 อนุภาคระดับนาโน

โลกของเราในปัจจุบันให้ความสำคัญกับการพัฒนาและความก้าวหน้าทางด้านนาโนเทคโนโลยีมากขึ้น ส่งผลให้มนุษย์เรารู้ว่า เมื่อวัตถุมีโครงสร้างเล็กในระดับนาโนเมตรและมีการจัดเรียงตัวที่ต่างกัน จะส่งผลให้วัตถุนั้นมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้แตกต่างกัน นักวิทยาศาสตร์จึงให้ความสำคัญกับคุณสมบัติพิเศษและประสิทธิภาพของโครงสร้างนาโนเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงและมีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ ทำให้ตลาดของนวัตกรรมนาโนเทคโนโลยีในปัจจุบันมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงขึ้น

นาโนเทคโนโลยีคือ เทคโนโลยีที่ใช้ในการประกอบและผลิตสิ่งต่างๆขึ้นมาจากการจัดเรียงอะตอมหรือโมเลกุลในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำและถูกต้องในระดับนาโนเมตร ทำให้โครงสร้างของวัสดุหรือสารที่ได้มีคุณสมบัติพิเศษไม่ว่าทางด้านฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ ที่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ใช้ ทำให้เกิดการพัฒนาด้านการออกแบบหรือการใช้เครื่องมือสร้างวัสดุ ผลิตภัณฑ์ระบบ อุปกรณ์ และสิ่งประดิษฐ์ที่มีขนาดเล็กลง สามารถตรวจวิเคราะห์และวินิจฉัยที่มีความละเอียดแม่นยำยิ่งขึ้น ทั้งนี้นาโนเทคโนโลยีเป็นวิชาที่ต้องอาศัยความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีหลากหลายสาขา ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงาน เช่น วัสดุศาสตร์ (Nanomaterials) อิเล็กทรอนิกส์ (Nanoelectronics) และเทคโนโลยีชีวภาพ (Nanobiotechnology) เป็นต้น

ผู้ที่อาจกล่าวได้ว่าเป็นบิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี คือ ศาสตราจารย์ริชาร์ด ไฟน์แมน (Richard Feynman) นักฟิสิกส์รางวัลโนเบลชาวอเมริกันเชื้อสายยิว นอกจากนี้ไฟน์แมนยังเป็นผู้ให้กำเนิดและวิธีการศึกษาฟิสิกส์เกี่ยวกับอนุภาคมูลฐานและกลศาสตร์ควอนตัม ซึ่งรู้จักกันในชื่อของ ไฟน์แมนไดอะแกรม (Feynman Diagram) และไฟน์แมนพาทอินทิกรัล (Feynman Path Integrals) โดยเขาได้เคยกล่าวปาฐกถาเรื่อง “ยังมีทางขยับขยายอีกมากในระดับจุลภาค (There’s plenty of room at the bottom)” ซึ่งเป็นการบรรยายที่กระตุนแรงบันดาลใจเกี่ยวกับการทำนายความเป็นไปได้ถึงความสามารถของเทคโนโลยีระดับนาโน ซึ่งเป็นสิ่งที่นักวิทยาศาสตร์ทุกคนควรจะตระหนักสนใจอย่างจริงจัง และให้ความสำคัญเกี่ยวกับเทคโนโลยีให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 บิดาแห่งวิชาฟิสิกส์อนุภาค ริชาร์ด ไฟน์แมน (Richard Feynman)

( ที่มา : <http://npg.si.edu>, <https://ebookpress.wordpress.com>)

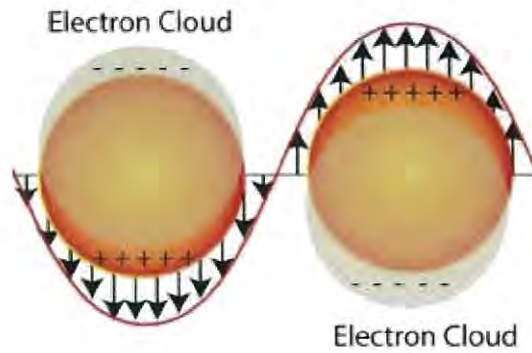
ด้วยคุณสมบัติพิเศษของอนุภาคระดับนาโนจึงก่อให้เกิดผลงานจากการพัฒนาและประยุกต์ใช้ อนุภาคระดับนาโนอย่างแพร่หลาย เช่น เลื่อนาโนที่ฝังอนุภาคระดับนาโนลงไปเพื่อเพิ่มคุณสมบัติ พิเศษให้กันน้ำได้มากขึ้น ผ้าขนหนูที่ใช้เทคนิคการเคลือบสารสกัดจากธรรมชาติที่มีคุณสมบัติในการ ฆ่าเชื้อโรคในรูปของอนุภาคระดับนาโน เป็นต้น

ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้หันมาสนใจและศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับอนุภาคของระดับนาโน ทั้งนี้เพราะทองคำเป็นธาตุที่รู้จักกันโดยทั่วไป มีสมบัติที่เป็นธาตุเฉื่อย มักไม่ทำปฏิกิริยาและไม่ ก่อให้เกิดอันตราย อนุภาคทองคำระดับนาโนมีสมบัติเด่นทางกายภาพและทางเคมี การนำเอาอนุภาคนา โนทองคำมาประยุกต์ใช้สำหรับงานวิเคราะห์ทางเคมีทำให้สามารถวิเคราะห์หาปริมาณสารต่างๆ ที่สนใจ ได้ง่ายและรวดเร็ว

### 2.2.1 สมบัติเซอ์เฟส พลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) ของ อนุภาคทองคำระดับนาโน

เซอ์เฟส พลาสมอน เรโซแนนซ์ เป็นคุณสมบัติเชิงแสงของอนุภาคทองคำระดับนาโน เกิดจาก คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกเกิดอันตรกิริยากับอิเล็กตรอนที่เกิดการสั่นอยู่ในอนุภาคทองคำระดับนา โนที่ความยาวคลื่นเดียวกัน แสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเมื่อตกกระทบลงบนผิวของอนุภาคทอง ฟ้าระดับนาโนจะเกิดแสงได้ 2 แบบ คือ แสงที่ตกกระทบจะสะท้อนกลับด้วยความยาวคลื่นเท่าเดิมทุก ทิศทาง เรียกว่า การกระเจิงแสง (Scattering) และบางโฟตอนจะถูกดูดกลืนแสงและถูกเปลี่ยนไปเป็น พลังงานการสั่น เรียกว่า การดูดกลืนแสง (Absorption) [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดเซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ โดยการแสดงการสั่นของกลุ่มอิเล็กตรอนในแถบเหนี่ยวนำเมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกส่องผ่าน (ที่มา : <http://scijournal.kku.ac.th>)

โดยทั่วไปแล้วโครงสร้างของอนุภาคทองระดับนาโนจะเกิดปรากฏการณ์ได้ทั้ง 2 แบบ ขึ้นอยู่กับรูปร่างและขนาดของอนุภาค เช่น อนุภาคทองระดับนาโนที่มีขนาด 20 นาโนเมตร จะมีสีแดงงุ่น ซึ่งดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 525 นาโนเมตร ในขณะที่ทองคำแท่งขนาดใหญ่กว่า 100 นาโนเมตร มีสีเหลือง ซึ่งดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 420 นาโนเมตร

## 2.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน

การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้สารเคมีประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือ การใช้สารเคมีที่เป็นตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) เช่น โบโรไฮไดรด์ ไฮดรอกซิลามีน แอลกอฮอล์ทั้งชนิดอิ่มตัวและไม่อิ่มตัว น้ำตาล เป็นต้น และการใช้สารรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing agent) เช่น ไตรโซเดียมซิเตรทไดไฮเดรท เดนไดรเมอร์ พอลิเมอร์และสารลดแรงตึงผิว เช่น ซิทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Cetyltrimethyl ammonium bromide, CTAB) การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนด้วยสารเคมี มีหลายวิธีดังต่อไปนี้

### 2.2.2.1 วิธีของเทอร์เควิช (Turkevich method) [6]

วิธีนี้ Turkevich เป็นผู้เสนอในปีค.ศ. 1951 สามารถทำการสังเคราะห์ได้โดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชันของกรดคลอโรอริก ( $\text{HAuCl}_4$ ) ด้วยโซเดียมซิเตรท (Citrate) ในน้ำ ทำให้ได้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนสีแดงงุ่น ซึ่งในวิธีการนี้โซเดียมซิเตรทจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวรีดิวซ์และเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ โดยปฏิกิริยาเกิดดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

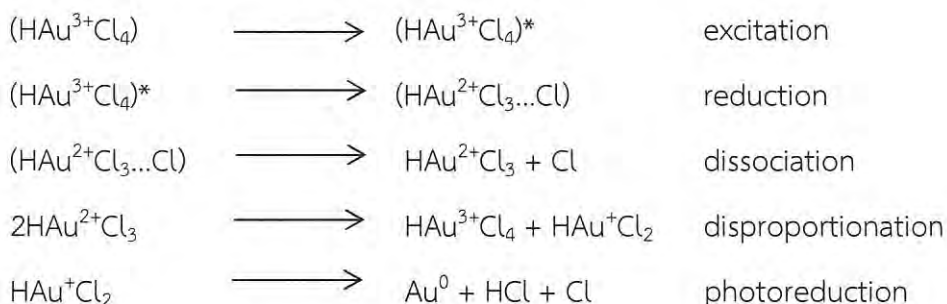
พบว่าวิธีการสังเคราะห์แบบ Turkevich สามารถสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนได้ในช่วง 10-20 นาโนเมตรเท่านั้น หากต้องการอนุภาคทองระดับนาโนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะต้องลดปริมาณโซเดียมซิเตรท ซึ่งทำให้ได้อนุภาคทองระดับนาโนที่มีรูปร่างเปลี่ยนไป จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1973 เฟรเรนซ์ ได้นำวิธีของ Turkevich มาศึกษาต่อ โดยการปรับอัตราส่วนโซเดียมซิเตรทต่อทอง พบว่าขนาดของอนุภาคทองระดับนาโนที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 15-150 นาโนเมตร [7]

#### 2.2.2.2. วิธีปลูกเมล็ด (Seed-growth method) [5]

การสังเคราะห์ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการเตรียมเมล็ด (Seed) ของอนุภาคทองระดับนาโนโดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชันของกรดคลอโรอริกโดยมีโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodiumborohydride,  $\text{NaBH}_4$ ) เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรง และใช้โซเดียมซิเตรท เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ ขั้นที่สอง คือ เติมสารละลายผสมของ  $\text{HAuCl}_4$ , CTAB และกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) ลงในสารละลายคอลลอยด์ของเมล็ดอนุภาคที่เตรียมไว้ในขั้นตอนแรก โดยกรดแอสคอร์บิกจะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่ไม่แรง ซึ่งเกิดอันตรกิริยาช้ากว่าการใช้ตัวรีดิวซ์ที่แรง แต่จะสามารถควบคุมขนาดและรูปร่างได้ ผลึกที่เกิดขึ้นจะได้อนุภาคทองระดับนาโนแบบแท่ง การเตรียมทองด้วยวิธีนี้อาจได้อนุภาคทองระดับนาโนแบบทรงกลมเป็นผลิตภัณฑ์ข้างเคียง แต่สามารถแยกออกได้โดยการปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วสูง

#### 2.2.2.3 วิธีการรีดักชันโดยใช้แสง (Photochemical reduction method) [5]

วิธีนี้สามารถทำได้โดยการฉายแสงที่มีความยาวคลื่น 250-400 นาโนเมตร ไปยังสารละลาย  $\text{HAuCl}_4$  โดยมีเอทิลีนไกลคอล (Ethylene glycol) เป็นตัวรีดิวซ์ และพอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (polyvinyl pyrrolidone, PVP) เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ กลไกการเกิดอนุภาคทองระดับนาโนเกิดขึ้นเมื่อ  $\text{Au}^{3+}$  ถูกกระตุ้นด้วยแสงจากสถานะพื้น (Ground state) ไปยังสถานะกระตุ้น (Excited state) จากนั้นเอทิลีนไกลคอลจะรีดิวซ์  $\text{Au}^{3+}$  ไปเป็น  $\text{Au}^{2+}$  ซึ่ง  $\text{Au}^{2+}$  ไม่เสถียรจึงสามารถเกิดการสลายตัวไปเป็น  $\text{Au}^{3+}$  และ  $\text{Au}^+$  หลังจากนั้น  $\text{Au}^+$  จะถูกรีดิวซ์ต่อด้วยเอทิลีนไกลคอลไปเป็น  $\text{Au}^0$  ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยานิวเคลียสไอออนต่อไป ดังสมการเคมี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.2.2.4 วิธีทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical method) [5]

วิธีนี้จะใช้ขั้วอิเล็กโทรดสองขั้ว คือขั้วแอโนด (Anode) และขั้วแคโทด (Cathode) โดยขั้วแอโนดเป็นแผ่นทอง และขั้วแคโทดเป็นแผ่นแพลตตินัม ทั้งสองขั้วจะจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ซึ่งก็คือ CTAB และเตตระเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Tetradecyl trimethyl ammonium bromide) โดย CTAB จะทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ ขณะที่ Tetradecyl trimethyl ammonium bromide ทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำให้เกิดโครงสร้างอนุภาคทองระดับนาโนแบบแท่ง ในการทำปฏิกิริยาจะให้กระแสไฟฟ้าคงที่ เป็นเวลาประมาณ 20 นาที ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้าที่เกิดขึ้นคือ อนุภาคทองที่ขั้วแอโนดจะเปลี่ยนไป เป็นเตตระโบรโมออเรท (Tetrabromoaurate,  $\text{AuBr}_4^-$ ) สารประกอบทองที่เกิดขึ้นจะถูกกระแสไฟฟ้าผลักดันให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทด ซึ่งเป็นจุดที่จะเกิดปฏิกิริยารีดักชัน หลังจากเกิดปฏิกิริยารีดักชันจะได้  $\text{Au}^0$  ซึ่งจะรวมตัวกันเกิดเป็นอนุภาคต่อไป

### 2.3 การตรวจวัดไมนอกซิติลด้วยเทคนิควิเคราะห์ต่างๆ

#### 2.3.1 เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemistry)

N.Karimian และคณะ [8] ได้พัฒนาเซนเซอร์ที่มีความไวสูงและจำเพาะต่อการตรวจวัดไมนอกซิติล ด้วยการปรับปรุงพื้นผิวของขั้วไฟฟ้าคาร์บอน (Glassy carbon electrode, GCE) เตรียมได้โดยการทำทำความสะอาดขั้วไฟฟ้าคาร์บอนด้วยสารละลายผสมของเหลวหนืดระหว่างอลูมินา (Alumina) และน้ำ จากนั้นจุ่มขั้วไฟฟ้าคาร์บอนลงในสารละลายผสมกรดไนตริก (Nitric acid) เอทานอลและน้ำกลั่นเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นปรับปรุงพื้นผิวของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนด้วย Molecular imprinted polymer (MIP) ซึ่ง MIP เตรียมได้โดยการสังเคราะห์พอลิเมอร์ด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี (Electropolymerization) โดยการผสมสารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์ลงในสารละลายผสม 3 ชนิดคือ โพลีเทสเซียมคลอไรด์ สารผสมเทอร์นารีโมโนเมอร์ (Ternary monomer mixture, OP-GA-ABA) และไมนอกซิติล จะได้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนที่เคลือบด้วย Minoxidil-MIP (MX-MIP/GCE) จากนั้นล้างขั้ว MX-MIP/GCE ด้วยน้ำกลั่น จากนั้นจุ่มในสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโน ที่สังเคราะห์จากผสมระหว่างโซเดียมไนเตรต (Sodium nitrate,  $\text{NaNO}_3$ ) และซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate,  $\text{AgNO}_3$ ) อนุภาคเงินระดับนาโน (Silver nanoparticles, AgNPs) จะติดอยู่บน MX-MIP/GCE ให้ศักย์ไฟฟ้าที่  $-0.4 \text{ V}$  เป็นเวลา 10 นาที จะได้ AgNPs/MX-MIP/GCE พร้อมใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตรียมสารละลายไมนอกซิดิล โดยนำไปละลายในสารละลายผสมระหว่างเมทานอลและน้ำ ทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคโวลแทมเมตรี ให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0.3-1.0 V อัตราเร็วในการสแกนเท่ากับ 100 mV/s พบว่าเมื่อนำ AgNPs/MX-MIP/GCE มาตรวจวัดไมนอกซิดิล จะสามารถเพิ่มกระแสของพีคแอนอดิก (Anodic peak) ได้สูงที่สุด เมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิว จากการทดลองจะได้ช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัดตั้งแต่ 0.03-500  $\mu\text{L}$  สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $r^2$ ) เท่ากับ 0.9995 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) เท่ากับ 3.5% ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 0.1  $\mu\text{M}$  ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (LOQ) เท่ากับ 0.3  $\mu\text{M}$  ข้อจำกัดของวิธีการตรวจวัดดังกล่าวพบว่า ต้องจุ่มอิเล็กโทรดในสารละลายผสมระหว่างเอทานอลและน้ำเป็นเวลา 5 นาทีก่อนใช้งาน การเตรียมขั้วไฟฟ้าคาร์บอนยุ่งยาก จำเป็นต้องมีการควบคุมสภาวะต่างๆเพื่อให้ได้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

### 2.3.2 เทคนิคคาปิลลารีอิเล็กโทรเฟเรซิส (Capillary electrophoresis)

T.Ramstad และคณะ [4] พัฒนาวิธีการตรวจปริมาณไมนอกซิดิลโดยใช้เทคนิคไมเซลล์อิเล็กโทรไคเนติกคาปิลลารีโครมาโทกราฟี (Micellar electrokinetic capillary chromatography, MEKC) ใช้การฉีดสารแบบ Hydrodynamic จากการศึกษาคพบว่าไมนอกซิดิลมีค่าคงที่การแตกตัว (pKa) เท่ากับ 4.6 ดังนั้นบัฟเฟอร์ที่ใช้ควรมีค่าพีเอช (pH) มากกว่า 6 จึงเลือกใช้ลิเทียมซิเตรทบัฟเฟอร์ (Lithium citrate buffer) ที่ pH 7 เป็นตัวพา และเลือกใช้โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate, SDS) ในการสร้างเป็น micelles เมื่อมีการให้ศักย์ไฟฟ้าเกิดการไหลแบบอิเล็กโทรออสโมติก (Electroosmotic) ของสารละลายภายในท่อคาปิลลารี สารละลายไมนอกซิดิลจะถูกแยกเข้าสู่ SDS micelles โดย SDS micelles ที่มีไมนอกซิดิลจะไหลเข้าสู่เครื่องตรวจวัด พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.9985 ค่า %RSD เท่ากับ 1.73% ค่าวิเคราะห์การคืนกลับ เท่ากับ 100.6% ข้อจำกัดของวิธีการตรวจวัดดังกล่าวพบว่า ต้องสร้างอุปกรณ์ใหม่ขึ้นเพื่อให้เหมาะสมต่อการตรวจวัดไมนอกซิดิลในตัวอย่างยาปลูกผม

### 2.3.3 เทคนิคการไหล (Flow-based techniques)

A.Medina และคณะ [3] พัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณไมนอกซิดิลด้วยเทคนิคการไหล ร่วมกับการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง (Solid-phase extraction) เพื่อเพิ่มค่าสัญญาณการตรวจวัดให้มีความจำเพาะต่อไมนอกซิดิลมากขึ้น ภายในระบบการไหลใช้สารละลายผสมระหว่างกรดไฮโดรคลอ

ริก (Hydrochloric acid, HCl) และโซเดียมคลอไรด์ (Sodiumchloride, NaCl) เป็นตัวพา การเตรียมตัวอย่างไมนอกซิดิลชนิดเม็ดให้นำมาบดเป็นผง แล้วละลายด้วย 96% เอทานอล นำไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องอัลตราโซนิก จากนั้นกรองแยกตะกอนออก หากเป็นตัวอย่างไมนอกซิดิลชนิดน้ำ ให้ละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นจะฉีดสารละลายไมนอกซิดิลที่เตรียมได้เข้าระบบผ่านทาง injection valve สารละลายไมนอกซิดิลจะไหลผ่านและถูกดูดซับอยู่บน Sephadex (SP-C25) ซึ่งเป็นวัฏภาคของแข็งที่ถูกบรรจุอยู่ใน flow cell โดยไม่มีการเกิดอนุพันธ์ จากนั้นระบบจะทำการป้อนสารละลายผสมระหว่างเกลือโซเดียม (Sodium salts) และกรดไฮโดรคลอริก ทำหน้าที่เป็นตัวชะ (Elute) เอาไมนอกซิดิลให้เคลื่อนที่ออกจาก Sephadex แล้วตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 282 nm โดยค่าการดูดกลืนแสงจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไมนอกซิดิลในสารตัวอย่าง จากผลการทดลองจะได้กราฟมาตรฐานที่มีช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัดตั้งแต่ 0.2-7.0, 0.1-4, และ 0.05-2.0 mg/mL ค่า %RSD เท่ากับ 0.38, 1.06 และ 2.63 และมีขีดจำกัดในการตรวจวัดเท่ากับ 60, 33 และ 6 ng สำหรับตัวอย่าง 600, 1000 และ 2000 มิลลิลิตร ตามลำดับ

### 2.3.4 เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography, HPLC)

A.Zarghi และคณะ[1] พัฒนาวิธีการหาปริมาณไมนอกซิดิลที่มีความเข้มข้นต่ำในพลาสติก ด้วยการนำคูโอออนมาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิค HPLC โดยการสกัดแบบขั้นตอนเดียว ซึ่งตัวอย่างพลาสติกที่นำมาทดสอบได้รับจากอาสาสมัครที่มีสุขภาพดีและผ่านการอดอาหารช่วงกลางคืนจำนวน 12 คน เก็บตัวอย่างพลาสติกหลังจากอาสาสมัครได้รับยาที่มีส่วนประกอบของไมนอกซิดิล แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 °C ทันที ก่อนทำการตรวจวัดต้องนำตัวอย่างพลาสติกผสมกับสารละลายเมทาโนอิกโพรพิลพาราเบน (Methanolic propyl paraben) ซึ่งเป็น internal standard สกัดด้วยบอเรทบัฟเฟอร์ (Borate buffer) และอะซิโตนไทรล์ (Acetonitrile) ตามลำดับ นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 15 นาที ตัวอย่างพลาสติกจะเกิดการแยกชั้น นำส่วนใสฉีดเข้าระบบเพื่อตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC มีเฟสเคลื่อนที่เป็น Sodium dihydrogen phosphate buffer และ Acetonitrile ที่ผสมอยู่ใน SDS micelle ซึ่ง SDS micelle จะทำหน้าที่จับกับไมนอกซิดิล แล้วไหลเข้าสู่เครื่องตรวจวัด ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องยูวีสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 281 นาโนเมตร ภายใต้การควบคุมสภาวะที่ pH 3.5 อัตราการไหลที่ 1 mL/min

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอุณหภูมิของคอลัมน์ที่ 50 °C พบว่าช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัดตั้งแต่ 2–100 ng/mL มีขีดจำกัดในการตรวจวัดที่ 0.5 ng/mL ข้อจำกัดของวิธีการตรวจวัดดังกล่าว จำเป็นต้องเตรียมเฟสเคลื่อนที่เพื่อใช้ในการทดลองใหม่ทุกครั้ง ไม่สามารถนำเฟสเคลื่อนที่กลับมาใช้ซ้ำได้ใหม่ และในระหว่างการตรวจวัดต้องไล่ฟองอากาศด้วยอัลตราโซนิกก่อนนำมาใช้งานและ

T.Huang และคณะ [2] ได้พัฒนาการตรวจวัดปริมาณไมนอกซิติลในรูขุมขนของหนูแฮมสเตอร์ด้วยเทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟี (Liquid chromatography) ร่วมกับการตรวจวัดด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า (LC/EC) เตรียมตัวอย่างด้วยวิธีเทปstripping/dissection) โดยการนำเทปมาแปะบนผิวหนังบริเวณรูขุมขนของหนูแฮมสเตอร์ แล้วลอกออก ไมนอกซิติลที่อยู่ในรูขุมขนของหนูแฮมสเตอร์จะติดบนเทป สกัดไมนอกซิติลออกจากเทป โดยนำเทปจุ่มลงละลายในสารละลายผสมระหว่างกรดไตรคลอโรอะซิติก (Trichloroacetic, TCA) และอะซิโตนไทรอิล สารละลายจะเกิดการแยกชั้น ส่วนใสจะถูกฉีดเข้าไปในระบบ LC/EC ใช้เฟสเคลื่อนที่เป็นสารละลายผสมระหว่างโพแทสเซียมฟอสเฟตโมโนเบสิก (Potassium phosphate monobasic) ที่ pH 8 และเมทานอล ใช้อัตราการไหลที่ 0.4 mL/min ที่อุณหภูมิห้อง วัดการเกิดออกซิเดชันของไมนอกซิติลที่ศักย์ไฟฟ้า 800 mV โดยใช้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเป็นขั้วทำงาน และใช้ Ag/AgCl เป็นขั้วอ้างอิง พบว่ามีช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัดตั้งแต่ 30-500 ng/mL ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.9988 และการวิเคราะห์การคืนกลับ (% Recovery) อยู่ระหว่าง 94.4 และ 103.3% ข้อจำกัดของวิธีการตรวจวัดดังกล่าวพบว่า เมื่อต้องการสกัดไมนอกซิติลออกจากเทป ต้องจุ่มเทปลงในสารละลายผสมระหว่าง TCA และอะซิโตนไทรอิลให้ชุ่ม ต้องทำความสะอาดขั้วไฟฟ้าทุก 3-4 สัปดาห์ การใช้เฟสเคลื่อนที่ที่มีพีเอชสูง จะทำให้สัญญาณการเกิดออกซิเดชันสูง แต่จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนสูงตามไปด้วย

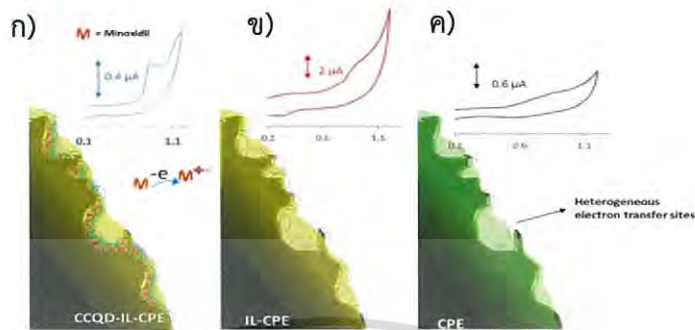
## 2.4 การใช้อนุภาคนาโนในการตรวจวัดไมนอกซิติล

### 2.4.1 อนุภาคระดับนาโนควอนตัมดอท (Quantum Dots, QDs)

M.Shamsipur และคณะ [9] พัฒนาอิเล็กโทรดสำหรับการตรวจวัดปริมาณไมนอกซิติลด้วยเทคนิคโวลแทมเมตรี (Voltammetry) โดยใช้แคตเมียมซิติลีนีควอนตัมดอทที่เคลือบผิวด้วยกลูโคส (Glucose-capped CdSe quantum dots, CCQD) และเอทิลเมทิลอิมิดาโซเลียมไอออนิกลิควิด (1-ethyl-3-methyl-imidazolium (EtMIMPF<sub>6</sub>) ionic liquid (IL)) ติดบนขั้วไฟฟ้ากราไฟต์ (Carbon paste electrode, CPE) วัดกระแสฟาราดีกของไมนอกซิติล โดยทำการสแกนศักย์ไฟฟ้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับของไมนอกซิดิลตั้งแต่ 0.0-1.2 V อัตราเร็วในการสแกนเท่ากับ 50 mV/s พบว่าการนำแคดเมียมซิติเนียมควอนตัมดอทมาผสมกับ EtMIMPF6 IL ติดลงบนขั้วไฟฟ้า สามารถเพิ่มขนาดของกระแสฟาราดีกได้ ดังรูป



รูปที่ 2.4 แสดงการถ่ายโอนอิเล็กตรอนบริเวณหน้าขั้วไฟฟ้าและสัญญาณการตรวจวัดด้วยเทคนิคโวลแทมเมทรีในไมนอกซิดิล 0.8  $\mu\text{M}$  โดยใช้ (ก) กราฟต์อิเล็กโทรด (CPE) ที่เคลือบด้วยแคดเมียมซิติเนียมควอนตัมดอทที่ถูกเคลือบด้วยกลูโคสและไอออนิกลิควิด กราฟต์อิเล็กโทรด (CCQD-IL-CPE) (ข) กราฟต์อิเล็กโทรด (CPE) ที่ถูกเคลือบด้วย ไอออนิกลิควิด (ค) กราฟต์อิเล็กโทรด (IL-CPE)

จากผลการทดลองจะมีช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัดตั้งแต่ 0.3-80  $\mu\text{M}$  ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9966 ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ  $9.5 \times 10^{-8}$  M ข้อจำกัดของวิธีการตรวจวัดดังกล่าวพบว่า ถึงแม้ EtMIMPF6 IL จะช่วยเพิ่มสัญญาณของฟาราดีกได้ แต่ไม่สามารถแก้ไขสัญญาณรบกวนจากการตรวจวัดได้ ต้องควบคุมอัตราเร็วในการสแกนให้เท่ากับ 50 mV/s เพื่อให้ไมนอกซิดิลเกิดการออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์

#### 2.4.2 อนุภาคทองระดับนาโน (Gold nanoparticles, AuNPs)

R. Yadav และคณะ [10] ได้พัฒนาเทคนิคการตรวจวัดยาลดความดันโลหิตสูง 2 ชนิดคือ แอมโลดิปีน (Amlodipine) และไมนอกซิดิล ด้วยเทคนิคไมโครเวฟสเปกโทรสโกปี (Microwave spectroscopy) โดยใช้ขั้วตรวจวัดที่เตรียมจาก Polydimethylsiloxane (PDMS) ภายในขั้วตรวจวัดบรรจุ metallic photonic crystal (MPC) เตรียมตัวอย่างยาแอมโลดิปีนและไมนอกซิดิลด้วยการละลายในน้ำปราศจากไอออน เติมลงในอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ขึ้น แอมโลดิปีนและไมนอกซิดิลจะเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโน ทำให้เกิดการรวมตัว (Aggregate) โดยสังเกตจากสีของอนุภาคทองระดับนาโนที่เปลี่ยนไป จากสีม่วงเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินและสีแดงอ่อนเปลี่ยนเป็นสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำเงิน สำหรับตัวอย่างยาแอมโลดิปีนและไมนอกซิดิล ตามลำดับ จากนั้นทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค ไมโครเวฟสเปกโทรสโกปี โดยทำการจุ่มหัวตรวจวัดที่เตรียมได้ ลงในอนุภาคของระดับนาโนที่เกิดการรวมตัว กระตุ้นการทำงานของหัวตรวจวัดด้วยคลื่นไมโครเวฟ วัดความถี่ของตัวอย่างยาแอมโลดิปีนและไมนอกซิดิล ตามลำดับ จากผลการทดลองจะมีช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัด ตั้งแต่ 10-100  $\mu\text{M}$  และ 0.625-20 mM ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9787 และ 0.9600 มีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 164 nM และ 1.78 mM สำหรับตัวอย่างยาแอมโลดิปีนและไมนอกซิดิล ตามลำดับ

## 2.5 ในงานวิจัยนี้

ในงานวิจัยนี้พัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณไมนอกซิดิลในยาปลุกผมโดยการใช้อนุภาคของระดับนาโนเป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัด สังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโนโดยใช้วิธีเทอร์เควิช เตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลได้ โดยการละลายไมนอกซิดิลในตัวทำละลายที่เป็นเมทานอล ทำการทดลองโดยอาศัยอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคของระดับนาโนกับไมนอกซิดิล ซึ่งคาดว่าหมู่อะมิโน ( $-\text{NH}_2$ ) บนไมนอกซิดิล สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) กับหมู่ไฮดรอกซิล ( $-\text{OH}$ ) ที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคของระดับนาโน ทำให้ไมนอกซิดิลเหนียวนำอนุภาคของระดับนาโนให้เกิดการรวมตัว สังเกตได้จากการเปลี่ยนสีของอนุภาคของระดับนาโน จากสีแดงอ่อนเป็นสีม่วงและสีน้ำเงินตามลำดับ ติดตามการเปลี่ยนแปลงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วง 400-800 นาโนเมตร โดยค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคของระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร จะแปรผกผันกับความเข้มข้นของไมนอกซิดิล ซึ่งเทคนิคนี้ เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการตรวจวัดไมนอกซิดิลในตัวอย่างยาปลุกผม เพื่อควบคุมคุณภาพ เพราะเป็นเทคนิคที่ทำได้ง่าย รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินโครงการพิเศษ

### 3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

#### 3.1.1 สารเคมี

ตาราง 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรโมเลกุล	ความบริสุทธิ์ (%)	ที่มา
5% Minoxidil Topical Solution	$C_9H_{15}N_5O$	5	T.O.PHARMA CO.,LTD.
Methanol	$CH_3OH$	99.99	Fisher Chemical, UK
Gold(III) chloride trihydrate	$HAuCl_4$	99.9	Aldrich Chemistry, USA
Sodium citrate tribasic dihydrate	$C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$	99.0	Sigma-Aldrich, Japan

ใช้น้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI) (Zeneer UP 900, Human corporation, Korea) ทั้งในการเตรียมสารละลายและในการทดลอง

#### 3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัด

- 1) ปีกเกอร์ ขนาด 50, 100 และ 150 มิลลิลิตร
- 2) ขวดปรับปริมาตร ขนาด 5, 10, 50 และ 100 มิลลิลิตร
- 3) ไมโครปิเปต ขนาด 200 และ 1000 ไมโครลิตร
- 4) ไมโครปิเปต ขนาด 5 มิลลิลิตร
- 4) ปิเปต ขนาด 2 และ 10 มิลลิลิตร
- 5) กระบอกตวง ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 6) ซ้อนตักสาร
- 7) หลอดหยด (Dropper)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 8) แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)
- 9) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
- 10) กระจกนาฬิกา
- 11) คิวเวต (Cuvette)
- 12) ลูกยาง
- 13) หลอดทดลอง
- 14) ขวดสีชา
- 15) โถดูดความชื้น (Desiccator)
- 16) เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) IKA® ETS-D5
- 17) เครื่องกวนสารพร้อมให้ความร้อน (Hotplate stirrer) IKA® C-MAG HS 7
- 18) เครื่องเขย่าสาร (Vortex mixer) Scientific industries
- 19) เครื่องชั่งสาร (Analytical balance) PA214 OHAUS corporation.USA
- 20) อ่างล้างคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic cleaner) Mettler Electronics Cavitator®
- 21) เครื่องวัดพีเอช (pH-meter) Mettler toledo
- 22) เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) Hitachi

U-2900

## 3.2 การเตรียมสารละลาย

### 3.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล

ในโครงการพิเศษนี้ใช้ยาปลูกผมยี่ห้อ Reten five ที่มีความเข้มข้นของไมนอกซิดิล 5% โดยน้ำหนัก (%w/v) เป็นสารมาตรฐานไมนอกซิดิล โดยความเข้มข้น 5% w/v คิดเป็นความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์ได้เท่ากับ 0.24 โมลาร์

การเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล เริ่มจากปิเปตสารมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0.24 โมลาร์ ด้วยไมโครปิเปต ปริมาตร 0, 21, 52, 104, 156 และ 210 ไมโครลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร ละลายสารมาตรฐานไมนอกซิดิลด้วยเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน [6]

เตรียมสารละลายกรดคลอโรอริกเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งกรดคลอโรอริก 0.0394 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

เตรียมสารละลายโซเดียมซิเตรทเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งโซเดียมซิเตรท 0.5604 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

เตรียมสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน โดยเทสารละลายกรดคลอโรอริกเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร ให้ความร้อนพร้อมปั่นด้วยความเร็วสูง เมื่ออุณหภูมิถึง 80 °C เติมสารละลายโซเดียมซิเตรทเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 7 มิลลิลิตร ลงไปอย่างรวดเร็ว ให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 15 นาที สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีแดงอมน้ำตาล ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 °C

## 3.3 วิธีการดำเนินการ

### 3.3.1 ศึกษาอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนและไมนอกซิดิล

- 1) ปิเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
- 2) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเดียวกัน
- 3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม
- 4) ทดลองซ้ำในข้อที่ 1) - 3) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเป็น 2.5 และ 7.5 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ
- 5) สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน และบันทึกค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

### 3.3.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ไมนอกซิดิลด้วยอนุภาคทองระดับนาโน

#### 3.3.2.1 ศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล เมื่อใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยการใช้สารละลายโซเดียมซิติเรทปริมาตร 7 และ 10 มิลลิลิตร ทำการทดลองดังต่อไปนี้

1) เตรียมสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยการใช้สารละลายโซเดียมซิติเรท ปริมาตร 7 มิลลิลิตร

2) ปิเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

3) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

4) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

5) ทดลองซ้ำในข้อที่ 2) - 4) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล เป็น 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

6) เปลี่ยนปริมาตรสารละลายโซเดียมซิติเรทที่ใช้เตรียมสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน จาก 7 เป็น 10 มิลลิลิตร จากนั้นทำการทดลองตามข้อที่ 2) - 5)

7) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

### 3.3.2.2 ศึกษาความเข้มข้นเมทานอลที่ใช้ในการเตรียมไมนอกซิดิล

ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล เมื่อเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลด้วยเมทานอลที่มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 10, 20, 30 และ 50 %v/v ทำการทดลองดังต่อไปนี้

1) เตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล โดยปิเปตสารมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0.24 โมลาร์ ปริมาตร 52 และ 210 ไมโครลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร ละลายสารมาตรฐานไมนอกซิดิลด้วยเมทานอลเข้มข้น 10 %v/v จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 2.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

2) ปิเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

3) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่เตรียมไว้ ความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

5) ทดลองซ้ำในข้อที่ 2) - 4) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเป็น 10.0 มิลลิโมลาร์

6) เปลี่ยนวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล ในข้อ 1) โดยใช้ปริมาตรเมทานอลเข้มข้น 20, 30 และ 50 %v/v ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองตามข้อที่ 2) - 5)

7) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

### 3.3.2.3 ศึกษาปริมาตรอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ในการทำอันตรกิริยากับไมนอกซิดิล

ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเมื่อใช้อนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิลิตร ทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ทำการทดลองดังต่อไปนี้

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 0.25 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

2) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

4) ทดลองซ้ำในข้อที่ 1) - 3) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเป็น 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

5) เปลี่ยนปริมาตรอนุภาคทองระดับนาโนในข้อ 1) จาก 0.25 เป็น 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองตามข้อที่ 1) - 4)

6) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

### 3.3.2.4 ศึกษาเวลาในการทำอันตรกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัด

ศึกษาเวลาในการตรวจวัดที่มีผลต่ออันตรกิริยาของอนุภาคทองระดับนาโนกับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล ณ เวลา 1.30, 2, 3 และ 4 นาที หลังจากการผสม ทำการทดลองดังต่อไปนี้

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

2) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 1.30 นาที หลังจากการผสม

4) ทดลองซ้ำในข้อที่ 1) - 3) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลเป็น 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

5) เปลี่ยนเวลาในการตรวจวัดในข้อ 3) จาก 1.30 เป็น 2, 3 และ 4 นาที ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองตามข้อที่ 1) - 4)

6) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

### 3.3.2.5 ศึกษา pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด

ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลเมื่อทำการปรับ pH ของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ทำการทดลองดังต่อไปนี้

#### 3.3.2.5.1 ศึกษาชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH เดียวกัน

1) เตรียมสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ (Acetate buffer) เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 เริ่มจากเตรียมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยปิเปตสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 99.8 %v/v ปริมาตร 1.15 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยชั่งสารโซเดียมอะซิเตท 1.3608 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

ผสมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 46.3 มิลลิลิตร กับสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 3.7 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน วัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช ได้สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6

2) เตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติล เริ่มจากปิเปตสารมาตรฐานไมนอกซิติลเข้มข้น 0.24 โมลาร์ ปริมาตร 0, 21, 52, 104, 156 และ 210 ไมโครลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร ละลายสารมาตรฐานไมนอกซิติลด้วยเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v เติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

3) ปิเปตสารละลายอนุภาคของระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

4) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลที่เตรียมไว้ ความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

5) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

6) ทดลองซ้ำในข้อที่ 3) - 5) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลเป็น 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

7) เตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (Phosphate buffer) เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 เริ่มจากเตรียมสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยปิเปตสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น (85 %v/v) ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นเตรียมสารละลายโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยชั่งสารโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 3.1202 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

ผสมสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 48.5 มิลลิลิตร กับสารละลายโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน วัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช ได้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6

8) เปลี่ยนชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์จาก สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 เป็นสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 จากนั้นทำการทดลองตามข้อ 2) - 6)

9) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคของระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

### 3.3.2.5.2 ศึกษาค่า pH ที่เหมาะสม

1) เตรียมสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 5.2 เริ่มจากเตรียมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยปิเปตสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 99.8 %v/v ปริมาตร 1.15 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจาก

ไอออน จากนั้นเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยชั่งสารโซเดียมอะซิเตท 1.3608 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

ผสมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 10.5 มิลลิลิตร กับสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 39.5 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน วัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช ได้สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 5.2

2) เตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล เริ่มจากปิเปตสารมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0.24 โมลาร์ ปริมาตร 0, 21, 52, 104, 156 และ 210 ไมโครลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร ละลายสารมาตรฐานไมนอกซิดิลด้วยเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v เติมสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 5.2 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

3) ปิเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

4) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่เตรียมไว้ ความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

5) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

6) ทดลองซ้ำในข้อที่ 3) - 5) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเป็น 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

7) เปลี่ยนสารละลายบัฟเฟอร์จาก สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 5.2 เป็นสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 จากนั้นทำการทดลองตามข้อ 2) - 6)

8) เตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 7.0 เริ่มจากเตรียมเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยชั่งสารละลายไดโซเดียมโมโนไฮโดรเจนฟอสเฟต 2.8392 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นเตรียมสารละลายโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยชั่งสารโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 3.1202 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เจเนอรัลโพสเฟตเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 30.5 มิลลิลิตร กับสารละลายโซเดียมไดไฮดรอกไซด์เจเนอรัลโพสเฟตเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 19.5 มิลลิลิตร ให้เข้ากัน วัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช ได้สารละลายโพสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 7.0

9) เปลี่ยนสารละลายบัฟเฟอร์เป็นสารละลายโพสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 7.0 และ pH 3.6 ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองตามข้อที่ 2) - 6)

10) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

### 3.3.2.5.3 ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์

1) เตรียมสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 3.6 เริ่มจากเตรียมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยปิเปตสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น (99.8% v/v) ปริมาตร 1.15 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยชั่งสารโซเดียมอะซิเตท 1.3608 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

ผสมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 46.3 มิลลิลิตร กับสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 3.7 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้ววัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช ได้เป็นสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 3.6

2) เตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล เริ่มจากปิเปตสารมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0.24 โมลาร์ ปริมาตร 0, 21, 52, 104, 156 และ 210 ไมโครลิตร ตามลำดับ ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร ละลายสารมาตรฐานไมนอกซิดิลด้วยเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v เติมสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 3.6 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

3) ปิเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

4) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่เตรียมไว้ ความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

5) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

6) ทดลองซ้ำในข้อที่ 3) - 5) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล เป็น 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

7) เปลี่ยนสารละลายบัฟเฟอร์จาก สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 3.6 เป็นสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 จากนั้นทำการทดลองตามข้อที่ 2) - 6)

8) เตรียมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 3.6 เริ่มจากเตรียมสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยปีเปตสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น (85 % v/v) ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นเตรียมสารละลายโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเข้มข้น 0.2 โมลาร์ โดยชั่งสารโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 3.1202 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

ผสมสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 48.5 มิลลิลิตร กับสารละลายโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้ววัดค่า pH ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช ได้สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 3.6

9) เปลี่ยนสารละลายบัฟเฟอร์เป็น สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 3.6 และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองตามข้อที่ 2) - 6)

10) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

### 3.3.3 ศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์

#### 3.3.3.1 ศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

จากสถานะที่เหมาะสมกับการตรวจวัด ศึกษาความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ กับค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร ทำการทดลองดังนี้

1) ปีเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง

2) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

4) ทดลองซ้ำในข้อที่ 1) - 3) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติล เป็น 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

5) ทำการทดลองในข้อ 1) - 4) จำนวน 4 ซ้ำ

6) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

### 3.3.3.2 ศึกษาความเที่ยง (Accuracy)

ประเมินความเที่ยงจากค่า %RSD ซึ่งทำการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาความเป็นเส้นตรง ซึ่งได้ทำการทดลองซ้ำจำนวน 4 ซ้ำ นำค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่บันทึกไป คำนวณหาค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) จากนั้นนำไปคำนวณค่า %RSD ตามสมการ

$$\text{ค่าเฉลี่ย } (\bar{X}) = \frac{\text{ผลรวมค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน}}{\text{จำนวนซ้ำ}}$$

$$\text{SD} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}}$$

เมื่อ	$X_i$	คือ ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน
	$\bar{X}$	คือ ค่าเฉลี่ยของการดูดกลืนแสง
	N	คือ จำนวนซ้ำ

$$\%RSD = \frac{SD}{\bar{X}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3.3 ศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD)

- 1) เตรียมสารละลายแบลลงค์ โดยปิเปตเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ใส่ในขวดปรับปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน
- 2) ปิเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง
- 3) ปิเปตสารละลายแบลลงค์ที่เตรียมไว้ ลงในหลอดทดลองเดียวกัน
- 4) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม
- 5) ทำการทดลองในข้อ 2) - 4) จำนวน 4 ซ้ำ
- 6) บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

จากวิธีการทดลอง นำค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนไปคำนวณค่า LOD จาก

สูตร

$$\text{LOD} = \frac{3 \times \text{SD}}{\text{Slope}}$$

เมื่อ SD คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารละลายแบลลงค์  
Slope คือ ค่าความชันของกราฟมาตรฐาน

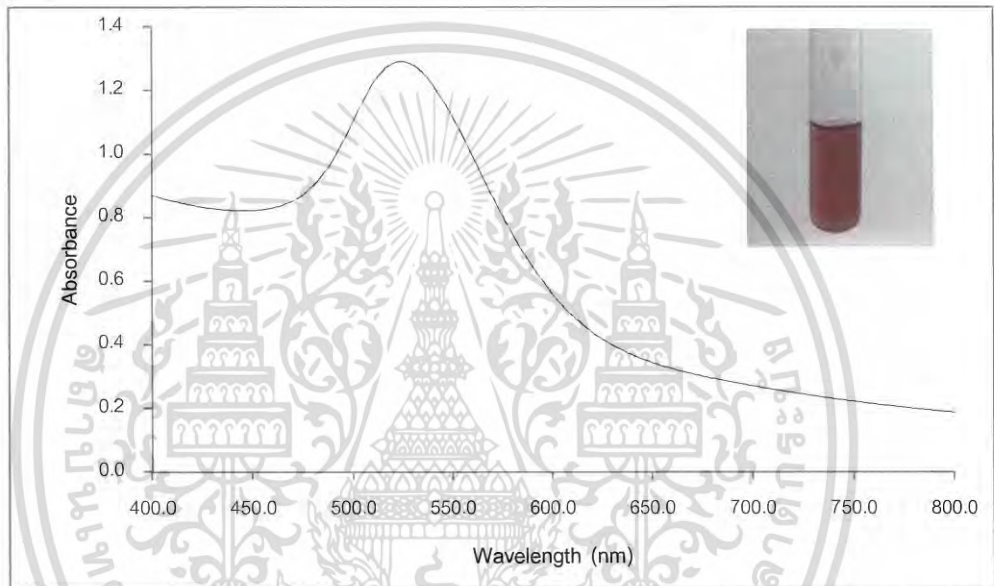
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

### 4.1 คุณสมบัติของอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้

ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนแล้วทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ที่ช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร ได้การทดลองดังรูป



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน แทรก: สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนในน้ำปราศจากไอออน

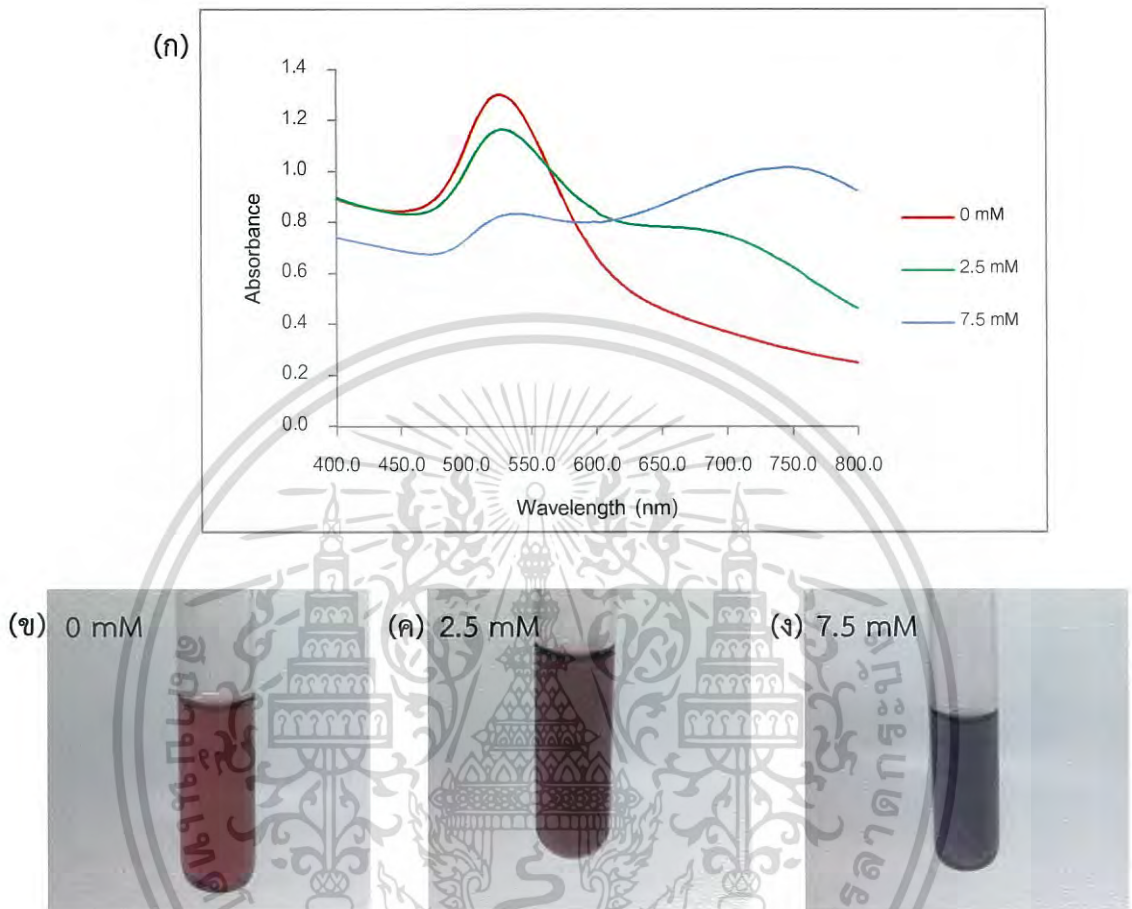
จากรูปที่ 4.1 พบว่า อนุภาคทองระดับนาโนมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 525 นาโนเมตร และมีสีแดงจาง ซึ่งค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกับการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ได้จากงานวิจัยอื่นๆ [11,12,13]

### 4.2 อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับไมนอกซิดิล

นำอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร มาทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐาน ไมนอกซิดิลเข้มข้น 0, 2.5 และ 7.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอนุภาคทองระดับนาโน ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2



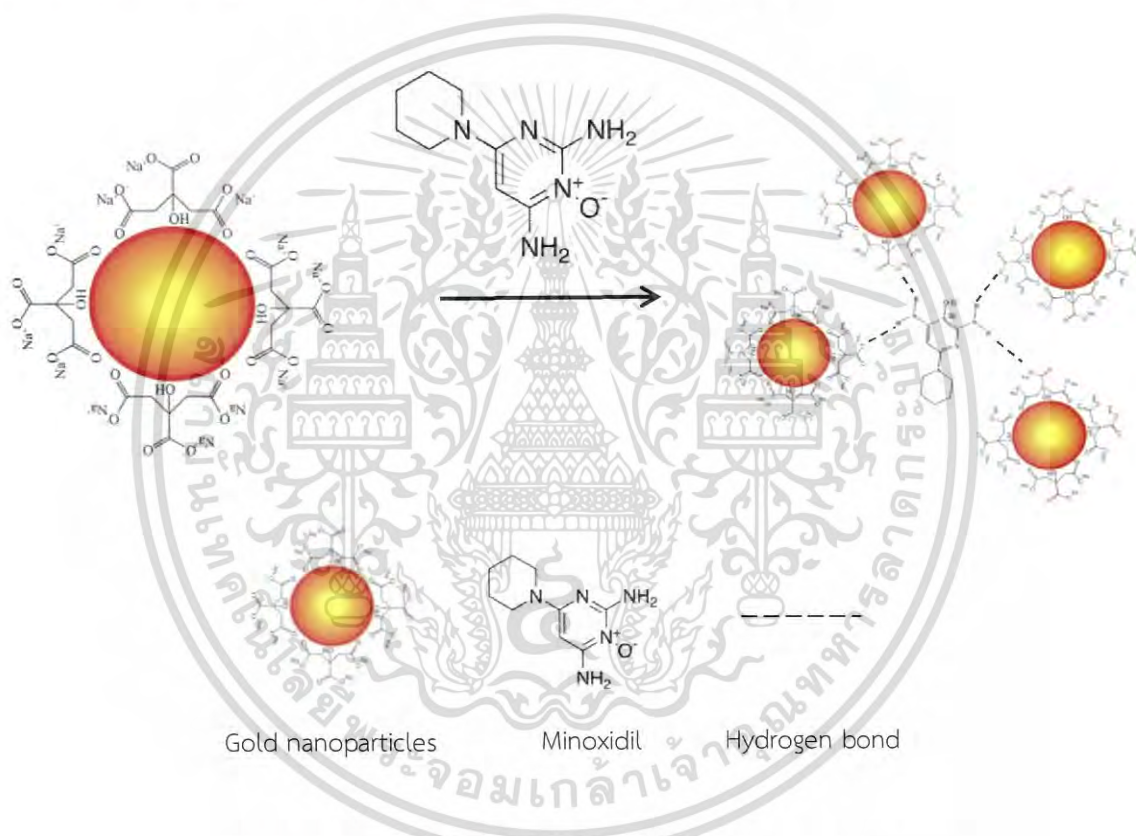
รูปที่ 4.2 (ก.) สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 2.5 และ 7.5 มิลลิโมลาร์ (ข.) สีของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ (ค.) สีของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมลาร์ (ง.) สีของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 7.5 มิลลิโมลาร์

จากรูปที่ 4.2 พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร มีค่าลดลง เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเพิ่มขึ้น (ก) และสีของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนเปลี่ยนสีจากสีแดงอู่น (ข) เป็นสีม่วงเมื่อใช้สารละลายมาตรฐานไมนออกซิดิลเข้มข้น 2.5 มิลลิโมลาร์ (ค) และเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินเมื่อใช้สารละลายไมนออกซิดิลเข้มข้น 7.5 มิลลิโมลาร์ (ง) แสดงว่า ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนออกซิดิลมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

จากผลการทดลอง คาดว่าหมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) บนไมนออกซิดิลเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond) กับหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ที่อยู่บนผิวของอนุภาคทองระดับนาโน ทำให้ไมนออกซิดิลเหนียวกับอนุภาคทองระดับนาโนให้เกิดการรวมตัว ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนมีค่าลดลง และสีของอนุภาคทองระดับนาโนเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังรูป 4.3



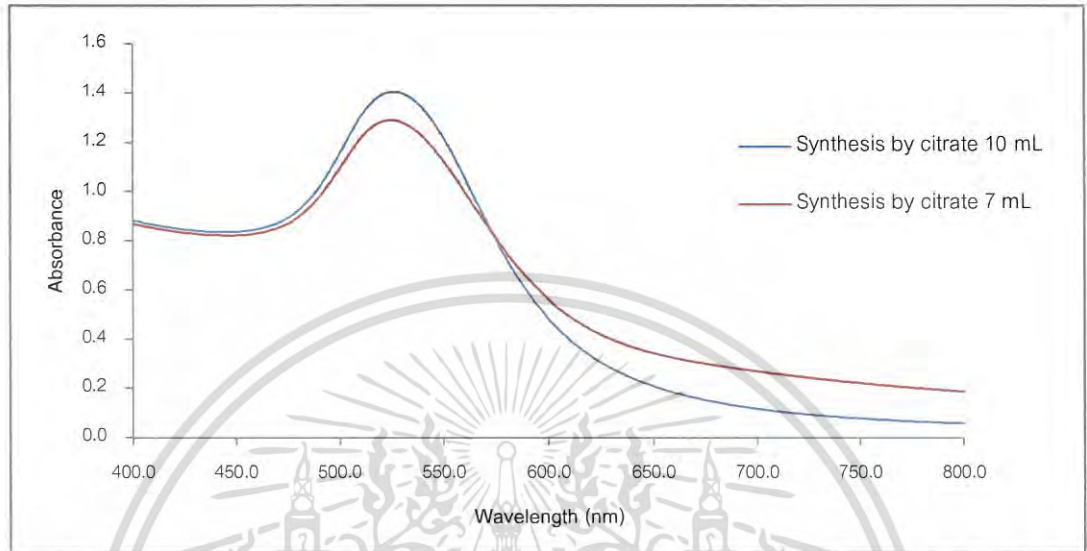
รูป 4.3 อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับไมนออกซิดิล

## 4.3 ผลของสภาวะต่างๆที่มีผลต่อการตรวจวัดไมนออกซิดิล

### 4.3.1 ผลของวิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนต่อการตรวจวัดไมนออกซิดิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

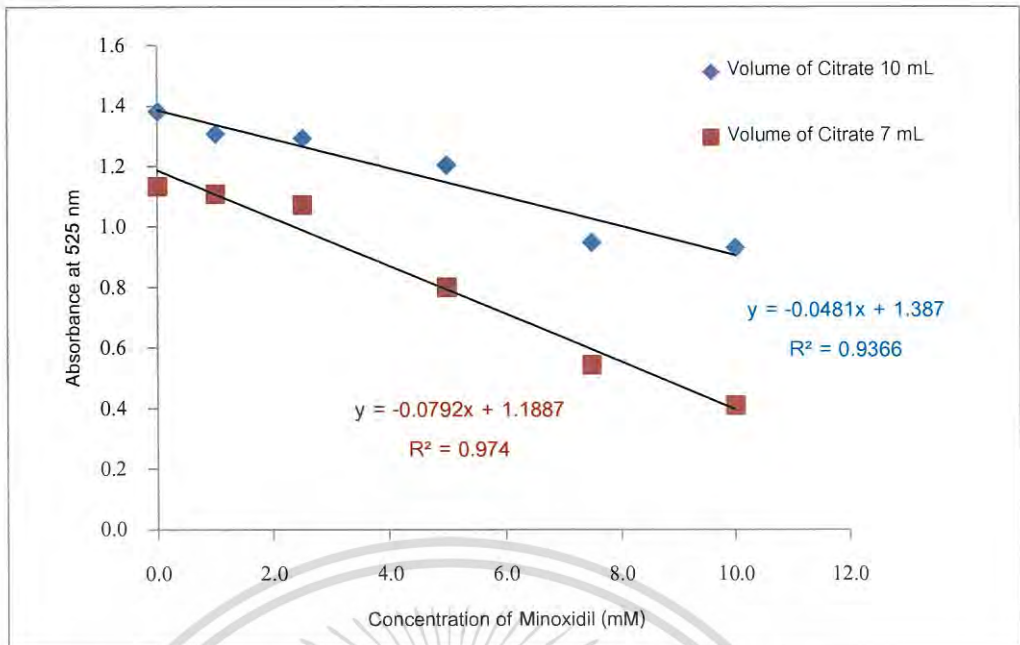
นำอนุภาคของระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยการใช้สารละลายโซเดียมซิเตรทปริมาตร 7 และ 10 มิลลิลิตร ไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคของระดับนาโนด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคของระดับนาโน ที่ได้จากการสังเคราะห์โดยใช้สารละลายโซเดียมซิเตรทปริมาตร 7 และ 10 มิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.4 พบว่าอนุภาคของระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยการใช้สารละลายโซเดียมซิเตรทปริมาตร 7 และ 10 มิลลิลิตร มีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

นำอนุภาคของระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยการใช้สารละลายโซเดียมซิเตรทปริมาตร 7 และ 10 มิลลิลิตร ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร มาทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคของระดับนาโน ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.5



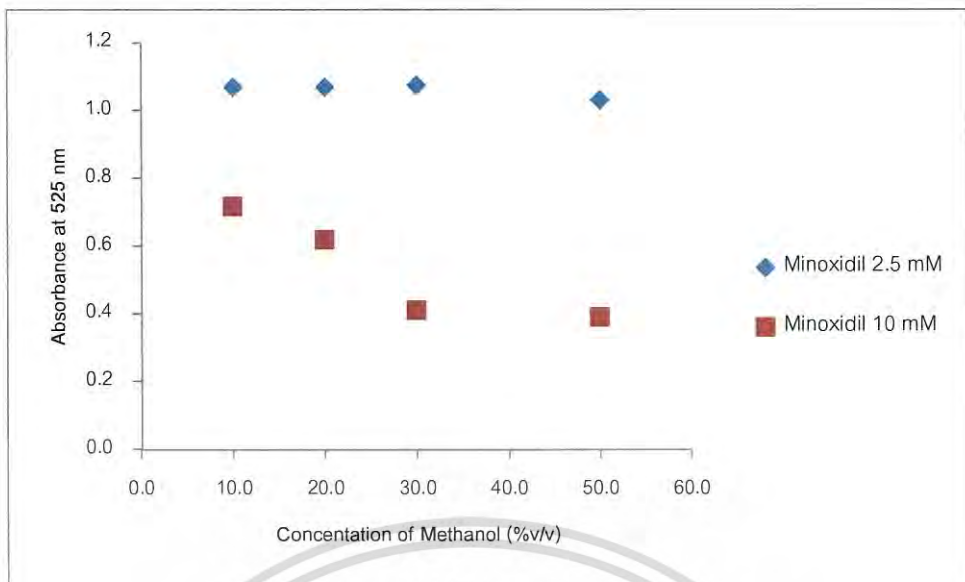
รูปที่ 4.5 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนออกซิดิลที่ 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ กับค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

จากรูปที่ 4.5 พบว่า เมื่อใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ปริมาตร 7 มิลลิลิตร ได้กราฟมาตรฐานที่มีค่าความชันมากกว่า แสดงถึงความไวในการตรวจวัดมากกว่า จึงเลือกใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรท ปริมาตร 7 มิลลิลิตร ในการวิเคราะห์ไมนออกซิดิล

#### 4.3.2 ผลความเข้มข้นของเมทานอลที่ใช้ในการเตรียมไมนออกซิดิล

นำสารละลายมาตรฐานไมนออกซิดิลเข้มข้น 2.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ที่ถูกเตรียมด้วยการใช้เมทานอลเข้มข้น 10, 20, 30 และ 50 %v/v มาทำอันตรกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังการผสม พบผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของเมทานอลที่ 10 20 30 และ 50 %v/v กับการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล 2.5 มิลลิโมลาร์ ที่ถูกเตรียมด้วยเมทานอลความเข้มข้น 10 20 30 และ 50 %v/v มีค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่แตกต่างกันมาก แต่ที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล 10.0 มิลลิโมลาร์ ที่ถูกเตรียมด้วยเมทานอลความเข้มข้น 10 20 30 และ 50 %v/v มีค่าการดูดกลืนแสงลดลงเมื่อใช้เมทานอลที่ความเข้มข้นสูง จนถึงที่เมทานอลความเข้มข้น 30 %v/v ค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มคงที่ แสดงให้เห็นว่าเมทานอลมีผลต่อการละลายสารมาตรฐานไมนอกซิดิล โดยที่สารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้นสูง ต้องใช้เมทานอลความเข้มข้นสูง จึงสามารถละลายสารมาตรฐานไมนอกซิดิลได้ สังเกตได้จากค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่มีค่าลดลงเรื่อยๆ แสดงถึง อนุภาคทองระดับนาโนเกิดการรวมตัวกับไมนอกซิดิลมากขึ้น เนื่องจากในสารละลายมีปริมาณไมนอกซิดิลมาก จากการละลายที่เพิ่มขึ้น จนถึงที่เมทานอลความเข้มข้น 30 %v/v ค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มคงที่ จึงเลือกใช้เมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล

#### 4.3.3 ผลของปริมาตรอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ทำอันตรกิริยากับไมนอกซิดิล

นำอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิลิตร มาทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังการผสม พบผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.1

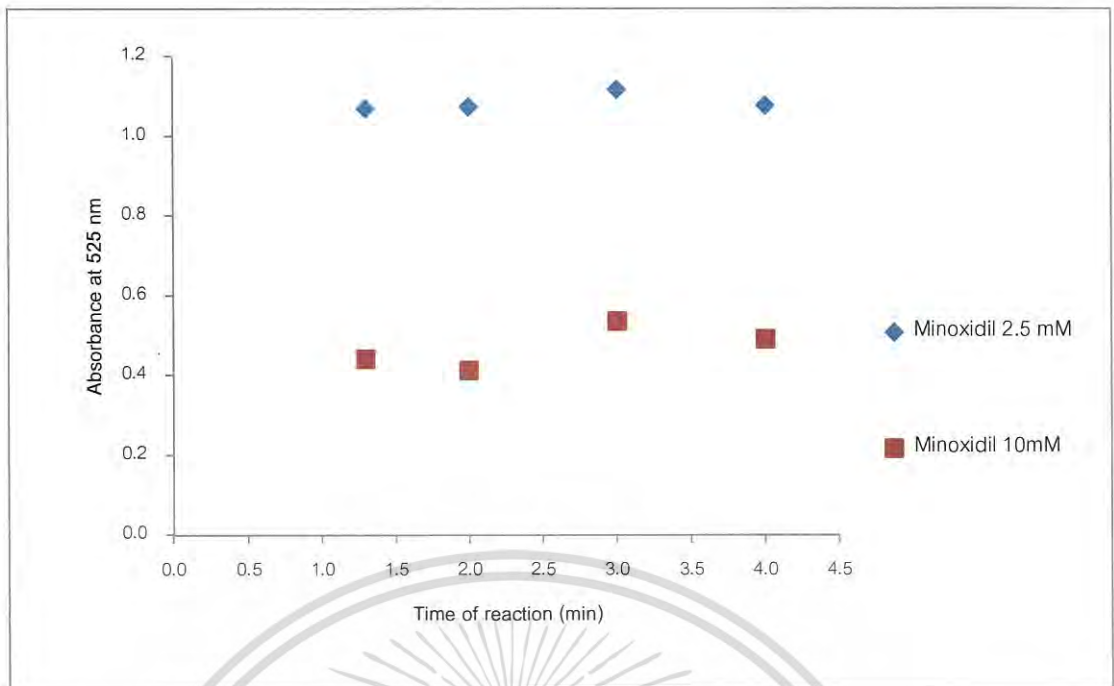
ตารางที่ 4.1 ผลสรุปสมการเชิงเส้นและค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เมื่อใช้ปริมาตรอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 0.25, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ ทำอันตรกิริยากับไมนอกซิติลเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์

ปริมาตรอนุภาคทองระดับนาโน (mL)	สมการเส้นตรง	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ )
0.25	$y = -0.0062x + 0.3344$	$R^2 = 0.6116$
0.50	$y = -0.0153x + 0.6351$	$R^2 = 0.8004$
1.00	$y = -0.0388x + 0.9404$	$R^2 = 0.9087$
1.50	$y = -0.0619x + 1.2023$	$R^2 = 0.9857$
2.00	$y = -0.0952x + 1.4104$	$R^2 = 0.9266$

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อใช้อนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังการผสม ได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมากที่สุด จึงเลือกใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ในการวิเคราะห์ไมนอกซิติล

#### 4.3.4 ผลของเวลาในการทำอันตรกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัด

นำอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร มาทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิติลเข้มข้น 2.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 1.30, 2.0, 3.0 และ 4.0 นาที หลังการผสม พบการทดลองดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตรวจวัด ที่ 1.5, 2.0, 3.0 และ 4.0 นาที กับค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่มีความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

จากรูปที่ 4.7 พบว่าเมื่อตรวจวัดที่เวลา 1.5, 2.0, 3.0 และ 4.0 นาที หลังการผสมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 2.5 มิลลิโมลาร์ ได้ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนไม่แตกต่างกัน และที่สารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 10.0 มิลลิโมลาร์ เมื่อทำการตรวจวัด ณ เวลาแตกต่างกัน ได้ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกัน แสดงว่า อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว

โดยเลือกตรวจวัด ณ เวลา 2 นาที หลังการผสม เนื่องจากเป็นเวลาที่เหมาะสมต่อการทำการทดลอง และไม่เร่งรีบจนเกินไป

#### 4.3.5 ผลของ pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด

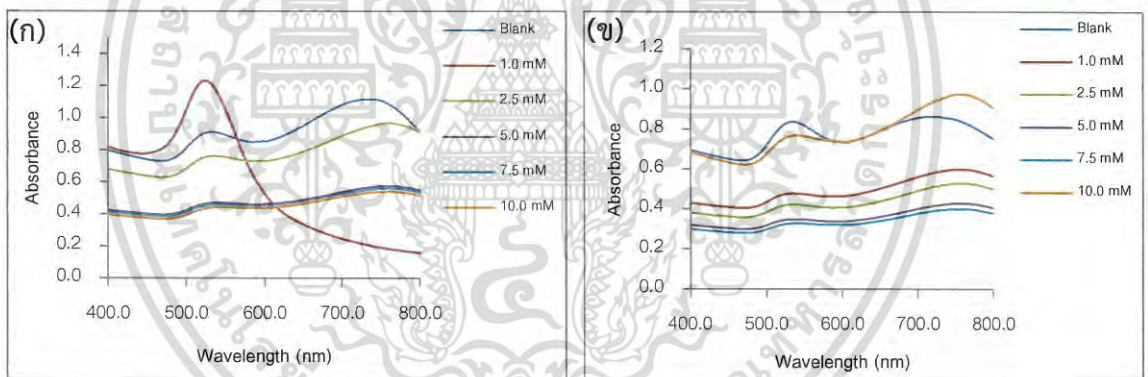
นำสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล มาปรับค่า pH ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 1 มิลลิลิตร โดยทำการศึกษา ชนิด ค่า pH และความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้ นำสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ดังกล่าว ปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.0 มิลลิลิตร มาทำอันตรกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2.0 นาที หลังการผสม

#### 4.3.5.1 ผลของชนิดของสารละลายบัฟเฟอร์ที่มี pH เดียวกัน

นำสารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล ความเข้มข้น 0, 1.0, 5.0, 2.5, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ โดยทดลองใช้สารละลายบัฟเฟอร์สองชนิด คือ สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 เมื่อนำสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ที่เตรียมได้ ทำอันตรกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2.0 นาที หลังการผสม พบการทดลองดังรูปที่ 4.9



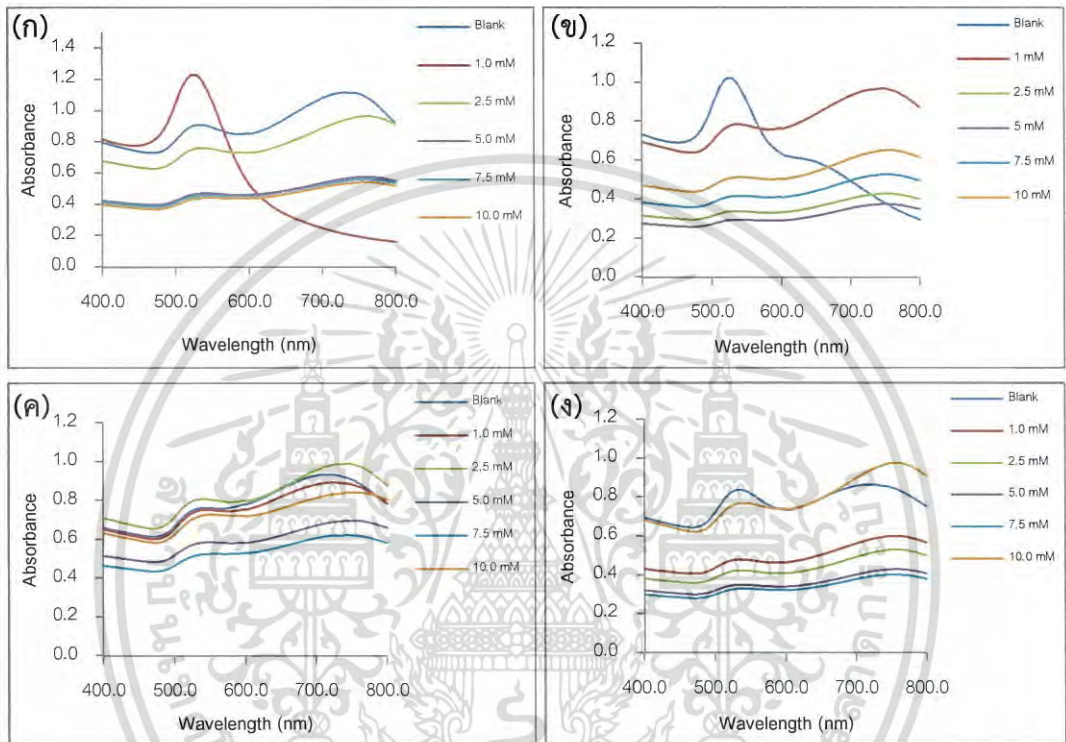
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ (ก) มีการปรับพีเอชของสารละลายไมนอกซิดิลด้วยสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 (ข) มีการปรับพีเอชของสารละลายไมนอกซิดิลด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6

#### 4.3.5.2 ผลของค่า pH ที่เหมาะสม

นำสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 และ pH 5.2 และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 pH 7.0 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาใช้ในการเตรียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ แล้วนำสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ที่เตรียมได้ ทำอันตรกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2.0 นาที หลังการผสม พบการทดลองดังรูปที่ 4.1

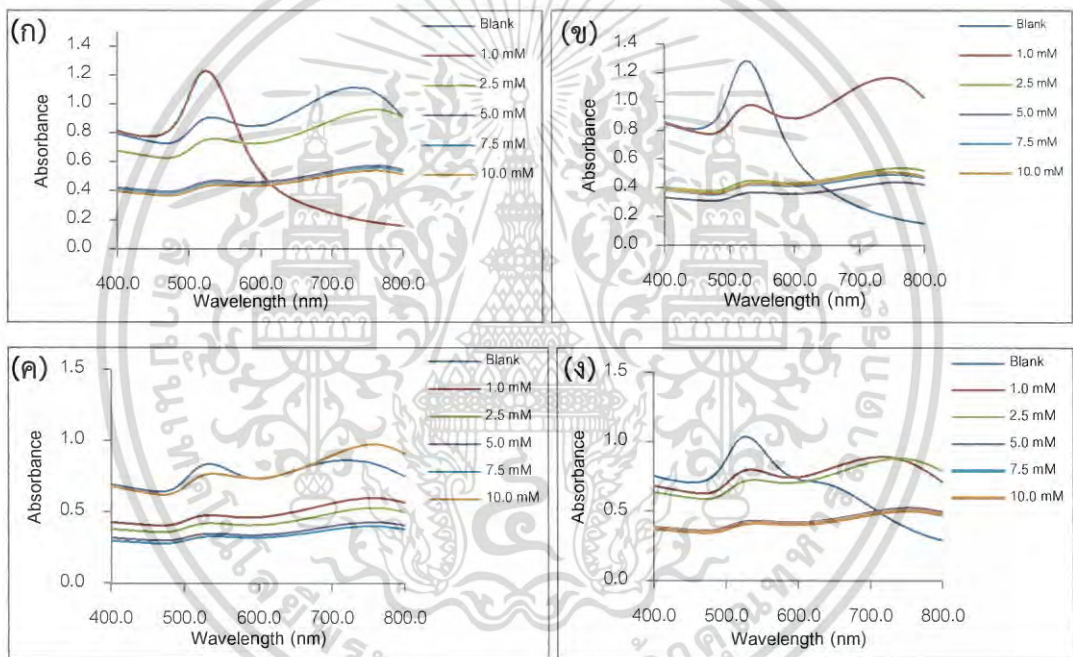


รูปที่ 4.9 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ (ก) มีการปรับพีเอชของสารละลายไมนอกซิดิลด้วยสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 (ข) มีการปรับพีเอชของสารละลายไมนอกซิดิลด้วยสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 5.2 (ค) มีการปรับพีเอชของสารละลายไมนอกซิดิลด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 7.0 (ง) มีการปรับพีเอชของสารละลายไมนอกซิดิลด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.5.3 ผลความเข้มข้นของสารละลายบัฟเฟอร์

นำสารละลายบัฟเฟอร์ปริมาตร 1 มิลลิลิตร มาใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ โดยทดลองใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้นต่างกัน คือ สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 และ 0.1 โมลาร์ pH 3.6 และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 และ 0.1 โมลาร์ pH 3.6 เมื่อนำสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร จากที่เตรียมไว้ ทำอันตรกิริยากับอนุภาคของระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคของระดับนาโน ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2.0 นาที หลังการผสม พบการทดลองดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคของระดับนาโน เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ (ก) มีการปรับพีเอชของสารละลายไมนอกซิดิลด้วยสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 (ข) มีการปรับพีเอชของสารละลายไมนอกซิดิลด้วยสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 3.6 (ค) มีการปรับพีเอชของสารละลายไมนอกซิดิลด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 โมลาร์ pH 3.6 (ง) การปรับพีเอชของสารละลายไมนอกซิดิลด้วยสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9-4.11 พบว่าเมื่อเพื่อปรับ pH ของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล ด้วยสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 และ 0.1 โมลาร์ pH 3.6 และสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.2 และ 0.1 โมลาร์ pH 3.6 ทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนไม่เป็นไปตามแนวโน้ม แสดงว่า pH ไม่มีอิทธิพลต่อค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน จึงไม่จำเป็นต้องควบคุม pH ของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล

#### 4.3.6 ตารางสรุปสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไมนอกซิดิล

ตาราง 4.2 สรุปสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไมนอกซิดิล

สภาวะที่ทำการศึกษา	ช่วงในการศึกษา	ช่วงที่เหมาะสม
วิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน	สังเคราะห์ด้วยการใช้สารละลายโซเดียมซิเตรท ปริมาตร 7 และ 10 mL	ใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยการใช้สารละลายโซเดียมซิเตรทปริมาตร 7 mL
ความเข้มข้นของเมทานอล	10 - 50 %v/v	30% v/v
ปริมาณอนุภาคทองระดับนาโน	0.25 - 2.0 mL	1.5 mL
เวลา	1.30 - 4.0 นาที	2 นาที
pH	0.2 และ 0.1 M อะซิเตรทบัฟเฟอร์ pH 3.6 และ 5.2 และ 0.2 และ 0.1 M ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 3.6 และ 7.0	ไม่มีผลต่อการตรวจวัด

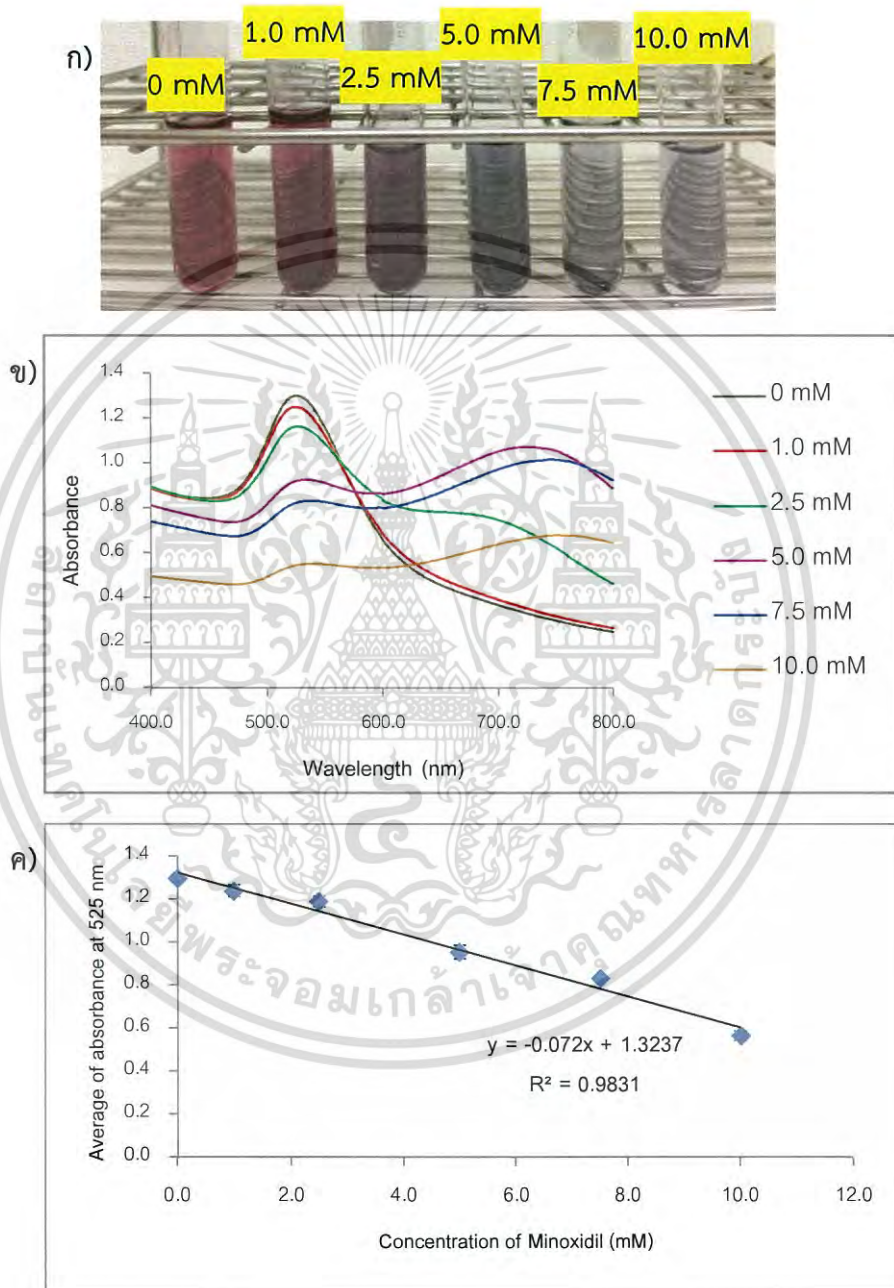
#### 4.4 ผลของคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ไมนอกซิดิลที่พัฒนาขึ้น

##### 4.4.1 ผลของการศึกษาความเป็นเส้นตรง

จากสภาวะที่เหมาะสม นำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร นำไปตรวจวัดในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 นาที หลังจากการผสม ทำการทดลองซ้ำ จำนวน 4 ซ้ำ ที่ความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ของสารละลายมาตรฐานไมนออกซิديل สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตรกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนออกซิديل ได้กราฟมาตรฐานดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.11 (ก) สีของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนออกซิديلความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ (ข) สเปกตรัมการดูดกลืนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ (ค) กราฟมาตรฐานระหว่างสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ กับค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร

จากรูปที่ 4.12 พบว่าสีของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนเปลี่ยนจากสีแดงอ่อนเป็นสีน้ำเงินเทา เมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากสเปกตรัมและกราฟมาตรฐานพบว่า ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลแปรผกผันกับค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน

โดยค่าความเป็นเส้นตรงประเมินได้จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจของกราฟมาตรฐาน ซึ่งกราฟมาตรฐาน มีสมการเส้นตรง คือ  $y = -0.072x + 1.3237$  และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจเท่ากับ 0.9831 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดล้นใจนี้ ยังไม่อยู่ในช่วงที่ยอมรับ ดังนั้นควรทำการศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์หรือปรับช่วงความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ใช้วิเคราะห์ที่เหมาะสม

#### 4.4.2 ผลของการศึกษาความเที่ยง (Accuracy)

ประเมินความเที่ยงจากค่า %RSD ทำการทดลองซ้ำ จำนวน 4 ซ้ำ ที่ความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ ของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล นำค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่บันทึกไว้ไปคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำไปคำนวณค่า %RSD ดังตัวอย่าง

คำนวณค่า SD ที่ความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร SD} &= \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(1.297-1.297)^2+(1.279-1.297)^2+(1.311-1.297)^2+(1.300-1.297)^2}{4-1}} \end{aligned}$$

4-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 0.0133$$

นำค่า SD ที่คำนวณได้จากสูตรข้างต้น แทนค่าในสูตรการหา %RSD ดังตัวอย่าง

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร \%RSD} &= \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 = \frac{0.0133}{1.297} \times 100 \\ &= 1.02 \end{aligned}$$

วิธีการคำนวณ %RSD ที่ความเข้มข้น 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ สามารถทำได้ตามวิธีที่แสดงข้างต้น โดยค่า %RSD ของความเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์ แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลเฉลี่ยของค่าการการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่า %RSD ที่ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0, 1.0, 2.5, 5.0, 7.5 และ 10.0 มิลลิโมลาร์

ความเข้มข้น ของสารละลาย มาตรฐานไมนอก ซิดิล (mM)	ค่าเฉลี่ยของ ค่าการดูดกลืนแสง	ค่าส่วนเบี่ยงเบน มาตรฐาน	% RSD
0	1.297	0.0133	1.02
1.0	1.237	0.0267	2.52
2.5	1.188	0.0241	2.03
5.0	0.953	0.0306	3.21
7.5	0.830	0.0154	1.85
10.0	0.563	0.0197	3.49

ความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์ไมนอกซิดิลด้วยอนุภาคทองระดับนาโน สามารถพิจารณาจากค่า %RSD และจากตารางที่ 4.3 พบว่า วิธีการวิเคราะห์นี้มีค่า %RSD อยู่ระหว่าง 1.02% - 3.49%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงว่า วิธีการตรวจวัดนี้สามารถแสดงค่าเดิมเมื่อทำการวัดหลายๆ ครั้ง ในสภาวะการตรวจวัดแบบเดิม นั่นคือวิธีการตรวจวัดนี้มีค่าความเที่ยงในระดับดี

#### 4.4.3 ผลของศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD)

จากสภาวะที่เหมาะสม ทำการทดลองวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายแบลงค์ ซึ่งมีการทำซ้ำ 4 ซ้ำ บันทึกค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่บันทึกได้ มาคำนวณค่า SD และค่า LOD ด้วยวิธีคำนวณดังต่อไปนี้

คำนวณค่า SD ที่ความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร SD} &= \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \\ &= \sqrt{\frac{(1.297-1.297)^2+(1.279-1.297)^2+(1.311-1.297)^2+(1.300-1.297)^2}{4-1}} \\ &= 0.0133 \end{aligned}$$

นำค่า SD ที่คำนวณได้จากสูตรข้างต้น แทนค่าในสูตรการหา LOD ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสูตร LOD} &= \frac{3 \times \text{SD}}{\text{Slope}} \\ &= \frac{(1.297-0.0399) - 1.3237}{-0.072} \\ &= 0.9 \end{aligned}$$

จากวิธีการคำนวณข้างต้น พบว่า วิธีการตรวจวัดนี้มีค่า LOD เท่ากับ 0.9 มิลลิโมลาร์ ซึ่งแสดงว่า วิธีวิเคราะห์นี้ยังไม่สามารถตรวจวัดสารละลายมาตรฐานไมนอกซีดิลที่มีความเข้มข้นต่ำๆ ได้ ดังนั้นควรทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดเพิ่มเติม และทำการทดลองซ้ำมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในโครงการงานพิเศษนี้ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไมนอกซิดิลในยาปลูกผม โดยอาศัยการเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโน ด้วยการสังเกตสีที่เปลี่ยนไป (Colorimetric method) ทำการตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่ 2 นาที หลังการจากผสม พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลแปรผกผันกับค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ที่ความยาวคลื่น 525 นาโนเมตร นอกจากนี้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิดิล ได้แก่ วิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนต่อการตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิดิล ความเข้มข้นของเมทานอลที่ใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล ปริมาตรของระดับนาโนที่ใช้ในการทำอันตรกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำอันตรกิริยา และค่า pH ของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล

เริ่มจากการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้สารละลายโซเดียมซิเตรทปริมาตร 7 มิลลิลิตร เป็นตัวรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพ ได้สารละลายสีแดงอมส้ม ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร พบค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนสูงสุดที่ 525 นาโนเมตร

สภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิดิล ทำการตรวจวัดโดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ที่สังเคราะห์โดยใช้สารละลายโซเดียมซิเตรทปริมาตร 7 มิลลิลิตร ทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ที่เตรียมโดยใช้เมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร เวลาที่ใช้ในการตรวจวัด คือ 2 นาทีหลังจากการผสม โดยในส่วนของ การปรับ pH พบว่าเมื่อทำการปรับ pH ของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลไม่มีผลต่อการตรวจวัด

จากการประเมินคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ไมนอกซิดิลที่พัฒนาขึ้น พบกราฟมาตรฐานของวิธีวิเคราะห์มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจ เท่ากับ 0.9844 และเมื่อทำการทดลองซ้ำ 4 ซ้ำได้ค่าความเที่ยง (%RSD) ต่ำกว่า 4% นอกจากนี้ ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.9 มิลลิโมลาร์ ซึ่งถือว่าวิธีวิเคราะห์นี้ มีความเที่ยงอยู่ในระดับดี แต่มีขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ และค่าสัมประสิทธิ์

การตัดสินใจ ยังไม่อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จึงควรทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์เพิ่มเติม

## 5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. ในการทดลองใช้สารมาตรฐานไมนอกซิติลเป็น ยาปลูกผมยี่ห้อ Reten five ที่มีความเข้มข้นของไมนอกซิติล 5 %w/v จึงควรทำการทดลองโดยใช้สารมาตรฐานไมนอกซิติลเป็นลำดับต่อไป

2. การสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโนควรทำการศึกษาและควบคุมอุณหภูมิขณะทำการสังเคราะห์ และควรสังเคราะห์ครั้งละมากๆ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของการทดลอง ที่เกิดจากการสังเคราะห์ห้องในแต่ละครั้ง

3. ควรศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีวิเคราะห์นี้เพิ่มเติม เพื่อให้ได้ความเที่ยงและขีดจำกัดการตรวจวิเคราะห์ที่ดีกว่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Zarghi, A. Shafaati, S.M. Foroutan and A. Khoddam. 2004. "Rapid determination of minoxidil in human plasma using ion-pair HPLC." *Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 36 (2004) : 377- 379.
- [2] Tiehua Huang, Michelle E Garceau and Tore Randall G. Stehle. 2005. "Rapid determination of trace amounts of minoxidil in hamster skin follicles with various formulations using narrow-bore LC/EC." *Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 38 (2005) : 532-536.
- [3] A. Ruiz-Medina, M.L. Ferná ndez-de Co ´rdova and A. Molina-Dí az. 1998. "Integrated flow injection-solid phase spectrophotometric determination of minoxidil." *Talanta*. 50 (1999) : 277-282.
- [4] Gavin Gibson, Tore Ramstad, Kent A. Mills and Michael J. Dunn. 2005. "A method for the determination of minoxidil in hair-regrowth formulations by micellar electrokinetic capillary chromatography." *// Farmaco*. 60 (2005) : 847-853.
- [5] อภิวัฒน์ ชมภูสอ. 2013. โครงสร้างระดับนาโนของทอง: การสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง. (รายงานผลการวิจัย). ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [6] J. Turkevich, P. C. Stevenson and J. Hillier. 1953 . "The Formation of Colloidal Gold." *Physical Chemistry*. 57(7) : pp. 670-673.
- [7] G. Frens. 1973. "Controlled Nucleation for the Regulation of the Particle Size in Monodisperse Gold Suspension," *Nature Physics*. 241(1) : 20-22
- [8] N. Karimian, M.B. Gholivand and F. Taherkhani. 2005. "Computational design and development of a novel voltammetric sensor for minoxidil detection based on electropolymerized molecularly imprinted polymer." *Electroanalytical Chemistry*. 740 (2015) : 45-52.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [9] Mojtaba Shamsipur, Afshin Pashabadi, Avat (Arman) Taherpour, Bahram Hemmateenejad and Tahereh Khosousi c, Mohammad Hadi Parvind. 2006. "Synthesis and characterization of glucose-capped CdSe quantum dots. Electrochemical and computational studies of corresponding carbon-ionic liquid electrode for quantitative determination of minoxidil." *Electroanalytical Chemistry*. 778 (2016) : 116-125.
- [10] Rahul Yadav, Piyush N. Patel and V. N. Lad. 2017. "Detection of vasodilator drugs through microwave spectroscopy of Au NP colorimetric probes using a microwave metallic photonic crystal-inspired resonant probe." *RSC Advances*. : 30784-30791
- [11] Jingyue Xu, Ying Li, Jiajia Guo, Fei Shen, Yeli Luo and Chunyan Sun. (2014). "Fluorescent detection of clenbuterol using fluorophore functionalized gold nanoparticles based on fluorescence resonance energy transfer." *Food Control*. 46 (2014) : 67-74.
- [12] Xianyi Cao, Fei Shen, Minwei Zhang, Jiajia Gou, Yeli Luo, Jingyue Xu, Ying Li and Chunyan Sun. 2014. "Highly sensitive detection of melamine based on fluorescence resonance energy transfer between rhodamine B and gold nanoparticles." *Dyes and Pigments*. 111 (2014) : 99-107.
- [13] Fang Chai, Chungang Wang , Tingting Wang, Zhanfang Ma and Zhongmin Su. 2009. "L-cysteine functionalized gold nanoparticles for the colorimetric detection of Hg<sup>2+</sup> induced by ultraviolet light." *Nanotechnology*. 21 (2010).

# ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

## ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคของระดับนาโนของการศึกษา สภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไมนอกซิล

ตาราง ก-1 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคของระดับนาโน ของการศึกษาวิธีการสังเคราะห์อนุภาค  
ของระดับนาโนต่อการตรวจวัดไมนอกซิล

Concentration of Minoxidil (mM)	Synthesis by citrate	Synthesis by Citrate
	7 mL	10 mL
0	1.135	1.384
1.0	1.109	1.309
2.5	1.075	1.294
5.0	0.8	1.205
7.5	0.545	0.948
10.0	0.41	0.932

ตาราง ก-2 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคของระดับนาโน ของการศึกษาความเข้มข้นเมทานอลที่ใช้  
ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิล

Concentration of Minoxidil (mM)	MeOH 10%	MeOH 20%	MeOH 30%	MeOH 40%
0	1.186	1.205	1.175	1.194
1.0	1.14	1.118	1.109	1.092
2.5	1.07	1.069	1.075	1.031
5.0	0.862	0.873	0.8	0.938
7.5	0.67	0.784	0.545	0.84
10.0	0.716	0.556	0.41	0.389

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-3 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ของการศึกษาปริมาตรอนุภาคทองระดับนาโนที่เหมาะสมต่อการตรวจวัดไมนอกซิดิล

Concentration of Minoxidil (mM)	GNPs 0.25 mL	GNPs 0.50 mL	GNPs 1.0 mL	GNPs 1.5 mL	GNPs 2.0 mL
0	0.339	0.677	1.018	1.205	1.352
1.0	0.32	0.61	0.934	1.118	1.282
2.5	0.314	0.58	0.821	1.069	1.252
5.0	0.298	0.52	0.732	0.873	1.069
7.5	0.323	0.516	0.64	0.784	0.54
10.0	0.25	0.51	0.636	0.556	0.491

ตาราง ก-4 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ของการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัดไมนอกซิดิล

Concentration of Minoxidil (mM)	Time 1.30 min	Time 2.0 min	Time 3.0 min	Time 4.0 min
0	1.217	1.135	1.201	1.218
1.0	1.134	1.109	1.123	1.122
2.5	1.069	1.075	1.117	1.077
5.0	0.98	0.8	0.909	0.81
7.5	0.751	0.545	0.781	0.784
10.0	0.439	0.41	0.534	0.489

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-5 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโน ของการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไมนอกซิล

Concentration of Minoxidil (mM)	0.2 M Acetate buffer pH 3.6	0.2M Acetate buffer pH 5.0	0.2M Phosphate buffer pH 3.6	0.2M Phosphate buffer pH 7.2
0	1.23	1.023	0.827	0.747
1.0	0.904	0.775	0.476	0.734
2.5	0.755	0.337	0.42	0.796
5.0	0.465	0.293	0.347	0.571
7.5	0.452	0.413	0.326	0.511
10.0	0.435	0.508	0.757	0.703

Concentration of Minoxidil (mM)	0.1M Acetate buffer pH 3.6	0.1M Acetate buffer pH 5.0	0.1M Phosphate buffer pH 3.6	0.1M Phosphate buffer pH 7.2
0	1.284	1.15	1.038	0.851
1.0	0.973	0.895	0.795	0.951
2.5	0.447	0.896	0.717	0.848
5.0	0.366	0.504	0.428	0.935
7.5	0.418	0.353	0.412	0.83
10.0	0.427	0.431	0.411	0.904

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-6 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคของระดับนาโนของการทำการทดลองซ้ำ

Concentration of Minoxidil (mM)	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	AVE
0	1.297	1.279	1.311	1.300	1.29675
1.0	1.238	1.200	1.261	1.251	1.23750
2.5	1.212	1.172	1.205	1.163	1.18800
5.0	0.984	0.936	0.973	0.919	0.95300
7.5	0.84	0.813	0.846	0.822	0.83025
10.0	0.5889	0.552	0.570	0.545	0.56398



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 15 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า นางสาวชมพูนุช ดวงดีวงศ์ รหัสประจำตัว 57050395  
นางสาวนุสมล พรหมคงแก้ว รหัสประจำตัว 57050444  
นางสาวอักษรา ผดุงศิลป์ รหัสประจำตัว 57050558

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี ขอรับรองว่าโครงการพิเศษเรื่อง

ชื่อภาษาไทย การตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิติลโดยใช้อนุภาคทองคำระดับนาโนเป็นเซนเซอร์

ชื่อภาษาอังกฤษ DETERMINATION OF MINOXIDIL BASE ON GOLD NANOPARTICLES

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักษรวิสุทธิ 0.00 %

ลงชื่อ ชมพูนุช ดวงดีวงศ์ ลงชื่อ นุสมล พรหมคงแก้ว ลงชื่อ อักษรา ผดุงศิลป์  
(นางสาวชมพูนุช ดวงดีวงศ์) (นางสาวนุสมล พรหมคงแก้ว) (นางสาวอักษรา ผดุงศิลป์)  
นักศึกษา นักศึกษา นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร. เสาวภาคย์ วีราทรง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ bas

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้