การตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิดิลโดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นเซนเซอร์

DETERMINATION OF MINOXIDIL BASED ON SILVER NANOPARTICLES

ยลรดี ปานทองคำ
วิลาวัลย์ ศรีวารี

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETERMINATION OF MINOXIDIL BASED ON SILVER NANOPARTICLES

Yonradee Panthongkum
Wilawan Seevaree

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 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิดิลโดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นเซนเซอร์ Determination of Minoxidil Based on Silver Nanoparticles
ชื่อนักศึกษา	นางสาวยลรดี ปานทองคำ รหัส 58050534 นางสาววิลาวัลย์ ศรีวารี รหัส 58050544
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2561
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. เสาวภาคย์ ธีราทรง

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการคุมสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น กรรมการ	
ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิดิลโดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นเซนเซอร์
ชื่อนักศึกษา นางสาวยลรดี ปานทองคำ รหัส 58050534
นางสาววิลาวัลย์ ศรีวารี รหัส 58050544
ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
คณะ วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา 2561
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. เสาวภาคย์ ธีราทรง

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ พัฒนาวิธีตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิดิล โดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัด เริ่มจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีการรีดักชั่นทางเคมี ซึ่งบนพื้นผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะถูกรักษาเสถียรภาพด้วยโซเดียมซิเตรท การเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ของไมนอกซิดิลและหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) ที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกัน ทำให้ไมนอกซิดิลเกิดการเหนี่ยวนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ให้เกิดการรวมตัวกันส่งผลให้ค่าความเข้มการกระเจิงแสงเปลี่ยนแปลงไป โดยติดตามค่าความเข้มการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไมนอกซิดิลจะส่งผลให้ค่าความเข้มการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลดลง มีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกัน โดยกราฟมาตรฐานมีช่วงความเป็นเส้นตรงตั้งแต่ 1-5 มิลลิโมลาร์ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.994 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) น้อยกว่า 1% และขีดจำกัดต่ำสุด (LOD) ของการวิเคราะห์เท่ากับ 0.58 มิลลิโมลาร์ วิธีนี้สามารถวิเคราะห์ได้ภายใน 2 นาที ซึ่งวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีข้อดีในแง่ของการวิเคราะห์ที่ง่ายและสะดวกรวดเร็ว

คำสำคัญ : ไมนอกซิดิล, อนุภาคนาโนซิลเวอร์, การรวมตัว, การกระเจิงแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Determination of Minoxidil Based on Silver Nanoparticles
Students	Miss Yonradee Panthongkum Student ID 58050534
	Miss Wilawan Seevaree Student ID 58050544
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2018
Advisor	Asst. Prof. Dr. Saowapak Teerasong

Abstract

In this work, silver nanoparticles (AgNPs) based sensor for determination of minoxidil was developed. The AgNPs were synthesized by chemical reduction method. The AgNPs surface was stabilized with citrate. The interaction occurred between amino group of minoxidil and hydroxyl group on AgNPs surface through hydrogen bond. Minoxidil induced AgNPs to aggregate, leading a change in scattering intensity. Scattering intensity was observed by spectrofluorometer at wavelength of 409 nm. When concentration of minoxidil increased, the scattering intensity of AgNPs decreased. The calibration curve was linear in range of 1-5 mM, with determination coefficient (r^2) of 0.994. A relative standard deviation (%RSD) was less than 1%. The limit of detection was calculated to be 0.58 mM. The analysis could be completed by 2 minutes. The proposed method provides advantages in term of simple and rapidly analysis.

Keywords : Minoxidil, Silver nanoparticles, Aggregation, Scattering

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาจากหลายฝ่ายที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษเป็นอย่างสูงที่คอยให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ ในการศึกษาและจัดทำเอกสารการดำเนินงานโครงงานพิเศษตลอดจนการตรวจทานข้อบกพร่อง การแก้ไขปรับปรุง และคอยดูแลเอาใจใส่เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น และ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ เป็นอย่างสูงที่เสียสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบ ให้คำปรึกษา คำแนะนำและเสนอแนะแนวทางในการแก้ปัญหาต่างๆ จนโครงงานพิเศษเล่มนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณชมพูนุช ดวงดีวงศ์ และนักศึกษาปริญญาโท ปริญญาเอกทุกท่านในหน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำปรึกษา จนโครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และหน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ ที่คอยอำนวยความสะดวก เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์สารเคมี ที่ใช้ในการทำโครงงานพิเศษเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ที่คอยให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจจนโครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

หากผิดพลาดประการใด ขออภัยมา ณ ที่นี้

ยลรดี ปานทองคำ

วิลาวัลย์ ศรีวารี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ช
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ 2
1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ไมนอกซิดิล 4
2.2 อนุภาคนาโนซิลเวอร์ 6
2.2.1 สมบัติทางแสงของอนุภาค 7
2.2.1.1 สมบัติเซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) 7
2.2.1.2 สมบัติการกระเจิงแสง (Light scattering) 8
2.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ 8
2.2.2.1 วิธีการยิงด้วยเลเซอร์ (Laser ablation) 9
2.2.2.2 วิธีการใช้ไมโครเวฟ (Microwave) 9
2.2.2.3 วิธีรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction) 9
2.2.2.4 วิธีการเชิงแสงทางเคมี (Photochemical synthesis) 10
2.2.2.5 วิธีทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical method) 10
2.3 การตรวจวัดไมนอกซิดิลด้วยเทคนิควิเคราะห์ต่างๆ 10
2.3.1 เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี (UV-Visible spectroscopy) 10
2.3.2 เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatogramphy, HPLC) 11
2.3.3 เทคนิคการไหล (Flow-based techniques) 12
2.3.4 เทคนิคคาปิลลารี อิเล็กโตรโฟเรซิส (Capillary Electrophoresis, CE) 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.5 เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemistry) 13
2.4 การใช้อนุภาคนาโนในการตรวจวัดไมนอกซิดิล 15
2.5 ในงานวิจัยนี้ 16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงานพิเศษ 17
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ 17
3.1.1 สารเคมี 17
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องตรวจวัด 17
3.2 การเตรียมสารละลาย 18
3.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล 18
3.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ 18
3.2.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตรทบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.025 โมลาร์ pH 3.6 19
3.3 วิธีดำเนินการ 19
3.3.1 ศึกษาคุณลักษณะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้ 19
3.3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ในการตรวจวัดไมนอกซิดิล 20
3.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ไมนอกซิดิลด้วย อนุภาคนาโนซิลเวอร์ 20
3.3.3.1 ศึกษาความเข้มข้นเมทานอลที่ใช้ในการเตรียมไมนอกซิดิล 20
3.3.3.2 ศึกษา pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด 21
3.3.3.3 ศึกษาความเข้มข้นของ pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด 21
3.3.3.4 ศึกษาปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ใน การทำอันตรกิริยากับไมนอกซิดิล 22
3.3.3.5 ศึกษาเวลาในการทำอันตรกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัด ... 23
3.3.4 ศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ 23
3.3.4.1 ศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity) 23
3.3.4.2 ศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) 24
3.3.4.3 ศึกษาความเที่ยง (Precision) 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.5 การวิเคราะห์หาปริมาณไมนอกซิดิลในตัวอย่างยาปลูกผม 25
3.3.5.1 การเตรียมสารตัวอย่าง 25
3.3.5.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ 26
3.3.5.3 การศึกษาความแม่น (Accuracy) 26
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 29
4.1 คุณลักษณะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้ 29
4.2 ความเป็นไปได้ในการใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการตรวจวัดไมนอกซิดิล 31
4.3 ผลของสภาวะต่างๆที่มีผลต่อการตรวจวัดไมนอกซิดิล 33
4.3.1 ผลความเข้มข้นของเมทานอลที่ใช้ในการเตรียมไมนอกซิดิล 33
4.3.2 ผลของ pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด 34
4.3.3 ผลของความเข้มข้นของ pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด 35
4.3.4 ผลของปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ใช้
ทำอันตรกิริยากับไมนอกซิดิล 36
4.3.5 ผลของเวลาในการทำอันตรกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัด 38
4.4 คุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ไมนอกซิดิลที่พัฒนาขึ้น 38
4.4.1 ความเป็นเส้นตรง (Linearity) 38
4.4.2 ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) 40
4.4.3 ความเที่ยง (Precision) 41
4.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไมนอกซิดิลในตัวอย่างยาปลูกผม 42
4.5.1 ความแม่นของวิธีวิเคราะห์ 44
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 47
เอกสารอ้างอิง 49
ภาคผนวก 52
ภาคผนวก ก 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
AgNPs	Silver nanoparticles
AGA	Androgenetic alopecia
DHT	Dihydrotestosterone
SPR	Surface plasmon resonance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงานพิเศษ

ไมนอกซิดิล (minoxidil) เป็นยารับประทานสำหรับรักษาโรคความดันโลหิตสูงออกฤทธิ์โดยการทำให้หลอดเลือดแดงขยายตัว ผลข้างเคียงที่พบในผู้ที่รับประทานยาไมนอกซิดิลคือ มีการงอกของขนหรือผมเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ยาไมนอกซิดิลได้ถูกพัฒนานำมาใช้เป็นยารักษาโรคผมร่วงในภายหลัง โดยถูกนำมาเป็นส่วนผสมในยาปลูกผมชนิดน้ำแบบทาภายนอก

องค์การอาหารและยาแห่งสหรัฐอเมริกาได้อนุญาตให้ยาปลูกผมชนิดน้ำแบบทาภายนอกมีความเข้มข้นของไมนอกซิดิลที่ 2% สำหรับใช้ในผู้หญิงและ 5% สำหรับใช้ในผู้ชาย [1] โดยพบว่าหากใช้ยาปลูกผมที่มีปริมาณไมนอกซิดิลความเข้มข้นสูงในระดับ 6-15% แม้ว่าจะให้ผลในการรักษาดีกว่า แต่อาจส่งผลข้างเคียงที่มากขึ้นเช่นกัน [2] ได้แก่การเกิดผื่นแดง คันบริเวณหนังศีรษะ ผิวบริเวณหนังศีรษะมีลักษณะเป็นขุย หรือส่งผลต่อหัวใจเนื่องอาจมีการดูดซึมของยาเข้าสู่ร่างกายมากเกินไป ผู้ป่วยที่เป็นโรคหัวใจจึงต้องใช้ยาอย่างระมัดระวัง ดังนั้นการควบคุมคุณภาพยาปลูกผมชนิดน้ำแบบทาภายนอกที่มีไมนอกซิดิลเป็นส่วนผสมจึงมีความสำคัญ รวมถึงควรอยู่ในการควบคุมของแพทย์หรือภายใต้คำแนะนำของเภสัชกร

ปัจจุบันมีวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณไมนอกซิดิลหลากหลายวิธี ได้แก่ ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโคปี [8] โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง [9,10,11] แคปปิลลารีอิเล็กโทรโฟรีซิส [12,13] และไฟฟ้าเคมี [14,15] แม้ว่าวิธีดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการหาปริมาณไมนอกซิดิลได้อย่างน่าเชื่อถือและมีความไวในการวิเคราะห์ที่ดี แต่มีข้อเสียคือใช้สารในปริมาณมาก ใช้เวลานานในการวิเคราะห์ มีการเตรียมตัวอย่างและการดำเนินการวิเคราะห์ที่ซับซ้อน หรือต้องนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์จึงทำให้เกิดความยุ่งยากในการวิเคราะห์

นาโนเทคโนโลยีเป็นหนึ่งในศาสตร์ที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ปัจจุบันจึงได้มีการนำอนุภาคระดับนาโนมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายทั้งทางด้านวัสดุศาสตร์ เทคโนโลยีชีวภาพ และทางการแพทย์ เนื่องจากอนุภาคระดับนาโนมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะ คือสมบัติทางแสงที่เรียกว่า เซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance, SPR) จึงได้มีการนำอนุภาคระดับนาโนมาประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์สีในการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารต่างๆ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย และรวดเร็ว

เมื่อเร็วๆนี้ R. Yadav และคณะ [16,17] ได้พัฒนาเครื่องมือสำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณไมนอกซิดิลในตัวอย่างยาและตัวอย่างปัสสาวะ โดยใช้อนุภาคนาโนทองเป็นเซนเซอร์และตรวจวัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟสเปกโทรสโกปี (Microwave spectroscopy) ซึ่งวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความถี่สั่นพ้องของคลื่นไมโครเวฟ เมื่อเติมไมนอกซิดิลที่มีความเข้มข้นต่างๆ ลงไปในสารละลายอนุภาคนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทอง เนื่องจากไมนอกซิดิลจะเหนี่ยวนำให้อนุภาคนาโนทองเกิดการรวมตัวกัน โดยหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ของไมนอกซิดิลสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคนาโนทอง เมื่อทำการเติมไมนอกซิดิลลงไปในสารละลายอนุภาคนาโนทองและปล่อยให้เกิดปฏิกิริยา 5 นาที จากนั้นจุ่ม Metallic Photonic Bandgap-Inspired Probe ลงไปในสารละลายเพื่อใช้ตรวจวัดความถี่สั่นพ้องของคลื่นไมโครเวฟ ผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของไมนอกซิดิลลดลง สเปคตรัมความถี่สั่นพ้องที่วัดได้จะเลื่อนตำแหน่งไปทางความถี่ที่สูงขึ้น

โครงงานพิเศษนี้ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณไมนอกซิดิลในยาปลูกผม โดยศึกษาอันตรกิริยาระหว่างไมนอกซิดิลกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Silver nanoparticles, AgNPs) และตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติการกระเจิงแสงของอนุภาคเมื่อเกิดการรวมตัวกับไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้เครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ในการตรวจวัดค่าความเข้มแสง (Intensity) โดยค่าการกระเจิงแสงจะแปรผกผันกับความเข้มข้นของไมนอกซิดิล วิธีที่พัฒนาขึ้นเป็นวิธีที่ทำได้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และมีความน่าเชื่อถือ สามารถประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไมนอกซิดิลในตัวอย่างยาปลูกผมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1) พัฒนาวิธีการหาปริมาณไมนอกซิดิลโดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นตัวตรวจวัด
2) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของวิธีวิเคราะห์
3) เพื่อศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้น
4) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการหาปริมาณไมนอกซิดิลในยาปลูกผม

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1) สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์
2) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการตรวจวัดไมนอกซิดิล
3) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ไมนอกซิดิลด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์
    3.1) ศึกษาความเข้มข้นเมทานอลที่ใช้ในการเตรียมไมนอกซิดิล
    3.2) ผลของ pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด
    3.3) ศึกษาความเข้มข้นของ pH ที่เหมาะสมในการตรวจวัด
    3.4) ศึกษาปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ในการทำอันตรกิริยากับไมนอกซิดิล
    3.5) ศึกษาเวลาในการทำอันตรกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัด
4) ศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์
5) นำวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการปริมาณไมนอกซิดิลในตัวอย่างยาปลูกผม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีการหาปริมาณไมนอกซิดิลโดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นตัวตรวจวัดได้ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว สามารถนำเอาวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดไมนอกซิดิลในตัวอย่างยาปลูกผมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไมนอกซิดิล (Minoxidil)

ไมนอกซิดิล (2,4-Diamino-6-piperidinopyrimidine-3-oxide) มีสูตรโมเลกุลคือ $C_9H_{15}N_5O$ และมีมวลโมเลกุลเท่ากับ 209.25 g/mol โครงสร้างทางเคมีแสดงดังรูปที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพเป็นผงผลึกสีขาว มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 248 องศาเซลเซียส มีค่า pKa เท่ากับ 4.61 สามารถละลายได้ดีในแอลกอฮอล์และโพรพิลีนไกลคอล ละลายได้เล็กน้อยในน้ำ และไม่ละลายในอะซิโตน คลอโรฟอร์ม และเอทิลอะซิเตท วิธีการเก็บรักษาควรเก็บไมนอกซิดิลไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียสและเก็บในขวดสีชา

รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของไมนอกซิดิล

ไมนอกซิดิลใช้เป็นยารักษาผู้ป่วยโรคความดันโลหิตสูง โดยทางการแพทย์จะใช้ในรูปของยารับประทานชนิดเม็ด เป็นยาที่มีประสิทธิภาพสูงออกฤทธิ์ทำให้หลอดเลือดแดง (Arteriolar vasodilator) ขยายตัว ช่วยลดความดันโลหิตสูงให้กลับมาดีขึ้นหรือเป็นปกติดังเดิม โดยความดันโลหิตจะลดลงมากที่สุดในช่วง 2-6 ชั่วโมงหลังจากที่ได้รับยา ผู้ป่วยที่มีอาการความดันโลหิตสูง ที่รักษาด้วยยาชนิดอื่นไม่ได้ผล จะมีการนำยาไมนอกซิดิลมาใช้ในการรักษาด้วยขนาดยาโดยประมาณ 2.5-80 มิลลิกรัมต่อวัน รับประทานวันละ 1-2 ครั้ง หลังจากใช้ยานี้กับผู้ป่วยระยะหนึ่งพบว่ามีอาการข้างเคียงที่สำคัญ 3 ประการคือ (1) มีการคั่งของน้ำและเกลือโซเดียม ทำให้เกิดอาการบวม (Peripheral edema) (2) มีผลต่อการทำงานของหัวใจ ทำให้หัวใจเต้นเร็ว (Reflex tachycardia) และ (3) ภาวะขนยาว (Hypertrichosis) โดยขนหรือเส้นผมจะเริ่มงอกใน 3-6 สัปดาห์หลังจากได้รับยา บริเวณที่ขนหรือเส้นผมจะเริ่มขึ้นคือ หน้าผาก ขมับ ขนตา ไรผม ลำตัว แขนขา หน้าอก และหนังศีรษะ เมื่อแพทย์พบว่าผลข้างเคียงของไมนอกซิดิลคือทำให้ผมสามารถงอกขึ้นได้ จึงมีการนำไมนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิดิลมาดัดแปลงใช้เป็นส่วนประกอบในยาสำหรับรักษาอาการผมร่วง ซึ่งในปัจจุบันได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก โดยยาไมนอกซิดิลนี้มีหลายรูปแบบเช่น ชนิดรับประทานและชนิดทาภายนอก ซึ่งความเข้มข้นของไมนอกซิดิลที่ใช้รักษาอาการผมร่วงจะอยู่ในช่วง 2 และ 5 % โดยน้ำหนัก

เส้นผมจะงอกมาจากเซลล์ที่เรียกว่า เดอร์มัล แปปิลลา (Dermal Papilla) ซึ่งเซลล์นี้จะเจริญไปเป็นเซลล์ต่อมผม (Hair Follicle) และทำการแบ่งตัวสร้างเส้นผม วงจรชีวิตของเส้นผมมีด้วยกัน 3 ระยะ

1. ระยะการเจริญเติบโตหรือระยะอานาเจน (Anagen Phase) ระยะนี้เส้นผมจะงอกงามเป็นอย่างดีมีระยะเวลาประมาณ 3-7 ปี (ในเด็ก) เมื่ออายุมากขึ้นระยะอานาเจนจะสั้นลง
2. ระยะพักหรือระยะคาทาเจน (Catagen Phase) เมื่อเส้นผมเจริญเติบโตเต็มที่แล้วจะเข้าสู่ระยะพักเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ประมาณ 2-3 สัปดาห์
3. ระยะหยุดการเจริญเติบโตหรือระยะเทโลเจน (Telogen Phase) เป็นระยะสุดท้ายโดยต่อมรากผมจะเลื่อนตัวขึ้นไป มีเส้นผมที่งอกใหม่ดันเส้นผมเก่าให้หลุดร่วงไป ระยะนี้ใช้เวลาประมาณ 3 เดือน

มีการนำไมนอกซิดิลมาใช้เป็นส่วนประกอบในยารักษาอาการผมร่วงอันมีสาเหตุมาจากกรรมพันธุ์ (Androgenetic alopecia, AGA) และฮอร์โมนเพศชายที่ชื่อฮอร์โมนแอนโดรเจน (Androgen) โดยเอนไซม์ 5α-reductase จะไปทำให้ฮอร์โมนชนิด Testosterone เกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นฮอร์โมนชนิด Dihydrotestosterone (DHT) ทำให้รากผมเล็กลงและฝ่อในที่สุด ซึ่งไมนอกซิดิลจะออกฤทธิ์โดยการยับยั้งเอนไซม์ 5α-reductase เป็นผลให้การเปลี่ยนฮอร์โมนชนิด Testoserone ไปเป็น DHT ลดลง ไมนอกซิดิลจะไปกระตุ้นต่อมรากผมที่อยู่ในระยะหยุดการเจริญเติบโตให้เข้าสู่ระยะเจริญเติบโตและเพิ่มการไหลเวียนโลหิตบริเวณเนื้อเยื่อ จึงนำพาสารอาหารต่างๆ มาหล่อเลี้ยงรากผมได้ดีขึ้น

สำหรับยาไมนอกซิดิลที่ใช้รักษาอาการผมร่วงมีด้วยกัน 2 สูตรคือ ความเข้มข้น 2% และ 5% โดยน้ำหนัก ถึงแม้ความเข้มข้น 5% โดยน้ำหนักจะให้ผลในการรักษาได้ดีกว่าความเข้มข้น 2% โดยน้ำหนักแต่มีโอกาสเกิดการระคายเคืองได้สูง ยาปลูกผมที่มีไมนอกซิดิลเป็นส่วนประกอบแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ ชนิดรับประทานและชนิดทาภายนอกโดยมีทั้งชนิดน้ำและโฟม

1. ชนิดรับประทาน

- มีประสิทธิภาพดีกว่ายาไมนอกซิดิลชนิดทาภายนอกเพราะแบบเม็ดตัวยาจะละลายและถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้เร็ว ยาออกฤทธิ์ได้ดีกว่า ทำให้เห็นผลเร็วกว่า

- รับประทานได้ง่ายสะดวก ไม่เลอะ ไม่เหนียว ต่างจากการใช้ไมนอกซิดิลชนิดน้ำแบบทาภายนอกที่อาจทำให้บริเวณที่โดนยา เหนียว เลอะ และเกิดอาการคันระคายเคืองจากส่วนผสมของแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ข้อเสียของยาชนิดรับประทานคือไม่สามารถกำหนดจุดที่จะให้เส้นผมหรือขนงอกขึ้นได้ ทำให้ผู้ที่ได้รับยาไมนอกซิดิลชนิดรับประทานมักจะมีขนขึ้นตามลำตัวด้วย

2. ชนิดทาภายนอก

2.1 ชนิดน้ำแบบทาภายนอก

- สามารถกำหนดจุดที่จะให้เส้นผมหรือขนขึ้นได้
- มีไมนอกซิดิลละลายอยู่ในส่วนผสมระหว่างน้ำ แอลกอฮอล์ และโพรพิลีนไกลคอล โดยโพรพิลีนไกลคอลยิ่งเข้มข้นมากก็สามารถละลายไมนอกซิดิลได้ดี อาจทำให้เกิดการระคายเคืองได้มาก

2.2 ชนิดโฟม

- เป็นยารูปแบบใหม่มีคุณสมบัติดีกว่าชนิดน้ำ
- ตัวโฟมจะลายที่อุณหภูมิห้องแล้วเหลือยาบนหนังศีรษะในปริมาณสูงที่จะซึมผ่านลงไปยังต่อมขนได้
- ยาจะอยู่เฉพาะที่ จึงสามารถกำหนดบริเวณจุดให้เส้นผมงอกขึ้นได้
- ข้อเสียของยาชนิดทาภายนอกคือ เห็นผลช้ากว่าชนิดรับประทาน (ปกติจะใช้เวลาประมาณ 4-6 เดือนเพื่อให้ผมใหม่เกิดขึ้น)

เนื่องจากการใช้ยาปลูกผมที่มีไมนอกซิดิลเป็นส่วนประกอบอาจมีผลข้างเคียงเช่น อาการระคายเคืองของผิวบริเวณที่สัมผัสกับยา ผิวแพ้แห้ง คัน หัวใจเต้นเร็ว หัวใจเต้นผิดจังหวะ อาการเจ็บหน้าอก อาการบวมน้ำ หายใจติดขัด ดังนั้นการใช้ยาปลูกผมที่มีไมนอกซิดิลเป็นส่วนประกอบจึงต้องอยู่ในการดูแลของแพทย์รวมทั้งต้องมีการควบคุมความเข้มข้นไมนอกซิดิลให้เป็นไปตามที่ระบุในฉลากเพื่อลดโอกาสการเกิดอาการระคายเคืองหรือไม่ได้ประสิทธิผลของการรักษา อันเนื่องจากการใช้ความเข้มข้นมากหรือน้อยเกินไป

2.2 อนุภาคนาโนซิลเวอร์

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีในโลกยุคปัจจุบันมีการเจริญเติบโตและพัฒนาไปอย่างมาก ทำให้มนุษย์ค้นพบเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์มากมาย หนึ่งในเทคโนโลยีที่นักวิทยาศาสตร์กำลังให้ความสนใจและมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งคือ นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) ในปัจจุบันมีเครื่องมืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ช่วยให้เราสามารถมองเห็นวัตถุที่มีโครงสร้างเล็กจิ๋วระดับนาโน (10^{-9}) ได้ การที่ขนาดของวัสดุมีขนาดเล็กลงส่งผลโดยตรงกับจำนวนอะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้าสัมผัสของวัสดุที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้วัสดุนาโนมีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวเช่น สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก และสมบัติทางแสงที่แตกต่างออกไปจากวัสดุที่มีขนาดใหญ่ (Bulk) ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้สามารถนำอนุภาคนาโนไปประยุกต์ใช้ประโยชน์กับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ ทำให้นาโนเทคโนโลยีมีการเติบโต เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจ และเป็นที่ต้องการของตลาดในปัจจุบัน

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) เป็นการสร้าง สังเคราะห์ วิเคราะห์ สิ่งต่างๆ ที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากในระดับนาโนเมตรอยู่ที่ประมาณ 1-100 นาโนเมตรเทียบเท่ากับอะตอมหรือโมเลกุล โดยมีการออกแบบหรือใช้เครื่องมือสร้างวัสดุในระดับที่เล็กมาก เป็นการเรียงโมเลกุลและอะตอมให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการทำให้โครงสร้างเหล่านั้นเกิดสสารที่มีความพิเศษขึ้นมา โดยนาโนเทคโนโลยีมี 3 ประเภทคือ นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ (Nanobiotechnology) นาโนอิเล็กทรอนิกส์ และวัสดุนาโน (Nanomaterial)

ปัจจุบันได้มีการพัฒนาและประยุกต์ใช้อนุภาคระดับนาโนอย่างแพร่หลาย เช่น เสื้อผ้านาโนไม่ยับ ไม่สกปรก สามารถดับกลิ่นอับและฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้โดยการผสมอนุภาคนาโนของไทเทเนียมไดออกไซด์เข้าไปยึดติดกับเส้นใยของเนื้อผ้า สารเคลือบกันน้ำนำมาใช้ในวัสดุก่อสร้างโดยเฉพาะวัสดุที่เป็นคอนกรีต อิฐบล๊อค หินปูน และปูนฉาบกำแพง เป็นต้น

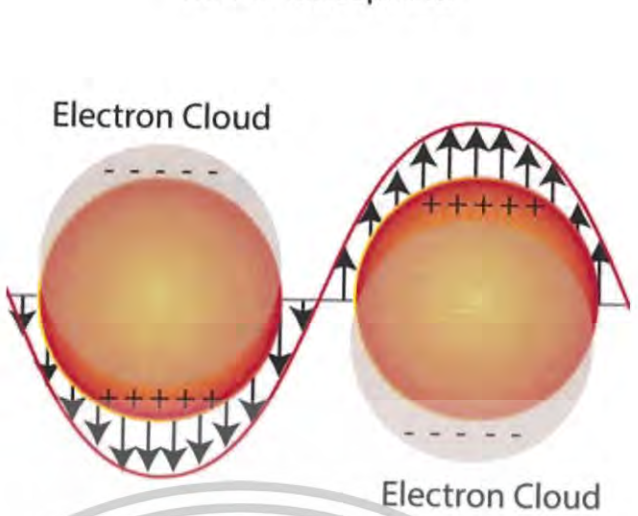
นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจในการศึกษาเกี่ยวกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เนื่องจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์ สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ ด้วยขนาดที่เล็กทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวสูงซึ่งสามารถสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียได้มากขึ้น นอกจากนี้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ยังมีสมบัติเด่นทางเคมี ดังนั้นการนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ มาประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณสารต่างๆ จึงเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก รวดเร็ว

2.2.1 สมบัติทางแสงของอนุภาค

2.2.1.1 สมบัติเซอร์เฟส พลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance, SPR)

เป็นสมบัติทางแสงของวัสดุนาโนและเป็นสมบัติเฉพาะตัวของโลหะ ซึ่งปรากฏการณ์เซอร์เฟส พลาสมอน เรโซแนนซ์ เกิดจากอันตรกิริยาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอิเล็กตรอนที่อยู่ในโลหะระดับนาโน เมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาตกกระทบโลหะ กลุ่มอิเล็กตรอนที่อยู่ในอนุภาคนาโนจะเกิดการสั่นพร้อมเพรียงกันที่บริเวณผิวรอยต่อของโลหะกับสารไดอิเล็กทริก (Dielectric) เช่น ระหว่างทองกับอากาศหรือสารละลาย ซึ่งอันตรกิริยาที่แสงตกกระทบกับอนุภาคโลหะจะเกิดได้ 2 แบบคือ แสงตกกระทบแล้วสะท้อนออกไปด้วยพลังงานความยาวคลื่นเดิมทุกทิศทางเรียก การกระเจิงแสง (Scattering) กับมีบางโฟตอนจะถูกดูดกลืนและเปลี่ยนไปเป็นพลังงานการสั่นเรียกว่า การดูดกลืนแสง (Absorption) โดยคุณสมบัติเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคนาโน เช่น อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ทรงกลมที่มีขนาด 5-40 นาโนเมตรจะมีสีเหลือง มีแถบการกระเจิงแสงเซอร์เฟส พลาสมอน เรโซแนนซ์ ในช่วงความยาวคลื่น 390-420 นาโนเมตร ในขณะที่โลหะเงินขนาดใหญ่ จะมีสีเงินวาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 การเกิดเซอร์เฟส พลาสมอน เรโซแนนซ์ โดยแสดงการสั่นของกลุ่มอิเล็กตรอนในแถบเหนี่ยวนำเมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากภายนอกมาส่องผ่าน
(ที่มา : http://www.scijournal.kku.ac.th)

2.2.1.2 สมบัติการกระเจิงแสง (Scattering)

การกระเจิงแสงเกิดจากการเปลี่ยนทิศทางการแผ่ของแสง เมื่อแสงเดินทางเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นสารไม่ใช่เนื้อเดียวกัน และจะไม่เกิดการกระเจิงแสงในตัวกลางที่เป็นสารเนื้อเดียวกัน เนื่องจากมีดัชนีหักเหเท่ากันตลอดทุกส่วนของสาร การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของสารหรืออนุภาคเล็กๆ ที่กระจายแบบสุ่มอยู่ในตัวกลางที่เป็นสารอิมัลชั่นหรือสารคอลลอยด์ที่แสงเคลื่อนที่ผ่าน

การกระเจิงแสงแบบเรเลย์ (Rayleigh scattering) เนื่องจากอนุภาคมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสง เมื่อโมเลกุลได้รับพลังงานจากแสงตกกระทบ ทำให้อะตอมเกิดการเปลี่ยนระดับพลังงาน แต่ไม่มีการสูญเสียพลังงานจึงคายแสงปล่อยออกมาที่ความยาวคลื่นเท่ากับความยาวคลื่นที่แสงตกกระทบ

การกระเจิงแบบรามาน (Raman scattering) เนื่องจากโมเลกุลของสารละลายได้รับพลังงานจากแสงตกกระทบ แต่มีการสูญเสียพลังงานขณะอะตอมกลับสู่สถานะพื้น จึงปล่อยแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าแสงที่ตกกระทบเล็กน้อย

2.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้ง่ายจะเป็นอนุภาคที่มีรูปร่างทรงกลม ในการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนโดยใช้สารเคมี จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ สารเคมีที่เป็น

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) เช่น โบโรไฮไดรด์ น้ำตาล กรดแอสคอบิก เป็นต้น และสารรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing agent) เช่น ไตรโซเดียมซิเตรท กรดแทนนิก ไคโตซาน เป็นต้น ซึ่งการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยสารเคมีมีด้วยกันหลายวิธีดังนี้

2.2.2.1 วิธีการยิงด้วยเลเซอร์ (Laser ablation) [3]

วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยวิธีการยิงด้วยเลเซอร์จะใช้แผ่นซิลเวอร์ (Silver Plate) เป็นแหล่งของซิลเวอร์ และใช้เจลาตินเป็นสารช่วยเสถียรในการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยแผ่นซิลเวอร์จะถูกวางอยู่ในเซลล์กระจก (Glass Cell) ที่มีสารละลายเจลาติน เข้มข้น 1 % โดยน้ำหนัก ปริมาตร 20 มิลลิลิตร แสงของเลเซอร์จะถูกยิงไปบนพื้นผิวของแผ่นเงินโดยใช้เลนส์ควอตซ์ที่มีค่ารูรับแสง (f) เท่ากับ 25 เซนติเมตร ซึ่งการยิงลำแสงจะใช้แสงเลเซอร์ที่ความยาวคลื่น 523 นาโนเมตร ของเลเซอร์เอ็นดีแยกแบบคิวสวิตช์พัลส์ (Q-switched pulsed Nd :YAG laser) ที่พลังงาน 0.6 จูล/พัลส์ (J/pulse) และระยะเวลาในการปล่อยเลเซอร์คือ 15 นาที โดยใช้อัตราการเกิดพัลส์ซ้ำที่ความถี่แตกต่างกันได้แก่ 10, 20, 30 และ 40 Hz ในระหว่างการยิงด้วยเลเซอร์ของซิลเวอร์เป้าหมาย พบว่าสีของสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีเหลืองอ่อน สีเหลือง และสุดท้ายกลายเป็นสีชา และได้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีลักษณะเป็นทรง โดยอัตราการเกิดพัลส์ซ้ำที่ความถี่ 10, 20, 30 และ 40 Hz ได้ขนาดอนุภาคอยู่ที่ 8.9, 11.3, 13 และ 14.7 นาโนเมตรตามลำดับ

2.2.2.2 วิธีการใช้ไมโครเวฟ (Microwave-assisted synthesis) [4]

วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยการใช้คลื่นไมโครเวฟเริ่มจาก เติมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ($AgNO_3$) ลงไปในสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตเป็นตัวรักษาเสถียรภาพที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 นาที จากนั้นสารละลายผสมจะถูกบ่มด้วยการฉายรังสีไมโครเวฟเป็นตัวรีดิวซ์ที่เวลาแตกต่างกันคือ 8, 15 และ 20 นาที สารละลายจะถูกปั่นเหวี่ยงด้วยอัตราเร็ว 10000 r/min ทำการชะล้างให้สะอาดด้วยน้ำปราศจากไอออน 2 ครั้ง เพื่อให้ได้อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยตะกอนที่ได้จะถูกเลือกเก็บไว้และทำให้แห้งด้วยการ freeze-drying จะได้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ในรูปของแข็งเป็นผง

2.2.2.3 วิธีรีดักชั่นทางเคมี (Reduction method) [5]

เป็นการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยจะรีดิวซ์ Ag^+ ไปเป็น Ag^0 โดยใช้โบโรไฮไดรด์ ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และอนุภาคนาโนจะคงตัวโดยใช้โซเดียมซิเตรททำหน้าที่รักษาเสถียรภาพวิธีการสังเคราะห์เริ่มจาก เติมสารละลายโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต (Sodium citrate dihydrate) เป็นตัวรักษาเสถียรภาพลงไปในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ปั่นกวนเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) เป็นตัวรีดิวซ์จะเห็นสารละลายคอลลอยด์สีดำ สารแขวนลอยนี้จะถูกปั่นกวนต่อไปอีก 1 ชั่วโมง สารละลายจะถูกเปลี่ยนเป็นสีเหลืองจากนั้นตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษา โดยสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้ควรเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียสและเก็บให้พ้นจากแสง

2.2.2.4 วิธีการเชิงแสงทางเคมี (Photochemical method) [6]

วิธีสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนด้วยวิธีการรีดักชั่น โดยเริ่มจากเติมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ลงไปในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรท และสารละลายไตรโซเดียมซิเตรต (Trisodium citrate) เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ ภายใต้การปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้อนุภาคซิลเวอร์นาโนรูปร่างทรงกลม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอนุภาคซิลเวอร์นาโนทำได้โดยการใช้แสงเหนี่ยวนำ เริ่มจากนำสารละลายอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้มาทำการฉายแสงสีขาวเป็นเวลา 1 สัปดาห์ด้วยหลอดไฟที่มีพลังงาน 23 W ภายใต้การปั่นกวนสารละลายที่คงที่ จะทำให้ได้สารละลายผสมของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่มีรูปร่างสามเหลี่ยม หกเหลี่ยม และแผ่นวงกลม ซึ่งขนาดและรูปร่างที่เปลี่ยนไปของอนุภาคนาโนจะทำให้มีคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป

2.2.2.5 วิธีทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical method) [7]

วิธีสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนด้วยวิธีทางไฟฟ้า ทำได้โดยใช้บีกเกอร์ที่มีฝาปิดเป็นเซลล์ไฟฟ้า ซึ่งจะมีแท่งซิลเวอร์ที่เป็นขั้วแอโนด (Anode) และขั้วแคโทด (cathode) เสียบอยู่ โดยขั้วแอโนดและขั้วแคโทดจะถูกต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) ที่อยู่ภายนอก ที่ให้ ศักย์ไฟฟ้า 150 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 1.5 แอมแปร์เพื่อควบคุมกระแสภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี โดยแท่งซิลเวอร์นั้นก่อนที่จะถูกนำไปใส่ในเซลล์จะต้องถูกล้างคราบไขมันในสารละลายไตรคลอโรเอทีลีนร้อน อนุภาคนาโนซิลเวอร์ถูกเตรียมโดยการโพลาไรซ์ขั้วไฟฟ้าทั้งสองในสารละลายไดเมธิลฟูมาเรท (DMF) และกรดไทโอไกลโคลิก (TGA) ภายใต้การไหลของก๊าซไนโตรเจนแห้ง สารละลายผสมปริมาตร 10 มิลลิลิตรถูกนำไปใส่ในเซลล์ และขั้วไฟฟ้าจะถูกโพลาไรซ์ด้วยกระแสคงที่คือ 10 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร (mA/cm^2) ภายในไม่กี่นาทีสีของสารละลายเกิดการเปลี่ยนแปลงไปเป็นสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งแสดงถึงการเกิดซิลเวอร์คอลลอยด์ โดยคอลลอยด์ที่ได้ถูกทำให้ตกตะกอนโดยการเติมอะซิโตน และค่อยๆ รินสารละลายส่วนบนออก จากนั้นทำการล้างซ้ำๆ ด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายกลายเป็นกลาง นำสารละลายไปกรองและอบให้แห้งเพื่อใช้งานต่อไป

2.3 การตรวจวัดไมนอกซิดิลด้วยเทคนิควิเคราะห์ต่างๆ

2.3.1 เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปคโทรสโกปี (UV-visible spectroscopy)

Z. A. Zaheer และคณะ [8] ได้ศึกษาวิจัยการตรวจวัดหาไมนอกซิดิลในยาโดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปีในการตรวจวัด ใช้วิธีการทดลอง 3 วิธี โดยเตรียมตัวอย่างยาไมนอกซิดิลปริมาตร 1 mL (2% w/v) ละลายด้วยเมทานอลปริมาตร 10 mL เขย่าสารละลายเป็นเวลา 3-5 นาทีจากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 mL วิธีที่ 1 จะตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 285 nm ซึ่งเป็นค่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูดกลืนแสงที่สูงที่สุดจากผลการทดลองพบว่ามีช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัด 5-40 µg/mL ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.9991 มีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.092 µg/mL วิธีที่ 2 หาพื้นที่ใต้กราฟที่ความยาวคลื่น 280-288 nm จากผลการทดลองพบว่ามีช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัด 5-40 µg/mL ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9996 มีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดเท่ากับ 0.047 µg/mL และวิธีที่ 3 ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 267 nm จากผลการทดลองพบว่ามีช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัด 5-40 µg/mL ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9999 มีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 0.122 µg/mL

2.3.2 เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquidchromatrography, HPLC)

T. Huang และคณะ [9] ได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณไมนอกซิดิลซึ่งมีปริมาณน้อยในรูขุมขนของหนูแฮมสเตอร์ด้วยเทคนิคลิควิดโครมาโทกราฟีร่วมกับการตรวจวัดด้วยเทคนิคทางเคมีไฟฟ้า (LC/EC) โดยการเตรียมตัวอย่างด้วยวิธีเทปสริปปิง/ดิสเซคชัน (Tape stripping/dissection) ทำได้โดยนำเทปไปติดบนผิวบริเวณข้างในหูของหนูแฮมสเตอร์และทำการลอกชั้นหนังกำพร้าและชั้นหนังแท้ออกเพื่อให้เห็นต่อมไขมัน นำชั้นหนังแท้ที่ถูกลอกออกมาวางบนแผ่นสไลด์สำหรับกล้องจุลทรรศน์ โดยนำด้านที่เห็นต่อมไขมันขึ้นและทำการขูดชั้นเนื้อของต่อมไขมัน เพื่อย้ายไปใส่ในหลอดบรรจุของเหลว (Vial) โดยใส่ทั้งสารตัวอย่าง เทป และเนื้อเยื่อผิวหนัง ทำการล้างตัวอย่างด้วยน้ำและปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร และเติมกรดไตรคลอโรอะซิติก (Trichloroacetic, TCA) และอะซิโตไนไตรล์ลงไป นำส่วนผสมไปปั่นเหวี่ยงจะเกิดการแยกชั้น ส่วนใสจะถูกฉีดเข้าไปในระบบ LC/EC โดยมีเฟสเคลื่อนที่เป็นสารละลายผสมระหว่างโพแทสเซียมฟอสเฟตโมโน ที่ pH 8 กับเมทานอล โดยใช้คอลัมน์ LunaC8 ที่บรรจุอนุภาคขนาด 5 ไมโครเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 มิลลิเมตร มีความยาวคอลัมน์ 150 มิลลิเมตร ใช้อัตราการไหล 0.4 mL/min ณ อุณหภูมิห้อง โดยการวัดการเกิดออกซิเดชันของไมนอกซิดิลโดยใช้ขั้วกลาสซีคาร์บอนเป็นขั้วทำงาน และ Ag/AgCl เป็นขั้วอ้างอิง โดยให้ศักย์ไฟฟ้าที่ +800 มิลลิโวลต์ พบว่าโครมาโทรแกรมของไมนอกซิดิลมีเส้นสัญญาณพื้น (Baseline) ที่เรียบ ไม่มีพีครบกวน จากการทดลองพบว่ามีค่าความเป็นเส้นตรงที่ดีในช่วง 30-500 ng/mL โดยมีค่า r^2 เท่ากับ 0.9990 มีค่า LOD ที่ 1 ng/mL และการวิเคราะห์การคืนกลับ (% Recovery) อยู่ระหว่าง 94.4-103.3% ซึ่งข้อจำกัดของวิธีนี้คือจะต้องทำความสะอาดขั้วไฟฟ้าทุก 3-4 สัปดาห์ และการใช้เฟสเคลื่อนที่ที่มีพีเอชสูงอาจทำให้สัญญานการเกิดออกซิเดชันสูง แต่สัญญาณรบกวนก็จะสูงด้วยเช่นกัน

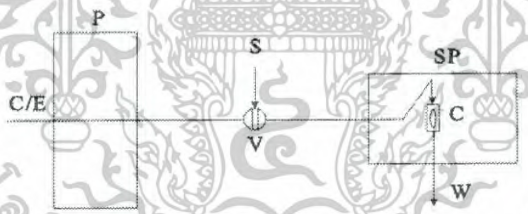
A. Zarghi และคณะ [10] ได้พัฒนาวิธีการหาปริมาณไมนอกซิดิลในพลาสมาของมนุษย์โดยการนำไอออนคู่มาประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิค HPLC ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้รวดเร็ว ง่าย และมีความแม่นยำที่ดีในการหาปริมาณไมนอกซิลที่ความเข้มข้นต่ำ โดยใช้วิธีการสกัดแบบขั้นตอนเดียว การแยกถูกวิเคราะห์บนคอลัมน์ µbondapakC_{18} ที่บรรจุอนุภาคขนาด 4 ไมโครเมตร คอลัมน์มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 4.6 มิลลิเมตร มีความยาว 150 มิลลิเมตร กำหนดอุณหภูมิของคอลัมน์เป็น 50 องศาเซลเซียส และตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 281 นาโนเมตร โดยมีเฟสเคลื่อนที่ซึ่งเป็นส่วนผสมระหว่างโซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟตบัฟเฟอร์และอะซิโตไนไตรล์ที่มีการเติมโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวจับไมนอกซิดิล โดยควบคุมพีเอชเท่ากับ 3.5 ที่อัตราการไหล 1 มิลลิลิตรต่อนาที โดยนำตัวอย่างพลาสมา มาเติมสารละลายเมทาโนอิกโพรพิลพาราเบนซึ่งเป็นสารมาตรฐานภายใน (Internal standard) และทำการสกัดด้วยบอเรตบัฟเฟอร์ และอะซิโตไนไตรล์ และนำปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำของเหลวใสเหนือตะกอนฉีดเข้าเครื่อง HPLC จากการทดลองพบว่าไมนอกซิดิล และสารมาตรฐานภายในให้สัญญาณพีคที่ชัดเจน และไม่มีพีครบกวนจากองค์ประกอบภายในพลาสมา โดยเวลาที่ไมนอกซิดิล และสารมาตรฐานภายในเคลื่อนที่ออกมาจากคอลัมน์คือ 3.6 และ 4.8 ตามลำดับ ซึ่งช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัดตั้งแต่ 2–100 ng/mL มีค่า r^2 เท่ากับ 0.999 และให้ค่า LOD ที่ 0.5 ng/mL

2.3.3 เทคนิคการไหล (Flow-based techniques)

A. Medina และคณะ [11] พัฒนาวิธีการตรวจวัดปริมาณไมนอกซิดิลด้วยเทคนิคการไหลร่วมกับการสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง (Solid-phaseextraction) เพื่อเพิ่มค่าสัญญาณการตรวจวัดให้มีความจำเพาะต่อไมนอกซิดิลมากขึ้น ภายในระบบการไหล (รูปที่ 2.3) ใช้สารละลายผสมระหว่างกรดไฮโดรคลอริก กับโซเดียมคลอไรด์เป็นตัวพา



รูปที่ 2.3 รูปแสดงระบบ FIA โดย C/E คือ carrier/eluent, P คือ peristaltic pump, V คือ injection valve, S คือ สารละลายตัวอย่าง, SP คือ spectrophotometric detector, C คือ flow cell, W คือ ภาชนะใส่ของเสีย [11]

การเตรียมตัวอย่างไมนอกซิดิลชนิดเม็ด ให้นำมาบดเป็นผงแล้วละลายด้วย 96 %v/v เอทานอล นำไปผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องอัลตราโซนิก จากนั้นกรองแยกตะกอนออก หากเป็นตัวอย่างไมนอกซิดิลชนิดน้ำ ให้ละลายด้วยน้ำกลั่น จากนั้นฉีดสารละลายไมนอกซิดิลที่เตรียมได้เข้าระบบผ่านทาง injection valve ใช้อัตราการไหลที่ 1.60 mL/min สารละลายไมนอกซิดิลจะไหลผ่านและถูกดูดซับอยู่บน Sephadex (SP-C25) ซึ่งเป็นวัฏภาคของแข็งที่ถูกบรรจุอยู่ภายใน flow-cell โดยไม่มีการเกิดอนุพันธ์ จากนั้นระบบจะทำการปั๊มสารละลายผสมระหว่างเกลือโซเดียมและกรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฮโดรคลอริก ทำหน้าที่เป็นตัวชะ (Elutent) เอาไมนอกซิดิลให้เคลื่อนที่ออกจาก Sephadex แล้วตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 282 nm โดยค่าการดูดกลืนแสงจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของไมนอกซิดิลในสารตัวอย่าง จากผลการทดลองจะได้กราฟมาตรฐานที่มีช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัดตั้งแต่ 0.2-7.0, 0.1-4 และ 0.05-2.0 mg/mL มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (RSD) ไม่เกิน 2.63 %

2.3.4 เทคนิคคาปิลลารี อิเล็กโตรโฟเรซิส (Capillary Electrophoresis , CE)

S.C. Patterson และคณะ [12] ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดหาปริมาณไมนอกซิดิลในยาปลูกผมโดยใช้การฉีดสาร 2 แบบคือ hydrodynamic เปรียบเทียบกับ Electrokinetic โดยเลือกใช้ลิเทียมซิเตรทบัฟเฟอร์ (Lithium citrate buffer) ที่ pH 3.5 เป็นตัวพา สำหรับการฉีดสารแบบ hydrodynamic เมื่อมีการให้ศักย์ไฟฟ้าเกิดการไหลแบบอิเล็กโทรออสโมติก (Electroosmotic) ของสารละลายภายในท่อคาปิลลารี สารละลายไมนอกซิดิลจะเกิดการแยกและเข้าสู่เครื่องตรวจวัดจากผลการทดลองพบว่ามีช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัดเท่ากับ 10-150 ppm ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.9999 ค่า %RSD เท่ากับ 0.52% ค่าวิเคราะห์การคืนกลับเท่ากับ 100.5% ส่วนการฉีดสารแบบ Electrokinetic พบว่ามีช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัดเท่ากับ 10-187.5 ppm ค่า r^2 เท่ากับ 0.9999 ค่า %RSD เท่ากับ 1.7% ค่าวิเคราะห์การคืนกลับเท่ากับ 101.2%

G. Gibson และคณะ [13] ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดหาปริมาณไมนอกซิดิลในยาปลูกผมโดยใช้เทคนิคไมเซลลาอิเล็กโทรไคเนติกคาปิลลารีโครมาโทกราฟี (Micellar electrokinetic capillary chromatography, MEKC) ไมนอกซิดิลมีค่าคงที่การแตกตัว (pKa) เท่ากับ 4.6 ดังนั้นบัฟเฟอร์ที่มีค่า pH มากกว่า 6 จะช่วยให้เกิดเป็น micelles ได้ดีโดยเลือกใช้โซเดียมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ที่ pH 7 เป็นตัวพาและเลือกใช้โซเดียมโดเดคซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate, SDS) ในการสร้างเป็น micelles ใช้การฉีดสารแบบ hydrodynamic เมื่อให้ศักย์ไฟฟ้าจะเกิดการไหลแบบอิเล็กโทรออสโมติกของสารละลายภายในท่อคาปิลลารี โดยสารละลายไมนอกซิดิลจะถูกแยกมาจับกับ SDS micelles จากนั้น SDS micelles จะไหลเข้าสู่เครื่องตรวจวัด จากการทดลองพบว่ามีความเป็นเส้นตรงในช่วง 50-140% ของปริมาณที่ระบุไว้บนฉลาก (โดยฉลากระบุว่ามีไมนอกซิดิล 2%) มีค่า r^2 เท่ากับ 0.9996 ค่า %RSD เท่ากับ 1.59% ค่าวิเคราะห์การคืนกลับเท่ากับ 100.4%

2.3.5 เทคนิคทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemistry)

N. Karimian และคณะ [14] ได้พัฒนาเซนเซอร์ที่มีความว่องไวและจำเพาะต่อการตรวจวัด ไมนอกซิดิล ด้วยการปรับปรุงพื้นผิวของขั้วไฟฟ้าคาร์บอน (Glassy carbon electrode, GCE) ด้วย molecularly imprinted polymer (MIP) เตรียมโดยการขัดผิวหน้าของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเปลือยด้วยอะลูมินาและนำไปจุ่มในสารละลายผสมของกรดไนตริก เอทานอล และน้ำพร้อมเขย่าด้วยเครื่องอัลตราโซนิคเป็นเวลา 10 นาที นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคไซคลิกโวลแทมเมทรีทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวของขั้วไฟฟ้าคาร์บอนด้วย MIP โดยวิธีการเกิดพอลิเมอร์ด้วยไฟฟ้า (Electropolymerization) ของมอนอเมอร์ผสม 3 ชนิดได้แก่ ออโท-ฟีนิลลีนไดอะมีน (O-Phenylenediamine) กรดแกลลิก (Gallic acid) และกรดพารา-อะมิโนเบนโซอิค (P-aminobenzoic acid) ที่มีไมนอกซิดิลเป็นแม่แบบ ใช้ไซคลิกโวลแทมเมทรีสแกนศักย์ไฟฟ้าไป-กลับในช่วง -0.4 และ +0.8 V ต่อเนื่องกัน 15 ครั้ง ที่อัตราเร็วในการสแกน 50 mV/s ในสารละลายผสมของสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์กับโพแทสเซียมคลอไรด์ มอนอเมอร์ผสม 3 ชนิด และไมนอกซิดิลจะได้ขั้วไฟฟ้าคาร์บอนที่ปรับปรุงผิวด้วย Minoxidil-MIP (MX-MIP/GCE) ล้างขั้วไฟฟ้าด้วยน้ำกลั่น จากนั้นจุ่มในสารละลายที่มีส่วนผสมของโซเดียมไนเตรทและซิลเวอร์ในเตรททำการให้ศักย์ไฟฟ้าที่ -0.4 V เป็นเวลา 10 นาที จะได้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) ติดอยู่บนขั้วไฟฟ้า ทำการสกัดแม่แบบออกจากขั้ว AgNPs/MX-MIP/GCE โดยการจุ่มในสารละลายผสมของเอทานอลและน้ำ เป็นเวลา 5 นาที จะได้ขั้วที่พร้อมใช้งาน

เตรียมสารละลายไมนอกซิดิล โดยนำไปละลายในสารละลายผสมระหว่างเมทานอลกับน้ำ ตรวจวัดไมนอกซิดิลโดยใช้ไซคลิกโวลแทมเมทรี ซึ่งให้ศักย์ไฟฟ้าในช่วง +0.35 ถึง +0.9V จุ่มขั้ว AgNPs/MX-MIP/GCE เป็นเวลา 2 นาที โดยวิเคราะห์ไมนอกซิดิลในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 0.03-500 µM พบว่าสามารถเพิ่มกระแสของพีคแอโนดิก (Anodic peak) ได้สูงที่สุด เมื่อเทียบกับขั้วไฟฟ้าที่ไม่ได้รับการปรับปรุงพื้นผิว และได้สมการเชิงเส้นคือ I_p (µA) = 2.783 + 0.0214 C_{MX} โดยได้ค่า r^2 เท่ากับ 0.9995 ค่า %RSD เท่ากับ 3.5% และค่า LOD เท่ากับ 0.1 µM ความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (LOQ) เท่ากับ 0.3 µM แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือการเตรียมที่ค่อนข้างยุ่งยาก และต้องควบคุมสภาวะการทดลองเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดในการวิเคราะห์

M. Shamsipur และคณะ [15] ได้พัฒนาวิธีการหาปริมาณไมนอกซิดิลด้วยเทคนิคโวลแทมเมทรี โดยใช้แคดเมียมซิลิเนียมควอนตัมดอทที่เคลือบด้วยกลูโคส (glucose-capped CdSe quantum dots) และเอทิลเมทิลอิมมิดาโซเลียมไอออนิกลิควิด (1-ethyl-3-methyl-imidazolium (EtMIMPF6) ionicliquid (IL)) รวมเข้ากับขั้วไฟฟ้าแกรไฟต์เพื่อปรับปรุงกระแสฟาราเดอิก (Faradaic current) และลดสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio) การทดลองทำได้โดยบันทึกกระแสฟาราเดอิกของ blank ที่อยู่ในสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 4.6 และทำการสแกนศักย์ไฟฟ้าไป-กลับตั้งแต่ 0.0-1.2 V โดยใช้อัตราในการสแกนเท่ากับ 50 mV/s จากนั้นเติมไมนอกซิดิลที่ช่วงความเข้มข้น 0.3 ถึง 80.0 µM ลงไปในบีกเกอร์ และทำการวัดกระแสฟาราเดอิกจนครบ พบว่าได้ ค่า r^2 เท่ากับ 0.9966 และค่า LOD เท่ากับ 9.5×10^{-8} M และได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับตัวอย่างยา 2 ยี่ห้อได้แก่ ยี่ห้อ Neoxidil และ Reganine พบว่าได้ค่า %Recovery ในช่วง 97.83-100.24 % ซึ่งวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถช่วยเพิ่มสัญญาณของฟาราเดอิกได้ แต่ยังไม่สามารถแก้สัญญาณรบกวนจากการตรวจวัดได้ โดยจะต้องควบคุมอัตราเร็วในการสแกนให้เท่ากับ 50 mV/s เพื่อให้เกิดการออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การใช้อนุภาคนาโนในการตรวจวัดไมนอกซิดิล

R. Rahul และคณะ [16] ได้พัฒนาเทคนิคการตรวจวัดรูปแบบใหม่ โดยใช้หัววัด microwave metallic photonic crystal เพื่อใช้ในการตรวจวัดยาขยายหลอดเลือด 2 ชนิด ได้แก่แอมโลดิปีน และไมนอกซิดิล โดยอาศัยหลักการของไมโครเวฟสเปกโทรสโกปี (Microwave spectroscopy) ในการตรวจวัด ซึ่งตรวจวัดโดยเตรียมยาแอมโลดิปีน ที่ช่วงความเข้มข้น 0.05–100 ไมโครโมลาร์ และยาไมนอกซิดิลที่ช่วงความเข้มข้น 0.625-20 มิลลิโมลาร์ในน้ำกลั่น และนำไปเติมลงในสารละลายอนุภาคนาโนทองที่เตรียมขึ้น บ่มเป็นเวลา 5 นาที สีของสารละลายมีการเปลี่ยนแปลงจากสีแดงม่วงไปเป็นสีม่วงและสีน้ำเงิน ซึ่งเกิดจากการที่อนุภาคถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการรวมตัวกัน จากนั้นนำไปตรวจวัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟสเปกโทรสโกปี โดยการวัดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (reflection coefficient) โดยใช้หัววัด microwave metallic photonic crystal จุ่มลงในสารละลายในการวิเคราะห์ยาไมนอกซิดิลพบว่าสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีแดงไปเป็นสีน้ำเงิน โดยความถี่การสั่นพ้องที่วัดได้คือ 2.875 GHz, 2.92 GHz, 2.98 GHz, 2.995 GHz, 3.01 GHz และ 3.1 GHz ได้สมการเชิงเส้นคือ $y=0.0073x + 0.3875$ ให้ค่า $R^2 =0.96$ และได้ค่า LOD โดยประมาณเท่ากับ 1.78 มิลลิโมลาร์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าที่ความเข้มข้นของยาลดลง ค่าไดอิเล็กทริกของสารละลายก็ลดลงด้วยเช่นกัน จึงทำให้ความถี่สั่นพ้องมีการเลื่อนตำแหน่งไปทางความถี่ที่มากขึ้นและเข้าใกล้ความถี่สั่นพ้องตอบสนองของอนุภาคนาโนทองเปลือยที่ความถี่ 3.4 GHz

R. Yadav และคณะ [17] ได้พัฒนาเทคนิคการตรวจวัดไมนอกซิดิลในของเหลวทางชีวภาพ ได้แก่ปัสสาวะมนุษย์ ด้วยเทคนิคไมโครเวฟสเปกโทรสโกปี (Microwave spectroscopy) โดยใช้ขั้วตรวจวัดที่เตรียมจาก Polydimethylsiloxane (PDMS) ภายในขั้วตรวจวัดบรรจุ metallic photonic crystal (MPC) ทำการเติมไมนอกซิดิลลงในสารละลายบัฟเฟอร์ TRIS ที่ pH 4 และเติมลงในสารละลายอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ขึ้น ไมนอกซิดิลจะเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคทองนาโน ทำให้เกิดการรวมตัว (Aggregate) สังเกตจากสีของอนุภาคทองนาโนที่เปลี่ยนไปจากสีแดงองุ่นเป็นสีม่วงน้ำเงินหรือตรวจวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคไมโครเวฟสเปกโทรสโกปีโดยทำการจุ่มขั้วตรวจวัดที่เตรียมได้ ลงในอนุภาคทองระดับนาโนที่เกิดการรวมตัว กระตุ้นการทำงานของขั้วตรวจวัดด้วยคลื่นไมโครเวฟแล้ววัดความถี่ของตัวอย่าง จากผลการทดลองพบว่ามีช่วงความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัด ตั้งแต่ 100-500 µM และ 0.1-10 µM มีค่า r^2 เท่ากับ 0.851 และ 0.883 มีค่า LOD เท่ากับ 9.54 µM จากการทดลองพบว่า เมื่อเจือจางตัวอย่างปัสสาวะลง 40 เท่า ตัวรบกวนที่มีในปัสสาวะจะไม่มีผลต่อการวิเคราะห์ จากการเปรียบเทียบระหว่างเทคนิคที่พัฒนาขึ้นกับการตรวจวัดด้วยเทคนิคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี พบว่าเทคนิคยูวี-วิสิเบิลให้ผลของแถบพีคการดูดกลืนแสงที่ไม่ชัดเจนเมื่อทำการวิเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่ำ ซึ่งเทคนิคที่พัฒนาขึ้นนี้พบว่าให้พีคการสั่นพ้องที่เป็นระเบียบเมื่อเทียบกับแถบพีคของการดูดกลืนแสงวิธีนี้มีประโยชน์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสีในสารละลายที่ไม่สามารถแยกได้ด้วยตาเปล่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ในงานวิจัยนี้

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการตรวจวัดหาปริมาณไมนอกซิดิลในยาปลูกผมโดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการตรวจวัด ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี และเตรียมสารมาตรฐานไมนอกซิดิลจากยาปลูกผมที่ระบุส่วนประกอบของไมนอกซิดิล 5% w/v ในสารละลายผสมของ 30% v/v เมทานอลกับอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ pH 3.6 โดยไมนอกซิดิลสามารถเหนี่ยวนำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดการรวมตัวกัน ส่งผลให้ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลดลง และสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ โดยค่าการกระเจิงแสงจะแปรผกผันกับความเข้มข้นของไมนอกซิดิล ซึ่งวิธีที่พัฒนาขึ้นมานี้สามารถประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดปริมาณไมนอกซิดิลในตัวอย่างยาปลูกผมได้ เป็นเทคนิคที่ง่าย และมีความรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงานพิเศษ

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

3.1.1.1) 5% Minoxidil Topical Solution ยี่ห้อ Rogaine บริษัท JOHNSON&JOHNSON CONSUMERINC., Thailand (ใช้เป็นสารมาตรฐาน)

3.1.1.2) เมทานอล (Methanol, CH_3OH) ความบริสุทธิ์ 99.99% บริษัท Fisher Chemical,UK

3.1.1.3) โซเดียมอะซิเตท ไตรไฮเดรต (Sodium acetate trihydrate, $CH_3COONa.3H_2O$ ความบริสุทธิ์ 99.5% บริษัท RFCL Limited, India

3.1.1.4) กรดอะซิติก (Acetic acid glacial, CH_3COOH) ความบริสุทธิ์ 99.7% บริษัท ACLLabscan, Thailand

3.1.1.5) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) ความบริสุทธิ์ 99.8% บริษัท S.D.Fire-Chem Limited, India

3.1.1.6) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, HCl) ความบริสุทธิ์ 37% บริษัท CARLOERBA Group, Thailand

3.1.1.7) ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate, $AgNO_3$) ความบริสุทธิ์ 99.88% บริษัท Merck, Thailand

3.1.1.8) โซเดียมซิเตรท ไตรเบสิก ไดไฮเดรต (Sodium citrate tribasic dihydrate, $C_6H_5Na_3O_7.2H_2O$) ความบริสุทธิ์ 99.0% บริษัท Sigma-Aldrich, Japan

3.1.1.9) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (sodium borohydride, $NaBH_4$) ความบริสุทธิ์ 99% บริษัท ALDRICH, Germany

3.1.1.10) 2% Minoxidil Topical Solution ยี่ห้อ Rogaine (ตัวอย่าง A) บริษัท JOHNSON&JOHNSON CONSUMER INC., Thailand และ 5% Minoxidil Topical Solution ยี่ห้อ Nuhairs (ตัวอย่าง B) บริษัท POLIPHARM, Thailand (ใช้เป็นสารตัวอย่าง)

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือตรวจวัด

1) บีกเกอร์ (ขนาด 50, 100 และ 150 มิลลิลิตร)
2) หลอดทดลอง
3) ขวดวัดปริมาตร (ขนาด 10, 50, 100 มิลลิลิตร)
4) ช้อนตักสาร
5) ไมโครปิเปต (ขนาด 10 และ 200 ไมโครลิตร)
6) หลอดหยด (Dropper)
7) ไมโครปิเปต (ขนาด 5 มิลลิลิตร)
8) แท่งแก้วคนสาร
9) ปิเปต (ขนาด 5 และ 10 มิลลิลิตร)
10) กระจกนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
12) คิวเวต (Cuvette)
13) ลูกยาง
14) ขวดสีชา
15) กระบอกน้ำกลั่น
16) เครื่องกวนสารพร้อมให้ความร้อน (Hotplatestirrer) IKA® C-MAG HS 7
17) เครื่องเขย่าสาร (Vortexmixer)
18) เครื่องชั่งสาร (Analyticalbalance)
19) อ่างล้างคลื่นความถี่สูง (Ultrasonicbath) Mettler Electronics Cavitator® ,U.S.A.
20) เครื่องวัดพีเอช (pH-meter) Mettlertoledo, Thailand
21) เครื่องเครื่องสเปคโตรฟลูออโรมิเตอร์ (Spectrofluorometer) FP-8200 บริษัท JASCO, Japan โดยงานวิจัยนี้จะใช้โหมด Synchronous ($\lambda_{Ex}=\lambda_{Em}$) ในการติดตามค่าการกระเจิงแสงของสาร
22) กล้องจุลทรรศ์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope) รุ่น JEM-1400 บริษัท JEOL, U.S.A.

3.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.1 การเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล

ในโครงงานพิเศษนี้ใช้สารมาตรฐานเป็นยาปลูกผมยี่ห้อ Rogaine ที่มีความเข้มข้นของไมนอกซิดิล 5% โดยน้ำหนัก (%w/v) คิดเป็นความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์ได้เท่ากับ 0.24 โมลาร์

การเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเริ่มจากปิเปตสารมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0.24 โมลาร์ ปริมาตร 0, 21, 42, 83, 125, 167 และ 208 ไมโครลิตรด้วยไมโครปิเปต ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร เติมเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ พีเอชเท่ากับ 3.6 ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตรใส่ลงขวดวัดปริมาตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

3.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ [9]

เตรียมสารละลายโซเดียมซิเตรทเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งโซเดียมซิเตรท 0.015 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย เทสารละลายใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.64 มิลลิโมลาร์ โดยชั่งซิลเวอร์ไนเตรท 0.0110 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย เทสารละลายใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 0.1 % โดยน้ำหนักโดยชั่งโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.025 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย เทสารละลายใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

เตรียมสังเคราะห์สารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.5 mM โดยนำสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.64 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 39.0 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมซิเตรทเข้มข้น 5.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร จากนั้นปั่นกวนเป็นเวลา 20 นาที เติมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 0.1 %w/v ปริมาตร 10 มิลลิลิตรจะเห็นสารละลายคอลลอยด์สีดำเกิดขึ้น ปั่นกวนต่อไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง สีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีเหลือง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้ เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิ 4±2 °C สำหรับโครงงานพิเศษนี้จะต้องเจือจางสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เตรียมได้ 15 เท่าก่อนนำไปใช้งาน (คิดเป็นความเข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ จากความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทเริ่มต้น)

3.2.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ พีเอช 3.6

เตรียมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยปิเปตกรดอะซิติกเข้มข้น 99.8 %w/w ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

เตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.05 โมลาร์ โดยชั่งโซเดียมอะซิเตท 0.6804 กรัม ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย เทสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

เตรียมสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ความเข้มข้น 0.025 โมลาร์ พีเอช 3.6 โดยปิเปตสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 47 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ปริมาตร 3.2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน ตรวจสอบค่า pH ของสารละลายบัฟเฟอร์ที่เตรียมขึ้น ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอช

3.3 วิธีการดำเนินการ

3.3.1 ศึกษาคุณลักษณะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้

ศึกษาความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดไมนอกนอกซิดิล โดยเจือจางสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เตรียมได้ (ความเข้มข้น 0.5 mM คำนวณจากความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทเริ่มต้น) ลง 2, 3, 5, 10, 15 และ 20 เท่า โดยทำการทดลองดังต่อไปนี้

1) เตรียมสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เจือจางความเข้มข้นลง 2, 3, 5, 10, 15 และ 20 เท่า เริ่มจากปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 5.0, 3.33, 1.67, 0.91, 0.63 และ 0.48 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปราศจากไอออน จะได้สารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 0.25, 0.17, 0.08, 0.05, 0.03 และ 0.02 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ

2) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

3) ปิเปตสารละลายแบลงค์ (Blank) (ไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์) ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

4) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

5) ทดลองซ้ำในข้อที่ 1) – 4) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็น 0.17, 0.08, 0.05, 0.03 และ 0.02 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ

ศึกษาคุณลักษณะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ที่สังเคราะห์ได้โดยนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Transmission Electron Microscope (JEM 1400)

3.3.2 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการตรวจวัดไมนอกซิดิล

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

2) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

3) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปคโตรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

4) ทดลองซ้ำในข้อที่ 1) – 3) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล เป็น 0, 0.5, 1, 2, 4 และ 5 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

3.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ไมนอกซิดิลด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์

3.3.3.1 ศึกษาความเข้มข้นเมทานอลที่ใช้ในการเตรียมไมนอกซิดิล

ศึกษาผลของเมทานอลที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 50, 70 และ 99 %v/v โดยทำการทดลองดังต่อไปนี้

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

2) ปิเปตเมทานอล 10 %v/v ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตรใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

4) ทดลองซ้ำในข้อที่ 1) – 3) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของเมทานอลเป็น 20, 30, 50, 70 และ 100 %v/v ตามลำดับ

3.3.3.2 ศึกษาพีเอช (pH) ของสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในการตรวจวัด

ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเมื่อทำการปรับ pH ของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลด้วยสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ที่ pH 3.6, 4.0 และ 5.4 โดยทำการทดลองดังต่อไปนี้

1) เตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล เริ่มจากปิเปตสารมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0.24 โมลาร์ ปริมาตร 0, 21, 42, 83, 167 และ 208 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตรเติมเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตรตามด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ พีเอช 3.6 ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

2) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

3) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

4) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

5) ทดลองซ้ำในข้อที่ 2) – 4) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเป็น 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

6) เปลี่ยนสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้เตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิเป็นสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ 0.1 โมลาร์ pH 4.0 และ pH 5.4 ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองตามข้อ 1) – 5)

3.3.3.3 ศึกษาความเข้มข้นของอะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 3.6 ที่เหมาะสมในการตรวจวัด

ศึกษาผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเมื่อทำการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลด้วยสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 3.6 เข้มข้น 0.05, 0.025 และ 0.01 โมลาร์โดยทำการทดลองดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) เตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล เริ่มจากปิเปตสารมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0.24 โมลาร์ ปริมาตร 0, 21, 42, 83, 167 และ 208 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปตใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตรเติมเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตรตามด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ พีเอช 3.6 ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

2) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

3) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

4) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาทีหลังจากการผสม

5) ทดลองซ้ำในข้อที่ 2) – 4) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเป็น 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

6) เปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้เตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเป็นสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.025 และ 0.01 โมลาร์ ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองตามข้อ 2) – 5)

3.3.3.4 ศึกษาปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ในการทำอันตรกิริยากับไมนอกซิดิล

ศึกษาผลของปริมาตรสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล โดยเปรียบเทียบสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปริมาตร 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิลิตร โดยทำการทดลองดังต่อไปนี้

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

2) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

3) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาทีหลังจากการผสม

4) ทดลองซ้ำในข้อที่ 1) – 3) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเป็น 2.0, 5.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) เปลี่ยนปริมาตรของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์จาก 0.5 มิลลิลิตร เป็น 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองตามข้อ 1) – 4)

3.3.3.5 ศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยา

ศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล เมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาที่ 2, 5 และ 10 นาที โดยทำการทดลองดังต่อไปนี้

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

2) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

3) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

4) ทดลองซ้ำในข้อที่ 1) – 3) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเป็น 2.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

5) เปลี่ยนเวลาในการตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสมเป็น 5 และ 10 นาที ตามลำดับ จากนั้นทำการทดลองตามข้อที่ 1) – 4)

3.3.4 ศึกษาคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์

3.3.4.1 ศึกษาความเป็นเส้นตรง (Linearity)

ทำการศึกษาความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน ซึ่งเป็นการพล็อตระหว่างผลต่างของความเข้มแสง (ΔI) ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เมื่อมีและไม่มีไมนอกซิดิลที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร กับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์ โดยทำการทดลองดังต่อไปนี้

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

2) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

3) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

4) ทำการทดลองซ้ำ จำนวน 3 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ทดลองซ้ำในข้อที่ 1) – 4) แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเป็น 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

6) บันทึกค่าความเข้มแสง (Intensity) ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร

3.3.3.2 ศึกษาขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD)

1) เตรียมสารละลายแบลงค์ โดยปิเปตเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปริมาตร 7.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.025 มิลลิโมลาร์พีเอช 3.6 ปริมาตร 7.5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

2) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

3) ปิเปตสารละลายแบลงค์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

4) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

5) ทำการทดลองซ้ำในข้อ 2) - 4) จำนวน 6 ซ้ำ

6) บันทึกค่าความเข้มแสง (Intensity) ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร

จากวิธีการทดลองดังกล่าว นำค่าความเข้มแสง (Intensity) ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไปคำนวณค่าขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) จากสูตร

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

เมื่อ SD คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของสารละลายแบลงค์

Slope คือ ค่าความชันของกราฟมาตรฐาน

3.3.3.3 ศึกษาความเที่ยง (Precision)

ทำการทดลองเพื่อหาความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์นำค่าความเข้มแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ซึ่งได้ทำการทดลองซ้ำจำนวน 6 ซ้ำ มาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation, SD) จากนั้นนำไปคำนวณค่า %RSD ตามสมการ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) เตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ เริ่มจากปิเปตสารมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0.24 โมลาร์ ปริมาตร 42 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตรเติมเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตรตามด้วยสารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ พีเอช 3.6 ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตรใส่ในขวดวัดปริมาตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

2) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

3) ปิเปตสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 1.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

4) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาทีหลังจากการผสม

5) ทำการทดลองซ้ำในข้อ 2) - 4) จำนวน 6 ซ้ำ

3.3.5 การวิเคราะห์หาปริมาณไมนอกซิดิลในตัวอย่างยาปลูกผม

3.3.5.1 การเตรียมสารตัวอย่าง

ในโครงงานพิเศษนี้ใช้สารตัวอย่าง คือ ยาปลูกผมชนิดน้ำทาภายนอก ยี่ห้อ A ซึ่งระบุความเข้มข้นของไมนอกซิดิลบนฉลากเป็น 2% โดยน้ำหนักและยี่ห้อ B ระบุ 5% โดยน้ำหนัก

การเตรียมสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมชนิดทาภายนอก ยี่ห้อ A เริ่มจากปิเปตยาปลูกผมยี่ห้อ A ปริมาตร 208 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ พีเอช 3.6 ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรเดียวกัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

การเตรียมสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมชนิดทาภายนอก ยี่ห้อ B เริ่มจากปิเปตยาปลูกผมยี่ห้อ B ปริมาตร 83 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ พีเอช 3.6 ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรเดียวกัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5.2 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ

1.) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

2.) ปิเปตตัวอย่าง A ที่เตรียมได้ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

3.) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

4.) ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ซ้ำ

5.) ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1) - 4) แต่เปลี่ยนเป็นตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ B ที่เตรียมไว้แทน

3.3.5.3 การศึกษาความแม่น (Accuracy)

ศึกษาความแม่นของวิธีการวิเคราะห์โดยการพิจารณาจากค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ (Recovery) โดยทำการทดลองดังต่อไปนี้

ตัวอย่าง A

- การเตรียมสารตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A (Sample)

ทำการปิเปตยาปลูกผมยี่ห้อ A ปริมาตร 104 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ พีเอช 3.6 ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรเดียวกัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

- การเตรียมสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A ที่เติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 3.0 มิลลิโมลาร์ลงไป (Spiked sample)

ทำการปิเปตสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A ปริมาตร 104 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ พีเอช 3.6 ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรเดียวกัน จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0.24 โมลาร์ ปริมาตร 125 ไมโครลิตรและปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (ในขวดนี้มีความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเท่ากับ 3 มิลลิโมลาร์)

1.) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

2.) ปิเปตสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A ที่เติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 3.0 มิลลิโมลาร์ (Spiked sample) ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

4.) ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1) - 3) แต่เปลี่ยนเป็นสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A (Sample) และสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 3.0 มิลลิโมลาร์ (Standard) ตามลำดับ

ตัวอย่าง B

- การเตรียมสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ B (Sample)

ทำการปิเปตยาปลูกผมยี่ห้อ B ปริมาตร 42 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปต ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ พีเอช 3.6 ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรเดียวกัน ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

- การเตรียมสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ B ที่เติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 3.0 มิลลิโมลาร์ลงไป (Spiked sample)

ทำการปิเปตสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ B ปริมาตร 42 ไมโครลิตร ด้วยไมโครปิเปตใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ละลายด้วยเมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร เติมสารละลายโซเดียมซิเตรทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ พีเอช 3.6 ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรเดียวกัน จากนั้นเติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0.24 โมลาร์ ปริมาตร 125 ไมโครลิตรและปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน (ในขวดนี้มีความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเท่ากับ 3 มิลลิโมลาร์)

1.) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลอง

2.) ปิเปตสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ B ที่เติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 3.0 มิลลิโมลาร์ (Spiked sample) ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองเดียวกัน

3.) เขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

4.) ทำการทดลองซ้ำในข้อ 1) - 3) แต่เปลี่ยนเป็นสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ B (Sample) และสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 3.0 มิลลิโมลาร์ (Standard) ตามลำดับ

จากวิธีการทดลองดังกล่าว นำค่าความเข้มข้นของไมนอกซิดิลที่วิเคราะห์ได้ ไปคำนวณค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ (Recovery) จากสูตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Recovery (\%)} = \frac{\text{[Spiked sample]} - \text{[Sample]}}{\text{[Standard]}} \times 100$$

เมื่อ [Spike sample] คือ ค่าความเข้มข้นของสารตัวอย่างยาปลูกผมที่เติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลลงไป

[Sample] คือ ค่าความเข้มข้นไมนอกซิดิลในสารตัวอย่างยาปลูกผม

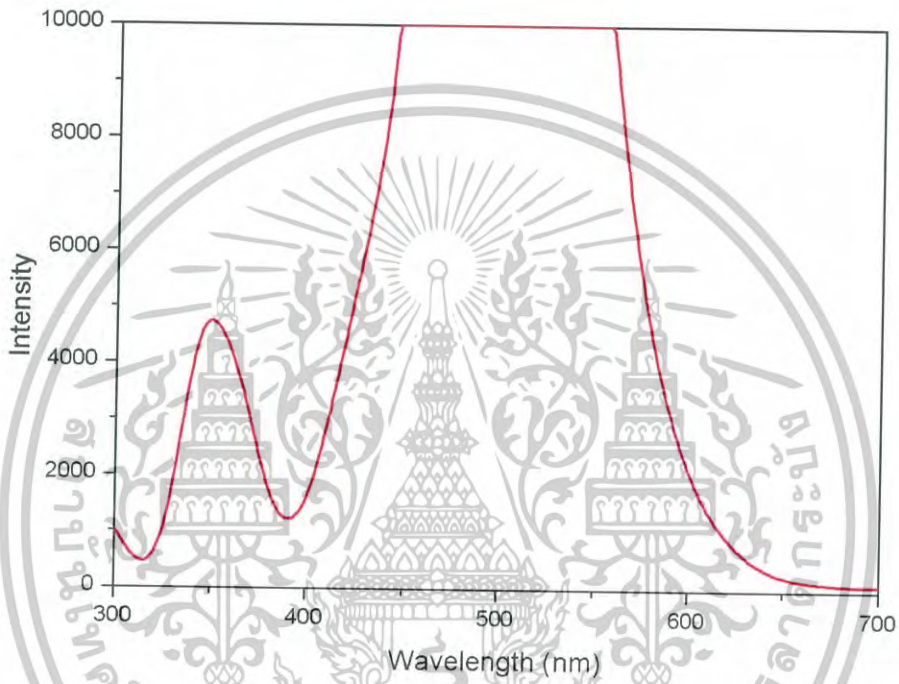
[Standard] คือ ค่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 คุณลักษณะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้

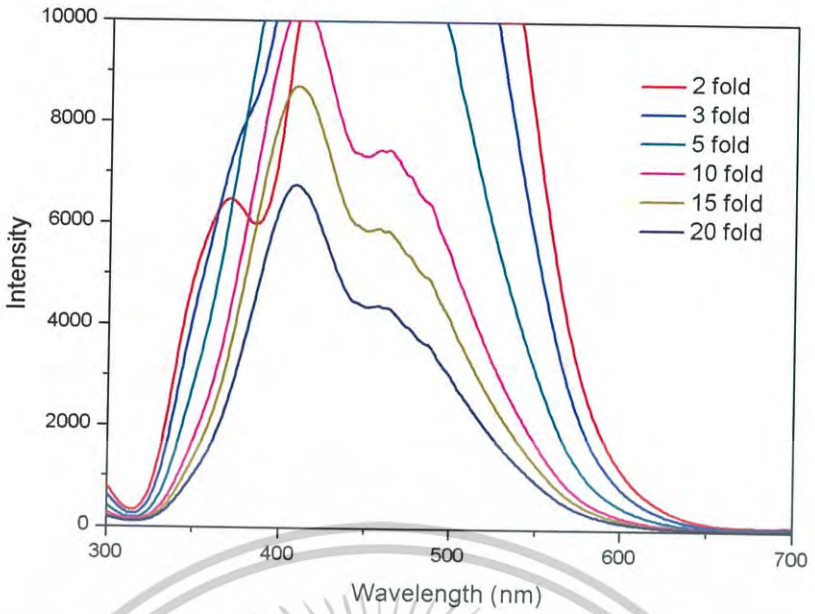
ทำการศึกษาค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้ ด้วยเครื่องสเปกโทร-ฟลูออโรมิเตอร์ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ความเข้มข้น 0.5 mM ที่สังเคราะห์ได้

จากรูปที่ 4.1 พบว่าความเข้มแสงมีค่าสูงเกินกว่าที่เครื่องสามารถตรวจวัดได้ ทำให้ไม่สามารถหาค่าความเข้มการกระเจิงแสงสูงสุดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ จึงทำการศึกษาหาความเข้มข้นที่เหมาะสมของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการตรวจวัดไมนอกซิดิลโดยเจือจางสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เตรียมได้ (ความเข้มข้น 0.5 mM คำนวณจากความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทเริ่มต้น) ลง 2, 3, 5, 10, 15 และ 20 เท่า ซึ่งผลการศึกษาแสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่า เมื่อทำการเจือจางสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลง ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะลงลดด้วย โดยมีค่าการกระเจิงแสงสูงสุด ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร โดยที่ใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เจือจางลง 15 เท่า ให้สเปกตรัมของการกระเจิงแสงอยู่ในช่วงที่เครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์วัดได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เจือจางลง 15 เท่า (ความเข้มข้น 0.03 mM) ในการวิเคราะห์ไมนอกซิดิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เมื่อเจือจางสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เตรียมได้ลง 2, 3, 5, 10, 15 และ 20 เท่า

หลังจากเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์และเจือจางลง 15 เท่า นำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์หาขนาดอนุภาค ด้วยเครื่อง TEM พบว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 38.2 ± 2.8 nm มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีการกระจายตัวของอนุภาคที่ดี ดังแสดงในรูป 4.3 ซึ่งเป็นผลมาจากสารรักษาเสถียรภาพ คือ โซเดียมซิเตรท โดยประจุลบของซิเตรทที่ล้อมรอบอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะป้องกันไม่ให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้เกิดการรวมตัวกัน และมีขนาดใหญ่ขึ้น

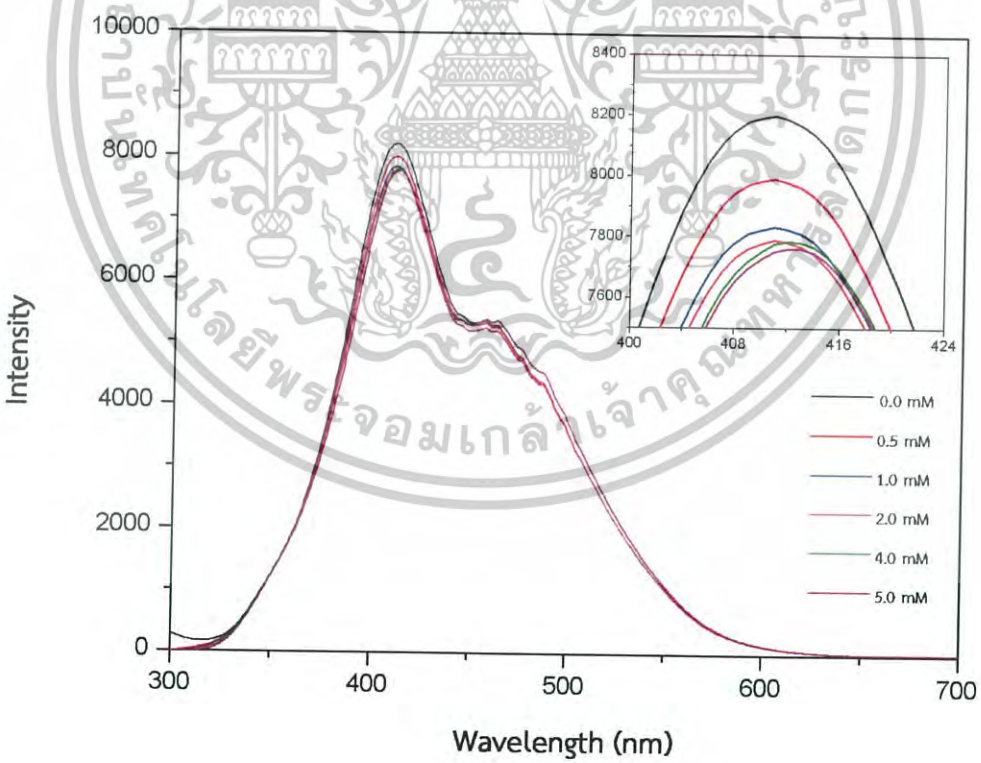
รูปที่ 4.3 แสดงภาพอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้ ที่ถ่ายด้วยเครื่อง TEM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ความเป็นไปได้ในการใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการตรวจวัดไมนอกซิดิล

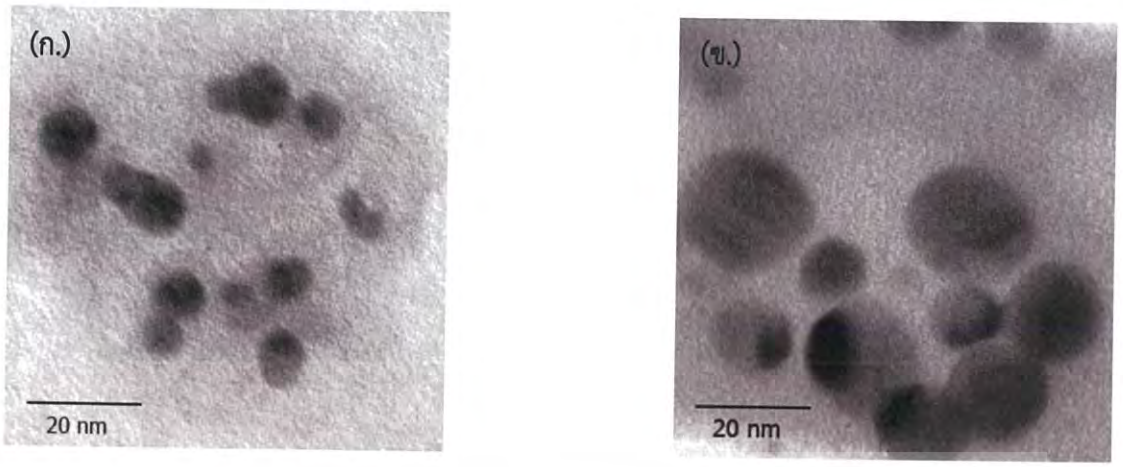
นำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตรมาทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 0.5, 1, 2, 4 และ 5 มิลลิโมลาร์ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสมได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.4

จากรูปที่ 4.4 พบว่า ค่าความเข้มแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร จะมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล แสดงว่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าความเข้มการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตรและเมื่อนำสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลไปตรวจวัดด้วยเครื่อง TEM พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดการรวมตัว และมีขนาดมีใหญ่ขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ไม่มีการเติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลลงไปดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงว่าไมนอกซิดิลสามารถเหนี่ยวนำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดการรวมตัวกันได้คาดว่าเกิดจากการที่หมู่อะมิโน ($-NH_2$) ของไมนอกซิดิลสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของซิเตรทที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ดังแสดงในรูปที่ 4.6

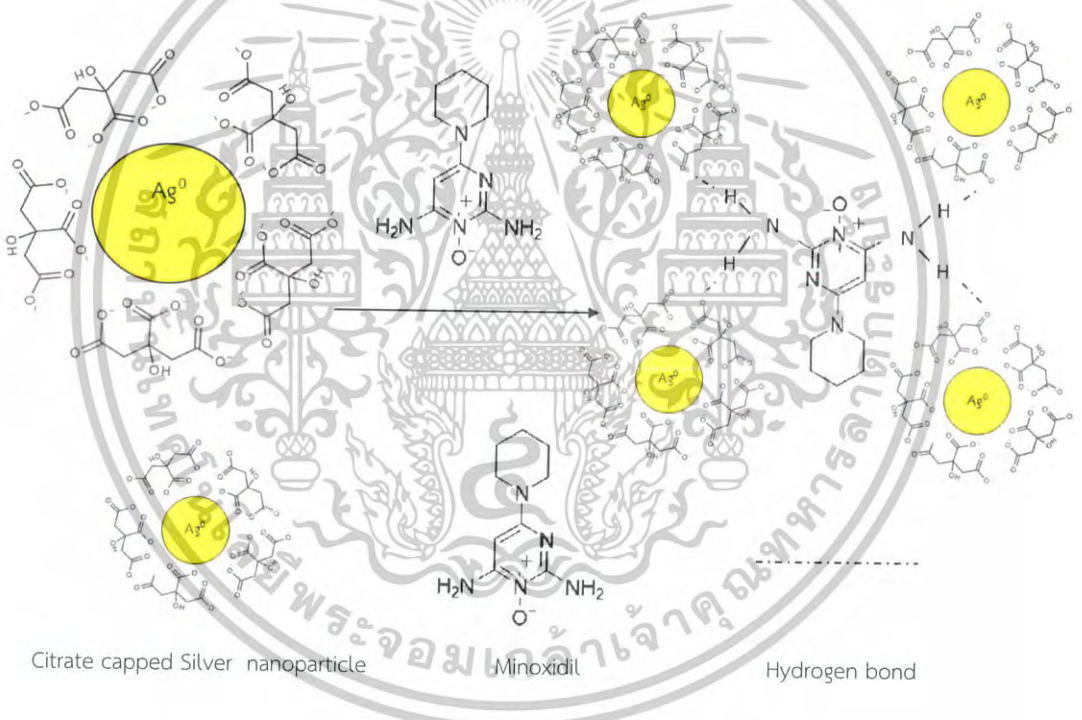


รูปที่ 4.4 แสดงสเปคตรัมการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, และ 5.0 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงภาพถ่าย TEM ของอนุภาคซิลเวอร์นาโน **(ก.)** เมื่อไม่มีการเติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลและ **(ข.)** เมื่อเติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล 5 mM



รูปที่ 4.6 อันตรกิริยาที่เป็นไปได้ระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับไมนอกซิดิล

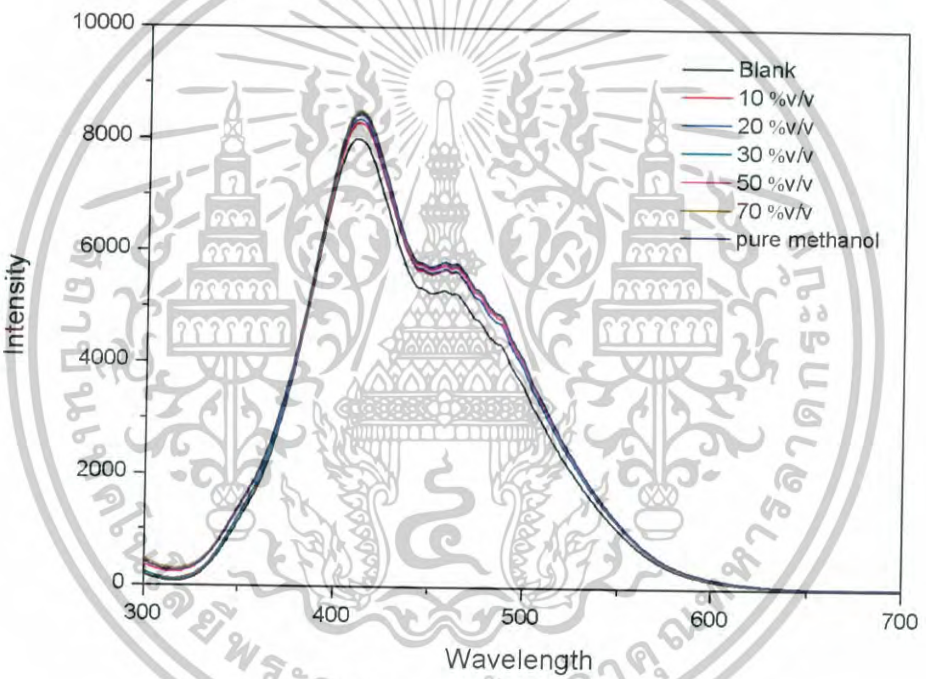
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของสภาวะต่างๆที่มีผลต่อการตรวจวัดไมนอกซิดิล

4.3.1 ผลความเข้มข้นของเมทานอลที่ใช้ในการเตรียมไมนอกซิดิล

เนื่องจากไมนอกซิดิลละลายในน้ำได้น้อย แต่ละลายได้ดีในเมทานอล ในงานวิจัยนี้จึงใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายไมนอกซิดิล โดยจะศึกษาผลของความเข้มข้นเมทานอลต่อการตรวจวัดไมนอกซิดิลที่เกิดอันตรกิริยากับอนุภาคนาโนซิลเวอร์

ทำการทดลองโดยนำสารละลายเมทานอลเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 50, 70 และ 99 %v/v ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร มาทำอันตรกิริยากับสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.03 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.7



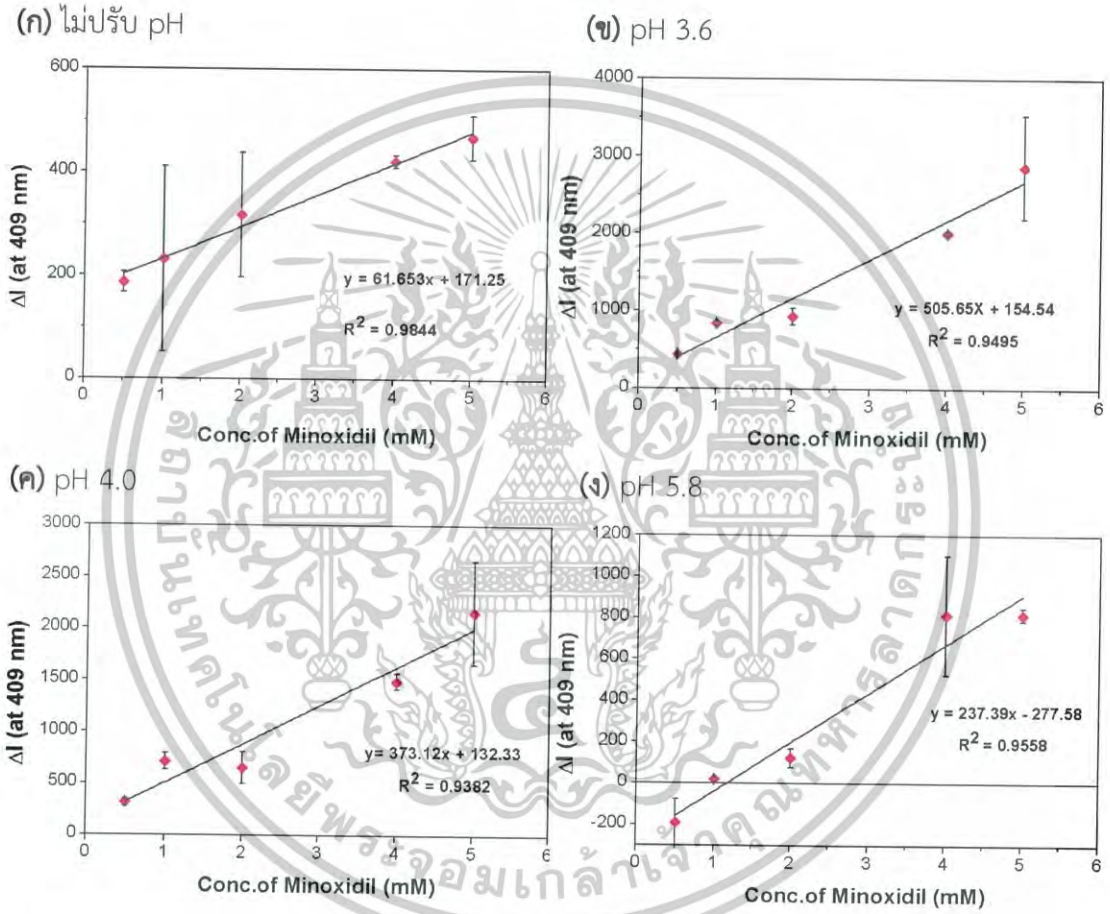
รูปที่ 4.7 สเปคตรัมการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายเมทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากรูปที่ 4.7 พบว่า ค่าความเข้มกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายเมทานอลเข้มข้นที่ความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น มีค่าความเข้มกระเจิงแสงที่ไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของเมทานอลไม่มีผลต่อค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จึงเลือกใช้เมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลของ pH ของสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในการตรวจวัด

นำสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ที่ pH 3.6, 4.0 และ 5.4 มาใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล ร่วมกับการใช้เมทานอลเข้มข้น 30 %v/v เป็นตัวทำละลาย แล้วนำสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้นต่างๆที่เตรียมได้ มาทำอันตรกิริยากับสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์วัดค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาทีหลังผสม และเปรียบเทียบกับที่ไม่ได้ใช้สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ในขั้นตอนการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟมาตรฐานซึ่งพล็อตระหว่างค่าการกระเจิงแสง (ΔI) ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร กับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล เมื่อ **(ก)** ไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลและมีการปรับพีเอชของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลด้วยสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ที่ **(ข)** pH 3.6, **(ค)** pH 4.0 และ **(ง)** pH 5.8

จากรูปที่ 4.8 พบว่า สารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ทำการปรับ pH ของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลด้วยสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ pH 3.6 ให้ค่าความชันของกราฟมาตรฐานที่ดีที่สุดเนื่องจากไมนอกซิดิลมีค่าคงที่การแตกตัว (pKa) เท่ากับ 4.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

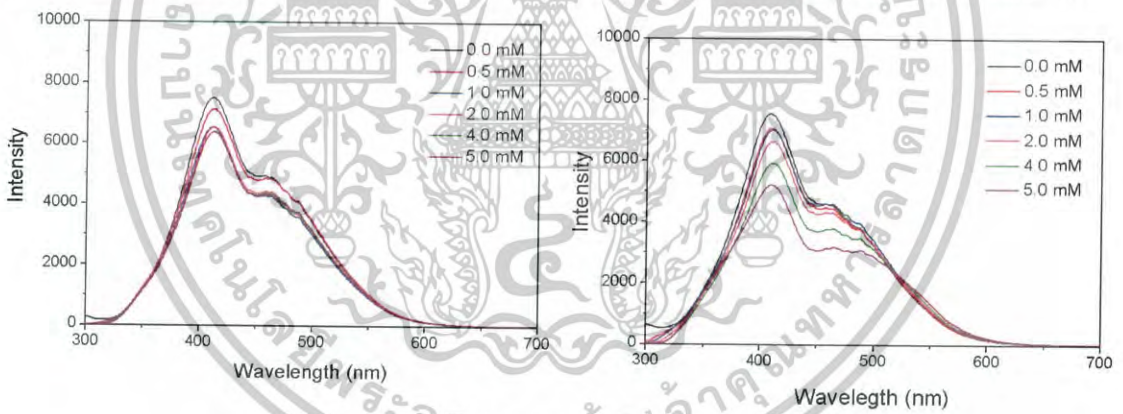
[12] เมื่อค่า pH ของสารละลาย คือ 3.6 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าคงที่การแตกตัวของไมนอกซิดิล ทำให้ไมนอกซิดิลอยู่ในสภาวะที่ถูก protonated จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของซิเตรทที่อยู่บนพื้นผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดการรวมตัวกัน จึงเลือกใช้สารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ pH 3.6 ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล

4.3.3 ผลของความเข้มข้นของอะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 3.6 ที่เหมาะสมในการตรวจวัด

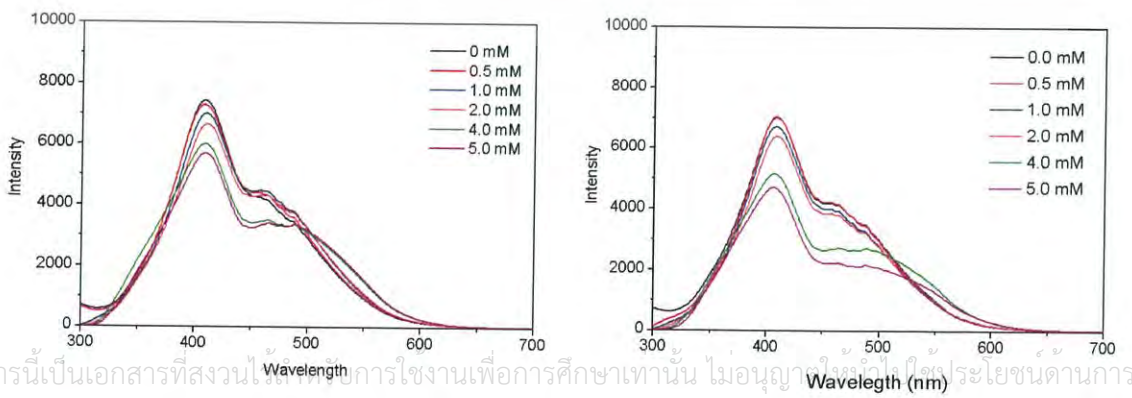
ความแรงไอออน (Ionic strength) อาจส่งผลต่อเสถียรภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และการตรวจวัดไมนอกซิดิล ในงานวิจัยนี้จึงทำการเปรียบเทียบผลของความเข้มข้นของอะซิเตทบัฟเฟอร์

ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลด้วยสารละลายโซเดียมอะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 3.6 เข้มข้น 0.01, 0.025 และ 0.05 โมลาร์ และที่ไม่ได้เตรียมด้วยสารละลายโซเดียมอะ-ซิเตทบัฟเฟอร์ มาทำอันตรกิริยากับสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.9

(ก) ไม่ใช้อะซิเตทบัฟเฟอร์ **(ข)** ใช้อะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 3.6 เข้มข้น 0.01 โมลาร์



(ค) ใช้อะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 3.6 เข้มข้น 0.025 โมลาร์ **(ง)** ใช้อะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 3.6 เข้มข้น 0.05 โมลาร์



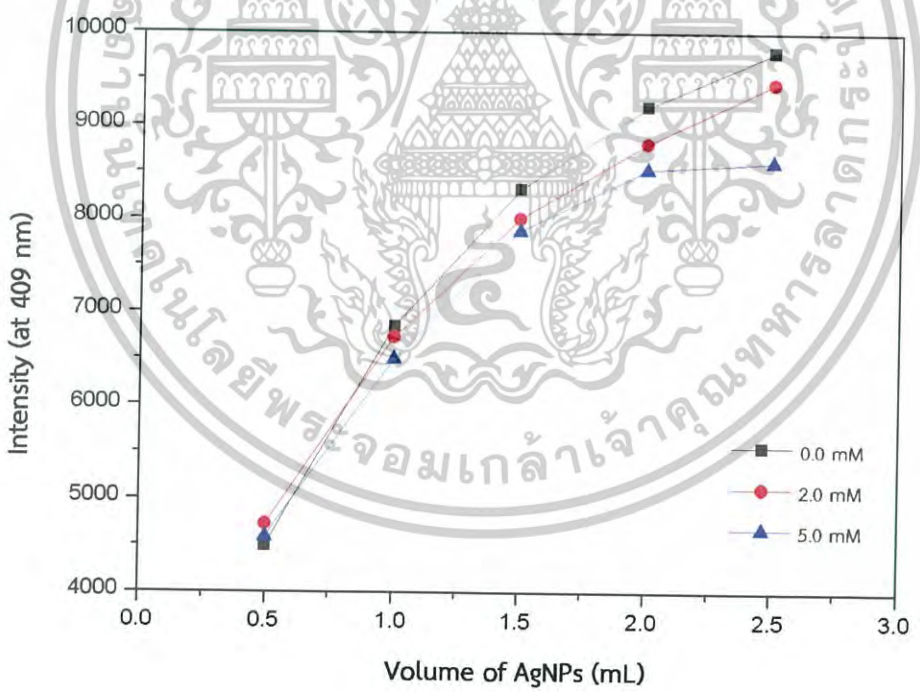
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.9 สเปคตรัมการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้นต่างๆ เมื่อ **(ก)** ไม่ใช้อะซิเตทบัฟเฟอร์ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล **(ข)** เมื่อใช้อะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 3.6 เข้มข้น 0.01 โมลาร์ **(ค)** 0.025โมลาร์ และ **(ง)** 0.05โมลาร์ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล

จากรูปที่ 4.9 พบว่าสเปกตรัมการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร ของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ถูกเตรียมด้วยสารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.025 โมลาร์ให้สเปคตรัมที่มีการแยกกันอย่างชัดเจน จึงเลือกใช้สารละลายโซเดียมอะซิเตทเข้มข้น 0.025 โมลาร์ ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล

4.3.4 ผลของปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ทำอันตรกิริยากับไมนอกซิดิล

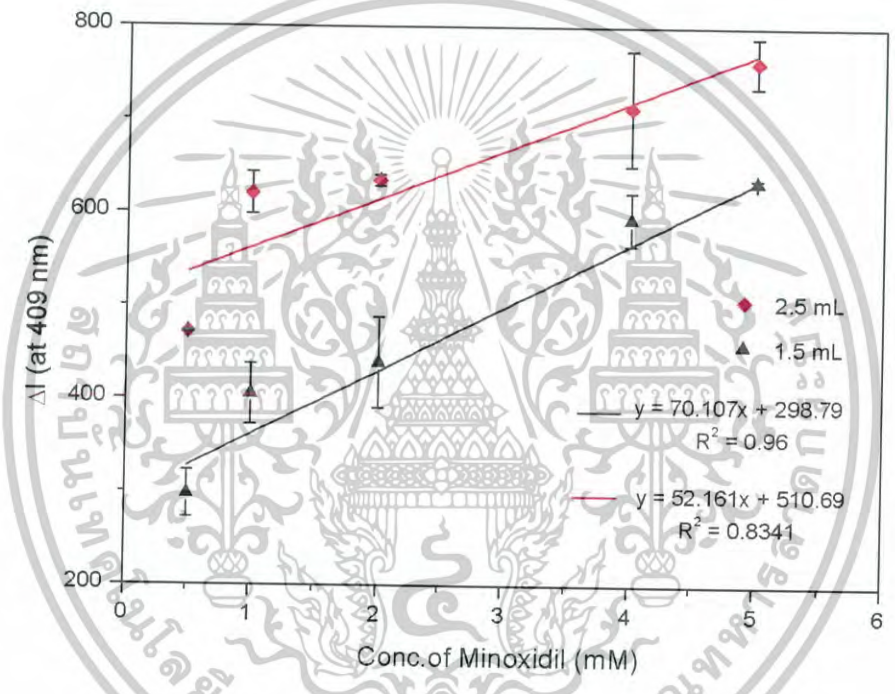
นำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ปริมาตร 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิลิตร มาทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 2.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสม ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 และ 2.5 มิลลิลิตร ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับค่าความเข้มการกระเจิงแสงอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 พบว่าเมื่อใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลจะให้ความแตกต่างของสัญญาณชัดเจนที่สุด อย่างไรก็ตามค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และไม่มีการเติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลลงไป มีค่าใกล้ 10000 ซึ่งเป็นค่าสูงสุดที่เครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์วัดได้ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาค่าการกระเจิงแสงเกินขีดจำกัดที่เครื่องจะวัดได้ ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกทำการเปรียบเทียบปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ 1.5 และ 2.5 มิลลิลิตร ในการทำอันตรกิริยากับไมนอกซิดิล เพื่อหาค่าความเป็นเส้นตรงที่ดีที่สุด โดยนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ปริมาตร 1.5 และ 2.5 มิลลิลิตร มาทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์ผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.11



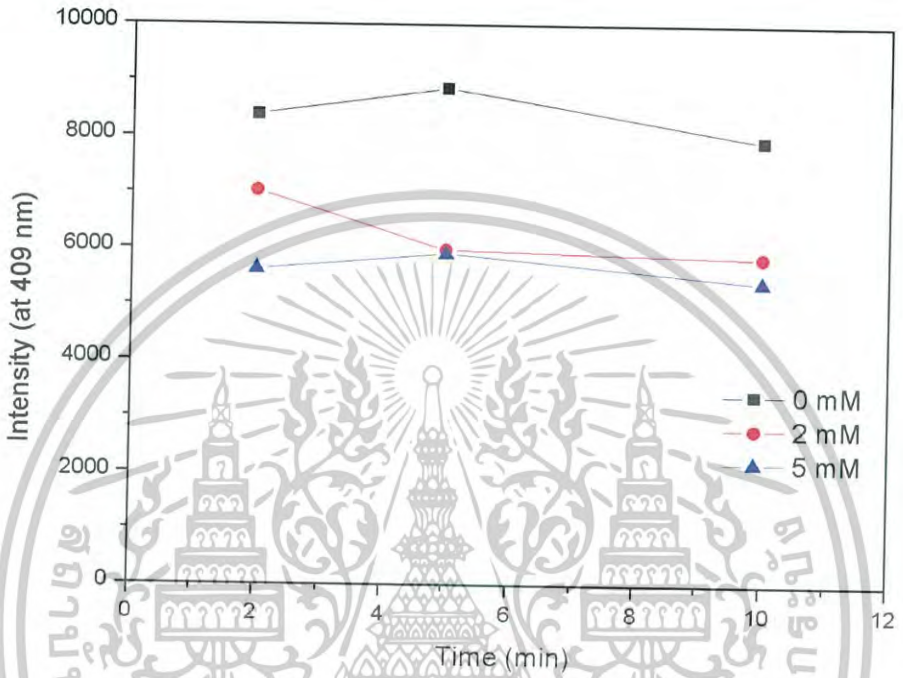
รูปที่ 4.11 กราฟมาตรฐานระหว่างสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์กับค่าความต่างของความเข้มกระเจิงแสง (ΔI) อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร ($\Delta I = I_{blank} - I_{minoxidil}$) เมื่อใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ปริมาตร 1.5 และ 2.5 มิลลิลิตร ในการทำอันตรกิริยากับไมนอกซิดิล

จากรูปที่ 4.11 พบว่าเมื่อใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ในการทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล จะให้ค่าความเป็นเส้นตรงที่ดีที่สุด จึงได้เลือกใช้ปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ 1.5 มิลลิลิตรในการทำอันตรกิริยากับไมนอกซิดิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5 ผลของเวลาในการทำอันตรกิริยาที่เหมาะสมในการตรวจวัด

ทำการทดลองโดยนำสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0, 2.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร มาทำอันตรกิริยากับสารละลายนาโนซิลเวอร์ ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2, 10 และ 20 นาที หลังจากการผสม ซึ่งผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการตรวจวัด ที่ 2, 10 และ 20 นาที กับค่าความเข้มกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร ($\Delta I = I_{blank} - I_{minoxidil}$)

จากรูปที่ 4.12 พบว่าค่าความเข้มกระเจิงแสงมีความสัมพันธ์แปรตามความเข้มข้นของไมนอกซิดิล และพบว่าที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสมให้สัญญาณที่ได้แยกออกจากกันชัดเจน และเพื่อความรวดเร็วในการวิเคราะห์ จึงเลือกใช้เวลาตรวจวัด ณ เวลา 2 นาที หลังจากการผสม

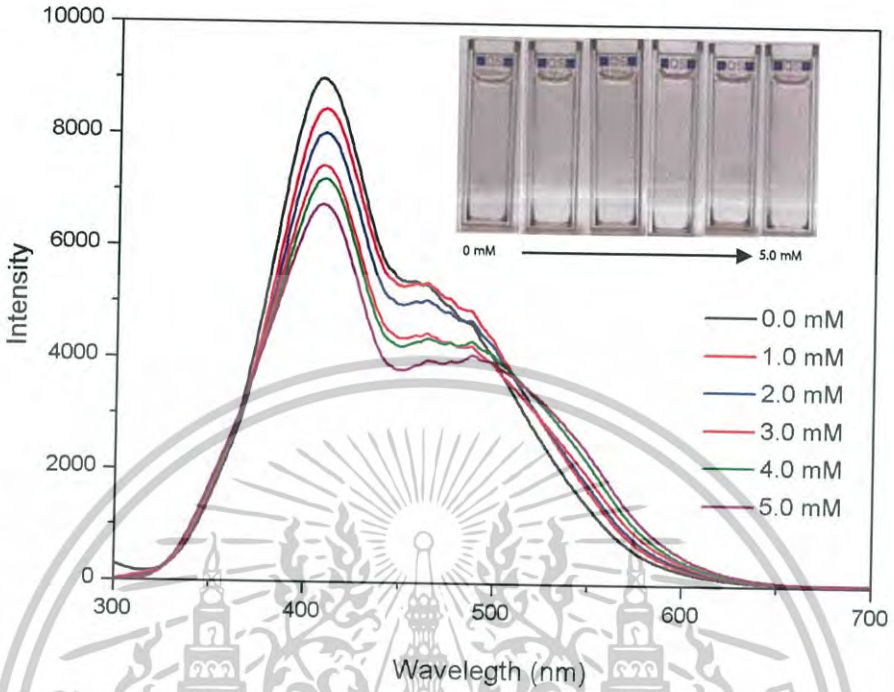
4.4 คุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ไมนอกซิดิลที่พัฒนาขึ้น

4.4.1 ความเป็นเส้นตรง

จากสภาวะที่เหมาะสม นำสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร มาทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้น 0, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิเตอร์ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสมทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง ได้สเปกตรัมการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ แสดงดังรูปที่ 4.13 (ก)

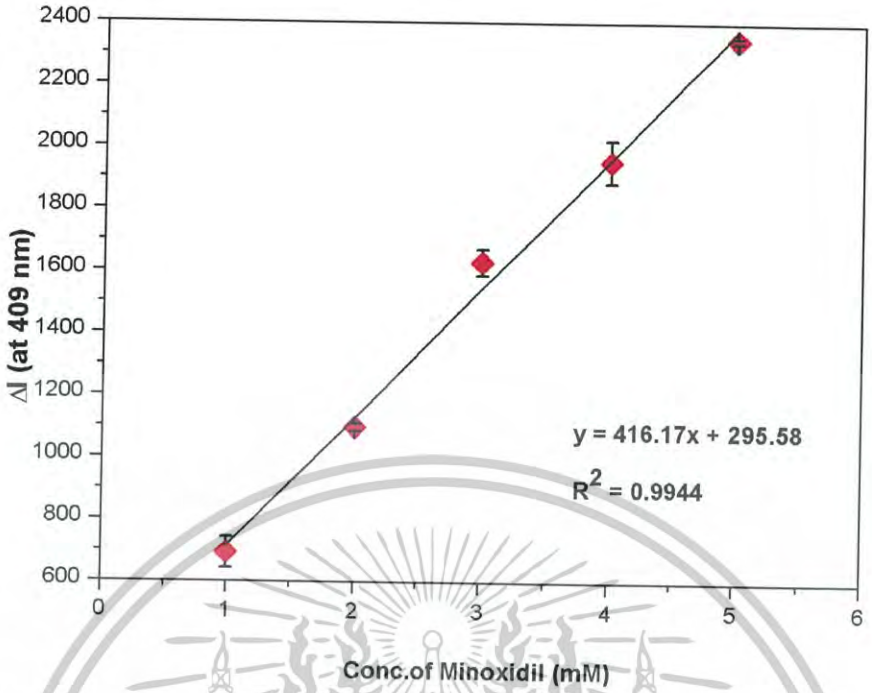


รูปที่ 4.13 (ก) สเปคตรัมความเข้มกระเจิงแสง และสีของสารละลายของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้นต่างๆ

จากรูปที่ 4.13 (ก) พบว่าสีของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีอย่างชัดเจน ยังคงเป็นสีเหลืองดังเดิมแม้เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลอย่างไรก็ตามสเปคตรัมค่าความเข้มแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร มีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลแปรผกผันกับค่าความเข้มแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

เมื่อสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าความเข้มกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตรกับความเข้มของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล ได้กราฟมาตรฐานดังรูปที่ 4.13 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 (ข) กราฟมาตรฐานระหว่างสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้น 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 และ 5.0 มิลลิโมลาร์กับค่าความต่างของความเข้มกระเจิงแสง (ΔI) อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร (ΔI = Iblank – Iminoxidil)

กราฟมาตรฐานมีค่าความเป็นเส้นตรงในช่วงความเข้มข้น 0.5 ถึง 5 มิลลิโมลาร์รูปที่ 4.12 (ข) มีสมการเส้นตรงคือ y = 416.17x + 295.58 และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.994 ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจนี้อยู่ในช่วงที่ดี

4.4.2 ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD)

จากสภาวะที่เหมาะสม ทำการทดลองโดยนำสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร มาทำอันตรกิริยากับสารละลายแบลงค์ปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสมทำการทดลองซ้ำจำนวน 6 ซ้ำ บันทึกค่าความเข้มแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่บันทึกได้ (ตารางที่ 4.3) มาคำนวณหาค่า LOD ด้วยวิธีคำนวณดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ (สารละลายแบลงค์) จำนวน 6 ซ้ำ

ความเข้มข้นของไมนอกซิดิล(mM)	ค่าความเข้มของการกระเจิงแสง						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	เฉลี่ย ($\bar{x}$)
0	8962.76	8928.2	8977.79	9128.67	9032.15	8907.19	8989.46

คำนวณค่า SD จากสูตร

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

SD = 80.712

นำค่า SD ที่คำนวณได้ แทนค่าในสูตร LOD

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

โดยใช้ค่าความชัน (Slope) ของกราฟมาตรฐานในรูปที่ 4.13 (ข) จะได้

LOD = 0.58 มิลลิโมลาร์

จากวิธีการคำนวณข้างต้นพบว่า วิธีการตรวจวัดนี้มีค่า LOD เท่ากับ 0.58 มิลลิโมลาร์

4.4.3 ความเที่ยงของการวิเคราะห์ (Precision)

ประเมินค่าความเที่ยงจากค่า %RSD โดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 6 ซ้ำ ของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ นำค่าความเข้มแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่บันทึกไว้ ในตารางที่ 4.4 ไปคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นนำไปคำนวณค่า %RSD ดังตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร เมื่อทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ จำนวน 6 ซ้ำ

ความเข้มข้นของไมนอกซิดิล (mM)	ค่าความเข้มของการกระเจิงแสง						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	เฉลี่ย ($\bar{x}$)
1	8004.27	7994.15	7978.07	7949.21	8005.8	8086.68	8003.03

คำนวณค่า SD ของความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ได้

SD = 23.4957

นำค่า SD ที่คำนวณได้ แทนค่าในสูตรการหา %RSD จากสูตร

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

$$= \frac{23.4957}{8003.03} \times 100$$

%RSD = 0.29

วิธีการคำนวณ %RSD ของความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์ สามารถทำได้ทำนองเดียวกัน โดยอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 4.3 โดยค่า %RSD ของความเข้มข้น 0 มิลลิโมลาร์คำนวณได้ เท่ากับ 0.90

ความเที่ยงของวิธีการวิเคราะห์ไมนอกซิดิลด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ สามารถพิจารณาจากค่า %RSD โดยวิธีการวิเคราะห์นี้มีค่าต่ำกว่า 1 %RSD แสดงว่าวิธีการตรวจวัดนี้สามารถตรวจวัดได้ค่าใกล้เคียงเดิม เมื่อทำการวัดซ้ำหลายๆ ครั้งในสภาวะการตรวจวัดแบบเดิม ดังนั้นวิธีการตรวจวัดนี้จึงมีความเที่ยงสูง

4.5 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณไมนอกซิดิลในตัวอย่างยาปลูกผม

ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A และ B มาทำอันตรกิริยากับสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตรโดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสมบันทึกค่าความเข้มแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่บันทึกได้มาคำนวณเป็นความเข้มข้นของไมนอกซิดิล ดังแสดงในตารางที่ 4.5

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ความยาวคลื่น 409 นาโน ที่วิเคราะห์ได้จากสารตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A และ B

สารตัวอย่าง	ΔI	ความเข้มข้นของไมนอกซิดิล (mM)	เฉลี่ย
ยี่ห้อ A	1068.52	1.86	1.84±0.02
	1055.3	1.83	
	1056.55	1.83	
ยี่ห้อ B	1071.48	1.86	2.09±0.58
	1263.92	2.33	
	1171.72	2.10	

โดยแทนค่าในสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน $y = 416.17x + 295.58$ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 (ข) และนำค่าความเข้มข้นของไมนอกซิดิลที่วิเคราะห์ได้ ดังวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้

<u>คำนวณความเข้มข้นย้อนกลับเทียบกับฉลากข้างขวดของตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A</u>

สารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A วิเคราะห์ได้เป็นความเข้มข้นได้เท่ากับ 1.84 มิลลิโมลาร์

ในสารละลาย 1000 mL มีไมนอกซิดิลอยู่ 1.84×10^{-3} mol

ในสารละลาย 10 mL มีไมนอกซิดิลอยู่ $= 1.84 \times 10^{-5}$ mol

โดยในการทดลองจะปิเปตสารตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A มา 0.208 mL ละลายเป็น 10 mL ดังนั้นจะได้ว่า ในสารละลายตัวอย่าง A 0.208 mL มีไมนอกซิดิลเท่ากับ 1.84×10^{-5} mol

เพราะฉะนั้นใน 100 mL ของสารละลายตัวอย่างจะมีไมนอกซิดิลอยู่เท่ากับ 8.84×10^{-3} mol $\dfrac{1.84 \times 10^{-5} \times 100}{0.208}$

โดยที่ไมนอกซิดิลมีมวลโมเลกุล (MW) เท่ากับ 209.25 g/mol แทนค่าจะได้ปริมาณไมนอกซิดิล $= 8.84 \times 10^{-3}$ mol $\times$ 209.25 g/mol $= 1.85$ กรัม นั่นคือในสารละลาย 100 มิลลิลิตร จะมีไมนอกซิดิลอยู่ 1.85 กรัม หรือคิดเป็น 1.85 %w/v

<u>คำนวณความเข้มข้นย้อนกลับเทียบกับฉลากข้างขวดของตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ B</u>

สารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ B วิเคราะห์ได้เป็นความเข้มข้นได้เท่ากับ 2.09 มิลลิโมลาร์

ในสารละลาย 1000 mL มีไมนอกซิดิลอยู่ 2.09×10^{-3} mol

ในสารละลาย 10 mL มีไมนอกซิดิลอยู่ $= 2.09 \times 10^{-5}$ mol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในการทดลองจะปิเปตสารตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ B มา 0.084 mL ละลายเป็น 10 mL ดังนั้นจะได้ว่า ในสารละลายตัวอย่าง A 0.084 mL มีไมนอกซิดิล เท่ากับ 2.09×10^{-5} mol

เพราะฉะนั้นใน 100 mL ของสารละลายตัวอย่างจะมีไมนอกซิดิลอยู่ เท่ากับ 0.025 mol $\frac{2.09 \times 10^{-5} \times 100}{0.084}$

โดยที่ไมนอกซิดิลมีมวลโมเลกุล (MW) เท่ากับ 209.25 g/mol แทนค่าจะได้ปริมาณไมนอกซิดิล = 0.025 mol x 209.25 g/mol = 5.21 กรัม นั่นคือในสารละลาย 100 มิลลิลิตร จะมีไมนอกซิดิลอยู่ 5.21 กรัม หรือคิดเป็น 5.21 %w/v

ผลจากการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นเทียบกับที่ระบุข้างฉลากแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณไมนอกซิดิลในยาปลูกผม เมื่อเทียบกับความเข้มข้นที่ระบุบนกับฉลากข้างขวด

สารตัวอย่าง	ความเข้มข้นของไมนอกซิดิล (%w/v)	
	วิธีอนุภาคนาโนซิลเวอร์	ระบุบนฉลาก
ยี่ห้อ A	1.85 ± 0.02	2
ยี่ห้อ B	5.21 ± 0.58	5

จากการคำนวณความเข้มข้นย้อนกลับเทียบกับฉลากข้างขวดพบว่าตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A มีความเข้มข้นของไมนอกซิดิลอยู่ที่ 1.85 ± 0.02 %w/v และตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ B มีความเข้มข้นของไมนอกซิดิลอยู่ที่ 5.21 ± 0.58 %w/v ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณที่ระบุข้างฉลากคือ 2% และ 5% ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีวิเคราะห์นี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดไมนอกซิดิลในตัวอย่างยาปลูกผมได้

4.5.1 ความแม่นของวิธีวิเคราะห์ (Accuracy)

ประเมินความแม่นของวิธีวิเคราะห์โดยพิจารณาจากค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ ทำการทดลองโดยเตรียมสารละลายตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A และ B ที่ไม่เติม/เติมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลเข้มข้น 3.0 มิลลิโมลาร์ลงไปและมาทำอันตรกิริยากับสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ นำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังจากการผสมบันทึกค่าความเข้มแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าที่บันทึกได้ ดังตารางที่ 4.7 มาคำนวณเป็นความเข้มข้นของไมนอกซิดิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เมื่อไม่เติม/เติม สารมาตรฐานไมนอกซิดิล

สารตัวอย่าง/สารมาตรฐาน	ความเข้มกระเจิงแสง ΔI (blank-minoxidil)	
	ไม่เติมสารมาตรฐาน	เติมสารมาตรฐานเข้มข้น 3.0 mM
ยี่ห้อ A	519.01	2166.08
	935.06	2143.49
	508.63	2115.3
	เฉลี่ย 654.23	เฉลี่ย 2141.62
ยี่ห้อ B	845.22	2202.51
	768.82	2355.64
	959.7	2316.85
	เฉลี่ย 857.91	เฉลี่ย 2291.67
สารมาตรฐานเข้มข้น 3 mM		1826
		1655.03
		1957.57
		เฉลี่ย 1812.87

โดยแทนค่าในสมการเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน y = 416.17x + 295.58 ดังรูปที่ 4.13 (ข) และนำค่าความเข้มข้นของไมนอกซิดิลที่วิเคราะห์ได้ไปคำนวณค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับด้วยวิธีการคำนวณจากสูตร

$$\text{Recovery (\%)} = \frac{\text{[Spike sample] - [Sample]}}{\text{[Standard]}} \times 100$$

นำค่าความเข้มกระเจิงแสงในตารางที่ 4.7 แทนในสมการเส้นตรง เพื่อคำนวณเป็นความเข้มข้นไมนอกซิดิล จากนั้นแทนความเข้มข้นไมนอกซิดิลที่ได้ดังนี้

<u>ค่า Recovery ของตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ A</u>

$$\text{Recovery (\%)} = \frac{4.44 - 0.86}{3.65} \times 100$$

$$= 98.1\ \%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Recovery ของตัวอย่างยาปลูกผมยี่ห้อ B

$$\text{Recovery (\%)} = \frac{4.79 - 1.35}{3.65} \times 100$$

$$= 94.2\ \%$$

จากผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง A และ B พบว่าความแม่นของวิธีการวิเคราะห์โมนอกซิดิลด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ประเมินจากค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ เฉลี่ยอยู่ในช่วง 94.2-98.1 ซึ่งถือว่ามีความแม่นที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในโครงงานพิเศษนี้ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไมนอกซิดิลในยาปลูกผมโดยอาศัยการเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ติดตามค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ซึ่งทำการตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ โดยตรวจวัดที่เวลา 2 นาที หลังการจากผสมพบว่า ค่าความเข้มแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์แปรผกผันกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล ที่ความยาวคลื่น 409 นาโนเมตร นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิดิล ได้แก่ วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อการตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิดิล ความเข้มข้นของเมทานอล ค่า pH และความเข้มข้นของอะซิเตทบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิล ปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ใช้ในการทำอันตรกิริยา และเวลาที่ใช้ในการทำอันตรกิริยา

เริ่มจากทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้สารละลายโซเดียมซิเตรทเป็นตัวรักษาเสถียรภาพและสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ ได้สารละลายเหลือง ตรวจวัดค่าความเข้มแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร พบค่าความเข้มแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์สูงสุดที่ 409 นาโนเมตร อนุภาคที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเฉลี่ย 38.2 ± 2.8 นาโนเมตร

สภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวิเคราะห์ไมนอกซิดิล ทำการตรวจวัดโดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ทำอันตรกิริยากับสารละลายมาตรฐานไมนอกซิดิลปริมาตร 2.0 มิลลิลิตร ที่เตรียมโดยใช้เมทานอลเข้มข้น 30 %v/v ปริมาตร 3 มิลลิลิตรและเติมสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.025 โมลาร์ pH 3.6 ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโทรฟลูออโรมิเตอร์ในช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร เวลาที่ใช้ในการตรวจวัด คือ 2 นาที หลังจากการผสม

จากการประเมินคุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์ไมนอกซิดิลที่พัฒนาขึ้นนี้ พบกราฟมาตรฐานของวิธีวิเคราะห์มีช่วงความเป็นเส้นตรงในช่วง 1-5 มิลลิโมลาร์ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ เท่ากับ 0.994 และเมื่อทำการทดลองซ้ำ 6 ซ้ำได้ค่าความเที่ยง (%RSD) ต่ำกว่า 1% ค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับเฉลี่ยอยู่ในช่วง 94-98 % นอกจากนี้ขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัดมีค่าเท่ากับ 0.58 มิลลิโมลาร์ ซึ่งถือว่าวิธีวิเคราะห์นี้ มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ความเที่ยง ความแม่น และมีขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์อยู่ในระดับที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ควรเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้กับวิธีวิเคราะห์มาตรฐาน ว่าให้ค่าใกล้เคียงกันมากน้อยเพียงใด เพื่อยืนยันความน่าเชื่อถือของวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] R. Dhurat, J. Chitallia, T.W. May, A.M. Jayaraaman, J. Madhukara, S. Anandan, P. Vaidya and A. Klenk. 2017. "**An open-label randomized multicenter study assessing the noninferiority of a caffeine-based topical liquid 0.2% versus minoxidil 5% solution in male androgenetic alopecia.**" Skin Pharmacol Physiol. 30 : 298-305.

[2] E.A. Olsen, F.E. Dunlap, T. Funicella, J.A. Koperski, J.M. Swinehart, E.H. Tschen and R.J. Trancik. 2002. "**A randomized clinical trial of 5% topical minoxidil versus 2% topical minoxidil and placebo in the treatment of androgenetic alopecia in men.**" The American Academy of Dermatology. 47 : 377-385.

[3] M. Darroudi, M.B. Ahmad, R. Zamiri, A. Halim Abdullah, N. Azowa Ibrahim, K. Shameli and M. Shahril Husin. 2010. "**Preparation and characterization of gelatin mediated silver nanoparticles by laser ablation.**" Journal of Alloys and Compounds. 509 : 1301-1304.

[4] L. Faxian, L. Jie and C. Xueling. 2017. "**Microwave-assisted synthesis silver nanoparticles and their surface enhancement raman scattering.**" Rare Metal Materials and Engineering. 46 : 2395-2398.

[5] A. Jinnarak and S. Teerasong. 2016. "**A novel colorimetric method for determination of gamma-aminobutyric acidbased on silver nanoparticles.**" Sensors and Actuators B. 229 : 315-320.

[6] J. Krajczewski, V. Joubert and A. Kudelski. 2014. "**Light-induced transformation of citrate-stabilized silver nanoparticles: Photochemical method of increase of SERS activity of silver colloids.**" Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 456 : 41-48.

[7] M.K. Rabinal, M.N. Kalasad, K. Praveenkumar, V.R. Bharadi and A.M. Bhikshavartimath. 2013. "**Electrochemical synthesis and optical properties of organically capped silver nanoparticles.**" Journal of Alloys and Compounds. 562 : 43-47.

[8] Z.A. Zaheer, S. Mirza, I. Moazzam and I.W. Sayad. 2012. "**UV-Spectrophotometric determination of minoxidil and its application to the assay in pharmaceutical dosage forms.**" Der Pharma Chemica. 4 : 568-573.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[9] T. Huang, M.E. Garceau, T. Ramstad and R.G. Stehle. 2005. "**Rapid determination of trace amounts of minoxidil in hamster skin follicles with various formulations using narrow-bore LC/EC.**" Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 38 : 532-536.

[10] A. Zarghi, A. Shafaati, S.M. Foroutan and A. Khoddam. 2004. "**Rapid determination of minoxidil in human plasma using ion-pair HPLC.**" Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 36 : 377-379.

[11] A. Ruiz-Medina, M.L. Fernandez-de Cordova and A. Molina-Diaz. 1999. "**Integrated flow injection-solid phase spectrophotometric determination of minoxidil.**" Talanta. 50 : 277-282.

[12] S.C. Patterson, T. Ramstad and K.A Mill. 2005. "**Development and validation of a procedure for the determination of minoxidil in hair-regrowth formulations using two variants of capillary zone electrophoresis.**" IL Farmaco. 60 : 547-554.

[13] G. Gibson, T. Ramstad, K.A. Mills and M.J. Dunn. 2005. "**A method for the determination of minoxidil in hair-regrowth formulations by micellar electrokinetic capillary chromatrography.**" IL Farmaco. 60 : 847-853.

[14] N. Karimian, M.B. Gholivand and F. Taherkhani. 2015. "**Computational design and development of a novel voltammetric sensor for minoxidil detection based on electropolymerized molecularly imprinted polymer.**" Journal of Electroanalytical Chemistry. 740 : 45-52.

[15] M. Shamsipur, A. Pashabadi, A. (Aman) Taherpour, B. Hemmateenejed, T. Khosousi and M. Hadi Parvin. 2016. "**Synthesis and characterization of glucose-capped CdSe quantum dots. Electrochemical and computational studies of corresponding carbon-ionic liquid electrode for quantitative determination of minoxidil.**" Journal of Electroanalytical Chemistry. 778 : 116-125.

[16] R. Yadav, P.N. Patel and V.N. Lad. 2017. "**Detection of vasodilator drugs through microwave spectroscopy of AuNP colorimetric probes using a microwave metallic photonic crystal-inspired resonant probe.**" RSC Adv. 7 (2017) : 30784-30791.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[17] R. Yadav, P.N. Patel, R. Kumari and V.N. Lad. 2017."**Development of a metallic photonic bandgap-inspired probe for detection of weak basic dissociation constant drug in bio-fluid.**" IEEE Sensors Journal. 17 : 5410-5418.

[18] "**Minoxidil คืออะไร? กลไกในการรักษาผมร่วงของ Minoxidil**". [Online]. Available : https://rogainethailand.com/minoxidil-คืออะไร/

[19] "**วงจรชีวิตของเส้นผม และการใช้ยาปลูกผมเพื่อรักษาผมร่วง**". [Online]. Available : https://rogainethailand.com/ยาปลูกผม-วงจรชีวิตของผม/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ของการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดไมนอกซิดิล

ตาราง ก-1 ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ของการศึกษาคุณลักษณะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้

ความเข้มข้นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เจือจางลง (เท่า) จากเริ่มต้นที่สังเคราะห์ได้	ความเข้มแสง
0	10000
2	10000
3	10000
5	10000
10	10000
15	8708.27
20	6747.19

ตาราง ก-2 ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ของการศึกษาความไปเป็นได้ในการใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการตรวจวัดไมนอกซิดิล

Concentration of Minoxidil (mM)	ความเข้มแสง	ΔI
0.0	8192.39	0
0.5	8005.82	186.57
1.0	7960.32	232.07
2.0	7874.885	317.505
4.0	7770.28	422.11
5.0	7723.74	468.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-3 ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ของการศึกษาความเข้มข้นของเมทานอลที่ใช้ในการเตรียมไมนอกซิดิล

concentration of methanol (%v/v)	ความเข้มแสง	ΔI (I minoxidil- I blank)
0	8196.595	-15.08
10	8240.055	28.38
20	8077.445	-134.23
30	8395.79	184.115
50	8404.96	193.285
70	8510.095	298.42
100	8434.8	223.125

ตาราง ก-4 ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ของการศึกษา pH ของสารละลายอะซิเตทบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในการตรวจวัด

concentration of minoxidil (mM)	ความเข้มแสง			
	ไม่มีการปรับ pH	0.1 M Acetate buffer pH 3.6	0.1 M Acetate buffer pH 4.0	0.1 M Acetate buffer pH 5.4
0.0	8192.39	8096.565	7465.905	7164.705
0.5	8005.82	7659.385	7465.905	7356.88
1.0	7960.32	7252.54	7465.905	7146.625
2.0	7874.885	7166.205	7465.905	7042.88
4.0	7770.28	6082.49	7465.905	6349.9
5.0	7723.74	5228.895	7465.905	6347.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-5 ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ของการศึกษาความเข้มข้นของอะซิเตทบัฟเฟอร์ pH 3.6 ที่เหมาะสมในการตรวจวัด

concentration of minoxidil (mM)	ความเข้มแสง			
	ไม่เติมบัฟเฟอร์	0.01 M Acetate buffer pH 3.6	0.025 M Acetate buffer pH 3.6	0.05 M Acetate buffer pH 3.6
0	7543.51	7506.435	7415.135	6877.3
0.5	6853.8	7095.745	7139.355	7005.705
1	6573.575	6973.285	6855.165	6723.345
2	6529.68	6641.875	6518.26	6441.605
4	6414.77	5975.93	6062.06	5200.935
5	6367.545	5512.335	5670.615	4961.985

ตาราง ก-6 ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ของการศึกษาเวลาในการทำปฏิกิริยา

Time (min)	ความเข้มแสง		
	0 mM	1 mM	5 mM
3	8056.78	7731.705	7894.2425
10	8128.26	7736.45	8017.515
วางทิ้งไว้ 20	8227.845	7545.315	7590.23

ตาราง ก-7 ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ของการศึกษาความเป็นเส้นตรง

concentration ofminoxidil (mM)	ความเข้มแสง	ΔI (I blank - I minoxidil)
0.0	9087.94	0
1.0	8394.685	693.255
2.0	7990.64	1097.3
3.0	7457.6	1630.34
4.0	7134.33	1953.61
5.0	6741.985	2345.955

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก-8 ค่าการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ของการศึกษาความแม่นของการวิเคราะห์

สารตัวอย่าง/สารมาตรฐาน	ความเข้มกระเจิงแสง	
	ไม่เติมสารมาตรฐาน	เติมสารมาตรฐานเข้มข้น 3.0 mM
ยี่ห้อ A	7752.81 7336.76 7763.19	6105.74 6128.33 6156.52
	เฉลี่ย 7617.58	เฉลี่ย 6130.19
ยี่ห้อ B	7426.6 7503 7312.12	6069.31 5916.18 5954.97
	เฉลี่ย7413.91	เฉลี่ย5980.15
สารมาตรฐานเข้มข้น 0 mM (blank)		8147.76 8502.08 8165.62
		เฉลี่ย 8271.82
สารมาตรฐานเข้มข้น 1 mM		6445.82 6616.79 6314.25
		เฉลี่ย 6458.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้