การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน

STUDY OF INTERACTION BETWEEN MELAMINE MODIFIED SILVER NANOPARTICLES AND TERBUTALINE

ปราจรีย์ มะยมทอง
พงศ์พัฒน์ ศรีมงคลพิทักษ์
พรชัย แช่มตา

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน

STUDY OF INTERACTION BETWEEN MELAMINE MODIFIED SILVER NANOPARTICLES AND TERBUTALINE

T149211

ปราจรีย์ มะยมทอง
พงศ์พัฒน์ ศรีมงคลพิทักษ์
พรชัย แช่มตา

วท.
ว442ป
2559
เลขหมู่ 149211
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 29 ธ.ค. 2561
b12882443
1

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF INTERACTION BETWEEN MELAMINE MODIFIED SILVER NANOPARTICLES AND TERBUTALINE

PRAJAREE MAYOMTHONG
PONGPAT SRIMONGKOLPITAK
PORNCHAI CHAMTA

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 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน Study of Interaction between Melamine Modified Silver Nano-particles and Terbutaline.			
ชื่อนักศึกษา	นางสาวปราจรีย์	มะยมทอง	รหัสนักศึกษา	55050723
	นายพงศ์พัฒน์	ศรีมงคลพิทักษ์	รหัสนักศึกษา	55050742
	นายพรชัย	แช่มตา	รหัสนักศึกษา	55050744
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)			
ภาควิชา	เคมี			
ปีการศึกษา	2558			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง			

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

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

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การศึกษาอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน			
ชื่อนักศึกษา	นางสาวปราจรีย์	มะยมทอง	รหัสนักศึกษา	55050723
	นายพงศ์พัฒน์	ศรีมงคลพิทักษ์	รหัสนักศึกษา	55050742
	นายพรชัย	แช่มตา	รหัสนักศึกษา	55050744
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)			
ภาควิชา	เคมี			
คณะ	วิทยาศาสตร์			
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)			
ปีการศึกษา	2558			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง			

บทคัดย่อ

ในโครงงานพิเศษนี้ ได้ทำการศึกษาอันตรกิริยาของเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน โดยเมลามีนจะถูกตรึงบนผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผ่านหมู่อะมิโนของเมลามีนด้วยพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์กับซิลเวอร์ เมื่อทำการเติมเทอร์บูทาลีนลงไป เมลามีนที่ปรับปรุงพื้นผิวอยู่บนอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเทอร์บูทาลีนที่หมู่อะมิโนและหมู่ไฮดรอกซิล เป็นผลให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสีจากสีเหลืองเป็นสีส้ม ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยอาศัยเทคนิคยูวี – วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน เช่น ชนิดของตัวกลาง ลำดับการเติมสาร อย่างไรก็ตาม ในสภาวะที่ทำการศึกษาในโครงงานพิเศษนี้ ให้ผลของค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน ซึ่งถือเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน ต้องทำการทดลองเพื่อศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีนต่อไป

คำสำคัญ: เทคนิคยูวี–วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี เทอร์บูทาลีน พันธะไฮโดรเจน เมลามีน อนุภาคนาโนซิลเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Study of Interaction between Melamine Modified Silver Nanoparticles and Terbutaline				
Students	Miss	Prajaree	Mayomthong	Student ID	55050723
	Mr.	Pongpat	Srimongkolpitak	Student ID	55050742
	Mr.	Pornchai	Chamta	Student ID	55050744
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)				
Department	Chemistry				
Faculty	Science				
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)				
Academic Year	2015				
Advisor	Asst.Prof.Dr.Saowapak Teerasong				

Abstract

In this work, Interaction of melamine modified silver nanoparticles (AgNPs) and terbutaline (TB) was studied. Melamine was modified on the AgNPs surface though the coordinate colvalent of $-NH_2$ in melamine and metallic silver. When introduced terbutaline into melamine modified AgNPs, hydrogen-bonding between $-NH_2$ and –OH of terbtaline and –NH2 of melamine was took place. This resulted in an aggregation of the AgNPs. Consequent color change of AgNPs from yellow to orange, which can be monitored by UV-Vis spectrophotometer, was thus observed. Important parameters which influence to the interaction between terbutaline and melamine modified AgNPs were investigation; for examples, type of medium, mixing sequence and etc. Unfortunately under studied conditions, the absorbance spectra are not proportional to the concentration of terbutaline. In a suggestion, other parameters should be further studied.

Keywords: hydrogen-bonding, melamine, silver nanoparticles (AgNPs), terbutaline, Uv-vis spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง ที่คอยให้คำปรึกษา ดูแลอย่างใกล้ชิด สอนทักษะการปฏิบัติงาน ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดีในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ กรรมการสอบโครงงานพิเศษ คือ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น และ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาวิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ พี่ๆ นักศึกษาปริญญาเอกและปริญญาโทห้องหน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ ที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือ รวมทั้งให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดูและอบรมสั่งสอนและเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงงานพิเศษขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ปราจรีย์ มะยมทอง
พงศ์พัฒน์ ศรีมงคลพิทักษ์
พรชัย แช่มตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์ ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 อนุภาคนาโนซิลเวอร์ 3
2.2 เทอร์บูทาลีน 4
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6
2.3.1 วิธีวิเคราะห์เทอร์บูทาลีนด้วยเทคนิคต่างๆ 6
2.3.2 การวิเคราะห์สารกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์โดยใช้อนุภาคนาโน 7
2.4 การวิเคราะห์เทอร์บูทาลีนในงานวิจัยนี้ 10
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 12
3.1 สารเคมี 12
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ 13
3.3 การเตรียมสารละลาย 13
3.3.1 สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ตามวิธีของ Behzad H. และ Somayyeh B. 13
3.3.2 สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ตามวิธีของ Ji-chun Q. et al. 14
3.3.3 สารละลายเมลามีน 14
3.3.4 สารละลายเทอร์บูทาลีน 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Behzad H. และ Somayyeh B. และทดสอบความเป็นไปได้ในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน 15
3.4.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Behzad H. และ Somayyeh B. 15
3.4.2 การทดลองหาความเข้มข้นสูงสุดของเมลามีนที่ไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 15
3.4.3 การศึกษาจลนศาสตร์ของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเมลามีน 15
3.4.4 การศึกษาการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน 16
3.5 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Ji-chun Q. et al. และทดสอบความเป็นไปได้ในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน 16
3.5.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Ji-chun Q. et al. 16
3.5.2 การทดลองหาความเข้มข้นสูงสุดของเมลามีนที่ไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 16
3.5.3 การศึกษาการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน 17
3.5.4 การศึกษาจลนศาสตร์ของอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน 17
3.5.5 การศึกษาชนิดของตัวกลางที่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน 18
3.5.5.1 ในสภาวะฟอสเฟสบัฟเฟอร์ 18
3.5.5.2 ในสภาวะกรดไฮโดรคลอริก 19
3.5.5.3 ในสภาวะกรดซัลฟิวริก 19
3.5.5.4 ในสภาวะกรดไนตริก 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 21
4.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Behzad H. และ Somayyeh B. และทดสอบความเป็นไปได้ในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน 21
4.1.1 ผลการทดลองหาความเข้มข้นสูงสุดของเมลามีนที่ไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 21
4.1.2 ผลการศึกษาจลนศาสตร์ของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเมลามีน 22
4.1.3 ผลการศึกษาการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน 23
4.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Ji-chun Q. et al. และทดสอบความเป็นไปได้ในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน 24
4.2.1 ผลการทดลองหาความเข้มข้นสูงสุดของเมลามีนที่ไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 24
4.2.2 ผลการศึกษาการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน 25
4.2.3 ผลการศึกษาจลนศาสตร์ของอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน 26
4.2.4 การศึกษาชนิดของตัวกลางที่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน 28
4.2.4.1 ในสภาวะฟอสเฟสบัฟเฟอร์ 28
4.2.4.2 ในสภาวะกรดไฮโดรคลอริก 30
4.2.4.3 ในสภาวะกรดซัลฟิวริก 31
4.2.4.4 ในสภาวะกรดไนตริก 31
4.3 สรุปแผนงานวิจัยที่ได้ทำ 33
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 34
เอกสารอ้างอิง 35
ภาคผนวก 37
ภาคผนวก ก 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 สารในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างของเทอร์บูทาลีน	5
2.2	อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นสำหรับการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน (ก).อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเมลามีน (ข).อันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับเมลามีนที่อยู่บนผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์	11
4.1	สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เติมเมลามีนความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 1 นาที 30 วินาที	21
4.2	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเมลามีนความเข้มข้นต่างๆ ในช่วงเวลา 60 นาที และภาพถ่ายของสารละลาย เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที	22
4.3	สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมเมลามีนที่เติมเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 1 นาที 30 วินาที	23
4.4	สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมเมลามีนที่เติมเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 60 นาที	23
4.5	สเปกตรัมของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เมื่อผสมกับเมลามีน (ก). ตรวจวัดที่เวลา 1 นาที 30 วินาที (ข). ตรวจวัดที่เวลา 5 นาที	24
4.6	สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมเมลามีนที่เติมเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง	25
4.7	สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมเมลามีนที่เติมเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 3 นาที	26
4.8	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงในช่วงเวลา 60 นาที ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน เมื่อเติมเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ (ก). ลำดับการเติมสารแบบที่ 1 (ข). ลำดับการเติมสารแบบที่ 2	27
4.9	กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีนกับเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สภาวะฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 30 นาที	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

4.10 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีนกับเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สภาวะฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ ที่พีเอชต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 30 นาที 29

4.11 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมกับเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สภาวะกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 30 นาที 30

4.12 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมกับเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สภาวะกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 30 นาที 31

4.13 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมกับเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สภาวะกรดไนตริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 30 นาที 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
TB	เทอร์บูทาลีน
AgNPs	อนุภาคนาโนซิลเวอร์
mM	มิลลิโมลาร์
µM	ไมโครโมลาร์
sec	วินาที
nm	นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

เทอร์บูทาลีน เป็นตัวยาในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์ (Beta-agonist) หรือเบต้าทู-แอดริเนอร์จิกอะโกนิสท์ ($Beta_2$-adrenergic agonist) ออกฤทธิ์ที่ตัวรับชื่อเบต้าแอดริเนอร์จิก (Beta adrenergic receptor) มีผลให้กล้ามเนื้อเรียบเกิดการคลายตัว และส่งผลต่อมาที่อวัยวะหลายอวัยวะของร่างกาย [1] เทอร์บูทาลีนถูกบรรจุเข้าบัญชียาหลักแห่งชาติ เพื่อใช้เป็นยาขยายหลอดลมเพราะมีฤทธิ์ช่วยขยายหลอดลมทำให้กล้ามเนื้อเรียบเกิดการคลายตัว ส่งผลให้การหายใจสะดวกขึ้น ใช้ในการรักษาโรคหอบหืด ถุงลมพอง หลอดลมอักเสบเรื้อรัง หลอดลมอักเสบที่มีภาวะหลอดลมตีบตัวร่วมด้วย เพื่อความปลอดภัยในการใช้ยาเทอร์บูทาลีน ควรปฏิบัติตามคำสั่งแพทย์อย่างเคร่งครัด เพราะหากได้รับยาในประมาณที่มากเกินขนาด จะมีอาการปวดแขน ปวดหลัง ปวดกราม ตาพร่า มีอาการชัก ปัสสาวะน้อยลง วิงเวียนปากแห้ง เป็นลม หัวใจต้นผิดจังหวะ หรือนอนไม่หลับ [2]

ปัจจุบันพบว่า มีการลักลอบใช้สารกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์ ได้แก่ เคลนบูเทอรอล ซัลบูทามอล และเทอร์บูทาลีนเป็นสารเร่งเนื้อแดงในเนื้อหมู เนื้อวัว หรือสัตว์ปีก ซึ่งมีผลข้างเคียงทำให้ชั้นไขมันลดลงและเพิ่มปริมาณกล้ามเนื้อหรือเนื้อแดงให้มากกว่าปกติ เมื่อมีการใช้สารในปริมาณมากจะส่งผลกระทบต่อผู้ที่บริโภคเนื้อสัตว์ ทำให้ผู้ที่บริโภคมีอาการกล้ามเนื้อสั่น กล้ามเนื้อหัวใจเต้นเร็วกว่าปกติ กระวนกระวาย วิงเวียนศีรษะ เป็นอันตรายสูงในผู้ป่วยโรคหัวใจ โรคเบาหวาน โรคลมชัก โรคต่อมไทรอยด์ สตรีมีครรภ์ เป็นต้น [3] จากข้อมูลของกรมปศุสัตว์ สารเร่งเนื้อแดงกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์ เป็นสารต้องห้ามใช้ผสมในอาหารสัตว์ตาม พ.ร.บ.ควบคุมอาหารสัตว์ ผู้ฝ่าฝืนมีความผิดและต้องโทษจำคุก 1 ปี หรือปรับไม่เกิน 10,000 บาท เนื่องจากเป็นอันตรายต่อผู้บริโภค [4]

เพื่อการตรวจสอบและควบคุมปริมาณของเทอร์บูทาลีน ให้อยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับมนุษย์ ปัจจุบันจึงมีหลายเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณเทอร์บูทาลีน ได้แก่ Voltammetry [5], High Performance Liquid Chromatography (HPLC) [6], Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) [7] และ Capillary electrophoresis (CE) [8] เป็นต้น ซึ่งเทคนิคเหล่านี้มีความไว (sensitivity) ต่อการตรวจวัดเทอร์บูทาลีนสูง แต่มีข้อเสียคือเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์มีราคาแพงและการดำเนินการวิเคราะห์มีความยุ่งยากซับซ้อน

ดังนั้นโครงงานพิเศษนี้จึงได้ทำการพัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณของเทอร์บูทาลีน ที่รวดเร็ว ใช้งานง่าย และมีความน่าเชื่อถือ โดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อทำอันตรกิริยากับเทอร์บูทาลีน ทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ซึ่งจะส่งผลให้สีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองใสกลายเป็นสีส้ม และให้ค่าการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนตามสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน โดยอาศัยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรีในการตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษ

1) เพื่อทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์
2) เพื่อทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดอันตรกิริยากับเทอร์บูทาลีนและเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนซิลเวอร์
3) เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณเทอร์บูทาลีน โดยอาศัยการเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคนาโนซิลเวอร์

1.3 ขอบเขตของโครงงานพิเศษ

1) ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Behzad H. และ Sommayyeh B. [9] และวิธีของ Ji-chun Q. et al. [10]
2) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเทอร์บูทาลีน
3) พัฒนาวิธีวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณเทอร์บูทาลีน โดยอาศัยการเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคนาโนซิลเวอร์และตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้ทราบถึงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเทอร์บูทาลีน
2) ได้วิธีการตรวจวัดเทอร์บูทาลีนที่ง่ายและและรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อนุภาคนาโนซิลเวอร์ [11]

- คุณสมบัติเฉพาะ

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถเปลี่ยนรูปเป็นไอออนซิลเวอร์ที่แตกตัวอยู่ในน้ำ และสามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ผิวได้ ทำให้เกิดไอออนในรูปของ Ag^+ นาโนซิลเวอร์มีขนาดเล็กกว่าซิลเวอร์ทั่วไปมาก จึงทำให้มีลักษณะสมบัติในส่วนของพื้นผิวที่แตกต่างกันไป สำหรับอนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถรวมเป็นก้อนกรานูลได้ ซึ่งเกิดขึ้นจากอนุภาคที่มีขนาดเล็กมารวมกัน แต่ยังคงมีขนาดในระดับเล็กมาก เช่น สารนาโนซิลเวอร์ที่รวมกลุ่มมีขนาดเล็ก 15 หรือ 20 นาโนเมตร เป็นต้น ส่งผลให้ลักษณะสมบัติอื่นๆ เช่น พื้นที่ผิว ชนิดประจุบนพื้นผิว รวมทั้งลักษณะควอนตัมแตกต่างจากวัสดุซิลเวอร์ทั่วไป ซึ่งส่งผลให้เกิดการนำนาโนซิลเวอร์ไปเป็นวัสดุสำหรับผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น พลาสติก ผ้า กระดาษ สี และสารเคลือบได้

- คุณสมบัติ Surface Plasmon Resonance

เป็นคุณสมบัติของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่มาตกกระทบ ทำให้เกิดปรากฏการณ์เชิงแสงเรียกว่า Surface Plasmon Resonance ส่งผลให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ดูดกลืนแสงสเปคตรัม โดยพบว่าขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะส่งผลต่อคลื่นแสงที่ถูกดูดกลืน ยิ่งมีขนาดเล็กจะทำให้ช่วงความยาวคลื่นของสเปกตรัมของแสงที่ถูกดูดกลืนจะสั้นลง คุณสมบัตินี้ได้ถูกนำไปใช้ในการผลิตเซนเซอร์สำหรับการแพทย์ และเซนเซอร์ในรูปแบบ lap-on-a-chip อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เล็กลง (ขนาดน้อยกว่า 10 นาโนเมตร) จะสอดคล้องกับการดูดกลืนคลื่นในแถบแสงสีแดงและช่วยขยายความกว้างของตำแหน่งคลื่นการดูดซับด้วย นอกจากนั้นยังนำไปใช้ในการทำเลเซอร์และระบบการนำพายา (drug delivery) ซึ่งอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไม่เพียงแต่ดูดซับโฟตอนแม้ว่าจะอยู่ห่างจากต้นกำเนิดแสงเท่านั้น แต่ช่วยส่งผ่านความร้อนไปยังโพลีเมอร์โดยรอบ ทำให้ยาที่ถูกห่อหุ้ม (encapsulated) สามารถกระจายตัวออกมาจากแคปซูลโพลีเมอร์ได้

- การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมอิเลคทรอนิคส์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถส่งผ่านไฟฟ้าและความร้อนได้ดี ควบคู่ไปกับคุณสมบัติเชิงแสง จึงทำให้ถูกนำมาใช้มากในอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ โดยนำมาใช้ทั้งในส่วนการเป็น nanoconnector และ nanoelectrode ในการออกแบบเครื่องมือขนาดเล็ก และนำมาใช้ในการเป็น active waveguide ในเครื่องมือเชิงแสง หมึกพิมพ์ในแผงวงจร นำมาใช้ใน optoelectronics รวมไปถึง nanoelectronics เช่น single electrontransistors และ electrical connectors เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อุปโภค โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้มุ่งเน้นในส่วนของการป้องกันเชื้อโรค หรือฆ่าเชื้อโรค โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการเป็นสารฆ่าเชื้อโรคสำหรับผลิตภัณฑ์ต่างๆหลากหลายชนิด เช่น เครื่องกรองอากาศ สเปรย์ในอากาศ ถุงเท้า หมอน รองเท้าแตะ หน้ากาก ผ้าอ้อม สบู่ ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์สระผม ยาสีฟัน เครื่องซักผ้า เป็นต้น ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของการมีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในผลิตภัณฑ์เพื่อใช้คุณสมบัติในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์หลากหลายชนิด

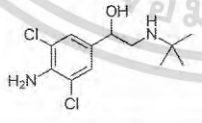
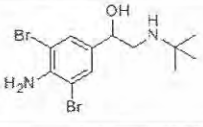
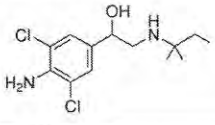
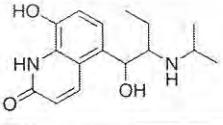
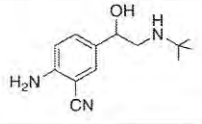
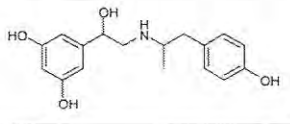
อุตสาหกรรมทางการแพทย์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำมาใช้งานทางการแพทย์ในหลายด้าน ได้แก่ การตรวจโรค การรักษา ระบบนำส่งยา และการเคลือบเครื่องมืออุปกรณ์ทางการแพทย์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้นำมาใช้ในการเคลือบผิวอุปกรณ์ทางการแพทย์หลายชนิด เช่น อุปกรณ์ในการผ่าตัด การฉีดยาชา และการระงับความรู้สึก การรักษาเกี่ยวกับหัวใจ เป็นต้น นอกจากนี้ยังได้มีการนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไปใช้ในผลิตภัณฑ์ทั่วไปทางการแพทย์ เช่น ผ้าปิดแผล ถุงเท้า ผ้าหรือสิ่งทอทางการแพทย์ สายสวนปัสสาวะ และวัสดุปลอดเชื้อต่างๆ ในด้านการรักษา อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการรักษาที่เกี่ยวกับกระดูก เช่น การเป็นสาร additive ใน bone cement ใช้ในการเคลือบข้อต่อหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระดูก นำไปใช้ในการทำฟันปลอม นำไปใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง และการรักษาในระบบนำส่งยาร่วมกับเลเซอร์ รวมไปถึงการกำจัดเชื้อไวรัส HIV-1 อีกด้วย

2.2 เทอร์บูทาลีน

- **ข้อมูลทั่วไป**

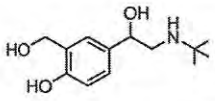
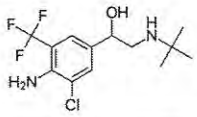
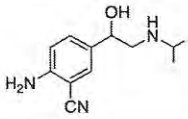
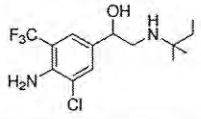
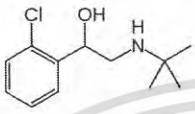
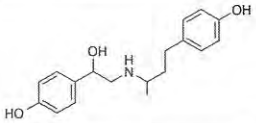
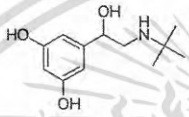
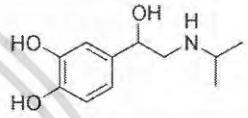
เทอร์บูทาลีน (Terbutaline, TB) เป็นหนึ่งในสารกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์ ซึ่งสารในกลุ่มนี้มีหลายชนิด ดังตารางที่ 2.1 โดยสารในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์ทุกตัวจะมีโครงสร้างเป็นฟีนิลเอทานอลามีน (phenylethanolamine) แต่แตกต่างกันตรงหมู่ฟังก์ชันที่มาเกาะบนวงอะโรมาติกและตำแหน่งของหมู่อะมิโน

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงสารในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์ [12]

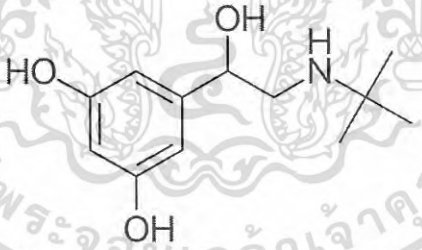
สาร	โครงสร้าง	สาร	โครงสร้าง
เคลนบูเทอรอล (Clenbuterol)		โบรโมบูเทอรอล (Bromobuterol)	
เคลนเพนเทอรอล (Clenpenterol)		โพรคาเทอรอล (Procaterol)	
ซิมบูเทอรอล (Cimbuterol)		เฟอโนเทอรอล (Fenoterol)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สาร	โครงสร้าง	สาร	โครงสร้าง
ซัลบูทามอล (Salbutamol)		มาบิลเทอรอล (Mabuterol)	
ไซมาเทอรอล (Cimaterol)		มาเพนเทอรอล (Mapenterol)	
ทูโลบูเทอรอล (Tulobuterol)		แรคโตพามีน (Ractopamine)	
เทอร์บูทาลีน (Terbutaline)		ไอโซโพรเทอรีนอล (Isoproterenol)	

เทอร์บูทาลีน สูตรโมเลกุลคือ $C_{12}H_{19}NO_3$ มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 225.284 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลวอยู่ในช่วง 119 - 122 องศาเซลเซียส สามารถละลายน้ำได้ การเก็บรักษาควรเก็บในช่วงอุณหภูมิ 20 – 25 องศาเซลเซียส ภาชนะที่ใส่ต้องปิดมิดชิด พ้นแสงแดด ความร้อนและความชื้น โครงสร้างเทอร์บูทาลีนประกอบด้วย 2 หมู่ฟังก์ชัน คือ หมู่ไฮดรอกซิล 3 ตำแหน่ง และหมู่อะมิโน 1 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของเทอร์บูทาลีน

เทอร์บูทาลีน มีชื่อทางการค้าคือ บริคานิล (Bricanyl) ถูกบรรจุเข้าบัญชียาหลักแห่งชาติเป็นยาขยายหลอดลม เพื่อใช้รักษาโรคหอบหืด ถุงลมพอง หลอดลมอักเสบเรื้อรัง และหลอดลมอักเสบที่มีภาวะหลอดลมตีบตัวร่วมด้วย โดยเทอร์บูทาลีนเป็นยาชนิดออกฤทธิ์สั้น (Short-acting beta$_2$-agonist) จะออกฤทธิ์เร็วภายในระยะเวลาประมาณ 5 นาที และมีระยะเวลาออกฤทธิ์ขยายหลอดลมได้นานประมาณ 4 - 6 ชั่วโมง ปัจจุบันยาเทอร์บูทาลีนมีรูปแบบการจัดจำหน่ายหลายแบบ เช่น ยาเม็ดชนิดรับประทาน ขนาด 2.5 และ 5 มิลลิกรัมต่อเม็ด ยาน้ำชนิดรับประทานขนาด 1.5 มิลลิกรัมต่อช้อนชา ยาฉีดขนาด 0.5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และยาพ่นขนาด 500 ไมโครกรัมต่อการพ่น 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ผลข้างเคียงจากการใช้ยาเทอร์บูทาลีน**

เกิดอาการเกร็ง แขนขาสั่น หัวใจเต้นเร็วกว่าปกติ อาจมีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ปวดศีรษะ รู้สึกตัวร้อน หน้าแดง เหงื่อออกมากหรือมีผื่นแดงตามผิวหนังได้ หากใช้ในสัตว์จะกลายเป็นสารเร่งเนื้อแดง และยังทำให้สัตว์เกิดอาการหัวใจเต้นเร็วขึ้น มีการสร้างความร้อนในตัวสัตว์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้สัตว์ทนต่อความร้อนได้ลดน้อยลง เกิดภาวะเครียดจากความร้อนได้ ส่วนมากพบการใช้ในหมู ซึ่งหมูที่ยังมีชีวิตอยู่จะสังเกตเห็นลักษณะมัดกล้ามนูนเด่นกว่าปกติโดยเฉพาะบริเวณสะโพก สันหลังหรือบริเวณหัวไหล่ ถ้าได้รับปริมาณสูงมากๆ หมูจะมีอาการสั่นอยู่ตลอดเวลา

- **ข้อควรระวัง**

1) ห้ามใช้กับผู้ที่แพ้ยาชนิดนี้
2) ห้ามปรับเปลี่ยนขนาดรับประทานเอง
3) การใช้ยานี้ในเด็กและผู้สูงอายุจะต้องใช้ความระมัดระวังอย่างสูง ควรปฏิบัติและอยู่ในการดูแลของแพทย์เท่านั้น
4) ควรระมัดระวังการใช้ยาเทอร์บูทาลีน สำหรับผู้ที่มีโรคประจำตัว เช่น โรคความดันโลหิตสูง หัวใจเต้นผิดจังหวะ โรคหัวใจล้มเหลว โรคเบาหวาน โรคต่อมไทรอยด์เป็นพิษ ผู้มีประวัติเป็นโรคลมชัก

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 วิธีวิเคราะห์เทอร์บูทาลีนด้วยเทคนิคต่างๆ

Yilmaz N. et al. [5] ได้ศึกษาปฏิกิริยาออกซิเดชันของเทอร์บูทาลีน โดยใช้ขั้วไฟฟ้าที่ทำจากแท่งแก้วคาร์บอน ซึ่งค่าศักย์ไฟฟ้าสูงสารประกอบจะถูกออกซิไดซ์ ผลการตรวจวัดจะถูกประเมินจากสภาวะต่างๆ เช่น ค่าความเป็นกรดเบส อัตราการตรวจวัด ธรรมชาติของบัฟเฟอร์ และอื่นๆ สภาวะการทดลองที่ดีที่สุดคือ ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ 0.8 โวลล์ เทียบจากขั้วอ้างอิงคาโลเมลอิ่มตัว โดยที่สัดส่วนความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีนอยู่ในช่วง 8×10^{-6} ถึง 8×10^{-4} โมลาร์ ในสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ที่พีเอช 6.0 วิธีนี้ถูกประยุกต์ขึ้นมาเพื่อหาปริมาณเทอร์บูทาลีนในเม็ดยาเพราะเป็นวิธีที่ปราศจากตัวรบกวนจากสารอื่น ข้อดีของวิธีนี้คือการเตรียมตัวอย่างง่าย รวดเร็วในการตรวจวัด อนุภาคปราศจากตัวรบกวนจากสารเพิ่มปริมาณในเม็ดยา ส่วนข้อเสียคือต้องให้ศักย์ไฟฟ้าที่คงที่ และต้องทำในพีเอช 6.0 หากทำช่วงที่เป็นกรดหรือเบสจะทำให้ค่าเกิดความคลาดเคลื่อน

Vanessa L.H. และ Julie A.J. [6] วิธีนี้เป็นการหาปริมาณของเทอร์บูทาลีนในพลาสมาระดับนาโนโมลาร์ โดยทำการแยกด้วยเทคนิค HPLC และตรวจวัดด้วยเคมีไฟฟ้า (Electrochemical detection) ทำการสกัดด้วยตัวดูดซับของแข็ง (Solid-phase extraction) จากนั้นนำมาเติมกลูต้าไธโอน ทำให้เทอร์บูทาลีนและสารมาตรฐานภายในเมทาโพเทอร์ ซึ่งเป็น Internal standard ถูกแยกออกมาจากพลาสมาบนคอลัมน์ C_{18} ด้วยเทคนิค ไอออน-แพริง โครมาโทรกราฟี (ion-pairing chromatography) ทำให้วิธีนี้มีความแม่นยำและเที่ยงตรง สามารถตรวจวัดที่ความเข้มข้นต่ำๆ ได้ถึง 1 นาโนโมลต่อลิตร (นาโนกรัมต่อลิตร) แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือ ไม่สามารถตรวจวัดในช่วงความเข้มข้นกว้างๆ ได้ มีความจำเพาะกับตัวอย่างที่จะวิเคราะห์ ในขั้นตอนของการสกัดเกิดความผิดพลาดได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Maria K.H. et al. [7] ศึกษาการวิเคราะห์สารกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์ และการยืนยันชนิดของสารฟีโนทีรอล ออซิพรีนาลีน รีโพรทีรอล และเทอร์บูทาลีน ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโทรเมทรี (GC-MS) โดยเป็นอนุพันธ์ของเตตระไฮโดรไอโซควินโนลีน ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วิเคราะห์ในตัวอย่างปัสสาวะโดยใช้เครื่อง GC-MS ที่มีความละเอียดต่ำ และใช้ Electron Impact เป็นตัวทำให้เกิดเป็นไอออน โดยค่าการตรวจวัดต่ำสุดเท่ากับ 10 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตรในปัสสาวะมนุษย์ ข้อดีของงานวิจัยนี้จะช่วยในการยืนยันผลว่าสารตัวอย่างมีสารกลุ่มเบต้า-อะโกนิสต์ ส่วนข้อเสียคือใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน เครื่องมือที่ใช้มีความยุ่งยาก ซับซ้อน และมีราคาแพง

Shuting L. et al. [8] ศึกษาการตรวจวัดเทอร์บูทาลีนซัลเฟต โดยใช้เทคนิค CE ควบคู่กับการตรวจวัดด้วย Chemiluminescence โดยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยา Chemiluminescence ของโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอเรต(II) กับสารเรืองแสงในตัวกลางโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ว่องไวต่อเทอร์บูทาลีนซัลเฟต โดยความสูงของพีกเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ ความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีนซัลเฟตถูกตรวจวัดในช่วง 7.0×10^{-8} ถึง 3.6×10^{-6} โมลาร์ โดยค่าการตรวจวัดต่ำสุดเท่ากับ 3.0×10^{-8} โมลาร์ และร้อยละค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 4.6 ซึ่งจุดประสงค์ของวิธีนี้ใช้ในการวัดหาเทอร์บูทาลีนซัลเฟตในยาและปัสสาวะของมนุษย์ งานวิจัยนี้ให้ศักย์ไฟฟ้า 14 กิโลโวลล์ ใช้สารละลายบอเรทบัฟเฟอร์ พีเอช 9.2 เข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์ และใช้ลูมินอลเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์ และใช้สารละลายออกซิไดซ์เป็นโพแทสเซียมเฮกซะไซยาโนเฟอเรต(II) เข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มเข้น 0.1 โมลาร์ ข้อดีของงานวิจัยนี้ใช้สำหรับการตรวจวัดเทอร์บูทาลีนซัลเฟตในตัวอย่างได้รวดเร็ว มีความไว และเป็นวิธีที่เฉพาะเจาะจงต่อเทอร์บูทาลีน ส่วนข้อเสียคือมีความยุ่งยากในการใช้เครื่องมือวัดและการเตรียมสาร

2.3.2 การวิเคราะห์สารกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์โดยใช้อนุภาคนาโน

Pingli H. et al. [12] ทำการตรวจวิเคราะห์สารในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์โดยใช้อนุภาคทองนาโน และอาศัยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี ซึ่งในงานวิจัยนี้นำสารกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์มาวิเคราะห์ 13 ตัว ได้แก่ แรคโตพามีน ไซมาเทอรอล เคลนบูเทอรอล ซัลบูทามอล ซิมบูเทอรอล มาบิลเทอรอล เคลนโพรเพอรอล โบรโมบูเทอรอล แบมบูเทอรอล เฟอโนเทอรอล เมตาโพรเทอรีนอล ไอซอคซูพรีน และไอโซโพรเทอรีนอล โดยทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวิเคราะห์พบว่า ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ดีที่สุด ในสารละลายโซเดียมเตตราบอเรตบัฟเฟอร์ พีเอช 10.0 เป็นค่าพีเอชที่ดีที่สุด และการตรวจวัดนาทีที่ 5 เป็นเวลาที่ค่าการตรวจวัดเริ่มคงที่ วิธีนี้มีค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจวัดได้ (LOD) อยู่ในช่วง 2.0×10^{-7} ถึง 1.7×10^{-6} โมลาร์ ค่าความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 9.67×10^{-7} ถึง 2.88×10^{-4} โมลาร์ ข้อดีสำหรับวิธีนี้คือง่ายต่อการดำเนินงาน ใช้เครื่องมือน้อย สามารถตรวจหาสารกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์ได้ทั้งในเซรั่ม ปัสสาวะ และตัวอย่างที่เป็นของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wei X. et al. [13] ทำการศึกษา $Ru(Phen)_3^{2+}$ โดปกับอนุภาคซิลิการะดับนาโนบน immunochromatographic strip เพื่อความรวดเร็วในการตรวจวัดสารกลุ่มเบต้า–อะโกนิสท์ ได้แก่ ซัลบูทามอล, ซิมบูเทอรอล, เทอร์บูทาลีน, เคลนบูทารอล และบรอมบูเทอรอล ที่ตกค้างในปัสสาวะของหมู ความเข้มของฟลูออเรสเซนต์ของ strip บนเส้นทดสอบ (FI_T) และเส้นควบคุม (FI_C) ถูกตรวจวัดโดยใช้ strip reader ซึ่งตัวแปรที่กำหนดเป็นการทำอันตรกิริยากันระหว่างแอนติบอดี้กับแอนติเจนบน test strip ซึ่งจะถูกตรวจสอบโดยการบันทึกค่าของ FI_T และ FI_C แล้วอัตราส่วนของ FI_T / FI_C จะถูกนำมาใช้ในการชดเชยความแตกต่างของ test strip และผลของเมทริกซ์ในตัวอย่าง ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ความเป็นเส้นตรงในการตรวจวัดซัลบูทามอลอยู่ในช่วง 0.6 ถึง 5.0 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า LOD เท่ากับ 0.43 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (r^2) เท่ากับ 0.99 ข้อดีของวิธีนี้คือมีความไวต่อการวิเคราะห์ และง่ายในการเตรียมอุปกรณ์

Huan W. et al. [14] ทำการตรวจวัดแรคโตพามีน ซัลบูทามอล และเคลนบูเทอรอล โดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์-แพลเลเดียม (silver-palladium alloy nanoparticles) และรีดิวซ์แกรฟีน (reduce graphene oxide, rGO) ซึ่ง rGO มีค่าการนำไฟฟ้าสูงและช่วยขยายสัญญาณ เมื่อทำการยึดเหนี่ยวกับแอนติเจนเทียมของแรคโตพามีน ซัลบูทามอล และเคลนบูเทอรอล จะใช้เป็นอิเล็กโทรด ส่วนอนุภาคนาโนซิลเวอร์-แพลเลเดียมจะทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยแอนติบอดี้ของแรคโตพามีน, ซัลบูทามอล และเคลนบูเทอรอล เมื่อทำการตรวจวัด ด้านหนึ่งของอนุภาคจะจับกับสารที่ทำการตรวจวัด อีกด้านจะจับกับแอนติเจนเทียม ในสภาวะที่เหมาะสม ความเข้มข้นที่ตรวจวัดได้อยู่ในช่วง 0.01 ถึง 100 พิโคกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า LOD เท่ากับ 1.52 พิโคกรัมต่อมิลลิลิตรสำหรับแรคโตพามีน 1.44 พิโคกรัมต่อมิลลิลิตรสำหรับซัลบูทามอล และ 1.38 พิโคกรัมต่อมิลลิลิตรสำหรับเคลนบูเทอรอล ข้อดีของวิธีนี้คือมีความไว รวดเร็ว สามารถตรวจวัดสารทั้งสามชนิดพร้อมกัน แต่วิธีนี้ถือเป็นไบโอเซนเซอร์ ซึ่งไม่สามารถเก็บสารเป็นเวลานานได้ เพราะจะทำให้สารไม่เสถียรส่งผลให้การตรวจวัดคลาดเคลื่อน

Jiahua D. et al. [15] ทำการวิเคราะห์โดยใช้อนุภาคทองนาโนในการเพิ่มคุณสมบัติแท่งแก้วคาร์บอนให้มีความจำเพาะในการตรวจวัดแรคโตพามีน และเมตาโพรเทอรีนอลด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแท่งแก้วคาร์บอนที่มีการปรับปรุงพื้นผิวด้วยอนุภาคทองนาโนจะศึกษาจากค่าความต้านทานไฟฟ้าเคมี เพื่อนำมาใช้ในการตรวจวัดหาโครงสร้างและปริมาณของแรคโตพามีนและเมตาโพรเทอรีนอล โดยคำนวณด้วยโปรแกรม Parameterized model number 3 (PM3) และ Cyclic voltammetry (CV) ตามลำดับ ทำให้การหาปริมาณมีประสิทธิภาพ มีช่วงการตรวจวัดที่กว้าง สามารถตรวจวัดได้ที่ความเข้มข้น 10^{-9} ถึง 10^{-5} โมลาร์ มีค่า LOD เท่ากับ 3×10^{-10} โมลาร์ ข้อดีของวิธีนี้คือมีความจำเพาะ รวดเร็ว มีความไวในการวิเคราะห์

Panpan Y. et al. [16] ศึกษาการตรวจวัดเคลนบูเทอรอล (CLB) ด้วย quantum dots (QDs) เป็น Electrochemiluminescent (ECL) immunosensor โดยใช้อนุภาคทองนาโนเป็นสารตั้งต้นและเป็นตัวเร่งในการขนถ่ายอิเล็กตรอน โดยความสามารถในการแย่งชิงของ ECL immunosensor จะขึ้นอยู่กับอนุภาคทองนาโน และ QDs ของแคดเมียมซีลีไนด์ ซึ่ง immunosensor ถูกสร้างขึ้นเป็น layer by layer (GNPs/Ovalbumin – CLB/Anti CLB-QDs) เซนเซอร์มีความต้านทานไฟฟ้าเคมี และมีการปลดปล่อย ECL ของอิเล็กโทรด โดยจะมีการสังเกตกระบวนการของเปอร์ออกไซด์ไดซัลเฟตไอออนของ QDs ในฟอสเฟสบัฟเฟอร์ซาลีน พีเอช 7.4 ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ของโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต และ 0.1 โมลาร์ของโพแทสเซียมคลอไรด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม สัญญาณของ ECL จะเป็นเส้นตรงในช่วง 0.02 ถึง 50.0 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.9905 และค่า LOD เท่ากับ 0.0084 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ข้อดีของวิธีนี้คือใช้งานง่าย รวดเร็ว มีความไว สามารถตรวจวัดได้ในเนื้อหมู ตับหมู และปัสสาวะของมนุษย์ แต่มีข้อเสียคือใช้เวลาในการเตรียมตัวอย่างนาน

Jingyue X. et al. [17] ศึกษาวิธีการตรวจวัดเคลนบูเทอรอล โดยใช้อนุภาคทองนาโนที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยโรดามีนบี และอาศัยเทคนิคฟลูออเรสเซนต์สเปกโทรสโกปีในการตรวจวัด โมเลกุลของเคลนบูเทอรอลจะถูกตรึงที่ผิวของอนุภาคทองนาโนผ่านพันธะไอออนิกและโคออดิเนตโคเวเลนต์ เป็นผลให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคทองนาโน โดยมีโรดามีนบีเป็นสารฟลูออโรฟอร์ที่แสดงคุณสมบัติคายแสงฟลูออเรสเซนต์ เมื่อมีการดูดกลืนพลังงานในช่วงความยาวคลื่นที่เหมาะสม ซึ่งโรดามีนบีจะดูดกลืนพลังงานที่ความยาวคลื่น 510 นาโนเมตร และคายแสงฟลูออเรสเซนต์ที่ 573 นาโนเมตร ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด จะมีค่า LOD เท่ากับ 0.008 มิลลิกรัมต่อกรัม ข้อดีของวิธีนี้คือใช้งานง่าย รวดเร็วราคาถูก และมีความไวสูง แต่ในงานวิจัยนี้มีการนำเทอร์บูทาลีนมาตรวจวัด พบว่าเทอร์บูทาลีนไม่มีความจำเพาะกับวิธีนี้

Ying Z. et al. [18] ได้ทำการตรวจวัดทางสี เพื่อวิเคราะห์สารแรคโตพามีนและซัลบูทามอล โดยใช้อนุภาคทองนาโนที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยกับเมลามีน และอาศัยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี สารแรคโตพามีน และซัลบูทามอลจะเหนี่ยวนำให้อนุภาคทองนาโนเกิดการรวมตัวกันจากการเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเมลามีนบนพื้นผิวของอนุภาคทองนาโน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสีจากสีแดงเป็นสีน้ำเงิน ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุดจะมีค่า LOD เท่ากับ 1×10^{-11} โมลาร์สำหรับการตรวจวัดแรคโตพามีน ค่าความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 1×10^{-10} ถึง 5×10^{-7} โมลาร์ มีค่า r^2 เท่ากับ 0.995 ส่วนการตรวจวัดซัลบูทามอลมีค่าความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 1×10^{-10} ถึง 1×10^{-5} โมลาร์ และมีค่า r^2 เท่ากับ 0.996 ข้อดีของวิธีนี้คือการดำเนินงานง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถใช้งานเพื่อตรวจหาสารเบต้า-อะโกนิสท์ในอาหารสัตว์ได้

Xiaofang Z. et al. [19] ได้ทำการตรวจวัดทางสี เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเคลนบูเทอรอล โดยใช้อนุภาคทองนาโนภายใต้สภาวะที่มีเมลามีน อันตรกิริยาที่เกิดขึ้นคือเมลามีนจะเข้าจับที่พื้นผิวของอนุภาคทองนาโน และเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเคลนบูเทอรอล เป็นผลทำให้อนุภาคทองนาโนเกิดการรวมตัวกันส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีจากสีแดงกลายเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรืออาศัยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด จะมีค่า r^2 ในช่วงความเข้มข้นของเคลนบูเทอรอล 2.8×10^{-10} ถึง 2.8×10^{-7} โมลาร์ และ 2.8×10^{-7} ถึง 1.4×10^{-6} โมลาร์ เท่ากับ 0.996 และ 0.993 ตามลำดับ มีค่า LOD เท่ากับ 2.8×10^{-11} โมลาร์ ซึ่งเป็นความเข้มข้นต่ำที่สุดเหมือนเทียบกับวิธีอื่นที่มีอยู่ ข้อดีของวิธีนี้คือมีความไวสูง มีความจำเพาะกับการตรวจวัดเคลนบูเทอรอลการดำเนินงานง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถตรวจวัดได้ในปัสสาวะของมนุษย์ได้โดยไม่มีผลรบกวนจากสารอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

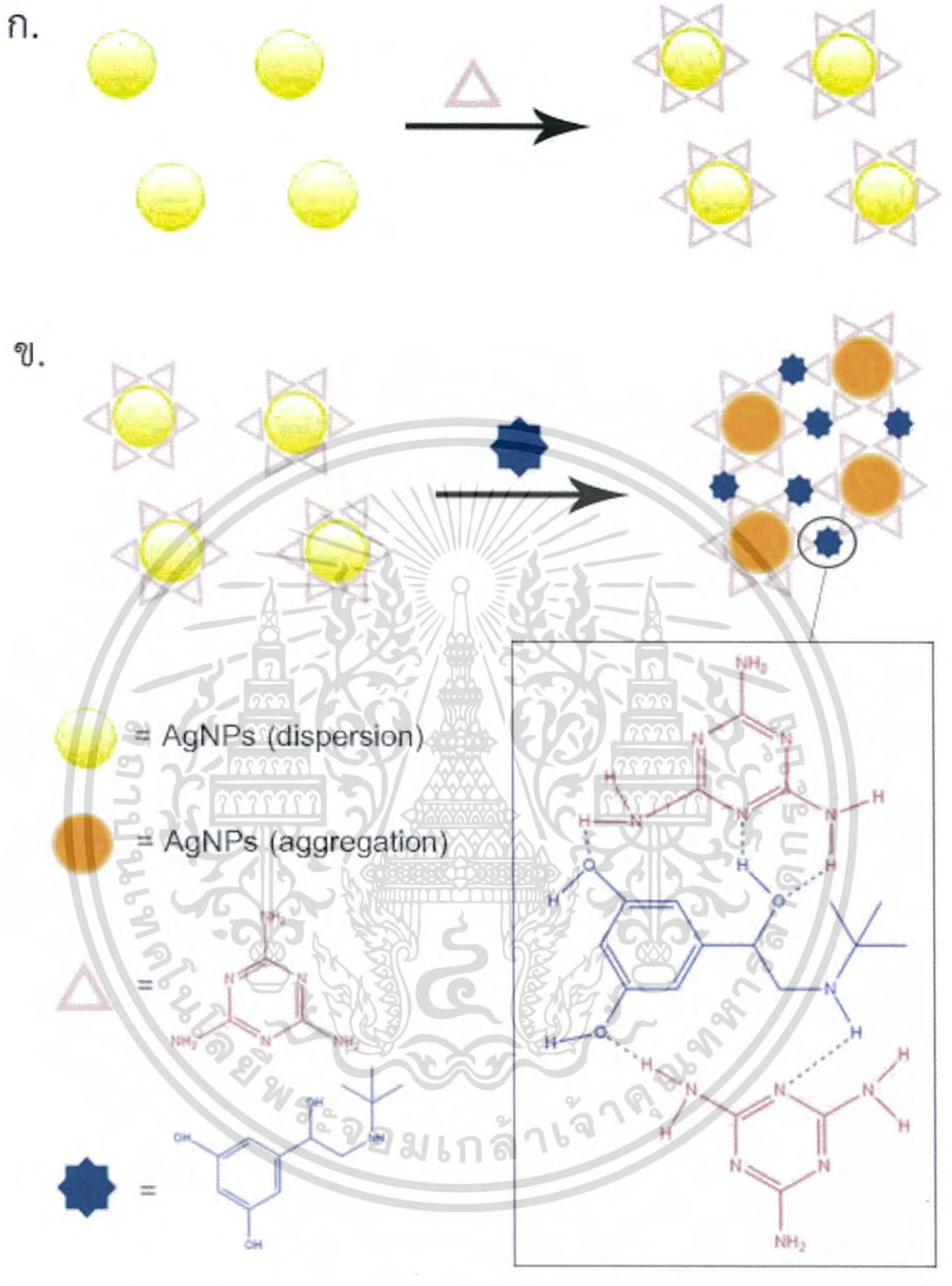
2.4 การวิเคราะห์เทอร์บูทาลีนในงานวิจัยนี้

จากงานวิจัยของ Xiaofang Z. et al. [19] ได้นำอนุภาคทองนาโนมาใช้ในการตรวจวัดเคลนบูเทอรอล การวิเคราะห์นี้ทำภายใต้สภาวะที่มีเมลามีน เพื่อใช้เป็นตัวเหนี่ยวนำให้อนุภาคทองนาโนเกิดการรวมตัวกันดีขึ้น อันตรกิริยาที่พบคือเมลามีนจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเคลนบูเทอรอลและถูกตรึงอยู่บนผิวของอนุภาคทองนาโนผ่านพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์จากหมู่อะมิโนนอกวงอะโรมาติก และไนโตรเจนในวงอะโรมาติกของเมลามีน ผู้วิจัยในโครงงานพิเศษนี้ คาดว่าปฏิกิริยาที่เกิดในงานวิจัยของ Xiaofang Z. et al. จะสามารถเกิดขึ้นกับการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน เนื่องจากทั้งเคลนบูเทอรอลและเทอร์บูทารอล ต่างก็เป็นสารในกลุ่มเบต้า-อะโกนิสท์เหมือนกัน

ดังนั้น ในโครงงานพิเศษนี้ ผู้วิจัยทำการศึกษาวิธีวิเคราะห์หาเทอร์บูทาลีน โดยมีหลักการคือ หมู่อะมิโนนอกวงอะโรมาติก และไนโตรเจนในวงอะโรมาติกของโมเลกุลเมลามีน จะเกิดพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ ทำให้ถูกตรึงอยู่บนผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เมื่อทำการเติมเทอร์บูทาลีนลงไป เมลามีนจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเทอร์บูทาลีน ซึ่งผู้วิจัยคาดว่าเทอร์บูทาลีนจะแสดงตัวเป็นสารเชื่อมโยง (cross-linking agent) ที่ทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดการรวมตัวกัน และส่งผลให้สีของสารละลายเปลี่ยนแปลงจากสีเหลืองเป็นสีส้ม

อันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีนที่คาดว่าจะเกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 อันตรกิริยาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นสำหรับการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน (ก). อันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเมลามีน (ข). อันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับเมลามีนที่อยู่บนผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	ยี่ห้อและประเทศผู้ผลิต
เทอร์บูทาลีน (Terbutaline)	$C_{12}H_{19}NO_3$	European Pharmacopeia, Europe
เมลามีน (Melamine)	$C_3H_6N_6$	Sigma-Aldrich, USA
ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate)	$AgNO_3$	Carlo erba, Spain
โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydrid)	$NaBH_4$	Sigma-Aldrich, USA
โซเดียมอะซิเตตไตรไฮเดรท (Sodium acetate trihydrate)	$CH_3COONa \cdot 3H_2O$	Sigma-Aldrich, Japan
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	NaOH	Rankem, India
กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid)	HCl	Carlo erba, Spain
กรดไนตริก (Nitric acid)	HNO_3	Carlo erba, Spain
กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid)	H_2SO_4	Carlo erba, Spain
กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid)	H_3PO_4	Carlo erba, Spain
โมโนโซเดียมฟอสเฟส มอนอไฮเดรต (Monosodium phosphate monohydrate)	$NaH_2PO_4 \cdot H_2O$	Sigma-Aldrich, USA
ไดโซเดียมฟอสเฟส (Disodium phosphate)	Na_2HPO_4	Sigma-Aldrich, USA
ไตรโซเดียม โดเดคะไฮเดรต (Trisodium dodecahydrate)	$Na_3PO_4 \cdot 12H_2O$	Sigma-Aldrich, USA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) บีกเกอร์ (ขนาด 25, 50, 100, 250, 600 มิลลิลิตร)
2) ขวดปรับปริมาตร (ขนาด 5, 10, 25, 50, 100, 1000 มิลลิลิตร)
3) ไมโครปิเปต
4) หลอดทดลอง
5) กระบอกตวง
6) หลอดหยด
7) แท่งแก้วคน
8) กระจกนาฬิกา
9) ช้อนตักสาร
10) ลูกยาง
11) กระบอกน้ำปราศจากไอออน
12) แท่งแม่เหล็ก
13) เครื่องชั่งสาร - Shimadzu Aux 220, Japan
14) เครื่องเขย่าสาร - Vortex Genie 2, USA
15) เครื่องปั่นกวน – Stirring hotplate HS0707V2, Thailand
16) เครื่องวัด pH – Metrohm® 827 pH Lab meter, USA
17) เครื่องยูวี – วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ – Hitachi u2900, Japan

3.3 การเตรียมสารละลาย

3.3.1 สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Behzad H. และ Somayyeh B. [9]

- **เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์**

ชั่งซิลเวอร์ไนเตรตมา 0.0169 กรัมลงในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย จากนั้นเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

- **เตรียมสารละลายโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก**

ชั่งโซเดียมซิเตรตมา 1 กรัม ลงในบีกเกอร์ แล้วนำน้ำปราศจากไอออนใส่ลงไป 100 กรัม จะได้สารละลายโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

- **เตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์**

ชั่งโซเดียมโบโรไฮไดรด์มา 0.0189 กรัมลงในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย จากนั้นเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Ji-chun Q. et al. [10]

- **เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเข้มข้น 0.64 มิลลิโมลาร์**

ชั่งซิลเวอร์ไนเตรตมา 0.0108 กรัมลงในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย จากนั้นเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเข้มข้น 0.64 มิลลิโมลาร์

- **เตรียมสารละลายโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์**

ชั่งโซเดียมซิเตรต 0.0174 กรัมลงในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย จากนั้นเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์

- **เตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก**

ชั่งโซเดียมโบโรไฮไดรด์มา 0.0505 กรัมลงในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย จากนั้นเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 50 กรัม พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.3.3 สารละลายเมลามีน

- **เตรียมสต๊อกสารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์**

ชั่งเมลามีนมา 0.0126 กรัมลงในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย จากนั้นเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

- **เตรียมสารละลายเมลามีนเข้มข้น 0.05, 0.1, 1, 2, 5, 7.5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์**

ปิเปตสารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์มา 0.5, 1, 10, 20, 50, 75, 100, 500 และ 1000 ไมโครลิตรลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายเมลามีนเข้มข้น 0.05, 0.1, 1, 2, 5, 7.5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ตามลำดับ

3.3.4 สารละลายเทอร์บูทาลีน

- **เตรียมสต๊อกสารละลายเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์**

ชั่งเทอร์บูทาลีนซัลเฟตมา 0.0055 กรัมลงในบีกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย จากนั้นเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **เตรียมสารละลายเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์**

ปิเปตสารละลายเทอร์บูทาลีนซัลเฟตเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์มา 0.025, 0.125, 1.250, 2.500 และ 5.000 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 5 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

3.4 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Behzad H. และ Somayyeh B. และทดสอบความเป็นไปได้ ในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน

3.4.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนตามวิธีของ Behzad H. และ Somayyeh B. [9]

เทสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาตร 5 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ นำไปปั่นกวน 10 นาที จากนั้นค่อยๆ หยดสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ ลงไปเรื่อยๆ จนครบ 75 มิลลิลิตร ให้ทำการปั่นกวนต่ออีก 20 นาที สีของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองใส ก่อนนำไปใช้งานให้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน จะได้สารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีความเข้มข้น 0.24 มิลลิโมลาร์ (โดยคำนวณจากความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเริ่มต้น)

3.4.2 การทดลองหาความเข้มข้นสูงสุดของเมลามีนที่ไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์มา 5 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน 5 มิลลิลิตร
2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่เวลา 1 นาที 30 วินาที (การทำสารละลายแบลงค์)
3) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) - 2) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายเมลามีนเข้มข้น 0.05, 0.1, 1, 2, 5, 7.5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์

3.4.3 การศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเมลามีน

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์มา 5 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน 5 มิลลิลิตร
2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ภายในเวลา 60 นาที
3) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) – 2) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายเมลามีนเข้มข้น 7.5 และ 10 ไมโครโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การศึกษาการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ปริมาตร 5 มิลลิลิตร สารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ปริมาตร 25 ไมโครลิตร และน้ำปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร
2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่เวลา 1 นาที 30 วินาที และ 60 นาที
3) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) – 2) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์

3.5 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Ji-chun Q. et al. และทดสอบความเป็น ไปได้ในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน

3.5.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนตามวิธีของ Ji-chun Q. et al. [10]

เทสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเข้มข้น 0.64 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 39 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ นำไปปั่นกวน 20 นาที จากนั้นค่อยๆ หยด สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ลงไปเรื่อยๆ จนครบ 10 มิลลิลิตร ให้ทำการปั่นกวนต่ออีก 60 นาที สีของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองใสก่อนนำไปใช้งานให้เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน จะได้สารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีความเข้มข้น 0.50 มิลลิโมลาร์ (โดยคำนวณจากความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเริ่มต้น) ก่อนทำการทดลองให้เจือจางสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลงเป็น 0.25 มิลลิโมลาร์

3.5.2 การทดลองหาความเข้มข้นสูงสุดของเมลามีนที่ไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

1) นำสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์มา 3 มิลลิลิตร นำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อใช้เป็นสารละลายแบลงค์
2) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เจือจางมา 3 มิลลิลิตร และ spike สารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ลงไป 3 ไมโครลิตร (ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายเมลามีนเท่ากับ 1 มิลลิโมลาร์)
3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่เวลา 1 นาที 30 วินาที และ 5 นาที
4) ทำการทดลองซ้ำข้อ 2) - 3) แต่เปลี่ยนปริมาตรการ spike สารละลายเมลามีนลงไป 15, 23, 30, 150 และ 300 ไมโครลิตร (จะได้ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายเมลามีนเท่ากับ 5, 7.5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ ตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.5.3 การศึกษาการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จากอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์มา 3 มิลลิลิตร และ spike สารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ลงไป 40 ไมโครโมลาร์
2) ปิเปตน้ำปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร
3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ตรวจวัดที่เวลาผ่านไปประมาณ 24 ชั่วโมง
4) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) - 3) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 0.01, 0.05, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์

3.5.4 การศึกษาจลนศาสตร์ของอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน

- <u>ลำดับการเติมแบบที่ 1</u> (อนุภาคนาโนซิลเวอร์ → เมลามีน → เทอร์บูทาลีน)

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์มา 3 มิลลิลิตร และ spike สารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ลงไป 40 ไมโครลิตร
2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที
3) จากนั้นปิเปตน้ำปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร ลงไป
4) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ภายในเวลา 1 ชั่วโมง
5) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) - 4) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 0.01 และ 0.50 มิลลิโมลาร์

- <u>ลำดับการเติมแบบที่ 2</u> (เทอร์บูทาลีน → เมลามีน → อนุภาคนาโนซิลเวอร์)

1) ปิเปตน้ำปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตรและ spike สารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ลงไป 40 ไมโครลิตร
2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที
3) จากนั้นปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงไป
4) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงเพื่อศึกษาจลนศาสตร์ของปฏิกิริยาด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ภายในเวลา 1 ชั่วโมง
5) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) - 4) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 0.01 และ 0.50 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
149211

3.5.5 การศึกษาชนิดของตัวกลางที่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน

3.5.5.1 ในสภาวะฟอสเฟสบัฟเฟอร์

- การศึกษาความเข้มข้นของฟอสเฟสบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน

1) ปิเปตน้ำปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร และ spike สารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ลงไป 40 ไมโครลิตร
2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที
3) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ ที่มีค่าพีเอช 7.0 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงไป
4) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่เวลา 30 นาที
5) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) - 4) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 0.01 และ 0.50 มิลลิโมลาร์
6) เปลี่ยนสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0 เป็นความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0, 0.05, 0.1 และ 1 โมลาร์ แล้วดำเนินการทดลองเช่นเดิมจากข้อ 1) – 5)

- การศึกษาพีเอชของฟอสเฟสบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน

1) ปิเปตน้ำปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร และ spike สารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ลงไป 40 ไมโครลิตร
2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที
3) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร และสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ ที่มีค่าพีเอช 7.0 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงไป
4) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่เวลา 30 นาที
5) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) - 4) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออน เป็นเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 0.01 และ 0.50 มิลลิโมลาร์
6) เปลี่ยนสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นค่าพีเอชต่างๆ ได้แก่ 3.6 และ 10.0 แล้วดำเนินการทดลองเช่นเดิมจากข้อ 1) – 5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5.2 ในสภาวะกรดไฮโดรคลอริก

1) ปิเปตน้ำปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร และ spike สารละลายกรดไฮโดร-คลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ลงไป 4 ไมโครลิตร
2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที
3) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงไป
4) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่เวลา 30 นาที

   หมายเหตุ ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1 มิลลิโมลาร์

5) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) - 4) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 0.01 และ 0.50 มิลลิโมลาร์
6) เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก โดยการ spike สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ ลงไปปริมาตร 40 และ 400 ไมโครลิตร จะได้ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 10 และ 100 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

3.5.5.3 ในสภาวะกรดซัลฟิวริก

1) ปิเปตน้ำปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร และ spike สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ลงไป 4 ไมโครลิตร
2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที
3) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงไป
4) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่เวลา 30 นาที

   หมายเหตุ ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 0.1 มิลลิโมลาร์

5) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) - 4) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 0.01 และ 0.50 มิลลิโมลาร์
6) สำหรับสารละลายกรดซัลฟิวริกจะเปลี่ยนความเข้มข้นโดยการ spike สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ลงไปปริมาตร 20 และ 40 ไมโครลิตร จะได้ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายกรดซัลฟิวริกเท่ากับ 0.5 และ 1 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.5.4 ในสภาวะกรดไนตริก

1) ปิเปตน้ำปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร และ spike สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ลงไป 40 ไมโครลิตร
2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที
3) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.25 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ลงไป
4) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 30 วินาที แล้วนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ทีเวลา 30 นาที

   <u>หมายเหตุ</u> ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเท่ากับ 1 มิลลิโมลาร์
5) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) - 4) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นเทอร์บูทาลีนเข้มข้น 0.01 และ 0.50 มิลลิโมลาร์
6) สำหรับสารละลายกรดไนตริก จะเปลี่ยนความเข้มข้นโดยการ spike สารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ลงไปปริมาตร 60, 80, 120, 200 และ 400 ไมโครลิตร จะได้ความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายกรดไนตริกเท่ากับ 1.5, 2, 3, 5 และ 10 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

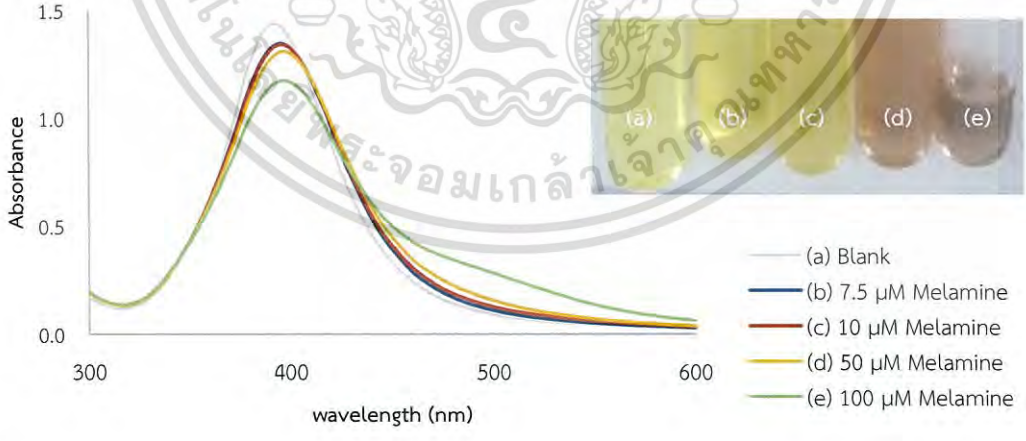
ในโครงงานพิเศษนี้ ทำการวิเคราะห์เทอร์บูทาลีน จากการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน โดยอาศัยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตเมทรีในการตรวจวัด

4.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Behzad H. และ Somayyeh B. และทดสอบความเป็นไปได้ในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน

4.1.1 ผลการทดลองหาความเข้มข้นสูงสุดของเมลามีนที่ไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้ตามวิธีของ Behzad H. และ Somayyeh B. ลักษณะเป็นสีเหลืองใส มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.24 มิลลิโมลาร์ (คำนวณจากความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเริ่มต้น) เมื่อทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 300 – 800 นาโนเมตร อนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่นบริเวณ 396 นาโนเมตร

หลังเก็บสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นเวลา 1 วัน นำสารละลายมาทำการทดลองเพื่อหาความเข้มข้นสูงสุดของเมลามีนที่ไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยศึกษาที่เมลามีนความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 7.5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ ทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 1 นาที 30 วินาที ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1



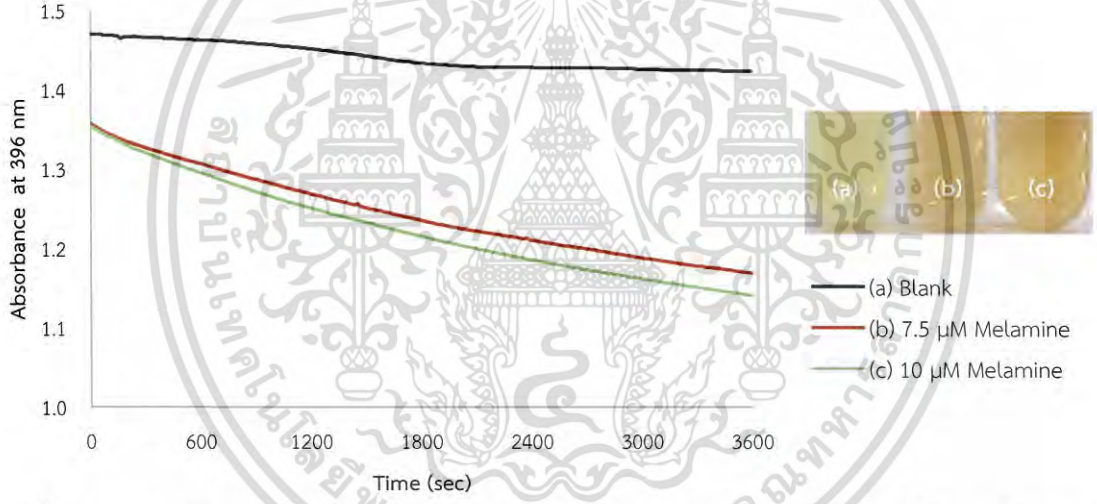
รูปที่ 4.1 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เติมเมลามีนความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 1 นาที 30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.1 พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงจะลดลงเรื่อยๆ ตามความเข้มข้นของเมลามีนที่เพิ่มขึ้น ที่เมลามีนความเข้มข้น 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ จะเห็นว่าสีของสารละลายที่ได้เปลี่ยนไป จากสีเหลืองเป็นสีส้มและสีม่วงอย่างชัดเจนตามลำดับ ซึ่งเป็นผลจากการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ส่วนที่เมลามีนความเข้มข้น 7.5 และ 10 ไมโครโมลาร์ สารละลายที่ได้ยังคงเป็นสีเหลือง และค่าการดูดกลืนแสงของทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ยังไม่เกิดการรวมตัว ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกความเข้มข้นของเมลามีนที่ 7.5 และ 10 ไมโครโมลาร์ เป็นความเข้มข้นที่ยังไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์อย่างชัดเจน โดยนำเมลามีนที่ความเข้มข้น 7.5 และ 10 ไมโครโมลาร์นี้ไปทำการศึกษาจลนศาสตร์ของอันตรกิริยาเพื่อหาความเข้มข้นของเมลามีนที่เหมาะสมในการตรวจวัด

4.1.2 ผลการศึกษาจลนศาสตร์ของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเมลามีน

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเมลามีน ในช่วงเวลา 60 นาที เพื่อหาความเข้มข้นของเมลามีนที่เหมาะสมในการตรวจวัด ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.2



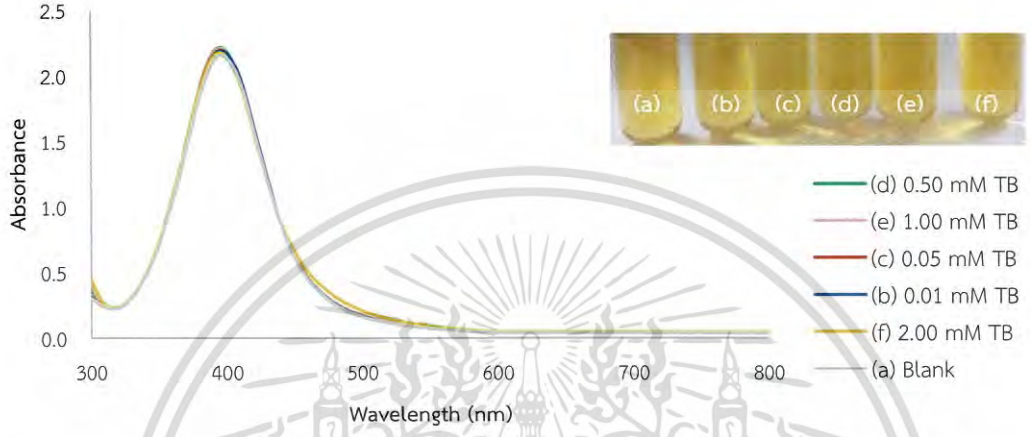
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเมลามีนความเข้มข้นต่างๆ ในช่วงเวลา 60 นาที และภาพถ่ายของสารละลายเมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.2 พบว่า สารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีเมลามีนเข้มข้น 7.5 และ 10 ไมโครโมลาร์มีค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับสารละลายแบลงค์ และเมื่อสังเกตสีของสารละลาย พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่าเมลามีนที่สองความเข้มข้นนี้ไม่มีผลต่อการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จึงเลือกใช้เมลามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ เป็นความเข้มข้นที่ยังไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์อย่างชัดเจน เพื่อนำไปตรวจวัดเทอร์บูทาลีนในการทดลองถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

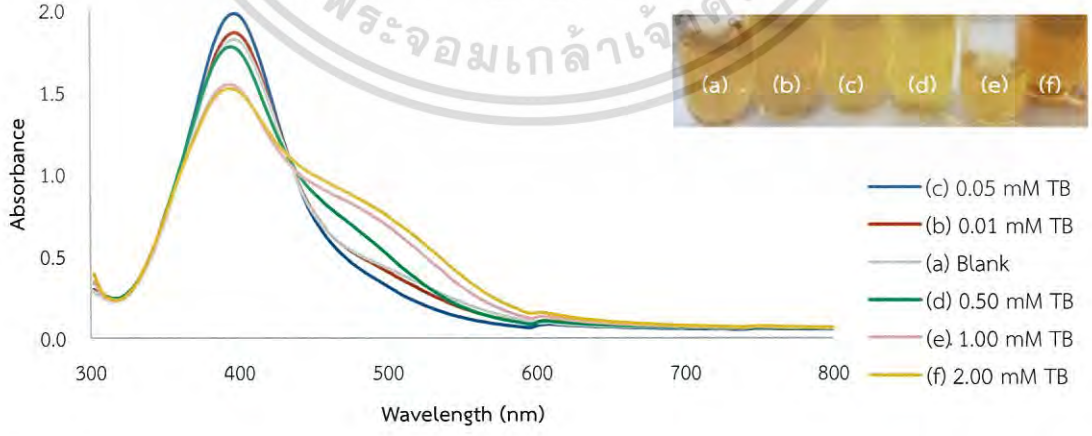
4.1.3 ผลการศึกษาการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน

ทำการทดลองโดยการเติมเทอร์บูทาลีนที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.01, 0.05, 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์ ลงในสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อศึกษาการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จากอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน ทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 1 นาที 30 วินาที ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมเมลามีน (ความเข้มข้นสุดท้ายของเมลามีนเท่ากับ 10 ไมโครโมลาร์) ที่เติมเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 1 นาที 30 วินาที

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.3 พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ใกล้เคียงกันมาก และสีของสารละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงตั้งสารทิ้งไว้และนำมาทำการตรวจวัดอีกครั้ง เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมเมลามีน (ความเข้มข้นสุดท้ายของเมลามีนเท่ากับ 10 ไมโครโมลาร์) ที่เติมเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

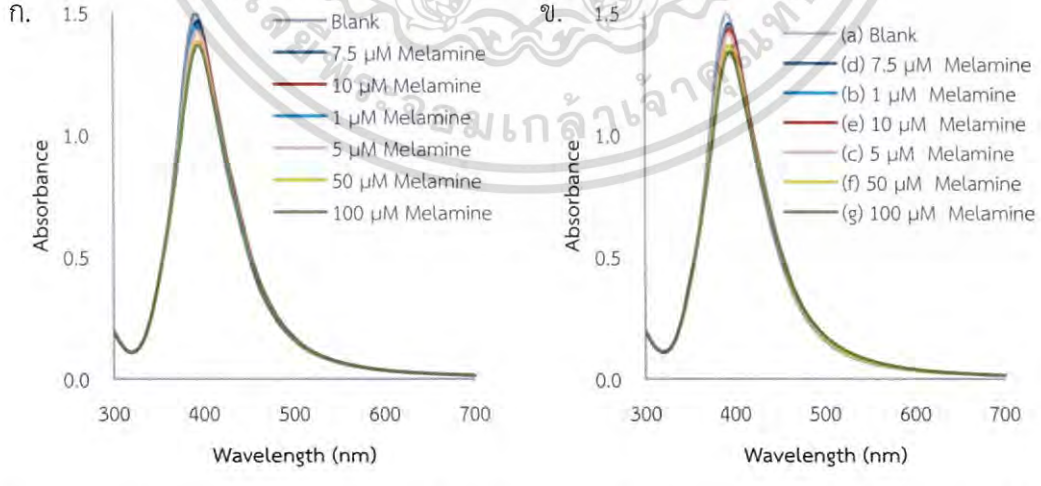
จากผลการทดลองในรูปที่ 4.4 พบว่า อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดการรวมตัว สังเกตจากค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงและสีของสารละลายเปลี่ยนไป แต่ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการตรวจวัด ผู้วิจัยจึงพิจารณาเปลี่ยนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ จากเดิมสังเคราะห์ตามวิธีของ Behzad H. และ Somayyeh B. เป็นวิธีของ Ji-chun Q. et al. เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการตรวจวัดปริมาณเทอร์บูทาลีน

4.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Ji-chun Q. et al. และทดสอบความเป็นไปได้ในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน

4.2.1 ผลการทดลองหาความเข้มข้นสูงสุดของเมลามีนที่ไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้ตามวิธีของ Ji-chun Q. et al. ลักษณะเป็นสีเหลืองมีความเข้มข้นเท่ากับ 0.50 มิลลิโมลาร์ (คำนวณจากความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเริ่มต้น) เมื่อทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่ช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 300 – 800 นาโนเมตร อนุภาคนาโนซิลเวอร์นี้สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่นบริเวณ 396 นาโนเมตร

หลังเก็บสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นเวลา 1 วัน นำสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.50 มิลลิโมลาร์ มาเจือจางเป็น 0.25 มิลลิโมลาร์ก่อนนำมาทำการทดลอง เพื่อหาความเข้มข้นสูงสุดของเมลามีนที่ไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยศึกษาเมลามีนที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 1.0, 5.0, 7.5, 10, 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 1 นาที 30 วินาที และ 5 นาที ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.5



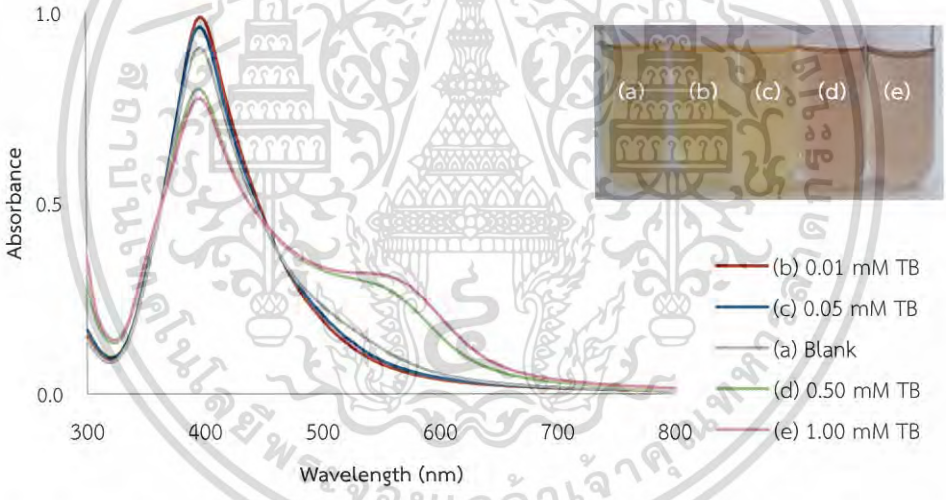
รูปที่ 4.5 สเปกตรัมของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เมื่อผสมกับเมลามีนจนได้ความเข้มข้นสุดท้ายที่มีค่าต่างๆ (ก). ตรวจวัดที่เวลา 1 นาที 30 วินาที (ข). ตรวจวัดที่เวลา 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.5ก และ 4.5ข พบว่า ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ สามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มความเข้มข้นของเมลามีน ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ที่ความเข้มข้น 1, 5, 7.5, และ 10 ไมโครโมลาร์ ซึ่งความเข้มข้นในกลุ่มนี้ยังไม่ทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดการรวมตัวกัน ส่วนกลุ่มที่ 2 ที่ความเข้มข้น 50 และ 100 ไมโครโมลาร์ เป็นความเข้มข้นที่ทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดการรวมตัวกัน สังเกตจากสเปกตรัมให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงอย่างชัดเจน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกความเข้มข้นในกลุ่มที่ 1 และพิจารณาเมลามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครโมลาร์ มาใช้เป็นความเข้มข้นของเมลามีนที่ยังไม่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์อย่างชัดเจน

4.2.2 ผลการศึกษาการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน

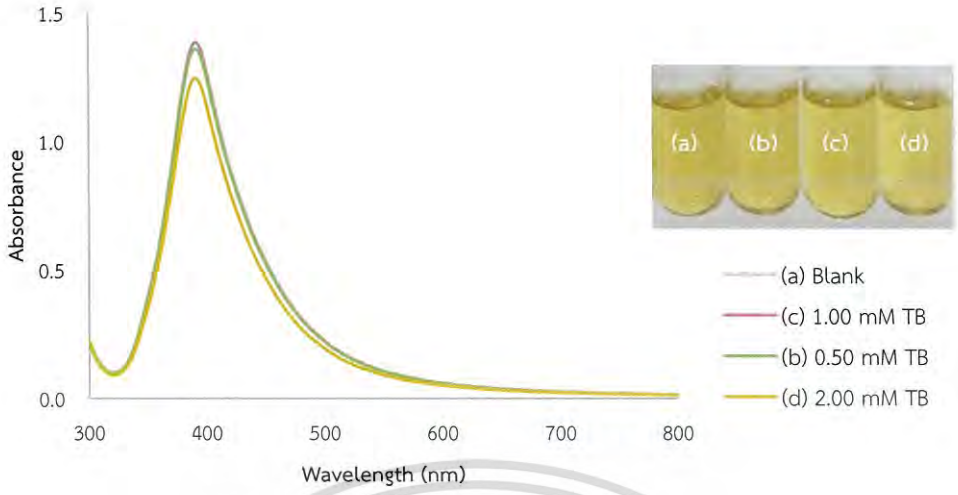
ทำการทดลองโดยการเติมเทอร์บูทาลีนที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.01, 0.05, 0.50 และ 1.00 มิลลิโมลาร์ ลงในสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อศึกษาการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จากอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน ทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 24 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมเมลามีน (ความเข้มข้นสุดท้ายของเมลามีนเท่ากับ 10 ไมโครโมลาร์) ที่เติมเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.6 พบว่า ที่เทอร์บูทาลีนความเข้มข้นสูง 0.50 และ 1.00 มิลลิโมลาร์ เห็นการเปลี่ยนแปลง โดยมีค่าการดูดกลืนแสงลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน และสีของสารละลายที่ได้เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีส้ม แต่เนื่องจากการทดลองนี้ใช้เวลานาน จึงทำการทดลองซ้ำ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงที่เวลาสั้นลง ทำการทดลองโดยใช้ความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีนที่ 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์ ตรวจวัดที่เวลา 3 นาที ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



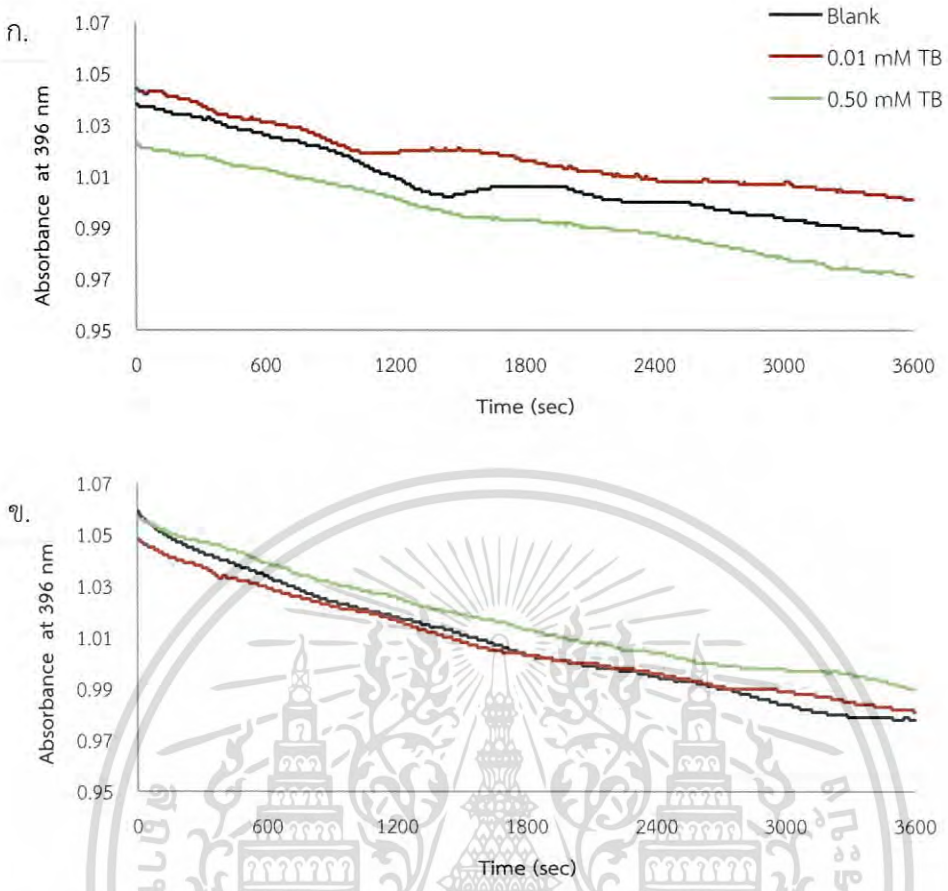
รูปที่ 4.7 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมเมลามีน (ความเข้มข้นสุดท้ายของเมลามีนเท่ากับ 10 ไมโครโมลาร์) ที่เติมเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 3 นาที

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.7 พบว่า ที่เทอร์บูทาลีนความเข้มข้น 0.50, 1.00 และ 2.00 มิลลิโมลาร์ ไม่เห็นการเปลี่ยนแปลงตามแนวโน้มของความเข้มข้น และไม่มีการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย ผู้วิจัยจึงมาพิจารณาลำดับการเติมสาร เพื่อศึกษาถึงผลต่ออันตรกิริยาที่เกิดขึ้น โดยการติดตามจลนศาสตร์ของอันตรกิริยา

4.2.3 ผลการศึกษาจลนศาสตร์ของอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน

ทำการทดลอง เพื่อพิจารณาลำดับการเติมสาร 2 แบบ ได้แก่ ลำดับการเติมแบบที่ 1 คือ เติมเมลามีนลงไปในสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จากนั้นเติมสารละลายเทอร์บูทาลีนลงไป และลำดับการเติมแบบที่ 2 คือ เติมเมลามีนลงไปในสารละลายเทอร์บูทาลีน จากนั้นเติมสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลงไป ติดตามจลนศาสตร์ของอันตรกิริยาในช่วงเวลา 60 นาที เพื่อศึกษาถึงผลต่อการทดลองจากลำดับการเติมสารที่แตกต่างกัน ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงในช่วงเวลา 60 นาที ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน (ความเข้มข้นสุดท้ายของเมลามีนเท่ากับ 10 ไมโครโมลาร์) เมื่อเติมเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ (ก). ลำดับการเติมสารแบบที่ 1 (ข). ลำดับการเติมสารแบบที่ 2

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.8ก พบว่า ลำดับการเติมแบบที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีนตลอดช่วงเวลา 60 นาที ซึ่งเทอร์บูทาลีนที่ความเข้มข้น 0.01 มิลลิโมลาร์ มีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงกว่าแบลงค์และเทอร์บูทาลีนที่ความเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ สำหรับผลการทดลองในรูปที่ 4.8ข พบว่า ลำดับการเติมแบบที่ 2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ในช่วงแรกไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน แต่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 45 นาที จนถึง 60 นาที แนวโน้มของค่าการดูดกลืนแสง เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน เนื่องจากลำดับการเติมแบบที่ 2 มีลักษณะคล้ายกับลำดับการเติมในงานวิจัยของ Xiaofang Z. et al. [19] และผลที่ได้เริ่มเกิดแนวโน้มความเป็นไปได้ในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน ผู้วิจัยจึงพิจารณาเปลี่ยนสภาวะในการตรวจวัด จากสภาวะน้ำเป็นสภาวะอื่นๆ โดยใช้ลำดับการเติมสารแบบที่ 2

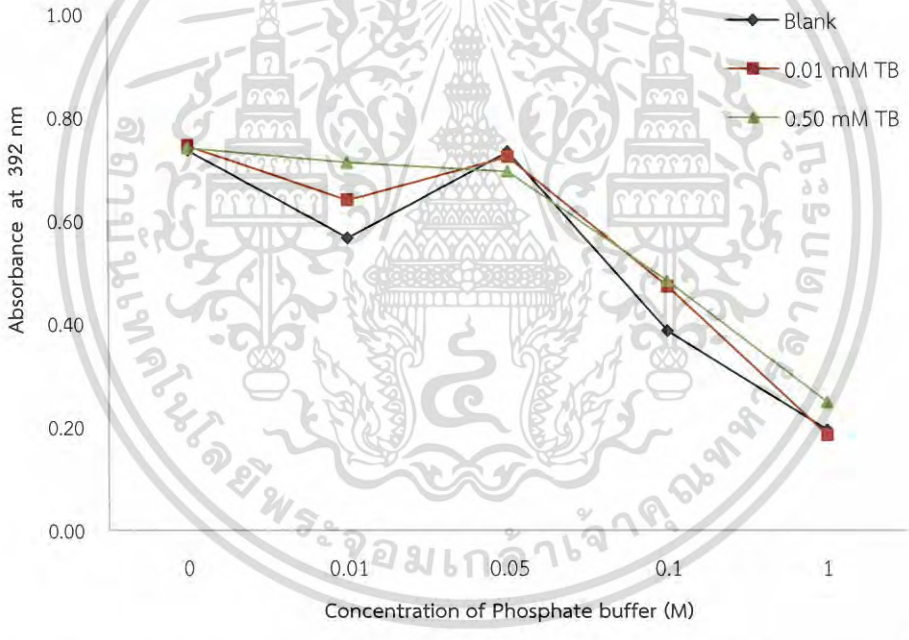
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การศึกษาชนิดของตัวกลางที่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน

เนื่องจากสภาวะความแรงไอออน (ionic strength) ของสารละลาย มีผลต่อเสถียรภาพ (stability) และการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จากการทดลองข้างต้นเป็นการทดลองที่มีน้ำเป็นตัวกลาง ซึ่งมีสภาวะความแรงไอออนที่ไม่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาชนิดตัวกลางอื่นๆ ที่มีความแตกต่างของสภาวะความแรงไอออน ได้แก่ ฟอสเฟสบัฟเฟอร์ กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก และกรดไนตริก เป็นต้น

4.2.4.1 ในสภาวะฟอสเฟสบัฟเฟอร์

- การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน ทำการทดลองโดยการเติมสารตามลำดับการเติมแบบที่ 2 คือ เติมเมลามีนลงไปในสารละลายเทอร์บูทาลีน จากนั้นเติมสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์และฟอสเฟสบัฟเฟอร์ลงไปตามลำดับ โดยศึกษาที่ความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0 ได้แก่ 0, 0.01, 0.05, 0.1 และ 1 โมลาร์ ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 30 นาที ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.9



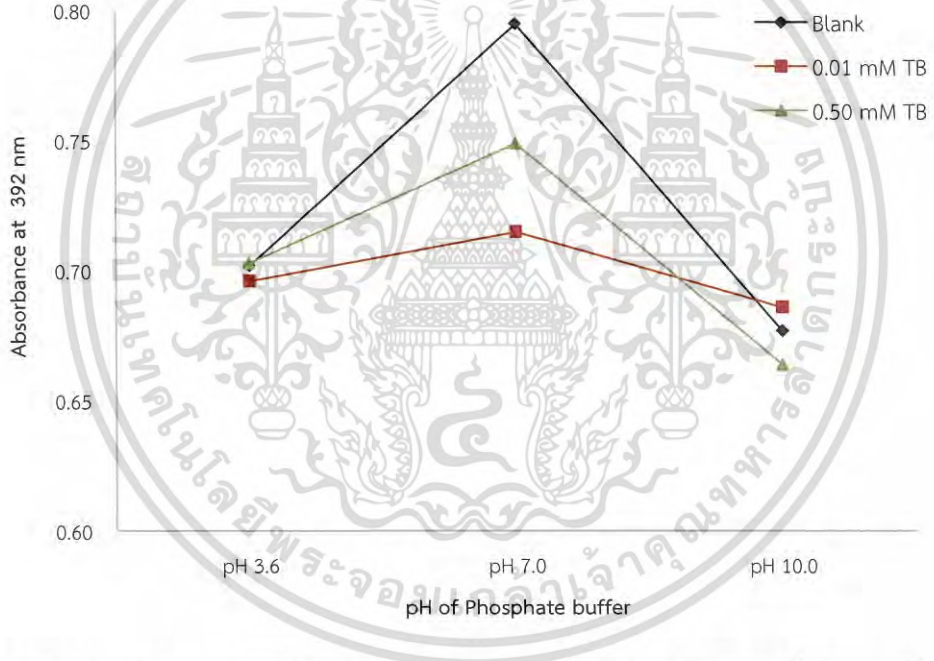
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน (ความเข้มข้นสุดท้ายของเมลามีนเท่ากับ 10 ไมโครโมลาร์) กับเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สภาวะฟอสเฟตบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0 ที่ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.9 พบว่า ในสภาวะฟอสเฟสบัฟเฟอร์ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.05 โมลาร์ ให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน เมื่อเปรียบเทียบสภาวะฟอสเฟสบัฟเฟอร์ทั้งสองแล้ว ในสภาวะ 0.01 โมลาร์ มีความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงที่ชัดเจนกว่าที่ 0.05 โมลาร์ จึงเลือกใช้สภาวะฟอสเฟสบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการทดลอง จากนั้นนำไปทำการศึกษาต่อ เพื่อหาพีเอชของฟอสเฟสบัฟเฟอร์ที่เหมาะสม

- การศึกษาพีเอชของฟอสเฟสบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน

ทำการทดลองโดยการเติมสารตามลำดับการเติมแบบที่ 2 คือ เติมเมลามีนลงไปในสารละลายเทอร์บูทาลีน จากนั้นเติมสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์และฟอสเฟสบัฟเฟอร์ลงไปตามลำดับ โดยศึกษาที่พีเอชต่างๆ ของสารละลายฟอสเฟสบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ ได้แก่ 3.6 7.0 และ 10.0 ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 30 นาที ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.10



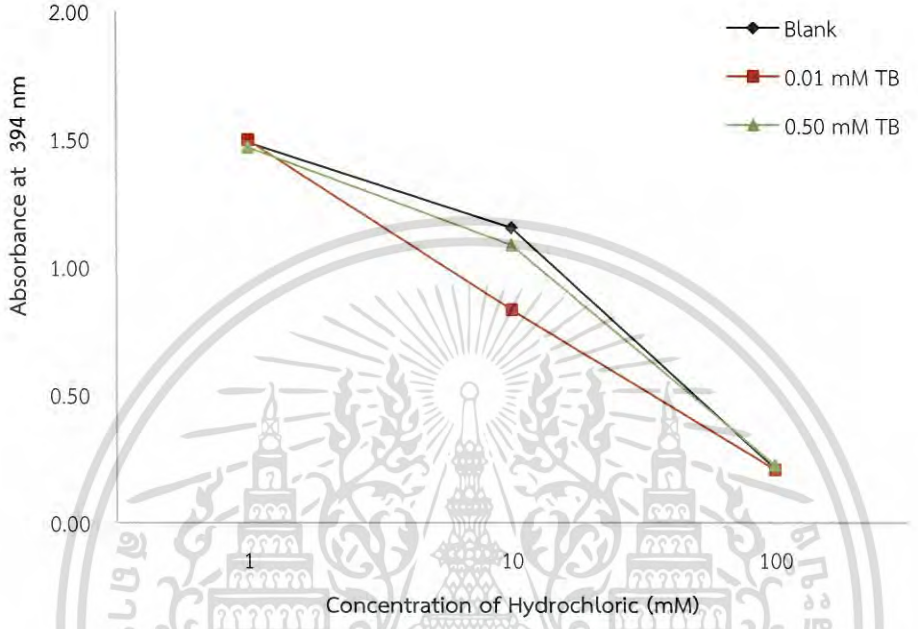
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน (ความเข้มข้นสุดท้ายของเมลามีนเท่ากับ 10 ไมโครโมลาร์) กับเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สภาวะฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.01 โมลาร์ ที่พีเอชต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 30 นาที

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.10 พบว่า ในสภาวะฟอสเฟสบัฟเฟอร์ที่พีเอชทั้งสาม ได้แก่ 3.6, 7.0 และ 10.0 ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน จึงไม่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน ทำให้ผู้วิจัยไม่เลือกสภาวะฟอสเฟสบัฟเฟอร์ในการทดลองและเปลี่ยนเป็นสภาวะกรดไฮโดรคลอริกในการทดลองถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4.2 ในสภาวะกรดไฮโดรคลอริก

ทำการทดลอง โดยเติมสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลงไปในสารละลายเทอร์บูทาลีน จากนั้นเติมกรดไฮโดรคลอริกลงไป เพื่อศึกษาการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน ในสภาวะกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 1, 10 และ 100 มิลลิโมลาร์ ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 30 นาที ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.11



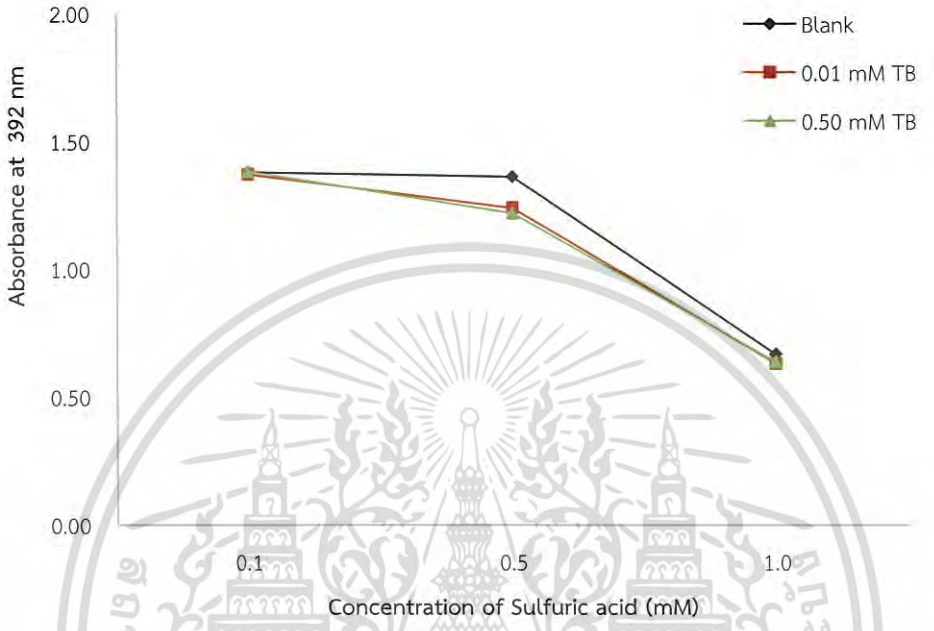
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมกับเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สภาวะกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 30 นาที

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.11 พบว่า ภายใต้สภาวะกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้นทั้งสาม ได้แก่ 1, 10 และ 100 มิลลิโมลาร์ ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน ถือเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน จึงพิจารณาเปลี่ยนสภาวะจากกรดไฮโดรคลอริกเป็นกรดซัลฟิวริก ในการทดลองถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4.3 ในสภาวะกรดซัลฟิวริก

ทำการทดลอง โดยเติมสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลงไปในสารละลายเทอร์บูทาลีน จากนั้นเติมกรดซัลฟิวริกลงไป เพื่อศึกษาการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน ในสภาวะกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิโมลาร์ ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 30 นาที ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.12



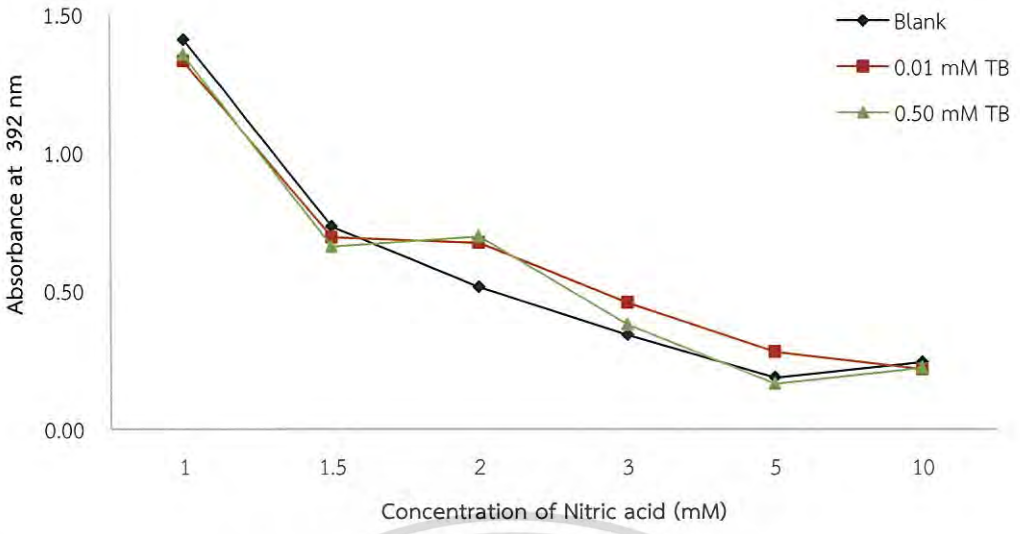
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมกับเทอร์บูทาลีน ความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สภาวะกรดซัลฟิวริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 30 นาที

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.11 พบว่า ในสภาวะกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.1, 0.5 และ 1.0 มิลลิโมลาร์ ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกันมากจนไม่แตกต่าง ถือเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสม จึงพิจารณาเปลี่ยนสภาวะจากกรดซัลฟิวริกเป็นกรดไนตริก ในการทดลองต่อไป

4.2.4.4 ในสภาวะกรดไนตริก

ทำการทดลอง โดยเติมสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลงไปในสารละลายเทอร์บูทาลีน จากนั้นเติมกรดไนตริกลงไป เพื่อศึกษาการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน ในสภาวะกรดไนตริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 1, 1.5, 2, 3, 5 และ 10 มิลลิโมลาร์ ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 30 นาที ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

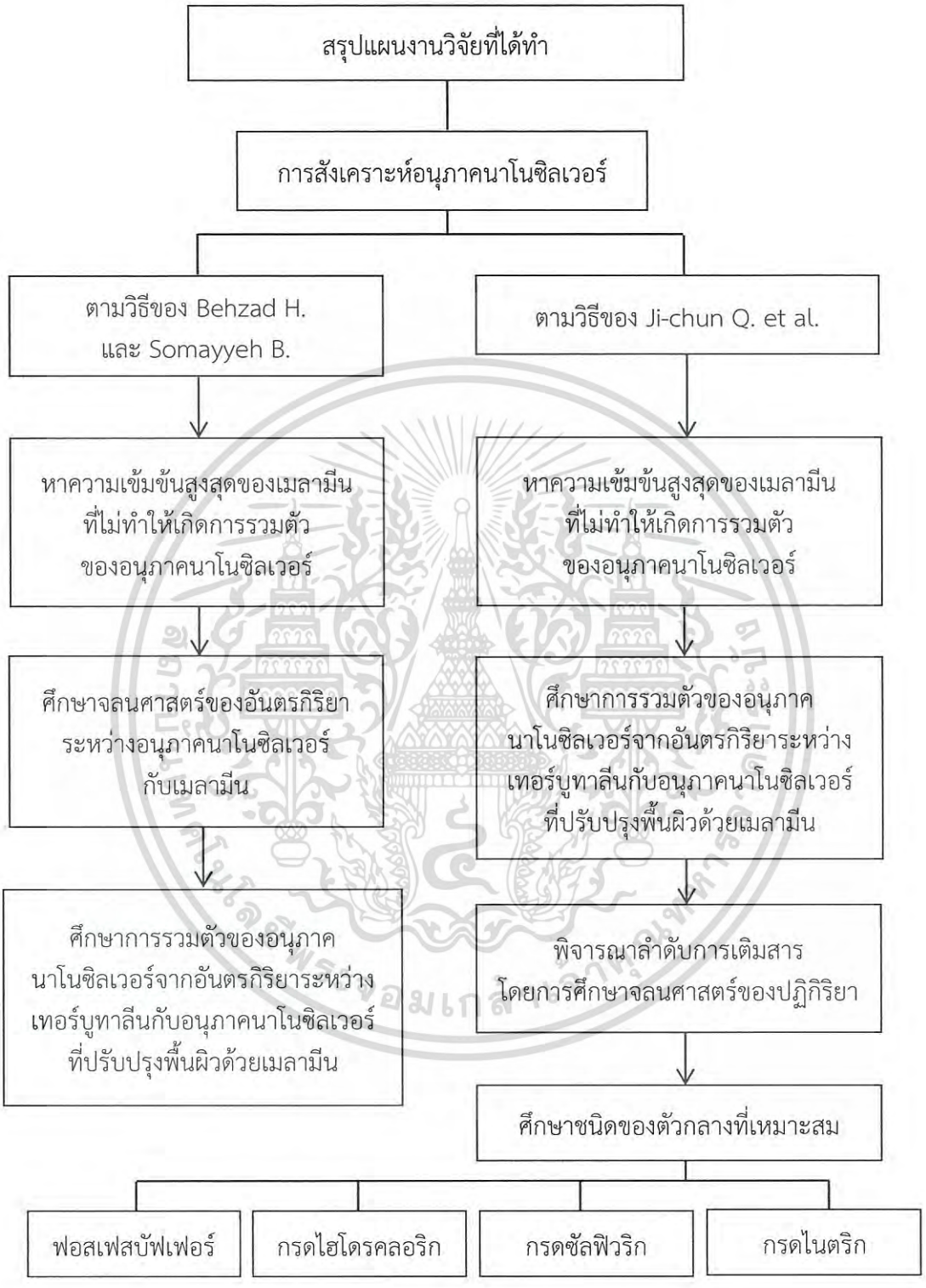


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมกับเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สภาวะกรดไนตริกที่ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 30 นาที

จากผลการทดลองในรูปที่ 4.13 พบว่า ในกรดไนตริกที่ความเข้มข้น 1, 2, 3, 5 และ 10 มิลลิโมลาร์ ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีนเลย มีเพียงที่ความเข้มข้น 1.5 มิลลิโมลาร์ที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน แต่มีความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่ชัดเจน จึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานจริงในการตรวจวัดปริมาณเทอร์บูทาลีน ดังนั้นจากการเปลี่ยนสภาวะเป็นฟอสเฟสบัฟเฟอร์ กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก และกรดไนตริก พบว่าเป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สรุปแผนงานวิจัยที่ได้ทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

โครงงานพิเศษนี้ เป็นการศึกษาอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อหาปัจจัยต่างๆ และสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน โดยอาศัยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตเมทรี

จากการทดลอง เมื่อนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน ซึ่งเมลามีนจะเกิดพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และเมื่อทำการเติมเทอร์บูทาลีนลงไป เมลามีนจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับเทอร์บูทาลีน และจะถูกตรึงอยู่บนผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ส่งผลให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยผลการทดลองที่ได้ มีค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน จึงทดลองเปลี่ยนลำดับการเติมสาร แต่ผลยังไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน จึงมาพิจารณาสภาวะในการทดลอง โดยทำการเปลี่ยนสภาวะตัวกลาง จากสภาวะน้ำเป็นสภาวะอื่นๆ ได้แก่ ฟอสเฟสบัฟเฟอร์ กรดไฮโดรคลอริก กรดซัลฟิวริก และกรดไนตริก พบว่า ผลของค่าการดูดกลืนแสงยังคงไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีนเช่นเดิม

อย่างไรก็ตาม ภายใต้สภาวะที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของเมลามีน ลำดับการเติมสารชนิดและความเข้มข้นของสารละลายตัวกลาง พบว่า ผลการทดลองที่ได้ ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ภายใต้สภาวะที่ทำการศึกษาในโครงงานพิเศษนี้เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการตรวจวัดเทอร์บูทาลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Apai Rassadonwijit. 2555. **Terbutaline**. [Online]. Available : http://haamor.com/th/terbutaline

[2] Apai Rassadonwijit. 2555. **Beta$_2$ adrenergic agonist.** [Online]. Available : http://haamor.com/th/Beta2-adrenergic agonist

[3] **Agonist compounds (beta agonist).** 2558. [Online]. Available : http://elib.fda.moph.go.th/library/default.asp

[4] **Agonist compounds.** 2556. [Online]. Available : http://www.manager.co.th/Home/ViewNews.aspx

[5] Yilmaz, N. Ozkan, S.A. Uslu, B. Senturk, Z. and Biryol, I. 1998. "Determination of Terbutaline based on Oxidation by Voltammetry." Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 17(1) : 349–355.

[6] Vanessa, L.H. and Julie, A.J. 2000. "Simple Method for Determination of Terbutaline Plasma concentration by High-Performance Liquid Chromatography." Journal of Chromatography B. 741(1) : 307–312.

[7] Maria, K.H. Georg, O. Hildegard, S.L. and Wilhelm, S. 2001. "Screening of β-2 Agonists and Confirmation of Fenoterol Orciprenaline Reproterol and Terbutaline with Gas Chromatography–Mass Spectrometry as Tetrahydroisoquinoline Derivatives." Journal of Chromatography B. 751(1) : 93–105.

[9] Behzad, H. and Somayyeh, B. 2010. "Flow Injection Chemiluminescence Determination of Isoniazid using Luminol and Silver Nanoparticles." Microchemical Journal. 95(1) : 192-197.

[10] Ji-chun, Q. Yan-ping, C. Yan-hua, M. Jin-min, Z. Honghong, L. Qian-qian, O. and Xing-guo, C. 2012. "A Simple and SensitiveColorimetric Method for the Determination of Propafenone by Silver Nanoprobe." Sensors and Actuators B. 174(1) : 133–139.

[11] Shuting, L. Janshi, W. and Shulin, Z. 2009. "Determination of Terbutaline sulfate by Capillary Electrophoresis with Chemiluminescence detection." Journal of Chromatography B. 877(1) : 155–158.

[12] Pingli, H. Li, S. Rongyuan, L. Zhiping, L. and Zhen, L. 2011. "Direct detection of β-Agonists by Use of Gold Nanoparticle-Based Colorimetric Assays." Analytical chemistry. 83(1) : 6988-6995.

[13] Wei, X. Xuelan, C. Xiaolin, H. Wanchun, Y. Hengyi, X. and Yonghua, X. 2013. "$Ru(phen)_3^{2+}$ Doped SilicaNanoparticle Based Immunochromatographic Strip for Rapid Quantitative Detectionof β-Agonist Residues in Swine Urine." Talanta. 114(1) : 160–166.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] Huan, W. Yong, Z. He, L. Bin, D. Hongmin, M. Dan, W. and Qin, W. 2013. "A Silver Palladium Alloy Nanoparticle-Based Electrochemical Biosensor for Simultaneous Detection of Ractopamine, Clenbuterol and Salbutamol." Biosensors and Bioelectronics. 49(1) : 14–19.

[15] Jiahua, D. Dawei, H. Wenshuo, W. Yongchuan, L. Hongpen,g W. and Ming, F. 2013. "Glassy Carbon Electrode Modified with Gold Nanoparticles for Ractopamine and Metaproterenol Sensing." Chemical Physics Letters. 574(1) : 83–88.

[16] Panpan, Y. Qinghui, T. Anping, D. and Jianguo, L. 2014. "Ultrasensitive Detection of Clenbuterol by Quantum Dots Based Electro-chemiluminescent Immunosensor Using Gold Nanoparticles Assubstrate and Electron Transport Accelerator." Sensors and Actuators B. 191(1) : 508–515.

[17] Jingyue, X. Ying, L. Jiajia, G. Fei, S. Yeli, L. and Chunyan, S. 2014. "Fluorescent Detection of Clenbuterol using Fluorophore Functionalized Gold Nanoparticles Based on Fluorescence Resonance Energy Transfer." Food Control. 46(1) : 67-74.

[18] Ying, Z. Peilong, W. Xiaoou, S. and Yujian, H. 2013. "Colorimetric Detection of Ractopamine and Salbutamol using Gold Nanoparticles Functionalized with Melamine as a probe." Talanta. 112(1) : 20–25.

[19] Xiaofang, Z. Hong, Z. Ying, X. Zhijiao, W. Yang, Z. Xiangjun, L. and Zhuobin, Y. 2012. "Colorimetric sensing of Clenbuterol using Gold Nanoparticles in the presence of Melamine." Biosensors and Bioelectronics. 34(1) : 112–117.

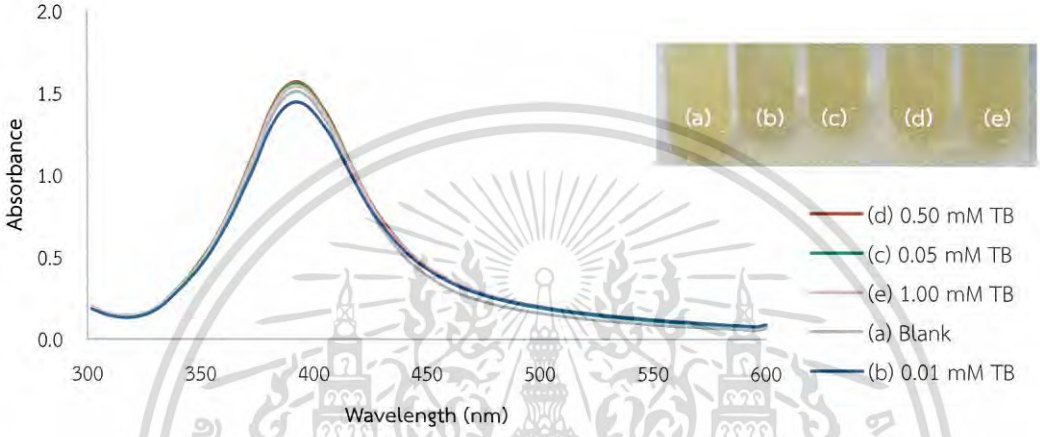
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

จากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Behzad H. และ Somayyeh B. มีการนำสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไปศึกษาการรวมตัวของอนุภาค จากอันตรกิริยาระหว่างเทอร์บูทาลีนกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยเมลามีน ในสภาวะอะซิเตตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ ที่มีค่าพีเอช 3.8 เมื่อทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 1 นาที 30 วินาที ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ ก



รูปที่ ก สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผสมเมลามีน (ความเข้มข้นสุดท้ายของเมลามีนเท่ากับ 10 ไมโครโมลาร์) ที่เติมเทอร์บูทาลีนความเข้มข้นต่างๆ ภายใต้สภาวะฟอสเฟตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ ที่พีเอช 3.8 ตรวจวัดที่เวลา 1 นาที 30 วินาที

จากผลการทดลองในรูปที่ ก พบว่า ในสภาวะอะซิเตตบัฟเฟอร์เข้มข้น 0.5 โมลาร์ พีเอช 3.8 ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารลารและให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเทอร์บูทาลีน ซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการตรวจวัด ผู้วิจัยจึงพิจารณาเปลี่ยนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ จากเดิมสังเคราะห์ตามวิธีของ Behzad H. และ Somayyeh B. เป็นวิธีของ Ji-chun Q. et al. เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการตรวจวัดปริมาณเทอร์บูทาลีนต่อในบทที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้