

การปรับปรุงอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยไคโตซาน
สำหรับการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

CHITOSAN MODIFIED SILVER NANOPARTICLES FOR
DETERMINATION BISPHENOL A

วิลาสินี อ่องคำ
วิสุดา เนื้อทอง
ศุทธิณี จันที

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

การปรับปรุงอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยไคโตซาน

สำหรับการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

CHITOSAN MODIFIED SILVER NANOPARTICLES FOR
DETERMINATION BISPHENOL A



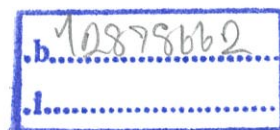
T149007

วิลาสินี อ่องคำ

วิสุตา เนื้อทอง

ศุทธิณี จันท์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 149007 ..
วัน,เดือน,ปี..... 18 S.ค. 2560 ..



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

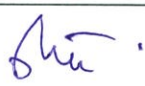


ปีการศึกษา 2559

หัวข้อโครงการพิเศษ การปรับปรุงอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยไคโตซาน สำหรับการตรวจวัด
 บิสฟีนอล เอ
 Chitosan Modified Silver Nanoparticles For Determination
 Bisphenol A

ชื่อนักศึกษา นางสาววิลาสินี อ่องคำ รหัสนักศึกษา 56050607
 นางสาววิสุดา เนื้อทอง รหัสนักศึกษา 56050609
 นางสาวศุทธิณี จันที รหัสนักศึกษา 56050623

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
 ภาควิชา เคมี
 ปีการศึกษา 2559
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี
 อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี กรรมการ	
ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุงอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยไคโตซาน สำหรับการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ		
ชื่อนักศึกษา	นางสาววิลาสินี อ่องคำ	รหัสนักศึกษา	56050607
	นางสาววิสุตา เนื้อทอง	รหัสนักศึกษา	56050609
	นางสาวศุทธิณี จันท์	รหัสนักศึกษา	56050623
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง		

บทคัดย่อ

ในโครงการพิเศษนี้ ทำการวิเคราะห์หาปริมาณบิสฟีนอล เอ เมื่อนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาปรับปรุงผิวด้วยไคโตซาน โดยไคโตซานจะถูกตรึงบนผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผ่านหมู่อะมิโนของไคโตซานด้วยพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เมื่อทำการเติมบิสฟีนอล เอ ลงไปไคโตซานที่ปรับปรุงบนพื้นผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีหมู่อะมิโน จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของบิสฟีนอล เอ เป็นผลให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และเกิดการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเหลืองเป็นสีส้มน้ำตาล ซึ่งสามารถตรวจวัดได้โดยอาศัยเทคนิคยูวี – วิสเปิลสเปกโตรโฟโตเมทรี นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ เช่นการกำจัดไคโตซานส่วนเกินออก การศึกษาความเข้มข้นของไคโตซานต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ การศึกษาความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรทต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ การเปลี่ยนเครื่องมือตรวจวัดโดยอาศัยหลักการกระเจิงแสง ศึกษาเมลามีนและค่าพีเอช ที่มีผลต่อปฏิกิริยาเปลี่ยนวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้ซิเตรทในการปรับปรุงพื้นผิว ศึกษาความเป็นไปได้ของซิเตรทกับบิสฟีนอล เอ และศึกษาลำดับการทำปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามในสถานะที่ทำการศึกษาโครงการพิเศษนี้ ให้ผลของค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ซึ่งถือว่าเป็นสถานะที่ไม่เหมาะสมในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ต้องทำการทดลองเพื่อศึกษาหาสถานะที่เหมาะสมในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ต่อไป

คำสำคัญ: เทคนิคยูวี – วิสเปิลสเปกโตรโฟโตเมทรี บิสฟีนอล เอ พันธะไฮโดรเจน พันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์ ไคโตซาน ซิเตรท อนุภาคนาโนซิลเวอร์

Title	Chitosan Modified Silver Nanoparticles For Determination Bisphenol A				
Student	Miss	Wilasinee	Ongkham	Student ID	56050607
	Miss	Wisuda	Neuthong	Student ID	56050609
	Miss	Suthinee	Jantee	Student ID	56050623
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)				
Department	Chemistry				
Faculty	Science				
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)				
Academic Year	2016				
Advisor	Asst.Prof.Dr.Saowapak Teerasong				

Abstract

In this work, chitosan was modified on the silver nanoparticles (AgNPs) surface through the coordinate covalent of $-NH_2$ in chitosan and metallic silver. When introduced BPA into chitosan modified AgNPs, hydrogen-bonding between $-NH_2$ and $-OH$ of chitosan and $-OH$ of BPA took place. This resulted in an aggregation of the AgNPs. Consequent color change of AgNPs from yellow to orange-brown, which can be monitored by UV-Vis spectrophotometer, was thus observed. Important parameters which influence to the interaction between BPA and chitosan modified AgNPs were investigated; for examples, concentrations of chitosan, and silver nitrate, effect of pH, concentration of melamine and etc. Unfortunately under studied conditions, the absorbance were not proportional to the concentration of BPA. In a suggestion, other parameters should be further studied.

Keywords: Uv-vis spectrophotometer, hydrogen-bonding, Bisphenol A (BPA), silver nanoparticles (AgNPs), chitosan, citrate, coordinate covalent bonding

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกๆท่าน ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ธีราทรง ที่คอยให้คำปรึกษา ดูแลอย่างใกล้ชิด สอนทักษะการปฏิบัติงานให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดีในการปรับปรุงข้อบกพร่องในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ กรรมการสอบโครงการพิเศษ คือ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น และ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี และเจ้าหน้าที่ห้องธุรการ สาขาวิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณพี่ๆนักศึกษาปริญญาเอกและปริญญาโทห้องหน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์ ที่อำนวยความสะดวกและให้ความช่วยเหลือ รวมทั้งให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือ

ขอขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจเป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวมา ผู้จัดทำโครงการพิเศษขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

วิลาสินี อ่องคำ
วิสุตา เนื้อทอง
ศุทธิณี จันทิ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูป	ช
คำย่อสัญลักษณ์	ฎ
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 บิสฟีนอล เอ	3
2.2 สมบัติอนุภาคนาโนซิลเวอร์	5
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.3.1 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ	8
2.3.2 การใช้อนุภาคระดับนาโนในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	13
3.1 สารเคมี	13
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	14
3.3 การเตรียมสารละลาย	14
3.3.1 สารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ	14
3.3.2 สารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์	15
3.3.3 การเตรียมและการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ปรับปรุงด้วยโคโตซาน	15

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4 การเตรียมและการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ปรับปรุงด้วยซิเตรท	16
3.4 ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างบิสฟีนอล เอ กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ปรับปรุงผิวด้วยโคโตซาน	17
3.4.1 ศึกษาความเป็นไปได้ระหว่างโคโตซานกับบิสฟีนอล เอ	17
3.4.2 ศึกษาความเป็นไปได้เมื่อกำจัดโคโตซานส่วนเกินออก ต่อการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ	17
3.4.3 ศึกษาความเข้มข้นของโคโตซานต่อการสังเคราะห์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์และการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ	17
3.4.4 ศึกษาความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรทต่อการสังเคราะห์อนุภาค นาโนซิลเวอร์และการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ	18
3.4.5 ศึกษาการตรวจวัดโดยอาศัยหลักการกระเจิงแสง ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์	18
3.4.6 ศึกษาเมลามีนที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์ กับบิสฟีนอล เอ	18
3.4.7 ศึกษาค่าพีเอช ที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์ กับบิสฟีนอล เอ	19
3.4.8 ศึกษาค่าพีเอชและเมลามีน ที่มีผลต่ออันตรกิริยา ระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ	19
3.5 ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างบิสฟีนอล เอ กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรท	20
3.5.1 ศึกษาเมลามีนที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่าง อนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ	20

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5.2 ศึกษาลำดับการทำปฏิกิริยา	20
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	22
4.1 ผลของปฏิกิริยาระหว่างบิสฟีนอล เอ กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ปรับปรุงผิวด้วยโคโตซาน	22
4.1.1 ผลของความเป็นไปได้ระหว่างโคโตซานกับบิสฟีนอล เอ	22
4.1.2 ผลของกำจัดโคโตซานส่วนเกินออก ต่อการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ	23
4.1.3 ผลของเข้มข้นของโคโตซานต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ และการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ	23
4.1.4 ผลของเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรทต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโน ซิลเวอร์และการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ	26
4.1.5 ผลของการตรวจวัดโดยอาศัยหลักการกระเจิงแสง ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์	30
4.1.6 ผลของการศึกษาเมลามีนที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่าง อนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ	30
4.1.7 ผลของการศึกษาค่าพีเอช ที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่าง อนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ	31
4.1.8 ผลของการศึกษาค่าพีเอชและเมลามีน ที่มีผลต่ออันตรกิริยา ระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ	32
4.2 ผลของปฏิกิริยาระหว่างบิสฟีนอล เอ กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรท	33
4.2.1 ผลของความเป็นไปได้ระหว่างซิเตรทกับบิสฟีนอล เอ	33
4.2.2 ผลของลำดับการทำปฏิกิริยา	34
4.3 สรุปแผนงานที่ทำ	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	38
เอกสารอ้างอิง	39

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.1 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 2 ชั่วโมง	22
4.2 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่กำจัดไคโตซานส่วนเกินออกทำปฏิกิริยากับ บิสฟีนอล เอ ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดที่ เวลา 3 ชั่วโมง	23
4.3 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยน ความเข้มข้นของไคโตซาน(0.05เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอความเข้มข้นต่างๆตรวจวัด ที่เวลา17 ชั่วโมง	24
4.4 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยน ความเข้มข้นของไคโตซาน (0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอลเอความเข้มข้นต่างๆตรวจวัด ที่เวลา17 ชั่วโมง	24
4.5 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยน ความเข้มข้นของไคโตซาน(0.2เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)ทำปฏิกิริยากับ บิสฟีนอล เอ ความเข้มข้นต่างๆตรวจวัดที่เวลา17 ชั่วโมง	25
4.6 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยน ความเข้มข้นของไคโตซาน (0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอลเอความเข้มข้น ต่างๆตรวจวัด ที่เวลา17 ชั่วโมง	25
4.7 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยน ความเข้มข้นของไคโตซาน (1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับ บิสฟีนอล เอ ความเข้มข้นต่างๆตรวจวัดที่เวลา17 ชั่วโมง	26

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
4.8	สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยน ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (0.005 โมลาร์) ทำปฏิกิริยากับ บิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น ต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง	27
4.9	สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ ปรับเปลี่ยนความเข้มข้น ของซิลเวอร์ไนเตรท (0.01 โมลาร์) ทำปฏิกิริยา กับบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น ต่างๆตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง	27
4.10	สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยน ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (0.025 โมลาร์) ทำปฏิกิริยากับ บิสฟีนอล เอ ความเข้มข้นต่างๆตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง.....	28
4.11	สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (0.05 โมลาร์) ทำปฏิกิริยากับ บิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น ต่างๆ ตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง	28
4.12	สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (0.1 โมลาร์)ทำปฏิกิริยากับ บิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น ต่างๆตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง	29
4.13	สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (0.05 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น ต่างๆตรวจวัด ที่เวลา 24 ชั่วโมง (ทำการทดลองซ้ำ)	29
4.14	สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของไคโตซาน (0.5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น ต่างๆตรวจวัดค่าการกระเจิงแสง ที่เวลา 17 ชั่วโมง	30

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.15	
สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่	
ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโคโคซาน (0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	
ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น ต่างๆและเพิ่มเมลามีน	
ตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 4 ชั่วโมง	
	31
4.16	
สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่	
ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโคโคซาน (0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	
ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้นต่างๆและควบคุมค่าพีเอช	
ตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 4 ชั่วโมง	
	32
4.17	
สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่	
ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโคโคซาน (0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	
ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น ต่างๆที่ควบคุมค่าพีเอชและ	
เติมเมลามีนตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 4 ชั่วโมง	
	32
4.18	
สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์	
ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิเตรททำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ	
ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ เวลา 3 ชั่วโมง	
	33
4.19	
สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์	
ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิเตรททำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ	
ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่ เวลา 3 ชั่วโมง	
	34
4.20	
สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์	
ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิเตรททำปฏิกิริยากับเมลามีนและบิสฟีนอล เอ	
ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่ เวลา 5 นาที	
(ลำดับการเติมสารแบบที่ 1)	
	35
4.21	
สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์	
ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิเตรททำปฏิกิริยากับเมลามีนและบิสฟีนอล เอ	
ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่ เวลา 60 นาที	

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
(ลำดับการเติมสารแบบที่ 1)	35
4.22 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิเตรททำปฏิกิริยากับเมลามีนและบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจสอบวัดค่าการกระเจิงแสงที่ เวลา 5 นาที (ลำดับการเติมสารแบบที่ 2)	36
4.23 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิเตรททำปฏิกิริยากับเมลามีนและบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้นต่างๆ ตรวจสอบวัดค่าการกระเจิงแสงที่ เวลา 60 นาที (ลำดับการเติมสารแบบที่ 2)	36

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
BPA	บิสฟีนอล เอ
AgNPs	อนุภาคนาโนซิลเวอร์
mM	มิลลิโมลาร์
μ M	ไมโครโมลาร์
sec	วินาที
nm	นาโนเมตร

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

บิสฟีนอล เอ เป็นสารประกอบอินทรีย์อะโรมาติกกลุ่มฟีนอลได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟีนอลสองโมเลกุลกับอะซิโตนหนึ่งโมเลกุล และเป็นสารอะโกนิสต์สำหรับตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน(Estrogen receptor agonist) ซึ่งสามารถกระตุ้นตัวรับเอสโตรเจน^[1] ทำให้มีผลทางสรีรวิทยาเหมือนฮอร์โมนเอสโตรเจนจากร่างกายมีผลเป็นสารก่อมะเร็งทำให้เกิดมะเร็ง เกิดพังผืดที่มดลูกและยังทำให้ถึงวัยแตกเนื้อสาวได้เร็วกว่าปกติ บิสฟีนอล เอยังมีฤทธิ์เป็นสารต้านแอนโดรเจนด้วย มีผลทำให้ผู้ชายมีจำนวนสเปิร์มต่ำลงและเป็นสเปิร์มที่ไม่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้บิสฟีนอล เอ จะเปลี่ยนแปลงความสามารถของอัยรอยด์ฮอร์โมนในการควบคุมพัฒนาการของสมองและสามารถยับยั้งบทบาทของเอสโตรเจนในการเพิ่มการเชื่อมต่อของปลายประสาทในฮิปโปแคมปัสซึ่งเกี่ยวข้องกับความจำ บิสฟีนอล เอ เปลี่ยนแปลงการทำงานของเซลล์ตับอ่อนทำให้เกิดโรคเบาหวาน และบิสฟีนอล เอ ไปกระตุ้นเซลล์ไขมันทำให้เกิดโรคอ้วน^[1]

ปัจจุบันบิสฟีนอล เอ ถูกนำมาใช้เป็นโมโนเมอร์ของการผลิตพลาสติกโพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate) ซึ่งนิยมนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภคต่างๆ เช่น แผ่นหลังคาใสกันแดด แวนกันแดด แผ่นซีดี ภาชนะบรรจุน้ำและอาหารตลอดจนขวดนมเด็ก โดยบิสฟีนอล เอ มีคุณสมบัติช่วยให้พลาสติกมีความแข็งแรง ใส ไม่แตกง่าย ซึ่งจะปนเปื้อนออกมาเมื่อโดนความร้อนเช่น การต้มหรือการนึ่ง รวมทั้งการทำความสะอาดขัดล้างด้วยผงซักฟอกที่กระด้าง ทำให้การบริโภคอาหารจากบรรจุภัณฑ์เหล่านั้นมีโอกาสได้รับบิสฟีนอล เอ เข้าไปโดยไม่รู้ตัว ซึ่งเป็นอันตรายมากต่อเด็ก เด็กทารก และเด็กในครรภ์ เนื่องจากเกิดความไม่สมดุลของฮอร์โมนในร่างกายซึ่งควบคุมพัฒนาการของสมองและระบบสืบพันธุ์และอาจแสดงผลเมื่อเด็กเหล่านั้นโตขึ้น^[2]

ในปัจจุบันพบว่ามีการปนเปื้อนของบิสฟีนอล เอ ในน้ำและอาหารในบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากโพลีคาร์บอเนต จึงมีหลายเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้วิเคราะห์หาปริมาณบิสฟีนอล เอ ได้แก่ Gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) ,Liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS) และ High performance liquid chromatography (HPLC)^[3] เป็นต้น ซึ่งเทคนิคเหล่านี้มีความไว (sensitivity) ต่อการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ สูงแต่มีข้อเสียคือเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์มีราคาแพงและการดำเนินการวิเคราะห์มีความยุ่งยากซับซ้อน

ดังนั้นโครงการพิเศษนี้จึงได้ทำการพัฒนานิววิธีวิเคราะห์หาปริมาณของบิสฟีนอล เอ ที่รวดเร็ว ใช้งานง่ายและมีความน่าเชื่อถือ โดยใช้อุปกรณ์นาโนซิลเวอร์ เพื่อทำอันตรกิริยากับบิสฟีนอล เอ ทำให้เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ซึ่งจะให้ค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มแสงที่เปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี และเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรสโกปีในการตรวจวัด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษ

- 1) เพื่อทำการศึกษาศักยภาพการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์
- 2) เพื่อทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดอันตรกิริยากับบิสฟีนอล เอ และเกิดการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนซิลเวอร์
- 3) เพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยการเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคนาโนซิลเวอร์

1.3 ขอบเขตของโครงการพิเศษ

- 1) ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยโคโตซาน^[4] และทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรท^[5]
- 2) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ
- 3) พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยการเกิดอันตรกิริยากับอนุภาคนาโนซิลเวอร์และตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี และเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตสโคปี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ทราบถึงอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ
- 2) ได้วิธีการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ที่ง่ายและรวดเร็ว

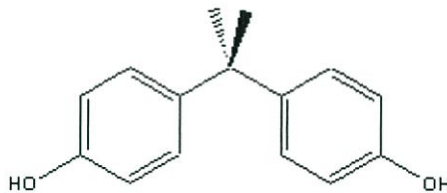
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บิสฟีนอล เอ

2.1.1 ข้อมูลโดยทั่วไป

บิสฟีนอล เอ เป็นสารประกอบอินทรีย์อะโรมาติกกลุ่มฟีนอล ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟีนอล 2 โมเลกุลกับอะซีโตน 1 โมเลกุล บิสฟีนอล เอ ถูกสังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกโดย A.P.Dianin ในปี ค.ศ.1891 และถูกนำมาทดสอบฤทธิ์เอสโตรเจน (ฮอร์โมนเพศหญิง) ในทศวรรษ 1930 เพื่อค้นหาสารสังเคราะห์ที่มีฤทธิ์เอสโตรเจน แต่ขณะนั้นพบว่าไดเอทิลstilbestrol (Diethylstilbestrol) มีความแรงมากกว่าเอสโตรเจนเอง บิสฟีนอล เอ จึงไม่ถูกนำมาใช้เป็นเอสโตรเจนสังเคราะห์ ปัจจุบันบิสฟีนอล เอ ถูกนำมาใช้เป็นโมโนเมอร์ของการผลิตพลาสติกโพลีคาร์บอเนต (PC) และเรซินอีพ็อกซี โดย PC นิยมนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภคต่างๆ เช่น แผ่นหลังคาใสสำหรับกันแดด แว่นกันแดด แผ่นซีดี ภาชนะบรรจุน้ำและอาหาร ตลอดจนขวดนมเด็กชนิดตกไม้แตก บิสฟีนอล เอ ยังเป็นส่วนผสมอยู่ในโพลิเมอร์บางชนิดที่ใช้อุดฟัน ส่วนเรซินอีพ็อกซีที่มีบิสฟีนอล เอ เป็นส่วนผสมถูกนำมาใช้เคลือบด้านในของกระป๋องบรรจุอาหารและท่อส่งน้ำ นอกจากนี้บิสฟีนอล เอ ยังเป็นสารต้านการเกิดออกซิไดส์ในพลาสติกไซเซออร์ (plasticizer) ใช้ยับยั้งการเกิดโพลิเมอร์ใน PVC และเป็นสารหน่วงการติดไฟ เช่น เตตระโบรโมบิสฟีนอลเอและเป็นยาฆ่าเชื้อรา^[6]



สูตรโครงสร้างของ Bisphenol A

บิสฟีนอล เอ (BPA) มีชื่อทางเคมีว่า 4,4'-Dihydroxy-2,2-diphenylpropane มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{15}H_{16}O_2$ มวลโมเลกุล 228.29 กรัมต่อโมล มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีขาว กลิ่นคล้ายฟีนอลเล็กน้อย จุดเดือด 220 องศาเซลเซียส (493 เคลวิน) จุดหลอมเหลว 150-159 องศาเซลเซียส (430 เคลวิน) ความถ่วงจำเพาะ 1.195 จุดวาบไฟ 79.4 องศาเซลเซียส ความดันไอ

(มม.ปรอท) 4×10^{-8} ที่ 25 องศาเซลเซียส การละลายในน้ำ 12-30 กรัม/100 มิลลิตร. ที่ 21.5 องศาเซลเซียส^[7] สามารถละลายได้ในเอทานอล, ไดเอทิลอีเทอร์, เบนซีน, สารละลายต่าง และสามารถละลายได้เล็กน้อยในไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนเตตระคลอไรด์ บิสฟีนอล เอ เป็นสารที่มีความคงตัวทางเคมี ไม่กัดกร่อน-สแตนเลสสตีล

2.1.2 ผลต่อสุขภาพ

บิสฟีนอล เอ เป็นสารอะโกนิสต์สำหรับตัวรับฮอร์โมนเอสโตรเจน (estrogen receptor agonist) ซึ่งสามารถกระตุ้นตัวรับเอสโตรเจนทำให้มีผลทางสรีรวิทยาเหมือนฮอร์โมนเอสโตรเจนจากร่างกาย มีการศึกษายืนยันว่าการได้รับบิสฟีนอล เอ ในช่วงที่มีการพัฒนาการเจริญเติบโตจะมีผลเป็นสารก่อมะเร็งทำให้เกิดมะเร็งเต้านม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเกิดพังผืดที่มดลูก (endometriosis) และยังทำให้ถึงวัยแตกเนื้อสาวได้เร็วกว่าปกติด้วย นอกจากนี้บิสฟีนอล เอ ยังมีฤทธิ์เป็นสารต้านแอนโดรเจน (ฮอร์โมนเพศชาย) เมื่อทดสอบกับยีสต์ที่มีตัวรับแอนโดรเจนของมนุษย์ สารนี้จะยับยั้งฤทธิ์ของไดไฮโดรเทสโทสเทอโรนที่มีฤทธิ์เทียบเท่าฟลูทาไมด์ (Flutamide, เป็นยาที่มีฤทธิ์ยับยั้งฮอร์โมนเพศชายตัวหนึ่ง) ต่อมาได้มีการศึกษาผลต่อเซลล์มะเร็งของมนุษย์และสัตว์พบว่า การได้รับบิสฟีนอล เอ ที่ระดับ 2-5 ppb (part per billion, ส่วนในพันล้านส่วน) มีผลทำให้เกิดการรบกวนการทำงานของฮอร์โมนและสุขภาพ เช่น ในผู้ชายจะมีจำนวนสเปิร์มต่ำลงและเป็นสเปิร์มที่ไม่มีประสิทธิภาพและการศึกษาในหนูตัวผู้ที่กำลังเจริญเติบโตพบว่าทำให้ต่อมลูกหมากมีขนาดใหญ่ขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่าบิสฟีนอล เอ มีผลต่อสัตว์เพศผู้มากกว่าเพศเมีย

ในปี ค.ศ. 2005 นักวิจัยจากภาควิชาชีววิทยา มหาวิทยาลัยแมสซาชูเซตส์ ได้ทำการศึกษาในมนุษย์พบว่า การสะสมของบิสฟีนอล เอ ในครรภ์รอบๆ ทารก เช่น ที่ถุงน้ำคร่ำและรก จะมีปริมาณที่สูงกว่าในเลือดของมารดา แต่ยังไม่สามารถสรุปผลกระทบที่แน่ชัดสำหรับในมนุษย์ได้ อย่างไรก็ตามได้มีรายงานผลของบิสฟีนอล เอ ต่อการทำงานของระบบสมองจากการทดลองในสัตว์พบว่าบิสฟีนอล เอ จะเปลี่ยนแปลงความสามารถของฮัยรอยด์ ซึ่งเป็นฮอร์โมนในการควบคุมพัฒนาการของสมอง นอกจากนี้ยังมีบทความจากวารสารประสาทวิทยาของมหาวิทยาลัยโตเกียว รายงานไว้ว่าบิสฟีนอล เอ สามารถยับยั้งบทบาทของเอสโตรเจนในการเพิ่มการเชื่อมต่อของปลายประสาทในฮิปโปแคมปัสซึ่งเกี่ยวข้องกับการจำ

ในปี ค.ศ. 2006 มีการวิจัยกับหนูทดลองพบว่าบิสฟีนอล เอ ส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์ตับอ่อนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอินซูลิน จึงทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคเบาหวาน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์กับโรคอ้วนโดยไปกระตุ้นเซลล์ไขมัน ทั้งนี้ได้มีการทำวิจัยในมนุษย์พบว่าผู้หญิงที่มีอาการแท้งก่อนครบกำหนดคลอดทารกจะมีระดับบิสฟีนอล เอ ในเลือดสูงเป็นสามเท่าของผู้หญิงที่ให้กำเนิดทารกตามปกติ แต่อย่างไรก็ตามสำหรับในมนุษย์ยังต้องมีการศึกษาและทดลองต่อไปในอนาคต^[8]

2.1.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

บิสฟีนอล เอ จัดเป็นสารปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมที่สำคัญตัวหนึ่ง โดยมีผลในด้านการรบกวนกระบวนการ nitrogen fixation ซึ่งเกี่ยวข้องกับแบคทีเรีย *Sinorhizobium mellioti* ในพืชตระกูลถั่ว แต่บิสฟีนอล เอ จะมีค่าครึ่งชีวิตในดินเพียง 1-10 วันเท่านั้น

2.1.4 วิธีการได้รับบิสฟีนอล เอ เข้าสู่ร่างกาย

ประชาชนส่วนใหญ่ในประเทศที่พัฒนาแล้วจะพบบิสฟีนอล เอ ในร่างกายที่ความเข้มข้นต่ำ ซึ่งระดับความเข้มข้นในร่างกายที่มนุษย์ได้รับจากอาหารคือ 1.5 -13 ไมโครกรัม/กิโลกรัม/วัน โดยทารกที่รับประทานอาหารจากภาชนะกระป๋องมีโอกาสได้รับบิสฟีนอล เอ ในปริมาณที่สูง (13 ไมโครกรัม/กิโลกรัม/วัน)^[9] เช่นเดียวกับผู้ที่รับประทานอาหารบรรจุในกระป๋องทั่วไป จากการทดสอบของเหลวที่บรรจุอาหารกระป๋องพบว่าบิสฟีนอล เอ และไดเมทิลบิสฟีนอล เอ ถูกปลดปล่อยออกมาจากสารเคลือบด้านในกระป๋องโดยเฉพาะอาหารประเภทถั่ว ทำให้ได้รับบิสฟีนอล เอ ในปริมาณที่สูงถึงประมาณ 23 ไมโครกรัมต่อกระป๋อง ของเหลวจากกระป๋องที่บรรจุอาร์ติโชค ผักรวม เห็ดและข้าวโพดก็สามารถพบปริมาณบิสฟีนอล เอ ได้เช่นกัน แต่จะไม่พบในของเหลวจากกระป๋องที่บรรจุแอสพาราแกส พริกไทยและมะเขือเทศ ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตอาหารกระป๋องที่ต้องผ่านการนึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ที่ 125 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จะทำให้มีการปลดปล่อยบิสฟีนอล เอ ลงไปในอาหาร โดยคาดว่าผลิตภัณฑ์อาหารที่มีไขมันมาก เช่น นม จะมีบิสฟีนอล เอ ถูกปลดปล่อยลงไปในปริมาณที่มากกว่า เมื่อได้นำของเหลวที่มีบิสฟีนอล เอ จากกระป๋องบรรจุอาหารมาทดสอบฤทธิ์เอสโตรเจนพบว่าการตอบสนองด้วยความแรง 58% เมื่อเทียบกับเอสตราไดออลซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์เช่นเดียวกับเอสโตรเจนชนิดหนึ่ง นอกจากนี้อาจจะได้รับบิสฟีนอล เอ จากขวดโพลีคาร์บอเนตที่ถูกทำความสะอาดด้วยผงซักฟอกที่กระด้าง ผ่านการขัดล้างหรือการนำไปนึ่งฆ่าเชื้อและขวดบรรจุของเหลวที่มีคุณสมบัติเป็นกรดหรือมีอุณหภูมิสูงจะปลดปล่อยบิสฟีนอล เอ ได้ในปริมาณที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกระป๋องที่เคลือบด้านในด้วยบิสฟีนอล เอ อย่างไรก็ตาม เด็กและทารกในครรภ์มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดความไม่สมดุลของฮอร์โมนในร่างกายซึ่งทำหน้าที่ควบคุมพัฒนาการของระบบสมองและระบบสืบพันธุ์ ซึ่งอาจจะแสดงผลเมื่อเด็กโตขึ้นเป็นผู้ใหญ่ นับว่าเป็นอันตรายมากต่อเด็กที่กำลังเจริญเติบโตและในปัจจุบันพบว่าสารอุดฟันที่มีส่วนประกอบของบิสฟีนอล เอ ไดโกลซิไดลอีเทอร์เมทาไครเลต (Bisphenol A diglycidylether methacrylate; bis-GMA) แสดงฤทธิ์เอสโตรเจนต่อเซลล์มะเร็งเต้านม^[10]

2.2 สมบัติอนุภาคนาโนซิลเวอร์

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ มีคุณสมบัติเด่นในเรื่องของสมบัติทางแสงที่มีความสัมพันธ์กับขนาด และรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไปสมบัติทางแสงก็จะเปลี่ยนไปตามด้วย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อนุภาคเงินระดับนาโนเป็นที่สนใจ และมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกิดขึ้นมากมายที่ได้มีการนำอนุภาคเงินระดับนาโนไปประยุกต์ใช้เป็นเทคนิคการตรวจวัดเชิงสี (Colorimetric method) เนื่องจากสมบัติทางแสงเป็นสิ่งที่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า ทำให้ง่ายต่อการสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้น และวัสดุที่ใช้มีราคาไม่แพง^[11]

2.2.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโน

วิธีการยิงด้วยเลเซอร์ (Laser ablation) การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยวิธีการยิงด้วยเลเซอร์ของสารที่เป็นโลหะในสารละลาย คุณสมบัติเฉพาะของรูปแบบอนุภาคโลหะและการยิงที่มีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความยาวคลื่นของเลเซอร์ที่กระทบกับโลหะเป้าหมาย ระยะเวลาพัลส์ของเลเซอร์ ระยะเวลาการยิงและผลกระทบจากของเหลวที่เกิดจากสารลดแรงตึงผิว ฟลูเอนซ์ของเลเซอร์เป็นหนึ่งในตัวแปรที่สำคัญที่สุด โดยอนุภาคโลหะที่ออกมาจากเป้าหมายต้องใช้พลังงานต่ำสุด โดยขนาดเฉลี่ยของอนุภาคนาโนที่พบโดยทั่วไปจะเพิ่มขึ้นเมื่อฟลูเอนซ์ของเลเซอร์เพิ่มขึ้น นอกจากฟลูเอนซ์ของเลเซอร์แล้วจำนวนภาพเลเซอร์ เช่น เวลาที่ใช้ในระหว่างการกลายเป็นไอเลเซอร์ มีอิทธิพลต่อความเข้มข้นและสัณฐานวิทยาของอนุภาคโลหะที่ปล่อยออกมาในของเหลว ความเข้มข้นของอนุภาคโลหะภายใต้แสงเลเซอร์คาดว่าจะเพิ่มขึ้น แต่สามารถทำให้อิ่มตัวได้เนื่องจากการดูดกลืนแสงในคอลลอยด์ที่มีความเข้มข้นสูงในอนุภาคโลหะ^[12]

วิธีการใช้ไมโครเวฟ (Microwave) การสังเคราะห์โดยอาศัยคลื่นไมโครเวฟเป็นวิธีที่ง่าย แต่ยังไม่เป็นที่นิยมใช้ โดยวิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนโดยใช้ไมโครเวฟ จะทำได้โดยใช้แป้งนำมาทำเป็นแผ่นแม่แบบและเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ ซึ่งแป้งที่ทำหน้าที่เป็นแผ่นแม่แบบและจะช่วยป้องกันการรวมตัวของอนุภาคเงินระดับนาโนอีกด้วย และจะใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโซเดียมเป็นตัวรีดิวซ์ โดยจะเกิดปฏิกิริยาภายใต้การฉายรังสีไมโครเวฟภายในเตาไมโครเวฟที่ใช้ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเหลืองน้ำตาลเป็นสีเทาดำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เกิดเป็นอนุภาคเงินระดับนาโนแล้ว โดยขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนที่เกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสโซเดียมและซิลเวอร์ไนเตรท^[13]

วิธีรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction) วิธีรีดักชันทางเคมีเป็นวิธีที่นิยมใช้ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ใช้สารเคมีน้อย และสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคเงินระดับนาโนได้ ด้วยวิธี

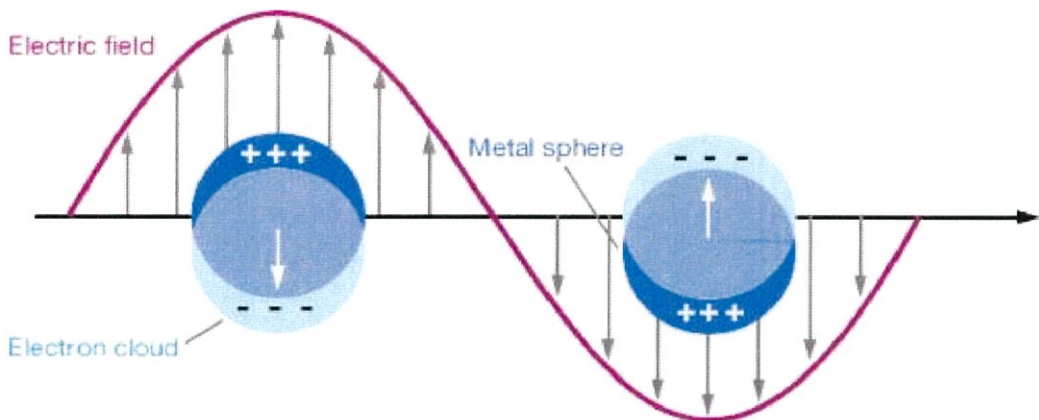
รีดักชันทางเคมีจะเกี่ยวข้องกับการเกิดรีดักชันของซิลเวอร์ไนเตรต โดยการใช้ตัวรีดิวซ์เป็นโซเดียมโบโรไฮไดรด์ และตัวรักษาเสถียรภาพ เป็นไตรโซเดียมซิเตรท ไดไฮเดรท โดยมีปัจจัยในการป้องกันการเกิดการรวมตัวของอนุภาคเงินระดับนาโน ซึ่งวิธีนี้มีตัวแปรที่ส่งผลต่อขนาดของอนุภาค และการรวมตัวกันของอนุภาคเงินระดับนาโน หลายตัวแปร เช่น ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้นของตัวรักษาเสถียรภาพ หรือปริมาณของตัวรีดิวซ์ เป็นต้น^[14] ได้มีการศึกษาวิธีสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของอนุภาคนาโนเงินเพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งทอ การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินทำได้ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ที่สองสถานะคือที่ภายใต้อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปตรวจสอบสมบัติของอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่อง ไดนามิก โลส สแกตเตอร์ริง พบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสให้อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดเล็กกว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินที่อุณหภูมิห้อง โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 84 ± 5 นาโนเมตร และมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด 391 นาโนเมตร เมื่อนำอนุภาคนาโนเงินไปทดสอบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* สายพันธุ์มาตรฐาน AATCC 6538 และ *Escherichia coli* สายพันธุ์มาตรฐาน AATCC 8739 พบว่าอนุภาคนาโนเงินสามารถยับยั้งการทำงานของเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้^[15] และยังมี การนำเสนอการตรวจวัดเชิงสีของนิกเกิลโดยใช้อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ดัดแปลงด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเตอีน โดยมีขั้นตอนการสังเคราะห์สองขั้นตอนคือ ขั้นตอนที่หนึ่งทำการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรด้วยวิธีการรีดักชันทางเคมี โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์และใช้เมทิลเซลลูโลสเป็นสารรักษาเสถียรภาพ และขั้นตอนที่สองคือ การดัดแปลงอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรด้วยกลูต้าไธโอนและแอล-ซิสเตอีน โดยนำสารละลายอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่มีความเข้มข้น 0.1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 44 มิลลิลิตร และเติมแอล-ซิสเตอีนที่มีความเข้มข้น 50 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 5 มิลลิลิตร จะได้สารคอลลอยด์สีชมพูที่มีการรวมตัวกันระหว่างอนุภาคเงินระดับนาโนเมตร กับกลูต้าไธโอน และแอล-ซิสเตอีน^[16]

วิธีเชิงแสงทางเคมี (Photochemical synthesis) การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนด้วยวิธีเชิงแสงทางเคมี จะอาศัยการฉายแสงจากแหล่งกำเนิดแสงต่างๆ เช่น หลอดซินอน หรือจากรังสียูวี เป็นต้น วิธีการสังเคราะห์เชิงแสงเป็นอีกวิธีที่ง่าย และสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวรับรู้เชิงแสงได้ โดยขนาดของอนุภาคจะขึ้นระยะเวลาในการฉายแสง^[17]

2.2.2 คุณสมบัติ surface Plasmon Resonance

เซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance) เป็นปรากฏการณ์ที่อธิบายถึงสมบัติทางแสงของอนุภาคระดับนาโน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่แสงตกกระทบพื้นผิวของอนุภาคโลหะระดับนาโน แสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่เกิดจากการสั่นของ

อิเล็กตรอนอิสระ ที่มีลักษณะการสั่นพร้อมเพรียงกัน เป็นปรากฏการณ์ ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยผิว ต่อของโลหะกับสารไดอิเล็กทริก เช่นระหว่างทองหรือเงินกับอากาศหรือสารละลาย โดยที่ขนาด ยอดคลื่น และความกว้างของสเปกตรัมพลาสมอนเรโซแนนซ์ของวัสดุต่างๆจะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ประเภทของวัสดุ และสภาพแวดล้อมรอบๆของวัสดุนั้น



รูปที่ 2.1 การเกิดเซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance)

จากรูปที่ 2.2 แสดงถึงการเกิดเซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ โดยเมื่อแสงตกกระทบที่ โครงสร้างระดับนาโนของอนุภาค อิเล็กตรอนจะถูกกระตุ้นไปยังแถบเหนี่ยวนำและจะเกิดการสั่น พ้องกับแสงที่มาตกกระทบ ซึ่งปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์นี้จะเกิดที่บริเวณ เปลือกชั้นนอกของอนุภาคระดับนาโน เพราะแสงจากภายนอกไม่สามารถทะลุผ่านเข้าไปภายใน วัสดุได้

สมบัติการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโน เป็นสมบัติที่น่าสนใจ ตัวอย่างเช่น อนุภาคนาโน ของเงิน จะมีสีเหลืองเข้ม แทนที่จะเป็นสีเงินวาวที่เราคุ้นเคย อย่างไรก็ตามโลหะส่วนใหญ่จะมีความถี่ เรโซแนนต์ อยู่ในช่วงใกล้รังสียูวีซึ่งอยู่นอกสเปกตรัม ของช่วงแสงที่มองเห็น นอกจากนี้ อนุภาคนาโน ของโลหะเกือบทุกชนิด ไม่สามารถคงตัวอยู่ในรูปอนุภาคนาโน ได้นานในสภาวะ แวดล้อมตามปกติ ทำให้เราไม่ค่อยพบปรากฏการณ์นี้ในโลหะชนิดอื่นๆ^[18]

2.2.3 การใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถส่งผ่านไฟฟ้าและความร้อนได้ดี ควบคู่ไปกับคุณสมบัติเชิงแสง จึงทำให้ถูกนำมาใช้มากในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยนำมาใช้ทั้ง ใน ส่วนการเป็น nanoconnector และ nanoelectrode ในการออกแบบเครื่องมือขนาดเล็ก และ นำมาใช้ในการเป็น active waveguide ในเครื่องมือเชิงแสง หมึกพิมพ์ในแผงวงจร นำมา

ใช้ใน optoelectronics รวมไปถึง nanoelectronics เช่น single electrontransistors และ electrical connectors เป็นต้น

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์อุปโภค โดยผลิตภัณฑ์เหล่านี้ มุ่งเน้นในส่วนของการป้องกันเชื้อโรค หรือฆ่าเชื้อโรค โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำมาใช้ในการเป็นสารฆ่าเชื้อโรคสำหรับผลิตภัณฑ์ ต่างๆหลากหลายชนิด เช่น เครื่องกรองอากาศ สเปรย์ในอากาศ ถุงเท้า หมอน รองเท้าแตะ หน้ากาก ผ้าอ้อม สบู่ ผงซักฟอก ผลิตภัณฑ์สระผม ยาสีฟัน เครื่องซักผ้า เป็นต้น ซึ่งวัตถุประสงค์หลักของการ มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในผลิตภัณฑ์เพื่อใช้คุณสมบัติในการฆ่า เชื้อจุลินทรีย์หลากหลายชนิด

อุตสาหกรรมทางการแพทย์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ถูกนำมาใช้งานทางการแพทย์ในหลาย ด้าน ได้แก่ การตรวจโรค การรักษา ระบบนำส่งยา และการเคลือบเครื่องมืออุปกรณ์ทาง การแพทย์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้นำมาใช้ในการเคลือบผิวอุปกรณ์ทางการแพทย์หลายชนิด เช่น อุปกรณ์ในการ ผ่าตัด การฉีดยา และการระงับความรู้สึก การรักษาเกี่ยวกับหัวใจ เป็นต้น นอกจากนี้ ยังได้มีการนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไปใช้ในผลิตภัณฑ์ทั่วไปทางการแพทย์ เช่น ผ้าปิด แผล ถุงเท้า ผ้าหรือสิ่งทอ ทางกายภาพบำบัด สายสวนปัสสาวะ และวัสดุปลูกเนื้อเยื่อต่างๆ ในด้าน การรักษา อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ ถูกนำมาใช้ในการรักษาที่เกี่ยวกับกระดูก เช่น การเป็นสาร additive ใน bone cement ใช้ในการ เคลือบข้อต่อหรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับกระดูก นำไปใช้ ในการทำฟันปลอม นำไปใช้ในการรักษา โรคมะเร็ง และการรักษาในระบบนำส่งยาร่วมกับ เลเซอร์^[19]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

J. Kochana. et al.^[20] ทำการพัฒนาเซนเซอร์ชีวภาพในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยจะ ใช้เซนเซอร์ในการวัดค่ากระแสของเอนไซม์ ไทโรซิเนส ซึ่งเอนไซม์จะถูกดักจับด้วยกระบวนการ sol-gel มีส่วนประกอบคือ ไททาเนีย และถูกปรับแต่งให้มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดด้วย ท่อ คาร์บอนนาโน , PDDA และแนฟฟิออน โดยข้อมูลที่ได้จากการวัดค่ากระแสและความต่างศักย์ จะสัมพันธ์กับการลดลงของการสร้าง Quiones ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของบิสฟีนอล เอ จาก การพัฒนาเซนเซอร์ชีวภาพสำหรับการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ พบว่าช่วงความเป็นเส้นตรงของ เซนเซอร์ชีวภาพอยู่ระหว่าง 0.28 - 45 .05 μM มีความไวสูงถึง $3263 \mu\text{AmM}^{-1}\text{cm}^{-2}$ และขีด กำจัดต่ำสุดในการตรวจวัดอยู่ที่ 0.066 μM วิธีนี้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ในขวดนมเด็ก,ถุงพลาสติกสำหรับทำอาหารและจุกยางพลาสติกสำหรับเด็ก ข้อดีของเซนเซอร์ที่

พัฒนาขึ้นใหม่จะมีความไวสูงกว่าเซนเซอร์ตัวอื่นๆที่ใช้ตรวจวัดบิสฟีนอล เอ และยังสามารถตรวจวัดได้ดีในสถานะที่ไม่สมดุลการตรวจวัดมีความรวดเร็วและมีความแม่นยำสูง

J.Mendiola. et al.^[21] มีการพัฒนาเครื่องมือตรวจวัดการเรืองแสงของบิสฟีนอล เอ ที่มีชื่อว่าเป็นบิสฟีนอลออรีน (BPO) โดยจะบันทึกเกี่ยวกับสารสี triazole-derivatized boron dipyrromethene (BODIPY) ซึ่ง BPO มีความสามารถในการแยกความแตกต่างระหว่างสารบิสฟีนอล เอ กับสารบิสฟีนอลตัวอื่นๆในสารละลายได้ โดยการวิเคราะห์การตอบสนองของสารเรืองแสงจะบันทึก BODIPY-triazole ซึ่งเป็นสารประกอบที่เป็นตัวตรวจจับบิสฟีนอล เอ ในสารละลาย ข้อดีของวิธีนี้คือมีความแม่นยำสูงในการวิเคราะห์สารบิสฟีนอล เอ แม้ในตัวอย่งที่ซับซ้อน

Y. Zhuang. et al.^[22] พัฒนาวิธีใหม่ที่เรียกว่า Spectrophotometric สำหรับตรวจวัดบิสฟีนอล เอ วิธีนี้ได้รับการพัฒนาให้ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยา diazotization-coupling reaction ในสารละลายที่เป็นกรดคลอโรนิกทำปฏิกิริยาขั้นแรกกับโซเดียมไนไตรต์ แล้วมาเข้าคู่กับ BPA เกิดเป็นสารประกอบเฮโซไน $\text{NH}_3 - \text{NH}_4\text{Cl}$ บัฟเฟอร์ ซึ่งมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 410 nm วิธีนี้มีช่วงความเข้มข้นที่เหมาะสมในการวัดบิสฟีนอล เอ คือ $0.24-8.4 \mu\text{M} / \text{mL}$, สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.9905 และความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ของวิธีนี้คือ $0.15 \mu\text{M} / \text{mL}$ วิธีที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้เป็นวิธีที่ง่าย รวดเร็ว มีความไวสูงและยังมีความแม่นยำกว่าเทคนิค High performance liquid chromatography (HPLC) และวิธีนี้ยังพัฒนาโดยใช้ C18 เป็นคอลัมน์ที่ใช้ น้ำและเมทานอลเป็น mobile phase และได้ทำการตรวจพบ spectrophotometrically ที่ 410 nm ซึ่งนำไปใช้กับการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ในสารละลายตัวอย่างที่มาจากขวดพลาสติก

Uma Boriboon. et al.^[23] ศึกษาการแพร่ของบิสฟีนอล เอ , ฟีนอล และ พี-ที-บิวทิลฟีนอล จากขวดนมและภาชนะบรรจุอาหารสำหรับเด็ก รวมทั้งศึกษาเปรียบเทียบการใช้งานซ้ำในสถานะอุณหภูมิต่างๆ โดยจะทดสอบการแพร่ที่อุณหภูมิที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ใช้ น้ำและสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 4 โดยปริมาตร เป็นตัวแทนอาหาร (food simulats) เตรียมสารละลายตัวอย่างให้สะอาดและเข้มข้นโดยผ่าน solid-phase extraction ตรวจวิเคราะห์ด้วย HPLC-FL ผลการศึกษาพบการแพร่ไปสู่ food simulats ของบิสฟีนอล เอ และฟีนอล จากทุกตัวอย่างปริมาณรวมของสารทั้ง 3 ชนิดที่พบในน้ำ 0.73-2.54 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.41 ไมโครกรัมต่อลิตร และในสารละลายกรดอะซิติกร้อยละ 4 โดยปริมาตร พบ 0.73-3.68 ไมโครกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.58 ไมโครกรัมต่อลิตร ทั้ง 2 กรณีพบพี-ที-บิวทิลฟีนอล ปริมาณน้อยกว่าบิสฟีนอล เอ และฟีนอล เมื่อศึกษาเปรียบเทียบการแพร่จำนวน 120 ครั้งในสถานะอุณหภูมิต่างๆจำลองจากการใช้งานพบว่าที่สถานะอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ใน autoclave มีการแพร่ของสารทั้ง 3 ชนิดมากกว่าที่สถานะอื่น แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิและระยะเวลาที่สัมผัสมีผลต่อการแพร่ของสารมากกว่าปัจจัยอื่น

Jahangir Ahmad Rather and Karoline De Wael.^[24] ได้พัฒนาเซนเซอร์ไฟฟ้าฟลูออโรอิน(C₆₀) เพื่อให้มีความไวสูงในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยจะใช้ขั้วไฟฟ้าทำงานชนิด กลาส

คาร์บอน (Glassy carbon electrode (GCE)) ที่เคลือบด้วยฟลูเลอซีน C_{60} / GCE จะติดตาม บิสฟีนอล เอ เซนเซอร์ที่พัฒนาขึ้นแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีของการทำปฏิกิริยาทางเคมี ในการลด anodic overpotential และเพิ่มประสิทธิภาพของ anodic บิสฟีนอล เอ จะแสดงผลทางไฟฟ้าที่ GCE การศึกษาการทำงานของเซนเซอร์จะศึกษาโดยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด, ความต้านทานไฟฟ้า, สเปกโทรสโกปีและโครโนคูลอมบ์เมตรี ปัจจัยที่มีผลในการวัด เช่น ค่า pH และการโหลด C_{60} ในการวิเคราะห์ของเซนเซอร์จะประเมินได้จาก ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีการเคลื่อนไหว เช่น จำนวนการถ่ายโอนอิเล็กตรอน , ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายโอน , พื้นที่ผิวอิเล็กโทรด และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ รวมถึงการคำนวณ ข้อดีของวิธีนี้คือ เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม, รวดเร็ว, ราคาถูก, ประหยัดเวลา, ความไวสูงและสามารถนำไปใช้ในการตรวจวัดจริงได้

2.3.2 การใช้อนุภาคระดับนาโนในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

Guo-Qiang Xiang. et al.^[25] ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบเซนเซอร์ที่ตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยใช้ Fluorescence nanosensor คาร์บอนดอท(CDs) เกาะอยู่บน dual-emission นาโนเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ถูกเตรียมโดยเคลือบคาร์บอนดอทบนผิวในสีย้อมของนาโนซิลิกา การเรืองแสงแบบ dual-emission ของนาโนซิลิกา ถูกดับในกรดไฮโดรคลอริกโดยโพแทสเซียมโบรเมต ($KBrO_3$) ออกซิเดชัน; บิสฟีนอล เอ ถูกยับยั้งโดย $KBrO_3$ ผลใน ratiometric สัญญาณของการเรืองแสงแบบ dual-emission ของอนุภาคนาโนซิลิกา พารามิเตอร์หลายๆประการที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของนาโนเซนเซอร์ถูกตรวจสอบและปรับปรุงให้เหมาะสม ชัดจำกัดการตรวจวัดของนาโนเซนเซอร์นี้เท่ากับ 0.80 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร กับช่วงความเป็นเส้นตรงจาก 10-500 นาโนกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จและได้ถูกนำไปในการตรวจวัดสารบิสฟีนอล เอ ในการแก้ปัญหาการชะล้างของผลิตภัณฑ์พลาสติกที่แตกต่างกัน

Ying Ma. et al.^[26] ศึกษาเกี่ยวกับตัวตรวจวัดที่มีความไวในการตรวจหาบิสฟีนอล เอ โดยเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจสัญญาณของบิสฟีนอล เอ คือ ทองนาโน (AuNPS) เป็นตัววัดแสง ไดอะโซเนียมเป็นลิแกนด์ที่สามารถสังเคราะห์ด้วยตัวเองเป็นโมโนเลเยอร์ฟิล์มอยู่บน ทองนาโน(AuNPS) และ ไดอะโซเนียมไอออนนั้นจะเกาะอยู่บนพื้นผิวของทองนาโน โดยที่หนึ่งโมเลกุลของบิสฟีนอล เอ สามารถสร้างเอโซเบนซีน 2 โมเลกุล กับ 2 โมเลกุลของไดอะโซเนียมไอออน ผ่านปฏิกิริยา azo coupling reaction. ดังนั้นจึงสามารถเชื่อมโยงกับทองนาโน ก่อให้เกิดการรวมตัวกันและเปลี่ยนแปลงสี โดยที่ความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ นั้นจะขึ้นอยู่กับสีและค่าการดูดกลืนแสง ในช่วง UV ของทองนาโนที่แสดงให้เห็น หรือ ค่าการดูดกลืนแสงในช่วง UV ของบิสฟีนอล เอ ที่มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว (4นาาที) ช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ที่ 0.1-4 นาโนโมลาร์ และ ชัดจำกัดในการตรวจสอบต่ำสุด เท่ากับ 0.02 นาโนโมลาร์

Xianyi Kaoo. et al.^[27] ศึกษาเกี่ยวกับการใช้เซนเซอร์ฟลูออเรสเซนซ์เพื่อตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ที่ขึ้นอยู่กับโคโตซานที่ล้อมรอบด้วย ZnS quantum dots (QDs) จะใช้โคโตซานเป็นตัวควบคุมการกระจายตัวของ ZnS QDs ทำให้มีขนาดสม่ำเสมอ การทดลองได้มีการสังเคราะห์ ZnS QDs แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับโคโตซาน โดยที่โคโตซานจะล้อมรอบ ZnS QDs ซึ่งจะมีหมู่อะมิโนและหมู่ไฮดรอกซิลจะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับบิสฟีนอล เอ การเกิดพันธะไฮโดรเจนจะทำให้โมเลกุลของโคโตซานบางส่วนหลุดออกจากพื้นผิวของ ZnS QDs จากนั้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวทำให้เกิดการเรืองแสงของ ZnS QDs ซึ่งมีการดูดกลืนสเปกตรัมที่ 310 นาโนเมตรและคายพลังงานที่ 430 นาโนเมตร พบว่าเปอร์เซ็นต์การเรืองแสงของคอนแทมคอนข้างสูงถึง 11.8 % ความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ เป็นสัดส่วนเส้นตรงในช่วง $0.5-300 \mu\text{gL}^{-1}$ และขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัดเป็น $0.08 \mu\text{gL}^{-1}$ วิธีนี้ได้นำมาประยุกต์ใช้กับตัวอย่างน้ำและพลาสติก ข้อดีของวิธีนี้คือ ZnS QDs ที่ล้อมรอบด้วยโคโตซานจะมีความว่องไวและมีความจำเพาะสูง นอกจากนี้ยังเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

Zhang D. et al.^[28] ได้ทำการตรวจวัดทางสี เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยการรวมตัวของอนุภาคทองคำ เกิดจากความเข้มข้นของโพลิเมอร์ไอออนบวกซึ่งถูกควบคุมโดย aptamer เฉพาะกับบิสฟีนอล เอ และปฏิกิริยาของ aptamer และ cationic polymer ในโครงสร้าง "duplex" วิธีนี้ช่วยให้สามารถตรวจจับสีของบิสฟีนอล เอ และความเข้มข้นต่ำสุดที่ตรวจวัดได้ของวิธีนี้คือ 1.50 นาโนโมลาร์รวมทั้งค่าความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 1.50-500 นาโนโมลาร์ นอกจากนี้ได้ถูกใช้เพื่อตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ในน้ำประปาและตัวอย่างน้ำในแม่น้ำ

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	ยี่ห้อและประเทศผู้ผลิต
บิสฟีนอล เอ (Bisphenol A)	$C_{15}H_{16}O_2$	Sigma-Aldrich, USA
ไคโตซาน (Chitosan)	$(C_6H_{11}NO_4)_n$	Sigma-Aldrich, USA
ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate)	$AgNO_3$	Carlo erba, Spain
โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydrid)	$NaBH_4$	Sigma-Aldrich, USA
กรดอะซิติก (Acetic acid)	CH_3COOH	Carlo erba, Spain
สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	$NaOH$	Rankem, India
เมลามีน (Melamine)	$C_3H_6N_6$	Sigma-Aldrich, USA
โซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต (Sodium citrate dihydrate)	$HOC(COONa)(CH_2COONa)_2 \cdot 2$	Sigma-Aldrich, USA
เอทานอล (Ethanol)	C_2H_6O	QRèC®, New Zealand

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ปีกเกอร์ (ขนาด 25, 50, 100, 250, 600 มิลลิลิตร)
- 2) ขวดปรับปริมาตร (ขนาด 5, 10, 25, 50, 100, 1000 มิลลิลิตร)
- 2) ปิเปต (ขนาด 5, 10 มิลลิลิตร)
- 4) ไมโครปิเปต
- 5) หลอดทดลอง
- 6) กระบอกตวง
- 7) หลอดหยด
- 8) แท่งแก้วคนสาร
- 9) กระจกนาฬิกา
- 10) ซ้อนตักสาร
- 11) ลูกยาง
- 12) กระบอกน้ำปราศจากไอออน
- 13) แท่งแม่เหล็ก
- 14) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง - Shimadzu Aux 220, Japan
- 15) เครื่องเขย่าสาร - Vortex Genie 2, USA
- 16) เครื่องปั่นกวน - Stirring hotplate HS0707V2, Thailand
- 17) เครื่องวัด pH - Metrohm® 827 pH Lab meter, USA
- 18) เครื่องปั่นเหวี่ยง - Centrifuge Kubota 3700, 3740
- 19) เครื่องยู่วี - วิลิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ - Hitachi u2900, Japan
- 20) เครื่องฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ - Jasco FP-8200, Thailand

3.3 การเตรียมสารละลาย

3.3.1 สารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ

3.3.1.1 เตรียมสต็อกสารละลายบิสฟีนอล เอ เข้มข้น 1000 ไมโครโมลาร์

ชั่งบิสฟีนอล เอ มา 0.0228 กรัมลงในปีกเกอร์ ละลายด้วยเอทานอล 2 มิลลิลิตรและละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อยจากนั้นเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจะได้สารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ 1000 ไมโครโมลาร์

3.3.1.2 เตรียมสารละลายบิสฟีนอล เอ เข้มข้น 50, 100, 200, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์

ปิเปตสารละลายบิสฟีนอล เอ เข้มข้น 1000 ไมโครโมลาร์มา 0.5, 1, 2, 2.5 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร พร้อมปรับด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้ สารละลายบิสฟีนอล เอ เข้มข้น 50, 100, 200, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ตามลำดับ

3.3.2 สารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

ชั่งเมลามีน 0.0032 กรัมลงในปิเปกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย จากนั้นเท ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร พร้อมปรับด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลาย เมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

3.3.3 การเตรียมและการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยไคโตซาน

3.3.3.1 เตรียมสารละลายซิลเวอร์ในเตรทเข้มข้น 0.05 โมลาร์

ชั่งซิลเวอร์ในเตรท 0.0849 กรัมลงในปิเปกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย จากนั้นเทลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร พร้อมปรับด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้ สารละลายซิลเวอร์-ในเตรทเข้มข้น 0.05 โมลาร์

3.3.3.2 เตรียมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ชั่งกรดอะซิติก 2 กรัมลงในปิเปกเกอร์ จากนั้นชั่งน้ำปราศจากไอออนลงในปิเปกเกอร์เดิมจน ครบ 200 กรัม จะได้สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.3.3.3 เตรียมสารละลายไคโตซานเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ชั่งไคโตซาน 0.5 กรัมลงในปิเปกเกอร์ จากนั้นชั่งกรดอะซิติกเข้มข้น 1 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนักลงในปิเปกเกอร์ จนครบ 100 กรัม จะได้สารละลายไคโตซานเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดย น้ำหนัก

3.3.3.4 เตรียมสารละลายโซเดียมโพรไฮโดรด์เข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ชั่งโซเดียมโพรไฮโดรด์ 0.08 กรัมลงในปิเปกเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน 10 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมโพรไฮโดรด์เข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

3.3.3.5 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยไคโตซาน

เทสารละลายซิลเวอร์ในเตรทเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร และสารละลาย ไคโตซานเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาตร 47 มิลลิลิตรลงในปิเปกเกอร์ นำไปปั่นกวน 30 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมโพรไฮโดรด์เข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ทำการปั่นกวนต่ออีก 90 นาที จะได้สีของสารละลายเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง การเก็บสารละลายทำได้

โดยห่อด้วยกระดาษฟรอยด์และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปใช้งาน ปีเปิดสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยโคโตซานมา 5 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยโคโตซานเจือจาง 5 เท่า

3.3.4 การเตรียมและการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรท

3.3.4.1 เตรียมสารละลายโซเดียมซิเตรทไดไฮเดรตเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์

ชั่งโซเดียมซิเตรทไดไฮเดรต 0.0147 กรัมลงในปิ๊กเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย จากนั้นเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายโซเดียมซิเตรทไดไฮเดรตเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์

3.3.4.2 เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.64 มิลลิโมลาร์

ชั่งซิลเวอร์ไนเตรท 0.0108 กรัมลงในปิ๊กเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย จากนั้นเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.64 มิลลิโมลาร์

3.3.4.3 เตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

ชั่งโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.025 กรัมลงในปิ๊กเกอร์ ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนเล็กน้อย จากนั้นเทลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร พร้อมปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

3.3.4.4 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรท

เทสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเข้มข้น 0.64 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 39 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมซิเตรทไดไฮเดรตเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในปิ๊กเกอร์ นำไปปั่นกวน 20 นาที จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทำการปั่นกวนต่ออีก 60 นาที สีของสารละลายจะเป็นสีเหลืองใส จะได้สารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรทเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ จากนั้นเก็บรักษาโดยห่อด้วยกระดาษฟรอยด์และเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ก่อนนำไปใช้งานให้เจือจางสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรท เป็น 0.2 มิลลิโมลาร์ โดยปีเปิดสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรทเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ มา 10 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรทเข้มข้น 0.2 มิลลิโมลาร์

3.4 ศึกษาปฏิกริยาระหว่างบิสฟีนอล เอ กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วย ไคโตซาน

3.4.1 ศึกษาความเป็นไปได้ระหว่างไคโตซานกับบิสฟีนอล เอ

- 1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 3 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน 3 มิลลิลิตร
- 2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่เวลา 2 ชั่วโมงและ 3 ชั่วโมง (สารละลายนี้เรียกว่าสารละลายแปลงค์)
- 3) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) – 2) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลาย บิสฟีนอล เอ เข้มข้น 50, 100, 200 และ 500 ไมโครโมลาร์

3.4.2 ศึกษาความเป็นไปได้เมื่อกำจัดไคโตซานส่วนเกินออกต่อการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

- 1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดเซนต์อิฟวีกพลาสติก นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 12000 รอบต่อวินาที เป็นเวลา 20 นาที
- 2) ดูดเอาสารละลายส่วนบนทิ้งไป จากนั้นนำตะกอนของอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาทำให้กระจายตัว ในน้ำปราศจากไอออน จะได้สารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่กำจัดไคโตซาน ส่วนเกินออก
- 3) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่กำจัดไคโตซานส่วนเกินแล้ว 3 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน 3 มิลลิลิตร
- 4) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง ความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี- วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่เวลา 3 ชั่วโมง
- 5) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) – 4) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลาย บิสฟีนอล เอ เข้มข้น 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์

3.4.3 ศึกษาความเข้มข้นของไคโตซานต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์และการ ตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

- 1) ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามหัวข้อ 3.3.3.5 แต่เปลี่ยนความเข้มข้น ไคโตซานเป็น 0.1, 0.2, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
- 2) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้ไคโตซานเข้มข้น 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มา 3 มิลลิลิตรและน้ำปราศจากไอออน 3 มิลลิลิตร
- 3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง ความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่เวลา 17 ชั่วโมง

4) ทำการทดลองซ้ำข้อ 2) – 3) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายบิสฟีนอล เอ เข้มข้น 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์

5) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1) – 4) แต่เปลี่ยนจากสารละลายนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้โคโคซานเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นสารละลายนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้โคโคซานเข้มข้น 0.05, 0.1, 0.2 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.4.4 ศึกษาความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรทต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ และการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

1) ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามหัวข้อ 3.3.3.5 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นซิลเวอร์ในเตรทเป็น 0.005, 0.01, 0.025, 0.05 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้ซิลเวอร์ในเตรทเข้มข้น 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มา 3 มิลลิลิตรและน้ำปราศจากไอออน 3 มิลลิลิตร

3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4) ทำการทดลองซ้ำข้อ 2) – 3) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายบิสฟีนอล เอ เข้มข้น 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์

5) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1) – 4) แต่เปลี่ยนจากสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้ซิลเวอร์ในเตรทเข้มข้น 0.005 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เป็นสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์โดยใช้ซิลเวอร์ในเตรทเข้มข้น 0.01, 0.025, 0.05 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

3.4.5 ศึกษาการตรวจวัดโดยอาศัยหลักการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

1) ปิเปตสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีโคโคซานเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มา 3 มิลลิลิตรและน้ำปราศจากไอออน 3 มิลลิลิตร

2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการกระเจิงแสง ด้วยเครื่องฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่เวลา 24 ชั่วโมง โดยก่อนวัดให้เจือจางสารละลาย 4 เท่า

3) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) – 2) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายบิสฟีนอล เอ เข้มข้น 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์

3.4.6 ศึกษาเมลามีนที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ

1) ปิเปตน้ำปราศจากไอออน 3 มิลลิลิตร และเติมสารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ 100 ไมโครลิตร

2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที แล้วทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง

3) เติมสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีโคโตซานเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มา 3 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง

4) นำไปวัดค่าการกระเจิงแสง ด้วยเครื่องฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยก่อนวัดให้เจือจางสารละลาย 4 เท่า

5) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) – 4) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายบิสฟีนอล เอ เข้มข้น 50, 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์

3.4.7 ศึกษาค่าพีเอช ที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ

1) ปรับพีเอช ของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์จากโคโตซานเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ให้มีค่าพีเอช ประมาณ 5 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

2) ปิเปิดน้ำปราศจากไอออน 2 มิลลิลิตร และสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีพีเอช เท่ากับ 5 มา 1 มิลลิลิตร

3) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าการกระเจิงแสง ด้วยเครื่อง ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่เวลา 4 ชั่วโมง

4) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายบิสฟีนอล เอ เข้มข้น 50, 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์

3.4.8 ศึกษาค่าพีเอช และเมลามีน ที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ

1) ปิเปิดน้ำปราศจากไอออน 2 มิลลิลิตร และเติมสารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ 100 ไมโครลิตร

2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที แล้วทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง

3) เติมสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีโคโตซานเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่ปรับพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 5 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 โมลาร์ อีก 1 มิลลิลิตร แล้วทิ้งไว้อีก 1 ชั่วโมง

4) นำไปวัดค่าการกระเจิงแสง ด้วยเครื่องฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยก่อนวัดให้เจือจางสารละลาย 4 เท่า

5) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) – 4) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายบิสฟีนอล เอ เข้มข้น 50, 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์

3.5 ศึกษาปฏิกิริยาระหว่างบิสฟีนอล เอ กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรท

3.5.1 ศึกษาความเป็นไปได้ระหว่างซิเตรทกับบิสฟีนอล เอ

- 1) ปิเปิดน้ำปราศจากไอออน 3 มิลลิลิตร และสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิว ด้วยซิเตรท 3 มิลลิลิตร
- 2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 1 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง
- 3) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์และวัดค่าการกระเจิงแสง ด้วยเครื่องฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์
- 4) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) – 3) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายบิสฟีนอล เอ เข้มข้น 50, 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์

3.5.2 ศึกษาลำดับการทำปฏิกิริยา

3.5.2.1 สารละลายบิสฟีนอล เอ ทำปฏิกิริยากับสารละลายเมลามีนก่อน

- 1) ปิเปิดน้ำปราศจากไอออน 3 มิลลิลิตร และเติมสารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ 100 ไมโครลิตร
- 2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 3 นาที
- 3) เติมสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรทเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 500 ไมโครลิตร
- 4) เขย่าต่อเนื่องด้วยเครื่องเขย่าสารจนครบ 5 นาที
- 5) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่เวลานานาที 5 และ 1 ชั่วโมง
- 6) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) – 5) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลายบิสฟีนอล เอ เข้มข้น 50, 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์

3.5.2.2 สารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ทำปฏิกิริยากับสารละลายเมลามีนก่อน

- 1) ปิเปิดสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรทเข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 500 ไมโครลิตรและเติมสารละลายเมลามีนเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ 100 ไมโครลิตร
- 2) เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 3 นาที
- 3) เติมน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 3 มิลลิลิตร
- 4) เขย่าต่อเนื่องด้วยเครื่องเขย่าสารจนครบ 5 นาที
- 5) นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่เวลา นานาที 5 และ 1 ชั่วโมง

6) ทำการทดลองซ้ำข้อ 1) – 5) แต่เปลี่ยนจากน้ำปราศจากไอออนเป็นสารละลาย บิสฟีนอล เอ เข้มข้น 50, 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

สำหรับโครงการพิเศษฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยต่างๆที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ พร้อมทั้งศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและเทคนิคฟลูออเรสเซนส์สเปกโตสโคปี

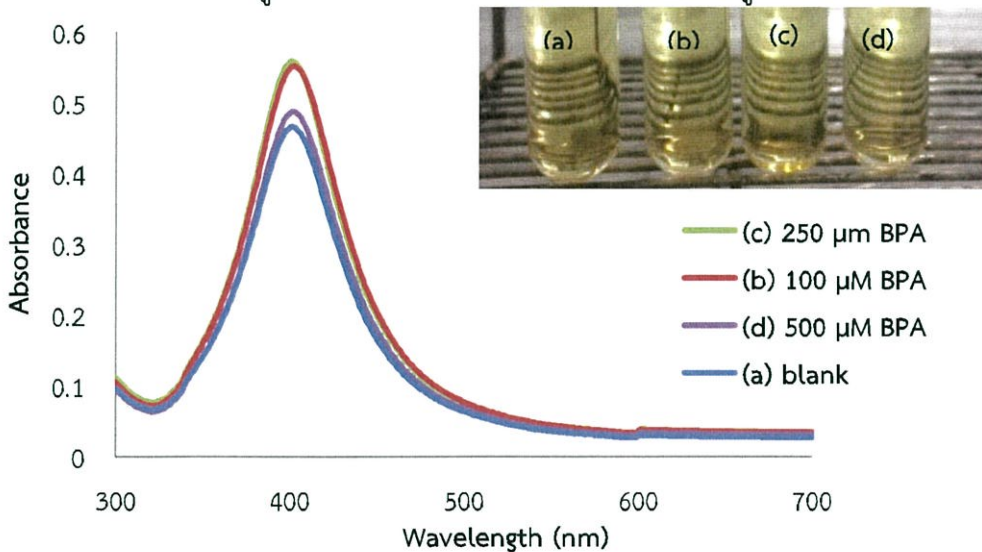
4.1 ผลของอันตรกิริยาระหว่างบิสฟีนอล เอ กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยไคโตซาน

จากโครงสร้างโมเลกุลคาดว่าหมู่ไฮดรอกซิลของบิสฟีนอล เอ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่อะมิโนและหมู่ไฮดรอกซิลของไคโตซานที่อยู่บนผิวอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ ทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกันและส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงและการกระเจิงแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เปลี่ยนแปลงไป

4.1.1 ผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยไคโตซานกับบิสฟีนอล เอ

จากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยไคโตซาน พบว่าได้สารละลายคอลลอยด์สีเหลืองน้ำตาลเข้ม ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 0.4 มิลลิโมลาร์ (คำนวณจากความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรเรียมต้น) เมื่อทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร พบว่าสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น 401 นาโนเมตร

นำสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ด้วยอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร โดยศึกษาบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ และทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 2 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.1

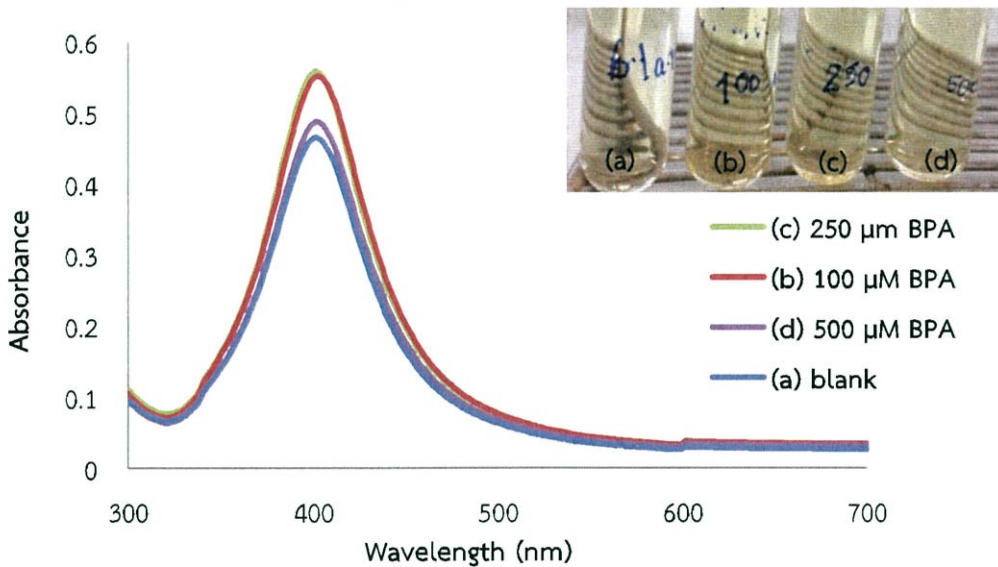


รูปที่ 4.1 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 2 ชั่วโมง

จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.1 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงไม่มีแนวโน้มตามความเข้มข้นของ บิสฟีนอล เอ เมื่อสังเกตสีของสารละลายพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำการกำจัดโคโตะซาน ส่วนเกินออกในการทดลองถัดไป

4.1.2 ผลของการกำจัดโคโตะซานส่วนเกินออกต่อการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยโคโตะซานเมื่อนำไปทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ พบว่าบิสฟีนอล เอ เกิดพันธะไฮโดรเจนกับโคโตะซานบนพื้นผิวอนุภาคนาโนซิลเวอร์และโคโตะซานอิสระ ซึ่งโคโตะซานอิสระส่งผลให้เกิดการบดบังการเกิดพันธะไฮโดรเจนของโคโตะซานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ จึงต้องทำการกำจัดโคโตะซานส่วนเกินออกโดยการนำเอาอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไปปั่นเหวี่ยง แล้วนำตะกอนของอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ และทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงที่เวลา 3 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.2

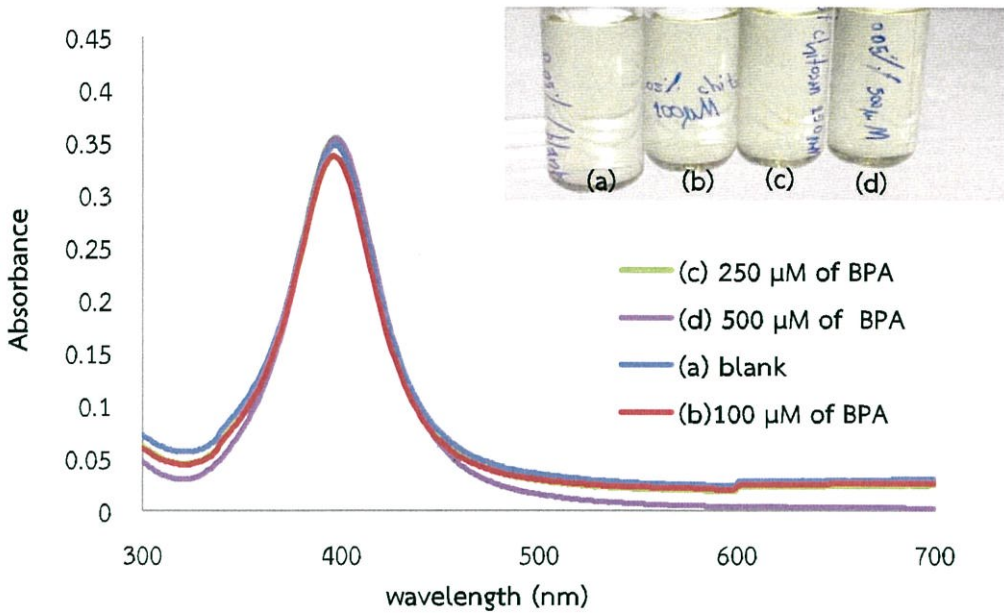


รูปที่ 4.2 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่กำจัดโคโตะซานส่วนเกินออก ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 3 ชั่วโมง

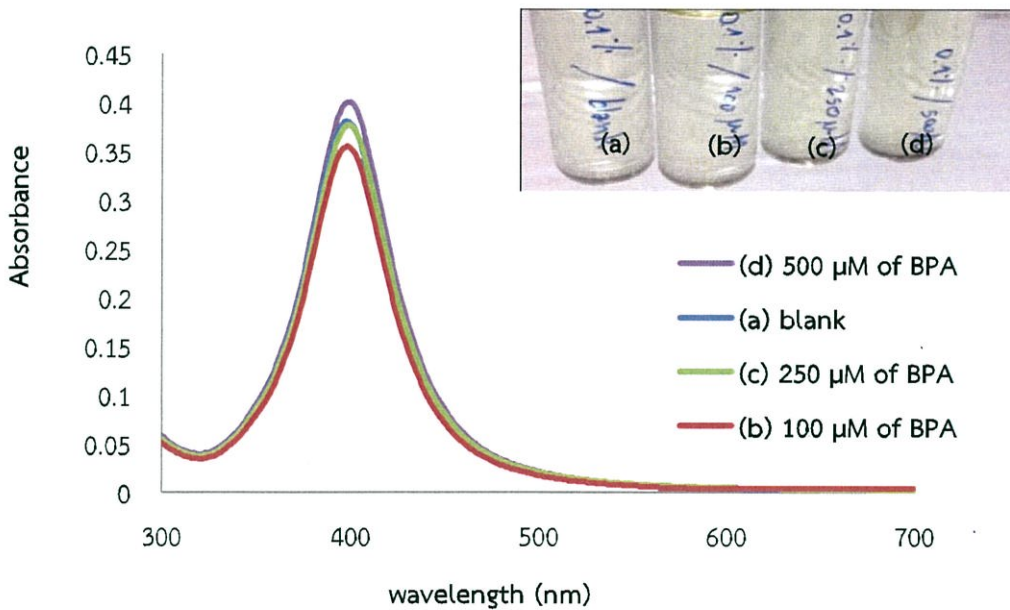
จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.2 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีค่าใกล้เคียงกันและไม่มีแนวโน้มตามความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ เมื่อสังเกตสีของสารละลายพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโคโตะซานต่อการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน

4.1.3 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโคโตะซานต่อการสังเคราะห์นาโนซิลเวอร์ และตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

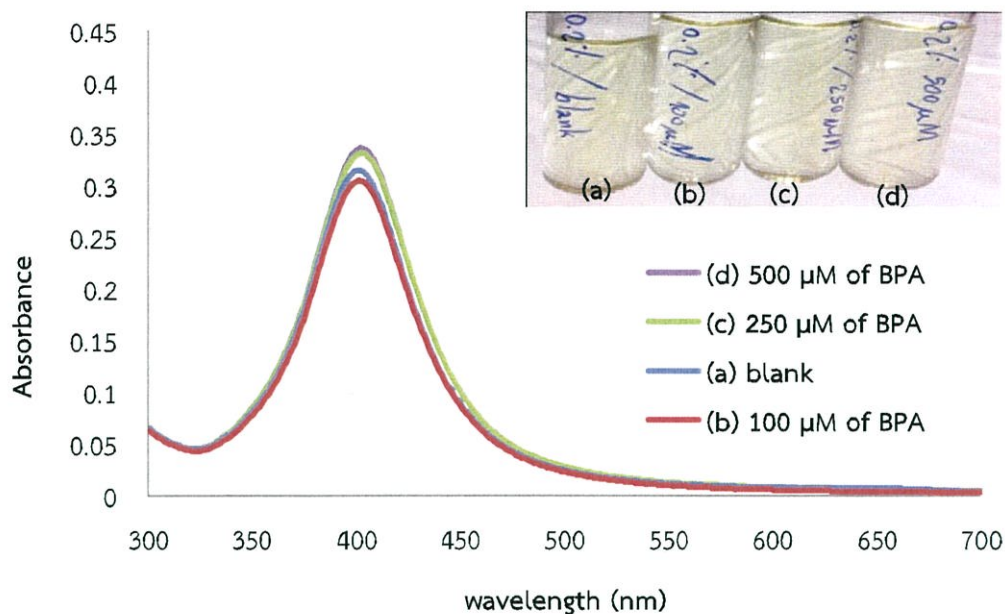
ทำการทดลองโดยการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโคโตะซานต่อการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้น 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ และทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 17 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.3–รูปที่ 4.7



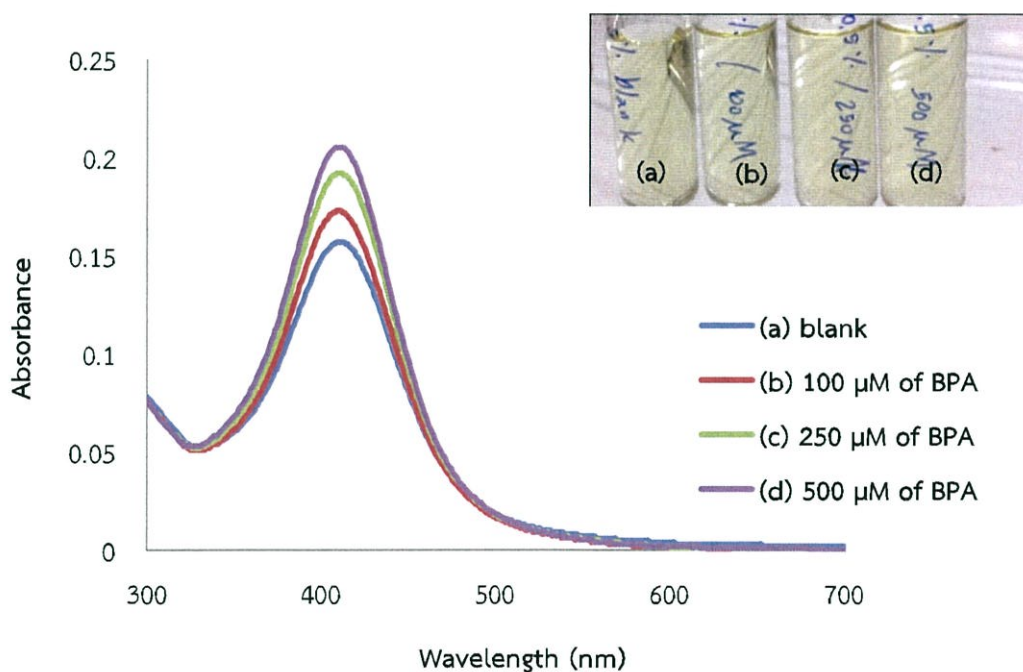
รูปที่ 4.3 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของไคโตซาน (0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 17 ชั่วโมง



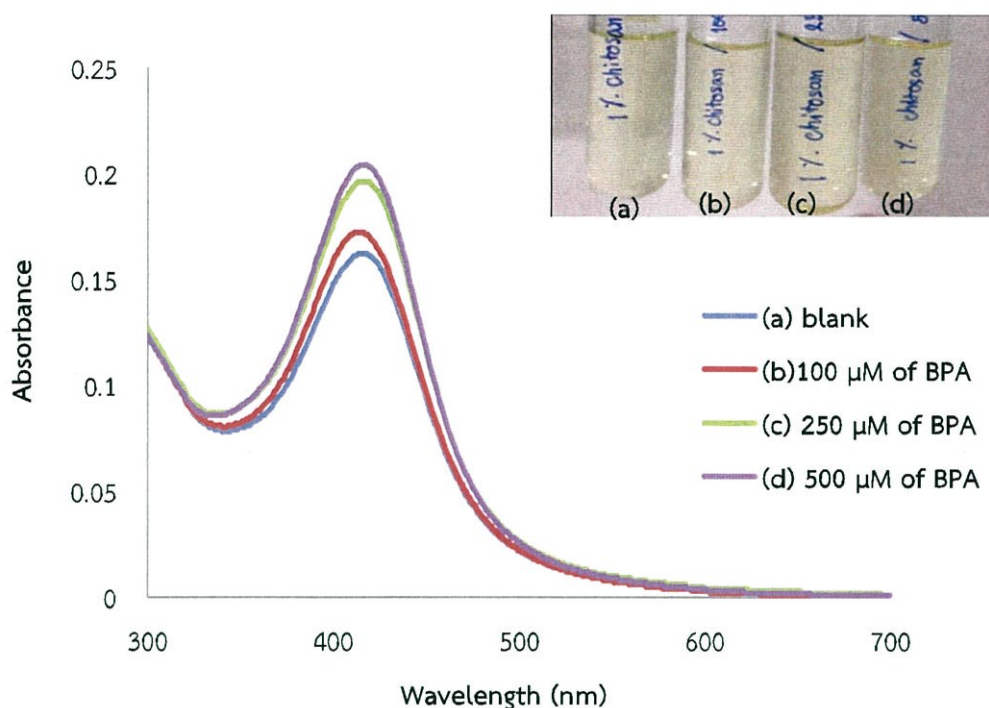
รูปที่ 4.4 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของไคโตซาน (0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 17 ชั่วโมง



รูปที่ 4.5 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโคโตซาน (0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 17 ชั่วโมง



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโคโตซาน (0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 17 ชั่วโมง

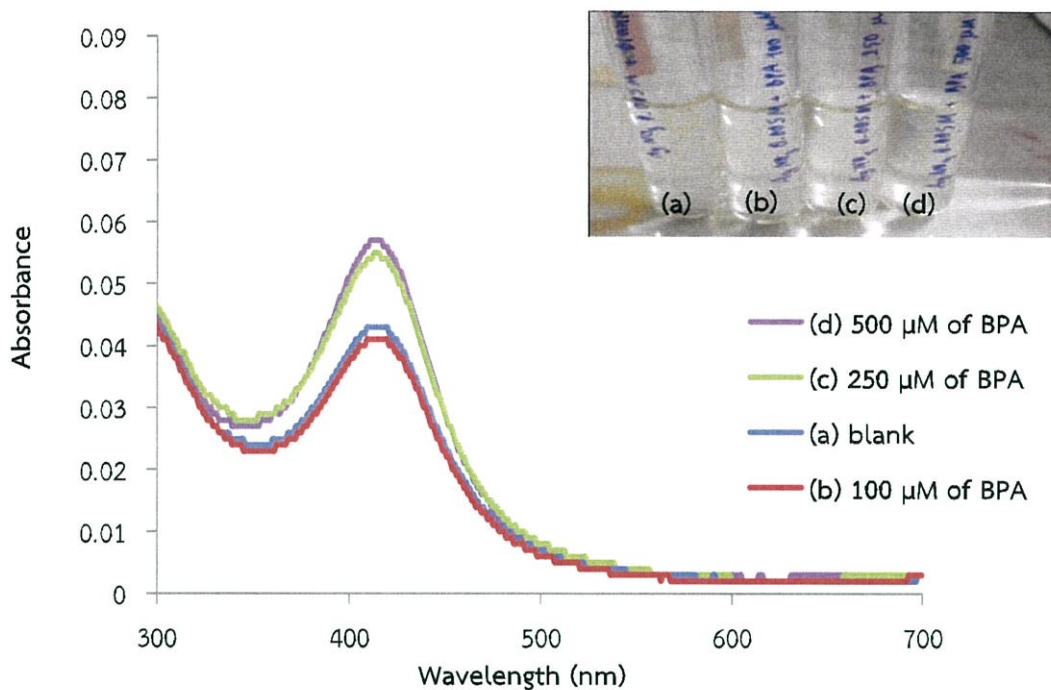


รูปที่ 4.7 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนชิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของไคโตซาน (1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 17 ชั่วโมง

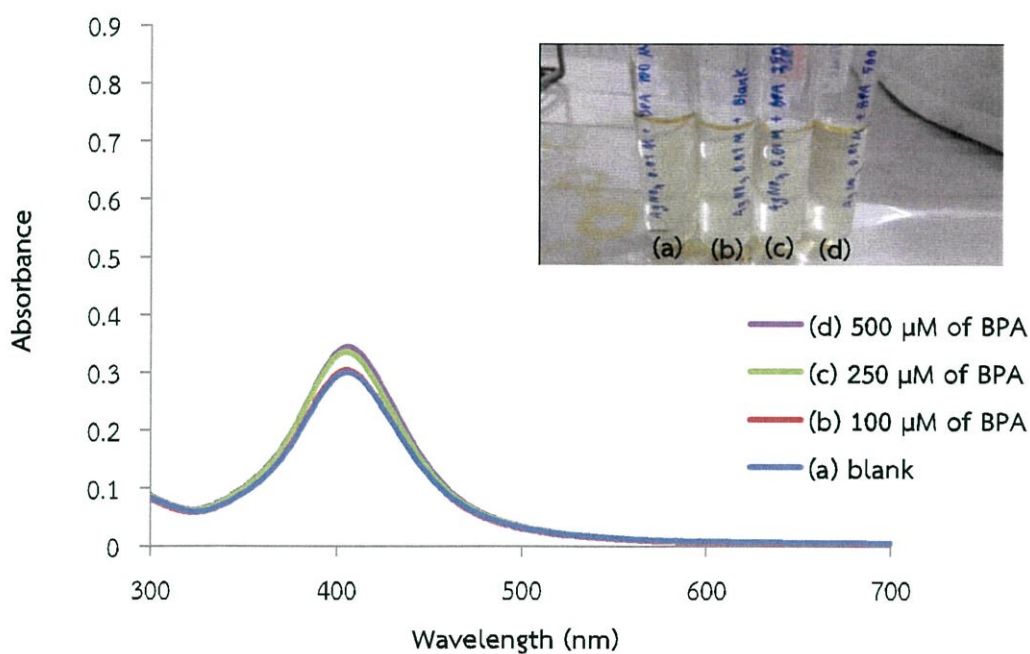
จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.6 พบว่าสามารถเห็นแนวโน้มของสเปกตรัมได้ชัดเจน โดยเส้นแนวโน้มของค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ และเมื่อสังเกตสีของสารละลายพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของชิลเวอร์ในเตรทต่อการสังเคราะห์ชิลเวอร์นาโนต่อไป

4.1.4 ผลของการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของชิลเวอร์ในเตรทต่อการสังเคราะห์นาโนชิลเวอร์และตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

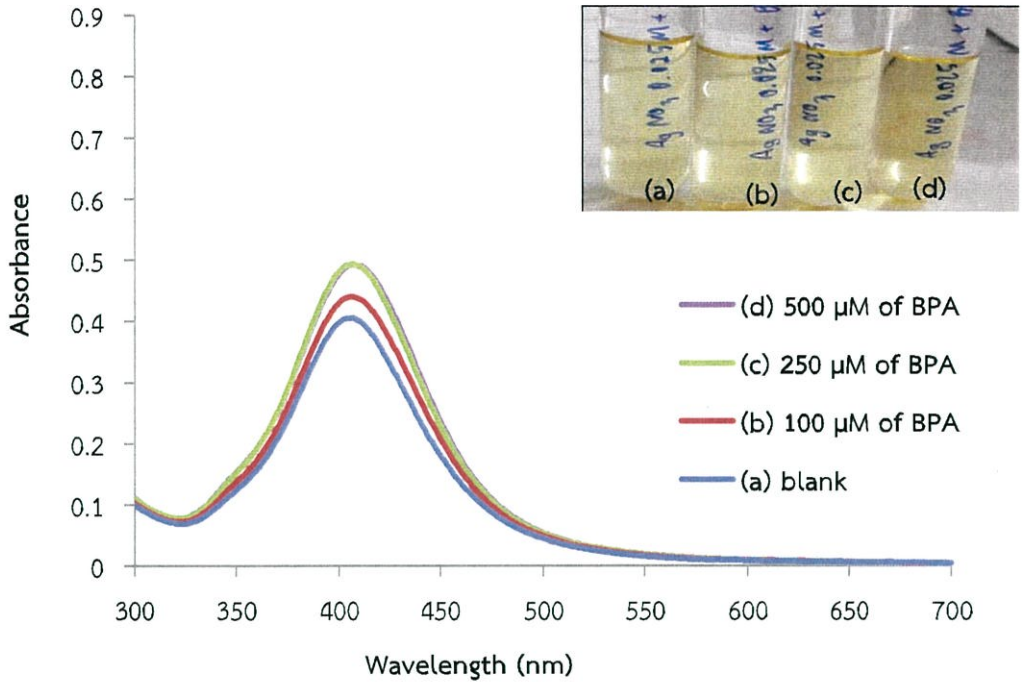
ทำการทดลอง โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของชิลเวอร์ในเตรทต่อการสังเคราะห์ชิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 0.005, 0.01, 0.025, 0.05 และ 0.1 โมลาร์ เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ และทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่เวลา 24 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.8 – รูปที่ 4.11



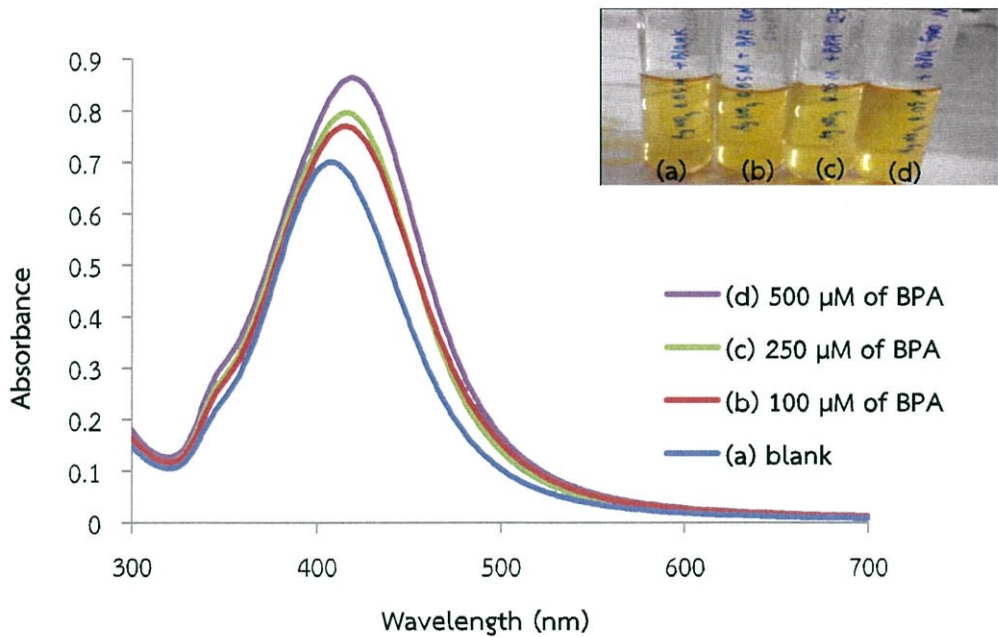
รูปที่ 4.8 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (0.005 โมลาร์) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง



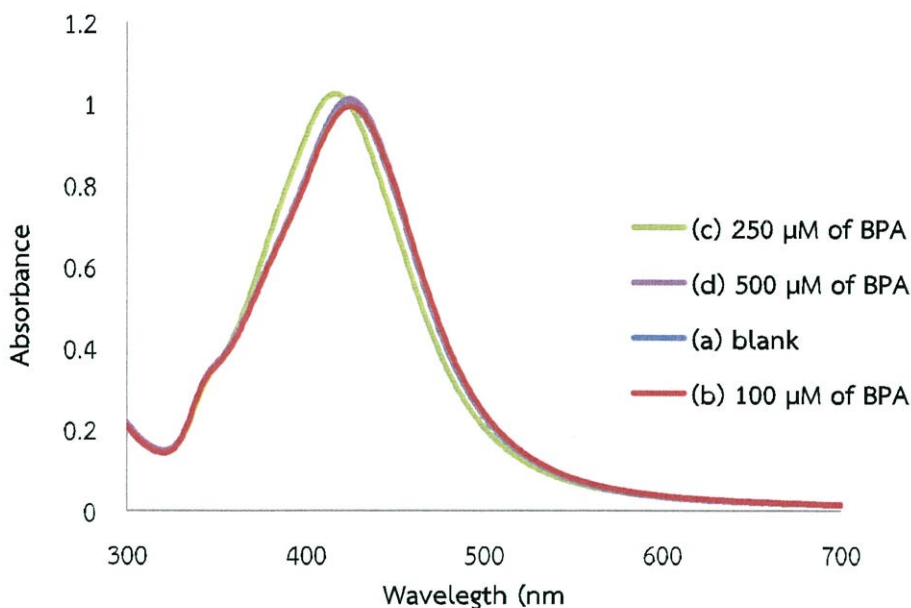
รูปที่ 4.9 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (0.01 โมลาร์) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.10 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (0.025 โมลาร์) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง

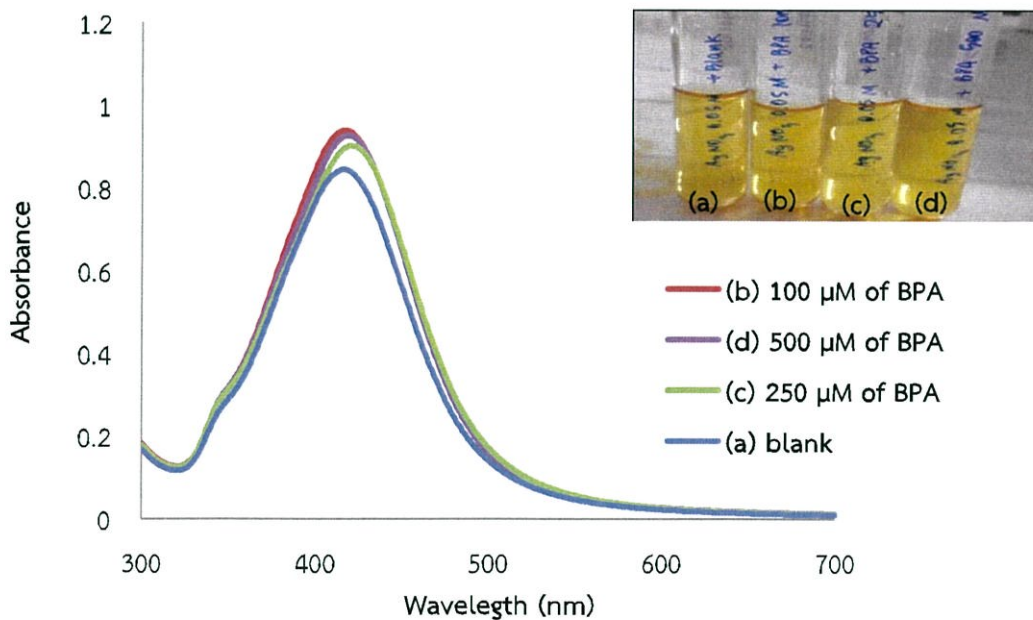


รูปที่ 4.11 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (0.05 โมลาร์) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.12 สเปกตรัมของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (0.1 โมลาร์) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง

จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.11 พบว่าสามารถเห็นแนวโน้มของสเปกตรัมได้อย่างชัดเจน โดยเส้นแนวโน้มของค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ดังนั้นจึงทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง ณ สภาวะเดียวกัน แต่ทำการทดลองคนละวัน ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.13

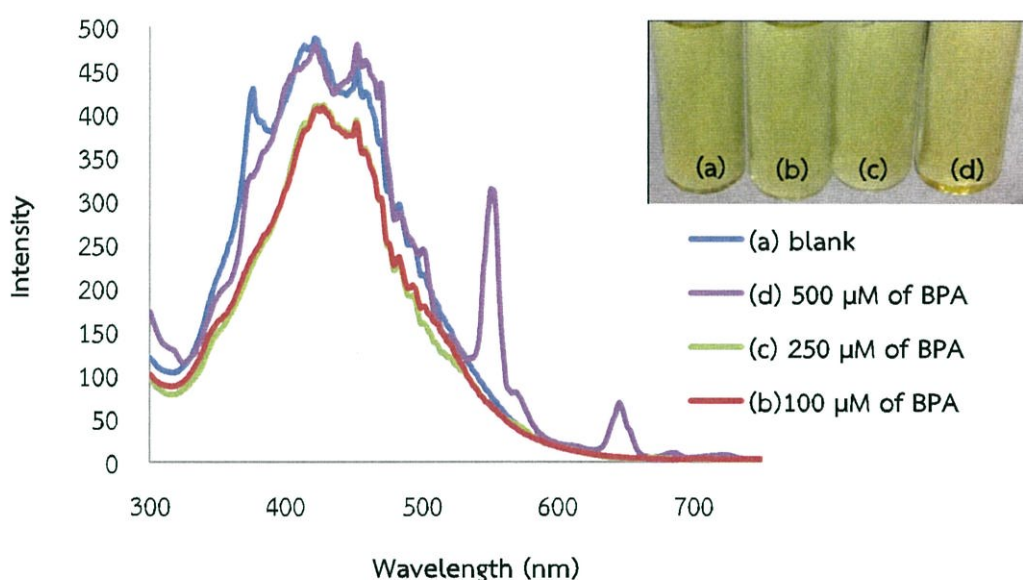


รูปที่ 4.13 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดที่เวลา 24 ชั่วโมง (ทำการทดลองซ้ำ)

จากสเปกตรัมในรูป ที่ 4.11 และรูปที่ 4.13 เมื่อทำการทดลองซ้ำพบว่าผลที่ได้ไม่เป็นไปตามแบบเดิมและเมื่อสังเกตสีของสารละลายพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงเปลี่ยนจากการติดตามค่าการดูดกลืนแสงเป็นติดตามค่าการกระเจิงแสงแทน รวมถึงเปลี่ยนเทคนิคในการตรวจวัดด้วยเช่นกัน

4.1.5 ผลของการตรวจวัดโดยอาศัยหลักการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

ทำการทดลองโดยติดตามวัดค่าการกระเจิง โดยทำซ้ำที่สภาวะเดิมที่คาดว่าเป็นไปได้ คือสภาวะที่สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้ 0.5 เปอร์เซ็นต์โคโตซานทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ และทำการตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 24 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.14



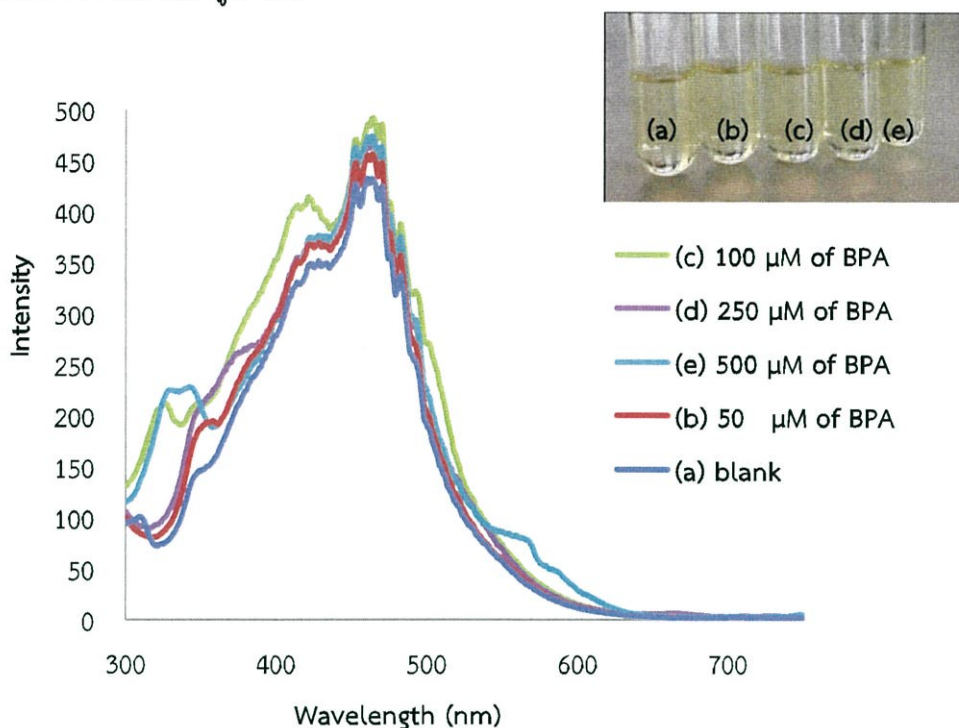
รูปที่ 4.14 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของโคโตซาน (0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 17 ชั่วโมง

จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.14 พบว่าค่าการกระเจิงมีแนวโน้มที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ และเมื่อสังเกตสีของสารละลายพบว่ายังไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงทำการเพิ่มเมลามีนในการทดลองถัดไป

4.1.6 ผลของการศึกษาเมลามีนที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ

การเพิ่มเมลามีนช่วยให้อนุภาคนาโนเกิดการรวมตัวกับโคโตซานได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากเมลามีนสามารถรีงบนผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้โดยผ่านหมู่อะมิโนด้วยพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์และหมู่อะมิโนของเมลามีนจะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของบิสฟีนอล เอ อีกทั้งเมลามีนสามารถช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายได้ จึงทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้ 0.5 เปอร์เซ็นต์โคโตซานทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ได้แก่ 50, 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ และทำการตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 4 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.15

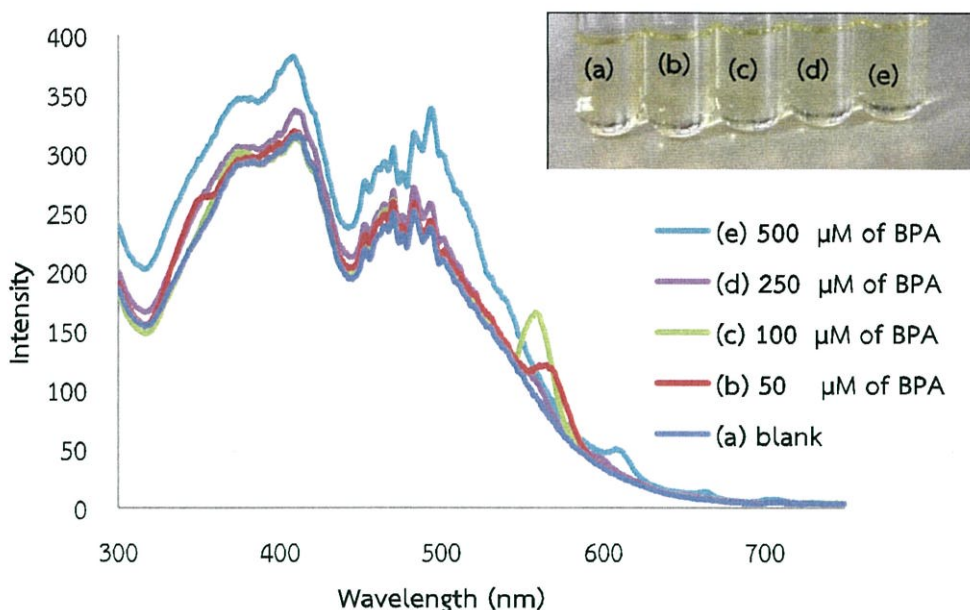


รูปที่ 4.15 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของไคโตซาน (0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ พร้อมทั้งเพิ่มเมลามีน และตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 4 ชั่วโมง

จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.15 พบว่าค่าการกระเจิงไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ และสีของสารละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำการศึกษาค่าพีเอชของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อไป

4.1.7 ผลของการศึกษาค่าพีเอชที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ

อนุภาคนาโนซิลเวอร์เดิมมีค่าพีเอชอยู่ที่ 3.85 ในการทดลองนี้จึงทำการปรับค่าพีเอชเป็น 5 เนื่องจากการปรับค่าพีเอชให้มีค่าที่สูงขึ้นจะส่งผลให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์มีความไม่เสถียร จึงนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับค่าพีเอชมาทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 50, 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ และทำการตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 4 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.16

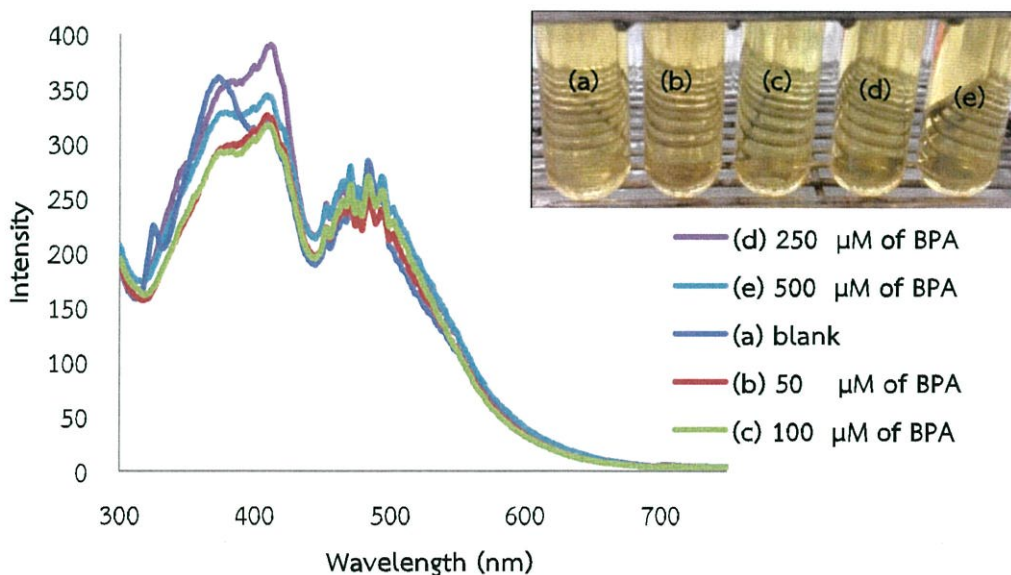


รูปที่ 4.16 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับความเข้มข้นของโคโคซาน (0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ พร้อมทั้งควบคุมค่าพีเอช และตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 4 ชั่วโมง

จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.16 พบว่าค่าการกระเจิงไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ และสีของสารละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำการศึกษาค่าพีเอชและเพิ่มเมลามีนในการทดลองถัดไป

4.1.8 ผลของการศึกษาค่าพีเอช และเมลามีนที่มีผลต่ออันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับบิสฟีนอล เอ

ในการทดลองนี้ทำการเพิ่มเมลามีนและควบคุมค่าพีเอชของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จากนั้นนำมาทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 50, 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ และทำการตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 4 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.17



รูปที่ 4.17 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของไคโตซาน (0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ พร้อมทั้งควบคุมค่าพีเอชและเพิ่มเมลามีน และตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 4 ชั่วโมง

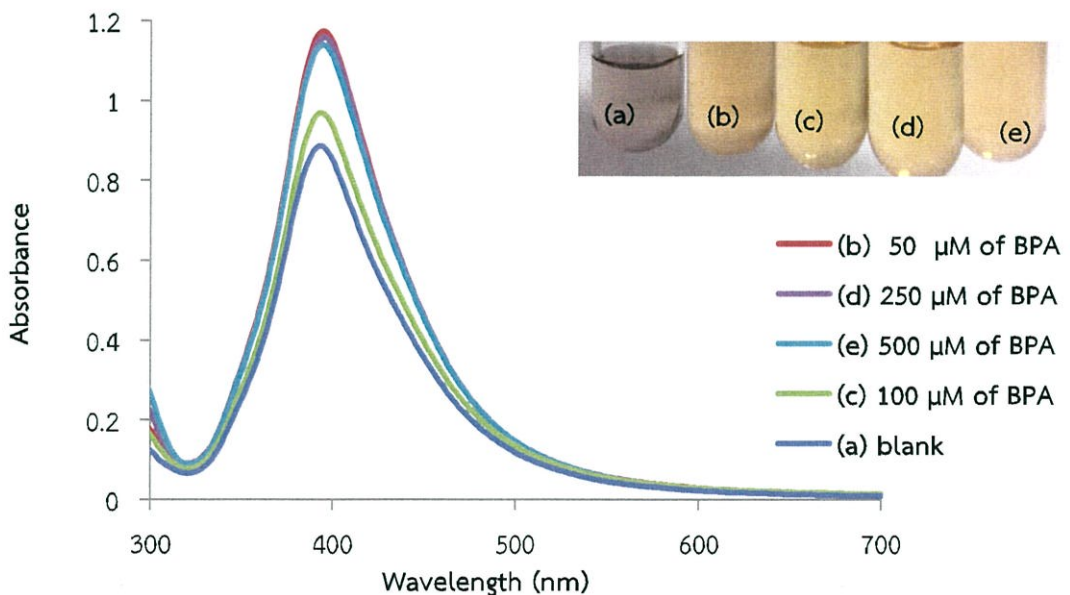
จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.17 พบว่าค่าการกระเจิงที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ และสีของสารละลายไม่มีการเปลี่ยนแปลง สรุปได้ว่าวิธีการสังเคราะห์โดยใช้ไคโตซานอาจเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ เนื่องจากไคโตซานไม่เกิดปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ผู้ทำการวิจัยจึงเปลี่ยนวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ใหม่โดยใช้ซิเตรทในการปรับปรุงพื้นผิว เพื่อหาวิธีในการตรวจวัดหาปริมาณบิสฟีนอล เอ ที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

4.2 ผลของปฏิกิริยาระหว่างบิสฟีนอล เอ กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรท

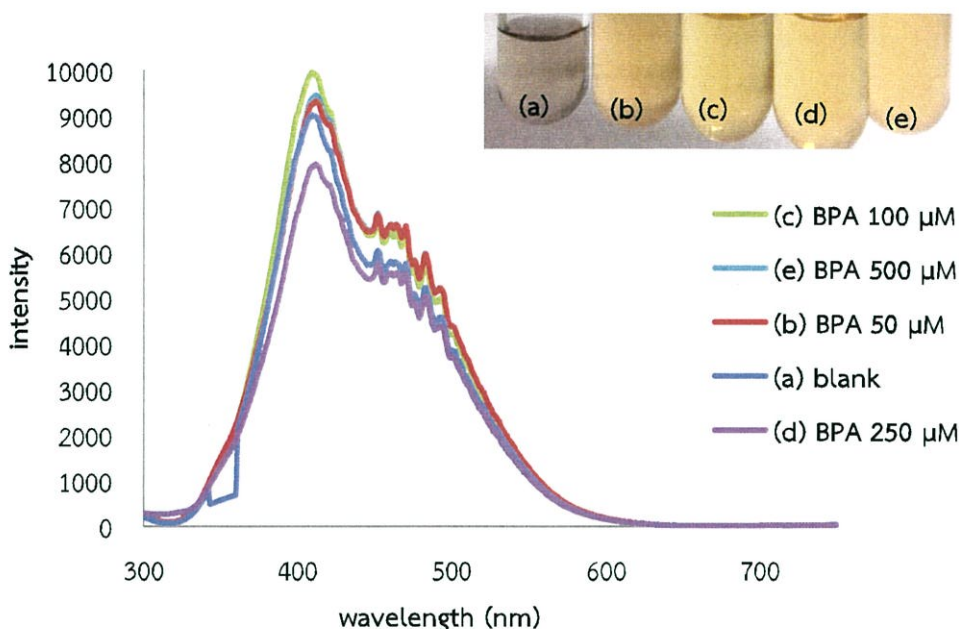
4.2.1 ผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรทกับบิสฟีนอล เอ

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ทำการปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิเตรทมีลักษณะเป็นสีเหลืองน้ำตาลเข้ม ความเข้มข้นเท่ากับ 0.5 มิลลิโมลาร์ (คำนวณจากความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรทเริ่มต้น) เมื่อทำการตรวจวัดการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร อนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถดูดกลืนแสงได้สูงสุดที่ความยาวคลื่นบริเวณ 390 นาโนเมตร

หลังเก็บสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นเวลา 1 วัน นำสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มข้น 0.5 มิลลิโมลาร์ มาเจือจางเป็น 0.2 มิลลิโมลาร์ก่อนทำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 50, 100, 250 และ 500 ไมโครโมลาร์ และตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงและค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 3 ชั่วโมง ผลที่ได้แสดงดังรูป 4.18 และรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.18 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย
ซิเตรททำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆและตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่
เวลา 3 ชั่วโมง

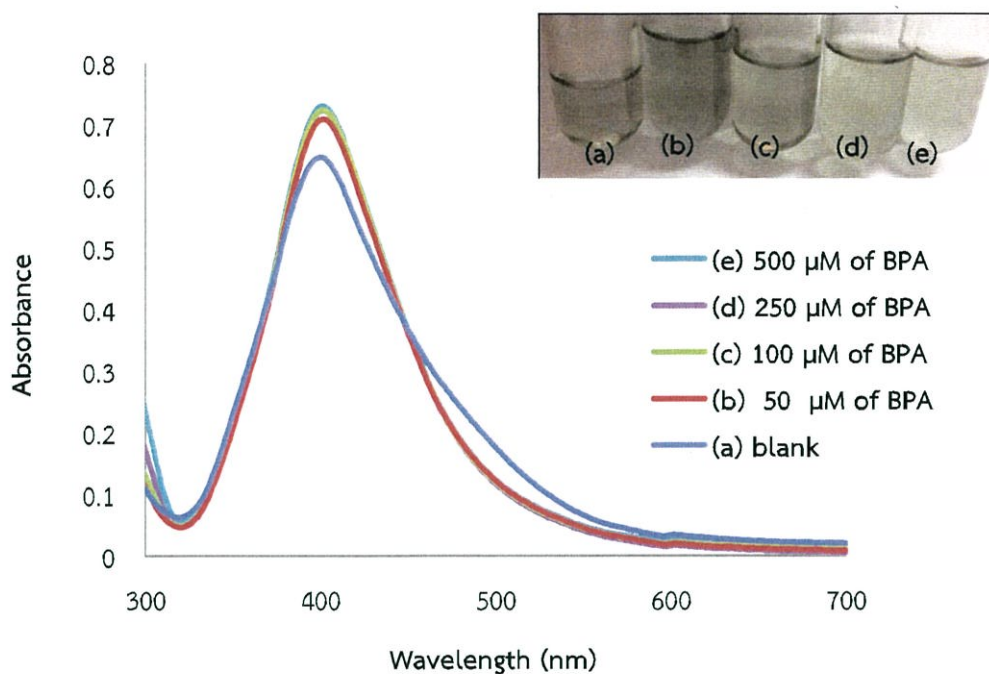


รูปที่ 4.19 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วย
ซิเตรททำปฏิกิริยากับบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดค่าการกระเจิง
แสงที่เวลา 3 ชั่วโมง

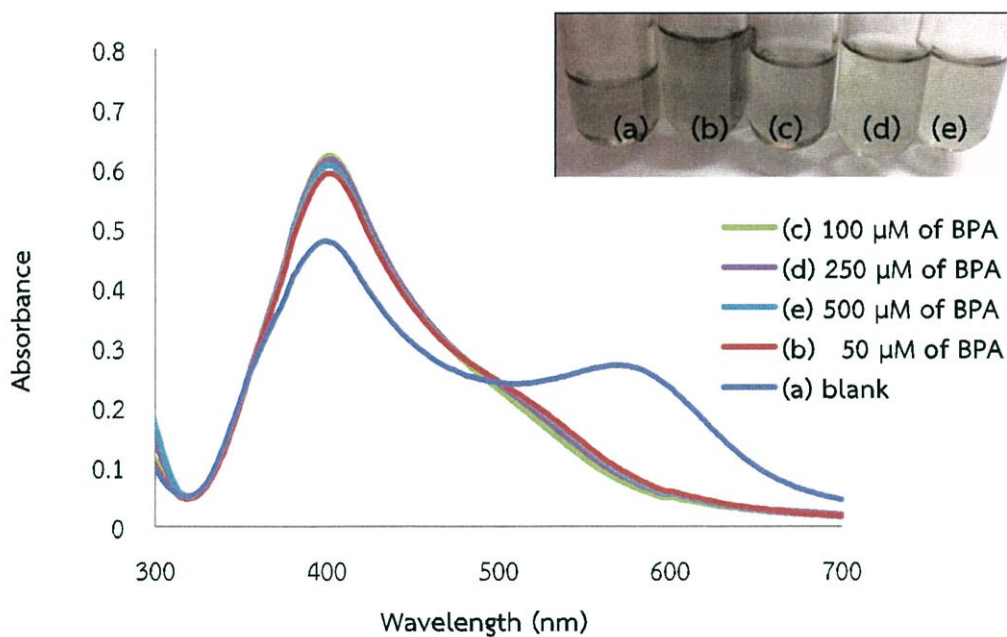
จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงและค่าการกระเจิงแสง
ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ และเมื่อสังเกตสีของสารละลายพบว่า
มีการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลายเฉพาะหลอดทดลอง (a) blank จึงศึกษาลำดับการทำปฏิกิริยา
ต่อไป

4.2.2 ผลของลำดับการทำปฏิกิริยา

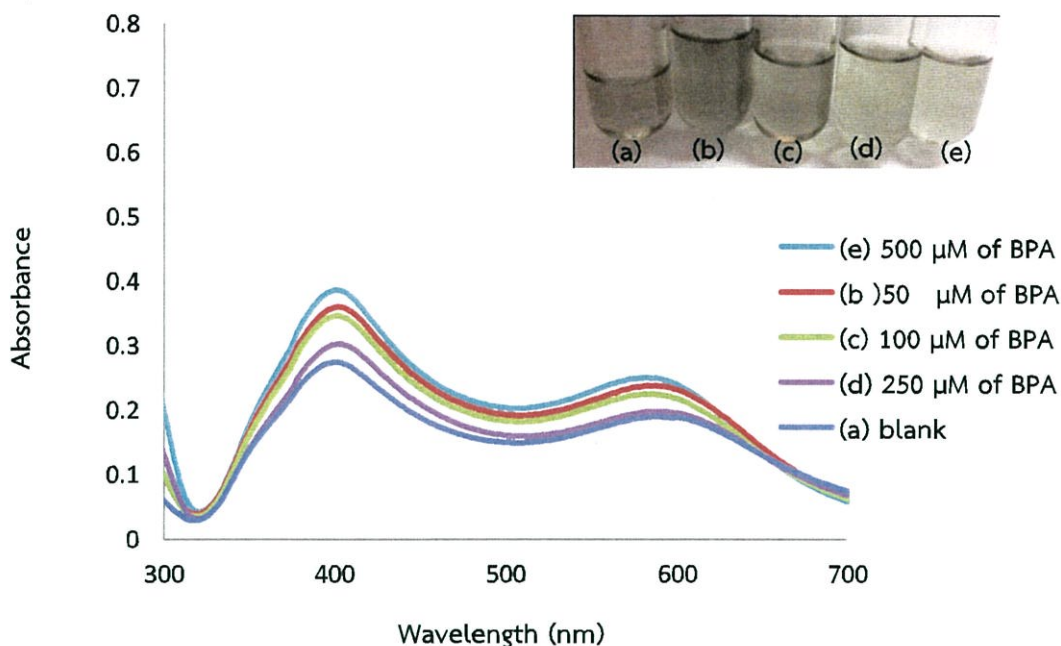
สำหรับการทดลองนี้เป็นการพิจารณาลำดับการเติมสาร 2 แบบได้แก่ ลำดับการเติมสาร
แบบที่ 1 คือ เติมเมลามีนในสารละลายบิสฟีนอล เอ จากนั้นเติมสารละลายอนุภาคนาโนซิล
เวอร์ และลำดับการเติมแบบที่ 2 คือ เติมเมลามีนในสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์
 จากนั้นเติมสารละลายบิสฟีนอล เอ และติดตามอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา 5 นาที
และ 60 นาที เพื่อศึกษาถึงผลต่อการทดลองจากลำดับการเติมสารที่แตกต่างกัน ผลที่ได้
แสดงดังรูปที่ 4.20 – รูปที่ 4.23



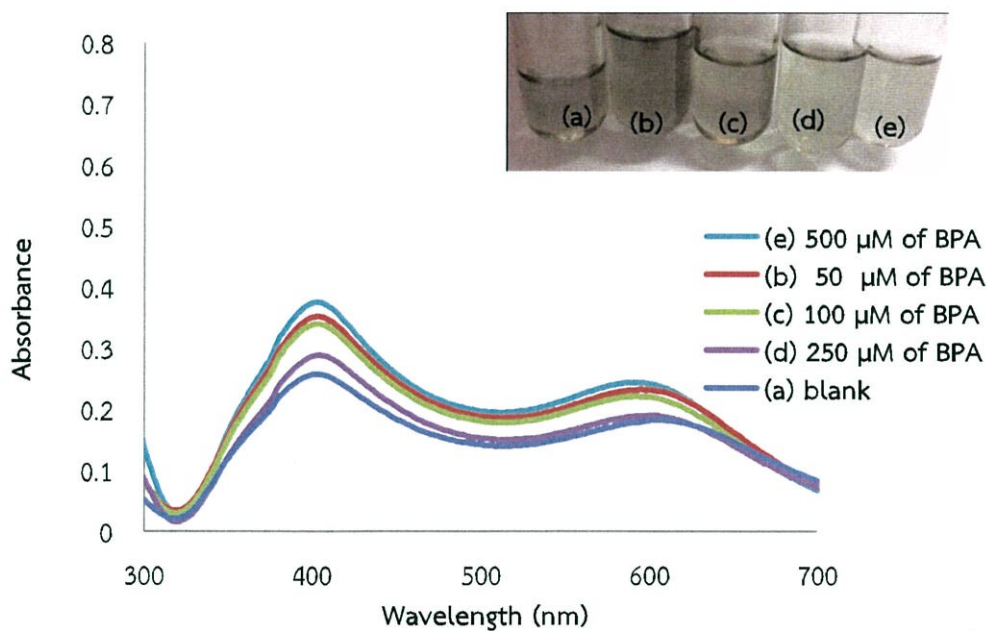
รูปที่ 4.20 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิเตรททำปฏิกิริยากับเมลามีนและบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่ เวลา 5 นาที (ลำดับการเติมสารแบบที่ 1)



รูปที่ 4.21 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิเตรททำปฏิกิริยากับเมลามีนและบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 60 นาที (ลำดับการเติมสารแบบที่ 1)



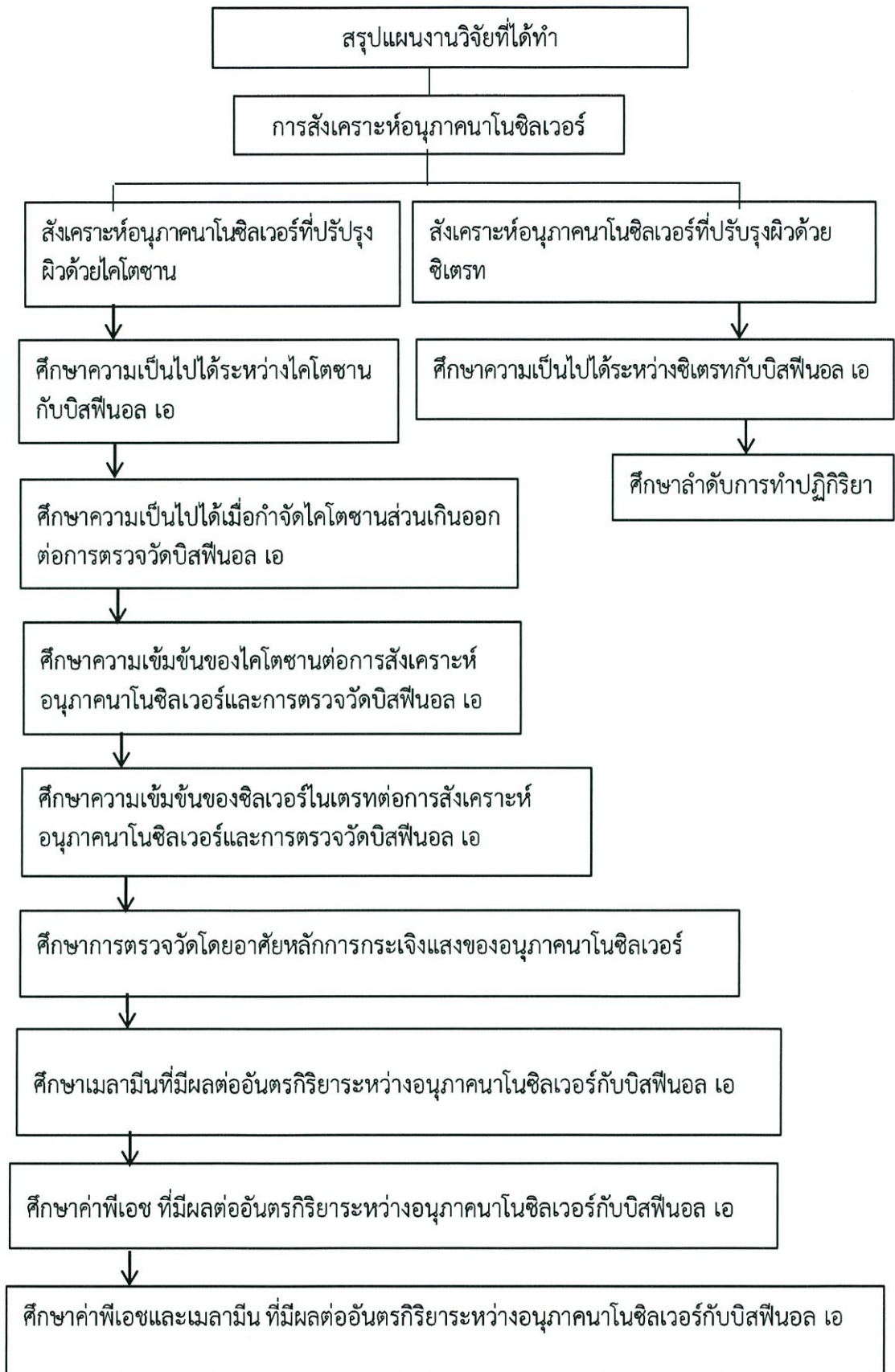
รูปที่ 4.22 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิเตรททำปฏิกิริยากับเมลามีนและบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 5 นาที (ลำดับการเติมสารแบบที่ 2)



รูปที่ 4.23 สเปกตรัมและภาพถ่ายของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซิเตรททำปฏิกิริยากับเมลามีนและบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ และตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงที่เวลา 60 นาที (ลำดับการเติมสารแบบที่ 2)

จากสเปกตรัมในรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.23 เนื่องจากมีการเพิ่มเมลามีนจึงทำให้อนุภาคเกิดการรวมตัวกันได้ดียิ่งขึ้นและช่วยให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสีของสารละลาย แต่พบว่าค่าการดูดกลืนแสงและค่าการกระเจิงแสงไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ดังนั้นผลของการศึกษาลำดับของการทำปฏิกิริยาสรุปได้ว่าไม่เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

4.3 สรุปแผนงานวิจัยที่ได้ทำ



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้ ทำการวิเคราะห์หาปริมาณบิสฟีนอล เอ เป็นการศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดอันตรกิริยากับบิสฟีนอล เอ และสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตเมทรีและเทคนิคฟลูออเรสเซนซ์สเปกโตสโคปี

จากการทดลอง เมื่อนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาปรับปรุงผิวด้วยไคโตซาน โดยไคโตซานจะถูกตรึงบนผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ผ่านหมู่อะมิโนของไคโตซานด้วยพันธะโคออดิเนตโคเวเลนต์กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เมื่อทำการเติมบิสฟีนอล เอ ลงไป ไคโตซานที่ปรับปรุงบนพื้นผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะเกิดพันธะไฮโดรเจนกับบิสฟีนอล เอ โดยผลการทดลองที่ได้ มีค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ จึงทำการกำจัดไคโตซานส่วนเกินออก แต่ผลยังไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ จึงมาพิจารณาความเข้มข้นของไคโตซานต่อการสังเคราะห์นาโนซิลเวอร์ ผลก็ยังไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ จึงทำการพิจารณาความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรทต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ แต่ผลก็ยังไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ต่อมาทำการเปลี่ยนเครื่องมือในการตรวจวัดโดยอาศัยหลักการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ มีการเติมเมลามีน และควบคุมค่าพีเอช ผลการทดลองที่ได้มีค่าความเข้มแสงที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ จึงนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาปรับปรุงผิวด้วยซิเตรท โดยซิเตรทจะถูกตรึงบนผิวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เนื่องจากซิเตรทมีความเป็นขั้วลบจะถูกดึงดูดกับขั้วบวกของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยผลการทดลองที่ได้ มีค่าการดูดกลืนแสงและค่าความเข้มแสงที่ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ต่อมาพิจารณาลำดับของการทำปฏิกิริยา ผลที่ได้ก็ยังคงมีค่าการดูดกลืนแสงไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ เช่นเดิม

อย่างไรก็ตาม ภายใต้สภาวะที่ทำการศึกษา ได้แก่ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยไคโตซาน กำจัดไคโตซานส่วนเกินออก ความเข้มข้นของไคโตซานต่อการสังเคราะห์นาโนซิลเวอร์ ความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรทต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ เปลี่ยนเครื่องมือในการตรวจวัดโดยอาศัยหลักการกระเจิงแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ มีการเติมเมลามีน และควบคุมค่าพีเอช อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรท มีการเติมเมลามีน และลำดับการทำปฏิกิริยา พบว่า ผลการทดลองที่ได้ไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ภายใต้สภาวะที่ทำการศึกษาในโครงการพิเศษนี้เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Catherine Z. 2007. **The Bisphenol A Debate: A Suspect Chemical in Plastic Bottles and Cans.** [Online]. Available : <http://www.thegreenguide.com/doc/114/bpa>
- [2] Jane K. 2005. **Legislature considers bill to ban chemical from kids' Product** [Online]. Available : <http://sfgate.com/cgi-bin/article.cgi?f=/c/a/2005/03/31/BAGIOC13FM1.DTL>
- [3] Zhuang, Y. Zhou, M. Gu, J. and Li, X. 2014. "Spectrophotometric and high performance liquid chromatographic methods for sensitive determination of bisphenol A." *Spectrochim. Acta Mol. Biomol. Spectrosc.* 122(1) : 153-157.
- [4] Zhaohui, C. Xiaodan, Z. Haiyan, C. and Yuming, H. 2013. "Chitosan-capped silver nanoparticles as a highly selective colorimetric probe for visual detection of aromatic ortho-trihydroxy phenolst." *Journal of Analyt.* 8(1) : 138-144.
- [5] Amornrassamee, J. and Saowapak, T. 2016. "A novel colorimetric method for detection of gamma-aminobutyric acid based on silver nanoparticles." *Sensors and Actuators B : Chemical.* 224(1) : 315-320.
- [6] Klecka, G. Staples, C. Clark, K. Anderhoeven, N. Thomas, D. and Hentges, S. 2009. "Exposure analysis of Bisphenol A in surface water systems in North America and Europe." *Environ. Sci. Technol.* 43: 6145-6150.
- [7] Biedermann, S. 2010. "Transfer of bisphenol A from thermal printer paper to the skin." *Anal Bioanal Chem.* 398 (1): 571-6.
- [8] Rezg, R. El-Fazaa, S. Gharbi, N. Mornagui, B. 2014. "Bisphenol A and human chronic diseases : Current evidences, possible mechanisms, and future perspectives." *Environment International.* 64: 83-90.
- [9] Ramos, J.G. 2003. "Bisphenol A induces both transient and permanent histofunctional alterations of the hypothalamic-pituitary-gonadal axis in prenatally exposed male rats." *Endocrinology.* 144: 3206-3215.
- [10] Takeda, Y. Liu, X. Sumiyoshi, M. Matsushima, A. Shimohigashi, M. Shimohigashi, Y. 2009. "Placenta expressing the greatest quantity of bisphenol A receptor ERR {gamma} among the human reproductive tissues: Predominant expression of type-1 ERRgamma isoform." *J. Biochem.* 146 (1): 113-22.

- [11] Zhao, W.A. Brook, M.A. Li, Y.F. 2008. "Design of gold nanoparticle-based colorimetric biosensing assays." *ChemBioChem*. 9: 2363–2371.
- [12] Valverde-Alva, M.A. 2015. "Synthesis of silver nanoparticles by laser ablation in ethanol: A pulsedphotoacoustic study." *Applied Surface Science*. 335 : 341-349.
- [13] Sreeram, K.J. 2008. "Microwave assisted template synthesis of silver Nanoparticles." *Bulletin of Materials Science Vol.* 31 (7): 937–942.
- [14] Matsushima, A. Kakuta, Y. Teramoto, T. Koshiya, T. Liu, X. Okada, H. Tokunaga, T. Kawabata, S. Kimura, M. Shimohigashi, Y. 2007. "Structural evidence for endocrine disruptor bisphenol A binding to human nuclear receptor ERR gamma." *J. Biochem.* 142 (4): 517–524.
- [15] Taniguchi, N. 1974. "On the Basic Concept of 'Nano-Technology'." *Proc. Intl. Conf. Prod. Eng. Tokyo, Part II, Japan Society of Precision Engineering*. 224 : 147–156.
- [16] Thanyaporn, K. 2014. "Glutathione and L-cysteine modified silver nanoplates-based colorimetric assay for a simple, fast, sensitive and selective determination of nickel." *Talanta*. 128 : 215–220.
- [17] Stephan, T. 2008. "Green synthesis of silver nanoparticles for ammonia Sensing." *Talanta*. 76 : 29–33.
- [18] Xia, J. 2010. "Simultaneous determination of melamine and related compounds by capillary zone electro-phoresis." *Food Control*. 21 : 912–918.
- [19] Xiu, Z-M. 2012. "Negligible particle-specific antibacterial activity of silver nanoparticles." *Nano Lett.* 12(8) : 4271–4275.
- [20] Kochana, J. 2015. "Tyrosinase-based biosensor for determination of bisphenol A in a flow-batch system." *Journal of Talanta*. 144 : 163–170.
- [21] Mendiola, J. 2010 "Orange Alert : A fluorescent detector for bisphenol A in water environments." *Health Perspect.* 118 : 12–86.
- [22] Zhuang, Y. Zhou, M. Gu, J. and Li, X. 2014. "Spectrophotometric and high performance liquid chromatographic methods for sensitive determination of bisphenol A." *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 122 : 153–157.

- [23] Uma, B. 2015. "A study of the migration of bisphenol A, phenol and P-tert-butylphenol from polycarbonate child utensils under various condition." *Bulletin of the Department of Medical Sciences*. 57(3) : 205–218.
- [24] Rather, JA. De Wael, K. 2013. "Fullerene-C₆₀ sensor for ultra-high sensitive Detection of bisphenol A and its treatment by green technology." *Sensors and Actuators B: Chemical*. 176 : 110–117.
- [25] Xiang, G.Q. Ren, Y. Xia, Y. Mao, W. Fan, C. and Guo, S.Y. 2017. "Carbon-dot-Based dual-emission silica nanoparticle as a ratiometric fluorescent probe for Bisphenol A." *Spectrochim. Acta Mol. Biomol. Spectrosc.* 177(1) : 153-157.
- [26] Ma, Y. You, F. Promthaveepong, K. and Li N. 2017. "Ultrasensitive Bisphenol A Sensing based on responsive plasmonic nanoparticles." *Sens. Actuator B-Chem.* 245(1) : 369-374.
- [27] Cao, X. 2014 "Facile synthesis of chitosan-capped ZnS quantum dots as an eco-friendly fluorescence sensor for rapid determination of bisphenol A in water and plastic samples." *RSC Adv.* 4 : 16597–16606.
- [28] Zhang, D. Yang, J. Ye, J. and Xu, L. 2016. "Colorimetric detection of bisphenol A based on unmodified aptamer and cationic polymer aggregated gold Nanoparticles." *Anal. Biochem.* 499(1) : 51-56.