

การหาปริมาณบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยการกระเจิงแสงแบบ
เรโซแนนซ์เรย์เล

DETERMINATION OF BISPHENOL A BASED ON
RESONANCE RAYLEIGH SCATTERING



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การหาปริมาณบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยการกระเจิงแสงแบบ
เรโซแนนซ์เรย์เล

DETERMINATION OF BISPHENOL A BASED ON
RESONANCE RAYLEIGH SCATTERING



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DETERMINATION OF BISPHENOL A BASED ON
RESONANCE RAYLEIGH SCATTERING



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

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การหาปริมาณบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยการกระเจิงแสงแบบ
เรโซแนนซ์เรย์เล

DETERMINATION OF BISPHENOL A BASED ON
RESONANCE RAYLEIGH SCATTERING

ชื่อนักศึกษา

นางสาวภาวิดา วรรณวิสิทธิ์ รหัสนักศึกษา 57050485
นางสาววิรดา ก่อกิจเจริญกุล รหัสนักศึกษา 57050489
นางสาววีรลพัชร ก่อกิจเจริญกุล รหัสนักศึกษา 57050563

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี




ปีการศึกษา

2560

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง

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

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการ	
ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การหาปริมาณบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยการกระเจิงแสงแบบเรโซแนนซ์เรย์เล		
	DETERMINATION OF BISPHENOL A BASED ON RESONANCE RAYLEIGH SCATTERING		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวภาวิดา วรรณวิสิทธิ์	รหัสนักศึกษา	57050485
	นางสาววิรดา ก่อกิจเจริญกุล	รหัสนักศึกษา	57050489
	นางสาววิรัชพัชร ก่อกิจเจริญกุล	รหัสนักศึกษา	57050563
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.เสาวภาคย์ ชีราทรง		

บทคัดย่อ

บิสฟีนอล เอ (บีพีเอ) เป็นที่รู้จักกันดีสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกและกระดาษทนความร้อน แม้จะมีความเสี่ยงเป็นพิษต่อสุขภาพ โดยเป็นสารที่รบกวนการทำงานของต่อมไร้ท่อของมนุษย์ งานวิจัยนี้ศึกษาการหาปริมาณบีพีเอ โดยอาศัยการกระเจิงแสงแบบเรโซแนนซ์เรย์เล ที่ใช้อุณหภูมิต้องและซิลเวอร์ระดับนาโนเป็นเซนเซอร์ หลักการตรวจวัดใช้อุณหภูมิต้องระดับนาโนที่ปรับปรุงพื้นผิวด้วยซีสเทอีน ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีเทอร์คิวิซ และอาศัยอันตรกิริยาระดับแสงโรดามีน บี ด้วยอุณหภูมิต้องระดับนาโน พบว่าผลไม่เป็นไปตามแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของบีพีเอ หลักการตรวจวัดที่ใช้อุณหภูมิซิลเวอร์ระดับนาโน ที่สังเคราะห์โดยการใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นตัวรีดิวซ์ พบว่า มีผลไม่เป็นไปตามแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของบีพีเอ เช่นกัน

คำสำคัญ : บิสฟีนอล เอ, อุณหภูมิต้องระดับนาโน, อุณหภูมิซิลเวอร์ระดับนาโน, การกระเจิงแสงแบบเรโซแนนซ์เรย์เล, โคลโลอิมเมทริก ดีเทคชัน

Title	DETERMINATION OF BISPHENOL A BASED ON RESONANCE RAYLEIGH SCATTERING		
Students	Miss Phavida Wannavisit	Student ID 57050485	
	Miss Wirata Korkitcharoenkul	Student ID 57050489	
	Miss Wiranpatch Korkitcharoenkul	Student ID 57050563	
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2017		
Advisor	Asst.Prof.Dr.Saowapak Teerasong		

Abstract

Bisphenol A (BPA) is well known for its use in plastic manufacture and thermal paper production despite its risk of health toxicity as an endocrine disruptor in humans. In this work, determination of BPA based on colorimetric and resonance Rayleigh scattering detections using gold and silver nanoparticles as sensors. The method used gold nanoparticles (GNPs) modified surface by cysteine. GNPs was synthesized by Turkevich method and other method based on the interaction of rhodamine B with gold nanoparticles. The results were not consistent with the increasing trend of BPA concentration. Silver nanoparticles were synthesized by using poly(vinyl alcohol) as the reducing agent, The results were not consistent with the increasing trend of BPA concentration too.

Keywords : Bisphenol A, Gold nanoparticles, Silver nanoparticles, Resonance Rayleigh Scattering, Colorimetric detection

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความกรุณาและความร่วมมือของทุกท่าน

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง ที่เป็นอาจารย์ให้คำปรึกษา ดูแลอย่างใกล้ชิด ให้คำแนะนำที่ดีในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องเกี่ยวกับโครงการพิเศษนี้ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี และผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบโครงการพิเศษ โดยกรุณาช่วยตรวจทาน ให้ข้อคิดเห็น และคำแนะนำในการทำโครงการพิเศษนี้ ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เขิงชั้น ที่ให้คำแนะนำการใช้ห้องหน่วยวิจัยเคมีประยุกต์เชิงวิเคราะห์ อาคารจุฬารภรณ์วลัยลักษณ์ 2 และการใช้เครื่องมือต่างๆอย่างถูกต้องในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์บริการเครื่องมือ อาคารจุฬารภรณ์วลัยลักษณ์ 2 คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ และสอนเทคนิคต่างๆ เกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์ที่ถูกต้องในการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ทีเอ (TA) หน่วยวิจัยเคมีประยุกต์เชิงวิเคราะห์ อาคารจุฬารภรณ์วลัยลักษณ์ 2 ที่ให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือต่างๆที่ถูกต้องในการทำโครงการพิเศษนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้ได้รับการศึกษา ตลอดจนคอยเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน และเป็นกำลังใจ เป็นแรงผลักดันในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมถึงเพื่อนๆ และบุคคลอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นางสาวภาวิดา วรรณวิสิทธิ์

นางสาววิรดา ก่อกิจเจริญกุล

นางสาววิรัชพัชร ก่อกิจเจริญกุล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์ (ถ้ามี).....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 บิสฟีนอล เอ	4
2.1.1 อันตรายของบิสฟีนอล เอ ต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect).....	5
2.1.2 ข้อควรระวังในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีบิสฟีนอล เอ.....	6
2.2 การใช้อุณหภูมิก๊าซในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ.....	7
2.2.1 เทคนิคในการตรวจวัดอนุภาคระดับนาโน.....	8
2.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโน	8
2.2.3 อนุภาคทองระดับนาโน.....	9
2.2.4 อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน.....	11
2.3 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ	14
2.3.1 เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatographic , HPLC) based sensor	14
2.3.2 เทคนิค Electrochemical based sensor	15
2.3.3 เทคนิคด้านอนุภาคระดับนาโนที่ใช้ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ.....	17
2.3.3.1 เทคนิค Surface-enhanced Raman scattering (SERS) based sensors.....	17
2.3.3.2 เทคนิค Quantum-dot based sensor.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.3.3.3	เทคนิค Carbon-nanotube (CNT) based sensors.....	22
2.3.3.4	เทคนิค Graphene based sensors	24
2.3.3.5	เทคนิคตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยใช้อนุภาคทองระดับนาโน.....	26
2.3.3.6	เทคนิคตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยใช้อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน.....	29
2.4	งานวิจัยนี้.....	31
บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	32
3.1	สารเคมีและอุปกรณ์.....	32
3.1.1	สารเคมี.....	32
3.1.2	อุปกรณ์และเครื่องมือวัด.....	33
3.2	การเตรียมสารละลาย.....	34
3.2.1	การเตรียมสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน.....	34
3.2.2	การเตรียมสารละลายอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน.....	34
3.3.3	การเตรียมสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น 250 ppm.....	35
3.3	การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ.....	35
3.3.1	การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ที่ปรับปรุงผิวด้วยซีสเทอีน.....	35
3.3.2	การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ด้วยอนุภาคทองระดับนาโนร่วมกับโรดามีน บี.....	36
3.3.3	การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ด้วยอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน.....	36
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	38
4.1	ผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับบิสฟีนอล เอ.....	38
4.4.1	การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยซีสเทอีน.....	38
4.4.2	การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยผลของอันตรกิริยาในการดับแสง (Quench) ของโรดามีน บี ด้วยอนุภาคทองระดับนาโน.....	40
4.2	ผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนกับบิสฟีนอล เอ.....	42
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	48
	เอกสารอ้างอิง.....	49
	คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ.....	53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.3 แสดงรูปสัญลักษณ์และรหัสความเป็นอันตรายของบิสฟีนอล เอ.....	6
3.1 แสดงสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้	32
3.2 แสดงการเตรียมความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	35
4.1 เมื่อสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ เตรียมในน้ำกลั่น (pH≈7).....	47
4.2 เมื่อสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ เตรียมในกรดแอสซิดิก (pH≈4).....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงโครงสร้างของบิสฟีนอล เอ	2
2.1 แสดงโครงสร้างของบิสฟีนอล เอ	4
2.2 แสดงสมการปฏิกิริยาสังเคราะห์โพลีคาร์บอนเนตโดยใช้มอนอเมอร์เป็นบิสฟีนอล เอ.....	4
2.4 แสดงสัญลักษณ์รีโซเคิลของพลาสติกชนิดต่างๆ	7
2.5 การสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนแบบบนลงล่าง (Top-Down Approach) และแบบล่างสู่บน (Bottom-Up Approach)	9
2.6 แท่งอนุภาคทองระดับนาโนด้วยเครื่อง TEM (a) และอนุภาคทองระดับนาโนด้วยเครื่อง SEM (b).....	10
2.7 การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้วิธี Turkevich.....	11
2.8 (a) ปรัชญาการณ์ Surface Plasmon Resonance, SPR และ (b) ภาพจาก Dark field Microscope ของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่ 60 nm.....	12
2.9 Transmission Electron Microscopy (TEM) ของอนุภาคระดับนาโนของเงินที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (a) 20 nm (b) 60 nm และ (c) 100 nm ตามลำดับ โดยแถบสเกลอยู่ที่ 50 nm.....	13
2.10 แสดงโครมาโทแกรมของบิสฟีนอล เอ (BPA) จากเครื่อง HPLC-PDA.....	14
2.11 แสดงอิมพีแดนซ์สเปกตรัมของบิสฟีนอล เอ (BPA) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ตรวจวัดโดย MAABD.....	15
2.12 แสดงค่า Electrochemical impedance spectroscopy (EIS).....	17
2.13 การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยวิธี SERS โดยใช้เส้นใยดับเบิล ดีเอ็นเอ ฝังอยู่ใน Au/Ag core-shell NPs.....	18
2.14 การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยวิธี SERS โดยใช้ AuNPs-AuNRs.....	19
2.15 การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยวิธี SERS ในตัวอย่างนม.....	20
2.16 แสดงการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง IFE ของอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) และแสงฟลูออเรสเซนซ์ของ CdTe QDs.....	21
2.17 แสดงการเกิดกลไกในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) โดยใช้ MB-QD565-aptamer -QD655.....	22
2.18 แสดง Cyclic Voltammogram ของ 200 g/L ใน 0.1 M โซเดียมไทโกลซีนบัฟเฟอร์ (pH=8) ของ BPA ที่อิเล็กโทรดต่างๆกัน.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.19 แสดงค่า DPV ของ 5.0 μM BPA ใน Britton–Robinson (BR) buffer (pH=6) ที่ ขั้วไฟฟ้าชนิดต่างๆ.....	24
2.20 (A) แสดงการเตรียม SERS-active SPME fiber และ (B) แสดงการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) หลังจากการสกัด.....	25
2.21 แสดงค่า Cyclic voltammetry (CV) ของ 25 $\mu\text{g/L}$ บิสฟีนอล เอ (BPA) ใน Phos phate buffered solutions (PBS) ที่ขั้วต่างๆ.....	26
2.22 ขั้นตอนการปรับปรุงแก๊สซี คาร์บอน อิเล็กโทรดที่ใช้ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ.....	27
2.23 แก๊สซี คาร์บอน อิเล็กโทรดชนิดต่างๆที่แช่อยู่ใน B-R buffer ที่มี pH=9 และ scan rate เท่ากับ 100 mV/s.....	28
2.24 (A) ความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (หน่วย $\mu\text{mol/L}$).....	29
2.25 สัญญาณการตรวจจับบิสฟีนอล เอ เมื่อไม่มีการเคลือบไพริดีนและมีการเคลือบไพริดีน ลงไปบนอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน โดยใช้บิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น 20 mg/L.....	30
4.1 (a) แสดงอนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยซิเตรท และ (b) แสดงพันธะที่เกิดจากทอง-ซิเตรทกับซิสเทอีน.....	38
4.2 แสดงการเกิดพันธะระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยซิสเทอีนกับบิสฟีนอล เอ.....	39
4.3 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยซิสเทอีนกับบิส ฟีนอล เอ.....	39
4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงแสงของโรดามีน บี.....	40
4.5 แสดงการเกิดพันธะระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับบิสฟีนอล เอ.....	41
4.6 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในน้ำกลั่น (pH \approx 7)).....	41
4.7 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในกรดแ ซิติค (pH \approx 4)).....	42
4.8 แสดงการเกิดพันธะระหว่างอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนกับโพลีไวนิล แอลกอฮอล์.....	42
4.9 แสดงพันธะที่เกิดจากโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) กับบิสฟีนอล เอ.....	43
4.10 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในน้ำกลั่น (pH \approx 7)).....	44
4.11 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในกรดแ ซิติค (pH \approx 4)).....	44
4.12 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในน้ำกลั่น (pH \approx 7)).....	45
4.13 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในกรดแ	

ซิติค (pH≈4).....	45
4.14 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในน้ำกลั่น (pH≈7)).....	46
4.15 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในกรดแอสซิติค (pH≈4)).....	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
BPA	Bisphenol A
PC	Poly(vinyl alcohol)
HPLC	Higt Performance liquit chromatography
SPR	Surface Plasmon Resonance
Abs	Absorbance
TEM	Transmission Electron Microscopy
SEM	Scanning Electron Microscopy
AFM	Atomic Force Microscopy
CTAB	Cetyl trimetyl ammonium bromide
AuNPs	Gold nanoparticle
AgNPs	Silver nanoparticle
PDA	Photo diode array
LOD	Limit of detection
FLD	Fluorescence detector
BDD	Boron doped diamond
SPRS	Surface enhanced raman scattering
QDs	Quantum dot
CdTe	Cadmium telluride
MB	Magnetic bead
CNT	Carbon nanotube
GCEs	Glassy carbon electrodes
DPV	Differential pulse voltammetry
SPME	Solid phase micro extraction
CV	Cyclic voltammetry
MWCNT	Multiwalled carbon nanotube
GONRs	Graphene oxide nanoribbons
B-R buffer	Britton-Robinson
DL	Detection limit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

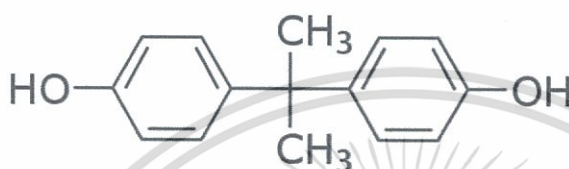
บิสฟีนอล เอ (Bisphenol A , BPA) เป็นที่รู้จักกันดีในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกมีการนำมาใช้เป็นโมโนเมอร์ของการผลิตพลาสติกโพลีคาร์บอเนต (PC) และเรซินอีพอกซี ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่พบในบรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่ทำมาจากพลาสติก เช่น ขวดนม ขวดน้ำพลาสติก กล่องบรรจุอาหาร เพื่อให้ขวดพลาสติกมีความใส การเข้าสู่ร่างกายของบิสฟีนอล เอ ตัวที่จะเร่งปฏิกิริยา คือ ความร้อน เช่น การต้ม การนึ่ง หรือ สเตอริไลซ์พลาสติก สามารถทำให้โมเลกุลของบิสฟีนอล เอ ในบรรจุภัณฑ์หลุดร่อนออกมาปะปนในอาหาร โดยจะแทรกซึมลงในของเหลวและอาหารที่บรรจุอยู่ภายในบรรจุภัณฑ์ เมื่อรับประทานหรือดื่มเข้าไป บิสฟีนอล เอ จะเข้าสู่ร่างกาย โดยจำนวนบิสฟีนอล เอ เพียงเล็กน้อย สามารถเป็นสารก่อมะเร็งได้ เช่น มะเร็งเต้านมและมะเร็งในต่อมลูกหมาก ส่งผลต่อความผิดปกติทางพันธุกรรมของเซลล์ในร่างกาย ทำให้ภูมิคุ้มกันบกพร่อง เช่น โรคอ้วน โรคเบาหวาน ไฮเปอร์ (Hyperactivity) การเริ่มเป็นหนุ่มสาวเร็วเกินไป การศึกษาผลต่อเซลล์มะเร็งของมนุษย์และสัตว์ [1] พบว่าการได้รับบิสฟีนอล เอ ที่ระดับ 2-5 ppb (ส่วนในพันล้านส่วน) มีผลรบกวนการทำงานของฮอร์โมน โดยผลดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพ เช่น ในผู้ชายจะมีจำนวนสเปิร์มต่ำลง และเป็นสเปิร์มที่ไม่มีประสิทธิภาพ การศึกษาในหนูตัวผู้ที่กำลังเจริญเติบโต พบว่าทำให้ต่อมลูกหมากมีขนาดใหญ่ขึ้น

ในปี 2005 Thomas Zoeller และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาในมนุษย์พบว่า การสะสมของบิสฟีนอล เอ ในครรภ์รอบๆตัวทารก เช่น ที่ถุงน้ำคร่ำและรกจะสูงกว่าในเลือดของมารดา แต่ยังไม่สามารถบอกผลกระทบที่ชัดเจนต่อทารกได้ อย่างไรก็ตามได้มีรายงานผลของบิสฟีนอล เอ ต่อการทำงานของสมองจากการทดลองในสัตว์ทดลองพบว่าบิสฟีนอล เอ จะเปลี่ยนแปลงความสามารถของไทรอยด์ฮอร์โมนในการควบคุมพัฒนาการของสมอง นอกจากนั้นบทความจาก Yochi Tanaka และคณะ [3] ได้รายงานว่ บิสฟีนอล เอ สามารถยับยั้งบทบาทของเอสโตรเจนในการเพิ่มการเชื่อมต่อของปลายประสาทในฮิปโปแคมปัสซึ่งเกี่ยวข้องกับการจำ

ในปี 2006 มีงานวิจัยซึ่งพบว่าการได้รับบิสฟีนอล เอ อาจทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเบาหวานชนิดที่สอง [4] เนื่องจากบิสฟีนอล เอ เปลี่ยนแปลงการทำงานของเซลล์ตับอ่อนในหนูซึ่งผลิตอินซูลิน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์กับโรคอ้วน [5] โดยไปกระตุ้นเซลล์ไขมัน งานวิจัยในมนุษย์งานหนึ่งพบว่าหญิงซึ่งแท้งก่อนครบกำหนดคลอดมีระดับบิสฟีนอล เอ ในเลือดสูงเป็นสามเท่าของ

หญิงซึ่งให้กำเนิดทารกเป็นปกติ [6] ในขณะที่อีกงานหนึ่งเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของความผิดปกติของรังไข่กับระดับบิสฟีนอล เอ ในเลือดที่สูงขึ้น [7] อย่างไรก็ตามการทดลองในมนุษย์ยังต้องมีการพิสูจน์ต่อไป

บิสฟีนอล เอ เป็นของแข็ง สีขาว มีกลิ่นคล้ายฟีนอลเล็กน้อย สามารถละลายได้ดีในเอทานอล ไดเอทิลอีเธอร์ อะซีโตน เบนซีน สารละลายต่าง และสามารถละลายได้เล็กน้อยในไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์ มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 1.1



น้ำหนักโมเลกุล : 228.29

จุดเดือด : 220°C

ความถ่วงจำเพาะ : 1.195

รูปที่ 1.1 แสดงโครงสร้างของบิสฟีนอล เอ

จากความเป็นพิษของบิสฟีนอล เอ ต่อร่างกายมนุษย์ อีกทั้งยังปนเปื้อนมากับอาหารหรือเครื่องดื่มที่บริโภคได้ง่ายเมื่อภาชนะโดนความร้อน หรือการใช้ภาชนะซ้ำๆ เป็นเวลานาน จึงเป็นเหตุให้มีงานวิจัยที่อาศัยเทคนิคต่างๆ เพื่อตรวจวัดปริมาณบิสฟีนอล เอ ได้แก่ High-performance liquid chromatography technique [8], Electrochemical [9] และ Nanoparticle-based Sensor [10] เป็นต้น

วัสดุนาโน (Nanomaterials) หรืออนุภาคระดับนาโน (Nanoparticles) คือ อนุภาคของแข็งหรือฝุ่นอนุภาคที่มีการกระจายตัว (Particulate dispersions) ประกอบด้วย Macromolecules ที่มีขนาด 10-1000 นาโนเมตร เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กของอนุภาคนาโนสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ ได้แก่ การนำไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และใช้เป็นตัวรับรู้ต่างๆ เป็นต้น

อนุภาคทองและซิลเวอร์ระดับนาโนจึงได้รับความสนใจในการใช้เป็นตัวรับรู้ เนื่องจากอนุภาคทั้งสองมีคุณสมบัติ Surface Plasmon Resonance [11] ซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอิเล็กตรอนที่อยู่ในโลหะระดับนาโน โดยอันตรกิริยาที่แสงกระทำต่อโลหะจะเกิดได้สองแบบ คือ การกระเจิง (Scattering) และการดูดกลืนแสง (Absorption) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคระดับนาโน

งานวิจัยนี้ได้ใช้คุณสมบัติทางแสงของอนุภาคระดับนาโนทั้งอนุภาคทองระดับนาโนและอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน เพื่อเป็นตัวรับรู้ ในการตรวจวัดปริมาณบิสฟีนอล เอ โดยใช้เทคนิคการกระเจิงแสงแบบเรโซแนนซ์เรย์เลในการตรวจวัด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำอนุภาคทองและซิลเวอร์ระดับนาโนมาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยเทคนิคการกระเจิงแสงแบบเรโซแนนซ์เรย์เล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาถึงการนำอนุภาคทองและซิลเวอร์ระดับนาโนมาใช้ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยสารละลายซิสเทอีนและโรดามีน บี อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยโพลีไวนิล แอลกอฮอล์ โดยอาศัยเทคนิคการกระเจิงแสงแบบเรโซแนนซ์เรย์เล และใช้สารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ เป็นตัวอย่างบิสฟีนอล เอ ในการศึกษา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้วิธีตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยอนุภาคทองและซิลเวอร์ระดับนาโนเป็นเซ็นเซอร์



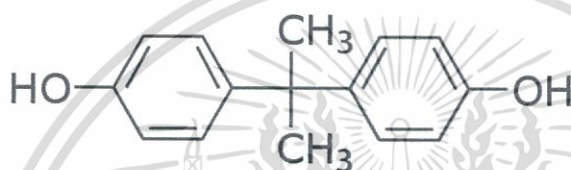
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บิสฟีนอล เอ

บิสฟีนอล เอ (4,4-Isopropylidenediphenol , Diphenylolpropane) เป็นของแข็ง สีขาว มีกลิ่นคล้ายฟีนอลเล็กน้อย สามารถละลายได้ดีในเอทานอล ไดเอทิลอีเธอร์ อะซีโตน เบนซีน สารละลายต่าง และสามารถละลายได้เล็กน้อยในไฮโดรคาร์บอน และคาร์บอนเตตระคลอไรด์



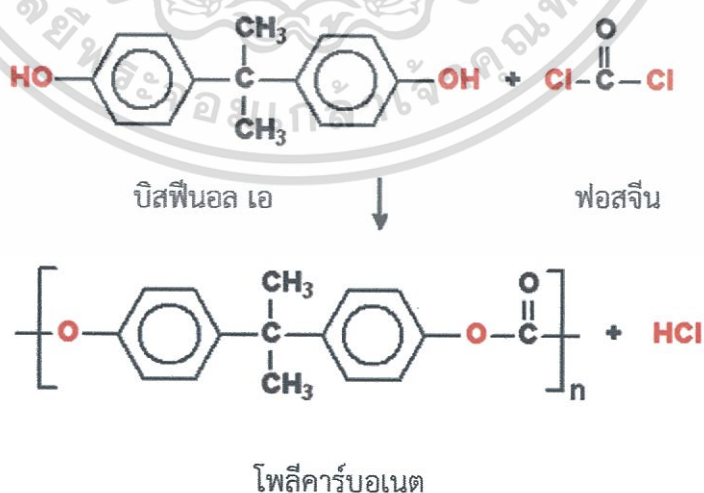
น้ำหนักโมเลกุล : 228.29

จุดเดือด : 220°C

ความถ่วงจำเพาะ : 1.195

รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของบิสฟีนอล เอ

บิสฟีนอล เอ เป็นที่รู้จักกันดีในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติกและกระดาษทนความร้อน นิยมนำมาใช้เป็นโมโนเมอร์ของการผลิตพลาสติกโพลีคาร์บอเนต (PC) และเรซินอีพอกซี ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ที่พบในบรรจุภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่มที่ทำมาจากพลาสติก เช่น ขวดนม ขวดน้ำพลาสติก กล่องบรรจุอาหาร เพื่อให้ขวดพลาสติกมีความใส โดยมีสมการสังเคราะห์ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงสมการปฏิกิริยาสังเคราะห์โพลีคาร์บอเนตโดยใช้โมโนเมอร์เป็นบิสฟีนอล เอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีการใช้บิสฟีนอล เอ เป็นสารตัวกลางในการผลิตอีพอกซี ฟีนอลซี โพลีซัลโฟน โพลีเอสเตอร์ ชนิดไม่อิ่มตัว สไตรีน และโพลีเอริลแลตเรซิน โพลีอีเธอร์คีโตน และไฮโดรควิโนน ใช้เป็นสารหน่วงการติดไฟ เช่น เตตระโบรโมบิสฟีนอล เอ ใช้เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่น ใช้เป็นสารป้องกันการเกิดแอนติออกซิเดนท์ ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อรา

2.1.1 อันตรายของบิสฟีนอล เอ ต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

1. สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคือง และไอ ผู้ที่ทำงานใช้สารในระดับประมาณ 240 มิลลิกรัม เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ทำให้รู้สึกมีรสชาติดขม คลื่นไส้ และปวดศีรษะ
2. สัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสถูกผิวหนังจะก่อให้เกิดการระคายเคืองเล็กน้อย การสัมผัสสารติดต่อกันเป็นเวลานานทำให้เป็นโรคผิวหนัง เป็นผื่นแดง คัน และบวม
3. กินหรือกลืนเข้าไป : การกลืนหรือกินเข้าไปจะก่อให้เกิดการระคายเคืองในปากและทางเดินอาหาร ถ้าได้รับสารในปริมาณมาก มีผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลาง เช่น มีอาการคลื่นไส้ ปวดศีรษะ วิงเวียน และอาเจียน
4. สัมผัสสูดดม : การสัมผัสสูดดมจะก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อตา
5. การก่อมะเร็ง ความผิดปกติอื่นๆ สารนี้เป็นสารก่อมะเร็งต่อระบบเลือด มะเร็งต่อมลูกหมาก เป็นอันตรายต่อทารกในครรภ์

รูปสัญลักษณ์อันตรายและรหัสความเป็นอันตรายของบิสฟีนอล เอ แสดงดังตารางที่ 2.3

คำสัญญาณ (Signal Word)	อันตราย (Danger)
รูปสัญลักษณ์ (Pictogram)	
รหัสความเป็นอันตราย (Hazard Code)	ข้อความแสดงความเป็นอันตราย (Hazard Statement)
H318	ทำลายดวงตาอย่างรุนแรง (Serious eye damage)
H317	ทำให้เกิดการแพ้ที่ผิวหนัง (Allergic skin reaction)
H361f	อันตรายต่อการเจริญพันธุ์ (Damaging fertility)
H335	ระคายเคืองต่อทางเดินหายใจ (Respiratory irritation)

ตารางที่ 2.3 แสดงรูปสัญลักษณ์และรหัสความเป็นอันตรายของบิสฟีนอล เอ
(ที่มา: <http://www.chemtrack.org/Chem-Detail.asp?ID=06358&CAS=&Name=>)

2.1.2 ข้อควรระวังในการเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่มีบิสฟีนอล เอ

ผู้บริโภคสามารถระมัดระวังการใช้บรรจุภัณฑ์ต่างๆที่มีบิสฟีนอล เอ จากการอ่านฉลากได้ชัดเจน
อย่างไรก็ตามควรศึกษาถึงอันตรายและแนวทางการป้องกัน

1. การอ่านฉลากได้ชัดเจน เลข 1-7 ล้อมรอบด้วยสามเหลี่ยม หรือที่รู้จักกันดีคือสัญลักษณ์รีไซเคิล
บรรจุภัณฑ์ที่ระบุเลข 3 6 และ 7 เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ทำมาจากพลาสติกชนิดที่มีส่วนประกอบของบิสฟีนอล
เอ ส่วนบรรจุภัณฑ์ที่ระบุเลข 1 2 4 และ 5 เป็นบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีส่วนประกอบของบิสฟีนอล เอ
นอกเหนือจากนี้ยังมีสัญลักษณ์อื่นที่แสดงถึงความปลอดภัย เช่น BPA free โดยสัญลักษณ์นี้หมายถึงบรรจุ
ภัณฑ์ชนิดนั้นไม่มีส่วนประกอบของบิสฟีนอล เอ ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IS YOUR PLASTIC SAFE?	
SAFE	AVOID
	
	
LOOK FOR THE 1, 2, 4 & 5 RECYCLE SYMBOLS	AVOID THE 3, 6 & 7 RECYCLE SYMBOLS

รูปที่ 2.4 แสดงสัญลักษณ์รีไซเคิลของพลาสติกชนิดต่างๆ

(ที่มา: <https://www.korwater.com/blogs/the-well/bpa-why-you-dont-want-it-and-what-kor-is-doing-about-it>)

2. ระเบิดระวางผลิตภัณฑ์จากโพลีคาร์บอเนต หากมีฉลากใต้ขวดระบุสัญลักษณ์รีไซเคิลเลข 7 และมีเครื่องหมาย PC อยู่ นั้นหมายถึงเป็นผลิตภัณฑ์โพลีคาร์บอเนตซึ่งเสี่ยงต่อการมีบิสฟีนอล เอ เป็นส่วนประกอบ

3. ลดการใช้บรรจุภัณฑ์พลาสติกซ้ำเป็นเวลานาน และหลีกเลี่ยงการให้ความร้อนกับบรรจุภัณฑ์ที่มีบิสฟีนอล เอ เนื่องจากการกระทำเหล่านี้ทำให้โมเลกุลของบิสฟีนอล เอ หลุดร่อนปนเปื้อนออกมา

2.2 การใช้อนุภาคนาโนในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

อนุภาคระดับนาโน คืออนุภาคขนาดเล็กที่มีอย่างน้อยหนึ่งมิติมีขนาดน้อยกว่า 100 นาโนเมตร และเป็นสะพานเชื่อมระหว่างวัสดุขนาดใหญ่ (Bulk materials) กับโครงสร้างของอะตอมหรือโมเลกุล (atomic or molecular structures) ตัวอย่างเช่น อนุภาคทองระดับนาโน (AuNPs) อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน (AgNPs) เป็นต้น โดยมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ

1. อนุภาคระดับนาโนมีคุณสมบัติการกระจายตัวเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น
2. อนุภาคระดับนาโนมีพื้นที่ผิวขนาดใหญ่ เช่น อนุภาคซิงค์ ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) มีคุณสมบัติในการป้องกันรังสียูวีเหนือกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อนุภาคระดับนาโนมีคุณสมบัติทางแสง กล่าวคือ อนุภาคขนาดนาโนมีขนาดเล็กพอที่จะจำกัดการทำงานของอิเล็กทรอนิกส์และสร้าง quantum effect

โดยทั่วไปอนุภาคระดับนาโนสามารถแบ่งประเภทได้โดยขึ้นอยู่กับมิติ (Dimensionality), ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (Morphology), ส่วนประกอบ (Composition), เอกรูป (uniformity) และการรวมตัว (uniformity)

1. วัสดุนาโนหนึ่งมิติ (1D nanomaterials) คือ มีหนึ่งมิติอยู่ในขนาดนาโนเมตร เช่น พิล์มบาง ชิปคอมพิวเตอร์ แวนตาแกนแคต เป็นต้น

2. วัสดุนาโนสองมิติ (2D nanomaterials) คือ มีสองมิติอยู่ในขนาดนาโนเมตร เช่น พิล์มนาโนที่มีโครงสร้างสองมิติ ตัวกรองนาโนโพเรียม (nanopore filters) เส้นใยใยหิน (Asbestos fibers)

3. วัสดุนาโนสามมิติ (3D nanomaterials) คือ ทั้งสามมิติอยู่ในขนาดนาโนเมตร เช่น พิล์มบางที่วางในสภาพที่สร้างความพรุนในระดับอะตอม คอลลอยด์ อนุภาคนาโนอิสระที่มีลักษณะทางสัณฐานต่างๆ เป็นต้น

2.2.1 เทคนิคในการตรวจวัดอนุภาคระดับนาโน

เทคนิคในการตรวจวัดและอธิบายลักษณะของอนุภาคระดับนาโนมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ

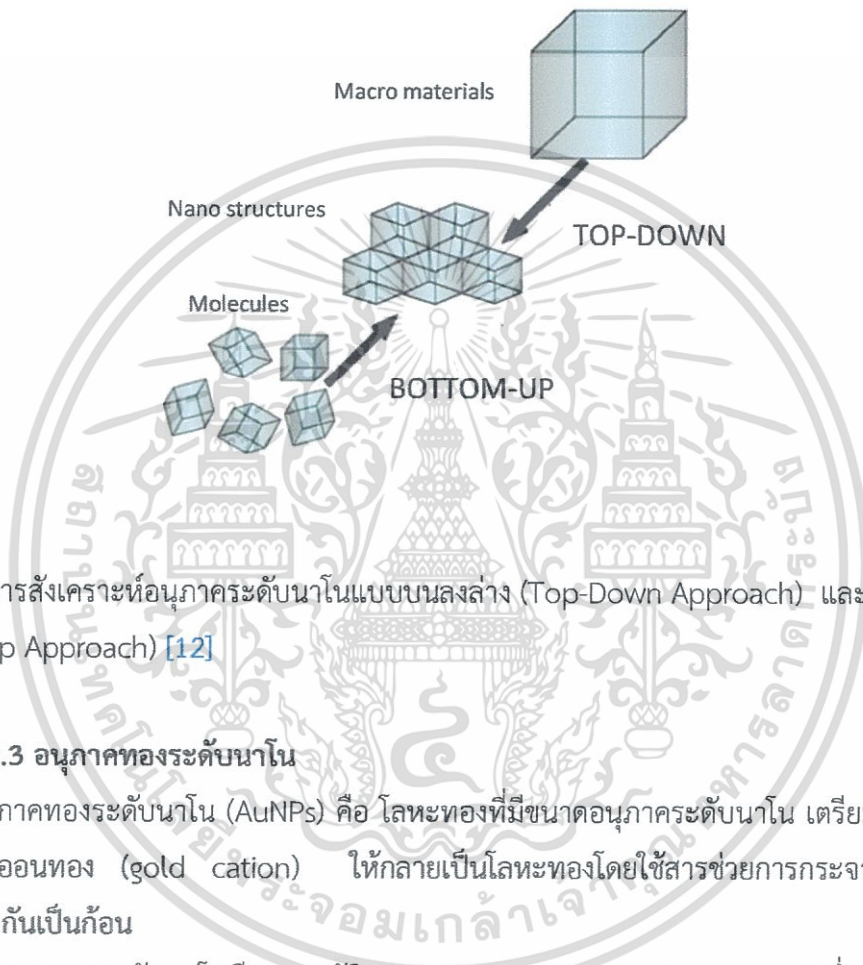
1. วิธีการตรวจวัดทางตรง (Direct or real space) คือ การตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopy, TEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) และกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (Atomic Force Microscopy, AFM) เทคนิคข้างต้นสามารถวัดขนาดได้โดยตรงและแสดงผลเป็นภาพของอนุภาคระดับนาโนได้แต่มีข้อจำกัดอยู่ตรงศึกษาอนุภาคได้ในปริมาณที่น้อย

2. วิธีการตรวจวัดทางอ้อม (Indirect or reciprocal space) คือ การตรวจวัดด้วยรังสีเอ็กซ์หรือลำแสงนิวตรอน (X-rays or neutron beams) โดยข้อมูลจะถูกวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า radiation scattered หรือ diffracted โดยข้อดีของวิธีการนี้คือสามารถตรวจวัดสารตัวอย่างได้พร้อมกัน

2.2.2 การสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโน

1. กระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่าง (Top-Down Approach) คือ การตัด แบ่งแยกหรือบดให้วัสดุที่มีขนาดใหญ่มีขนาดที่เล็กลงในระดับนาโนโดยใช้เทคนิคต่างๆ เช่น LASER ablation, Ion irradiation เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ชิปในคอมพิวเตอร์

2. กระบวนการสังเคราะห์แบบล่างสู่บน (Bottom-Up Approach) คือ การนำอะตอมหรือโมเลกุลมาจัดเรียงให้เป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ ตามรูปแบบที่ต้องการอย่างถูกต้องและแม่นยำ เป็นวิธีที่คล้ายกับการเลียนแบบการสังเคราะห์สารในธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนแบบบนลงล่าง (Top-Down Approach) และแบบล่างสู่บน (Bottom-Up Approach) [12]

2.2.3 อนุภาคทองระดับนาโน

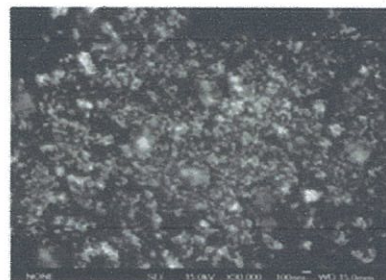
อนุภาคทองระดับนาโน (AuNPs) คือ โลหะทองที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโน เตรียมจากปฏิกิริยาการรีดิวซ์ไอออนทอง (gold cation) ให้กลายเป็นโลหะทองโดยใช้สารช่วยการกระจายตัวเพื่อไม่ให้อนุภาคเกาะกันเป็นก้อน

อนุภาคทองระดับนาโนมีคุณสมบัติ SPR (Surface Plasmon Resonance) ซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและอิเล็กตรอนที่อยู่ในโลหะระดับนาโน ซึ่งจะทำให้อนุภาคของทองเปลี่ยนไปดูดกลืนแสงสีเขียว (ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร) ส่งผลให้อนุภาคทองระดับนาโนมีสีแดงทับทิม (Ruby red) โดยอันตรกิริยาที่แสงกระทำต่อโลหะจะเกิดได้สองแบบ คือ การกระเจิง (Scattering) และการดูดกลืนแสง (Absorption) ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคระดับนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

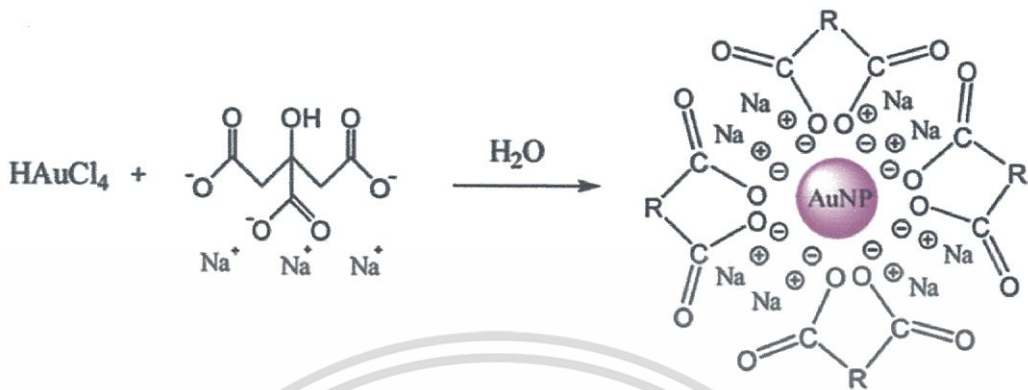
รูปที่ 2.6 แท่งอนุภาคทองระดับนาโนด้วยเครื่อง TEM (a) และ
อนุภาคทองระดับนาโนด้วยเครื่อง SEM (b)

(ที่มา : http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/ceri/nanodatabase/info2.php?cat_id=9&p_id=)

การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน มีหลายวิธี เช่น

1. วิธีทางเคมี (Chemical method) โดยทั่วไปการเตรียมด้วยวิธีนี้มี 2 ขั้นตอน คือ
 - 1.1 ปฏิกริยารีดักชัน โดยการเติมสารลงไป เช่น borohydrides, aminoboranes, formaldehyde, hydrazine, hydroxylamine, polyols, citric และ oxalic acids
 - 1.2 เติมสารที่ทำให้คงตัวลงไป (stabilization agents) เช่น trisodium citrate dihydrate, sulfur ligands phosphorus ligands, oxygen-based ligands, dendrimers, polymers และ surfactants เช่น cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB)
2. วิธี Turkevich อาศัยปฏิกริยารีดักชันของสารละลาย HAuCl_4 โดยการเติมซิเตรทลงไป เมื่อสารละลาย HAuCl_4 เดือด (มีการปั่นกวนในตัว (stirring)) ทำการเติม trisodium citrate dihydrate ลงไปทันที หลังจากนั้น 2-3 นาทีต่อมาสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีแดงทับทิม เมื่อนำไปวัดขนาดอนุภาค ปรากฏว่าอนุภาคมีขนาดประมาณ 20 nm และซิเตรทไอออนทำหน้าที่ทั้งเป็นสารที่ทำให้คงตัว (stabilizing agents) และเป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agents) ดังรูปที่ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



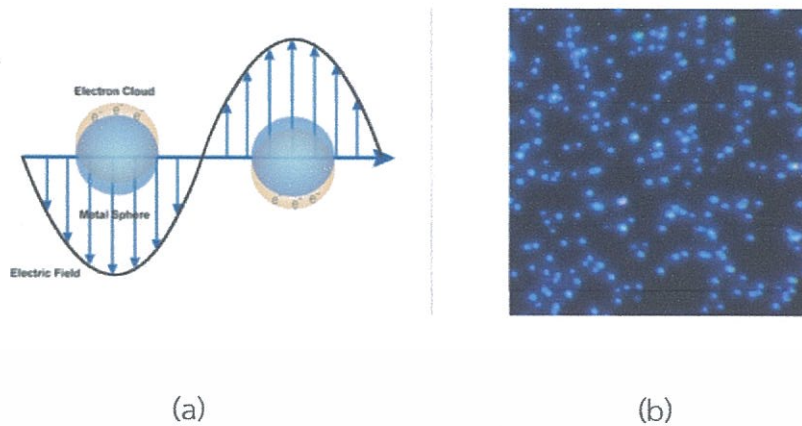
รูปที่ 2.7 การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้วิธี Turkevich [13]

ประโยชน์ของอนุภาคทองระดับนาโนในด้านเป็นตัวตรวจจับ (sensor) สามารถตรวจวัดไอออนของโลหะได้หลากหลายโดยใช้หลักการการเปลี่ยนสีของสารละลาย เมื่ออนุภาคทองระดับนาโนจับกับไอออน สีของสารละลายจะเปลี่ยนแปลงไป [14]

2.2.4 อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน

อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน (AgNPs) คือ โลหะเงินที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโน คุณสมบัติทางแสงของอนุภาคเงินระดับนาโนสามารถอธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์ Surface Plasmon Resonance, SPR) โดยอนุภาคเงินระดับนาโนจะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีเหลืองเข้มเมื่อมีการเกิดปฏิกิริยากับสารตัวอื่น จึงสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงสีของอนุภาคเงินระดับนาโน ขนาดยอดคลื่น ความกว้างของสเปกตรัมได้ด้วยเทคนิคทางแสง เช่น UV-Vis spectroscopy เป็นต้น ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 (a) ปรัชการณ Surface Plasmon Resonance, SPR และ (b) ภาพจาก Dark field Microscope ของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่ 60 nm (ที่มา : <https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/materials-science/nanomaterials/silver-nanoparticles.html>)

การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน มีหลายวิธี เช่น

1. ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) เริ่มจากการใช้ซิลเวอร์คอลลอยด์ (Silver Colloid) ที่มีความเข้มข้นสูง ได้แก่ สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) เข้าสู่กระบวนการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) และไนเตรทไอออน (NO_3^-) หลังจากนั้นซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) จะเปลี่ยนเป็นซิลเวอร์ ($\text{Ag}_{(s)}$) ด้วยการรับอิเล็กตรอนจากตัวให้อิเล็กตรอน

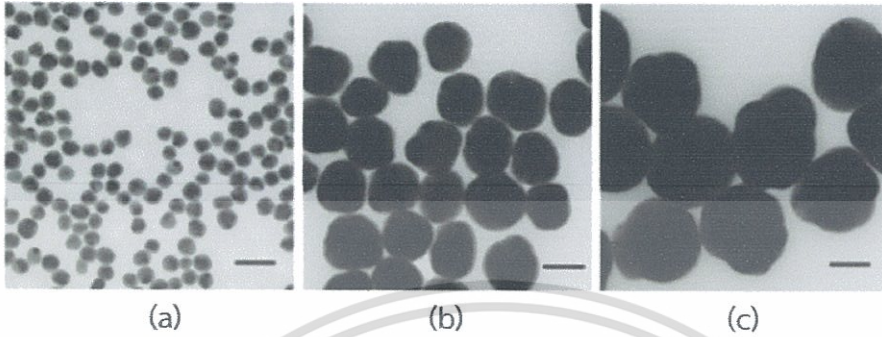


จาก (2) แสดงให้เห็นปฏิกิริยารีดักชันของซิลเวอร์ไนเตรทในเอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol, EG) เมื่อซิลเวอร์ไอออนได้รับอิเล็กตรอนจากเอทิลีนไกลคอลซึ่งเป็นตัวให้อิเล็กตรอน

2. สารให้ความคงตัว (Stabilizer) และตัวทำละลาย (Solvent) สารให้ความคงตัวจะใช้เป็นตัวกลาง (Substrate) ระหว่างตัวทำละลายและอนุภาค โดยทั่วไปจะนิยมใช้เป็นสารจำพวกพอลิเมอร์นำมาใช้ในการสังเคราะห์เพื่อขัดขวางไม่ให้อนุภาครวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ (Agglomerate) อนุภาคจะเกาะอยู่กับสารให้ความคงตัวที่ปลายสายโซ่ ประสิทธิภาพของสารให้ความคงตัวจะสัมพันธ์กับสมบัติของตัวทำละลายที่ใช้เนื่องจากตัวทำละลายที่ดีจะต้องช่วยให้สารให้ความคงตัวเพิ่มระยะห่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างอนุภาคได้ แต่ในทางตรงข้ามถ้าหากอยู่ในตัวทำละลายที่ไม่ดีเป็นผลให้สายโซ่ของสารให้ความคงตัวซึ่งเป็นพอลิเมอร์มันตัวเข้าหากันเองทำให้อนุภาคอยู่ใกล้กันและรวมกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่



รูปที่ 2.9 Transmission Electron Microscopy (TEM) ของอนุภาคระดับนาโนของเงินที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง (a) 20 nm (b) 60 nm และ (c) 100 nm ตามลำดับ โดยแถบสเกลอยู่ที่ 50 nm (ที่มา : <https://www.sigmaaldrich.com/technical-documents/articles/materials-science/nanomaterials/silver-nanoparticles.html>)

ประโยชน์ของอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน

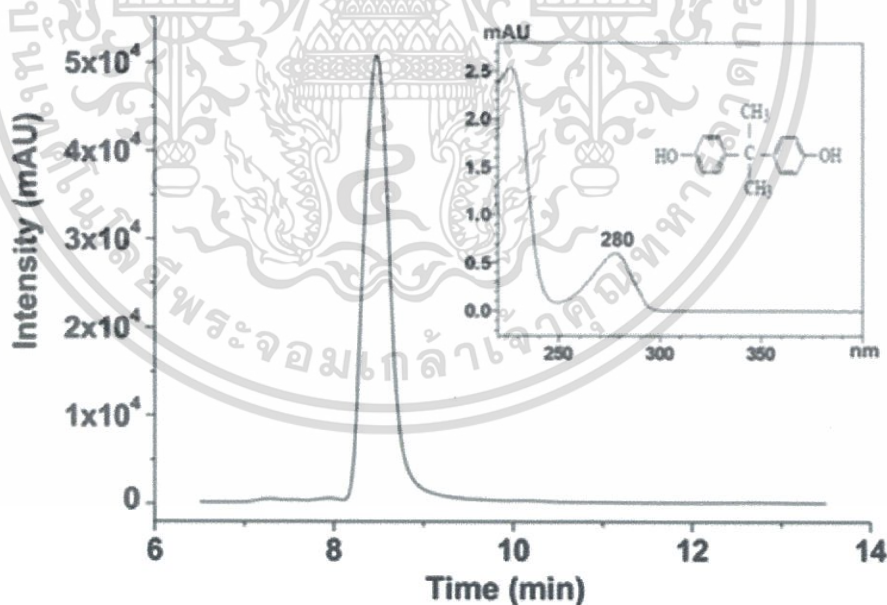
1. สิ่งทอ เช่น เสื้อผ้าสำหรับป้องกันรังสียูวี เสื้อกาวน์ที่ใช้โรงพยาบาล เป็นต้น
2. ด้านสิ่งแวดล้อม เช่น การฆ่าเชื้อโรคในน้ำก่อนนำออกสู่การอุปโภค บริโภค การบำบัดน้ำเสีย และตัวกรองคาร์บอนกัมมันต์
3. ปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาเซลล์เชื้อเพลิง ปฏิกิริยาสารเติมแต่งเชื้อเพลิง และไฮโดรเจนโปรดักชัน โฟโตแคทตาไลซิส
4. ด้านผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น บรรจุภัณฑ์อาหาร ตัวรับการวิเคราะห์คุณภาพอาหาร เป็นต้น
5. ด้านสุขภาพ เช่น ครีมป้องกันรังสียูวีและผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร
6. ซิวการแพทย์ เช่น การรักษาโรคมะเร็ง การวินิจฉัยโรค การขนส่งยา เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

2.3.1 เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatographic, HPLC) based sensor

Qihong Yao และคณะ [15] ใช้ on-line SPE-disc ฝังเข้าไปในเหล็กกล้าไร้สนิม และประกอบเข้ากับโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatographic, HPLC) ที่ประกอบเข้ากับ photo diode array detector (PDA) (HPLC-PDA) เพื่อตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) โดยฉีดบิสฟีนอล เอ (BPA) เข้าไปในเหล็กกล้าสแตนเลสฟิลเตอร์เพื่อสกัดบิสฟีนอล เอ (BPA) โดยโมบายเฟส (75% methanol+25% H₂O) จะพาบิสฟีนอล เอ (BPA) เข้าไปแยกใน HPLC ดังรูปที่ 2.9 ตรวจวัดที่ความยาวคลื่นที่ 280 nm อัตราการเคลื่อนที่ของโมบายเฟส เท่ากับ 0.6 mL/min พีคของบิสฟีนอล เอ (BPA) ที่ตรวจพบมีลักษณะแหลม มีค่า retention time เท่ากับ 8.5 นาที จากผลการทดลองเทคนิคนี้มีค่า limit of detection (LOD) ของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 0.03 ng/mL และค่าช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 1-1000 ng/mL



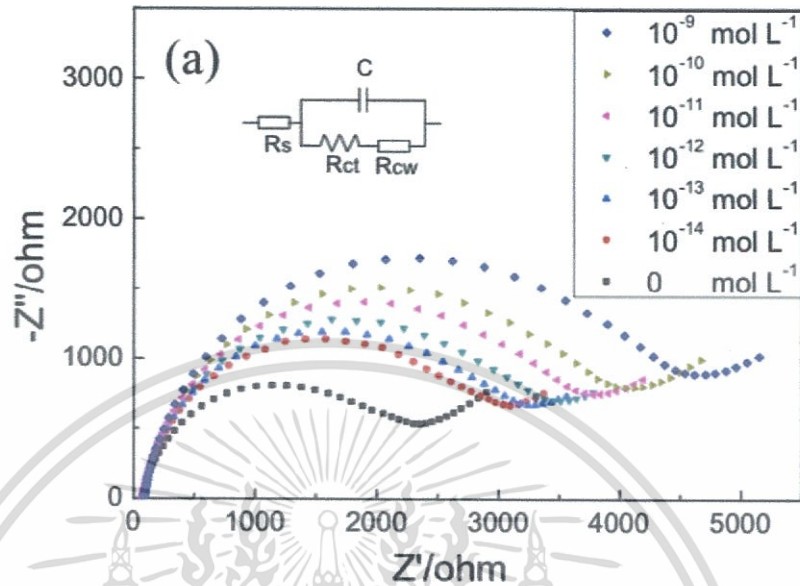
รูปที่ 2.10 แสดงโครมาโทแกรมของบิสฟีนอล เอ (BPA) จากเครื่อง HPLC-PDA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Lin Xiong และคณะ [16] การวิเคราะห์แบบ โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance Liquid Chromatographic, HPLC) ที่มีความแม่นยำสูง ร่วมกับ Fluorescence Detector (FLD) ในการตรวจหาบิสฟีนอล เอ (BPA) ในตัวอย่างนม ทำได้โดย ใส่ตัวอย่างนมลงในหลอด centrifuge ที่ทำจากพอลิฟอสฟีน และเติมกรดฟอร์มิคและ Acetonitile ลงในตัวอย่าง ผสมสารในเครื่อง Ultrasonicate เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมแมกนีเซียมซัลเฟต ($MnSO_4$) และโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) แล้วปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่อง Centrifuge 10000 rpm เป็นเวลา 5 นาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เพื่อที่ การสกัดตัวอย่างนม จากนั้นทำความสะอาดแล้วตรวจวัดด้วย HPLC จะได้ค่าความเป็นเส้นตรง R^2 อยู่ที่ 0.9942-0.9997 และมีค่า LOD อยู่ที่ 1.0-3.1 $\mu g/kg$ และค่า LOQ อยู่ที่ 3.5-9.8 $\mu g/kg$ โดยการตรวจวัด ด้วยวิธีนี้ทำได้อย่างรวดเร็วและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

2.3.2 เทคนิค Electrochemical based sensor

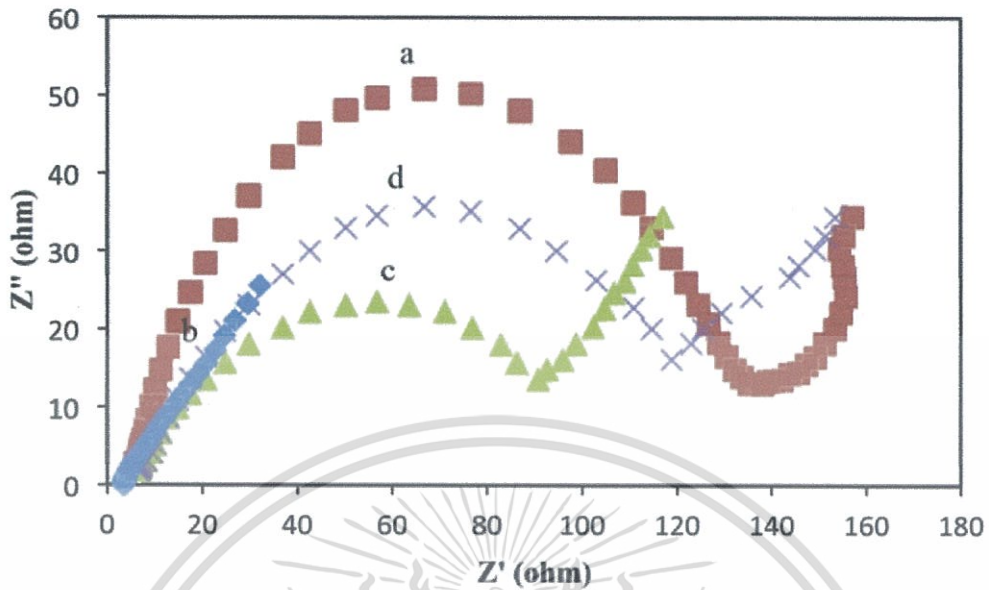
Yibo Ma และคณะ [17] สร้าง electrochemical impedance aptasensor คือ MCH/Aptamers/Au- NPs/BDD (MAABD) โดยใช้ Au nanoparticles (AuNPs) เคลือบด้วย boron-doped diamond (BDD) ได้เป็น AuNPs/BDD นำ AuNPs/BDD ประกอบเข้ากับ aptamers และ 6-mercapto-1-hexanol (MCH) กลายเป็น MCH/Aptamers/AuNPs/BDD (MAABD) ใช้เป็นตัวตรวจวัด บิสฟีนอล เอ (BPA) ตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) โดยนำ MAABD แช่ลงใน binding buffer (100 mmol/L Tris HCl ที่ PH=8.0 กับ 200 mmol/L NaCl, 25 mmol/L KCl, 10 mmol/L $MgCl_2$, 5% ethanol) ที่ประกอบไปด้วยบิสฟีนอล เอ (BPA) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังรูปที่ 2.3.2.1 ผลของค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้าสลับแปรผันโดยตรงกับความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ (BPA) จากผลการทดลอง เทคนิคนี้มีค่า limit of detection (LOD) ของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 7.2×10^{-15} mol/L และค่าช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 1.0×10^{-14} - 1.0×10^{-9} mol/L



รูปที่ 2.11 แสดงอิมพีแดนซ์สเปกตรัมของบิสฟีนอล เอ (BPA) ที่ความเข้มข้นต่างๆ ที่ตรวจวัดโดย

MAABD

Behjat Deiminiat และคณะ [18] สร้างโพรบเพื่อตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) โดยใช้ functionalized multiwall carbon nanotubes/gold nanoparticles (f-MWCNTs/AuNPs) nanocomposite ผัง single-strand DNA (ssDNA) แอพทาเมอร์ ลงบน f-MWCNTs/AuNPs โดยผ่านการสร้างพันธะระหว่าง ไทออล-โกลด์ (S-Au) ของอนุภาคทองคำนาโนและไทออลกรุปของแอพทาเมอร์ที่ปลาย 5' ทำหน้าที่เป็นประตูดึงยาวสำหรับการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ นำโพรบแช่อยู่ในสารละลายซึ่งประกอบด้วย 0.1 mol/L KCl และ 5.0 mmol/L $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ ซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้ตามปกติจาก $Fe(CN)_6^{3-}$ ไปเป็น $Fe(CN)_6^{4-}$ ทำการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) โดยเติมสารละลายบัฟเฟอร์ (25 mM Tris-HCl, pH=8.0 กับ 100 mM NaCl, 10 mM $MgCl_2$ and 25 mM KCl) ลงไปซึ่งประกอบด้วยบิสฟีนอล เอ (BPA) พบว่าแอพทาเมอร์จำเพาะเจาะจงต่อการจับบิสฟีนอล เอ (BPA) รบกวนการเกิดปฏิกิริยารีดักชันทำให้ค่า Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) มีค่าลดลง ดังรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นว่าเส้นกราฟ (c) aptamer/f-MWCNTs/AuNPs มีค่า EIS ต่ำสุด



รูปที่ 2.12 แสดงค่า Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) ของ
 (a) Au electrode (b) f-MWCNTs/AuNPs electrode
 (c) aptamer/f-MWCNTs/AuNPs (d) aptamer/f-MWCNTs/AuNPs
 Electrode เมื่อเวลาผ่านไป 40 นาที

2.3.3 เทคนิคด้านอนุภาคระดับนาโนที่ใช้ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

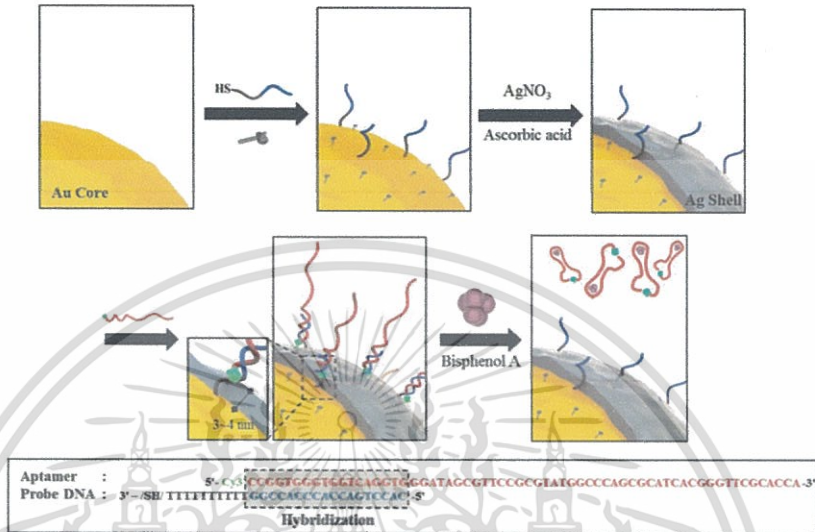
2.3.3.1 เทคนิค Surface-enhanced Raman scattering (SERS) based

sensors

Eunsu Chung และคณะ [19] สังเคราะห์เส้นใยดับเบิล ดีเอ็นเอ ผังไว้ใน Au/Ag core-shell NPs เพื่อใช้ตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) โดยในขั้นแรกสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนโดยวิธี citration-reduction ในขั้นตอนนี้จะใส่ thiolated oligonucleotide DNA เพื่อให้ ไทออลโพรบดีเอ็นเอ ผังอยู่บนผิวหน้าของอนุภาคทองคำนาโนโดยการสร้างพันธะโคเวเลนต์ระหว่างอนุภาคทองคำนาโนกับไทออลกรุป จากนั้นเติมซิลเวอร์ไนเตรทตามด้วยกรดแอสคอร์บิกจะเกิด silver shell ซึ่งจะห่อหุ้มโพรบดีเอ็นเอที่ผังกอยู่บนผิวหน้าของอนุภาคทองคำนาโน จากนั้นเติมแอฟทามอร์ ดีเอ็นเอ จะทำให้เกิดการไฮบริดระหว่างโพรบดีเอ็นเอ กับ แอฟทามอร์ ดีเอ็นเอ การเกิดไฮบริดเชกซ์ทำให้ค่าของ Surface-enhanced Raman scattering (SERS) เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมบิสฟีนอล เอ (BPA) สัญญาณ SERS เริ่มลดลง เนื่องจากบิสฟีนอล

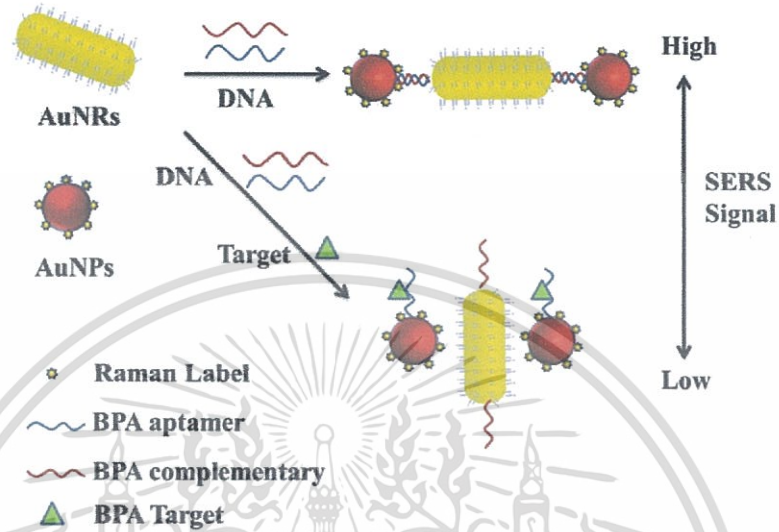
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอ ไปรบกวนการเกิดไฮบริดเซชัน จากผลการทดลองเทคนิคนี้มีค่า limit of detection (LOD) ของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 10 fM. ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยวิธี SERS โดยใช้เส้นใยดับเบิล ดีเอ็นเอ ผังอยู่ใน Au/Ag core-shell NPs

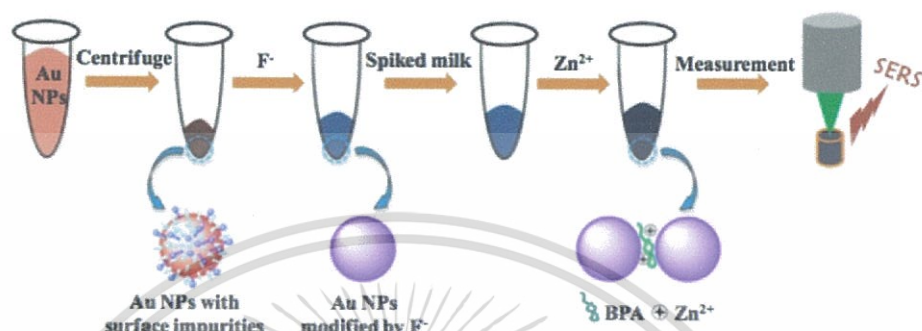
Jingjing Feng และคณะ [20] โดยใช้อนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) ร่วมกับนาโนรอด (AuNRs) ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) โดยให้อนุภาคทองคำนาโน (AuNPs)-บิสฟีนอล เอ แอพทาเมอร์ (BPA aptamer) (AuNPs-aptamers) รวมกับนาโนรอด (AuNRs)-BPA complementary (AuNRs-complementary) โดยการเกิดไฮบริดเซชันของ ดีเอ็นเอ ทำให้ AuNPs-aptamers ต่อเข้ากับ AuNRs-complementary ค่า Surface-enhanced Raman scattering (SERS) จึงมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อเติมบิสฟีนอล เอ (BPA) ทำให้บิสฟีนอล เอ แอพทาเมอร์ (BPA aptamer) รวมกับบิสฟีนอล เอ (BPA) ทำให้ค่า SERS มีค่าต่ำลงเนื่องจากบิสฟีนอล เอ (BPA) ไปรบกวนการเกิดไฮบริดเซชัน จากผลการทดลองเทคนิคนี้มีค่า limit of detection (LOD) ของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 3.9 pg/mL และค่าช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 0.001–1 ng/mL และ ดังภาพที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยวิธี SERS โดยใช้ AuNPs-AuNRs

Libin Yanga และคณะ [21] นำอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) คอลลอยด์มาเซ็นทิฟวส์แล้วเติมสารละลายเอเคเวียสเฮไลต์ จะได้อนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) คอลลอยด์ใหม่ที่พื้นผิวของอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) ติดประจุเฮไลต์ สีของอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) คอลลอยด์ที่ติดประจุเฮไลต์จะเปลี่ยนจากสีไวน์แดงเป็นสีน้ำเงินอ่อน จากนั้นเติมนมที่มีบิสฟีนอล เอ (BPA) และสารละลายเอเคเวียสซัลเฟต เช่น $ZnSO_4$, Na_2SO_4 หรือ $Al_2(SO_4)_3$ ลงไปตามลำดับ สีของสารผสมจะเปลี่ยนจากสีน้ำเงินอ่อนเป็นสีน้ำเงินเข้ม โดยอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) คอลลอยด์ที่ติดประจุเฮไลต์มีประจุเป็นลบจะรวมกับไอออนบวกในสารละลายเอเคเวียสซัลเฟตผ่านแรงดึงดูดทางประจุไฟฟ้า วัดค่า Surface-enhanced Raman scattering (SERS) มีค่าสูงขึ้น จากผลการทดลองเทคนิคนี้มีค่า limit of detection (LOD) ของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 4.3×10^{-9} mol/L และค่าช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 1.0×10^{-8} – 1.0×10^{-3} mol/L ดังรูปที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยวิธี SERS ในตัวอย่างนม

2.3.3.2 เทคนิค Quantum-dot based sensor

Ying Lia และคณะ [22] ใช้การเรืองแสงของ CdTe QDs และถูกดับแสงโดย AuNPs ผ่าน the IFE ของ AuNPs ในชั้นแรกใส่บิสฟีนอล เอ (BPA) ตามด้วยสารละลายแอนตี้บิสฟีนอล เอ (anti-BPA aptamer) เพื่อให้สารทั้งสองทำปฏิกิริยากัน ต่อมาเติมอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) ตามด้วย NaCl และเติม CdTe QDs ลงในสารละลาย โดยมีหลักการดังนี้

a IFE ของอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) ดับแสงฟลูออเรสเซนซ์ของ CdTe QDs

b ปริมาณของโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) จะเหนี่ยวนำให้อนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) รวมกันและลดปริมาณการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) ลง ทำให้ค่าการเรืองแสงของแคดเมียม-เทลลูไรด์ควอนตัม ดอท (CdTe QDs) เพิ่มขึ้น

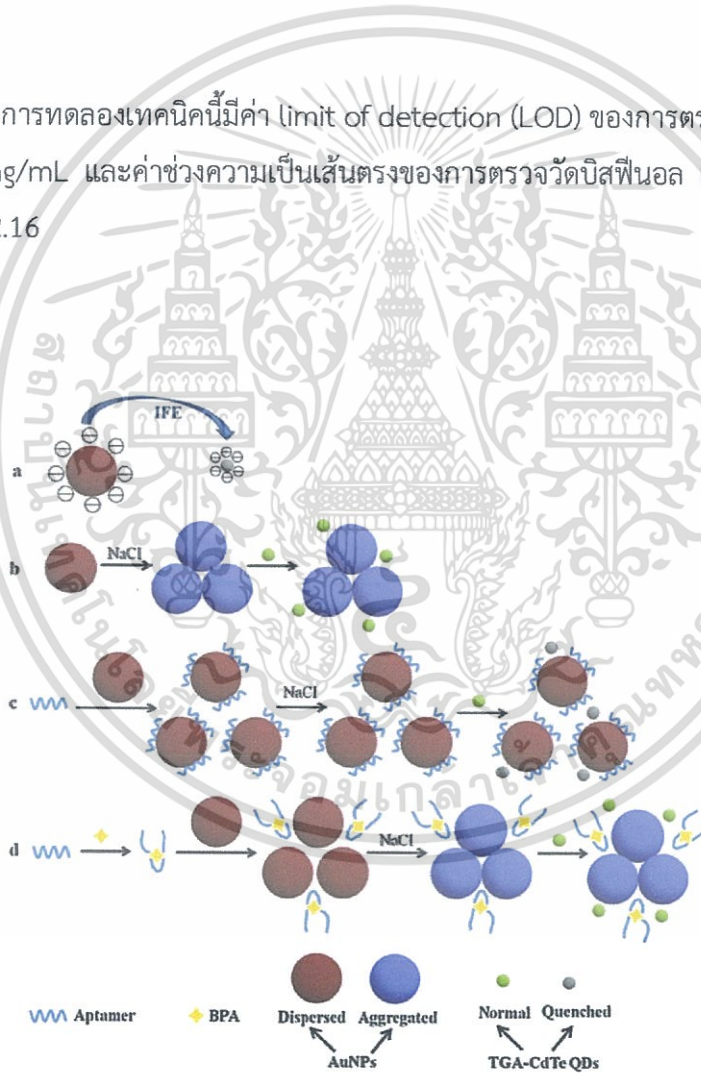
c แอพทาเมอร์ บิสฟีนอล เอ (aptamer BPA) จับกับอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) ทำให้อนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) สามารถอยู่ใกล้กันได้โดยไม่เกิดการรวมตัว แม้ว่าเติม NaCl ลงไปก็ไม่สามารถทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้อนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) เกิดการรวมกลุ่มกันอีก แต่ IFE ของอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) ยังคงดับแสงฟลูออเรสเซนซ์ของ CdTe QDs

d ทำการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เมื่อเติมบิสฟีนอล เอ (BPA) ลงไป แอปทาเมอร์ บิสฟีนอล เอ (aptamer BPA) จำเพาะเจาะจงในการจับกับบิสฟีนอล เอ (BPA) มากกว่าอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) เมื่อเติม NaCl จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำให้อนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) รวมกลุ่มกัน IFE ของอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) จึงไม่ดับแสงฟลูออเรสเซนซ์ของแคดเมียม-เทลลูไรด์ ควอนตัม ดอท (CdTe QDs) จึงสรุปว่าเมื่อแสงฟลูออเรสเซนซ์ของ CdTe QDs เพิ่มขึ้นมาก ความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ (BPA) ก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน

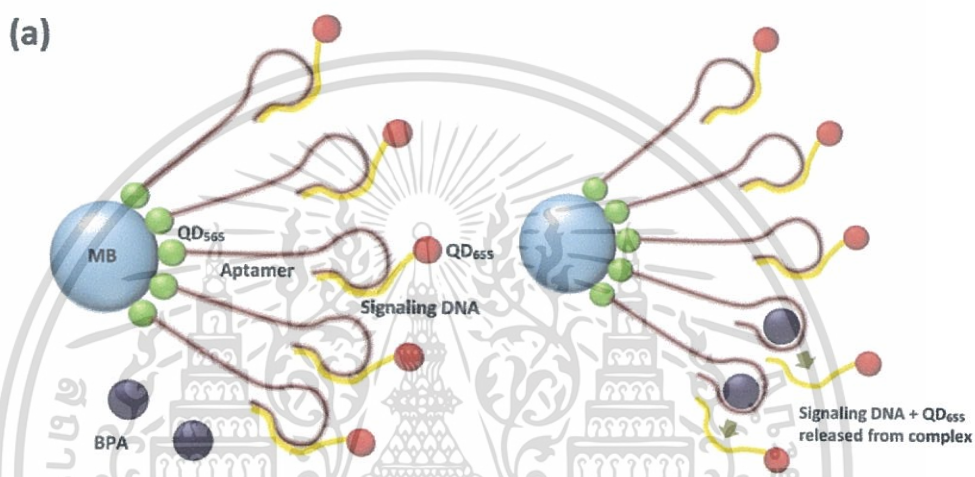
จากผลการทดลองเทคนิคนี้มีค่า limit of detection (LOD) ของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 1.86 ng/mL และค่าช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 10-80 ng/mL รูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่าง IFE ของอนุภาคทองคำนาโน (AuNPs) และแสงฟลูออเรสเซนซ์ของ CdTe QDs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hyun Jeong Lim และคณะ [23] ใช้ aminated magnetic beads (MB)-Aptamer-Quantum dot₅₆₅ (QD₅₆₅) (MB-Aptamer-QD₅₆₅) ให้เกิดการไฮบริดซ์กับ signaling probe-Quantum dot₆₅₅ (QD₆₅₅) กลายเป็น MB-QD₅₆₅-aptamer-QD₆₅₅ เป็นตัวตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) ดังรูปที่ 2.3.3.2.2 เติมบิสฟีนอล เอ (BPA) ลงไปและบ่มไว้หลังการบ่ม MB-Aptamer-QD₅₆₅ มีความจำเพาะต่อการจับบิสฟีนอล เอ (BPA) มากกว่า ดังนั้น MB-QD₆₅₅ จึงแยกตัวออกมา ทำให้ค่าฟลูออเรสเซนซ์ของ QD₆₅₅ จึงลดลง



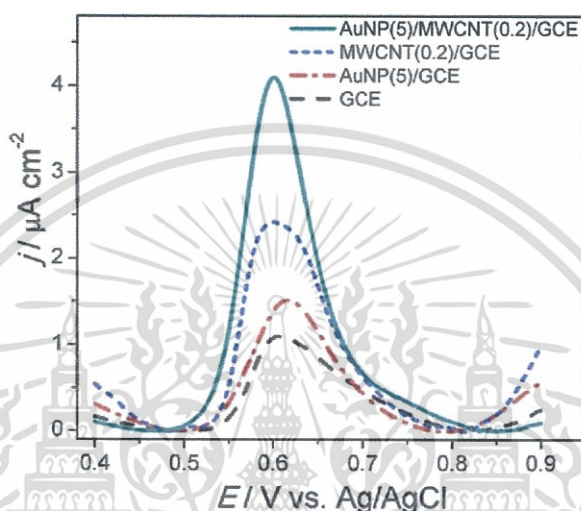
รูปที่ 2.17 แสดงการเกิดกลไกในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) โดยใช้ MB-QD₅₆₅-aptamer-QD₆₅₅

2.3.3.3 เทคนิค Carbon-nanotube (CNT) based sensors

Maria Stella Cosio และคณะ [24] ทำการทดลองไซคลิกโวลแทมเมตรี (cyclic voltammetry) เพื่อศึกษาปฏิกิริยารีดอกซ์ของบิสฟีนอล เอ (BPA) ที่ความแตกต่างของ multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) ที่เชื่อมเข้ากับ glassy carbon electrodes (GCEs) โดยหมู่ไฮดรอกซิล (OH⁻) เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเทียบกับ GCE ที่ไม่ได้เชื่อมเข้ากับใดๆ เพื่อเลือกชนิดของ MWCNTs/GCE ที่ดีที่สุดในการตรวจวัด BPA เริ่มทำการตรวจวัดโดยเติม BPA ใน 0.1 M โซเดียมไกลซีนบัฟเฟอร์ (pH 8) ที่ electrodes GCEs ต่างๆกัน จากรูปที่ 2.3.3.3.1 คือ (a) GCE, (b) MWCNTs-OH/GCE, (c) MWCNTs-COOH/GCE และ (d) MWCNTs-COOH/CoPc/GCE แสดงให้เห็นว่าค่าความไวและความจำเพาะต่อสาร (sensitivity) ที่ดีที่สุดคือ (b) MWCNTs-OH/GCE ซึ่งแสดงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าของพีคที่สูงที่สุดอยู่ที่ 0.55 V ซึ่งสูงกว่าค่าที่บันทึกที่ GCEs ที่ไม่ได้ถูกดัดแปลงเข้ากับใดๆ ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GCE และค่า DPV มากสุดที่ขั้ว AuNP/MWCNT/GCE แสดงให้เห็นถึงค่าการนำไฟฟ้าที่สูงและพื้นที่ผิวหน้า
ที่เฉพาะเจาะจงของ AuNPและMWCNT ต่อการตรวจวัด BPA จากผลการทดลองเทคนิคนี้มีค่า limit of
detection (LOD) ของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 4 nM และค่าช่วงความเป็นเส้นตรงของ
การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 0.01 M-0.7 M



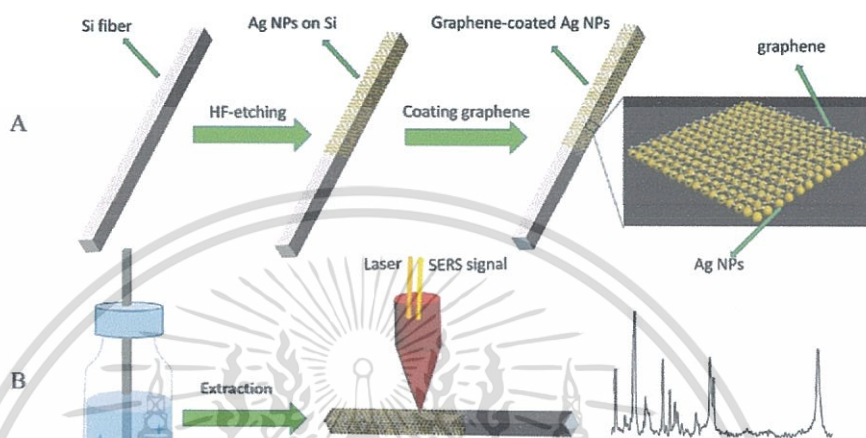
รูปที่ 2.19 แสดงค่า DPV ของ 5.0 μM BPA ใน Britton–Robinson (BR) buffer (pH=6) ที่ขั้วไฟฟ้าชนิดต่างๆ

2.3.3.4 เทคนิค Graphene based sensors

Lu Qiu และคณะ [26] ใช้วิธีสกัดด้วยวัฏภาคของแข็ง solid phase microextraction (SPME) ร่วมกับ Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) เพื่อตรวจวัดบิสฟีนอล เอ(BPA) โดยนำโมโนเลเยอร์ กราฟีนเคลือบลงบนอนุภาคซิลเวอร์นาโน(AgNPs) ซึ่งอยู่บน Si fiber จะได้ SERS-active SPME fiber ดังรูปที่ 2.3.3.4.1 ซึ่งการเคลือบพื้นผิวอนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) ด้วยโมโนเลเยอร์กราฟีนทำให้พื้นผิวอนุภาคซิลเวอร์นาโน(AgNPs) มีลักษณะเรียบ จากนั้นนำ SERS-active SPME fiber จุ่มลงในน้ำที่มีบิสฟีนอล เอ (BPA) เพื่อสกัด BPA และนำไปตรวจวัดสัญญาณ SERS โดยใช้ Raman spectrometer จากผลการทดลองเทคนิคนี้พบว่าร้อยละการได้กลับคืน (% recovery) เท่ากับ 97%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

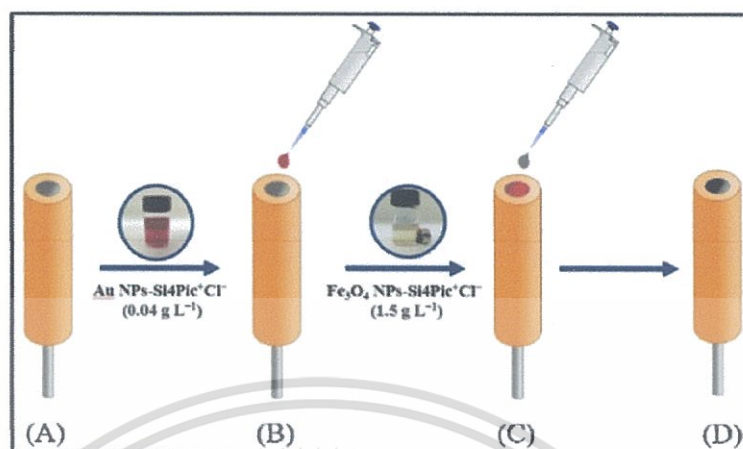
-110% และค่า limit of detection (LOD) ของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ $1\mu\text{g/L}$ แสดงให้เห็นถึงเทคนิคนี้มีประสิทธิภาพสูงในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA)



รูปที่ 2.20 (A) แสดงการเตรียม SERS-active SPME fiber และ (B) แสดงการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) หลังจากการสกัด

Xiaodong Xin และคณะ [27] การทดลองใช้ graphene oxide nanoribbons (GONRs) ร่วมกับ multiwalled carbon nanotube (MWCNT) เป็นขั้วไฟฟ้าเพื่อเลือกขั้วไฟฟ้าที่ดีที่สุดเพื่อใช้ตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) จากรูปที่ 2.3.3.4.2 การทดลองใช้บิสฟีนอล เอ (BPA) ที่ระดับความเข้มข้นเท่ากัน ($250\mu\text{g/L}$) ผลการทดลองพบว่าค่ากระแสออกซิเดชันของ Cyclic voltammetry (CV) ที่ขั้ว (c) MWCNT/GONRs/GCE มีค่าสูงกว่าขั้ว (a) GCE แสดงให้เห็นว่าขั้ว MWCNT/GONRs ที่ประกอบเข้ากับ GCE มีผลต่อการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) มากกว่าขั้ว GCE ที่ไม่ได้ประกอบเข้ากับใดๆ และค่ากระแสออกซิเดชันของ Cyclic voltammetry (CV) มีค่ามากที่สุดที่ขั้ว (d) CS /MWCNT/GONRs/GCE เทคนิคนี้มีค่า limit of detection (LOD) ของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ 1 ng/L และค่าช่วงความเป็นเส้นตรงของการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ (BPA) เท่ากับ $0.005 - 150\mu\text{g/L}$

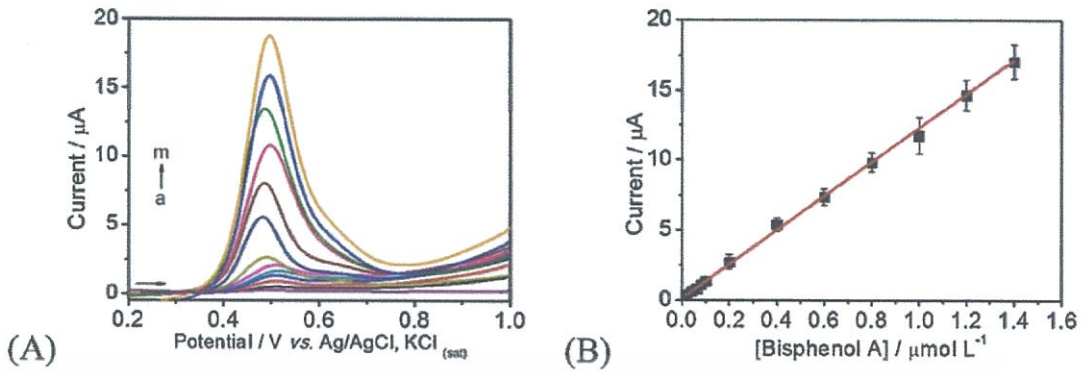
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ขั้นตอนการปรับปรุงแก๊สซี คาร์บอน อิเล็กโทรดที่ใช้ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

- (A) แก๊สซี คาร์บอน อิเล็กโทรดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 mm ผ่านการขัดด้วยผงอะลูมิเนียมขนาด 0.05 μm อย่างระมัดระวังและนำไปล้างพร้อมนำไปป้อนอย่างแรงเป็นเวลา 3 นาทีด้วยสารละลายเอทานอลบริสุทธิ์
- (B) เติมสารละลายผสมระหว่างอนุภาคทองคำระดับนาโน (Au NPs) กับ 3-n-propyl- 4-picolinium silsesquioxane chloride ($\text{Si4Pic}^+\text{Cl}^-$) ปริมาณ 3.0 μL ลงไปบนพื้นผิวแก๊สซี คาร์บอน อิเล็กโทรด และทำให้แห้งโดยนำไปอบในเตาที่อุณหภูมิ 40°C เป็นเวลา 10 นาที
- (C) หลังจากพื้นผิวแก๊สซี คาร์บอน อิเล็กโทรดที่เคลือบด้วย AuNPs กับ $\text{Si4Pic}^+\text{Cl}^-$ แห้งแล้วทำการเติมสารละลายผสมระหว่างอนุภาคเหล็กออกไซด์ระดับนาโน (Fe_3O_4 NPs) กับ $\text{Si4Pic}^+\text{Cl}^-$ ปริมาณ 3.0 μL และนำไปอบให้แห้งในเตาเป็นเวลา 10 นาที
- (D) พื้นผิวแก๊สซี คาร์บอน อิเล็กโทรดถูกเคลือบด้วย Fe_3O_4 NPs- $\text{Si4Pic}^+\text{Cl}^-/\text{Au NPs- Si4Pic}^+\text{Cl}^-$

เมื่อนำแก๊สซี คาร์บอน อิเล็กโทรดที่ผ่านการปรับปรุงและแช่อยู่ใน Britton–Robinson buffer (B-R buffer) ที่มี $\text{pH}=9$ นำไปตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น 10.0 mol/L โดยใช้หลักการไซคลิกโวลแทมเมตรี (Cyclic Voltammetry) ผลปรากฏว่าพื้นผิวแก๊สซี คาร์บอน อิเล็กโทรดที่เคลือบด้วย Fe_3O_4 NPs- $\text{Si4Pic}^+\text{Cl}^-/\text{Au NPs- Si4Pic}^+\text{Cl}^-$ ให้สัญญาณสูงสุดเมื่อเทียบกับแก๊สซี คาร์บอน อิเล็กโทรดอื่น คือ +0.470 V และ 4.47 μA ดังรูปที่ 2.23

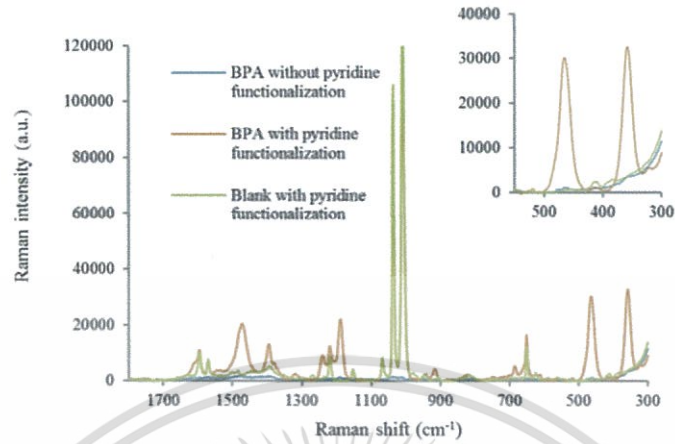


รูปที่ 2.24 (A) ความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (หน่วย $\mu\text{mol/L}$)

(a) 0.00	(b) 0.02	(c) 0.04	(d) 0.06
(e) 0.08	(f) 0.10	(g) 0.20	(h) 0.40
(i) 0.60	(j) 0.80	(k) 1.00	(l) 1.20
(m) 1.40	และ (B) กราฟมาตรฐาน (Calibration curve) ของบิสฟีนอล เอ ($n=3$)		

2.3.3.6 เทคนิคตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยใช้อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน

C. De Bleye และคณะ [11] ได้ทำการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ในตัวอย่างน้ำประปาโดยการพัฒนาเทคนิค Surface-enhanced Raman scattering (SERS) และใช้อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนเป็นตัวตรวจจับ เพื่อเพิ่มความจำเพาะให้กับอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนจึงมีการเคลือบด้วยไพริดีนลงไป (pyridine) เนื่องจากไพริดีนมีการสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของบิสฟีนอล เอ และอะตอมของไนโตรเจนที่มีอยู่ใน ไพริดีน และเติมสารที่ทำให้เกิดการรวมตัวรวมตัว (aggregation agent) คือ โซเดียมไนเตรต (NaNO_3) 1 M เพื่อที่จะให้อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนแต่ละโมเลกุลใกล้กันมากขึ้นและใกล้กับบิสฟีนอล ดังรูปที่ 2.3.3.6 เมื่อนำไปตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้น 0.25 $\mu\text{g/L}$ ถึง 20 $\mu\text{g/L}$ ผลปรากฏว่าสัญญาณที่ตรวจวัดได้แปรผันตามความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ กล่าวคือ สัญญาณเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำมาสร้างกราฟมาตรฐาน (calibration curve) พบว่าได้ค่า $R^2=0.9899$



รูปที่ 2.25 สัญญาณการตรวจจับบิสฟีนอล เอ เมื่อไม่มีการเคลือบไพรีดีนและมีการเคลือบไพรีดีนลงไปในอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน โดยใช้บิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น 20 mg/L



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เกี่ยวกับงานวิจัยนี้

จากการศึกษาผลกระทบต่อร่างกายของบิสฟีนอล เอ และความเสี่ยงในการได้รับบิสฟีนอล เอ ปนเปื้อนมากับบรรจุภัณฑ์อาหาร งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ตรวจหาปริมาณบิสฟีนอล เอ โดยใช้เทคนิคการกระเจิงแสงแบบเรโซแนนซ์เรย์เลในการตรวจวัด และใช้อุณหภูมิระดับนาโน ทั้งอนุภาคของระดับนาโนและอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน เป็นเซนเซอร์ เริ่มจากการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยใช้เซนเซอร์เป็นอนุภาคของระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยซีสเทอีน และโรดามีน บี และการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยใช้เซนเซอร์เป็นอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยโพลีไวนิล แอลกอฮอล์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

ในการทำโครงการพิเศษนี้ได้จัดเตรียมสารเคมี อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ เพื่อใช้ในการเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลอง และใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคทองและซิลเวอร์ระดับนาโน สำหรับตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ด้วยเทคนิคการกระเจิงแสงแบบเรโซแนนซ์เรย์เล ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	ความบริสุทธิ์ (%)	ยี่ห้อและประเทศผู้ผลิต
กรดคลอโรอริก (Chloroauric Acid)	$\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	99.9	Sigma, USA
ไตรโซเดียมซิเตรต (Trisodiumcitrate)	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7$	97.5	Sigma, Japan
แอลซิสเทอีน (L-cysteine)	$\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2\text{S}$	97.5	Himedia, India
บิสฟีนอล เอ (Bisphenol A)	$\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_2$	97.5	Sigma, USA
โรดามีน บี (Rhodamine B)	$\text{C}_{28}\text{H}_{31}\text{ClN}_2\text{O}_3$	97.5	Sigma, USA
กรดอะซิติก (Acetic Acid)	CH_3COOH	97.5	Carlo Erba, UK
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly (vinyl alcohol), PVA) (MW ~130,000)	$(\text{CH}_2\text{CHOH})_n$	97.5	Fluka, Germany
ซิลเวอร์ไนเตรต (Silvernitrate)	AgNO_3	97.5	Carlo Erba, UK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องวัด

1. ปีกเกอร์	ขนาด 250	cm ³	จำนวน	2	ใบ
	ขนาด 100	cm ³	จำนวน	2	ใบ
	ขนาด 50	cm ³	จำนวน	2	ใบ
	ขนาด 25	cm ³	จำนวน	2	ใบ
2. ขวดปรับปริมาตร	ขนาด 100	cm ³	จำนวน	2	ใบ
	ขนาด 50	cm ³	จำนวน	2	ใบ
	ขนาด 25	cm ³	จำนวน	2	ใบ
	ขนาด 10	cm ³	จำนวน	5	ใบ
3. ไมโครปิเปต	ขนาด 5	mL	จำนวน	1	อัน
	ขนาด 1000	uL	จำนวน	1	อัน
	ขนาด 200	uL	จำนวน	1	อัน
4. ขวดขนาดเล็กมีฝาปิด	12	ใบ			
5. แท่งแก้วคนสาร	2	อัน			
6. เทอร์โมมิเตอร์	1	อัน			
7. ซ้อนตักสาร	2	อัน			
8. นาฬิกาจับเวลา	1	อัน			
9. หลอดหยด					
10. กระจกวัดพีเอช					
11. เครื่องชั่งสาร					
12. เครื่องให้ความร้อน IKA C-MAG HS 7					
13. เครื่องเขย่าสาร Vortex Genie 2, USA					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เครื่องยวี่-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Jasco V630 , USA

15. เครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ Jasco FP-8000 , USA

3.2 การเตรียมสารละลาย

สารละลายทุกตัวเตรียมจากน้ำกลั่นปราศจากไอออน ที่ได้จากเครื่อง ZENEER UP 900 (ยี่ห้อ Human Corporation) และสารเคมีทุกตัวเป็นชนิดเกรดวิเคราะห์ (Analytical Reagent Grade)

3.2.1 การเตรียมสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน

การเตรียมสารละลายกรดคลอโรอริคเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

ละลายกรดคลอโรอริคน้ำหนัก 0.0849 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจำนวนเล็กน้อย ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายกรดคลอโรอริคเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

การเตรียมสารละลายโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์

ละลายโซเดียมซิเตรตน้ำหนัก 0.5705 กรัม ด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนจำนวนเล็กน้อย ใส่ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้ 50 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน จะได้สารละลายโซเดียมซิเตรตเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์

เทสารละลายกรดคลอโรอริคเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ใส่ในปิกเกอร์ ต้มจนสารละลายเดือดพร้อมปั่นกวนด้วยความเร็วสูง เติมโซเดียมซิเตรต ความเข้มข้น 38.8 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ลงไปอย่างรวดเร็ว จากนั้นให้ความร้อนต่อเป็นเวลา 15 นาที สีของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีไวน์แดง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส จะได้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนนาโน

3.2.2 การเตรียมสารละลายอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมสารละลายอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนโดยปฏิกิริยารีดักชัน [30] มีวิธีการดังนี้

ละลายโพสโวลินแอลกอฮอล์น้ำหนัก 0.5 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปต้มบนเครื่องให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C พร้อมปั่นกวน เติมซิลเวอร์ไนเตรตน้ำหนัก 0.2123 กรัม ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร จับเวลาในการต้มต่ออีก 90 นาที จะได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายสีน้ำตาลเข้ม ปริมาตรสุดท้ายที่ได้ประมาณ 10 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง นำไปเก็บในตู้เย็น 1 คืน ก่อนนำมาใช้

3.2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น 250 ppm

การเตรียมบิสฟีนอล เอ ในน้ำกลั่น (pH≈7)

ละลายบิสฟีนอล เอ น้ำหนัก 0.0057 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 75 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C จนเดือด ทิ้งสารละลายให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

การเตรียมบิสฟีนอล เอ ในกรดแอสซิดิก (pH≈4)

ละลายบิสฟีนอล เอ น้ำหนัก 0.0057 กรัม ด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 75 มิลลิลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C จนเดือด ทิ้งสารละลายให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เติมกรดอะซิติก 1 โมลาร์ ที่ละหยด ทดสอบ pH ด้วยกระดาษลิตมัส เมื่อกระดาษลิตมัสเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นแดงจึงหยุดเติม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออน

สำหรับการเตรียมบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้นอื่นๆ สามารถเตรียมได้จากสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น 250 ppm ดังนี้

เตรียมที่ความเข้มข้น (ppm)	ปิเปตสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น 250 ppm มาปริมาตร (ppm)
25	1
50	2
100	10

ตารางที่ 3.2 แสดงการเตรียมความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ

3.3.1 การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ที่ปรับปรุงผิวด้วยซิสเทอีน

ปิเปตสารละลายอนุภาคของระดับนาโนปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายซิสเทอีน ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ในขวดแก้วเล็ก เขย่าจนสารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นปิเปตสารละลายมา 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เขย่าให้เข้ากัน แล้วปิเปตสารละลายบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้น 50 ppm ใส่ลงไป แล้วนำหลอดทดลองไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเป็นเวลา 3 นาที และนำไปตรวจวัดค่าการกระเจิงแสงด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์

สำหรับสารละลายบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้นอื่นๆ (0, 50, 100 , 250 และ 500 ppm) ให้ทำการทดลองเช่นเดียวกัน

สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการกระเจิงแสงเมื่อมีความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่แตกต่างกัน

3.3.2 การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ด้วยอนุภาคทองคำระดับนาโนร่วมกับโรดามีน บี

ปีเปตน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วเล็ก เติมนุภาคทองคำระดับนาโน โดยการปีเปตมาในปริมาตร 200 ไมโครลิตร กับสารละลายโรดามีน บี ความเข้มข้น 25 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 31 ไมโครลิตร และปีเปตสารละลายบิสฟีนอล เอ ที่เตรียมในน้ำกลั่น (pH≈7) ความเข้มข้น 50 ppm ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ลงไป เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 1 นาที และตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ที่นาที่ที่ 5

สำหรับสารละลายบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้นอื่นๆ (0, 100, และ 250 ppm) ให้ทำการทดลองเช่นเดียวกัน

สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการกระเจิงแสงเมื่อมีความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่แตกต่างกัน

สำหรับการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ด้วยอนุภาคทองคำระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยโรดามีน บี เมื่อเตรียมสารละลายบิสฟีนอล เอ ในกรดอะซิติก (pH≈4) ให้เตรียมเหมือนข้อ 3.3.2

3.3.3 การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ด้วยอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน

ปีเปตบิสฟีนอล เอ ที่เตรียมในน้ำกลั่น (pH≈7) ความเข้มข้น 50 ppm ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ผสมกับอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วเล็ก เขย่าด้วยเครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 3 นาที ตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร

สำหรับสารละลายบิสฟีนอล เอ ความเข้มข้นอื่นๆ (0 ,100 และ 250 ppm) ให้ทำการทดลองเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการกระเจิงแสงเมื่อมีความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่แตกต่างกัน

สำหรับการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ ด้วยอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน เมื่อเตรียมสารละลายบิสฟีนอล เอ ในกรดอะซิติก ($\text{pH} \approx 4$) ให้เตรียมเหมือนข้อ 3.3.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

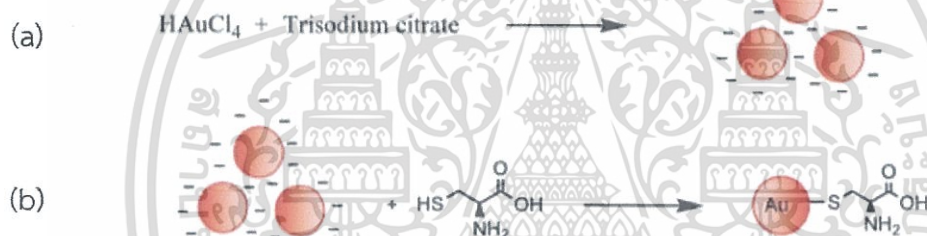
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนกับบิสฟีนอล เอ

4.1.1 การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรับผิวด้วยซิสเทอีน

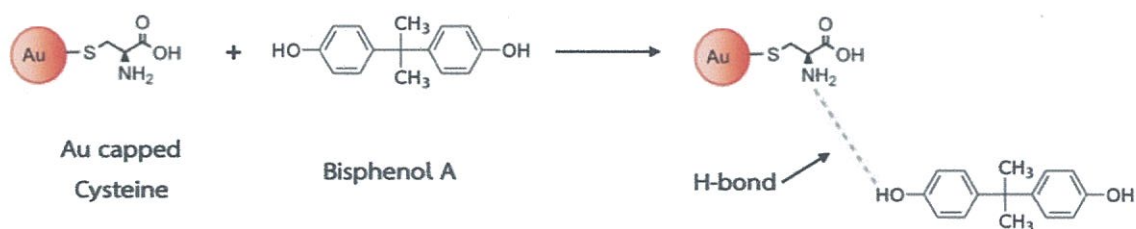
Jingyue Xu และคณะ [31] สังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนด้วยวิธี turkevich ดังรูป 4.1 (a) และอนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรับผิวด้วยซิสเทอีน ดังรูปที่ 4.1 (b)



รูปที่ 4.1 (a) แสดงอนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรับผิวด้วยซิเตรท

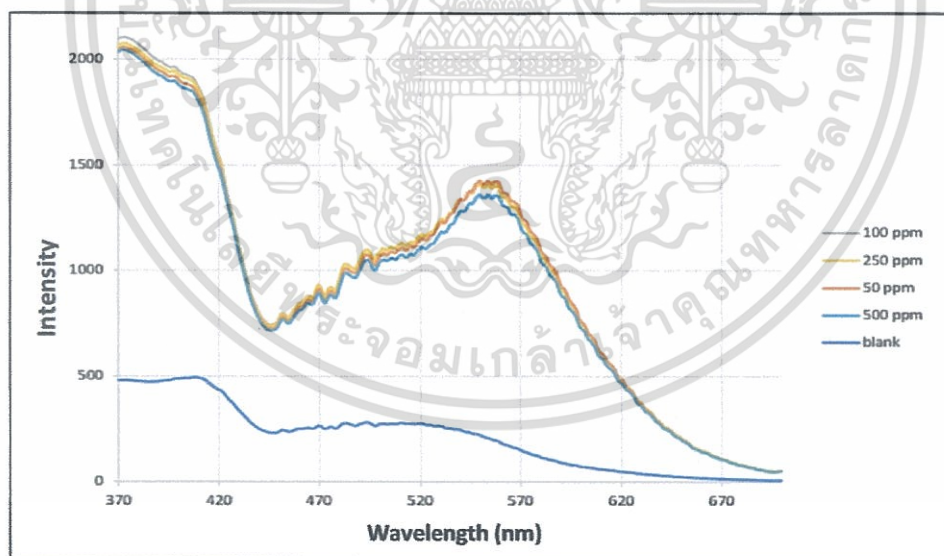
(b) แสดงพันธะที่เกิดจากทอง-ซิเตรทกับซิสเทอีน

จากภาพอนุภาคทองระดับนาโนเกิดพันธะกับซิสเทอีนโดยผ่านพันธะระหว่าง Au-S คณะผู้ทำโครงการพิเศษจึงได้ใช้อนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรับผิวด้วยซิสเทอีนตรวจหาปริมาณบิสฟีนอล เอ ซึ่งตั้งสมมติฐานการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรับผิวด้วยซิสเทอีนกับบิสฟีนอล เอ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงการเกิดพันธะระหว่างอนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยซิสเทอีนกับบิสฟีนอล เอ

เมื่อนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยซิสเทอีนกับบิสฟีนอล เอ โดยปิเปตสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายซิสเทอีน ปริมาตร 200 ไมโครลิตร ใส่ในขวดแก้วเล็ก เขย่าจนสารละลายผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นปิเปตสารละลายมา 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เขย่าให้เข้ากัน วัดค่าการกระเจิงแสง พบว่าค่าการกระเจิงแสงที่ได้ไม่เป็นแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ ค่าความเข้มแสงไม่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยซิสเทอีนกับบิสฟีนอล เอ

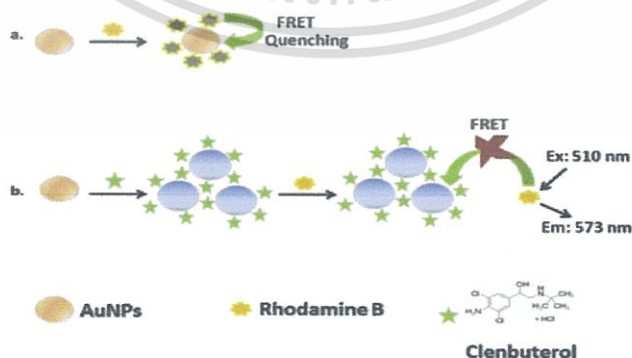
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเบื้องต้นคณะผู้จัดทำโครงการพิเศษต้องการวิธีที่สามารถตรวจวัดปริมาณบิสฟีนอล เอ ให้ได้เสียก่อน จึงไม่ได้ทำการศึกษาในปัจจุบันอื่นๆ เช่นความเข้มข้นของซิสเทอีน ที่อาจส่งผลต่อการเกิดอันตรกิริยากับบิสฟีนอล เอ และผลการทดลองข้างต้นไม่สามารถตรวจหาปริมาณบิสฟีนอล เอ ได้ ดังนั้นจึงได้เปลี่ยนวิธีการทดลองเป็นวิธีใหม่ คือ อาศัยผลของอันตรกิริยาในการดับแสง (Quench) ของโรดามีน บี ด้วยอนุภาคของระดับนาโน

4.4.2 การตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยผลของอันตรกิริยาในการดับแสง (Quench) ของโรดามีน บี ด้วยอนุภาคของระดับนาโน

จากผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคของระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยซิสเทอีนและบิสฟีนอล เอ ที่ตรวจวัดด้วยการกระเจิงแสงแบบเรโซแนนซ์เรย์เลไม่ประสบผลสำเร็จ จึงได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความสามารถของอนุภาคของระดับนาโนในทิศทางอื่น พบว่า อนุภาคของระดับนาโนสามารถดับแสงของโรดามีน บี ได้ จึงได้ใช้ผลของอันตรกิริยาในการดับแสงโรดามีน บี ด้วยอนุภาคของเป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ กล่าวคือเมื่ออนุภาคของระดับนาโนเกิดอันตรกิริยากับบิสฟีนอล เอ แล้วความสามารถในการดับแสงโรดามีน บี จะลดลง

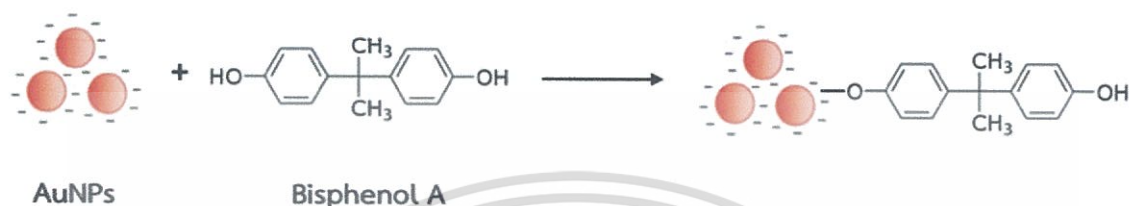
Jingyue Xu และคณะ [29] ใช้อนุภาคของระดับนาโน โรดามีน เคลนบูเทอรอล เป็นเซนเซอร์ โดยอนุภาคของระดับนาโนสามารถดับแสงของโรดามีน บี ทำให้ค่าฟลูออเรสเซนซ์ของโรดามีน บี ต่ำลง แต่เมื่อเติมเคลนบูเทอรอล พบว่าอนุภาคของระดับนาโนจับกับเคลนบูเทอรอล ส่งผลให้ไม่เกิดการดับแสงของโรดามีน บี ทำให้ค่าฟลูออเรสเซนซ์ของโรดามีน บี สูงขึ้น ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงแสงของโรดามีน บี

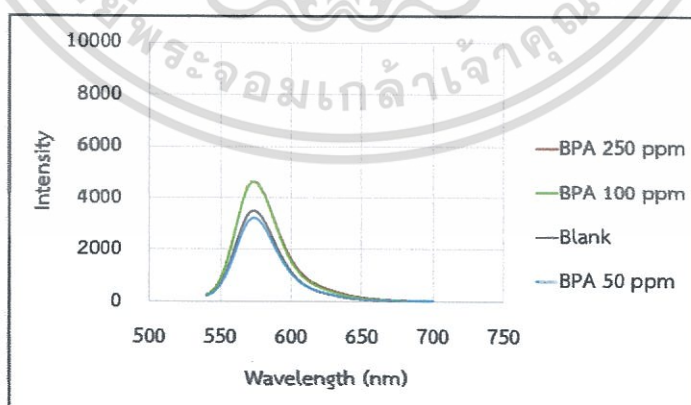
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยข้างต้นคณะผู้ทำโครงการพิเศษจึงได้ใช้หลักการเดียวกันทำการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยตั้งสมมติฐานเมื่อเติมบิสฟีนอล เอ ลงไปจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคของระดับนาโนกับบิสฟีนอล เอ ทำให้แสงของโรดามีน บี ไม่ถูกดับเนื่องจากอนุภาคของระดับนาโนจับกับบิสฟีนอล เอ แล้ว ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงการเกิดพันธะระหว่างอนุภาคของระดับนาโนกับบิสฟีนอล เอ

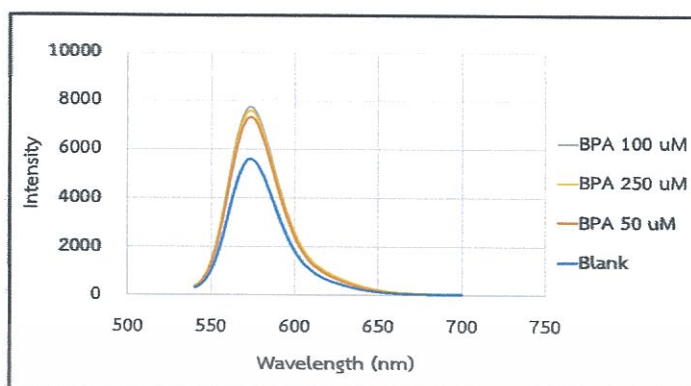
จากการศึกษาการกระเจิงแสงของสารละลายบิสฟีนอล เอ โดยปิเปตน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดแก้วเล็ก ปิเปตอนุภาคของระดับนาโนปริมาตร 200 ไมโครลิตร กับสารละลายโรดามีน บี ความเข้มข้น 25 ไมโครโมลาร์ ปริมาตร 31 ไมโครลิตร และปิเปตสารละลายบิสฟีนอล เอ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ลงไป เขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าสาร เป็นเวลา 1 นาที และตรวจวัดด้วยเครื่องสเปกโตรฟลูออโรมิเตอร์ที่นาที่ที่ 5 พบว่าค่าการกระเจิงแสงของโรดามีน บี ที่ได้ไม่เป็นไปตามแนวโน้ม คือ ค่าการกระเจิงแสงของโรดามีน บี ไม่เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ เพิ่มขึ้น แม้ทดลองกับสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ ที่เตรียมในน้ำกลั่น ($\text{pH} \approx 7$) และเตรียมในกรดแอสติก ($\text{pH} \approx 4$) ดังรูปที่ 4.6 และ 4.7



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ

(บิสฟีนอล เอ ในน้ำกลั่น ($\text{pH} \approx 7$))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

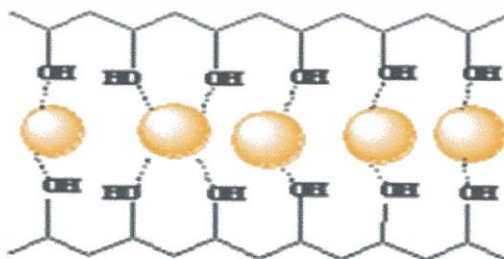


รูปที่ 4.7 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในกรดแอสติค (pH≈4))

เนื่องจากไม่ประสบผลสำเร็จในการหาปริมาณบิสฟีนอล เอ ได้เช่นเดียวกัน ดังนั้นคณะผู้ทำโครงการพิเศษจึงได้หาวิธีใหม่ โดยคาดหวังว่าวิธีใหม่นี้อาจจะส่งผลให้เกิดอันตรกิริยากับบิสฟีนอล เอ แล้วได้ค่าการกระเจิงแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่เพิ่มขึ้น วิธีใหม่ที่กล่าวคือเป็นการเปลี่ยนเซนเซอร์จากอนุภาคทองคำระดับนาโนเป็นอนุภาคเงินระดับนาโนแทน

4.2 ผลของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนกับบิสฟีนอล เอ

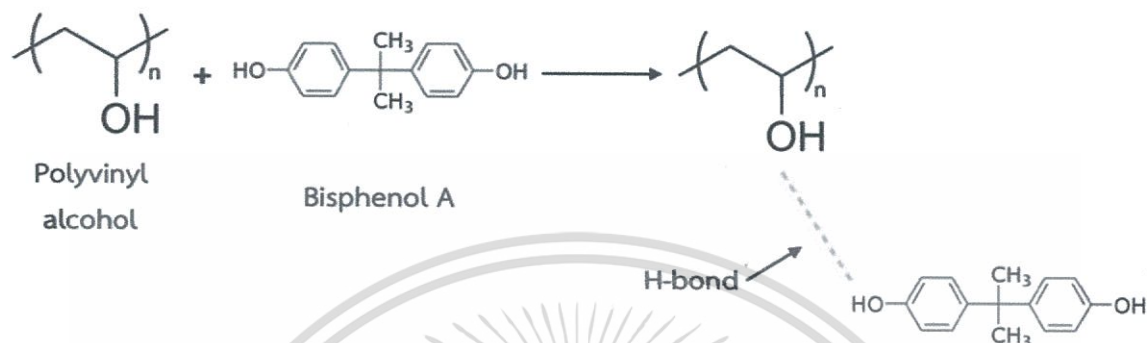
Ummul K. Fatema และคณะ [32] สังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยโพลิไวนิล แอลกอฮอล์ (AgNPs-PVA) โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงการเกิดพันธะระหว่างอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนกับโพลิไวนิล แอลกอฮอล์

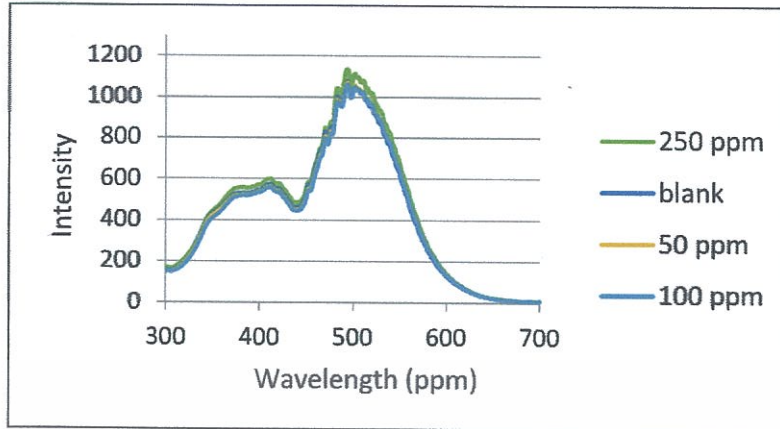
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะผู้ทำโครงการพิเศษจึงได้ใช้อุณหภูมิซิลเวอร์ระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA-AgNPs) ตรวจสอบปริมาณบิสฟีนอล เอ ซึ่งได้ตั้งสมมติฐานการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) กับบิสฟีนอล เอ ดังรูปที่ 4.9

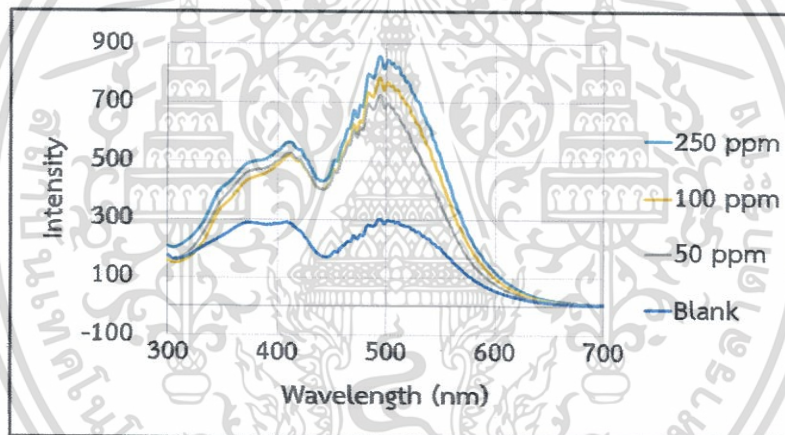


รูปที่ 4.9 แสดงพันธะที่เกิดจากโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) กับบิสฟีนอล เอ

เมื่อตรวจวัดปริมาณบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยหลักการที่ได้กล่าวมา โดยใช้อัตราส่วนสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ ต่อปริมาณอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่ปรับปรุงผิวด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA-AgNPs) ในปริมาตร 2 ml : 2 ml หรือ 1 : 1 คาดว่าผสมสารละลายในอัตราส่วนที่เท่ากันอาจจะทำให้สารผสมทั้งสองเกิดอันตรกิริยาระหว่างโมเลกุลกันได้ในส่วนที่เท่ากันและเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ได้ทำการทดลองในสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ ที่เตรียมในน้ำกลั่น (pH≈7) และที่เตรียมในกรดแอสซิดิก (pH≈4) พบว่าสเปกตรัมไม่เป็นไปตามแนวโน้ม คือ ค่าการกระเจิงแสงไม่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ตามลำดับ



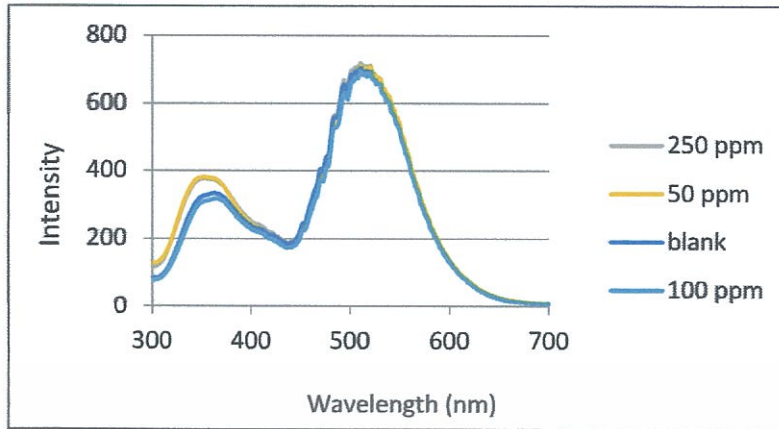
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในน้ำกลั่น (pH≈7))



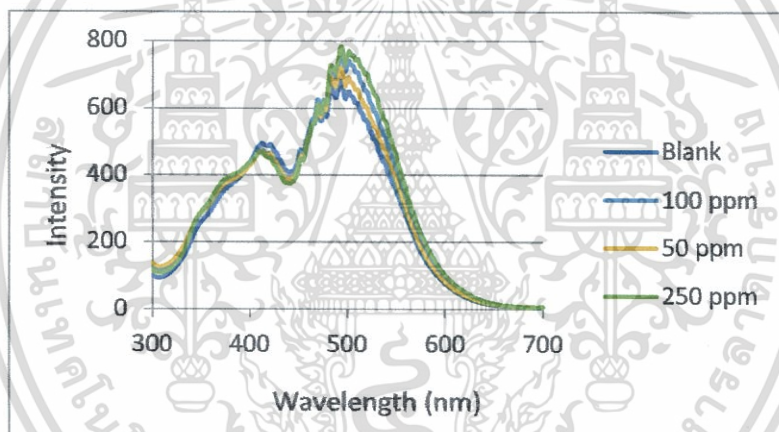
รูปที่ 4.11 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในกรดแอสติค (pH≈4))

เมื่อผลที่ได้ไม่ประสบผลสำเร็จในการตรวจหาปริมาณบิสฟีนอล เอ ดังนั้นจึงทำการทดลอง เช่นเดิมแต่มีการทิ้งสารละลายไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาวัดค่าการกระเจิงแสงโดยคาดว่า สารละลายจะมีเวลานานขึ้นในการเกิดอันตรกิริยาต่อกัน แต่ผลที่ได้เป็นเช่นเดิม ดังรูปที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



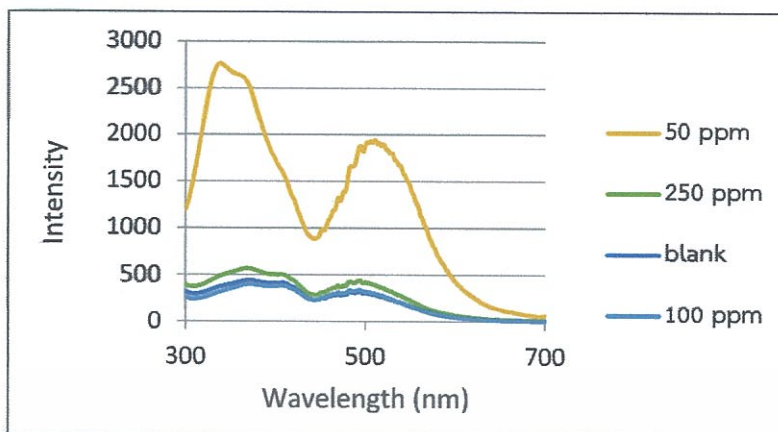
รูปที่ 4.12 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ
(บิสฟีนอล เอ ในน้ำกลั่น (pH≈7))



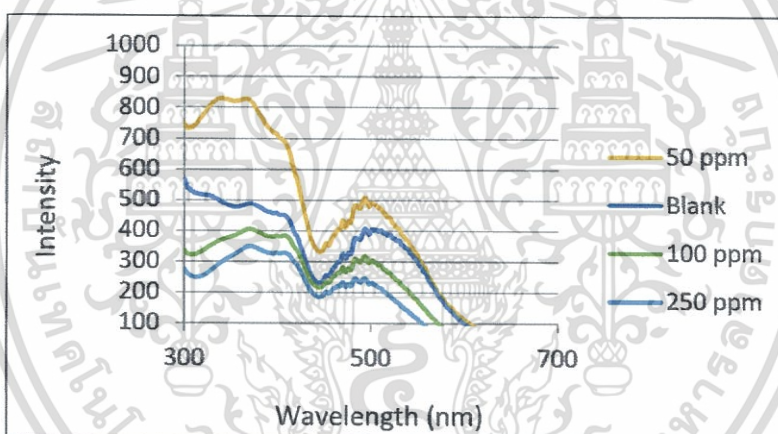
รูปที่ 4.13 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ
(บิสฟีนอล เอ ในกรดแอสติก (pH≈4))

ผลที่ได้ไม่ประสบผลสำเร็จในการตรวจหาปริมาณบิสฟีนอล เอ เช่นเดิม ดังนั้นจึงทำการทดลองเหมือนเดิมแต่มีการทิ้งสารละลายไว้ช้านานขึ้นกว่าเดิมคือเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ก่อนนำมาวัดค่าการกระเจิงแสง โดยคาดว่าถ้าใช้เวลานานขึ้นกว่าเดิมสารละลายจะเกิดอันตรกิริยาต่อกันได้อย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น แต่ผลที่ได้เป็นเช่นเดิม ดังรูปที่ 4.14 และ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 สเปกตรัมค่าการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในน้ำกลั่น (pH≈7))



รูปที่ 4.15 สเปกตรัมการกระเจิงแสงของบิสฟีนอล เอ ที่ความเข้มข้นต่างๆ (บิสฟีนอล เอ ในกรดแอซิดิก (pH≈4))

คณะผู้ทำโครงการพิเศษจึงได้เปลี่ยนอัตราส่วนที่ใช้ทำปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนกับบิสฟีนอล เอ โดยคาดหวังว่าการปรับเปลี่ยนในครั้งนี้จะทำให้การกระเจิงแสงเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่เพิ่มขึ้น โดยปริมาณที่ใช้และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เป็นดังตารางที่ 4.1 และ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 เมื่อสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ เตรียมในน้ำกลั่น (pH≈7)

ปริมาณอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน (ml)	ปริมาณบิสฟีนอล เอ (ml)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
0.5	} 1.5	0.3996
1.0		0.4856
1.5		0.4953
2.0		0.5989

ตารางที่ 4.2 เมื่อสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ เตรียมในกรดแอสติก (pH≈4)

ปริมาณอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน (ml)	ปริมาณบิสฟีนอล เอ (ml)	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R ²)
0.5	} 1.5	0.2043
1.0		0.1874
1.5		0.1381
2.0		0.3644

จากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R²) แสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้ไม่ได้เข้าใกล้ค่าความเป็นเส้นตรง (≈0.99xx) ดังนั้นผลที่ได้พบว่าการกระเจิงแสงไม่ได้เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของบิสฟีนอล เอ ที่เพิ่มขึ้น แม้ทดลองในสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ ที่เตรียมในกรดแอสติก (pH≈4) และสารละลายมาตรฐานบิสฟีนอล เอ ที่เตรียมในน้ำกลั่น (pH≈7)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการตรวจวัดบิสฟีนอล เอ โดยอาศัยการเกิดปฏิกิริยากับอนุภาคทองระดับนาโนและอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน และตรวจวัดด้วยเทคนิคการกระเจิงแสงแบบเรโซแนนซ์เรย์เล โดยเริ่มจากการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนด้วยวิธีเทอร์ควิช (Turkevich method) โดยใช้ไซเตียมซีเตรทเป็นสารรักษาเสถียรภาพของอนุภาคทองให้อยู่ในระดับนาโนเมตรและปรับปรุงผิวด้วยซีสเทอีนและร่วมกับความสามารถในการดับแสง (Quench) ของโรดามีน บี

จากการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนได้สารละลายสีไวน์แดง เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร พบว่าค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 530 นาโนเมตร

จากการทดลองพบว่าไม่ประสบผลสำเร็จในการใช้อนุภาคทองระดับนาโนมาทำการตรวจวัดหาปริมาณบิสฟีนอล เอ

การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน โดยใช้โพลีไวนิล แอลกอฮอล์เป็นตัวจับกับอนุภาคซิลเวอร์ สารละลายอนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนที่ได้มีสีน้ำตาลเข้ม เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร พบว่าค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 450 นาโนเมตร

จากการทดลองพบว่าไม่ประสบผลสำเร็จในการใช้อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโนมาทำการตรวจวัดหาปริมาณบิสฟีนอล เอ เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] Marzia Di Donato, Gustavo Cerner, Pia Giovannelli, Giovanni Galasso, Antonio Bilancio, Antimo Migliaccio, Gabriella Castoria “Recent advances on bisphenol-A and endocrine disruptor effects on human prostate cancer ” Molecular and Cellular Endocrinology 2017 : 35 - 42
- [2] Thomas Zoeller "Environmental chemicals impacting the thyroid: Targets and consequences" Thyroid 2005 : 811 - 817
- [3] Yochi Tanaka , Tanabe N, Mukai H, Hojo Y, Murakami G, Tsurugizawa T, Takata N, Kimoto T, Kawato S "Rapid modulation of synaptic plasticity by estrogens as well as endocrine disrupters in hippocampal neurons" Brain Research Reviews 2008 : 363 – 375
- [4] Leonardo A. Moraes 2006. Bisphenol A (online)
Avalabile : <https://www.britannica.com/science/bisphenol-A>
- [5] Andrea Bellavia, David E. Cantonwine, John D. Meeker, Russ Hauser, Ellen W. Seely, Thomas F. McElrath, Tamarra James-Todd “Pregnancy urinary bisphenol-A concentrations and glucose levels across BMI categories” Environment International 2018 : 35 – 41
- [6] Ayman Shafei, Maggie M. Ramzy, Abdelhares I. Hegazy, Ahmed K. Husseny, Usama G. EL-hadary, Mazen M. Taha, Ali A. Mosa “The molecular mechanisms of action of the endocrine disrupting chemical bisphenol A in the development of cancer ” Gene 2018 : 235 – 243
- [7] K.V. Ragavan , Navin K. Rastogi , M.S. Thakur “Sensors and biosensors for analysis of bisphenol-A ” Trends in Analytical Chemistry 2013 : 248 – 260
- [8] Katerina Hegnerová, Jiří Homola “Surface plasmon resonance sensor for detection of bisphenol A in drinking water ” Sensors and Actuators 2010 : 177 – 179
- [9] M. Zimbone , L. Calcagno , G. Messina , P. Baeri , G. Compagnini “Dynamic light scattering and UV-vis spectroscopy of gold nanoparticles solution ” Materials Letters 2011 : 2906 – 2909
- [10] Yunfei Qiao , Jing Li , Hongbo Li , Hailin Fang , Dahe Fan , Wei Wang “A label-free

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- photoelectrochemical aptasensor for bisphenol A based on surface plasmon resonance of gold nanoparticle-sensitized ZnO nanopencils ” *Biosensors and Bioelectronics* 2016 : 315 – 320
- [11] C. De Bleye, E. Dumont, C. Hubert, P.-Y. Sacre, L. Netchacovitch, P.-F. Chavez, Ph. Hubert, E. Ziemons “A simple approach for ultrasensitive detection of bisphenols by multiplexed surface-enhanced Raman scattering ” *Analytica Chimica Acta* 2015 : 118 - 125
- [12] Massimiliano Cavallini, Massimo Facchini, Massimiliano Massi, Fabio Biscarini “Bottom-up nanofabrication of materials for organic electronics ” *Synthetic Metals* 2004 : 283 – 286
- [13] Roya Herizchi, Elham Abbasi, Morteza Milani, Abolfazl Akbarzadeh “Current methods for synthesis of gold nanoparticles ” *Nanomedicine, and Biotechnology* 2014
- [14] AK Khan, R Rashid, G Murtaza, A Zahra “Gold Nanoparticles: Synthesis and Applications in Drug Delivery ” *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* 2014 : 1169 - 1177
- [15] QiuHong Yao, Yufeng Feng, Connieal Tan, Shujun Xia, Li Zhao, Shuya Wang, Yiru Wang, Xi Chen “An on-line solid-phase extraction disc packed with a phytic acid induced 3D graphene-based foam for the sensitive HPLC-PDA determination of bisphenol A migration in disposable syringes” *Talanta* 2018 : 153 – 158
- [16] Lin Xiong, Ping Yan, Min Chu, Ya-Qin Gao, Wei-Hong Li, Xiao-Ling Yang “A rapid and simple HPLC-FLD screening method with QuEChERS as the sample treatment for the simultaneous monitoring of nine bisphenols in milk ” *Food Chemistry* 2018 : 371 – 377
- [17] Yibo Ma, Junsong Liu, Hongdong Li “Diamond-based electrochemical aptasensor realizing a femtomolar detection limit of bisphenol A” *Biosensors and Bioelectronics* 2017 : 21 – 25
- [18] Behjat Deiminiat, Gholam Hossein Rounaghi, Mohammad Hossein Arbab-Zavar, Iman Razavipanah “A novel electrochemical aptasensor based on f-MWCNTs/AuNPs nanocomposite for label-free detection of bisphenol A ” *Sensors and Actuators* 2017 : 158 – 166

- [19] Eunsu Chung , Jinhyeok Jeon , Jimin Yu , Chankil Lee , Jaebum Choo “**Surface-enhanced Raman scattering aptasensor for ultrasensitive trace analysis of bisphenol A** ” *Biosensors and Bioelectronics* 2015 : 560 – 565
- [20] Jingjing Feng , Liguang Xu , Gang Cui , Xiaoling Wu , Wei Ma , Hua Kuang , Chuanlai Xu “**Building SERS-active heteroassemblies for ultrasensitive Bisphenol A detection** ” *Biosensors and Bioelectronics* 2016 : 138 – 142
- [21] Libin Yang, Yongliang Chen, Yu Shen, Ming Yang, Xiuling Li, Xiaoxia Han, Xin Jiang, Bing Zhao “**SERS strategy based on the modified Au nanoparticles for highly sensitive detection of bisphenol A residues in milk** ” *Talanta* 2018 : 37 – 42
- [22] Ying Li, Jingyue Xu, Luokai Wang, Yanjun Huang, Jiajia Guo, Xianyi Cao, Fei Shen, Yeli Luo, Chunyan Sun “**Aptamer-based fluorescent detection of bisphenol A using nonconjugated gold nanoparticles and CdTe quantum dots** ” *Sensors and Actuators* 2016 : 815 – 822
- [23] Hyun Jeong Lim, Beelee Chua, Ahjeong Son “**Detection of bisphenol A using palm-size NanoAptamer analyzer** ” *Biosensors and Bioelectronics* 2017 : 10 – 18
- [24] Maria Stella Cosio, Alessandro Pellicano, Barbara Brunetti, Carlos Alberto Fuenmayor “**A simple hydroxylated multi-walled carbon nanotubes modified glassy carbon electrode for rapid amperometric detection of bisphenol A** ” *Sensors and Actuators* 2017 : 673 – 679
- [25] Najib Ben Messaoud, Mariana Emilia Ghica, Cherif Dridi, Mounir Ben Ali, Christopher M.A. Brett “**Electrochemical sensor based on multiwalled carbon nanotube and gold nanoparticle modified electrode for the sensitive detection of bisphenol A** ” *Sensors and Actuators* 2017 : 513 – 522
- [26] Lu Qiu , Qi Liu , Xiaoliang Zeng , Qin Liu , Xiandeng Hou , Yunfei Tian, Li Wu “**Sensitive detection of bisphenol A by coupling solid phase microextraction based on monolayer graphene-coated Ag nanoparticles on Si fibers to surface enhanced Raman spectroscopy** ” *Talanta* 2018 : 13 – 18
- [27] Xiaodong Xin , Shaohua Sun , He Li , Mingquan Wang , Ruibao Jia “**Electrochemical**

- bisphenol A sensor based on core-shell multiwalled carbon nanotubes/graphene oxide nanoribbons ” *Sensors and Actuators* 2015 : 275 – 280
- [28] Edson R. Santana, Camila A. de Lima, Jamille V. Piovesan, Almir Spinelli “An original ferroferric oxide and gold nanoparticles-modified glassy carbon electrode for the determination of bisphenol A ” *Sensors and Actuators* 2017 : 487 – 496
- [29] Jingyue Xu, Ying Li, Jiajia Guo, Fei Shen, Yeli Luo, Chunyan Sun “Fluorescent detection of clenbuterol using fluorophore functionalized gold nanoparticles based on fluorescence resonance energy transfer ” *Food Control* 2014 : 67 – 74
- [30] Saowapak Teerasong, Amornrassamee Jinnarak, Sumonmarn Chaneam, Prapin Wilairat, Duangjai Nacapricha “Poly(vinyl alcohol) capped silver nanoparticles for antioxidant assay based on seed-mediated nanoparticle growth ” *Talanta* 2017 : 193 – 198
- [31] Foroogh Keshvari, Morteza Bahram, Khalil Farhadi “Sensitive and selective. colorimetric sensing of acetone based on gold nanoparticles capped with l-cysteine ” *J IRAN CHEM SOC* (2016) 13 : 1411–1416
- [32] Ummul K. Fatema, M. Muhibur Rahman, M. Rakibul Islam, M. Yousuf A. Mollah , Md. Abu Bin Hasan Susan “Silver/poly(vinyl alcohol) nanocomposite film prepared using water in oil microemulsion for antibacterial applications ” *Journal of Colloid and Interface Science* 514 (2018) : 648 – 655



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 25 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า นาย/นาง/นางสาว กวิตา วรทหวิสิทธิ์ รหัสประจำตัว 57050485

นาย/นาง/นางสาว วิรัช ก่อกิจเจริญกุล รหัสประจำตัว 57050489

นาย/นาง/นางสาว วิรัชพงษ์ ก่อกิจเจริญกุล รหัสประจำตัว 57050563

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมี

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา เรื่อง

ชื่อภาษาไทย... มาตรฐานผลิตภัณฑ์พลาสติก อ โดยอาศัยการกระเจิงแสง
แบบเรโซแนนซ์เรย์ลีย์ชื่อภาษาอังกฤษ... DETERMINATION OF BISPHENOL A
BASED ON RESONANCE RAYLEIGH SCATTERING

ปีการศึกษา 2561

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้
แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจ
ศึกษาระดับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักษรวินิจฉัย 0.00 % หรือโปรแกรม Turnitin %

ลงชื่อ กวิตา วรทหวิสิทธิ์

ลงชื่อ วิรัช ก่อกิจเจริญกุล

ลงชื่อ วิรัชพงษ์ ก่อกิจเจริญกุล

(น.ส. กวิตา วรทหวิสิทธิ์) (น.ส. วิรัช ก่อกิจเจริญกุล)

(น.ส. วิรัชพงษ์ ก่อกิจเจริญกุล)

นักศึกษา

นักศึกษา

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ศ./รศ./ผศ./ดร. /อ. เสาวภรณ์ ธีราทอง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจ
ศึกษา ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษาของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัย
ของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ ๖๘

ลงชื่อ

ลงชื่อ

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้