

การประยุกต์ใช้นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เสถียรด้วยโพลีไวนิล
แอลกอฮอล์เพื่อประเมินสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ขิง

APPLICATION OF POLY(VINYL ALCOHOL) CAPPED
SILVER NANOPARTICLES FOR EVALUATION OF
ANTIOXIDANT CAPACITY IN GINGER PRODUCTS



ณัฐธิดา จงประเสริฐ

ณัฐธิดา เจริญธรรมาไชย

ณัฐนิชา แสงสวิทย์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2558

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION OF POLY(VINYL ALCOHOL) CAPPED
SILVER NANOPARTICLES FOR EVALUATION OF
ANTIOXIDANT CAPACITY IN GINGER PRODUCTS



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ACADEMIC YEAR 2015
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การประยุกต์ใช้นาโนอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เสถียรด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อประเมินสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ขิง Application of Poly(vinyl alcohol) Capped Silver Nanoparticles for Evaluation of Antioxidant in Ginger Product

ชื่อนักศึกษา

นางสาวณัฐธิดา จงประเสริฐ รหัสนักศึกษา 55050647
นางสาวณัฐธิดา เจริญธรรมาไชย รหัสนักศึกษา 55050648
นางสาวณัฐนิชา แสงสวิทย์ รหัสนักศึกษา 55050650

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง

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

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เจริญชั้น ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ กรรมการ	
ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การประยุกต์ใช้อุณหภูมิของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เสถียรด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อประเมินสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ขิง		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐธิดา จงประเสริฐ	รหัสนักศึกษา	55050647
	นางสาวณัฐธิรา เจริญธाराไชย	รหัสนักศึกษา	55050648
	นางสาวณัฐนิชา แสงสวิทย์	รหัสนักศึกษา	55050650
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีสำหรับการประเมินสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้อุณหภูมิของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ถูกสังเคราะห์โดยใช้โพลีไวนิลแอลกอฮอล์เป็นตัวรีดิวซ์และสเตบิลไลเซอร์ การตรวจวัดนั้นขึ้นอยู่กับค่าการดูดกลืนของซิลเวอร์ไอออนกลายเป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้กรดแกลลิกเป็นตัวรีดิวซ์ จะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์พบที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยทำการตรวจวัดด้วยวิธี spectrophotometry และทำการศึกษาลักษณะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยวิธี UV-visible spectrophotometry, X-rays photoelectron spectroscopy และ Transmission electron microscopy ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม จะได้ช่วงความเป็นเส้นตรงที่ความเข้มข้นของกรดแกลลิกอยู่ในช่วง 25-200 ไมโครโมลาร์ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ เท่ากับ 2.11% ค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (LOD) เท่ากับ 1.39 ไมโครโมลาร์และปริมาณต่ำสุดที่สามารถวิเคราะห์ได้ (LOQ) เท่ากับ 4.64 ไมโครโมลาร์ โครงการพิเศษนี้ได้พัฒนาวิธีวิเคราะห์เพื่อนำมาใช้ประเมินสารต้านอนุมูลอิสระในผลิตภัณฑ์ขิงโดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน

คำสำคัญ : กรดแกลลิก ขิง โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ในระดับนาโน สารต้านอนุมูลอิสระ สเปกโตรโฟโตเมทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Application of Poly(vinyl alcohol) Capped Silver Nanoparticles for Evaluation of Acapacity in Ginger Products	
Students	Miss Nutthida Jongprasert	Student ID 55050647
	Miss Nutthira Charoentarachai	Student ID 55050648
	Miss Natnicha Saengsawit	Student ID 55050650
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2015	
Advisor	Asst.Prof.Dr.Saowapak Teerasong	

Abstract

This special project aims to develop a method for evaluation of antioxidant capacity by using silver nanoparticles (AgNPs). The AgNPs were synthesized by using Poly(vinyl alcohol) as reducing and stabilizing agents. The detection is based on a reduction of silver ions to metallic AgNPs by gallic acid. As a result, absorbance of AgNPs solution at 412 nm drastically increased. A change in absorbance was spectrophotometrically monitored. The AgNPs were characterized by UV-visible spectrophotometry, X-rays photoelectron spectroscopy and Transmission electron microscopy. Under optimal conditions, the calibration was linear in range of 25-200 μM gallic acid. The relative standard deviation (RSD) of 2.11% was obtained. The LOD and LOQ were 1.39 and 4.64 μM , respectively. The developed method was applied to evaluate the antioxidant capacity of ginger products based on gallic acid equivalent.

Keywords : Gallic acid, Ginger, Poly(vinyl alcohol), Silver nanoparticle, Antioxidant, Spectrophotometry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.เสาวภาคย์ อีราทรง สำหรับการให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความเอาใจใส่ตลอดการดำเนินโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และ ผศ.ดร.ณัฐวุฒิ เขิงชั้น ที่กรุณาเป็นกรรมการตรวจสอบและช่วยแก้ไขโครงการพิเศษฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและมหาวิทยาลัยมหิดลที่ให้ความเอื้อเฟื้อความสะดวกในการเข้าไปใช้บริการ เครื่อง XPS และเครื่อง TEM

ขอขอบพระคุณ ดร.สุนนมาลย์ จันทรเอี่ยม คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่เป็นผู้ทำการ validate ด้วยวิธีมาตรฐาน ABTS ให้กับโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ภาคเคมี หน่วยวิจัยเคมีวิเคราะห์เชิงประยุกต์และคณะวิทยาศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์ สารเคมี เครื่องมือต่างๆ และสถานที่ดำเนินการทดลอง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว ที่ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ คอยแนะนำเสมอมา

ขอขอบพระคุณ นางสาวอมรรักษ์มี จินรักษ์ ที่คอยดูแล ช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ทำให้โครงการพิเศษนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ณัฐธิดา จงประเสริฐ
ณัฐธิดา เจริญธाराไชย
ณัฐนิชา แสงสวิทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 สารต้านอนุมูลอิสระ	4
2.1.1 แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระ.....	4
2.1.2 กลไกการยับยั้งของสารต้านอนุมูลอิสระ	5
2.1.3 ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในพืช	6
2.1.4 การทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ	7
2.2 กรดแกแลลิก	9
2.3 ชิง	9
2.3.1 ข้อมูลทั่วไปของชิง	9
2.3.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์	9
2.3.3 สารเคมีและสารอาหารที่สำคัญ	10
2.3.4 ประโยชน์ของแต่ละส่วนของชิง	10
2.3.5 ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์.....	11
2.4 วัสดุระดับนาโน	12
2.4.1 อนุภาคระดับนาโน	12
2.4.2 การสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโน	16
2.4.3 อนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการตรวจวัดกรดแกแลลิกเพื่อใช้ประเมินสารต้านอนุมูลอิสระ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม	39
4.3.1 ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท	39
4.3.2 ความเข้มข้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์	40
4.3.3 ปริมาตรของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการทำปฏิกิริยากับกรดแกลลิก	41
4.3.4 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา	42
4.4 คุณลักษณะกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)	43
4.5 ประเมินคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์	45
4.5.1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)	45
4.5.2 ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด (LOD)	45
4.6 ค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ	47
4.7 การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในน้ำขิง	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก	57
ภาคผนวก ก	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	30
3.2 แสดงการเตรียมสารละลายสำหรับการทำร้อยละการคืนกลับ (Recovery).....	35
4.1 แสดงถึงการสรุปผลการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ.....	43
4.2 แสดงข้อมูลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ทำปฏิกิริยากับ สารละลายกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์	45
4.3 แสดงข้อมูลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบลงค์ทั้ง 6 ครั้ง	46
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละคืนกลับในเครื่องตีผงสำเร็จรูปและชิงบรรจุแคปซูล	47
4.5 ผลการวิเคราะห์ประเมินหาสารต้านอนุมูลอิสระในเครื่องตีผงสำเร็จรูปและ ชิงบรรจุแคปซูลระหว่างวิธี AgNPs เทียบกับวิธีมาตรฐาน ABTS assay	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

4.11 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐาน..... 48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
Ag ⁺	ซิลเวอร์ไอออน
Ag ⁰	โลหะซิลเวอร์
AgNPs	อนุภาคนาโนซิลเวอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาความสนใจในเรื่องความห่วงใยสุขภาพ การป้องกันและรักษาอาการเจ็บป่วยกำลังเป็นสิ่งที่ผู้บริโภคให้ความสนใจเป็นอย่างมาก ผู้บริโภคในหลายๆ ประเทศทั่วโลกได้ให้ความสนใจในการนำสมุนไพรและผลิตภัณฑ์จากสมุนไพรมารับประทานหรือเพื่อใช้บำรุงรักษาสุขภาพ จิง (ginger) เป็นพืชสมุนไพรไทยชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาประกอบอาหารหรือใช้เป็นเครื่องดื่ม เนื่องจากในจิงมีองค์ประกอบของจินเจอร์ออลและโวกาออล ซึ่งสามารถยับยั้งอาการปวด ป้องกันการอักเสบ [1,2] และมีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่แรง ในหลายงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ได้พิสูจน์ว่าสารต้านอนุมูลอิสระมีบทบาทสำคัญในการลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคต่างๆ อาทิเช่น โรคมะเร็ง โรคหัวใจ นอกจากนี้ยังช่วยในเรื่องกระบวนการชะลอความชรา ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในร่างกาย เป็นต้น [3,4] สารต้านอนุมูลอิสระที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่ วิตามินซี อี เอ ซีลีเนียม เบต้าแคโรทีนและฟลาโวนอยด์ต่างๆ เช่น สารในกลุ่มโพลีฟีนอล ไอโซฟลาโวน [5] ซึ่งส่วนใหญ่ในสมุนไพรจิงจะพบสารต้านอนุมูลอิสระอยู่ในกลุ่มของสารฟีนอลิก ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จิงบรรจุแคปซูลกับคนไข้ที่มีอาการอาหารไม่ย่อย พบว่าจิงช่วยกระตุ้นการย่อยได้ดียิ่งขึ้น [6] และเครื่องดื่มจิงผงสำเร็จรูป ซึ่งเป็นเครื่องดื่มผงที่ช่วยให้การดำเนินชีวิตมีความสะดวกมากขึ้น เพราะง่ายต่อการบริโภค ทั้งจิงบรรจุแคปซูลและจิงผงสำเร็จรูปได้ผ่านขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนต่างๆนี้อาจส่งผลกระทบต่อความคงตัวและปริมาณของสารต้านอนุมูลอิสระในจิงสดได้ ดังนั้นการตรวจวัดปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่ยังคงมีอยู่ในจิงผงสำเร็จรูปหลังผ่านกระบวนการแปรรูปเรียบร้อยแล้ว จึงมีความสำคัญ เพื่อระบุปริมาณสารดังกล่าวสำหรับเป็นข้อมูลทางโภชนาการที่เป็นประโยชน์กับผู้บริโภคต่อไป

วิธีการวิเคราะห์ฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การวิเคราะห์ทางไฟฟ้าเคมี (Electroanalytical method), เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance liquid chromatography; HPLC) และเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี ได้แก่ วิธีการทำลายอนุมูลอิสระดีพีพีเอช (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging capacity; DPPH assay), วิธีการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส (2,2'-azinobis-[3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid]; ABTS assay) และวิธีฟอลินซีโอแคลตู (Folin-Ciocalteu colorimetric method) ซึ่งแต่ละวิธีก็มีการวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น การตรวจวัดด้วยเทคนิคเชิงไฟฟ้าแอมเพอโรเมทรี (amperometric flow injection analysis) [7,8] เป็นวิธีที่ให้ผลการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว มีสภาพไวสูง (high sensitivity) มีขีดจำกัดในการตรวจวัดที่ความเข้มข้นต่ำ (Limit of Detection; LOD) แต่ก็มีข้อจำกัด คือ โมเลกุลของสารอาจเกิดการดูดซับที่บริเวณพื้นผิวของขั้วไฟฟ้ากลาสซีคาร์บอนได้ ส่วนการใช้เทคนิค HPLC ในการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถวิเคราะห์สารหลายชนิดได้พร้อมกัน และวิเคราะห์สารในปริมาณต่างๆ ได้ แต่ก็มีข้อจำกัด คือ เป็นเครื่องมือที่มีราคาแพง ต้องอาศัยความชำนาญในการใช้งาน สารเคมีที่ใช้มักมีราคาแพง เช่น เฟสเคลื่อนที่ต้องใช้ประเภท HPLC grade เป็นต้น [9], สำหรับเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี โดยวิธี DPPH assay จะมี DPPH เป็นอนุมูลอิสระ (free radical) สามารถรับอิเล็กตรอน หรือ hydrogen radical จากสารต้านอนุมูล

อิสระได้ เมื่อ DPPH ละลายใน absolute ethanol จะได้สารละลายที่มีสีม่วง ดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร เมื่อทำปฏิกิริยากับสารที่มีฤทธิ์ antioxidant จะทำให้มีสีจางลง ซึ่งก่อนนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงจะต้องตั้งทิ้งไว้ที่มืดเป็นเวลา 30 นาทีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา โดยการหาความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารตัวอย่าง ได้จากการคำนวณสีที่จางลงของการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH โดยใช้ “โทรลล็อกซ์” (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchlorman-2-carboxylic acid) เป็นสารมาตรฐาน ซึ่งแสดงค่าเป็น TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity) มีหน่วยเป็น มิลลิโมลาร์ต่อมิลลิกรัม หรือ ไมโครโมลาร์ต่อมิลลิกรัม ข้อดีของวิธีนี้ คือ ง่าย สะดวก รวดเร็ว แต่ก็มีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถวิเคราะห์ antioxidant activity ของเลือดได้ เพราะต้องวัดในปฏิกิริยาที่เป็นแอลกอฮอล์ ซึ่งทำให้โปรตีนตกตะกอนได้, วิธี ABTS assay เป็นการวัดความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระเอปทีเอส โดยการเติม potassium peroxide จะทำให้ ATBS ถูกเปลี่ยนเป็นอนุมูลอิสระที่มีประจุบวก $ATBS^{+}$ เป็นสารที่มีสีฟ้าเขียว สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร เมื่อ $ATBS^{+}$ ทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระจะเปลี่ยนจากสีฟ้าเขียวเป็นไม่มีสี โดยเทียบกับสารมาตรฐานโทรลล็อกซ์ ข้อดีของวิธีการนี้ คือ $ATBS^{+}$ ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์จึงทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว และทำปฏิกิริยาได้ดีในช่วง pH กว้าง แต่ก็มีข้อจำกัดคือ $ATBS^{+}$ ไม่เป็นสารธรรมชาติที่พบในร่างกายหรือเซลล์ของสิ่งมีชีวิตและต้องมีการทำปฏิกิริยากับสารอื่นก่อนถึงจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระ [9,10], การหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวม (Total phenolic content) โดยใช้ Folin-Ciocalteu colorimetric method ที่อาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดกับ Folin-Ciocalteu reagent ประกอบด้วย phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagent สารดังกล่าวจะถูกรีดิวซ์โดย phenolic hydroxyl group ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเกิดเป็น tungsten และ molybdenum blue ซึ่งให้สีน้ำเงินและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน [11]

ปัจจุบันการตรวจวัดทางวัสดุอนุภาคนาโนได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น การนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์มาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ [12] หรือการนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ด้วยโพลีไวนิลไพโรลิโดนมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิกในยา [13] และการนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเซนเซอร์กระดาษที่อาศัยแสงในการหาปริมาณกรดแอสคอร์บิก [14] เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีการตรวจวัดให้มีความสะดวก ง่าย และรวดเร็ว เพื่อนำไปใช้ในการประยุกต์สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระ โดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เสถียรด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อประเมินสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเครื่องดื่มขิงผงสำเร็จรูป และขิงบรรจุแคปซูล โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน ซึ่งอาศัยปฏิกิริยารีดักชันของ Ag^+ ด้วยกรดแกลลิกภายใต้สภาวะที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นติดตามการเปลี่ยนแปลงสีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่จะแปรผันตามความเข้มข้นของกรดแกลลิก โดยการตรวจวัดด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ในการประเมินหาสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์โดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นตัวติดตาม
- ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เพื่อนำวิธีที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อประเมินสารต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มขิงผงสำเร็จรูปและขิงบรรจุแคปซูล

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษากลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างกรดแกลลิกกับซิลเวอร์ไอออนในสภาวะที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแกลลิก ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี
4. นำวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเครื่องดื่มขิงผงสำเร็จรูปและขิงบรรจุแคปซูล โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำวิธีวิเคราะห์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้ประเมินหาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มขิงผงสำเร็จรูปและขิงบรรจุแคปซูล ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารต้านอนุมูลอิสระ

สารต้านอนุมูลอิสระ คือโมเลกุลของสารที่สามารถจับกับตัวรับและสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของโมเลกุลสารอื่นๆ ได้ ปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนจากสารหนึ่งไปยังตัวออกซิไดซ์ ปฏิกิริยาดังกล่าวสามารถให้ผลิตภัณฑ์เป็นสารอนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งสารอนุมูลอิสระเหล่านี้จะเกิดเป็นปฏิกิริยาลูกโซ่และทำลายเซลล์ของร่างกาย สารต้านอนุมูลอิสระจะเข้ายุติปฏิกิริยาลูกโซ่เหล่านี้ด้วยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระและยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยถูกออกซิไดซ์ ดังนั้นสารต้านอนุมูลอิสระจึงถือเป็นตัวรีดิวซ์

แม้ว่าปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นสิ่งสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต แต่ก็ยังเกิดโทษเช่นกัน ดังนั้นพืชและสัตว์จึงรักษาสมดุลด้วยระบบอันซับซ้อนของปฏิกิริยาโดยสารต้านอนุมูลอิสระดังเช่น กลูตาไธโอน วิตามินซี และวิตามินอี เช่นเดียวกับเอนไซม์อย่างตัวเร่งปฏิกิริยาและเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ รวมถึงเพอรอกซิเดสต่างๆ ระดับสารต้านอนุมูลอิสระที่ต่ำหรือเอนไซม์ที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันที่น้อยเกินไปจะส่งผลให้เกิดภาวะออกซิเดชันที่มากเกินไป (Oxidative stress) จะก่อให้เกิดการทำลายหรือสร้างความเสียหายแก่เซลล์ได้ [15]

2.1.1 แหล่งที่มาของสารต้านอนุมูลอิสระจะมีอยู่ 2 ลักษณะ [16]

1. สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในร่างกาย แบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

1.1 สารต้านอนุมูลอิสระที่เป็นเอนไซม์

เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเทส (Superoxide Dismutase : SOD), คอะเลส (Catalase : CAT), กลูตาไทออนเพอรอกซิเดส (Glutathione Peroxidase: GPX), กลูตาไทออนรีดักเทส (Glutathione Reductase : GR) และกลูตาไทออนทรานส์เฟอเรส (Glutathione S-Transferase : GST)

1.2 สารต้านอนุมูลอิสระที่ไม่จัดเป็นเอนไซม์

เช่น กลูตาไทออน (Glutathione), กรดลิพอิก (Lipoic acid), เซอรูโลพลาสมีน (Ceruloplasmin), แอลบูมิน (Albumin), ทรานส์เฟอริน (Transferrin), แฮพโทโกลบิน (Haptoglobin), ฮีโมเพกซิน (Hemopexin), กรดยูริก (Uric Acid), บิลิรูบิน (Bilirubin) และซิสทีน (Cysteine)

2. สารต้านอนุมูลอิสระที่พบในอาหารและไม่จัดว่าเป็นเอนไซม์

เช่น วิตามินอี (Tocopherols), แคโรทีนอยด์ (Carotenoids), กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid), สเตียรอยด์ (Steroids), ยูบิควิโนน (Ubiquinone), ไทออล (Thiols), อินโนซีน (Imosine), ทัวรีน (Taurine), ไพรูเวต (Pyruvate), กรดแกลลิก (Gallic Acid), ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids), โทรลอคซ์ (Trolox), บีเอชที (BHT) และบีเอชเอ (BHA)

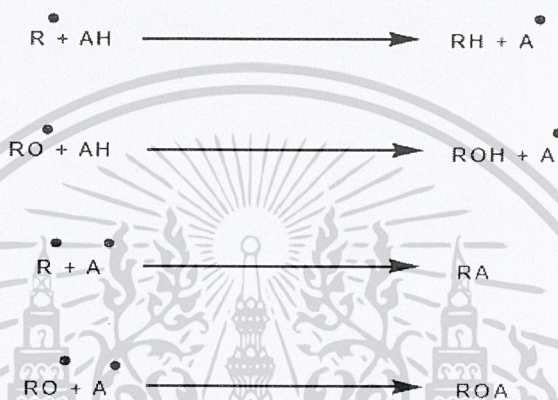
สารต้านอนุมูลอิสระจะทำลายอนุมูลอิสระโดยการเข้าจับกับสารอนุมูลอิสระทำให้ลดการเกิดปฏิกิริยา อนุจุดเริ่มต้น หรือไม่ก็ยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยา เมื่อสารอนุมูลอิสระมีจำนวนน้อยลงปฏิกิริยาที่กล่าวในตอนแรกก็น้อยลงด้วย ผลกระทบต่อเยื่อหุ้มเซลล์หรือดีเอ็นเอ

ก็เกิดน้อยลง โอกาสที่จะเกิดความเสียหายต่อโรคร้ายดังกล่าวก็ลดลงด้วย ดังนั้นผู้ที่ร่างกายได้รับอนุมูลอิสระอยู่เป็นประจำย่อมลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคร้าย

2.1.2 สารต้านอนุมูลอิสระ สามารถแบ่งตามกลไกการยับยั้งได้ 3 ชนิด [3]

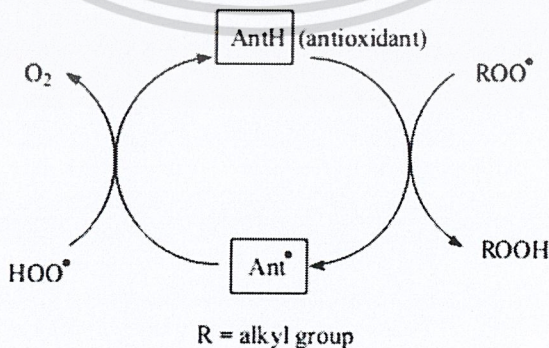
1. Preventive antioxidant ป้องกันการเกิดอนุมูลอิสระ
2. Scavenging antioxidant ทำลายหรือยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น

โดยการทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียรขึ้น ซึ่งกลไกของปฏิกิริยา เกิดโดยการให้อิโตรเจนหรืออิเล็กตรอนแก่อนุมูลอิสระ ดังสมการ



รูปที่ 2.1 แสดงกลไกการยับยั้งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้น [17]

3. Chain breaking antioxidant ทำให้ลูกโซ่ของการเกิดอนุมูลอิสระสิ้นสุดลง เช่น วิตามินเอ ในรูปของเบต้าแคโรทีน ซึ่งมีคุณสมบัติการละลายได้ดีในไขมัน ดังนั้นจึงสามารถเข้าไปออกฤทธิ์ในการหยุดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมันที่เยื่อหุ้มเซลล์ โดยมีกลไกคือ เบต้าแคโรทีน (AntH) จะเป็นตัวให้อะตอมไฮโดรเจนกับอนุมูลอิสระลิปิดเปอร์ออกซี (LOO[•]) และอนุมูลอัลคอกซิล (ROO[•]) จากนั้นเบต้าแคโรทีนก็จะถูกเปลี่ยนเป็นสารที่ไม่อันตรายต่อเซลล์ (Ant[•]) และขับออกจากร่างกาย



รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการหยุดปฏิกิริยาลูกโซ่ของสารต้านอนุมูลอิสระ [18]

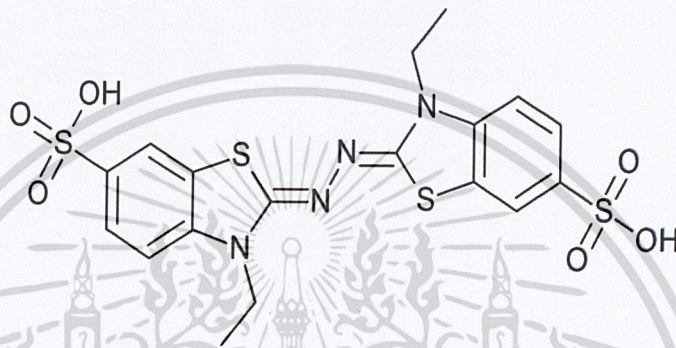
2.1.3 ตารางแสดงชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในพืช [19]

ชนิดของพืช	ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระ
ชาเขียว	อีพิกัลโลแคทีชินแกลเลต อีพิกัลโลแคทีชิน และ อีพิกัลโลแคทีชินแกลเลต
กานพลู ข่า ตะไคร้	ยูจินอล
วานิลลา	วานิลลิน
ขิง	จินเจอร์อล (gingerol)
พริก	แคปไซซิน (capsaicin)
งา	เซซามอล เซซามอลไดเมอร์ เซซาโมลินอล และเซซามินอล
ผักและผลไม้ที่มีสีเหลือง สีสแดง หรือสีเข้ม บางชนิด	แคโรทีนอยด์
ถั่วเหลือง	เจเนสทีน ไอโซฟลาโวน (isoflavone)
ผักและผลไม้ที่มีสีม่วงและสีแดงบางชนิด เช่น องุ่น มะเขือม่วง ลูกหว้า หนามแดง	แอนโทไซยานิน
โรสแมรี่	คาร์โนซอล กรดโรสมารินิก กรดคาร์โนซิก และโรสมาริตีฟีนอล
ขมิ้น	เทตระไฮโดรเคอร์คูมิน
พริกไทยดำ	กรดเพรูลิก
ผลไม้	วิตามินซี
ชา	เอสเทอร์ของกรดแกลลิก

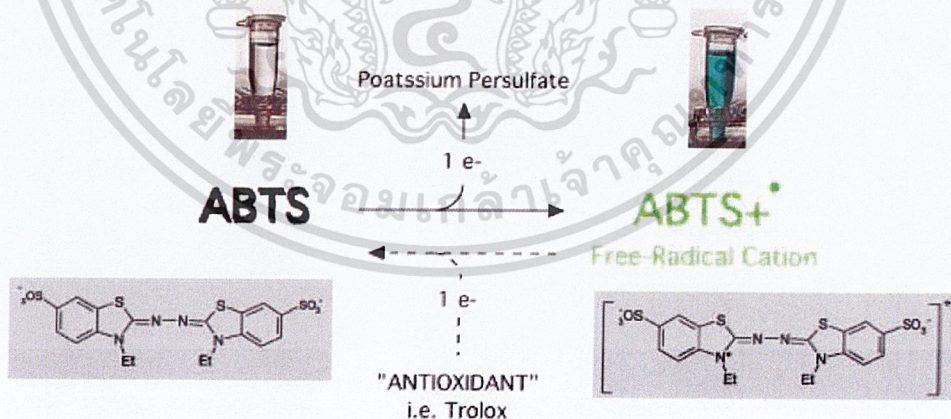
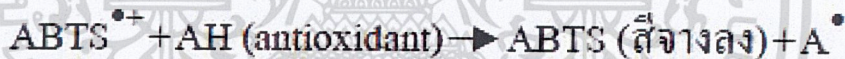
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดสอบด้วยวิธี ABTS radicalcation decolorization assay [9,11]

เป็นวิธีการวัดความสามารถในการฟอกสีอนุมูลอิสระเอบีทีเอส โดยใช้ reagent คือ ABTS หรือ 2,2'-azinobis-[3-ethylbenzthiazoline-6-sulfonic acid] มีสูตรโมเลกุล คือ $C_{18}H_{18}N_4O_6S_4$ และโครงสร้างของ ABTS แสดงดังรูปที่ 2.4 มาทำให้เป็นอนุมูลอิสระโดยการถูกออกซิไดซ์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต ให้กลายเป็น $ABTS^{+\bullet}$ ซึ่งเป็นอนุมูลที่มีสีฟ้าเขียว สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่ความยาวคลื่น 734 นาโนเมตร ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้นั้นจะคำนวณจากความเข้มของสารละลายสีฟ้าเขียวของ $ABTS^{+\bullet}$ radical จะลดลง โดยจะรายงานผลเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานโทรล็อกซ์ แล้วรายงานในหน่วย TEAC (trolox equivalent antioxidant capacity)



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ ABTS [22]



รูปที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลอิสระ $ABTS^{+\bullet}$ กับ antioxidant [9,23]

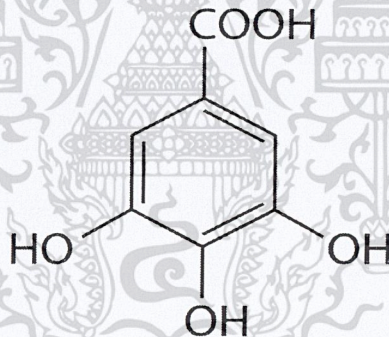
ข้อดีของวิธีนี้ คือ $ABTS^{+\bullet}$ ละลายได้ดีในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว และทำปฏิกิริยาได้ดีในช่วง pH กว้าง ส่วนข้อจำกัดของวิธีนี้คือ $ABTS^{+\bullet}$ ไม่เป็นสารธรรมชาติที่พบในร่างกายหรือเซลล์ของสิ่งมีชีวิตและต้องมีการทำปฏิกิริยากับสารอื่นก่อนถึงจะเกิดเป็นอนุมูลอิสระ [9] จึงสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การทดสอบด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric [11]

เป็นการวัดปริมาณสารประกอบกลุ่มฟีนอลิกทั้งหมด (Total phenolic content) โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดกับ วิธี Folin-Ciocalteu reagent ซึ่งประกอบด้วย phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagent สารดังกล่าวจะถูกรีดิวซ์โดย phenolic hydroxyl group ของสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเกิดเป็น tungsten และ molybdenum blue ซึ่งให้สีน้ำเงินและดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน แล้วรายงานผลเป็น มิลลิกรัมต่อกรัมกรดแกลลิก (mg/g Gallic acid equivalent, GAE)

2.2 กรดแกลลิก (Gallic acid)

กรดแกลลิก เป็นสารประเภทโพลีฟีนอล (polyphenol) ที่มีสูตรโมเลกุลทางเคมีคือ $C_7H_6O_5$ กรดแกลลิกเป็นกรดอินทรีย์ ทำหน้าที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่แรง [24] ช่วยป้องกันเซลล์จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) ช่วยป้องกันเซลล์จากความเครียดเมื่ออายุมากขึ้น ช่วยลดโรคหัวใจและโรคเมอริ่งในผู้สูงอายุ [25] โดยพบได้ในอาหารและสมุนไพร เช่น องุ่น แอปเปิ้ล มังคุด ใบชา ผลไม้ตระกูลเบอร์รี่ เปลือกไม้โอ๊ค วอลนัท ทับทิม และ ชิง เป็นต้น นอกจากนี้กรดแกลลิกยังสามารถยับยั้งเชื้อรา เชื้อไวรัส ได้อีกด้วย [26]



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของ Gallic acid [27]

2.3 ชิง (Ginger)

2.3.1 ข้อมูลทั่วไปของชิง [28]

ชิงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ *Zingiber officinale* Roscoe อยู่ในวงศ์ Zingiberaceae มีชื่อสามัญคือ Ginger มีชื่ออื่นๆ ว่า ชิงบ้าน ชิงป่า ชิงแครง ชิงเขา ชิงดอกเดี่ยว (ภาคกลาง) ชิงแดง ชิงแกลง (จันทบุรี) ชิงเผือก (เชียงใหม่), สะเอ (แม่ฮ่องสอน), เกีย (จีนแต้จิ๋ว)

2.3.2 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ชิงเป็นพืชล้มลุก มีลำต้นใต้ดิน ซึ่งมีลักษณะคล้ายมือหรือที่เรียกว่า “เหง้า” เปลือกเหง้ามีสีเหลืองอ่อน แต่เนื้อภายในมีสีเหลืองอมเขียว ชิงจัดเป็นพืชตระกูลเดียวกับข่า ขมิ้น กระวาน เรว็ด ไม้หอม ชิงอ่อนมีสีขาวอ้ออกเหลือง มีรสเผ็ดและกลิ่นหอม ยิ่งแก่ยิ่งมีรสเผ็ดร้อน ลำต้นบนดินมีลักษณะ

เป็นกอสูงประมาณ 90 เซนติเมตร ถ้าก้านใบเป็นกาบหุ้มซ้อนกัน ใบเป็นใบเดี่ยวออกสลับเรียงกันเป็นสองแถว มีรูปร่างคล้ายใบไผ่ ปลายใบเรียวแหลม ดอกมีสีขาวออกเป็นช่อบนยอดที่แยกออกมาจากลำต้นซึ่งไม่มีใบที่ก้านดอก ดอกมีลักษณะเป็นทรงพุ่มปลายดอกแหลม มีเกสรตัวผู้รอบๆดอกจะแซมออกมาตามเกสรตัวเมีย ผลมีลักษณะกลมแข็ง รูปของจึงแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงลักษณะของขิง [29]

2.3.3 สารเคมีและสารอาหารที่สำคัญ [30]

ในเหง้าขิงมีน้ำมันหอมระเหยประมาณ 1 - 3 % ขึ้นอยู่กับวิธีปลูกและช่วงการเก็บรักษา ในน้ำมันประกอบด้วยสารเคมี ที่สำคัญคือ ซิงจิเบอรีน (Zingiberene), ซิงจิเบอรอล (Zingiberol), ไบซาโบลี (bisabolene) แคมฟิน (camphene) และน้ำมัน (oleo - resin) ในปริมาณสูง เป็นส่วนที่ทำให้ขิงมีกลิ่นฉุน และมีรสเผ็ด ส่วนประกอบสำคัญในน้ำมันชั้น ได้แก่ จินเจอร์อล (gingerol), โวกาออล (shogaol), ซิงเจอโรน (zingerone) และมีคุณสมบัติเป็นยากัดบูดและกันเหี่ยว ใช้ใส่ในน้ำมันหรือไขมัน เพื่อป้องกันการบูดเหี่ยว สารที่ทำให้ขิงมีคุณสมบัติเป็นยากัดบูด กันเหี่ยวได้คือ สารจำพวกฟีนอลิก

กลิ่นหอมเฉพาะตัวของขิงเกิดจากน้ำมันหอมระเหยในเหง้า ซึ่งมีสารสำคัญคือ เซสควิเทอร์พีน, ไฮโดรคาร์บอน, เซสควิเทอร์พีน, แอลกอฮอล์, โมโนเทอร์พีนอยด์, เอสเตอร์, ฟีนอล, รสเผ็ดร้อนและกลิ่นฉุนเกิดจากน้ำมันชั้นในเหง้า เช่นเดียวกัน ส่วนประกอบอื่นๆ คือ แป้งและยางเมือก นอกจากนี้ ขิงยังมีสารอาหารที่มีคุณค่าต่อร่างกายอีก คือ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต แคลเซียม วิตามินเอ ฯลฯ

2.3.4 ประโยชน์ของแต่ละส่วนของขิง

เหง้า รสหวานเผ็ดร้อน ขับลม แก้ท้องอืด จุกเสียด แน่นเฟ้อ คลื่นไส้อาเจียน แก้อบไอ ขับเสมหะ แก้บิด เจริญอากาศธาตุ สารสำคัญในน้ำมันหอมระเหยจะออกฤทธิ์ กระตุ้นการบีบตัวของกระเพาะอาหารและลำไส้ ใช้เหง้าแก่ทุบหรือบดเป็นผง ชงน้ำดื่ม แก้อาการคลื่นไส้ อาเจียน แก่จุกเสียด แน่นเฟ้อ เหง้าสด ตำคั้นเอาน้ำผสมกับน้ำมะนาว เติมน้ำเกลือเล็กน้อย จิบแก้ไอ ขับเสมหะ

ต้น รสเผ็ดร้อน ขับลมให้ผายเรอ แก่จุกเสียด แก้ท้องร่วง

ใบ รสเผ็ดร้อน บำรุงกำลัง แก้ฟกช้ำ แก้ไข้ แก้ขัดปัสสาวะ แก้โรคตา ผ่าพยาธิ

ไม่ว่ากรณีใดๆ พงสน อักทงห้ามมีเหตุดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดอก	รสเผ็ดร้อน แก้โรคประสาทซึ่งทำให้ใจชุ่มมัว ช่วยย่อยอาหาร แก้ขัดปัสสาวะ
ราก	รสหวานเผ็ดร้อนขม แก้แน่น แก้คอเสมหะ เจริญอาหาร แก้ลม แก้เสมหะ แก้บิด
ผล	รสหวานเผ็ด บำรุงน้ำนม แก้ไข้ แก้คอแห้ง เจ็บคอ แก้ตาฟาง เป็นยาอายุวัฒนะ

2.3.5 ข้อมูลทางวิทยาศาสตร์

1. ฤทธิ์ในการแก้ไอเจียน ซึ่งมีฤทธิ์แก้ไอเจียนจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

1.1 การไอเจียนจากการตั้งครรภ์

ซิงและวิตามินบี 6 มีผลลดการคลื่นไส้ อาเจียนในหญิงตั้งครรภ์ได้ เปรียบเทียบผลของซิงกับวิตามินบี 6 พบว่าซิงขนาด 1.05 กรัม/วัน มีผลลดการคลื่นไส้ อาเจียนได้ดีเทียบเท่ากับวิตามินบี 6 ขนาด 75 มิลลิกรัม/วัน ซึ่งซิงมีฤทธิ์ปานกลางในการแก้คลื่นไส้ อาเจียน และไม่มีผลเพิ่มอัตราการพิการของทารก

1.2 การไอเจียนจากยามะเร็งและฉายรังสี

ซิง สามารถต้านการคลื่นไส้ อาเจียนในผู้ป่วยที่เป็นมะเร็งในเม็ดเลือดที่ได้รับยา compazine ได้

1.3 การไอเจียนจากสาเหตุอื่นๆ

การใช้ซิง มีผลลดการไอเจียนได้

2. ฤทธิ์ขับลม

ซิงสามารถลดอาการจุกเสียดได้ดีเนื่องจากมีน้ำมันหอมระเหยซึ่งช่วยขับลม พบสารออกฤทธิ์คือ menthol, cineole ทั้งยังพบว่าสารสกัดอะซีโตน (75 มิลลิกรัม/กิโลกรัม) shogaol และ gingerol ทำให้เกิด propulsive movement จึงช่วยขับลม

3. ฤทธิ์ขับน้ำดี

สารสกัดอะซีโตน และผงซิงมีฤทธิ์ขับน้ำดีจึงช่วยย่อย นอกจากจะมี borneol และ fenchone ซึ่งทราบดีว่ามีฤทธิ์ขับน้ำดีแล้ว ในซิงยังมี 6-gingerol และ 10-gingerol ที่มีฤทธิ์ขับน้ำดี เช่นกัน

4. ฤทธิ์ลดการบีบตัวของลำไส้

สารสกัดน้ำจากตำรับที่มีซิงเป็นส่วนประกอบ ความเข้มข้น 0.1 กรัม./มิลลิลิตร และอีกตำรับหนึ่งที่มีความเข้มข้น 1-5 มิลลิกรัม./มิลลิลิตร มีฤทธิ์ลดการบีบตัวของลำไส้เล็ก

5. ฤทธิ์ต้านการเกิดแผลในกระเพาะอาหาร

ตำรับยาที่มีซิงเป็นส่วนประกอบ ใช้เป็นยารักษาแผลในกระเพาะอาหาร และกระเพาะอาหารอักเสบได้ แคปซูลที่มีสารสกัดซิงประกอบอยู่ 10-70% มีผลรักษาแผลในกระเพาะอาหาร ยับยั้งการหลั่งกรด ลดความเป็นกรดและการทำงานของเอนไซม์ pepsin และบรรเทาอาการปวดเกร็งของกระเพาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ฤทธิ์ลดการอักเสบ

รับประทานขิงผงในหลายๆ ขนาด เป็นระยะเวลาตั้งแต่ 3 เดือน ถึง 2.5 ปี พบว่า 75% ของผู้ป่วยโรคข้อมืออาการปวดและบวมลดลง และผู้ป่วย muscular discomfort ทั้งหมดหายปวด ซึ่งกลไกในการลดอาการปวดเนื่องมาจากการยับยั้งการสร้าง prostaglandin และ leukotriene เมื่อให้ผู้ป่วยโรคข้ออักเสบ จำนวน 7 คน รับประทานขิง ขนาด 5 กรัม/วัน นาน 3 เดือน พบว่ามีผลลดอาการอักเสบปวดบวม และข้อขัดของผู้ป่วยได้

7. ฤทธิ์แก้ไอ

ขิงในรูปแบบของเครื่องต้มร้อน มีฤทธิ์แก้ไอและรักษาอาการหวัดได้ สารสำคัญที่ออกฤทธิ์ คือ 6-shogaol เมื่อให้ผู้ป่วยที่มีอาการไอ รับประทานยาแก้ไอสมุนไพรที่มีขิงเป็นหนึ่งในส่วนประกอบ ร่วมกับยาปฏิชีวนะ เป็นเวลา 7 วัน พบว่าผู้ป่วยมีอาการไอลดลงได้เร็วกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับประทานยาแก้ไอสมุนไพร

2.4 วัสดุระดับนาโน [31]

วัสดุระดับนาโนเป็นวัสดุที่กำลังอยู่ในความสนใจของนักวิทยาศาสตร์ ศักยภาพของวัสดุนาโนสามารถปฏิวัติงานทางด้านวัสดุศาสตร์ให้เกิดประโยชน์อย่างมหาศาล คุณสมบัติของวัสดุนาโนมีการเปลี่ยนแปลงไปจากคุณสมบัติเดิมของวัสดุนั้นๆ คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงดังกล่าวถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านวิศวกรรมศาสตร์ แพทยศาสตร์ วัสดุศาสตร์ วิทยาศาสตร์พื้นฐาน และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ อย่างไรก็ตามวัสดุนาโนอาจจะทำให้เกิดผลกระทบในหลายด้านซึ่งสามารถป้องกันไว้ก่อนได้ โลกในอนาคตจะให้ความสำคัญต่อศาสตร์แห่งนาโนยิ่งขึ้นวัสดุนาโนสามารถจะจัดแบ่งได้ผลึกนาโน (nanocrystalline) และอนุภาคนาโน (nanoparticles) โดยที่ก้อนหรือปริมาตรของผลึกนาโนประกอบด้วยเมล็ดผลึก (grain sizes) ที่มีขนาดช่วงสเกลการวัดอยู่ในระดับนาโน ถึงประมาณ 100 นาโนเมตร แต่ขณะที่อนุภาคนาโนมีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่าที่ 100 นาโนเมตร ดังนั้นก้อนหรือปริมาตรของวัสดุที่เป็นผลึกนาโนจึงประกอบขึ้นหรือเกิดจากการรวมกลุ่มกันของอนุภาคนาโนนั่นเอง การศึกษาค้นคว้าวิจัยทางด้านวัสดุนาโนต้องใช้ความพยายามสูงมีความเกี่ยวข้องกันในหลายๆ สาขาวิชา รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ของนักวิจัยในสาขาต่างๆ เช่น ฟิสิกส์ เคมี วิศวกรรมศาสตร์ และวัสดุศาสตร์ หรือแม้กระทั่งชีววิทยาและการแพทย์งานวิจัยวิทยาศาสตร์พื้นฐานของวัสดุนาโนเป็นสิ่งสำคัญที่นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจเช่นกัน มีความคิดเห็นหลายประเด็นที่จะกล่าวถึง ศักยภาพของวัสดุนาโนที่มีประโยชน์อย่างมากมาย เช่น ในทางอุตสาหกรรม การสังเคราะห์วัสดุที่มีความบริสุทธิ์สูง การเพิ่มคุณค่าทางเศรษฐกิจและสภาพแวดล้อม คุณสมบัติเฉพาะของโครงสร้างใหม่และคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุนาโน

2.4.1 อนุภาคระดับนาโน (Nanoparticles)

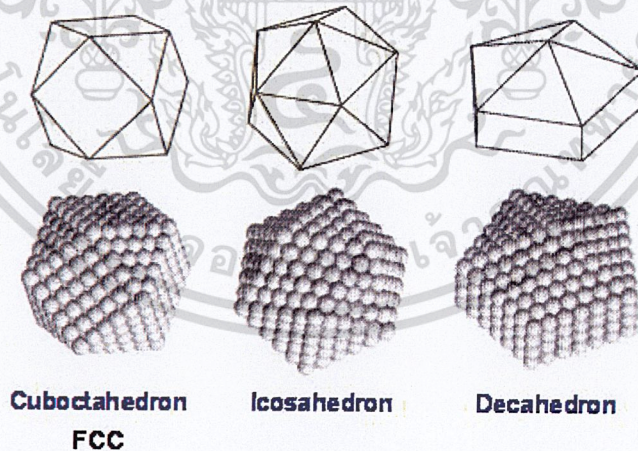
เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมากกว่า 100 นาโนเมตร ซึ่งอาจจะมีรูปร่างเป็นทรงกลมและทรงกระบอก เป็นต้น แต่รูปร่างที่สังเคราะห์ได้ง่ายจะเป็นรูปทรงกลม โดยวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนมีด้วยกันหลายวิธี อย่างเช่น การรีดิวซ์ทางเคมี (Chemical reduction) การปล่อยประจุสปาร์ก (Spark discharge) การฉายรังสีสารละลาย (Solution irradiation) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูช่างานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นต้นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนุภาคระดับนาโนจะมีสมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก สมบัติเชิงแสง สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงเคมีแตกต่างไปจากวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่กว่า เนื่องจากวัสดุหรือโครงสร้างที่มีขนาดในระดับนาโนถูกจัดว่าเป็นโครงสร้างที่มีระบบมิติต่ำ (Low-dimensional system, LDSs) ทั้งนี้เนื่องจากมิติทางกายภาพ (กว้าง ยาว และสูง) ของวัสดุหรือโครงสร้างนาโนอย่างน้อยหนึ่งมิติจะถูกจำกัดขนาดอยู่ในช่วง 1 ถึง 100 นาโนเมตรเท่านั้น ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในวัสดุหรือโครงสร้างนาโนแตกต่างไปจากวัสดุก้อนใหญ่ (Bulk materials)

1. โครงสร้างผลึก

เนื่องจากผลึกแบบก้อนใหญ่ (Bulk crystal) ของโลหะจะมีโครงสร้างที่ประกอบไปด้วยหน่วยซ้ำๆ กันที่เรียกว่า แลตทิซ (Lattice) และมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระบบ แต่สำหรับผลึกโลหะขนาดนาโนเมตร (Metal nanocrystals) จะมียุคประกอบเป็นกลุ่มก้อนของอะตอมไม่ก็ร้อยอะตอม ทำให้อะตอมส่วนมากเป็นอะตอมที่อยู่ในบริเวณผิวสัมผัสของโครงสร้างกลุ่มก้อน โดยรูปทรงกลมของผลึกที่มีสภาวะสมดุลนั้นเกิดจากการพยายามจัดรูปทรงของผลึกให้มีพลังงานอิสระบริเวณหน้าต่อหน่วยปริมาตรน้อยกว่าเท่าที่จะเป็นไปได้สำหรับผลึกขนาดใหญ่ การจัดรูปทรงของผลึกจะเป็นไปตามกฎเกณฑ์แบบ “Wulff Construction” แต่ผลึกที่มีขนาดระดับนาโนอาจมีรูปทรงที่แตกต่างไปจากกฎเกณฑ์ดังกล่าว ทั้งนี้อาจเกิดจากการที่ผลึกนาโนมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงจึงทำให้ผลึกนาโนหรือกลุ่มก้อนมีการจัดเรียงตัวกันใหม่กลายเป็นผลึกที่มีรูปทรงใหม่ๆ ที่ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในผลึกขนาดใหญ่ จากการศึกษาพบว่าอนุภาคนาโนทองคำโดยส่วนใหญ่จะมีรูปร่างผลึกเป็นแบบทรงแทคคิวบอออกตาฮีดรอน (truncated cuboctahedron) อย่างไรก็ตามมีการค้นพบว่าผลึกนาโนทองคำมีรูปร่างเรขาคณิตแบบอื่นๆ อีกด้วย เช่น เดคาฮีดรอน (decahedron) ไดเดคาฮีดรอน (dodecahedron) และไอโคซะฮีดรอน (icosahedron) ดังที่แสดงในรูป 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะโครงสร้างผลึกโลหะในระดับนาโนของกลุ่มก้อนอะตอม [32]

2. สมบัติที่เปลี่ยนไปของอนุภาคระดับนาโน

คุณสมบัติในการดูดกลืนแสงที่เปลี่ยนไป อนุภาคระดับนาโนจะมีสีที่แตกต่างไปจากวัสดุชนิดเดียวกันแต่มีขนาดใหญ่กว่า เช่น ทองคำแบบก้อนใหญ่มีสีเหลือง อันเนื่องมาจากทองคำสามารถดูดกลืนแสงสีน้ำเงินในช่วงปลายของสเปกตรัมคลื่นแสงที่มองเห็นได้ แต่ถ้าย่อขนาดทองคำให้เล็ก

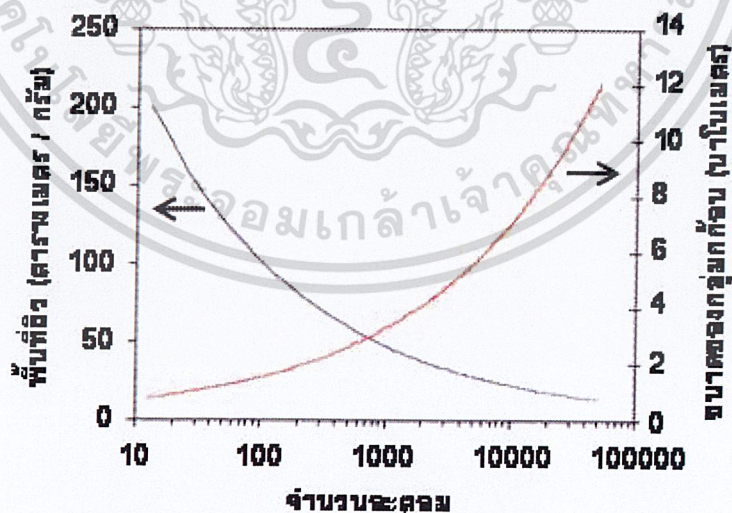
ลงไปเรื่อยๆจนมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่มาจากกระทบมากๆ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า Surface Plasmon Resonance (SPR) ซึ่งเป็นคลื่นความหนาแน่นของประจุที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระที่มีลักษณะการสั่นพร้อมเพรียงกัน เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อโลหะกับสารไดอิเล็กทริก เช่นระหว่างทองคำกับอากาศหรือสารละลาย โดยที่ขนาดยอดคลื่น และความกว้างของสเปกตรัมพลาสมอนเรโซแนนซ์ของวัสดุต่างๆจะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ประเภทของวัสดุ และสภาพแวดล้อมรอบๆวัสดุนั้น ซึ่งจะทำให้อนุภาคทองคำเปลี่ยนไปดูดกลืนแสงสีเขียว (ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร) ซึ่งจะส่งผลให้อนุภาคนาโนทองคำมีสีแดงทับทิมแทนที่จะเป็นสีเหลืองวาวอย่างที่พบได้ทั่วไป

อย่างไรก็ตามถ้าควบคุมให้อนุภาคนาโนทองคำให้กลับมารวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะทำให้ทองคำเปลี่ยนไปเป็นสีอื่นได้ตั้งแต่สีชมพูจนถึงสีม่วง ซึ่งปรากฏการณ์นี้เองสามารถนำทองคำในระดับนาโนไปประยุกต์ใช้ในการเป็นไบโอเซ็นเซอร์ ตรวจจับสารชีวภาพชนิดต่างๆ เป็นต้น

โลหะชนิดอื่น นอกเหนือไปจากทองคำก็สามารถแสดงปรากฏการณ์เชิงแสงในลักษณะเดียวกันนี้ได้เช่นกัน เช่น อนุภาคนาโนของซิลเวอร์จะมีสีเหลืองเข้มแทนที่จะเป็นสีเงินวาว อย่างไรก็ตามโลหะส่วนใหญ่จะมีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ในช่วงใกล้อินฟราเรดซึ่งอยู่นอกสเปกตรัมของช่วงแสงที่มองเห็น นอกจากนี้อนุภาคนาโนของโลหะเกือบทุกชนิดไม่สามารถคงตัวอยู่ในรูปอนุภาคนาโนได้นานในสภาวะแวดล้อมตามปกติ ทำให้ไม่ค่อยพบปรากฏการณ์นี้ในโลหะชนิดอื่นๆ

3. พื้นที่ผิวหน้าที่เปลี่ยนไปและความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาเคมี

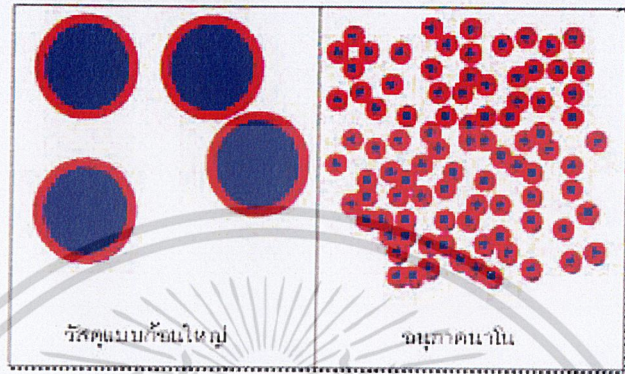
วัสดุที่มีขนาดในระดับนาโนเมตรจะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (surface-to-volume) สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่า เช่น อนุภาคทองคำที่มีขนาด 2 นาโนเมตรจะมีพื้นที่ผิวสูงถึง 150 ตารางเมตรต่อกรัม



รูปที่ 2.9 ภาพแสดงการประมาณจำนวนอะตอมและพื้นที่ผิวของอนุภาคทองคำนาโน [32]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่คัดสรรส่วนของอะตอมผิวหน้าจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง เช่น อนุภาคนาโนที่ไม่ว่ามีขนาด 3 นาโนเมตร จะมีจำนวนอะตอมอยู่ที่บริเวณผิวหน้าประมาณร้อยละ 45 แต่เมื่ออนุภาคมี

ขนาดเล็กลงเหลือ 1 นาโนเมตร จะมีจำนวนอะตอมอยู่ที่บริเวณผิวหน้าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 76 ซึ่งจากวัสดุนาโนมีอะตอมจำนวนมากอยู่ที่บริเวณผิวหน้าจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวหน้าวัสดุได้ง่ายและยังเป็นการส่งเสริมให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ อันเนื่องมาจากอิทธิพลของเคมีผิวหน้าประโยชน์ที่ได้จากการเพิ่มปริมาณพื้นที่ผิวของอนุภาคนาโนที่เห็นได้ชัดเจน คือ การนำไปใช้ในการเร่งปฏิกิริยาเคมีและการใช้เป็นตัวกรองแบบพิเศษ



รูปที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนอะตอมผิวหน้าของวัสดุแบบก้อนใหญ่กับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ในระดับนาโน [32]

การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีของวัสดุ เมื่อวัสดุมีปริมาณอะตอมผิวหน้ามากขึ้น อาจมีสาเหตุมาจากอิทธิพลอิเล็กทรอนิกส์และอิทธิพลสเตอริก (electronic and steric effect) โดยที่อิทธิพลอิเล็กทรอนิกส์ (electronic effect) จะเกี่ยวข้องกับความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่บริเวณศูนย์กลางปฏิกิริยา (reaction center) เช่นการเกิดประจุบวกหรือประจุลบขึ้น ส่วนอิทธิพลสเตอริก (steric effect) จะเกี่ยวข้องกับลักษณะ รูปร่าง และความเกะกะภายในโครงสร้าง

นาโนเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการประกอบอะตอมหรือโมเลกุลให้กลายเป็นโครงสร้างสังเคราะห์ที่เล็กในระดับนาโนเมตร (nanostructures) โครงสร้างดังกล่าวนี้มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีต่างๆ มาก โดยเฉพาะการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีของสารโลหะบางชนิดซึ่งปกติแล้วมักจะมีชั้นผิวออกสุดเป็นสารประกอบออกไซด์ที่มีความหนาอย่างน้อยหลายไมโครเมตร ดังนั้นถ้านำสารโลหะชนิดเดียวกันนี้มาสังเคราะห์เป็นโครงสร้างในระดับนาโนเมตร ก็จะทำให้โครงสร้างนาโนของโลหะชนิดนี้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันทั้งโครงสร้าง ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาในการนำอนุภาคนาโนหรือฟิล์มบางนาโนที่เป็นสารประกอบออกไซด์หรือซิลิเกตไปใช้ประโยชน์เพราะว่าทุกส่วนของโครงสร้างนาโนเหล่านี้ล้วนแล้วแต่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศไปเรียบร้อยแล้วทั้งสิ้น

ตัวอย่างการนำโครงสร้างนาโนที่เป็นสารประกอบออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ การใช้เป็นส่วนผสมของครีมกันแดด (ZnO, TiO_2) ใช้เป็นวัสดุสำหรับสำหรับอุตสาหกรรมแผ่นเวเฟอร์ ซิลิกอนใช้เป็นฟิลเลอร์ (filler) สำหรับพอลิเมอร์และใช้เคลือบผิวหน้าของวัสดุต่างๆ ให้กลายเป็นวัสดุทำความสะอาดตัวเอง เป็นต้น

แต่ในทางกลับกัน ถ้าต้องการให้โครงสร้างนาโนเหล่านี้สามารถนำไฟฟ้าได้หรือต้องการนำโครงสร้างนาโนไปเชื่อมติดกับโมเลกุลสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนชนิดต่างๆ ก็จำเป็นต้องหาวิธีการที่ป้องกันไม่ให้ผิวหน้าของโครงสร้างนาโนเหล่านี้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยกตัวอย่างเช่น การปกป้อง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิวหน้าของโครงสร้างนาโนที่เป็นสารประกอบซิลิเกตด้วยการเคลือบด้วยฟิล์มที่เป็นชั้นโมเลกุลไฮโดรเจน

4. จุดหลอมเหลวที่เปลี่ยนไป

จุดหลอมเหลว (melting point) ของทองคำแบบก้อนใหญ่คือ 1,064 องศาเซลเซียส แต่อนุภาคนาโนทองคำ ที่มีขนาดเท่ากับ 5, 2 และ 1 นาโนเมตรจะมีจุดหลอมเหลวลดลงเหลือแค่ประมาณ 830, 350 และ 200 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หรือแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ที่มีขนาดผลึกในระดับนาโนเมตรจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าแคดเมียมซัลไฟด์แบบก้อนใหญ่โดยเมื่อขนาดผลึกยิ่งเล็กลงก็ยิ่งทำให้จุดหลอมเหลวของแคดเมียมซัลไฟด์ต่ำลงไปด้วย ส่วนสาเหตุที่อาจทำให้อนุภาคนาโนของโลหะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าปกติเกิดจากอนุภาคนาโนมีปริมาณอะตอมผิวหน้ามากโดยที่อะตอมผิวหน้าจะมีระดับพลังงานที่ใช้ในการยึดติดกันและกันน้อยกว่าที่พบในของแข็งปกติและจากอิทธิพลเคลวิน (Kelvin effect) จะพบว่าอนุภาคนาโนจะมีความดันไอสูงขึ้น ซึ่งจะทำให้ระเหยได้ง่ายขึ้น ดังนั้นจึงพบว่าทองคำที่มีขนาดผลึกในระดับนาโนเมตรจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าทองคำแบบก้อนใหญ่โดยเมื่อขนาดอนุภาคยิ่งเล็กลงก็ยิ่งทำให้จุดหลอมเหลวของทองคำต่ำลงไปด้วย

2.4.2 การสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโน

วิธีการเตรียมอนุภาคนาโนโลหะ สามารถเตรียมได้หลายวิธี ได้แก่

1. การบด (grinding) เป็นกระบวนการเตรียมผงละเอียดด้วยการลดขนาดทางกลของอนุภาคขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง เช่น การบดย่อยด้วยลูกบอล การบดย่อยแบบลูกกลิ้งแรงอัดสูง การบดย่อยแบบเจท หรือแม้กระทั่งการบดมือ (อาจใช้ครกหยกเนื่องจากมีความเฉื่อยต่อปฏิกิริยาสูง) ที่ต้องอาศัยเวลาในการบดค่อนข้างนาน

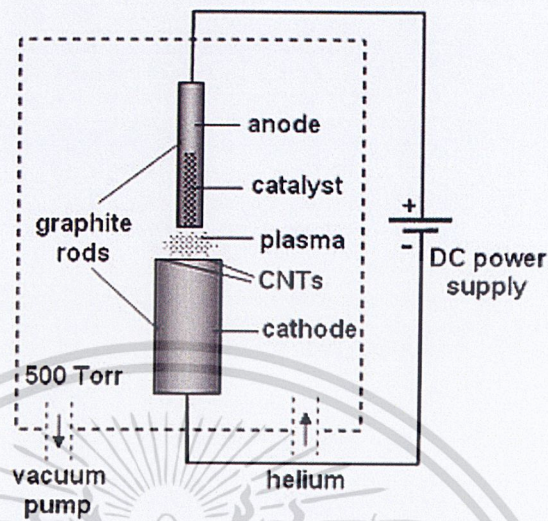


รูปที่ 2.11 เครื่อง Ball Mill เป็นการบดย่อยด้วยลูกบอล [33]

2. อาร์กดิสชาร์จ (arc discharge) เป็นการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงตกร่วมระหว่างแท่งโลหะสองแท่ง ทำให้เกิดประกายไฟหรือเกิดสถานะพลาสมาขึ้นระหว่างแท่งโลหะนี้ ภายใต้สภาวะปกติ หรือกระทำในตัวกลางที่เป็นของเหลว ผลลัพธ์คือได้อนุภาคนาโนของโลหะตรงบริเวณกลางๆ ขั้วของแท่งโลหะ ส่วนการควบคุมขนาด อาจทำได้โดยการควบคุมอุณหภูมิและความสม่ำเสมอของพลาสมา ในงานวิจัยของ Lung และคณะ รายงานว่าการควบคุมไอของโลหะสามารถเกิดใน

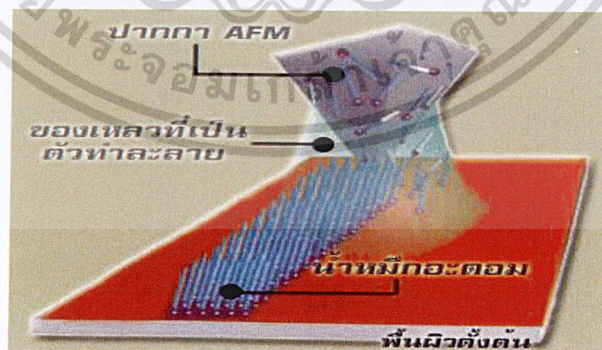
เอกสารนี้สืบค้นจากเว็บไซต์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ โดยใช้ระบบสืบค้นข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์อัตโนมัติ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเหลวที่เป็นฉนวน (dielectric liquid) ได้ดีกว่าก๊าซ และอนุภาคนาโนของทองคำที่เตรียมได้ในตัวกลางที่เป็นน้ำมีการแยกตัวได้ดี



รูปที่ 2.12 แสดงถึงวิธีการอาร์คดิสชาร์จ [34]

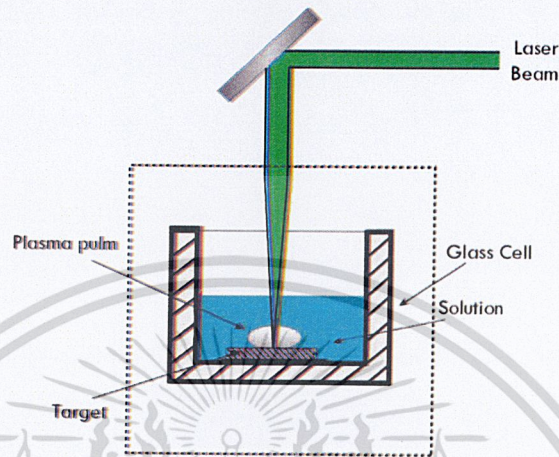
3. ลิโทกราฟี (lithography) เปรียบเหมือนกับการแกะสลักหรือการวาดบนพื้นผิวของแข็ง (เป็นการจัดการกับของแข็งชิ้นใหญ่นำมาแกะสลักให้เป็นของชิ้นเล็ก) ซึ่งเทคโนโลยีลิโทกราฟีเป็นวิธีการหลักที่ถูกนำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ แต่สำหรับวิทยาศาสตร์ระดับนาโนนั้น จำเป็นที่จะต้องพัฒนาวิธีการของเทคโนโลยีลิโทกราฟีนี้ให้สามารถก่อสร้างโครงสร้างในระดับนาโนเมตรได้ เพราะลิโทกราฟีในระดับนาโนไม่สามารถใช้แสงที่มองเห็นได้ในการจัดการ (แสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400-900 นาโนเมตร ซึ่งใหญ่เกินกว่าโครงสร้างระดับนาโน) ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาหลากหลายวิธีการ เพื่อให้วิธีการลิโทกราฟีสามารถใช้ผลิตโครงสร้างระดับนาโนได้



รูปที่ 2.13 แสดงถึงหลักการสร้างโครงสร้างของวิธีลิโทกราฟี [35]

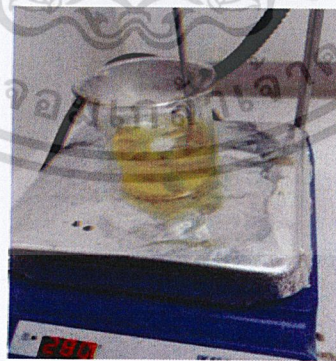
4. พัลส์เลเซอร์อะเบลชัน (pulsed laser ablation) เป็นวิธีการที่ให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคือแสงเลเซอร์กับโลหะที่ต้องการเตรียมเป็นอนุภาคนาโน จากนั้นบริเวณผิวของโลหะจะมีการดูดกลืนไม่ว่าพลังงานที่ตกกระทบและเกิดความร้อนสูงแล้วมีการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นไอของโลหะ จากนั้นเกิด

การควบแน่นเป็นอนุภาคนาโนของโลหะ มีรายงานว่า การควบแน่นไอของโลหะสามารถเกิดในตัวกลางที่เป็นของเหลวได้ดี ส่วนการควบคุมขนาดสามารถทำได้โดยการควบคุมด้วยพลังงานของแสงเลเซอร์ ชนิดของตัวกลางที่เป็นของเหลว หรือแม้กระทั่งความเข้มข้นของไอของโลหะก็เป็นตัวกำหนดขนาดของอนุภาคโลหะ



รูปที่ 2.14 แสดงถึงหลักการสร้างโครงสร้างของวิธีพัลส์เลเซอร์อะเบลชัน [36]

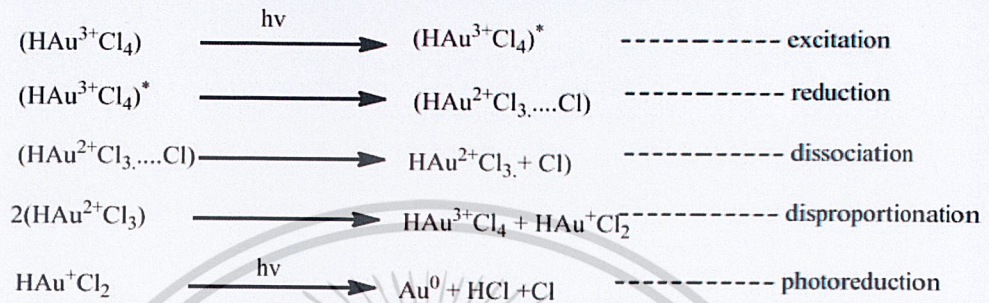
5. รีดักชันทางเคมี (chemical reduction) เป็นวิธีการทางเคมีที่เตรียมจากไอออนของโลหะซึ่งมีเลขออกซิเดชันเป็นบวกหรือเป็นสารประกอบโลหะที่สามารถละลายในตัวกลางที่เป็นของเหลวและไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นอนุภาค เมื่อไอออนของโลหะได้รับอิเล็กตรอนจากตัวรีดิวซ์จะเปลี่ยนเป็นอะตอมของโลหะที่มีเลขออกซิเดชันเป็นศูนย์ จากนั้นเกิดการควบแน่นเป็นอนุภาคของโลหะ ส่วนการควบคุมขนาดสามารถทำได้โดยการควบคุมด้วยอัตราส่วนโดยโมลระหว่างตัวรีดิวซ์กับสารประกอบโลหะ ชนิดของตัวรีดิวซ์ และชนิดของสแตบิไลเซอร์ (stabilizer)



รูปที่ 2.15 แสดงถึงการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนโดยวิธีรีดักชันทางเคมี

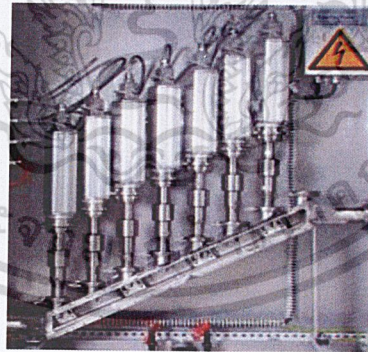
6. โฟโตเคมีสตรี้ (photochemistry) เป็นการให้แสงที่มีพลังงานพอดีกับพลังงานพันธะ เพื่อให้เกิดการดูดกลืนแสงของสารตั้งต้น จากนั้นสารตั้งต้นที่มีพลังงานสูงขึ้นก็จะพยายามจัดการกับพลังงานส่วนเกินนี้ในหลายๆวิธี ซึ่งหนึ่งในนั้นก็คือการเกิดปฏิกิริยาเคมีนั่นเอง เรียกว่า ปฏิกิริยา

โฟโตเคมี (photochemical reaction) สำหรับการเตรียมอนุภาคนาโนของโลหะ เช่น ทองคำ หรือ ซิลเวอร์ โดยปฏิกิริยาโฟโตเคมี จะใช้สารที่ให้อิเล็กตรอนเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสง เช่น โลหะออกไซด์ เมื่อไอออนของโลหะซึ่งมีเลขออกซิเดชันเป็นบวกหรือเป็นสารประกอบโลหะ ได้รับอิเล็กตรอนจากสารที่มีสมบัติตอบสนองต่อแสง หรือผู้ให้อิเล็กตรอน (electron donors) แล้วเปลี่ยนเป็นอะตอมของโลหะที่มีเลขออกซิเดชันเป็นศูนย์ จากนั้นเกิดการควบแน่นเป็นอนุภาคของโลหะ



รูปที่ 2.16 สมการแสดงถึงกระบวนการโฟโตเคมีสตรี [37]

7. โซโนเคมีสตรี (sonochemistry) เป็นวิธีการทางเคมีที่เกิดจากไอออนของโลหะที่มีตัวเลขออกซิเดชันเป็นบวกหรือเป็นสารประกอบโลหะ ได้รับอิเล็กตรอนจาก radicals ในรายงานของ Reed และคณะ ได้อธิบายกรณีที่น่าได้รับคลื่นอัลตราโซนิก จะทำให้เกิดเป็น H และ OH radicals และให้อิเล็กตรอนแก่ไอออนของโลหะแล้วเปลี่ยนเป็นอะตอมของโลหะที่มีเลขออกซิเดชันเป็นศูนย์ จากนั้นเกิดการควบแน่นเป็นอนุภาคของโลหะในตัวกลางที่เป็นของเหลว



รูปที่ 2.17 แสดงถึงเครื่องปฏิกรณ์ Ultrasonic reactor ใช้ในการทำ sonochemical reaction [38]

2.4.3 อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Silver nanoparticles, AgNPs) [39]

นาโนเทคโนโลยีจัดเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวัสดุอินทรีย์ อนินทรีย์ และรวมไปถึงสารชีวโมเลกุลที่มีโครงสร้างสามมิติ ยาว กว้าง สูง ด้านใดด้านหนึ่งอยู่ระหว่าง 1-100 นาโนเมตร โดยวัสดุชนิดใดก็ตามถ้ามีมิติทั้งสามเล็กกว่า 100 นาโนเมตร วัสดุชนิดนั้นจะถูกเรียกว่า สาม-ดี วัสดุนาโน (3-D nanomaterial) ถ้ามีแค่ 2 หรือ 1 มิติที่เล็กกว่า 100 นาโนเมตร ก็จะถูก

เรียกว่าวัสดุ สอง-ดี (2-D) และหนึ่ง-ดี (1-D) ตามลำดับ คุณสมบัติของวัสดุนาโนจะแตกต่างจากวัสดุที่มีขนาดใหญ่ (bulk materials) ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ ล้วนแล้วแต่จะมีคุณสมบัติเฉพาะตัว

สำหรับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) นั้นก็จัดว่าเป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีขนาดตั้งได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งอาจมีรูปร่างหน้าตาแตกต่างกัน เช่น ทรงกลม ทรงกระบอก พีระมิด และอื่นๆ แต่รูปร่างที่สังเคราะห์ได้ง่ายจะเป็นพวกที่มีรูปทรงกลม (อาจมีลักษณะเบี้ยว) ซึ่งในวิธีการสังเคราะห์นั้นมีหลากหลายวิธี เช่น การรีดิวซ์ด้วยวิธีทางเคมี (Chemical reduction) การใช้เลเซอร์ยิง หรือแม้แต่การใช้กระแสไฟฟ้าทำให้เกิด Electrochemical reaction เป็นต้น นอกจากนี้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) นั้นมีประโยชน์ในเรื่องคุณสมบัติเชิงแสงซึ่งพบว่าอนุภาคนาโนของเงินไม่ได้มีสีเงินวาวเหมือนที่เราพบเห็นเงินเป็นก้อนๆ แต่อนุภาคระดับนาโนเหล่านี้สามารถกระเจิงแสงแล้วให้สีที่ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค เช่น ถ้าประมาณ 10 นาโนเมตรจะเป็นสีเหลือง เป็นต้น นอกจากนี้หากอนุภาคมีรูปร่างเปลี่ยนไปก็จะให้สีที่ต่างกันไป เช่น ทรงกลมกับทรงกระบอกจะให้สีที่ต่างกันจากการที่คุณสมบัติเชิงแสงของอนุภาคนาโนสามารถเปลี่ยนไปได้ ทำให้มีการนำเอาอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) มาทำอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ไวต่อแสง (sensor) สำหรับตรวจวัดทางชีวภาพ ตัวอย่างเช่น ตรวจเชื้อเอชไอวี เนื่องจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) จะให้ Surface Enhance Raman Scattering (SERS) โดยการนำเอาชิ้นส่วนทางชีวภาพ เช่น ปัสสาวะของคนที่เป็นโรคไปตรวจสอบด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในระดับนาโน (AgNPs) เพียงแค่หยดใส่แล้วจะเห็นการเปลี่ยนสีก็จะทำให้ทราบว่าคนนั้นเป็นโรคหรือไม่ โดยไม่ต้องทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ นอกจากนี้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) สามารถทำหน้าที่เป็น antibacterial agent ได้ด้วย เช่น การใส่เสื้อผ้าแล้วจะไม่มียุงกัด เนื่องจากมีการนำเอาอนุภาคนาโนซิลเวอร์ระดับนาโน (AgNPs) ไปเคลือบบนเสื้อผ้าซึ่งอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) จะไปฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ทำให้ไม่เกิดกลิ่นเหม็นและยังมีการนำเอาอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) มาทำเป็นยาแทน antibiotic ในปัจจุบันที่ใช้กันอยู่ แต่เนื่องจาก antibiotic นั้นมีข้อเสียคือ เชื้อสามารถดื้อยาได้ง่ายและส่งผลข้างเคียงสูงในขณะที่ข้อมูลจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) นั้นมีโอกาสที่เชื้อจะดื้อยาแทบจะไม่มีและไม่ส่งผลกระทบต่อข้างเคียง ดังนั้นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) สามารถยับยั้งการเพิ่มจำนวนหรือการติดเชื้อของไวรัสได้

1. การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ [40]

อนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธี เช่น การสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical) ไฟฟ้าเคมี (electrochemical) และทางแสง (photochemical) ในการสังเคราะห์ด้วยวิธีการรีดิวซ์ทางเคมีมีตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ที่ใช้หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือ โซเดียมบอโรไฮไดรด์ (sodium borohydride) และโซเดียมซิเตรท (sodium citrate) ทำให้การสังเคราะห์โดยวิธีนี้เป็นเทคนิคที่ง่าย ไม่ยุ่งยาก ใช้สารเคมีเพียงไม่กี่ชนิด แต่ขนาดและรูปร่างของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความบริสุทธิ์ของสารเคมีและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้อุณหภูมิของสารละลายและความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท (silver nitrate) และตัวรีดิวซ์ในงานวิจัยนี้ จึงได้เลือกใช้วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยวิธีการรีดิวซ์ทางเคมี โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรท และโซเดียมบอโรไฮไดรด์ ได้สารละลายสีเหลืองโดยปฏิกิริยาในการรีดิวซ์เป็นดังสมการที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\text{AgNO}_3 + \text{NaBH}_4 \longrightarrow \text{Ag}^0 + 1/2\text{H}_2 + 1/2\text{B}_2\text{H}_6 + \text{NaNO}_3 \dots\dots\dots(1)$$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ หวังสน อักษรห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรวจวัดกรดแกลลิกเพื่อใช้ประเมินสารต้านอนุมูลอิสระ

Xiaoxia Wang และคณะ [41] ได้ทำการตรวจวัดกรดแกลลิกในมะกอกโดยวิธี Flow injection chemiluminescent ซึ่งเป็นวิธีที่ขึ้นอยู่กับการปล่อย chemiluminescent ของระบบ alkaline luminol-KMnO₄ ด้วยกรดแกลลิก พบว่าความเข้มข้นกรดแกลลิกมีช่วงความเป็นเส้นตรงอยู่ในช่วง 1.0×10^{-9} ถึง 5.0×10^{-5} กรัมต่อมิลลิลิตร และมีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 2.2×10^{-10} กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (n=11) เท่ากับ 1.0×10^{-6} กรัมต่อมิลลิลิตร และมีกรดแกลลิกเท่ากับ 1.7%

Refat Abdel-Hamid และ Emad F. Newair [42] ทำการพัฒนาเซนเซอร์ทางเคมีไฟฟ้าโดยใช้โพลีอีพีนเฟรินเคลือบขั้วไฟฟ้ากลาสซีคาร์บอน เพื่อใช้ในการตรวจวัดกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่ำๆในชาดำ โดยใช้เทคนิค cyclic voltammetry ตรวจวัดในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ที่มีความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ พบว่าค่า redox cv wave ที่ดีของอีพีนเฟรินอยู่ในช่วง -0.10 ถึง 0.70 โวลต์ มี anodic square wave และ peak current ที่มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความเข้มข้นของกรดแกลลิกจาก 1.0 ถึง 20.0 ไมโครโมลาร์ มีขีดจำกัดต่ำสุดของการตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 6.63×10^{-7} โมลาร์

Feng Gao และคณะ [43] ศึกษาการตรวจวัดกรดแกลลิกด้วยวิธี electrochemical โดยใช้ขั้วทำงานเป็น CS-fFe₂O₃-ERGO glassy carbon electrode และทำการปรับปรุงขั้วเป็น CS-fFe₂O₃-ERGO/GCE ทำให้มีพื้นที่ผิวเพิ่มมากขึ้น กรดแกลลิกตอบสนองได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับการปรับปรุงขั้วด้วยสารประกอบเดียวภายใต้สภาวะการทดลองที่ดีที่สุด แสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ดีกับค่าลอการิทึมของความเข้มข้นแกลลิกที่มีค่ามากกว่าช่วง 1.0×10^{-6} โมลาร์ ถึง 1.0×10^{-4} โมลาร์ มีขีดจำกัดการตรวจวัดเท่ากับ 1.5×10^{-7} โมลาร์ และเซนเซอร์นี้ถูกนำมาใช้สำหรับประเมินสารต้านอนุมูลอิสระของตัวอย่างอย่างไวน์แดงและไวน์ขาว

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ

Keiko Narumi และคณะ [44] ได้ทำการพัฒนาวิธีวิเคราะห์สำหรับตรวจวัดคาเทชินในชาและวัดกรดแกลลิกในซีรัมของมนุษย์ในคราวเดียวกันหลังจากที่บริโภคเมล็ดชาที่มีสารสกัดจากชาเขียวโดยใช้เทคนิค ion-pair High-performance liquid chromatography กับ electrochemical

Siranoush Shahrzad และ Irmgard Bitsch [45] ได้ทำการศึกษากรดฟีนอลิกบางตัวที่เกี่ยวข้องกับงานทางเภสัชวิทยาในน้ำผลไม้ด้วยวิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง กรดฟีนอลิก เช่น กรดคาเฟอิก, กรดโครจินิก, กรดเฟอรูลิก, กรดแกลลิก และกรดเอลลาจิก ซึ่งเป็นสารตามธรรมชาติและเป็นสารที่ช่วยยับยั้งการเกิดมะเร็ง โดยงานวิจัยนี้จะทำการตรวจวัดกรดฟีนอลิกดังกล่าว ยกเว้นกรดเอลลาจิกในน้ำผลไม้ โดยวิธี reversed-phase high-performance liquid chromatography โดยใช้การตรวจวัดรังสีอัลตราไวโอเล็ตและเกี่ยวข้องกับการแยกสารโดยใช้อัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่คงที่ และได้ทำการพัฒนาวิธี HPLC ขึ้นมาใหม่สำหรับการตรวจวัดกรดเอลลาจิกในน้ำผลไม้ ผลการทดลองพบว่า ในน้ำเชอร์รี่มีกรดโครจินิกสูง และในน้ำองุ่นดำและองุ่นเขียวมีกรดแกลลิกสูงเมื่อเทียบกับกรดฟีนอลิกตัวอื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yoshiaki Amakura และคณะ [46] ได้ทำการตรวจวัดกรดฟีนอลิกทั้ง 5 ตัว ได้แก่ กรด แกลลิก, กรดโคโรจินิก, กรดคาเฟอิก, กรดเอลลาจินิก และกรดเฟอร์รูลิกในน้ำผลไม้ โดยวิธี HPLC ที่มี ตัวตรวจวัดเป็น photodiode array UV โดยการแยกสารจะใช้อัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่คงที่ และ เตรียมความเข้มข้นของสารตัวอย่างด้วยวิธี solid-phase extraction ก่อนไปวิเคราะห์ด้วย HPLC ซึ่งพบว่าน้ำลูกพรุนมีปริมาณกรดโคโรจินิกสูงเท่ากับ 190.2 ไมโครกรัมต่อกรัม ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่ากรดที่อยู่ในน้ำผลไม้อื่นๆ เช่น ในน้ำทับทิมมีกรดเอลลาจิกเท่ากับ 14.3 ไมโครกรัมต่อกรัม ใน น้ำแอปเปิ้ลมีกรดโคโรจินิกเท่ากับ 16.6 ไมโครกรัมต่อกรัม และในน้ำองุ่นมีกรดแกลลิกเท่ากับ 12.5 ไมโครกรัมต่อกรัม

จันทิมา นามโชติ [3] ศึกษาฤทธิ์สารต้านอนุมูลอิสระและแยกองค์ประกอบทางเคมีของ สารสกัดหยาดกิ่งมะขวิด โดยนำกิ่งมะขวิดสกัดด้วยเอทานอลและนำสารสกัดหยาดกิ่งมะขวิดที่มีฤทธิ์ ต้านอนุมูลอิสระมาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์โลชั่น ผลการวิจัยพบว่า สารสกัดหยาดจากกิ่งมะขวิดมี ปริมาณฟีนอลิกและแทนนินทั้งหมด เท่ากับ 42.08 และ 52.22 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ และมี ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 12.55 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ในขณะที่ BHT และ BHA มีค่า IC_{50} เท่ากับ 8.96 และ 9.61 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ ทำการแยกสารสกัดหยาดกิ่ง มะขวิดได้เป็น 4 กลุ่ม (F1, F2, F3, F4) และพบว่าสารกลุ่ม F2 มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากที่สุด โดยมี ค่า IC_{50} เท่ากับ 9.53 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อวิเคราะห์ด้วย GC-MS พบว่ามีโครงสร้างเป็น Hexadecanoic acid, Ethyl ester, Trimethylsilyl ester และ Dioctyl ester ตามลำดับ

เพชรรุ่ง เทพทอง และคณะ [20] ได้ทำการเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและปริมาณ สารกลุ่มฟีนอลิกในสารสกัดชั้นเอทานอลของขิง พริกไทยดำ และดีปลี โดยศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH assay พบว่าสารสกัดชั้นเอทานอลของเหง้าขิงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด ($EC_{50} = 8.84 \pm 0.49$ ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) ในขณะที่สารสกัดของพริกไทยดำและดีปลี ไม่พบฤทธิ์ต้าน อนุมูลอิสระ ($EC_{50} = 70.40 \pm 1.84$ และ มากกว่า 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) สำหรับ การศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP assay พบว่ามีผลการทดลองที่เหมือนกับการทดสอบ ด้วยวิธี DPPH assay คือ สารสกัดชั้นเอทานอลของเหง้าขิงมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระดีที่สุด (FRAP values = 623.24 ± 9.65 เหล็ก(II)ไอออนต่อกรัม) นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดชั้นเอทานอลของขิงมี สารกลุ่มฟีนอลิกสูงที่สุดเมื่อทดสอบด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Colorimetric Method (Total phenolic content = 47.17 ± 5.38 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม)

วิภาดา กันทยศ และคณะ [47] ได้ทำการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสาร ฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณเคอร์คูมินอยด์รวมในพืชสกุลขิง 8 ชนิดที่พบในประเทศไทย โดยนำมา วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS เปรียบเทียบกับวิตามินซี พบว่าสารสกัดของ *Z. officinale* มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดในการวิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระทั้งสองวิธี กล่าวคือ สามารถยับยั้งอนุมูล DPPH[•] และอนุมูล $ABTS^{•+}$ ได้ครึ่งหนึ่งของปริมาณอนุมูลอิสระทั้งหมด โดยมีค่า IC_{50} เท่ากับ 4.26 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และ 7.04 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ การหาปริมาณ สารประกอบฟีนอลิก พบว่าปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดในสารสกัดพืชสกุลขิงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.24 ถึง 0.85 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง เมื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง สารฟีนอลิกทั้งหมดกับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH และ ABTS พบว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.777 และ 0.817 ตามลำดับ ส่วนปริมาณเคอร์คูมินอยด์รวม พบว่าใน *Z. montanum* มีปริมาณสูงที่สุด คือ 2.63 % น้ำหนักต่อ

น้ำหนัก และใน *Zingiber 'Plai chompoo'* มีปริมาณน้อยที่สุด คือ 0.034 % น้ำหนักต่อน้ำหนัก จากการทดลองนี้สรุปได้ว่าฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมีความสัมพันธ์ในเชิงบวกกับปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด

รวินิภา ศรีมูลและ ศิริจันทร์ ตาใจ [48] ได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวมด้วยวิธี Folin-Ciocalteu reagent และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ด้วยวิธี DPPH assay ในน้ำผลไม้แปรรูปที่วางจำหน่ายในจังหวัดจันทบุรี 3 ชนิด ได้แก่ น้ำมังคุด น้ำสำรอง และน้ำลูกหว่า รวม 10 ตัวอย่าง พบว่าน้ำลูกหว่ามีปริมาณฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH โดยวัดเป็นค่าร้อยละของการยับยั้งสูงที่สุดเท่ากับ $69.95 + 0.00$ มิลลิกรัมต่อกรัมกรดแกลลิก และ $92.17 + 0.32$ มิลลิกรัมต่อกรัมกรดแกลลิก ตามลำดับ ส่วนน้ำมังคุดและน้ำสำรองมีปริมาณฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ DPPH ในปริมาณที่น้อยกว่าปริมาณฟีนอลรวม ไม่มีความสัมพันธ์กับฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ($p\text{-value} > 0.05$) ทั้งนี้ผลไม้ทั้ง 3 ชนิดอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระไม่ว่าจะเป็นแอนโทไซยานิน, แชนโธน, แทนนิน และวิตามินซี รวมทั้งยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในปริมาณสูงอีกด้วยอย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยอีกหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นแหล่งที่มาของวัตถุดิบ, กระบวนการล้าง, การให้ความร้อน, การเค้นน้ำ, การบรรจุภัณฑ์ และการเก็บรักษา ที่ส่งผลต่อปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้

จรัสรัตน์ ปานโคก และคณะ [49] ได้ทำการเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดจากพืช 7 ชนิด ได้แก่ ขิงแก่ ขมิ้น ขมิ้นชัน มะขามป้อม ชาอู่ชาน ข้าวกล้องหอมนิล และข้าวเหนียวดำทั้งสดและแห้ง สกัดด้วยเมทานอล พบว่าสารสกัดจากมะขามป้อมแห้งมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) และ 2,2'-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS) สูงที่สุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 4,191.88 และ 1,744.7 มิลลิกรัมต่อลิตร BHT equivalent/g DW ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันหาปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Phenol Test พบสารสกัดจากมะขามป้อมแห้ง มีสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุดเท่ากับ 260.20 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัม

เนตรนภา เมยกลาง และคณะ [18] วิเคราะห์หาปริมาณและเปรียบเทียบสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มน้ำผลไม้ด้วยวิธีมาตรฐาน ได้แก่ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมดโดยใช้วิธี Folin-Ciocalteu และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl scavenging capacity (DPPH) และวิธี 1,10-Phenanthroline (Phen) จากทั้งหมด 10 ตัวอย่าง พบว่าเครื่องดื่มน้ำสมอไทยมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด คือ 2765.00 ± 0.00 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 มิลลิลิตรของตัวอย่าง ส่วนเครื่องดื่มน้ำมะตูมกลิ่นตะไคร้และใบเตยเท่ากับ 1749.76 ± 0.02 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 มิลลิลิตรของตัวอย่างและน้ำองุ่นแดงเท่ากับ 1501.80 ± 0.02 ไมโครกรัมกรดแกลลิกต่อ 1 มิลลิลิตรของตัวอย่าง ตามลำดับ อีกทั้งเมื่อทำการหาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH พบว่าเครื่องดื่มน้ำสมอไทยมีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระสูงสุดเท่ากับ 2453.32 ± 0.08 ไมโครกรัมบีเอชทีต่อ 1 มิลลิลิตรของตัวอย่างน้ำองุ่นแดง เท่ากับ 2412.64 ± 0.06 ไมโครกรัมบีเอชทีต่อ 1 มิลลิลิตรของตัวอย่างและเครื่องดื่มน้ำมะตูมกลิ่นตะไคร้และใบเตยเท่ากับ 2406.32 ± 0.20 ไมโครกรัมบีเอชทีต่อ 1 มิลลิลิตรของตัวอย่าง ตามลำดับ และฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี Phen มากที่สุดคือ เครื่องดื่มน้ำสมอไทยมีค่าเท่ากับ 3131.61 ± 0.02 ไมโครกรัมเฟอร์ริซซัลเฟตต่อ 1 มิลลิลิตรของตัวอย่าง น้ำองุ่นแดงเท่ากับ 2833.97 ± 0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครกรัมเพอร์สซัลเฟตต่อ 1 มิลลิลิตรของตัวอย่าง และเครื่องตีมน้ำมะตูมกลั่นตะไคร้และใบเตย เท่ากับ 2802.64 ± 0.01 ไมโครกรัมเพอร์สซัลเฟตต่อ 1 มิลลิลิตรของตัวอย่าง ตามลำดับ

Hsiang-yu Yeh และคณะ [50] ได้ทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางชีวภาพและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขิง 2 สายพันธุ์ที่ได้จากการสกัดรากขิง 2 สายพันธุ์ (*Zingiber officinale* Roscoe) ได้แก่ Guangdong-ginger (GG) และ Chu-ginger (CG) ที่อยู่ในได้หวันและเปรียบเทียบองค์ประกอบทางชีวภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้สารสกัดเป็นน้ำและเอทานอล จากการวิเคราะห์พบว่ารากขิงทั้ง 2 สายพันธุ์ให้ผลใกล้เคียงกัน โดยหาปริมาณกรดอินทรีย์ทั้งหมดของ Guangdong-ginger (GG) ได้เท่ากับ 37.33 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง และ Chu-ginger (CG) เท่ากับ 91.06 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง โดยมีกรดออกซาลิก และกรดทาร์ทาริกเป็นหลัก การวิเคราะห์ด้วย HPLC แสดงให้เห็นว่า gingerols และ shogaol ในขิงทั้ง 2 มีความคล้ายคลึงกัน แต่ปริมาณ curcumin ใน Guangdong-ginger (GG) สูงกว่าในน้ำมันหอมระเหย แสดงข้อมูลการระเหยที่คล้ายคลึงกัน และมี 60 และ 65 สารประกอบที่อยู่ใน Guangdong-ginger (GG) และ Chu-ginger (CG)ตามลำดับ น้ำมันหอมระเหยมีส่วนประกอบหลัก คือ camphene, sabinene, α -curcumene, zingiberene, α -farnesene, β -sesquiphellandrene, neral และ geranial ส่วนฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของขิงที่สกัดด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระมากกว่าขิงที่สกัดด้วยน้ำ ใน Trolox equivalent antioxidant capacity and Ferric reducing ability of plasma ในทางตรงกันข้ามขิงที่สกัดด้วยน้ำมีประสิทธิภาพมากที่จะเป็นอนุมูลอิสระใน free radical scavenging activities and chelating abilities ซึ่งขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเหง้าขิงทั้ง 2 สายพันธุ์ เพื่อป้องกันผลกระทบสารแต่งกลิ่นและสารต้านอนุมูลอิสระที่ได้จากธรรมชาติ

ปฏิวิทย์ ลอยพิมาย และคณะ [51] ได้ทำการเปรียบเทียบฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิกรวมของเปลือกผลไม้เหลือทิ้ง 10 ชนิด ได้แก่ ส้มเขียวหวาน (*Citrus reticulata*.) ส้มโอ (*Citrus maxima* Merr.) กล้วยน้ำว่า (*Musa sapientum* Linn.) มะไฟ (*Baccaurea ramiflora* Lour.) แตงโม (*Citrullus vulgaris*.) สับปะรด (*Ananas comosus* Merr.) แคนตาลูป (*Cucumis melo* var.) มะละกอ (*Carica papaya* L.) มะม่วงดิบ และมะม่วงสุก (*Mangifera indica* L.) นำมาวิเคราะห์หาฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระ (1,1-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical scavenging และ total antioxidant capacity) และสารประกอบฟีนอลิกรวมพบว่าเปลือกมะม่วงดิบและมะม่วงสุก มีฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH (IC_{50} เท่ากับ 2.32 และ 2.31 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ) เมื่อทำการศึกษาสารประกอบฟีนอลิกรวม พบว่าเปลือกมะม่วงดิบมีสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด เท่ากับ 72.8 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักแห้ง ดังนั้นเปลือกมะม่วงดิบจึงเป็นแหล่งที่ดีของสารต้านอนุมูลอิสระและสารประกอบฟีนอลิก

ปานทิพย์ บุญส่ง และ วไลภา เนตรดวงตา [52] ศึกษาองค์ประกอบสารพฤกษเคมีและความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ โดยใช้วิธี DPPH จากใบมะม่วง ใบฝรั่ง และใบสับปะรด ที่สกัดด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิดคือ เอทานอล อะซิโตน และปิโตรเลียมอีเทอร์ พบว่าใบสับปะรดที่สกัดด้วยเอทานอลและอะซิโตนให้จำนวนสารพฤกษเคมีได้มากที่สุด ได้แก่ สเตอรอยด์ แอลคาลอยด์ เทอร์พีนอยด์ ฟลาโวนอยด์ และแทนนิน ส่วนสารสกัดจากใบฝรั่งและสารสกัดจากใบมะม่วงให้จำนวนสารพฤกษเคมีที่น้อยรองลงมา ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดจากใบสับปะรดที่สกัดด้วยเอทานอล ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมสูงสุด เท่ากับ 64.20 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 g DW แต่สารสกัดจากใบสับปะรดที่สกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ ให้ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกรวมน้อย

ที่สุดเท่ากับ 15.14 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อ 100 g DW ส่วนความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระของสารสกัดจากใบสับปะรดที่สกัดด้วยเอทานอลให้ปริมาณร้อยละการกำจัดอนุมูลอิสระสูงสุดเท่ากับ 75.25 แต่สารสกัดจากใบมะม่วงที่สกัดด้วยอะซิโตนให้ปริมาณร้อยละการกำจัดอนุมูลอิสระน้อยที่สุด เท่ากับ 21.78

นุชนาฏ เสือเล็ก และคณะ [53] ศึกษาปริมาณพอลิฟีนอลและแคทเทชินในน้ำมันเมล็ดชา รวมทั้งความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยทำการสกัดพอลิฟีนอลจากน้ำมันด้วยตัวทำละลาย 3 ชนิดอย่างต่อเนื่อง (เมทานอล ปีโตรเลียมอีเทอร์ และเอทิลอะซิเตท) จากนั้นนำสารสกัดจากเอทิลอะซิเตทไปศึกษาการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี ABTS โดยใช้ Trolox เป็นสารมาตรฐานทำการวัดปริมาณพอลิฟีนอลในสารสกัดด้วยวิธีฟอลินซีโอแคลตุ โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน และทำการวิเคราะห์ปริมาณแคทเทชินในสารสกัดโพลีฟีนอล โดยใช้วิธีโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ผลการทดลองพบว่า สารสกัดพอลิฟีนอลจากน้ำมันเมล็ดชามีความสามารถในการต้านออกซิเดชันเท่ากับ 4.21 มิลลิโมลาร์ของ Trolox ต่อกรัมของสารสกัด พบปริมาณพอลิฟีนอลในสารสกัด 0.748 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมของสารสกัด นอกจากนี้ พบปริมาณแคทเทชินในสารสกัดพอลิฟีนอลเท่ากับ 85.51 ไมโครกรัมต่อมิลลิกรัม

เสาวนาภรณ์ โชคสกุลพร [54] ศึกษาปริมาณสารฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบของเมล็ดมะฮอกกานีใบใหญ่ในตัวทำละลาย 6 ชนิด ได้แก่ เฮกเซน, ไดคลอโรมีเทน, เอทิลอะซิเตท, อะซิโตน, เอทานอล น้ำ พบว่าสามารถสกัดสารองค์ประกอบของเมล็ดมะฮอกกานีใบใหญ่ได้ร้อยละ 30.21, 64.88, 55.55, 62.10, 36.47 และ 15.79 ตามลำดับ เมื่อนำส่วนสกัดหยาบมาวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลโดยวิธี Folin-Ciocalteu colorimetric method ที่จะใช้การเปรียบเทียบกับสารมาตรฐานกรดแกลลิก พบว่าแต่ละส่วนสกัดมีปริมาณสารประกอบฟีนอลทั้งหมด 0.19 ± 0.00 , 0.75 ± 0.02 , 2.95 ± 0.07 , 2.32 ± 0.08 , 1.88 ± 0.02 และ 0.45 ± 0.01 มิลลิกรัมกรดแกลลิกต่อกรัมน้ำหนักเมล็ดแห้ง ตามลำดับ เมื่อทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH radical scavenging assay เทียบกับสารมาตรฐานกรดแอสคอร์บิก พบว่าแต่ละส่วนสกัดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ (IC_{50}) 69.89 ± 0.40 , 129.88 ± 1.11 , 87.23 ± 0.30 , 78.98 ± 1.37 , 237.54 ± 4.18 , และ 14.16 ± 0.14 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ

Xiaoqian Wang และคณะ [55] ได้ศึกษาสาร anthocyanin ที่มีในเนื้อแอปเปิ้ลเนื้อแดงและแอปเปิ้ลเนื้อขาว พบว่าแอปเปิ้ลเนื้อแดงมีปริมาณ phenolic, flavonoid, flavonol และ anthocyanin มากกว่าในแอปเปิ้ลเนื้อขาว และในบรรดาแอปเปิ้ลเนื้อแดง สายพันธุ์ Roberts crab พบว่ามีปริมาณ phenolic, flavonoid และ anthocyanin สูงที่สุด รองลงมาคือสายพันธุ์ Xiahongrou โดยใช้เทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ในการวิเคราะห์สารประกอบ phenolic

2.5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำอนุภาคนาโนไปใช้ตรวจวัดสารต้านอนุมูลอิสระ

J. Tashkhourian และ S.F. Nami-Ana [56] ทำการพัฒนาเซนเซอร์ให้มีความจำเพาะเจาะจงสำหรับการตรวจวัดกรดแกลลิก โดยทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลิกาแล้วนำไปใช้ในการปรับปรุงขั้วไฟฟ้าคาร์บอนเพื่อใช้เป็นเซนเซอร์ในสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์สำหรับตรวจวัดกรดแกลลิกในชาและน้ำส้ม พบว่าความไวในการตรวจวัดกรดแกลลิกจะมีช่วงความเข้มข้นอยู่ในช่วง 8.0×10^{-7} ถึง 1.0×10^{-4} โมลต่อลิตร และมีขีดจำกัดของการตรวจวัดเท่ากับ 2.5×10^{-7} โมลต่อลิตร ซึ่งมีการนำไปใช้

M.R. Hormozi Nezhad และคณะ [13] ทำการวิเคราะห์หาปริมาณกรดแอสคอร์บิกในยา โดยการวัดสีซึ่งขึ้นอยู่กับการก่อตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์แบบแอนไอโซทรอปิก การสังเคราะห์ silver seeds จะใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) และไตรโซเดียมซิเตรท ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$) ซึ่งเป็นสารให้ความคงตัว และมีโซเดียมเตตระโบโรไฮเดรต (NaBH_4) เป็นตัวรีดิวซ์ สีของสารที่เสถียรขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$, PVP, AgNO_3 และ silver seeds การรีดิวซ์ Ag^+ เป็น Ag-NPs ของกรดแอสคอร์บิกในรูปของ $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$, silver seeds ทำให้เกิดฟีก 2 ฟีกของ Ag-NPs กราฟมาตรฐานมีการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นแสงเท่ากับ 427 นาโนเมตร และมีช่วงความเป็นเส้นตรงเท่ากับ 6×10^{-6} ถึง 8×10^{-5} โมลาร์

Danielle Cristhina Melo Ferreira และคณะ [14] ใช้เซนเซอร์กระดาษที่อาศัยแสง ในการหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกโดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ซึ่งเซนเซอร์ดังกล่าวทำขึ้นโดยใช้วิธีการ spot tests ที่จะถูกปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์และซิลเวอร์ไอออน ที่ถูกล้อมด้วย hydrophobic barrier โดยเมื่อหยดกรดแอสคอร์บิกลงไปจุดบนกระดาษจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเทา เครื่องมือที่ใช้วัดได้แก่ scanner และ transmittance Colorimeter

Zhaohui Chen และคณะ [57] ได้ประยุกต์วิธีใหม่โดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณด้วยตาเปล่าของโพลีฟีนอล เช่น กรดแกลลิก ไพโรแกลลอล และกรดแทนนิน ซึ่งขึ้นอยู่กับความรุนแรงของสัญญาณการดูดกลืนแสงพลาสมอน และการเปลี่ยนแปลงสีจากสีเหลืองเป็นสีส้ม เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนและการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกลุ่มฟีนอล เป้าหมายโดย ch-AgNPs ที่ถูกสร้างโดยการทำปฏิกิริยาระหว่าง AgNO_3 กับ Chitosan และมี NaBH_4 เป็นตัวรีดิวซ์ ซึ่ง ch-AgNPs เป็นโพลีแซคคาไรด์ไบโพลิเมอร์ที่มีสมบัติในการกระจายตัวที่ดีเยี่ยม ในตัวกลางที่เป็นของเหลว หลังจากเพิ่มบางประสิทธิภาพของเงื่อนไขการทดลองที่มีระบบตรวจจับได้ง่ายที่ถูกพัฒนาสำหรับตรวจวัดกรดแกลลิก, ไพโรแกลลอล และกรดแทนนินในตัวอย่างน้ำ โดยระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นมีความจำเพาะเจาะจงต่อกรดแกลลิก, ไพโรแกลลอล, กรดแทนนิน และสารประกอบฟีนอลตัวอื่นๆรวมทั้ง ได้แก่ p-aminobenzoic acid, pentachlorophenol, hydroquinone, 2,4-dinitrophenol, p-nitrophenol, 1-naphthol, phloroglucin, catechol, p-aminophenol, 2,4,6-trinitrophenol, m-dihydroxybenzene, b-naphthol และฟีนอลไม่สามารถทำให้สีเกิดการเปลี่ยนแปลงได้แม้ที่ 0.1 มิลลิโมลาร์ คุณสมบัติความจำเพาะเจาะจงของวิธีนี้เป็นผลมาจาก ch-AgNPs ที่มี Ag^+ ลดลงโดยกลุ่มฟีนอลเป้าหมาย ยิ่งกว่านั้นยังมีช่วงความเป็นเส้นตรงที่กว้างสำหรับเป้าหมาย 3 ตัว โดยช่วงความเป็นเส้นตรงของกรดแกลลิก, ไพโรแกลลอล และกรดแทนนินจาก 1×10^{-5} ถึง 1×10^{-3} โมลาร์, 1×10^{-5} ถึง 1×10^{-2} โมลาร์ และ 1×10^{-6} ถึง 1×10^{-4} โมลาร์ ตามลำดับ และมีขีดจำกัดต่ำสุด (LOD) เท่ากับ 1×10^{-5} , 1×10^{-5} และ 1×10^{-6} โมลาร์ ตามลำดับ

Mohammad Mazloum-Ardakani และคณะ [58] ได้ทำการตรวจวัดวิตามินซี (กรดแอสคอร์บิก) ที่อยู่ในรูปของกรดยูริก ซึ่งสามารถดูพฤติกรรมทางไฟฟ้าของวิตามินซี บนพื้นผิวของขั้วคาร์บอนที่ถูกปรับปรุงด้วยอนุภาคไทเทเนียมไดออกไซด์ และ 2,2'-(1,2 butanediylbis(nitroethylidene))-bis-hydroquinone(BBNBH) โดยขั้วไฟฟ้าที่ถูกปรับปรุงแล้วจะแสดงให้เห็นถึงบทบาทของตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีประสิทธิภาพในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิก ที่นำไปสู่การลดลงอย่างเห็นได้ชัดในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการเพิ่มประสิทธิภาพของจลนพลศาสตร์ของการเกิดปฏิกิริยาที่ขั้วไฟฟ้า การปรับปรุงขั้วไฟฟ้านี้แสดงให้เห็นการแยกที่ดีของฟีกที่เกิดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชันของกรดแอสคอร์บิกและกรดยูริก การปรับปรุงชีวไฟฟ้านี้ได้ประสบความสำเร็จสามารถนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิกในการเตรียมยาได้อย่างแม่นยำ

Kandasamy Selvam และคณะ [59] ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม มีความรวดเร็วและง่าย โดยการใช้บอระเพ็ดเป็นตัวรีดิวซ์และตัวจับ พบว่า AgNPs มีความสามารถในการกระตุ้นสารต้านอนุมูลอิสระมากกว่าสารสกัดจากพืชโดยการดูจากกราฟ นอกจากนี้การกระตุ้นสารต้านจุลินทรีย์ชนิด *Staphylococcus* sp. และ *Klebsiella* sp. นอกจากนี้สารเหล่านี้ยังสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ 13 มิลลิเมตร และ 12.3 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยใช้ 10 µg/ml โดยใช้ AgNPs จากผลการทดลองดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่าสารสังเคราะห์ AgNPs มีความสามารถในการกระตุ้นสารต้านอนุมูลอิสระและต่อต้านจุลินทรีย์มากกว่าสารสกัดจากพืช อย่างไรก็ตามความสามารถเหล่านี้ ถูกนำมาใช้ในการผลิตยาปฏิชีวนะ

Seyda Karadirek และคณะ [60] ทำการศึกษาปริมาณรวมสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างกรดฮิวมิกที่บรรจุจากแหล่งต่างๆ และถูกวัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ได้แก่ เทคนิค Cupric Reducing Antioxidants Capacity (CUPRAC), FC (Folin-ciocalteu), QUENCHER-CUPRAC, QUENCHER-FC, AgNPs และ AuNPs โดยประยุกต์ใช้กับตัวอย่างที่เป็นของแข็งเพราะมีความสามารถในการละลายใน Folin-ciocalteu's phenol ในชั้นสารละลายอินทรีย์น้อย

Paolo A.Raymundo-Pereira และคณะ [61] ทำศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์, อธิบายลักษณะและการใช้งาน Printex L6 carbon-silver hybrid nanomaterial (PC-Ag) ซึ่งเป็นทางเลือกที่ราคาถูกกว่าการใช้คาร์บอนนาโนทิวบ์และกราฟีน ซึ่งอนุภาคนาโนซิลเวอร์นาโนกระจายตัวได้ดีและสม่ำเสมอ hybrid material มีการเสริมสมบัติซึ่งกันและกัน ตรวจสอบโดยการวัดกรดแกลลิกและประเมินสารต้านอนุมูลอิสระในไวน์

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยใช้อนุภาคนาโนที่เสถียรด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ในการประเมินสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเครื่องดื่มขิงผงสำเร็จรูป และขิงบรรจุแคปซูล โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน โดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชันในการรีดิวซ์ Ag^+ ที่หลงเหลืออยู่ในอนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็น Ag^0 ด้วยกรดแกลลิก ทำให้ค่าดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงติดตามการเปลี่ยนแปลงสีและค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่แปรผันตามเข้มข้นของกรดแกลลิก โดยตรวจวัดด้วยเทคนิคสเปกโตรโฟโตเมทรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมี

ในการทำการวิจัยนี้ได้จัดเตรียมสารเคมี อุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ เพื่อนำไปเตรียมสารละลายที่ใช้ในการทดลองหรือใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อประเมินหาสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน และตรวจวัดด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมตรี ดังนี้

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	ความบริสุทธิ์ (%)	ยี่ห้อ และ ประเทศผู้ผลิต
ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver nitrate)	AgNO_3	99.88	Carlo Erba, UK
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinylalcohol)	$(\text{CH}_2\text{CHOH})_n$	86.7-88.7	Fluka, Germany
กรดแกลลิก (Gallic acid)	$\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	98	Sigma-Aldrich, USA
โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride)	NaCl	98	Ajax Finechem

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. ขวดวัดปริมาตร	ขนาด	100	มิลลิลิตร
	ขนาด	50	มิลลิลิตร
	ขนาด	25	มิลลิลิตร
	ขนาด	10	มิลลิลิตร
2. ไมโครปิเปต	ขนาด	1,000	ไมโครลิตร
	ขนาด	5	มิลลิลิตร
3. ไมโครปิเปตทิป			
4. ปีกเกอร์	ขนาด	250	มิลลิลิตร
	ขนาด	25	มิลลิลิตร
5. กระบอกตวง	ขนาด	50	มิลลิลิตร
6. หลอดทดลอง			
7. หลอด centrifuge			
8. แท่งแก้วคนสาร			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ซ้อนตักสาร
10. หลอดหยด
11. กระจกบอแก้วน้ำกลั่น
12. กรวยกรอง
13. กระจกกรอง nylon membrane ขนาด 0.45 ไมครอน
14. ชุดกรองตัวอย่างระบบสุญญากาศ
15. เครื่องซั่งน้ำหนักความละเอียด 4 ตำแหน่ง (AUX220 SHIMADZU, Japan)
16. เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมแท่งกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (Heidoph, MR 1000, Germany)
17. เครื่องหมุนเหวี่ยง Centrifuge
18. เครื่องเขย่าสาร Vortex (Genie 2, USA)
19. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Hitachi U-2900, Japan)
20. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (FEI TECNAI T20 G², Netherlands)
21. เครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ (Kratos Model Axis ultra DLD, UK)

3.2 การเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลายทั้งหมดใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionization water)

3.2.1 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์

1. ซั่งซิลเวอร์ไนเตรท จำนวน 0.1267 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร
2. ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน 150 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร และ
ห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์

3.2.2 การเตรียมสารละลายโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 1 น้ำหนักต่อปริมาตร

1. ซั่งโพลิไวนิลแอลกอฮอล์ จำนวน 0.5000 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร
2. ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสพร้อมปั่นกวนสารละลายในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

3.2.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก

3.2.3.1 การเตรียมสต็อกสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก 1 มิลลิโมลาร์

1. ซั่งกรดแกลลิก จำนวน 0.0188 กรัม ลงในบีกเกอร์ขนาด 25 มิลลิลิตร
2. ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

3.2.3.2 การเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ

1. ปิเปตสต็อกสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ ตามปริมาตรในตารางที่ 3.1 ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 25 ml
2. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงการเตรียมสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกที่ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้นกรดแกลลิก ที่ต้องการเตรียม (μM)	ปริมาตร 1 mM กรดแกลลิก (ml)	ปริมาตรสุดท้ายในขวดวัด ปริมาตรขนาด 25 ml (ml)
25	0.625	25
50	1.250	25
100	2.500	25
150	3.750	25
200	5.000	25

* ใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออนในการปรับปริมาตรสารละลาย

3.3 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากขิง ได้แก่ เครื่องดื่มขิงผงสำเร็จรูปและขิงบรรจุแคปซูล มีวิธีเตรียมตัวอย่างก่อนนำไปวิเคราะห์ ดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 1 ซองหรือ 1 เม็ด ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออน 50 มิลลิลิตรที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส คนจนละลาย
2. นำสารละลายที่เย็นลงแล้วใส่หลอด Centrifuge แล้วทำการปั่นเหวี่ยงสารละลายด้วยเครื่อง Centrifuge โดยใช้ความเร็วในการหมุน 6,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที
3. นำสารละลายส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงครั้งแรกมาทำการปั่นเหวี่ยงต่ออีกครั้งด้วยเครื่อง Centrifuge โดยใช้ความเร็วในการหมุน 13,500 รอบ/นาที เป็นเวลา 20 นาที
4. นำสารละลายส่วนใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงครั้งที่สองมากรองด้วยชุดกรองแบบลดความดัน โดยใช้กระดาษกรองแบบ Nylon membrane ขนาด 0.45 ไมครอน
5. ปิเปตสารละลายส่วนใสที่กรองได้มา 2.5 มิลลิลิตรใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนก่อนนำไปวิเคราะห์

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์

สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามวิธีของ Priya Bhatia และคณะ [62] โดยมีการปรับเปลี่ยนวิธีการสังเคราะห์ ดังนี้

หยดสารละลายซิลเวอร์ในเตรทความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ (จากข้อ 3.2.1) ที่ละลายลงในสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 1 น้ำหนักต่อปริมาตร (จากข้อ 3.2.2) จนหมดโดยที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 90 องศาเซลเซียสพร้อมปั่นกวนสารละลายเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที จะได้สารละลายสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การตรวจสอบคุณลักษณะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

3.4.2.1 การเตรียมรูปลักษณะอนุภาคนาโนด้วย TEM

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดเกลือความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองในข้อที่ 1
3. เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที และทิ้งไว้จนครบ 5 นาทีนับตั้งแต่สารเริ่มผสมกัน
4. หยดสารละลายลงบน Copper Grid และซับสารละลายส่วนเกินออก
5. ทิ้งไว้ 5 นาทีก่อนเก็บเข้าเดซิเคเตอร์
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 5 โดยใช้ น้ำกลั่นปราศจากไอออนแทนสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ (สารละลายแบลนด์)
7. นำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง TEM

3.4.2.2 การตรวจเลขออกซิเดชันของซิลเวอร์ในสารละลายนาโนซิลเวอร์

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดเกลือความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองในข้อที่ 1
3. เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที และทิ้งไว้จนครบ 5 นาทีนับตั้งแต่สารเริ่มผสมกัน
4. หยดสารละลายลงบนแผ่นกระจกขนาด 1×1 เซนติเมตร ครั้งละ 2 หยด
5. ทิ้งไว้ให้สารละลายแห้งก่อนเก็บเข้าเดซิเคเตอร์
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 5 โดยใช้ น้ำกลั่นปราศจากไอออนแทนสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ (สารละลายแบลนด์)
7. นำไปตรวจวัดด้วยเครื่อง XPS

3.4.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์

3.4.3.1 ผลของความเข้มข้นซิลเวอร์ในเตรท

สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีจากข้อ 3.5.1 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรทจาก 5 มิลลิโมลาร์เป็น 1, 3 และ 10 มิลลิโมลาร์ตามลำดับ แล้วนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เตรียมได้จากแต่ละความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรทไปทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดเกลือที่ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ ดังนี้

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดเกลือความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ 1 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองในข้อที่ 1
3. เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทสารละลายใส่คิวเวทท์
4. ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ณ เวลาที่ 1 นาทีที่ครั้งนับตั้งแต่สารเริ่มผสมกัน ในช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 4 โดยใช้ น้ำกลั่นปราศจากไอออนแทนสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ (สารละลายแบลนด์)

6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 5 อีกหนึ่งครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.2 ผลของความเข้มข้นโพลีไวนิลแอลกอฮอล์

สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีจากข้อ 3.4.1 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์จากความเข้มข้นร้อยละ 1 น้ำหนักต่อปริมาตรเป็นร้อยละ 0.1, 0.5 และ 2 น้ำหนักต่อปริมาตร ตามลำดับ แล้วนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เตรียมได้จากแต่ละความเข้มข้นของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ไปทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ ดังนี้

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดเกลือความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ 1 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองในข้อที่ 1
3. เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทสารละลายใส่คิวเวทท์
4. ตรวจสอบวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ณ เวลาที่ 1 นาทีครึ่งนับตั้งแต่สารเริ่มผสมกัน ในช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 4 โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออนแทนสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ (สารละลายแบลนด์)
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 5 อีกหนึ่งครั้ง

3.4.4 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์

3.4.4.1 ผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อสารละลายกรดเกลือ

ในการทดลองจะควบคุมปริมาตรของสารละลายกรดเกลือให้คงที่ไว้ที่ 1 มิลลิลิตร และทำการปรับเปลี่ยนปริมาตรของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไปเป็น 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 มิลลิลิตร แล้วนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์แต่ละปริมาตรไปทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดเกลือที่มีความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ ดังนี้

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดเกลือความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 0.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองในข้อที่ 1
3. เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทสารละลายใส่คิวเวทท์
4. ตรวจสอบวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ณ เวลาที่ 1 นาทีครึ่งนับตั้งแต่สารเริ่มผสมกัน ในช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 4 โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออนแทนสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ (สารละลายแบลนด์)
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 5 โดยเปลี่ยนปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็น 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 มิลลิลิตร
7. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 6 อีกหนึ่งครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.2 ผลของความเข้มข้นโซเดียมคลอไรด์

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ 1 มิลลิลิตร และปิเปตสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2 มิลลิโมลาร์ มา 125 ไมโครลิตรใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองในข้อที่ 1
3. เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทสารละลายใส่คิวเวทท์
4. ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ณ เวลาที่ 1 นาทีครึ่งนับตั้งแต่สารเริ่มผสมกัน ในช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 4 โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออนแทนสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (สารละลายแบลงค์)
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 5 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายโซเดียมคลอไรด์เป็น 10, 20, 40 และ 200 มิลลิโมลาร์
7. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 6 อีกหนึ่งครั้ง

3.4.4.3 ผลของระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองในข้อที่ 1
3. เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทสารละลายใส่คิวเวทท์
4. ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยโหมด Time Scan ณ เวลาที่ 1 นาทีครึ่ง ที่ความยาวคลื่น 422 นาโนเมตร เป็นเวลา 20 นาที
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 4 โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออนแทนสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (สารละลายแบลงค์) ที่ความยาวคลื่น 412 นาโนเมตร

3.4.5 คุณลักษณะของวิธีวิเคราะห์

3.4.5.1 การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 25 ไมโครโมลาร์ 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองในข้อที่ 1
3. เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทสารละลายใส่คิวเวทท์
4. ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ณ นาทีที่ 5 นับตั้งแต่สารเริ่มผสมกัน ในช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร จำนวน 2 ครั้ง
5. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 4 โดยเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกเป็น 50, 100, 150 และ 200 ไมโครโมลาร์
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 4 โดยใช้น้ำกลั่นปราศจากไอออนแทนสารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก (สารละลายแบลงค์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.2 ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการตรวจวัด (LOD) และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (LOQ) เนื่องจากสารละลายแปลงค้ให้สัญญาณในการวิเคราะห์ ซึ่งคำนวณได้ตามสูตรดังนี้

$$\text{LOD} = 3\text{SD of signal} / \text{slope}$$

$$\text{LOQ} = 10\text{SD of signal} / \text{slope}$$

เมื่อ	SD of signal	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสัญญาณที่ได้จากสารละลายแปลงค้
	Slope	คือ	ค่าความชันที่ได้จากกราฟมาตรฐาน

โดยทำการวิเคราะห์สารละลายแปลงค้ จำนวน 6 ครั้ง ทำการทดลองดังนี้

1. ปิเปิดน้ำกลั่นปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองในข้อที่ 1
3. เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทสารละลายใส่คิวเวทท์
4. ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ณ นาที่ที่ 5 นับตั้งแต่สารเริ่มผสมกัน ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร จำนวน 6 ครั้ง
5. คำนวนหาค่า LOD และ LOQ จากสูตรข้างต้น

3.4.5.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

การหาความเที่ยงของวิธีจะพิจารณาจากค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ซึ่งคำนวณหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ ตามสูตรดังนี้

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

เมื่อ	SD	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	\bar{X}	คือ	ค่าเฉลี่ย

โดยการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานกรดเกลือที่ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ เป็นจำนวน 6 ครั้ง ทำการทดลองดังนี้

1. ปิเปิดสารละลายมาตรฐานกรดเกลือความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองในข้อที่ 1
3. เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทสารละลายใส่คิวเวทท์
4. ตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ณ นาที่ที่ 5 นับตั้งแต่สารเริ่มผสมกัน ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร จำนวน 6 ครั้ง
5. คำนวนหาค่า %RSD จากสูตรข้างต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรเวศน์บุรีรัมย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 การวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในสารตัวอย่าง

3.4.6.1 ค่าวิเคราะห์คืนกลับ (%Recovery)

คำนวณหาค่า %Recovery ตามสูตรดังนี้

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

เมื่อ Spiked Sample คือ สารละลายตัวอย่างที่มีการเติมสารมาตรฐานลงไป

ตารางที่ 3.2 แสดงการเตรียมสารละลายสำหรับการทำร้อยละการคืนกลับ (Recovery)

ชนิดของสารละลาย	สารละลายตัวอย่าง (ml)	สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิก 100 μ M (ml)	ปริมาตรสุดท้าย (ml)
Sample	2.5	-	10
Spiked sample	2.5	1	10

ทำการทดลองเพื่อประเมินหาสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างโดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน ดังนี้

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่างจากข้อ 3.3 มา 1 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองในข้อที่ 1
3. เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทสารละลายใส่คิวเวทท์
4. ตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ณ นาที่ที่ 5 นับตั้งแต่สารเริ่มผสมกัน ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร จำนวน 2 ครั้ง
5. นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไปคำนวณหาความเข้มข้นของตัวอย่าง

หาค่า %Recovery ของวิธีการเติมกรดแกลลิก ในขั้นตอนเตรียมตัวอย่าง โดยการหาความเข้มข้นของสารละลายตัวอย่างที่มีการเติมสารมาตรฐานลงไป (Spiked sample) ทำการทดลอง ดังนี้

1. ปิเปตสารละลาย Spiked sample ที่เตรียมได้จากตาราง 3.2 มา 1 มิลลิลิตร ใส่หลอดทดลอง
2. ปิเปตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตรใส่หลอดทดลองในข้อที่ 1
3. เขย่าให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที แล้วเทสารละลายใส่คิวเวทท์
4. ตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ณ นาที่ที่ 5 นับตั้งแต่สารเริ่มผสมกัน ที่ช่วงความยาวคลื่น 300-800 นาโนเมตร จำนวน 2 ครั้ง
5. นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายไปคำนวณหาความเข้มข้นของ Spiked sample
6. คำนวณหาค่า %Recovery จากสูตรข้างต้น

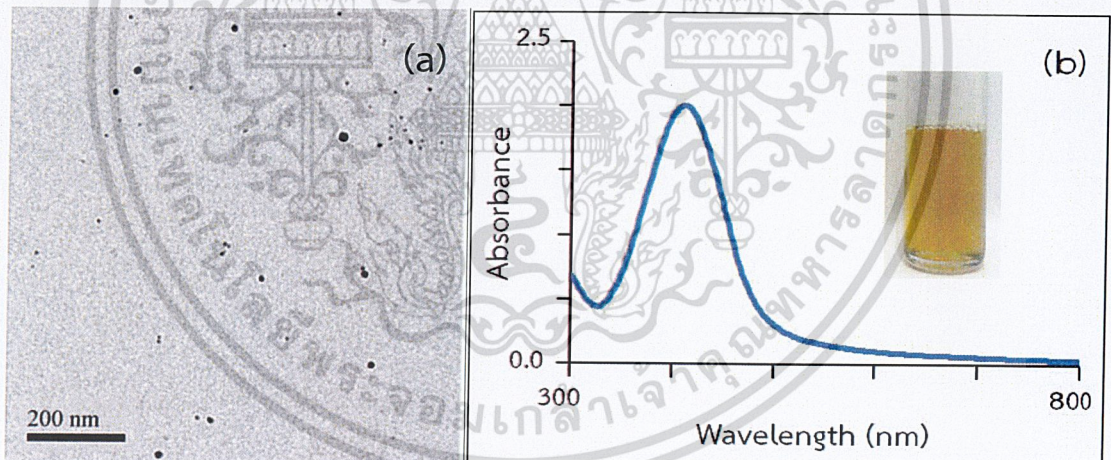
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ได้พัฒนาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เสถียรด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อประเมินสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเครื่องดื่มขิงผงสำเร็จรูปและขิงบรรจุแคปซูล โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน

4.1 คุณสมบัติของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้

นำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจวัดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) เพื่อดูขนาดและรูปร่างของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้ พบว่ารูปร่างของอนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลมและขนาดของอนุภาคมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 8.3 ± 4.0 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (a) โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์แต่ละอนุภาคจะเสถียรด้วยสายโซ่ของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่ล้อมรอบอนุภาคนาโนซิลเวอร์อยู่ ทำให้อนุภาคเกิดการกระจายตัวที่ดี เมื่อนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 412 นาโนเมตร และสีของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีสีเหลืองใส ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (b)

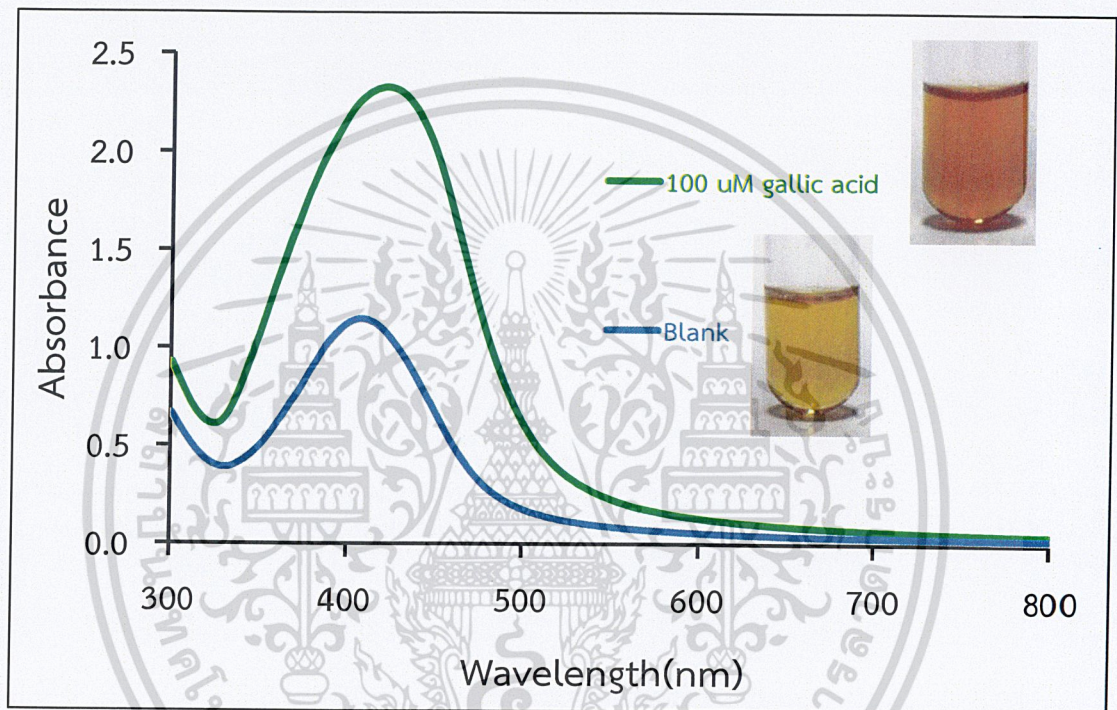


รูปที่ 4.1 (a) ภาพถ่ายของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง TEM
(b) สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้อุภาคนาโนซิลเวอร์ในการตรวจวัดกรดแกลลิก

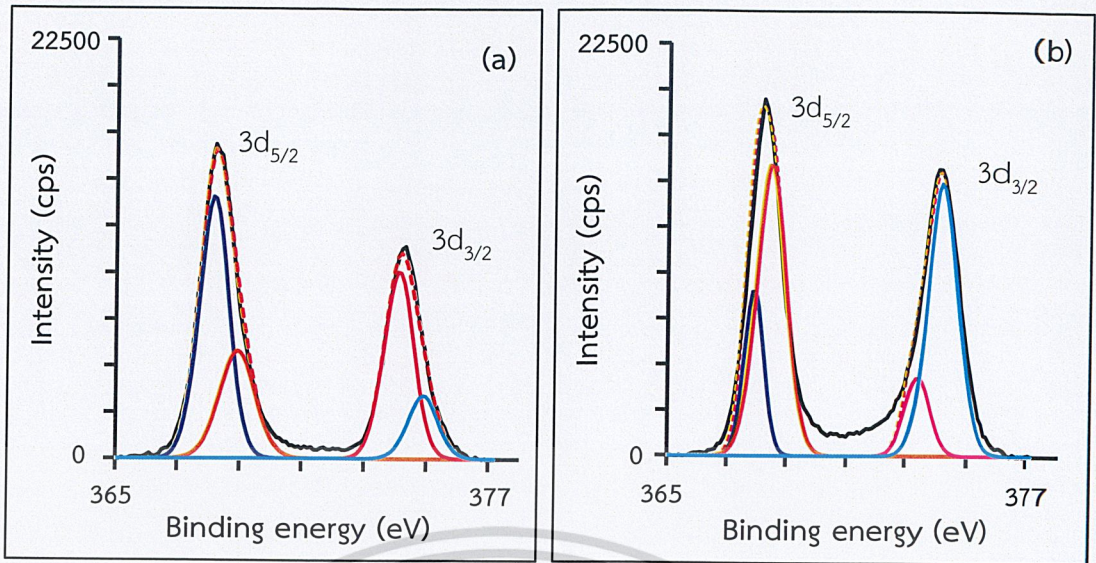
การศึกษาปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับกรดแกลลิก ซึ่งกรดแกลลิกเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่มีความสามารถเป็นตัวรีดิวซ์ Ag^+ ไปเป็น Ag^0 [57] ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทำการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ระหว่างการเติมและไม่เติมสารละลายกรดแกลลิก พบว่าเมื่ออนุภาคนาโนซิลเวอร์มีการเติมสารละลายกรดแกลลิก จะทำให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นแสดงว่าเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และสีของสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้มขึ้นเป็นสีน้ำตาลเหลือง



รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์

จากผลการทดลองข้างต้นมีความเป็นไปได้ที่จะมี Ag^+ หลงเหลืออยู่ในสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์และ Ag^+ เหล่านี้จะถูกรีดิวซ์ด้วยกรดแกลลิกไปเป็น Ag^0 เกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้น จึงทำการตรวจสอบเพื่อยืนยันว่ามี Ag^+ เหลืออยู่และกรดแกลลิกเป็นตัวรีดิวซ์ Ag^+ ไปเป็น Ag^0 จริงหรือไม่ โดยการตรวจหาเลขออกซิเดชันของซิลเวอร์ที่มีอยู่ในสารละลายอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ (XPS) และทำการเปรียบเทียบอัตราส่วนความเข้มข้นของเลขออกซิเดชันระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีการเติมและไม่เติมสารละลายกรดแกลลิกได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าที่ค่า binding energy 368 และ 374 eV จะตรวจพบ 2 สถานะออกซิเดชันของซิลเวอร์คือ Ag^+ และ Ag^0

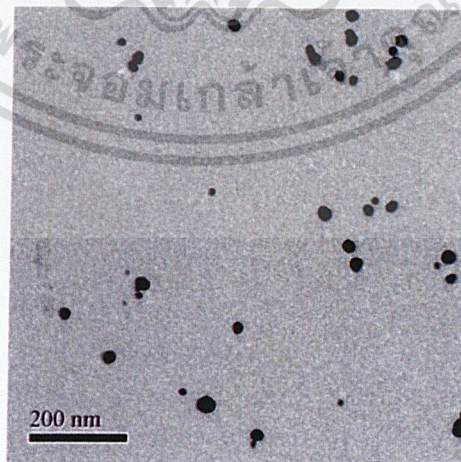
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 (a) สเปกตรัมแสดงสถานะออกซิเดชันของซิลเวอร์ในอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากเครื่อง XPS
(b) สเปกตรัมแสดงสถานะออกซิเดชันของซิลเวอร์ในอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 200 ไมโครโมลาร์จากเครื่อง XPS

โดยที่สเปกตรัมสีน้ำเงินและสีชมพู คือ สเปกตรัมของสถานะออกซิเดชัน Ag^+ ส่วนสเปกตรัมสีส้มและสีฟ้า คือ สเปกตรัมของสถานะออกซิเดชัน Ag^0 จะพบว่าในอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ Ag^+ มีอัตราส่วนความเข้มข้นคิดเป็นร้อยละ 70 และ Ag^0 มีอัตราส่วนความเข้มข้นคิดเป็นร้อยละ 30 แต่เมื่อมีการเติมสารละลายกรดแกลลิกลงไป ทำให้ Ag^+ มีอัตราส่วนความเข้มข้นลดลงคิดเป็นร้อยละ 23.9 และ Ag^0 มีอัตราส่วนความเข้มข้นเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 76.1 ซึ่งจากผลการทดลองจะแสดงให้เห็นถึงการลดลงของ Ag^+ กลายเป็น Ag^0 โดยถูกรีดิวซ์ด้วยกรดแกลลิก

นอกจากนี้เมื่อนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดแกลลิกไปตรวจวัดด้วย TEM ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดแกลลิกความเข้มข้น 200 ไมโครโมลาร์ ด้วยเครื่อง TEM

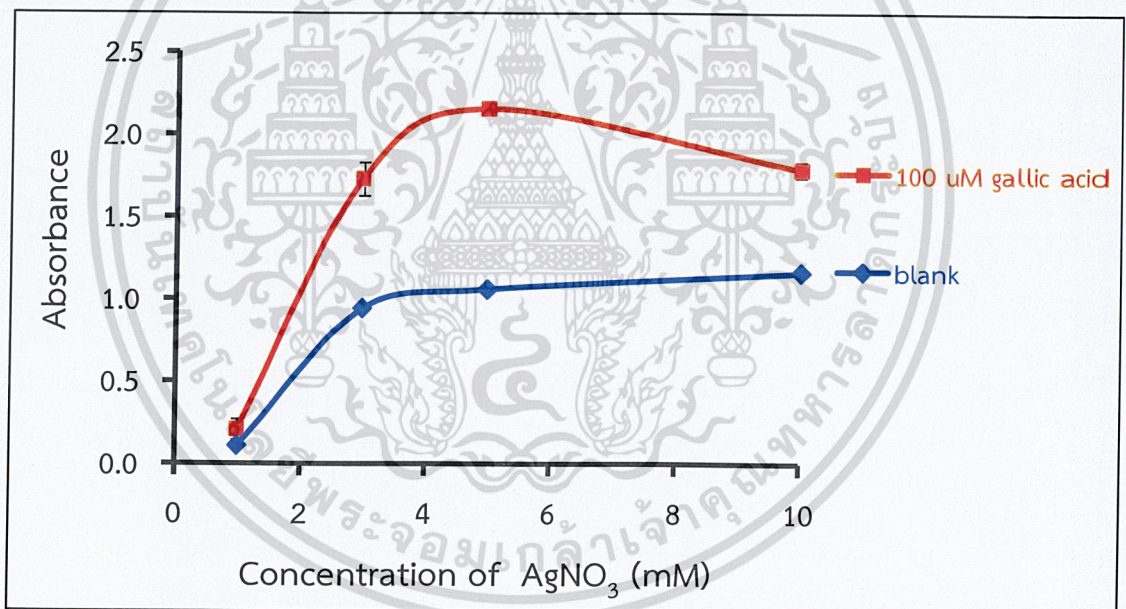
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าอนุภาคจะมีขนาดใหญ่ขึ้น อธิบายได้ว่าบางส่วนของ Ag^+ ถูกเปลี่ยนไปเป็น Ag^0 โดยกรดแกลลิก จะดูดซับบนพื้นผิวของอนุภาคที่ถูกล้อมรอบด้วยพอลิเมอร์ จึงทำให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดของอนุภาคหลังจากเติมสารละลายกรดแกลลิกลงไปมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 22.1 ± 6.0 นาโนเมตร ซึ่งจะสอดคล้องกับสเปกตรัมในรูป 4.2 ที่พบว่าสเปกตรัมการดูดกลืนแสงเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่ยาวขึ้นเล็กน้อย (red shift) ไปที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 422 นาโนเมตร ดังนั้นวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้จึงใช้การติดตามค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นและการเปลี่ยนแปลงสีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่แปรผันตามความเข้มข้นของกรดแกลลิก

4.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

4.3.1 ความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรท

ศึกษาความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรทที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 1 น้ำหนักต่อปริมาตร ทำการศึกษาความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรทที่ 1, 3, 5, และ 10 มิลลิโมลาร์ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นสารละลายซิลเวอร์ในเตรทในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์

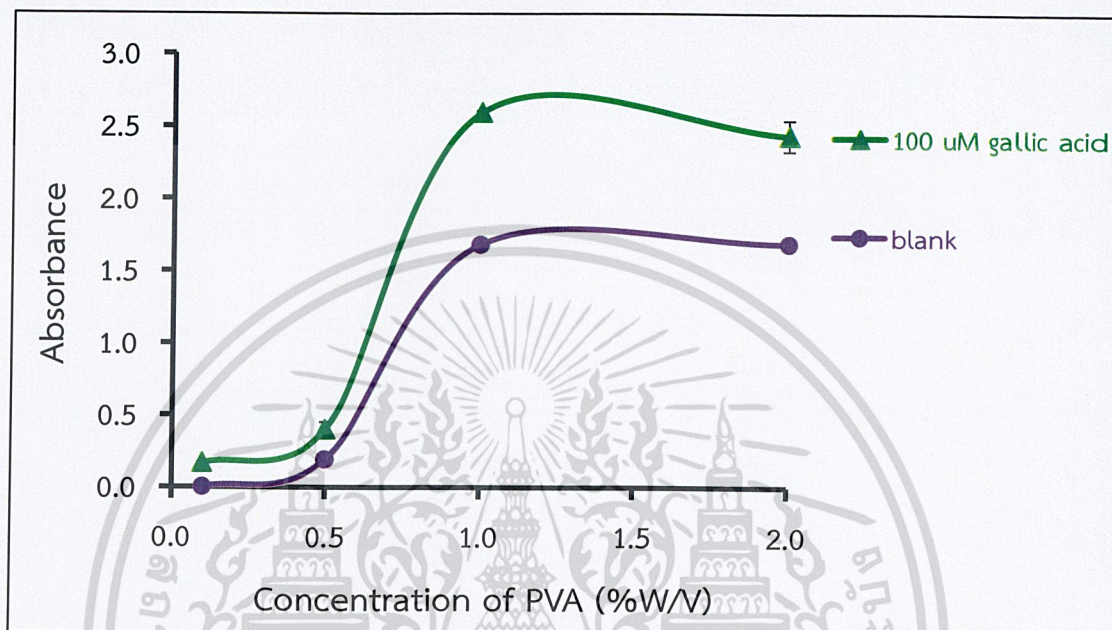
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรทจะทำให้ความไวในการตรวจวัดดีขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากซิลเวอร์ในเตรทที่มีความเข้มข้นต่ำจะมีซิลเวอร์ไอออนเหลืออยู่น้อยกว่าซิลเวอร์ในเตรทที่มีความเข้มข้นสูง จึงทำให้ที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์ มีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุด และเริ่มคงที่เมื่อซิลเวอร์ในเตรทมีความเข้มข้นสูงขึ้น เมื่อเทียบระหว่างที่ความเข้มข้น 5 มิลลิโมลาร์และ 10 มิลลิโมลาร์ จะให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จึงเลือกใช้ความเข้มข้นซิลเวอร์

ในเตรทที่ 5 มิลลิโมลาร์ ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อเป็นการลดใช้สารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

ไม่ว่ากรณีใดๆ พึงสนใจพิมพ์งานนี้ให้เป็นที่เรียบร้อยและส่งมอบให้ออกเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ความเข้มข้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์

ทำการศึกษาความเข้มข้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสมที่สุดในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรท 5 มิลลิโมลาร์ ทำการศึกษาที่ร้อยละ 0.1, 0.5, 1 และ 2 น้ำหนักต่อปริมาตร ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.6



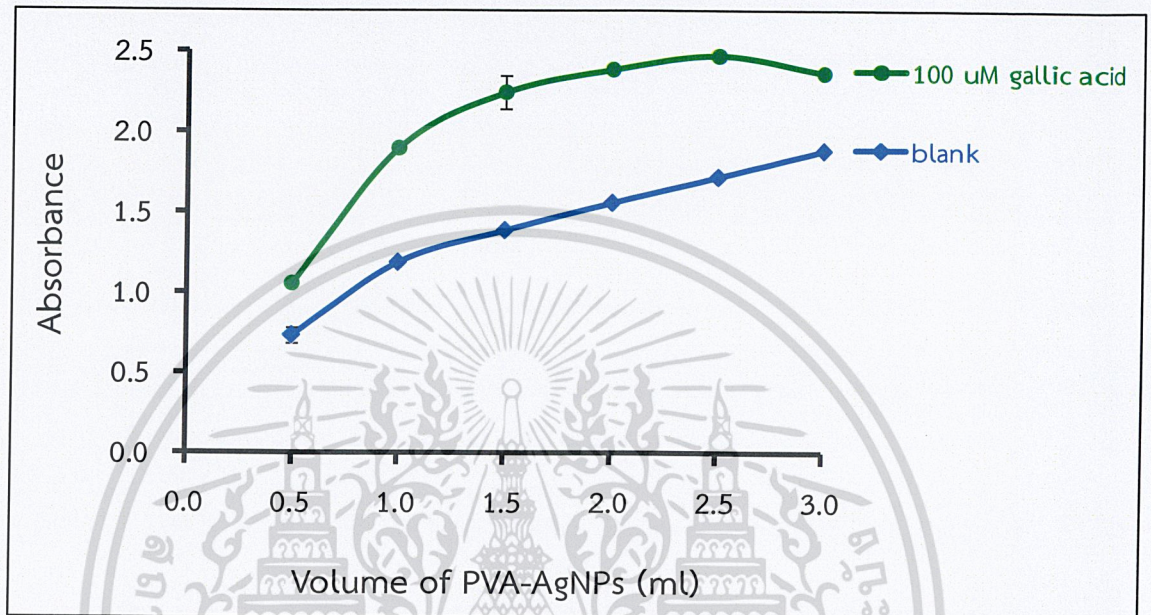
รูปที่ 4.6 ผลของความเข้มข้นสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์

ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยใช้ PVA ทำหน้าที่เป็น reducing agent และ stabilizer พบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ก็จะสูงขึ้นด้วย ที่ความเข้มข้นของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 1 และ 2 น้ำหนักต่อปริมาตร ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเข้มข้นสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 1 น้ำหนักต่อปริมาตรในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนของสารเคมี และลดความยุ่งยากในการเตรียมสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เนื่องจากที่ความเข้มข้นของสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์สูงๆ ทำให้สารละลายมีความหนืดมาก อาจส่งผลให้สารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เกิดการไหม้ขณะทำการสังเคราะห์ได้มากกว่าสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่มีความหนืดน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ปริมาตรของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการทำปฏิกิริยากับกรดแกลลิก

ทำการศึกษ ปริมาตรของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการทำปฏิกิริยากับกรดแกลลิก โดยให้ความเข้มข้นของกรดแกลลิกคงที่ที่ 1 มิลลิลิตร แล้วทำการปรับเปลี่ยนปริมาตรของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในการทำปฏิกิริยาที่ 0.5, 1, 1.5, 2 และ 3 มิลลิลิตร ตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.7

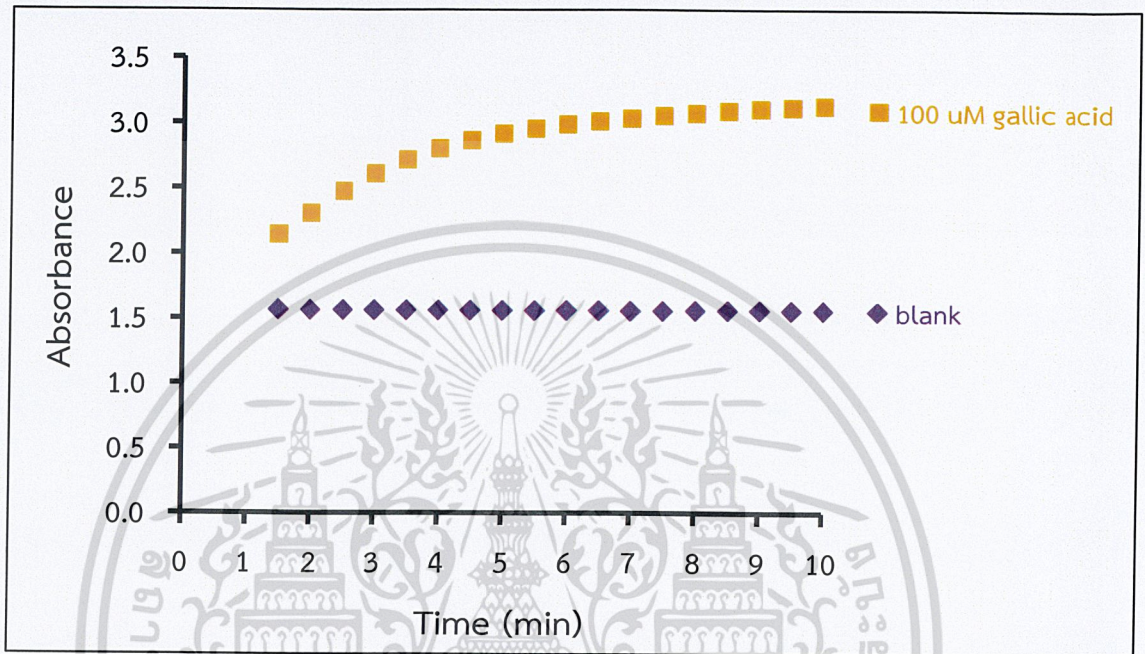


รูปที่ 4.7 ผลของอัตราส่วนระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อสารละลายกรดแกลลิก

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์มากขึ้นทำให้ค่าการดูดกลืนแสงมากขึ้นแต่สารละลายแบล็กก็ให้สัญญาณที่สูงขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในสถานะที่มีและไม่มีกรดแกลลิก โดยนำค่าการดูดกลืนแสงหักลบกับสัญญาณแบล็กพบว่าเมื่อใช้ปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาตรอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.5 มิลลิลิตร สำหรับทำปฏิกิริยากับกรดแกลลิก

4.3.4 ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา

ทำการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับกรดแกลลิกนั้น จะต้องทราบเวลาในการทำปฏิกิริยาของสารเพื่อให้ปฏิกิริยานั้นเกิดสมดุล ดังนั้นจึงทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงตั้งแต่ที่ 1 นาที 30 วินาที จนถึง 10 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ผลของระยะเวลาต่อการเกิดปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับกรดแกลลิก

จากการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับสารละลายกรดแกลลิกที่ความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ โดยเริ่มศึกษาตั้งแต่ที่ 1 นาที 30 วินาที จนถึง 10 นาที พบว่าเมื่อใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาตั้งแต่ 1 นาที 30 วินาที จนถึง 4 นาที ค่าการดูดกลืนแสงมีแนวโน้มสูงขึ้น และหลังจากนาที่ที่ 5 เป็นต้นไปค่าการดูดกลืนแสงของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเริ่มมีคงที่ซึ่งแสดงถึงปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลแล้ว ดังนั้นจึงเลือกทำการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่เวลา 5 นาที เพื่อใช้เวลาในการวิเคราะห์ที่น้อยที่สุด

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์และการวิเคราะห์เพื่อประเมินหาสารต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มชงสำเร็จรูปและชงบรรจุแคปซูล โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน จึงสรุปสภาวะการทดลองที่เหมาะสมดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงถึงการสรุปผลการศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ

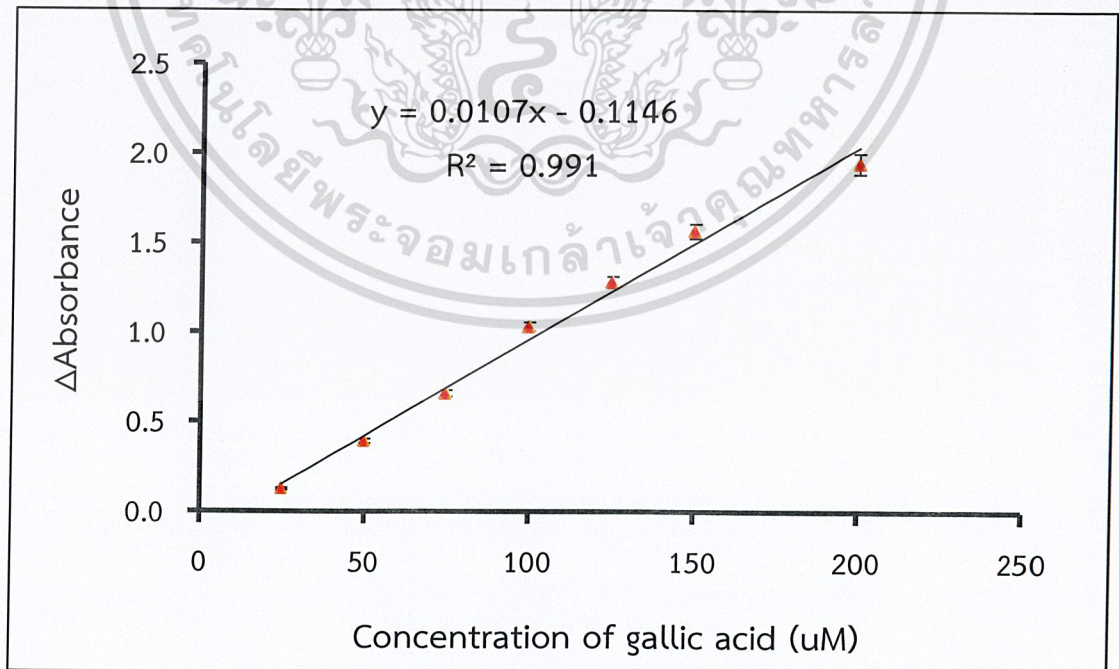
พารามิเตอร์	สรุปผลการทดลอง
ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรท	5 mM
ความเข้มข้นของโพลีไวนิลแอลกอฮอล์	1%w/v
อัตราส่วนสารละลายนาโนซิลเวอร์ต่อกรดแกลลิก	1.5 ml : 1 ml
ระยะเวลาที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา	5 นาที

4.4 คุณลักษณะกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

ทำการศึกษาภายใต้สภาวะที่เหมาะสม จะได้กราฟมาตรฐานที่มีความเป็นเส้นตรง และมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจเท่ากับ 0.991 ($R^2 = 0.991$) ในช่วงความเข้มข้น 25-200 ไมโครโมลาร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และมีสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) ตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

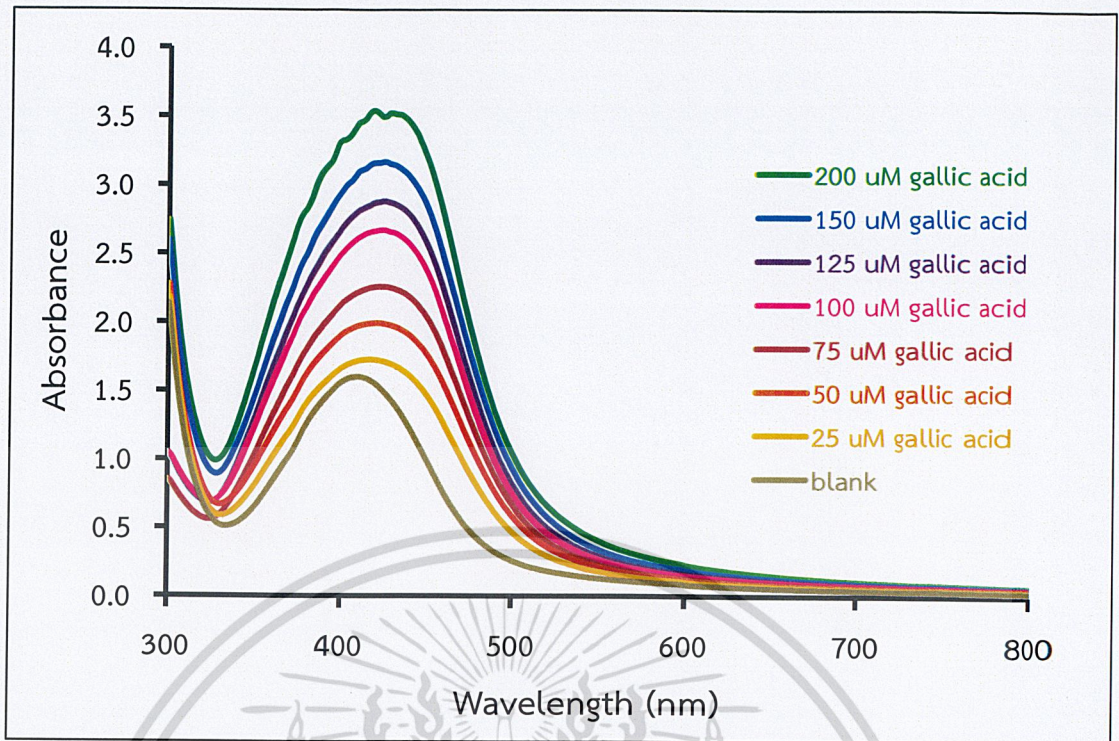
$$\Delta A = (0.0107)[\text{gallic acid, } \mu\text{M}] - (0.115)$$

เมื่อ ΔA คือ ค่าของผลต่างค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดระหว่างสารละลายกรดแกลลิกและแบลนค์



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกในช่วงความเข้มข้น 25-200 ไมโครโมลาร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานกรดแกลลิกความเข้มข้น 25-200 ไมโครโมลาร์

จากการศึกษาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระโดยใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เสถียรด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ในการประเมินสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเครื่องดื่มขิงผงสำเร็จรูปและขิงแคปซูล โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐาน พบว่าสามารถวิเคราะห์หาปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระได้ในช่วงความเข้มข้นตั้งแต่ 25-200 ไมโครโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ประเมินคุณลักษณะเด่นของวิธีวิเคราะห์

4.5.1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD)

การหาความเที่ยงของวิธีวิเคราะห์พิจารณาจากค่าร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%RSD) ทำการวิเคราะห์หอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานกรดเกลกลิกความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์ จำนวน 6 ครั้ง (n=6) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตาราง 4.2 แสดงข้อมูลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ทำปฏิกิริยากับสารละลายกรดเกลกลิกที่มีความเข้มข้น 100 ไมโครโมลาร์

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง
1	2.647
2	2.611
3	2.691
4	2.735
5	2.685
6	2.767
Means	2.6893
SD	0.0567

เมื่อแทนค่าในสมการ

$$\begin{aligned} \%RSD &= \frac{SD}{\bar{X}} \times 100 \\ &= \frac{0.0567}{2.6893} \times 100 \\ \%RSD &= 2.1079 \end{aligned}$$

ดังนั้น ค่าร้อยละของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานสัมพัทธ์ มีค่าเท่ากับ 2.1 แสดงว่าวิธีวิเคราะห์นี้มีความเที่ยงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ขีดจำกัดต่ำสุดในการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดของการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (LOQ)

การหาความเข้มข้นต่ำสุดของสารที่ต้องการวิเคราะห์ที่วิธีวิเคราะห์สามารถตรวจวัดได้ และการหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างที่สามารถหาปริมาณ โดยทำการวิเคราะห์สารละลายแบบลงค์ จำนวน 6 ครั้ง ($n=6$) ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3

ตาราง 4.3 แสดงข้อมูลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบบลงค์ทั้ง 6 ครั้ง

ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง
1	1.601
2	1.601
3	1.598
4	1.593
5	1.590
6	1.591
Means	1.5957
SD	0.0050

เมื่อแทนค่าในสมการ

$$\text{LOD} = 3\text{SD of signal} / \text{slope}$$

$$\text{LOD} = 3(0.0050)/0.0107$$

$$\text{LOD} = 1.40$$

ดังนั้น ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับตรวจวัดเท่ากับ 1.40 ไมโครโมลาร์

$$\text{LOQ} = 10\text{SD of signal} / \text{slope}$$

$$\text{LOQ} = 10(0.0050)/0.0107$$

$$\text{LOQ} = 4.67$$

ดังนั้น ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการวิเคราะห์เท่ากับ 4.67 ไมโครโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยการสุ่มตัวอย่าง 2 ชนิด คือ เครื่องดื่มชงสำเร็จรูปจำนวน 4 ตัวอย่างที่ในฉลากระบุว่ามีส่วนผสมระหว่างซิงค์ดักกับน้ำตาล และซิงค์บรรจุแคปซูลจำนวน 2 ตัวอย่างที่ในฉลากมีการระบุว่าใน 1 แคปซูลมีซิงค์บรรจุอยู่ 500 มิลลิกรัม ซึ่งตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดสามารถหาซื้อได้ตามห้างสรรพสินค้าและร้านค้าทั่วไป จึงทำการตรวจสอบการรบกวนการวิเคราะห์ขององค์ประกอบในตัวอย่าง โดยสามารถพิจารณาจากการคำนวณหาค่าร้อยละของการวิเคราะห์คืนกลับได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าร้อยละคืนกลับในเครื่องดื่มชงสำเร็จรูปและซิงค์บรรจุแคปซูล

Sample	ความเข้มข้นของกรดแกลลิก (μM)		ร้อยละคืนกลับ (% recovery)
	ความเข้มข้นที่เติม	ความเข้มข้นที่ตรวจพบ	
น้ำชง 1	-	4.90	93.07
	100.00	97.96	
น้ำชง 2	-	4.61	96.04
	100.00	100.65	
น้ำชง 3	-	17.03	98.49
	100.00	115.52	
น้ำชง 4	-	15.64	101.59
	100.00	117.23	
ซิงค์แคปซูล 5	-	14.60	81.47
	100.00	96.08	
ซิงค์แคปซูล 6	-	17.59	78.33
	100.00	95.92	

จากผลการศึกษาการรบกวนการวิเคราะห์ขององค์ประกอบในตัวอย่างเครื่องดื่มชงสำเร็จรูปและซิงค์บรรจุแคปซูลทั้ง 6 ตัวอย่าง พบว่ามีค่าร้อยละการวิเคราะห์คืนกลับอยู่ในช่วง 78.33 ถึง 101.59 ซึ่งเป็นช่วงที่ยอมรับได้ [63] แสดงว่าองค์ประกอบในตัวอย่างไม่รบกวนการวิเคราะห์ วิธีที่พัฒนาขึ้นมานี้จึงมีความแม่นยำ และความเข้มข้นของกรดแกลลิกที่ตรวจพบในตัวอย่างเพื่อประเมินหาสารต้านอนุมูลอิสระ พบที่ความเข้มข้นต่ำกว่าจุดต่ำสุดของช่วงความเป็นเส้นตรงหรือที่ความเข้มข้น 25 ไมโครโมลาร์ แต่ยังคงอยู่ในช่วงของค่าขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับตรวจวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

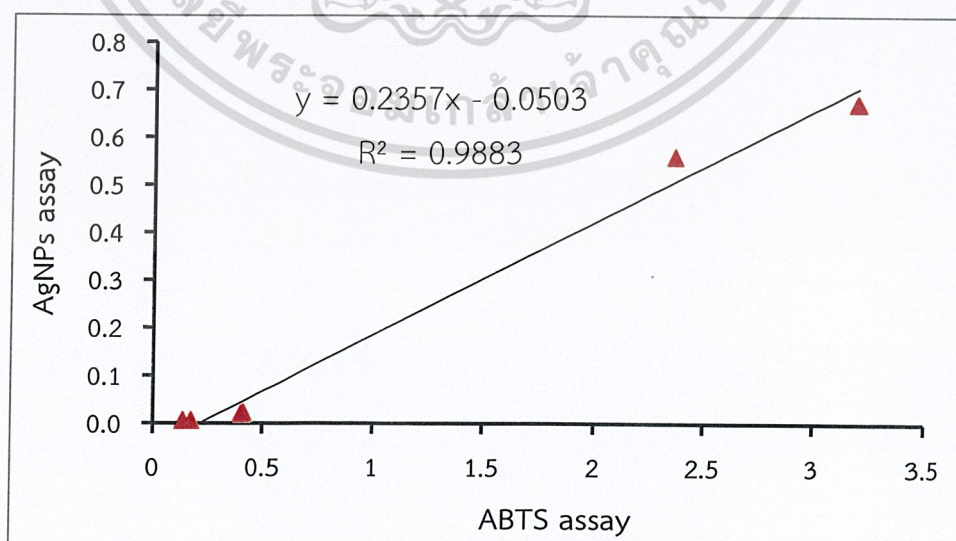
4.7 การวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระในน้ำขิง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองโดยการสุ่มตัวอย่าง 2 ชนิด คือ เครื่องดื่มขิงผงสำเร็จรูปจำนวน 4 ตัวอย่าง และขิงบรรจุแคปซูลจำนวน 2 ตัวอย่าง ทำการตรวจวัดเพื่อประเมินหาสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างทั้ง 6 ตัวอย่าง โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานระหว่างวิธีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่หรือวิธี AgNPs assay เทียบกับวิธีมาตรฐาน ABTS assay ในหน่วย mg GA/g of sample ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ประเมินหาสารต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มขิงผงสำเร็จรูปและขิงบรรจุแคปซูลระหว่างวิธี AgNPs assay เทียบกับวิธีมาตรฐาน ABTS assay

Sample	Gallic acid (mg GA/g of sample)	
	วิธี AgNPs assay	วิธี ABTS assay
1	0.0050 ± 0.0002	0.143 ± 0.004
2	0.0050 ± 0.0002	0.179 ± 0.005
3	0.021 ± 0.001	0.416 ± 0.036
4	0.0190 ± 0.0004	0.406 ± 0.001
5	0.559 ± 0.099	3.199 ± 0.025
6	0.671 ± 0.084	2.367 ± 0.052

จากผลการวิเคราะห์ จึงทำการทดสอบผลวิเคราะห์ของสองวิธีว่ามีความสอดคล้องกันโดยการสร้างกราฟเส้นตรงของผลวิเคราะห์ของสองวิธีเทียบกัน เป็นการทดสอบแบบ Linear correlation test ดังที่แสดงในรูปที่ 4.11 จากกราฟเส้นตรงได้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสนใจ มีค่าเท่ากับ 0.98 แสดงว่าผลวิเคราะห์จากวิธีทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นต่อกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.11 กราฟเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างวิธีที่พัฒนาขึ้นกับวิธีมาตรฐาน
ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามส่ง ออกจากมหาวิทยาลัยและต้องอ้างอิงถึงชื่อเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้ได้พัฒนาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เสถียรด้วยโพลีไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อประเมินสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่างเครื่องดื่มขิงผงสำเร็จรูป และขิงบรรจุแคปซูล โดยใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานด้วยเทคนิคสเปกโทรโฟโตเมทรี โดยอาศัยการทำปฏิกิริยาระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับกรดแกลลิกได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดเท่ากับ 412 นาโนเมตร การเปลี่ยนแปลงสีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดจากการรวมตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยสีจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาล

จากการพัฒนาวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์แตกต่างจากวิธีการสังเคราะห์แบบเดิม โดยพัฒนาให้ใช้เวลาในการสังเคราะห์น้อยกว่า และการตรวจวัดสารต้านอนุมูลอิสระทำได้ง่าย ข้อดีของวิธีนี้คือ เกิดปฏิกิริยาเร็ว สามารถทำภายใต้สภาวะห้องได้ และสามารถประเมินสารต้านอนุมูลอิสระในช่วงความเข้มข้น 25-200 ไมโครโมลาร์ได้ มีขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับตรวจวัด (LOD) เท่ากับ 1.40 ไมโครโมลาร์ ขีดจำกัดต่ำสุดสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (LOQ) เท่ากับ 4.67 ไมโครโมลาร์ และความเที่ยงของการวิเคราะห์มีค่าร้อยละ 2.11

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์แต่ละครั้ง ได้ค่าการดูดกลืนแสงแตกต่างกันและทำให้คงที่ได้ยาก
2. อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ควรเก็บไว้อย่างน้อยหนึ่งคืนก่อนนำมาใช้
3. เตรียมสารละลายกรดแกลลิกใหม่ทุกครั้งก่อนทำการทดลอง
4. ควรล้างคิวเวทก่อนทำการตรวจวัดใหม่ทุกครั้ง

[Online]. Available : http://tstj.research.tu.ac.th/Issue21No3_PDF/paper9.pdf. เข้าถึงข้อมูลวันที่ 28 มกราคม 2559.

- [10] เสาวนีย์ เหล่าสิงห์, ศิริธร อ่างแก้ว และ มะลิวรรณ อมตธงไชย. 2011. “เทคนิคตรวจวัดความสามารถต้านอนุมูลอิสระโดยรวมแบบใหม่ ด้วยเทคนิคแอมเพอร์ในระบบที่มีการไหลที่ขั้วไฟฟ้ากลาสซีคาร์บอน ที่ตัดแปรด้วยคาร์บอนนาโนทิวบ์.” *วารสารวิทยาศาสตร์ ม. อุบลฯ ฉบับพิเศษ ปีที่1 (มกราคม-ธันวาคม) 10-20*. [Online].

Available : <http://www.research.sci.ubu.ac.th/journal/document/ScJ02-p10-20.pdf> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 15 มีนาคม 2559.

- [11] นพวัฒน์ เพ็งคำศรี, จัตุพล กันทะมูล, ภัทรภรณ์ ไตวัฒนกิจ, วชิรวิทย์ วงศ์ชารัฐ, วนิดา ใจหมั่น, นิภาพร เมืองจันทร์ และ สุภารัตน์ จันทร์เหลือง. 2554. “ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเหง้าข่าลิง.” *วารสารไทยเภสัชศาสตร์และวิทยาการสุขภาพ*; 6(3):195-201 คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190.

- [12] E. Filippo, A. Serra, D. Manno. 2009. Poly(vinyl alcohol) capped silver nanoparticles as localized surface plasmon resonance-based hydrogen peroxide sensor. *Sensors and Actuators B*. 138 Page 625-630.

- [13] M.R. Hormozi Nezhad, M.A. Karimi, F. Shahheydari. 2010. A Sensitive colorimetric detection of Ascorbic acid in pharmaceutical products based on formation of anisotropic silver nanoparticles. *Scientia Iranica Transaction F : Nanotechnology Vol. 17, No. 2, Page 148-153 Sharif University Of Technology, December*.

- [14] Danielle Cristhina Melo Ferreira, Gabriela Furlan Giordano, Caio Cesar dos Santos Penteadó Soares, Jessica Fernanda Afonso de Oliveira, Renata Kelly Mendes, Maria Helena Piazzetta, Angelo Luiz Gobbi. 2015. Optical paper-based sensor for ascorbic acid quantification using silver nanoparticles. *Talanta* 141 Page 188-194.

- [15] วิกิพีเดีย. 2559. “สารต้านอนุมูลอิสระ.” สารานุกรมเสรี. [Online].

Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%B8%E0%B8%A1%E0%B8%B9%E0%B8%A5%E0%B8%AD%E0%B8%B4%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B8%B0> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 24 มกราคม 2559.

- [16] จักรพงศ์ ไพบูลย์. 2559. สารต้านอนุมูลอิสระ antioxidant. [Online].

Available : <http://www.thaiclinic.com/antioxidant.html>. เข้าถึงข้อมูลวันที่ 3 มกราคม 2559.

- [17] เจนจิรา จิรัมย์ และ ประสงค์ สีหนาม. 2554. “อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระแหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา.” *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 1 ฉบับที่ 1 พ.ศ.-ส.ค. ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [18] เนตรนภา เมยกลาง และ ดร.เฉลิม เรืองวิริยะชัย. 2014. การหาปรีสารประกอบฟีนอลิกและฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระในเครื่องดื่มน้ำผลไม้. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น KCU Res J (GS) 14 (4) : October – December.
- [19] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์. 2559. Antioxidant/สารต้านออกซิเดชัน. [Online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0188/antioxidant-%E0%B8%AA%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%81%E0%B8%8B%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%94%E0%B8%8A%E0%B8%B1%E0%B8%99> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 3 มกราคม 2559.
- [20] เพชรรุ่ง เทพทอง, จิตพิสุทธิ์ จันทร์ทองอ่อน, อรณีย์ ประจวบจินดา, ศรีโสภา เรืองหนู และ อรุณพรอิฐรัตน์. 2555. “การเปรียบเทียบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และปริมาณสารกลุ่มฟีนอลิกในสารสกัดชั้นเอทานอลของ ชิง พริกไทยดำ และดีป्ली.” การประชุมเครือข่ายวิชาการบัณฑิตศึกษาแห่งชาติครั้งที่ 1. 18 ธันวาคม 2555 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- [21] Peter Knauth. Centro Universitario de la Ciénega (CUCI) Cell Biology Laboratory. 2015. Antioxidant Capacity (AOC). [Online]. Available : <http://radio.cuci.udg.mx/bch/EN/Antioxid.html> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2559
- [22] wikipedia. 2559. ABTS_structure. the free encyclopedia. [Online]. Available : https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ABTS_structure.png เข้าถึงข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2559
- [23] Medicinal Chemistry. 2559. Technical Evaluation of Antioxidant Activity. [Online]. Available : <http://www.omicsonline.org/open-access/technical-evaluation-of-antioxidant-activity-2161-0444.1000517.php?aid=28118> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2559
- [24] ปรัชญา เกตุวงศ์ และ ธวัชชัย แพชะมัตต์. 2554. “การพัฒนาเจลกรดแกลลิก.” ศิลปากรวิจัย ครั้งที่ 4 บูรณาการศาสตร์และศิลป์ คือ ศิลปากร 19-21 มกราคม 2554 มหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวังสนามจันทร์ นครปฐม.
- [25] จุฑามาศ จิโนบัว, ไฉน ตาคำแสน, ตะวัน ณ ลำพูน, ปิยวัฒน์ ศรีวิรัช, วรณศิริ สมควร และ นพพล เล็กสวัสดิ์. 2559. กรดแกลลิก กรดเอลลาจิก กรดแทนนิก ในพืชและผลไม้ เศรษฐกิจของภาคเหนือ. [Online]. Available : <http://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/56/No02.pdf> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 6 มกราคม 2559.
- [26] Pulugurtha. 2011. กรดแกลลิก (Gallic acid). [Online]. Available : <http://www.amarin-pharma.com/contents/detail/2> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 14 มกราคม 2559
- [27] LKT Laboratories, Inc. 2559. Gallic acid/3,4,5-Trihydroxybenzoic acid.[Online]. Available : http://www.lkmlabs.com/products/Gallic_acid_3_4_5_Trihydroxybenzoic_acid-88-37.html เข้าถึงข้อมูลวันที่ 6 มกราคม 2559.
- [28] hajjai.com. 2559. ชิง สรรพคุณและประโยชน์. [Online]. Available : <http://health.hajjai.com/ginger/> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 14 มกราคม 2559.

- [29] Thaiza. 2559. ชิง สูดยอดสมุนไพรในตำนาน. [Online].
Available: <http://women.thaiza.com/%E0%B8%82%E0%B8%B4%E0%B8%87-%E0%B8%AA%E0%B8%B8%E0%B8%94%E0%B8%A2%E0%B8%AD%E0%B8%94%E0%B8%AA%E0%B8%A1%E0%B8%B8%E0%B8%99%E0%B9%84%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B9%83%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B8%B3%E0%B8%99%E0%B8%B2%E0%B8%99/251835/> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 14 มกราคม 2559.
- [30] yaweav sompamit. 2559. “ชิง” นี้มีประโยชน์. [Online].
Available : <https://www.l3nr.org/posts/337145> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 19 มกราคม 2559.
- [31] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 2559. วัสดุระดับนาโน. [Online].
Available : www.rmutphysics.com/hadud/oldnews/67/index67.htm
เข้าถึงข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2559.
- [32] ณัฐพันธ์ ศุภกา. 2559. ไชยปริศนา...นาโนเทคโนโลยี. [Online].
Available : <http://www.rmutphysics.com/charud/oldnews/67/index67.htm>
เข้าถึงข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2559
- [33] บริษัท เซล่าวัล ซัพพลาย จำกัด. 2559. หม้อบดพร้อมลูกบด BALL MILL. [Online].
Available : <http://www.cerawan.com/14350692/บอลมิล-100-กก-หม้อบดพร้อมลูกบด-ball-mill> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2559.
- [34] วิกิพีเดีย. 2558. “ท่อนาโนคาร์บอน.” สารานุกรมเสรี. [Online].
Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/ท่อนาโนคาร์บอน> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2559.
- [35] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2559. นาโนลิโทกราฟี. [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-4.html> เข้าถึงข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2559.
- [36] wikipedia. 2559. “Laser ablation.” the free encyclopedia. [Online].
Available : https://en.wikipedia.org/wiki/Laser_ablation เข้าถึงข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2559
- [37] อภิวัดน์ ชมภูสอ. 2559. โครงสร้างระดับนาโนของทอง : การสังเคราะห์และการประยุกต์ใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง. ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- [38] Hielscher-Ultrasound Technology. 2559. Sonochemical Reaction and Synthesis. [Online]. Available : https://www.hielscher.com/sonochem_01.htm เข้าถึงข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2559.
- [39] NASA. 2559. ไครอยากรู้เรื่อง silver nanoparticle มาทางนี้. [Online].
Available : http://chromst.blogspot.com/p/blog-page_6435.html เข้าถึงข้อมูลวันที่ 23 มีนาคม 2559
- [40] สุภาพร พรหมศร. 2555. “การเตรียมนาโนคอมพอสิตของยางธรรมชาติกับอนุภาคนาโนอินทรีย์และอนินทรีย์”. ปริญาวิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. หน้า 14

- [41] Xiaoxia Wang, Jingwu Wang, Nianjun Yang. 2007. **Flow injection chemiluminescent detection of gallic acid in olive fruit.** *Food Chemistry* 105 Page 340-345.
- [42] Refat Abdel-Hamid, Emad F. Newair. 2013. **Adsorptive stripping voltammetric determination of gallic acid using an electrochemical sensor based on polyepinephrine/glassy carbon electrode and its determination in black tea sample.** *Journal of Electroanalytical Chemistry* 704 Page 32-37.
- [43] Feng Gao, Delun Zheng, Hidekazu Tanaka, Fengping Zhan, Xiaoning Yuan, Fei Gao, Qingxiang Wang. 2015. **An electrochemical sensor for gallic acid based on Fe₂O₃/electro-reduced grapheme oxide composite : Estimation for the antioxidant capacity index of wines.** *Materials Science and Engineering C57* Page 279-287.
- [44] Keiko Narumi, Jun-Ichiro Sonoda, Keita Shiotani, Michihiro Shigeru, Masayuki Shiata, Akio Kawachi, Erisa Tomishige, Keizo Sato, Toshiro Motoya. 2014. **Simultaneous detection of green tea catechins and gallic acid in human serum after ingestion of green tea tablets using ion-pair high-performance liquid chromatography with electrochemical detection.** *Journal of Chromatography B*, 945-946 Page 147-153.
- [45] Siranoush Shahrzad, Irmgard Bitsch. 1996. **Determination of some pharmacologically active phenolic acids in juices by high-performance liquid chromatography.** *Journal of Chromatography A*, 741 Page 223-231.
- [46] Yoshiaki Amakura, Mai Okada, Sumiko Tsuji, Yasuhide Tonogai. 2000. **Determination of phenolic acids in fruit juices by isocratic column liquid chromatography.** *Journal of Chromatography A*, 891 Page 183-188.
- [47] วิภาดา กันทยศ, ยິงยง ไผสุขศานตวิวัฒนา. **ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณสารฟีนอลิกทั้งหมด และปริมาณเคอร์คูมินอยด์รวมในพืชสกุลขิงที่พบในประเทศไทย. ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**
- [48] รวินิกา ศรีมูล, ศิริจันทร์ ตาใจ. 2556. **ปริมาณฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้แปรรูปในจังหวัดจันทบุรี. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี.**
- [49] จรัสรัตน์ ปานโคก, อรพิน เกิดชูชื่น, ญัญฐา เลหากุลจิตต์. 2555. **ประสิทธิภาพในการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดพืชสมุนไพรไทยบางชนิด. คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ว.วิทย์. กษ. 43(2)(พิเศษ): 361-364.**
- [50] Hsiang-yu Yeh, Cheng-hung Chuang, Hsin-chun Chen, Chu-jeu Wan, Tai-liang Chen, Li-yun Lin. 2014. **Bioactive components analysis of two various gingers (*Zingiber officinale* Roscoe) and antioxidant effect of ginger extracts.** *LWT - Food Science and Technology* 55 Page 329-334.

- [51] Loypimai, P.1, Pasakul, T.1 and Mongkolthai, R., 2011. **Comparisons of Antioxidant Activities and Total Phenolic Content of Fruit Peels.** *Agricultural Sci. J.* 42(2)(Suppl.): 385-388.
- [52] ปานทิพย์ บุญส่ง, วัลภา เนตรดวงตา. 2557. “ความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระและองค์ประกอบทางพฤกษเคมีของใบพืชไม้ผลเขตร้อนบางชนิด.” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ* ปีที่24 ฉบับที่ 3 ก.ย. - ธ.ค.
- [53] นุชนาฏ เสือเล็ก,ดวงพร อมรเลิศพิศาล, จิรดา สิงขรรัตน์, ปนัดดา โรจนพิบูลสถิตย์, สุปรานี กองคำ และ รัตนา เตียงทิพย์. 2555. ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดพอลิฟีนอลจากน้ำมันเมล็ดชา. *ธรรมศาสตร์เวชสาร* ปีที่ ๑๒ ฉบับที่ ๒ ประจำเดือนเมษายน-มิถุนายน ๒๕๕๕.
- [54] เสาวนาภรณ์ โชคสกุลพร.ปริมาณสารฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดเมล็ดมะฮอกกานีใบใหญ่. อาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม.
- [55] Xiaoqian Wang, Cuiying Li, Dong Liang, Yangjun Zou, Pengmin Li, Fengwang Ma. 2015. **Phenolic compounds and antioxidant activity in red-fleshed apples.** *journal of functional foods* 18 Page 1086–1094.
- [56] J. Tashkhourian, S.F. Nami-Ana. 2015. **A sensitive electrochemical sensor for determination of gallic acid based on SiO₂ nanoparticle modified carbon paste electrode.** *Materials Science and Engineering C* 52 Page 103-110.
- [57] Zhaohui Chen, Xiaodan Zhang, Haiyan Cao, Yuming Huang. 2013. **Chitosan-capped silver nanoparticles as a highly selective colorimetric probe for visual detection of aromatic ortho-trihydroxy phenolst.** *Analyst*, 138, 2343
- [58] Mohammad Mazloun-Ardakani, Mohammad Ali Sheikh-Mohseni, Hadi Beitollahi, Ali Benvidi, Hossein Naeimi. 2010. **Electrochemical determination of vitamin C in the presence of uric acid by a novel TiO₂ nanoparticles modified carbon paste electrode.** *Chinese Chemical Letters* 21 Page 1471-1474.
- [59] Kandasamy Selvam, Chinnappan Sudhakar, Muthusamy Govarthanan, Periasamy Thiyagarajan, Arumugam Sengottaiyan, Balakrishnan Senthilkumar, Thangasamy Selvankumar. 2016. **Eco-friendly biosynthesis and characterization of silver nanoparticles using *Tinospora cordifolia* (Thunb.) Miers and evaluate its antibacterial, antioxidant potential.** *Journal of Radiation Research and Applied Science* xxx Page 1-8.
- [60] Şeyda Karadirek, NergisKanmaz, ZeynepBalta, PelinDemirçivi, Ayşem Üzer, Jülide Hızal, Reşat Apak. 2016. **Determination of total antioxidant capacity of**

humic acids using CUPRAC, Folin–Ciocalteu, noble metal nanoparticle- and solid–liquid extraction-based methods. *Talanta* 153 Page 120-129.

- [61] Paulo A. Raymundo-Pereira, Anderson M. Campos, Thiago M. Prado, Leonardo N. Furini, Naiza V. Boas, Marcelo L. Calegari, Sergio A.S. Machado. 2016. Synergy between Printex nano-carbons and silver nanoparticles for sensitive estimation of antioxidant activity. *Analytica Chimica Acta*, 1e11.
- [62] Priya Bhatia, Parul Yadav, Banshi D. Gupta. 2013. Surface plasmon resonance based fiber optic hydrogen peroxide sensor using polymer embedded nanoparticles. *Sensors and Actuators B* 182 Page 330-335.
- [63] AOAC Guidelines for Single Laboratory Validation of Chemical Methods for Dietary Supplements and Botanicals [Online]. Available : http://www.aoac.org/imis15_prod/AOAC_Docs/StandardsDevelopment/SLV_Guidelines_Dietary_Supplements.pdf



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. การประเมินหาสารต้านอนุมูลอิสระในตัวอย่าง (mg/g) ด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้นหรือวิธี AgNPs ตัวอย่างน้ำขิง 1 ได้ค่าการดูดกลืนแสงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

ค่าการดูดกลืนแสง (a.u.)	
ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1.182	1.185

- ขั้นที่ 1 นำค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างหักลบด้วยค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย แบลงค์ที่มีค่าเท่ากับ 1.149

$$\text{Abs. ครั้งที่ 1} \quad 1.182 - 1.149 = 0.0335$$

$$\text{Abs. ครั้งที่ 2} \quad 1.185 - 1.149 = 0.0365$$

- ขั้นที่ 2 จากสมการเส้นตรง $y=0.0106x-0.0169$ แทนค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่หักลบสัญญาณแบลงค์

$$\text{ครั้งที่ 1} \quad x = \frac{0.0335+0.0169}{0.0106}$$

$$x = 4.75 \mu\text{M}$$

$$\text{ความเข้มข้น มีค่าเท่ากับ } 4.75 \times 10^{-6} \text{ M}$$

$$\text{ครั้งที่ 2} \quad x = \frac{0.0365+0.0169}{0.0106}$$

$$x = 5.04 \mu\text{M}$$

$$\text{ความเข้มข้น มีค่าเท่ากับ } 5.04 \times 10^{-6} \text{ M}$$

- ขั้นที่ 3 เจือจางสารละลาย 4 เท่า

$$\text{ครั้งที่ 1} \quad 4.75 \times 10^{-6} \text{ M} (4) = 1.9 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$\text{ครั้งที่ 2} \quad 5.04 \times 10^{-6} \text{ M} (4) = 2.0 \times 10^{-5} \text{ M}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นที่ 4

- ครั้งที่ 1

สารละลาย 1000 ml มี gallic acid 1.9×10^{-5} mol

สารละลาย 25 ml มี gallic acid $25 \times \frac{1.9 \times 10^{-5}}{1000}$ mol = 4.75×10^{-7} mol

- ครั้งที่ 2

สารละลาย 1000 ml มี gallic acid 2.0×10^{-5} mol

สารละลาย 25 ml มี gallic acid $25 \times \frac{2.0 \times 10^{-5}}{1000}$ mol = 5.03×10^{-7} mol

- ขั้นที่ 5

- ครั้งที่ 1

$$n = \frac{g}{MW}$$

$$4.75 \times 10^{-7} \text{ mol} = \frac{g}{188.14}$$

$$g = 8.94 \times 10^{-5} \text{ g} = 0.089 \text{ mg}/19.0757 \text{ g}$$

$$g = 0.0047 \text{ mg/g}$$

- ครั้งที่ 2

$$n = \frac{g}{MW}$$

$$5.03 \times 10^{-7} \text{ mol} = \frac{g}{188.14}$$

$$g = 9.46 \times 10^{-5} \text{ g} = 0.095 \text{ mg}/19.0757 \text{ g}$$

$$g = 0.0050 \text{ mg/g}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้