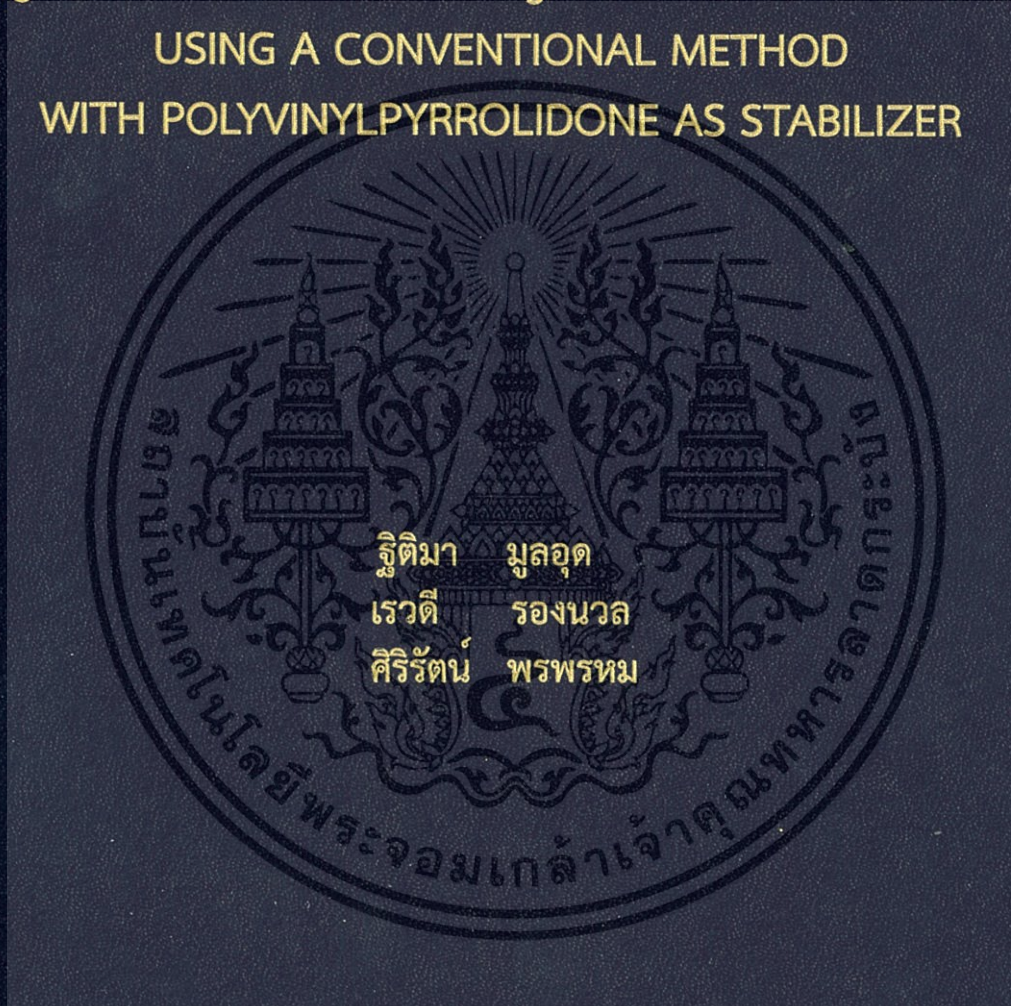


การเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และ
วัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ ด้วยวิธีการอย่างง่าย
โดยใช้พอลิไวนิลไพร์โรลิโดนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพ

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF
Ag NANOPARTICLES AND Ag-GO NANOCOMPOSITES
USING A CONVENTIONAL METHOD
WITH POLYVINYLPIRROLIDONE AS STABILIZER



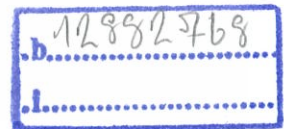
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และ
วัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ ด้วยวิธีการอย่างง่าย
โดยใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพ

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF
Ag NANOPARTICLES AND Ag-GO NANOCOMPOSITES
USING A CONVENTIONAL METHOD
WITH POLYVINYLPIRROLIDONE AS STABILIZER



จิตติมา มุลอตุต
เรวดี รอนนวล
ศิริรัตน์ พรพรหม



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 149305
ร.น. เดือน ปี..... 12 ก.พ. 2561

โครงการพิเศษเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการปีการศึกษา 2558 นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF
Ag NANOPARTICLES AND Ag-GO NANOCOMPOSITES
USING A CONVENTIONAL METHOD
WITH POLYVINYLPYRROLIDONE AS STABILIZER



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **ACADEMIC YEAR 2015** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ ด้วยวิธีการอย่างง่าย โดยใช้พอลิไวนิลไพร์โรลิโดนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพ

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF Ag NANOPARTICLES AND Ag-GO NANOCOMPOSITES USING A CONVENTIONAL METHOD WITH POLYVINYLPIRROLIDONE AS STABILIZER

ชื่อนักศึกษา

นางสาวฐิติมา มุลอูด รหัสนักศึกษา 55050633

นางสาวเรวดี รongนวล รหัสนักศึกษา 55050786

นางสาวศิริรัตน์ พรพรม รหัสนักศึกษา 55050818

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี



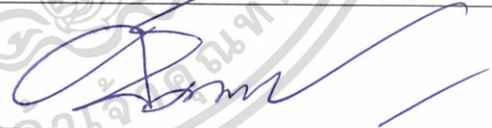
ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ ประธานกรรมการ	
ดร.เอกรัฐ เดชศรี กรรมการ	
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ ด้วยวิธีการอย่างง่าย โดยใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพ		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจิตติมา	มุลอด	รหัสนักศึกษา 55050633
	นางสาวเรวดี	รองนวล	รหัสนักศึกษา 55050786
	นางสาวศิริรัตน์	พรพรหม	รหัสนักศึกษา 55050818
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์		

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษนี้ ก็คือเพื่อศึกษาการเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์ (GO) อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ (Ag-GO) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการเตรียมกราฟีนออกไซด์จากผงกราฟีนขึ้นมาก่อนด้วยวิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์ จากนั้นนำผงกราฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้ไปกระจายตัวในน้ำกลั่นแล้วทำการสั่นด้วยคลื่นความถี่สูง (Ultrasonication) และสุดท้ายทำการหมუნเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนออก ก็จะได้สารแขวนลอยของแผ่นกราฟีนออกไซด์ขนาดนาโนที่มีสีน้ำตาลเข้ม ในขณะที่สารแขวนลอยสีเหลืองน้ำตาลของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์สามารถเตรียมได้จากวิธีการให้ความร้อนอย่างง่าย โดยใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) เป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพ ภายใต้การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยปราศจากตัวรีดิวซ์ ในขั้นตอนการเตรียมนี้ได้มีการศึกษาถึงอิทธิพลของระยะเวลาในการให้ความร้อน ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) และความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นจะทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นกราฟีนออกไซด์ขนาดนาโนอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้โดยใช้เทคนิค UV-vis, FT-IR, Raman, XRD, SEM และ TEM จากการศึกษาด้วยเทคนิค UV-vis, FT-IR และ XRD สามารถยืนยันได้ว่าในงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการเตรียมแผ่นกราฟีนออกไซด์จากกราฟีนเริ่มต้น ในขณะเดียวกันจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TEM พบว่าสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 6.92 ± 3.96 นาโนเมตร และมีรูปร่างคล้ายทรงกลม โดยใช้เทคนิคเดียวกันนี้จะสังเกตเห็นถึงความบาง และความโปร่งแสงของแผ่นกราฟีนออกไซด์ นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ยังได้มีการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านการกัดกร่อนของเหล็กกล้าอีกด้วย

แม้ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของยางธรรมชาติ จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าตัวอย่างของยางธรรมชาติที่ผสมกับสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์เท่านั้นที่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) ได้ ดังนั้นแนวคิดของงานวิจัยนี้อาจจะเป็นประโยชน์อย่างมากต่อนักวิจัยในสาขาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในอนาคตได้

คำสำคัญ: กราฟีนออกไซด์ พอลิไวนิลไพโรลิโดน วิธีการของฮัมเมอร์ วิธีการให้ความร้อนอย่างง่าย อนุภาคนาโนซิลเวอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF Ag NANOPARTICLES AND Ag-GO NANOCOMPOSITES USING A CONVENTIONAL METHOD WITH POLYVINYLPIRROLIDONE AS STABILIZER		
Students	MISS THITIMA	MOONAUD	Student ID 55050633
	MISS RAYWADEE	RONGNAUN	Student ID 55050786
	MISS SIRIRAT	RONPROM	Student ID 55050818
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Dr.Chaval Sriwong		

Abstract

The objective of this special project is to study the preparation and characterization of graphene oxide (GO), silver nanoparticles (AgNPs) and silver-graphene oxide (Ag-GO) nanocomposites. In this research, the graphite oxide was firstly prepared from graphite powder by a modified Hummer's method, and the prepared graphite oxide powder was dispersed in distilled water, and then sonicated, centrifuged, finally the dark brown aqueous dispersion of GO nanosheets was obtained. While the yellow-brown aqueous suspensions of AgNPs and Ag-GO nanocomposites were synthesized by a conventional heating method using polyvinylpyrrolidone (PVP) as a stabilizer under the temperature heating at 90 °C without reducing agents. In this preparation procedure, the influences of heating time, the concentrations of PVP, silver nitrate (AgNO₃) solutions and GO suspension were investigated for the optimum condition. Then, the obtained GO nanosheets, AgNPs and Ag-GO nanocomposites were also characterized by using UV-vis, FT-IR, Raman, XRD, SEM and TEM techniques. From the UV-vis, FT-IR and XRD results confirmed that the GO sheets were successfully prepared from pristine graphite, whereas the average particles sizes of colloidal AgNPs was about 6.92±3.96 nm and had spherical-like shape, including the very thin and transparency sheets of GO could be observed by TEM technique. Moreover, in this research, the possibility on the application of the synthesized AgNPs and Ag-GO nanocomposites for improving antibacterial properties of natural rubber were also studied. From the preliminary test showed that only the natural rubber mixed with a colloidal AgNPs sample could

be inhibited the growth of a Gram-positive *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

bacterial in a strong manner. Therefore, the concept of this research will be very useful to be considered by the future researchers in the related fields.

Keywords: Graphene oxide (GO), Polyvinylpyrrolidone (PVP), Hummer's method, Conventional heating method, Silver nanoparticles



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความอนุเคราะห์เมตตาอย่างดีจากผู้มีอุปการคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา ให้ความรู้ความเข้าใจ อีกทั้งยังให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาอันเป็นประโยชน์เสมอมา ทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้มีความสมบูรณ์จนสำเร็จไปอย่างราบรื่น

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. มนตรี ทองคำ และ ดร. เอกรัฐ เดชศรี ที่ให้ความกรุณาเป็นคณะกรรมการในการตรวจสอบ ให้คำแนะนำ และเสนอความคิดเห็นเห็นต่างๆ รวมทั้งแนวทางการแก้ไขปัญหา ซึ่งเป็นผลให้โครงการพิเศษเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้ความร่วมมืออำนวยความสะดวกในทุกๆ ด้าน ทำให้โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณพี่นักศึกษาระดับปริญญาโท นายวรพล เตชขงกูร และ นายวรท ประสานเสียง ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหาลดลดการทำโครงการพิเศษครั้งนี้ และขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่เป็นกำลังใจและช่วยให้คำปรึกษาในการทำโครงการพิเศษเล่มนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้กำลังใจและสนับสนุนด้านทุนการศึกษาในการเรียนและการทำโครงการพิเศษเล่มนี้มาโดยตลอด

หากโครงการพิเศษเล่มนี้ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ท่านผู้ใด ไม่ว่าจะมากหรือน้อย ผู้จัดทำขอแสดงความดีความชอบทั้งปวงแก่บิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่าน ที่มีส่วนในการช่วยส่งเสริมให้ผู้จัดทำมีความรู้ ความสามารถ จนสำเร็จการศึกษา

จิตติมา มุลออด
เรวดี รองนวล
ศิริรัตน์ พรพรหม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป	ฎ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ท
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี	4
2.1.1 สมบัติของนาโนเทคโนโลยี.....	5
2.1.1.1 ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา	6
2.1.1.2 สมบัติเชิงแสง.....	6
2.1.1.3 สมบัติทางไฟฟ้า	7
2.1.1.4 สมบัติทางแม่เหล็ก.....	8
2.1.1.5 สมบัติความแข็งแรงและความแข็ง.....	8
2.1.1.6 สมบัติความเป็นพลาสติก.....	8
2.1.2 ประโยชน์ของนาโนเทคโนโลยี.....	9
2.2 อนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	10
2.2.1 ตัวอย่างวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์	10
2.2.1.1 วิธีการรีดักชันทางเคมี	10
2.2.1.2 วิธีการแตกตัวด้วยความร้อน	11
2.2.1.3 วิธีการรีดักชันด้วยไมโครเวฟ	11
2.2.1.4 วิธีการฉายรังสีแกมมา	11
2.2.1.5 วิธีการของทอลเลนส์	12
2.2.2 ประโยชน์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	12
2.2.3 การประยุกต์ใช้งานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์	14
2.3 กราฟีนออกไซด์	15
2.3.1 วิธีสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์.....	16
2.3.2 การประยุกต์ใช้งานกราฟีนออกไซด์.....	16
2.4 พอลิไวนิลไพโรลิโดน	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 ยางธรรมชาติ	18
2.5.1 น้ำยางธรรมชาติ.....	18
2.5.2 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติ.....	19
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
3.1 สารเคมี	26
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	26
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	27
3.3.1 การเตรียมกราฟีนออกไซด์.....	27
3.3.1.1 การเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการดัดแปลงวิธีของฮัมเมอร์ (Modified Hummer's Method)	27
3.3.1.2 การเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonication Method).....	28
3.3.2 การเตรียมสารละลายเข้มข้น (Stock Solution).....	28
3.3.2.1 การเตรียมสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร.....	28
3.3.2.2 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้น 16.90 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (0.10 โมลาร์).....	28
3.3.2.3 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน	28
ความเข้มข้น 50.00 ต่อมิลลิลิตร (5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)	28
3.3.3 การเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต	29
3.3.3.1 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน	30
3.3.3.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน ที่ใช้	30
3.3.4 การเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์โดยการรีดิวซ์	31
สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต	
3.3.4.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ ที่ใช้	32
3.3.4.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน ที่ใช้ เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์	32
3.3.4.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ใช้ เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์	33
3.3.5 การเตรียมตัวอย่างในแผ่นยางธรรมชาติ.....	35
3.3.6 สมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียกับยางธรรมชาติ	36
3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์.....	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-vis Spectrophotometer).....	36
3.4.2 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR).....	37
3.4.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope; TEM).....	37
3.4.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM).....	37
3.4.5 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึก (X-ray Diffraction; XRD).....	38
3.4.6 เครื่องรามานสเปคโตรสโคปี (Raman Spectroscopy).....	38
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	39
4.1 การศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟไฟต์ กราไฟต์ออกไซด์ และกราฟีนออกไซด์.....	39
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD).....	39
4.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปคโตรสโคปี (FT-IR).....	40
4.1.2.1 กราไฟต์.....	40
4.1.2.2 กราไฟต์ออกไซด์.....	41
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิครามานสเปคโตรสโคปี (Raman).....	43
4.1.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-vis).....	44
4.1.5 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ..	45
4.1.5.1 กราไฟต์.....	45
4.1.5.2 กราไฟต์ออกไซด์.....	45
4.1.6 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ...	46
4.2 การศึกษาเอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	47
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร (UV-vis)	47
4.2.1.1 ผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน.....	49
4.2.1.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ ...	50
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ...	52
4.3 การศึกษาเอกลักษณ์ของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์	53
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร (UV-vis)	53
4.3.1.1 ผลของความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ใช้	54
4.3.1.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์	55
4.3.1.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรดที่ใช้ เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ใช้.....	56
4.3.1.4 ผลของการศึกษาในเงื่อนไขพิเศษ	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)...	58
4.4 การศึกษาการต้านเชื้อแบคทีเรียในยางธรรมชาติ	59
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	62
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	63
เอกสารอ้างอิง	64
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก	69



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน.....	30
3.2 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย พอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้	31
3.3 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารแขวนลอย กราฟีนออกไซด์ที่ใช้	32
3.4 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย พอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์	33
3.5 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ที่ใช้ เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์	34
3.6 แสดงเงื่อนไขที่ทำการศึกษาและวิธีที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์.....	35
3.7 แสดงเงื่อนไขการเตรียมตัวอย่างลงในแผ่นยางธรรมชาติ.....	36
4.1 แสดงข้อมูล FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบการสั่นของพันธะที่สำคัญ ของกราฟไฟต์ และกราฟไฟต์ออกไซด์	42
4.2 แสดงค่าความยาวคลื่นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ภายใต้เงื่อนไขระยะเวลา ในการให้ความร้อนที่ต่างกัน.....	50
4.3 แสดงค่าความยาวคลื่นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ภายใต้เงื่อนไขความเข้มข้น ของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ต่างกัน	51
4.4 แสดงค่าความยาวคลื่นของกราฟีนออกไซด์ ภายใต้เงื่อนไขความเข้มข้น ของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ต่างกัน	54
4.5 แสดงค่าความยาวคลื่นของกราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ภายใต้เงื่อนไขความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ต่างกัน	56
4.6 แสดงค่าความยาวคลื่นของกราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ภายใต้เงื่อนไขความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ต่างกัน	57
4.7 บริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด <i>Staphylococcus aureus</i> และ <i>Escherichia coli</i>	61

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	แสดงขนาดนาโนเมตร..... 5
2.2	อนุภาคนาโนทองคำ (จุดสีดำ) ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวซิลิกอน (ภาพ A) ทำให้ซิลิกอนเกิดการเติบโตขึ้นมาเป็นเส้นลวดนาโนซิลิกอน (ภาพ B และ ภาพ C)..... 6
2.3	ถ้วยโบราณที่มีผลึกนาโนทองคำเป็นส่วนประกอบ..... 7
2.4	แสดงช่องว่างระหว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำแบบกึ่งอนันต์และอนุภาคนาโน..... 7
2.5	ขนาดเกรนในระดับนาโนเมตร..... 8
2.6	ความเป็นพลาสติกพิเศษของท่อนาโนคาร์บอน..... 9
2.7	พื้นที่ผิวของอนุภาคเงินเมื่อมีขนาดเล็กลง..... 10
2.8	ภาพ TEM ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการของทอลเลนส์..... 12
2.9	กลไกการทำงานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์..... 13
2.10	โครงสร้างของกราฟีนออกไซด์และสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์..... 15
2.11	แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์ (1) กราไฟต์ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้กราฟีนไฟต์ออกไซด์ (2) การใช้คลื่นความถี่สูงในน้ำทำให้ชั้นของกราฟีนไฟต์ออกไซด์หลุดลอกออกได้เป็นกราฟีนออกไซด์..... 16
2.12	โครงสร้างของพอลิไวไนลไพโรลิโดน..... 17
2.13	แสดงการกระจายตัวของอนุภาคเมื่อมีการใส่พอลิไวไนลไพโรลิโดน..... 17
2.14	โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ..... 18
2.15	การตัดแปรงยางธรรมชาติด้วยวิธีต่างๆ..... 19
2.16	ภาพถ่ายจากเทคนิค TEM ที่แสดงถึงการกระจายตัว รูปร่าง และขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์..... 21
2.17	การทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยที่ (A) <i>S.aureus</i> (B) <i>methicillin-resistant S.aureus</i> (C) <i>Escherichia coli</i> and (D) <i>Pseudomonas aeruginosa</i> bacteria..... 22
2.18	จากการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ด้วยเทคนิค UV-vis โดยที่ (A) สารแขวนลอยหลังจากทำการรีดิวซ์ (B) เก็บสารแขวนลอยไว้เป็นเวลา 6 เดือน..... 23
2.19	แสดงค่าการดูดกลืนแสงจากเทคนิค UV-vis ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ หลังทำการรีดิวซ์ทันทีและหลังจากทำการรีดิวซ์แล้ว 6 เดือน..... 23
2.20	แสดงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่มีการใส่กราฟีนออกไซด์..... 24
2.21	แสดงการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์บนวัสดุนาโนไฮบริดซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์.... 25
3.1	แสดงชุดการทดลองการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์..... 29
4.1	แสดงรูปแบบ XRD ของกราฟไฟต์ และกราฟไฟต์ออกไซด์..... 39
4.2	แสดงสเปกตรัม FT-IR ของกราฟไฟต์..... 40
4.3	แสดงสเปกตรัม FT-IR ของกราฟไฟต์ออกไซด์..... 41
4.4	โครงสร้างของกราฟีนออกไซด์..... 42
4.5	แสดงรามานสเปกตรัมของกราฟไฟต์..... 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6	แสดงรามานสเปกตรัมของกราฟาไฟต์และกราฟีนออกไซด์..... 43
4.7	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์..... 44
4.8	ภาพถ่ายจากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย X3,000 เท่า ของกราฟาไฟต์ 45
4.9	ภาพถ่ายจากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย X2,500 เท่า ของกราฟาไฟต์ออกไซด์ 45
4.10	ภาพถ่ายจากกล้อง TEM ที่กำลังขยาย X19,000 เท่า ของกราฟีนออกไซด์ 46
4.11	ภาพถ่ายแสดงลักษณะของ (A) สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (B) สารแขวนลอย อนุภาคนาโนซิลเวอร์ 47
4.12	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 47
4.13	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 0, 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที 49
4.14	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้นของสารละลาย พอลิไวนิลไพโรลิโดน 0.00, 5.00, 25.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 50
4.15	ภาพถ่ายจากกล้อง TEM ที่กำลังขยาย X19,000 เท่า ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 52
4.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคและจำนวนของอนุภาคนาโนซิลเวอร์..... 52
4.17	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 53
4.18	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นของสารแขวนลอย กราฟีนออกไซด์ 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 54
4.19	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้น ของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน 5.00, 25.00, 50.00, 100.00 และ 150.00 มิลลิกรัม ต่อมิลลิลิตร เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ 55
4.20	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้นของสารละลาย ซิลเวอร์ไนเตรต 1.69, 8.45 และ 16.90 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อมีการใส่ สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ 56
4.21	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ในเงื่อนไขพิเศษ โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน 100.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 57
4.22	ภาพถ่ายจากกล้อง TEM ที่กำลังขยาย X16,000 เท่า ของ วัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์..... 58
4.23	ภาพถ่ายของ (B1) แผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับ (B2) สารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (B3) สารแขวนลอยวัสดุผสมนาโน ซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ (B4) สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์..... 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 แสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก <i>S.aureus</i> ของ (B1) แผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับ (B2) สารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (B3) สารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ (B4) สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์.....	60
4.25 แสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ <i>E.coli</i> ของ (B1) แผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับ (B2) สารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (B3) สารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ (B4) สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์.....	60



คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
GO	Graphene oxide
PVP	Polyvinylpyrrolidone
AgNPs	Silver nanoparticles
NaBH ₄	Sodium borohydride
Na ₃ C ₆ H ₅ O ₇	Sodium citrate
(CH ₃) ₂ NC(O)H	Dimethylformamide
C ₂ H ₆ O ₂	Ethylene glycol
N ₂ H ₂	Hydrazine hydrate
Ag(NH ₃) ₂ ⁺	Diamminesilver (I) ion
SPR	Surface Plasmon Resonance
AgNO ₃	Silver nitrate
KMnO ₄	Potassium permanganate
H ₂ SO ₄	Sulphuric acid
HCl	Hydrochloric acid
H ₂ O ₂	Hydrogen peroxide
<i>S.aureus</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
<i>E.Coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
AAS	Atomic Absorption Spectroscopy
PCS	Photo Correlation Spectroscopy
EDX	Energy Dispersive X-Ray Spectrometer
AFM	Atomic Force Microscope
UV-vis	Ultraviolet-visible spectrophotometer
XRD	X-ray diffraction
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
TEM	Transmission Electron Microscope
SEM	Scanning Electron Microscope
Raman	Raman Spectroscopy
D band	Defect graphitic carbon
G band	Graphitic carbon
cm ⁻¹	เลขคลื่น
nm	นาโนเมตร
mL	มิลลิลิตร
mg	มิลลิกรัม
min	นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ซิลเวอร์หรือเงิน (Silver; Ag) มีการนำมาประยุกต์ใช้งานให้เกิดประโยชน์ต่อมนุษย์มาอย่างยาวนานในอดีต ตั้งแต่ยุคอาณาจักรกรีกโบราณ พบว่าโลหะเงินได้ถูกนำมาใช้เป็นภาชนะในการเก็บรักษา น้ำให้สะอาดปราศจากเชื้อโรค และมีการใช้เหรียญเงินแช่ในนมก่อนดื่มเพื่อให้แน่ใจว่าปราศจากเชื้อโรค นี่จึงเป็นหลักฐานสำคัญจากภูมิปัญญาของบรรพบุรุษที่เป็นประโยชน์ในการพัฒนาและวิจัยต่อจนถึงปัจจุบัน [1]

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Silver nanoparticles; AgNPs) สามารถเตรียมได้โดยวิธีต่างๆ ทั้งทางกายภาพและทางเคมี [2] ซึ่งวิธีการสังเคราะห์โดยกระบวนการรีดักชันด้วยวิธีทางเคมี (Chemical reduction method) เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยจะทำการรีดิวซ์สารละลายของซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ให้ได้สารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยใช้ตัวรีดิวซ์ (Reducing agents) เช่น โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) [3] และไฮดราซีน (N_2H_4) [4] เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามตัวรีดิวซ์ดังกล่าวยังมีความเป็นพิษสูง อีกทั้งในการควบคุมขนาดของอนุภาคทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากอนุภาคของซิลเวอร์แต่ละอนุภาคสามารถเกิดการรวมตัวกันได้หรือมีเสถียรภาพน้อย ยากต่อการเก็บรักษาและนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้นจากงานวิจัยที่ผ่านมาจึงมีการเติมสารเพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพ (Stabilizing agents) และควบคุมขนาดของอนุภาคให้มีขนาดเป็นไปตามต้องการ เช่น พอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) [5] โซเดียมอัลจิเนต [6] เอทิลีนไกลคอล ($C_2H_6O_2$) ไดมิลฟอสมาร์ไมด์ ($(CH_3)_2NC(O)H$) [7] และโซเดียมซิเตรต ($Na_3C_6H_5O_7$) [8] เป็นต้น ซึ่งพบว่าการใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นสารที่ช่วยในการรักษาเสถียรภาพจะทำให้ได้สารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีเสถียรภาพสูง เก็บไว้ได้เป็นเวลานาน และเหมาะแก่การนำไปใช้ประโยชน์ที่มีความหลากหลายมากขึ้น [5]

กราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide; GO) เป็นอีกรูปหนึ่งของคาร์บอน มีลักษณะเป็นแผ่นบางขนาดนาโนที่มีโครงสร้าง 2 มิติ รูปหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้ง มีความหนาเพียง 1 คาร์บอนอะตอมหรือประมาณ 0.34 นาโนเมตร [9] ซึ่งการเตรียมกราฟีนออกไซด์สามารถเตรียมได้จากกราฟไฟต์เป็นกราฟไฟต์ออกไซด์ด้วยวิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์ (Modified Hummer's method) หลังจากนั้นทำการเตรียมสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ในน้ำจากกราฟไฟต์ออกไซด์ ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonication method) [10] เนื่องจากโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์เต็มไปด้วยหมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอนิล หมู่คาร์บอกซิลิก และหมู่อีพอกไซด์ เป็นต้น จึงทำให้กราฟีนออกไซด์เป็นสารแขวนลอยในน้ำหรือตัวทำละลายมีขั้วได้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถนำกราฟีนออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ทางด้านต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะทางด้านพอลิเมอร์ผสม (Polymer composite) เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลให้กับวัสดุ เช่น ความแข็งแรง ความเหนียว และค่า Young's modulus เป็นต้น [11]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในน้ำด้วยวิธีการอย่างง่าย โดยใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยรักษาเสถียรภาพ และยังมีการศึกษาการเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ โดยใช้วิธีการเดียวกัน หลังจากนั้นจะมีการศึกษาคุณลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉพาะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ รวมทั้งยังศึกษาความเป็นไปได้ของสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับสารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ไปใช้ในสารเติมแต่ง เพื่อเพิ่มสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียหรือสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการเตรียมกราฟีนออกไซด์จากกราฟีนโดยใช้วิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์และเตรียมกราฟีนออกไซด์จากกราฟีนออกไซด์ในน้ำกลั่นด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง
- 2) เพื่อศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของกราฟีน กราฟีนออกไซด์ และกราฟีนออกไซด์
- 3) เพื่อศึกษาการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในน้ำ โดยใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยรักษาเสถียรภาพ ด้วยวิธีการอย่างง่าย
- 4) เพื่อศึกษาการเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ในน้ำ โดยใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยรักษาเสถียรภาพ ด้วยวิธีการอย่างง่าย
- 5) เพื่อศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์
- 6) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับสารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ไปใช้ในสารเติมแต่ง เพื่อเพิ่มสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียหรือสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ทำการเตรียมกราฟีนออกไซด์จากกราฟีนโดยใช้วิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์และเตรียมกราฟีนออกไซด์จากกราฟีนออกไซด์ในน้ำกลั่นด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง
- 2) ทำการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของกราฟีน กราฟีนออกไซด์ และกราฟีนออกไซด์ โดยใช้เทคนิค XRD, FT-IR, RAMAN, UV-vis, SEM และ TEM
- 3) ทำการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ในน้ำ โดยใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยรักษาเสถียรภาพ ด้วยวิธีการอย่างง่าย โดยการศึกษาเงื่อนไขและผลของปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง คือ ระยะเวลาในการให้ความร้อน ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ และความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตที่ใช้
- 4) ทำการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ในน้ำ โดยใช้เทคนิค UV-vis และ TEM
- 5) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับสารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ไปใช้ในสารเติมแต่ง เพื่อเพิ่มสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียหรือสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจถึงวิธีการเตรียมกราฟต์ออกไซด์ และกราฟีนออกไซด์
- 2) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจถึงคุณลักษณะเฉพาะของกราฟต์ กราฟต์ออกไซด์ และกราฟีนออกไซด์
- 3) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในน้ำ โดยใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยรักษาเสถียรภาพ
- 4) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ในน้ำ โดยใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยรักษาเสถียรภาพ
- 5) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจถึงคุณลักษณะเฉพาะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์
- 6) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจถึงการนำสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับสารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ไปใช้ในสารเติมแต่งในยางธรรมชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

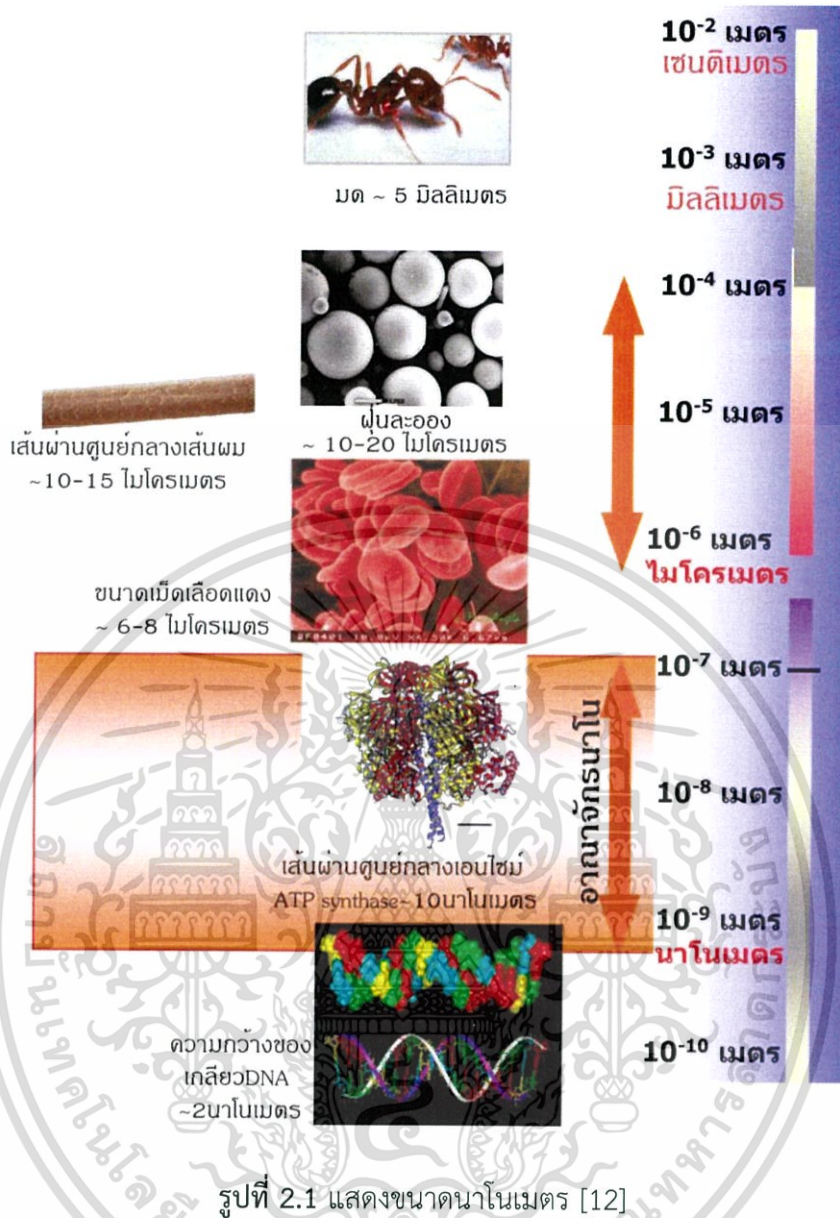
2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี

จุดเริ่มต้นของการที่โลกได้ก้าวเข้าสู่ยุคของนาโนเทคโนโลยีนั้นมาจาก ริชาร์ด ไฟน์แมน (Richard Phillips Feynman) ซึ่งเป็นผู้ที่ได้รับการยอมรับว่าเป็นคนแรกที่แสดงความคิดเห็นถึงความเป็นไปได้ และแนวโน้มของนาโนเทคโนโลยี ในการบรรยายเรื่องหัวข้อเรื่อง “There’s plenty of room at the bottom” ที่สถาบันเทคโนโลยีแคลิฟอร์เนีย เมื่อปี ค.ศ. 1959 (พ.ศ. 2502) [12] และต่อมาในปี ค.ศ. 1974 (พ.ศ. 2517) ศาสตราจารย์ โนริโอะ ทานิกูชิ (Norio Taniguchi) แห่งมหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์โตเกียวเป็นคนแรกที่เริ่มใช้คำว่า “Nanotechnology” [13]

ซึ่งคำว่า “นาโน” มีรากศัพท์มาจากคำในภาษากรีกว่า Nanos ที่แปลว่า “เล็กหรือแคระ” นาโนในความหมายของหน่วยวัดทางคณิตศาสตร์ จะหมายถึง เศษหนึ่งส่วนพันล้านส่วน หากนำคำว่า นาโนมาวางไว้ด้านหน้าของหน่วยวัดทางคณิตศาสตร์ใดๆ ก็จะมีหมายถึง เศษหนึ่งส่วนพันล้านส่วนของหน่วยวัดนั้นๆ เช่น นาโนเมตร มาจากคำว่า นาโน กับ เมตร หมายถึง เศษหนึ่งส่วนพันล้านส่วนของหนึ่งเมตร มีค่า เท่ากับ 10^{-9} หรือ 0.000000001 เมตร นั่นเอง [14] ซึ่งขนาด 1 นาโนเมตรนั้น จะมีขนาดเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมมนุษย์มากๆ หรือประมาณ 8 หมื่นถึง 1 แสนเท่า โดยขนาดสิ่งของที่เล็กที่สุดที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่ามีขนาดประมาณ 10,000 นาโนเมตร ดังนั้นขนาด 1 นาโนเมตร จึงเป็นสิ่งที่เราไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า หรือแม้แต่การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดา การที่นักวิทยาศาสตร์จะสามารถมองเห็นสิ่งที่มีขนาดเล็กระดับ 1 นาโนเมตรได้นั้น จะต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงมาก เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนหรือกล้องจุลทรรศน์ชนิดใหม่ๆ ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยทางด้านนาโนเทคโนโลยี โดยเฉพาะ [15]

วิทยาศาสตร์นาโน (Nanoscience) คือ วิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวัสดุ สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และรวมไปถึงสารชีวโมเลกุล ที่มีโครงสร้างสามมิติ ด้านใดด้านหนึ่ง อยู่ระหว่าง 1-100 นาโนเมตร ซึ่งในคุณสมบัติของวัสดุนาโนจะมีความแตกต่างจากวัสดุขนาดใหญ่ (bulk materials) ไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เคมี และชีวภาพ ล้วนแต่มีคุณสมบัติเฉพาะตัว โดยคุณสมบัติเหล่านั้นจะถูกอธิบายด้วยทฤษฎีทางควอนตัม (quantum theory) [12]

นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology) คือ เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการจัดการ การสร้างหรือการวิเคราะห์ วัสดุ อุปกรณ์ เครื่องจักรหรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็กมากๆ ในระดับนาโนเมตร (ประมาณ 1-100 นาโนเมตร) [12] ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่สามารถจัดการกับอะตอมหรือโมเลกุลแต่ละตัวได้อย่างเที่ยงตรง การจัดการกับสิ่งต่างๆ หรือผลิตสิ่งต่างๆ สามารถทำได้โดยการนำอะตอมหรือโมเลกุลมาวางในตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ สิ่งที่เกิดขึ้นมานั้นจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ได้ [16] ส่งผลให้สิ่งที่มีโครงสร้างและมีคุณสมบัติพิเศษขึ้น ไม่ว่าจะเป็นฟิสิกส์ เคมี หรือชีวภาพ และสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ [12]



รูปที่ 2.1 แสดงขนาดนาโนเมตร [12]

จุดมุ่งหมายสูงสุดของนาโนเทคโนโลยี คือ ความสามารถที่จะสร้างและจัดเรียงอนุภาคต่างๆ ได้ตามความต้องการ และนาโนเทคโนโลยียังมีประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่เดิมให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น และสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ ที่มีคุณสมบัติพิเศษอย่างไม่เคยมีมาก่อน เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดและผู้บริโภคอีกด้วย [17]

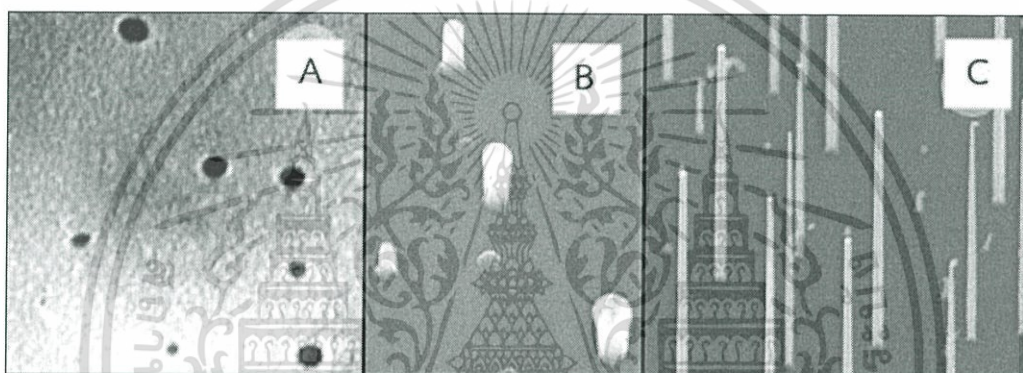
2.1.1 สมบัติของนาโนเทคโนโลยี

คุณลักษณะเฉพาะที่สำคัญมากอย่างหนึ่งของอนุภาคนาโนก็คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวและปริมาตรค่อนข้างสูง สัดส่วนพื้นที่ผิวของอะตอมที่สูงมาก ทำให้อนุภาคนาโนมีสมบัติที่แตกต่างไปจากเดิม [18] ได้แก่ ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา สมบัติทางแสง สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก และสมบัติทางกายภาพ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.1 ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา

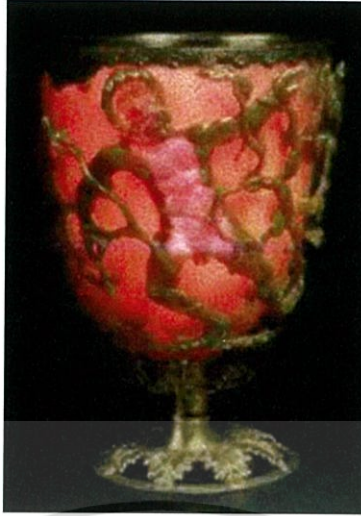
วัสดุที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร จะมีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (Surface to volume) สูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดใหญ่กว่า [20] เช่น อนุภาคนาโนของธาตุทองคำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นาโนเมตร จะมีพื้นที่ผิวของอนุภาคสูงถึง 150 ตารางเมตรต่อกรัม จึงทำให้วัสดุที่มีขนาดระดับนาโนจะมีจำนวนอะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้าสูงมาก [19] ซึ่งสัดส่วนของอะตอมผิวหน้าจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง เช่น อนุภาคนาโนที่มีขนาด 3 นาโนเมตร จะมีจำนวนอะตอมอยู่บริเวณผิวหน้าประมาณร้อยละ 45 แต่เมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลงเหลือ 1 นาโนเมตร จะมีจำนวนอะตอมผิวหน้าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 76 ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวหน้าวัสดุได้ง่ายมากขึ้น และยังเอื้อต่อการเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ เช่น ธาตุทองคำที่ปกติจะเฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมี แต่เมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร กลับมีสมบัติเปลี่ยนไปเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีที่ดีได้ [20] ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 อนุภาคนาโนทองคำ (จุดสีดำ) ที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีบนพื้นผิวซิลิกอน (ภาพ A) ทำให้ซิลิกอนเกิดการเติบโตขึ้นมาเป็นเส้นลวดนาโนซิลิกอน (ภาพ B และ ภาพ C) [19]

2.1.1.2 สมบัติเชิงแสง

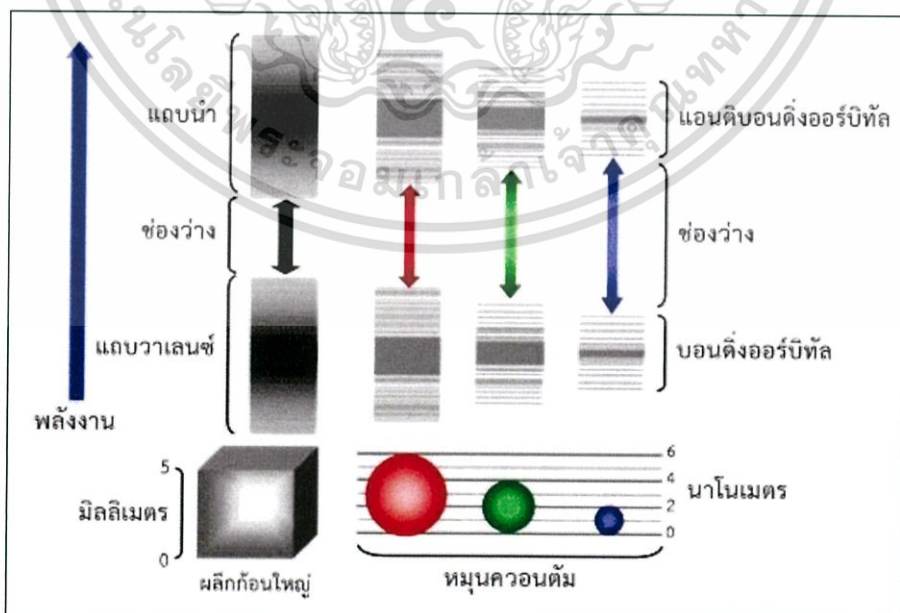
วัสดุที่มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร จะมีสมบัติอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นผิดแปลกไปจากเดิม ก็คือ ช่วงสเปกตรัมที่ถูกดูดกลืนของวัสดุนาโน โดยช่วงความยาวคลื่นของแถบดูดกลืนของวัสดุนาโนจะเป็นช่วงความยาวคลื่นที่สั้นลงกว่าเดิม และพบว่าช่วงความยาวคลื่นที่ถูกดูดกลืนนี้แปรผันตรงตามขนาดของวัสดุนาโน เช่น ทองคำแบบก้อนจะมีสีเหลือง เนื่องมาจากการดูดกลืนแสงสีน้ำเงิน และเมื่อย่อขนาดทองคำให้เล็กลงไปเรื่อยๆ จนมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่มากกระทบมากๆ จะทำให้ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “เซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance; SPR)” ซึ่งจะทำให้อนุภาคทองคำเปลี่ยนไปดูดกลืนแสงสีเขียว (ความยาวคลื่นประมาณ 520 นาโนเมตร) แทน ซึ่งจะส่งผลให้อนุภาคนาโนของทองคำมีสีแดงทึบทึม แทนที่จะเป็นสีเหลืองเหมือนก้อนที่เป็นก้อน เช่น ถ้วยโบราณที่มีผลึกนาโนทองคำเป็นส่วนประกอบ [19] ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ถ้วยโบรอนที่มีผลึกนาโนทองคำเป็นส่วนประกอบ [19]

2.1.1.3 สมบัติทางไฟฟ้า

เมื่อโครงสร้างวัสดุถูกทำให้เล็กลงอยู่ในระดับนาโน จะส่งผลให้สมบัติพื้นฐานทางไฟฟ้าของวัสดุ นั้นแตกต่างออกไปจากที่เคย เช่น เมื่อวัสดุมีโครงสร้างอยู่ในระดับนาโน วงจรไฟฟ้าที่เกิดขึ้นใน โครงสร้างนั้นไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามกฎของโอห์ม (Ohm's law) ซึ่งกฎของโอห์มมีพื้นฐานมาจาก แนวคิดที่ว่า อิเล็กตรอนไหลผ่านไปตามสายไฟฟ้าในลักษณะที่เป็นกระแส แต่ในโครงสร้างระดับนาโน อิเล็กตรอนไม่ได้เคลื่อนที่โดยไหลเป็นกระแสเช่นเดิม เพราะถ้าสายไฟฟ้ามีขนาดความกว้างอยู่ใน ระดับนาโนเมตร อิเล็กตรอนจะต้องไหลไปตามสายไฟฟ้าจากอะตอมหนึ่งไปอีกอะตอมหนึ่งในปริมาตร ที่ถูกจำกัด ซึ่งจะต้องทำให้เกิดสมบัติทางไฟฟ้าที่แตกต่างออกไปจากเดิมอย่างแน่นอน [19] ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงช่องว่างระหว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำแบบก้อนใหญ่และอนุภาคนาโนของ สารกึ่งตัวนำที่มีลักษณะแตกต่างกันไปตามขนาดของอนุภาค [20] นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4 สมบัติทางแม่เหล็ก

โดยทั่วไปสมบัติทางแม่เหล็กของวัสดุนั้นขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัสดุ และลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอมของธาตุที่ประกอบกันขึ้นเป็นวัสดุ เมื่อวัสดุมีขนาดโครงสร้างอยู่ในระดับนาโน จะมีสมบัติทางแม่เหล็กแตกต่างออกไปจากวัสดุขนาดใหญ่ เช่น โดยปกติอะลูมิเนียมในสภาพของวัสดุขนาดใหญ่จะไม่มีสมบัติทางแม่เหล็กเลย แต่เมื่ออยู่ในระดับนาโนเมตรพบว่ากลุ่มอะตอมอะลูมิเนียมจำนวน 13 อะตอมที่มีขนาดประมาณ 1 นาโนเมตร กลับมีการจัดเรียงตัวของอะตอมและการจัดตัวของอิเล็กตรอนภายในอะตอมขึ้นในสภาพเป็นสารแม่เหล็กได้ [19]

2.1.1.5 สมบัติความแข็งแรงและความแข็ง

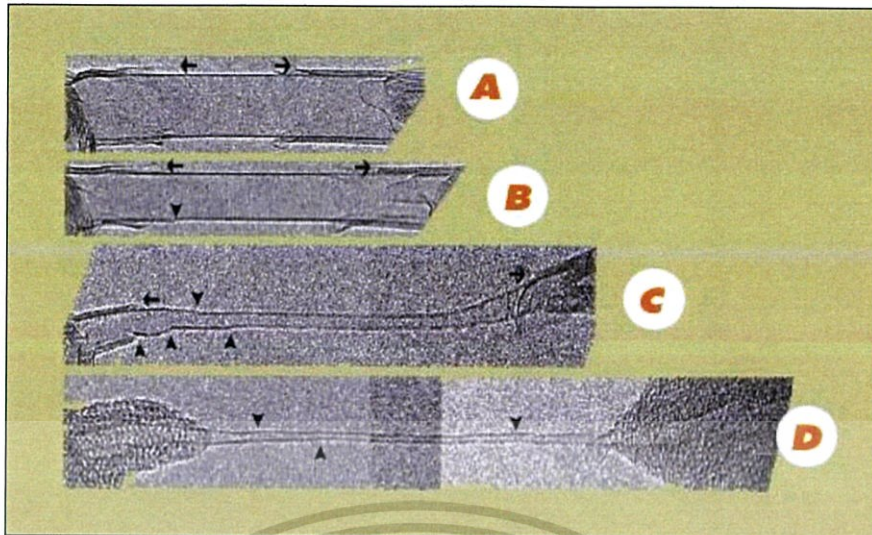
วัสดุประเภทโลหะและเซรามิกที่มีขนาดเกรน (grain size) ในระดับนาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จะมีความแข็งแรงและความทนทานต่อการแตกหักสูงมากกว่าวัสดุชนิดเดียวกันที่มีขนาดเกรนในระดับไมโครเมตรหรือในระดับที่ใหญ่กว่า เช่น โลหะทองแดงที่มีขนาดเกรนในระดับนาโนเมตรจะมีความแข็งแรงสูงกว่าทองแดงปกติถึง 5 เท่า หรือในอนุภาคระดับนาโนเมตรของอะลูมิเนียม ส่งผลให้โครงสร้างของอะลูมิเนียมมีความเหนียวและแข็งแรงมากขึ้นกว่าอะลูมิเนียมในขนาดปกติ [19]



รูปที่ 2.5 ขนาดเกรนในระดับนาโนเมตร [19]

2.1.1.6 สมบัติความเป็นพลาสติก

สภาพพลาสติกพิเศษ (superplastics) จะเกิดขึ้นกับวัสดุที่มีขนาดเกรนในระดับนาโนเมตร โดยพบว่าอนุภาคระดับนาโนของวัสดุจะมีสภาพของการถูกยึดหรือทำให้ผิดรูปได้มากขึ้นกว่าเดิมอย่างมาก โดยวัสดุจะมีอุณหภูมิบริเวณพื้นผิวที่ลดต่ำลงมาก แต่จะมีอัตราความเครียดของวัสดุที่เพิ่มมากขึ้น จากการศึกษาพบว่าโครงสร้างของผลึกระดับนาโนจะสามารถมีสภาพเป็นพลาสติกพิเศษได้เมื่ออยู่ในช่วงอุณหภูมิสูงประมาณ 400-500 องศาเซลเซียส เช่น ท่อนาโนคาร์บอนภายใต้อุณหภูมิสูงๆ โดยที่มีความยาวเริ่มต้น 24 นาโนเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 นาโนเมตร (A) และสามารถมีความเครียดที่เพิ่มขึ้นได้ จนกระทั่งยืดยาวได้เรื่อยๆ จนถึง 91 นาโนเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางลดลงเหลือ 0.8 นาโนเมตร (D) ซึ่งสามารถยืดขยายได้มากขึ้นถึง 280% [19] ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ความเป็นพลาสติกพิเศษของท่อนาโนคาร์บอน [19]

2.1.2 ประโยชน์ของนาโนเทคโนโลยี

นาโนเทคโนโลยี ถือว่าเป็นศาสตร์ที่บูรณาการจากทุกสาขาวิชา และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหลายๆ ด้านด้วยกัน โดยกลุ่มที่เห็นได้ชัดหลักๆ คือ นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ นาโนอิเล็กทรอนิกส์ และวัสดุนาโน

- นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ มีการนำไปใช้ในการแพทย์และสาธารณสุขโดยประยุกต์ใช้กับวัสดุชีวโมเลกุล ซึ่งถือว่าเป็นบทบาทอย่างมากในการเข้ามาช่วยพัฒนาทั้งในด้านการตรวจวินิจฉัยโรคที่แม่นยำและการรักษาที่มีประสิทธิภาพตรงจุดมากยิ่งขึ้น เช่น การสร้างหุ่นยนต์นาโนจากโปรตีนที่ใช้ติดตามความผิดปกติในระดับเซลล์ การสังเคราะห์ยาในรูปแบบใหม่ขนาดนาโนทำให้ใช้ปริมาณยาน้อย แต่ออกฤทธิ์ได้ตรงเป้าหมายมากขึ้น รวมถึงการสร้างระบบนำส่งยาด้วยแคปซูลระดับนาโน เพื่อให้เกิดการส่งยาไปยังเป้าหมายเฉพาะจุดในร่างกาย เช่น เซลล์มะเร็ง ซึ่งจะช่วยให้ยาออกฤทธิ์ได้ตรงจุดโดยไม่ก่อให้เกิดผลข้างเคียง ทำให้การรักษามีประสิทธิภาพมากขึ้น

- นาโนอิเล็กทรอนิกส์ ปฏิเสธไม่ได้ว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ยุคใหม่ต่างพุ่งเป้าไปที่การสร้างอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กแต่มีประสิทธิภาพในการทำงานได้อย่างครบครัน ดังนั้นนาโนเทคโนโลยีจึงเป็นหัวใจสำคัญที่จะช่วยให้ขนาดของคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่างๆ มีขนาดเล็กลง น้ำหนักเบา และมีสมรรถนะในการทำงานที่สูงขึ้น เช่น การใช้โครงสร้างนาโนในการผลิตหน่วยความจำ ที่จะทำให้เก็บข้อมูลได้มากขึ้น เป็นต้น

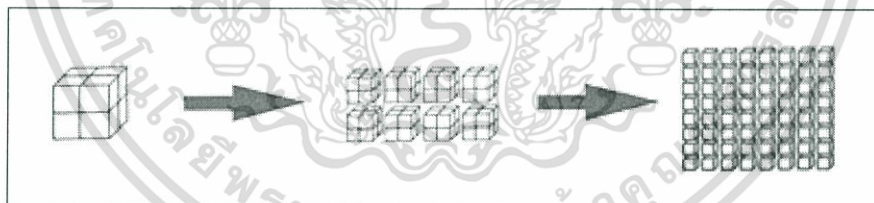
- วัสดุนาโน คือ โลหะ เซรามิก พอลิเมอร์และวัสดุผสมต่างๆ ที่สร้างหรือสังเคราะห์ให้มีขนาดในระดับนาโนเมตร ซึ่งเมื่อวัตถุมีขนาดที่เล็กมาก ก็จะมีผลให้อะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้าเพิ่มมากขึ้น อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มมากขึ้น ทำให้ได้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่พิเศษไปจากเดิม เช่น สมบัติการนำไฟฟ้า สมบัติเชิงกล และสมบัติทางแม่เหล็ก เช่น อนุภาคนาโนเงินที่กำจัดเชื้อโรคได้ ผ้าเคลือบสารนาโนที่มีคุณสมบัติทนไฟ หรือกันน้ำได้ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามการถือกำเนิดของนาโนเทคโนโลยี นับเป็นอีกความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่จะช่วยยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน รวมถึงการสร้างประโยชน์และเพิ่มมูลค่าในเชิงพาณิชย์ได้อย่างมหาศาล [14]

2.2 อนุภาคนาโนซิลเวอร์

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Silver nanoparticles) คือ การนำธาตุเงินมาแปรสภาพให้มีขนาดเล็กมากในระดับนาโน เพื่อจะเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับเชื้อโรค ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และด้วยขนาดเล็กมากทำให้ใช้ธาตุเงินเพียงเล็กน้อยก็สามารถครอบคลุมพื้นที่และเพิ่มโอกาสในการสัมผัสกับเชื้อโรคได้มากขึ้น ที่จริงแล้วเมื่อร้อยกว่าปีก่อนเป็นที่ทราบกันทั่วไปว่าสารละลายซิลเวอร์หรือเงิน สามารถนำมาใช้ในการทำลายเชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อราบางชนิดได้ [21] แต่เนื่องจากซิลเวอร์เป็นโลหะที่มีราคาแพงและจะถูกออกซิไดซ์จนกลายเป็นสีดำ เมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานานจึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการใช้งานขึ้น เมื่อนาโนเทคโนโลยีถูกพัฒนาขึ้นมา นักวิทยาศาสตร์ได้กลับไปให้ความสนใจกับธาตุซิลเวอร์อีกครั้งหนึ่ง ด้วยเหตุผลที่ว่า ถ้าทำให้อนุภาคซิลเวอร์มีขนาดเล็กมากๆ จนสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ และออกฤทธิ์ในการทำลายเซลล์ของแบคทีเรียได้โดยใช้ปริมาณโลหะซิลเวอร์เพียงเล็กน้อยเท่านั้น [22] ซึ่งจะพบอนุภาคนาโนซิลเวอร์กระจายอยู่ตามผนังเซลล์และมีส่วนที่แทรกเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้รบกวนการทำงานระดับโมเลกุลที่เป็นส่วนประกอบของดีเอ็นเอของแบคทีเรียได้ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดการรวมตัวกันของดีเอ็นเอภายในเซลล์ โดยขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้อย่างมีประสิทธิภาพจะมีขนาดอยู่ในช่วง 1-10 นาโนเมตร จากนั้นอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะเกิดการสลายตัวและปลดปล่อยซิลเวอร์ไอออนด้วยความเข้มข้นสูงซึ่งสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็ว [23]



รูปที่ 2.7 พื้นที่ผิวของอนุภาคเงินเมื่อมีขนาดเล็กลง [21]

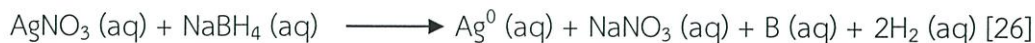
2.2.1 ตัวอย่างวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถสังเคราะห์ได้หลายวิธี แต่วิธีที่นิยมมาใช้ในการสังเคราะห์ ได้แก่

2.2.1.1 วิธีการรีดักชันทางเคมี

วิธีนี้จะใช้ตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ในการสังเคราะห์ซิลเวอร์ให้อยู่ในระดับนาโน เช่น NaBH_4 [3], N_2H_4 [4], NaBET_3H , LiBET_3H และ NaBH_4 เป็นต้น ซึ่งการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยวิธีการรีดักชันทางเคมีสามารถทำได้ทั้งที่อุณหภูมิห้อง ต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง หรือสูงกว่าอุณหภูมิห้องก็ได้ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับตัวรีดิวซ์ที่ใช้ [24] ตัวอย่างการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์เมื่อใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) เป็นตัวรีดิวซ์ ที่อุณหภูมิห้อง ทำให้ได้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ระดับนาโนการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[25] โดยสมการปฏิกิริยาของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตกับสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เกิดขึ้นเขียนได้ดังนี้



โลหะบางชนิดอาศัยการแตกตัวของตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โลหะอะลูมิเนียม ทำให้เป็นวัสดุนาโน โดยการแตกตัวของ $\text{Me}_2\text{EtNAIH}_3$ ในสารละลายโทลูอีน โดยที่ Me คือ อนุกรมเมทิล (CH_3) การให้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยากับสารละลาย จะเป็นตัวกำหนดขนาดอนุภาค อาจใช้สารในกลุ่มของสารลดแรงตึงผิวช่วยเคลือบอนุภาคที่เกิดขึ้นเพื่อป้องกันการรวมกลุ่มกัน (aggregation) [25]

2.2.1.2 วิธีการแตกตัวด้วยความร้อน

การแตกตัวของของแข็งที่อุณหภูมิสูง โดยไอออนบวกของโลหะและไอออนลบเชิงโมเลกุลหรือสารประกอบอินทรีย์โลหะ เช่น ลิเทียมมาจากลิเทียมเอชไซด์ (LiN_3) วัตถุจะอยู่ในท่อควอตซ์ที่มีช่องเปิดถ่ายเทและให้ความร้อนสูงถึง 400 องศาเซลเซียส ณ อุณหภูมิ 370 องศาเซลเซียส ลิเทียมเอชไซด์จะแตกตัวให้ แก๊สไนโตรเจน และระเหยขึ้นสู่บรรยากาศจะคงเหลือไว้ แต่อะตอมลิเทียมเกาะตัวกันเป็นคอลลอยด์ขนาดเล็กกว่า 5 นาโนเมตร [25]

2.2.1.3 วิธีการรีดักชันด้วยไมโครเวฟ

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้รังสีไมโครเวฟเป็นวิธีการรีดักชันทางเคมี โดยเตรียมได้จากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ซึ่งมีเอทานอลเป็นตัวรีดิวซ์และใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพ สารเคมีที่ใช้คือ สารละลายเอทานอลเข้มข้น 1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรพอลิไวนิลไพโรลิโดน 0.2 มิลลิลิตร และซิลเวอร์ไนเตรตเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 25 มิลลิลิตร โดยใส่ในขวดรูปชมพู่และนำไปไว้ในเตาไมโครเวฟ ใช้กำลัง 800 วัตต์ และความถี่ 2,450 เฮิร์ต เป็นเวลา 5 วินาที ซึ่งสารละลายที่ได้จะมีสีเหลือง [27] ข้อดีของวิธีนี้คือ เป็นวิธีการที่ง่าย ใช้สารเคมีน้อย โดยจะสามารถควบคุมขนาดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ ทำให้ได้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย [26]

2.2.1.4 วิธีการฉายรังสีแกมมา

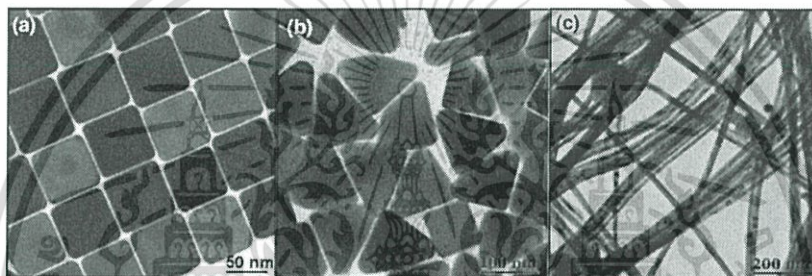
วิธีนี้จะใช้รังสีแกมมาในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol; PVA) เป็นตัวทำให้เสถียร (Stabilizer) ร่วมกับเอทานอล (Ethanol) ซึ่งเป็นตัวจับอนุมูลอิสระไฮดรอกซี (Hydroxy free radical; OH) โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้สามารถนำไปใช้ในการเตรียมแผ่นเจลปิดแผล ซึ่งการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เตรียมโดยการฉายรังสีแกมมานี้ จะขึ้นอยู่กับปฏิกิริยารีดิวซ์ไอออนเงิน (Ag^+) โดย hydrated electron (e^-_{aq}) และอนุมูลอิสระไฮโดรเจน (hydrogen free radical; $\text{H}\cdot$) ที่เกิดในสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย โดย e^-_{aq} และ $\text{H}\cdot$ เป็นตัวรีดิวซ์ที่สามารถรีดิวซ์ Ag^+ ให้เป็น Ag^0 ได้ และ $\text{OH}\cdot$ ที่เกิดขึ้นระหว่างการฉายรังสีเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดี ซึ่งจะต้องเปลี่ยนเป็นตัวรีดิวซ์ โดยการทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ (เช่น Ethanol หรือ Isopropanol) เกิดเป็นอนุมูลเชิงแอลกอฮอล์ (alcoholic radicals) แอลกอฮอล์เป็นตัวจับอนุมูลอิสระไฮดรอกซี ($\text{OH}\cdot$) และอนุมูลอิสระ $\text{R}\cdot\text{CHOH}$ จะไม่สามารถรีดิวซ์ Ag^+ ในสารละลายแต่จะสามารถรีดิวซ์ Ag^+ ในกลุ่มของ Ag^+ ได้ [28]

2.2.1.5 วิธีการของทอลเลนส์

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้วิธีนี้ จะให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สามารถควบคุมขนาดได้ ปฏิกิริยารีดักชันของ $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$ แสดงได้ดังสมการ



$\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$ เป็นรูปที่เสถียร เมื่อสังเคราะห์ด้วยแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงๆ แต่เมื่อทำการศึกษาที่แอมโมเนียความเข้มข้นต่ำๆ พบว่าจะได้อนุภาคขนาดเล็ก เช่น เมื่อใช้กลูโคสและแอมโมเนียความเข้มข้น 0.005 M พบว่าได้อนุภาคมีขนาดเฉลี่ย 57 นาโนเมตร และเกิด SPR ชั้นที่ 420 นาโนเมตร ถ้า $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2^+$ ถูกรีดิวซ์ด้วย HTAB (n-hexadecyl trimethyl ammonium bromide) จะได้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่แตกต่างกัน เช่น สี่เหลี่ยม สามเหลี่ยม และเส้นใย [29] ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ภาพ TEM ของอนุภาคเงินระดับนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการของทอลเลนส์ [29]

2.2.2 ประโยชน์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

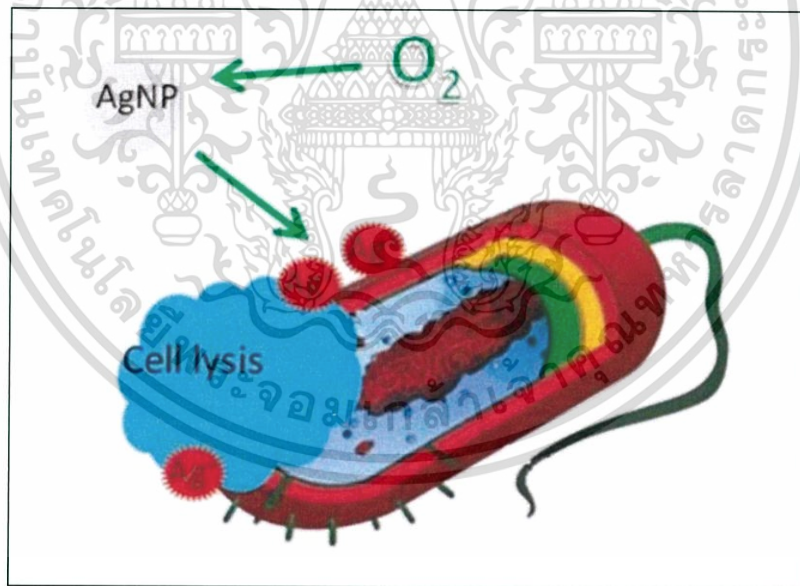
ปัจจุบันได้มีการนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาประยุกต์ใช้ในหลายๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นทางด้านสุขภาพ โดยมีการทดสอบแล้วว่าปลอดภัยต่อร่างกาย เนื่องด้วยปริมาณที่น้อยมากนี้จึงไม่มีผลข้างเคียงใดๆ ต่อร่างกาย เนื่องจากซิลเวอร์เป็นธาตุเฉื่อยที่มีอยู่ในธรรมชาติ [30] จึงนำมาใช้งานกับมนุษย์ได้ เช่น ใช้ซิลเวอร์ผสมในน้ำยาบ้วนปากเพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรียในช่องปาก ใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุทำหน้ากากปิดปาก ปิดจมูก และนอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้งานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในสีทาบ้าน และเป็นส่วนผสมของเส้นใยในแผ่นกรองอากาศ [1]

อนุภาคนาโนซิลเวอร์นั้นสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้เช่นเดียวกับซิลเวอร์ไอออน (Silver Ion) J. R. Morones และคณะ [21] ได้ศึกษาการฆ่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ 4 ชนิด ด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ได้แก่ *E.coli* แบคทีเรียที่ทำให้เกิดอาการท้องเสีย *S.typhus* แบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคไทฟอยด์ *P.aeruginosa* แบคทีเรียที่ทำให้เกิดการติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ และ *V.cholera* แบคทีเรียที่ทำให้เกิดอหิวาตกโรค พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ขึ้นอยู่กับชนิดของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์มากกว่า 75 ส่วนในล้านส่วน ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อเชื้อแต่ละชนิดจะไม่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม้การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับแบคทีเรียเมื่อใช้อุณหภูมิโนซิลเวอร์จะไม่เหมือนกับการใช้ซิลเวอร์ไอออนในทุกกรณี แต่ก็พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์กระจายอยู่ตามผนังเซลล์และแทรกเข้าไปภายในเซลล์ของแบคทีเรีย แล้วเกิดการรวมตัวของดีเอ็นเอภายในเซลล์เช่นเดียวกับการใช้ซิลเวอร์ไอออน ขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สามารถฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพจะอยู่ในช่วง 1-10 นาโนเมตร เนื่องจากอนุภาคนาโนขนาดเล็กจะแสดงอิทธิพลของ Electronic Effect ได้ดียิ่งขึ้น ทำให้ความว่องไวของพื้นผิวของอนุภาคนาโนในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น อีกทั้งความแข็งแรงในการจับของอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นพื้นที่ผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลง ทำให้ประสิทธิภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เพิ่มขึ้น ผิวหน้าของอนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถจับกับแบคทีเรียได้ดี [31]

กลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีประจุบวกหรือซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) เมื่อสัมผัสกับผนังเซลล์ของแบคทีเรียหรือเชื้อราจะสามารถแพร่กระจายประจุไปเกาะตามผนังเซลล์และแทรกเข้าไปภายในเซลล์ของแบคทีเรียทำให้เกิดภาวะการรวมตัวของ DNA (Condensation) ภายในเซลล์ ทำให้ประจุบวกของซิลเวอร์ไอออน เข้าไปจับกับเอนไซม์โปรตีนเอส (Proteinase) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับระบบเมตาบอลิซึมของเซลล์ ซึ่งจะจับกับหมู่ซัลไฟดริล (-SH) ที่มีอะตอมของซัลเฟอร์ (S) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีประจุเป็นลบ (S^{2-}) และทำให้กระบวนการทำงานของเอนไซม์หยุดการทำงาน จนกระทั่งเซลล์แบคทีเรียหยุดการเจริญเติบโตและเสื่อมสภาพตายในที่สุด [32]



รูปที่ 2.9 กลไกการทำงานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ [30]

ดังนั้นกลไกการทำงานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์มี 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. อนุภาคนาโนซิลเวอร์ในช่วง 1-10 นาโนเมตร จับกับผิวหน้าของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย และรบกวนการทำงานระดับเซลล์ของแบคทีเรีย เช่น การขนส่งสารเข้าออกจากเซลล์และการหายใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรียและรบกวนการทำงานระดับโมเลกุล โดยจับกับสารที่มีซัลเฟอร์ (S) และฟอสฟอรัส (P) เป็นองค์ประกอบ เช่น DNA
3. อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดการสลายตัวและปลดปล่อยซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) เนื่องจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีขนาดเล็กและมีเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถปลดปล่อยซิลเวอร์ไอออนออกมาด้วยความเข้มข้นสูง สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็ว [33]

อนุภาคนาโนซิลเวอร์นั้นมีความสามารถในการทำหน้าที่ต่อต้านการเจริญของแบคทีเรียได้ดี แต่จะให้ประสิทธิภาพมากหรือน้อยนั้นก็ยังคงคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ อีก เช่น ความเข้มข้น ขนาดของอนุภาค โดยหากมีขนาดอนุภาคใหญ่เกินไปหรือไม่เหมาะสมต่อการต่อต้านแบคทีเรียก็อาจจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดน้อยลง ซึ่งขนาดของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้มานั้นก็ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวรีดิคซ์ [34]

โดยการที่จะพัฒนาเป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์นั้นจะทำให้มีจำนวนโมเลกุลต่อพื้นที่มากขึ้น จะมีการส่งผลให้ฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อของแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ข้อดีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์คือ ไม่เป็นพิษ มีคุณสมบัติในการชอบน้ำสูง มีความสามารถละลายในน้ำได้ดี และยังสามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์อีกหลายชนิด โดยวิธีในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์นั้นจะมีวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก [35]

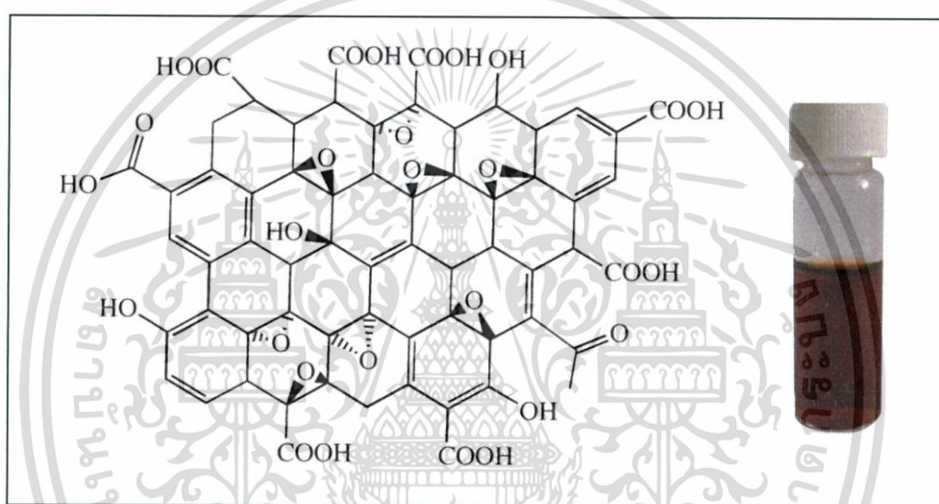
2.2.3 การประยุกต์ใช้งานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

- สิ่งทอ ได้มีการทำอนุภาคนาโนซิลเวอร์ให้แทรกเข้าไปในเส้นใยของสิ่งทอ เช่น พอลิโพรพิลีน ไนลอน เป็นต้น เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่เกิดจากการหมักหมมของเหงื่อบนผิวหนัง ซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้ผลิตเป็นเสื้อผ้าสำหรับนักกีฬา เครื่องแบบสำหรับทหาร และตำรวจ [36] เป็นต้น
- เครื่องใช้ไฟฟ้า ผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทำการเพิ่มมูลค่าของสินค้า โดยนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาใช้ในด้านของการฆ่าเชื้อโรคในเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิด เช่น เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า และเครื่องดูดฝุ่น เป็นต้น เนื่องจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์เมื่อแตกตัวเป็นประจุแล้วสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ทั้งในอากาศและในน้ำ [9]
- สุขภัณฑ์ มีการนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาใช้ฆ่าเชื้อโรคในเครื่องสุขภัณฑ์โดยใช้เป็นสารเคลือบผิวสุขภัณฑ์ ซึ่งทำได้โดยการฉีดพ่นสารละลายของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร่วมกับสารละลายของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนผิวของสุขภัณฑ์ที่ต้องการ จากนั้นนำไปเผาจะทำให้สารยับยั้งเชื้อโรคและสุขภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกัน และสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคจะติดทนตลอดอายุการใช้งาน [36]
- อุปกรณ์ทางการแพทย์ ได้มีการพัฒนาสารเคลือบที่เป็นพอลิเมอร์ที่มีประจุบวกตรึงด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์โบรมاید ($AgBrNPs$) ซึ่งจะให้ Ag^+ ที่สามารถทำลายแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ ทั้งที่อยู่บนพื้นผิวและในสารละลาย จึงสามารถใช้ป้องกันการติดเชื้อจากอุปกรณ์ที่ใช้ทางการแพทย์ เช่น สายยางหรือท่อโลหะที่ใช้สอดเข้าไปในร่างกาย วัสดุเทียมที่ใช้แทนอวัยวะหรือเนื้อเยื่อปลูกถ่าย [37] เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กราฟีนออกไซด์

กราฟีนออกไซด์ เดิมเรียกว่า กราไฟต์ออกไซด์ เป็นสารที่ประกอบไปด้วยคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน [38] เป็นวัสดุที่มีอะตอมเรียงตัวเป็นชั้นเดียว (Single-atomic layered) ซึ่งกราฟีนออกไซด์ถูกสังเคราะห์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกราฟไฟต์ วิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย และได้ผลผลิตที่มากคือวิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์ ทำให้กราฟไฟต์ออกไซด์หลุดลอกออกมาเป็นแผ่นบางๆ ซึ่งกราฟีนออกไซด์ที่ได้จะมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลดำ โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเกิดขึ้นโดยง่าย เนื่องจากโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ประกอบไปด้วยหมู่ของไฮดรอกซิล คาร์บอนิล คาร์บอกซิลิก และอีพอกไซด์อยู่บนแผ่นกราฟีนออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ทำให้กราฟีนออกไซด์สามารถละลายในน้ำและตัวทำละลายที่มีขั้วได้ดี จึงง่ายต่อการนำไปใช้งานที่หลากหลายเป็นอย่างมาก [39]



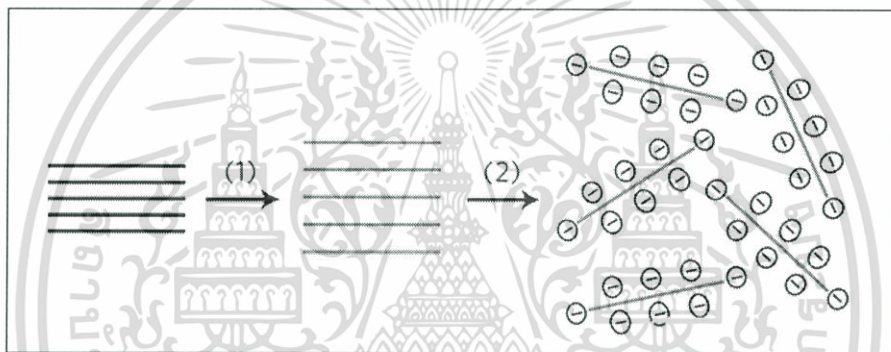
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ [39] และสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

สมบัติโดยทั่วไปของกราฟีนออกไซด์ เนื่องจากกราฟีนออกไซด์เป็นพวกชอบน้ำ สามารถละลายในน้ำและตัวทำละลายที่มีขั้วได้ดี มีพื้นที่ผิวสูงทำให้เหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ ไม่นำไฟฟ้า แต่จะสามารถทำให้เป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าได้โดยการทำให้เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยการใช้แสง ความร้อน หรือปฏิกิริยารีดักชันทางเคมี ซึ่งโดยทั่วไป ปฏิกิริยารีดักชันทางเคมีทำได้โดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ยังมีสมบัติเป็นวัสดุผสมระดับนาโนกับพอลิเมอร์หลากหลายชนิด ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มสมบัติของพอลิเมอร์ตัวนั้นๆ ได้ เช่น โมดูลัสยืดหยุ่น ความทนต่อแรงดึง การนำไฟฟ้า และเสถียรภาพทางความร้อน เนื่องจากกราฟีนออกไซด์มีโครงสร้างที่บาง มีความเสถียร สามารถพับและยึดได้ และยังโปร่งแสงด้วย [40]

2.3.1 วิธีการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์

การสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์ สามารถทำได้หลากหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือ วิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์ เนื่องจากวิธีดังกล่าวสามารถผลิตกราฟีนออกไซด์ได้ในปริมาณมาก และนำมาใช้งานได้อย่างหลากหลาย [2]

การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์ วิธีนี้จะใช้กรดซัลฟิวริกเข้มข้นและโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตเป็นตัวออกซิไดซ์กราฟาไฟต์ ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้เป็นกราฟาไฟต์ออกไซด์ ซึ่งจะมีหมู่ฟังก์ชันของไฮดรอกซิล คาร์บอนิล คาร์บอกซิลิก และอีพอกไซด์ เข้าไปแทรกและเกาะอยู่กับระนาบพื้นผิวของกราฟาไฟต์ ทำให้กราฟาไฟต์แต่ละชั้นมีระยะห่างกว้างขึ้น [41] จากนั้นเมื่อนำกราฟาไฟต์ออกไซด์ที่ได้ไปเตรียมเป็นสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ในน้ำหรือในตัวทำละลายที่มีขั้วโดยใช้คลื่นความถี่สูง ก็จะทำให้แผ่นกราฟีนออกไซด์หลุดลอกออกมา และสามารถเป็นสารแขวนลอยในน้ำได้ [42] โดยมีขั้นตอนง่ายๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์ (1) กราฟไฟต์ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันได้กราฟไฟต์ออกไซด์ (2) การใช้คลื่นความถี่สูงในน้ำทำให้ชั้นของกราฟไฟต์ออกไซด์หลุดลอกได้เป็นกราฟีนออกไซด์

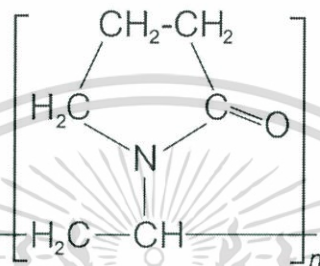
2.3.2 การประยุกต์ใช้งานของกราฟีนออกไซด์

- ทางการแพทย์ เนื่องจากกราฟีนออกไซด์เป็นวัสดุที่โปร่งแสงจึงเหมาะสำหรับในการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ ได้แก่ การตรวจสอบทางชีวภาพ การตรวจสอบหาโรคต่างๆ รวมทั้งยังรักษาโรคมะเร็งได้ กราฟีนออกไซด์ได้ถูกศึกษาว่าสามารถตรวจหาดีเอ็นเอและโมเลกุลทางชีวภาพได้ และอาจจะวินิจฉัยโรคเอดส์ได้อีกด้วย นอกจากนี้กราฟีนออกไซด์ยังเป็นตัวขนส่งยา (Drug delivery) ในทางการแพทย์ อีกทั้งยังมีความเป็นพิษต่ำ

- วัสดุที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน กราฟีนออกไซด์เป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูง สามารถผลิตและควบคุมขนาดได้ง่าย จึงเหมาะสำหรับใช้เป็นวัสดุอิเล็กโทรนิกส์สำหรับแบตเตอรี่ ตัวเก็บประจุ เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ เซลล์เชื้อเพลิง และการกักเก็บไฮโดรเจน [43]

2.4 พอลิไวนิลไพโรลิโดน

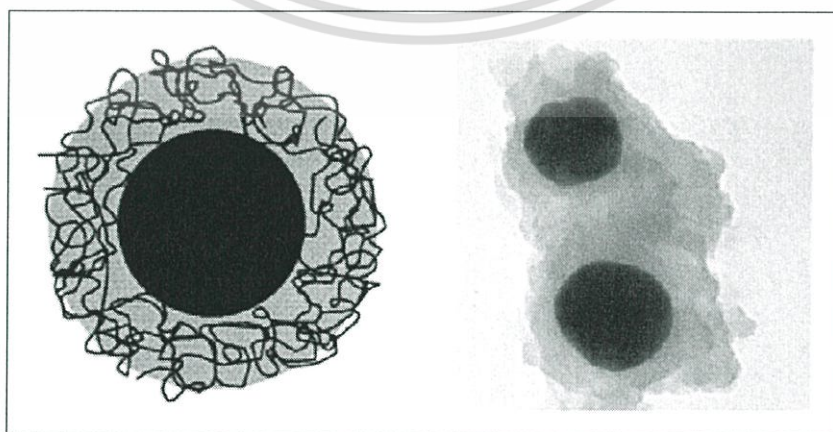
พอลิไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone; PVP) เป็นกลุ่มของพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้จากทางเคมี พอลิไวนิลไพโรลิโดนคือสารพอลิเมอร์แลคแตม (Lactam) ภายในเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอไมด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของแต่ละหน่วย พอลิไวนิลไพโรลิโดนมีความเป็น Amphiphilic คุณสมบัติคือ ในโมเลกุลเดียวกันมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) กลุ่มเอไมด์ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) กลุ่มเมทิลีน ในส่วนของ backbone และส่วนของวงแหวน ซึ่งเป็นคุณสมบัติไฮโดรโฟบิก [44]



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของพอลิไวนิลไพโรลิโดน [44]

พอลิไวนิลไพโรลิโดนถูกนำมาใช้ได้หลากหลายด้าน สิ่งที่น่าสนใจทางด้านสิ่งแวดล้อม ก็คือ ลักษณะโครงสร้างมีความคล้ายกับโปรตีนซึ่งได้ให้ความสำคัญสำหรับการนำไปใช้ในการแพทย์เป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิไวนิลไพโรลิโดนมีความเป็นพิษต่ำมาก และสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเคลือบได้

อีกทั้งพอลิไวนิลไพโรลิโดนยังมีความน่าสนใจในเรื่องของเทคโนโลยีในการทำฟิล์ม การเกาะยึดติดกัน สิ่งเหล่านี้ถูกนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์สเปรย์ฉีดผม สารยึดเกาะ สารละลายสิ่งพิมพ์ ซึ่งความเป็นคอลลอยด์ของตัวเองจึงถูกนำไปใช้ในเรื่องของยา ส่วนผสมน้ำยาทำความสะอาด การเตรียมเครื่องสำอางค์ กระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นสารพอลิเมอร์และสีย้อม หรือตัวช่วยการแพร่กระจายของสารย้อมสี [44] ดังแสดงในรูปที่ 2.13



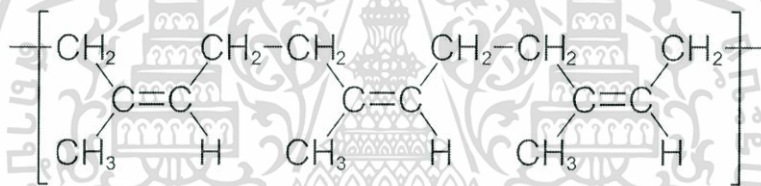
รูปที่ 2.13 แสดงการกระจายตัวของอนุภาคเมื่อมีการใส่พอลิไวนิลไพโรลิโดน [45]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ยางธรรมชาติ

ยาง เป็นวัสดุพอลิเมอร์ชนิดหนึ่ง และเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ภายที่ได้จากต้นพืช เรียกว่า “ยางธรรมชาติ (Natural rubber)” และภายที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี เรียกว่า ยางเทียมหรือยางสังเคราะห์ (Synthetic rubber) [46]

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือ มี isoprene (C_5H_8)_n โดยที่ n มีตั้งแต่ 15-20,000 ดังแสดงในรูปที่ 2.14 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางธรรมชาติจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (Amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางธรรมชาติสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด จึงสามารถเกิดผลึก (Crystallize) ได้ การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาวะเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางธรรมชาติจะมีความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนต่อการฉีกขาด (Tear resistance) และความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) สูง [47]



รูปที่ 2.14 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ [48]

ต้นยางธรรมชาติหรือยางพารามีต้นกำเนิดที่ประเทศบราซิลทวีปอเมริกาใต้ลุ่มน้ำอะเมซอน ต่อมาได้มีผู้นำมาปลูกที่ทวีปยุโรปและเอเชีย เนื่องจากต้นยางพาราชอบอากาศร้อนชื้น ดินทราย ดินร่วน ระบายน้ำดี จึงนิยมปลูกมากแถวเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ต้นยางขึ้นได้ดีในบริเวณที่ฝนตกชุก อุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส และชอบขึ้นในบริเวณที่มีความสูงของพื้นดินไม่สูงมากมากกว่า 80% ของการปลูกยางธรรมชาติอยู่ที่ประเทศไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย ปัจจุบันประเทศไทยผลิตยางธรรมชาติได้มากที่สุดในโลก คือ ประมาณ 3.1 ล้านตันต่อปี มีพื้นที่ปลูกยางพารามากกว่า 16.7 ล้านไร่ (ตัวเลขในปี พ.ศ.2552) [48]

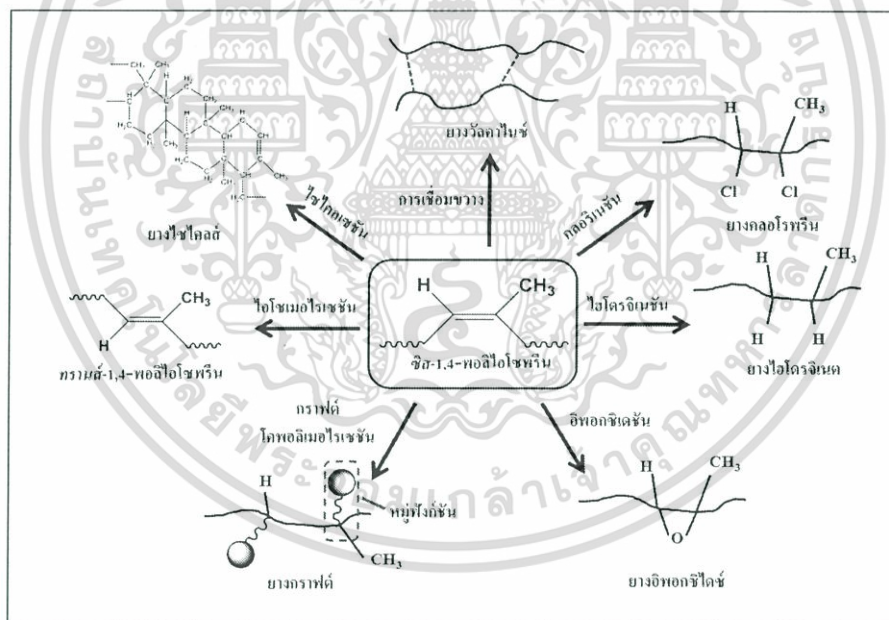
2.5.1 น้ำยางธรรมชาติ

น้ำยาง (Latex) มาจากภาษาละติน หมายถึง ของเหลว (Liquid) หรือของไหล (Fluid) ในบางครั้งก็มีการให้ความหมายว่าเป็นของเหลวหรือของไหลที่มีลักษณะคล้ายน้ำนม (Milky) ความหมายของน้ำยางทางด้านวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์และเทคโนโลยี เป็นสารพอลิเมอร์ที่มีการกระจายตัวแบบคอลลอยด์ในตัวกลางที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ ดังนั้นน้ำยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยางพารา *Hevea brasiliensis* จึงเป็นสารพอลิเมอร์ของอนุภาคยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกระจายตัวอยู่ในตัวกลางน้ำ [46]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 สมบัติของน้ำยางธรรมชาติ

คุณสมบัติโดยทั่วไปของยางธรรมชาติจะมีความยืดหยุ่นได้ดี แต่เมื่อได้รับความร้อนจากภายนอก จะทำให้ยางมีความอ่อนตัว ถ้าได้รับความร้อนสูงเกินไป จะมีลักษณะเหนียวและเสื่อมสภาพ แต่เมื่อเผชิญกับอุณหภูมิต่ำลงจะแข็ง เปราะ และแตกหักได้ง่าย ยางธรรมชาติมีอุณหภูมิคล้ายแก้ว (T_g) ประมาณ -60 องศาเซลเซียส และเกิดการเรียงตัวเป็นผลึกได้ง่ายในภาวะที่ถูกดึง รวมทั้งไม่คงทนต่อสารเคมีหรือตัวทำละลายอินทรีย์ ดังนั้นการปรับปรุงหรือพัฒนาคุณสมบัติยางธรรมชาติให้ดีขึ้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ โดยนิยมศึกษาและวิจัยการปรับปรุงคุณภาพผ่านกระบวนการทางเคมี เนื่องจากโครงสร้างยางธรรมชาติมีความไม่อึดตัวสูง จึงทำให้สายโซ่ยางธรรมชาติเกิดปฏิกิริยาเคมีที่บริเวณพันธะคู่ของคาร์บอนได้ง่าย การเกิดปฏิกิริยาเคมีที่บริเวณพันธะคู่ของคาร์บอนสามารถเกิดได้ภายในโครงสร้างของยางธรรมชาติโดยเป็นการเชื่อมขวางกัน ภายในโมเลกุลหรือการเติมหมู่ฟังก์ชันที่เหมาะสมไปทำปฏิกิริยาที่บริเวณพันธะคู่ของคาร์บอนทำให้เกิดเป็นพันธะเคมีขึ้นใหม่ที่มีลักษณะร่วมกันระหว่างยางธรรมชาติและหมู่ฟังก์ชันที่ได้เติมเข้าไป [48] ดังแสดงในรูปที่ 2.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของยางธรรมชาติ (cis-1,4-polyisoprene) ด้วยวิธีต่างๆ เช่น การเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ คลอรีนชัน ไฮโดรจิเนชัน อีพอกซิเดชัน กราฟต์ โคพอลิเมอไรเซชัน ไอโซเมอไรเซชันและไซโคลเซชัน ซึ่งสมบัติของยางธรรมชาติมีดังนี้



รูปที่ 2.15 การดัดแปรยางธรรมชาติด้วยวิธีต่างๆ [49]

- 1) ความยืดหยุ่น (Elasticity) เป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติ กล่าวคือ ยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไป ยางจะกลับสู่รูปร่างและขนาดเดิม (หรือใกล้เคียง) ได้อย่างรวดเร็ว
- 2) ความเหนียวติดกัน (Tack) ยางธรรมชาติ (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกันซึ่งเป็นสมบัติของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

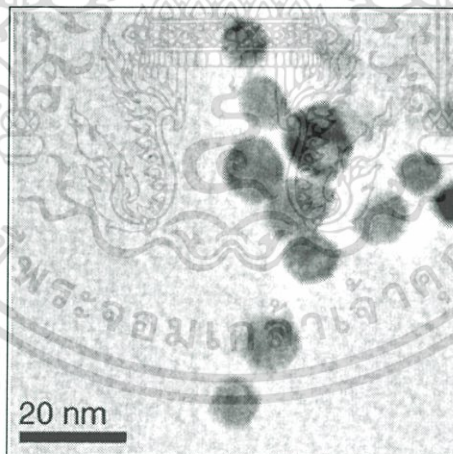
- 3) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูง จึงทำให้ยางสามารถแตกหักได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยที่ไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย และมีความทนทานต่อแรงฉีกขาดสูงมากทั้งที่มีอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิที่สูง
- 4) สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดีมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งานและมีความต้านทานต่อความล้าตัว (Fatigue resistance) ที่สูงมาก
- 5) ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง
- 6) ความเป็นฉนวน (Insulation) ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนมาก โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific resistivity) สูง 10¹⁵-10¹⁶ ohm.cm
- 7) ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and chemical resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ แต่ยางจะทนทานต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซีโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยางธรรมชาติทนต่อการกรดและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อการกรดในดริกและกรดกำมะถันเข้มข้น
- 8) ความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด (Aging properties) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มากทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังนั้นยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย
- 9) การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) ยางธรรมชาติยังคงรักษาสถิตีความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำ
- 10) การเสีรูปหลังการกด (Compression set) ยางธรรมชาติมีการเสีรูปหลังการกดค่อนข้างต่ำที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามการเสีรูปหลังการกดที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะสูงขึ้น เนื่องจากยางอาจเกิดการแตกหักทำให้ความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไป ในขณะที่ค่าการเสีรูปหลังการกดที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติ จะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติไม่ทนต่อความร้อนจึงเกิดการเสื่อมสภาพ
- 11) การกระด้างกระดอน (Rebound resilience) ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระด้างกระดอนสูงและในระหว่างการเล่นรูปร่างจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนน้อย ยางธรรมชาติจึงมีความร้อนสะสมต่ำเมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัต
- 12) อุณหภูมิของการทำงาน (Service temperature) ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 55 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานยางอาจเกิดการแตกหัก ซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและเสียความยืดหยุ่น แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไปสมบัติเชิงกลต่างๆ ก็จะต้องลดลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ [50]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kholoud M.M. Abou El-Nour และคณะ [2] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์และได้ทำการศึกษาการนำไปใช้งานทางด้านต่างๆ ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ทำได้ 2 วิธี คือ วิธีการทางกายภาพ ด้วยเทคนิคการระเหยหรือการควบแน่น และอีกวิธีหนึ่งคือวิธีการทางเคมี ทำได้จากสารเคมีพื้นฐาน ใช้สารเคมีที่เป็นตัวรีดิวซ์ (เช่น ไฮโดรราซีน โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ไฮโดรเจน และอื่นๆ) และการฉายรังสี อนุภาคนาโนซิลเวอร์จะแสดงสมบัติได้แตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่น สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางเคมี และสมบัติทางชีวภาพ ขนาดอนุภาคระดับนาโนจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 100 นาโนเมตร เอกลักษณะส่วนใหญ่ของอนุภาคขนาดนาโนไม่ใช่แค่ขนาดที่มีขนาดในระดับนาโนเท่านั้น แต่อนุภาคนั้นจะต้องมีการกระจายตัวและไม่เกิดการรวมตัวกัน ในปัจจุบันมีความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากการประยุกต์ใช้ในหลายๆ อุตสาหกรรม

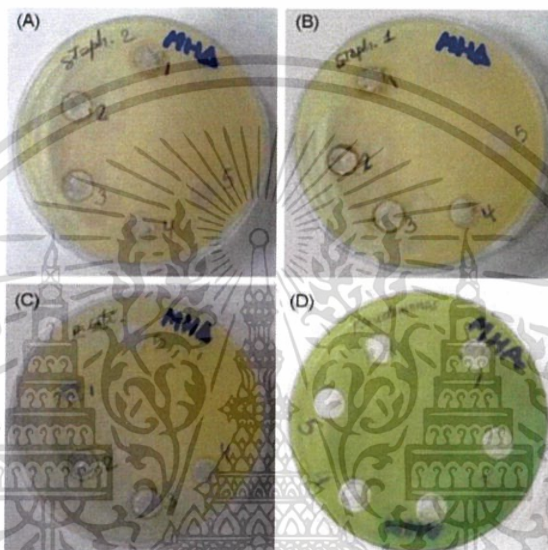
Sally D. Solomon และคณะ [3] ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้วิธีการอย่างง่าย ในการทดลองนี้จะใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นรีเอเจนต์ในการทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต เพื่อให้ซิลเวอร์มีอนุภาคในระดับนาโนโดยมีพอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพร่วมด้วย ซึ่งมีเงื่อนไขในการทดลองคือ ปริมาณและความเข้มข้นของรีเอเจนต์ อุณหภูมิ และระยะเวลาของการเกิดปฏิกิริยา ที่ทำให้ได้เป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีสีเหลือง โดยตรวจสอบลักษณะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ดังกล่าวด้วยเทคนิค UV-vis และ TEM ซึ่งจากการทดลองพบว่าโซเดียมโบโรไฮไดรด์สามารถรีดิวซ์ซิลเวอร์ได้ และเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ภาพถ่ายจากเทคนิค TEM ที่แสดงถึงการกระจายตัว รูปร่าง และขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

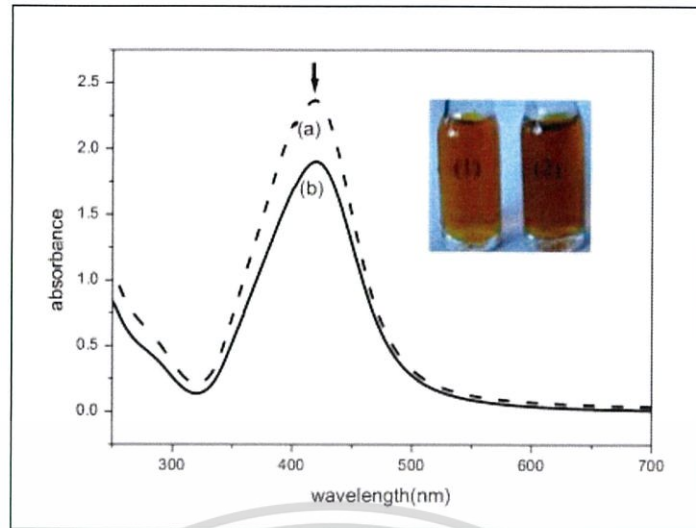
Marible G. Guzman และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้วิธีรีดักชันทางเคมีและทำการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์จะใช้ซิลเวอร์ไนเตรตเป็นสารตั้งต้นและใช้ไฮดร่าซีนเป็นตัวรีดิวซ์ และทำการตรวจสอบอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ได้ด้วยเทคนิค UV-vis สเปกตรัมของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะอยู่ในช่วง 418-420 นาโนเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในสารแขวนลอยมีขนาด 60 นาโนเมตร และยังสามารถตรวจสอบได้จากเทคนิค EDX, XRD และ TEM นอกจากนี้ในการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีความสามารถในการแสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และยังยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจำพวกแบคทีเรียแกรมบวกได้เป็นอย่างดี ดังแสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยที่ (A) *S.aureus* (B) *methicillin-resistant S.aureus* (C) *Escherichia coli* and (D) *Pseudomonas aeruginosa* bacteria. [4]

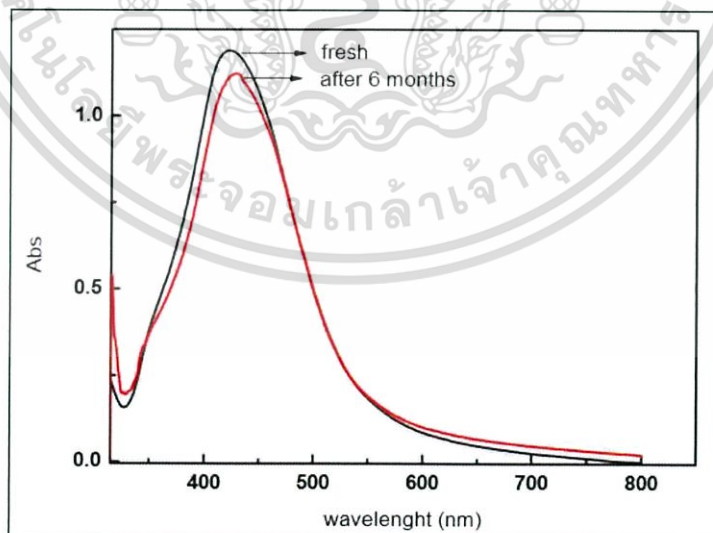
Xihui Zhao และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการอย่างง่าย โดยใช้ไมโครเวฟ ซึ่งมีการพัฒนาขึ้นโดยมีการใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นตัวช่วยกระจายตัวและยังทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์อีกด้วย ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันและอนุภาคนาโนมีเสถียรภาพ ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยา คือ ความเข้มข้นของโซเดียมอัลจิเนต ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต ระยะเวลา และค่า pH ที่ใช้ในการศึกษาการสังเคราะห์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถตรวจสอบได้ด้วยเครื่อง UV-vis, TEM และ XRD จากงานวิจัยพบว่าได้ลักษณะอนุภาคที่เป็นทรงกลม มีขนาดอนุภาคระดับนาโน สิ่งที่น่าสนใจในการศึกษา คือ อัตราการเกิด ขนาด และการกระจายตัวของอนุภาค ในการวิเคราะห์ด้วย XRD พบว่าอนุภาคจะเกิดที่ FCC อนุภาคนาโนซิลเวอร์นี้มีลักษณะที่เหมือนกันและมีเสถียรภาพเมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลามากกว่า 6 เดือน ดังแสดงในรูปที่ 2.18 พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สังเคราะห์ได้มีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 จากการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ด้วยเทคนิค UV-vis โดยที่ (A) สารแขวนลอยหลังจากทำการรีดิวซ์ (B) เก็บสารแขวนลอยไว้เป็นเวลา 6 เดือน [6]

Monir Noroozi และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเตรียมโครงสร้างนาโนซิลเวอร์โดยวิธีการฉายรังสีจากเตาไมโครเวฟ ซึ่งทำการเตรียมจากปฏิกิริยารีดักชันของซิลเวอร์ไอออนในน้ำและใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยกระจายตัวโดยที่ไม่มีการใช้ตัวรีดิวซ์อื่นๆ และทำการตรวจสอบลักษณะของโครงสร้างนาโนซิลเวอร์โดยใช้เทคนิค UV-vis, TEM, AAS และ PCS ซึ่งจากงานวิจัยนี้พบว่าการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการดังกล่าว เป็นวิธีที่เรียบง่ายและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมากกว่าวิธีการให้ความร้อนโดยทั่วไป และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ได้จะมีเสถียรภาพมากในลักษณะที่เป็นสารละลายที่ไม่มีการตกตะกอน ดังแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงค่าการดูดกลืนแสงจากเทคนิค UV-vis ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์หลังทำการรีดิวซ์ทันทีและหลังจากทำการรีดิวซ์แล้ว 6 เดือน [5]

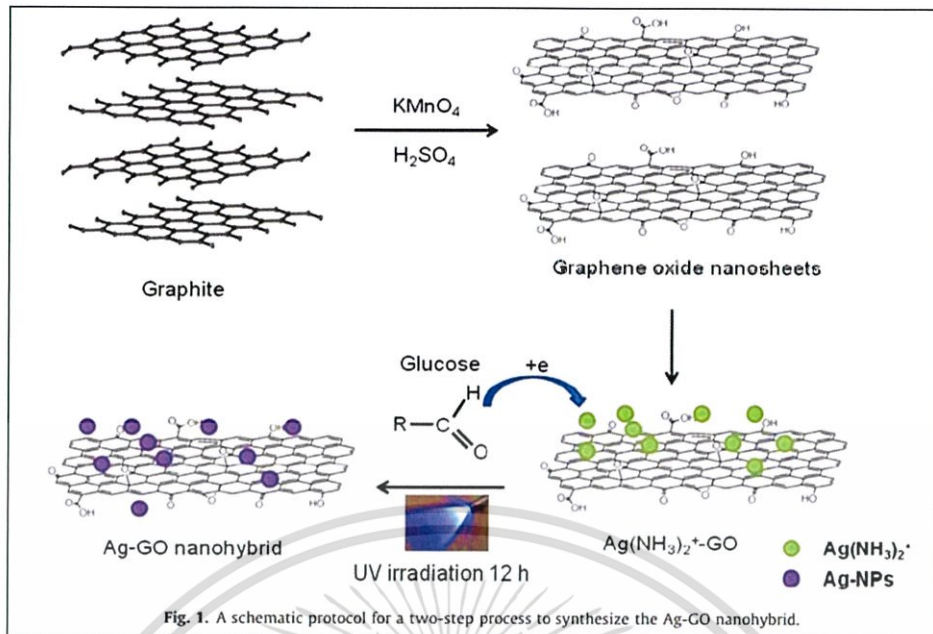
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D.C. Stanier และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาการนำกราฟีนที่มีขนาดระดับนาโนเป็นตัวช่วยเสริมแรงในยางธรรมชาติที่เรียกว่าน้ำยางผสม โดยใช้วิธีอย่างง่ายคือการผสมน้ำยางขึ้น โดยไม่มีการให้ความร้อนหรือไม่มีการเติมสารเคมี จากนั้นนำไปทดสอบสมบัติความเหนียว สมบัติเชิงกล การทดสอบแรงดึง และทำการตรวจสอบคุณลักษณะของยางธรรมชาติดังกล่าวด้วยเทคนิค TEM และ AFM จากงานวิจัยนี้พบว่ายางธรรมชาติที่มีกราฟีนออกไซด์ผสมอยู่จะทำให้มีสมบัติเชิงกลเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ค่า Young's modulus เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.20 ซึ่งกราฟีนออกไซด์ที่ใช้เป็นตัวเสริมแรงนี้จะกระจายตัวได้ดีและเป็นเนื้อเดียวกันกับยางธรรมชาติ เป็นผลให้ยางธรรมชาติมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและนำไปใช้งานได้หลากหลาย ถึงแม้จะใส่กราฟีนออกไซด์ที่มีความเข้มข้นน้อยก็ตาม

NR-GO tensile properties at concentrations between $\chi = 0.00$ wt% and 1.00 wt%.			
GO (wt%)	Strain-to-failure (%)	Strength (MPa)	Young's modulus (MPa)
0.00	5.98 (± 0.39)	2.34 (± 0.17)	1.58 (± 0.10)
0.25	5.46 (± 0.33)	2.30 (± 0.18)	1.85 (± 0.28)
0.50	5.16 (± 0.03)	2.87 (± 0.18)	2.09 (± 0.24)
0.75	5.01 (± 0.24)	3.12 (± 0.36)	2.18 (± 0.37)
1.00	4.73 (± 0.23)	3.13 (± 0.24)	2.33 (± 0.15)

รูปที่ 2.20 แสดงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่มีการใส่กราฟีนออกไซด์ [11]

Nguyen Thi Lan และคณะ [10] ได้มีความสนใจที่จะทำการศึกษาวัดขนาดนาโนไฮบริดที่ประกอบด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์และกราฟีนออกไซด์ เนื่องจากมีการประยุกต์ใช้งานต่างๆ เช่น เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เซนเซอร์ ใช้ทางชีวแพทยศาสตร์ และยาต้านจุลชีพ ซึ่งจะทำให้การเตรียมด้วยวิธีอย่างง่ายและมีประสิทธิภาพ จะทำการเตรียมจากสารละลายซิลเวอร์ และกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์และเทคนิคการกระตุ้นด้วยแสง (Photochemical technique) ซึ่งอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะเกาะอยู่บนแผ่นของกราฟีนออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 โดยสามารถวิเคราะห์ได้ด้วยเทคนิค XRD, TEM, Raman และ FT-IR พบว่าโดยเฉลี่ยอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนแผ่นของกราฟีนออกไซด์มีขนาดประมาณ 6–7 นาโนเมตร มีขนาดใกล้เคียงกันและมีการกระจายตัวที่ดี จากงานวิจัยพบว่านาโนไฮบริดซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ จะแสดงช่วงการดูดกลืนแสงที่ 435 นาโนเมตร เนื่องจากพบอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนแผ่นของกราฟีนออกไซด์ และจะพบการคายพลังงานของนาโนไฮบริดซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 400 และ 530 นาโนเมตร โดยจะเกิดปฏิกิริยาระหว่างการเรืองแสงจากแผ่นของกราฟีนออกไซด์และปรากฏการณ์เชิงแสงจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ซึ่งวัสดุนาโนไฮบริดซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์จะแสดงสมบัติทางแสงได้อย่างดี นิยมประยุกต์ใช้ในงานโยกแก้วนำแสง



รูปที่ 2.21 แสดงการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์บนวัสดุนาโนไฮบริดซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- 1) ผงกราไฟต์ (Graphite Powder, MW 12.01 g/mol) ผลิตโดย SIGMA-ALDRICH
- 2) ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver Nitrate; AgNO_3) ผลิตโดย Merck-chemicals, Analysis
- 3) พอลิไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone; PVP, Average MW 40,000) ผลิตโดย SIGMA-ALDRICH
- 4) โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium Permanganate; KMnO_4) ผลิตโดย CARLO ERBA
- 5) กรดซัลฟิวริก (Sulphuric Acid; H_2SO_4) ความเข้มข้น 96% โดยน้ำหนัก ผลิตโดย CARLO ERBA
- 6) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide; H_2O_2) ความเข้มข้น 30% โดยน้ำหนัก ผลิตโดย CARLO ERBA
- 7) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid; HCl) ความเข้มข้น 37% โดยน้ำหนัก ผลิตโดย CARLO ERBA
- 8) แอซีโตน (Acetone; $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$)
- 9) น้ำยางธรรมชาติชนิดเข้มข้น (Concentrated Natural Rubber Latex; 60% HA)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องกรองแบบลดความดัน
- 2) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic Bar)
- 3) ขวดน้ำกลั่น
- 4) ช้อนตักสาร (Spatula)
- 5) ไมโครปิเปต
- 6) ครกบดสาร (Mortar)
- 7) จานเพาะเชื้อ (Petri Dish)
- 8) ขวดแก้วขนาดเล็ก
- 9) เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge, รุ่น Universal 320)
- 10) เครื่องสั่นโดยใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonicator, รุ่น VCX 130)
- 11) เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน (Hot Plate stirrer, รุ่น HS 7)
- 12) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-visible Spectrophotometer, รุ่น Evolution 201)
- 13) เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR, รุ่น NICOLET-6700)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 14) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer; XRD)
- 15) เครื่องมือรามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy)
- 16) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope; TEM)
- 17) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM, รุ่น JSM 5410I V)

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ในงานวิจัยนี้สามารถเตรียมทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- 1) การเตรียมกราฟีนออกไซด์จากกราไฟต์
- 2) การเตรียม Stock Solutions
- 3) การเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์
- 4) การเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์
- 5) การเตรียมแผ่นยางผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์

3.3.1 การเตรียมกราฟีนออกไซด์

3.3.1.1 การเตรียมกราไฟต์ออกไซด์ด้วยวิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์

(Modified Hummer's Method)

- 1) ชั่งผงกราไฟต์ 2.0000 กรัม และโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) 6.0000 กรัม
- 2) เทลงในขวดก้นกลม แล้วนำขวดก้นกลมไปวางไว้บนถังน้ำแข็งพร้อมกับการปั่นกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเวลา 10 นาที
- 3) ค่อยๆ เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ($\text{conc. H}_2\text{SO}_4$) 46.00 มิลลิลิตร พร้อมกับการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที จะเปลี่ยนสารละลายเป็นสีน้ำตาลดำ
- 4) เติมน้ำกลั่น 100.00 มิลลิลิตร พร้อมกับการปั่นกวนเป็นเวลา 20 นาที
- 5) นำขวดก้นกลมออกจากถังน้ำแข็ง และทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที พร้อมกับเติมน้ำทิ้งไว้
- 6) นำขวดก้นกลมไปวางไว้ในอ่างน้ำร้อน พร้อมกับการปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที
- 7) นำขวดก้นกลมออกจากอ่างน้ำร้อน แล้วนำไปวางไว้บนถังน้ำแข็งอีกครั้ง
- 8) เติมน้ำกลั่น 280.00 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวนต่อเป็นเวลา 20 นาที
- 9) ค่อยๆ เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 20.00 มิลลิลิตร พร้อมกับการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที
- 10) ทำการล้างตะกอนด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และเทสารละลายด้านบนทิ้ง
- 11) ล้างตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก (HCl) 5% โดยปริมาตร ทำการหมุนเหวี่ยงอีกครั้ง
- 12) ทำการกรองตะกอนแบบลดความดัน ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นแล้วจึงล้างด้วยอะซิโตน
- 13) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 14) นำตะกอนที่อบแห้งแล้วมาทำการบดละเอียด จากนั้นก็จะได้เป็นผงกราไฟต์ออกไซด์ออกมา (จะได้ลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลดำ)

3.3.1.2 การเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง

(Ultrasonication Method)

- 1) ชั่งผงกราฟีนออกไซด์ 0.4000 กรัม เทใส่ในหลอดเซนตริฟิวจ์ขนาด 50.00 มิลลิลิตร
- 2) เติมน้ำกลั่น 40.00 มิลลิลิตร แล้วนำไปวางไว้ในตู้อัลตราโซนิค ทำการสั่น (Sonicate) ที่กำลังเครื่อง 40% เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 3) นำสารแขวนลอยที่ได้ไปทำการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จำนวน 2 ครั้ง เพื่อแยกสารแขวนลอยออกจากผงกราฟีนออกไซด์ที่ยังเหลืออยู่
- 4) เทสารแขวนลอยออกจากหลอดเซนตริฟิวจ์อย่างช้าๆ เพื่อไม่ให้ผงกราฟีนออกไซด์ที่ยังเหลืออยู่หลุดออกมาด้วย สุดท้ายก็จะได้กราฟีนออกไซด์ที่มีสีน้ำตาลเข้มค่อนข้างดำ

จากการเตรียมกราฟีนออกไซด์ สามารถเตรียมได้จากกราฟีนเป็นกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์ และทำจากกราฟีนออกไซด์เป็นกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง จากนั้นนำไปทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟีน กราฟีนออกไซด์ และกราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FT-IR) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) เครื่องมือรามานสเปกโทรสโคปี (Raman) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-vis) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

3.3.2 การเตรียมสารละลายเข้มข้น (Stock Solution)

3.3.2.1 การเตรียมสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

- 1) ปิเปตสารละลายกราฟีนออกไซด์ (4.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ที่ได้จากการเตรียมข้างต้น 5.00 มิลลิลิตร ละลายในน้ำกลั่น 15.00 มิลลิลิตร
- 2) เก็บสารแขวนลอยที่ได้ไว้ในขวดแก้ว

3.3.2.2 การเตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้น 16.90 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (0.10 โมลาร์)

- 1) ชั่งซิลเวอร์ไนเตรต 0.8450 กรัม แล้วนำไปใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 50.00 มิลลิลิตร
- 2) เติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดวัดปริมาตร
- 3) เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในตู้มืด

3.3.2.3 การเตรียมสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน ความเข้มข้น 50.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (5% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)

- 1) ชั่งผงพอลิไวนิลไพโรลิโดน 0.5000 กรัม แล้วนำไปใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 10.00 มิลลิลิตร
- 2) เติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดวัดปริมาตร
- 3) เทสารละลายลงในบีกเกอร์ แล้วให้ความร้อนกับสารละลายเพื่อให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน
- 4) เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในตู้มืด

3.3.3 การเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ในเตรต

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยทำการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ในเตรตในน้ำกลั่น โดยใช้สารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพ ในการรีดิวซ์สารละลายจะประกอบไปด้วยสารละลายซิลเวอร์ในเตรตปริมาณ 2.00 มิลลิลิตร สารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนปริมาณ 2.00 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปริมาณ 2.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งจะทำให้การศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน และผลความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ในการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ในเตรตตามเงื่อนไขต่างๆ เพื่อให้ได้สารแขวนลอยที่มีลักษณะเป็นสารสีน้ำตาลดำที่มีความเสถียรสูง มีขนาดอนุภาคระดับนาโน ไม่เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคและไม่เกิดการตกตะกอนลงมา

ซึ่งขั้นตอนในการรีดิวซ์ทำได้ ดังนี้

- 1) เปิดสารละลายซิลเวอร์ในเตรต สารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน และน้ำกลั่นในปริมาณ 2.00 มิลลิลิตร ตามเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนด ลงในขวดแก้วขนาดเล็ก พร้อมกับใส่แท่งแม่เหล็กขนาดเล็กลงไป
- 2) นำขวดแก้วขนาดเล็กใส่ลงในบีกเกอร์ชุดให้ความร้อน โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ 90 องศาเซลเซียส
- 3) ทำการปั่นกวนแท่งแม่เหล็กพร้อมกับการให้ความร้อน ตามเวลาที่เงื่อนไขกำหนด ดังแสดงในรูปที่ 3.1
- 4) ได้สารแขวนลอยจากการรีดิวซ์ เก็บสารละลายที่ได้ไว้ในที่มืด



รูปที่ 3.1 แสดงชุดการทดลองการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.1 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

ในเงื่อนไขนี้จะทำการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยทำการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และจะทำการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 2.00 มิลลิลิตร) ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 0.50 มิลลิลิตร) และกำหนดเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการให้ความร้อนเป็น 0, 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

เงื่อนไข	ความเข้มข้น AgNO ₃ (mg/mL)	ความเข้มข้น PVP (mg/mL)	ปริมาณน้ำกลั่น (mL)	เวลาในการให้ความร้อน (min)
1	33.80	25.00	2.00	0
2				15
3				30
4				45
5				60
6				90

จากการสังเกตการรีดิวซ์ที่ได้จากเงื่อนไขข้างต้น พบว่าที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 15 และ 30 นาที จะได้ลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลอ่อน ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45, 60 และ 90 นาที จะได้ลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลเข้มที่มีความใกล้เคียงกัน และเมื่อนำไปทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-vis จะเห็นได้ว่าที่เวลา 15 และ 30 นาที ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ยังคงเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเวลา 45, 60 และ 90 นาที ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เริ่มมีการคงที่ ดังนั้นจึงเลือกระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45 นาทีเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

3.3.3.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้

จากการศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อนในการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต พบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45 นาทีเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นในเงื่อนไขนี้จึงทำการควบคุมระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45 นาที ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 2.00 มิลลิลิตร) ปริมาณน้ำกลั่น 2.00 มิลลิลิตร และกำหนดเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็น 0.00, 5.00, 25.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 0.00, 0.10, 0.50 และ 1.00 มิลลิลิตร) ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้

เงื่อนไข	ความเข้มข้น AgNO ₃ (mg/mL)	ปริมาณน้ำกลั่น (mL)	ความเข้มข้น PVP (mg/mL)
1	33.80	2.00	0.00
2			5.00
3			25.00
4			50.00

จากการสังเกตการรีดิวซ์ที่ได้จากเงื่อนไขข้างต้น พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน 0.00 และ 5.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะได้ลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีเหลืองอ่อน ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ 25.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะได้ลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีเหลืองอมน้ำตาลที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อนำไปทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-vis จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน 0.00 และ 5.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ยังคงเกิดการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน 25.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เริ่มมีการคงที่ ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

3.3.4 การเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ โดยการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ในเตรต

จากการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ทำให้ทราบถึงเงื่อนไขของระยะเวลาในการให้ความร้อนและความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่เหมาะสมที่สุด คือ ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที และความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นจะทำการเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ โดยทำการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ในเตรตในน้ำกลั่น โดยใช้สารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพในการรีดิวซ์สารละลายจะประกอบไปด้วยสารละลายซิลเวอร์ในเตรตปริมาณ 2.00 มิลลิลิตร สารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนปริมาณ 2.00 มิลลิลิตร และตามด้วยสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 2.00 มิลลิลิตรตามลำดับ จากนั้นจะทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนเมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ และความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตเมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ตามเงื่อนไขต่างๆ เพื่อให้ได้สารแขวนลอยที่มีลักษณะเป็นสารสีน้ำตาลดำที่มีความเสถียรสูง มีขนาดอนุภาคระดับนาโน ไม่เกิดการรวมตัวกันของอนุภาคและไม่เกิดการตกตะกอนลงมา

3.3.4.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ใช้

จากการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ พบว่าระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45 นาที และความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 0.50 มิลลิลิตร) เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นในการเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ในเงื่อนไขนี้จึงได้ทำการควบคุมระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 0.50 มิลลิลิตร) ปริมาณน้ำกลั่น 2.00 มิลลิลิตร และกำหนดเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์เป็น 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 1.00 และ 2.00 มิลลิลิตร) ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ใช้

เงื่อนไข	ความเข้มข้น PVP (mg/mL)	ปริมาณน้ำกลั่น (mL)	ความเข้มข้น GO (mg/mL)
1	25.00	2.00	1.00
2			2.00

จากการสังเกตการรีดิวซ์ที่ได้จากเงื่อนไขข้างต้น พบว่าที่ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะได้ลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลดำ และเมื่อนำไปทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-vis จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์มีความคงที่และไม่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

3.3.4.2 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่าความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 1.00 มิลลิลิตร) เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นในเงื่อนไขนี้จึงทำการควบคุมความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 1.00 มิลลิลิตร) ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตที่ 8.45 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 0.50 มิลลิลิตร) ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที และกำหนดเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็น 5.00, 25.00, 50.00, 100.00 และ 150.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 0.10, 0.50, 1.00, 2.00 และ 3.00 มิลลิลิตร) ดังแสดงในตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิล-ไพโรลิโดนที่ใช้ เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

เงื่อนไข	ความเข้มข้น GO (mg/mL)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (mg/mL)	ความเข้มข้น PVP (mg/mL)
1	1.00	8.45	5.00
2			25.00
3			50.00
4			100.00
5			150.00

จากการสังเกตการรีดิวซ์ที่ได้จากเงื่อนไขข้างต้น พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนทั้ง 5.00, 25.00, 50.00, 100.00 และ 150.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะได้ลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลดำและเมื่อนำไปทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-Vis จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนทั้ง 5.00, 25.00, 50.00, 100.00 และ 150.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่สามารถตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรในการศึกษาเงื่อนไขต่อไป ซึ่งอ้างอิงได้จากผลการทดลองในเงื่อนไขที่ 3.3.3.2 คือการศึกษาผลความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน

3.3.4.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตที่ใช้ เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

จากการศึกษาผลความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนและความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่าความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 0.50 มิลลิลิตร) และความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 1.00 มิลลิลิตร) เป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นในเงื่อนไขนี้จึงทำการควบคุมความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 0.50 มิลลิลิตร) ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 1.00 มิลลิลิตร) ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที และกำหนดเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรตเป็น 1.69, 8.45, 16.90, 25.35 และ 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 0.10, 0.50, 1.00, 1.50 และ 2.00 มิลลิลิตร) อีกทั้งยังมีเงื่อนไขพิเศษในการทดลอง คือ ความเข้มข้นสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 100.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 2.00 มิลลิลิตร) ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 2.00 มิลลิลิตร) และความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตที่ 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (จาก Stock Solution 2.00 มิลลิลิตร) ดังแสดงในตารางที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์-ไนเตรตที่ใช้ เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

เงื่อนไข	ความเข้มข้น PVP (mg/mL)	ความเข้มข้น GO (mg/mL)	ความเข้มข้น AgNO ₃ (mg/mL)
1	25.00	1.00	1.69
2			8.45
3			16.90
4			25.35
*5	100.00	2.00	33.80

จากการสังเกตการรีดิวซ์ที่ได้จากเงื่อนไขข้างต้น พบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 1.69 และ 8.45 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะได้ลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลดำ ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 16.90 และ 25.35 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะได้สารที่ไม่มีเสถียรภาพ มีการตกตะกอน และเมื่อนำไปทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-vis จะเห็นได้ว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตทั้ง 16.90 และ 25.35 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ไม่สามารถตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ ดังนั้นจึงคาดว่าในการตรวจสอบด้วยเทคนิคอื่นๆ จะสามารถพบอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่อยู่บนแผ่นกราฟีนออกไซด์ได้ ได้แก่ เทคนิค TEM และในเงื่อนไขพิเศษ พบว่าลักษณะสารที่ได้เป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลเข้ม มีเสถียรภาพสูง และเมื่อนำไปทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค UV-vis จะพบค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และกราฟีนออกไซด์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ โดยทำการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในน้ำกลั่น โดยใช้สารละลายพอลิไวนิลไพร์โรลิโดนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพ โดยมีเงื่อนไขที่ทำการศึกษาและวิธีที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงเงื่อนไขที่ทำการศึกษาและวิธีที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์

ลำดับที่	เงื่อนไขที่ทำการศึกษา	วิธีที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์
1	ผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน	UV-vis
2	ผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน	UV-vis, TEM
3	ผลของความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์	UV-vis
4	ผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์	UV-vis
5	ผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์	UV-vis, TEM

3.3.5 การเตรียมตัวอย่างในแผ่นยางธรรมชาติ

หลังจากทำการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ โดยการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตแล้ว ทำให้ได้เงื่อนไขต่างๆ ที่เหมาะสม ดังนั้นในการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลงในแผ่นยางธรรมชาติ จึงเลือกใช้เงื่อนไขของการศึกษาผลความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน (ความเข้มข้น AgNO_3 33.80 mg/mL ความเข้มข้น PVP 25.00 mg/mL) การเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ลงในแผ่นยางธรรมชาติ จึงเลือกใช้เงื่อนไขของการศึกษาผลความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (ความเข้มข้น AgNO_3 8.45 mg/mL ความเข้มข้น PVP 25.00 mg/mL ความเข้มข้น GO 1.00 mg/mL) อีกทั้งยังมีการใช้สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (ความเข้มข้น GO 1.00 mg/mL) มาทำการเตรียมตัวอย่างลงในน้ำยางธรรมชาติอีกด้วย

โดยจะทำการเตรียมตัวอย่างลงในแผ่นยางธรรมชาติ ทำได้ดังนี้

- 1) ตวงน้ำยางธรรมชาติปริมาณ 6.00 มิลลิลิตร และเปิดสารแขวนลอยของแต่ละเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น โดยจะใช้ปริมาณ 2.00 มิลลิลิตร ดังแสดงในตารางที่ 3.7 ลงในบีกเกอร์ขนาดเล็ก
- 2) ทำการปั่นกวนผสมเป็นเวลา 10 นาที
- 3) เทลงบนจานเพาะเชื้อ และทิ้งไว้ให้แห้ง
- 4) แกะออกจากจานเพาะเชื้อ

ตารางที่ 3.7 แสดงเงื่อนไขการเตรียมตัวอย่างลงในแผ่นยางธรรมชาติ

ตัวอย่างที่	ปริมาณน้ำยางธรรมชาติ (mL)	เงื่อนไข	
		เงื่อนไขที่ใช้	ปริมาณ (mL)
1	6.00	น้ำกลั่น	2.00
2		การเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์	
3		การเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์- กราฟีนออกไซด์	
4		กราฟีนออกไซด์ความเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร	

หลังจากทำการเตรียมตัวอย่างลงในแผ่นยางธรรมชาติแล้ว จะได้เป็นแผ่นยางธรรมชาติทั้งหมด 4 ตัวอย่าง จากนั้นจะนำแผ่นยางธรรมชาติที่เตรียมได้ไปทำการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

3.3.6 สมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียกับยางธรรมชาติ

ในการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จะทำการทดสอบด้วยแบคทีเรียแกรมบวก คือ *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) และแบคทีเรียแกรมลบ คือ *Escherichia coli* (*E.coli*) ด้วยวิธี Agar disc diffusion โดยตัวอย่างที่นำไปทำการทดสอบจะใช้ขนาด 1 × 1 เซนติเมตร

3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์

3.4.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-vis Spectrophotometer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultraviolet (UV) และ visible (vis) ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร สารที่นำมาวิเคราะห์ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น ซึ่งการดูดกลืนแสงของสารต่างๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารนั้น จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและปริมาณ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่าสเปกตรัม (Spectrum) โดยตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์ จะทำการบรรจุลงในเซลล์ใส่สาร (Cuvette) และนำเข้าเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยจะวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 220-800 นาโนเมตร เพื่อศึกษาสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตเมื่อทำการรีดิวซ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR)

เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์จำแนกสารประเภทต่างๆ ตรวจสอบและศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและชนิดของสาร โดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วง Infrared (IR) ซึ่งสารแต่ละชนิดนั้นจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไป ทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารได้ โดยจะสามารถวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน และหาสารที่มาปนเปื้อนอยู่ในสารตัวอย่างว่ามีอะไรบ้าง สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในสถานะที่เป็นของเหลวและของแข็ง ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของเหลวก็สามารถนำมาใส่เซลล์สำหรับของเหลวได้เลย ในกรณีที่ตัวอย่างเป็นของแข็งโดยไม่มีสารอื่นผสมอยู่ จำเป็นจะต้องทำให้สารตัวอย่างมีลักษณะบางมากๆ เพื่อให้แสงผ่านได้ เครื่องมือนี้จะสามารถวิเคราะห์สารได้ในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณโดยจะมีการให้ผลการวิเคราะห์อย่างรวดเร็ว และมีความถูกต้องแม่นยำ โดยในงานวิจัยนี้จะนำกราฟไฟต์ และกราฟต์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ไปทำการตรวจวัดเพื่อหาหมู่ฟังก์ชันและองค์ประกอบของธาตุของสารตัวอย่างนั้นๆ

3.4.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope; TEM)

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง เพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนทะลุผ่านได้ โดยตัวอย่างที่นำไปทำการตรวจวัดจะอยู่ในรูปของสารละลายของเหลวได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง เครื่อง TEM เหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก (กำลังขยายสูงสุดประมาณ 0.1 นาโนเมตร) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ ในเงื่อนไขต่างๆ ที่ทำการเตรียม โดยจะนำเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุดไปตรวจสอบ โดยภาพที่ได้จะแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัว ขนาดรูปร่างของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และแผ่นกราฟีนออกไซด์

3.4.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร ซึ่งจะมีกำลังขยายต่ำกว่า TEM ตัวอย่างที่วิเคราะห์จะมีลักษณะเป็นผง ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีขนาดบางมากเท่า TEM ก็ได้ การสร้างภาพทำได้จากการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ ทำให้ได้ภาพในลักษณะที่เป็น 3 มิติ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิวของกราฟไฟต์และกราฟไฟต์ออกไซด์

3.4.5 เครื่องวิเคราะห์โครงสร้างผลึก (X-ray Diffraction; XRD)

เป็นเครื่องมือที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มนักวัสดุศาสตร์ ธรณีวิทยา โลหะวิทยา เพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบและแร่ ทำให้นักวิทยาศาสตร์กลุ่มนี้สามารถแยกแยะประเภทและชนิดของวัสดุที่พบในธรรมชาติว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใด หรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นแร่ชนิดใด โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัดโดยองค์กร JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิดมีรูปแบบโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน และระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบก็แตกต่างกันไปด้วย ขึ้นอยู่กับขนาดและประจุของอะตอม สารประกอบแต่ละชนิดจะมีรูปแบบ (XRD pattern) เฉพาะตัว ซึ่งลักษณะเฉพาะของ XRD จะแสดงพีคของกราฟที่ $2\theta \approx 26.55^\circ$ (ระยะห่างระหว่างระนาบเท่ากับ 3.35 อังสตรอม) ส่วนลักษณะเฉพาะของกราฟไฟต์ออกไซด์จะแสดงพีคที่ $2\theta \approx 10.29^\circ$ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำกราฟไฟต์และกราฟไฟต์ออกไซด์มาพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคดังกล่าว เพื่อเป็นการยืนยันโครงสร้างผลึกของกราฟไฟต์และกราฟไฟต์ออกไซด์ที่จะนำมาใช้ต่อไป

3.4.6 เครื่องรามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบสารตัวอย่างประเภทต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือผง โดยจะใช้หลักการของ Raman Spectroscopy และมีการใช้เทคนิคการวัดแบบ Fiber Optic Spectrometer ร่วมกับซอฟต์แวร์ AvaSoft-Raman หรือ Panorama-Raman จะใช้หลักการตรวจสอบโดยวิธีการวัดเปรียบเทียบสเปกตรัมการกระเจิงแสงแบบรามาน (Raman Light Scattering) ของวัสดุหรือสารที่กำลังตรวจสอบกับสเปกตรัมของสารมาตรฐานที่ได้บันทึกไว้หรือที่มีอยู่แล้วใน Library ของฐานข้อมูล ซึ่งเครื่องมือนี้เป็นเทคนิคที่ไม่ต้องเตรียมสารตัวอย่าง ไม่ทำลายสารตัวอย่าง และไม่ต้องวัดค่าสเปกตรัมอ้างอิง โดยเทคนิคนี้จะวัดค่าสเปกตรัมได้ละเอียดกว่าเทคนิค Infrared Spectroscopy และสามารถวัดสารตัวอย่างที่เทคนิค Infrared Spectroscopy ไม่สามารถวัดได้ สามารถตรวจวัดสารตัวอย่างที่มีขนาดเล็กได้ โดยจะวัดผ่านภาชนะใส่ตัวอย่างที่เป็นควอตซ์ แก้ว พลาสติก ทั้งชนิดโปร่งแสงและโปร่งใสได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับสารตัวอย่างและยังสามารถวัดค่าได้แบบต่อเนื่อง จึงสามารถใช้เพื่อการตรวจสอบปฏิกิริยาต่างๆ ได้ โดยในงานวิจัยนี้จะนำกราฟไฟต์และกราฟไฟต์ออกไซด์ที่เตรียมได้ไปทำการตรวจวัดเพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคนี้

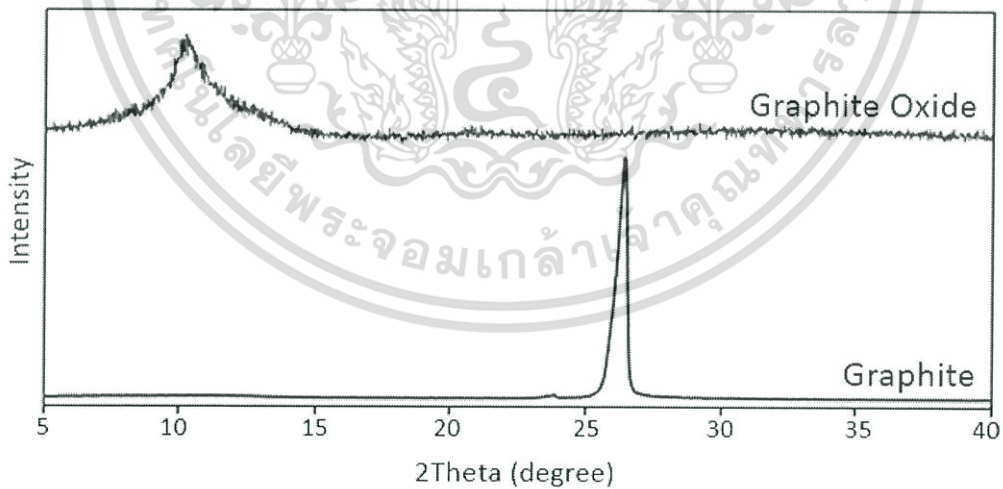
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในน้ำด้วยวิธีการอย่างง่าย โดยใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพ และศึกษาการเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์โดยใช้วิธีการเดียวกัน ซึ่งในบทนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่องมือต่างๆ ได้แก่ การวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-vis) พูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FT-IR) เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี (Raman) นอกจากนี้ยังศึกษาความเป็นไปได้ของสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ ไปใช้ในสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียในยางธรรมชาติ โดยผลที่ได้แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟไฟต์ กราไฟต์ออกไซด์ และกราฟีนออกไซด์

4.1.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

ผลการวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ซึ่งเป็นเทคนิคที่อาศัยการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะผลึกและอสัณฐานของกราฟไฟต์ และกราฟไฟต์ออกไซด์ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบ XRD ของกราฟไฟต์ และกราฟไฟต์ออกไซด์

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของกราฟไฟต์ จะพบพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่มีการเลี้ยวเบน 2θ เท่ากับ 26.42° มีระยะห่างระหว่างระนาบ (d-spacing) 0.34 นาโนเมตร มีลักษณะเป็นพีคที่แคบ ซึ่งเกิดจากความเป็นผลึกของกราฟไฟต์ที่เป็นลักษณะพื้นฐานของคาร์บอนสัณฐาน (Crystal phase) ส่วนกราฟไฟต์ออกไซด์ พบพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่มีการเลี้ยวเบน

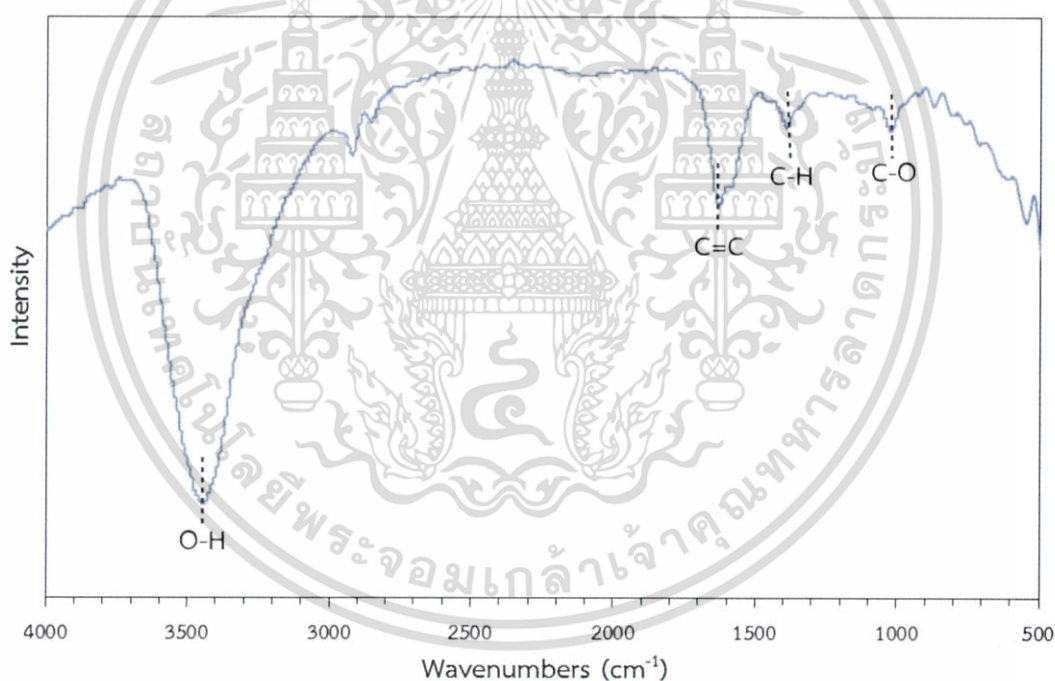
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2θ เท่ากับ 10.24° มีระยะห่างระหว่างระนาบ 0.89 นาโนเมตร ซึ่งระยะห่างระนาบที่เปลี่ยนแปลงไป บ่งบอกถึงการมีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ เช่น คาร์บอนิล คาร์บอกซิลิก ไฮดรอกซิล และอีพอกไซด์ มาเกาะอยู่ บริเวณระนาบของแต่ละแผ่นของกราฟาไฟต์ ซึ่งทำให้ระยะห่างระหว่างกราฟาไฟต์เพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ ยังพบว่าพีคมีลักษณะกว้างขึ้น (Broad peak) ซึ่งเกิดจากความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างของ กราไฟต์ลดลง จึงทำให้มีลักษณะผลึกเป็นแบบอสัณฐาน ดังนั้นเทคนิคนี้เป็นการยืนยันได้ว่าจะเกิด เป็นกราฟาไฟต์ออกไซด์อย่างสมบูรณ์ โดยใช้วิธีการตัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์ในการเตรียมกราฟาไฟต์ ไปเป็นกราฟาไฟต์ออกไซด์ เนื่องจากไม่พบพีคการเลี้ยวเบนที่เป็นเอกลักษณ์ของกราฟาไฟต์ในกราฟาไฟต์ ออกไซด์เหลืออยู่

4.1.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FT-IR)

4.1.2.1 กราไฟต์

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปีของ กราไฟต์ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



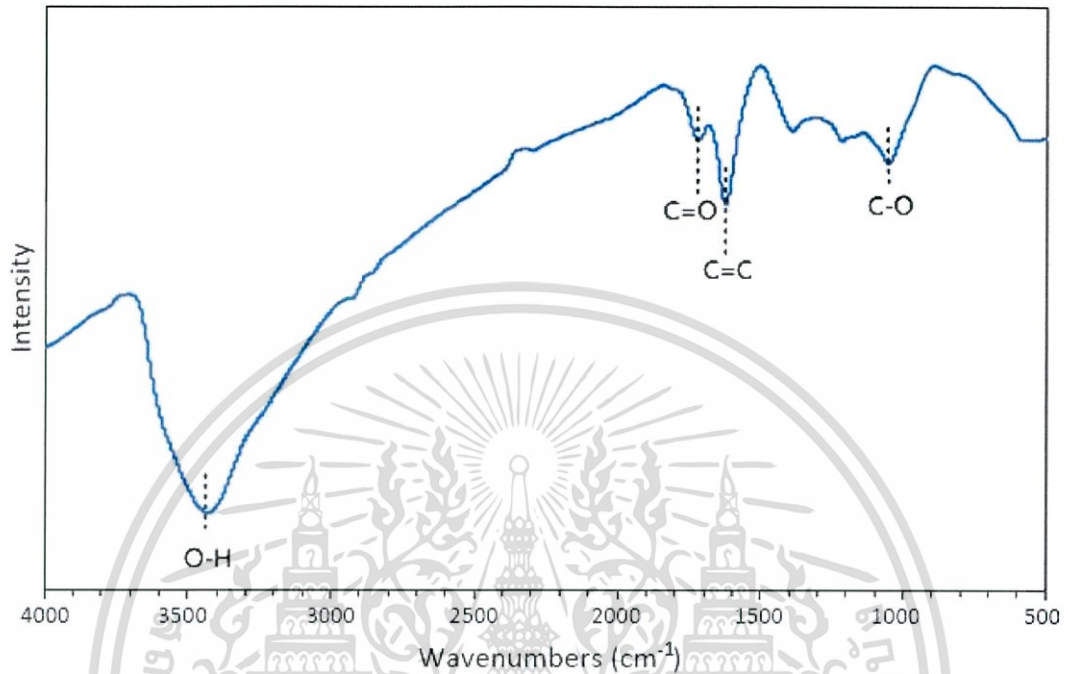
รูปที่ 4.2 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของกราฟาไฟต์

จากรูปที่ 4.2 พบแถบการสั่นของกราฟาไฟต์ปรากฏความถี่ที่เลขคลื่น 3443 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ O-H แบบ Stretching พบแถบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่น 1629 cm^{-1} ซึ่งเป็นของพันธะ C=C แบบ Stretching ของวงอะโรมาติกในโครงสร้างของแผ่นกราฟาไฟต์ อีกทั้งยังพบแถบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่น 1380 และ 1020 cm^{-1} ที่เป็นของพันธะ C-H แบบ bending ของ CH_3 และ C-O แบบ stretching ของสารประกอบแอลคอกซี ซึ่งเกิดได้จากความไม่บริสุทธิ์ของผงกราฟาไฟต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 กราฟไฟต์ออกไซด์

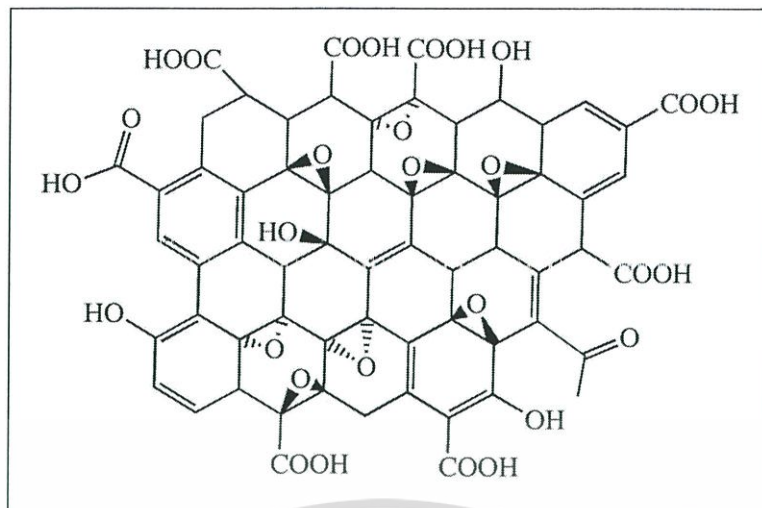
ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FT-IR) ของกราฟไฟต์ออกไซด์ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.3 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของกราฟไฟต์ออกไซด์

จากรูปที่ 4.3 พบแถบการสั่นของกราฟไฟต์ออกไซด์ปรากฏที่ความถี่ที่เลขคลื่น 3432 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ O-H แบบ Stretching ของหมู่ไฮดรอกซิลและโมเลกุลของน้ำ พบแถบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่น 1627 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ C=C แบบ Stretching ของวงอะโรมาติก และพบแถบการสั่นที่แตกต่างจากกราฟไฟต์ คือ พบแถบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่น 1720 cm^{-1} แบบ Stretching ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ C=O ของสารประกอบคาร์บอนิล และพบแถบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่น 1054 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ C-O แบบ Stretching ของสารประกอบแอลคอกไซด์ ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เนื่องมาจากการออกซิไดส์กราฟไฟต์ให้เป็นกราฟไฟต์ออกไซด์ จึงทำให้มีหมู่ฟังก์ชันสารประกอบไฮดรอกซิล คาร์บอนิล คาร์บอกซิลิก และอีพอกซีเข้าไปแทรกตัวอยู่บนระนาบของกราฟไฟต์ [39] ทำให้ชั้นระหว่างระนาบกว้างขึ้น และจากการทำกราฟไฟต์ออกไซด์เป็นกราฟไฟต์ออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูงนั้น จึงทำให้กราฟไฟต์ออกไซด์หลุดลอกออกมาเป็นแผ่นที่มีหมู่ฟังก์ชันดังกล่าว เรียกว่า กราฟไฟต์ออกไซด์ ซึ่งแต่ละแผ่นของกราฟไฟต์ออกไซด์ จะมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 โครงสร้างของกราฟีนออกไซด์

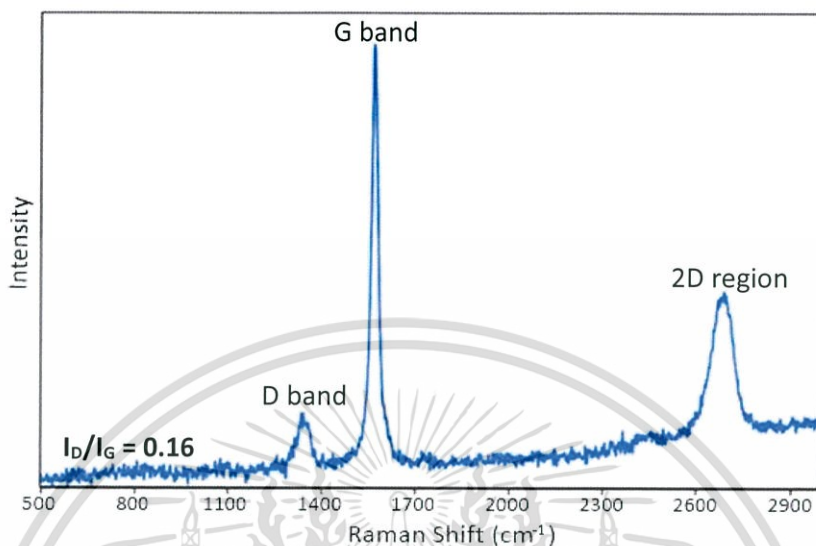
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูล FT-IR สเปกตรัมเปรียบเทียบการสั่นของพันธะที่สำคัญของกราฟิต์ และกราฟิต์ออกไซด์

กราฟิต์		กราฟิต์ออกไซด์	
การสั่นของพันธะ	ความถี่ (cm ⁻¹)	การสั่นของพันธะ	ความถี่ (cm ⁻¹)
O-H stretching	3443	O-H stretching	3432
C=C stretching	1629	C=O stretching	1720
C-H bending	1380	C=C stretching	1627
C-O stretching	1020	C-O stretching	1054

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

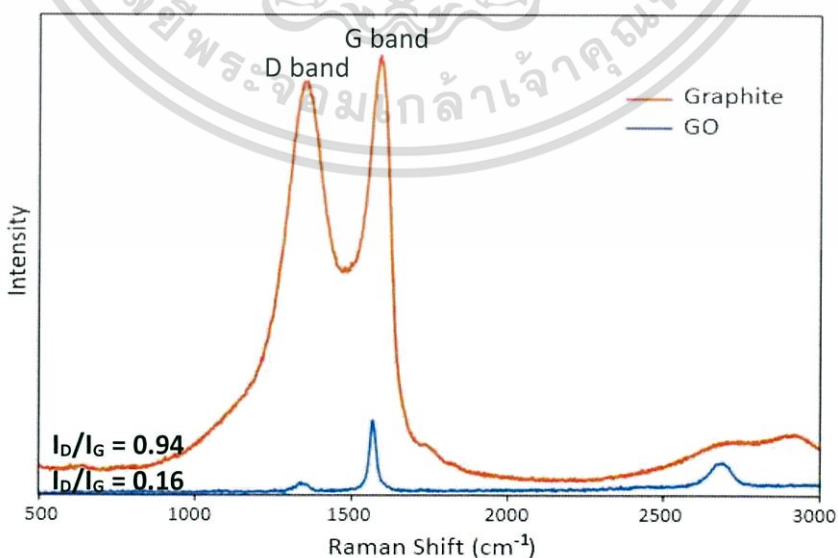
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี (Raman)

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปีของกราฟไฟต์ ซึ่งแสดงผลการศึกษา ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.5 แสดงรามานสเปกตรัมของกราฟไฟต์

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี ซึ่งจากการศึกษาพบว่า รามานสเปกตรัมของกราฟไฟต์แสดงพีคของตำแหน่ง D band (Defect Graphitic Carbon) และ G band (Graphitic Carbon) ขึ้น ซึ่งแสดงว่ามีโครงสร้างทางเคมีของแผ่นคาร์บอนที่มีการผสมระหว่าง sp^3 hybridization และ sp^2 hybridization ซึ่งกราฟไฟต์จะแสดงพีคของตำแหน่ง D band ที่ 1340 cm^{-1} และตำแหน่ง G band ที่ 1567 cm^{-1} โดยกราฟไฟต์นี้มีอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G เท่ากับ 0.16 ซึ่งมีค่าต่ำมากๆ แสดงถึงโครงสร้างที่มีความเป็นระเบียบและความเป็นผลึกสูงของแผ่นกราฟไฟต์ นอกจากนี้ยังมีการตรวจพบ 2D region ที่เป็นพีคเอกลักษณ์ของกราฟไฟต์อีกด้วย



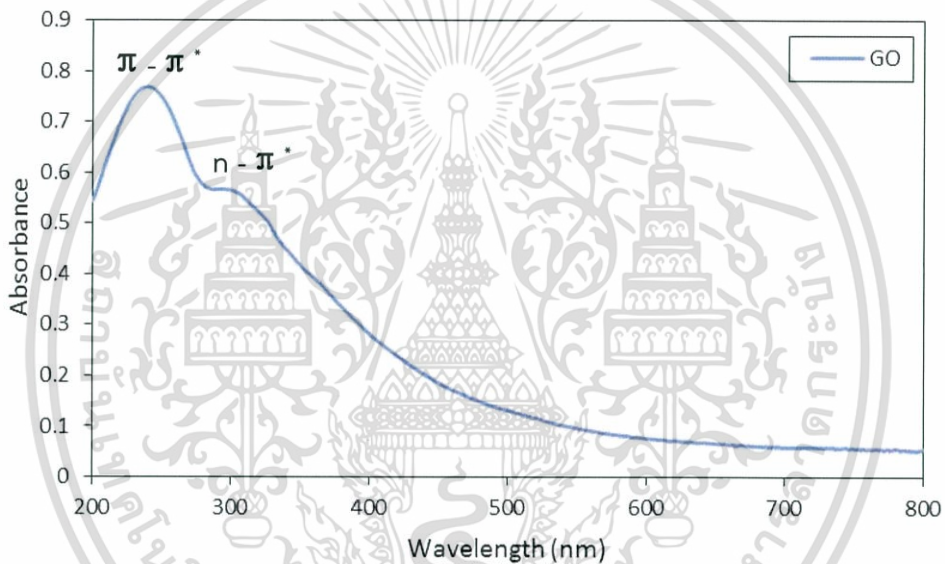
รูปที่ 4.6 แสดงรามานสเปกตรัมของกราฟไฟต์และกราฟฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 พบว่าจากการสังเคราะห์กราฟไฟต์เป็นกราฟีนออกไซด์ จะเกิดความบกพร่อง (defect) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นตอนการเตรียมกราฟไฟต์ออกไซด์จากกราฟไฟต์ด้วยวิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์ ซึ่งพบพีคเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์ที่ตำแหน่ง D band เท่ากับ 1357 cm^{-1} และตำแหน่ง G band เท่ากับ 1594 cm^{-1} และอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G ก็เพิ่มขึ้นจาก 0.16 (ของกราฟไฟต์) เป็น 0.94 เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล คาร์บอนิล คาร์บอกซิลิก และอีพอกไซด์เกิดขึ้น จึงทำให้โครงสร้างมีความเป็นระเบียบลดลงและมีความบกพร่องของโครงสร้างบนแผ่นกราฟไฟต์สูงขึ้น

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-vis)

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



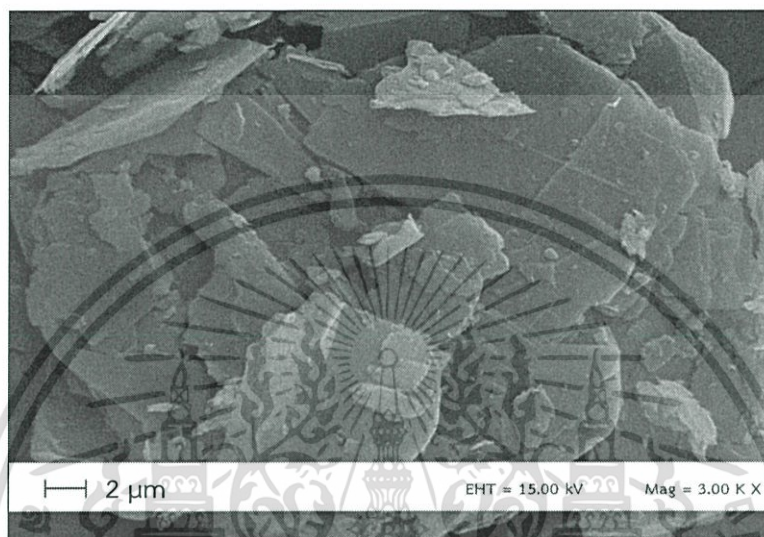
รูปที่ 4.7 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์

จากรูปที่ 4.7 จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสง พบว่ากราฟีนออกไซด์จะปรากฏพีคที่ความยาวคลื่น 239 นาโนเมตร ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนสถานะของ $\pi - \pi^*$ ของโครงสร้างแบบวงอะโรมาติก (C=C) และจะพบพีคเล็กๆ ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร เป็นการเปลี่ยนสถานะของ $n - \pi^*$ ของหมู่คาร์บอนิล (C=O) และหมู่คาร์บอกซิลิก (COOH) ที่อยู่บนแผ่นกราฟีนออกไซด์ ซึ่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ถือเป็นพีคเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์ ซึ่งโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์จะแสดงได้ดังแสดงในรูปที่ 4.4

4.1.5 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของกราไฟต์ และกราไฟต์ออกไซด์ ระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยทำการศึกษาจำนวน 2 ตัวอย่าง คือ กราไฟต์ และกราไฟต์ออกไซด์ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

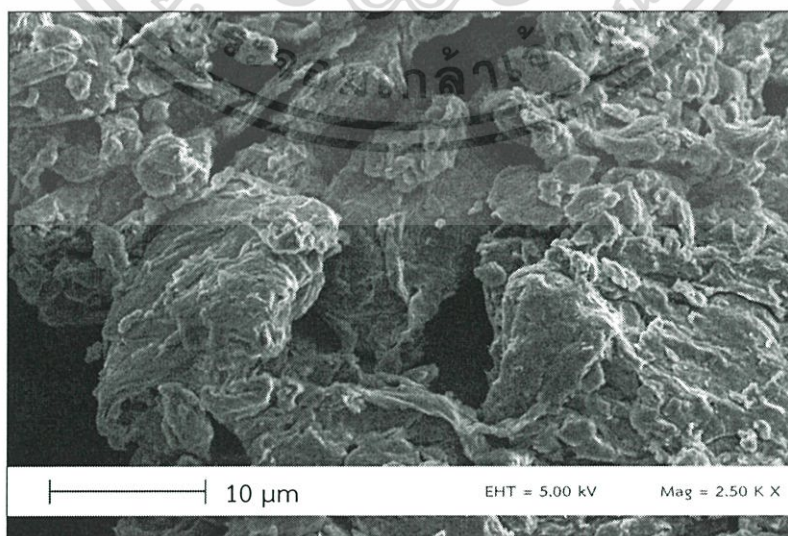
4.1.5.1 กราไฟต์



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย X3,000 เท่า ของกราไฟต์

จากรูปที่ 4.8 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกราไฟต์ ที่กำลังขยาย 3,000 เท่า พบว่ากราไฟต์จะมีลักษณะเป็นแผ่นเกรนขนาดใหญ่ มีความหนา เรียบ และวางซ้อนทับกันอย่างเป็นระเบียบ

4.1.5.2 กราไฟต์ออกไซด์



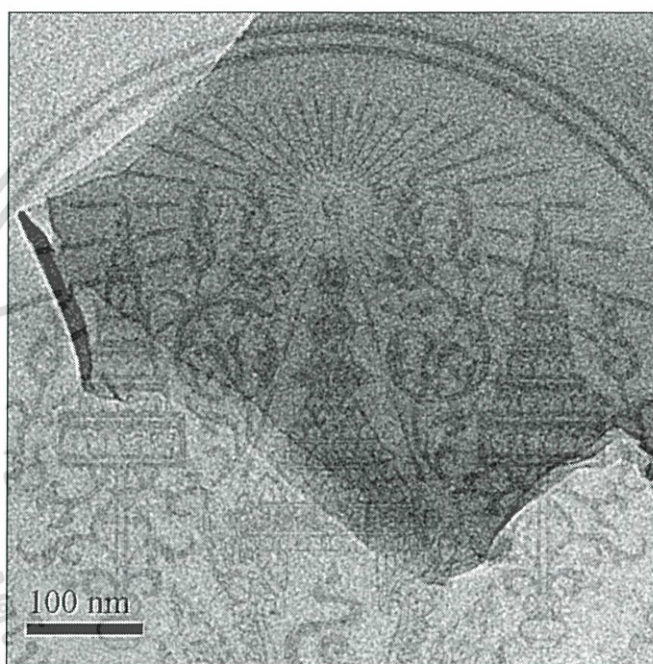
รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM ที่กำลังขยาย X2,500 เท่า ของกราไฟต์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกราฟต์ออกไซด์ ที่กำลังขยาย 2,500 เท่า พบว่ากราฟต์ออกไซด์จะมีลักษณะเป็นแผ่นขนาดเล็ก บาง และวางซ้อนทับกันอย่างไม่เป็นระเบียบ เมื่อเทียบกับกราฟต์เริ่มต้น ซึ่งเกิดจากกระบวนการเตรียมด้วยการออกซิเดชันของกรดเข้มข้น และโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตตามวิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์นั่นเอง

4.1.6 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

ผลการวิเคราะห์ลักษณะของกราฟีนออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) โดยทำการวัดที่กำลังขยาย 19,000 เท่า ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

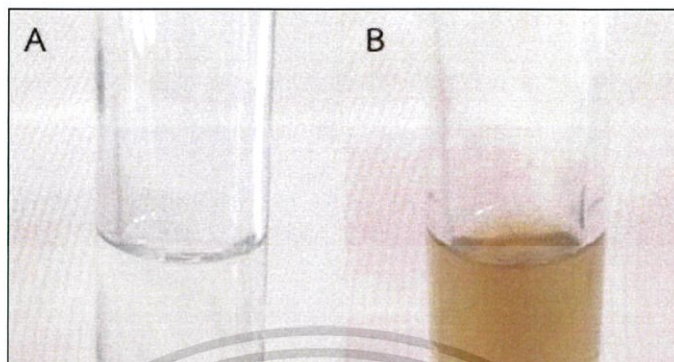


รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายจากกล้อง TEM ที่กำลังขยาย X19,000 เท่า ของกราฟีนออกไซด์

จากรูปที่ 4.10 ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยเทคนิค TEM ของกราฟีนออกไซด์ พบว่าจะปรากฏลักษณะของแผ่นกราฟีนออกไซด์ที่มีความบาง โปร่งแสง และมีการซ้อนทับกันของระนาบแผ่นกราฟีนออกไซด์

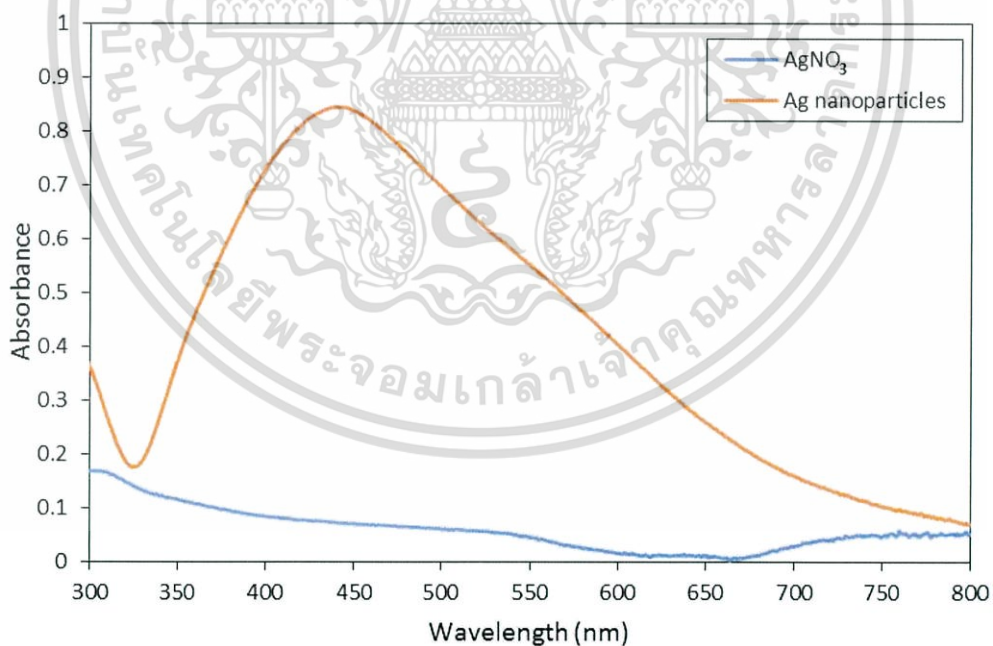
4.2 การศึกษาเอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-vis)



รูปที่ 4.11 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของ (A) สารละลายซิลเวอร์ในเตรต (B) สารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์

จากรูปที่ 4.11 จะสังเกตได้ว่าสารละลายซิลเวอร์ในเตรตจะมีลักษณะใส ไม่มีสี และเมื่อทำการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ในเตรต จะได้เป็นสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีลักษณะสีเหลือง เมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค UV-vis ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.12 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 จะแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งสังเกตได้ว่าสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตจะไม่ปรากฏพีคของการดูดกลืนแสง เนื่องจากซิลเวอร์ที่ละลายอยู่ในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตยังคงเป็นซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ที่ยังไม่ถูกรีดิวซ์เป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Ag^0) และยังเป็นสารละลายใสไม่มีสีอีกด้วย สำหรับอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะปรากฏพีคของการดูดกลืนแสง เนื่องจากซิลเวอร์ไอออนได้ถูกรีดิวซ์เป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์แล้ว โดยจะพบที่ความยาวคลื่น 442 นาโนเมตร ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และสีของสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เตรียมได้จะมีสีเหลือง ซึ่งสามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงได้

โดยปกติแล้วอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะปรากฏพีคของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420-430 นาโนเมตร แต่จากการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในงานวิจัยนี้จะตรวจพบพีคของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 442 นาโนเมตร เนื่องมาจากทำการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการอย่างง่าย ซึ่งกลไกการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เป็นไปได้ ดังแสดงในสมการ



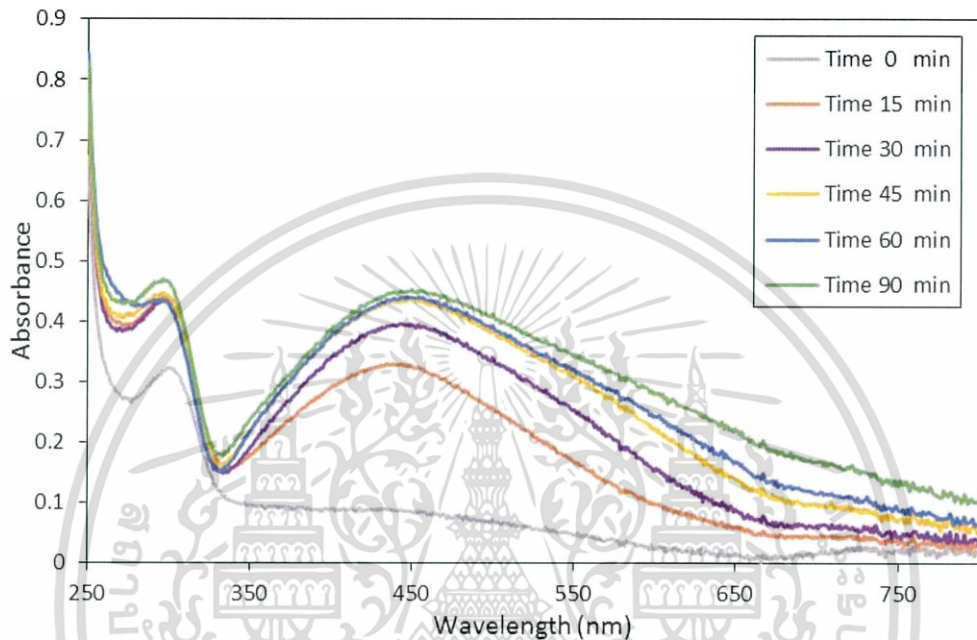
สมการรวม;



การเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะเริ่มจากการนำ AgNO_3 ละลายในน้ำกลั่น จะได้ Ag^+ และ NO_3^- ดังแสดงในสมการที่ (1) จากนั้นจะทำการเติม PVP ลงไป เพื่อเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพ เมื่อ PVP ทำปฏิกิริยากับ Ag^+ จะเกิดเป็นสารแขวนลอย $[\text{Ag}(\text{PVP})]^+$ ดังแสดงในสมการที่ (2) และเมื่อมีการให้ความร้อนกับน้ำ น้ำจะเกิดการแตกตัวของไอออนได้เป็น H^+ และ OH^- ดังแสดงในสมการที่ (3) โดย OH^- ที่ได้จะทำปฏิกิริยากับสารแขวนลอย $[\text{Ag}(\text{PVP})]^+$ เกิดเป็นสารแขวนลอย $[\text{Ag}(\text{PVP})]$ และ OH^\bullet ดังแสดงในสมการที่ (4) ซึ่ง OH^\bullet จะว่องไวต่อปฏิกิริยาทำให้สามารถรีดิวซ์สารแขวนลอย $[\text{Ag}(\text{PVP})]^+$ เป็นสารแขวนลอย $[\text{Ag}(\text{PVP})]$ ได้ ดังแสดงในสมการที่ (5) โดยสามารถสรุปได้ว่า ในการรีดิวซ์ AgNO_3 ในน้ำกลั่นและมีการเติม PVP ภายใต้การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90°C เป็นเวลา 45 นาที จะทำให้ได้เป็นสารแขวนลอย $[\text{Ag}(\text{PVP})]$ อีกทั้งยังมี H^+ และ NO_3^- ละลายอยู่ด้วย ดังแสดงในสมการที่ (6)

4.2.1.1 ผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยทำการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ภายใต้การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 0, 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.13 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 0, 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที

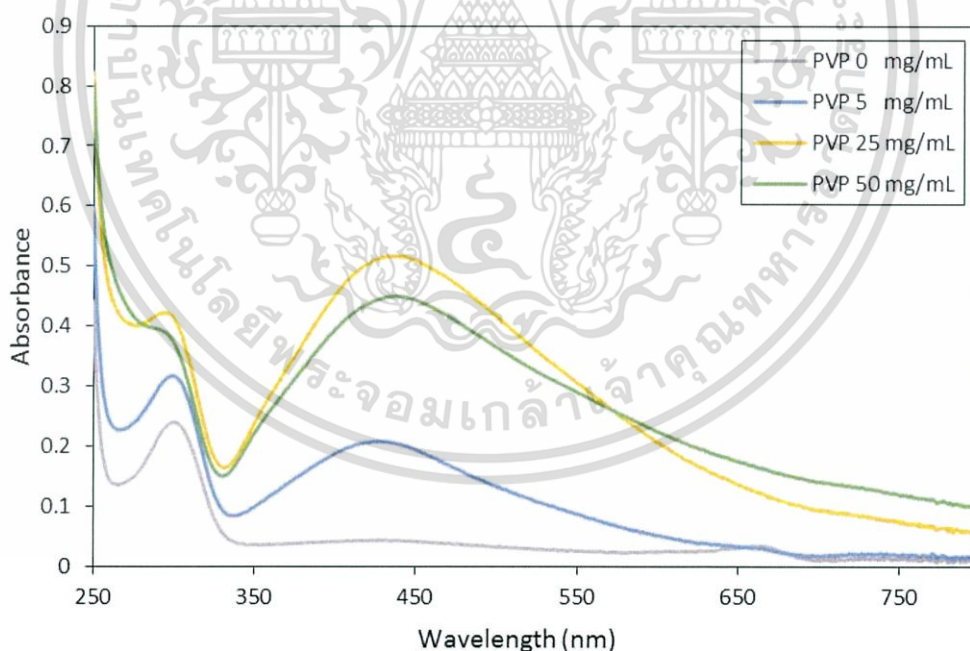
จากรูปที่ 4.13 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ พบว่าเมื่อให้ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที ลักษณะของสเปกตรัมจะเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่มากขึ้น กล่าวคือ เมื่อให้ระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นจะพบพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 440, 448, 451, 451 และ 452 นาโนเมตร ตามลำดับ อีกทั้งยังมีค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ที่เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย ซึ่งแสดงถึงปริมาณการเกิดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มากขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อน จะทำให้ปฏิกิริยาการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์มากขึ้นและเกิดปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความยาวคลื่นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ภายใต้เงื่อนไขระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ต่างกัน

เวลาในการให้ความร้อน (min)	ค่าความยาวคลื่นของ AgNPs (nm)
0	-
15	440
30	448
45	451
60	451
90	452

4.2.1.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพร์โรลิโดนที่ใช้

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยทำการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ในเตรต ภายใต้การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45 นาที ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตที่ 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพร์โรลิโดนที่ 0.00, 5.00, 25.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.14 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพร์โรลิโดน 0.00, 5.00, 25.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

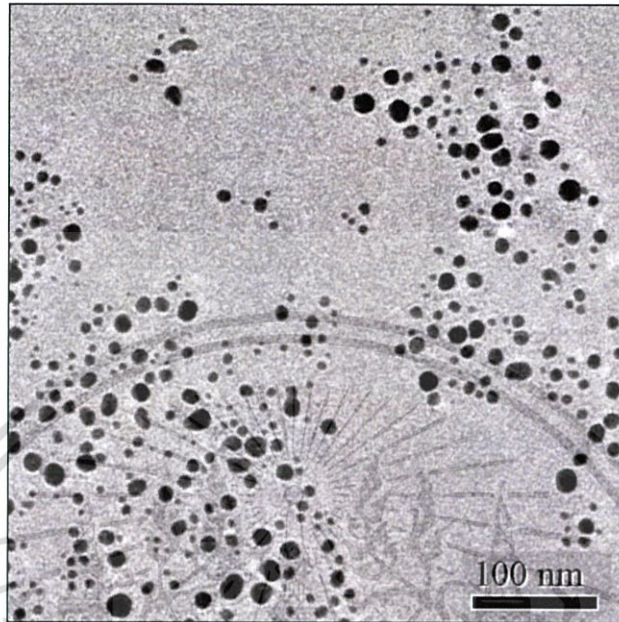
จากรูปที่ 4.14 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ พบว่าเมื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนเพิ่มขึ้นที่ 5.00, 25.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลักษณะของสเปกตรัมจะเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่มากขึ้น กล่าวคือ เมื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนเพิ่มขึ้นจะพบพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 432, 441 และ 442 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะเพิ่มขึ้นเมื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนเพิ่มขึ้น และความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะมีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้เกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนสายโซ่พอลิไวนิลไพโรลิโดนได้มาก เกิดการเจริญเติบโตของอนุภาค (Nucleation) และทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดได้มากขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 50.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จะมีค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลง เนื่องจากความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่มากเกินไป อาจจะทำให้สายโซ่พอลิไวนิลไพโรลิโดนเกิดการพันกันมากขึ้น อนุภาคแต่ละอนุภาคเกิดการรวมตัวกัน และทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดได้น้อยลง ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความยาวคลื่นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ภายใต้เงื่อนไขความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ต่างกัน

ความเข้มข้นของ PVP (mg/mL)	ค่าความยาวคลื่นของ AgNPs (nm)
0.00	-
5.00	432
25.00	441
50.00	442

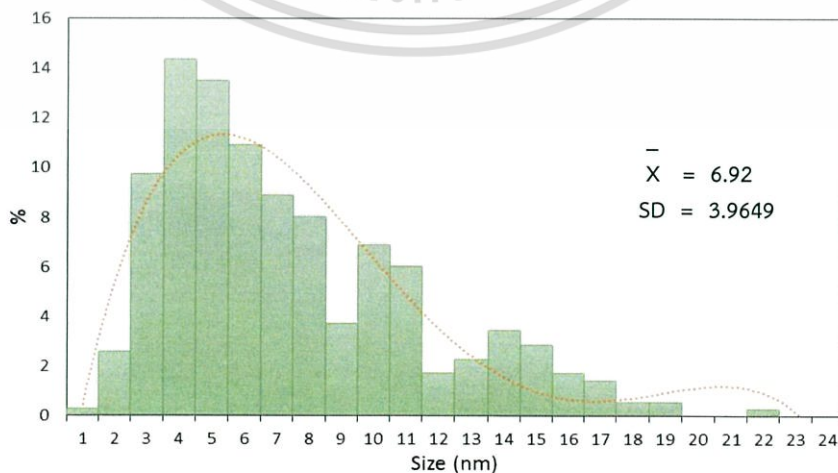
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

ผลการวิเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) โดยทำการวัดที่กำลังขยาย 19,000 เท่า ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายจากกล้อง TEM ที่กำลังขยาย X19,000 เท่า ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

จากรูปที่ 4.15 ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยเทคนิค TEM ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยสารแขวนลอยที่นำไปทำการวิเคราะห์จะมีความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตที่ 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ทำการรีดิวซ์แล้ว ซึ่งภาพที่ได้จากเทคนิค TEM สามารถบอกได้ถึงขนาดอนุภาคและยังแสดงให้เห็นถึงรูปร่างของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้ โดยรูปร่างที่เห็นนั้นมีลักษณะคล้ายทรงกลม มีขนาดใกล้เคียงกัน และอนุภาคยังเกิดการกระจายตัวที่ดีอีกด้วย ซึ่งขนาดของอนุภาคจะอยู่ในช่วง 1-22 นาโนเมตร โดยอนุภาคเฉลี่ยจะอยู่ที่ 6.92 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.16

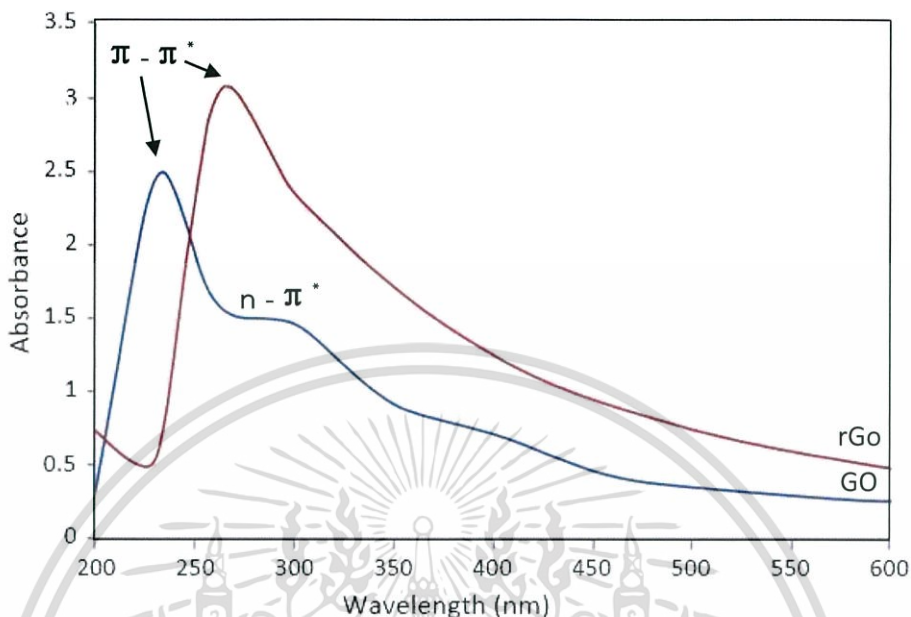


รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดอนุภาคและจำนวนของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

4.3 การศึกษาเอกลักษณ์ของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-vis)

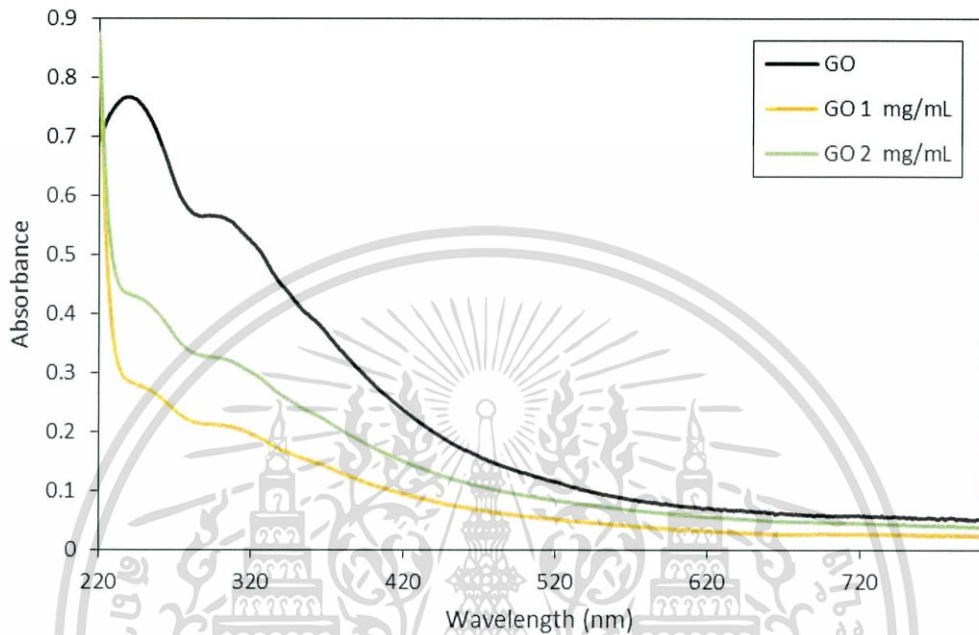


รูปที่ 4.17 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ [51]

จากรูปที่ 4.17 เมื่อพิจารณาจากค่าการดูดกลืนแสงของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พบว่ากราฟีนออกไซด์จะพบพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร และจะพบพีคเล็กๆ ที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร ซึ่งกราฟีนออกไซด์ที่ถูกดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ นั้นเกิดจากการเปลี่ยนสถานะ เนื่องมาจากการเปลี่ยนสภาวะของอิเล็กตรอนที่เกิดในสารประกอบอินทรีย์ โดยที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร เป็นการเปลี่ยนสถานะของ $\pi - \pi^*$ ซึ่งในตำแหน่งนี้จะเกิดวงอะโรมาติก ($C=C$) และที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร เป็นการเปลี่ยนสถานะของ $n - \pi^*$ ซึ่งในตำแหน่งนี้จะเกิดหมู่คาร์บอนิล ($C=O$) และหมู่คาร์บอกซิลิก ($COOH$) เมื่อทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จะพบว่าสถานะของ $\pi - \pi^*$ จะเกิดการเลื่อนตำแหน่งไปที่ความยาวคลื่นที่มากขึ้น (Red shift) ซึ่งในตำแหน่งนี้แสดงให้เห็นถึงการเกิดพันธะคู่ ($C=C$) ที่เพิ่มขึ้นในโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และจะพบว่าไม่ปรากฏพีคเล็กๆ ที่ตำแหน่งของสถานะ $n - \pi^*$ จะแสดงให้เห็นว่าหมู่คาร์บอนิล ($C=O$) และหมู่คาร์บอกซิลิก ($COOH$) จะถูกกำจัดออกไปจากโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ [51]

4.3.1.1 ผลของความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ใช้

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ ภายใต้การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45 นาที ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.18 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

จากรูปที่ 4.18 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ พบว่าเมื่อให้ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้นที่ 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลักษณะของสเปกตรัมจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ เมื่อให้ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้นจะพบพีคการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 239 และ 300 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะของ $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์จะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากพอลิไวนิลไพโรลิโดนไม่สามารถรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความยาวคลื่นของกราฟีนออกไซด์ ภายใต้เงื่อนไขความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ต่างกัน

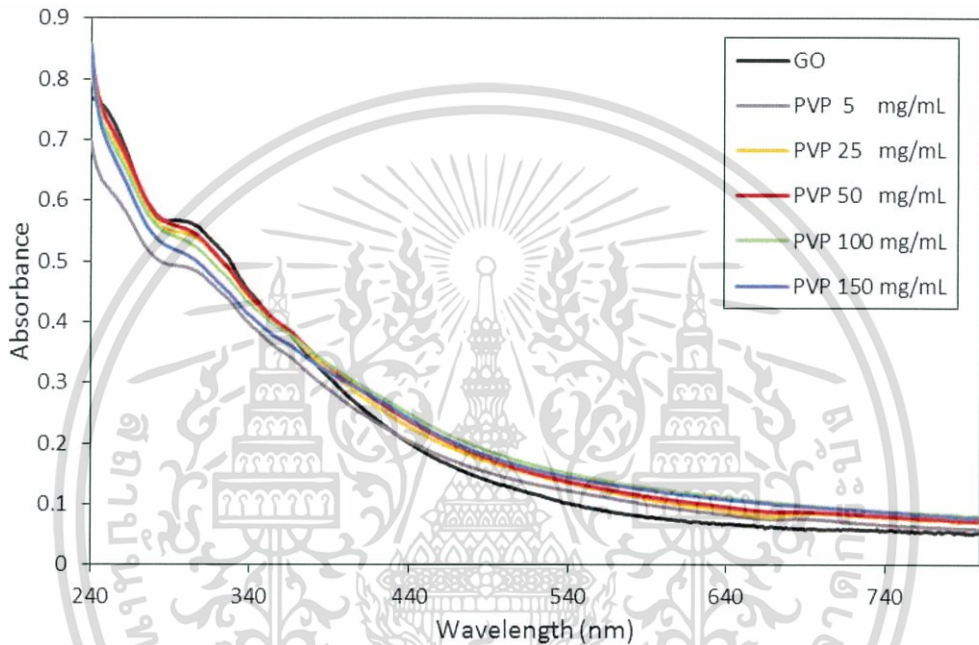
ความเข้มข้นของ GO (mg/mL)	ค่าความยาวคลื่นของ GO (nm)	
	$\pi - \pi^*$	$n - \pi^*$
1.00	239	300
2.00	239	300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ในเชิงพาณิชย์โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ โดยทำการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ภายใต้การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45 นาที ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 8.45 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 5.00, 25.00, 50.00, 100.00 และ 150.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.19 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน 5.00, 25.00, 50.00, 100.00 และ 150.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

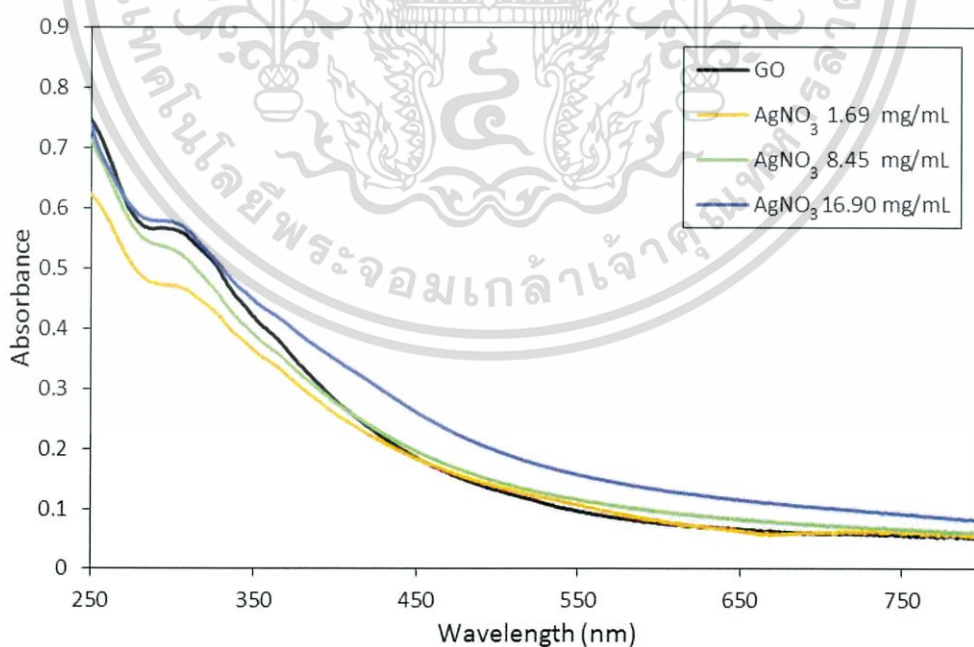
จากรูปที่ 4.19 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ พบว่าเมื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนเพิ่มขึ้นที่ 5.00, 25.00, 50.00, 100.00 และ 150.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลักษณะของสเปกตรัมจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ จะพบพีคค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ทุกๆ ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ความยาวคลื่น 239 และ 300 นาโนเมตร และไม่สามารถตรวจพบค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าพีคการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์อาจจะถูกบดบังด้วยพีคค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ หรืออาจเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความยาวคลื่นของกราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ภายใต้เงื่อนไขความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ต่างกัน

ความเข้มข้นของ PVP (mg/mL)	ค่าความยาวคลื่นของ GO (nm)		ค่าความยาวคลื่นของ AgNPs (nm)
	$\pi - \pi^*$	$n - \pi^*$	
5.00	239	300	-
25.00	239	300	-
50.00	239	300	-
100.00	239	300	-
150.00	239	300	-

4.3.1.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตที่ใช้ เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ โดยทำการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ในเตรต ภายใต้การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45 นาที ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตที่ 1.69, 8.45 และ 16.90 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.20 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรต 1.69, 8.45 และ 16.90 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อมีการใส่สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

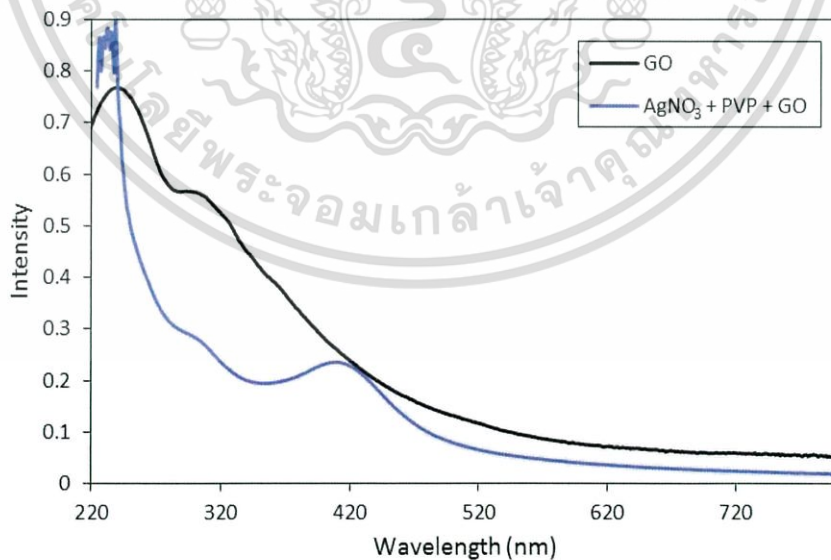
จากรูปที่ 4.20 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ พบว่าเมื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตเพิ่มขึ้นที่ 1.69, 8.45 และ 16.90 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลักษณะของสเปกตรัมจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง กล่าวคือ จะพบพีคค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 239 และ 300 นาโนเมตร และไม่สามารถตรวจพบค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าพีคการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์อาจจะถูกบดบังด้วยพีคการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ หรืออาจเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.6 แต่เมื่อนำไปทำการตรวจวัดด้วยเทคนิค TEM จะพบอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่กระจายตัวอยู่บนแผ่นกราฟีนออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความยาวคลื่นของกราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ภายใต้เงื่อนไขความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรตที่ต่างกัน

ความเข้มข้นของ AgNO ₃ (mg/mL)	ค่าความยาวคลื่นของ GO (nm)		ค่าความยาวคลื่นของ AgNPs (nm)
	$\pi - \pi^*$	$n - \pi^*$	
1.69	239	300	-
8.45	239	300	-
16.90	239	300	-

4.3.1.4 ผลของการศึกษาในเงื่อนไขพิเศษ

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ในเงื่อนไขพิเศษ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

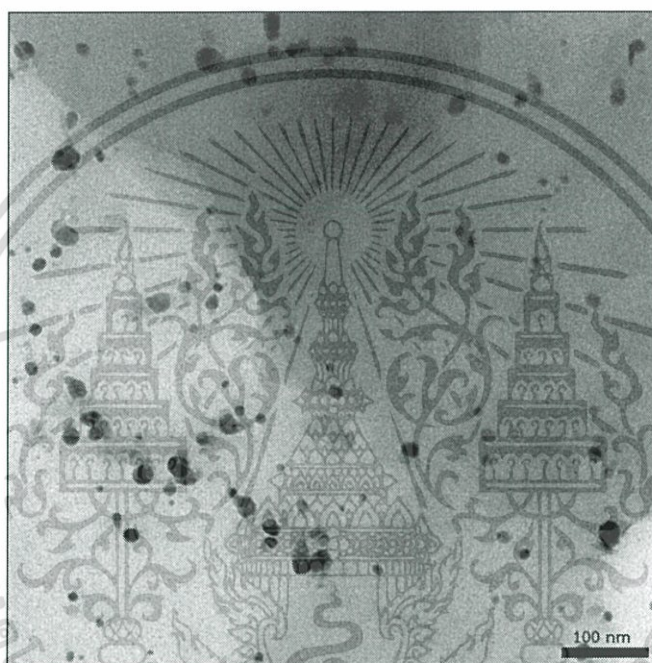


รูปที่ 4.21 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ในเงื่อนไขพิเศษ โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรต 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน 100.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของเอกสารนี้เป็นเอกสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร หากนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ ซึ่งจะพบที่ค่าการดูดกลืนแสงทั้งของกราฟีนออกไซด์และของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยที่พีคค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์จะพบที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร และของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะพบที่ความยาวคลื่น 416 นาโนเมตร

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

ผลการวิเคราะห์วัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) โดยทำการวัดที่กำลังขยาย 16,000 เท่า ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



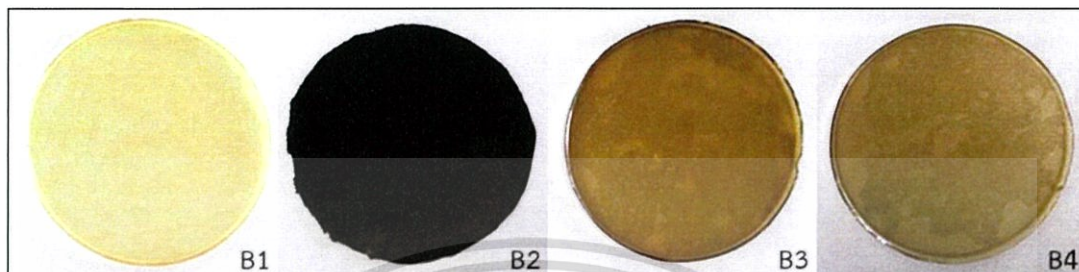
รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายจากกล้อง TEM ที่กำลังขยาย X16,000 เท่า ของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์

จากรูปที่ 4.22 ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยเทคนิค TEM ของวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ โดยสารแขวนลอยที่นำไปทำการวิเคราะห์จะมีความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 8.45 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ที่ทำการรีดิวซ์แล้ว ซึ่งภาพที่ได้จากเทคนิค TEM สามารถบอกได้ถึงอนุภาคนาโนซิลเวอร์ขนาดเล็กที่อยู่บนแผ่นกราฟีนออกไซด์ โดยรูปร่างที่เห็นนั้นมีลักษณะกลม มีขนาดใกล้เคียงกัน และอนุภาคยังเกิดการกระจายตัวที่ดีอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การศึกษาการต้านเชื้อแบคทีเรียในยางธรรมชาติ

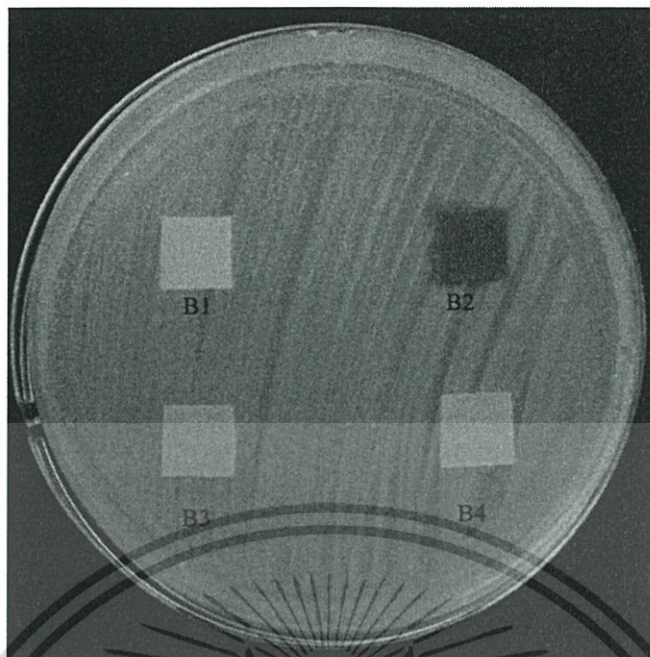
จากการเตรียมสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นจะนำไปผสมกับน้ำยางธรรมชาติ เพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นยาง ดังแสดงในรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายของ (B1) แผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับ (B2) สารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (B3) สารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ (B4) สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

จากรูปที่ 4.23 จะแสดงลักษณะของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางผสมที่เตรียมได้ ซึ่ง B1 จะมีสีเหลือง B2 จะมีสีน้ำตาลดำ B3 จะมีสีน้ำตาลเทา และ B4 จะมีสีเทา จะเห็นได้ว่าที่ B2 และ B3 สีของแผ่นยางนั้นจะมีสีน้ำตาล เนื่องจากมีอนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นองค์ประกอบ และที่ B2 สีของแผ่นยางจะมีสีเข้มกว่า B3 เนื่องจากที่ B2 มีปริมาณของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรต) มากกว่า B3

จากการทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ด้วยวิธี Agar disc diffusion โดยจะทำการทดสอบด้วยแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ แบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) และแบคทีเรียแกรมลบ *Escherichia coli* (*E.coli*) เนื่องจากเชื่อดังกล่าวเป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดอาการท้องเสียที่บ่อยที่สุดทั้งเด็กและผู้ใหญ่ เป็นแบคทีเรียที่มักปนเปื้อนมาจากอาหารและน้ำ ซึ่งแสดงผลการทดสอบดังรูปที่ 4.24 และ 4.25



รูปที่ 4.24 แสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* ของ (B1) แผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับ (B2) สารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (B3) สารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ (B4) สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์



รูปที่ 4.25 แสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* ของ (B1) แผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับ (B2) สารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (B3) สารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ (B4) สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.24 และ 4.25 พบว่าแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (B2) เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* ได้ในบริเวณที่มีการสัมผัสโดยตรงกับแผ่นยางผสม บริเวณที่เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโต (Clear Zone) ที่วัดจากขอบของตัวอย่างที่ทดสอบมีขนาด 2 มิลลิเมตร แต่แผ่นยางผสมนี้จะไม่เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.7 เนื่องมาจากเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ มีผนังเซลล์ 2 ชั้น และที่ผนังเซลล์มีชั้นไขมันมากกว่าเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่มีผนังเซลล์แค่ชั้นเดียว จะส่งผลให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เข้าไปทำปฏิกิริยาบริเวณภายในเซลล์ของเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ได้ยากกว่าเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* แต่หากมีปริมาณของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มากพอ (ความเข้มข้นของสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มากขึ้น) ก็จะสามารถแสดงประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* ได้

ในแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับสารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ (B3) จะไม่เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.coli* ได้ เนื่องจากปริมาณของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในตัวอย่างนี้จะมีปริมาณที่น้อยเกินไป (ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรดที่น้อยเกินไป) เมื่อเทียบกับปริมาณของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในตัวอย่างของแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (B2) ทำให้มีประสิทธิภาพไม่เพียงพอในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

และในแผ่นยางธรรมชาติ (B1) และแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (B4) จะไม่เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ *E.Coli* ได้เลย เนื่องจากยางธรรมชาติและกราฟีนออกไซด์ไม่มีสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย

ตารางที่ 4.7 บริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli*

Item	Sample code	Zone diameter (millimeter)		Activity
		<i>S.aureus</i>	<i>E.coli</i>	
1	A	-	-	Inactive
2	B	2*	-	Active
3	C	-	-	Inactive
4	B4	-	-	Inactive

หมายเหตุ Inactive คือ ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทดสอบ
 active คือ มีฤทธิ์ยับยั้งจุลินทรีย์ที่ทดสอบ
 * คือ ขนาด Clear Zone ที่วัดจากขอบตัวอย่าง

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษเล่มนี้ได้ศึกษาการเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการอย่างง่าย โดยใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพ โดยเริ่มจากการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์จากกราฟไฟต์ด้วยวิธีการดัดแปลงวิธีการของฮัมเมอร์ ได้ลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลดำที่เรียกว่า กราไฟต์ออกไซด์ และนำกราฟไฟต์ออกไซด์ที่ได้ไปสังเคราะห์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง ทำให้ได้เป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลดำ ที่เรียกว่า กราฟีนออกไซด์ จากนั้นจะทำการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ แล้วนำไปทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคต่างๆ ดังสรุปได้ดังนี้

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟไฟต์ กราไฟต์ออกไซด์ และกราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการศึกษาด้วยเทคนิค XRD ของกราฟไฟต์และกราฟไฟต์ออกไซด์ ในกราฟไฟต์จะมีระยะห่างระหว่างระนาบ 0.34 นาโนเมตร มีลักษณะพีคที่แคบ และกราฟไฟต์ออกไซด์มีระยะห่างระหว่างระนาบ 0.89 นาโนเมตร มีลักษณะพีคที่กว้างขึ้น ซึ่งเกิดจากความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างของกราฟไฟต์ลดลงจากการศึกษาด้วยเทคนิค FT-IR ของกราฟไฟต์และกราฟไฟต์ออกไซด์ ในกราฟไฟต์จะพบแถบการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) วงอะโรมาติก (C=C) และกราฟไฟต์ออกไซด์จะพบแถบการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) วงอะโรมาติก (C=C) หมู่คาร์บอนิล (C=O) และหมู่แอลคอกซี (C-O) ซึ่งหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวจะพบอยู่ในโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ จากการศึกษาด้วยเทคนิค Raman ของกราฟไฟต์และกราฟีนออกไซด์ ในกราฟไฟต์จะมีอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G เท่ากับ 0.16 และกราฟีนออกไซด์จะมีอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G เท่ากับ 0.94 ซึ่งอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G ที่เพิ่มขึ้นจะแสดงถึงความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างของกราฟไฟต์ที่ลดลง จากการศึกษาด้วยเทคนิค UV-vis ของกราฟีนออกไซด์ จะพบพีคของการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 239 นาโนเมตร ($\pi - \pi^*$) และ 300 นาโนเมตร ($n - \pi^*$) ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์ จากการศึกษาด้วยเทคนิค SEM ของกราฟไฟต์และกราฟไฟต์ออกไซด์ ในกราฟไฟต์จะมีลักษณะเป็นแผ่นเกรนขนาดใหญ่ ซ้อนทับกันอย่างเป็นระเบียบ และกราฟไฟต์ออกไซด์จะมีลักษณะเป็นแผ่นเกรนขนาดเล็ก เกิดการแยกออกเป็นแผ่น และจากการศึกษาด้วยเทคนิค TEM ของกราฟีนออกไซด์ จะพบลักษณะของแผ่นกราฟีนออกไซด์ที่บาง โปร่งแสง และมีการซ้อนทับกัน

การเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ซึ่งเงื่อนไขในการทดลองที่เหมาะสม คือ ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการศึกษาด้วยเทคนิค UV-vis จะพบพีคการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 441 นาโนเมตร ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และจากการศึกษาด้วยเทคนิค TEM ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ พบว่าอนุภาคมีลักษณะคล้ายทรงกลม มีการกระจายตัวที่ดี และมีเสถียรภาพสูง มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1-22 นาโนเมตร โดยอนุภาคเฉลี่ยจะอยู่ที่ 6.92 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ ซึ่งเงื่อนไขในการทดลองที่เหมาะสม คือ ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 8.45 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการศึกษาด้วยเทคนิค UV-vis จะพบพีคการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 239 และ 300 นาโนเมตร แต่ไม่สังเกตเห็นการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ และเมื่อทำการศึกษาดูด้วยเทคนิค TEM จะพบว่ามือนาโนซิลเวอร์อยู่บนแผ่นกราฟีนออกไซด์ มีลักษณะคล้ายทรงกลม และอนุภาคยังมีการกระจายตัวที่ดีอีกด้วย

อีกทั้งยังมีการเตรียมวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ในเงื่อนไขพิเศษ คือ ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 100.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากการศึกษาด้วยเทคนิค UV-vis จะพบพีคการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ที่ความยาวคลื่น 239 และ 300 นาโนเมตร และพีคการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ความยาวคลื่น 416 นาโนเมตร ซึ่งพีคที่พบนั้นเป็นพีคเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์

นอกจากนั้นในโครงการพิเศษนี้ได้นำสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์และสารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ที่ได้จากการเตรียมในเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยจะนำไปทำการศึกษาระดับยั้งแบคทีเรียในทางธรรมชาติ พบว่าแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก *S.aureus* ได้ดีที่สุด

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ ด้วยวิธีการอย่างง่าย โดยใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพ พบปัญหาบางประการที่สามารถนำไปปรับปรุงในการทดลองเพื่อให้ผลที่ได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยปัญหาและข้อเสนอแนะมีดังนี้

1. เนื่องจากในโครงการพิเศษนี้ ไม่ได้ทดสอบสมบัติต่างๆ ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์และวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสมบัติการนำไฟฟ้า เป็นต้น ดังนั้นจึงควรนำไปศึกษาต่อเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประยุกต์ใช้งานได้มากขึ้น
2. ในขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางผสม ควรมีแบบพิมพ์ที่เป็นมาตรฐานเพื่อควบคุมความหนาของแผ่นยางให้สม่ำเสมอ ป้องกันฝุ่น และไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น
3. ในขั้นตอนการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ควรเพิ่มจำนวนตัวอย่างที่มีปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่แตกต่างกันมากขึ้น เพื่อให้ทราบผลในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ชัดเจนมากขึ้นทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Rahong. 2015. Antibacterial Ability of Silver Nanoparticle Coated Air Filter. [Online]. Available : <http://accessgrouphailand.com/download/downloadFiles.php?file=MH4xOTU0N35pbWFEnZXVwbG9hZC80MjMyNC9TaWx2ZXJOYW5vcGFydGljbGVfNTkwLnBkZg==>.
- [2] Kholoud M. M. Abou El-Nour, Ala'a Eftaiha, Abdulrhman Al-Warthan, Reda A.A. Ammar. 2010. "Synthesis and applications of silver nanoparticles." *Arabian Journal of Chemistry*. 3 : 135-140.
- [3] Sally D. Solomon, Mozghan Bahadory, Aravindan V. Jeyarajasingam, Susan A. Rutkowsky, and Charles Boritz. "Synthesis and Study of Silver Nanoparticles." *Journal of Chemical Education Department of Chemistry*. Drexel University, Philadelphia. 84(2) : 322-325.
- [4] M.G. Guzman, J. Dille and S. Godet. 2008. "Synthesis of Silver Their Antibacterial Activity." *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*. 2(7)
- [5] M. Noroozi, A. Zakaria, M. M. Moxsin, Z. A. Wahab and A. Abedini. 2012. "Green Formation of Spherical and Dendritic Silver Nanostructures under Microwave Irradiation without Reducing Agent." *Int J Mol Sci*. 13(7) : 8086-8096.
- [6] X. Zhao, Y. Xia, Q. Li, X. Ma, F. Quan, C. Geng and Z. Han. 2014. "Microwave-Assisted Synthesis of Silver Nanoparticles Using Sodium Alginate and Their Antibacterial Activity." *Physicochem*. 444 : 180-188.
- [7] มานิตย์ แก้วพิมพา, ชลาธาร แสงเรืองฤทธิ์ และการะเกด เทศศรี. 2557. "การปรับปรุงประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนโลหะคู่แพลเลเดียมเปลือกหุ้มโลหะเงินแกนกลาง สำหรับการสลายตัวของกรดพอร์มิก." หน้า 293-271. ใน การประชุมวิชาการระดับชาติ ฉบับพิเศษ วิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา.
- [8] Y.A. Krutyakov, A.A. Kudrinskiy, A.Y. Olenin and G.V. Lisichkin. 2008. "Synthesis and Properties of Silver Nanoparticles: Advances and Prospects." *Russian Chemical Reviews*. 77(3) : 233-257.
- [9] ดร.อดิศร เตื่อนทรานนท์. 2554. "แกรฟีน วัสดุมหัศจรรย์ที่ทั่วโลกตื่นตะลึง." สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 215(37)
- [10] N.T. Lan, D.T. Chi, N.X. Dinh, N.D. Hung, H. Lan, P.A. Tuan, L.H. Thang, N.N. Trung, N.Q. Hoa, T.Q. Huy, N.V. Quy, T.T. Duong, V.N. Phan and A.T. Le. 2014. "Photochemical Decoration of Silver Nanoparticles on Graphene Oxide Nanosheets and Their Optical Characterization." *Journal of Alloys and Compounds*. 615 : 843-848.

- [11] D.C. Stanier, A.J. Patil, C. Sriwong, S.S. Rahatekar, J. Ciambella. 2014. “The Reinforcement Effect of Exfoliated Graphene Oxide Nanoplatelets on the Mechanical and Viscoelastic Properties of Natural Rubber.” *Composites Science and Technology*. 95 : 59–66.
- [12] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2558. นาโนเทคโนโลยี. [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/นาโนเทคโนโลยี>.
- [13] N. Taniguchi. 1974. “On the Basic Concept of Nano-Technology.” *Japan Society of Precision Engineering*.
- [14] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. นาโนเทคโนโลยี. [Online]. Available : <http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/33.pdf>.
- [15] ศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ. นาโนเทคโนโลยีคืออะไร. [Online]. Available : <http://www.nanotec.or.th/th/?p=1137>.
- [16] สมนึก บุญพาไสว. นาโนเทคโนโลยี เทคโนโลยีในศตวรรษที่ 21. [Online]. Available : <http://design.ipst.ac.th/docu/photo/D008.pdf>.
- [17] สิริพัฒน์ ประโทนเทพ. 2547. นาโนเทคโนโลยีคืออะไรกันแน่. [Online]. Available : <http://www.vcharkarn.com/varticle/189>.
- [18] S. Pukird, U. Tipparach and T. Saipin. “Nanomaterials.” Ubon Rajathanee University.
- [19] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนาระบบการเรียนรู้. มหาวิทยาลัยมหิดล. สมบัติของอนุภาคนาโน. [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit2-5.html>.
- [20] ณัฐพันธ์ ศุภกา. 2549. ไชปริศนานาโน. [Online]. Available : <http://www.rmutphysics.com/charud/oldnews/67/index67.htm>.
- [21] 2558. ซิลเวอร์นาโนอีกหนึ่งอาวุธกำจัดเชื้อโรค. [Online]. Available : http://www.thelittlegymrama3.com/index.php?lay=show&ac=Article&Id=538690_877&Ntype=3Disayaphong_Jainuknan.2008.
- [22] D. Jainuknan. 2008. ซิลเวอร์นาโนทำงานอย่างไร. [Online]. Available : <https://disayaphong.wordpress.com/2008/11/03/nanosilver/>.
- [23] 2550. ซิลเวอร์นาโนฆ่าเชื้อได้อย่างไร. [Online]. Available : <https://promgong.wordpress.com/2007/07/19/ซิลเวอร์นาโนฆ่าเชื้อได้-2/>.
- [24] J.J. Wu, G.J. Lee, Y.S. Chen and T.L. Hu. “The Synthesis of Nano-Silver/Polypropylene Plastics for Antibacterial Application.” *Current Applied Physics*. (12) : S89-S95.
- [25] โครงการตำรามหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2554. นาโนเทคโนโลยีขั้นต้น เล่มที่ 1.
- [26] เณตรา แก้วคง, เลิศณรงค์ ศรีพนม, เจ๊ะฮาซัน เจ๊ะอุบง และศิริวรรณ ตัญญา. 2557. “การสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ของอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์โดยวิธีตกชั้นทางเคมี.” *Science and Technology RMUTT Journal*. 2(4) : 1-10.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [27] A. Pal, S. Shah and S. Devi. 2009. "Microwave-Assisted Synthesis of Silver Nanoparticles Using Ethanol as a Reducing Agent." *Materials Chemistry and Physics*. 114(2-3) : 530–532.
- [28] พิริยธร สุวรรณมาลา. การเตรียมอนุภาคนาโนเงินที่ทำให้เสถียรโดยพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ด้วยการฉายรังสีแกมมา. [Online].
Available : <http://www0.lnl.or.th/nkc/nkc51/nkc5104/nkc5104p.html>.
- [29] V. K. Sharma, R. A. Yngard and Y. Lin. 2009. "Silver Nanoparticles: Green Synthesis and Their Antimicrobial Activities." *Advances in Colloid and Interface Science*. 145(1-2) : 83-96.
- [30] A.L. Garden, K. Scholz, D.R. Schwass and C.J. Meledandri. 2014. "Optimized Colloidal Chemistry for Micelle-Templated Synthesis and Assembly of Silver Nanocomposite Materials." *Physicochem*. 441 : 367–377.
- [31] J.R. Morones, J.L. Elechiguerra, A. Camacho, K. Holt, J.B. Kouri, J.T. Ramirez and M. J. Yacaman. 2005. "The Bactericidal Effect of Silver Nanoparticles." *Nanotechnology*. 16 : 10.
- [32] C. Nordqvist. 2016. What Is Body Odor (B.O.)? What Causes Body Odor?. [Online]. Available : <http://www.medicalnewstoday.com/articles/173478.php>.
- [33] สถาพร คำหอม. อนุภาคนาโนของซิลเวอร์. [Online].
Available : <https://www.rsu.ac.th/engineer/che/news/News%20Data/Silver.pdf>.
- [34] ปิยวัฒน์ แสงพิชยากร, กฤตยา พุทธรักษา และเขมจิรา มิซ็อน. 2552. การยับยั้งการเจริญของ *Escherichia coli* ด้วย Silver Nanoparticles ที่สังเคราะห์โดยใช้เครื่องต้มชุกำลังและวุ้นหางจรเข้เป็นตัวรีดิทซ์.
- [35] ณปภา เอี่ยมจิรกูล, ปิยะนารถ เอกวรพจน์ และฐิติวิศุ์ พูลนวม. 2556. อนุภาคนาโนเงินในงานทันตกรรม. [Online]. Available : ejournals.swu.ac.th/index.php/swudentj/article/view/4565
- [36] 2551, 25 กุมภาพันธ์. "องค์การอาหารและยาสหรัฐกับการควบคุมดูแลเทคโนโลยีนาโน." *Chemical & Engineer News*.
- [37] มาริสา คุณธนวงศ์. 2550. เพิ่มประสิทธิภาพสารเคลือบต่อต้านจุลินทรีย์ด้วยซิลเวอร์โบรไมด์. [Online].
Available : http://www.mtec.or.th/th/news_st/news_st-detail.asp?newsid=183
- [38] 2016. Graphite Oxide. [Online].
Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Graphite_oxide
- [39] C.E. Hamilton and A.R. Barron. 2009. "Nanomaterials and Nanotechnology." PhD Thesis. Rice University.
- [40] Graphene Oxide. [Online].
Available : <http://www.graphene-info.com/graphene-oxide>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [41] พลวัฒน์ เจริญธรรมจรชัย. 2555. “กระแสวิทยาของกราฟีนสังเคราะห์ที่แขวนลอยในพอลิพีนิลไกลอซิไดลอีเทอร์โคพอร์มาลดีไฮด์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [42] S. Park and R.S. Ruoff. 2009. “Chemical Methods for the Production of Ggraphenes.” *Nature Nanotechnology*. 217(7)
- [43] 2010. “Graphene Oxide.” [Online]. Available : <http://grapheneupdate.com/forum/32-graphene-oxide-a-hands-on-guide-to-practical-applications.html>.
- [44] รศ.ดร.โชคชัย วนภู. 2555. “Controlled release urea fertilizer by biopolymeric encapsulation.” สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [45] Y.J. Jung, P. Govingaiyah, S.W. Choi, I.W. Cheong, J.H. Kim. 2011. “Morphology and Conducting Property of Ag/Poly(Pyrrole) Composite Nanoparticles: Effect of Polymeric Stabilizers.” *Synthetic Metals*. 161 : 1991-1995.
- [46] วิภาวี พัฒนากุล. 2554. “ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์.” กลุ่มอุตสาหกรรมยาง. สถาบันวิจัยยาง.
- [47] พงษ์ธร แซ่อู๋. 2547. “ชนิดของยางและการใช้งาน.” ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย.
- [48] วีระชัย แสงฉาย. 2558. “สมบัติของยางธรรมชาติที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนและนาโนเคลย์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุ บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- [49] Gelling, I.R. and Porter. 1998. “Natural Rubber science and technology.” Oxford University. 359.
- [50] จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์. 2554. “เทคโนโลยียางธรรมชาติ (Natural Rubber Technology).” ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [51] A. Trapalis, N. Todorova, T. Giannakopoulou, N. Boukos, T. Speliotis, D. Dimotikali and J. Yu. 2016. “TiO₂/Graphene Composite Photocatalysts for NO_x Removal: A Comparison of Surfactant-Stabilized Graphene and Reduced Grapheneoxide.” *Environmental*. 180 : 637-647.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. ลักษณะของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์



รูปที่ ข-1 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

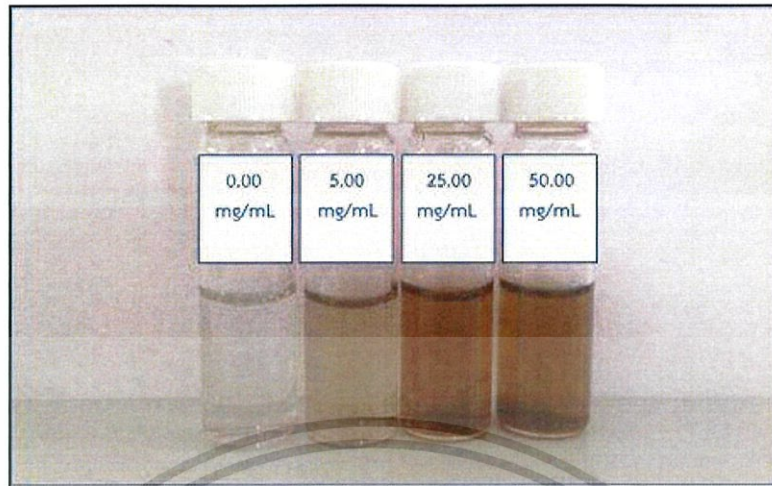
2. ลักษณะของสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์

2.1 ผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน



รูปที่ ข-3 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของสารแขวนลอยรีดิวซ์ที่เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรต 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการให้ความร้อนที่เวลา 0, 15, 30, 45, 60 และ 90 นาที

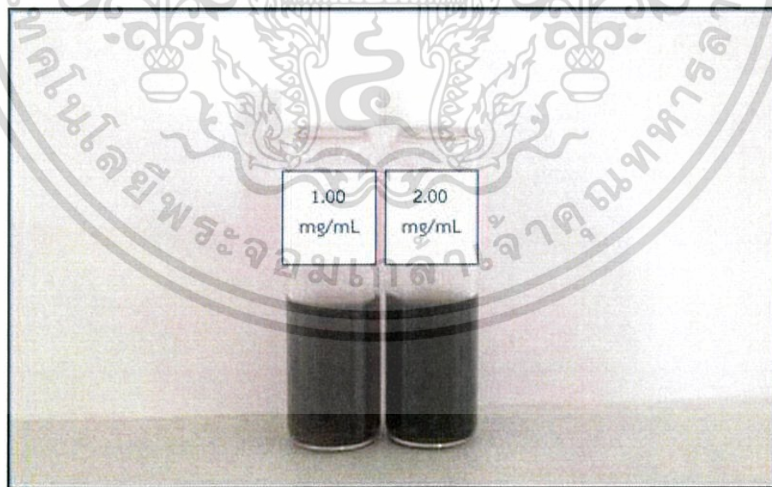
2.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้



รูปที่ ข-4 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของของสารแขวนลอยรีดิวซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการให้ความร้อนเป็นเวลา 45 นาที เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน 0.00, 5.00, 25.00 และ 50.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

3. ลักษณะของสารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์

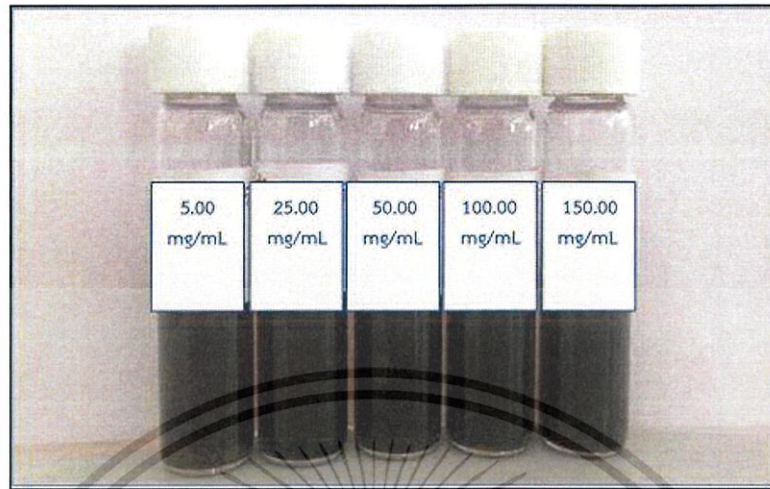
3.1 ผลของความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ใช้



รูปที่ ข-5 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของของสารละลายรีดิวซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการให้ความร้อนเป็นเวลา 45 นาที เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 1.00 และ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้เมื่อมีการใส่สารแขวนลอย กราฟีนออกไซด์



รูปที่ ข-6 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของสารละลายรีดิวซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการให้ความร้อนเป็นเวลา 45 นาที เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรดที่ 8.45 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 5.00, 25.00, 50.00, 100.00 และ 150.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

3.3 ผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรดที่ใช้เมื่อมีการใส่สารแขวนลอย กราฟีนออกไซด์



รูปที่ ข-7 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของสารละลายรีดิวซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการให้ความร้อนเป็นเวลา 45 นาที เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 1.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 25.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรดที่ 1.69, 8.45, 16.90 และ 25.35 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

4. ลักษณะของสารแขวนลอยวัสดุผสมนาโนซิลเวอร์-กราฟีนออกไซด์ในเงื่อนไขพิเศษ



รูปที่ ข-8 ภาพถ่ายแสดงลักษณะของสารละลายรีดิวซ์ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาการให้ความร้อนที่เวลา 45 นาที เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่ 2.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่ 100.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 33.80 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้