

การเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์และประสิทธิภาพการยับยั้ง
เชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสม/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์/
อนุภาคนาโนซิลเวอร์

PREPARATION, CHARACTERIZATION AND
ANTIBACTERIAL PERFORMANCE OF SILVER
NANOPARTICLES/REDUCED GRAPHENE OXIDE/
NATURAL RUBBER COMPOSITE SHEETS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์และประสิทธิภาพการยับยั้ง
เชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสม/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์/
อนุภาคนาโนซิลเวอร์

PREPARATION, CHARACTERIZATION AND
ANTIBACTERIAL PERFORMANCE OF SILVER
NANOPARTICLES/REDUCED GRAPHENE OXIDE/
NATURAL RUBBER COMPOSITE SHEETS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION, CHARACTERIZATION AND
ANTIBACTERIAL PERFORMANCE OF SILVER
NANOPARTICLES/REDUCED GRAPHENE OXIDE/
NATURAL RUBBER COMPOSITE SHEETS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ
แบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสม/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์/
อนุภาคนาโนซิลเวอร์

Preparation, Characterization and Antibacterial
Performance of Silver Nanoparticles/Reduced Graphene
Oxide/Natural Rubber Composite Sheets

ชื่อนักศึกษา

นายณนุชญา ชัยชนะปราณ รหัสนักศึกษา 55050701

นายภูเนตุ ประสาทร์ รหัสนักศึกษา 55050767

นายภูพิงค์ เพ็งเรือง รหัสนักศึกษา 55050768

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช ประธานกรรมการ	
ดร.กิตติศักดิ์ ชูจันทร์ กรรมการ	
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสม/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์/อนุภาคนาโนซิลเวอร์		
ชื่อนักศึกษา	นายณัฐนาท	ชัยชนะปราณ	รหัสนักศึกษา 55050701
	นายภูเนตุ	ประสาตร์	รหัสนักศึกษา 55050767
	นายภูพิงค์	เพ็งเรือง	รหัสนักศึกษา 55050768
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการพัฒนาคุณสมบัติของยางธรรมชาติให้มีสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน และสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ด้วยการใช้นิเวศวิทยาฟีนอกไซด์และอนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโนผสมในแผ่นยางธรรมชาติจากนั้นแผ่นยางธรรมชาติผสมถูกเตรียมโดยใช้กระบวนการอย่างง่ายด้วยการผสมแบบลาเท็กซ์โดยตรง ภายใต้การให้ปริมาณของน้ำยางธรรมชาติคงที่ แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณการเติมสารแขวนลอยของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน และของผสมของสารแขวนลอยแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์/อนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน จากนั้นแผ่นยางธรรมชาติผสมที่เตรียมได้จะถูกพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้เทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Visible) การวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) รามานสเปกโตรสโคปี (Raman) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDS) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน (TGA) ผลจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงพบพีกเอกลักษณ์การดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน ในขณะที่ผลการวิเคราะห์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน แสดงขนาดอนุภาคเฉลี่ยของสารแขวนลอยซิลเวอร์ขนาดนาโนมีค่า 18.81 ± 8.40 นาโนเมตร และมีรูปร่างเป็นทรงกลม ในขณะที่ตัวแบบรูปแบบโครงผลึกและหมู่ฟังก์ชันของแผ่นยางธรรมชาติผสมทั้งหมดเหมือนกับแผ่นยางธรรมชาติตั้งต้น แต่อย่างไรก็ตามจะพบพีกเอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในตัวอย่างแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์/อนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยยืนยันได้จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ผลจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน ลักษณะสัณฐานวิทยาพื้นผิวของยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์/อนุภาคนาโนซิลเวอร์ พบว่ามีลักษณะเป็นรอยย่น ซึ่งเกิดจากการฝังตัวของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ขนาดนาโน ในขณะที่อนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโนสามารถกระจายตัวได้ดีในเมทริกซ์ของยางธรรมชาติ จากการทดสอบแรงดึง พบว่าค่าโมดูลัสของยังของยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้นจาก 0.74 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมกะปาสคาล เป็น 0.87 เมกะปาสคาล เมื่อเพิ่มปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จากร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก เป็นร้อยละ 0.27 โดยน้ำหนัก ซึ่งค่าการคงรูปและค่าแรงดึงที่จุดขาดก็มีค่าไปในทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้อาจจะเป็นผลมาจากผิวสัมผัสระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และยางธรรมชาติเกิดได้เป็นอย่างดีเมื่อเทียบกับแผ่นยางธรรมชาติตั้งต้น ผลการศึกษาจากเทคนิควิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติผสมทั้งหมดไม่ได้มีความแตกต่างเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติตั้งต้น นอกจากนี้สมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสม จะทำการทดสอบกับแบคทีเรียแกรมบวก (*Staphylococcus aureus*) และ แบคทีเรียแกรมลบ (*Escherichia coli*) ผลแสดงให้เห็นว่า ทั้งแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน และยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์/อนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด โดยขนาดโซนยับยั้งของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกเท่ากับ 4.17 มิลลิเมตร และขนาดโซนยับยั้งของเชื้อแบคทีเรียแกรมลบเท่ากับ 4.5 มิลลิเมตร เมื่อเติมอนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโนร้อยละ 1.08 โดยน้ำหนัก ซึ่งความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมนี้ เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณการเติมอนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน

คำสำคัญ : กระบวนการผสมแบบลาเท็กซ์ น้ำยางธรรมชาติ แผ่นยางธรรมชาติผสม รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน



Title	Preparation, Characterization and Antibacterial Performance of Silver Nanoparticles/Reduced Graphene Oxide/Natural Rubber Composite Sheets
Students	Mr. Narunat Chaichanapran Student ID 55050701 Mr. Phunat Prasat Student ID 55050767 Mr. Phuphing Pengruang Student ID 55050768
Degree	Bachelor of Science, Major of Industrial Chemistry
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	KingMongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Dr. ChavalSriwong

Abstract

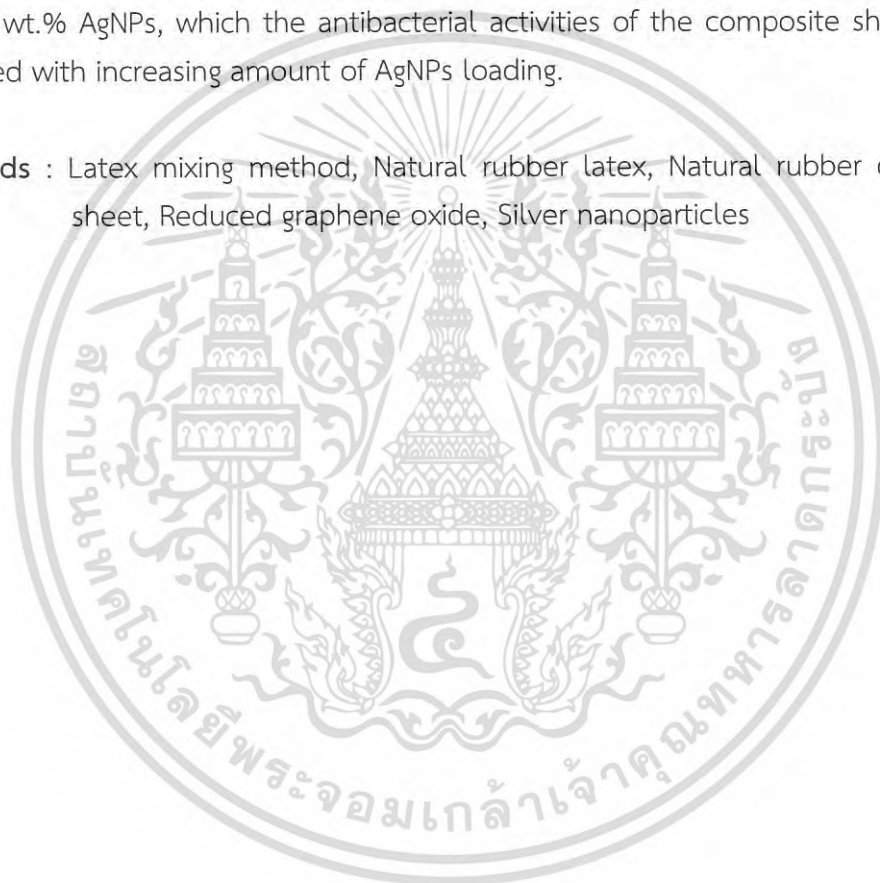
This special project aims to improve the mechanical, thermal, and antibacterial properties of the natural rubber (NR) by compositing with reduced graphene oxide (rGO)/NR and Silver Nanoparticles. In the preparation, both the aqueous suspensions of rGO sheets and AgNPs were separately synthesized. Then, the NR composite sheets were prepared by directly latex mixing method based on the use of fixed natural rubber latex (60% HA) content with the various amounts of rGO, AgNPs and rGO mixed with AgNPs suspensions loading, respectively. After that, the obtained rGO, AgNPs and NR composite sheets were characterized by using UV-visible spectroscopy (UV-vis), X-ray diffraction (XRD), Fourier-transformed infrared spectroscopy (FT-IR), Raman spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray spectrometer (EDS), transmission electron microscopy (TEM) and thermogravimetric analysis (TGA) techniques. From the UV-vis spectroscopic results, the characteristic absorption peaks of rGO and AgNPs could be observed and well confirmed, whereas the TEM technique showed that the average particles size of the colloidal AgNPs was about 18.81 ± 8.40 nm and had spherical-like shape. While, the crystalline phases and functional groups of all the NR composite sheets are corresponding to pristine natural rubber. Furthermore, the characteristic peaks of AgNPs in the AgNPs/rGO/NR sheet samples could be observed by XRD technique. From the SEM and EDS results, the surface morphologies of both the rGO/NR and AgNPs/rGO/NR composite sheets were wrinkled by impregnating of rGO nanosheets; while, the AgNPs could be well dispersed on the matrix of natural rubber sheet.

According to the tensile test, the young's modulus values of the reduced graphine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

oxide composing with natural rubber increased from 0.74 to 0.87 MPa upon the addition of reduced graphene oxide from 0.05 %wt. to 0.27 %wt. The stiffness and load at break also have a similar trend. This may be due to the fact that it corroborates the strong interfacial interaction between rGO and natural rubber. As compared with pristine natural rubber, the TGA results of all NR composite sheets were not different. Moreover, the antibacterial properties of the NR composite sheets were also tested against Gram-positive *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) and Gram-Negative *Escherichia coli* (*E. coli*). The results showed that both the AgNPs/NR and AgNPs/rGO/NR composite sheets could be inhibited the growth of these bacterial with the value of 4.17 millimeter (Gram positive) and 4.5 millimeter (Gram negative) of 1.08 wt.% AgNPs, which the antibacterial activities of the composite sheets were increased with increasing amount of AgNPs loading.

Keywords : Latex mixing method, Natural rubber latex, Natural rubber composite sheet, Reduced graphene oxide, Silver nanoparticles



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูง ทั้งที่ออกนามและมีได้ออกนามที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้านไว้ณโอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่กรุณาให้ คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน ในภาควิชาเคมี ที่ได้ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปานไพลิน สีหาราช ประธานกรรมการสอบโครงการ พิเศษ และดร.กิตติศักดิ์ ชูจันทร์ ที่ได้กรุณารับเป็นกรรมการในการสอบโครงการพิเศษและให้ คำแนะนำ แก่ไขข้อผิดพลาดเพื่อให้โครงการพิเศษฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ บุคลากรภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวก การทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาเคมีทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือคำแนะนำ และ ให้กำลังใจ ทำให้การทำโครงการพิเศษลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจ เข้าใจ ให้ ความช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนมาจนสำเร็จการศึกษา

นฤนาท ชัยชนะปราณ
ภูเนตุ ประสาทร์
ภูพิงค์ เพ็งเรือง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 ยางธรรมชาติ.....	5
2.1.1 น้ำยางธรรมชาติ.....	5
2.1.2 น้ำยางข้น.....	6
2.1.3 สมบัติของยางธรรมชาติ.....	7
2.1.4 ตัวอย่างการพัฒนาสมบัติของยางธรรมชาติ.....	8
2.2 กราฟีน.....	9
2.2.1 วิธีการสังเคราะห์กราฟีน.....	9
2.2.2 สมบัติของกราฟีน.....	11
2.2.3 การประยุกต์ใช้งานกราฟีน.....	11
2.3 ซิลเวอร์.....	12
2.3.1 ประโยชน์ของซิลเวอร์.....	12
2.3.2 กลไกการทำงานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	13
2.3.3 ตัวอย่างการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	14
2.3.3.1 วิธีรีดักชันทางเคมี.....	14
2.3.3.2 วิธีไมเซลล์.....	14
2.3.3.3 วิธี Solid state.....	15
2.3.3.4 วิธี Solvothermal.....	15
2.3.3.5 วิธีรีดักชันด้วยไมโครเวฟ.....	15
2.4 เซลล์แบบที่เรีย.....	16
2.4.1 ผนังเซลล์.....	16
2.4.2 เยื่อหุ้มเซลล์.....	17
2.5 กลไกการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียของพอลิเมอร์/ไลโชนาโนคอมโพสิต.....	17
2.6 พอลิไวนิลไพโรลิโดน.....	18
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19

บทที่ 3	วิธีการดำเนินงานวิจัย	23
3.1	สารเคมี	23
3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	23
3.3	ขั้นตอนการทดลอง	24
3.3.1	การเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จากผงกราฟาไฟต์	24
3.3.1.1	การเตรียมกราฟาไฟต์ออกไซด์ด้วยวิธีการดัดแปลงวิธีของฮัมเมอร์ (Modified Hummer’s method)	24
3.3.1.2	การเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonication)	25
3.3.1.3	การรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน	25
3.3.2	การเตรียมสารแขวนลอยนาโนซิลเวอร์	26
3.3.3	การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสม	26
3.3.3.1	การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และยางธรรมชาติชนิดเข้มชั้น	26
3.3.3.2	การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์และยางธรรมชาติชนิดเข้มชั้น	27
3.3.3.3	การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์อนุภาคนาโนซิลเวอร์และยางธรรมชาติชนิดเข้มชั้น	27
3.4	การตรวจสอบเอกลักษณ์	28
3.4.1	เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง	28
3.4.2	เครื่องฟูริเยร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR)	28
3.4.3	เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer; XRD)	28
3.4.4	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)	29
3.4.5	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope; TEM)	29
3.4.6	เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบธาตุ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer; EDX)	29
3.4.7	เครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman Spectroscopy)	29
3.4.8	เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA)	30
3.4.9	การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)	30
3.4.10	การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Anti-Bacterial test)	30
บทที่ 4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผล	31
4.1	ผลการวิเคราะห์การวัดการดูดกลืนแสงของสาร	31
4.1.1	กราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	31
4.1.2	อนุภาคนาโนซิลเวอร์	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานการสั้นของโมเลกุล.....	34
4.2.1 กราไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	34
4.2.2 แผ่นยางธรรมชาติผสม.....	35
4.3 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน.....	37
4.3.1 กราไฟต์.....	37
4.3.2 กราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	38
4.4 ผลการตรวจสอบลักษณะผลึกและอสัณฐาน.....	39
4.4.1 กราไฟต์ กราไฟต์ออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	39
4.4.2 แผ่นยางธรรมชาติผสม.....	40
4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ.....	43
4.5.1 แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม.....	43
4.5.2 แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	44
4.5.3 แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.08 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	44
4.5.4 แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	45
4.6 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของสารในระดับจุลภาค.....	46
4.6.1 กราไฟต์ กราไฟต์ออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	46
4.6.2 แผ่นยางธรรมชาติผสม.....	47
4.6.2.1 บริเวณพื้นผิว.....	47
4.6.2.2 บริเวณภาพตัดขวาง.....	50
4.7 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	52
4.8 ผลการวิเคราะห์เชิงความร้อน.....	54
4.9 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล.....	56
4.10 การทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย.....	61
4.10.1 ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก.....	61
4.10.2 ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ.....	62
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	65
5.1.1 สรุปผลคุณลักษณะของสารตัวเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโน ซิลเวอร์.....	65
5.1.2 สรุปผลคุณลักษณะแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และ อนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	66
5.1.3 สรุปผลสมบัติเชิงกล เชิงความร้อน และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อ แบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาค นาโนซิลเวอร์.....	66
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	67
เอกสารอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบและปริมาณของสารต่าง ๆ ในน้ำยางธรรมชาติ.....	6
2.2 แสดงส่วนประกอบของเม็ดยาง.....	6
2.3 แสดงสมบัติทั่วไปของซิลเวอร์.....	12
2.4 แสดงสมบัติทางกายภาพของซิลเวอร์.....	12
2.5 ความแตกต่างของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ.....	16
2.6 แสดงสมบัติต่าง ๆ ของโพลีไวนิลไพโรไรโดน.....	19
3.1 แสดงแสดงเงื่อนไขในการขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	26
3.2 แสดงเงื่อนไขในการขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	27
3.3 แสดงเงื่อนไขในการขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณต่างๆ.....	27
4.1 เปรียบเทียบแถบการสั่นที่สำคัญของกราฟิต์และกราฟิต์ออกไซด์.....	35
4.2 แสดงแถบการสั่นของยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	37
4.3 แสดงการเปรียบเทียบองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ร้อยละ 1.08 โดยน้ำหนักกับแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก.....	45
4.4 แสดงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวและอุณหภูมิสิ้นสุดการสลายตัวของแผ่นยางธรรมชาติ ผสมชนิดต่างๆ.....	56
4.5 แสดงค่าการทดสอบการดึงแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	56
4.6 แสดงค่าการทดสอบการดึงแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปริมาณต่างๆ.....	57
4.7 แสดงค่าการทดสอบการดึงแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์คงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปริมาณต่างๆ.....	57
4.8 แสดงผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมเงื่อนไขต่างๆ โดยการวัดรัศมีของโซนยับยั้ง (Inhibition Zone).....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้างของแผ่นกราฟีน (Graphene sheet).....	1
1.2 โครงสร้างของแผ่นกราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide sheet)	2
2.1 แสดงโครงสร้างของยางธรรมชาติ	5
2.2 แสดงกลไกการทำงานของนาโนซิลเวอร์ต่อการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย	13
2.3 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก (ชาย) และแบคทีเรียแกรมลบ (ขวา)	17
2.4 แสดงกลไกการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียของพอลิเมอร์/โลหะนาโนคอมโพสิต	18
2.5 แสดงโครงสร้างของโพลีไวนิลไพร์โรลิโดน.....	18
3.1 แสดงการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	25
4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)	31
4.2 แสดงสีของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ภายใต้ตัวทำละลายคือน้ำ (a) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (b) กราฟีนออกไซด์	32
4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงอนุภาคนาโนซิลเวอร์ก่อนและหลังไมโครเวฟ.....	33
4.4 แสดงสีของสารแขวนลอยนาโนซิลเวอร์ (a) ไมโครเวฟ 0 วินาที (b) ไมโครเวฟ 75 วินาที....	33
4.5 แสดงสมการที่เป็นไปได้ของการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์	34
4.6 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของกราฟไฟต์ กราไฟต์ออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	34
4.7 แสดงกราฟ FT-IR เปรียบเทียบแผ่นยางธรรมชาติเปล่า (a) แผ่นยางธรรมชาติที่ผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.05 (b) 0.16 (c) และ 0.27 (d) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 0.27 (e) และ 1.08 (f) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในอัตราคงที่ (0.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 0.26 (g) และ 1.03 (h) เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	36
4.8 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟไฟต์.....	37
4.9 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	38
4.10 XRD Pattern ของผงกราฟไฟต์ ผงกราฟไฟต์ออกไซด์ และผงรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	39
4.11 XRD pattern ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณต่าง ๆ (a) แผ่นยางธรรมชาติ (b) แผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.05 wt.% (c) แผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.16 wt.% (d) แผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.27 wt.%	40
4.12 XRD pattern ของแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (a) แผ่นยางธรรมชาติ (b) แผ่นยางผสมอนุภาคนาโน 0.54 wt.% (c) แผ่นยางผสมอนุภาคนาโน 1.08 wt.%	41
4.13 XRD pattern ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากงานวิจัยอ้างอิง	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14 XRD pattern ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (0.16 wt.%) ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณต่าง ๆ (a) แผ่นยางธรรมชาติ (b) แผ่นยางผสม รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 0.26 wt.% (c) แผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 0.52 wt.% (d) แผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.03 wt.%	42
4.15 แสดงเปคตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม (NR Pure)	43
4.16 แสดงเปคตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก (NR, rGO 0.16 wt.%).....	44
4.17 แสดงเปคตรัมและองค์ประกอบของธาตุในและแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ร้อยละ 1.08 โดยน้ำหนัก (NR, AgNPs 1.08 wt).....	44
4.18 แสดงแสดงเปคตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก (NR, rGO 0.16 wt.%, AgNPs 1.03 wt.%)	45
4.19 ภาพจากกล้อง SEM เปรียบเทียบระหว่างบริเวณพื้นผิว ที่กำลังขยาย 3000 เท่า (a) กราไฟต์ (b) กราไฟต์ออกไซด์	46
4.20 ภาพจากกล้อง SEM เปรียบเทียบระหว่าง (a) กราไฟต์ออกไซด์ กำลังขยาย 3000 เท่า (b) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 500 เท่า	46
4.21 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติกำลังขยาย 6000 เท่า	47
4.22 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า.....	47
4.23 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า	48
4.24 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.27 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า	48
4.25 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณคงที่ (0.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 0.26 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า	48
4.26 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณคงที่ (0.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 0.52 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า	49
4.27 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณคงที่ (0.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.28 ภาพจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติกำลังขยาย 6000 เท่า	50
4.29 ภาพจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า	50
4.30 ภาพจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า	50
4.31 ภาพจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.27 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 3000 เท่า (b) 6000 เท่า	51
4.32 ภาพจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณคงที่ (0.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 0.52 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า	51
4.33 ภาพจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณคงที่ (0.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า	51
4.34 ภาพถ่ายจากกล้อง TEM ของ (a) กราฟีนออกไซด์ และ (b) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	52
4.35 ภาพ TEM ของสารแขวนลอยนาโนซิลเวอร์.....	53
4.36 ภาพ TEM สารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	53
4.37 แสดงเทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ TGA จากผลการทดสอบพบว่าการสลายตัวของยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณ 0.05 0.16 และ 0.27 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	54
4.38 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณ 0.27 และ 1.08 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	54
4.39 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในอัตราคงที่ (0.16 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณ 0.26 และ 1.03 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	55
4.40 แสดงการเปรียบเทียบค่า Young's Modulus ของแผ่นยางผสม	57
4.41 แสดงการเปรียบเทียบค่า Stiffness ของแผ่นยางผสม	58
4.42 แสดงการเปรียบเทียบค่า Percentage Strain at Maximum Load ของแผ่นยางผสม	58
4.43 แสดงการเปรียบเทียบค่า Load at Break ของแผ่นยางผสม	59
4.44 แสดงตัวอย่างกราฟ Tensile strength ของแผ่นยางผสมชนิดต่าง ๆ	59
4.45 แสดงตัวอย่างกราฟ Tensile strength ของแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณต่างๆ	60
4.46 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (S. aureus)	61
4.57 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (E. coli)	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

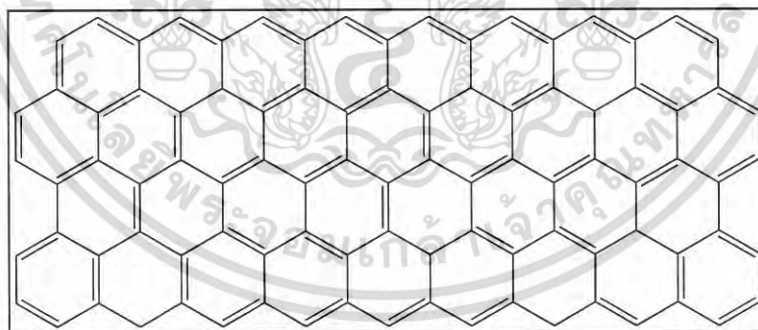
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) ถือเป็นวัตถุดิบที่สำคัญของโลก เนื่องจากถูกนำไปผลิตเป็นของใช้ต่างๆ ในชีวิตประจำวันได้หลากหลายประเภท แต่ในปัจจุบันราคายางธรรมชาติในประเทศไทยกำลังตกต่ำ เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางพาราให้สูงขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้มีความหลากหลายหรือดียิ่งขึ้น โดยการเติมสารตัวเติม (Filler agents) เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติของแผ่นยางเช่น สมบัติเชิงกล เชิงความร้อน และสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ทำให้มีความหลากหลายในการนำยางธรรมชาติมาใช้งานมากขึ้น

น้ำยางธรรมชาติ (Natural rubber latex; NRL) จากต้นยางมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่น เป็นสารแขวนลอยหรือคอลลอยด์ (Colloid) ประกอบไปด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ มีเนื้อเยื่ออยู่ประมาณ 30-40% ยางธรรมชาติมีสมบัติที่โดดเด่นหลายด้าน เช่น ความยืดหยุ่น ความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด ความทนทานต่อการขีดถู ความเหนียวติดกัน เป็นต้น [1] แต่ก็ยังมีข้อด้อยหลายประการ

กราฟีน (Graphene) คือ วัสดุที่มีโครงสร้างที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนแบบวงหกเหลี่ยม (Hexagonal configuration) ในแนวระนาบ 2 มิติ หลากๆ วงต่อกัน คล้ายกับตาข่ายเกิดเป็นแผ่นกราฟีนที่มีความหนาเพียงหนึ่งอะตอมของคาร์บอน (0.345 นาโนเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 1.1 กราฟีนมีสมบัติในการนำไฟฟ้า มีความแข็งแรงสูง มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีการนำความร้อนที่ดี [2] จึงทำให้กราฟีนเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจในการศึกษาเป็นอย่างมากในขณะนี้

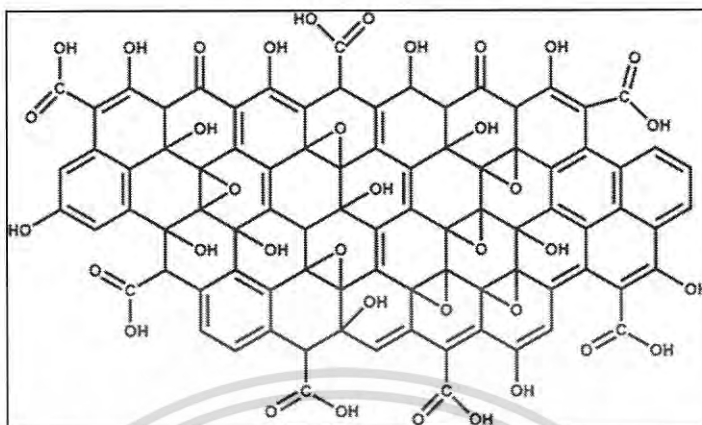


รูปที่ 1.1 โครงสร้างของแผ่นกราฟีน (Graphene sheet)

โดยทั่วไปการเตรียมกราฟีนจากกราฟไฟต์มีหลายวิธี เช่น Chemical Vapor Deposition [3], Micromechanical Exfoliation [4], Cutting Carbon Nanotubes [5] และ Chemical Oxidation [6] ซึ่งจาก 4 วิธีข้างต้นนี้ Chemical Oxidation เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในทางอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถควบคุมปริมาณในการผลิตได้จำนวนมาก ทำให้ได้กราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide; GO) ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 1.2 จึงทำให้มีความสามารถในการเป็นตัวถูกละลายที่ดีในตัวทำละลายชนิดมีขั้ว โดยเฉพาะเป็นสารแขวนลอยในน้ำ ซึ่งสามารถนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ต่างๆ ได้มากมาย เช่น ใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติที่ดีของวัสดุพอลิเมอร์ โลหะออกไซด์ เป็นต้น



รูปที่ 1.2 โครงสร้างของแผ่นกราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide sheet)

อย่างไรก็ตาม เนื่องด้วยกราฟีนออกไซด์มีสมบัติบางประการที่ยังไม่ตี้นัก เช่น สมบัติการนำไฟฟ้า การส่งผ่านอิเล็กตรอน จึงต้องทำการรีดิวซ์เพื่อกำจัดหมู่ฟังก์ชันบางหมู่ เช่น ไฮดรอกไซด์ คาร์บอกซิลิก คีโตน อีพอกไซด์ เป็นต้น บนโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ เพื่อให้ได้เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (Reduced graphene oxide; rGO) ที่มีสมบัติที่ดีขึ้นคล้ายกับกราฟีน ซึ่งสามารถทำได้โดยวิธีการต่างๆ เช่น Hydrothermal Reduction [7], Microwave Assisted Reduction [8] และ Solution Based Chemical [9] ซึ่งวิธีการ Solution Based Chemical จะใช้รีดิวซ์เอเจนต์หลายตัว เช่น โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium Borohydride) [10] ไฮดราซีน (Hydrazine) [9] และวิตามินซี (Vitamin C) [11] เป็นต้น ในการทดลองนี้จะใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์เนื่องจากเป็นรีดิวซ์เอเจนต์ที่มีประสิทธิภาพสูง แต่มีความเป็นพิษสูง ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงใช้ปริมาณไฮดราซีนในระดับไมโครลิตรซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยมากทำให้ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ทำการทดลอง

โลหะซิลเวอร์ (Silver; Ag) มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสูง โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Silver nanoparticles; AgNPs) เมื่อสัมผัสกับผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียจะสามารถแพร่กระจายประจุไปเกาะตามผนังเซลล์และแทรกเข้าไปภายในเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้เกิดการรวมตัวของ DNA ภายในเซลล์ ทำให้ประจุบวกของซิลเวอร์เข้าไปจับกับเอนไซม์โปรตีนเนส (Proteinase) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับระบบเมตาบอริซึมของเซลล์ ซึ่งจะจับกับหมู่ซัลไฟดริล (-SH) ที่มีอะตอมของซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีประจุเป็นลบ (S^{2-}) และทำให้กระบวนการทำงานของเอนไซม์หยุดการทำงาน นำไปสู่การเสื่อมสภาพตายไปในที่สุด [12] สำหรับ ซิลเวอร์อนุภาคนาโนเมตร เตรียมได้จากการใช้พลังงานความร้อนจากคลื่นรังสีไมโครเวฟโดยใช้สารละลายซิลเวอร์-ไนเตรทเป็นสารเริ่มต้น ซึ่งมีพอลิไวโนลไพโรลิโดน (Poly(N-vinylpyrrolidone); PVP) เป็นตัวรักษาเสถียรภาพของซิลเวอร์ ทำให้ได้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีเสถียรภาพสูงไม่เกาะหรือรวมตัวกันเหมาะแก่การนำไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะปรับปรุงสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติโดยการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเพิ่มสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยเริ่มจากการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน และเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยตู้ไมโครเวฟ โดยมีพอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ จากนั้นทำการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติชนิดเข้มข้น รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และนำมาศึกษาคุณลักษณะเฉพาะ สมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน และสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาและเตรียมกราฟีนออกไซด์ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์
- 2) เพื่อศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของกราฟีนออกไซด์ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์
- 3) เพื่อศึกษาและเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติชนิดเข้มข้นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และอนุภาคนาโนซิลเวอร์
- 4) เพื่อศึกษาคุณลักษณะทางสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติผสมที่เตรียมได้
- 5) เพื่อศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาวิธีการเตรียมกราฟีนออกไซด์ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์
- 2) ศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของกราฟีนออกไซด์ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์
- 3) ทำการศึกษาวิธีการเตรียมแผ่นยางผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น กับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยมีการศึกษาผลของการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (เข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) ในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 1.00 2.00 3.00 4.00 และ 5.00 มิลลิลิตร
- 4) ศึกษาวิธีการเตรียมแผ่นยางผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยมีการศึกษาผลของการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และการเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 0.50 1.00 และ 2.00 มิลลิลิตร
- 5) ทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น
- 6) ทำการศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจถึงวิธีการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์
- 2) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจถึงการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยตู้ไมโครเวฟ โดยมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติและคุณลักษณะเฉพาะของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์
- 4) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจเกี่ยวกับการนำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไปใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติของยางธรรมชาติ ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาสมบัติของยางธรรมชาติต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

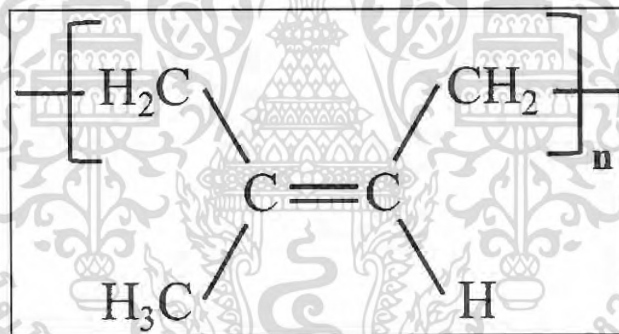
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ

ยาง (Rubbers) หรืออีลาสโตเมอร์ (Elastomer) หรือวัสดุพอลิเมอร์ (polymer) ประเภทหนึ่ง ส่วนใหญ่โครงสร้างโมเลกุลของยางมีองค์ประกอบหลักเป็นสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) กล่าวคือ มีองค์ประกอบหลักเป็นโมเลกุลที่มีคาร์บอน (Carbon; C) และไฮโดรเจน (Hydrogen; H) เป็นส่วนใหญ่เหมือนกับพอลิเมอร์อื่นๆ แต่ยางมีสมบัติที่แตกต่างจากพอลิเมอร์ชนิดอื่นคือ ยางสามารถเปลี่ยนรูปร่างหรือขนาด ยืดหรือหดได้หลายเท่า

ยางธรรมชาติ (Natural Rubbers; NR) หรือที่รู้จักกันในนาม “ยางพารา” (Para Rubbers) มีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-Polyisoprene; PI) โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.1 เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรงและยาว มีหน่วยซ้ำคือ ไอโซพรีน (C_5H_8) ต้นยางพารามีชื่อวิทยาศาสตร์คือ “ฮีเวีย บลาซิเลียนซิส” (Hevea Brasiliensis) บางครั้งเรียกกยางธรรมชาติว่า “ยางฮีเวีย” (Hevea latex) ยางพาราเป็นต้นไม้ยืนต้นสูงใหญ่ อายุยืนมีมากมายหลายพันธุ์ ซึ่งให้ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำยางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของยางธรรมชาติ [13]

ต้นยางพารามีต้นกำเนิดที่ประเทศบราซิลทวีปอเมริกาใต้ลุ่มน้ำอะเมซอน ต่อมาได้มีผู้นำมาปลูกที่ทวีปยุโรปและเอเชียเนื่องจากต้นยางพาราชอบอากาศร้อนชื้น ดินทราย ดินร่วน ระบายน้ำได้ดี จึงนิยมปลูกมากในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ต้นยางเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณที่ฝนตกชุก (ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมากกว่า 80 นิ้วต่อปี) อุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส และชอบขึ้นในบริเวณที่มีความสูงของพื้นดินไม่สูงมาก มากกว่า 80% ของการปลูกยางธรรมชาติอยู่ที่ประเทศไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย ปัจจุบันประเทศไทยผลิตยางธรรมชาติได้มากที่สุดในโลกประมาณ 3.1 ล้านตันต่อปี มีพื้นที่ปลูกยางพารามากกว่า 16.7 ล้านไร่ (ตัวเลขในปี พ.ศ.2552)

2.1.1 น้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติ (Latex) จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวข้นคล้ายน้ำนมเป็นสารแขวนลอยหรือคอลลอยด์ (Colloids) ประกอบด้วยน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก เรียกว่าเซรัม (Serum) และมีอนุภาคยางพอลิไอโซพรีน 30-40% มีขนาดประมาณ 20-20,000 นาโนเมตร

แขวนลอยกระจายอยู่ในของเหลวเซรัมในลักษณะไมเซลล์ (Micelles) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสาร
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้เพื่อประโยชน์อื่นใด
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่นๆ ที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber substances) เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส เป็นต้น ส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำยางแสดงในตารางที่ 2.1 โดยทั่วไปน้ำยางธรรมชาติมี pH ประมาณ 6.5–7.5 มีความหนาแน่นประมาณ 0.97–0.98 g/cm³ และมีความหนืด (Viscosity) ไม่แน่นอน โดยแต่ละอนุภาคอยู่รอบนอกทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง ซึ่งส่งผลให้น้ำยางสามารถคงสภาพเป็นของเหลวได้ ดังนั้นเมื่อมีการทำลายเยื่อหุ้มอนุภาคหรือมีการสะเทินอนุภาคลบจะทำให้อนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางเกิดการรวมตัวจับกันเป็นก้อน เมื่อนำอนุภาคของเม็ดยางมาวิเคราะห์พบว่ามีส่วนประกอบโดยประมาณดังตารางที่ 2.2 [13]

ตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบและปริมาณของสารต่างๆ ในน้ำยางธรรมชาติ

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	36
เนื้อยางแห้ง	33
โปรตีน	1-1.5
เรซิน	1-2.5
เถ้า	จนถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ (ในปริมาณที่รวมกับสารอื่น)	100

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบของเม็ดยาง

ส่วนประกอบ	ปริมาณร้อยละ
เนื้อยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำที่เจือติดเข้าไปในอนุภาค	10
โปรตีน	1
สารจำพวก Lipid	3
โลหะ เช่น แมกนีเซียม ซึ่งจะปะปนไปกับอนุภาคเม็ดยาง	ไม่เกิน 0.05

2.1.2 น้ำยางข้น

น้ำยางข้น (Concentrated latex) ผลิตขึ้นจากการนำน้ำยางสด จากส่วนที่มีปริมาณเนื้อยาง (Dry rubber content) เฉลี่ยประมาณ 35% สารละลายที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber solid) 5% และน้ำ (Water) มาผ่านกระบวนการแปรรูปให้อยู่ในรูปของน้ำยางข้นที่มีเนื้อยางแห้งอย่างน้อย 60% โดยใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง เพื่อแยกน้ำ และสารอื่นๆ ที่ละลายอยู่ออกไปบางส่วน น้ำยางที่ได้จะเรียกว่า Centrifuged latex ซึ่งมีน้ำยางข้น 60% กับหางน้ำยาง จากนั้นจะต้องทำการรักษาสภาพด้วยการเติมแอมโมเนีย เพื่อป้องกันมิให้น้ำยางจับตัว ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิดหลักๆ ได้แก่

- น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia, HA) จะใช้แอมโมเนียร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนัก
- น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียต่ำ (Low ammonia, LA) จะใช้แอมโมเนียร้อยละ 0.2 โดย

เอกสารนี้คัดลอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 สมบัติของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นยางที่มีสมบัติโดดเด่นที่ดีกว่ายางไอโซพรีนสังเคราะห์ เช่น ความยืดหยุ่น (Elasticity) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนต่อการฉีกขาด (Tear strength) ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ความเหนียวติดกัน (Tack) และสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) เป็นต้น ซึ่งทำให้ยางธรรมชาติเหมาะกับการใช้ในเชิงวิศวกรรมที่ต้องรับแรงสูง แต่ยางธรรมชาติก็ยังมีข้อด้อยหลายประการ ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น สีที่เข้มของยางธรรมชาติเมื่อเทียบกับยางไอโซพรีนสังเคราะห์ ทำให้ไม่เหมาะทำผลิตภัณฑ์ชนิดอ่อน โดยสมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ [1] ได้แก่

1) ความยืดหยุ่น (Elasticity) เป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติกล่าวคือยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไปยางจะกลับสู่รูปร่างเดิม (หรือใกล้เคียง) ได้อย่างรวดเร็ว

2) ความเหนียวติดกัน (Tack) ยางธรรมชาติ (ในสภาพที่ยังไม่คงรูป) มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกันซึ่งเป็นสมบัติของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน เช่น ยางล้อรถยนต์ เป็นต้น

3) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูง จึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย และมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูง

4) สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดีมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งานและมีความต้านทานต่อความล้า (Fatigue resistance) ที่สูงมาก

5) ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง

6) ความเป็นฉนวน (Insulation) ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวน โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific resistivity) สูง 10^{15} - 10^{16} ohm.cm

7) ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and chemical resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ แต่ยางจะทนทานต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังทนต่อการด่างและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อการดไนตริกและกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

8) การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซนและแสงแดด (Aging properties) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อุณหภูมิสูงทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย

9) การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำ

10) การเสีรูปร่างหลังการกด (Compression set) ยางธรรมชาติมีการเสีรูปร่างหลังการกดค่อนข้างต่ำทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิปานกลาง อย่างไรก็ตามการเสีรูปร่างหลังการกดที่อุณหภูมิต่ำ

ของยางธรรมชาติจะสูงขึ้น เนื่องจากยางเกิดการตกผลึกทำให้ความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไป ในขณะที่ค่าการเสียรูปหลังการกดที่อุณหภูมิสูงของยางธรรมชาติ จะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติ ไม่ทนต่อความร้อนจึงเกิดการเสื่อมสภาพ

11) การกระด้างกระดอน (Rebound resilience) ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระด้างกระดอน สูงและในระหว่างการเปลี่ยนรูปร่างยางจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนน้อย ยางธรรมชาติจึงมีความร้อนสะสมต่ำเมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัต

12) อุณหภูมิของการทำงาน (Service temperature) ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่ อุณหภูมิตั้งแต่ 55 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานยาง อาจเกิดการตกผลึก ซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและเสียความยืดหยุ่น แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไป สมบัติเชิงกลต่างๆ ก็จะต้องลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ

2.1.4 ตัวอย่างการพัฒนาสมบัติของยางธรรมชาติ

Hashim และ Ong [14] ได้เตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน (polystyrene-modified natural rubber; SNR) เพื่อใช้เป็นสารที่ทำให้ของผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยาง ธรรมชาติมีความเข้ากันได้ดี โดยเตรียม SNR จากสไตรีนร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก และเนื้อยางแห้ง ปริมาตรร้อยละ 75 โดยน้ำหนัก โดยให้เกิดปฏิกิริยา In situ polymerization พบว่า ของผสมที่มี ระบบการวัลคาไนซ์แบบ Efficient curative system มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุดเมื่อเติม SNR ปริมาตรร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และของผสมที่มีระบบการวัลคาไนซ์แบบ semi-Efficient curative system ให้ค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงที่สุดเมื่อเติม SNR ปริมาตรร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และการเติม SNR ทำให้ของผสมมีคุณสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าของผสมที่ไม่เติม SNR

Ismail และคณะ [15] ได้ศึกษาวัสดุคอมโพสิตจากเจ้ากล้วยขาว (WRHA-polypropylene/natural rubber) โดยศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติการดูดซับน้ำของวัสดุนี้ พบว่า การเติม WRHA ในพอลิโพรพิลีนที่ผสมกับยางธรรมชาติ สามารถปรับปรุงคุณสมบัติ tensile modulus ได้ แต่คุณสมบัติด้าน tensile strength, elongation at break และ stress at yield มีค่าลดลงเมื่อ เติม WRHA ปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งคุณสมบัติที่ลดลงเหล่านี้ มีสาเหตุเนื่องมาจากการมีอันตรกิริยาที่ไม่ดี ระหว่าง matrix กับสารตัวเติม นอกจากนี้ Ismail และคณะ ได้ทำการทดลองเติม silane coupling agent ที่ชื่อว่า 3-aminopropyl triethoxysilane (3-APE) ลงไปในวัสดุคอมโพสิต WRHA-polypropylene/natural rubber พบว่า สามารถปรับปรุงคุณสมบัติ Tensile modulus, Tensile strength และ Stress at yield ได้ และการศึกษาคุณสมบัติการดูดซับน้ำ พบว่า การใช้ coupling agent สามารถลดปริมาณของน้ำที่ถูกดูดซับไว้ได้

Ismail และ Suryadiansyah [16] ได้ทำการศึกษาผลของสารตัวเติม อันได้แก่ เขม่าดำ ซิลิกา และแคลเซียมคาร์บอเนต ที่แปรผันในช่วงร้อยละ 0-30 โดยน้ำหนัก ในของผสมระหว่าง พอลิโพรพิลีน ยางธรรมชาติ และผงยางรีไซเคิล (Recycle rubber powder) ที่สัดส่วนการผสม 70/15/15 พบว่า คุณสมบัติความทนทานต่อแรงดึงและ Young's modulus มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณ ของเขม่าดำและ ซิลิกาเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตจะทำให้ผลของคุณสมบัติ ความทนทานต่อแรงดึงมีค่าลดลง ในขณะที่ค่า Young's modulus มีค่าเพิ่มขึ้น การเติมเขม่าดำทำให้ของผสมมีค่าความทนทานต่อการบวมตัวน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมซิลิกา และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แคลเซียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมซิลิกาลงไปของผสมจะทำให้มีความยุ่งยากในการผสมมากกว่าการเติมเขม่าดำและแคลเซียมคาร์บอเนต

จากบทความข้างต้นที่กล่าวมา จึงสนใจที่จะนำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์มาใช้เป็นสารเติมแต่งในยางธรรมชาติ เพื่อปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้ดียิ่งขึ้น

2.2 กราฟีน

กราฟีน (Graphene) เป็นวัสดุชนิดใหม่และอีกรูปแบบในการจัดเรียงตัวของคาร์บอนเป็น 2 มิติ คือมีเพียงความกว้างและความยาวอะตอมคาร์บอนแต่ละอะตอมยึดกันไว้ด้วยพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) โดยมีความหนาเพียงอะตอมชั้นเดียว ซึ่งความหนาอะตอมของกราฟีนอยู่ที่ 0.335 นาโนเมตร มีโครงสร้างเป็นหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้ง กราฟีนถูกค้นพบโดยกลุ่มนักฟิสิกส์จากมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ (Manchester University) ประเทศอังกฤษ ในปี ค.ศ. 2004 นำโดย Andre Geim และ Kostya Novoselov เริ่มต้นจากกราฟไฟต์ที่ประกอบด้วยชั้นของกราฟีน ซึ่งยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander waals) และเทคนิคที่เรียกว่า Micromechanical cleavage ดึงแผ่นให้มีเพียง 1 อะตอม แผ่นกราฟีนที่ได้มีสมบัติที่น่าสนใจอย่างมาก มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีกว่าโลหะหรือสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นมากแม้ที่อุณหภูมิห้อง (นำไฟฟ้าได้ดีกว่าทองแดง 4 เท่า มีพื้นผิวมากกว่าท่อนาโน 2 เท่า มีความแข็งแรงมากกว่าเหล็ก 200 เท่า และแกร่งกว่าเพชร) เนื่องจากอนุภาคในแผ่นกราฟีนมีสปีน $\frac{1}{2}$ เคลื่อนที่แบบบอลลิสติก (Ballistic transport) หรือเคลื่อนที่โดยไม่มีการชนกันของอนุภาค และมีอัตราเร็วใกล้เคียงแสงประมาณ 1 ใน 300 เท่าของอัตราเร็วแสง และสามารถควบคุมความหนาแน่นของอนุภาคพาหะได้โดยการให้ความต่างศักย์ผ่านขั้วไฟฟ้าที่ติดบนผิวกราฟีนกราฟีนยังสามารถนำความร้อนได้เนื่องจากโครงสร้างเกิดจากการเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนเพียงอย่างเดียวนอกจากนี้มีความคาดหวังว่ากราฟีนจะเป็นวัสดุชนิดใหม่ที่น่ามาทดแทนซิลิกอนในการสร้างอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์ เช่น สมาร์ทดีสเพล ฟิสิกส์ฟิลด์ ทรานซิสเตอร์ (Field Effect Transistor; FET) ที่มีความเร็วสูง และควอนตัมดอทคอมพิวเตอร์ (Quantum-dot computer) ที่ยืดหยุ่นได้ดี ซึ่งสมบัติเหล่านี้นำไปสู่การประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย [17]

2.2.1 วิธีการสังเคราะห์กราฟีน

การสังเคราะห์กราฟีนสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์กราฟีน ได้แก่ Mechanical Exfoliation, Epitaxial Growth on Silicon Carbide, Chemical Vapor Deposition (CVD) และ Chemical Oxidation โดยกระบวนการสังเคราะห์มีทั้งข้อดีและข้อเสียดังนี้

- 1) วิธีการ Mechanical Exfoliation ถือเป็นวิธีแรกที่นักวิจัยค้นพบ ในปี ค.ศ. 2004 อาจารย์และลูกศิษย์จากมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ (The University of Manchester) ดร.อังเดร ไกม์ (Andre Geim) และ ดร.คอนสแตนติน โนโวเซลอฟ (Konstantin Novoselov) ได้แยกกราฟีนออกจากกราฟไฟต์ โดยมีแนวคิดคือพยายามทำให้กราฟไฟต์บางลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โครงสร้างของกราฟไฟต์คือกราฟีนที่เรียงซ้อนกันหลายๆ ชั้น แต่ละชั้นยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ โดยแรงที่สามารถแยกกราฟีนชั้นเดียวออกจากกราฟไฟต์ได้มีค่าประมาณ $300 \text{ nN}/\mu\text{m}^2$ [18] ดังนั้นเป้าหมายคือการทำให้กราฟไฟต์บางจนเหลือเพียงชั้นเดียว นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ในขณะนั้นเชื่อว่าการสร้างวัสดุที่มีความหนาเพียงอะตอมเดียวเป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้ เพราะคาดการณ์ว่าอะตอมจะสั่นขึ้น-ลง ทำให้โครงสร้างของวัสดุไม่เสถียร จนทำให้อะตอมทั้งหมดระเหยเป็นไอแต่ ดร.อังเดร ไกม์ และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดร.คอนสแตนติน โนโวเซลอฟ ได้พิสูจน์ว่าความเชื่อนี้ผิด หลังจากพวกเขาสามารถสร้างกราฟไฟต์ที่มีความหนาเพียงอะตอมเดียวได้สำเร็จ และเรียกวัสตุนี้ว่า “กราฟีน” และพบว่าวัสตุนี้มีความเสถียรอย่างมาก วิธีที่พวกเขาใช้แยกกราฟีนออกจากกราฟไฟต์คือนำกราฟไฟต์วางไว้ที่ด้านเหนียวของเทปทบปลายอีกด้านของเทปให้ปะทะกับกราฟไฟต์ให้แน่น จากนั้นดึงเทปออกจากกันอย่างช้าๆ กราไฟต์จะติดอยู่ที่ด้านเหนียวของเทปที่แยกออกจากกันทั้ง 2 ด้าน ซึ่งเกิดจากเทปกาวดึงชั้นกราฟไฟต์ให้แยกออกจากกัน เมื่อทำซ้ำไปเรื่อยๆ ด้วยเทปกาวใหม่ ชั้นกราฟไฟต์จะถูกดึงแยกให้บางลงจนเหลือเพียงชั้นเดียว จากนั้นย้ายกราฟีน ไปอยู่บนฐานรองที่ต้องการโดยการนำเทปกาวที่มีกราฟีนติดอยู่กดลงบนฐานรอง SiO_2/Si [4] กราฟีนที่ถูกลอกออกโดยใช้เทปกาวนั้นมีความบริสุทธิ์ จึงทำให้นักวิจัยสามารถวัดสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ เช่น ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีค่า $10^6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ [19] แต่อย่างไรก็ตาม กราฟีนที่สร้างได้จากวิธีนี้ยังคงมีพื้นที่ขนาดเล็กซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะนำกราฟีนไปประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรม

2) วิธีการ Epitaxial Growth on Silicon Carbide วิธีนี้สามารถสังเคราะห์กราฟีนได้โดยการให้ความร้อนแก่ซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 1100 องศาเซลเซียส) ความดันต่ำ (ประมาณ 10^{-6} torr) ทำให้เกิดการระเหิดของซิลิคอนและเป็นผลให้มีคาร์บอนเกิดขึ้น [20] แต่อย่างไรก็ตาม การทำแอลนีลที่อุณหภูมิสูงภายใต้ความดันต่ำของซิลิคอนคาร์ไบด์ส่งผลให้พื้นผิวเกิดขึ้นเป็นแบบลูกฟูก จึงทำให้กราฟีนมีพื้นที่น้อยประมาณ 1 ไมครอนและมีความหนาแตกต่างกัน [21] วิธีแก้คือ ทำผิวหน้าของซิลิคอนคาร์ไบด์ให้เป็นคาร์บอนแทนซิลิคอน โดยวิธีนี้จะช่วยปรับปรุงการปกคลุม ของกราฟีนที่เกิดขึ้นได้ การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีนี้จะประสบความสำเร็จได้นั้นควรทำภายใต้บรรยากาศอาร์กอน เพราะจะช่วยให้พื้นผิวของกราฟีนที่ได้เรียบมากขึ้น โดยมีพื้นที่ประมาณ 50 ไมครอนการสังเคราะห์กราฟีนภายใต้บรรยากาศอาร์กอนช่วยลดการระเหิดของซิลิคอน [22] วิธีนี้สามารถตรวจสอบสมบัติที่สำคัญของกราฟีนได้ เช่น แถบพลังงาน สภาพความคล่องตัว เป็นต้น การเคลื่อนที่ของประจุพาหะไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและมีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับวิธี Mechanical Exfoliation แต่อย่างไรก็ตาม การสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้ยังคงมีปัญหาในเรื่องราคาของแผ่นซิลิคอนคาร์ไบด์ซึ่งมีราคาสูงและอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์สูง

3) วิธีการ Chemical Oxidation การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีนี้สามารถทำได้ในระดับห้องปฏิบัติการ วิธีนี้สามารถผลิตกราฟีนได้ปริมาณมากในรูปสารแขวนลอย (Suspension) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย การสังเคราะห์เริ่มต้นจากใช้กรดแก่ เช่น กรดไนตริก (HNO_3) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) โพแทสเซียมคลอเรต (KClO_3) เป็นต้น มาทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) กับกราฟไฟต์เป็นกราฟไฟต์ออกไซด์ โดยกลุ่มของออกไซด์ ไฮดรอกซิล คาร์บอกซิลิก และคาร์บอนิลจะเข้าไปแทรกและเกาะเต็มระนาบพื้นผิวในแต่ละชั้นของกราฟไฟต์ทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นมากขึ้นและลดแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างชั้นลง เมื่อกราฟไฟต์ออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยแรงเพียงเล็กน้อย เช่น การใช้คลื่นความถี่สูง (Sonication) จะทำให้กราฟไฟต์ออกไซด์หลุดออกเป็นกราฟีน-ออกไซด์ (Graphene Oxide) ซึ่งมีสมบัติละลายน้ำได้ดีแต่ไม่นำไฟฟ้า จากนั้นนำกราฟีนออกไซด์มาทำปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ด้วยสารรีดักแทนส์ เช่น ไฮดราซีนไฮเดรต เป็นรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ (Reduced Graphene Oxide) ซึ่งมีสมบัตินำไฟฟ้าและยังสามารถกระจายตัวได้ดีบนวัสตุนี สารรองรับ จึงทำให้กราฟีนที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีการนี้เหมาะสำหรับใช้เป็นฟิล์มบางนำไฟฟ้า เช่น กระจาดำนำไฟฟ้า เป็นต้น [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) วิธีการ Chemical Vapor Deposition (CVD) คือการทับถมกันของไอสารเคมีบนฐานรองทำให้เกิดเป็นฟิล์มบาง วิธีนี้ถือเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์กราฟีน เนื่องจากวิธีนี้สามารถสังเคราะห์กราฟีนที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ และสามารถควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ เช่น อุณหภูมิ ความดัน เวลา เป็นต้น แต่การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธี CVD มีข้อเสียคือกราฟีนที่ได้มีรอยยับเกิดขึ้น เนื่องจากสัมประสิทธิ์การกระจายตัวทางความร้อนที่แตกต่างกันระหว่างกราฟีนและโลหะฐานรอง [3]

2.2.2 สมบัติของกราฟีน

1) สมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ กราฟีนเป็นวัสดุที่ไม่มีช่องว่างพลังงานแถบวาเลนซ์และแถบนำกระแสไม่ซ้อนทับกัน ดังนั้นกราฟีนจึงไม่ใช่โลหะและสารกึ่งตัวนำ แต่แถบวาเลนซ์และแถบนำกระแสของกราฟีนสัมผัสกันพอดีที่จุด Dirac points ในบริลลวนโซน (Brillouin Zone) ทำให้ไม่มีช่องว่างแถบพลังงาน จึงเรียกรวมกันว่า semi-metal หรือ Zero band gap semi-conductor นอกจากนี้กราฟีนมีค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ำมาก สามารถเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีเกือบเท่า Superconductor (มากกว่าทองแดงหลายล้านเท่า) และกราฟีนยังสามารถนำไฟฟ้าได้ที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากมีอิเล็กตรอนวงนอกเหลืออยู่หนึ่งตัว ทำให้กราฟีนมีความสามารถในการเคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนที่สูงมากในอุณหภูมิห้องราวกับว่าไม่มีมวล ซึ่งต่างจาก Superconductor ที่ต้องลดอุณหภูมิลงจนติดลบกว่าร้อยองศาเซลเซียส ถึงจะแสดงสมบัติการนำไฟฟ้าแบบนั้นได้

2) สมบัติเชิงกล กราฟีนมีค่าความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กถึง 5 เท่า (เทียบเท่าหรือมากกว่าเพชร) แต่แม้จะแข็งแต่แผ่นกราฟีนสามารถบิด ม้วน งอ หรือพับได้ โดยไม่ทำให้โมเลกุลเสียหาย

3) สมบัติทางแสง โดยทั่วไปวัสดุที่มีความโปร่งแสงมากจะทำให้แสงสามารถทะลุผ่านไปได้มาก จึงทำให้สามารถดูดซับแสงได้น้อย แต่เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางแสงของกราฟีน พบว่ากราฟีนมีอัตราการดูดซับแสงที่สูง ซึ่งหากเทียบกับวัสดุที่มีความโปร่งใสเท่ากัน สำหรับกราฟีนที่มีความหนาเพียง 1 ชั้นอะตอมในสุญญากาศ สามารถมองทะลุได้โดยมีค่าการดูดซับแสงอยู่ที่ 2.3%

4) สมบัติการนำความร้อน กราฟีนเป็นวัสดุที่นำความร้อนได้ดี มีค่าการนำความร้อนจำเพาะสูงกว่าวัสดุประเภทอื่น และยังสามารถนำความร้อนได้ดีกว่าเพชร การนำความร้อนของกราฟีนเป็นแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) นั่นคือการนำความร้อนได้ทุกทิศทาง เนื่องจากโครงสร้างกราฟีนเป็น 2 มิติ และด้วยสมบัตินี้จึงสามารถนำกราฟีนไปช่วยในระบบระบายความร้อนใน CPU ได้

5) สมบัติทางเคมี ผิวหน้าของกราฟีนสามารถดูดซับและคายอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซต่างๆ เช่น NO_2 , NH_3 และ OH ได้เช่นเดียวกับกราฟไฟต์ สารที่ถูกดูดซับมานั้นจะทำหน้าที่เหมือนเป็นอะตอมผู้ให้และผู้รับ นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของพาหะนำไฟฟ้า (Carrier Concentration)

6) สมบัติทางกายภาพ กราฟีนเป็นวัสดุที่บางที่สุดเท่าที่มีการค้นพบ แม้ว่าในทางทฤษฎีจะไม่สามารถวัดความหนาของอะตอมได้แต่สามารถวัดระยะห่างระหว่างอะตอมได้ ทำให้สามารถประเมินคร่าวๆ ได้ว่าแผ่นกราฟีนหนาประมาณ 0.335 นาโนเมตร ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานกราฟีนที่หลากหลาย โดยส่วนใหญ่ยังอยู่ในขั้นวิจัยและพัฒนา เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คาปาซิเตอร์ [23]

2.2.3 การประยุกต์ใช้งานกราฟีน

เนื่องจากสมบัติที่โดดเด่นหลายประการของกราฟีน เช่น มีการนำไฟฟ้าที่ดี ความโปร่งใสสูง สามารถยืดหยุ่นได้ เป็นต้น จึงทำให้กราฟีนเป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารตัวเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสร้างเป็นอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ด้านอื่นๆ ในอนาคต เช่น อุปกรณ์ปลดปล่อย อิเล็กตรอนฟิลด์อิมิชชัน ทรานซิสเตอร์ เซนเซอร์ แบตเตอรี่ ขั้วนำไฟฟ้าโปร่งใส เป็นต้น [2]

2.3 ซิลเวอร์

เงิน (Silver) คือธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 47 และสัญลักษณ์คือ Ag เงินเป็นโลหะทรานซิชัน สีขาวเงินมีลักษณะที่บอบ มีสมบัติการนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีมาก ในธรรมชาติอาจรวมอยู่ในแร่อื่นๆ หรืออยู่อิสระ เงินใช้ประโยชน์ในการทำเหรียญ เครื่องประดับ ภาชนะบนโต๊ะอาหาร และอุตสาหกรรมการถ่ายรูป สมบัติของซิลเวอร์แสดงในตารางที่ 2.3 และ 2.4

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติทั่วไปของซิลเวอร์ [24]

สมบัติทั่วไป	
ชื่อ, สัญลักษณ์, เลขอะตอม	เงิน, Ag, 47
อนุกรมเคมี	โลหะทรานซิชัน
หมู่, คาบ, บล็อก	11, 5, d
ลักษณะ	สีขาวเป็นประกาย
มวลอะตอม	107.8682 กรัม/โมล
การจัดเรียงอิเล็กตรอน	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹
อิเล็กตรอนต่อระดับพลังงาน	2, 8, 18, 1

ตารางที่ 2.4 แสดงสมบัติทางกายภาพของซิลเวอร์ [24]

คุณสมบัติทางกายภาพ	
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น (ใกล้อุณหภูมิห้อง)	10.49 กรัม/ซม. ³
ความหนาแน่นของของเหลวที่จุดหลอมเหลว	9.320 กรัม/ซม. ³
จุดหลอมเหลว	1234.93 K (961.78°C)
จุดเดือด	2435 K (2162°C)
ความร้อนของการหลอมเหลว	11.28 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	258 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	25.350 J/(mol·K)

2.3.1 ประโยชน์ของซิลเวอร์

ในอดีตนั้นทองคำนั้นถือว่าเป็นสมบัติและทำหน้าที่เป็นเงินที่แท้จริง แต่ โลหะเงิน (Silver) ก็เช่นกันหากจะมีข้อได้เปรียบกันก็ตรงที่ ทองคำนั้นไม่ทำปฏิกิริยากับอากาศ คงคุณค่าผ่านกาลเวลาในขณะที่เงินนั้นจะออกเหลืองหม่นหรือดำ

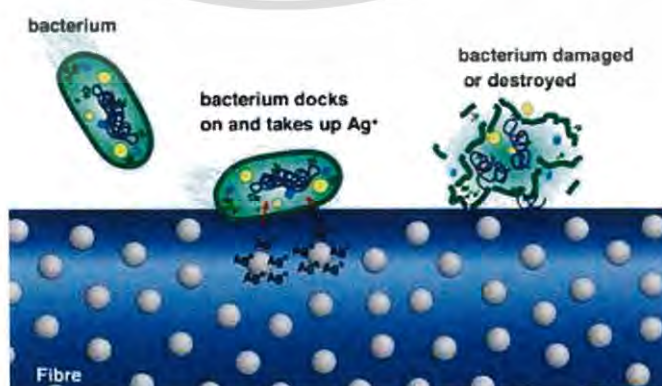
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม หากนำมาขัด (Polish) หรือชุบใหม่เงินก็สามารถกลับมาสวยได้ดังเดิม หลักฐานคือ เหรียญเงินโบราณสมัยโรมัน ทุกวันนี้ก็ยังคงสภาพอยู่ได้นั้นหมายความว่า ในฐานะสื่อกลางในการแลกเปลี่ยนแล้ว เงิน (Silver) ทำหน้าที่ควบคู่กับทองคำไปได้ดีไม่น้อยหน้ากัน รายละเอียดมีดังนี้

- 1) โลหะที่เงาที่สุดในโลกร่างเงินถูกใช้ฉาบด้านหลังกระจก
- 2) โลหะตัวนำไฟฟ้า เงินถูกใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิต ไมโครเวฟ เครื่องซักผ้า เครื่องยนต์รถ เครื่องล้างจาน อุตสาหกรรมโทรทัศน์
- 3) ซิลเวอร์ในเตรตีใช้ล้างตาให้กับเด็กที่เพิ่งคลอดนอกจากนั้นยังเป็นส่วนประกอบสำคัญในการทำน้ำดื่มให้บริสุทธิ์อีกด้วย
- 4) โลหะที่ใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องดนตรีบางชนิด
- 5) โลหะที่ใช้ในอุตสาหกรรมภาพถ่ายในภาพถ่ายใช้ซิลเวอร์เป็นส่วนประกอบหลักรูปถ่ายทุกใบที่มาจากร้านถ่ายรูปล้วนมีซิลเวอร์ทำหน้าที่ช่วยบันทึกความทรงจำไว้
- 6) โลหะที่ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ เช่น แหวน ต่างหู กำไล นอกจากนั้นพวกเครื่องครัว (Table ware) เช่น ช้อน ส้อม ตะเกียบเงินก็ยังมีในรูปแบบของซิลเวอร์ด้วย
- 7) โลหะที่ใช้ในสินค้าไอที เช่น สมาร์ทโฟน คอมพิวเตอร์แผ่นซีดีหรือดีวีดี ล้วนมีส่วนประกอบของซิลเวอร์อยู่
- 8) เงินยังถูกใช้ในอุตสาหกรรมเสื้อผ้า แบตเตอรี่ เลเซอร์ และอื่นๆ อีกมากมายที่สำคัญเป็นโลหะที่ลักษณะเด่นเฉพาะตัว ไม่สามารถใช้โลหะชนิดอื่นมาทดแทนได้นั้นทำให้เมื่อปริมาณแร่เงินขาดแคลนและราคาปรับตัวสูงขึ้น โรงงานอุตสาหกรรมก็ยิ่งจำเป็นต้องซื้อเงินที่ราคาสูงอยู่ดีเพื่อให้กระบวนการผลิตสามารถดำเนินการต่อไปได้
- 9) ด้านการแพทย์ เป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์การแพทย์ต่างๆ อาจถูกใช้เพื่อรักษาโรคติดเชื้อภายนอก เงินยังใช้ในการใช้งานทางการแพทย์บางอย่าง เช่น สายสวนปัสสาวะ และท่อช่วยหายใจ เป็นต้น [24]

2.3.2 กลไกการทำงานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์

กลไกการทำงานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ใน



รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการทำงานของนาโนซิลเวอร์ต่อการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคนาโนนั้นพบว่าอนุภาคซิลเวอร์ที่มีประจุบวก (Ag^+) เมื่อสัมผัสกับผนังเซลล์ของแบคทีเรียหรือเชื้อราจะสามารถแพร่กระจายประจุไปเกาะตามผนังเซลล์และแทรกเข้าไปภายในเซลล์ของแบคทีเรียทำให้เกิดภาวะการรวมตัวของ DNA (Condensation) ภายในเซลล์ทำให้ประจุบวกของซิลเวอร์ (Ag^+) เข้าไปจับกับเอนไซม์โปรตีนเนส (Proteinase) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับระบบเมตาบอลิซึมของเซลล์ซึ่งจะจับกับหมู่ซัลไฟดริล (-SH) ที่มีอะตอมของซัลเฟอร์ (S) เป็นองค์ประกอบซึ่งมีประจุเป็นลบ (S^{2-}) และทำให้เกิดกระบวนการทำงานของเอนไซม์หยุดการทำงานจนกระทั่งเซลล์แบคทีเรียหยุดการเจริญเติบโตและเสื่อมสภาพตายในที่สุด

ดังนั้นกลไกการทำงานของอนุภาคนาโนซิลเวอร์มี 3 ตามขั้นตอนดังนี้

- 1) อนุภาคนาโนซิลเวอร์ในช่วง 1–10 nm จับกับผิวหน้าของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียและรบกวนการทำงานของระดับเซลล์ของแบคทีเรีย เช่น การขนส่งสารเข้าออกจากเซลล์และการหายใจ
- 2) อนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรียและรบกวนการทำงานของระดับโมเลกุลโดยจับกับสารที่มีซัลเฟอร์ (S) และฟอสฟอรัส (P) เป็นองค์ประกอบเช่น DNA
- 3) อนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดการสลายตัวและปลดปล่อย Silver ion (Ag^+) เนื่องจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีขนาดเล็กและมีเป็นจำนวนมากทำให้สามารถปลดปล่อย Silver ion (Ag^+) ออกมาด้วยความเข้มข้นสูงสามารถฆ่าแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็ว [12]

2.3.3 ตัวอย่างการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์

การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโนสามารถสังเคราะห์ได้จากหลายวิธี ดังต่อไปนี้

2.3.3.1 วิธีรีดักชันทางเคมี

1. วิธีนี้สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้วิธีรีดักชันทางเคมีซึ่งใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium Borohydride) และ poly(amide-amine) เป็นตัวรีดิวซ์ สามารถสังเคราะห์ได้โดยนำ 3 กรัมของ hyperbranched poly(amide-amine) ลงในขวดรูปชมพู่และเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรและปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง จากนั้นเตรียมสารละลายซิลเวอร์ในเตรต 0.1 กรัม ในน้ำ 5 มิลลิลิตร และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.1 กรัม ในน้ำ 5 มิลลิลิตร และหยดสารละลายทั้งสองลงในสารละลายพอลิเมอร์พร้อมๆ กัน พร้อมทั้งปั่นกวนและควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส จนสีของสารละลายจากสีใสเป็นสีเหลืองเข้มเป็นการแสดงให้เห็นการก่อตัวของสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ [25]

2. วิธีนี้สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้โดยใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นตัวกลางและกลูโคสเป็นตัวรีดิวซ์ วิธีนี้สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้โดยเตรียมโซเดียมอัลจิเนต 1 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตรที่อยู่ในขวดรูปชมพู่ และปั่นกวนสารละลายพร้อมทั้งให้ความร้อนถึง 50 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมสารละลายซิลเวอร์ในเตรตที่มีความเข้มข้น 0.005 โมลต่อลิตร ลงไป 10 มิลลิลิตร และปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง จากนั้นเติมสารละลายกลูโคส 40 มิลลิลิตร (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) และทำการปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง รักษาอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ที่ 80 องศาเซลเซียส และทิ้งไว้เป็นเวลา 10 ชั่วโมง [26]

2.3.3.2 วิธีไมเซลล์

วิธีไมเซลล์สามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้โดยนำซิลเวอร์ในเตรตไปปั่นกวนกับสารละลายโซเดียมโตนเตซิลลัต จากนั้นหยดสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เตรียมใหม่ลงในสารละลายโซเดียมโตนเตซิลลัตที่มีซิลเวอร์ไอออนอยู่ อัตราส่วนโมลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่อซิลเวอร์ไอออนไม่ควรต่ำกว่า 1:1 และต้องใช้อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส และต้องใช้ออกซิเจนที่เพียงพอในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลเวอร์ไนเตรดจะคงที่ 1 เสมอ สีของสารละลายจะเปลี่ยนทันทีจากสีขาวคล้ายเมฆเป็นสีน้ำตาลเข้ม แสดงให้เห็นผลของการรีดักชันของซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ไปเป็นซิลเวอร์ (Ag^0) และเกิดการก่อตัวสารแขวนลอยของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ สารละลายผสมจะถูกปิดและปั่นกวนในที่มืดเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงด้วย 10,000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที ทำการจัดเก็บสารละลายสีเหลืองใส [27]

2.3.3.3 วิธี Solid state

ขั้นแรก นำแป้งที่แห้ง 1 กรัม บดผสมเข้ากับโซเดียมไฮดรอกไซด์แบบเกล็ด 0.25 กรัม ในครกบดขนาดเล็กจากนั้นให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที ขั้นสองละลายซิลเวอร์ไนเตรดกับน้ำ 2 มิลลิลิตร ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 3 มิลลิลิตร เพื่อลดปริมาณของน้ำและง่ายต่อการระเหยออกในระหว่างการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์สารละลายซิลเวอร์ไนเตรดถูกหยดลงในแป้งที่ผสมอยู่กับต่างในขณะที่ปั่นกวนอยู่โดยใช้หลอดหยด จากนั้นนำของผสมไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที สีของของผสมจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเหลืองในตอนสิ้นสุดปฏิกิริยา เป็นการยืนยันการก่อตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ [28]

2.3.3.4 วิธี Solvothermal

สารละลายซิลเวอร์ไนเตรดความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ที่มี 100 มิลลิลิตรของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จากนั้นเติมเอทานอล 50 มิลลิลิตร ต่อกอนเดนเซอร์เข้ากับขวดรูปชมพู่ซึ่งจะไม่ทำให้ไอของตัวทำละลายออกไปข้างนอก และจะถูกควบแน่นทันทีเพื่อรักษาความคงที่ของปริมาณในระบบระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธี Solvothermal สามารถสังเคราะห์เงินที่แยกออกมาได้อย่างสมบูรณ์แบบเพราะหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนจากอากาศ การทำปฏิกิริยาของสารละลายผสมจะถูกปั่นกวนบนเครื่องปั่นกวนแม่เหล็กพร้อมทั้งทำการรีฟลักซ์เป็นเวลา 40 ชั่วโมง ในระหว่างการทำปฏิกิริยาให้อุณหภูมิอยู่สูงสุดที่ประมาณ 80 องศาเซลเซียส [29]

จากวิธีการข้างต้นที่ได้กล่าวไป จะเห็นได้ว่าสามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้จากหลายวิธี แต่บางวิธีก็ใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และบางวิธีก็ใช้พลังงานและแรงงานอย่างสิ้นเปลือง อีกทั้งยังใช้เวลาในการสังเคราะห์นาน วิธีที่ต่อไปนี้เป็นวิธีที่มีมิตรต่อสิ่งแวดล้อมไม่เปลืองพลังงานมากและใช้เวลาอันสั้นในการสังเคราะห์ นั่นคือ

2.3.3.5 วิธีรีดักชันด้วยไมโครเวฟ

วิธีรีดักชันด้วยไมโครเวฟสามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้โดยนำซิลเวอร์ไนเตรด 0.3 กรัม และพอลิไวนิลไพโรลิโดน 0.3 กรัม มาละลายในน้ำ 25 มิลลิลิตร ด้วยการปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นก็ใส่ลงในภาชนะทรงกระบอกนำเข้าตู้ไมโครเวฟ ทำปฏิกิริยาด้วยเวลาการให้รังสีที่ต่างกัน 20 40 60 และ 90 วินาที โดยหยุดทุกๆ 20 วินาทีให้ภาชนะที่ใส่เย็นตัวลง อุณหภูมิของตัวอย่างถูกควบคุมอยู่ที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเดือดอย่างรุนแรงของตัวทำละลาย รวมไปถึงการรวมตัวกันของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ หลังจากการฉายหลังรังสีไมโครเวฟ สารละลายผสมถูกปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง [30]

อุณหภูมิของตู้อบไมโครเวฟสามารถสูงถึง 60 องศาเซลเซียสภายในเวลา 20 วินาที

แต่สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม ที่มีความเข้มข้นและกรรมวิธีที่คล้ายกันของซิลเวอร์ไนเตรด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และพอลิไวนิลไพโรลิโดนในน้ำถูกให้ความร้อนบนแท่นให้ความร้อนจากอุณหภูมิห้องไปถึง 60 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาประมาณ 20 นาที สิ่งนี้ทำให้เห็นว่าเมื่อให้ปริมาณพลังงานที่ใกล้เคียงกับตู้อบไมโครเวฟ การให้ความร้อนแบบดั้งเดิมจะได้อัตราความร้อนที่ช้ากว่า

2.4 เชื้อแบคทีเรีย

2.4.1 ผนังเซลล์

ผนังเซลล์ (Cell wall) ส่วนที่แข็งที่สุดของเซลล์ มีส่วนประกอบของผนังเซลล์แตกต่างกันในกลุ่มของแบคทีเรีย ส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์คือ ชั้น Peptidoglycan ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของ Glycan โดยชั้นของ Peptidoglycan เป็นส่วนที่ถูกทำลายด้วยยาปฏิชีวนะบางชนิดได้ง่ายเช่น ยา Penicillin และ Cephalosporin เป็นต้น รวมทั้งถูกทำลายด้วยสาร Disinfectants เช่น แอลกอฮอล์ และพวก Detergent เอนไซม์ Lysozyme ก็สามารถย่อยชั้น Peptidoglycan ได้

ความแตกต่างของโครงสร้างผนังเซลล์ Gram stain เป็นการย้อมสีเซลล์แบคทีเรียที่บอกความแตกต่างของโครงสร้างผนังเซลล์ได้ดี โดยการย้อมสีวิธีนี้ทำให้แยกแบคทีเรียได้เป็น 2 กลุ่ม ตามปฏิกิริยาการติดสี ได้แก่ แบคทีเรียแกรมบวก เซลล์ติดสีม่วงของ Crystal violet ซึ่งเป็นสีย้อมสีแรก (Primary stain) กับแบคทีเรียแกรมลบ เซลล์ติดสีแดงของ Safranin O ซึ่งเป็นสีย้อมสีที่ 2 หรือสีย้อมทับ (Secondary stain หรือ Counterstain) ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกจะมีชั้น Peptidoglycan ที่หนา มีสาร Teichoic acid และ Lipoteichoic acid ยึดติดกับชั้น Peptidoglycan ไม่มีชั้น Outer membrane ส่วนผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบจะมีชั้น Peptidoglycan บาง ไม่มี Teichoic และ Lipoteichoic acid แต่จะมีชั้น Outer membrane หุ้มอยู่ภายนอกชั้น Peptidoglycan ชั้น Outer membrane ประกอบด้วยสาร Lipopolysaccharide Lipoprotein และพวก Porin protein เปรียบเทียบความแตกต่างของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบในตารางที่ 2.5 และรูปที่ 2.3

ตารางที่ 2.5 ความแตกต่างของผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ

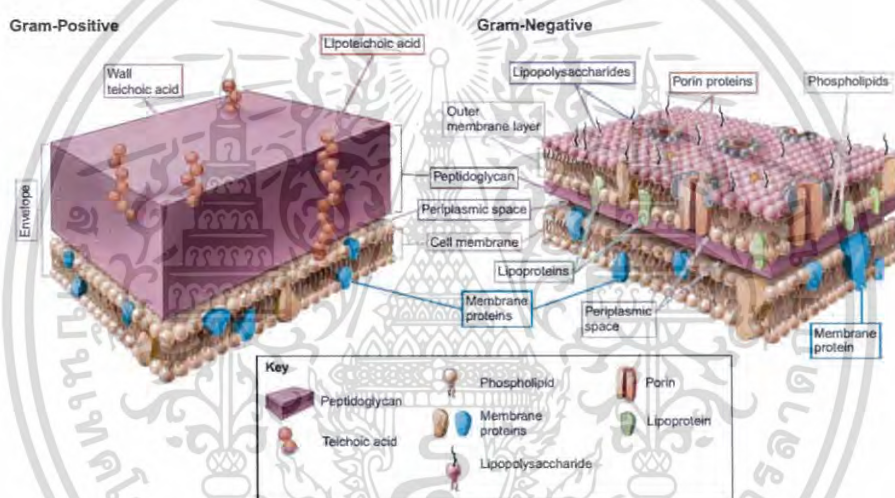
คุณลักษณะ	แบคทีเรียแกรมบวก	แบคทีเรียแกรมลบ
1. จำนวนชั้น	1	2
2. องค์ประกอบทางเคมี	ชั้น Peptidoglycan - NAM, NAG, Amino acid - Teichoic acid - Lipoteichoic acid	ชั้น Outer membrane - Lipopolysaccharide - Lipoprotein ชั้น Peptidoglycan - NAM, NAG, Amino acid
3. ความหนาของชั้น Peptidoglycan	ประมาณ 20-80 นาโนเมตร	ประมาณ 8-10 นาโนเมตร
4. Outer membrane	ไม่มี	มี
5. Periplasmic space (ชั้นระหว่าง Peptidoglycan กับ Cell membrane)	แคบ	กว้าง
6. Porin protein	ไม่มี	มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารตัวอย่างสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของผนังเซลล์ ส่วนใหญ่ทำหน้าที่ป้องกันเซลล์จากสิ่งแวดล้อมภายนอก เช่น แรงดันออสโมซิส สารที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ และหน้าที่ให้เซลล์คงรูปร่างอยู่ได้ นอกจากนี้ยังพบว่า Porin protein ในแบคทีเรียแกรมลบ ช่วยป้องกันสารที่เป็นอันตรายต่อเซลล์ เช่น ยาปฏิชีวนะบางชนิดไม่ให้เข้าสู่เซลล์ รวมทั้งสารเคมีบางชนิดด้วย [31]

2.4.2 เยื่อหุ้มเซลล์

เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากผนังเซลล์มี Periplasmic membrane คั่นกลาง ทำหน้าที่ห่อหุ้มส่วนของ Cytoplasm ทั้งหมด หน้าที่หลักของเยื่อหุ้มเซลล์เป็นทางเข้า-ออกของแร่ธาตุสารอาหารจากภายนอกเข้าสู่ภายใน และจากภายในออกสู่ภายนอก แต่เป็น Selective permeable และพบว่าเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียเป็นบริเวณที่สำคัญสำหรับกระบวนการเมแทบอลิซึม โดยมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ การย่อยสลายสารอาหาร และสร้างพลังงาน รวมทั้งกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เกิดบริเวณนี้ด้วย [31]

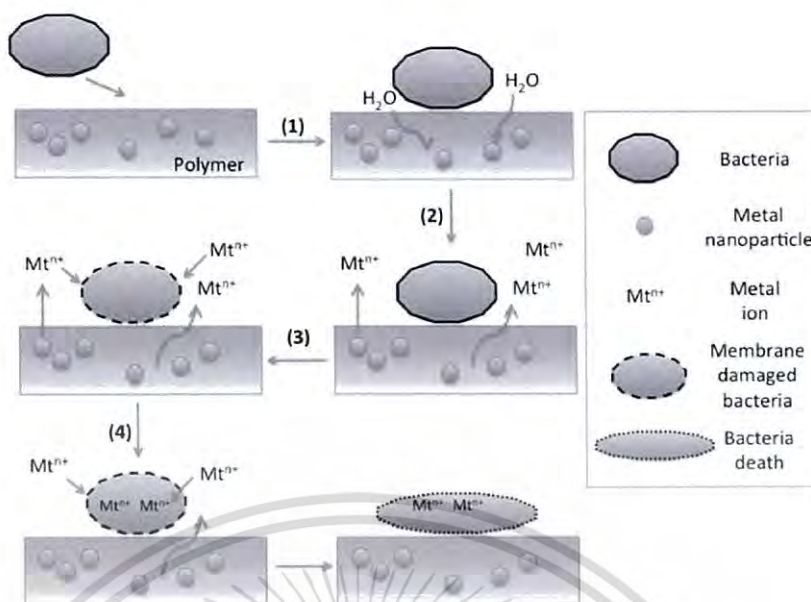


รูปที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก (ซ้าย) และแบคทีเรียแกรมลบ (ขวา) [32]

2.5 กลไกการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียของพอลิเมอร์/โลหะนาโนคอมโพสิต

1. แบคทีเรียถูกดูดซับบนพื้นผิว ซึ่งสัมผัสกับความชื้นในอากาศ
2. ความชื้น (น้ำ) เหนี่ยวนำให้อนุภาคโลหะที่อยู่บนพื้นผิวหรือเมทริกซ์ของพอลิเมอร์เกิดกระบวนการปลดปล่อยไอออนและซึมผ่านออกมา
3. ไอออนของโลหะจะเข้าไปทำลายผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย
4. หลังจากนั้น ไอออนของโลหะ แพร่เข้าไปในภายในเซลล์ของแบคทีเรียและไอออนของโลหะเข้าไปยับยั้ง กระบวนการต่างๆ เช่น กระบวนการหายใจ การสังเคราะห์อาหาร
5. แบคทีเรียจึงตายไปในที่สุด [33] ดังแสดงในรูปที่ 2.4

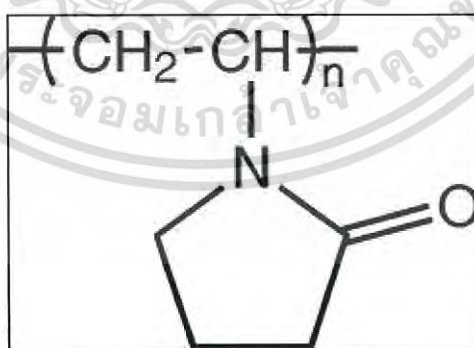
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 แสดงกลไกการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียของพอลิเมอร์/โลหะนาโนคอมโพสิต [33]

2.6 พอลิไวนิลไพโรลิโดน

พอลิไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone; PVP) เป็นกลุ่มของพอลิเมอร์ที่ละลายน้ำได้ มีลักษณะเป็นผงสีขาวถึงเหลืองอ่อน พอลิไวนิลไพโรลิโดนคือสารพอลิเมอร์แลคตาม (Lactam) ภายในเชื่อมต่อด้วยพันธะเอไมด์ (Amide) เมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของแต่ละหน่วย พอลิไวนิลไพโรลิโดนมีความเป็น Amphiphilic คุณสมบัติคือ โนมอเลกุลเดียวกันมีทั้งส่วนที่ชอบน้ำ ไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) คือกลุ่มเอไมด์ และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) คือกลุ่มเมทิลีน ในส่วนของ backbone และส่วนของวงแหวน เป็นคุณสมบัติไฮโดรฟิลิก มีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของพอลิไวนิลไพโรลิโดน [34]

พอลิไวนิลไพโรลิโดนถูกนำมาใช้ได้หลากหลายด้าน สิ่งที่น่าสนใจทางด้านสิ่งแวดล้อมก็คือ ลักษณะโครงสร้างมีความคล้ายกับโปรตีนซึ่งได้ให้ความสำคัญสำหรับการนำไปใช้ในทางการแพทย์เป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพอลิไวนิลไพโรลิโดนมีความเป็นพิษต่ำมาก และสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุเคลือบ พอลิไวนิลไพโรลิโดนมีความน่าสนใจในเรื่องของเทคโนโลยีในการทำฟิล์ม การเกาะยึดติดกัน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งเหล่านี้ถูกนำไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์สเปรย์ฉีดผม สารยึดเกาะ สารละลายสิ่งพิมพ์ ซึ่งความเป็นคอลลอยด์ของตัวมันเองจึงถูกนำไปใช้ในเรื่องของยา ส่วนผสมน้ำยาทำความสะอาด การเตรียมเครื่องสำอางกระบวนการเปลี่ยนแปลงเป็นสารพอลิเมอร์และสีย้อม หรือตัวช่วยการแพร่กระจายของสารย้อมสี อีกทั้งยังเป็นตัวรักษาเสถียรภาพในการสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนอีกด้วย [35]

ตารางที่ 2.6 แสดงสมบัติต่างๆ ของพอลิไวนิลไพโรลิโดน [36]

สมบัติ	
สูตรเคมี	$(C_6H_9NO)_n$
มวลโมเลกุล	2.5 g/mol^{-1}
ลักษณะทางกายภาพ	มีสีขาวถึงเหลืองอ่อน ดูดความชื้นได้ เป็นผงอสัณฐาน
ความหนาแน่น	1.2 cm^3
จุดหลอมเหลว	150 ถึง 180 °C (302 ถึง 356 °F, 423 ถึง 453 K) (อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pallavi Gupta และคณะ [37] ศึกษาวัสดุผสมพอลิเมอร์ที่ถูกเสริมแรงด้วยท่อนาโนคาร์บอนที่จัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบทำให้ใช้งานได้หลากหลาย การศึกษานี้เกี่ยวข้องกับการสร้างวัสดุผสมพอลิเมอร์ซึ่งมีท่อนาโนคาร์บอนที่มีการจัดระเบียบเป็นตัวเสริมแรงและผลของทิศทางการจัดวางแนวท่อนาโนคาร์บอนในวัสดุผสม ท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นกระจายตัวได้อย่างสม่ำเสมอในวัสดุผสมพอลิไวนิลลิคินฟลูออไรด์และการจัดวางแนวท่อนาโนคาร์บอนทำโดยวิธี Solution casting ท่อนาโนคาร์บอนจะถูกจัดเรียงโดยใช้กระแสไฟฟ้าช่วย ความต่างศักย์จะช่วยให้ท่อมีการกระจายตัวที่ดีและจัดระเบียบท่อนาโนคาร์บอนข้างในพอลิไวนิลลิคินฟลูออไรด์เมทริกซ์ ในทางกลับกันกระแสไฟฟ้าช่วยจัดระเบียบนำไปสู่การสร้างท่อนาโนที่เป็นท่อสั้นๆ แต่เรียงเป็นทางต่อเนื่องสำหรับการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และด้วยเหตุนี้เป็ผลทำให้ได้แผ่นฟิล์มมีค่านำไฟฟ้าสูงในบางทิศทาง นอกจากนี้เมื่อเพิ่มท่อนาโนคาร์บอนร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ลงในพอลิไวนิลลิคินฟลูออไรด์เมทริกซ์แผ่นวัสดุผสมจะแสดงการปรับปรุงค่ามอดูลัส (Elastic modulus) และความแข็งแรงต่อแรงดึง (Tensile strength) คือ 180 เปอร์เซ็นต์ และ 150 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งเปรียบเทียบกับแผ่นพอลิไวนิลลิคินฟลูออไรด์บริสุทธิ์

Preeyanuch Junkong และคณะ [38] ได้ศึกษาสัญญาณวิทยาความต้านทานแรงดึงและความทนทานต่อการขีดถู ของยางธรรมชาติผสมท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น และยางธรรมชาติผสมท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นกับเขม่าดำ โดยเครื่องเฮลเลียมไอออนไมโครสโคป (HIM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FE-SEM) พบว่าการกระจายตัวของยางธรรมชาติผสมท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นกับเขม่าดำ มีการกระจายตัวดีกว่ายางธรรมชาติผสมท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น ส่วนความต้านทานแรงดึง ยางธรรมชาติผสมท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้นกับเขม่าดำ มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่ายางธรรมชาติผสมท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น สรุปคือเมื่อเพิ่มท่อ

นาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น ความแข็ง ค่ามอดูลัส และการทนทานต่อการขีดถูมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งทั้งยัง
 ธรรมชาติผสมท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น และยางธรรมชาติผสมท่อนาโนคาร์บอนผนังหลายชั้น
 กับเขม่าดำ มีค่าไม่ต่างกันมาก

Ning Yan และคณะ [39] ทำการศึกษาวัสดุผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ถูก
 สร้างผ่านทางผสมแผ่นยาง และตกตะกอนร่วม ตามด้วยกระบวนการอัดร้อนและเครื่องบดผสม 2
 ลูกกลิ้ง เนื่องจากได้รับการควบคุมสารช่วยกระจายตัวที่ดีและวัสดุผสมได้แสดงโครงสร้างสามมิติของ
 รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แสดงถึงการกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ผลของ
 การกระจายตัวของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ต่อโครงสร้างเคมีแบบร่างแหและอิทธิพลของการกระจายตัว
 ต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติต้านทานอากาศได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียด Small angle X-ray
 scattering (SAXS) และเครื่องมือวิเคราะห์ Solid-State ^{13}C NMR ได้แสดงให้เห็น แผ่นรีดิวซ์กราฟีน
 ออกไซด์ส่งผลต่อกระบวนการวัลคาไนซ์ของยางธรรมชาติและการเชื่อมโยงของซัลเฟอร์พอลิซัลไฟดิกที่
 อยู่ในยางธรรมชาติในตอนแรกได้ลดลงเมื่อปริมาณของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณของ
 รีดิวซ์กราฟีนสูงกว่า 6 phr การเชื่อมโยงส่วนใหญ่ประกอบด้วยโมโนซัลไฟดิก อย่างไรก็ตามวัสดุผสม
 รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แสดงให้เห็นทั้งการป้องกันออกซิเจน การซึมผ่านของไอน้ำและปรับปรุงสมบัติ
 เชิงกลให้ดีขึ้น เนื่องจากแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์การกระจายตัวได้ดีในวัสดุผสม ผลการทดลอง
 ยืนยันว่าลักษณะทางสัญญาณวิทยาของตัวเต็มนั้นมีบทบาทสำคัญอย่างมากในการกำหนดสมบัติของ
 แผ่นยางธรรมชาติผสม

Dan Li และคณะ [40] ทำการศึกษากาการกระจายตัวของแผ่นกราฟีนซึ่งมีสมบัติที่ดีหลายด้าน
 ไม่ว่าจะเป็นสมบัติเชิงกล สมบัติทางไฟฟ้า และสมบัติทางความร้อน มีความคาดหวังว่าจะนำแผ่น
 กราฟีนมาประยุกต์ใช้ได้อย่างหลากหลาย ซึ่งจำเป็นต้องมีการสังเคราะห์แผ่นกราฟีนในปริมาณมาก
 โดยใช้กระบวนการอย่างง่าย เป็นการทำให้แผ่นกราฟีนหรือกราฟีนที่ไม่ชอบน้ำให้สามารถกระจายตัวใน
 น้ำโดยปราศจากสารช่วยกระจายตัว ซึ่งในงานวิจัยสามารถสังเคราะห์ กราฟีนเป็นแผ่นกราฟีนโดยวิธี
 ทางเคมี ซึ่งมีลักษณะเป็นสารละลายคอลลอยด์ที่เสถียร การค้นพบนี้นำไปสู่การพัฒนากระบวนการ
 ผลิตอย่างง่าย ผลิตได้ในปริมาณมาก และราคาถูก

Indrajith Rathnayake และคณะ [41] ได้ศึกษาการสังเคราะห์และการตรวจสอบเอกลักษณ์
 ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร่วมกับโพลิเมอร์ธรรมชาติ ซึ่ง อนุภาคนาโนซิลเวอร์สังเคราะห์ได้จากการ
 รีดิวซ์ซิลเวอร์ในเตรทที่มีไตรโซเดียมซิติเรท (TSC) เป็นตัวรีดิวซ์เอเจนต์ ในการทดสอบการต้านเชื้อ
 แบคทีเรีย จะทดสอบทั้งด้านคุณภาพและด้านปริมาณ ใช้เชื้อ *Staphylococcus aureus* (แกรม
 บวก) และ *Escherichia coli* (แกรมลบ) ในการทดสอบ พบว่าตัวอย่างโพลิเมอร์ธรรมชาติที่เตรียมได้
 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้และจากการตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วยกล้อง
 จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และ เครื่องวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDX) แสดงให้เห็น
 ถึงอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่แทรกในเนื้อโพลิเมอร์ธรรมชาติอย่างสม่ำเสมอ

Gownolla Malegowd Raghavendra และคณะ [42] ได้ทำการศึกษาแผ่นฟิล์มผสมนาโน
 ระหว่างไคโตซานและซิลเวอร์ กับการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งถูกสร้างขึ้นด้วยการฉายรังสีไมโครเวฟ
 โดยใช้ไคโตซานเป็นตัวรีดิวซ์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ถูกสังเคราะห์ขึ้นภายใน 11 นาทีโดยการฉายรังสี
 ไมโครเวฟ เตรียมฟิล์มภายใน 90 นาที และใช้พลังงานเพียง 0.146 kWh ในการสังเคราะห์อนุภาค
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้ไปเผยแพร่
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาโนซิลเวอร์กระบวนการนี้ใช้เวลาน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีแบบดั้งเดิมในการใช้พลังงานเท่ากัน อนุภาคนาโนซิลเวอร์ถูกตรวจสอบผ่านทางกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน (TEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พร้อมกับเครื่องวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDS) การกระตุ้นสารด้วยพลังงานแสงอินฟราเรด (FT-IR) เทคนิควิเคราะห์น้ำหนักที่หายไปที่อุณหภูมิต่างๆ (TGA) และเครื่องตรวจจุ่มสัมผัสของน้ำ (CTA) แผ่นฟิล์มได้แสดงสมบัติการต้านแบคทีเรียทั้งแบบที่เรียกรวมและแยก

Monir Noroozi และคณะ [43] ได้ศึกษาการสร้างอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีโครงสร้างเป็นทรงกลมและรูปร่างกึ่งไม้ได้อย่างรวดเร็วและไม่เป็นพิษ โดยการฉายรังสีไมโครเวฟ ซึ่งปราศจากการใช้ตัวรีดิวซ์อื่นๆ โดยทดสอบเวลาที่ใช้ในการฉายรังสีไมโครเวฟ การสร้างอนุภาคนาโนซิลเวอร์สร้างได้โดยการรีดิวซ์ซิลเวอร์ไอออนในน้ำที่เป็นกลาง และใช้พอลิไวนิลไพโรลิดอนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ และจะนำมาเปรียบเทียบกับสารสังเคราะห์โดยวิธีการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม การวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrometry) การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) การวัดค่าการดูดกลืนแสงของอะตอม (AAS) และการวัดขนาดของอนุภาคโดยการกระเจิงแสง (PCS) ซึ่งเทคนิคเหล่านี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มเวลาที่ใช้ในการฉายรังสี ความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะเพิ่มขึ้น การกระจายตัวของอนุภาคดีขึ้น และขนาดอนุภาคจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย รวมถึงซิลเวอร์อนุภาคขนาดใหญ่จะหายไปจากความเข้มข้นสูง และการโตของโครงสร้างอนุภาคนาโนซิลเวอร์ปรากฏขึ้นเป็นรูปร่างกึ่งไม้

Wang Xing และคณะ [44] ได้ศึกษาการกระจายตัว และสมบัติต่างๆ ที่หลากหลาย จากการผลิตวัสดุผสมนาโนกราฟีนผสมยางสไตรีนบิวตะไดอีน โดยการนำแผ่นกราฟีนไปกระจายตัวในเมทริกซ์ของยาง จากข้อมูลของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบว่ากราฟีนมีการกระจายตัวที่ดีในยางสไตรีนบิวตะไดอีน ส่วนสมบัติเชิงกลนั้นเพิ่มขึ้นอย่างดีเยี่ยม ความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นเกือบ 11 เท่า เมื่อเติม กราฟีน 7 phr ซึ่งเทียบเท่ากับการเติมเขม่าดำ (Carbon black) 30 phr และเทียบเท่ากับการเติมนาโนซิลิกา 40 phr ยิ่งไปกว่านั้นยังมีสมบัติอื่นที่น่าสนใจคือ สมบัติการป้องกันการซึมผ่านของแก๊ส สมบัติทนการสึกกร่อน และสมบัติการสะสมความร้อนที่ต่ำ

Yun Haeng Joe และคณะ [45] ได้มีการศึกษาความสัมพันธ์ของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในแผ่นกรองอากาศและการดักจับฝุ่นของแผ่นกรองซึ่งตัวอย่างในการทดลองที่ใช้คือแผ่นกรอง HEPA (High Efficiency Particulate Air Filter) ที่มีการเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Silver deposited HEPA filter) เมื่อทำการทดลองใส่ฝุ่นให้ผ่านไปยัง Filter ที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนซิลเวอร์พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า Pressure drop ที่เพิ่มขึ้นในขณะที่มีการดักจับฝุ่นสูงขึ้นนอกจากนี้ในการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยใช้แบคทีเรีย 2 ชนิดในการทดสอบคือ *Escherichia coli* (*E. coli*) ชนิดแกรมแบคทีเรียประจุลบ (Gram negative bacteria) และ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) ชนิดแกรมแบคทีเรียประจุบวก (Gram positive bacteria) ผลการทดลองพบว่าเชื้อแบคทีเรียลดลงในบริเวณที่มีการเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับบริเวณเส้นใยที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณที่น้อยกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งปริมาณการลดลงของเชื้อ *S. aureus* จะลดลงเร็วกว่าชนิด *E. coli* จากผลงานการวิจัยจึงสามารถยืนยันได้ว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียและสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปใช้ในอุตสาหกรรมการกรองอากาศและเป็นสิ่งสำคัญในการพัฒนาคุณภาพของ Filter เพื่อให้มี ประสิทธิภาพมากขึ้นต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- 1) ผงกราไฟต์ (Graphite Powder, มวลโมเลกุล 12.01 กรัมต่อโมล) ผลิตโดย SIGMA-ALDRICH
- 2) โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium Permanganate; KMnO_4) ผลิตโดย CARLO ERBA
- 3) กรดซัลฟิวริก (Sulphuric Acid; H_2SO_4) ความเข้มข้นร้อยละ 96 โดยน้ำหนัก ผลิตโดย CARLO ERBA
- 4) กรดไนตริก (Nitric Acid; HNO_3)
- 5) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid; HCl) ความเข้มข้นร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก ผลิตโดย CARLO ERBA
- 6) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide; H_2O_2) ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ผลิตโดย CARLO ERBA
- 7) ไฮไดรราซีนไฮเดรต (Hydrazine Hydrate; N_2H_4) มวลโมเลกุล 32.05 กรัมต่อโมล ความเข้มข้น 50-60 เปอร์เซ็นต์ ผลิตโดย SIGMA-ALDRICH
- 8) ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver Nitrate; AgNO_3) ผลิตโดย Merck-chemicals, Analysis
- 9) พอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone; PVP มวลโมเลกุลเฉลี่ย 40,000) ผลิตโดย SIGMA-ALDRICH
- 10) น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber; NR) ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักชนิด High ammonia
- 11) สารละลายแอมโมเนีย (Ammonia solution; NH_4OH) เข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ผลิตโดย CARLO ERBA
- 12) แอซีโตน (Acetone; $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องแก้ว
- 2) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
- 3) กระจกบอกล้วน (Distilled Water)
- 4) ช้อนตักสาร (Spatula)
- 5) ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)
- 6) ขวดแก้วเล็ก (Vial)
- 7) ตู้ดูดควัน (Fume Hood)
- 8) ตู้อบลมร้อน (Oven)
- 9) เครื่องชั่งแบบละเอียด
- 10) เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน

เอกสารนี้ 11) เตาอบไมโครเวฟ (Microwave oven) ผลิตโดย SAMSUNG รุ่น MG23F301EAS ยืนยันการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 12) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD)
- 13) เครื่องฟูริเยร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier-Transform Infrared; FT-IR)
- 14) เครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ (Raman Spectrometer)
- 15) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM)
- 16) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope; TEM)
- 17) อุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer; EDS)
- 18) เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง UV-Vis spectrophotometer
- 19) เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermal Gravity Analysis; TGA)
- 20) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine; UTM)

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ในงานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ สารแขวนลอยนาโนซิลเวอร์ และแผ่นยางธรรมชาติผสม ดังต่อไปนี้

3.3.1 การเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จากผงกราฟาไฟต์

3.3.1.1 การเตรียมกราฟาไฟต์ออกไซด์ด้วยวิธีการดัดแปลงวิธีของฮัมเมอร์ [40] (Modified Hummer's method)

- 1) ชั่งผงกราฟาไฟต์ 2.0000 กรัม และโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) 6.0000 กรัม
- 2) เติมน้ำในขวดก้นกลม แล้วนำขวดก้นกลมไปวางไว้บนถังน้ำแข็งพร้อมกับการปั่นกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นเวลา 10 นาที
- 3) ค่อยๆ เติมน้ำกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ($\text{Conc. H}_2\text{SO}_4$) 46.00 มิลลิลิตร พร้อมกับการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที จะเปลี่ยนสารละลายเป็นสีน้ำตาลดำ
- 4) เติมน้ำกลั่น 100.00 มิลลิลิตร พร้อมกับการปั่นกวนเป็นเวลา 20 นาที
- 5) นำขวดก้นกลมออกจากถังน้ำแข็ง และทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที พร้อมกับต้อน้ำทิ้งไว้
- 6) นำขวดก้นกลมไปวางไว้ในอ่างน้ำร้อน พร้อมกับการปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที
- 7) นำขวดก้นกลมออกจากอ่างน้ำร้อน แล้วนำไปวางไว้บนถังน้ำแข็งอีกครั้ง
- 8) เติมน้ำกลั่น 280.00 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวนต่อเป็นเวลา 20 นาที
- 9) ค่อยๆ เติมน้ำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 20.00 มิลลิลิตร พร้อมกับการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที
- 10) ทำการล้างตะกอนด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที และเทสารละลายทิ้ง
- 11) ล้างตะกอนด้วยกรดไฮโดรคลอริก 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ทำการหมุนเหวี่ยงอีกครั้ง
- 12) ทำการกรองตะกอนแบบลดความดัน ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น แล้วจึงล้างด้วยอะซิโตน
- 13) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง
- 14) นำตะกอนที่อบแห้งแล้วมาทำการบดละเอียด จากนั้นก็จะได้เป็นผงกราฟาไฟต์ออกไซด์ออกมา (จะได้ลักษณะเป็นผงสีน้ำตาล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1.2 การเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonication)

- 1) ชั่งผงกราฟีนออกไซด์ 300 มิลลิกรัม จากนั้นเทลงไปในหลอดเซนทริฟิวส์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 2) เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร แล้วนำไปวางไว้ในเครื่องอัลตราโซนิก ทำการ Sonicated เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 30 นาที
- 3) นำสารแขวนลอยที่ได้ไปทำการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยกผงกราฟีนออกไซด์ที่เหลืออยู่ออกจากสารละลาย เป็นเวลา 30 นาที
- 4) รินสารละลายออกจากหลอดเซนทริฟิวส์ก็จะได้สารละลายกราฟีนออกไซด์ซึ่งมีสีน้ำตาลส้ม

3.3.1.3 การรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน

- 1) ทำการต้มน้ำให้มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้บีกเกอร์ปริมาตร 600 มิลลิลิตร
- 2) นำกราฟีนออกไซด์ 4.00 มิลลิลิตร ใส่ขวดแก้วเล็ก จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป 14.00 มิลลิลิตร จะได้กราฟีนออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร
- 3) เติมหิเดราซีนไฮเดรต 0.04 มิลลิลิตร ตามด้วยสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 0.28 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดแก้ว และเขย่าให้เข้ากัน
- 4) นำขวดแก้วที่มีสารละลายของกราฟีนออกไซด์อยู่ พร้อมฝาเจาะรูไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
- 5) เมื่อครบ 20 นาที จึงนำขึ้นมาจากบีกเกอร์และทิ้งไว้จนเย็นตัว จะได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การเตรียมสารแขวนลอยนาโนซิลเวอร์

ในงานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Monir Noroozi และคณะ [43] ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกทั้งยังสังเคราะห์ได้สะดวกและรวดเร็ว ซึ่งในงานวิจัยสามารถสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้วิธีรีดักชันด้วยตู้ไมโครเวฟ และมีพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) ชั่ง PVP 0.3000 กรัม ลงในบีกเกอร์ จากนั้นเติมน้ำกลั่นอีก 25.00 มิลลิลิตร คนให้ละลาย น้ำเป็นเนื้อเดียวกัน
- 2) ชั่งซิลเวอร์ในเตรต 0.3000 กรัม ใส่ลงไปในบีกเกอร์ที่มีสารละลาย PVP อยู่คนให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน จะได้สารละลายที่ใสไม่มีสี
- 3) ทำการรีดิวซ์ซิลเวอร์ด้วยเครื่องไมโครเวฟ โดยให้ความร้อนเป็นเวลา 75 วินาทีและใช้พลังงานความร้อน 300 วัตต์ ซึ่งจะทำการนำออกจากเครื่องไมโครเวฟทุกๆ 15 วินาที
- 4) เติมสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 0.03 มิลลิลิตรต่อสารแขวนลอยซิลเวอร์ 1.00 มิลลิลิตร ให้สารแขวนลอยมี pH ประมาณ 10-11 เพื่อไม่ให้เกิดการตกตะกอนเมื่อผสมกับยางธรรมชาติและ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.3.3 การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสม

3.3.3.1 การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และยางธรรมชาติชนิดเข้มข้น

- 1) เตรียมน้ำยางธรรมชาติ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และน้ำกลั่นตามเงื่อนไขที่กำหนดในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงแสดงเงื่อนไขในการขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ปริมาณ rGO (wt.%)	ปริมาตร rGO (mL)	ปริมาตรน้ำกลั่น (mL)	ปริมาตรน้ำยาง (mL)
0.05	1.00	4.00	6.00
0.10	2.00	3.00	6.00
0.16	3.00	2.00	6.00
0.21	4.00	1.00	6.00
0.27	5.00	0.00	6.00

หมายเหตุ : รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

- 2) ผสมและปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที เติมน้ำจนพองและทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง
- 3) เมื่อแผ่นยางผสมแห้งแล้วจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 9 เซนติเมตร และหนาเฉลี่ย 0.55 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.2 การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์และยางธรรมชาติชนิดเข้มข้น

- 1) เตรียมน้ำยางธรรมชาติ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ และน้ำกลั่นตามเงื่อนไขที่กำหนดในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงเงื่อนไขในการขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์

ปริมาณ AgNPs (wt.%)	ปริมาตร AgNPs (mL)	ปริมาตรน้ำกลั่น (mL)	ปริมาตรน้ำยาง (mL)
0.27	0.50	4.50	6.00
0.54	1.00	4.00	6.00
1.08	2.00	3.00	6.00

หมายเหตุ : อนุภาคนาโนซิลเวอร์มีความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

- 2) ผสมและปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที เกล่งงานเพาะเชื้อและทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง
- 3) เมื่อแผ่นยางผสมแห้งแล้วจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 9 เซนติเมตร และหนาเฉลี่ย 0.58 มิลลิเมตร

3.3.3.3 การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์อนุภาคนาโนซิลเวอร์และยางธรรมชาติชนิดเข้มข้น

- 1) เตรียมน้ำยางธรรมชาติ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ และน้ำกลั่นตามเงื่อนไขที่กำหนดในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงเงื่อนไขในการขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณต่างๆ

ปริมาณ AgNPs (wt.%)	ปริมาตร AgNPs (mL)	ปริมาณ rGO (wt.%)	ปริมาตร rGO (mL)	ปริมาตรน้ำกลั่น (mL)	ปริมาตรน้ำยาง (mL)
0.26	0.50	0.16	3.00	1.50	6.00
0.52	1.00	0.16	3.00	1.00	6.00
1.03	2.00	0.16	3.00	0.00	6.00

- 2) ผสมและปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที เกล่งงานเพาะเชื้อและทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง
- 3) เมื่อแผ่นยางผสมแห้งแล้วจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 9 เซนติเมตร และหนาเฉลี่ย 0.61 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์

3.4.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultraviolet (UV) และ Visible (Vis) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน สารอนินทรีย์ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน และปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่างๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่าสเปกตรัม (Spectrum) โดยตัวอย่างกราฟีนออกไซด์ ไรดิฟกราฟีนออกไซด์ และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่นำไปวิเคราะห์ จะทำการเจือจางให้มีค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 0.5-1.0 แล้วบรรจุลงใน Cuvette และนำเข้าเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร เพื่อศึกษาสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงของกราฟีนออกไซด์เมื่อไรดิฟด้วยไฮดราซีนและสเปกตรัมของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ถูกไรดิฟด้วยพลังงานความร้อน

3.4.2 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier-transform infrared spectroscopy; FT-IR)

เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ ตรวจสอบโครงสร้างของสารโดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วง Infrared (IR) ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไปทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารได้ จึงนำเทคนิคดังกล่าวนี้มาใช้ในการศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไปของกราฟีนออกไซด์เมื่อทำการไรดิฟด้วยไฮดราซีน อนุภาคนาโนซิลเวอร์ และแผ่นยางธรรมชาติผสมไรดิฟกราฟีนออกไซด์กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นผง จะทำการเตรียมตัวอย่างแบบ KBr-disc โดยวิธีการคือ บดสารตัวอย่างปริมาณ 1-2 มิลลิกรัม รวมกับผง KBr ปริมาณ 100 มิลลิกรัม อบให้แห้งแล้วบดรวมกัน จากนั้นทำการอัดเป็นแผ่นโดยใช้เครื่อง Mini press จนได้ตัวอย่างที่มีลักษณะกลมแบนใสคล้ายแก้ว (KBr Disc) แล้วนำตัวอย่างวางบนลำรังสี IR จากนั้นวิเคราะห์เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่าง

3.4.3 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer; XRD)

เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ หรือเทคนิค XRD เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอ็กซ์มาใช้วิเคราะห์สารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างโดยไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non-destructive method) เทคนิค XRD อาศัยหลักการของการยิงรังสีเอ็กซ์ที่ทราบความยาวคลื่นไปกระทบชิ้นงานทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างๆ กัน โดยมีหัววัดเป็นตัวรับข้อมูล เนื่องจากองค์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะขึ้นกับองค์ประกอบและโครงสร้างของสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ในการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆ ได้ จึงนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์สมบัติและโครงสร้างผลึกของไรดิฟกราฟีนออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นผง รวมถึงแผ่นยางธรรมชาติผสมไรดิฟกราฟีนออกไซด์กับอนุภาคนาโน-
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลเวอร์ ซึ่งตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงเตรียมได้โดยการบดผงของสารตัวอย่างให้ละเอียดพอประมาณ จากนั้นนำไปอัดลงบนแผ่นกระจกที่มีลักษณะเป็นหลุมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร มีความลึกประมาณ 3 มิลลิเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer)

3.4.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

ใช้ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและรายละเอียดของพื้นผิวและภาพตัดขวางของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เนื่องจากตัวอย่างมีลักษณะเป็นแผ่นยางอิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ จึงเกิดปัญหาการ Charge up จึงต้องทำการเคลือบพื้นผิวด้วยทองคำ นำสารตัวอย่างไปติดบน Stub เพื่อให้การฉาบผิวทำได้ทั่วถึง จากนั้นนำตัวอย่างไปทำการเคลือบทอง แล้วนำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 3000 6000 และ 10000 เท่า

3.4.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope; TEM)

ใช้ศึกษาขนาดอนุภาคและโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เล็กระดับนาโนเมตร ทำให้การศึกษาขนาดอนุภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบปกติไม่สามารถตรวจสอบได้จึงจำเป็นต้องศึกษาจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน โดยการหยดตัวอย่างลงบน Cu-grid ที่ไว้งนแห้ง ซึ่งสามารถตรวจสอบอนุภาคขนาดเล็กระดับนาโนได้ โดยใช้ลำแสงอิเล็กตรอนในการส่องผ่านตัวอย่าง และ TEM สามารถศึกษาตัวอย่างที่มีขนาดเล็กที่มีขนาดตั้งแต่ 0.2 นาโนเมตร ถึง 0.2 มิลลิเมตรได้

3.4.6 เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบธาตุ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer; EDX)

เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของธาตุ สามารถวิเคราะห์ได้ตั้งแต่ ธาตุคาร์บอนถึงธาตุยูเรเนียม ทดสอบได้ทั้งของแข็ง ของเหลว หรือเป็นผง วิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ หลักการของเทคนิคนี้คือ ให้รังสีเอ็กซ์จากแหล่งกำเนิดเข้าไปชนสารตัวอย่าง รังสีเอ็กซ์จะทำให้อิเล็กตรอนในวงในสุดของอะตอมของธาตุหลุดออกไป อิเล็กตรอนในวงถัดมาจะเข้ามาแทนที่และคายพลังงานส่วนเกินออกมาในลักษณะของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งจะมีค่าพลังงานเป็นค่าเฉพาะตัวของธาตุนั้น เป็นพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และความเข้มข้นของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของธาตุต่างๆ ในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์

3.4.7 เครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman Spectroscopy)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์วัตถุตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์หาชนิด (Qualitative Analysis) ของตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เช่น อัญมณี แร่ และวัสดุต่างๆ โดยส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ซึ่งไม่สามารถแสดงสเปกตรัมในช่วงอินฟราเรด โดยหลักการของรามานสเปกโตรมิเตอร์จะตรวจสอบโดยการวัดเปรียบเทียบการกระเจิงแสงแบบรามานของวัสดุหรือสารมีใช้ในการตรวจสอบ ใช้หาความยาวพันธะในโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว ซึ่งจะทำได้ทั้งสารอินทรีย์และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ผู้เห็นประโยชน์อันใดในการใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอนินทรีย์ ดังนั้นจึงใช้วัสดุสารได้ทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ จึงนำเทคนิคดังกล่าวนี้มาใช้ในการศึกษาชนิดของสารประกอบที่อยู่ในรูปกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.4.8 เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของวัสดุต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยใช้การวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวและความละเอียดสูงในสภาวะแวดล้อมที่ควบคุมได้ สามารถใช้ในการศึกษาสมบัติของตัวอย่างได้หลากหลายชนิด ทั้งตัวอย่างในกลุ่มเซรามิก พอลิเมอร์หรือสารอนินทรีย์ต่างๆ สามารถวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลว การสูญเสียน้ำหนักรวมไปจนถึงการหาสารเจือปนในตัวอย่างได้ จึงนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยเตรียมแผ่นยางผสมที่เตรียมได้ให้มีน้ำหนักประมาณ 8-12 มิลลิกรัม บรรจุลงในจาน (Pan) ที่แขวนอยู่บน Micro balance แล้วทำการทดสอบโดยการตั้งโปรแกรมทดสอบให้ความร้อนต่อชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิเริ่มต้น 40 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

3.4.9 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

สมบัติการต้านทานแรงดึงของวัสดุ เป็นตัวบ่งบอกความแข็งแรงและความสามารถในการทนรับแรงดึงของวัสดุจนขาดในระยะเวลาสั้นๆ ด้วยอัตราการดึงคงที่ โดยการเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal testing machine; UTM) ตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยเตรียมชิ้นงานและกำหนดสภาวะกำหนดสภาวะเครื่องทดสอบดังนี้

- ขนาดชิ้นงาน 10 x 70 ตารางมิลลิเมตร
- ความเร็วในการดึง 500 มิลลิเมตรต่อนาที
- ความยาวเกจ (Gauge length) 30 มิลลิเมตร
- ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้ 1 นิวตัน
- จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ 8 ชิ้นต่อชิ้นงาน

โดยการทดลองที่ได้จะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) รวมถึงค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าการคงรูป (Stiffness) ค่าความเค้นสูงสุด (Stress at maximum load) และค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) จึงนำมาใช้ในการศึกษาหาค่าความแข็งแรงเชิงกลของยางธรรมชาติกับแผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์อนุภาคนาโนซิลเวอร์กับยางธรรมชาติ

3.4.10 การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Anti-Bacterial test)

ทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธี Agar disc diffusion จะวิเคราะห์ผลการทดลองจากการเกิดโซนยับยั้ง (Inhibition Zone) บนจานเลี้ยงเชื้อโดยจะทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิดได้แก่ *Staphylococcus aureus* (แกรมบวก) และ *Escherichia coli* (แกรมลบ)

บทที่ 4

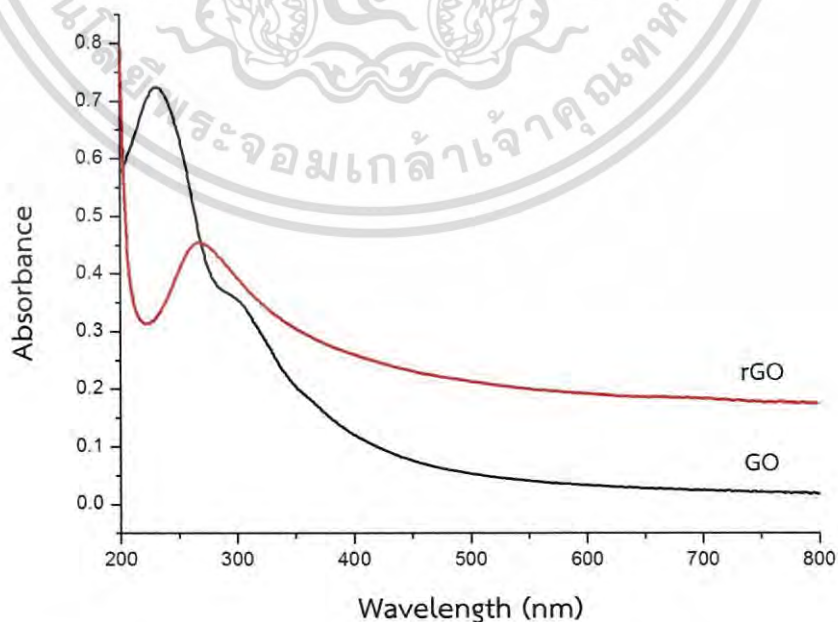
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน และสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยตู้ไมโครเวฟโดยมีพอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นสารรักษาเสถียรภาพ จากนั้นทำการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์และวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ได้แก่ การดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrometry) ศึกษาหมู่ฟังก์ชัน (FT-IR) พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน (Raman Spectroscopy) การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (EDX) ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) สมบัติเชิงความร้อน (TGA) สมบัติเชิงกล (Tensile Testing) การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Anti-bacterial Testing) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1. ผลการวิเคราะห์การวัดการดูดกลืนแสงของสาร

4.1.1 กราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

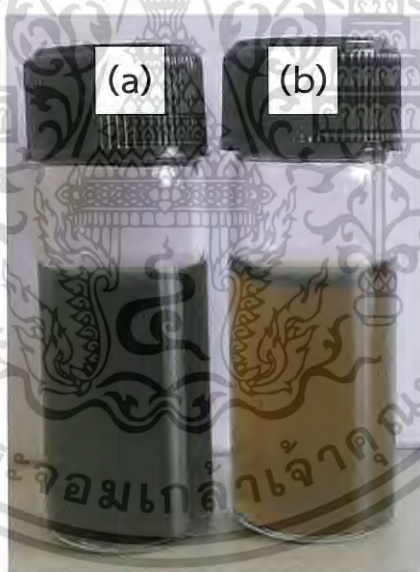
เทคนิค UV-visible spectrophotometry เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของสารได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันบนโครงสร้างของแผ่นกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) ที่ถูกรีดิวซ์ด้วยไฮดราซีนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสง พบว่ากราฟีนออกไซด์ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 230 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะจาก $\pi-\pi^*$ และพบพีคเล็กๆ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 300 นาโนเมตรซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะจาก $n-\pi^*$ ซึ่งโดยทั่วไป $\pi-\pi^*$ จะเกิดได้ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 220 นาโนเมตรเป็นต้นไป ขึ้นอยู่กับว่าโมเลกุลมีพันธะคู่โดด (Isolate double bond) หรือพันธะคู่ต่อเนื่อง (Conjugated double bond) กับโครโมฟอร์อื่น ถ้าเป็นโมเลกุลที่มีพันธะคู่ต่อเนื่อง อิเล็กตรอนใน π ออบิทัลหนึ่งสามารถกระจายไปยัง π ออบิทัลอื่นที่มีอยู่ในโมเลกุลนั้นได้ ส่งผลให้พันธะคู่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน (C=C) ยิ่งอ่อนลง ทำให้ใช้พลังงานในการทรานซิชันลดลง ส่วนการเปลี่ยนสถานะ $n-\pi^*$ เกิดกับโมเลกุลที่มีทั้ง n (non-bonding) และ π ออบิทัล ซึ่งได้แก่ สารประกอบคาร์บอกซิลิกหรือคีโตนที่มีหมู่คาร์บอน-ออกซิเจน (-C=O) หลังจากทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์แล้ว พบว่าตำแหน่ง $\pi-\pi^*$ เกิดการเลื่อนตำแหน่ง (Shift) ไปที่ความยาวคลื่นที่มากขึ้น (Red shift) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิดพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน (-C=C) ที่เพิ่มขึ้นในโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และไม่ปรากฏพีคที่ตำแหน่ง $n-\pi^*$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารประกอบคาร์บอกซิลิกหรือคีโตน (-C=O) ถูกกำจัดออกไปจากโครงสร้างกราฟีนออกไซด์ [9]

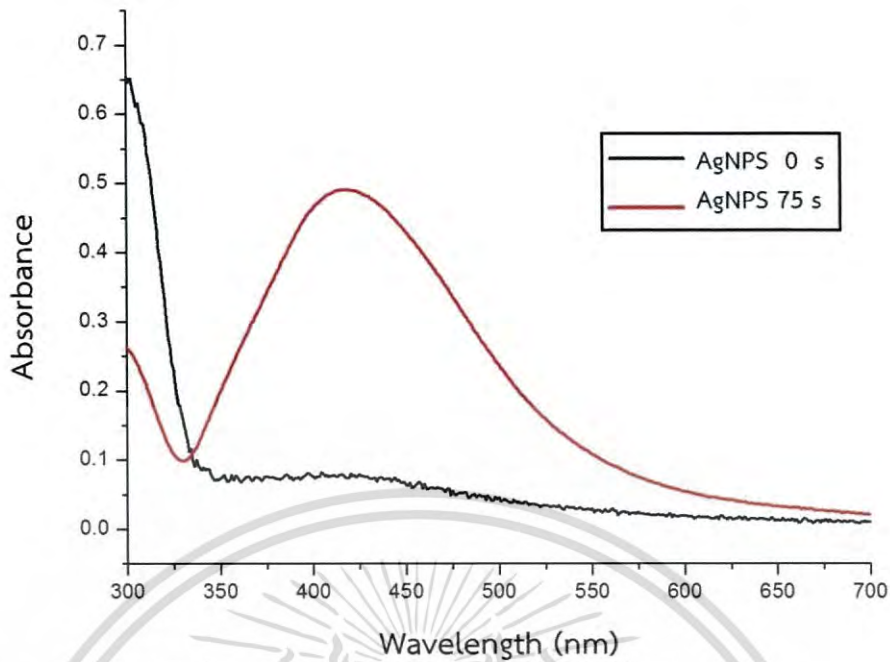
โดยทั่วไปการรีดิวซ์ที่สมบูรณ์สามารถสังเกตอย่างง่าย ๆ ได้จากสีของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พบว่าสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์จะเปลี่ยนจากสารแขวนลอยสีน้ำตาลเป็นสารแขวนลอยสีดำของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงสีของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ภายใต้ตัวทำละลายคือน้ำ (a) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (b) กราฟีนออกไซด์

4.1.2 อนุภาคนาโนซิลเวอร์

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs) ก่อนไมโครเวฟและหลังไมโครเวฟ ที่ได้จากการบวกรวมการให้พลังงานด้วยตู้ไมโครเวฟ ผลแสดงในรูปที่ 4.3



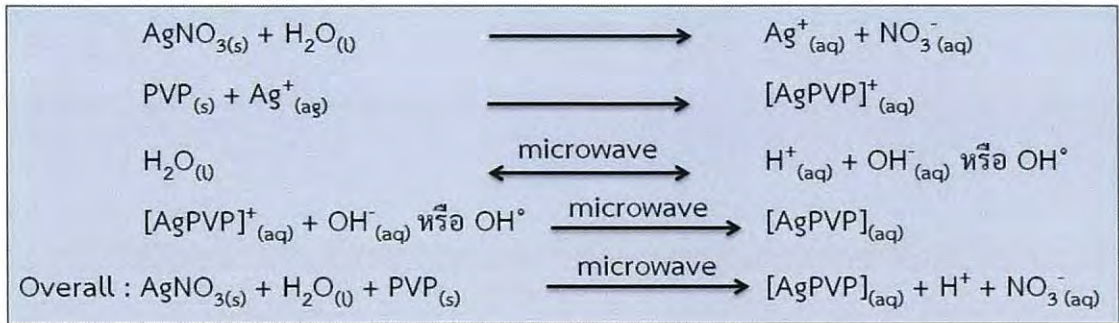
รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงอนุภาคนาโนซิลเวอร์ก่อนและหลังไมโครเวฟ

จากรูปที่ 4.3 พบว่าสารละลายซิลเวอร์ก่อนที่จะได้รับคลื่นไมโครเวฟ ไม่พบค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ แต่เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 75 วินาที จะพบพีคค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 420 นาโนเมตร [30] ซึ่งเป็นตำแหน่งพีคเอกลักษณ์ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ซึ่งสามารถยืนยันการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์อย่างคร่าวๆ ได้จากสีของสารแขวนลอย ดังแสดงในรูปที่ 4.4 สำหรับกลไกที่เป็นไปได้ของการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) และ PVP เป็นสารตั้งต้น แสดงไว้ในสมการดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 แสดงสีของสารแขวนลอยนาโนซิลเวอร์ (a) ไมโครเวฟ 0 วินาที (b) ไมโครเวฟ 75 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

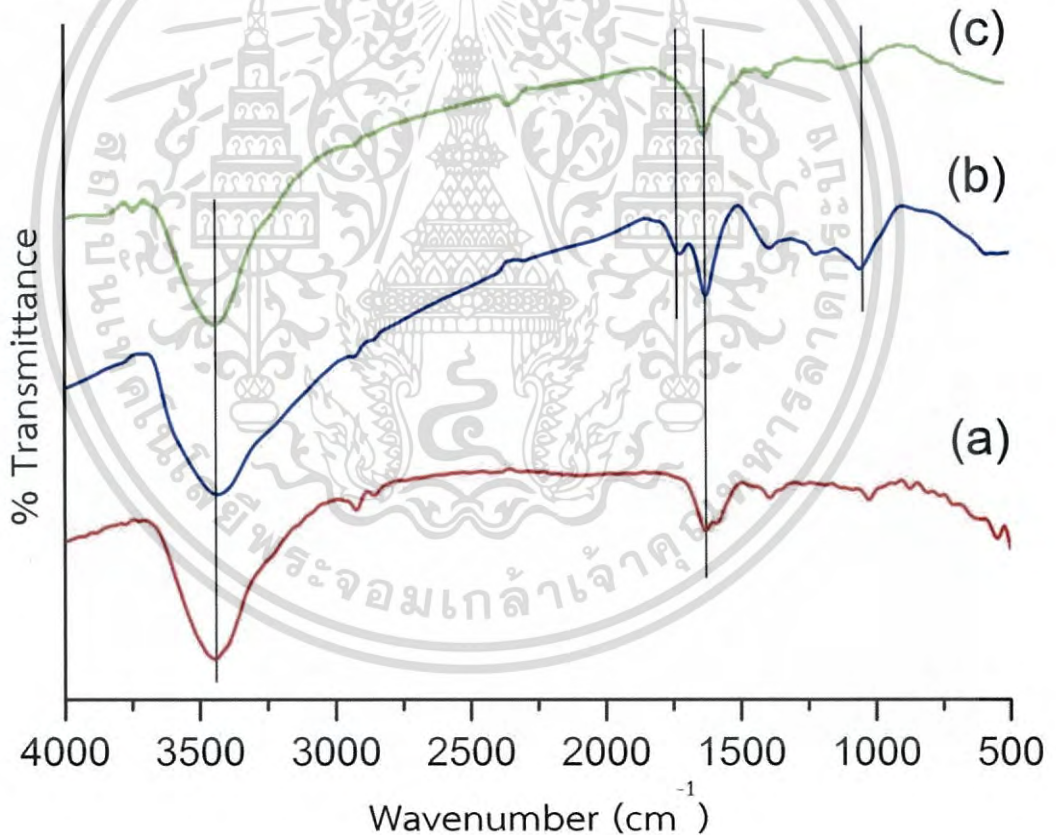


รูปที่ 4.5 แสดงสมการที่อาจจะเป็นไปได้ของการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์

4.2 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานการสั่นของโมเลกุล

4.2.1 กราฟไฟต์ กราฟอินฟราเรด และรีดิวซ์กราฟอินฟราเรด

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของ FT-IR ของกราฟไฟต์ กราฟอินฟราเรด และรีดิวซ์กราฟอินฟราเรด ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของ (a) กราฟไฟต์ (b) กราฟไฟต์ออกไซด์ และ (c) รีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.1 พบแถบการสั่นของกราไฟต์ปรากฏความถี่ที่เลขคลื่น 3442 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ (-OH) และพบแถบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่น 1627 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ (-C=C) ของวงอะโรมาติก ซึ่งเป็นการยืนยันหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ในกราไฟต์ ในขณะที่ยวกับกราไฟต์ออกไซด์ก็แสดงแถบการสั่นที่เป็นแถบกว้างมากที่ความถี่เลขคลื่น 3432 (-OH) และ 1625 cm^{-1} (-C=C) เช่นเดียวกับกราไฟต์ และจะปรากฏการสั่นที่เลขคลื่น 1722 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ (-C=O) ของสารประกอบคาร์บอนิลและคาร์บอกซิลิก และแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1054 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ (-C-O) ของแอลคอกซี การปรากฏแถบการสั่นของหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ เนื่องจากกระบวนการออกซิไดซ์จากกราไฟต์ให้เป็นกราไฟท์ออกไซด์จึงทำให้หมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิล คาร์บอกซิลิก และอีพอกซีเกิดขึ้นที่วงอะโรมาติกของกราไฟต์ ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างของกราไฟท์ออกไซด์ แต่เมื่อทำการรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์จะพบแถบการสั่นที่ 3450 cm^{-1} (-OH) และพบแถบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่น 1632 cm^{-1} (-C=C) แต่ไม่พบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่นประมาณ 1700 cm^{-1} และที่ 1100 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของสารประกอบคาร์บอนิลและคาร์บอกซิลิกและอีพอกซี ตามลำดับ เป็นการยืนยันได้ว่าเกิดการรีดิวซ์หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ออกจากกราไฟท์ออกไซด์

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบแถบการสั่นที่สำคัญของกราไฟต์และกราไฟท์ออกไซด์

กราไฟต์		กราไฟท์ออกไซด์		รีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์	
การสั่นของพันธะ	ความถี่ (cm^{-1})	การสั่นของพันธะ	ความถี่ (cm^{-1})	การสั่นของพันธะ	ความถี่ (cm^{-1})
O-H stretching	3442	O-H stretching	3432	O-H stretching	3450
C=C stretching	1627	C=C stretching	1625	C=C stretching	1632
		C=O stretching	1722		
		C-O stretching	1054		

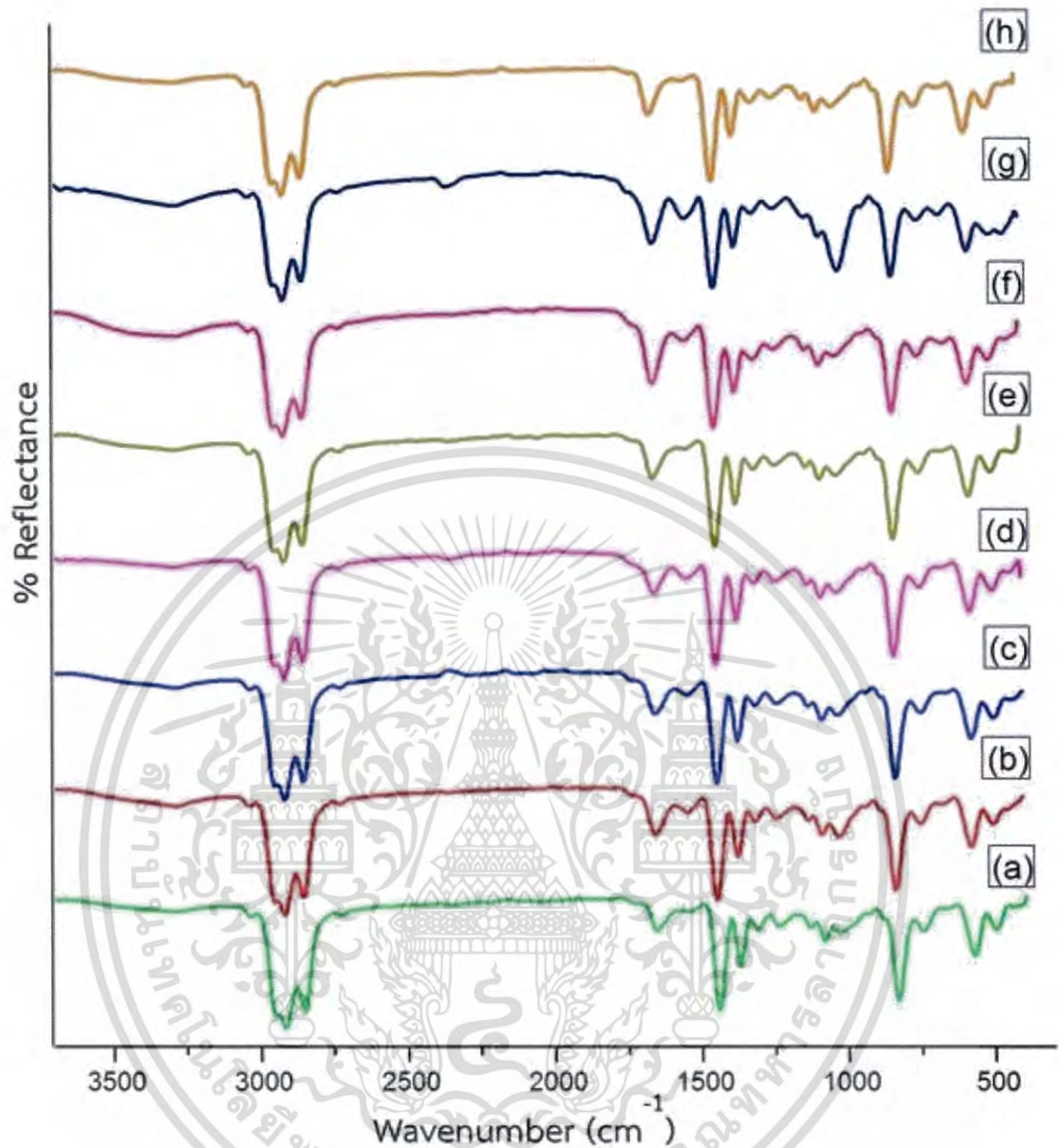
4.2.2 แผ่นยางธรรมชาติผสม

การวิเคราะห์ FT-IR ที่ใช้ในการวิเคราะห์แผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางธรรมชาติผสม จะใช้ FT-IR ชนิด ATR-FT-IR ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยไม่ต้องบด สามารถนำมาตรวจวิเคราะห์ได้ทันที

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของ FT-IR ของแผ่นยางธรรมชาติผสม แบ่งชนิดของแผ่นยางธรรมชาติผสมเป็น 3 ชนิดคือ

- แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ร้อยละ 0.05 0.16 และ 0.27 โดยน้ำหนัก
- แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.27 และ 1.08 โดยน้ำหนัก
- แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ในอัตราคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) และเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.26 และ 1.03 โดยน้ำหนัก

แสดงผลการศึกษาในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟ FT-IR เปรียบเทียบแผ่นยางธรรมชาติเปล้า (a) แผ่นยางธรรมชาติที่ผสมรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.05 (b) 0.16 (c) และ 0.27 (d) โดยน้ำหนัก แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.27 (e) และ 1.08 (f) โดยน้ำหนัก และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในอัตราคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) และเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.26 (g) และ 1.03 (h) โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.7 แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในทุกปริมาณ ในรูป 4.7(a) แผ่นยางธรรมชาติจะพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 2960 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบยืดของ CH_3 พบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 2917 cm^{-1} และ 2853 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบยืดแบบสมมาตรและไม่สมมาตรของ CH_2 ตามลำดับ พบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1650 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบยืดของพันธะ $\text{C}=\text{C}$ พบแถบเอกซามันเป็นเอกซามันที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำแผ่นยางธรรมชาติไปใช้ประโยชน์ตามการคาดหมายไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสั่นที่เลขคลื่น 1440 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบงอของ CH_2 และพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 830 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบงอของ $\text{C}=\text{C}-\text{H}$ ซึ่งจากการเปรียบเทียบสเปกตรัม FT-IR ในรูป 4.7(b)-(h) ล้วนแล้วแต่มีแถบการสั่นความถี่เลขคลื่นใกล้เคียงกัน เนื่องจากการเติมปริมาณของสารตัวเติมคือ รีติวซ์กราไฟท์ออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลงไปในแผ่นยางธรรมชาติในอัตราส่วนที่น้อยมากๆ เมื่อเทียบกับปริมาณของน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น ซึ่งส่งผลให้แถบการสั่นของยางธรรมชาติบดบังแถบการสั่นของสารประกอบที่เกิดจากการใส่สารตัวเติม ซึ่งหมู่ฟังก์ชันต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.2

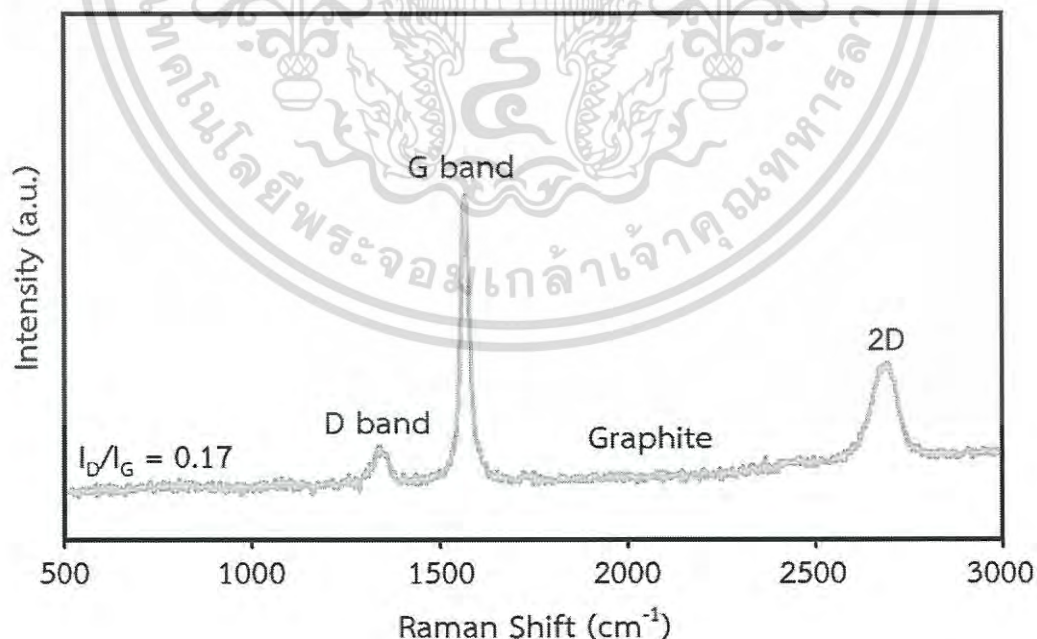
ตารางที่ 4.2 แสดงแถบการสั่นของยางธรรมชาติผสมรีติวซ์กราไฟท์ออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์

การสั่นของพันธะ	ความถี่ (cm^{-1})
CH_3 stretching	~ 2960
CH_2 asymmetry stretching	~ 2917
CH_2 symmetry stretching	~ 2853
$\text{C}=\text{C}$ stretching	~ 1650
$-\text{C}-\text{H}_2$ bending	~ 1440
$\text{C}=\text{C}-\text{H}$ bending	~ 830

4.3 ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน

4.3.1 กราไฟต์

โดยเอกลักษณ์ของกราฟไฟต์จะแสดงในรามานสเปกตรัม ดังรูปที่ 4.8



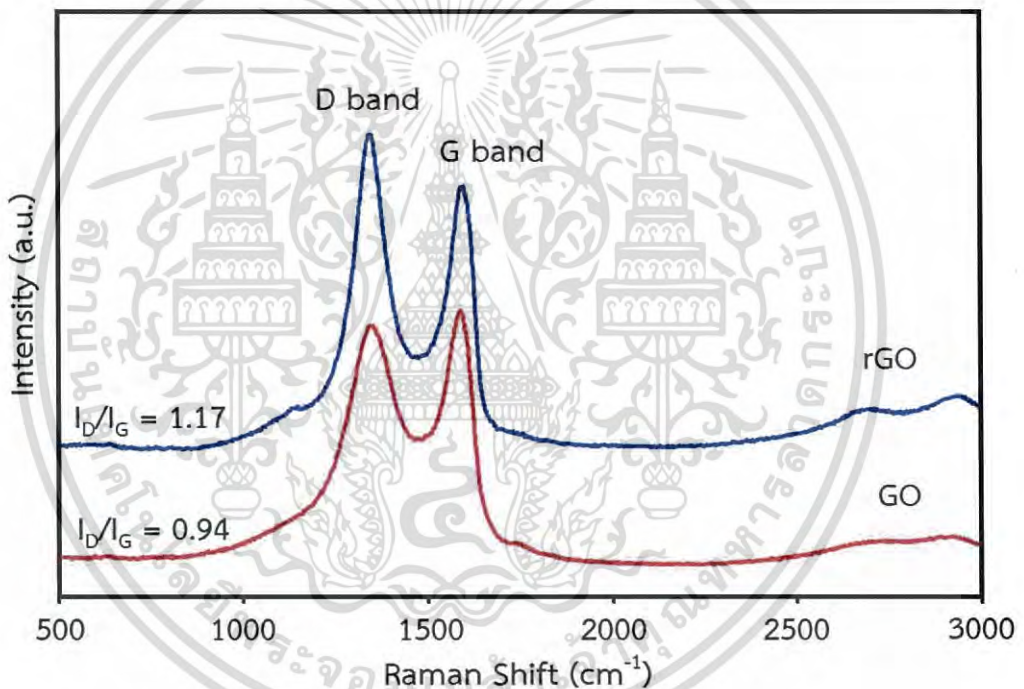
รูปที่ 4.8 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟไฟต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานสเปกตรัมของกราฟไฟต์ ซึ่ง G band (Graphitic carbon) แสดงพีคเอกลักษณ์ความเป็นระเบียบทางโครงสร้างของแผ่นกราฟไฟต์ ในขณะที่ D band (Defect graphitic carbon) จะแสดงถึงความไม่เป็นระเบียบ (Disorder) และความบกพร่อง (Defect) ของโครงสร้างวงอะโรมาติกของแผ่นกราฟไฟต์แต่ละแผ่น [45] และจากการทดลองพบว่าสเปกตรัมของกราฟไฟต์ แสดงพีค D band ที่ ตำแหน่ง 1345 cm^{-1} และมี G band ที่ตำแหน่ง 1600 cm^{-1} โดยกราฟไฟต์มีอัตราส่วน I_D/I_G เท่ากับ 0.17 ซึ่งแสดงถึงความมีระเบียบทางโครงสร้างของคาร์บอนที่สูง และ มีความบกพร่องต่ำ นอกจากนี้ยังพบว่า 2D ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของกราฟไฟต์ บ่งบอกถึงจำนวนชั้นที่ซ้อนทับกันของแผ่นคาร์บอนในปริมาณที่สูง

4.3.2 กราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

โดยเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะแสดงในรามานสเปกตรัม ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากรูปที่ 4.9 พบว่าจากการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์ จะเกิดความบกพร่อง (Defect) และความไม่เป็นระเบียบ (disorder) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นตอนการเตรียมกราฟไฟต์ออกไซด์ ซึ่งแสดงพีคของตำแหน่ง D band ที่ 1355 cm^{-1} และตำแหน่ง G band ที่ 1690 cm^{-1} และอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G นั้นเพิ่มขึ้นจาก 0.17 เป็น 0.94 เนื่องมาจากมีหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ หมู่คาร์บอนิล คาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล และอีพอกซี เกิดขึ้นในโครงสร้าง ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างที่มีความไม่เป็นระเบียบและความบกพร่องมากขึ้น ต่อมาเมื่อกราฟีนออกไซด์ผ่านปฏิกิริยารีดักชันด้วยไฮดราซีน เปลี่ยนเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พบว่าเกิดความบกพร่อง (Defect) และความไม่เป็นระเบียบ (Disorder) ของโครงสร้างวงอะโรมาติกเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่าสเปกตรัมของรีดิวซ์กราฟีน-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยผู้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้ง

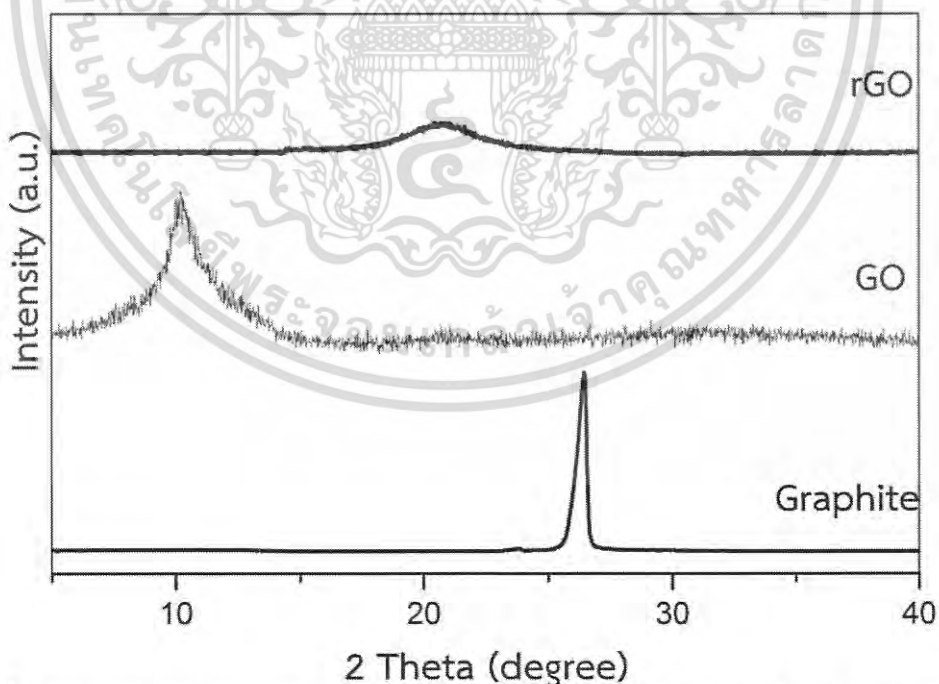
ออกไซด์แสดงพีค G band ที่ตำแหน่งประมาณ 1599 cm^{-1} และพีค D band ที่ตำแหน่ง 1345 cm^{-1} โดยอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G เพิ่มขึ้นจาก 0.94 เป็น 1.17 ซึ่งค่า D band มากกว่าค่า G band แสดงให้เห็นว่าหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ได้ถูกกำจัดไปบางส่วน อีกทั้งไฮดรอกซิลซึ่งเป็นตัวรีดิวซ์ซึ่งเอเจนต์ที่รุนแรงจึงทำให้โครงสร้างของวงอะโรมาติกเกิดการหลุดออก และมีการสร้างพันธะใหม่เพิ่มขึ้น แสดงถึงความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างของคาร์บอนที่เกิดขึ้น [45]

4.4 ผลการตรวจสอบลักษณะผลึกและอสัณฐาน

เทคนิค XRD ใช้หลักการของการยิงรังสีเอ็กซ์ ที่ทราบความยาวคลื่นไปกระทบที่ผิวหน้าผลึกของตัวอย่าง ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างๆ กัน โดยจะมีห้วงวัดเป็นตัวรับข้อมูล องศาในการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างแผ่นบางผสม ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาหาปริมาณของสารประกอบแต่ละชนิด และเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non-Destructive Method) ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐานเพื่อระบุวิฤภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

4.4.1 กราไฟต์ กราไฟต์ออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ผลการวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของกราฟไฟต์ กราไฟต์ออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.10



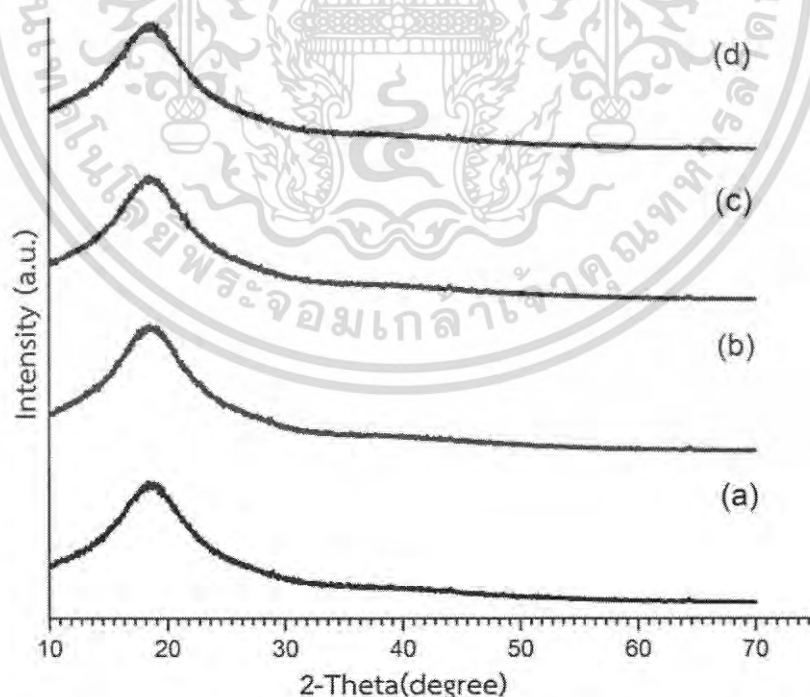
รูปที่ 4.10 XRD Pattern ของผงกราฟไฟต์ ผงกราฟไฟต์ออกไซด์ และผงรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากรูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ จะเห็นได้ว่าพบการพิคที่มีความเข้มสูงมากอยู่ที่ 2θ เท่ากับ 26.44° มีระยะห่างระหว่างระนาบเอกลสารเป็นเอกลสารที่สว่นเวลาหรับการเชิงงานเพื่อกการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้เขาไปเซประยชนดานการคาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือ 0.34 นาโนเมตร ซึ่งเป็นมุมการเลี้ยวเบนของกราฟไฟต์ [46] เนื่องจากกราฟไฟต์ที่เกิดจากการเรียงกันเป็นชั้นๆ ของกราฟีน ที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนเรียงตัวกันเป็นรูปหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้ง ยึดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ไม่สามารถละลายน้ำได้ และมีความเป็นผลึกสูง ส่งผลให้พีคมีความเข้มที่สูง แต่เมื่อนำผงกราฟไฟต์ไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยกรดเข้มข้นคือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) หลังการปรับสภาพทำให้มีหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หมู่คาร์บอนิล (-C=O) และหมู่อีพอกซี (C-O) เกิดขึ้นบนวงหกเหลี่ยมของแผ่นคาร์บอน ซึ่งทำให้มีความเป็นขี้วมมากขึ้น กราฟไฟต์ออกไซด์นี้จึงสามารถแขวนลอยในน้ำได้ หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้แทรกอยู่ตามชั้นของกราฟไฟต์ ส่งผลให้ระยะห่างระหว่างชั้นผลึกมีมากขึ้น และเป็นผลให้ความเป็นผลึกนั้นลดลงและการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ ต่างจากกราฟไฟต์คือ เกิดพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 10.20° มีระยะห่างระหว่างระนาบ คือ 0.86 นาโนเมตร เมื่อทำการรีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์จะพบว่าพีคได้เกิดการเลื่อนไปที่มุม 2θ เท่ากับ 20.45° มีระยะห่างระหว่างระนาบ คือ 0.43 นาโนเมตร โดยการเลื่อนของพีคบ่งบอกได้ว่ารีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์มีระยะห่างระหว่างชั้นที่น้อยกว่ากราฟไฟต์ออกไซด์ เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างเมื่อหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนและหมู่ไฮดรอกซิลบางส่วนที่หลุดออกไปจากโครงสร้าง โดยความเป็นผลึกที่ลดลงของรีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์ เป็นการยืนยันได้ว่ากราฟไฟต์ออกไซด์ได้ถูกรีดิวซ์แล้ว

4.4.2 แผ่นยางธรรมชาติผสม

ผลวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอัญฐานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์ในปริมาณต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

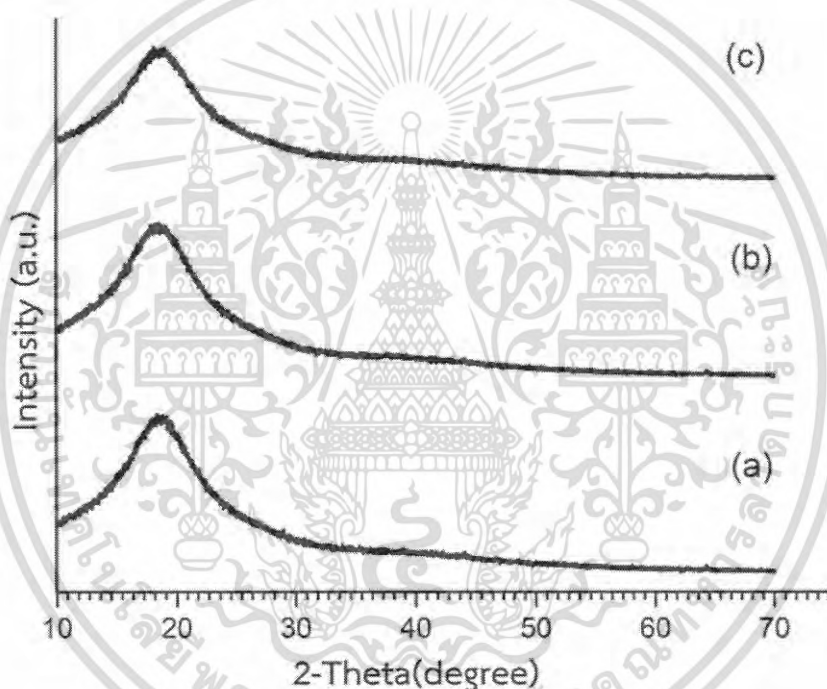


รูปที่ 4.11 XRD pattern ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ (a) แผ่นยางธรรมชาติ (b) แผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์ 0.05 wt.% (c) แผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์ 0.16 wt.% (d) แผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์ 0.27 wt.%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction ในรูป 4.3 (a)–(d) พบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ 2θ เท่ากับ 19° ซึ่งเป็นพีคที่เป็นแถบกว้างเนื่องจากการเลี้ยวเบนของยางธรรมชาติซึ่งมีลักษณะเป็นอสัณฐาน [47] แต่ไม่พบพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 20.45° ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ดังแสดงในรูปที่ 4.10 เนื่องจากอาจถูกบดบังโดยพีคที่เป็นแถบกว้างของยางธรรมชาติที่ขึ้นพีคแถบกว้างในบริเวณใกล้เคียงกัน และในงานวิจัยนี้มีการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงไปปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติจึงทำให้ไม่สามารถมองเห็นพีคของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ได้

ผลวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ แสดงดังรูป 4.12

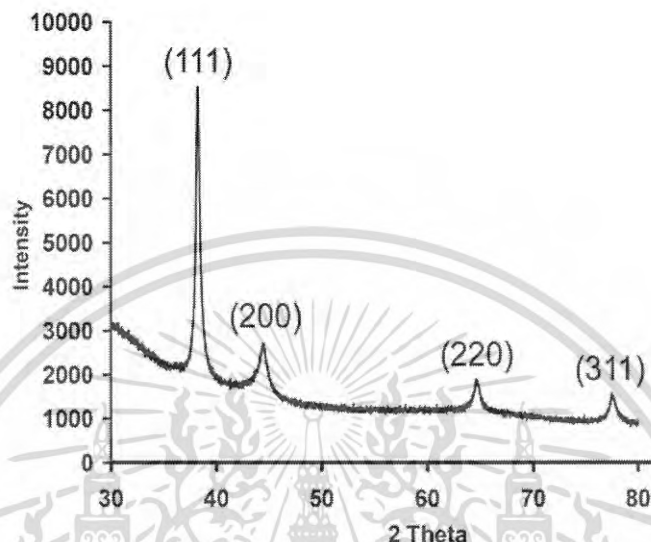


รูปที่ 4.12 XRD pattern ของแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (a) แผ่นยางธรรมชาติ (b) แผ่นยางผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 0.54 wt.% (c) แผ่นยางผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.08 wt.%

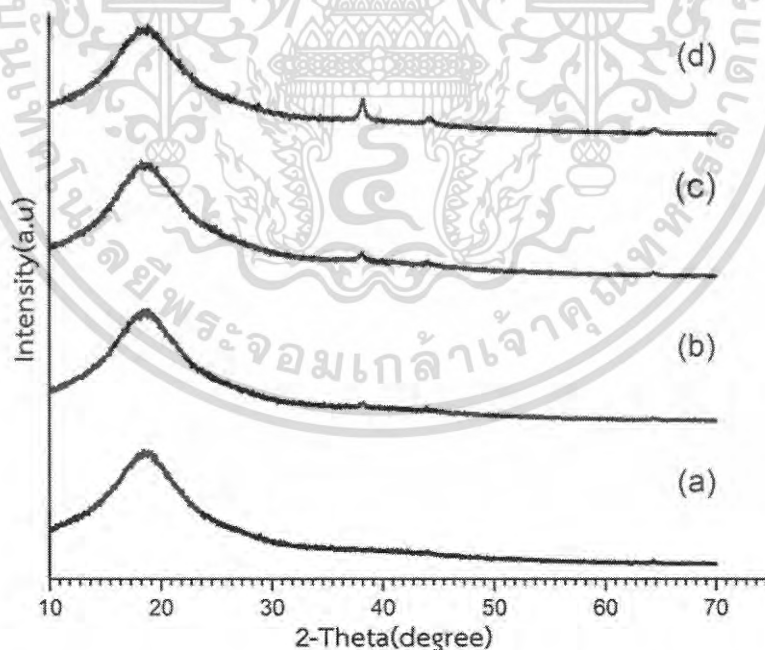
จากรูปที่ 4.12 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างของแผ่นยางธรรมชาติอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ พบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ 2θ เท่ากับ 19° ซึ่งเป็นพีคที่เป็นแถบกว้างเนื่องจากการเลี้ยวเบนของยางธรรมชาติซึ่งมีลักษณะเป็นอสัณฐาน แต่ไม่พบพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่เป็นเอกลักษณ์ของซิลเวอร์ เนื่องจากในการเตรียมขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ได้เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณที่น้อยมากๆ เมื่อเทียบกับปริมาณของน้ำยางธรรมชาติ (ร้อยละ 0.54 และ 1.08 โดยน้ำหนัก) ทำให้ยากต่อการตรวจวัดส่งผลให้ไม่ขึ้นพีคที่เป็นเอกลักษณ์ของซิลเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอัญฐานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแผ่นยางธรรมชาติ กับแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (0.16 ร้อยละโดยน้ำหนัก) ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณต่างๆ แสดงดังรูป 4.14 และ XRD pattern ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากงานวิจัยอ้างอิง แสดงดังรูป 4.13



รูปที่ 4.13 XRD pattern ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์จากงานวิจัยอ้างอิง [53]



รูปที่ 4.14 XRD pattern ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (0.16 wt.%) ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณต่างๆ (a) แผ่นยางธรรมชาติ (b) แผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 0.26 wt.% (c) แผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 0.52 wt.% (d) แผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 1.03 wt.%

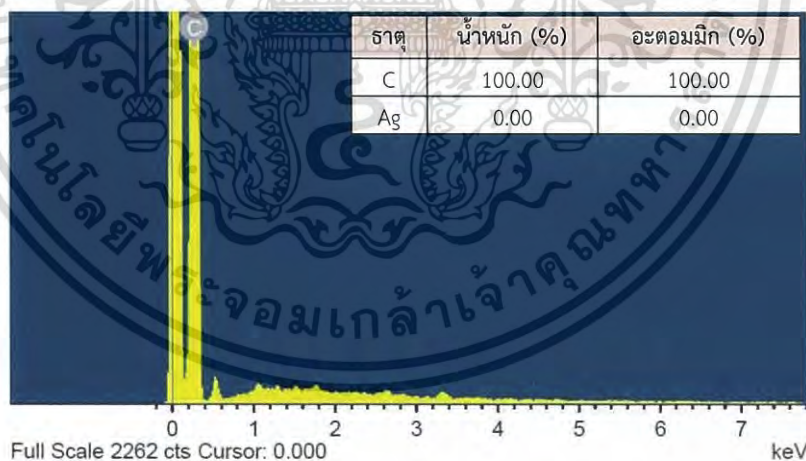
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีน ออกไซด์ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ พบว่าในทุกตัวอย่างก็จะพบพีคที่เป็นแถบกว้างอยู่ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 19° ซึ่งคือพีคที่เป็นแถบกว้างของยางธรรมชาติที่มีลักษณะเป็น ออสัณฐาน และในตัวอย่าง (b)-(d) พบว่าพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 38° 44° และ 64° จะสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณของอนุภาคนาโนซิลเวอร์มากขึ้น ที่มุมการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เหล่านี้เมื่อเทียบค่าดัชนีแล้วจะสื่อถึงระนาบ (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0) ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกได้ว่าเป็นระนาบของวัฏภาคของซิลเวอร์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ Face-centered cubic (fcc) [48], [49], [50], [51] และเกิดที่ตำแหน่งเดียวกันกับรูปที่ 4.13 ซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยของ P. Phanjom ซึ่งได้ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วย *Aspergillus oryzae* (MTCC No. 1846)

4.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ

เป็นการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบบนพื้นผิว จะมุ่งเน้นไปที่ธาตุคาร์บอน (C) และซิลเวอร์ (Ag) โดยตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์มีทั้งหมด 4 ตัวอย่าง คือ แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม (NR Pure) แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก (NR, rGO 0.16 wt.%) แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.08 โดยน้ำหนัก (NR, AgNPs 1.08 wt.%) และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก (NR, rGO 0.16 wt.%, AgNPs 1.03 wt.%) ซึ่งแสดงผลวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

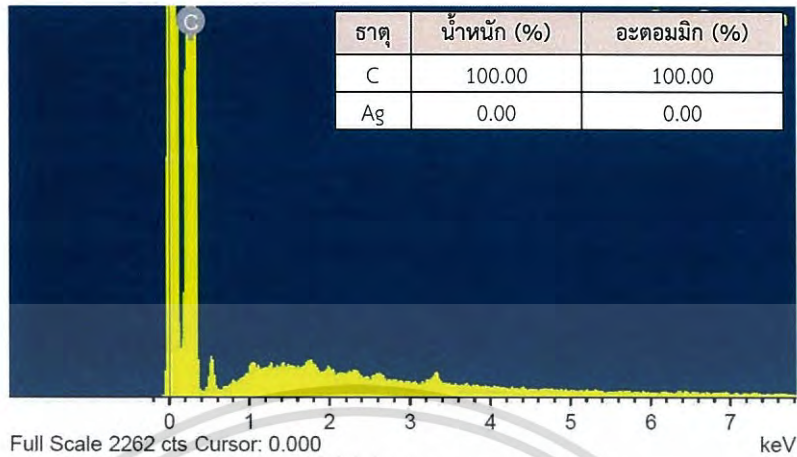
4.5.1 แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม



รูปที่ 4.15 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม (NR Pure)

จากรูปที่ 4.15 แสดงสเปกตรัมของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม (NR Pure) ตรวจวิเคราะห์พบธาตุบนพื้นผิวของตัวอย่างเพียงชนิดเดียวคือ คาร์บอน (C) ซึ่งมาจากคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติ

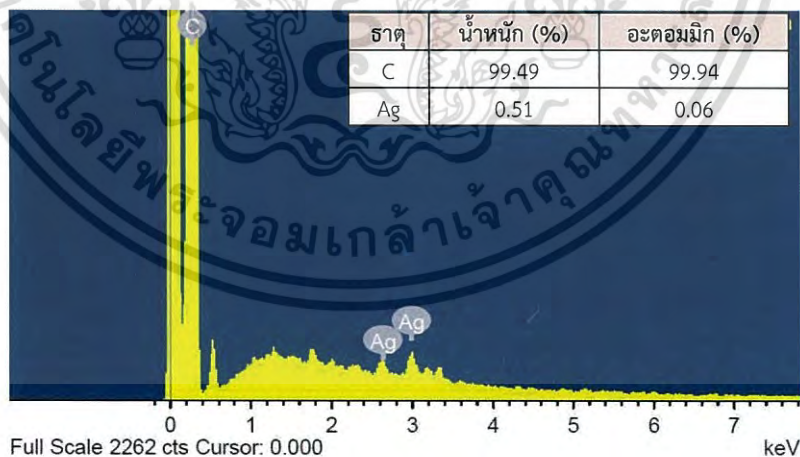
4.5.2 แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.16 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก (NR, rGO 0.16 wt.%)

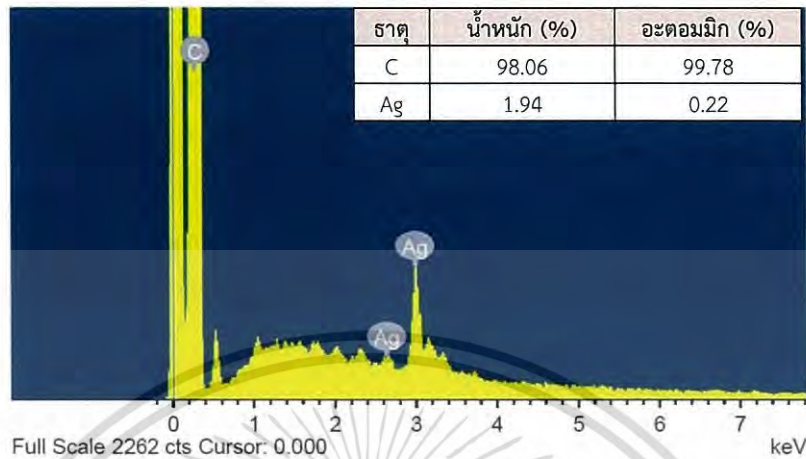
จากรูปที่ 4.16 แสดงสเปกตรัมของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก (NR, rGO 0.16 wt.%) ตรวจสอบวิเคราะห์พบธาตุบนผิวของตัวอย่างเพียงชนิดเดียวคือ คาร์บอน (C) ซึ่งมาจากคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.5.3 แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.08 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.17 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในและแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.08 โดยน้ำหนัก (NR, AgNPs 1.08 wt.%)

4.5.4 แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.18 แสดงเปคตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก (NR, rGO 0.16 wt.%, AgNPs 1.03 wt.%)

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.08 โดยน้ำหนักกับแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก

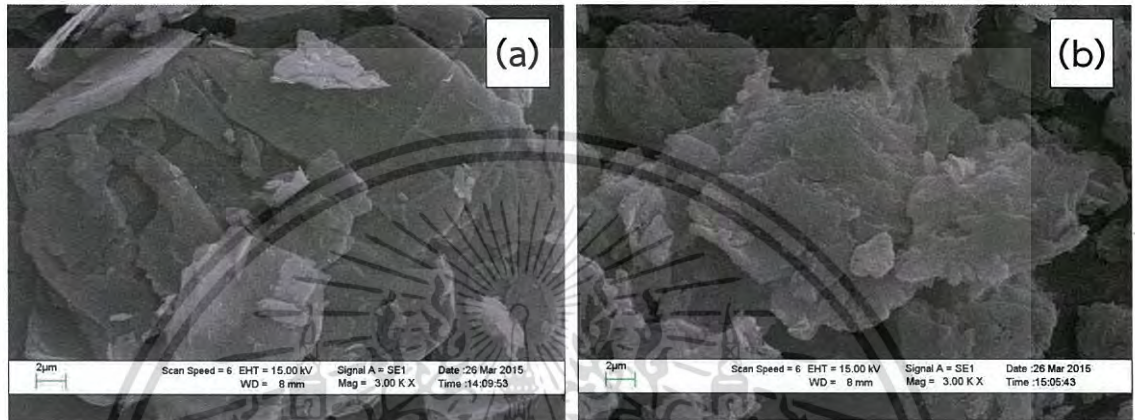
ธาตุ	ยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.08 โดยน้ำหนัก		ยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก	
	น้ำหนัก (%)	อะตอมมิก (%)	น้ำหนัก (%)	อะตอมมิก (%)
C	99.49	99.94	98.06	99.78
Ag	0.51	0.06	1.94	0.22

จากตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบองค์ประกอบของธาตุระหว่างแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก (NR, rGO 0.16 wt.%, AgNPs 1.03 wt.%) ในรูปที่ 4.17 กับแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.08 โดยน้ำหนัก (NR, AgNPs 1.08 wt.%) พบว่าแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.18) มีปริมาณของซิลเวอร์บนพื้นผิวของแผ่นยางมากกว่าแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.08 โดยน้ำหนัก (รูปที่ 4.17) ซึ่งสอดคล้องกับเทคนิค XRD ซึ่งเกิดจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่กระจายตัวได้ดีในแผ่นยางผสม ช่วยพาให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์กระจายตัวได้ดีในแผ่นยางธรรมชาติผสม เนื่องจากพอลิไวนิลไพโรลิโดนที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์อยู่ มีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกาะกับแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ได้ จึงเป็นผลให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์กระจายตัวได้ดีในแผ่นยางธรรมชาติผสม รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในเอกสารนี้ปริมาณคงที่ และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนักอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

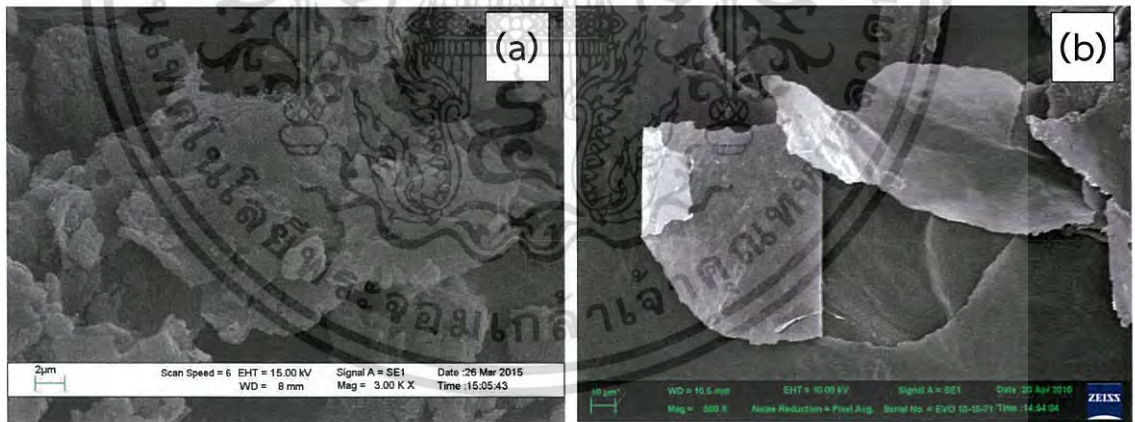
4.6 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของสารในระดับจุลภาค

4.6.1 กราไฟต์ กราไฟต์ออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของของสารตัวอย่างในระดับจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope) โดยทำการศึกษาผงกราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.19-4.20



รูปที่ 4.19 ภาพจากกล้อง SEM เปรียบเทียบระหว่างบริเวณพื้นผิวที่กำลังขยาย 3000 เท่า (a) กราไฟต์ (b) กราไฟต์ออกไซด์



รูปที่ 4.20 ภาพจากกล้อง SEM เปรียบเทียบระหว่าง (a) กราไฟต์ออกไซด์ กำลังขยาย 3000 เท่า (b) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 500 เท่า

จากรูปที่ 4.19-4.20 แสดงผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเปรียบเทียบระหว่างกราฟไฟต์ กราไฟต์ออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พบว่ากราฟไฟต์มีลักษณะเป็นแผ่นเกรนขนาดใหญ่ มีความเรียบและเป็นระเบียบมากกว่าเมื่อเทียบกับกราฟไฟต์ออกไซด์ซึ่งมีลักษณะเป็นเกล็ดเล็กๆ ซ้อนทับกันอยู่และแผ่นไม่เรียบ ส่วนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีลักษณะเป็นเกล็ดแผ่นบางซ้อนทับกันอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

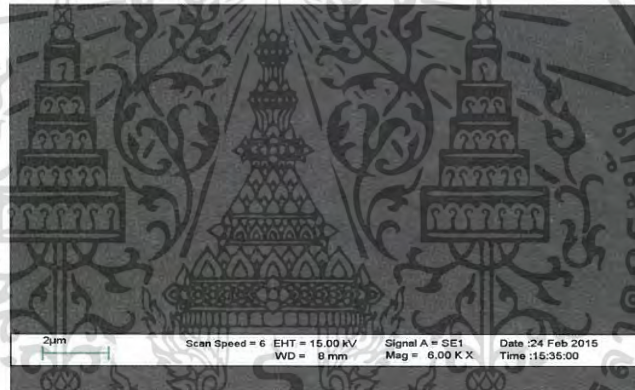
4.6.2 แผ่นยางธรรมชาติผสม

ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของของสารตัวอย่างในระดับจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope) โดยทำการศึกษาบริเวณพื้นผิว (Surface) และบริเวณภาพตัดขวาง (Cross section) แผ่นยางธรรมชาติผสม 2 ชนิดคือ

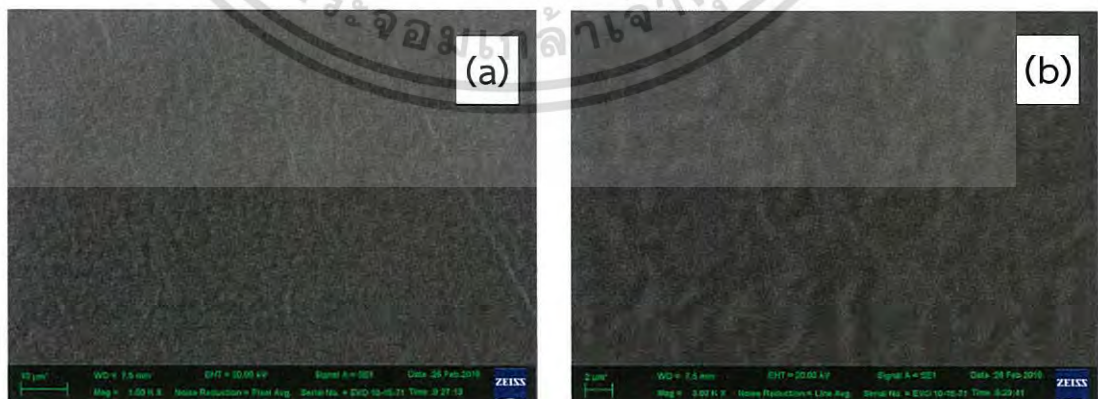
- แผ่นยางธรรมชาติผสมที่เติมรีติคิวราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.05 0.16 และ 0.27 โดยน้ำหนัก
 - แผ่นยางธรรมชาติผสมที่เติมรีติคิวราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.26 0.52 และ 1.03 โดยน้ำหนัก
- ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.6.2.1 บริเวณพื้นผิว (Surface)

ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของของสารตัวอย่างในระดับจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope) โดยทำการศึกษาบริเวณพื้นผิว (Surface) แสดงผลการศึกษาในรูปที่ 4.21-4.27

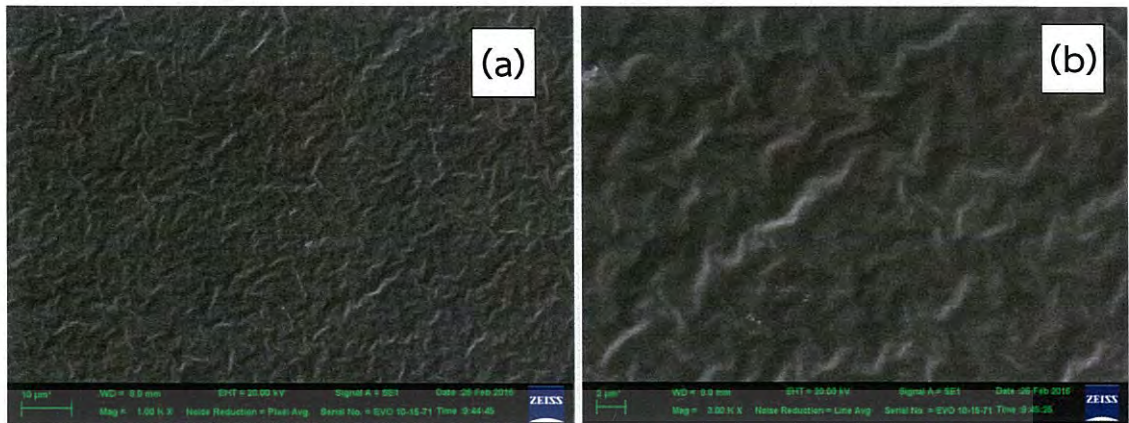


รูปที่ 4.21 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติกำลังขยาย 6000 เท่า

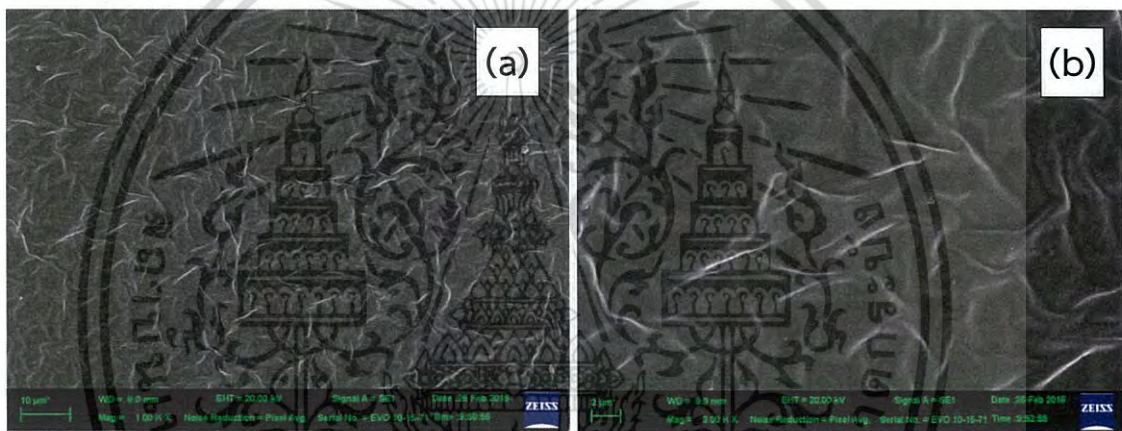


รูปที่ 4.22 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีติคิวราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า

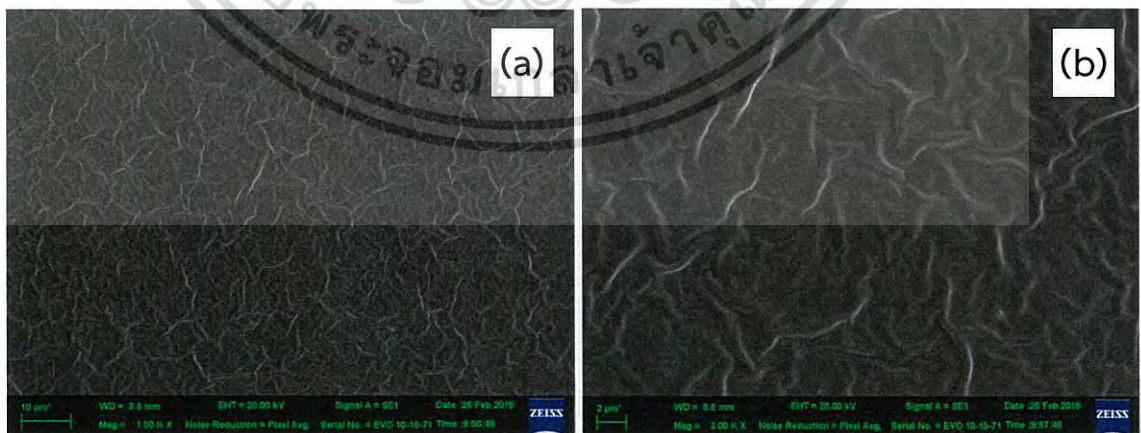
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า

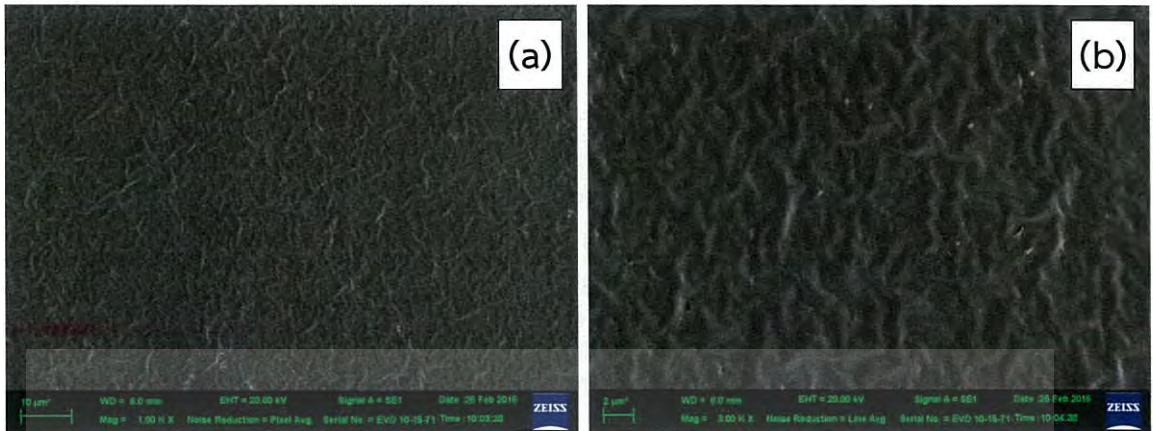


รูปที่ 4.24 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.27 โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า

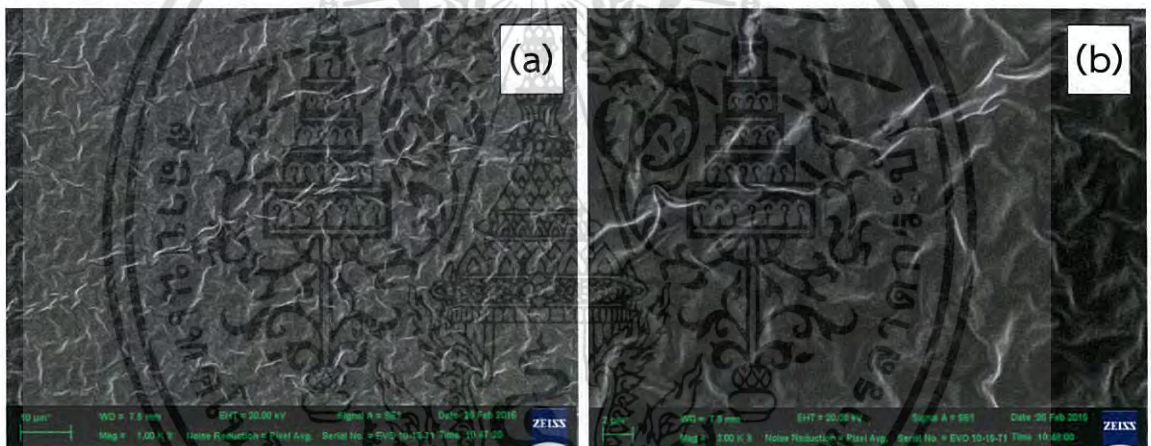


รูปที่ 4.25 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.26 โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.52 โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า



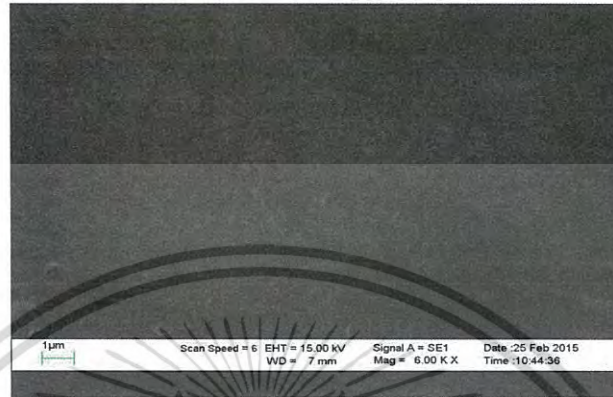
รูปที่ 4.27 ภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า

จากรูปที่ 4.24 ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) บริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติในรูปที่ 4.21 พบว่าพื้นผิวมีลักษณะเรียบ แต่เมื่อเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.05 0.16 และ 0.27 โดยน้ำหนัก ลงในแผ่นยางธรรมชาติ ในรูปที่ 4.22-4.24 เมื่อปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้น บริเวณพื้นผิวมีลักษณะเป็นรอยย่นและมีความขรุขระมากขึ้น เนื่องจากมีการกระจายตัวของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ตีส่วนบริเวณพื้นผิวในรูปที่ 4.25-4.27 ของแผ่นยางธรรมชาติที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.26 0.52 และ 1.03 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่ามีรอยย่นเช่นกันกับแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2.2 บริเวณภาพตัดขวาง (Cross section)

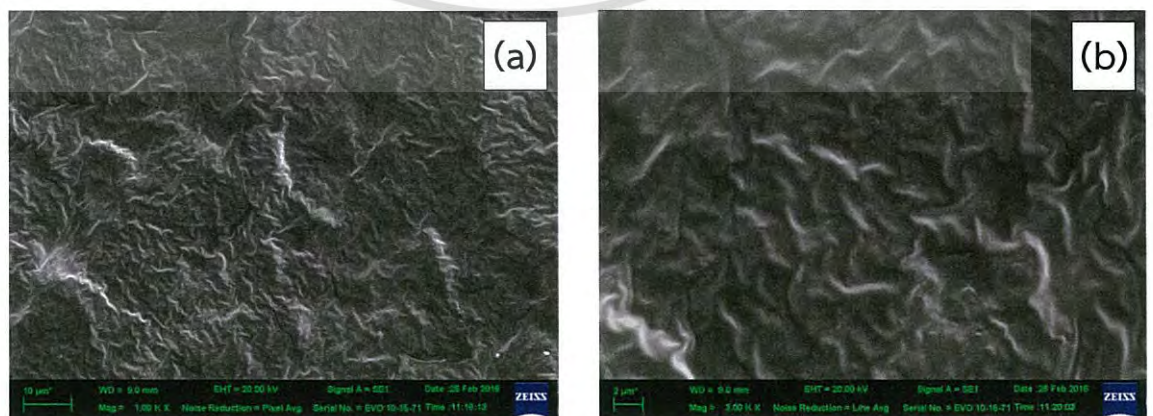
ผลการศึกษาลักษณะสัมพันธ์ฐานวิทยาของของสารตัวอย่างในระดับจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope) โดยทำการศึกษารูปภาพตัดขวาง (Cross section) แสดงผลการศึกษาในรูปที่ 4.28-4.33



รูปที่ 4.28 ภาพจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติ กำลังขยาย 6000 เท่า

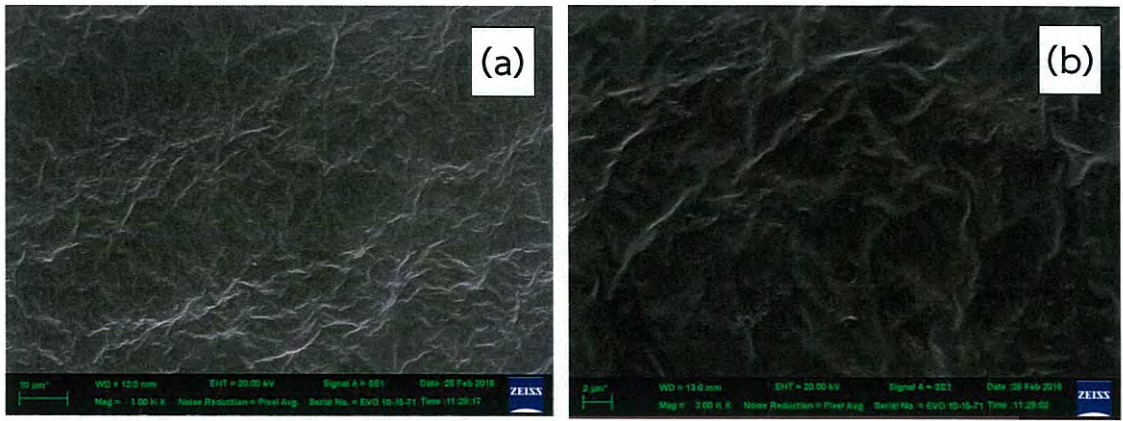


รูปที่ 4.29 ภาพจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า

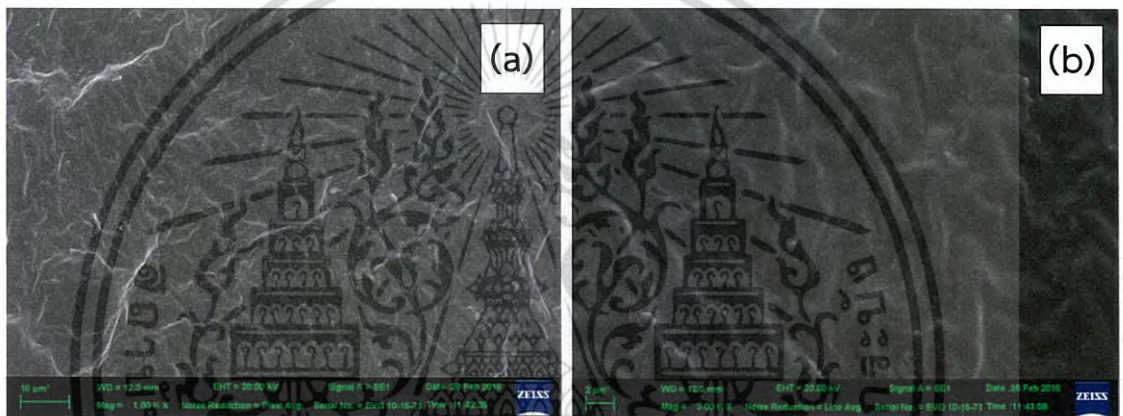


รูปที่ 4.30 ภาพจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า

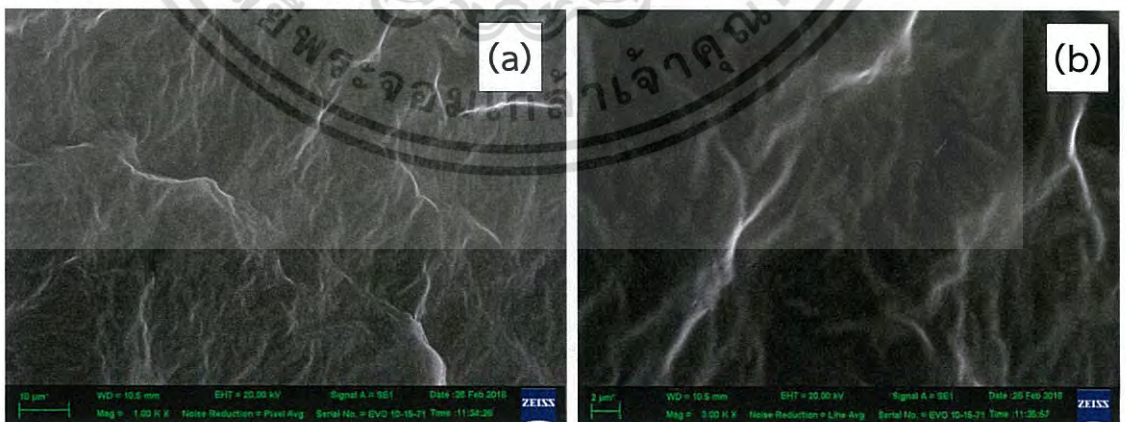
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และข้อมูลทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับงานวิชาการโดยไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 ภาพจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.27 โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 3000 เท่า (b) 6000 เท่า



รูปที่ 4.32 ภาพจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.52 โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า



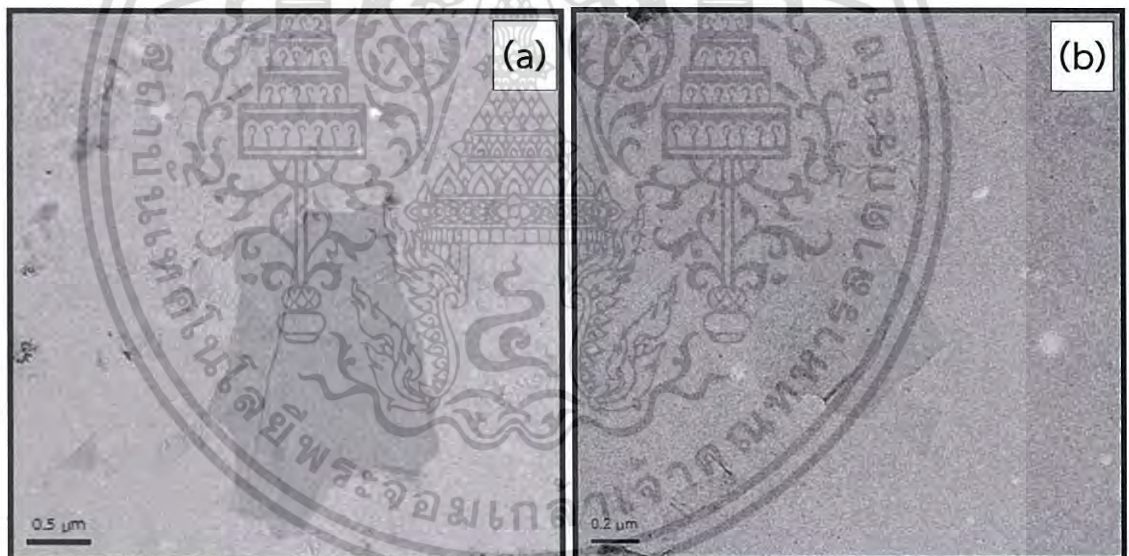
รูปที่ 4.33 ภาพจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก กำลังขยาย (a) 1000 เท่า (b) 3000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.31 ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่บริเวณภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติในรูปที่ 4.28 พบว่าภาพตัดขวางมีลักษณะเรียบ แต่เมื่อเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.05 0.16 และ 0.27 โดยน้ำหนัก ในรูปที่ 4.29-4.31 ลงในแผ่นยางธรรมชาติ เมื่อปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้น บริเวณภาพตัดขวางมีลักษณะเป็นรอยย่นและขรุขระมากขึ้น เนื่องจากมีการกระจายตัวของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ดี ส่วนภาพตัดขวางแผ่นยางธรรมชาติที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) กับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.27 0.52 และ 1.03 โดยน้ำหนักในรูปที่ 4.31 4.32 และ 4.33 ตามลำดับ พบว่าภาพตัดขวางมีลักษณะเป็นรอยย่นเช่นเดียวกันกับแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

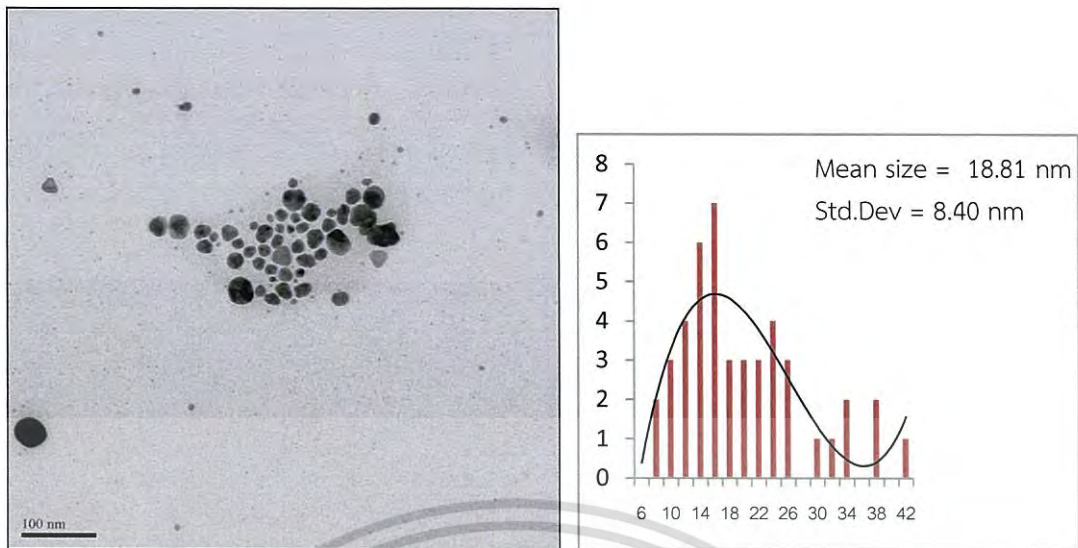
4.7 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

ผลการวิเคราะห์ขนาดและอนุภาคของสารตัวเติม 4 ตัวอย่าง คือ สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ สารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และสารแขวนลอยที่ผสมระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.34-4.36



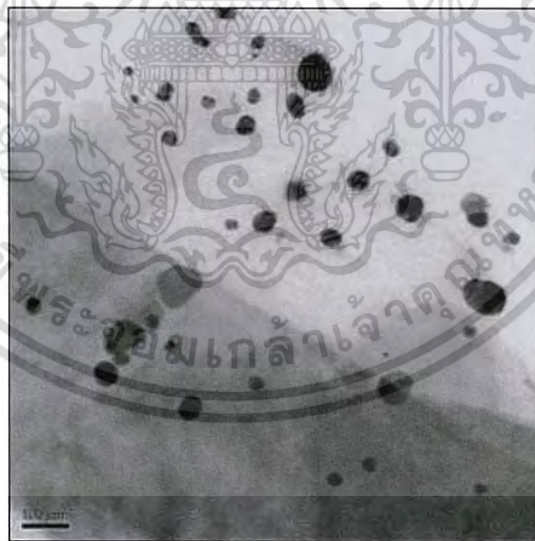
รูปที่ 4.34 ภาพถ่ายจากกล้อง TEM ของ (a) กราฟีนออกไซด์ และ (b) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

รูปที่ 4.34 ภาพถ่ายจากกล้อง TEM ของ (a) กราฟีนออกไซด์ แสดงให้เห็นรูปร่างมีลักษณะเป็นแผ่นมีความกว้างประมาณ 1500 นาโนเมตร และยาวประมาณ 2000 นาโนเมตร ส่วน (b) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีลักษณะเป็นแผ่นบางมีความกว้างประมาณ 660 นาโนเมตร และยาวประมาณ 830 นาโนเมตร ซึ่งมีความบางและขนาดเล็กกว่ากราฟีนออกไซด์เนื่องจากใช้ไฮดราซีนในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งมีความรุนแรงสูง จึงทำลายพันธะในวงอะโรมาติกให้ขาดออกจากกัน ทำให้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีขนาดเล็กและบางลง



รูปที่ 4.35 ภาพ TEM ของสารแขวนลอยนาโนซิลเวอร์

จากรูปที่ 4.35 ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยเทคนิค TEM ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์หลังจากผ่านคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 75 วินาที โดยสารแขวนลอยที่เตรียมได้มีความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เท่ากับ 20.00 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และความเข้มข้นของสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดนเท่ากับ 16 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีขนาดของอนุภาคที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 18.81 นาโนเมตร



รูปที่ 4.36 ภาพ TEM สารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์

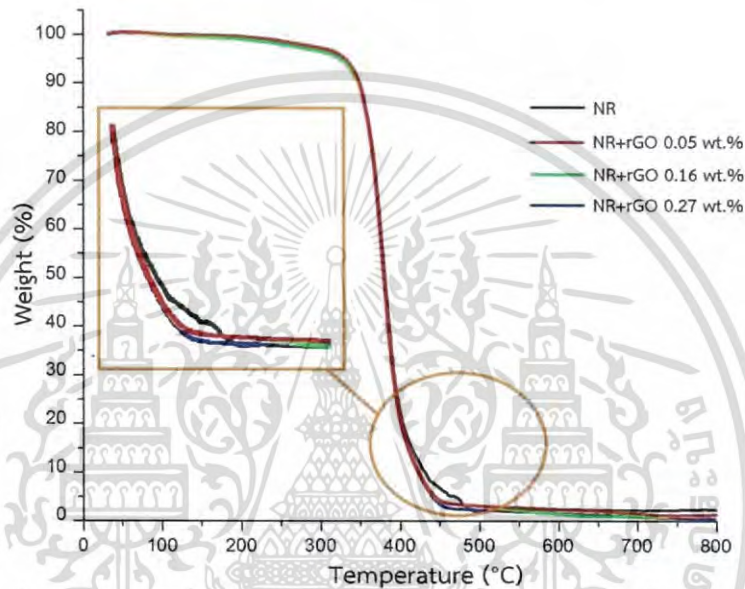
จากรูปที่ 4.36 ภาพที่ได้จากการถ่ายด้วยเทคนิค TEM ของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยจากภาพแสดงให้เห็นถึงรูปร่างของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

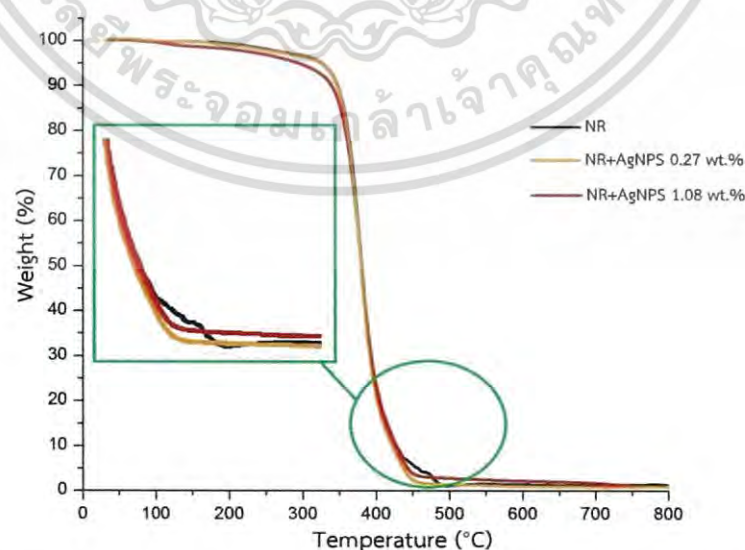
4.8 ผลการวิเคราะห์เชิงความร้อน

เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุโดยเฉพาะพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่ง โดยใช้อุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 800 °C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยวิเคราะห์แผ่นยางธรรมชาติผสม 3 ชนิดคือ

- แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.05 0.16 และ 0.27 โดยน้ำหนัก
- แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.27 และ 1.08 โดยน้ำหนัก
- แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในอัตราคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) และเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.26 และ 1.03 โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

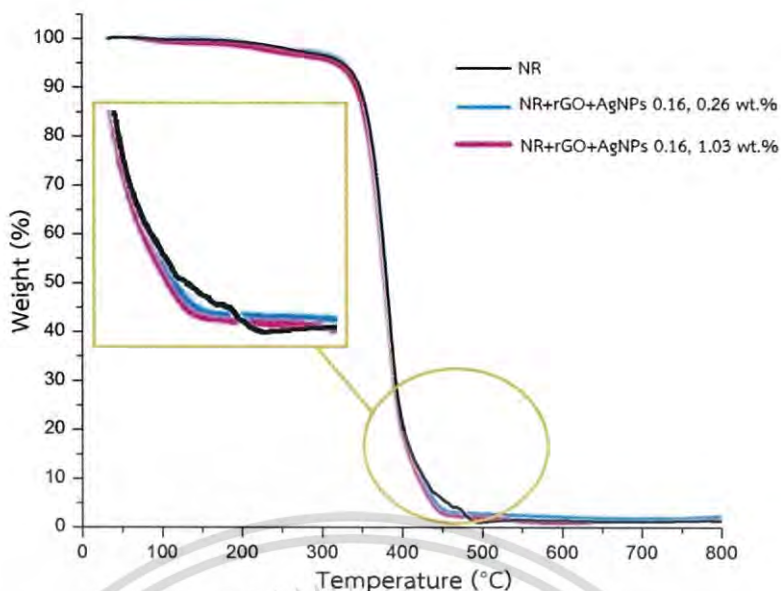


รูปที่ 4.37 แสดงเทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ TGA จากผลการทดสอบพบว่าการสลายตัวของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 0.05 0.16 และ 0.27 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.38 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณร้อยละ 0.27 และ 1.08 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.39 แสดงการสูญเสียน้ำหนักของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในอัตราคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) และเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณร้อยละ 0.26 และ 1.03 โดยน้ำหนัก

แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 0.05 0.16 และ 0.27 โดยน้ำหนัก ในรูปที่ 4.40 แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.27 และ 1.08 โดยน้ำหนัก ในรูปที่ 4.41 และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในอัตราคงที่ และเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.26 และ 1.03 โดยน้ำหนัก ในรูปที่ 4.42 ทั้งหมดไม่ทำให้การสลายตัวของแผ่นยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์นั้นเริ่มสลายตัวได้ง่ายกว่ายางธรรมชาติ [52] ส่งผลให้เสถียรภาพทางความร้อนไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก อีกทั้งการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ยังเป็นการเติมในปริมาณเพียงเล็กน้อย ส่วนอนุภาคนาโนซิลเวอร์นั้นช่วยให้เสถียรภาพทางความร้อนในพอลิเมอร์คอมโพสิตดีขึ้นเล็กน้อย [52] อาจจะเป็นเพราะซิลเวอร์เป็นโลหะที่มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 960°C แต่เนื่องจากปริมาณของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ใช้เป็นสารตัวเติมนั้นมีปริมาณที่น้อยมาก จึงไม่ทำให้เสถียรภาพทางความร้อนเปลี่ยนแปลงมากนัก โดยสังเกตอุณหภูมิสลายตัวของพอลิไอโซพรีนที่อุณหภูมิตั้งแต่ $300\text{--}400^{\circ}\text{C}$ [52] มีค่าที่ไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงอุณหภูมิเริ่มต้นการสลายตัวและอุณหภูมิสิ้นสุดการสลายตัวของแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่าง

ชนิดของแผ่นยางธรรมชาติผสม	อุณหภูมิเริ่มการสลายตัวของพอลิไอโซพรีน (°C)	อุณหภูมิสิ้นสุดการสลายตัวของพอลิไอโซพรีน (°C)
NR	358.4	380.7
NR+rGO 0.05 wt. %	357.6	377.5
NR+rGO 0.16 wt. %	356.7	379.7
NR+rGO 0.27 wt. %	357.4	379.4
NR+AgNPs 0.27 wt. %	354.4	379.5
NR+AgNPs 1.08 wt. %	356.4	379.4
NR+rGO 0.16 wt. % ,AgNPs 0.26 wt. %	356.2	379.9
NR+rGO 0.16 wt. % ,AgNPs 1.03 wt. %	366.8	378.4

4.9 ผลการศึกษสมบัติเชิงกล

ศึกษาสมบัติเชิงกล (Tensile testing) โดยการทดสอบความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยแบ่งตามการเติมส่วนผสมดังต่อไปนี้

- แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.05 0.10 0.16 0.21 และ 0.27 โดยน้ำหนัก
- แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.27 0.54 และ 1.08 โดยน้ำหนัก
- แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในอัตราคงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) และเติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 0.26 0.52 และ 1.03 โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังตารางที่ 4.5-4.7

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการทดสอบการดึงแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ

รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (wt.%)	Young's Modulus (MPa)	Stiffness (N/mm)	Stress at Maximum Load (MPa)	Load at Break (N)
0	0.67	0.12	1.06	5.91
0.05	0.74	0.14	1.36	7.48
0.16	0.80	0.15	2.21	14.89
0.27	0.87	0.16	2.32	17.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

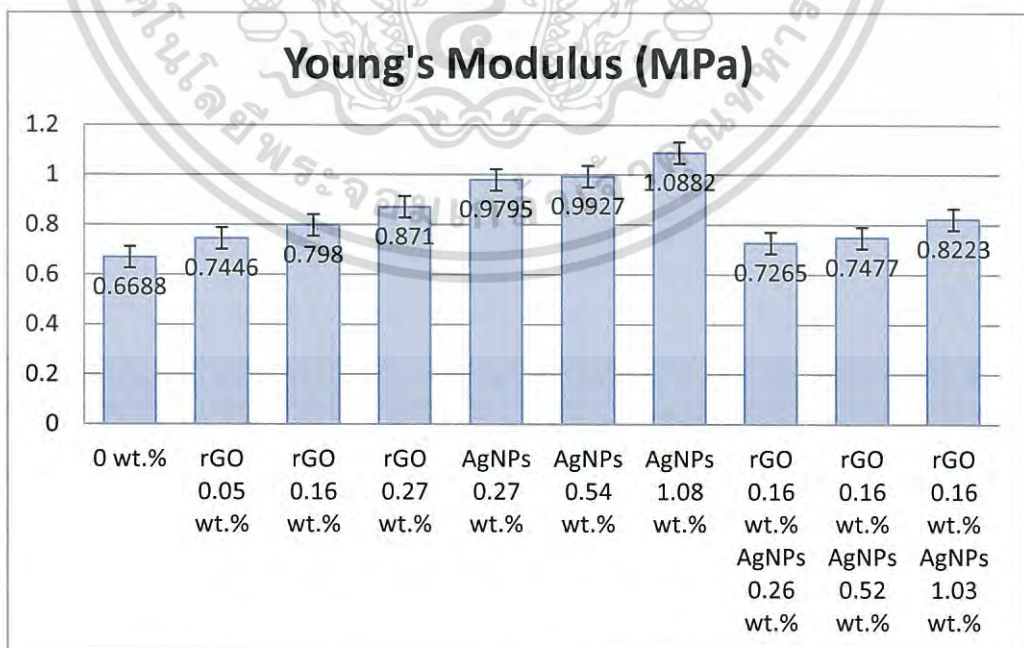
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการทดสอบการดึงแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปริมาณต่างๆ

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (wt.%)	Young's Modulus (MPa)	Stiffness (N/mm)	Stress at Maximum Load (MPa)	Load at Break (N)
0	0.67	0.12	1.06	5.91
0.27	0.97	0.18	0.52	0.71
0.54	0.99	0.20	0.45	1.16
1.08	1.09	0.21	0.39	1.87

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าการทดสอบการดึงแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์คงที่ (ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก) และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปริมาณต่างๆ

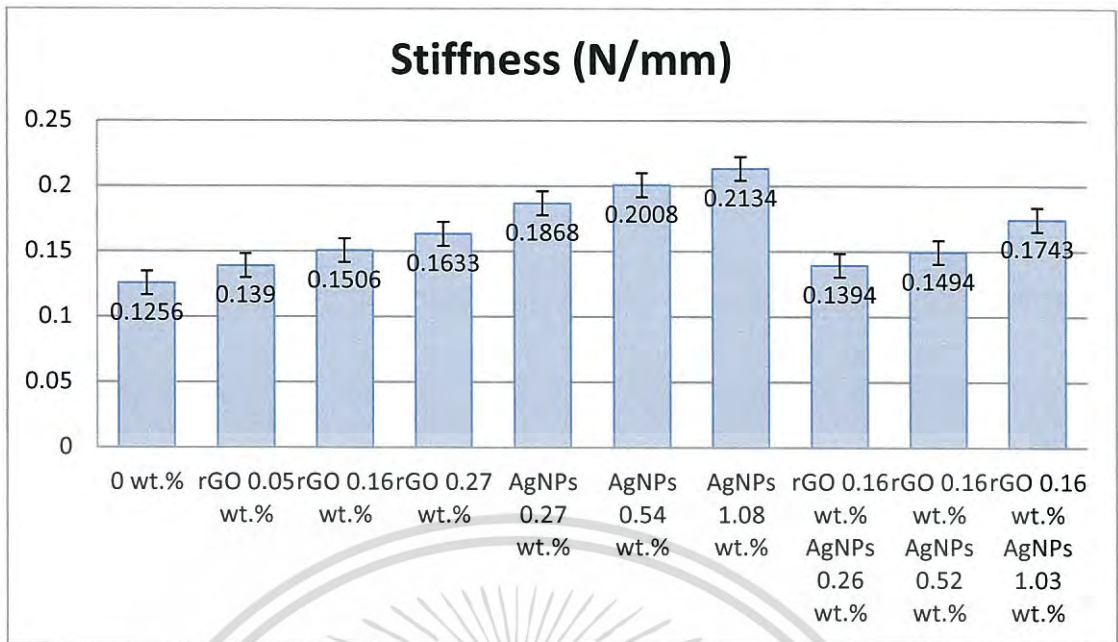
รีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ (wt.%)	อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (wt.%)	Young's Modulus (MPa)	Stiffness (N/mm)	Stress at Maximum Load (MPa)	Load at Break (N)
0.16	0.26	0.73	0.14	1.8060	10.29
0.16	0.52	0.75	0.15	1.4237	8.47
0.16	1.03	0.82	0.17	1.0519	6.63

จากผลการทดสอบแรงดึงของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ สามารถแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างแต่ละตัวอย่างที่มีปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เติมลงไป ในแผ่นยางธรรมชาติแตกต่างกันดังต่อไปนี้

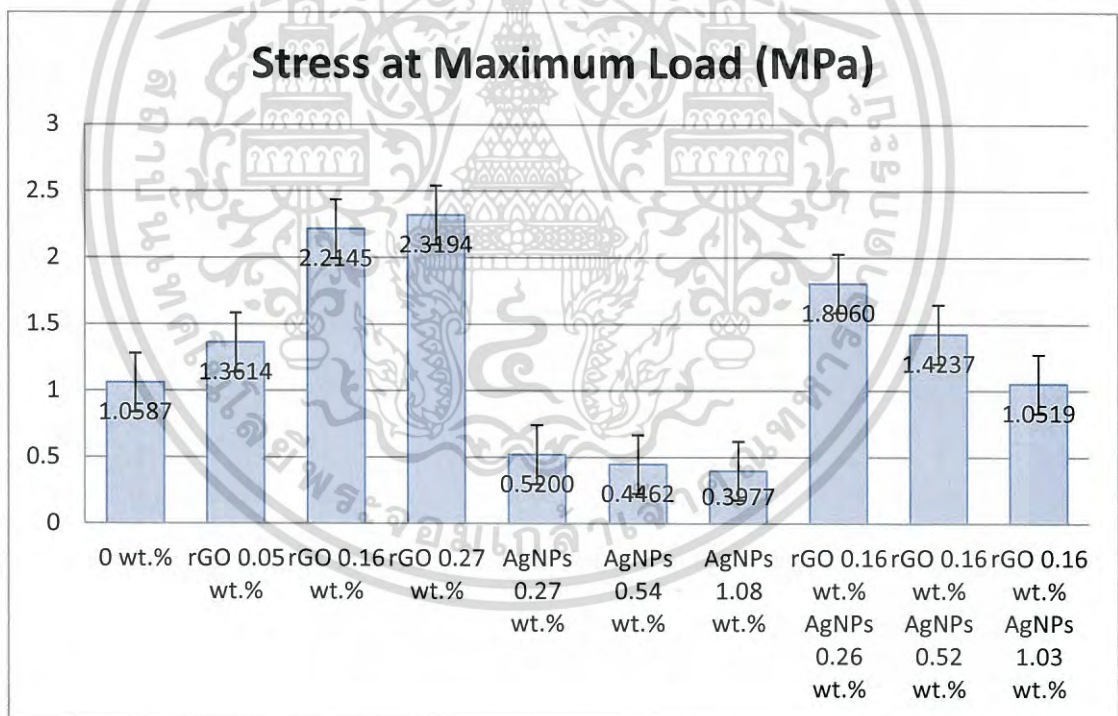


รูปที่ 4.43 แสดงการเปรียบเทียบค่า Young's Modulus ของแผ่นยางผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

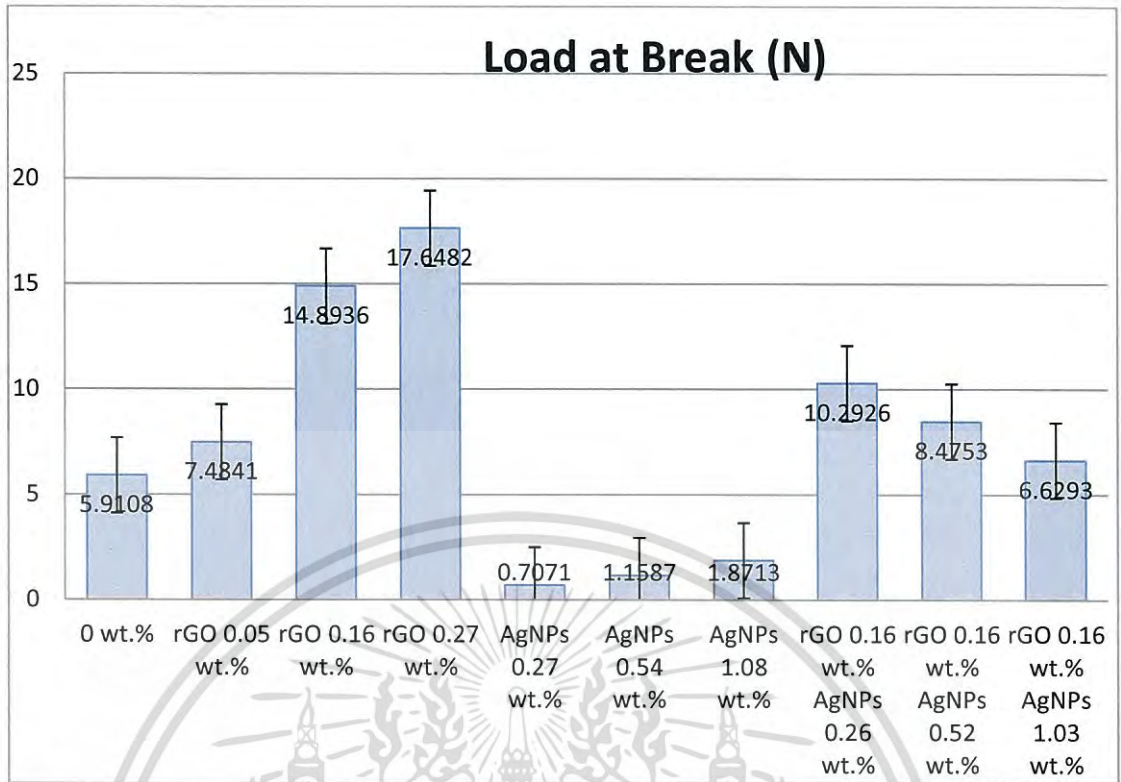


รูปที่ 4.44 แสดงการเปรียบเทียบค่า Stiffness ของแผ่นยางผสม

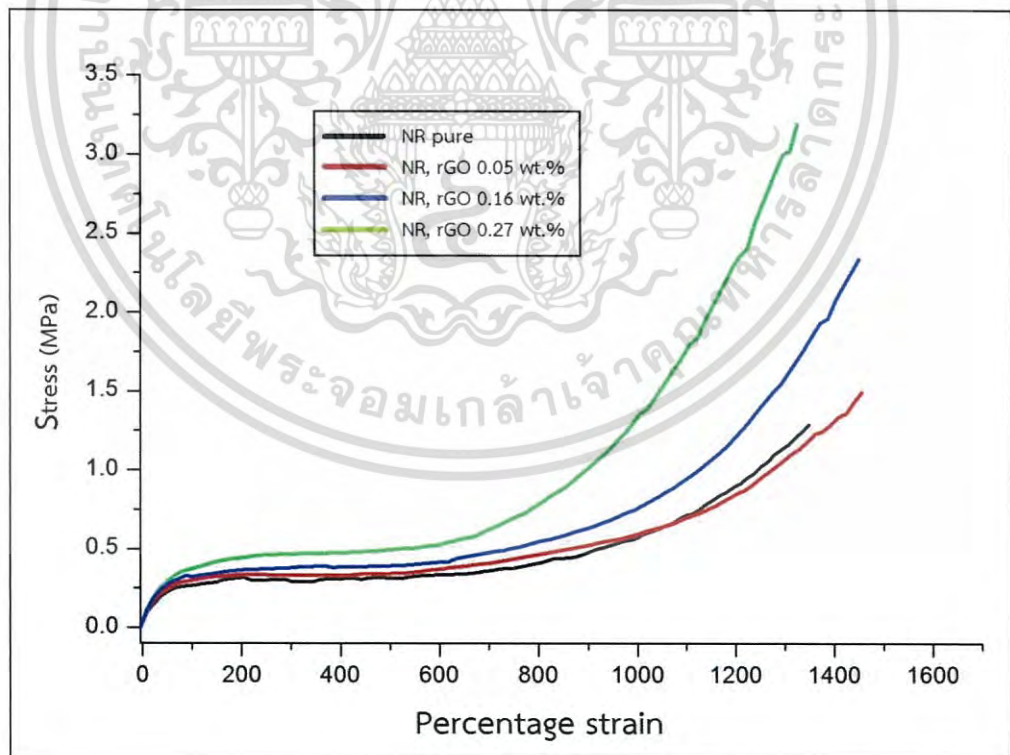


รูปที่ 4.45 แสดงการเปรียบเทียบค่า Percentage Strain at Maximum Load ของแผ่นยางผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

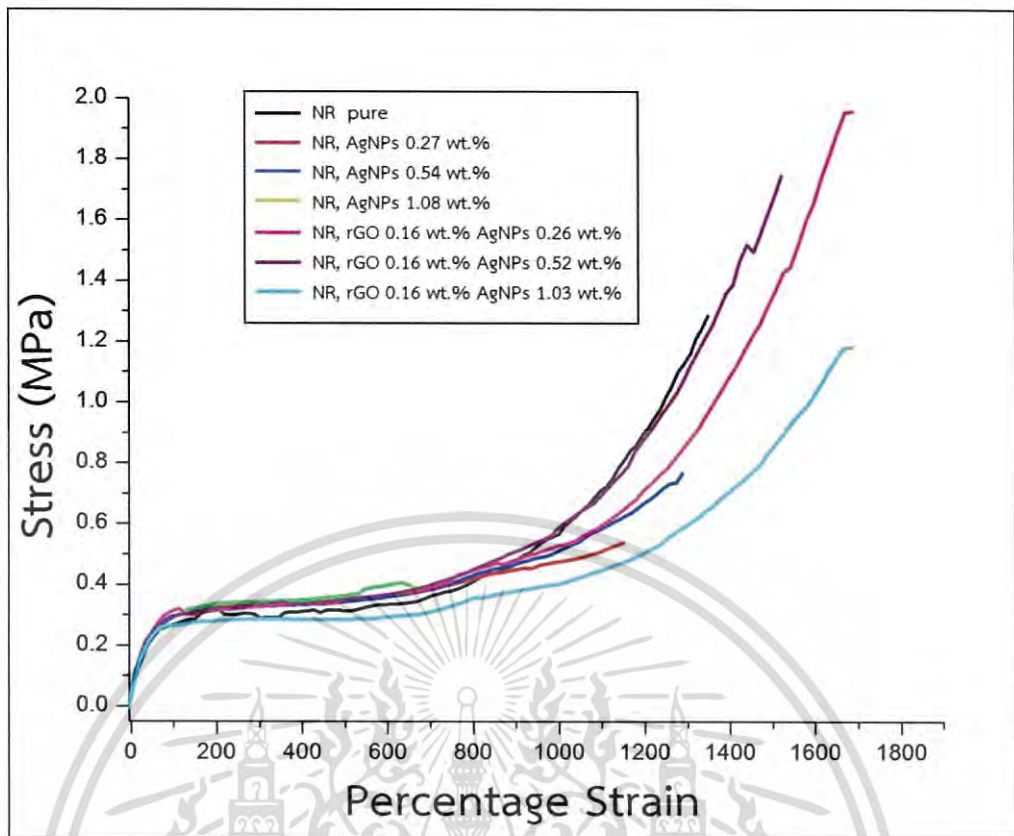


รูปที่ 4.46 แสดงการเปรียบเทียบค่า Load at Break ของแผ่นยางผสม



รูปที่ 4.47 แสดงตัวอย่างกราฟ Tensile strength ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.48 แสดงตัวอย่างกราฟ Tensile strength ของแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณต่างๆ

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเมื่อเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในแผ่นยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าการคงรูป (Stiffness) ค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) และค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum load) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในขณะที่แผ่นยางธรรมชาติที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เมื่อเพิ่มปริมาณอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) ค่าการคงรูป (Stiffness) และค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum load) มีค่าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ส่วนยางธรรมชาติที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เมื่อเพิ่มปริมาณอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) และค่าการคงรูป (Stiffness) เพิ่มขึ้น แต่ค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) และค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum load) มีค่าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 4.7

จากรูปที่ 4.42-4.45 เมื่อเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงไปทำให้ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าการคงรูป (Stiffness) ค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum load) และค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) มีค่าสูงขึ้น นั่นก็คือสามารถทนต่อแรงดึงได้สูงขึ้น ส่วนแผ่นยางธรรมชาติที่ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลงไป เกิดการเสียสภาพของแผ่นยางผสม จะเห็นได้ว่าค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) และค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum load) มีค่าลดลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ส่วนแผ่นยาง

ธรรมชาติที่ผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ค่ามอดูลัสของยังไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Young's Modulus) และค่าการคงรูป (Stiffness) มีค่าใกล้เคียงกับแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ ค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) และค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum load) มากกว่าแผ่นยางธรรมชาติที่ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ แสดงให้เห็นว่ารีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ไปช่วยเสริมแรงของแผ่นยางธรรมชาติที่ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์และรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์

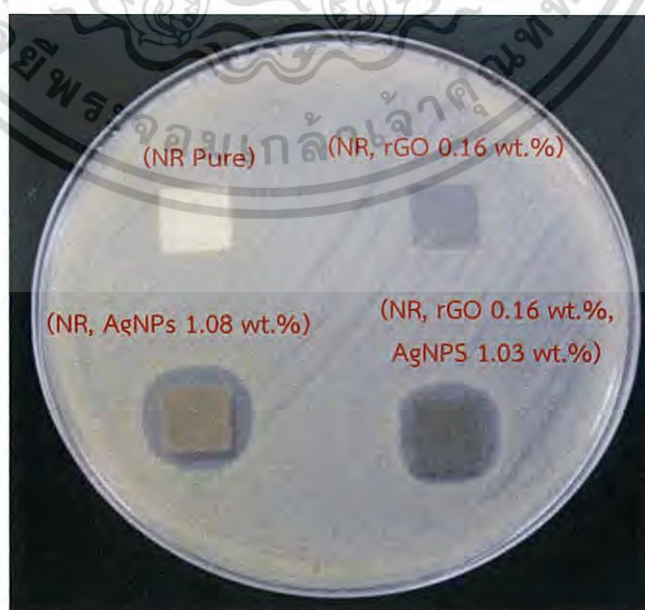
4.10 การทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียนี้ได้ใช้วิธี Agar disc diffusion โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923) และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (*Escherichia coli* ATCC 25922) แบคทีเรียที่ใช้ทดสอบมีจำนวน 1×10^8 cfu/g (Colony forming unit) ซึ่งวัดผลโดยการวัดรัศมีของโซนยับยั้ง (Inhibition Zone) ในหน่วยมิลลิเมตร (mm) โดยแผ่นยางธรรมชาติผสมที่ใช้ในการทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมีทั้งหมด 4 ชนิด โดยแบ่งตามการเติมส่วนผสมดังต่อไปนี้

- แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม (NR Pure)
- แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก (NR, rGO 0.16 wt.%)
- แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.08 โดยน้ำหนัก (NR, AgNPs 1.08 wt.%)
- แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก (NR, rGO 0.16 wt.%, AgNPs 1.03 wt.%)

4.10.1 ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก

จากการศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมด้วยวิธี Agar disc diffusion โดยใช้เชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*) โดยแสดงรัศมีของโซนยับยั้ง (Inhibition Zone) ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.49

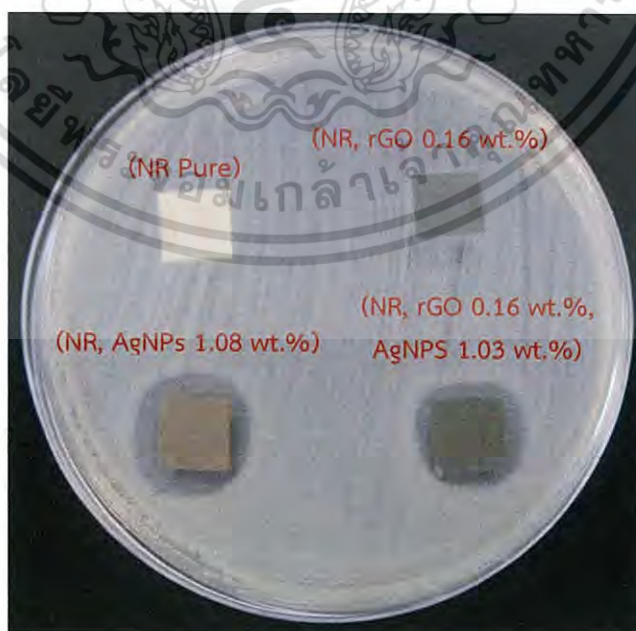


รูปที่ 4.49 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 พบว่าแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม (NR Pure) และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (NR, rGO 0.16 wt.%) ไม่มีโซนยับยั้งเกิดขึ้น จึงไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก ส่วนแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (NR, AgNPs 1.08 wt.%) มีรัศมีของโซนยับยั้ง (Inhibition Zone) มากที่สุดคือ 4.17 มิลลิเมตร จึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกมากที่สุด และรองลงมาคือแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (NR, rGO 0.16 wt.%, AgNPs 1.03 wt.%) มีรัศมีของโซนยับยั้ง (Inhibition Zone) เท่ากับ 3.5 มิลลิเมตร สาเหตุที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้เพราะอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะแตกตัวเป็นซิลเวอร์ไอออนแทรกเข้าไปภายในเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียไปจับกับโปรตีนที่สำคัญ เช่น โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการหายใจของเซลล์ ส่งผลให้โปรตีนเหล่านั้นไม่สามารถทำงานได้ ก็จะทำให้แบคทีเรียตาย [12] แผ่นยางธรรมชาติที่ผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (NR, rGO 0.16%wt, AgNPs 1.03%wt) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียน้อยกว่าแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (NR, AgNPs 1.08 wt.%) เนื่องจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์อาจไปขัดขวางการแพร่ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไม่ให้ออกจากเมทริกซ์ของยางธรรมชาติเพื่อไปยังเชื้อบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกับแบคทีเรียได้มากนัก ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจึงลดลง แต่อย่างไรก็ตามแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (NR, AgNPs 1.08 wt.%) มีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีและเสียสภาพได้ง่าย จึงไม่เหมาะกับการประยุกต์ใช้งาน ซึ่งแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (NR, rGO 0.16 wt.%, AgNPs 1.03 wt.%) มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าจึงเหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุด

4.10.2 ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ

จากการศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมด้วยวิธี Agar disc diffusion โดยใช้เชื้อแบคทีเรียแกรมลบแกรมลบ (*E. coli*) โดยแสดงรัศมีของโซนยับยั้ง (Inhibition Zone) ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.50



รูปที่ 4.50 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 พบว่าแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม (NR Pure) และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (NR, rGO 0.16 wt.%) ไม่มีโซนยับยั้งเกิดขึ้น จึงไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ เช่นเดียวกับการทดสอบในเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก ส่วนแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (NR, AgNPs 1.08 wt.%) มีรัศมีของโซนยับยั้ง (Inhibition Zone) มากที่สุด คือ 4.5 มิลลิเมตร จึงมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบมากที่สุด และรองลงมาคือ แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (NR, rGO 0.16 wt.%, AgNPs 1.03 wt.%) มีรัศมีของโซนยับยั้ง (Inhibition Zone) เท่ากับ 3.67 มิลลิเมตร สาเหตุที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ เพราะอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะแตกตัวเป็นซิลเวอร์ไอออนแทรกเข้าไปภายในเซลล์ไปจับกับโปรตีนที่สำคัญ เช่น โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการหายใจของเซลล์ ส่งผลให้โปรตีนเหล่านั้นไม่สามารถทำงานได้ ทำให้เชื้อแบคทีเรียตาย [12] แผ่นยางธรรมชาติที่ผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (NR, rGO 0.16%wt, AgNPs 1.03%wt) มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียน้อยกว่าแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (NR, AgNPs 1.08 wt.%) เนื่องจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์อาจไปขัดขวางการแพร่ของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไม่ให้ออกจากเมทริกซ์ของยางธรรมชาติเพื่อไปยับยั้งเชื้อบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกับแบคทีเรียได้มากนัก ประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียจึงลดลง แต่อย่างไรก็ตามแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (NR, AgNPs 1.08 wt.%) มีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดีและเสถียรภาพได้ง่าย จึงไม่เหมาะกับการประยุกต์ใช้งาน แต่แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (NR, rGO 0.16 wt.%, AgNPs 1.03 wt.%) มีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าจึงเหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้มากที่สุด

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมเงื่อนไขต่างๆ โดยการวัดรัศมีของโซนยับยั้ง (Inhibition Zone)

ตัวอย่างแผ่นยางธรรมชาติ	การวัดซ้ำ	โซนยับยั้ง (mm.)	
		<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>
NR	1	-	-
	2	-	-
	3	-	-
NR+rGO 0.16 wt.%	1	-	-
	2	-	-
	3	-	-
NR+AgNPs 1.08 wt.%	1	4	4.5
	2	4	4.5
	3	4.5	4.5
NR+rGO 0.16 wt.% + AgNPs 1.03 wt.%	1	3.5	3.5
	2	3.5	4
	3	3.5	3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าขนาดของโซนยับยั้งของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*) และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) นั้นมีขนาดไม่เท่ากันเป็นเพราะ สารที่ออกมายับยั้งเชื้อแบคทีเรียคือ ซิลเวอร์ไอออน การที่ผนังเซลล์ (Cell wall) ของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกมีชั้น Peptidoglycan ที่หนากว่าแบคทีเรียแกรมลบ ทำให้ซิลเวอร์ไอออนเข้าไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้น้อยกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ส่งผลให้เชื้อแบคทีเรียแกรมบวกทนต่ออนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ดีกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ [31]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลคุณลักษณะของสารตัวเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์

จากการศึกษาด้วยเทคนิคการดูดกลืนแสง พบว่ากราฟีนออกไซด์จะปรากฏพีคที่มีความยาวคลื่นประมาณ 230 นาโนเมตร ($\pi-\pi^*$) และ 300 นาโนเมตร ($n-\pi^*$) หลังจากการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จะเกิดการเลื่อนตำแหน่งของพีคที่มีความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร ไปในทิศทางที่มีความยาวคลื่นเพิ่มมากขึ้นและในขณะเดียวกัน พีคที่มีความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร จะไม่ปรากฏให้เห็น แสดงให้เห็นว่ากราฟีนออกไซด์ถูกรีดิวซ์ให้เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ส่วนอนุภาคนาโนซิลเวอร์ หลังจากไมโครเวฟเป็นเวลา 75 วินาที จะพบพีคเอกลักษณ์การดูดกลืนแสงของซิลเวอร์ขนาดนาโน-ไปที่ 420 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการยืนยันการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์

จากการศึกษาด้วยเทคนิค FT-IR พบว่ากราฟีนออกไซด์ จะพบแถบการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) อะโรมาติก (-C=C) หมู่คาร์บอนิล (-C=O) หมู่อีพอกซี (-C-O-C) และหลังจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน พบว่าการสั่นของ หมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) หมู่คาร์บอนิล (-C=O) และหมู่อีพอกซี (-C-O-C) ไม่ปรากฏให้เห็น แสดงถึงการยืนยันว่าหมู่ฟังก์ชันต่างๆ เหล่านี้ได้ถูกกำจัดออกไป ในขณะที่เดียวกันยังคงปรากฏเห็นแถบการสั่นของอะโรมาติก (-C=C) ซึ่งหมายถึงหมู่ฟังก์ชันของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากการศึกษาด้วยเทคนิครามาน พบว่าพีคสเปกตรัมของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ มีอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G มีค่ามากกว่า กราฟีนออกไซด์ และกราฟไฟต์ แสดงให้เห็นถึงความไม่เป็นระเบียบและความบกพร่องของโครงสร้างของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกิดขึ้น

จากการวิเคราะห์เทคนิค XRD พบว่ากราฟไฟต์ออกไซด์จะปรากฏพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 26.44° ซึ่งมีระยะห่างระหว่างระนาบ คือ 0.34 นาโนเมตร กราฟีนออกไซด์ ปรากฏพีคเลื่อนไปที่มุม 2θ เท่ากับ 10.20° มีระยะห่างระหว่างระนาบ คือ 0.86 นาโนเมตร และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ปรากฏพีคเลื่อนไปที่มุม 2θ เท่ากับ 20.45° มีระยะห่างระหว่างระนาบ คือ 0.43 นาโนเมตร

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM พบว่ากราฟไฟต์ออกไซด์มีลักษณะเป็นแผ่นขนาดเล็กกว่ากราฟไฟต์ ซึ่งซ้อนทับกันอยู่เป็นชั้นๆ และแยกออกมาเป็นแผ่น ส่วนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีลักษณะเป็นแผ่นบางมาก

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TEM พบว่าของกราฟีนออกไซด์มีลักษณะเป็นแผ่นที่หนากว่ารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ส่วนสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ผ่านการรีดิวซ์ด้วยวิธีไมโครเวฟเป็นเวลา 75 วินาที ลักษณะเป็นทรงกลม และมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 18.81 ± 8.40 นาโนเมตร และสารแขวนลอยของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ผสมสารแขวนลอยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จะมีรูปร่างของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

5.1.2 สรุปผลคุณลักษณะแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์

จากการศึกษา FT-IR พบว่า แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ทุกๆปริมาณ จะไม่พบแถบการสั่นของกราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนแผ่นยางธรรมชาติ จะพบเฉพาะแถบการสั่นของยางธรรมชาติ ส่วนเทคนิค XRD แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไม่พบพีคที่ตำแหน่งของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไม่พบพีคของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เช่นกัน ซึ่งจะพบเฉพาะพีคตำแหน่งของยางธรรมชาติเริ่มต้นเท่านั้น ในขณะที่แผ่นยางธรรมชาติที่ผสมกราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ จะพบพีคของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในยางธรรมชาติสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณอนุภาคนาโนซิลเวอร์มากขึ้น

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน ลักษณะสัณฐานวิทยาพื้นผิวของยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์/อนุภาคนาโนซิลเวอร์ จะมีลักษณะเป็นรอยย่น ซึ่งเกิดจากการฝังตัวของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ขนาดนาโน ในขณะที่อนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถกระจายตัวได้ในเมทริกซ์ของยางธรรมชาติ

5.1.3 สรุปผลสมบัติเชิงกล เชิงความร้อน และประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์

จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค TGA พบว่าเมื่อมีการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลงในแผ่นยางธรรมชาติในทุกปริมาณ ไม่ทำให้เสถียรภาพทางความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

จากการทดสอบความแข็งแรงดึง พบว่า เมื่อเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงในแผ่นยางธรรมชาติทำให้ค่ามอดูลัสของยัง ค่าการคงรูป ค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด และค่าแรงดึงที่จุดขาด มีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อเพิ่มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มากขึ้น ส่วนแผ่นยางธรรมชาติที่ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลงไป ค่ามอดูลัสของยังและค่าการคงรูปเพิ่มขึ้น แต่ค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด และค่าแรงดึงที่จุดขาด มีค่าลดลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ส่วนแผ่นยางธรรมชาติที่ผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ค่ามอดูลัสของยังและค่าการคงรูป มีค่าเพิ่มขึ้น ใกล้เคียงแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แต่ค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด และค่าแรงดึงที่จุดขาด มีค่าลดลง เมื่อเพิ่มปริมาณอนุภาคนาโนซิลเวอร์

จากการทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย พบว่าแผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปริมาณร้อยละ 1.08 โดยน้ำหนัก มีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด ได้ที่ดีที่สุด รองลงมาคือแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณคงที่และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร้อยละ 1.03 โดยน้ำหนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในงานวิจัยนี้พบเมื่อปริมาณแอมโมเนียที่ใส่ในขั้นตอนการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีมาก เมื่อขึ้นรูปยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณร้อยละ 0.27 โดยน้ำหนัก หลังจากแผ่นยางธรรมชาติผสมแห้งแล้ว บางครั้งเกิดรูพรุนขึ้น เนื่องจากแอมโมเนียระเหยออกไป ทำให้ส่งผลต่อสมบัติเชิงกล ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาผลของการเติมแอมโมเนีย

2) ในการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ความเข้มข้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาก (2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) จึงทำให้สารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไม่ค่อยมีเสถียรภาพ เก็บไว้ได้ไม่นาน (3-5 วัน) ดังนั้นควรจะต้องปรับลดปริมาณความเข้มข้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลง เพื่อที่จะเก็บไว้ใช้งานได้ นานยิ่งขึ้น

3) แผ่นยางธรรมชาติเมื่อผสมกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ เกิดการเสียสภาพเมื่อทิ้งไว้ 3-5 วัน กล่าวคือ ยางธรรมชาติผสมอนุภาคนาโนนั้น เปื่อย ใช้แรงเพียงน้อยนิด ก็สามารถดึงยางธรรมชาติผสมชนิดนี้ขาดออกจากกัน

4) ในขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติผสม ควรมีแบบพิมพ์ที่เรียบ เมื่อเทขึ้นรูปไม่ควรให้เกิดฟองอากาศ จะทำให้แผ่นยางธรรมชาติผสมมีความหนาสม่ำเสมอ และต้องมีอุปกรณ์ครอบเพื่อป้องกันฝุ่นหรือสารอื่นเข้าเจือปน



เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิษฐ์. 2553. “เทคโนโลยียางธรรมชาติ (Natural Rubber Technology).” ภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.
- [2] Retrieved March 15, 2016. [Online]. Available: <http://www.nstda.or.th/prs/index.php/graphene?showall=1>.
- [3] Retrieved March 19, 2016. [Online]. Available: <http://www.intechopen.com/books/physics-and-applications-of-graphene-experiments/chemical-vapor-deposition-of-graphene>.
- [4] K. S. Novoselov, A. K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos, I. V. Grigorieva and A. A. Firsov. 2004. “Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films”. *Science*. 306(5696) : 666-669.
- [5] H. Wang, Y. Wang, Z. Hu, and X. Wang. 2012. “Cutting and Unzipping Multiwalled Carbon Nanotubes into Curved Graphene Nanosheets and Their Enhanced Supercapacitor Performance.” *ACS Applied Materials & Interfaces*. 4 (12) : 6827–6834.
- [6] S. Pei and H. Cheng. 2011. “The reduction of graphene oxide.” *Carbon*. 50 : 3210-3228.
- [7] H. Aguilar-Bolados, M. A. Lopez-Manchado, J. Brasero, F. Aviles and M. Yazdani-Pedram. 2016. “Effect of the morphology of thermally reduced graphite oxide on the mechanical and electrical properties of natural rubber nanocomposites.” *Composites Part B*. 87 : 350-356.
- [8] Q. Li and P. Hai. 2014. “Rapid microwave-assisted synthesis of silver decorated-reduced graphene oxide nanoparticles with enhanced photocatalytic activity under visible light.” *Materials Science in Semiconductor Processing*. 22 : 16–20.
- [9] D. Li, M. B. Müller, S. Gilje, R. B. Kaner, and G. G. Wallace. 2008. “Processable aqueous dispersions of graphene nanosheets.” *Nature Nanotechnology*. 3 : 101–105.
- [10] H. Shin, K. K. Kim, A. Benayad, S. Yoon, H. K. Park, I. Jung, M. H. Jin, H. Jeong, J. M. Kim, J. Choi and Y. H. Lee. 2009. “Efficient Reduction of Graphite Oxide by Sodium Borohydride and Its Effect on Electrical Conductance.” *Advanced Functional Materials*. 19(12) : 1987–1992.
- [11] X. Zhu, Q. Liu, X. Zhu, C. Li, M. Xu and Y. Liang. 2012. “Reduction of Graphene Oxide Via Ascorbic Acid and Its Application for Simultaneous Detection of Dopamine And Ascorbic Acid.” *International Journal of electrochemical science*. 7 : 5172–5184.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Retrieved March 17, 2016. [Online]. Available: <http://accessgrouphailand.com/download/downloadFiles.php?file=MH4xOTU0N35pbWFnZXVwbG9hZC80MjMyNC9TaWx2ZXJOYW5vcGFydGljbGVfNTkwLnBkZg==>.
- [13] วีระชัย แสงฉาย. 2554. “สมบัติของยางธรรมชาติที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนและนาโนเคลย์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [14] A. S. Hashim and S. K. Ong. 2002. “Study on polypropylene/natural rubber blend with polystyrene-modified natural rubber as compatibilizer.” *Polymer International*. 51 : 611-616.
- [15] H. Ismail and S. M. Nasir. 2001. “Dynamic vulcanization of rubberwood-filled polypropylene/natural rubber blends.” *Polymer Testing*. 20(7) : 819-823.
- [16] H. Ismail and Suryadiansyah. 2004. “Effects of filler loading on properties of polypropylene-natural rubber-recycle rubber (PP-NR-RRP) composites.” *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 23 : 639-650.
- [17] Retrieved March 20, 2016. [Online]. Available: http://thep-center.org/src/qa_read.php?question_id=2.
- [18] Y. Zhang, J. P. Small, W. V. Pontius and P. Kim. 2005. “Fabrication and electric-field Dependent Transport Measurement of Mesoscopic Graphite Devices.” *Applied Physics Letters*. 86 : 1-3.
- [19] C. R. Dean, A. F. Young, I. Meric, C. Lee, L. Wang and S. Sorgenfrei. 2010. “Boron nitride substrates for high-quality graphene electronics.” *Nature Nanotechnology*. 5 : 722-726.
- [20] I. Forbeaux, J. Themlin and J. Debever. 1999. “High-temperature graphitization of the 6H-SiC (0001) face.” *Surface Science*. 442 : 9-18.
- [21] P. Sutter. 2009. “Epitaxial graphene: How silicon leaves the scene.” *Nature Materials*. 8 : 171-172.
- [22] K. V. Emtsev, A. Bostwick, K. Horn, J. Jobst, G. L. Kellogg, L. Ley, J. L. McChesney, T. Ohta, S. A. Reshanov, J. Rohrl, E. Rotenberg, A. K. Schmid, D. Waldmann, H. B. Weber and T. Seyller. 2009 . “Towards wafer-size graphene layers by atmospheric pressure graphitization of silicon carbide.” *Nature Materials*. 8 : 203-207.
- [23] Retrieved March 20, 2016. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/cs5404061636216/khorng-ngan-wicay/khunsmbati-khxng-kaerfin-graphene>.
- [24] Retrieved March 20, 2016. [Online]. Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/เงิน>
- [25] N.A. Ibrahim, B.M. Eid, H. El-Batal. 2012. “Novel approach for adding smart functionalities to cellulosic fabrics.” *Carbohydrate Polymers*. 87: 744– 751.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [26] D. Chunfa, Z. Xianglin, C. Hao and C. Chuanliang. 2016. "Sodium Alginate Mediated Route for the Synthesis of Monodisperse Silver Nanoparticles Using Glucose as Reducing Agents." *Rare Metal Materials and Engineering*. 45(2) : 0261-0266.
- [27] 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." *Colloids and Surfaces. A*. 441 : 367– 377.
- [28] A. Hebeish, Th. I. Shaheen and M. E. El-Naggar. 2016. "Solid state synthesis of starch-capped silver nanoparticles." *International Journal of Biological Macromolecules*. 87 : 70-76.
- [29] I. A. Wania, S. Khatoona, A. Gangulya, J. Ahmedb, A. K. Gangulib and T. Ahmada. 2010. "Silver nanoparticles: Large scale solvothermal synthesis and optical properties." *Materials Research Bulletin*. 45(8) : 1033-1038.
- [30] 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." *International Journal of Molecular Sciences*. 13(7) : 8086-8096.
- [31] ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ. 2554. "การพัฒนาวัสดุอย่างธรรมชาติ ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สำหรับการประยุกต์ใช้งานในผลิตภัณฑ์ด้านอนามัย." รายงานวิจัย คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [32] Retrieved March 21, 2016. [Online]. Available: <http://www.studydroid.com/imageCards/0m/h8/card-23634316-front.jpg>
- [33] H. Palza. 2015. "Antimicrobial Polymers with Metal Nanoparticles." *International Journal of Molecular Sciences*. 16(1) : 2099-2116.
- [34] Retrieved March 21, 2016. [Online]. Available: https://ca.vwr.com/store/catalog/product.jsp?product_id=7487728.
- [35] สิริมา พิณเพียงจันทร์. 2555. "การควบคุมการสูญเสียปุ๋ยยูเรียโดยการเคลือบสารไบโอพอลิเมอร์." รายงานการวิจัย สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [36] Retrieved March 21, 2016. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyvinylpyrrolidone>.
- [37] P. Gupta, M. Rajput, N. Singla, V. Kumar, and D. Lahiri. 2016. "Electric field and current assisted alignment of CNT inside polymermatrix and its effects on electrical and mechanical properties." *Polymer*. 89 : 119-127.
- [38] P. Junkong, P. Kueseng, S. Wirasate, C. Huynh, and N. Rattanasom. 2015. "Cut growth and abrasion behaviour, and morphology of natural rubber filled with MWCNT and MWCNT/carbon black." *Polymer Testing*. 41 : 172-183.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [39] N. Yan, G. Buonocore, M. Lavorgna, S. Kaciulis, S. K. Balijepalli, Y. Zhan, H. Xia, and L. Ambrosio. 2014. "The role of reduced graphene oxide on chemical, mechanical and barrier properties of natural rubber composites." *Composites Science and Technology*. 102 : 74-81.
- [40] I. Rathnayake, H. Ismail, B. Azahari, N. Dammika and D. & S. Rajapakse. 2012. "Synthesis and Characterization of Nano-Silver Incorporated Natural Rubber Latex Foam." *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 51 : 605-611.
- [41] G. M. Raghavendra, J. jung, D. Kim and J. Seo. 2016. "Microwave assisted antibacterial chitosan-silver nanocomposites films." *International Journal of Biological Macromolecules*. 84 : 281-288.
- [42] W. Xing, M. Tang, J. Wu, G. Huang, H. Li, Z. Lei, X. Fu, and H. Li. 2014. "Multifunctional properties of graphene/rubber nanocomposites fabricated by a modified latex compounding method." *Composites Science and Technology*. 99 : 67-74.
- [43] Y. H. Joe, W. Ju, J. H. Park, Y. H. Yoon and J. Hwang. 2013. "Correlation between the Antibacterial Ability of Silver Nanoparticle Coated Air Filters and the Dust Loading." *Aerosol and Air Quality Researcher*. 13 : 1009-1018.
- [44] Y. J. Choi, E. Kim, J. W. Han, J. H. Kim and S. Gurunathan. 2016. "A Novel Biomolecule-Mediated Reduction of Graphene Oxide: A Multifunctional Anti-Cancer Agent" *Molecules*. 21(3) : 18-21.
- [45] G. Sun, X. Li, Y. Qu, X. Wang, H. Yan and Y. Zhang. 2008. "Preparation and characterization of graphite nanosheets from detonation technique." *Materials Letters*. 62 : 703-706.
- [46] N. H. H. A. Bakar, J. Ismail and M. A. Bakar. 2007. "Synthesis and characterization of silver nanoparticles in natural rubber." *Materials Chemistry and Physics*. 104 : 276-283.
- [47] P. K. Khanna, N. Singh, S. Charan, V. V. V. S. Subbarao, R. Gokhale and U. P. Mulik. 2005. "Synthesis and characterization of Ag/PVA nanocomposite by chemical reduction method." *Materials Chemistry and Physics*. 93 : 117-121.
- [48] H. Itoigawa, T. Kamiyama and Y. Nakamura. 1997. "Ag precipitation and optical behavior in $\text{Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3$ glasses." *Journal of Non-Crystalline Solids*. 220 : 210-216.
- [49] J. Zhua, X. Liaoa and H. Chena. 2001. "Electrochemical preparation of silver dendrites in the presence of DNA." *Materials Research Bulletin*. 36 : 1687-1692.
- [50] M. Zhenga, M. Gua, Y. Jina and G Jina. 2001. "Optical properties of silver-dispersed PVP thin film." *Materials Research Bulletin*. 36 : 853-859.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [51] C. F. Matos, F. Galembeck , A. J.G. Zarbin. 2014. “Multifunctional and environmentally friendly nanocomposites between natural rubber and graphene or graphene oxide.”. CARBON. (78) : 469-479.
- [52] M. K. Shukla, R. P. Singh, C.R.K. Reddy, Bhavanath Jha. 2012. “Synthesis and characterization of agar-based silver nanoparticles and nanocomposite film with antibacterial applications.” Bioresource Technology.(107) : 295-300.
- [53] P. Phanjom, G. Ahmed. 2015. “Biosynthesis of Silver Nanoparticles by *Aspergillus oryzae* (MTCC No. 1846) and Its Characterizations.” Nanoscience and Nanotechnology. 5(1) : 14-21.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

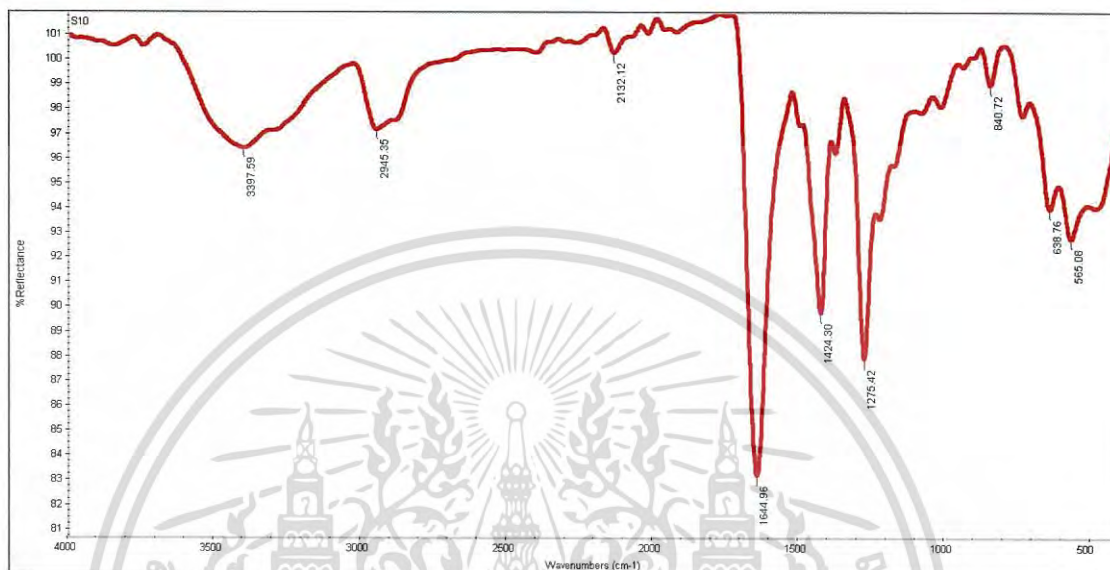


ภาคผนวก

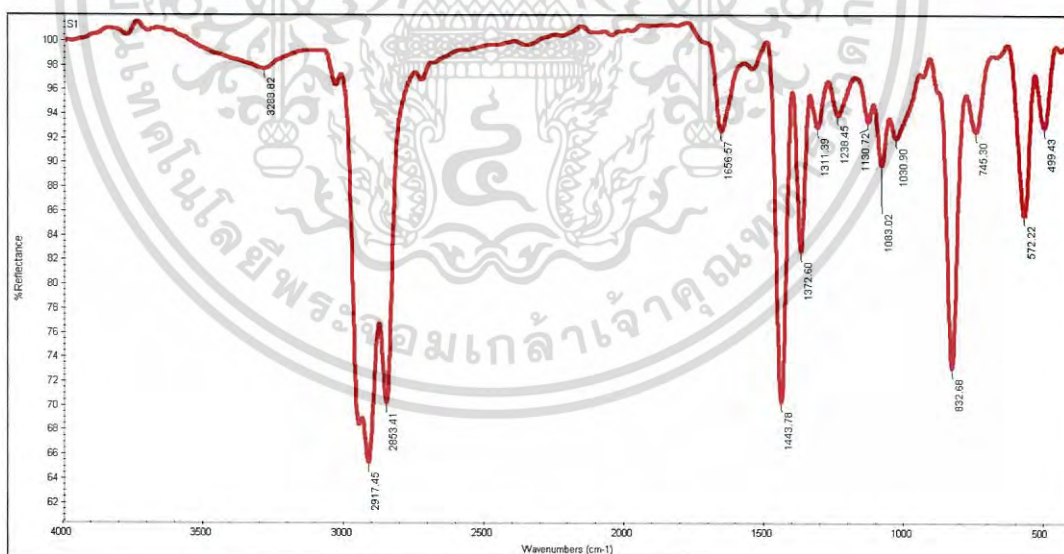
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก การวิเคราะห์เอกลักษณ์

1. การวิเคราะห์การตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานของการสั่นในโมเลกุลของสาร (FT-IR)

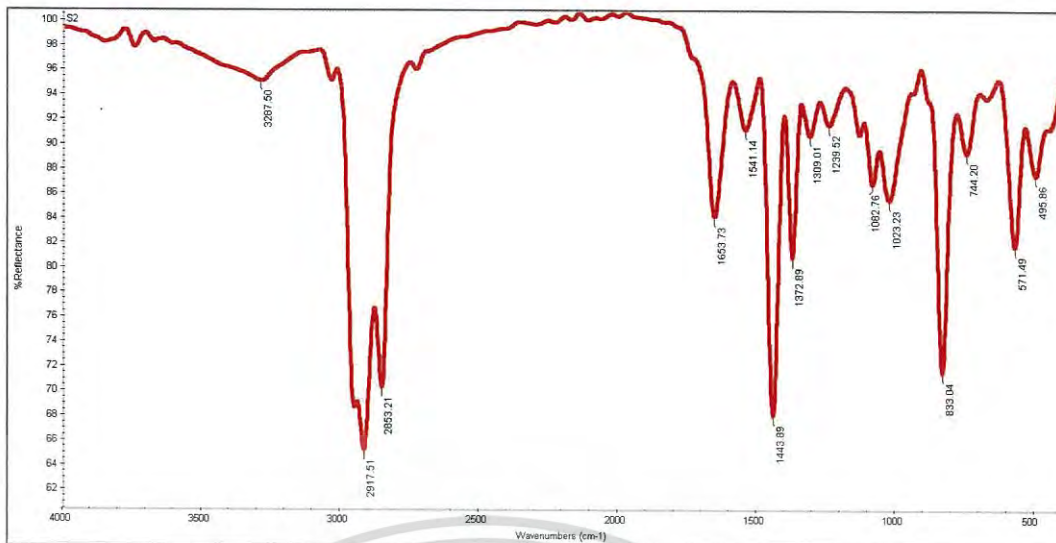


รูปที่ 1 กราฟ FT-IR ของพอลิไวนิลฟลูออไรด์



รูปที่ 2 กราฟ FT-IR ของแผ่นยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



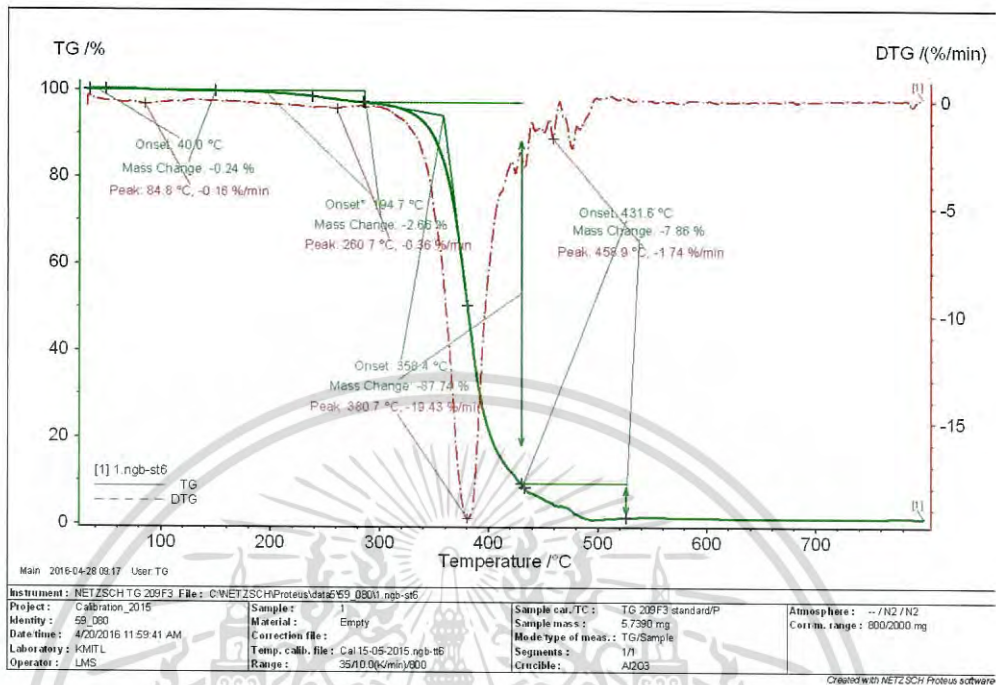
รูปที่ 3 กราฟ FT-IR ของแผ่นยางธรรมชาติผสมสารละลายลิโวนิลไฟโรลิดอน 3 มิลลิลิตร



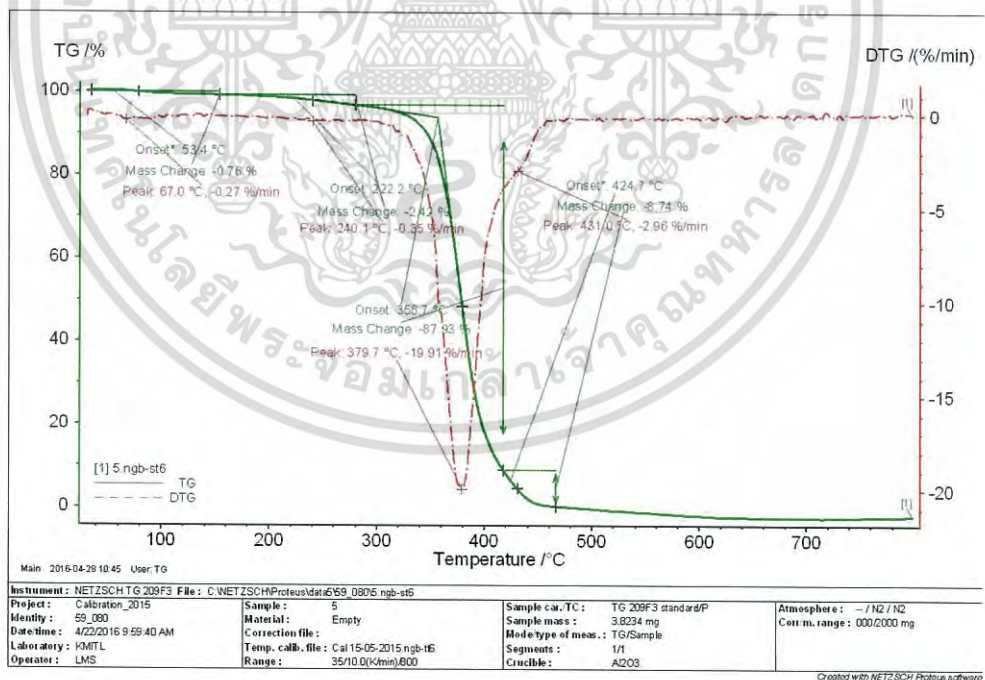
รูปที่ 4 กราฟ FT-IR ของแผ่นยางธรรมชาติผสมริตซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์เชิงความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis

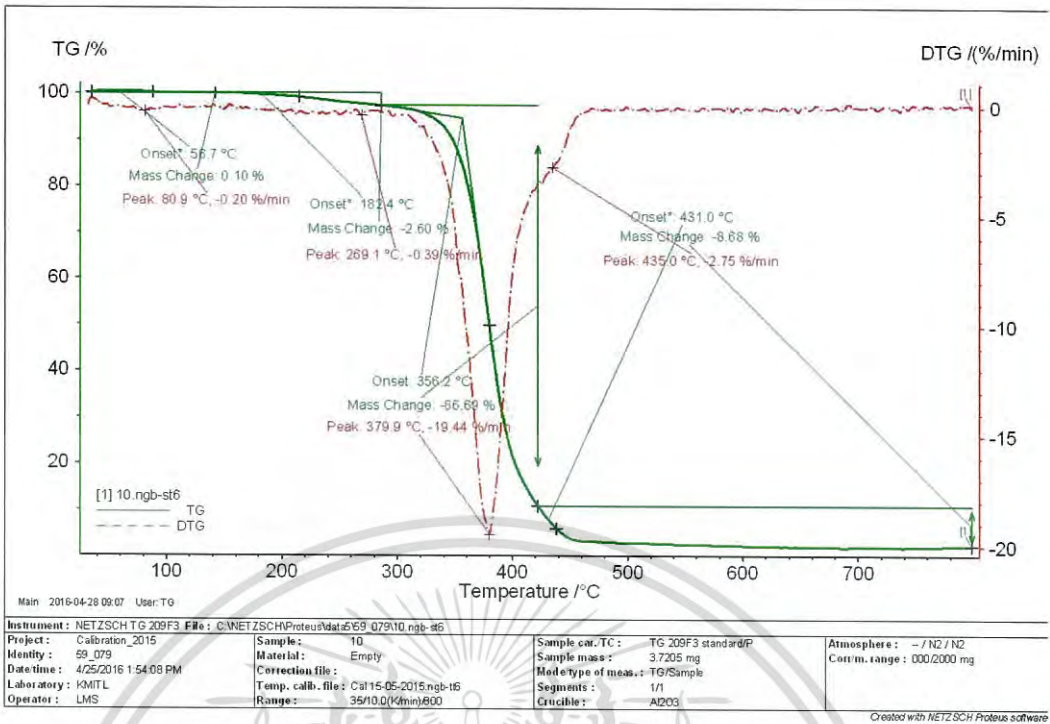


รูปที่ 5 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติ

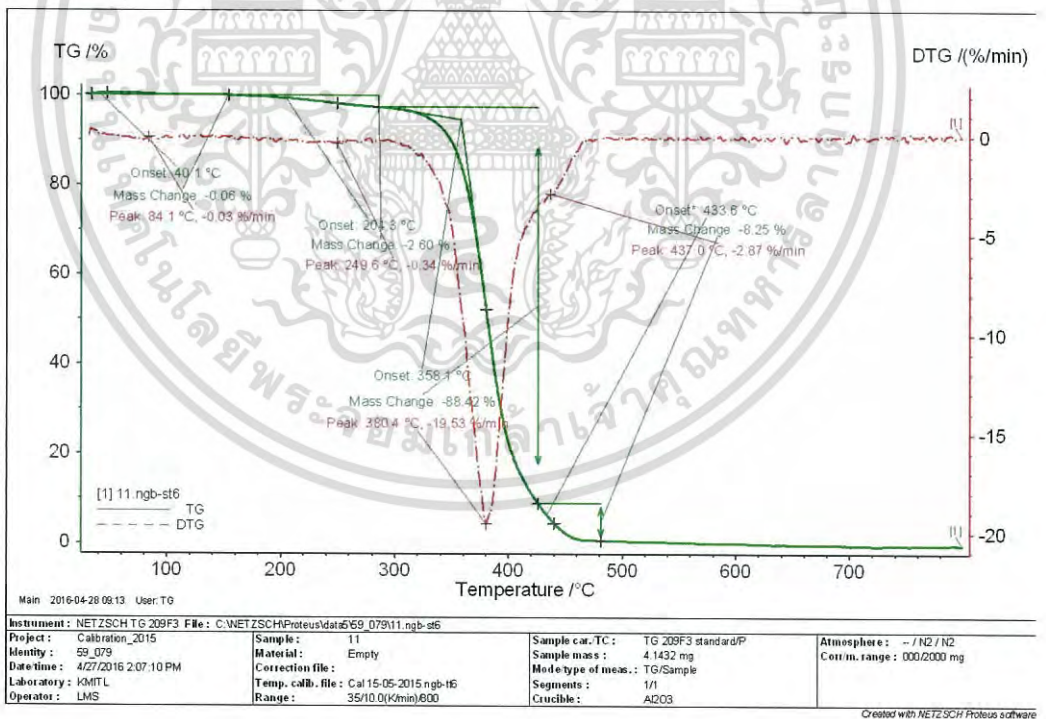


รูปที่ 6 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีติคิวลาร์ฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก อุณหภูมิไนโตรเจนร้อยละ 0.26 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 8 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติผสมกราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.16 โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้