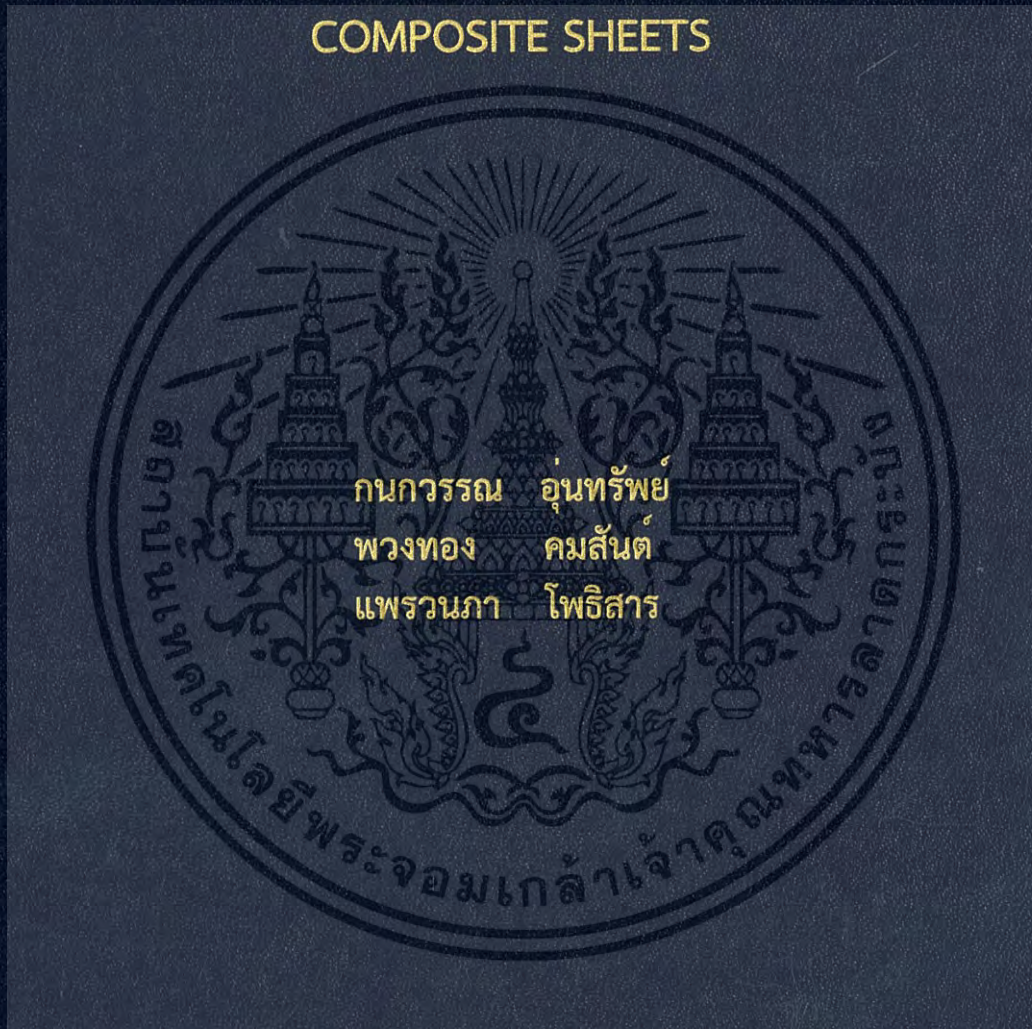


การศึกษาผลของการเติมกำมะถันและอุณหภูมิการอบอ่อน
ของแผ่นยางธรรมชาติผสม

STUDIES ON THE SULPHUR LOADING AND ANNEALING
TEMPERATURE EFFECTS OF NATURAL RUBBER
COMPOSITE SHEETS



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การศึกษาผลของการเติมกำมะถันและอุณหภูมิการอบอ่อน
ของแผ่นยางธรรมชาติผสม

STUDIES ON THE SULPHUR LOADING AND ANNEALING
TEMPERATURE EFFECTS OF NATURAL RUBBER
COMPOSITE SHEETS



กนกวรรณ อุ่นทรัพย์
พวงทอง คมสันต์
แพรวนภา โพธิสาร

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDIES ON THE SULPHUR LOADING AND ANNEALING
TEMPERATURE EFFECTS OF NATURAL RUBBER
COMPOSITE SHEETS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHERLOR OF SCIENCE
(INDUSTRIAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาผลของการเติมกำมะถันและอุณหภูมิการอบอ่อนของแผ่นยางธรรมชาติผสม
Studies on the sulphur loading and annealing temperature effects of natural rubber composite sheets

ชื่อนักศึกษา นางสาวกนกวรรณ อุ่นทรัพย์ รหัสนักศึกษา 57050369
นางสาวพวงทอง คมสันต์ รหัสนักศึกษา 57050469
นางสาวแพรวนภา โพธิสาร รหัสนักศึกษา 57050482

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2560
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี-อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ ประธานกรรมการ	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการ	
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาผลของการเติมกำมะถันและอนุภาคนาโนการบอบอ่อนของแผ่นยางธรรมชาติผสม

ชื่อนักศึกษา	นางสาวกนกวรรณ	อุ๋นทรัพย์	รหัสนักศึกษา 57050369
	นางสาวพวงทอง	คมสันต์	รหัสนักศึกษา 57050469
	นางสาวแพรวนภา	โพธิสาร	รหัสนักศึกษา 57050482
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. ชวาลย์ ศรีวงษ์		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้พัฒนาสมบัติเชิงกลและสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม โดยทำการศึกษาผลของการเติมซัลเฟอร์ในปริมาณต่าง ๆ และอนุภาคนาโนการบอบอ่อน ซึ่งในการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ (NR+S wt.%) จะใช้วิธีการเตรียมด้วยวิธีการผสมและเทขึ้นรูปแบบลาเท็กซ์อย่างง่าย โดยทำการคงที่ปริมาณน้ำยางธรรมชาติ (60% HA) ภายใต้การเติมซัลเฟอร์ในปริมาณต่าง ๆ (1 3 5 7 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และตามด้วยกระบวนการบอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ (90 100 และ 110 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นทำการพิสูจน์เอกลักษณ์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) อนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) แผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางธรรมชาติผสมที่เตรียมได้ ด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น เทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible) การวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) พูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรด (FT-IR) รามานสเปกโตรสโคปี (Raman) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDS) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (OM) และการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักเมื่อได้รับความร้อน (TGA) ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค UV-vis พบว่า จะเห็นช่วงเอกลักษณ์การดูดกลืนแสงของ rGO และ AgNPs อย่างเห็นชัดเจนและยืนยันได้เป็นอย่างดีด้วยเทคนิคนี้ ในขณะที่เทคนิค TEM แสดงให้เห็นขนาดเฉลี่ยของสารแขวนลอยซิลเวอร์นาโน เท่ากับ 41.99 ± 22.55 นาโนเมตร มีรูปร่างลักษณะคล้ายทรงกลม ในขณะที่ rGO มีลักษณะเป็นแผ่นที่บางมากจากการศึกษาโครงสร้างผลึกและหมู่ฟังก์ชันของแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ (NR+S wt.%) พบว่าจะมีพีกเอกลักษณ์สอดคล้องกับยางธรรมชาติและซัลเฟอร์ตั้งต้น นอกจากนี้ยังพบพีกเอกลักษณ์ของ rGO และซัลเฟอร์ในแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ (NR+S) และแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (NR+S+rGO) ซึ่งสามารถยืนยันได้ด้วยเทคนิครามาน จากผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค SEM OM และ EDS แสดงให้เห็นว่าลักษณะพื้นผิวทั้งหมดของแผ่นยางธรรมชาติผสมซึ่งมีความขรุขระมาก และมีการกระจายตัวที่ดีของซัลเฟอร์ อนุภาคซิลเวอร์นาโน และแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ขนาดนาโนเมตรในเมทริกซ์ของแผ่นยางธรรมชาติ ผลจากการทดสอบแรงดึงแสดงให้เห็นว่าสมบัติเชิงกล เช่น ค่า Young's modulus เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมดูลัส (Young's modulus) ค่าความแข็งแรง (Stiffness) และค่ารับโหลดก่อนขาด (Load at break) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซิลเฟอร์ที่เติมลงไปเช่นเดียวกับผลของอุณหภูมิ การอบอ่อน ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมคือการเติมกำมะถันลงไป 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จะทำให้ยางธรรมชาติผสมมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด ทั้งนี้ก็ อาจจะเนื่องมาจากการอันตรกิริยาร่วมกันระหว่างอนุภาคของซิลเฟอร์และอนุภาคของเนื้อยางได้เป็นอย่างดี เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่ผสมสารตัวเติมใด ๆ ลงไปและแผ่นยางธรรมชาติผสมจะ แสดงสมบัติเชิงกลที่มีค่ามากกว่าแผ่นยางธรรมชาติตั้งต้น นอกจากนี้ยังมีการศึกษาสมบัติในการยับยั้งเชื้อ แบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมซึ่งสามารถทดสอบกับแบคทีเรีย 2 ชนิดคือแกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และแกรมลบ *Escherichia coli* (*E. coli*) ผลที่ได้พบว่า แผ่น ยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคซิลเวอร์นาโน สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งสองชนิดได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจากหลักการคิดและผลการวิจัยทั้งหมดที่ได้ นำเสนอมาข้างต้น อาจจะสามารถเป็นประโยชน์ในด้านการเพิ่มมูลค่าและความหลากหลายในการใช้น้ำ ยางธรรมชาติหรือแผ่นยางธรรมชาติได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : น้ำยางธรรมชาติ แผ่นยางธรรมชาติผสม ซิลเฟอร์ อุณหภูมิการอบอ่อน รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคซิลเวอร์นาโน กระบวนการผสมและเทขึ้นรูปแบบลาเท็กซ์



Title	Studies on the sulphur loading and annealing temperature effects of natural rubber composite sheets		
Student	Miss Kanokwan Ounsap	Student ID 57050369	
	Miss Puangthong Komsan	Student ID 57050469	
	Miss Praewnapa Pothisan	Student ID 57050482	
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic	Year 2017		
Advisor	Dr. Chaval Sriwong		

Abstract

This special project improved the mechanical and antibacterial properties of natural rubber (NR) and NR composite sheets. The effects of various sulphur loading and annealing temperatures were investigated. In the preparation, the NR+S_wt% composite sheets were easily prepared by a directly latex mixing and casting method based on the use of fixed natural rubber latex (60% HA) content under the varying amounts of sulphur loading (1%, 3%, 5%, 7% and 10wt%), and followed by annealing at different temperatures (90 °C, 100 °C and 110 °C) for 4 h, respectively. After that, the obtained rGO, AgNPs, pure NR and all the NR composite sheets were characterized by several techniques, such as, 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), optical microscopy (OM) and thermogravimetric analysis (TGA) techniques. From the UV-vis results found that 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 41.99 ± 22.55 nm with had spherical-like shape, and while the rGO had very thin sheets. The crystalline phases and functional groups of all the NR+S_wt% composite sheets are corresponding to pristine NR and sulphur. Also, the characteristic peaks of rGO and sulphur in all the NR+S and NR+S+rGO composite sheets could be well-observed by Raman technique. From the SEM, OM and EDS results showed that the surface morphologies of all the NR composite sheets had high roughness, and which also well-dispersed into the matrix of NR sheet by impregnating of sulphur, AgNPs and rGO nanosheets, respectively. From the tensile test indicated that the mechanical properties, such as, young's modulus, stiffness, elongation at break, and tear strength were improved. The results of antibacterial test showed that the antibacterial activity of NR composite sheets was improved. The results of this study can be used as a reference for the development of natural rubber composite sheets with high mechanical and antibacterial properties.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and load at break of the NR+S_wt% composite sheets were increased upon the increasing amounts of sulphur loading as well as annealing temperature. The optimal condition was of 5%wt sulphur loading and annealing at 100 C° for 4 h to improve the highest mechanical properties. This result may be due to the fact that it corroborates the strong interfacial interaction between sulphur particles and natural rubber. As compared with pristine NR sheet, all the NR composite sheets exhibited more the mechanical properties than the pure NR sheet. Moreover, the antibacterial properties of NR composite sheets were also tested against Gram-positive *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) and Gram-Negative *Escherichia coli* (*E. coli*). The results showed that the NR+S and NR+rGO+AgNPs composite sheets showed well-antibacterial properties against these bacteria. From all above, thus, the concept of this research may be very useful to increase the value and a variety of using for natural rubber latex or natural rubber sheet.

Keywords: Natural rubber, natural rubber composite sheet, sulphur, annealing temperature, reduced graphene oxide, silver nanoparticles, latex mixing-casting method



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีทางคณะผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูงทั้งที่ออกนามและมีได้ออกนามที่ได้ให้ความกรุณาช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำที่ดี และช่วยเหลือให้โครงการพิเศษนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ ประธานกรรมการ และดร. อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล ที่ได้กรุณารับเป็นกรรมการในการสอบโครงการพิเศษ และให้คำปรึกษา แนะนำแก้ไขข้อผิดพลาด เพื่อความสมบูรณ์ของโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ประสิทธิประสาทความรู้ต่าง ๆ ให้

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและแนะนำในการใช้อุปกรณ์และสารเคมี รวมถึงการใช้งานเครื่องมือต่าง ๆ ตลอดจนเอื้อเฟื้อและอำนวยความสะดวกในการทดลอง

ขอขอบพระคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ในภาควิชาเคมีทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือ เป็นกำลังใจ ทำให้สามารถดำเนินโครงการพิเศษนี้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจ เข้าใจ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนมาจนสำเร็จการศึกษา

กนกวรรณ

พวงทอง

แพรวนภา

อุณหทัย

คมสันต์

โพธิสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ยางธรรมชาติ.....	5
2.1.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	5
2.1.1.1 ส่วนที่เป็นเนื้อยาง.....	6
2.1.1.2 ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง.....	7
2.1.2 รูปแบบของยางธรรมชาติ.....	7
2.1.3 โครงสร้างของยางธรรมชาติ.....	7
2.1.4 สมบัติของยางธรรมชาติ.....	8
2.2 ซัลเฟอร์.....	9
2.3 กราฟีน.....	11
2.3.1 คุณสมบัติของกราฟีน.....	12
2.3.2 วิธีการสังเคราะห์กราฟีน.....	12
2.3.2.1 การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีเชิงกล.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 การหลุดลอกออกด้วยวิธีทางเคมี.....	14
2.4 ซิลเวอร์.....	19
2.4.1 ประโยชน์ของโลหะเงิน.....	20
2.4.2 อนุภาคซิลเวอร์นาโน.....	21
2.4.3 กลไกการทำงานของอนุภาคซิลเวอร์นาโน.....	22
2.4.4 การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน.....	23
2.4.4.1 วิธีการยึงด้วยเลเซอร์.....	23
2.4.4.2 วิธีรีดักชันทางเคมี.....	23
2.4.4.3 วิธีไมเซลล์.....	23
2.4.4.4 วิธี Solid State.....	24
2.4.4.5 วิธี Solvothermal.....	24
2.4.4.6 วิธีรีดักชันด้วยไมโครเวฟ.....	24
2.5 พอลิไวนิลไพโรลิโดน.....	25
2.6 เชื้อแบคทีเรีย.....	25
2.6.1 ผนังเซลล์.....	26
2.6.2 เยื่อหุ้มเซลล์.....	26
2.7 กลไกการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียของพอลิเมอร์/โลหะนาโนคอมโพสิต.....	27
2.8 การอบอ่อน.....	28
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 สารเคมี.....	32
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	32
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	33
3.3.1 การรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยกระบวนการรีดักชันทางเคมี.....	33
3.3.2 การเตรียมสารแขวนลอยซิลเวอร์ขนาดนาโนเมตร.....	34
3.3.3 การปรับ pH สารแขวนลอยซิลเวอร์ขนาดนาโนเมตร.....	34
3.3.4 การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสม.....	34
3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์.....	38
3.4.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer).....	38
3.4.2 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier-transform infrared spectroscopy; FT-IR).....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer; XRD)..... 39

3.4.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
(Scanning electron microscope; SEM)..... 39

3.4.5 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope; OM)..... 39

3.4.6 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ
(Energy Dispersive X-ray Spectrometer; EDS)..... 39

3.4.7 เครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman Spectroscopy)..... 40

3.4.8 เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA)..... 40

3.4.9 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)..... 40

3.4.10 การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Anti-Bacterial test)..... 41

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์..... 42

4.1.1 กราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์..... 42

4.1.2 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานการสั่นของโมเลกุล..... 44

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน..... 45

4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคซิลเวอร์นาโน..... 46

4.2.1 ผลการวิเคราะห์การวัดการดูดกลืนแสง..... 46

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน..... 47

4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นยางธรรมชาติผสม..... 49

4.3.1 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานการสั่นของโมเลกุล..... 49

4.3.2 ผลการวิเคราะห์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน..... 53

4.3.3 ผลการตรวจสอบลักษณะผลึกและอสัณฐาน..... 58

4.3.3.1 กราไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์..... 58

4.3.3.2 แผ่นยางธรรมชาติผสม..... 59

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของสารในระดับจุลภาค..... 62

4.3.4.1 กราไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์..... 62

4.3.4.2 บริเวณพื้นผิวของแผ่นยางธรรมชาติผสม (Surface)..... 63

4.3.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและภาพตัดขวาง..... 69

4.3.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ..... 72

4.3.6.1 แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก..... 72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6.2	แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอर्ड์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส.....	73
4.3.6.3	แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ0.28 โดยน้ำหนัก.....	74
4.3.6.4	แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ0.28 โดยน้ำหนักและอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก.....	75
4.3.6.5	แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก และซิลเฟอर्ड์ร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก.....	76
4.3.6.6	แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอर्ड์ร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโน 0.05 โดยน้ำหนัก.....	77
4.3.6.7	แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ0.28 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส.....	78
4.3.6.8	แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ0.28โดยน้ำหนัก/ซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส.....	79
4.3.6.9	แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอर्ड์ร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส.....	80
4.3.6.10	แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอर्ड์ร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโน 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส.....	81
4.3.7	ผลการวิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA).....	82
4.3.8	ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล.....	86
4.3.9	การทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย.....	97
4.3.9.1	ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย.....	97

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1	สรุปผลการวิจัย.....	101
5.1.1	สรุปผลคุณลักษณะของสารตัวเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคซิลเวอร์นาโน.....	101
5.1.2	สรุปผลคุณลักษณะแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอर्ड์/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์/อนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอุณหภูมิในการอบอ่อน.....	101
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	102
	เอกสารอ้างอิง.....	103
	ภาคผนวก.....	110
	ภาคผนวก ก.....	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.....	115
ภาคผนวก ค.....	117
ภาคผนวก ง.....	125
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ.....	132



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	5
2.2 ส่วนประกอบของเนื้อยางแห้ง.....	6
2.3 แสดงสมบัติทั่วไปของซัลเฟอร์.....	10
2.4 แสดงสมบัติทางกายภาพของซัลเฟอร์.....	10
2.5 คุณสมบัติทางกายภาพของซิลเวอร์.....	19
3.1 แสดงเงื่อนไขการขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์.....	35
3.2 แสดงเงื่อนไขในการอบอ่อนแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์.....	36
3.3 แสดงเงื่อนไขในการขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติผสม/ รีตีวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (0.28 wt.%) และซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ / อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	37
4.1 เปรียบเทียบแถบการสั่นที่สำคัญของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีตีวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO).....	45
4.2 อุณหภูมิเฉลี่ยการสลายตัวของแผ่นยางธรรมชาติผสม.....	85
4.3 แสดงค่าการทดสอบสมบัติทางเชิงกลแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติมและแผ่นยางธรรมชาติผสมกับซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	86
4.4 แสดงค่าการทดสอบสมบัติทางเชิงกลแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติมและแผ่นยางธรรมชาติผสมกับซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	86
4.5 แสดงค่าการทดสอบทางเชิงกลของแผ่นยางผสมกับรีตีวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก) เติมซัลเฟอร์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในปริมาณต่าง ๆ.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ภาพแสดงโครงสร้างของแผ่นกราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide sheet).....	2
2.1 แสดงโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ.....	8
2.2 แสดงโครงสร้างของซิลเฟอร์.....	10
2.3 แสดงความเชื่อมโยงเชิงโครงสร้างของอัญรูปต่าง ๆ ของคาร์บอนผ่าน โครงสร้าง 2 มิติของกราฟีน.....	11
2.4 แสดงแผนผังวิธีในการสังเคราะห์กราฟีน.....	13
2.5 แสดง (ก)กราฟีนซึ่งมีจำนวนชั้น 2-3 ชั้นและมีความหนาประมาณ 3 นาโนเมตรภายใต้แสงขาว ปกติบนซิลิคอนเวเฟอร์โดยใช้วิธีการลอกด้วยสก๊อตซ์เทป และ(ข) กราฟีนชั้นเดี่ยวจากกล่อง จุลทรรศน์แรงอะตอมระดับสีที่ต่างกัน.....	14
2.6 แสดงการสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีการหลุดลอกออกจากเคมีโดยใช้โลหะอัลคาไลน์.....	15
2.7 แสดงขั้นตอนในการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	16
2.8 แสดงการสังเคราะห์กราฟีนโดยการแทรกชั้นด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมีแท่งกราฟไฟต์ถูกใช้เป็น อิเล็กโทรดทั้งขั้วแอโนดและแคโทดของผสมระหว่างของเหลวไอออนิกและถูกนำไปใช้เป็น อิเล็กโทรไลต์.....	17
2.9 แสดงการสังเคราะห์กราฟีนด้วยเทคนิค (ก) ทีซีวีดี (ข)พีอีซีวีดี.....	18
2.10 แสดงกลไกการทำงานของอนุภาคซิลเวอร์นาโนต่อการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย.....	22
2.11 แสดงโครงสร้างของพอลิไวนิลไพโรลิโดน.....	25
2.12 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรียแกรมลบ.....	27
2.13 แสดงกลไกการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียของพอลิเมอร์/โลหะนาโนคอมโพสิต.....	27
2.14 แสดงการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์แบบอสัณฐานและแบบกึ่งผลึก.....	28
2.15 แสดงถึงการอบอ่อน (annealing) ที่ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเรียงตัวไปในทิศทาง เดียวกันและมีความเป็นผลึกมาก.....	28
3.1 แสดงการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	33
3.2 สารแขวนลอยซิลเวอร์ขนาดนาโนเมตร (AgNPs).....	34
3.3 การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสม.....	35
4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO).....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 แสดงภาพถ่ายสีของสารแขวนลอย (a) กราฟีนออกไซด์ (GO) และ (b) รีดิวิซ์กราฟีนออกไซด์(rGO).....	43
4.3 แสดง FTIR สเปกตรัมของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวิซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO).....	44
4.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวิซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO).....	45
4.5 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง TEM ของ (a) กราฟีนออกไซด์ และ (b) รีดิวิซ์กราฟีนออกไซด์.....	45
4.6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงอนุภาคนาโนซิลเวอร์ก่อนและหลังไมโครเวฟ.....	46
4.7 แสดงสีของสารแขวนลอยนาโนซิลเวอร์ (a) ก่อนผ่านกระบวนการไมโครเวฟ และ (b) หลังผ่านกระบวนการไมโครเวฟ 75 วินาที.....	47
4.8 แสดงสมการที่อาจจะเป็นไปได้ของการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ (AgNPs).....	47
4.9 แสดงภาพ (a) TEM ของสารแขวนลอยนาโนซิลเวอร์ และ (b) กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของอนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	47
4.10 แสดงภาพ TEM สารละลายรีดิวิซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมอนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	48
4.11 แสดงกราฟ FT-IR เปรียบเทียบแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	49
4.12 แสดงกราฟ FTIR ของซิลเฟอร์ช่วงความถี่ที่เลขคลื่น 500-1200 cm^{-1}	49
4.13 แสดงกราฟ FT-IR เปรียบเทียบแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	50
4.14 แสดงกราฟ FT-IR เปรียบเทียบแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวิซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	51
4.15 แสดงกราฟ FT-IR เปรียบเทียบแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวิซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	52
4.16 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟไฟต์ออกไซด์ (GO) และรีดิวิซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO).....	53
4.17 แสดงสเปกตรัมของเทคนิครามานเปรียบเทียบแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 แสดงสเปกตรัมของเทคนิครามานเปรียบเทียบแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	55
4.19 แสดงสเปกตรัมของเทคนิครามานเปรียบเทียบแผ่นยางธรรมชาติผสม รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	56
4.20 แสดงสเปกตรัมของเทคนิครามานเปรียบเทียบแผ่นยางธรรมชาติผสม รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก/ อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	57
4.21 แสดง XRD Pattern ของผงกราไฟต์ (Graphite) ผงกราฟีนออกไซด์ (GO) และผงรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO).....	58
4.22 แสดง XRD pattern ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม ซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	59
4.23 แสดง XRD pattern ของซัลเฟอร์ จากงานวิจัยอ้างอิง.....	60
4.24 แสดง XRD pattern ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	60
4.25 แสดง XRD pattern ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	61
4.26 แสดงภาพจากกล้อง SEM เปรียบเทียบระหว่าง (a) กราฟีนออกไซด์กำลังขยาย 3000x เท่า และ (b) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 500x เท่า.....	62
4.27 แสดงภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติ กำลังขยาย 5000x เท่า.....	63
4.28 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross Section) ที่กำลังขยาย (I) 500x เท่า (II) 1000x เท่า ของแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	63
4.29 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross Section) ที่กำลังขยาย (I) 500x เท่า (II) 1000x เท่า ของแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่ อุณหภูมิต่าง ๆ.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.30 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross Section) ที่กำลังขยาย (I) 500 เท่า× (II) 1000x เท่า ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ ซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ และอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ.....	66
4.31 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross Section) ที่กำลังขยาย (I) 500x เท่า (II) 1000x เท่า ของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ และอบอุ่นที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	67
4.32 แสดงลักษณะพื้นผิวของยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ ในรูปแบบสองมิติ.....	69
4.33 แสดงลักษณะพื้นผิวของยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 5 wt.% ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในรูปแบบสองมิติ.....	70
4.34 แสดงภาพตัดขวาง (Cross Section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอุ่นที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	71
4.35 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุ.....	72
4.36 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ที่อบอุ่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุ.....	73
4.37 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุ.....	74
4.38 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และแผนที่ธาตุ แสดงการกระจายตัวของธาตุ.....	75
4.39 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และแผนที่ธาตุแสดงการ กระจายตัวของธาตุ.....	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.40 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโน ร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุ.....	77
4.41 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก ที่บอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุ.....	78
4.42 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก บอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุ.....	79
4.43 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก บอบอ่อนที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุ.....	80
4.44 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโน ร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก บอบอ่อนที่อุณหภูมิ100 องศาเซลเซียส และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุ.....	81
4.45 แสดงเทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ TGA ของแผ่นยางธรรมชาติผสม ซิลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	82
4.46 แสดงเทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ TGA ของแผ่นยางธรรมชาติผสม ซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และบอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	83
4.47 แสดงเทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ TGA แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่างๆ/ซิลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ และบอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	83
4.48 แสดงการเปรียบเทียบ Young's modulus ของแผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางธรรมชาติผสม ชนิดต่าง ๆ.....	88
4.49 แสดงการเปรียบเทียบ Stress at Maximum ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม ชนิดต่าง ๆ.....	88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.50 แสดงการเปรียบเทียบ Stiffness ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม ชนิดต่าง ๆ.....	89
4.51 แสดงการเปรียบเทียบ Load at Break ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม ชนิดต่าง ๆ.....	89
4.52 แสดงการเปรียบเทียบ Young's modulus ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม ชนิดต่าง ๆ.....	90
4.53 แสดงการเปรียบเทียบ Stress at Maximum ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม ชนิดต่าง ๆ.....	90
4.54 แสดงการเปรียบเทียบ Stiffness ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม ชนิดต่าง ๆ.....	91
4.55 แสดงการเปรียบเทียบ Load at Break ของแผ่นยางธรรมชาติแผ่นยางธรรมชาติผสม ชนิดต่าง ๆ.....	91
4.56 แสดงการเปรียบเทียบ Young's modulus ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม ชนิดต่าง ๆ.....	92
4.57 แสดงการเปรียบเทียบ Stress at Maximum ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติ ผสมชนิดต่าง ๆ.....	92
4.58 แสดงการเปรียบเทียบ Stiffness ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม ชนิดต่าง ๆ.....	93
4.59 แสดงการเปรียบเทียบ Load at Break ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม ชนิดต่าง ๆ.....	93
4.60 แสดงตัวอย่างกราฟ Tensile Strength ของแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลิโคน ที่ปริมาณต่าง ๆ.....	94
4.61 แสดงตัวอย่างกราฟ Tensile Strength ของแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลิโคน ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	94
4.62 แสดงตัวอย่างกราฟ Tensile Strength ของแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่าง ๆ.....	95
4.63 แสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม ซิลิโคนที่ปริมาณต่าง ๆ และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.64 แสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม ซิลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ และอบบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	97
4.65 แสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณต่าง ๆ/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ และอบบอ่อนที่ อุณหภูมิต่าง ๆ.....	98
4.66 แสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณต่าง ๆ/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ และอบบอ่อนที่ อุณหภูมิต่าง ๆ.....	98
4.67 กราฟแสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและเชื้อแบคทีเรียแกรมลบของแผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่าง ๆ.....	100



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ยางธรรมชาติ (Natural rubber) มีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนจึงทำให้มีสมบัติไม่ทนต่อน้ำมัน แต่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ใน 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวแบบเส้นตรงใน 1 หน่วยไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และหมู่แอลฟาเมทิลีนที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยายางธรรมชาติ มีสายโซ่ที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) ประมาณ -72 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิการหลอมละลายเริ่มต้นที่อุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส จึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงได้ สำหรับความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อยืด การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขีดถูสูงขึ้น ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูงอยู่ในช่วง $200,000$ ถึง $400,000$ และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างมาก [1]

เพื่อเป็นการเพิ่มสมบัติเชิงกลให้กับยางธรรมชาติ โดยทั่วไปจะมีวิธีการง่ายๆ ก็คือการเติมสารเพื่อที่จะช่วยเพิ่มการวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent) เช่น ซัลเฟอร์ (Sulfur) และใช้กระบวนการอบอ่อน (Annealing) เพื่อที่จะให้สายโซ่ของยางธรรมชาติมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีความเป็นระเบียบและเป็นผลึกมากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้สมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติเพิ่มขึ้น [2] โดยจะมีการเติมซัลเฟอร์ (S_8) เพื่อเป็นการวัลคาไนซ์ยาง เนื่องจากซัลเฟอร์สามารถเกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยงในโมเลกุลของยางพวกไม่อิ่มตัวได้ โดยเริ่มแรกซัลเฟอร์ที่มีโครงสร้างทางเคมีเป็นแบบวงแหวนแปดเหลี่ยม ซึ่งวงแหวนแปดเหลี่ยมจะแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระ อิเล็กตรอนของอนุมูลอิสระซึ่งที่ปลายด้านหนึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของยาง ในขณะที่อิเล็กตรอนของอนุมูลอิสระซึ่งที่ปลายอีกด้านหนึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของยางอีกสายโซ่หนึ่ง เกิดเป็นการเชื่อมโยงทางเคมีขึ้นซึ่งจะเกิดการวัลคาไนซ์ขึ้น โดยซัลเฟอร์จะเป็นตัวเชื่อมระหว่างโมเลกุลของยาง เรียกว่าเกิด crosslink ซึ่งจะทำให้ยางมีสมบัติดีขึ้น เช่น สมบัติความต้านทานแรงดึง ความแข็ง โมดูลัสมีความยืดหยุ่นได้ดีมากขึ้น ทนความร้อนและแสงแดด เป็นต้น

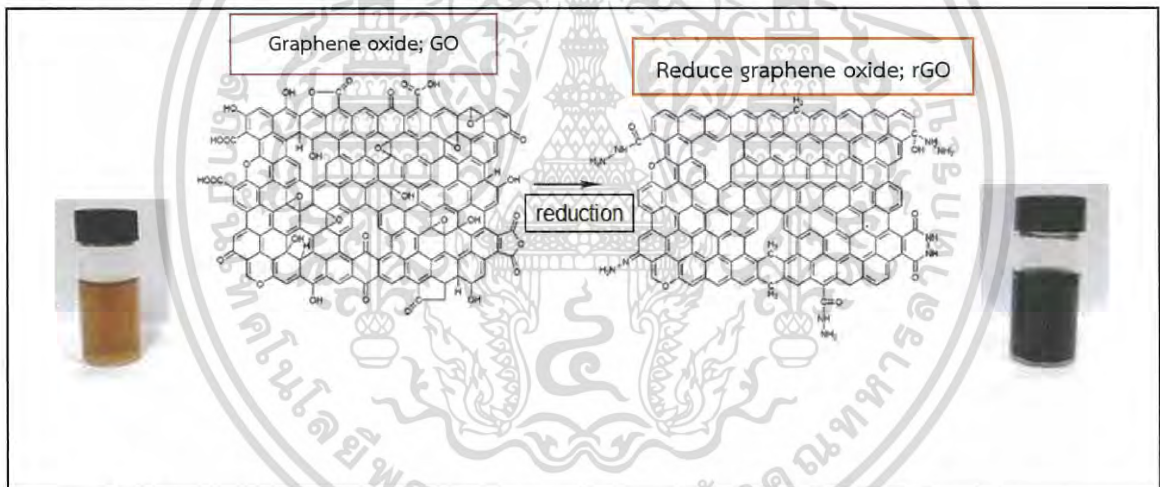
นอกจากนั้นนอกเหนือจากการเติมสารวัลคาไนซ์ลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลดังกล่าวแล้ว กระบวนการอบอ่อนยังส่งผลทำให้สายโซ่ของยางมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น เนื่องจากการอบอ่อนทำให้สายโซ่ของยางธรรมชาติเกิดการคายตัวจึงทำให้สายโซ่โมเลกุลของยางเกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างสายโซ่ใหม่ ซึ่งมีความเป็นระเบียบมากขึ้นส่งผลให้ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลที่เพิ่มสูงขึ้น โดยต้องใช้อุณหภูมิของการอบอ่อนจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 80 องศาเซลเซียส ถึง 120 องศาเซลเซียส [3] ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะเพิ่มสมบัติเชิงกลให้กับยางธรรมชาติ เป็นการพัฒนาสมบัติเชิงกลให้กับยางธรรมชาติ โดยได้มีการเติมซิลเฟอร์ลงไป รวมถึงได้ศึกษาอุณหภูมิในการอบอ่อน (Annealing) อีกด้วย

จากงานวิจัยที่ผ่านมาการพัฒนาทางธรรมชาติได้มีการเติมอัญรูปหนึ่งของคาร์บอน นั่นคือ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (Reduced graphene oxide; rGO) เพื่อให้ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงกลที่ดี และยังได้มีการเติมซิลเวอร์ (Silver; Ag) ลงไป เพื่อให้ยางธรรมชาติที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีแล้วยังทำให้ยางธรรมชาติหรือแผ่นของยางธรรมชาติผสมนี้มีสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียอีกด้วย

รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ถูกใช้เป็นส่วนตัวเติม เนื่องด้วยสมบัติที่โดดเด่นทางด้านต่าง ๆ เช่น ความแข็งแรงคงทนที่สูง การนำไฟฟ้าที่ดีเยี่ยม การนำความร้อนที่ดี การทนต่อความร้อน การทนต่อสารเคมี เป็นต้น รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซึ่งเป็นอัญรูปพื้นฐานหนึ่งคาร์บอนอะตอม ที่มีความบางในระดับอะตอมหนา 0.34 นาโนเมตร โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เตรียมได้จากสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ โดยผ่านกระบวนการรีดักชันทางเคมีและใช้ความร้อนช่วยในการเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ไฮดราซีน (Hydrazine) ที่เป็นสารรีดิวซ์เชิงเอเจนท์ ช่วยในกระบวนการรีดิวซ์ และใช้แอมโมเนีย (Ammonia) เป็นตัวช่วยรักษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้ไม่ให้จับตัวเป็นก้อนหรือตกตะกอนจึงง่ายต่อการเอาไปใช้ในการผสมกับน้ำยางธรรมชาติ [4]



รูปที่ 1.1 ภาพแสดงโครงสร้างของแผ่นกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)

แต่อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยที่ผ่านมาถึงแม้ว่าเมื่อยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีสมบัติเชิงกลที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก แต่พบว่าเมื่อยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ถูกเติมด้วยซิลเวอร์ขนาดนาโนเข้าไปจะทำให้สมบัติเชิงกลของแผ่นยางธรรมชาติผสมนี้ มีสมบัติเชิงกลที่ลดลงเช่นกัน เนื่องจากโลหะซิลเวอร์ขนาดนาโนเป็นต้น มีการปลดปล่อยซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ซึ่งซิลเวอร์ไอออนนี้สามารถเข้าไปทำลายโมเลกุลในสายโซ่ของยางธรรมชาติ ดังนั้นหลักในการเติมโลหะซิลเวอร์จึงจำเป็นที่จะต้องเติมลงไปปริมาณให้น้อยที่สุด แต่แผ่นยางธรรมชาติผสมจะคงแสดงสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย [5]

โดยทั่วไปโลหะซิลเวอร์ (Silver) มีสมบัติสามารถยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ โดยกลไกการทำงานคือ อนุภาคซิลเวอร์ระดับนาโน (Silver nanoparticles; AgNPs) เมื่อสัมผัสกับผนังเซลล์จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรียได้ จากนั้นอนุภาคซิลเวอร์นาโน ซึ่งมีสมบัติเป็น soft acid จะเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลที่เป็น soft base ภายในเซลล์ ซึ่งก็คือส่วนที่เรียกว่าหมู่ซัลไฟดริล (sulfhydryl group) ของเอนไซม์โปรตีนเนส (proteinase) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับเมตาบอลิซึมของเซลล์ โดยหมู่ซัลไฟดริล (-SH) จะจับตัวกับอนุภาคของซิลเวอร์ทำให้กระบวนการทำงานของเอนไซม์หยุดการทำงาน จนกระทั่งเซลล์ของแบคทีเรียเสื่อมสภาพไปในที่สุด ในงานวิจัยนี้การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ขนาดระดับนาโนทำได้จากการเตรียมจากสารละลายซิลเวอร์ไนเตรทเป็นสารตั้งต้นและมีพอลิไวนิลไพโรลิโดน (Poly(N-vinylpyrrolidone); PVP) เป็นตัวรักษาเสถียรภาพในการสังเคราะห์ จึงได้อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่มีขนาดใกล้เคียงกัน [6]

ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าและสมบัติที่ต้องการพัฒนาของแผ่นยางธรรมชาติงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมด้วยวิธีการผสมและเทขึ้นรูปแบบลาเท็กซ์ (Latex mixing and casting methods) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำได้ง่าย สะดวก ประหยัด และเตรียมได้ในปริมาณมาก ได้เป็นอย่างดี จากนั้นทำการศึกษาผลของการเติมซิลเฟอร์ในปริมาณต่าง ๆ และอุณหภูมิในการอบอ่อนที่มีต่อแผ่นยางธรรมชาติผสม ซึ่งก็จะส่งผลต่อสมบัติเชิงกล สมบัติเชิงความร้อน และสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมนี้ อีกทั้งได้ทำการศึกษาการพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นยางธรรมชาติผสมนี้โดยใช้เทคนิคต่าง ๆ อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อทำการศึกษาการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมจากการใช้น้ำยางธรรมชาติชนิดเข้มข้นผสมกับซิลเฟอร์ในปริมาณต่าง ๆ วิธีชักกราฟีนออกไซด์ และอนุภาคนาโนซิลเวอร์
2. เพื่อศึกษาผลการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ต่อสมบัติเชิงกลของแผ่นยางธรรมชาติผสม
3. เพื่อศึกษาการพิสูจน์เอกลักษณ์ สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติผสม
4. เพื่อศึกษาสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติชนิดเข้มข้นด้วยกระบวนการผสมและเทขึ้นรูปแบบลาเท็กซ์ โดยศึกษาผลของการเติมสารแขวนลอยซิลเฟอร์ที่มีปริมาณที่แตกต่างกัน ได้แก่ 3.0% 5.0% 7.0% และ 10.0% โดยน้ำหนัก
2. ศึกษาวิธีการเตรียมแผ่นของผสมยางธรรมชาติ โดยศึกษาผลของอุณหภูมิในการอบอ่อนที่มีต่อสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติ โดยใช้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน ได้แก่ 90 100 และ 110 องศาเซลเซียสตามลำดับ
3. ศึกษาวิธีการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างซิลเฟอร์ วิธีชักกราฟีนออกไซด์ ซิลเวอร์ขนาดนาโน รวมทั้งอุณหภูมิในการอบอ่อน
4. พิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นยางธรรมชาติผสมที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ UV-Vis XRD FTIR OM SEM TEM EDS และ Raman เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติผสมที่เตรียมได้ด้วยเทคนิค UTM และ TGA ตามลำดับ
6. ศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางผสมที่เตรียมได้ด้วยวิธีการ Agar disk-diffusion methods โดยทำการทดสอบกับเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด คือ ชนิดแกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และชนิดแกรมลบ *Escherichia coli* (*E. coli*)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับองค์ความรู้ต่าง ๆ ในการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลิโคน รีติวซ์กราฟีนออกไซด์ และอนุภาคนาโนซิลเวอร์รวมทั้งผลของอนุภาคนาโนในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียต่าง ๆ ของแผ่นยางธรรมชาติผสม
2. ได้แผ่นยางธรรมชาติผสมที่มีสมบัติเชิงกลที่ดียิ่งขึ้นและยังมีสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ เช่น ใช้เป็นวัสดุรองพื้นต่าง ๆ ที่ทำจากแผ่นยางพารา
3. สามารถเพิ่มมูลค่าและความหลากหลายในการนำน้ำยางธรรมชาติมาเตรียมเป็นแผ่นยางธรรมชาติผสมด้วยวิธีการที่ง่าย ๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานในด้านต่าง ๆ อันเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศได้ในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

แหล่งผลิตยางธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดในโลกคือ แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คิดเป็นร้อยละ 90 ของแหล่งผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือมาจากแอฟริกากลาง ซึ่งพันธุ์ยางที่ปลูกในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ พันธุ์ฮีเวียบราซิลเลียนซิส (Hevea brasiliensis) น้ำยางที่กรีดได้จากต้นจะเรียกว่า น้ำยางสด (Field latex) น้ำยางที่ได้จากต้นยางมีลักษณะเป็นอนุภาคเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว มีสภาพเป็นคอลลอยด์ มีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 27 - 48 pH 6.5 - 7 น้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความหนืด 12-15 เซนติพอยส์ ส่วนประกอบในน้ำยางสดแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือส่วนที่เป็นเนื้อยาง 35% ส่วนที่ไม่ใช่ยาง 65 %

2.1.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติเป็นสารที่อยู่ในสภาพของของเหลวคอลลอยด์ (Colloid) เมื่อกรีดมาจากต้นยางมีปริมาณของเนื้อยางแห้งอยู่ระหว่าง 25-45 เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็งและสารที่เป็นเนื้อยางแห้งจะอยู่ที่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งองค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำยางธรรมชาติ ดังแสดงตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ [7]

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (%)
เนื้อยางแห้ง (Dry rubber content, DRC)- พอลิไอโซพรีน	33
คาร์โบไฮเดรต	1.6
โปรตีน	1.4
ไขมัน	1.0
ไกลโคไลปิด(Glycolipids) และฟอสโฟไลปิด (Phospholipids)	0.6
สารอินทรีย์	0.5
อื่น ๆ	0.4
น้ำ	58.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบต่าง ๆ ในน้ำยางสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ คือส่วนที่เป็นเนื้อยาง และส่วนที่ไม่ใช่ยาง

2.1.1.1 ส่วนที่เป็นเนื้อยาง

1) อนุภาคยาง

อนุภาคยางถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมันและโปรตีน โดยโปรตีนนี้จะอยู่ชั้นนอกและอาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โปแตสเซียม และทองแดง ปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อยประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยปกติอนุภาคยางจะแขวนลอยในน้ำ ประกอบด้วยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน มีชื่อทางเคมีว่า ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4 Polyisoprene) มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.92 กรัมต่อมิลลิกรัม ลักษณะอนุภาคยางเป็นรูปค่อนข้างทรงกลมมีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมาก คือ อยู่ระหว่าง 0.02 μm จนถึง 4 μm อนุภาคยางส่วนใหญ่จะมีขนาดมากกว่า 0.4 μm โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1.2 μm เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูง พบว่า อนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่จะแยกตัวออกจากชั้นน้ำขึ้นมาอยู่ด้านบน ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็นน้ำยางข้น ส่วนอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กจะปนอยู่กับหางน้ำยาง สามารถแยกออกโดยการทำให้จับตัวเป็นก้อนด้วยกรด

2) โปรตีน

ส่วนของสารพวกโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยางมีอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์จะอยู่ในชั้นน้ำและอีก 25 เปอร์เซ็นต์จะปะปนอยู่ในส่วนของลูทอยด์

3) ไขมัน

ไขมันซึ่งเกาะอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ชนิด α -Lecithin เชื่อว่าทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเนื้อยางแห้ง

ส่วนประกอบ	ปริมาณร้อยละ
เนื้อยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำ กระจายอยู่ในเนื้อยาง	10
สารโปรตีน	1
สารพวกไขมัน	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.2 ส่วนที่ไม่ใช่ยาง

1) ส่วนที่เป็นน้ำ หรือ เซรัม

เซรัม (Serum) ของน้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารชนิดต่าง ๆ คือ

2) คาร์โบไฮเดรต เป็นสารพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในน้ำยางประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชนิด คิวบาซิทอล มีน้ำตาลชนิด กลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส ปริมาณเล็กน้อย

3) โปรตีนและกรดอะมิโน เป็นส่วนที่อยู่ในเซรัมของน้ำยาง ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนประเภทอัลฟาไกลูบูลินน้ำยางสดที่กรีตได้จากต้นยาง จะคงสภาพความเป็นน้ำยางอยู่ได้ไม่เกิน 6 ชั่วโมงเนื่องจากแบคทีเรียในอากาศ และจากเปลือกของต้นยางขณะกรีดยางจะลงไปในน้ำยาง และกินสารอาหารที่อยู่ในน้ำยาง เช่น โปรตีน น้ำตาล ฟอสโฟไลปิด โดยแบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากแบคทีเรียกินสารอาหาร คือ จะเกิดการย่อยสลายได้เป็นก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน เริ่มเกิดการบูดเน่าและส่งกลิ่นเหม็น การที่มีกรดที่ระเหยง่ายเหล่านี้ในน้ำยางเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนแปลงลดลง ดังนั้นน้ำยาง จึงเกิดการสูญเสียสภาพซึ่งสังเกตได้จากน้ำยางจะค่อย ๆ หนืดขึ้น เนื่องจากอนุภาคของยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็ก ๆ และจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนน้ำยางสูญเสียสภาพโดยน้ำยางจะแยกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง และส่วนที่เป็นเซรัม ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยางไม่ให้อนุภาคของเม็ดยางเกิดการรวมตัวกันเองตามธรรมชาติ จึงมีการใส่สารเคมีลงไปในน้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยางให้คงสภาพเป็นของเหลว โดยสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางเรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ ฟอรัมาลดีไฮด์ เป็นต้น เพื่อที่รักษาน้ำยางไม่ให้สูญเสียสภาพ

2.1.2 รูปแบบของยางธรรมชาติ

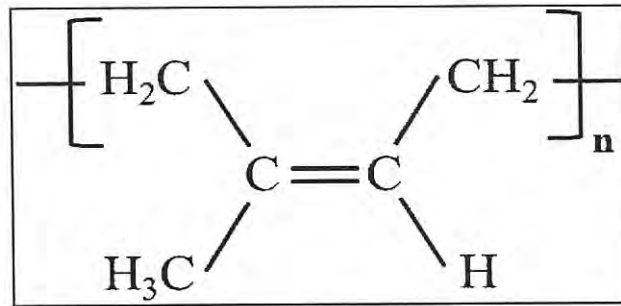
1) น้ำยางสด มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำมัน มีสภาพเป็นคอลลอยด์หรือ สารแขวนลอย มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า pH ประมาณ 6.5-7.0 ความหนืดของน้ำยางมีค่าประมาณ 12-15 เซนติพอยล์

2) น้ำยางข้น คือน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการเพิ่มความเข้มข้น แล้วจะมีปริมาณเนื้อยางประมาณร้อยละ 55-65 ซึ่งสูงกว่าน้ำยางสดที่มีปริมาณเนื้อยางประมาณร้อยละ 25 - 30 ทำให้สามารถทำการขนส่งได้ง่ายขึ้นเป็นอย่างมาก

2.1.3 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) กล่าวคือในโมเลกุลยาง 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายยาว (แบบเส้นตรง) โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยอยู่ในช่วง 200,000- 400,000 และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลที่กว้างมาก ยางธรรมชาติมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.93 g/cm^3 ที่อุณหภูมิ 20°C และมีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (glass transition temperature; T_g) ประมาณ -72°C นั้นหมายความว่าหากน้ำยางธรรมชาติไปเก็บไว้ที่ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า -72°C สมบัติของยางธรรมชาติจะเปลี่ยนจากที่เคยยืดหยุ่นไปเป็นของแข็งเปราะเช่นเดียวกันกับแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 รูปแสดงโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ

จากภาพที่ 2.1 จะเห็นว่าใน 1 หน่วยของไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และหมู่แอลฟาเมทิลีน (α -methylene) ที่วงโคจรเกิดการเกิดปฏิกิริยาการคงรูปด้วยกัมมันตอยู่ อย่างไรก็ตาม พันธะคู่นี้ยังสามารถเกิดปฏิกิริยากับสารอื่น ๆ ได้อีก เช่น ออกซิเจน หรือโอโซน ทำให้ยางเสื่อมสภาพ หรืออาจทำให้ยางทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน คลอรีน ไฮโดรเจนคลอไรด์ เป็นต้น ซึ่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาระหว่างยาง (ที่ตำแหน่งพันธะคู่) กับสารเคมีต่าง ๆ เหล่านี้จะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วแม้อุณหภูมิสูงขึ้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสถานะ เช่น ที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อยางถูกยืดโมเลกุลของยางบางส่วน สามารถจัดเรียงตัวได้อย่างค่อนข้างเป็นระเบียบ ยางจึงสามารถเกิดผลึก (crystallize) ได้

2.1.4 สมบัติของยางธรรมชาติ [8]

ยางธรรมชาติมีสมบัติลักษณะเด่นหลายด้านตามลักษณะของยาง โดยยางธรรมชาติมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะคือ ยางดิบ และยางคงรูป ยางธรรมชาติมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติก (Plastic) และอีลาสติก (Elastic) ซึ่งยางสามารถแบนและไหลได้เมื่อได้รับแรงกดและเมื่อปล่อยแรงสามารถหดกลับคืนรูปร่างได้ มีความยืดหยุ่น (Elasticity) ยางดิบมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ใช้งานได้ในอุณหภูมิที่จำกัด ในสถานะที่อุณหภูมิต่ำยางจะแข็งกระด้าง ในสถานะที่อุณหภูมิสูงยางจะนิ่ม ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ความเหนียวติด (Tack) เป็นต้น ทำให้ยางธรรมชาติได้รับความนิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ในการนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อย่างหลากหลาย โดยสมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ ได้แก่

- 1) ความยืดหยุ่น (Elasticity) เป็นสมบัติเด่นของยางธรรมชาติ ซึ่งยางธรรมชาติจะมีความยืดหยุ่นสูง กล่าวคือยางสามารถยืดขยายตัวออกได้เมื่อมีแรงดึงหรือกด และสามารถหดกลับ คืนสู่รูปร่างหรือขนาดเดิมได้อย่างรวดเร็วเมื่อแรงภายนอกที่มากระทำหมดไป
- 2) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงมากโดยไม่ต้องเติมสารตัวเติม จึงเหมาะแก่การนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ถุงมือยาง เป็นต้น
- 3) ความเหนียวติด (Tack) เป็นสมบัติที่ดีเยี่ยมของยางธรรมชาติ (ในลักษณะที่เป็นยางดิบ) ซึ่งนิยมมาผลิตผลิตภัณฑ์ที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน
- 4) ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถู

สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 5) ความต้านทานการฉีกขาด (Tear strength) ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาดสูงทั้งที่อุณหภูมิต่ำ และอุณหภูมิสูง จึงเหมาะแก่การผลิตกระเปาะน้ำร้อน
- 6) สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี มีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งานและมีความต้านทานต่อความล้า (Fatigue resistance) ที่สูงมาก
- 7) ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation) ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวน โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (Specific resistivity) สูง $10^{15} - 10^{16}$ ohm-cm
- 8) ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and chemical resistance) ยางธรรมชาติไม่มีขั้วจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายไม่มีขั้ว ยางธรรมชาติไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียม เช่น เบนซิน แต่ทนทานต่อของเหลวและสารเคมีที่มีขั้วได้ดี เช่น อะซิโตน แอลกอฮอล์ เป็นต้น
- 9) การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด (Aging properties) ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อความร้อน โอโซน และแสงแดด ได้น้อยเนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (double bond) ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
- 10) การกระด้างกระดอน (Rebound resilience) ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระด้างกระดอนสูงและในระหว่างการเปลี่ยนรูปร่างจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนน้อย ยางธรรมชาติจึงมีความร้อนสะสมต่ำเมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัต
- 11) อุณหภูมิการใช้งาน (Service temperature) อุณหภูมิการใช้งานยางธรรมชาติอยู่ระหว่าง 40 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานานอาจเกิดการตกผลึก ซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและเสียความยืดหยุ่น แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไป สมบัติเชิงกลต่าง ๆ ก็จะต้องลดลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ

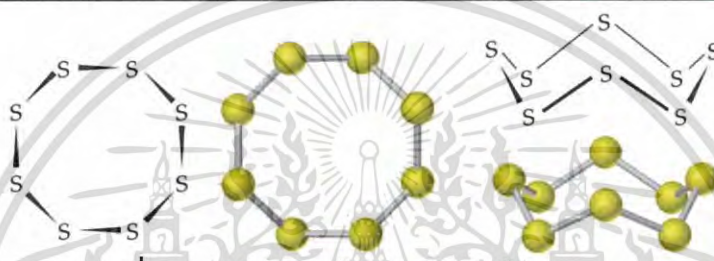
2.2 ซัลเฟอร์ (Sulfur)

กำมะถัน หรือ ซัลเฟอร์ (อังกฤษ: Sulfur หรือ Sulphur) คือธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 16 และสัญลักษณ์คือ S มีโครงสร้างผลึกแบบ Orthorhombic เป็นอโลหะที่มีอยู่ทั่วไป ไม่มีรสหรือกลิ่น และมีวาเลนซ์ได้มากมาย กำมะถันในรูปแบบปกติเป็นของแข็งสีเหลืองที่เป็นผลึกมีโครงสร้างเป็นรูปแปดเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 สามารถพบได้ในรูปธาตุเอง หรือแร่ซัลไฟด์และซัลเฟต เป็นธาตุจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิต และพบในกรดอะมิโนหลายชนิด การใช้ในเชิงพาณิชย์ที่เป็นหลัก คือ ในปุ๋ย แต่นอกจากนี้ยังใช้ในดินปืน ไม้ขีดไฟ ยาฆ่าแมลง และยาฆ่ารา ซึ่งคุณสมบัติทั่วไปและสมบัติทางกายภาพแสดงในตารางที่ 2.3 และ 2.4 ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงสมบัติทั่วไปของซัลเฟอร์ [9]

สมบัติทั่วไป	
ชื่อ, สัญลักษณ์, เลขอะตอม	กำมะถัน, S, 16
อนุกรมเคมี	แฮลโคเจน
หมู่, คาบ, บล็อก	6, 3, p
ลักษณะ	สีเหลือง
มวลอะตอม	32.065(5) กรัม/โมล
การจัดเรียงอิเล็กตรอน	[Ne] 3s ² 3p ⁴
อิเล็กตรอนต่อระดับพลังงาน	2, 8, 6



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของซัลเฟอร์

ตารางที่ 2.4 แสดงสมบัติทางกายภาพของซัลเฟอร์

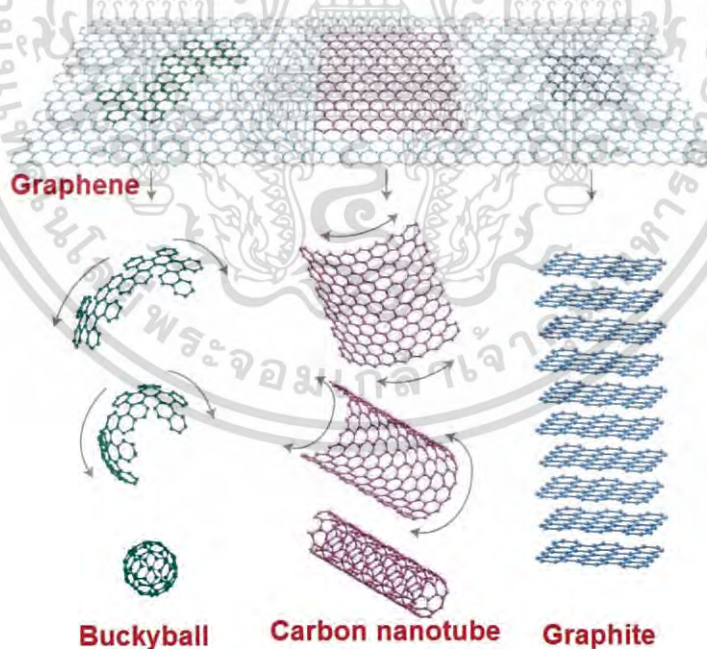
สมบัติทางกายภาพ	
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น(ใกล้อุณหภูมิห้อง)	(alpha) 2.08 ก./ซม. ³ (bera) 1.96 ก./ซม. ³ (gamma) 1.92 ก./ซม. ³
ความหนาแน่นของของเหลวที่จุดหลอมเหลว	1.819 ก./ซม. ³
จุดหลอมเหลว	388.36 K (115.21 °C)
จุดเดือด	717.8 K (444.6 °C)
ความร้อนของการหลอมเหลว	(mono) 1.727 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	(mono) 45 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 °C) 22.75 J/(mol·K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 กราฟีน (Graphene)

กราฟีนเป็นวัสดุที่ประกอบด้วยชั้นของคาร์บอนอะตอมที่หนาเพียง 1 ชั้น มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีโครงสร้าง 2 มิติ เหมือนตาข่ายรูปหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้ง โดยมีความหนาเท่ากับความหนาของคาร์บอนเพียงอะตอมเดียวหรือประมาณ 0.34 นาโนเมตร และมีระยะห่างระหว่างอะตอมคาร์บอน 0.142 นาโนเมตร กราฟีนไม่เพียงแค่เป็นวัสดุที่บางที่สุด แต่ยังมีความแข็งแรง มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ดีกว่าโลหะหรือสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นมากแม้อยู่ที่อุณหภูมิห้อง เนื่องมาจากการเกิดพันธะในระดับชั้นพลังงานแบบ sp^2 ของคาร์บอนอะตอมที่เกิดพันธะกันเป็นบริเวณกว้างทั่วทั้งแผ่นกราฟีน และมีความสามารถในการเพิ่มการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนระหว่างขั้วไฟฟ้ากับสารตัวอย่างที่ต้องการวัด นอกจากนี้ยังสามารถนำความร้อนได้ดีเนื่องจากโครงสร้างที่เกิดจากการเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนเพียงอย่างเดียว และมีความหนาแน่นต่อพื้นที่ถึง $2630 \text{ m}^2/\text{g}$ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับท่อนาโนคาร์บอนแบบผนังเดี่ยว (single wall carbon nanotube) แล้วถือว่ามากกว่าถึงสองเท่า [10]

วัสดุกราฟีนถูกเตรียมขึ้นได้เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 2004 โดย นักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซีย ดร.อังเดร ไกม์ (Andre Geim) และ ดร.คอน สแตนติน โนวโวลอฟ (Konstantin Novoselov) โดย ไกม์และโนวโวลอฟ สามารถทำให้แกรไฟต์บางลงจนเหลือเพียงชั้นเดียวและมีความหนาเท่ากับอะตอมเดียว อีกทั้งยังมีความเสถียรในสภาวะธรรมชาติ และเรียกว่สื่อนี้ว่า “กราฟีน (graphene)” ซึ่งการค้นพบนี้ทำให้ไกม์และโนวโวลอฟ ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 2010 ที่ผ่านมา



รูปที่ 2.3 แสดงความเชื่อมโยงเชิงโครงสร้างของอัญรูปต่าง ๆ ของคาร์บอนผ่านโครงสร้าง 2 มิติของกราฟีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 คุณสมบัติของกราฟีน [11]

1. ความแข็งแรง กราฟีนมีค่าระดับความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กถึง 5 เท่า (เทียบเท่าหรือมากกว่าเพชร) เบากว่า เหนียวกว่า และยืดหยุ่นกว่า แต่แม้จะแข็งแรงแต่แผ่นกราฟีนกลับสามารถ บิดงอ ม้วน หรือพับได้อย่างง่ายดายโดยไม่ทำให้โมเลกุลเสียหายทั้งยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่รีไซเคิลได้ดีต่อสภาพแวดล้อม

2. ความโปร่งแสง สามารถมองเห็นได้ (แม้ว่ามีความบางขนาดอะตอมก็ตาม) ขณะที่ตัวกราฟีนเองก็โปร่งแสง ดูดกลืนแสงเพียงร้อยละสองถึงสามเท่านั้น กราฟีนจึงเหมาะกับการใช้เป็นแผงโซลาร์เซลล์ กราฟีนชั้นเดียวสามารถมองเห็นได้โดยมีค่าการดูดซับแสงอยู่ที่ 2.3 %

3. ความยืดหยุ่น กราฟีนมีความยืดหยุ่นสูง ยืดได้ร้อยละ 20 ของความยาว อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่บางที่สุดเท่าที่มีการค้นพบ แม้ว่าในทางทฤษฎีจะไม่สามารถวัดความหนาของอะตอมได้แต่สามารถวัดระยะห่างระหว่างอะตอมได้ ทำให้สามารถประเมินคร่าว ๆ ได้ว่าแผ่นกราฟีนหนาประมาณ 0.335 นาโนเมตร

4. การนำความร้อน กราฟีนนั้นนำความร้อนได้ดีมาก ซึ่งวัดค่าความนำความร้อนจำเพาะของกราฟีนได้สูงกว่าโลหะชนิดอื่นในปัจจุบัน และดีกว่าเพชร ซึ่งถือว่าการนำความร้อนได้ดีเยี่ยม ด้วยคุณสมบัตินี้จึงสามารถนำกราฟีนไปช่วยในระบบระบายความร้อนใน CPU รวมถึงนำไปใช้ในการระบายความร้อนเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ได้ง่าย

5. ความทึบ กราฟีนเป็นวัสดุที่ทึบมากที่สุด จึงเหมาะที่จะใช้เป็นตัวตรวจจับก๊าซความไวสูง เพราะแม้ปริมาณก๊าซน้อยมาก ๆ ก็ถูกจับไว้ในแลตติซของกราฟีน

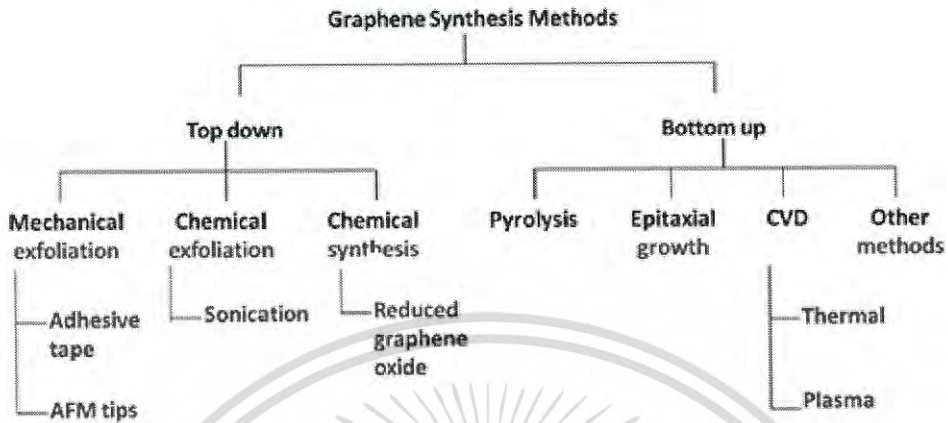
6. การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน กราฟีนมีความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนสูงมาก ทำให้นำไฟฟ้าได้มากกว่า มีประสิทธิภาพสูงกว่า เร็วกว่า และแม่นยำกว่าวัสดุอื่น ด้วยการที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนสูงมากจะทำให้สามารถสร้างทรานซิสเตอร์ที่ทำงานเร็วมาก ๆ ได้

2.3.2 วิธีการสังเคราะห์กราฟีน

ในการสังเคราะห์กราฟีน สามารถทำได้หลายวิธีซึ่งสรุปได้ดังรูปที่ 2.4 แบ่งตามกระบวนการสังเคราะห์วัสดุนาโน คือ กระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่าง (Top-down) และแบบล่างสู่บน (Bottom-up) ในกระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่างแบ่งเป็นการลอกแผ่นกราฟีนโดยตรง เช่น ใช้สก็อตเทปลอกแผ่นกราฟีนจากแกรไฟต์บริสุทธิ์ การใช้เข็ม AFM ลากแผ่นกราฟีนออกมา และการสังเคราะห์ทางเคมี เช่น การ Sonication หรือการสั่นด้วยเสียงความถี่สูง และการรีดิวซ์จากกราฟีนออกไซด์ ส่วนกระบวนการสังเคราะห์แบบล่างสู่บน ได้แก่ กระบวนการไพโรไลซิส การปลูกฟิล์มบางกราฟีนแบบผลึกเดี่ยว การปลูกฟิล์มบางกราฟีนด้วยไอระเหยทางเคมี เป็นต้น ซึ่งวิธีการกระบวนการสังเคราะห์แบบล่างสู่บนจะเป็นวิธีที่ซับซ้อนยุ่งยาก ต้องใช้เครื่องมือชั้นสูง แต่ให้ปริมาณของกราฟีนจำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก ส่วนใหญ่จะทำในระดับอุตสาหกรรม ส่วนกระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่างสามารถทำได้ง่ายกว่าสามารถทำในระดับห้องปฏิบัติการและงานวิจัยได้ [12]

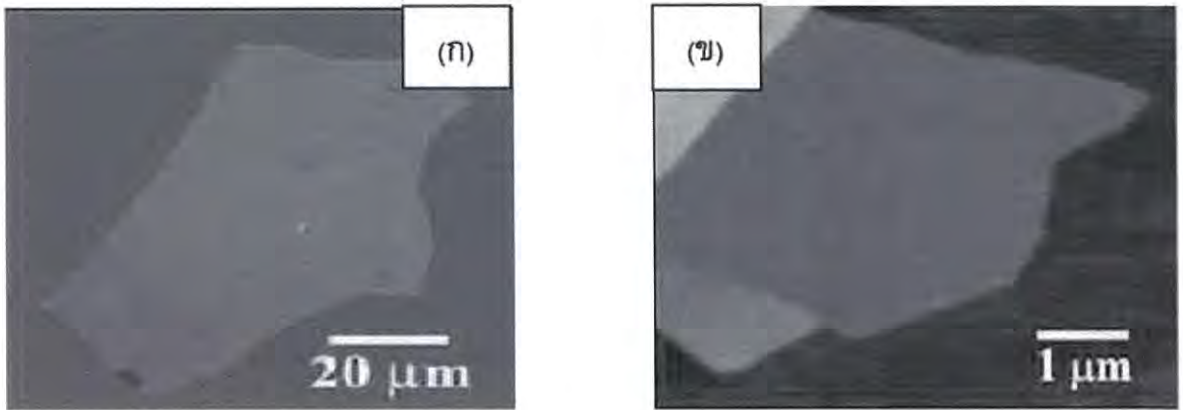


รูปที่ 2.4 แสดงแผนผังวิธีในการสังเคราะห์กราฟีน

2.3.2.1 การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีเชิงกล

วิธีการเชิงกล (Mechanical Exfoliation) ถือเป็นวิธีแรกที่นักวิจัยค้นพบ ในปี ค.ศ. 2004 อาจารย์ ดร.อังเดร โกิม (Andre Geim) และ ดร.คอนสแตนติน โนโวเซลอฟ (Konstantin Novoselov) ได้แยกกราฟีนออกจากกราไฟต์ โดยมีแนวคิดคือพยายามทำให้กราไฟต์บางลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โครงสร้างของกราไฟต์ คือกราฟีนที่เรียงซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น แต่ละชั้นยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ โดยแรงที่สามารถแยกกราฟีนชั้นเดียวออกจากกราไฟต์ได้มีค่าประมาณ $300 \text{ nN}/\mu\text{m}^2$ ดังนั้นเป้าหมายคือการทำให้กราไฟต์บางจนเหลือเพียงชั้นเดียว ดร.อังเดร โกิม และดร.คอนสแตนติน โนโวเซลอฟ พวกเขาสามารถสร้างกราไฟต์ที่มีความหนาเพียงอะตอมเดียวได้สำเร็จ และเรียกวัดนี้ว่า “กราฟีน” และพบว่าวัสดุนี้มีความเสถียรอย่างมาก วิธีที่พวกเขาใช้แยกกราฟีนออกจากกราไฟต์ คือ นำกราไฟต์วางไว้ที่ด้านเหนียวของเทปและปลายอีกด้านของเทปให้แปะทับ กราไฟต์ให้แน่น จากนั้นดึงเทปออกจากกันอย่างช้า ๆ กราไฟต์จะติดอยู่ที่ด้านเหนียวของเทปที่แยกออกจากกันทั้ง 2 ด้าน ซึ่งเกิดจากเทป กาวดึงชั้นกราไฟต์ให้แยกออกจากกัน เมื่อทำซ้ำไปเรื่อย ๆ ด้วยเทปกาวใหม่ ชั้นกราไฟต์จะถูกดึงแยกให้บางลงจนเหลือเพียงชั้นเดียว จากนั้นย้ายกราฟีนไปอยู่บนฐานรองที่ต้องการโดยการนำเทปกาวที่มีกราฟีนติดอยู่กดลงบนฐานรอง SiO_2/Si กราฟีนที่สร้างได้จากวิธีนี้ยังคงมีพื้นที่ขนาดเล็กซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะนำกราฟีนไปประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

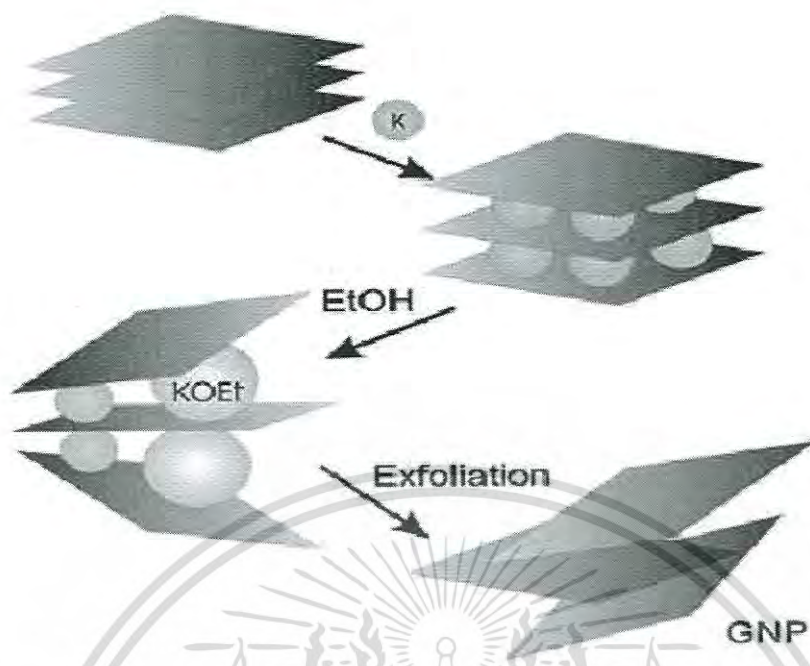


รูปที่ 2.5 แสดงภาพ (ก) กราฟีนซึ่งมีจำนวนชั้น 2-3 ชั้นและมีความหนาประมาณ 3 นาโนเมตรภายใต้แสงขาวปกติบนซิลิคอนเวเฟอร์โดยใช้วิธีการลอกด้วยสก็อตซ์เทป และ (ข) กราฟีนชั้นเดียวจากกล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม ระดับสีที่ต่างกัน แสดงถึงระดับความหนาที่แตกต่างกันโดยส่วนขอบบนและล่างซ้าย จะมีความหนามากกว่าส่วนอื่นเนื่องจากเกิดการพับของแผ่นกราฟีน พื้นที่สีแดงเข้มทางขวามือคือพื้นผิวของซิลิคอนไดออกไซด์

2.3.2.2 การหลุดลอกออกด้วยวิธีทางเคมี (Chemical exfoliation)

การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีการหลุดลอกออกทางเคมีจะได้กราฟีนที่อยู่ในรูปของสารละลาย โดยหลักการของวิธีการนี้คือการใช้โลหะอัลคาไลน์เข้าไปแทรกอยู่ (intercalation) ระหว่างชั้นกราฟีนในโครงสร้างกราฟไฟต์เพื่อให้กราฟีนแต่ละชั้นหลุดลอกเป็นแผ่นออกมา การใช้โลหะอัลคาไลน์ในการสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีการหลุดลอกออกทางเคมี โดยใช้โลหะอัลคาไลน์โปแตสเซียม ซึ่งสามารถเกิดเป็นสารประกอบ KC ได้เมื่อทำปฏิกิริยากับกราฟไฟต์ที่อุณหภูมิ 200 °C ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไฮโดรเจนและเมื่อทำปฏิกิริยากับเอทานอลจะเกิดการคายความร้อนซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นโปแตสเซียมเอทอกไซด์และแก๊สไฮโดรเจน ผลิตภัณฑ์ของแก๊สไฮโดรเจนที่ได้มีส่วนช่วยให้กราฟีนหลุดลอกออกเป็นแผ่นได้ง่ายยิ่งขึ้น นอกจากนั้นโลหะอัลคาไลน์ชนิดอื่น ๆ ได้ถูกนำมาใช้ในวิธีการนี้เช่นเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น ซีเซียม (Cs) และอัลลอยด์ของโซเดียมโปแตสเซียม (NaK; alloy) ซึ่งให้ผลดีกว่ามากและปฏิกิริยาสามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้องภายใต้ความดันบรรยากาศ จึงไม่ต้องระวังเรื่องของความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจทำปฏิกิริยากับเอทานอลและเกิดการลุกไหม้ได้ สำหรับข้อเสียของวิธีการนี้คือกราฟีนที่ได้ไม่ใช่กราฟีนที่บริสุทธิ์เนื่องจากยังมีกราฟีนที่มีจำนวนชั้นหลายชั้น หรือกราฟไฟต์ปะปนอยู่และปัญหาจากการตกค้างของสารเคมีนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีการหลุดลอกออกจากเคมีโดยใช้โลหะอัลคาไล

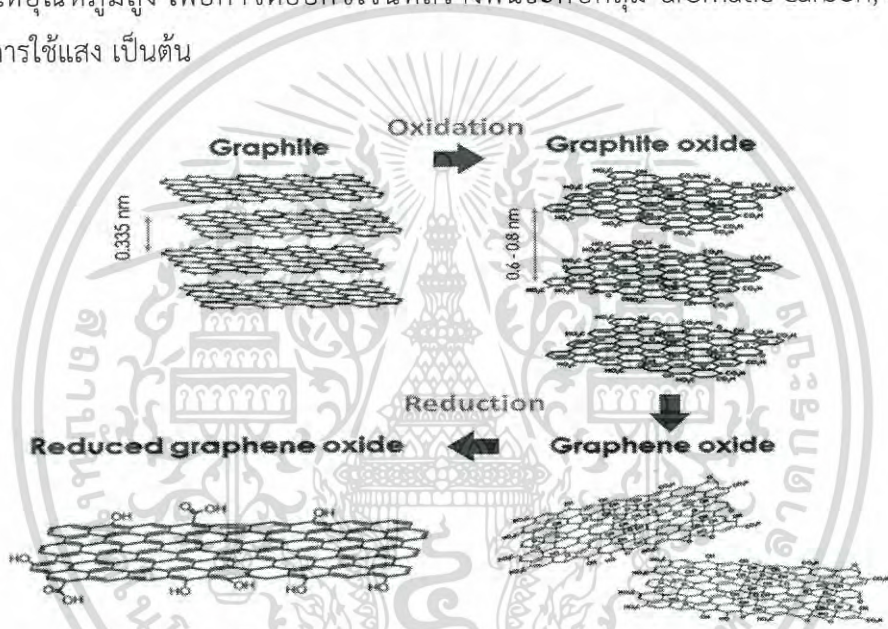
1) การสังเคราะห์กราฟีนทางเคมีด้วยวิธีโซนิเคชัน

วิธีโซนิเคชัน หรือการใช้คลื่นเสียงที่มีความเข้มสูงช่วยในการสังเคราะห์กราฟีน เนื่องจากคลื่นเสียงสามารถเดินทางผ่านไปในตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือสารละลายได้ ถ่ายทอดพลังงานให้แก่ของเหลวทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความดันส่วนอัด (compression) และส่วนขยาย (rarefaction) จึงเกิดฟองสุญญากาศขนาดเล็กในของเหลวจำนวนมากโดยเฉพาะบริเวณส่วนอัดซึ่งมีความดันสูง เรียกว่า Cavitation และเกิดการระเบิดของฟองอากาศในเวลาต่อมา โดยปกติ cavitation หรือจุดความร้อนขนาดเล็ก ๆ นี้ จะมีอุณหภูมิสูงมากถึง 5,000 K และอาจมีความดันถึง 2,000 atm ขึ้นอยู่กับความถี่หรือพลังงานของคลื่นเสียง ซึ่งการระเบิดดังกล่าวสามารถทำให้โมเลกุลของเหลวมีความเร็วถึง 280 m/s กระบวนการลอกแผ่นกราฟีนจากกราไฟต์ด้วยวิธีการ Sonication ซึ่งเกิดฟองอากาศขนาดเล็กหรือ cavitation และแรงระเบิดที่มากกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ ทำให้สามารถลอกชั้นของกราฟีนออกได้ ปรากฏการณ์นี้นำมาใช้ในทาง Sonochemistry ทำอันตรกิริยาระหว่างพลังงานกับสสารด้วยจุดความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฟองอากาศขนาดเล็ก เมื่อมีการลดอุณหภูมิด้วยอัตรา $>1,010$ K/s ซึ่งใช้สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนได้

2) การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีรีดักชันจากกราฟีนออกไซด์

กราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide) เป็นกราฟีนที่มีการดัดแปลงทางเคมี (Chemically modified graphene) เตรียมจากกระบวนการปฏิกิริยาออกซิเดชันของกราไฟต์ และลอกเป็นชั้นเดียวของกราฟีน ซึ่งสัดส่วนของปริมาณอะตอมของคาร์บอนต่อออกซิเจน (C:O) น้อยกว่า 3.0 และสัดส่วนที่ดีที่สุดมีค่าเฉลี่ยส่วนเป็นเฮกซะออร์บิทัลสองวงเล็บหรือการเชิงในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับเอาแต่หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียง 2.0 แสดงโครงสร้างแผ่นคาร์บอนในกระบวนการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของกราไฟต์ด้วยการทำปฏิกิริยากับกรดแก่จากแบบจำลองของ Lerf – Klinowski แสดงหมู่ออกไซด์แทรกระหว่างชั้นของแกรไฟต์หรือบนผิวของแผ่นแกรไฟต์ โดยเฉพาะกลุ่ม 1,2-epoxides และ hydroxyl ส่วนบริเวณขอบจะมีกลุ่ม carboxyl และ hydroxyl เกาะเป็นส่วนใหญ่ และอาจมี 5 และ 6-membered lactols ทำให้ d-spacing จาก 0.335 nm ขยายถึง 2-3 เท่า เรียกสารที่ได้ว่า กราไฟต์ออกไซด์ (Graphite oxide) จากนั้นสามารถแยกชั้นของแกรไฟต์ออกไซด์ในน้ำหรือในตัวทำละลายเป็นชั้นเดียว เรียก กราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide) เมื่อทำปฏิกิริยารีดักชันกับ hydrazine hydrate (N_2H_4) จะได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (Reduced graphene oxide) ซึ่งหมู่ออกไซด์ส่วนใหญ่ที่อยู่บริเวณผิวของแผ่นกราฟีนหลุดออก ดังแสดงในรูปที่ 2.7 อาจมีหลงเหลือตามขอบบ้าง อย่างไรก็ตามการทำรีดักชันสามารถทำได้ด้วยการให้อุณหภูมิสูง เพื่อกำจัดออกซิเจนที่สร้างพันธะกับกลุ่ม aromatic carbon, การใช้คลื่นไมโครเวฟ, การใช้แสง เป็นต้น

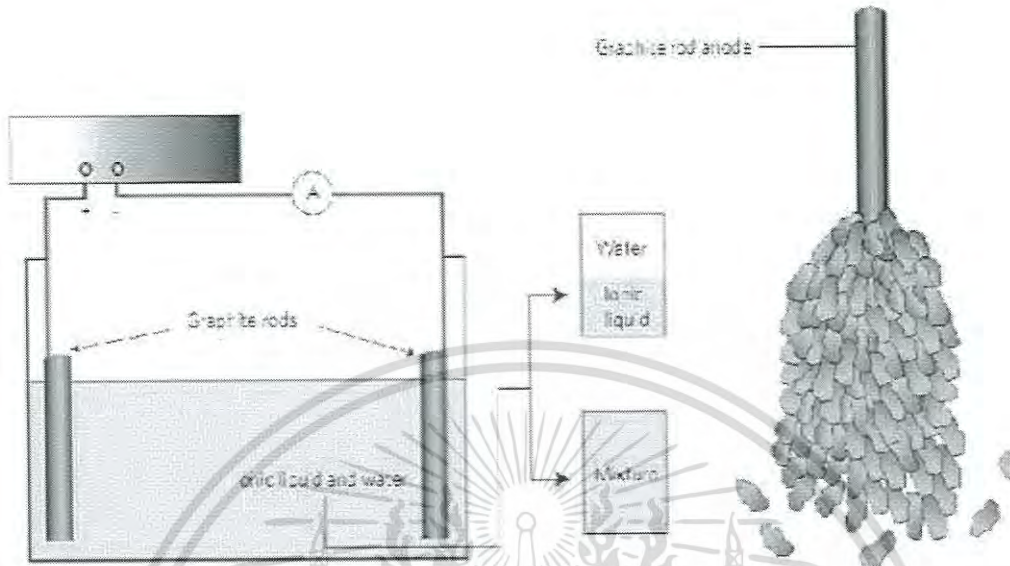


รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนในการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ [13]

3) การแทรกชั้นด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical intercalation)

หลักการสังเคราะห์กราฟีนโดยการแทรกชั้น “ด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมีคือการให้ความต่างศักย์ที่ขั้วไฟฟ้าแอโนดซึ่งเป็นแกรไฟต์และขั้วไฟฟ้าแคโทด ซึ่งอาจเป็นโลหะแพลตินัมหรือแกรไฟต์เหมือนกันกับขั้วแอโนดก็ได้ อิเล็กโทรไลต์ที่ใช้อาจเป็นของเหลว ไอออนิก (ionic liquid) ผสมกับน้ำหรือสารลดแรงตึงผิวเมื่อทำการให้ความต่างศักย์กับขั้วไฟฟ้าแอโนดและแคโทด ของเหลวไอออนิกหรือสารลดแรงตึงผิวจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นของแกรไฟต์และ ทำให้เกิดการหลุดลอกออกมาเป็นแผ่นกราฟีน (graphene flakes) ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นที่ขั้วแอโนด บทบาทของอิเล็กโทรไลต์ที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือทำหน้าที่ป้องกันการจับตัวหรือเกาะกลุ่ม (agglomeration) ของแผ่นกราฟีนหลังจากการหลุดลอกออกมา ข้อดีของการสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีการนี้คือ มีความเป็นมิตรกับ สิ่งแวดล้อม สามารถผลิตกราฟีนได้ในปริมาณมากและมีความบริสุทธิ์สูง อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์ กราฟีนด้วยวิธีการนี้ยังคงต้องมีการปรับปรุงเป็นเอกลักษณ์ในส่วนนี้สำหรับการใช้งานในเชิงการศึกษาก็เท่านั้น ไม่นับแต่เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมตัวแปรต่าง ๆ เช่น สารเคมีที่ใช้ อุณหภูมิขณะทำการทดลองและความต่างศักย์ที่ให้กับ เซลล์ไฟฟ้าเคมี



รูปที่ 2.8 แสดงการสังเคราะห์กราฟีนโดยการแทรก ชั้นด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี แท่งกราไฟต์ถูกใช้เป็นตัวอิเล็กโทรด ทั้งขั้วแอโนดและแคโทด ของผสมระหว่างของเหลว ไอออนิกและถูกนำไปใช้อิเล็กโทรไลต์

4) ไพโรไลซิสของโซเดียมเอทอกไซด์ (Pyrolysis of sodium ethoxide)

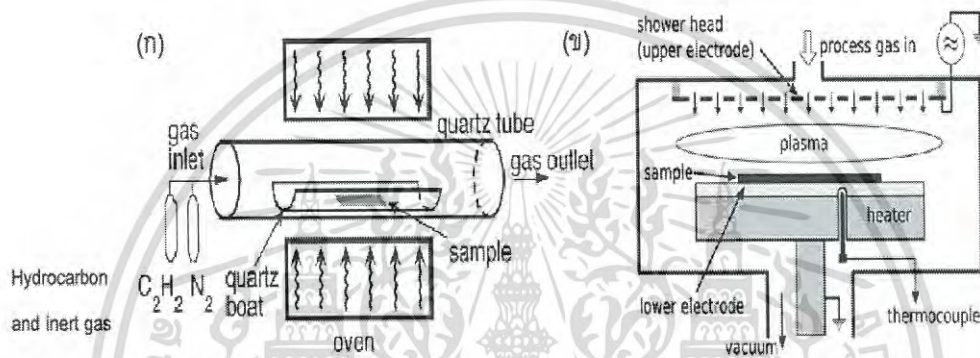
วิธีไพโรไลซิสเป็นการสังเคราะห์กราฟีนโดยการให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงแก่โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน การไพโรไลซิสของโซเดียมเอทอกไซด์ มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่ากระบวนการซัลโวเทอร์มอล (salvothermal method) ซึ่งจัดเป็นกระบวนการสังเคราะห์ จากเล็กไปใหญ่หรือล่างขึ้นบน โดยกระบวนการไพโรไลซิสของโซเดียมเอทอกไซด์จะเริ่มต้นจากเอทานอลและโซเดียมซึ่งแตกต่างจากวิธีการต่าง ๆ ที่ได้ นำเสนอไปก่อนหน้านี้ซึ่งเริ่มต้นจากแกรไฟต์เป็นหลักวิธีไพโรไลซิสของโซเดียมเอทอกไซด์ โดยในขั้นตอนแรกจะเริ่มดำเนินการสังเคราะห์โซเดียมเอทอกไซด์จากเอทานอลและโซเดียมในอัตราส่วนต่อโมล 1:1 โดยให้ ทำปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบปิดภายใต้อุณหภูมิ 220 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง ซึ่งจะได้ของแข็งโซเดียมเอทอกไซด์ออกมา จากนั้นจึงตามด้วยกระบวนการไพโรไลซิสและกรองภายใต้สุญญากาศแล้วจึงนำไปอบแห้งในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง กราฟีนที่ได้คิดเป็นปริมาณ 0.1 g/ml ของเอทานอลและมีลักษณะโครงสร้างเหมือนโฟมที่มีโพรงอยู่เป็นจำนวนมาก และมีรูพรุนสูง

ข้อดีของการสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีการนี้ คือ มีต้นทุนต่ำและให้ผลผลิตในปริมาณที่มาก ระดับกรัม (gram Scale) แต่กราฟีนที่ได้อาจมีความไม่สมบูรณ์หรือความบกพร่องในโครงสร้างอยู่มาก ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าการนำไฟฟ้า วิธีการนี้จึงได้รับ ความนิยมไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) การสังเคราะห์ด้วยเทคนิคที่ซีวีดี (Thermal Chemical Vapor Deposition, TCVD) และพีอีซีวีดี (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition, PECVD)

กระบวนการตกสะสมไอเชิงเคมีด้วยความร้อนหรือที่ซีวีดี (TCVD) เป็นกระบวนการทางเคมีอย่างหนึ่งซึ่งใช้ในการสร้างฟิล์มบางบนตัวรองรับโดยให้เกิดผลผสมซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและแก๊สเฉื่อยทำปฏิกิริยากันภายใต้อุณหภูมิสูง ตัวรองรับที่ใช้จะเป็นพวกโลหะและอาจมีตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ก) ในกรณีที่มีการนำพลาสมาเข้ามาใช้เพื่อช่วยในการสลายตัวของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนและลดอุณหภูมิของกระบวนการ เรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการตกสะสมไอเชิงเคมีเสริมด้วยพลาสมา (PECVD) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 (ข)



รูปที่ 2.9 การสังเคราะห์กราฟีนด้วยเทคนิค (ก) ที่ซีวีดี และ (ข) พีอีซีวีดี

6) วิธีการ Chemical Vapor Deposition (CVD)

คือการทับถมกันของไอสารเคมีบนฐานรองทำให้เกิดเป็นฟิล์มบาง วิธีนี้ถือเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์กราฟีน เนื่องจากวิธีนี้สามารถสังเคราะห์กราฟีนที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ได้และสามารถควบคุมพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ เช่น อุณหภูมิ ความดัน เวลา เป็นต้น แต่การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธี CVD มีข้อเสียคือกราฟีนที่ได้มีรอยยับเกิดขึ้นเนื่องจากสัมประสิทธิ์การกระจายตัวทางความร้อนที่แตกต่างกันระหว่างกราฟีนและโลหะฐานรอง

จากสมบัติต่าง ๆ ที่นำกราฟีนมาใช้ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้กราฟีนในงานอันหลากหลาย ส่วนใหญ่ยังอยู่ในขั้นวิจัยและพัฒนา เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คาปาซิเตอร์ความจุสูง ทรานซิสเตอร์ กราฟีน แกรฟโพลด์ (Grafold) หมึกนำไฟฟ้า โซลาร์เซลล์ ต่อต้านแบคทีเรีย อุปกรณ์ชีวภาพภาพ เป็นต้น นอกจากนี้กราฟีนเล็ก (บาง) กวาซิลิกอน แข็งแรงกว่า นำไฟฟ้าได้ดีกว่า หมายความว่าสามารถเป็นได้ทั้งวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ เป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัด เป็นโซลาร์เซลล์ หรือแม้แต่เป็นโครงสร้างของตัวอุปกรณ์เอง โดยการนำไปเสริมในโครงสร้างของวัสดุเดิมเช่นโลหะหรือพลาสติกซึ่งจะช่วยเพิ่มทั้งความแข็งแรงและการทนความร้อน การที่มันแทบจะโปร่งใสแต่นำไฟฟ้าทำให้สามารถนำไปใช้กับจอสัมผัสหรือจอภาพที่ฝังอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ แต่การนำกราฟีนไปใช้ประโยชน์ โดยเฉพาะถ้าจะทำในเชิงพาณิชย์ล่ะก็ ยังมีข้อจำกัดอีกมากที่ต้องแก้ไขได้ก่อน เช่น ราคาและศักยภาพการผลิต

2.4 ซิลเวอร์

เงิน (Silver) คือธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 47 และสัญลักษณ์คือ Ag มีโครงสร้างผลึกแบบ Cubic Face Centered และมีการจัดเรียงทางแม่เหล็กแบบ Diamagnetic เงินเป็นโลหะทรานซิชันและมีลักษณะสีขาวเป็นประกาย ซึ่งเงินมีสมบัติการนำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีมากในธรรมชาติอาจรวมอยู่ในแร่อื่น ๆ หรืออยู่อิสระ เงินใช้ประโยชน์ในการทำเหรียญ เครื่องประดับ และอุตสาหกรรมการถ่ายรูป

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติทางกายภาพ [14]

คุณสมบัติ	
ตำแหน่งในตารางธาตุ	ธาตุลำดับที่ 2 ในหมู่ IB
• เลขอะตอม	47
• มวลอะตอม	107.8682
• โครงสร้างอิเล็กตรอน	[Kr] 4d ¹⁰ 5s ¹
• ไอโซโทป (%)	
– 106.9051	51.84
– 108.9048	48.16
• รัศมีอะตอม (pm)	2883
• รัศมีไอออน (pm)	126
• ศักย์ไฟฟ้าของการแตกตัว (eV)	
– Ag = Ag ⁺ + e ⁻	7.574
– Ag ⁺ = Ag ²⁺ + 2e ⁻	21.960
– Ag ²⁺ = Ag ³⁺ + 3e ⁻	36.10
• จุดเดือด (°C)	2187
• จุดหลอมเหลว (°C)	908

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• ความหนาแน่น (g/cm^3)	
- ที่ 20 °C	10.5
- ที่ 1100 °C	9.18
• โครงสร้างผลึก	Face-centered cubic
• ความต้านทานทางไฟฟ้า (Ω/m)	
- ที่ 20 K	0.00422×10^{-8}
- ที่ 273.15 K (0 °C)	1.467×10^{-8}
- ที่ 500 K	2.875×10^{-8}
- ที่ 20 K (ของแข็ง)	8.415×10^{-8}
- ที่ 20 K (ของเหลว)	17.30×10^{-8}
• ความแข็ง (HB)	30

2.4.1 ประโยชน์ของโลหะเงิน [15]

1. เหรียญกษาปณ์ สมัยก่อนเหรียญเหรียญกษาปณ์นิยมใช้เงินบริสุทธิ์ แต่ปัจจุบันมีการใช้โลหะอื่นผสมเข้าด้วย โดยเฉพาะทองแดง และนิกเกิล เพราะโลหะเงินบริสุทธิ์หายาก และมีราคาแพงขึ้น โดยประเทศอังกฤษเป็นประเทศแรกที่ใช้เงินบริสุทธิ์สูงหรือเงินสเตอร์ลิงผลิตเหรียญกษาปณ์ ซึ่งใช้เงินสเตอร์ลิงที่มีเงินบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 92.4 % ส่วนที่เหลือเป็นทองแดง ไม่เกินร้อยละ 7.5

2. เครื่องประดับ โลหะเงินนิยมใช้ทำเครื่องประดับ ทั้งเงินบริสุทธิ์ และผสมกับโลหะอื่น เพราะมีความแวววาว และคงสภาพได้นานกว่าโลหะอื่น โดยเครื่องประดับที่นิยมทำจากเงิน ได้แก่ สร้อย ต่างหู กำไลข้อมือ และหากมีค่าว่า สเตอร์ลิง ปรากฏบนเครื่องประดับใด แสดงว่า เครื่องประดับนั้นใช้เงินบริสุทธิ์ไม่ต่ำกว่า 92.5%

3. เครื่องใช้เครื่องเรือน ที่ใช้โลหะเงินในการผลิตหรือผสมกับโลหะอื่น เช่น นิกเกิล ถือเป็นที่ยอมรับอย่างมาก โดยเฉพาะในกลุ่มคนที่มีฐานะ เพราะสามารถแสดงถึงระดับฐานะ และความเป็นอยู่ได้อย่างดี อีกทั้ง ทำให้เกิดมูลค่าของโลหะเงิน และที่สำคัญมีความแวววาว คงสภาพ และรักษาง่าย เครื่องใช้ และเครื่องเรือน ได้แก่ ชัน พาน กาน้ำ ตู้เสื้อผ้า โต๊ะ เก้าอี้ เป็นต้น

4. การแพทย์ และงานทันตกรรม โลหะเงินนิยมใช้กันมากในการศัลยกรรม เนื่องจากมีคุณสมบัติต้านเชื้อโรคได้ดี ช่วยไม่ให้แผลติดเชื้อจนเน่าเปื่อยได้ง่าย นิยมใช้เป็นวัสดุคลุมบาดแผลหลังการผ่าตัด ส่วนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทางด้านทันตกรรม นิยมใช้โลหะเงิน โดยเฉพาะสำหรับการอุดฟันที่มีการผสมโลหะเงินร่วมกับโลหะอื่น ได้แก่ ดีบุก และทองแดง

5. อุตสาหกรรมผลิตฟิล์มภาพยนตร์ และการถ่ายภาพ อุตสาหกรรมผลิตฟิล์มภาพยนตร์ และการถ่ายภาพ มีการใช้โลหะเงินมากเป็นอันดับต้น ๆ ซึ่งใช้โลหะเงินในรูปของเกลือเงินเฮไลด์ที่มีความไวแสง ได้แก่ ใช้เคลือบฟิล์มไวแสง โลหะสะท้อนแสง กระจกถ่ายภาพ และกระจกถ่ายภาพเอกซเรย์ ซึ่งภาพที่ล้างออกมาจะให้ความคมชัดสูงกว่าการใช้โลหะอื่นหรือวัสดุอื่น

6. อุตสาหกรรมไฟฟ้า และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โลหะเงินที่มีแคดเมียมออกไซด์เป็นส่วนประกอบ นิยมใช้ผลิตเป็นสะพานไฟสำหรับอุปกรณ์หรืองานที่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าแรงดันสูง และปานกลาง รวมถึงนิยมใช้ผสมกับโลหะอื่น เช่น ทองแดง และสังกะสี สำหรับเป็นตัวเชื่อมในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

7. อุตสาหกรรมรถยนต์ โลหะเงินบริสุทธิ์ถูกใช้ในการผลิตรถยนต์เป็นปริมาณมากกว่าทุกด้าน โดยเฉพาะชิ้นส่วนของดวงไฟส่องหน้ารถยนต์ เนื่องจากสามารถสะท้อนแสงจากหลอดไฟให้กระจายสู่หน้ารถยนต์ได้ดีกว่าการใช้วัสดุอื่น ๆ

8. อุตสาหกรรมเครื่องทำความเย็น โลหะเงินถูกใช้ถูกใช้ในรูปของโลหะประสานสำหรับการผลิตอุปกรณ์หรือเครื่องทำความเย็น เพราะช่วยให้โลหะต่าง ๆ เกิดการเกาะยึดกันได้ดี อีกทั้งไม่ทำให้โลหะอื่นเกิดความเสียหาย

9. แบตเตอรี่ แบตเตอรี่บางชนิดหรือที่ถูกผลิตขึ้นเป็นพิเศษ โดยเฉพาะในทางการทหารและอุตสาหกรรมอวกาศ เพราะโลหะเงินเป็นส่วนประกอบจะมีอายุการใช้งานยาวนาน ช่วยรักษาอุณหภูมิให้คงที่ ช่วยเพิ่มแรงเคลื่อนของกระแสไฟฟ้า

10. โลหะบัดกรี โลหะเงินในงานอุตสาหกรรมหรือเครื่องประดับ นิยมใช้เงินผสมผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะบัดกรี เช่น โลหะบัดกรีทองที่มีโลหะเงินผสมประมาณร้อยละ 12 เป็นต้น

2.4.2 อนุภาคซิลเวอร์นาโน

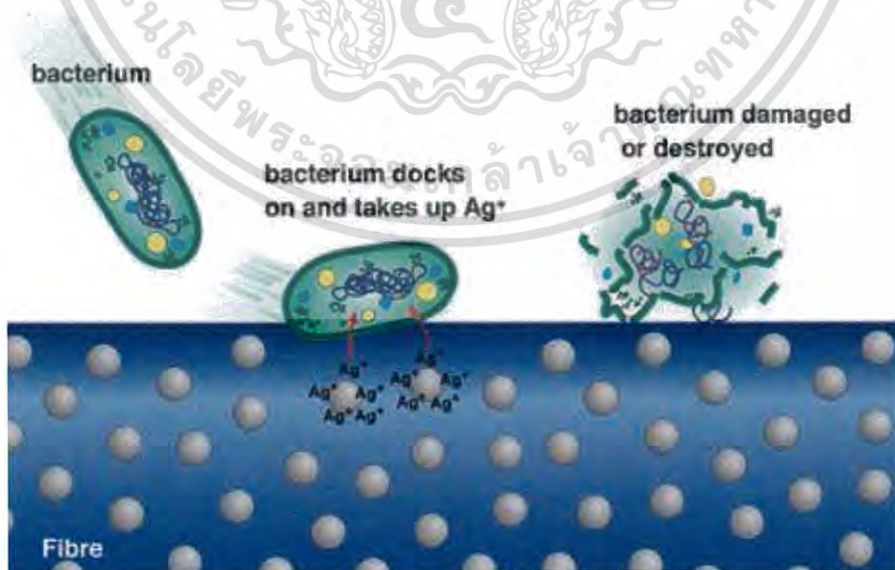
ซิลเวอร์ขนาดนาโนเมตร (Silver Nanoparticle; AgNPs) คือ เทคโนโลยีการสังเคราะห์เงินหรือซิลเวอร์ (Silver; Ag) ให้มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร (Nanometer) ซึ่งมีขนาดไม่เกิน 100 นาโนเมตร เทียบเท่ากับดีเอ็นเอในร่างกายของมนุษย์ และเนื่องจากขนาดที่เล็กนี้เองทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวสูงขึ้น ซึ่งสามารถสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 กลไกการทำงานของอนุภาคซิลเวอร์นาโน

อนุภาคซิลเวอร์นาโนมีขนาดเล็กมาก ๆ สามารถแพร่ผ่านเข้าไปในผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้และออกฤทธิ์ในการทำลายเซลล์ของแบคทีเรียได้โดยใช้ปริมาณโลหะเงินเพียงเล็กน้อยเท่านั้น อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ผลิตได้จากการใช้นาโนเทคโนโลยีมีขนาดอนุภาคประมาณ 25 นาโนเมตร หรือประมาณ 1 ใน 1,000 ของขนาดเซลล์ของแบคทีเรียและกลไกการทำงานของอนุภาคซิลเวอร์นาโนคือ เมื่ออนุภาคซิลเวอร์นาโนสัมผัสกับผนังเซลล์จะสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรียหรือเชื้อราได้ จากนั้นอนุภาคซิลเวอร์นาโนซึ่งมีสมบัติเป็น soft acid จะเกิดอันตรรกิริยากับโมเลกุลที่เป็น soft base ภายในเซลล์ ซึ่งก็คือส่วนที่เรียกว่า หมู่ซัลไฟดริล (sulphydryl group) ของเอนไซม์โปรตีนเนส (proteinase) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับเมตาบอลิซึมของเซลล์ โดยหมู่ซัลไฟดริล (-SH) ที่มีอะตอมของซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบจะจับตัวกับอนุภาคของเงินทำให้กระบวนการทำงานของเอนไซม์หยุดการทำงานจนกระทั่งเซลล์ของแบคทีเรียหยุดการเจริญเติบโตและเสื่อมสภาพไปในที่สุด ดังนั้น 3 กลไกหลักที่ทำให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถต่อต้านแบคทีเรียได้ดีมีดังต่อไปนี้

- 1) อนุภาคซิลเวอร์นาโนในช่วง 1 – 10 nm สัมผัสกับผิวหน้าของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียและรบกวนการทำงานระดับเซลล์ของแบคทีเรีย เช่น การขนส่งสารเข้าออกจากเซลล์และการหายใจ
- 2) อนุภาคซิลเวอร์นาโนเกิดการสลายตัวและปลดปล่อย silver ion (Ag^+) เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนมีขนาดเล็กและมีจำนวนมาก ซึ่งสามารถทำให้ปลดปล่อย silver ion (Ag^+) ออกมาที่มีความเข้มข้นสูงและสามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็ว
- 3) อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถแทรกเข้าไปสู่ภายในเซลล์ของแบคทีเรียและรบกวนการทำงานระดับโมเลกุล โดยจับกับสารที่มีกำมะถัน (S) และฟอสฟอรัส (P) ที่เป็นองค์ประกอบ เช่น ดีเอ็นเอ



รูปที่ 2.10 แสดงกลไกการทำงานของอนุภาคซิลเวอร์นาโนต่อการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย [16]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน

2.4.4.1 วิธีการยิงด้วยเลเซอร์ (Laser ablation)

การสังเคราะห์อนุภาคเงินในระดับนาโนโดยการยิงด้วยเลเซอร์ของสารที่เป็นโลหะในสารละลาย โดยทำการเตรียมอนุภาคเงินรูปร่างกลมระดับนาโนด้วยวิธีการยิงด้วยเลเซอร์ในสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ในการสังเคราะห์ จะนำแผ่นซิลเวอร์ใส่ลงในเซลล์ควอตซ์ จากนั้นเติมสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน และทำการยิงเลเซอร์เข้าไปที่แผ่นซิลเวอร์ โดยอนุภาคเงินระดับนาโนจะตกลงไปในสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน แหล่งกำเนิดเลเซอร์ที่ใช้คือ Nd:YAG และใช้ความยาวคลื่นของแสงเลเซอร์ที่ 355 นาโนเมตร ระยะเวลาในการปล่อยเลเซอร์คือ 10 นาที ผลที่ได้พบว่า อนุภาคเงินรูปร่างกลมระดับนาโนที่ได้มีขนาดเล็กกว่า 5 นาโนเมตร ประสิทธิภาพของการเกิดอนุภาคเพิ่มมากขึ้น [17]

2.4.4.2 วิธีรีดักชันทางเคมี

1). วิธีนี้สังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนโดยใช้วิธีรีดักชันทางเคมีซึ่งใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium Borohydride) และ Poly(amide-amine) เป็นตัวรีดิวซ์ สามารถสังเคราะห์ได้โดยนำ 3 กรัมของ hyperbranched poly (amide-amine) ลงในขวดรูปชมพู่และเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรและพร้อมปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง จากนั้นเตรียมสารละลายซิลเวอร์ในเตรท 0.1 กรัมในน้ำ 5 มิลลิลิตร และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.1 กรัม ในน้ำ 5 มิลลิลิตร และหยดสารละลายทั้งสองลงในสารละลายพอลิเมอร์พร้อม ๆ กัน พร้อมทั้งปั่นกวนและควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส จนสีของสารละลายเปลี่ยนจากใสไม่มีสีเป็นสีเหลืองเข้มเป็นการแสดงให้เห็นการก่อตัวของสารแขวนลอยอนุภาคซิลเวอร์นาโน [18]

2). วิธีนี้สังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนได้โดยใช้โซเดียมอัลจิเนตเป็นตัวกลางและกลูโคสเป็นตัวรีดิวซ์ วิธีนี้สามารถสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนได้โดยการเตรียมโซเดียมอัลจิเนต 1 กรัม ใส่ลงในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารละลายซิลเวอร์ในเตรทที่มีความเข้มข้น 0.005 โมลต่อลิตร ลงไป 10 มิลลิลิตร และปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง จากนั้นเติมสารละลายกลูโคส 40 มิลลิลิตร (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) และทำการปั่นกวนอย่างต่อเนื่อง รักษาอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ที่ 80 องศาเซลเซียส และทิ้งไว้เป็นเวลา 10 ชั่วโมง [19]

2.4.4.3 วิธีไมเซลล์

วิธีเซลล์สามารถสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนได้โดยนำซิลเวอร์ในเตรทไปปั่นกวนกับสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต จากนั้นหยดสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่เตรียมใหม่ลงในสารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตที่มีไอออนอยู่ อัตราส่วนโมลของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ต่อซิลเวอร์ในเตรทจะคงที่ 1 เสมอ สีของสารละลายจะเปลี่ยนทันทีจากสีขาวคล้ายเมฆ เป็นสีน้ำตาลเข้มแสดงให้เห็นผลของการรีดักชันของซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) ไปเป็นซิลเวอร์ (Ag^0) และเกิดการก่อตัวสารแขวนลอยของอนุภาคซิลเวอร์นาโน สารละลายผสมจะถูกปั่นกวนในที่มีดเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงด้วย 1000 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที ทำการจับเก็บสารละลายสีเหลืองใส [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4.4 วิธี Solid state

ขั้นแรก นำแป้งที่แห้ง 1 กรัม บดผสมเข้ากับโซเดียมไฮดรอกไซด์แบบเกล็ด 0.25 กรัม ในครกบดขนาดเล็กจากนั้นให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที ขั้นที่สองละลายซิลเวอร์ไนเตรทกับน้ำ 2 มิลลิลิตร ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ 3 มิลลิลิตร เพื่อลดปริมาณของน้ำและง่ายต่อการระเหยออกในระหว่างการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ละลายซิลเวอร์ไนเตรทถูกหดยผสมลงในแป้งต่างในขณะที่ปั่นกวนอยู่โดยใช้หลอดหยด จากนั้นนำของผสมไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สีของสารผสมจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลเหลืองในตอนสิ้นสุดปฏิกิริยา เป็นการยืนยันการก่อตัวของอนุภาคซิลเวอร์นาโน [21]

2.4.4.5 วิธี Solvothermal [22]

สารละลายซิลเวอร์ไนเตรทความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ที่มี 100 มิลลิลิตรของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ จากนั้นเติมเอทานอล 50 มิลลิลิตร ต่อคอนเดนเซอร์เข้ากับรูปชมพู่ ซึ่งจะไม่ทำให้ไอของตัวทำละลายออกไปข้างนอกและจะถูกควบแน่นทันทีเพื่อรักษาความคงที่ของปริมาณในระบบระหว่างการเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนด้วยวิธี Solvothermal สามารถสังเคราะห์เงินที่แยกออกมาได้อย่างสมบูรณ์แบบเพราะหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนจากอากาศ การทำปฏิกิริยาของสารละลายผสมจะถูกปั่นกวนบนเครื่องปั่นกวนแม่เหล็กพร้อมทั้งทำการรีฟลักซ์เป็นเวลา 40 ชั่วโมง ในระหว่างการทำปฏิกิริยาให้อุณหภูมิอยู่สูงสุดประมาณ 80 องศาเซลเซียส

จากวิธีการข้างต้นที่ได้กล่าวไป แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนได้จากหลายวิธี แต่บางวิธีได้ใช้สารเคมีที่เป็นพิษและอันตรายสูง และบางวิธีก็ใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งบางวิธีก็ใช้เวลาในการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนนานเกินวิธีต่อไปนี้จะ เป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน ใช้เวลาในการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนไม่นาน โดยวิธีนี้สามารถใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ซึ่งได้แก่วิธีดังต่อไปนี้

2.4.4.6 วิธีรีดักชันด้วยไมโครเวฟ

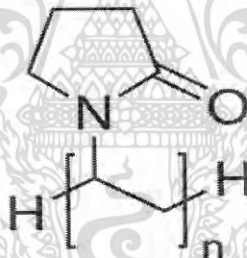
วิธีรีดักชันด้วยไมโครเวฟสามารถสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน โดยนำซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) ไปชั่งประมาณ 0.3 กรัม และนำพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ไปชั่งประมาณ 0.3 กรัม อัตราส่วนที่เราใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนคือ 1:1 จากนั้นนำซิลเวอร์ไปละลายในน้ำ 10 มิลลิลิตร พร้อมปั่นกวน ส่วนพอลิไวนิลไพโรลิโดนละลายในน้ำ 15 มิลลิลิตร พร้อมปั่นกวน นำสารทั้งสองชนิดมาปั่นกวนพร้อมกันเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำสารเทใส่ภาชนะเพื่อนำเข้าตู้ไมโครเวฟ ทำปฏิกิริยาด้วยการให้เวลาที่ต่างกัน 20 40 60 และ 90 วินาที โดยหยุดทุก ๆ 20 วินาที อุณหภูมิตัวอย่างถูกควบคุมอยู่ที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวทำละลายเดือดอย่างรุนแรงและไปถึงการรวมตัวกันของอนุภาคซิลเวอร์นาโน หลังจากฉายรังสีไมโครเวฟสารผสมถูกปล่อยให้เย็นในอุณหภูมิห้อง [23] อุณหภูมิของตู้อบไมโครเวฟสามารถสูงถึง 60 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 20 นาที แต่สำหรับวิธีการให้ความร้อนแบบดั้งเดิม ที่มีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้นและกรรมวิธีที่คล้ายกันของซิลเวอร์ไนเตรทและพอลิไวนิลไพโรลิโดนในน้ำถูกให้ความร้อนจากอุณหภูมิห้องไปถึง 60 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาประมาณ 20 นาที สิ่งที่ทำให้เห็นว่าเมื่อปริมาณพลังงานที่ใกล้เคียงกับตู้ไมโครเวฟ การให้ความร้อนแบบดั้งเดิมจะได้อัตราความร้อนที่ช้ากว่า

2.5 พอลิไวนิลไพโรลิโดน

พอลิไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone; PVP) เป็นสารกลุ่มพอลิเมอร์ที่สามารถละลายในน้ำและตัวทำละลายได้ ตัวอย่างเช่น ละลายแอลกอฮอล์ เป็นต้น พอลิไวนิลไพโรลิโดนมีลักษณะเป็นผงสีขาวถึงเหลืองอ่อน มีสูตรเคมีคือ $(C_6H_9NO)_n$ และมีขนาดมวลโมเลกุลอยู่ที่ประมาณ 2.5 กรัมต่อโมล ส่วนโครงสร้างภายในของพอลิไวนิลไพโรลิโดนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอไมด์ (Amide) และพอลิไวนิลไพโรลิโดนมีคุณสมบัติทั้งชอบน้ำและไม่ชอบน้ำในโมเลกุลเดียวกัน ซึ่งพอลิไวนิลไพโรลิโดนสามารถนำไปใช้อย่างหลากหลาย สิ่งที่น่าสนใจคือสามารถใช้ในทางการแพทย์อย่างกว้างขวาง เช่น ในการขยายปริมาตรของพลาสมาและถูกใช้เป็นตัวประสานในยาเม็ดจำนวนมาก เป็นต้น พอลิไวนิลไพโรลิโดนมีความเป็นพิษต่ำมากและสามารถทำเป็นวัสดุเคลือบสีสำหรับงานพิมพ์อิงค์เจ็ท และยังสามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อการดูแลสุขภาพสะอาดของร่างกาย เช่น แชมพู ยาสีฟัน เป็นต้น อีกทั้งยังเป็นตัวรักษาเสถียรภาพในการสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนอีกด้วย โครงสร้างของพอลิไวนิลไพโรลิโตนมีดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของพอลิไวนิลไพโรลิโดน [24]

ซึ่งในการทดลองมีการนำพอลิไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone; PVP) มาใช้ในวิธีดังกล่าวด้วยไมโครเวฟ โดยพอลิไวนิลไพโรลิโดนนั้นเป็นตัวรักษาเสถียรภาพและอีกทั้งยังเป็นตัวช่วยในการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์อีกด้วย

2.6 เชื้อแบคทีเรีย

เชื้อแบคทีเรียเป็นประเภทของสิ่งมีชีวิตประเภทใหญ่ ซึ่งมีขนาดเล็ก มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ส่วนใหญ่มีเซลล์เดียวและมีโครงสร้างเซลล์ที่ไม่ซับซ้อนมาก โดยทั่วไปสามารถแบ่งแบคทีเรียได้หลายรูปแบบ เช่น แบ่งตามรูปร่าง แบ่งตามการย้อมแบบติดสีแกรม แบ่งตามต้องการใช้ออกซิเจน เป็นต้น

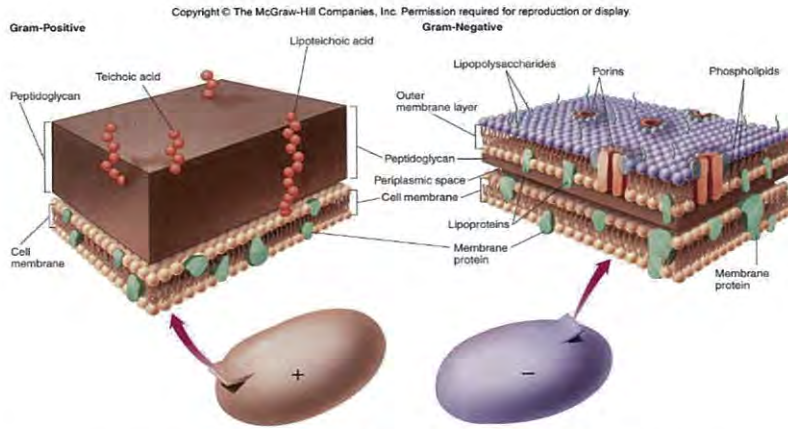
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 ผนังเซลล์

ผนังเซลล์ (Cell wall) เป็นส่วนทำให้เซลล์คงรูปร่างอยู่ได้และเป็นส่วนที่แข็งแรง ในแต่ละกลุ่มแบคทีเรียจะมีส่วนประกอบของผนังเซลล์แตกต่างกันออกไป ส่วนประกอบที่สำคัญของชั้นผนังเซลล์คือชั้น Peptidoglycan ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของ N-acetyl glucosamine ที่เป็นองค์ประกอบของ Chitin โดยชั้น Peptidoglycan เป็นส่วนที่ถูกทำลายได้ง่ายโดยสารปฏิชีวนะบางชนิด เช่น Penicillin และ Cephalosporin เป็นต้น รวมทั้งถูกทำลายด้วยสาร Disinfectants และ Detergent เอนไซม์ Lysozyme ก็ยังสามารถทำลาย Peptidoglycan ได้ ซึ่งความแตกต่างของโครงสร้างผนังเซลล์มีการแยกโดยใช้วิธี Gram stain ซึ่งเป็นการย้อมสีแบคทีเรียที่บอกความแตกต่างของโครงสร้างผนังเซลล์ได้ดี โดยการย้อมสีวิธีนี้จะแยกแบคทีเรียออกเป็น 2 กลุ่ม ตามปฏิกิริยาการติดสีของแบคทีเรีย ได้แก่ แบคทีเรียแกรมบวก เซลล์ติดสีม่วงของ Crystal violet ซึ่งเป็นสีย้อมแรก (Primary stain) ส่วนแบคทีเรียแกรมลบ เซลล์ติดสีแดงของ Safranin O ซึ่งเป็นสีย้อมที่สองหรือสีย้อมทับ (Secondary stain หรือ Counterstain) ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกมีลักษณะ 1 ชั้นเซลล์ และมีความหนาของชั้นเซลล์ประมาณ 25-30 มิลลิเมตร ซึ่งองค์ประกอบเป็นหลักถึงร้อยละ 90 คือ Peptidoglycan และยังมี Teichoic acid และ Lipoteichoic acid ยึดติดกับชั้น Peptidoglycan ไม่พบชั้น Outer membrane ส่วนผนังเซลล์แบคทีเรียแกรมลบมีลักษณะ 2 ชั้นเซลล์และมีความหนาประมาณ 15-20 มิลลิเมตร โดยมี Outer membrane ล้อมรอบ Peptidoglycan ที่บางไว้ ซึ่งไม่พบ Teichoic acid และ Lipoteichoic acid ส่วน Outer membrane มีหน้าที่เป็นเครื่องกั้นเอนไซม์ที่จำเป็นต่อการเจริญของเซลล์ไม่ให้ไหลออกจากช่องว่าง Periplasm และสามารถกั้นสารเคมีหรือเอนไซม์จากภายนอกไม่ให้เข้าไปทำลายภายในเซลล์ ดังนั้นผนังแบคทีเรียแกรมบวกจึงถูกทำลายด้วย Lysozyme ได้ง่ายกว่าแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งผนังเซลล์ยังทำหน้าที่เป็นตัวค้ำจุนโครงสร้าง ปกป้องเซลล์ คัดกรองสาร และยังมีหน้าที่ป้องกันการขยายตัวมากเกินไปหากน้ำไหลผ่านเข้าสู่ภายในเซลล์ นอกจากนี้ยังพบว่า Porin protein ในแบคทีเรียแกรมลบและสามารถป้องกันสารที่เป็นอันตรายไม่ให้ผ่านเข้าสู่เซลล์ [25]

2.6.2 เยื่อหุ้มเซลล์

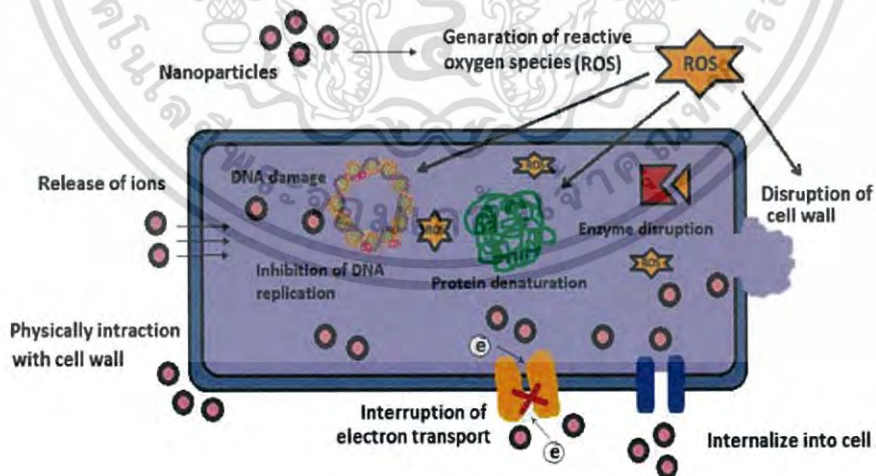
เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane) เป็นเยื่อหุ้มที่อยู่ติดกับผนังเซลล์ อาจจะมีลักษณะเรียบ (smooth) หรืออาจจะพับไปมา เพื่อขยายขนาด เยื่อหุ้มเซลล์มีหน้าที่ควบคุมการเข้า-ออก ของแร่ธาตุ น้ำ สารอาหาร และไอออนโลหะต่าง ๆ จากภายนอกเข้าสู่ภายใน และจากภายในออกสู่ภายนอก แต่เป็น Selective permeable และพบว่าเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียเป็นบริเวณสำคัญในการเกิดกระบวนการเมแทบอลิซึม ซึ่งมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการหายใจ การย่อยสลายสารอาหาร การสร้างพลังงาน และรวมถึงกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงที่เกิดบริเวณนี้



รูปที่ 2.12 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก (ซ้าย) และแบคทีเรียแกรมลบ (ขวา) [26]

2.7 กลไกการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียของพอลิเมอร์/โลหะนาโนคอมโพสิต

โลหะนาโนในพอลิเมอร์ถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน ที่มีสัมผัสของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียทำให้เกิดปฏิกิริยากับโปรตีน ซึ่งทำให้โลหะนาโนแตกตัวเป็นไอออน กระบวนการเกิดปฏิกิริยาของโลหะนาโนกับโปรตีนได้เป็นไอออนของโลหะ ต่อจากนั้นไอออนของโลหะแพร่ผ่านไปสู่ชั้นในของเซลล์แบคทีเรีย ทำให้การทำงานของไมโทคอนเดรียผิดปกติหรือเซลล์ถูกทำลาย ซึ่งก่อให้เกิดสารอนุมูลอิสระชนิด ROS ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น จึงส่งผลกระทบต่อระบบการหายใจของเซลล์และการสร้างพลังงานเอทีพี (ATP) ซึ่งนำไปสู่การทำลายโปรตีน และดีเอ็นเอ (DNA) ภายในเซลล์ ทำให้แบคทีเรียถูกทำลายและเสื่อมสภาพในที่สุด [27]

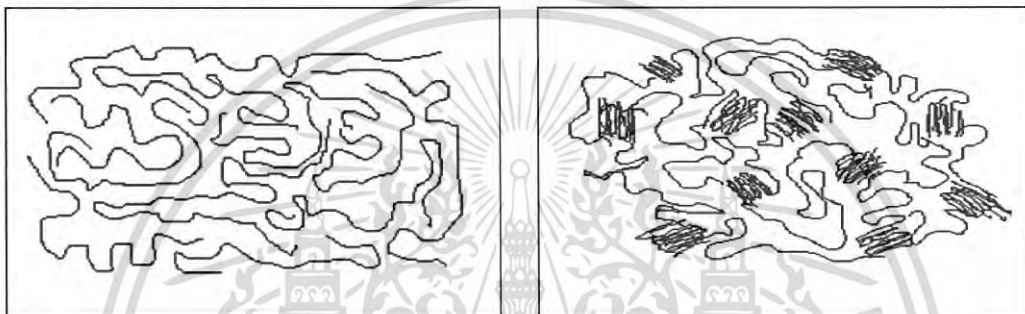


รูปที่ 2.13 แสดงกลไกการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียของพอลิเมอร์/โลหะนาโนคอมโพสิต [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

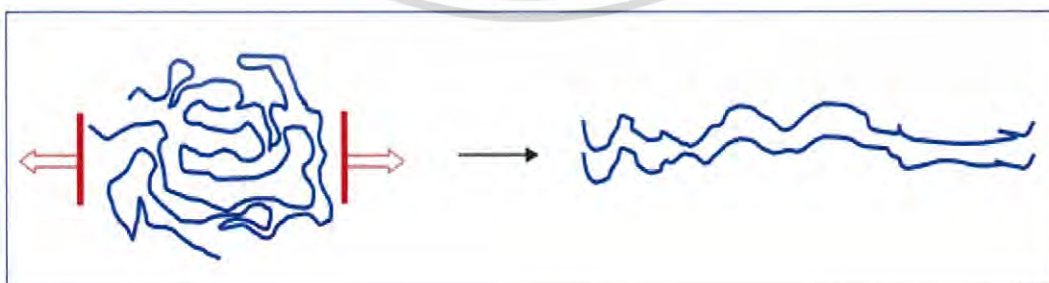
2.8 การอบอ่อน (Annealing)

พอลิเมอร์มีลักษณะเป็นสายโซ่ยาว ดังนั้นการจะจัดเรียงตัวให้มีความเป็นระเบียบทุกบริเวณจึงทำได้ยาก พอลิเมอร์จึงไม่สามารถเกิดผลึกได้ 100% เหมือนสารประกอบโมเลกุลเล็กทั่วไป สามารถจำแนกพอลิเมอร์ตามปริมาณผลึกได้ 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์อสัณฐาน (amorphous polymer) คือ พอลิเมอร์ที่ไม่มีบริเวณที่เป็นผลึกเลย และพอลิเมอร์กึ่งผลึก (semi-crystalline polymer) โดยทั่วไปการการอบอ่อน (annealing) หรือให้ความร้อนกับพอลิเมอร์โครงสร้างอสัณฐานที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิหลอมเหลวเพียงเล็กน้อย สามารถกระตุ้นให้โมเลกุลจัดเรียงตัวใหม่อย่างเป็นระเบียบและเกิดเป็นผลึกได้ง่ายขึ้นและลดความเค้นตกค้าง เมื่อพอลิเมอร์ได้รับความร้อนจะเกิดการจัดเรียงตัวของสายโซ่ จะส่งผลถึงโครงสร้างและปริมาณของความเป็นผลึก (crystallinity) ของพอลิเมอร์ โดยทั่วไปพอลิเมอร์สามารถเกิดผลึกได้หากมีการจัดเรียงสายโซ่อย่างเป็นระเบียบ ซึ่งปริมาณของผลึกนี้จะส่งผลต่อสมบัติอื่น ๆ ของพอลิเมอร์ เช่น ความแข็งแรง ความเหนียว และความเปราะของพอลิเมอร์ เป็นต้น [29]



รูปที่ 2.14 แสดงการจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์ แบบอสัณฐาน (ซ้าย) และแบบกึ่งผลึก (ขวา)

การจัดเรียงตัวของสายโซ่พอลิเมอร์แบบอสัณฐาน และแบบกึ่งผลึกซึ่งประกอบด้วยบริเวณที่สายโซ่พับแล้วเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ ปริมาณของผลึกที่เกิดขึ้นในพอลิเมอร์จะขึ้นกับโครงสร้างและชนิดของพอลิเมอร์เองว่าเหมาะสมหรือยากต่อการเรียงตัวอย่างไร แต่นอกจากปัจจัยเหล่านี้แล้วเราสามารถควบคุมปริมาณผลึกได้โดยกระบวนการทางความร้อน เช่น หากนำสารประกอบพอลิเมอร์ มาทำการให้ความร้อนที่อุณหภูมิไม่สูงจนเกินไป ซึ่งในสถานะนี้สายโซ่จะสามารถเลื่อนไหลได้ และจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงอย่างช้าจนถึงอุณหภูมิห้อง ก็จะได้เป็นพอลิเมอร์ที่มีความเป็นผลึกมากขึ้น กระบวนการนี้ เรียกว่า การอบอ่อน (annealing)



รูปที่ 2.15 แสดงถึงการอบอ่อน (annealing) ที่ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันและมีความเป็นผลึกมาก [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Pitchapa Pittayavinai และคณะ [31] ได้ทำการศึกษาการเติมเส้นใยอะรามิตและการผสมระหว่างเส้นใยอะรามิตกับคาร์บอนแบล็คลงในยางธรรมชาติ (Natural rubber; NR) และยางอะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile Butadiene rubber; NBR) เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล จากผลการทดลองพบว่าเส้นใยอะรามิตสามารถเสริมแรงยางทั้งสองชนิดได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่การเสริมแรงในยางอะคริโลไนไตรล์ (NBR) จะมีค่ามากกว่ายางธรรมชาติ (NR) ซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการยึดติดที่ดีของยางคอมโพสิตบนเส้นใยเนื่องจากทั้งเส้นใยอะรามิตและยางอะคริโลไนไตรล์ (NBR) มีขั้วจึงสามารถยึดติดกันได้เป็นอย่างดี และเมื่อผสมคาร์บอนแบล็คกับเส้นใยอะรามิตจะช่วยให้การเสริมแรงเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณคาร์บอนแบล็คที่เติมลงไปแต่ถ้าเติมคาร์บอนแบล็คมากเกินไปอาจทำให้สมบัติเชิงกลลดลง

Lijuan Chen และคณะ [32] ได้ทำการศึกษาผลของการเติม Halloysite nanotubes (HNTs) และ Functional halloysite nanotubes (HNT-s-s-S) ลงในยางธรรมชาติคอมโพสิตเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล ทำโดยการนำ Halloysite nanotubes (HNTs) มาทำปฏิกิริยากับ Sulfur monochloride (S_2Cl_2) โดย Halloysite nanotubes (HNTs) จะมีหมู่ไฮดรอกซิลที่บริเวณผิวทำให้ S_2Cl_2 เกิดปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซิลและกระจายตัวอยู่บนพื้นผิวทั้งด้านนอกและด้านในของ HNTs ได้เป็น HNTs-s-S ซึ่งมีลักษณะเป็น cluster จากนั้นนำ HNTs และ HNTs-s-S มาผสมกับยางธรรมชาติที่ปริมาณต่าง ๆ และนำไปบ่มที่อุณหภูมิ $143^{\circ}C$ ทำให้พันธะของ -S-S- เริ่มแตกออกเป็น halloysite นาโนทิวบ์เดี่ยว ๆ ที่มีกระจายตัวและจัดเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอในน้ำยางธรรมชาติผสมและจะเกิดการ crosslink กันระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์พร้อมกับตรึงสายโซ่พอลิเมอร์ด้วยแรงยึดติดที่บริเวณผิวของสารตัวเติมอย่างแข็งแรง และจากผลการทดลองพบว่า NR/HNTs-s-S นาโนคอมโพสิตที่ถูกวัลคาไนซ์ผ่านจุด crosslink บนพื้นผิวของฟิลเลอร์มีความหนาแน่น crosslink ที่สูงขึ้น มีการกระจายตัวที่ดี เพิ่มคุณสมบัติทางกลได้มากขึ้นและยังช่วยเร่งกระบวนการวัลคาไนซ์ให้เร็วขึ้นด้วย

Yong-ll Ko และคณะ [33] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของกระบวนการอบอ่อนต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใยนาโนพอลิคาโพรแลคโตน (Polycaprolactone, PCL) โดยทำการเตรียมเส้นใยนาโน PCL ที่ 15%wt ในตัวทำละลาย DMF จากนั้นขึ้นรูปด้วยเทคนิค Electrospinning process แล้วเคลือบด้วยยางซิลิโคน (Sylgard 184) เปรียบเทียบกับเส้นใยนาโนเคลือบด้วยยางซิลิโคนที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ $60^{\circ}C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าเส้นใยนาโนที่ผ่านการอบอ่อนมีค่า Young's modulus และ tensile strength มากขึ้น แต่ค่า Elongation at break ลดลง

D.C. Stanier และคณะ [34] ได้ทำการศึกษาผลของการเสริมแรงของแผ่นนาโนกราฟีนออกไซด์ต่อสมบัติเชิงกลและสมบัติการยึดตัวของยางธรรมชาติ โดยสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมนั้นได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการเสริมแรงจากสารตัวเติม โดยผลที่ได้จากการทดสอบการดึงยึดได้อัตราค่าความเครียดที่แตกต่างกันถึง 600 เปอร์เซ็นต์ และผลของค่าความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเติมสารตัวเติมลงไปแม้ในปริมาณเล็กน้อย จากผลนี้สามารถยืนยันได้ถึง การเกิดแรงอันตรกิริยาที่ดี ระหว่างผิวหน้าระหว่างแผ่นนาโนกราฟีนออกไซด์กับยางธรรมชาติ ส่วนสมบัติในการยึดตัวของวัสดุยัง ศึกษาจากการทดสอบการดึงยึดและคืนตัวของวัสดุ จากการเติมอัตราความเครียดและการกระจายตัวที่ดี ของการเติมกราฟีนออกไซด์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของแรงเสียดทานเป็นผลเนื่องมาจากอัตราการเติมปริมาณ กราฟีนออกไซด์ในปริมาณมาก

Jinrong Wu และคณะ [35] ได้ทำการศึกษาการวัลคาไนซ์ของยางและกราฟีน/ยางธรรมชาติที่มีการเติมกราฟีนในปริมาณที่แตกต่างกัน จากการศึกษาพบว่า ยางธรรมชาติที่ไม่ได้เติมกราฟีน เมื่อผ่าน กระบวนการวัลคาไนซ์จะเห็นได้ว่าค่าแรงบิด(ทอร์ก) มีค่าไม่สูงมากเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติที่มีการเติม กราฟีนลงไป และใช้เวลาในการวัลคาไนซ์เดียวกัน ยางธรรมชาติที่มีการเติมกราฟีนในปริมาณที่แตกต่างกัน ยิ่งมีการเติมกราฟีนในปริมาณมาก จะมีค่าทอร์ก(แรงบิด) ที่เพิ่มขึ้นขึ้น ยิ่งใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ เพิ่มขึ้น ค่าแรงบิดเพิ่มสูงขึ้น เพราะยิ่งใช้เวลาในการวัลคาไนซ์ที่มากขึ้น และปริมาณ กราฟีนที่เติมลงไป มาก จะยิ่งช่วยเพิ่มความหนาแน่นของโครงสร้างร่างแห (Crosslinking density) ภายในของยางให้ เพิ่มขึ้น ดังนั้นยางจะมีความคงตัวมากขึ้น ยิ่งมีปริมาณของกราฟีนมากยิ่งจะทำให้ยางมีสมบัติการคงรูปที่ดี มากขึ้น เมื่อทำการทดสอบโดยใช้แรงบิด ค่าแรงบิดจะเพิ่มสูงขึ้น และการเติมกราฟีนลงไปสามารถช่วย ปรับจลนพลศาสตร์ของการวัลคาไนซ์ของยาง (vulcanization kinetics) สมบัติเชิงกล การซึมผ่านของ แก๊สและการนำไฟฟ้า

Kullarat และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาสมบัติของยางธรรมชาติ เพื่อเพิ่มสมบัติในด้านเชิงกล เชิงความร้อน และสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรีย โดยทำการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมกับสารตัวเติมคือ รีติวซ์กราฟีนออกไซด์ และอนุภาคซิลเวอร์นาโน ด้วยกระบวนการผสมเทขึ้นรูปอย่างง่ายแบบลาเท็กซ์ (Latex and mixing casting methods) จากการศึกษา การวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พื้นผิวยางธรรมชาติผสม จะพบรอยย่นทั่วบริเวณ ซึ่งเกิดจาก การฝังตัวของแผ่นรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ขนาดนาโนในเนื้อยางธรรมชาติ ทำให้อนุภาคซิลเวอร์นาโน สามารถกระจายตัวได้ดีในเมทริกซ์ของยางธรรมชาติ ซึ่งการเติมรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ลงแผ่นยาง ธรรมชาติทำให้สมบัติเชิงกลของแผ่นยางธรรมชาติผสมเพิ่มขึ้น และการเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนทำให้ สมบัติเชิงกลของแผ่นยางธรรมชาติผสมลดลง แต่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของแผ่น ยางธรรมชาติผสม

W.G.I.U Rathnayake และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์และตรวจสอบเอกลักษณ์ของ ซิลเวอร์นาโนที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยการเติมลงไปผสมกับน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งใน การสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนนั้นทำได้โดยการใช้ซิลเวอร์ไนเตรทและไตรโซเดียมซิเตรทเป็นตัวควบคุม เสถียรภาพในสารละลายมาตรฐาน จากการศึกษาวิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคและวิเคราะห์สัณฐานวิทยาโดยใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน ซึ่งพบว่าสาร แขนวลอยซิลเวอร์นาโนมีการกระจายตัวในของเหลวในระดับนาโนที่เสถียร และเมื่อนำอนุภาคซิลเวอร์นา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โนผสมลงไปใต้น้ำยาธรรมชาติยังมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่เรียกโดยทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียสองชนิดโดยแกรมบวกคือ *Staphylococcus (S.aureus)* และแบคทีเรีย แกรมลบคือ *Escherichia coil (E.coil)* อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพในการต่อต้านเชื้อราชนิด *Aspergilles niger (A.niger)* ซึ่งดูได้จากความกว้างของบริเวณการยับยั้งของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบที่เพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- 1) ไฮดราซีนไฮเดรต (Hydrazine Hydrate; N_2H_4) มวลโมเลกุล 32.05 กรัมต่อโมล ความเข้มข้น 50-60 เปอร์เซ็นต์ผลิตโดย SIGMA-ALDRICH
- 2) ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver Nitrate; $AgNO_3$) เกรด: ACS-ISO-For analysis ผลิตโดย Merck-chemicals, Analysis
- 3) พอลิไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone; PVP มวลโมเลกุลเฉลี่ย 40,000) ผลิตโดย SIGMA-ALDRICH
- 4) น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex; NRL) ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนักต่อน้ำหนักชนิด High ammonia (60% DRC,HA)
- 5) สารละลายแอมโมเนีย (Ammonia solution; NH_4OH) เข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ผลิตโดย CARLO ERBA
- 6) สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO) เข้มข้น 5.8 mg/mL
- 7) น้ำกลั่น (Distilled water)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องแก้ว ผลิตโดย Bomex
- 2) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
- 3) กระบอกน้ำกลั่น (Distilled Water)
- 4) ช้อนตักสาร (Spatula)
- 5) ไมโครปิเปต (Micropipettes) ผลิตโดย SCILAB
- 6) ขวดแก้วเล็ก (Vial) ผลิตโดย Bomex
- 7) ตู้ดูดควัน (Fume Hood) ผลิตโดย FLEXLAB
- 8) ตู้อบลมร้อน (Oven) ผลิตโดย MEMMERT. UNB 300
- 9) เครื่องชั่งแบบละเอียด ผลิตโดย Mettler Toledo
- 10) เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน ผลิตโดย LMS รุ่น HTS-1003
- 11) เตาอบไมโครเวฟ (Microwave oven) ผลิตโดย SAMSUNG รุ่น MG23F301EAS
- 12) X-ray Diffraction (XRD) ผลิตโดย BRUCKER AG, D8 ADVANCE
- 13) Fourier Transform Infrared (FT-IR) ผลิตโดย Perkin Elmer รุ่น FT-IR SPECTRUM GX
- 14) Raman spectroscopy ผลิตโดย Bruker
- 15) Scanning Electron Microscope (SEM) ผลิตโดย ZEISS, EVO®MA10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 16) Transmission Electron Microscope (TEM) ผลิตโดย TECNAI G²
- 17) Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) ผลิตโดย ZEISS, EVO@MA10
- 18) UV-Visible Spectroscopy (UV-Vis) ผลิตโดย HITACHI
- 19) Thermal Gravity Analysis (TGA) ผลิตโดย Perkin, Pyris 1 TGA
- 20) Optical Microscope (OM) ผลิตโดย Huvitz
- 21) Universal testing machine (UTM) ผลิตโดย LLOYD

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ในงานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ สารแขวนลอยซิลเวอร์นาโน และแผ่นยางธรรมชาติผสม ดังต่อไปนี้

3.3.1 การรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยกระบวนการรีดักชันทางเคมี

- 1) ทำการต้มน้ำให้มีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้บีกเกอร์ปริมาตร 800 มิลลิลิตร
- 2) นำกราฟีนออกไซด์ 2.48 มิลลิลิตร (เข้มข้น 5.8 mg/mL) ใส่ขวดแก้วขนาด 25 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป 15.52 มิลลิลิตร
- 3) เติมหิโดรซิงไฮเดรต 0.04 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดแก้ว จากข้อที่ 2
- 4) เติมสารละลายแอมโมเนีย 0.28 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดแก้วจากข้อที่ 2
- 5) นำขวดแก้วที่มีสารละลายของกราฟีนออกไซด์อยู่ ใส่ลงในบีกเกอร์น้ำร้อน จากนั้นทำการปั่นกวนพร้อมกับให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที
- 6) เมื่อครบ 20 นาที จึงนำขึ้นมาจากบีกเกอร์ และทิ้งไว้จนเย็นตัว จะได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่มีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีดำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **รูปที่ 3.1** แสดงการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2. การเตรียมสารแขวนลอยซิลเวอร์ขนาดนาโนเมตร[23]

- 1) ชั่ง PVP 0.3 กรัม ลงในปิกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร คนให้ละลายน้ำเป็นเนื้อเดียวกัน
- 2) ชั่งซิลเวอร์ไนเตรต 0.3 กรัม ใส่ลงไปในปิกเกอร์ เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร

คนให้ละลายน้ำเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเทสารละลาย PVP จากข้อที่ 2.1 ผสมให้เข้ากันและคนให้เป็นเนื้อเดียวกันจะได้สารละลายใสไม่มีสี

3) ทำการสังเคราะห์ซิลเวอร์ขนาดนาโนเมตรเครื่องไมโครเวฟ โดยให้ความร้อนเป็นเวลา 75 วินาที และใช้พลังงานความร้อน 300 วัตต์ ซึ่งจะทำให้การนำออกจากเครื่องไมโครเวฟทุก ๆ 15 วินาที จำนวน 5 ครั้ง จนครบ 75 วินาที จะได้สารแขวนลอยซิลเวอร์ขนาดนาโนเมตรเข้มข้น 9.9 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 สารแขวนลอยซิลเวอร์ขนาดนาโนเมตร (AgNPs)

3.3.3. การปรับ pH สารแขวนลอยซิลเวอร์ขนาดนาโนเมตร

เติมแอมโมเนีย 0.03 มิลลิลิตร ต่อ สารแขวนลอยซิลเวอร์ 1 มิลลิลิตร จะได้ pH เท่ากับ 10 – 11

3.3.4. การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสม

การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นและซิลเฟอร์

- 1) เตรียมน้ำยางธรรมชาติกับซิลเฟอร์ตามเงื่อนไขที่กำหนดในตารางที่ 3.1 โดยสารแขวนลอยซิลเฟอร์จะมีความเข้มข้นที่ 50% โดยน้ำหนัก (wt.%)

ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขการขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำยาง (mL)	ปริมาตร ซัลเฟอร์ (mL)	ปริมาณซัลเฟอร์ (wt.%)
NR	7.0	0.0	0.0
NR+S_3.0 wt.%	7.0	0.25	3.0
NR+S_5.0 wt.%	7.0	0.42	5.0
NR+S_7.0 wt.%	7.0	0.59	7.0
NR+S_10.0 wt.%	7.0	0.84	10.0

2) ผสมและปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที เทลงในแม่แบบพิมพ์พลาสติกสี่เหลี่ยม ขนาด 6 x 9.5 เซนติเมตร และทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 12 ชั่วโมง

3) เมื่อแผ่นยางธรรมชาติผสมแห้งแล้วแกะออกจากแม่แบบจะได้แผ่นยางธรรมชาติผสมที่มีความหนาเฉลี่ย 0.56 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.3 การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นและซัลเฟอร์ เพื่อศึกษาผลของการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ

1) เตรียมน้ำยางธรรมชาติกับซัลเฟอร์ และอบอ่อนตามเงื่อนไขที่กำหนดในตารางที่ 3.2 โดยจะมีการคงที่ปริมาณซัลเฟอร์ที่ 5 wt.%

ตารางที่ 3.2 แสดงเงื่อนไขในการอบอ่อนแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาตรน้ำ ยาง (mL)	ปริมาตร ซัลเฟอร์ (mL)	ปริมาณ ซัลเฟอร์ (wt.%)	อุณหภูมิ (°C)
NR+S_5.0 wt.%	7.0	0.42	5.0	30.0
NR+S_5.0 wt.%+T90	7.0	0.42	5.0	90.0
NR+S_5.0 wt.%+T100	7.0	0.42	5.0	100.0
NR+S_5.0 wt.%+T110	7.0	0.42	5.0	110.0

2) ผสมและปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที เทลงในแม่แบบพิมพ์พลาสติกสี่เหลี่ยม ขนาด 6 x 9.5 เซนติเมตร และทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 12 ชั่วโมง

3) เมื่อแผ่นยางธรรมชาติผสมแห้งแล้วแกะออกจากแม่แบบจะได้แผ่นยางธรรมชาติผสมที่มีความหนาเฉลี่ย 0.56 มิลลิเมตร

4) นำแผ่นยางธรรมชาติผสมมาอบที่อุณหภูมิ 90°C 100°C และ 110°C ตามลำดับ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

5) นำแผ่นยางธรรมชาติผสมที่ผ่านการอบแล้ว มาทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องจะได้แผ่นยางธรรมชาติผสมหลังอบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.56 มิลลิเมตร

การเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น/รีดิวซ์กราฟีน ออกไซด์ในปริมาณคงที่ (0.28 wt.%) และซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่างๆ/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ

1) เตรียมน้ำยางธรรมชาติ/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (0.28 wt.%และซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ ตามเงื่อนไขที่กำหนดในตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงเงื่อนไขในการขึ้นรูปแผ่นยางธรรมชาติผสม/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่(0.28 wt.%) และซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ

ชื่อตัวอย่าง	อุณหภูมิ (°C)	ปริมาตร น้ำยาง (mL)	ปริมาตร น้ำกลั่น (mL)	ปริมาตร ซัลเฟอร์ (mL)	ปริมาณ ซัลเฟอร์ (wt.%)	ปริมาตร rGO (wt.%)	ปริมาณ rGO (wt.%)	ปริมาตร AgNPs (mL)	ปริมาณ AgNPs (wt.%)
NR	RT	7.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00
NR+rGO		7.00	7.95	0.00	0.00	6.00	0.28	0.0000	0.00
NR+rGO+S_5wt.%		7.00	7.54	0.42	5.00	6.00	0.28	0.0000	0.05
NR+rGO+Ag		7.00	7.54	0.00	0.00	6.00	0.28	0.0075	0.05
NR+rGo+S_5wt%+Ag		7.00	7.53	0.42	5.00	6.00	0.28	0.0075	0.05
NR+T100	100	7.00	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0000	0.00
NR+rGO+T100		7.00	7.95	0.00	0.00	6.00	0.28	0.0000	0.00
NR+rGO+S_5wt.%+T100		7.00	7.54	0.42	5.00	6.00	0.28	0.0000	0.05
NR+rGO+Ag+T100		7.00	7.54	0.00	0.00	6.00	0.28	0.0075	0.05
NR+rGo+S_5wt%+Ag+T100		7.00	7.53	0.42	5.00	6.00	0.28	0.0075	0.05

หมายเหตุ : อนุภาคซิลเวอร์นาโนมีความเข้มข้น 9.9 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

2) ผสมและปั่นกวนเป็นเวลา 5 นาที เทลงในแม่แบบพิมพ์พลาสติกสี่เหลี่ยม ขนาด 6×9.5 เซนติเมตร และทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องประมาณ 12 ชั่วโมง

3) เมื่อแผ่นยางผสมแห้งแล้วแกะออกจากแม่แบบจะได้แผ่นยางธรรมชาติผสมที่มีความหนาเฉลี่ย 0.56 มิลลิเมตร

4) นำแผ่นยางธรรมชาติผสมอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง

5) นำแผ่นยางธรรมชาติผสมที่ผ่านการอบแล้ว มาทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องจะได้แผ่นยางธรรมชาติผสมหลังอบที่มีความหนาเฉลี่ย 0.56 มิลลิเมตร

3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์ (Characterization)

3.4.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer)

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

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

เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ ตรวจสอบโครงสร้างของสารโดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วง Infrared (IR) ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไปทำให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารได้ จึงนำเทคนิคดังกล่าวนี้มาใช้ในการศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไปของกราฟีนออกไซด์เมื่อทำการรีดิวิตซ์ด้วยไฮดราซีน อนุภาคซิลเวอร์นาโน และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวิตซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคซิลเวอร์นาโน โดยตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ที่มีลักษณะเป็นผง จะทำการเตรียมตัวอย่างแบบ KBr-disc โดยวิธีการคือ บดสารตัวอย่างประมาณ 1-2 มิลลิกรัม รวมกับผง KBr ปริมาณ 100 มิลลิกรัม อบให้แห้งแล้วบดรวมกัน จากนั้นทำการอัดเป็นแผ่นโดยใช้เครื่อง Mini press จนได้ตัวอย่างที่มีลักษณะกลมแบนใสคล้ายแก้ว (KBr Disc) แล้วนำตัวอย่างวางบนลำรังสี IR จากนั้นวิเคราะห์เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer; XRD)

เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ หรือเทคนิค XRD เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอ็กซ์มาใช้วิเคราะห์สารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างโดยไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non-destructive method) เทคนิค XRD อาศัยหลักการของการยิงรังสีเอ็กซ์ที่ทราบความยาวคลื่นไปกระทบชิ้นงานทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่าง ๆ กัน โดยมีหัววัดเป็นตัวรับข้อมูล เนื่องจากองศาในการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะขึ้นกับองค์ประกอบและโครงสร้างของสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ในการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้น ๆ ได้ จึงนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์สมบัติและโครงสร้างผลึกของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นผง รวมถึงแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคซิลเวอร์นาโน ซึ่งตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นผงเตรียมได้โดยการบดผงของสารตัวอย่างให้ละเอียดพอประมาณ จากนั้นนำไปอัดลงบนแผ่นกระจกที่มีลักษณะเป็นหลุมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร มีความลึกประมาณ 3 มิลลิเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer)

3.4.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

ใช้ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาและรายละเอียดของพื้นผิวและภาพตัดขวางของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคซิลเวอร์นาโน เนื่องจากตัวอย่างมีลักษณะเป็นแผ่นยางอิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ จึงเกิดปัญหาการ Charge up จึงต้องทำการเคลือบพื้นผิวด้วยทองคำนำสารตัวอย่างไปติดบน Stub เพื่อให้การฉาบผิวทำได้ทั่วถึง จากนั้นนำตัวอย่างไปทำการเคลือบทอง แล้วนำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 3000x 6000x และ 10000x เท่า

3.4.5 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope; OM)

ใช้ศึกษาลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานในรูปแบบสองมิติและภาพตัดขวาง (cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ และแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ที่ปริมาณคงที่ และอบอุ่นที่อุณหภูมิต่าง ๆ โดยชิ้นงานต้องมีขนาดเล็กพอที่จะวางลงบนแท่นวางวัตถุได้ กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงจะใช้แสงเป็นตัวช่วยในการทำให้มองเห็นภาพ เมื่อวางชิ้นงานลงบนแท่นวางวัตถุแสงจะวิ่งผ่านระบบเลนส์ต่าง ๆ และมีการส่องไปที่วัตถุ ก่อนที่แสงจะส่องผ่านเข้าสู่สายตาเรา ซึ่งแสงที่อยู่ภายในระบบที่สะท้อนกลับเข้าสู่สายตาเราจะทำให้เราเห็นภาพได้ โดยการมองผ่านเลนส์ Eyepiece

3.4.6 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Energy Dispersive X-ray Spectrometer; EDS)

เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ สามารถวิเคราะห์ได้ตั้งแต่ ธาตุคาร์บอนถึงธาตุยูเรเนียม ทดสอบได้ทั้งของแข็ง ของเหลว หรือเป็นผง วิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ หลักการของเทคนิคนี้คือ ให้รังสีเอ็กซ์จากแหล่งกำเนิดเข้าไปชนสารตัวอย่าง รังสีเอ็กซ์จะทำให้อิเล็กตรอนในวงในสุดของสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของอะตอมของธาตุหลุดออกไป อิเล็กตรอนในวงถัดมาจะเข้ามาแทนที่และคายพลังงานส่วนเกินออกมาในลักษณะของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ ซึ่งจะมีค่าพลังงานเป็นค่าเฉพาะตัวของธาตุนั้น เป็นพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ และความเข้มข้นของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ที่เกิดขึ้นจะเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งจะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคซิลเวอร์นาโน

3.4.7 เครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman Spectroscopy)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์วัสดุตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์หาชนิด (Qualitative Analysis) ของตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เช่น อัญมณี แร่ และวัสดุต่าง ๆ โดยส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ซึ่งไม่สามารถแสดงสเปกตรัมในช่วงอินฟราเรด โดยหลักการของรามานสเปกโตรมิเตอร์จะตรวจสอบโดยการวัดเปรียบเทียบการกระเจิงแสงแบบรามานของวัสดุหรือสารที่ใช้ในการตรวจสอบ ใช้หาความยาวพันธะในโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว ซึ่งจะทำให้สามารถระบุประเภทของสารตัวอย่างได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ดังนั้นจึงใช้วัสดุสารได้ทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว และก๊าซ จึงนำเทคนิคดังกล่าวนี้มาใช้ในการศึกษาชนิดของสารประกอบที่อยู่ในรูปกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.4.8 เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของวัสดุต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวและความละเอียดสูงในสภาวะแวดล้อมที่ควบคุมได้ สามารถใช้ในการศึกษาสมบัติของตัวอย่างได้หลากหลายชนิด ทั้งตัวอย่างในกลุ่มเซรามิก พอลิเมอร์หรือสารอนินทรีย์ต่าง ๆ สามารถวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลว การสูญเสียน้ำหนักรวมไปจนถึงการหาสารเจือปนในตัวอย่างได้ จึงนำเทคนิคดังกล่าวมาใช้ในการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 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 เป็นตัวบ่งบอกความแข็งแรงและความสามารถในการทนรับแรงดึงของวัสดุจนขาดในระยะเวลาสั้น ๆ ด้วยอัตราการดึงคงที่ โดยการเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal testing machine; UTM) ตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยเตรียมชิ้นงานและกำหนดสภาวะกำหนดสภาวะเครื่องทดสอบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขนาดชิ้นงาน 10 x 70 ตารางมิลลิเมตร
- ความเร็วในการดึง 250 มิลลิเมตรต่อนาที
- ความยาวเกจ (Gauge length) 30 มิลลิเมตร
- ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้ 0.2 นิวตัน
- จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ 5 ชิ้นต่อชิ้นงาน

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

3.4.10 การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Anti-Bacterial test)

ทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคซิลเวอร์นาโนโดยใช้วิธี Agar disc diffusion ซึ่งจะวิเคราะห์ผลการทดลองจากการเกิดโซนยับยั้ง (Inhibition zone) บนจานเลี้ยงเชื้อโดยจะทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิดได้แก่ *Staphylococcus aureus* (แกรมบวก) และ *Escherichia coli* (แกรมลบ)

บทที่ 4

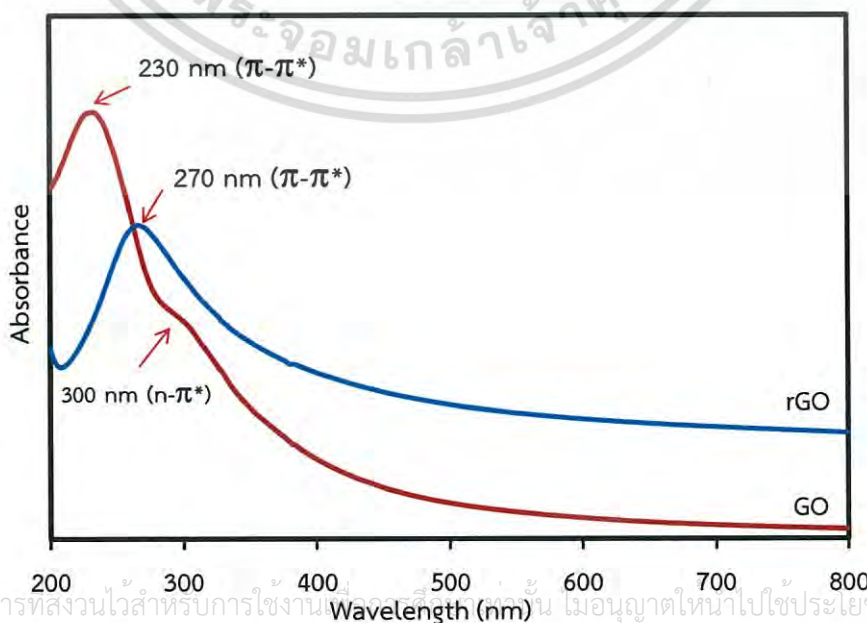
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จากกราฟีนออกไซด์โดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์และเตรียมสารแขวนลอยอนุภาคซิลเวอร์นาโนได้ด้วยกระบวนการไมโครเวฟใช้พอลิไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวรีดิวซ์และทำหน้าที่เป็นสารรักษาเสถียรภาพ จากนั้นทำการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติชนิดเข้มข้นกับซิลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ เพื่อเป็นการปรับปรุงสมบัติเชิงกลของแผ่นยางธรรมชาติผสมให้มากขึ้น จากนั้นได้ศึกษาผลของการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ เมื่อได้ผลของการศึกษาข้างต้น จึงได้นำมาเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (0.28 wt.%) และซิลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์และวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ได้แก่ การดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrometry) ศึกษาหมู่ฟังก์ชัน (FT-IR) พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน (Raman Spectroscopy) การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) การวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (EDX) ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (OM) สมบัติเชิงความร้อน (TGA) สมบัติเชิงกล (Tensile testing) และการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย (Anti-bacterial Testing) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.1.1 กราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

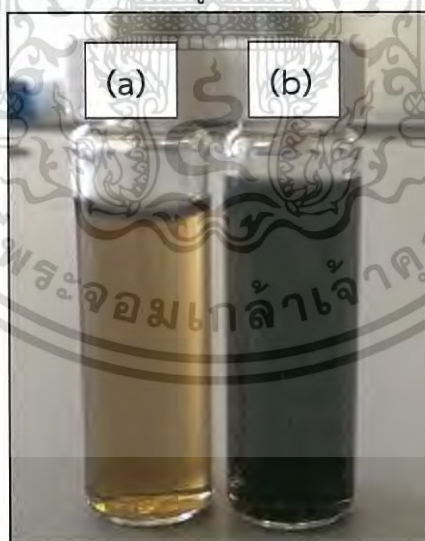
เทคนิค UV-visible spectrophotometry (UV-Vis) เป็นเทคนิคที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของสารได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันบนโครงสร้างของแผ่นกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) ที่ถูกรีดิวซ์ด้วยไฮดราซีนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)

จากรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงพบว่า กราฟีนออกไซด์ดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 230 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะจาก $\pi-\pi^*$ และพบพีคเล็ก ๆ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 300 นาโนเมตรซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะจาก $n-\pi^*$ ซึ่งโดยทั่วไป $\pi-\pi^*$ จะเกิดได้ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 220 นาโนเมตรเป็นต้นไป ขึ้นอยู่กับว่าโมเลกุลมีพันธะคู่โดดเดี่ยว (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 [4,10]

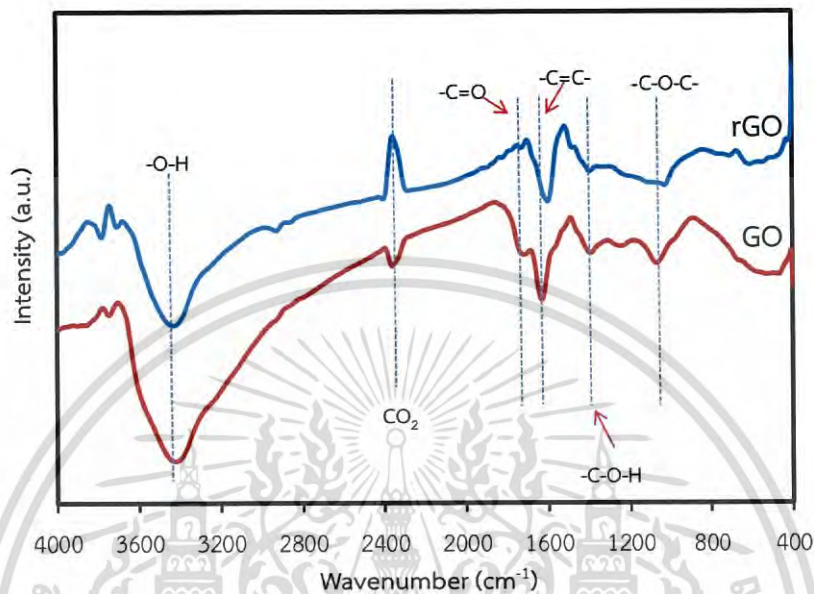
โดยทั่วไปการรีดิวซ์จากกราฟีนออกไซด์ไปเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สมบูรณ์สามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงสีของสารแขวนลอยโดยจะเปลี่ยนจากสารแขวนลอยสีน้ำตาลของกราฟีนออกไซด์เป็นสารแขวนลอยสีดำของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากราฟีนออกไซด์ได้เปลี่ยนไปเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์อย่างสมบูรณ์ [1] ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงภาพถ่ายสีของสารแขวนลอย (a) กราฟีนออกไซด์ (GO) และ (b) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)

4.1.2 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานการสั่นของโมเลกุล

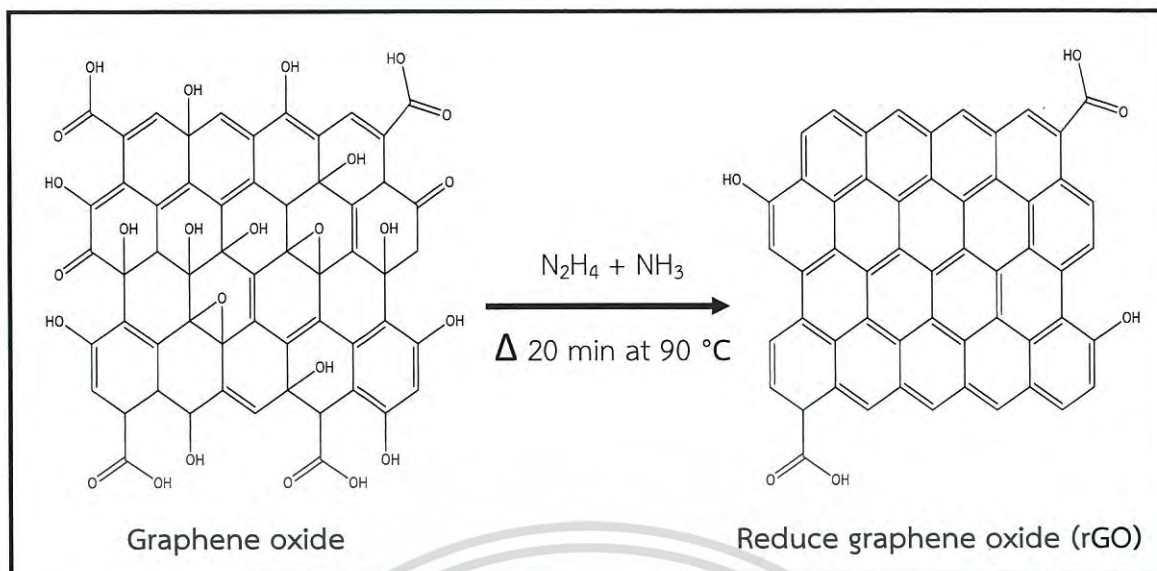
การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ สามารถพิจารณาจากสเปกตรัมของ Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) ของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 4.3 [36]



รูปที่ 4.3 แสดง FTIR สเปกตรัมของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)

จากรูปที่ 4.3 พบแถบการสั่นของกราฟีนออกไซด์ (GO) ปรากฏความถี่ที่เลขคลื่น 3442 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ (-O-H) พบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1625 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ (-C=C-) ของวงอะโรมาติก ปรากฏแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1722 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะ (-C=O) ของสารประกอบคาร์บอนิกและคาร์บอกซิลิก และแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1054 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของพันธะแอลคอกซี (-C-O-C) ซึ่งเป็นการยืนยันหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ในกราฟีนออกไซด์ การปรากฏแถบการสั่นของหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ เกิดจากกระบวนการออกซิไดซ์ของกราฟไฟต์เป็นกราฟีนออกไซด์ จึงทำให้หมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิก คาร์บอกซิลิก และอีพอกซี เกิดขึ้นที่บริเวณขอบของแผ่นและในวงอะโรมาติกของกราฟไฟต์ ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ แต่เมื่อทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะพบแถบการสั่นที่ 3450 cm^{-1} (O-H) และพบแถบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่น 1632 cm^{-1} (-C=C-) แต่ไม่พบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่นประมาณ 1700 cm^{-1} และที่ 1100 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของสารประกอบคาร์บอนิก คาร์บอกซิลิก และอีพอกซี[4] ตามลำดับ เป็นการยืนยันได้ว่าการรีดิวซ์หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ออกจากกราฟีนออกไซด์ ซึ่งเป็นโครงสร้างทางเคมีของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (การสั่นความถี่ที่เลขคลื่นประมาณ 2350 cm^{-1} ซึ่งเป็นการสั่นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) เนื่องมาจากการเก็บรักษากราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ รวมทั้งความคาดเคลื่อนของเครื่องมือ) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



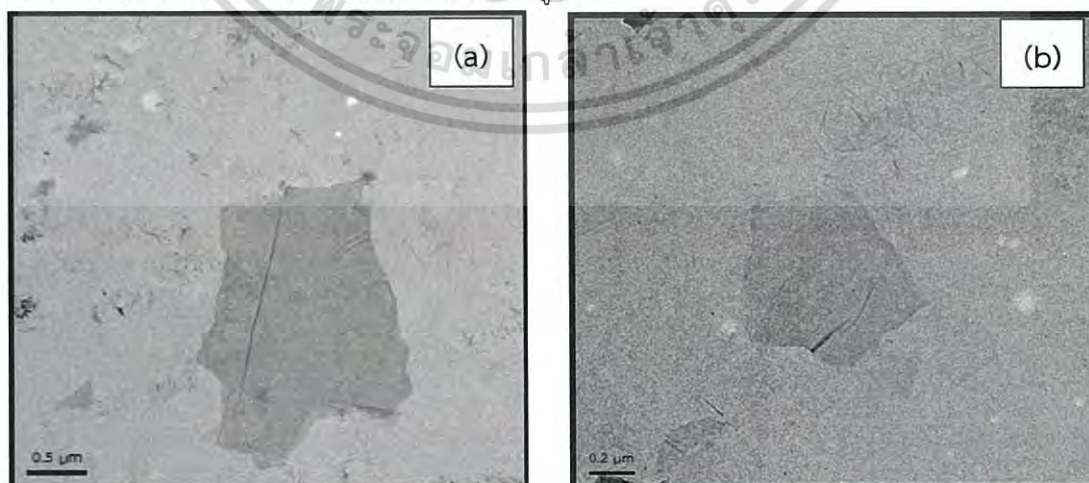
รูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างทางเคมีของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) [10]

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบแถบการสั่นที่สำคัญของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)

กราฟีนออกไซด์		รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	
การสั่นของพันธะ	ความถี่ (cm^{-1})	การสั่นของพันธะ	ความถี่ (cm^{-1})
O-H stretching	3442	O-H stretching	3432
C=C stretching	1625	C=C stretching	1632
C=O stretching	1722		
C-O stretching	1054		

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

ผลการวิเคราะห์ขนาดและอนุภาคของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO) และสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง TEM ของ (a) กราฟีนออกไซด์ และ (b) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

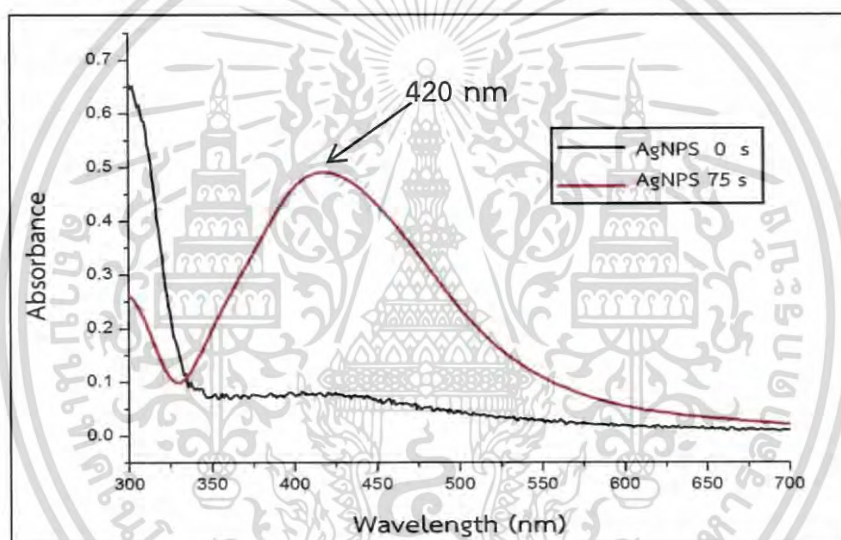
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 ภาพถ่ายจากกล้อง TEM ของ (a) กราฟีนออกไซด์ แสดงให้เห็นรูปร่างมีลักษณะเป็นแผ่นบางมีความกว้างประมาณ 1500 นาโนเมตร และยาวประมาณ 2000 นาโนเมตร ส่วน (b) รีดิวิซ์ กราฟีนออกไซด์มีลักษณะเป็นแผ่นบางมีความกว้างประมาณ 660 นาโนเมตร และยาวประมาณ 830 นาโนเมตร ซึ่งมีความบางและขนาดเล็กกว่ากราฟีนออกไซด์ เนื่องจากใช้ไฮดราซีนในการรีดิวิซ์ กราฟีนออกไซด์ ซึ่งมีความรุนแรงสูง จึงทำลายพันธะในวงอะโรมาติกให้ขาดออกจากกัน ทำให้แผ่นรีดิวิซ์ กราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเล็กและบางลง

4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคซิลเวอร์นาโน

4.2.1 ผลการวิเคราะห์การวัดการดูดกลืนแสง

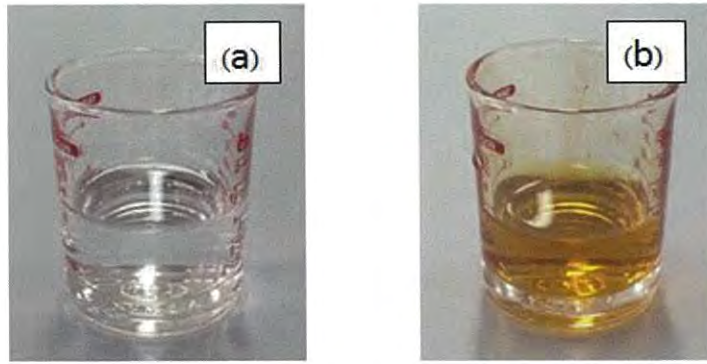
ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ของอนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) ก่อนไมโครเวฟและหลังไมโครเวฟ ที่ได้จากกระบวนการให้พลังงานด้วยเตาอบไมโครเวฟ ผลแสดงในรูปที่ 4.6



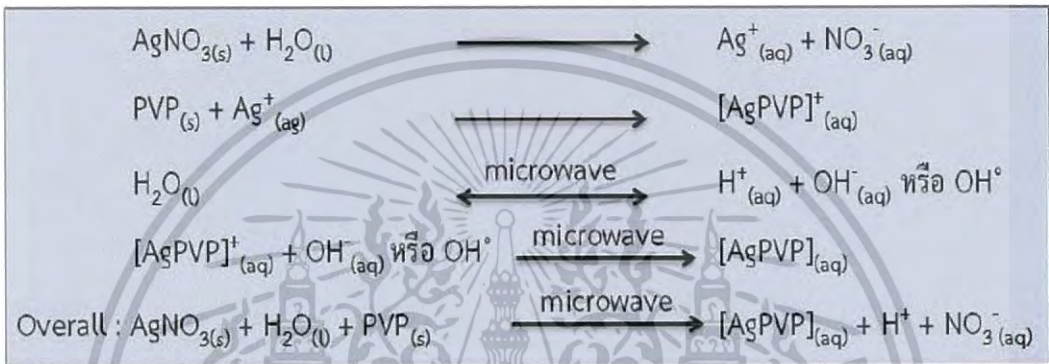
รูปที่ 4.6 แสดงค่าการดูดกลืนแสงอนุภาคซิลเวอร์นาโนก่อนและหลังไมโครเวฟ

จากรูปที่ 4.6 พบว่าสารละลายซิลเวอร์ก่อนที่จะได้รับคลื่นไมโครเวฟ จะไม่พบค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคซิลเวอร์นาโน แต่เมื่อได้รับคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 75 วินาที จะพบพีคค่าการดูดกลืนแสงที่มีความยาวคลื่นประมาณ 420 นาโนเมตร ซึ่งป็นตำแหน่งพีคเอกลักษณ์ของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่มีรูปร่างคล้ายทรงกลม นอกจากนี้ยังสามารถยืนยันการเกิดอนุภาคซิลเวอร์นาโนอย่างคร่าวๆ โดยดูได้จากสีของสารแขวนลอยจะเปลี่ยนจากสารละลายใสไม่มีสีไปเป็นสารแขวนลอยสีเหลืองส้ม ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า PVP สามารถเป็นตัวรีดิวิซ์ Ag^+ ให้เป็น AgNPs ได้เป็นอย่างดี ภายใต้กระบวนการไมโครเวฟ อีกทั้ง PVP ยังเป็นตัวช่วยรักษาเสถียรภาพของ AgNPs ที่สังเคราะห์ได้อีกด้วย[23] สำหรับกลไกที่เป็นไปได้ของการเกิดอนุภาคซิลเวอร์นาโนด้วยคลื่นไมโครเวฟ โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรด ($AgNO_3$) และ PVP เป็นสารตั้งต้น แสดงไว้ในสมการดังรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



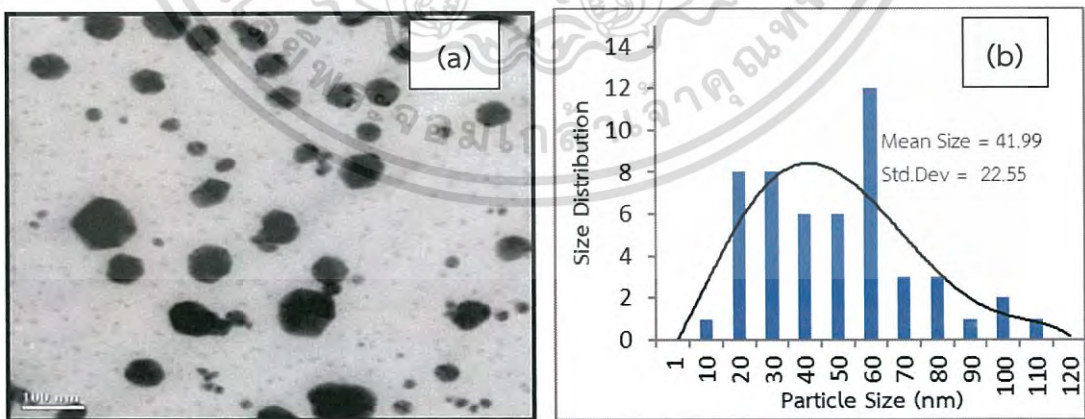
รูปที่ 4.7 แสดงสีของสารแขวนลอยซิลเวอร์นาโน (a) ก่อนผ่านกระบวนการไมโครเวฟ และ (b) หลังผ่านกระบวนการไมโครเวฟ 75 วินาที



รูปที่ 4.8 แสดงสมการที่อาจจะเป็นไปได้ของการเกิดอนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) [23]

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

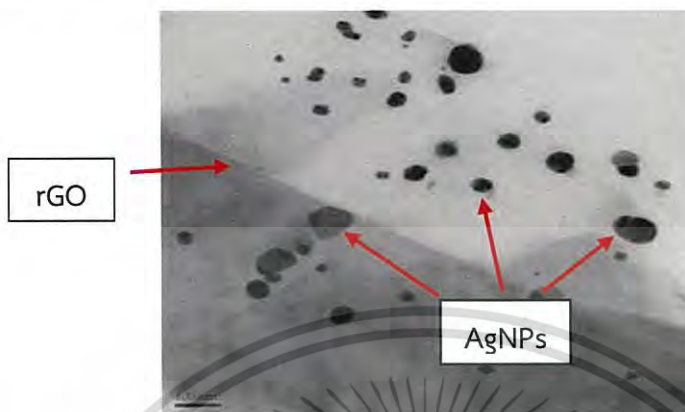
ผลการวิเคราะห์ขนาดและอนุภาคของสารแขวนลอยอนุภาคซิลเวอร์นาโน และสารแขวนลอยที่ผสมระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคซิลเวอร์นาโน แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงภาพ (a) TEM ของสารแขวนลอยซิลเวอร์นาโน และ (b) กราฟแสดงการกระจายขนาดอนุภาคของอนุภาคซิลเวอร์นาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 ภาพที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยเทคนิค TEM ของอนุภาคซิลเวอร์นาโนหลังจากผ่านคลื่นไมโครเวฟเป็นเวลา 75 วินาที โดยสารแขวนลอยที่เตรียมได้มีความเข้มข้นของอนุภาคซิลเวอร์นาโนเท่ากับ 9.9 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร แสดงให้เห็นถึงรูปร่างของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีขนาดของอนุภาคที่ค่อนข้างใกล้เคียงกัน โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 41.99 ± 22.55 นาโนเมตร



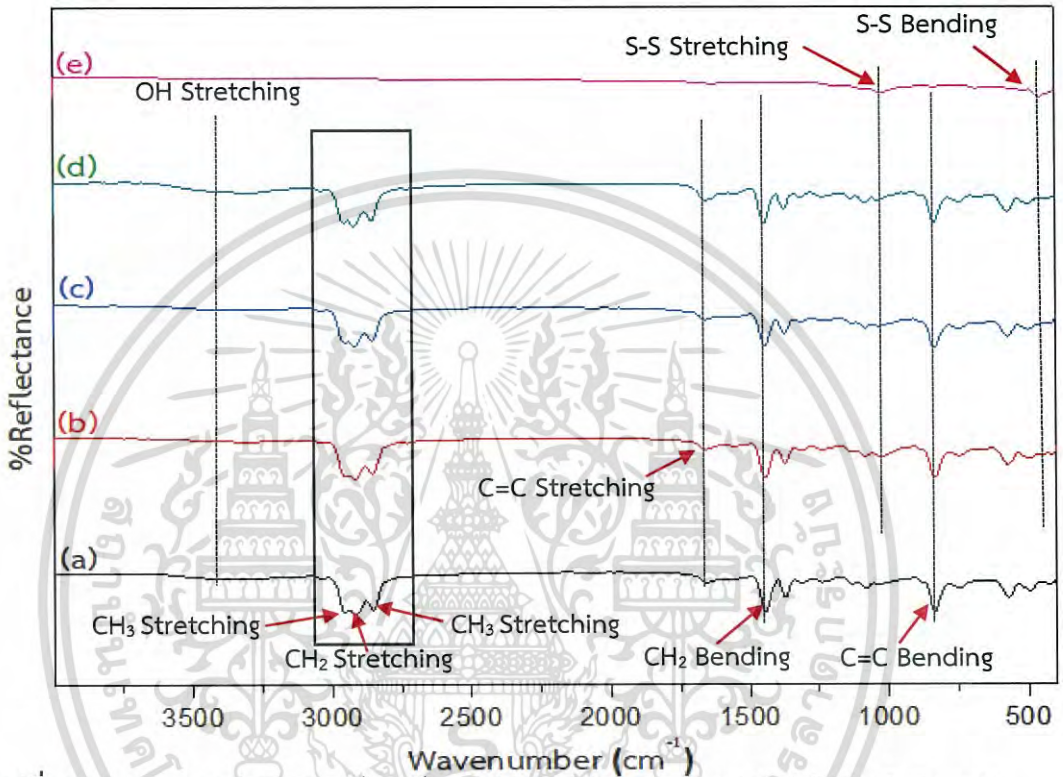
รูปที่ 4.10 แสดงภาพ TEM สารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมอนุภาคซิลเวอร์นาโน

จากรูปที่ 4.10 ภาพที่ได้จากการถ่ายภาพด้วยเทคนิค TEM ของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของอนุภาคซิลเวอร์นาโน โดยจากภาพแสดงให้เห็นถึงรูปร่างของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่มีลักษณะเป็นทรงกลม และมีการกระจายตัวของอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

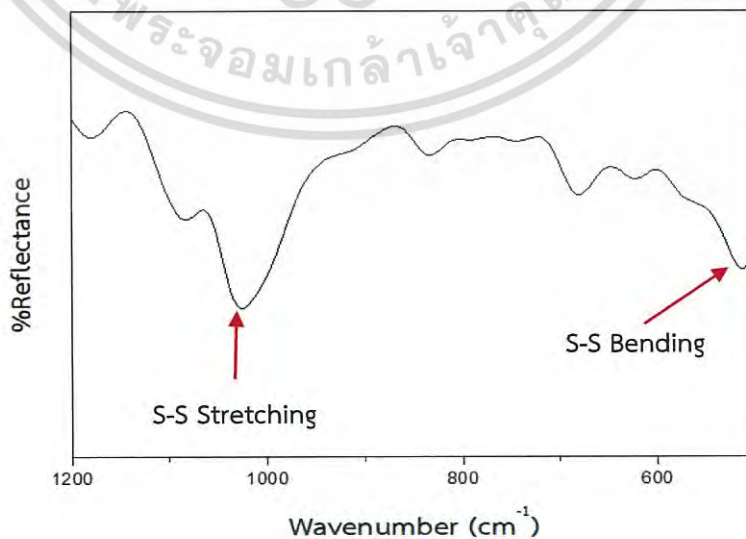
4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นยางธรรมชาติผสม

4.3.1 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานการสั่นของโมเลกุล

การวิเคราะห์ Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) ที่ใช้ในการวิเคราะห์แผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นและซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ โดยใช้ FTIR ชนิด ATR-FTIR ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างโดยไม่ต้องบด สามารถนำมาตรวจวิเคราะห์ให้ได้ทันที ผลการศึกษาซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ ในแผ่นยางธรรมชาติผสม ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟ FT-IR เปรียบเทียบ (a) NR (b) NR+S_3 wt.% (c) NR+S_5 wt.% (d) NR+S_10 wt.% และ (e) Sulfur

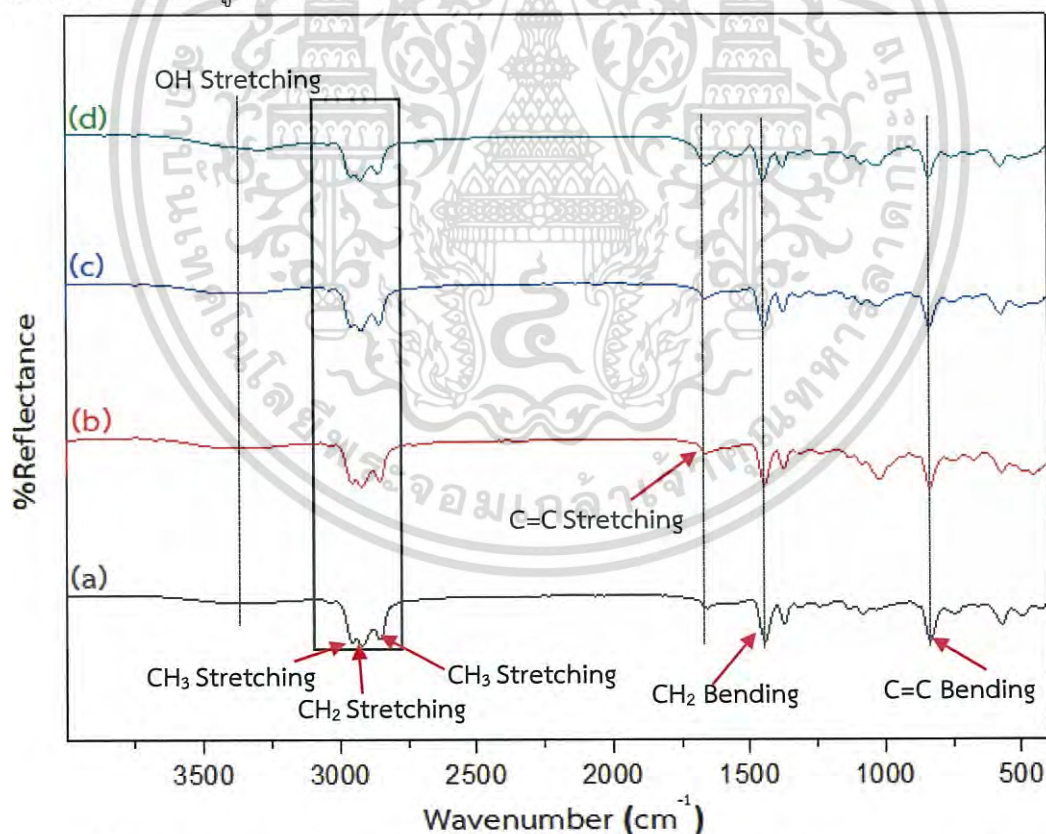


รูปที่ 4.12 แสดงกราฟ FTIR ของซัลเฟอร์ช่วงความถี่ที่เลขคลื่น 500-1200 cm^{-1}

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ที่ออกให้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 พบว่า (a) แผ่นยางธรรมชาติ จะแสดงสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญได้แก่ ช่วงแรกที่ประมาณเลขคลื่น $3600-3300\text{ cm}^{-1}$ เป็นช่วงการสั่นของพันธะออกซิเจนต่อไฮโดรเจน (O-H Stretching) ที่มาจากน้ำ บริเวณช่วงเลขคลื่น 2954 cm^{-1} และ 2852 cm^{-1} เป็นช่วงการสั่นแบบยืดของ CH_3 (CH_3 Stretching) ซึ่งใกล้เคียงกับเลขคลื่น 2917 cm^{-1} ที่เป็นการสั่นแบบยืดของ CH_2 (CH_2 Stretching) ถัดมาประมาณเลขคลื่น พบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1655 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบยืดของพันธะ $\text{C}=\text{C}$ ($\text{C}=\text{C}$ Stretching) พบการสั่นที่เลขคลื่น 1443 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของ CH_2 (CH_2 Bending) และพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 832 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบงอของ $\text{C}=\text{C}$ ($\text{C}=\text{C}$ Bending) ซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของยางธรรมชาติ [8] และจากรูปที่ 4.12 ซัลเฟอร์ จะพบแถบการสั่นของโมเลกุลที่เลขคลื่น 1025 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบยืดแบบสมมาตรของ S-S (S-S Stretching) และพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 459 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการสั่นแบบงอของ S-S (S-S Bending) และแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ (b)-(d) จะพบแถบการสั่นของโมเลกุลของยางธรรมชาติเป็นหลัก เนื่องจากแถบการสั่นของยางธรรมชาติมีความเข้มที่สูงมาก จึงทำให้ไปดบังแถบการสั่นของซัลเฟอร์ รวมถึงซัลเฟอร์มีความสมมาตรที่สูง จึงทำให้ไม่ปรากฏแถบการสั่นของซัลเฟอร์ในเทคนิค FTIR

ผลการศึกษการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.13

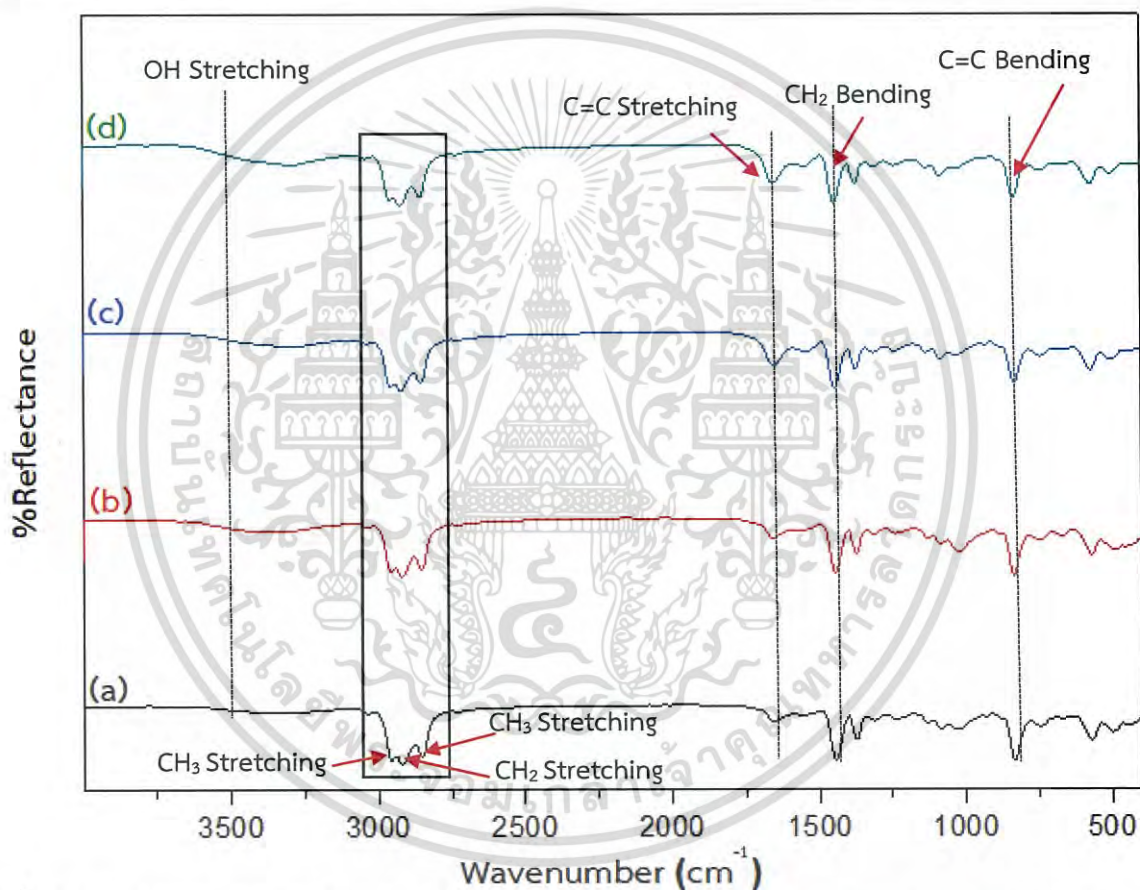


รูปที่ 4.13 แสดงกราฟ FT-IR เปรียบเทียบ (a) NR+S_5 wt.% (b) NR+S_5 wt.%+T90 (c) NR+S_5 wt.%+T100 และ (d) NR+S_5 wt.%+T110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบ (a) แผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะพบแถบการสั่นของโมเลกุลที่เลขคลื่น 2954 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการสั่นแบบยืดของ CH_3 (CH_3 Stretching) พบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 2917 cm^{-1} และ 2852 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบยืดสมมาตรและไม่สมมาตรของ CH_2 (CH_2 Stretching) ตามลำดับ พบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 832 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของ $\text{C}=\text{C}-\text{H}$ ($\text{C}=\text{C}-\text{H}$ bending) และพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1655 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบยืดของพันธะ $\text{C}=\text{C}$ ($\text{C}=\text{C}$ Stretching) ที่เข้มเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิในการอบอ่อนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบอ่อน ทำให้สายโซ่ของไอโซพรีน จัดเรียงตัวเป็นระเบียบเพิ่มมากขึ้น

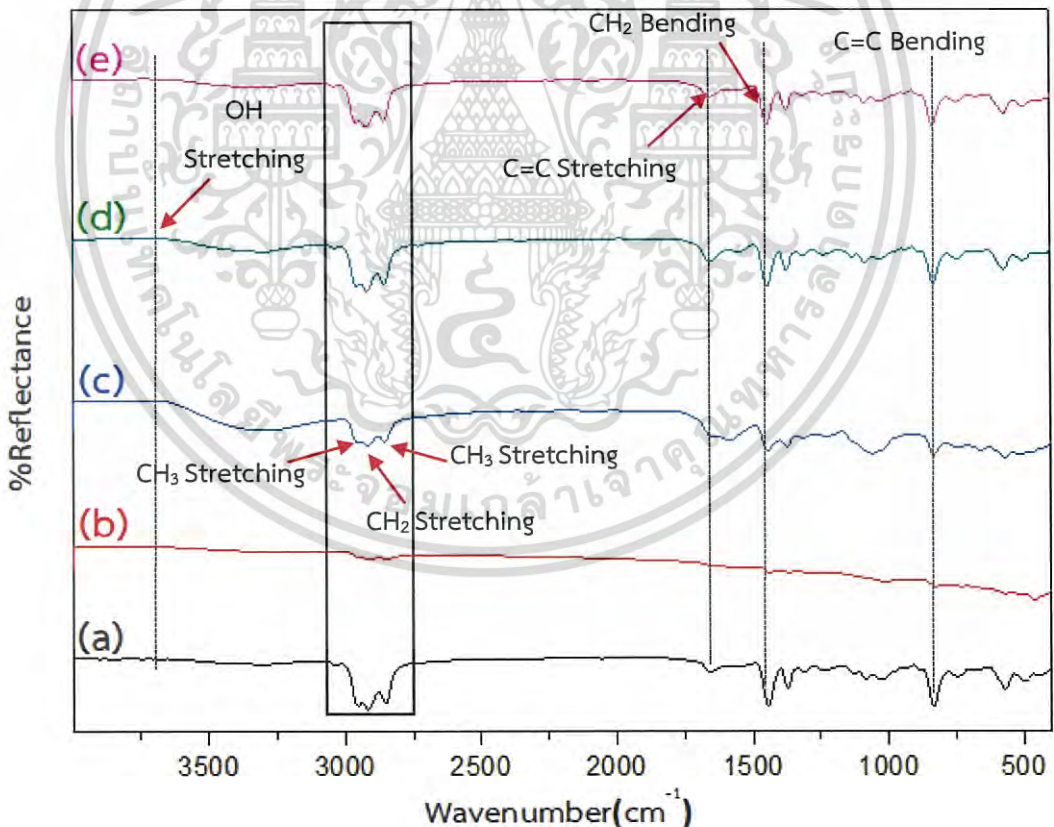
ผลการศึกษาแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟ FT-IR เปรียบเทียบ (a) NR+rGO_0.28 wt.% (b) NR+rGO_0.28 wt.%+T100 (c) NR+rGO_0.28 wt.%+ AgNPs_0.05 wt.% และ(d) NR + rGO_0.28 wt.% + AgNPs_0.05 wt.% + T100

จากรูปที่ 4.14 แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก (a) แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C (b) แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก (c) แผ่นยางธรรมชาติผสมกราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C (d) จะพบแถบการสั่นของโมเลกุลที่เลขคลื่น 2954 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการสั่นแบบยืดของ CH_3 (CH_3 Stretching) พบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 2917 cm^{-1} และ 2852 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบยืดสมมาตรและไม่สมมาตรของ CH_2 (CH_2 Stretching) ตามลำดับ พบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1655 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบยืดของพันธะ $\text{C}=\text{C}$ ($\text{C}=\text{C}$ Stretching) และพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 832 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของ $\text{C}=\text{C}$ ($\text{C}=\text{C}$ bending) ในส่วนของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไม่พบว่ามีเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมของแผ่นยางธรรมชาติผสม ซึ่งอาจมาจากพีคเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีลักษณะใกล้เคียงกับยางธรรมชาติ

ผลการศึกษาแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณต่าง ๆ และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟ FT-IR เปรียบเทียบ (a) NR+rGO 0.28 wt.% (b) NR+rGO 0.28 wt.%+S 5 wt.%+AgNPs 0.05 wt.%(white) (c) NR+rGO 0.28 wt.%+S 5 wt.%+AgNPs 0.05 wt.%+T100 (white) (d) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%(black) และ (e) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100(black)

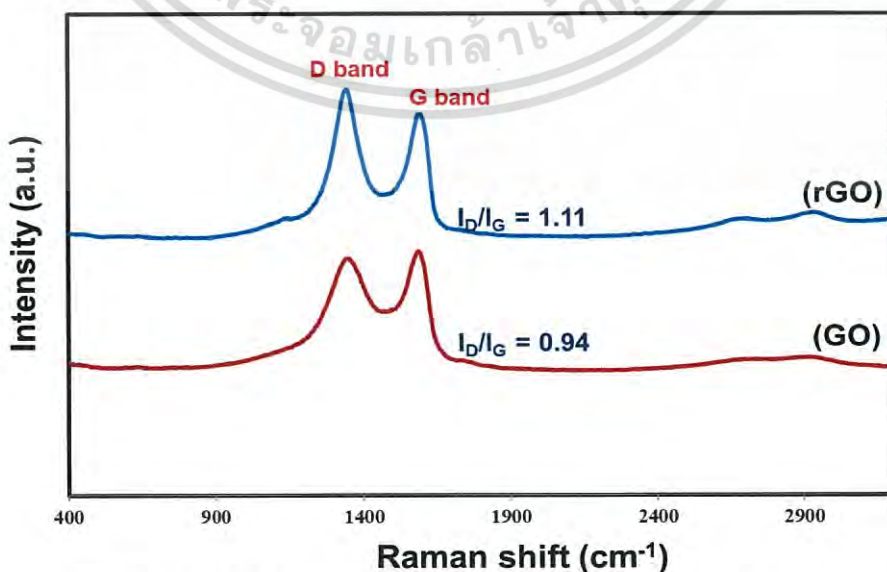
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 (a) แผนยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก (c) แผนยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C (ด้านขวาคือด้านที่มีซิลเฟอร์ตกลงมาปกคลุม) (d) แผนยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก (ด้านดำคือด้านที่ไม่มีซิลเฟอร์ตกลงมาปกคลุม) (e) แผนยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C (ด้านดำ) จะพบแถบการสั่นของโมเลกุลที่เลขคลื่น 2954 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการสั่นแบบยืดของ CH_3 (CH_3 Stretching) พบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 2917 cm^{-1} และ 2852 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบยืดทั้งสมมาตรและไม่สมมาตรของ CH_2 (CH_2 Stretching) ตามลำดับ พบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1655 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบยืดของพันธะ $\text{C}=\text{C}$ ($\text{C}=\text{C}$ Stretching) และพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 832 cm^{-1} เป็นการสั่นแบบงอของ $\text{C}=\text{C}$ ($\text{C}=\text{C}$ bending) ในส่วนของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไม่พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงสเปกตรัมของแผนยางธรรมชาติผสม ซึ่งอาจมาจากพิกเอกลักษณะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีลักษณะใกล้เคียงกับยางธรรมชาติ ส่วน (b) แผนยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก/อนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก (ด้านขาว) จะพบแถบการสั่นของโมเลกุลที่เลขคลื่น 1025 cm^{-1} เป็นแถบการสั่นแบบยืดแบบสมมาตรของ $\text{S}-\text{S}$ ($\text{S}-\text{S}$ Stretching) และพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 459 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการสั่นแบบงอของ $\text{S}-\text{S}$ ($\text{S}-\text{S}$ Bending)

4.3.2 ผลการวิเคราะห์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน

เทคนิครามานเป็นเทคนิคใช้หาความยาวพันธะในโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว ซึ่งจะทำให้สามารถระบุหาประเภทของสารตัวอย่างได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

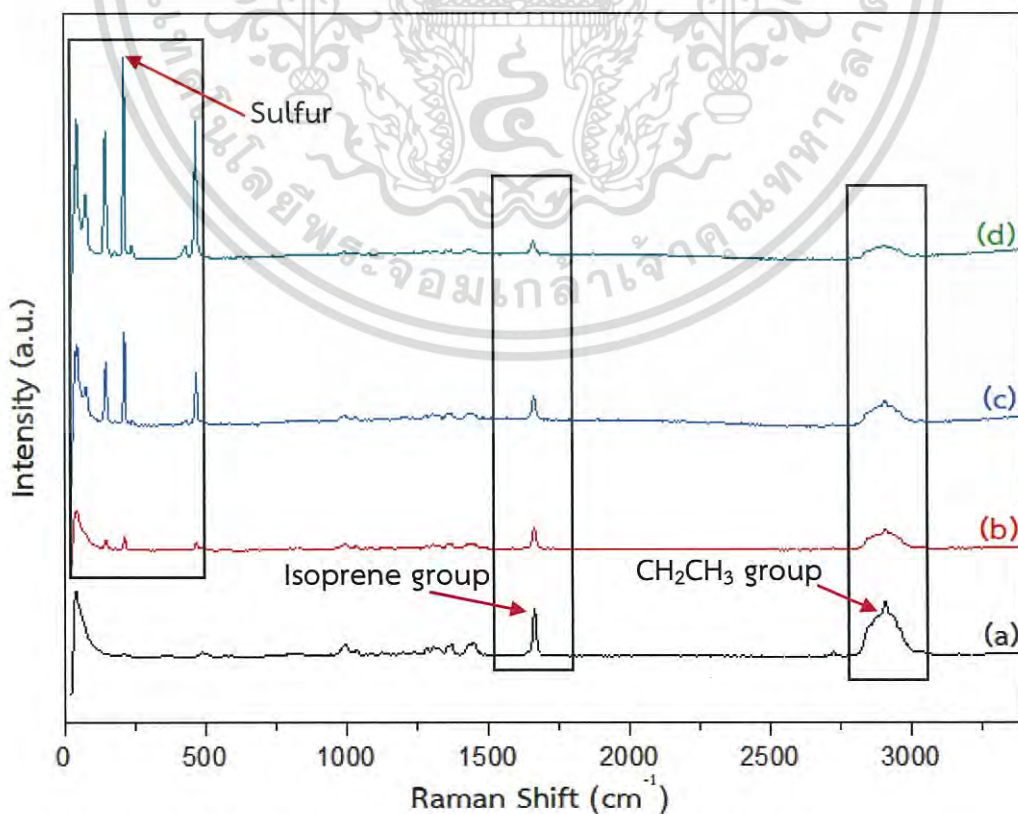
ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน (Raman spectroscopy) ของกราฟไฟต์ออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟไฟต์ออกไซด์ (GO) ด้านการค้า และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) ที่ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.16 จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน อัตราส่วนของ I_D/I_G จะแสดงถึงความไม่เป็นระเบียบ (Defect) ของคาร์บอนในสเปกตรัม ซึ่งถ้าความไม่เป็นระเบียบ (Defect) มากจะแสดงถึงความไม่เป็นระเบียบขององค์ประกอบคาร์บอนที่สูง และจากการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์ จะเกิดความบกพร่อง (Defect) และความไม่เป็นระเบียบ (disorder) ที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันในขั้นตอนการเตรียมกราฟีนออกไซด์ ซึ่งแสดงพีคของตำแหน่ง D band ที่ 1331 cm^{-1} และตำแหน่ง G band ที่ 1578 cm^{-1} และอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G มีค่าเท่ากับ 0.94 เนื่องมาจากมีหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ หมู่คาร์บอนิล คาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล และอีพอกซี เกิดขึ้นในโครงสร้าง [10] ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างที่มีความไม่เป็นระเบียบและความบกพร่องที่เกิดขึ้น ต่อมาเมื่อนำกราฟีนออกไซด์ผ่านปฏิกิริยารีดักชันด้วยไฮดราซีน เปลี่ยนเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พบว่าเกิดความบกพร่อง (Defect) และความไม่เป็นระเบียบ (Disorder) ของโครงสร้างของวงอะโรมาติกเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการทดลองพบว่าสเปกตรัมของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์แสดงพีค G band ที่ตำแหน่งประมาณ 1584 cm^{-1} และพีค D band ที่ตำแหน่ง 1338 cm^{-1} โดยมีอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G เพิ่มขึ้นจาก 0.94 เป็น 1.11 ซึ่งค่า D band มากกว่าค่า G band แสดงให้เห็นว่าหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ได้ถูกกำจัดออกไปบางส่วน อีกทั้งไฮดราซีนซึ่งเป็นตัวรีดิวซ์ที่รุนแรง จึงทำให้โครงสร้างของวงอะโรมาติกเกิดการหลุดออก และมีการสร้างพันธะใหม่เพิ่มขึ้น แสดงถึงความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างของคาร์บอนที่เกิดขึ้น [12]

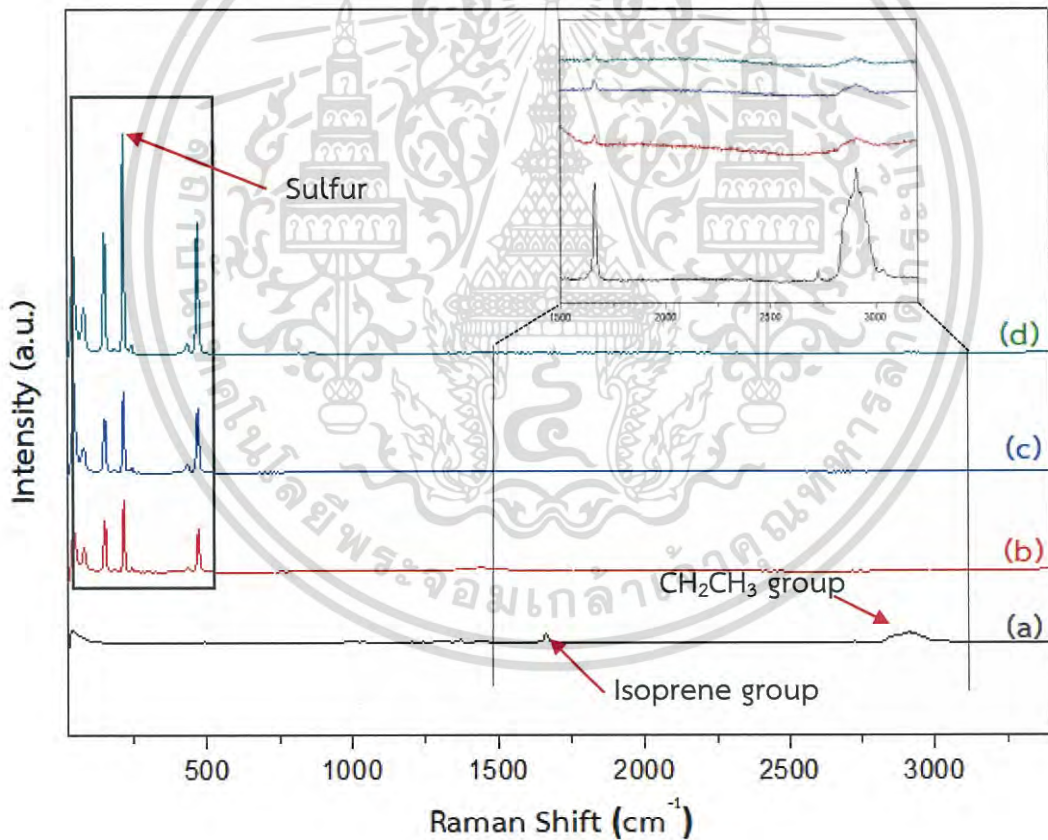
ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน (Raman spectroscopy) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นและซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงสเปกตรัมของเทคนิครามานเปรียบเทียบ (a) NR (b) NR+S₃ wt.% (c) NR+S₅ wt.% และ (d) NR+S₁₀ wt.% และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.17 เมื่อเปรียบเทียบแผ่นยางธรรมชาติ (NR Pure) กับแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่า แผ่นยางธรรมชาติที่ผสมซัลเฟอร์จะแสดงพีคของซัลเฟอร์ที่ 4 ตำแหน่ง คือ 49 cm^{-1} 150 cm^{-1} 215 cm^{-1} และ 468 cm^{-1} ซึ่งความเข้มของพีคทั้ง 4 นั้นจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของซัลเฟอร์ที่เติมลงไป ในแผ่นยางธรรมชาติผสมที่มากขึ้น และแผ่นยางธรรมชาติ (NR Pure) จะแสดงพีคของ isoprene ที่ตำแหน่ง 1668 cm^{-1} และพีคของ CH_2CH_3 group ที่ตำแหน่ง 2912 cm^{-1} เมื่อเติมซัลเฟอร์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้พีคของ isoprene และพีคของ CH_2CH_3 group ที่ตำแหน่งดังกล่าวมีความเข้มของพีคที่ลดลง เนื่องจากยางธรรมชาติที่มีการเติมซัลเฟอร์ลงไป ทำให้เกิดการ Crosslink ที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้สายโซ่ไอโซพรีนมีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น ส่งผลให้ Defect ในยางธรรมชาติผสมลดลง

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน (Raman spectroscopy) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้นและซัลเฟอร์ที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.18



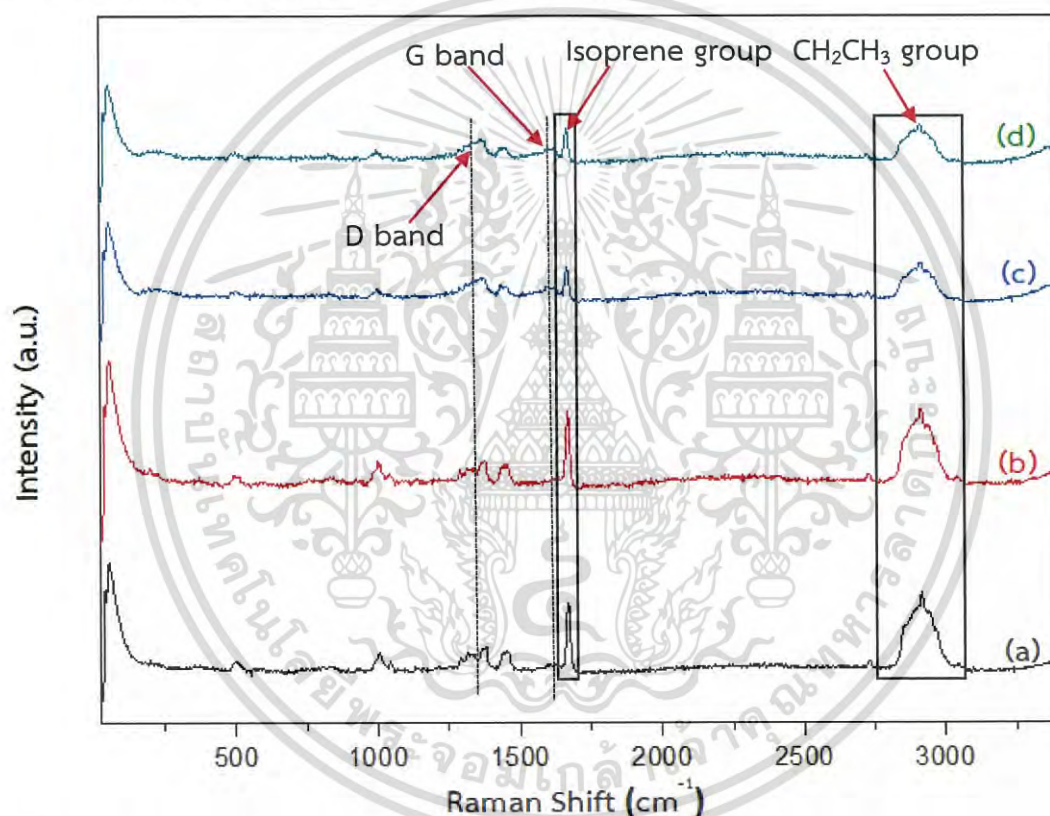
รูปที่ 4.18 แสดงสเปกตรัมของเทคนิครามานเปรียบเทียบ (a) NR (b) NR+S₅ wt.%+T90

(c) NR+S₅ wt.%+T100 และ (d) NR+S₅ wt.%+T110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 เมื่อเปรียบเทียบแผ่นยางธรรมชาติ (NR Pure) กับแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่า เมื่ออบอ่อนแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น ทำให้ความเข้มของพีคซิลเฟอร์ที่ตำแหน่ง 150 cm^{-1} 215 cm^{-1} และ 468 cm^{-1} เพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิการอบอ่อนส่งผลต่อการเกิด Crosslink ในแผ่นยางธรรมชาติ และ อุณหภูมิการอบอ่อนที่เพิ่มขึ้นก็ยังส่งผลทำให้ความเข้มของพีค isoprene และ CH_2CH_3 group ลดลง เนื่องจากสายโซ่ไอโซพรีนของยางธรรมชาติมีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้น

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน (Raman spectroscopy) ของแผ่นยางธรรมชาติผสม ระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่(0.28 wt.%) /อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ ปริมาณต่าง ๆ และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.19

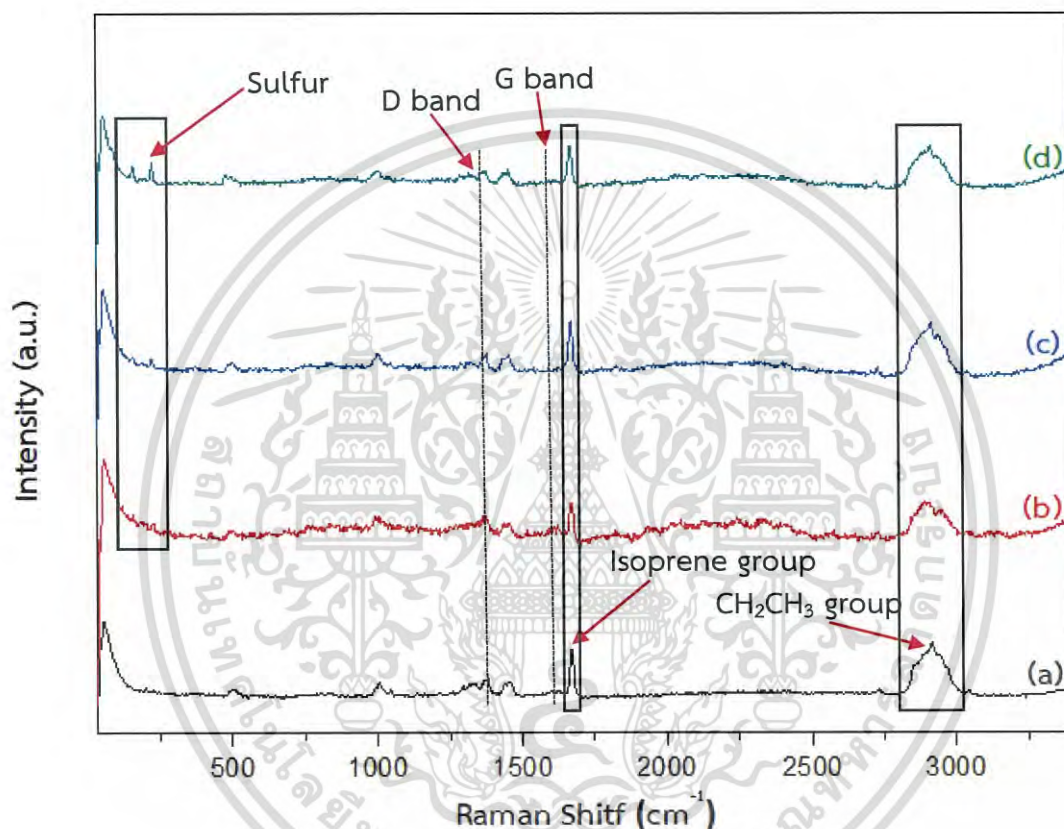


รูปที่ 4.19 แสดงสเปกตรัมของเทคนิครามานเปรียบเทียบ (a) NR+rGO 0.28 wt.% (b) NR+rGO 0.28 wt.%+T100 (c) NR+rGO 0.28 wt.%+ AgNPs 0.05 wt.% และ(d) NR + rGO 0.28 wt.% + AgNPs 0.05 wt.%+T100

จากรูปที่ 4.19 พบว่า ที่ $1350 - 1600\text{ cm}^{-1}$ จะปรากฏพีคของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เนื่องจากโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ประกอบด้วยวงอะโรมาติกที่มีหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ หมู่คาร์บอนิล คาร์บอกซิล ไฮดรอกซิล และอีพอกซี ที่บริเวณผิวของแผ่นกราฟีนออกไซด์จึงทำให้เกิดความบกพร่อง (Defect) และความไม่เป็นระเบียบ (Disorder) ของโครงสร้างซึ่งแสดงถึงความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างของคาร์บอนที่เกิดขึ้น และตำแหน่งที่ 1670 cm^{-1} กับ 2917 cm^{-1} จะปรากฏพีคของยางธรรมชาติ เนื่องจากยางธรรมชาติมีการจัดเรียงโมเลกุลแบบ cis-1,4-polyisoprene ทำให้โครงสร้างของยางธรรมชาติมีความไม่สมมาตรส่งผลให้เกิดความบกพร่อง (Defect) และความไม่เป็นระเบียบไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Disorder) ของโครงสร้างจึงปรากฏให้เห็น เมื่อมีการเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนลงไปในแผ่นยางธรรมชาติ ทำให้ความเข้มของพีค isoprene และ CH_2CH_3 group ลดลง เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนเข้าไปทำลายโครงสร้างของยางธรรมชาติ

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน (Raman spectroscopy) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ซิลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ และออบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงสเปกตรัมของเทคนิครามานเปรียบเทียบ (a) NR+rGO 0.28_wt.%

(b) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.% (black)

(c) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100 (white)

(d) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.% (white)

และ (e) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100 (black)

จากรูปที่ 4.20 พบว่า ที่ $1350 - 1600 \text{ cm}^{-1}$ จะปรากฏพีคของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เนื่องมาจากโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ประกอบด้วยวงอะโรมาติกที่มีหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ หมู่คาร์บอนิล คาร์บอนอกซิล ไฮดรอกซิล และอีพอกไซด์ที่บริเวณผิวของแผ่นกราฟีนออกไซด์จึงทำให้เกิดความบกพร่อง (Defect) และความไม่เป็นระเบียบ (Disorder) ของโครงสร้างซึ่งแสดงถึงความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างคาร์บอนที่เกิดขึ้น และตำแหน่งที่ 1670 cm^{-1} กับ 2917 cm^{-1} จะปรากฏพีคของยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

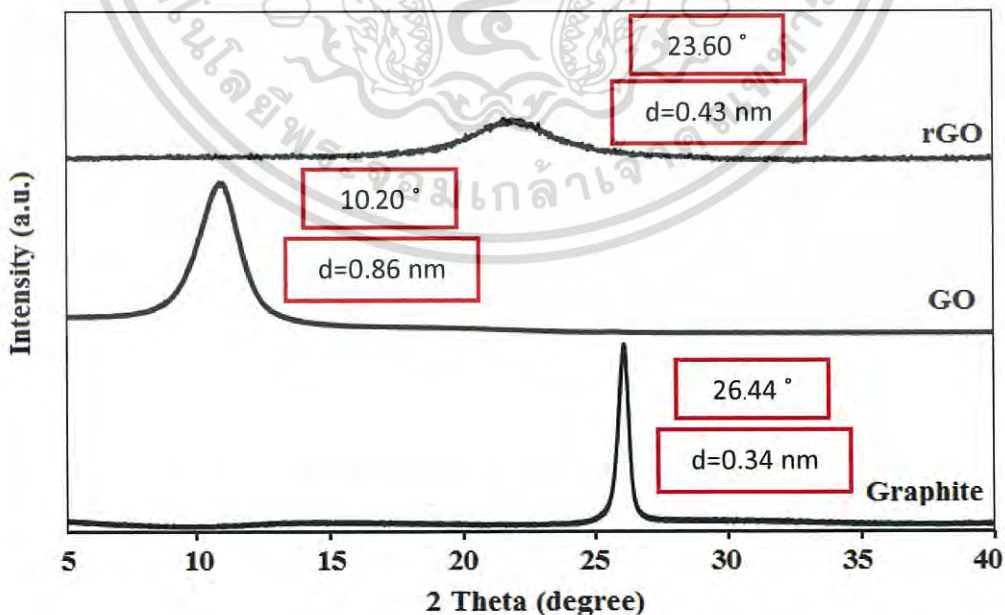
เนื่องมาจากยางธรรมชาติมีการจัดเรียงโมเลกุลแบบ cis-1,4-polyisoprene ทำให้โครงสร้างของยางธรรมชาติมีความไม่สมมาตรส่งผลให้เกิดความบกพร่อง (Defect) และความไม่เป็นระเบียบ (Disorder) ของโครงสร้างจึงปรากฏให้เห็น และแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จากรูปที่ ((b)-(d)) จะแสดงพีคของซัลเฟอร์ในช่วง $150 - 470 \text{ cm}^{-1}$ เนื่องจากการขึ้นรูปด้วยวิธีการผสม และเทขึ้นรูปแบบลาเท็กซ์ (Latex and mixing casting methods) และซัลเฟอร์ที่เติมลงไปมีความหนาแน่น (Density) สูงกว่ารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จึงตกลงมาทำให้ด้านหนึ่งของแผ่นยางธรรมชาติผสมมีซัลเฟอร์ปกคลุมอยู่ด้านนี้จึงมีสีขาวกว่าอีกด้านหนึ่ง(d) และอีกด้านหนึ่งไม่มีซัลเฟอร์ปกคลุมจะมีสีดำกว่า (c) ดังนั้นจึงทำการวัดด้วยเทคนิครามานทั้ง 2 ด้าน พบว่าด้านที่มีซัลเฟอร์ปกคลุมอาจจะไม่มีพีคของซัลเฟอร์ที่เข้มกว่าอีกด้านหนึ่ง

4.3.3 ผลการตรวจสอบลักษณะผลึกและอสัณฐาน

เทคนิค XRD ใช้หลักการของการยิงรังสีเอ็กซ์ ที่ทราบความยาวคลื่นไปกระทบที่ผิวหน้าผลึกของตัวอย่าง ทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่าง ๆ กัน โดยจะมีห้วงวัดเป็นตัวรับข้อมูลองศาในการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของสารที่มีอยู่ในตัวอย่างแผ่นยางผสม ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาหาปริมาณของสารประกอบแต่ละชนิด และเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non-Destructive Method) ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุวิฤภาคองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

4.3.3.1 กราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ผลการวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของกราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.21



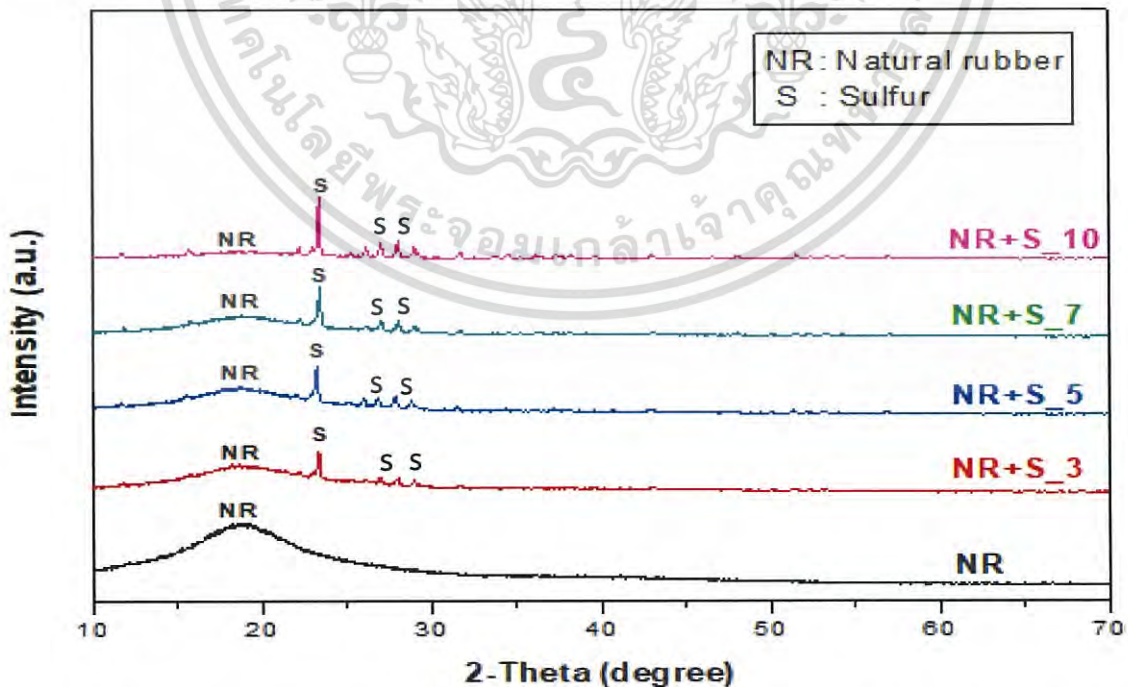
รูปที่ 4.21 แสดง XRD Pattern ของผงกราฟไฟต์ (Graphite) ผงกราฟีนออกไซด์ (GO) และผงรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอณูฐานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ จะเห็นว่าพิกัดที่มีความเข้มสูงที่สุดอยู่ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 26.44° มีระยะห่างระหว่างระนาบคือ 0.34 นาโนเมตร ซึ่งเป็นมุมการเลี้ยวเบนของกราฟไฟต์ เนื่องจากกราฟไฟต์ที่เกิดจากการเรียงกันเป็นชั้นๆของกราฟไฟต์ที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนเรียงตัวกันเป็นรูปหกเหลี่ยมคล้ายรังผึ้ง ซึ่งยึดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ ไม่สามารถละลายน้ำได้ และมีความเป็นผลึกสูง ทำให้ให้พิกัดที่มีความเข้มสูง แต่เมื่อนำผงกราฟไฟต์ไปทำปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยกรดเข้มข้นคือ กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) และ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) หลังการปรับสภาพทำให้มีหมู่คาร์บอกซิล ($-COOH$) หมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) หมู่คาร์บอนิล ($-C=O$) และหมู่อีพอกซี ($C-O$) เกิดขึ้นบนวงหกเหลี่ยมของแผ่นคาร์บอน จึงทำให้ความเป็นขั้วเพิ่มขึ้น กราฟไฟต์ออกไซด์นี้จึงสามารถแขวนลอยในน้ำได้ หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ที่แทรกอยู่ตามชั้นของกราฟไฟต์ ส่งผลให้ระยะห่างระหว่างชั้นผลึกมีมากขึ้น และเป็นผลให้ความเป็นผลึกนั้นลดลงทำให้การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ต่างจากกราฟไฟต์คือ เกิดพิกัดที่มุม 2θ เท่ากับ 10.20° มีระยะห่างระหว่างระนาบ คือ 0.86 นาโนเมตร เมื่อทำการรีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์จะพบว่าพิกัดเกิดการเลื่อนไปที่มุม 2θ เท่ากับ 23.60° มีระยะห่างระหว่างระนาบ คือ 0.43 นาโนเมตร จากการเลื่อนของตำแหน่งพิกัดดังกล่าวบ่งบอกว่ารีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์มีระยะห่างระหว่างชั้นที่น้อยกว่ากราฟไฟต์ออกไซด์ เนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างลดลง เมื่อหมู่ออกซิเจนและหมู่ไฮดรอกซิลบางส่วนได้หลุดออกไปจากโครงสร้าง โดยความเป็นผลึกที่ลดลงของรีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์นั้นเป็นการยืนยันได้ว่ากราฟไฟต์ออกไซด์ได้ถูกเปลี่ยนเป็นรีดิวซ์กราฟไฟต์แล้ว

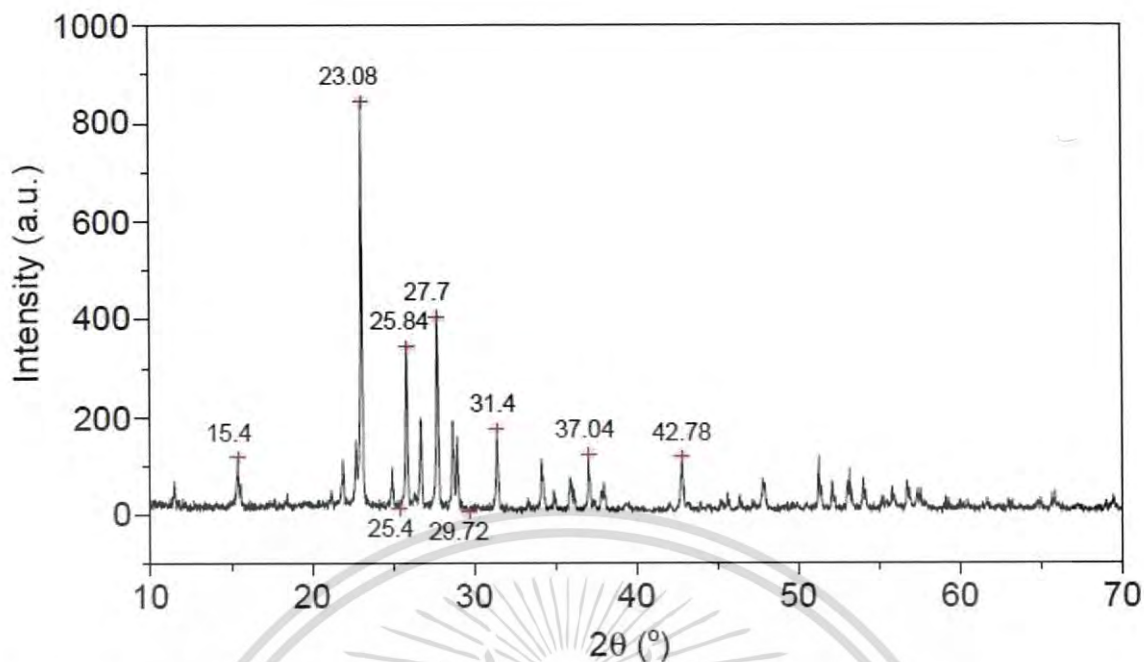
4.3.3.2 แผ่นยางธรรมชาติผสม

ผลการวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอณูฐานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของแผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ในปริมาณต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.22

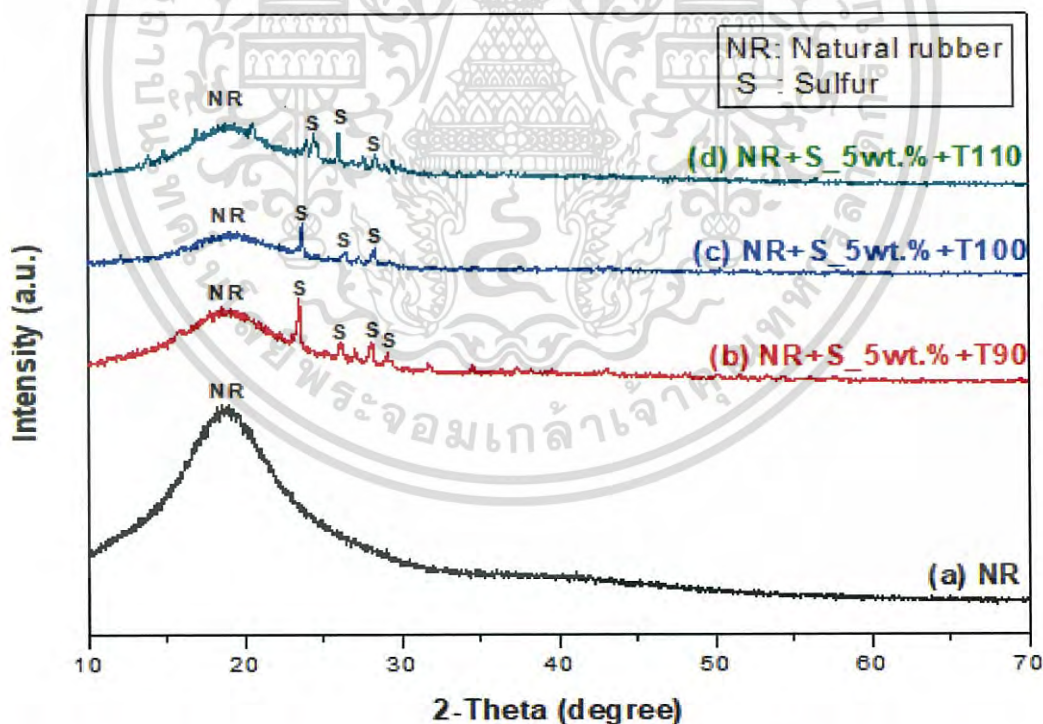


รูปที่ 4.22 แสดง XRD pattern ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่างๆ (a) NR (b) NR+S_3wt% (c) NR+S_5wt.% (d) NR+S_10wt.%

เอกสารนี้เป็นเอกสารเผยแพร่ในชื่อของงานวิจัยนี้เท่านั้น ไม่สามารถนำเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

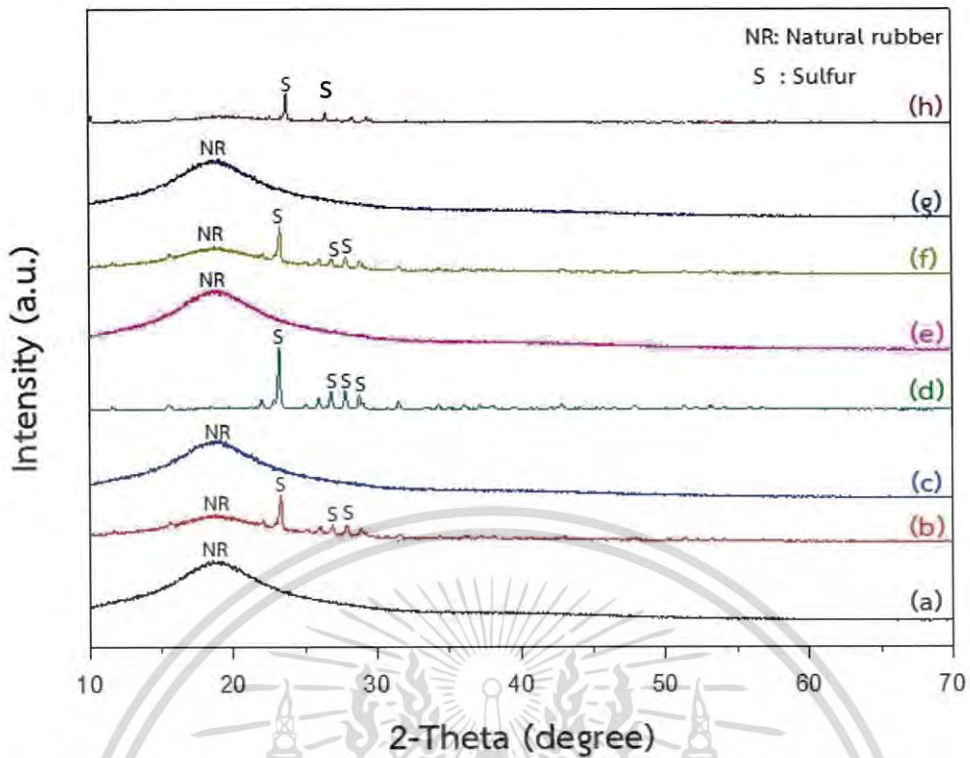


รูปที่ 4.23 แสดง XRD pattern ของซัลเฟอร์ จากงานวิจัยอ้างอิง [35]



รูปที่ 4.24 แสดง XRD pattern ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสม (a) NR (b) NR+S_5 wt.% +T90 (c) NR+S_5wt.%+T100 (d) NR+S_10wt.%+T110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 แสดง XRD pattern ของแผ่นยางธรรมชาติผสม (a) NR+rGO_0.28 wt.% (b) NR+rGO_0.28_wt.% + S_5 wt.% (c) NR+ rGO_0.28 wt.% + AgNPs_0.05 wt.% (d) NR+ rGO_0.28 wt.%+S_5wt.%+AgNPs_0.05 wt.% (e) NR+rGO_0.28 wt.%+T100 (f) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5_wt.% +T100 (g) NR+rGO_0.28 wt.% +AgNPs_0.05 wt.% +T100 และ (h) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5wt.%+AgNPs_0.05 wt.%

จากผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างของแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่างๆ ด้วยเทคนิค X-ray Diffraction ในรูป 4.22 (a) พบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 18.96° ซึ่งเป็นพีคที่เป็นแถบกว้างเนื่องจากการเลี้ยวเบนของยางธรรมชาติซึ่งมีลักษณะเป็นอสัณฐาน แต่จะพบว่าเมื่อมีปริมาณการเติมซัลเฟอร์ที่มากขึ้น จะพบพีคเอกลักษณ์ของยางธรรมชาติที่น้อยมาก เนื่องจากอาจถูกบดบังโดยพีคของซัลเฟอร์ และในตัวอย่าง (b)-(e) พบว่าพีคที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 23.44° , 27.80° และ 28.12° จะสูงขึ้นเมื่อปริมาณของซัลเฟอร์มากขึ้น ที่มุมการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เหล่านี้เมื่อเทียบค่าดัชนีแล้วจะสื่อถึงระนาบ (111) (200) (220) ตามลำดับ ซึ่งบ่งบอกได้ว่าระนาบของวิภาคของซัลเฟอร์มีโครงสร้างผลึกแบบ monoclinic และเกิดที่ตำแหน่งเดียวกับรูปที่ 4.23 ซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยของ Yiming Guo ทางคณะ ซึ่งได้จากการศึกษาสมบัติของอนุภาคซัลเฟอร์ monoclinic ด้วยเทคนิค water-in-oil microemulsions (Powder Technology 162 (2006) 83 – 86) [35]

จากรูปที่ 4.24 ผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างของแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ 5 wt.% และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 90 100 และ 110 องศาเซลเซียสด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ พบว่าในทุกตัวอย่างจะพบพีคที่เป็นแถบกว้างอยู่ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 18.96° ซึ่งเป็นพีคที่เป็นแถบกว้างของยางเอกลสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติที่มีลักษณะเป็นอสัณฐาน และในตัวอย่าง (b)-(d) พบพีคและระนาบของวัฏภาคของซิลเฟอร์ที่ตำแหน่งเดียวกันกับรูปที่ 4.23

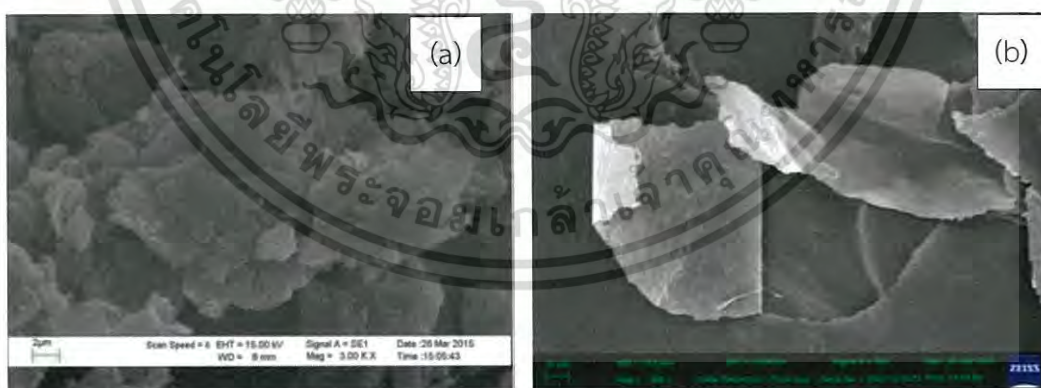
จากผลการศึกษาลักษณะโครงสร้างของแผ่นยางธรรมชาติผสมในรูป 4.25 (a)-(c) และ (e)-(g) ที่ผ่านและไม่ผ่านการอบอ่อน พบการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 18.96° ซึ่งเป็นพีคที่เป็นแถบกว้างเนื่องจากการเลี้ยวเบนของยางธรรมชาติที่มีลักษณะที่เป็นอสัณฐาน แต่ไม่พบพีคจากตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 23.60° ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เนื่องจากอาจถูกบดบังจากพีคที่เป็นแถบกว้างของยางธรรมชาติที่ขึ้น พีคแถบกว้างในบริเวณใกล้เคียงกัน และยังพบพีคและระนาบของวัฏภาคของซิลเฟอร์ที่ตำแหน่งเดียวกันกับรูปที่ 4.23

จากรูป 4.25 (d) และ (h) ไม่พบการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 18.96° ซึ่งเป็นพีคที่เป็นแถบกว้างเนื่องจากการเลี้ยวเบนของยางธรรมชาติที่มีลักษณะที่เป็นอสัณฐาน อาจเกิดจากการถูกบดบังของพีคเอกลักษณ์ของซิลเฟอร์ในบริเวณใกล้เคียงกัน และไม่พบพีคเอกลักษณ์ของอนุภาคซิลเวอร์นาโนเนื่องจากการเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่น้อยเกินไปจึงไม่พบพีคเอกลักษณ์ของอนุภาคซิลเวอร์นาโน

4.3.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของสารในระดับจุลภาค

4.3.4.1 กราฟีนออกไซด์ และรีติวซ์กราฟีนออกไซด์

ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของของสารตัวอย่างในระดับจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope) โดยทางการศึกษา กราฟีนออกไซด์ และรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 แสดงภาพจากกล้อง SEM เปรียบเทียบระหว่าง (a) กราฟีนออกไซด์กำลังขยาย 3000x เท่า (b) รีติวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 500x เท่า

จากรูปที่ 4.26 แสดงผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเปรียบเทียบระหว่าง กราฟีนออกไซด์ และรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ พบว่ากราฟีนออกไซด์มีลักษณะเป็นเกล็ดเล็กๆ ซ้อนทับกันอยู่และลักษณะแผ่นไม่เรียบ ส่วนรีติวซ์กราฟีนออกไซด์มีลักษณะเป็นเกล็ดแผ่นใหญ่บางซ้อนทับกันอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4.2 บริเวณพื้นผิวของแผ่นยางธรรมชาติผสม (Surface)

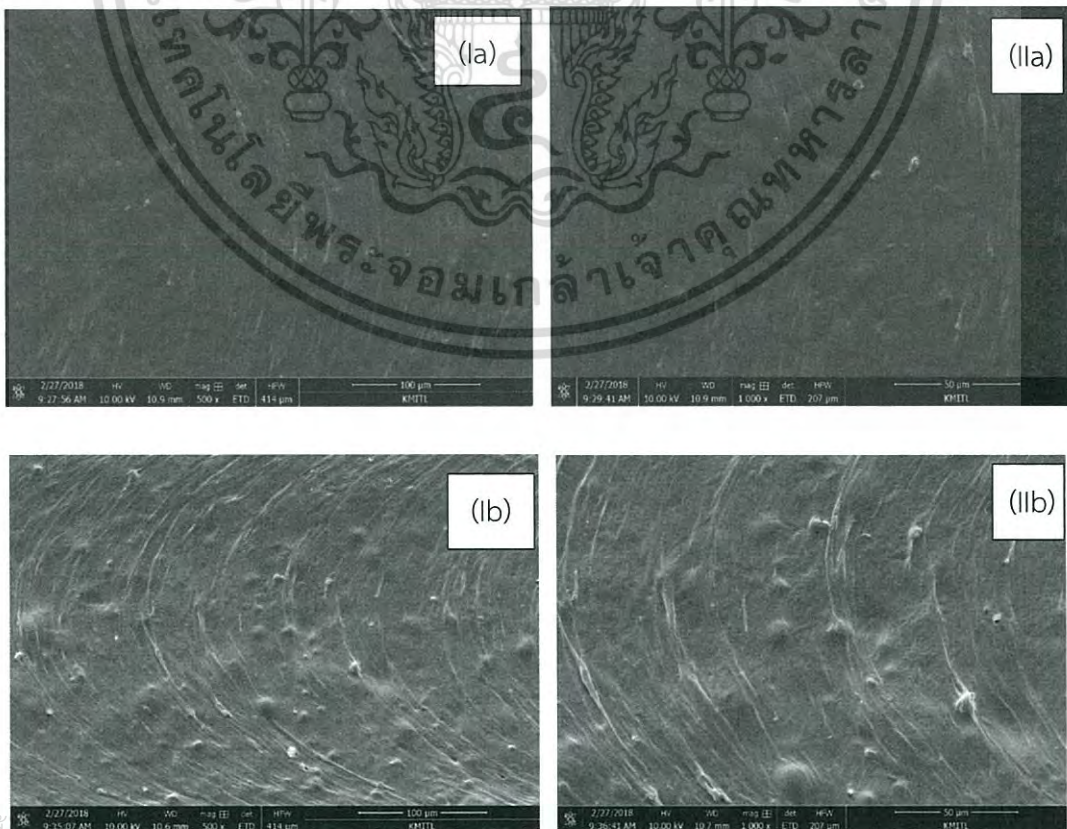
ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาของของสารตัวอย่างในระดับจุลภาค ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning electron microscope) โดยทำการศึกษบริเวณพื้นผิว (Surface) แสดงผลการศึกษาในรูปที่ 4.27- 4.31

สัณฐานวิทยาของแผ่นยางธรรมชาติ

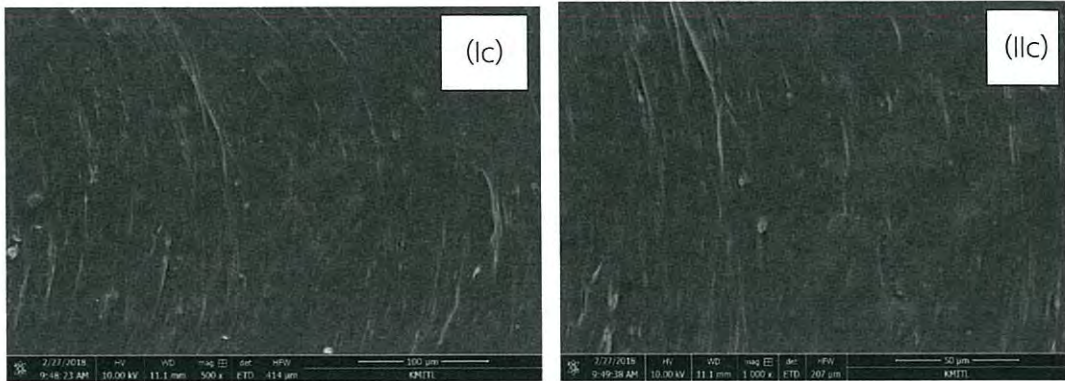


รูปที่ 4.27 แสดงภาพจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของแผ่นยางธรรมชาติกำลังขยาย 5000x เท่า

สัณฐานวิทยาของแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 3 5 และ 10 โดยน้ำหนัก



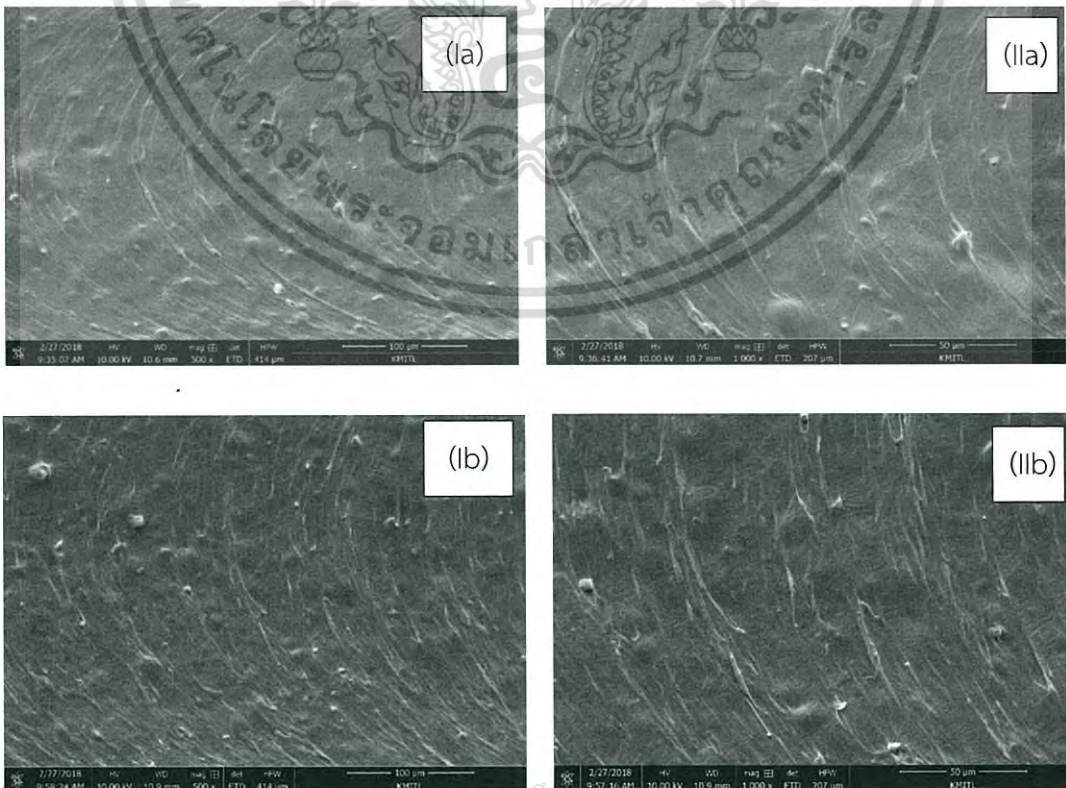
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



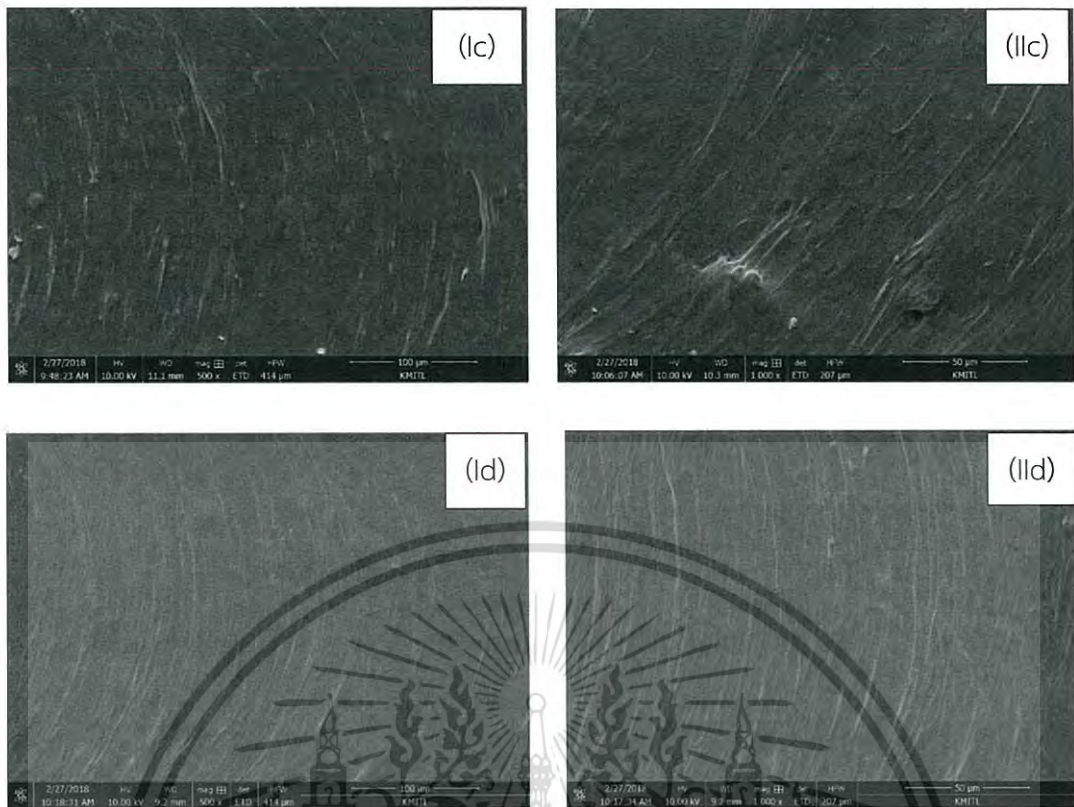
รูปที่ 4.28 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ที่กำลังขยาย (I) 500X เท่า (II) 1000X เท่า ของแผ่นยางธรรมชาติผสม (a) NR+S_3wt% (b) NR+S_5wt.% (c) NR+S_10wt.

จากผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่บริเวณภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติในรูปที่ 4.27 พบว่าภาพตัดขวางมีลักษณะเรียบ แต่เมื่อเติมซิลเฟอร์ร้อยละ 3 5 และ 10 โดยน้ำหนัก ในรูปที่ 4.28 ลงในแผ่นยางธรรมชาติ เมื่อปริมาณซิลเฟอร์เพิ่มขึ้น ลักษณะสัณฐานวิทยาบริเวณภาพตัดขวางมีลักษณะเป็นรอยย่นและขรุขระมากขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวของซิลเฟอร์ที่ดีตามปริมาณของการเติมลงไป

สัณฐานวิทยาของแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่ไม่ผ่านการอบอ่อนและผลกระทบของการอบอ่อน (Annealing) ที่อุณหภูมิ 90 100 และ 110 องศาเซลเซียสของแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก



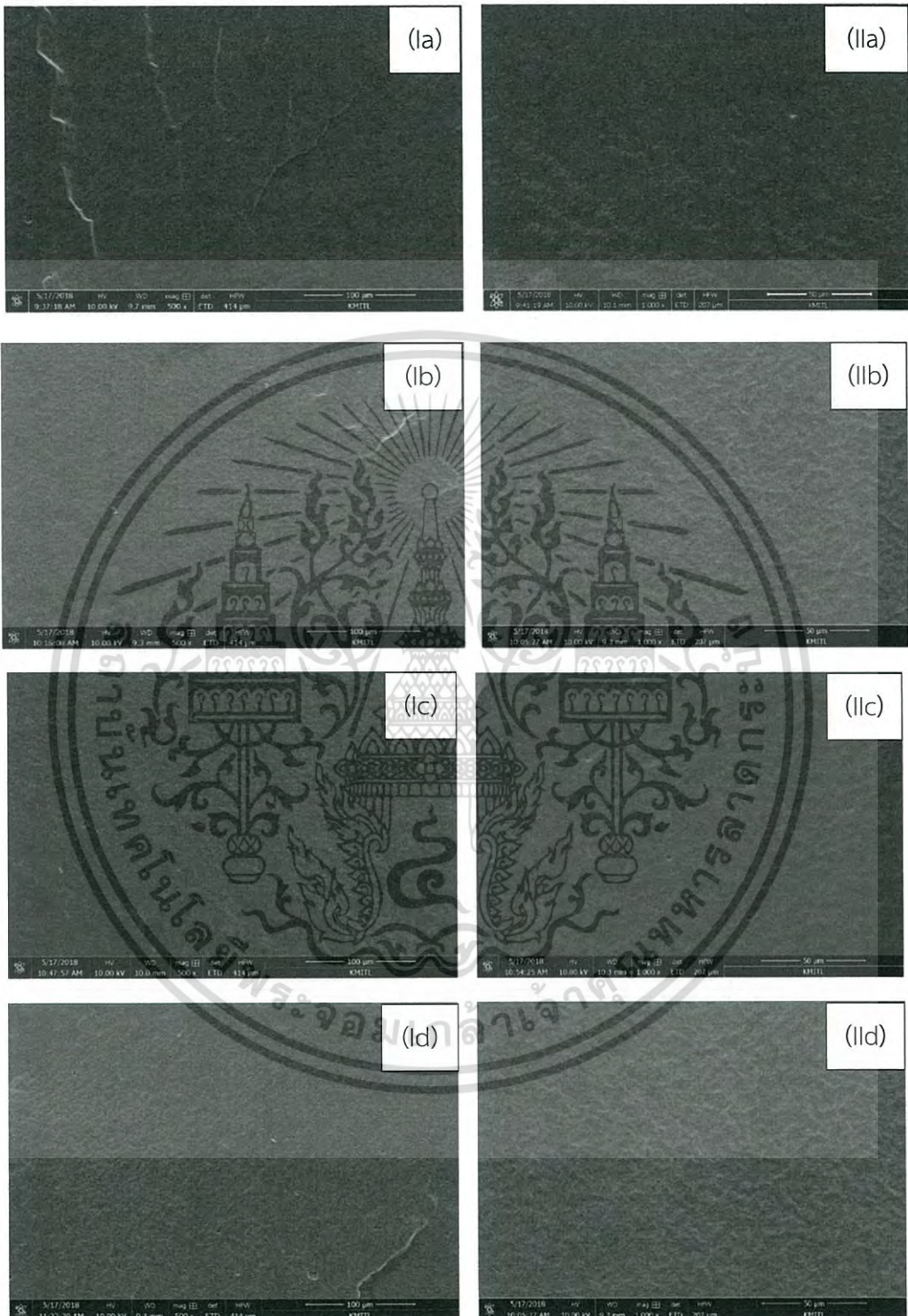
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ที่กำลังขยาย (I) 500X เท่า (II) 1000X เท่า ของแผ่นยางธรรมชาติผสม (a) NR+S_5wt.% และแผ่นยางธรรมชาติผสมที่ผ่านการอบอ่อน (b) NR+S_5wt%+T90 (c) NR+S_5wt.%+T100 (d) NR+S_10wt.%+T110

จากผลการศึกษาภาพตัดขวางแผ่นยางธรรมชาติที่เติมซัลเฟอร์ในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อผ่านการอบอ่อน จากรูป 4.29 (b-d) พบว่าบริเวณภาพตัดขวางของแผ่นยางธรรมชาติผสมเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยที่อุณหภูมิ 90°C นั่นคือ พื้นผิวมีลักษณะเป็นร่องบุ่มลึกลงไปในพื้นที่ผิวมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระชัดเจน ไม่แตกต่างจากแผ่นยางธรรมชาติผสมเติมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักที่ไม่ผ่านการอบอ่อน จากรูป 4.29 (a) แต่อย่างไรก็ตามสำหรับตัวอย่างการอบที่อุณหภูมิ 100 และ 110 องศาเซลเซียส ลักษณะของแผ่นยางธรรมชาติผสมเกิดการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างมากกว่า คือพบลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบมากกว่า โดยเฉพาะที่ 110°C จะเห็นว่าแผ่นยางธรรมชาติผสมมีพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบมาก ไม่เห็นส่วนที่ขรุขระของซัลเฟอร์ ดังนั้นจึงเลือกที่ 100°C ซึ่งจะเห็นว่าบริเวณพื้นผิวมีการกระจายตัวของซัลเฟอร์ที่สม่ำเสมอ

สัณฐานวิทยาของแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (0.28 wt.%) และซิลเฟอร์ที่ปริมาณคงที่ (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก)/อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก

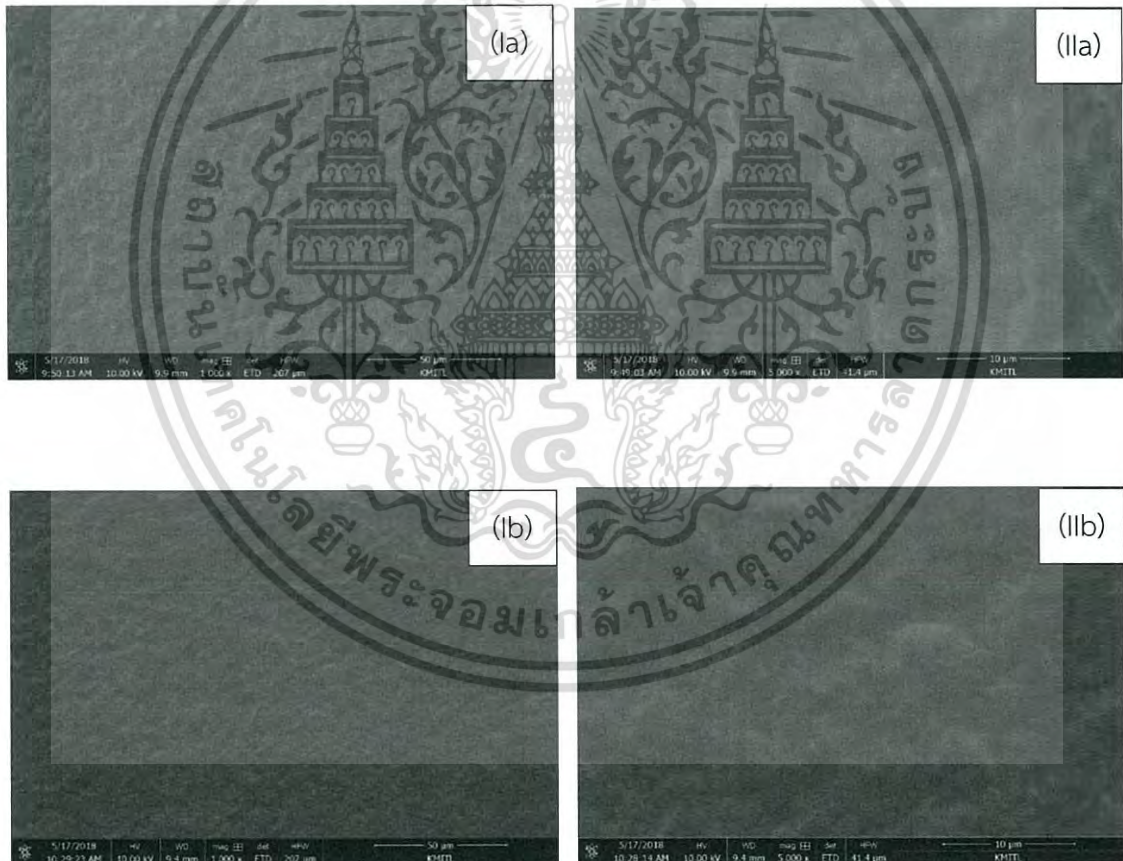


รูปที่ 4.30 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ที่กำลังขยาย (I) 500X เท่า (II) 1000X เท่า ของแผ่นยางธรรมชาติผสม (a) NR+rGO_0.28 wt.%, (b) NR+rGO_0.28 wt.% + AgNPs 0.05 wt.% , (c) NR+ rGO_0.28 wt.% + S_5 wt.% และ (d) NR+ rGO_0.28 wt.%+S_5wt.%+AgNPs_0.05 wt.%

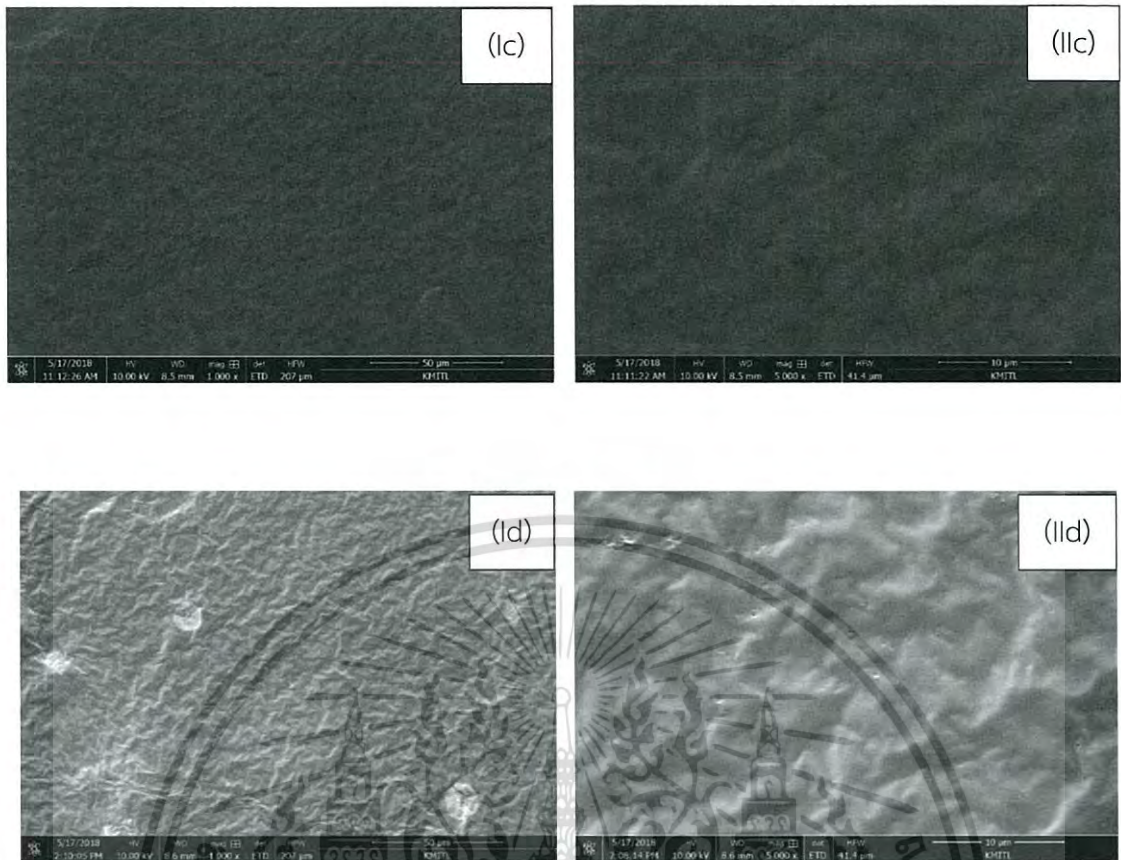
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา ที่บริเวณภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมในรูปที่ 4.30 (a-d) พบว่า ภาพตัดขวางมีลักษณะเป็นรอยย่นและขรุขระ โดยในรูปที่ (4.30 (a)) แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคซิลเวอร์นาโน (รูปที่ 4.30 (b)) แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และซิลเฟอร์ (รูปที่ 4.30 (c)) แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซิลเฟอร์และอนุภาคซิลเวอร์นาโน (รูปที่ 4.30 (d)) ตามลำดับ พบว่ารูปที่ 4.30 (b-d) แผ่นยางธรรมชาติผสม มีลักษณะรอยย่นและขรุขระมากกว่าแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (รูปที่ 4.30(a))

ผลกระทบของการอบอ่อน (Annealing) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ต่อสัณฐานวิทยาของแผ่นยางธรรมชาติผสมระหว่างน้ำยางธรรมชาติเข้มข้น/รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (0.28 wt.%) และซิลเฟอร์ที่ปริมาณคงที่ (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) /อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ที่กำลังขยาย (I) 1000X เท่า (II) 5000X เท่า ของแผ่นยางธรรมชาติผสมที่ผ่านการอบอ่อน (a) NR+rGO_0.28 wt.% + T100, (b) NR+rGO_0.28 wt.% + AgNPs_0.05 wt.% + T100 (c) NR+ rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+T100 และ (d) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5wt.%+AgNPs_0.05 wt.%

จากผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่บริเวณภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมในรูปที่ 4.31 (a-d) พบว่าภาพตัดขวางมีลักษณะเป็นรอยย่นและขรุขระมากกว่าแผ่นยางธรรมชาติผสมในรูป 4.30 (a-d) เนื่องจากการให้อุณหภูมิในการอบอ่อนทำให้เกิดการกระจายตัวของสารตัวเติมกระจายตัวได้ดีในแผ่นยางธรรมชาติผสม

4.3.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวและภาพตัดขวาง (Cross section)

ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของของสารตัวอย่างในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) โดยทำการศึกษาบริเวณพื้นผิว (Surface) และภาพตัดขวาง (Cross section) แผ่นยางธรรมชาติผสม 2 ชนิดคือ

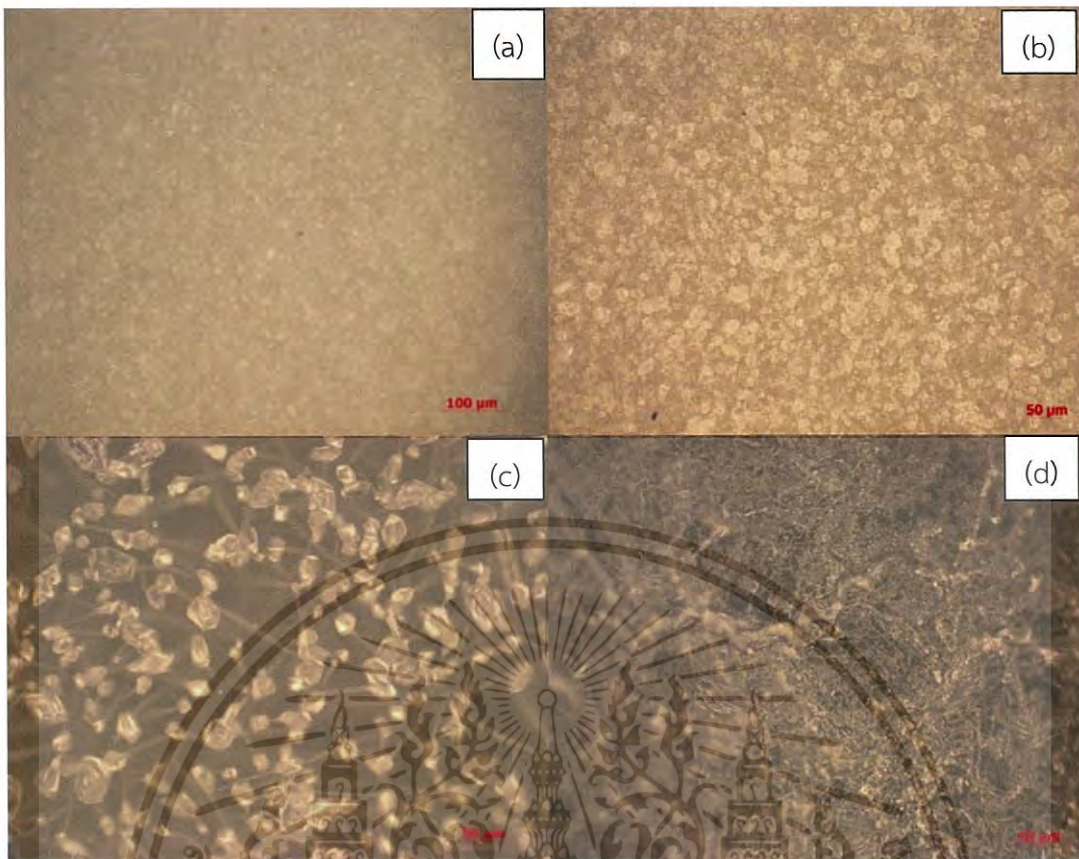
- แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ ร้อยละ 3 5 และ 10 โดยน้ำหนัก
- แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 90 °C 100 °C และ 110 °C ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.32 แสดงลักษณะพื้นผิวของยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่างๆ ในรูปแบบสองมิติ (a) NR+S_3wt.% (b) NR+S_5wt.% และ (c) NR+S_10wt.% กำลังขยาย 250X เท่า

จากรูปที่ 4.32 เมื่อเปรียบเทียบภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscopes) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ พบว่า มีซัลเฟอร์ลักษณะเป็นเม็ดทรงกลม กระจายอยู่ทั่วทั้งแผ่นยางธรรมชาติ เมื่อปริมาณซัลเฟอร์เพิ่มขึ้นจะมีความหนาแน่นในการกระจายตัวของอนุภาคซัลเฟอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากภาพ (a) ยังมีแสงทะลุผ่านมาได้มาก แตกต่างจากภาพ (b) และ (c) จะมีความทึบแสงที่มากกว่า ซึ่งมาจากการที่มีปริมาณซัลเฟอร์ที่เพิ่มขึ้น ส่วนในภาพ (c) ขนาดของอนุภาคซัลเฟอร์จะมีขนาดใหญ่กว่าภาพ (a) และ ภาพ (b) เนื่องจากการเติมซัลเฟอร์ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ซัลเฟอร์เริ่มจับตัวกันเองทำให้มีความสม่ำเสมอในการกระจายตัวของซัลเฟอร์ลดลง

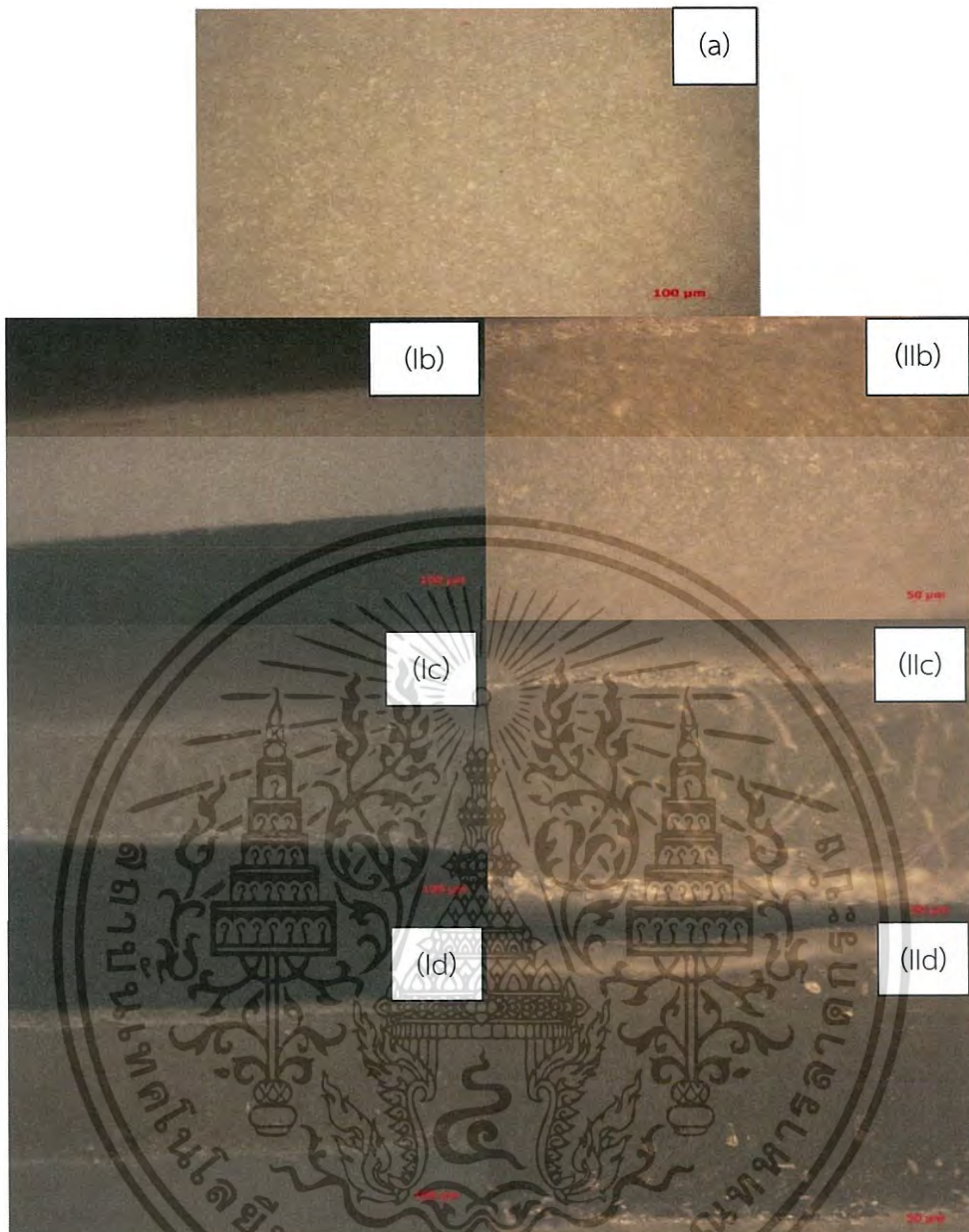
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33 แสดงลักษณะพื้นผิวของยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 5 wt.% ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ในรูปแบบสองมิติ (a) NR+ S_5wt.% (b) NR+ S_5wt.% + T90 (c) NR+ S_5wt.% + 100 และ (d) NR+S_10wt.%+T110 ที่กำลังขยาย 250X เท่า

จากรูปที่ 4.33 แสดงลักษณะพื้นผิวของแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ภาพ (a) แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักจะเห็นการกระจายตัวของซัลเฟอร์ซึ่งเป็น rhombic sulphur จะมีลักษณะเป็นก้อนเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วในแผ่นยางธรรมชาติ ภาพ (b) แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 90 °C ซัลเฟอร์เริ่มมีความเป็นผลึกมากขึ้นจึงทำให้ภาพสว่างมากขึ้นและยังคงมีลักษณะเป็น rhombic sulphur กระจายอยู่ทั่วในแผ่นยางธรรมชาติ ภาพ (c) แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C ซัลเฟอร์เริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเป็น monoclinic sulphur มีลักษณะเริ่มเป็นเส้นๆมากขึ้นและเป็นผลึกโปร่งใส กระจายอยู่ทั่วในแผ่นยางธรรมชาติและเนื่องจากให้อุณหภูมิที่สูงขึ้นอาจทำให้ซัลเฟอร์เกิดพริ้วคาลาไนซ์ทำให้เกิดการ crosslink กันระหว่างสายโซ่ของแผ่นยางธรรมชาติบางส่วน ภาพ (d) แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 110 °C ซัลเฟอร์เป็น Stastic sulphur หรือมีลักษณะเป็นอสัณฐาน เนื่องจากซัลเฟอร์เกิดการหลอมมีลักษณะเหมือนของแข็งคล้ายแก้วและอาจมีผลจากอิทธิพลของการละลาย (like dissolves like) ทำให้ซัลเฟอร์ไม่สามารถละลายในยางได้จึงเคลื่อนที่ไปอยู่ที่บริเวณพื้นผิวของแผ่นยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 แสดงลักษณะพื้นผิว (Surface) ของภาพ (a) NR+S_5wt.% และแสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของภาพ (b) NR+S_5wt.%+T90 (Ib) ที่กำลังขยาย 100X เท่า (IIb) ที่กำลังขยาย 250X เท่า (c) NR+S_5wt.%+T100 (Ic) ที่กำลังขยาย 100X เท่า (IIc) ที่กำลังขยาย 250X เท่า และ (d) NR+S_5wt.%+T110 (Id) ที่กำลังขยาย 100X เท่า (IIId) ที่กำลังขยาย 250X เท่า

จากรูปที่ 4.34 แสดงลักษณะพื้นผิว(Surface) และภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอริในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) และอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า ภาพ (a) แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอริในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ซิลเฟอริมีขนาดเล็กและกระจายตัวอยู่ในแผ่นยางธรรมชาติอย่างสม่ำเสมอแต่ภาพ (a) จะมีดีกว่าภาพ (Ib) เนื่องจากภาพ (a) มีความเป็นผลึกน้อยกว่า ภาพ (Ib) แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอริในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 90 °C ซิลเฟอริมีลักษณะเป็นก้อนเล็ก ๆ กระจายอยู่ในแผ่นยางธรรมชาติ ภาพ (Ic) แผ่นยางธรรมชาติผสม

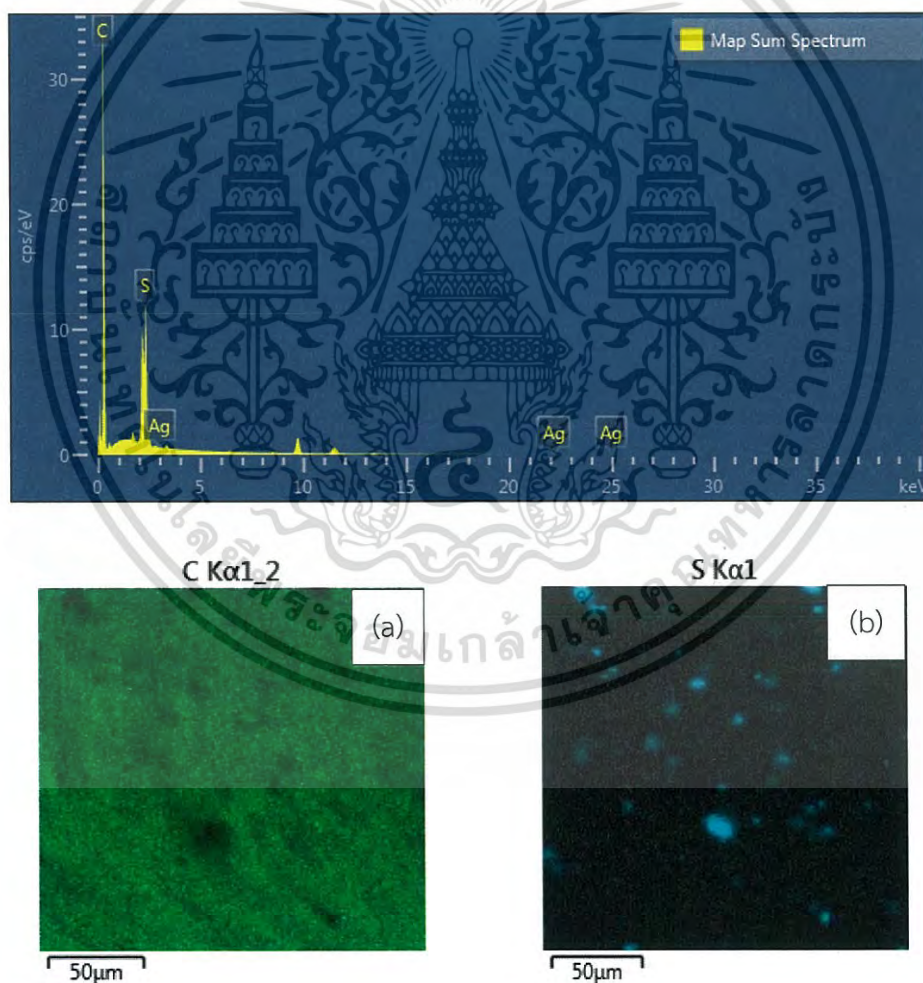
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซัลเฟอร์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C ซัลเฟอร์มีลักษณะเป็นเส้น ๆ เนื่องจากซัลเฟอร์เกิดการเปลี่ยนเฟสจากorthorombic เป็นmonoclinic ภาพ (Id) แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 110 °C ผลึกของซัลเฟอร์ที่เป็นmonoclinic หลอมละลายเป็นอสัณฐานลักษณะเหมือนของแข็งคล้ายแก้วทำให้ไม่สามารถละลายในยางจึงเกิดการแยกชั้นบริเวณผิวของแผ่นยางธรรมชาติ

4.3.6 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ

เป็นการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบบนพื้นผิว โดยจะมุ่งเน้นไปที่ธาตุคาร์บอน (C) ซัลเฟอร์ (S) และซิลเวอร์ (Ag) โดยตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ

4.3.6.1 แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

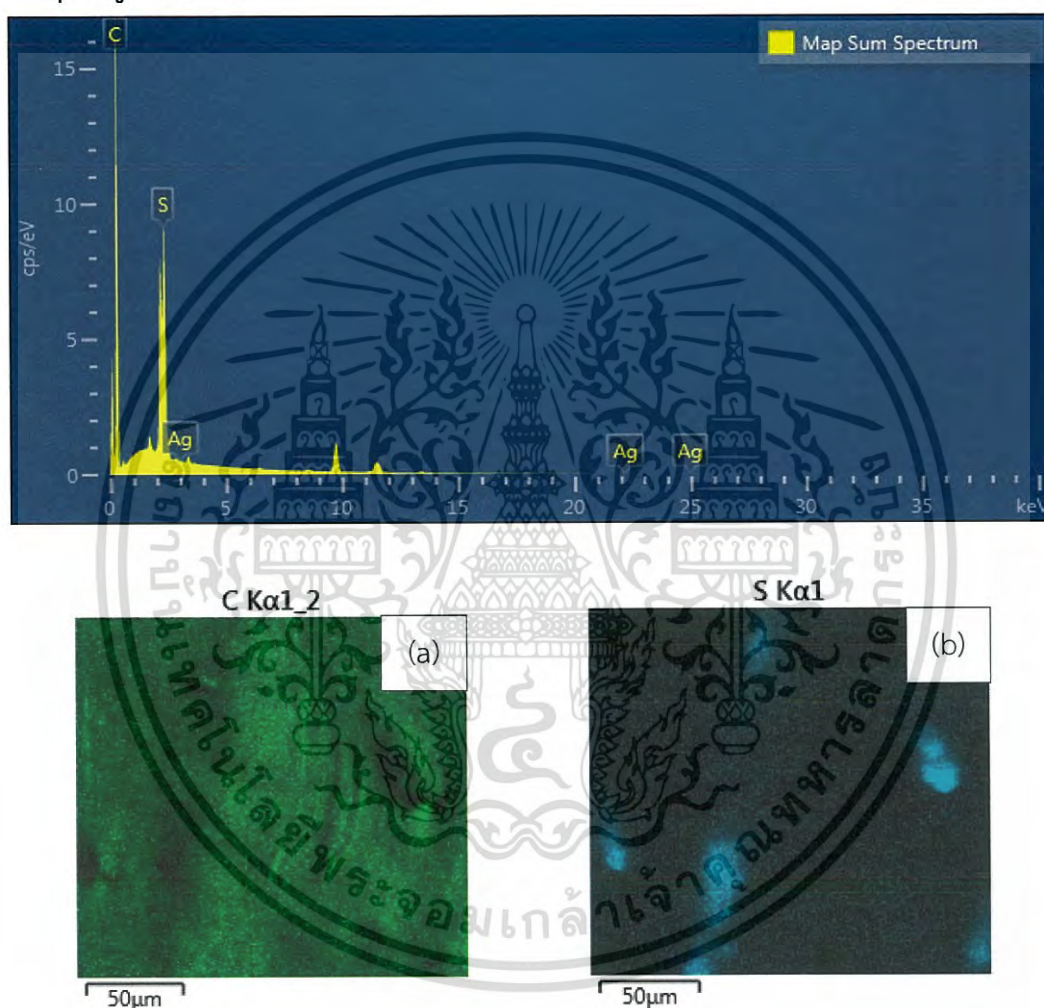


รูปที่ 4.35 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุใน NR+S_5wt.% และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุคาร์บอน (a) และธาตุซัลเฟอร์ (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.35 แสดงสเปกตรัมของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ตรวจวิเคราะห์พบธาตุบนผิวของตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดคือ คาร์บอน (C) และซัลเฟอร์ (S) โดยมีสัดส่วนน้ำหนักของทั้ง 2 ธาตุคือ คาร์บอนและซัลเฟอร์ ซึ่งมาจากคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติ ส่วนธาตุซัลเฟอร์มาจากการเติมซัลเฟอร์ลงไป และจากแผนที่ธาตุพบการกระจายตัวของธาตุคาร์บอน ดังภาพ (a) และการกระจายตัวของธาตุซัลเฟอร์ ดังภาพ (b)

4.3.6.2 แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่ อุณหภูมิ 100 °C

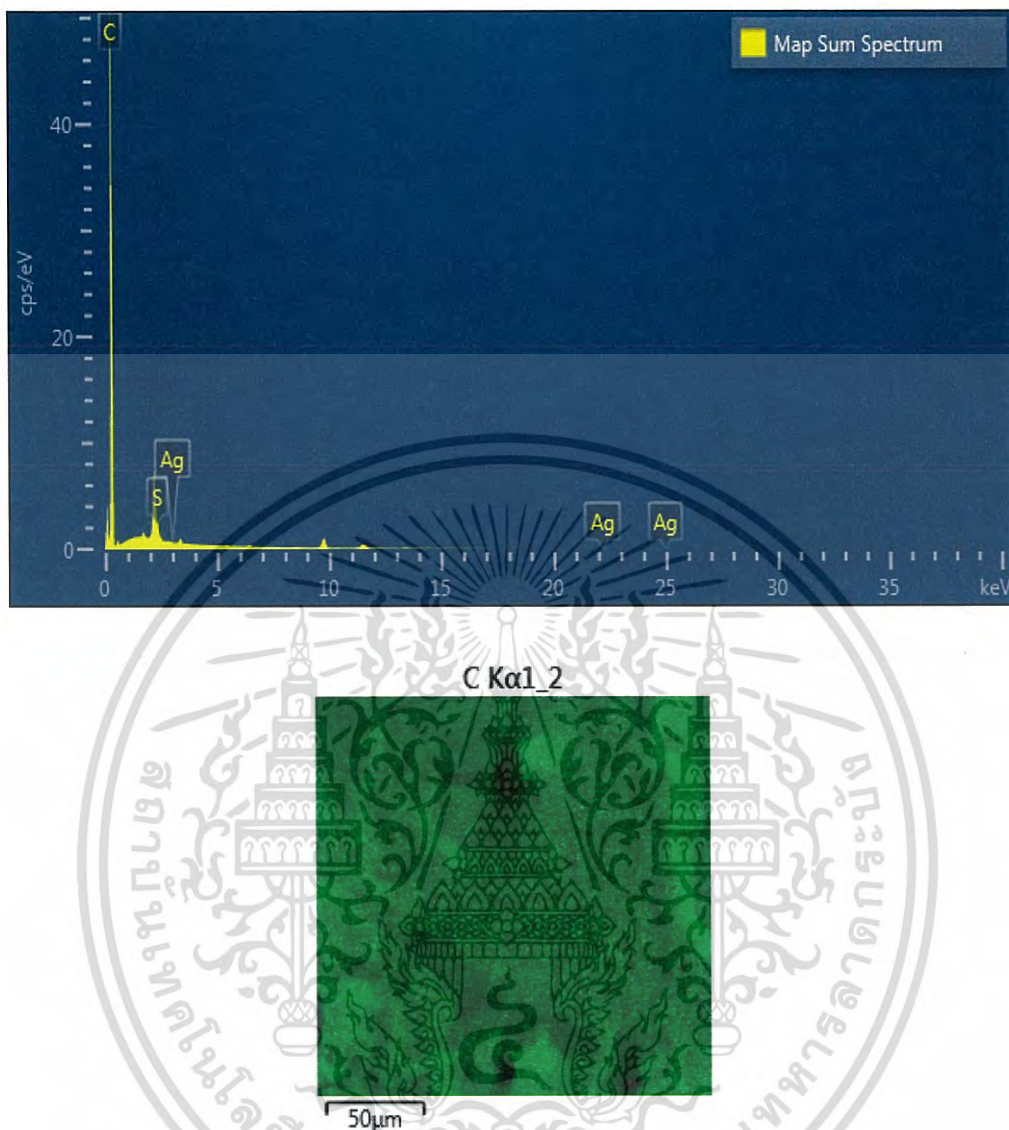


รูปที่ 4.36 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุใน NR+S_5 wt.%+T100 และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุคาร์บอน (a) และธาตุซัลเฟอร์ (b)

จากรูปที่ 4.36 แสดงสเปกตรัมของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C ตรวจวิเคราะห์พบธาตุบนผิวของตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดคือ คาร์บอน (C) และซัลเฟอร์ (S) โดยมีสัดส่วนน้ำหนักของทั้ง 2 ธาตุคือ คาร์บอน ซึ่งมาจากคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติ ส่วนธาตุซัลเฟอร์มาจากการเติมซัลเฟอร์ลงไปและจากแผนที่ธาตุพบการกระจายตัวของธาตุคาร์บอน ดังภาพ (a) และการกระจายตัวของธาตุซัลเฟอร์อย่างหนาแน่น ดังภาพ (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6.3 แผนผังธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ0.28 โดยน้ำหนัก

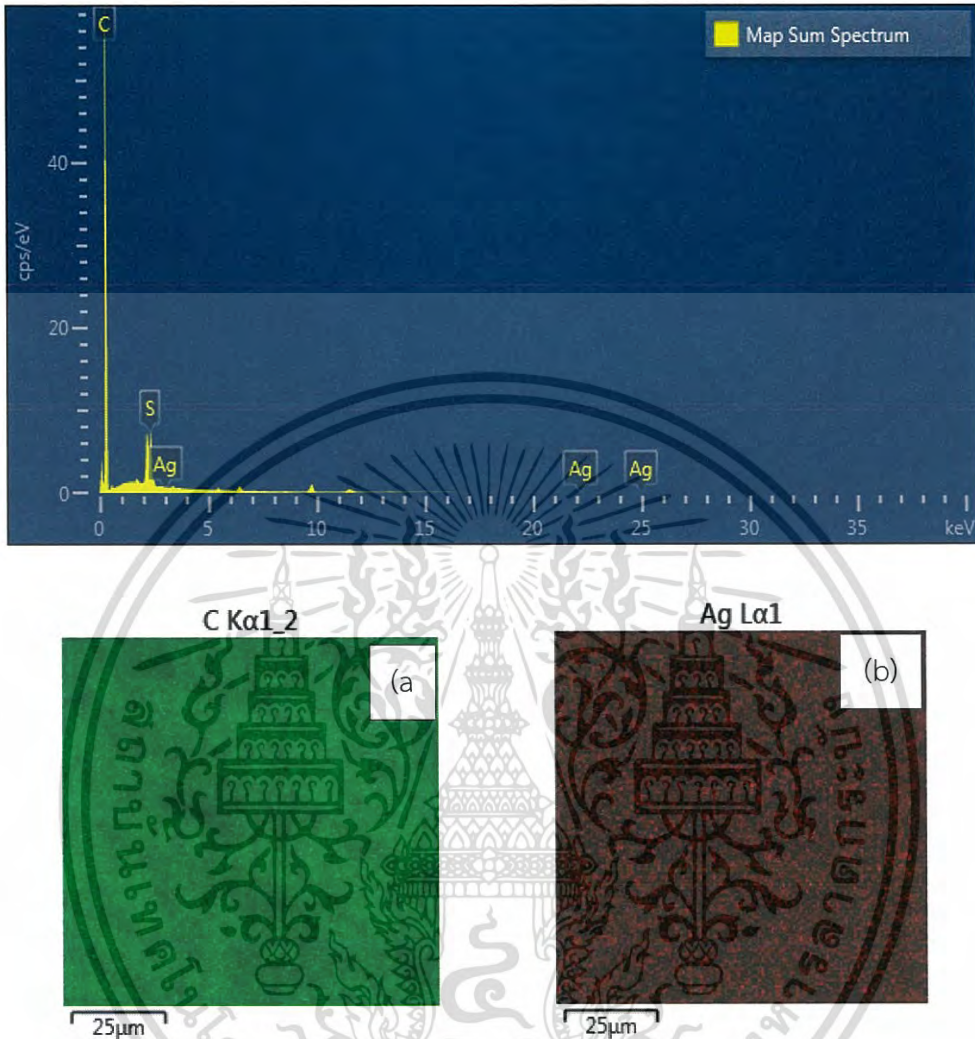


รูปที่4.37 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุในNR+rGO_0.28 wt.%และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุคาร์บอน

จากรูปที่ 4.37 แสดงสเปกตรัมของธาตุในแผนผังธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก (NR+rGO_0.28 wt.%) ตรวจวิเคราะห์พบธาตุบนผิวของตัวอย่างเพียงชนิดเดียวคือ คาร์บอน (C) ซึ่งมาจากคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และจากแผนที่ธาตุพบแค่การกระจายตัวของธาตุคาร์บอนอย่างหนาแน่นเมื่อเทียบกับแผนผังธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติมเป็นเพราะปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

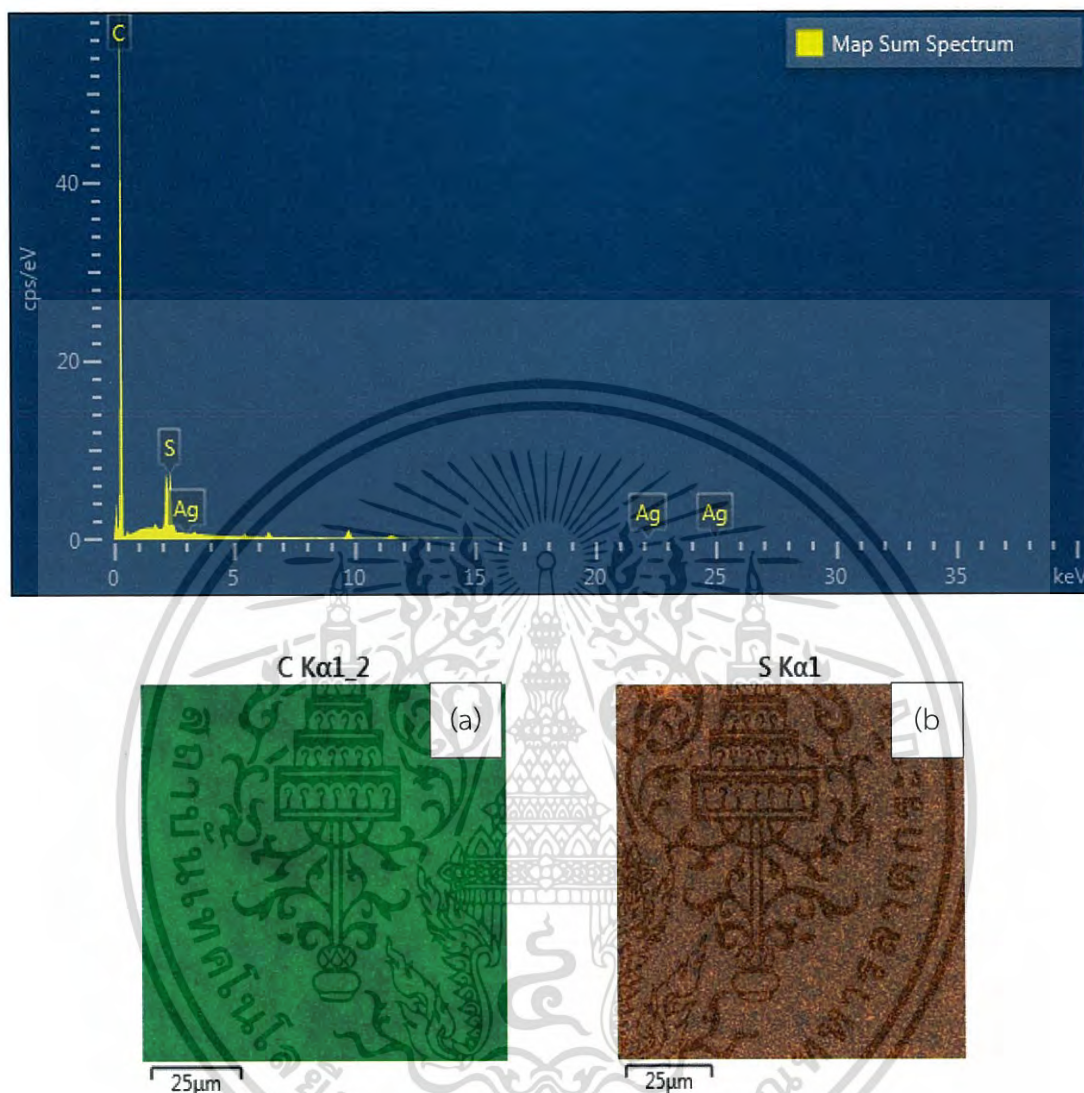
4.3.6.4 แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.38 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุใน NR+rGO_0.28 wt.%+AgNPs_0.05 wt.% และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุคาร์บอน (a) และธาตุซิลเวอร์ (b)

จากรูปที่ 4.38 แสดงสเปกตรัมของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักตรวจวิเคราะห์พบธาตุบนผิวของตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดคือ คาร์บอน (C) และซิลเวอร์ (Ag) โดยมีสัดส่วนน้ำหนักของทั้ง 2 ธาตุคือ คาร์บอน และซิลเวอร์ ธาตุคาร์บอนซึ่งมาจากคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ส่วนซิลเวอร์มาจากการเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนลงไปและจากแผนที่ธาตุพบการกระจายตัวของธาตุคาร์บอนอย่างหนาแน่น ดังภาพ (a) และการกระจายตัวของธาตุซิลเวอร์เพียงเล็กน้อย ดังภาพ (b)

4.3.6.5 แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก และซัลเฟอร์ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

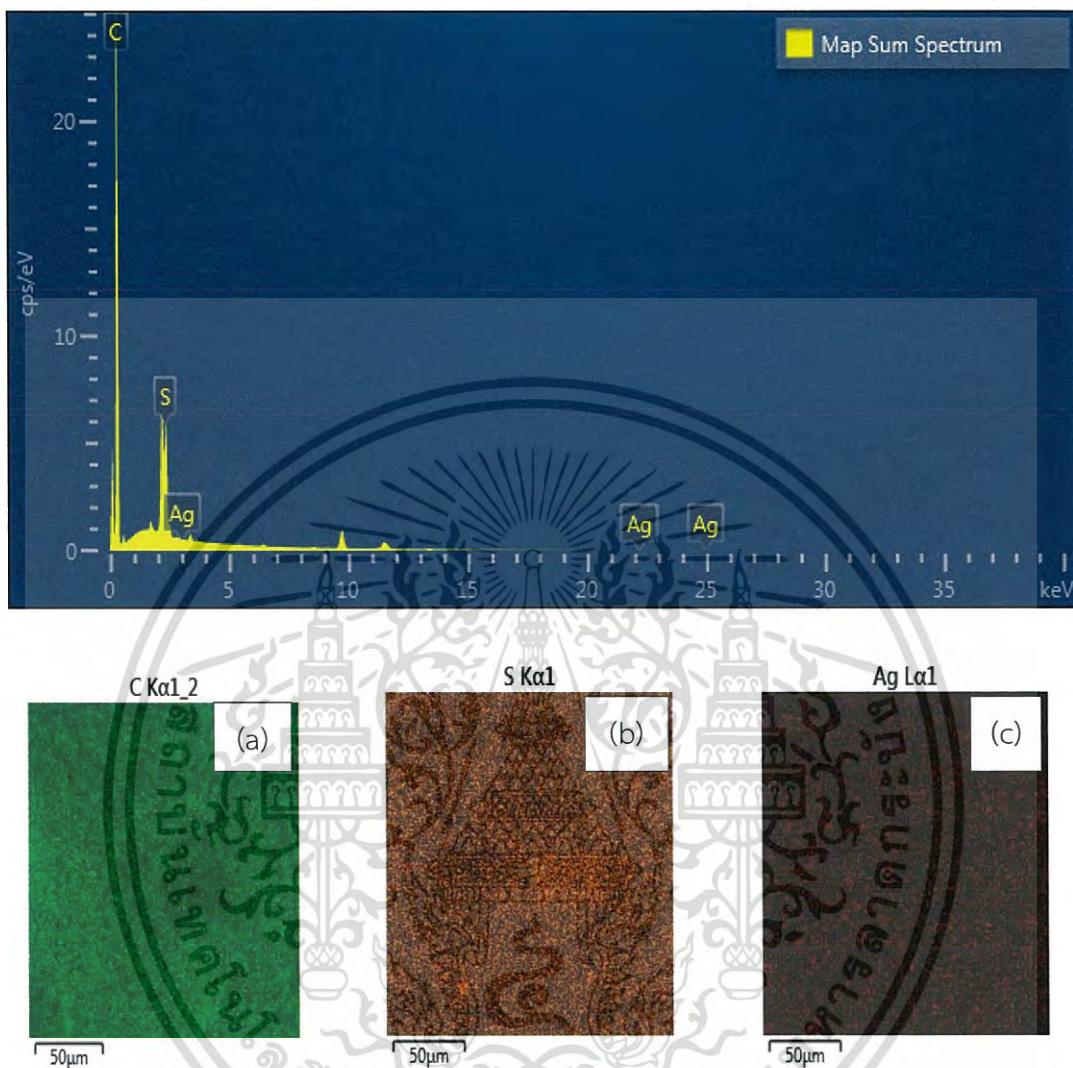


รูปที่ 4.39 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุใน NR+GO_0.28 wt.%+S_5 wt.% และแผนที่ ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุคาร์บอน (a) และธาตุซัลเฟอร์ (b)

จากรูปที่ 4.39 แสดงสเปกตรัมของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนักและอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ตรวจวิเคราะห์พบธาตุบนผิวของ ตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดคือ คาร์บอน (C) และซัลเฟอร์ (S) โดยมีสัดส่วนน้ำหนักของทั้ง 2 ธาตุคือ คาร์บอน และซัลเฟอร์ ซึ่งมาจากคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ส่วนธาตุ ซัลเฟอร์มาจากการเติมซัลเฟอร์ลงไปและจากแผนที่ธาตุพบการกระจายตัวของธาตุคาร์บอนอย่าง หนาแน่น ดังภาพ (a) และการกระจายตัวของธาตุซัลเฟอร์เพียงเล็กน้อย ดังภาพ (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6.6 แผนผังธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก ซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก

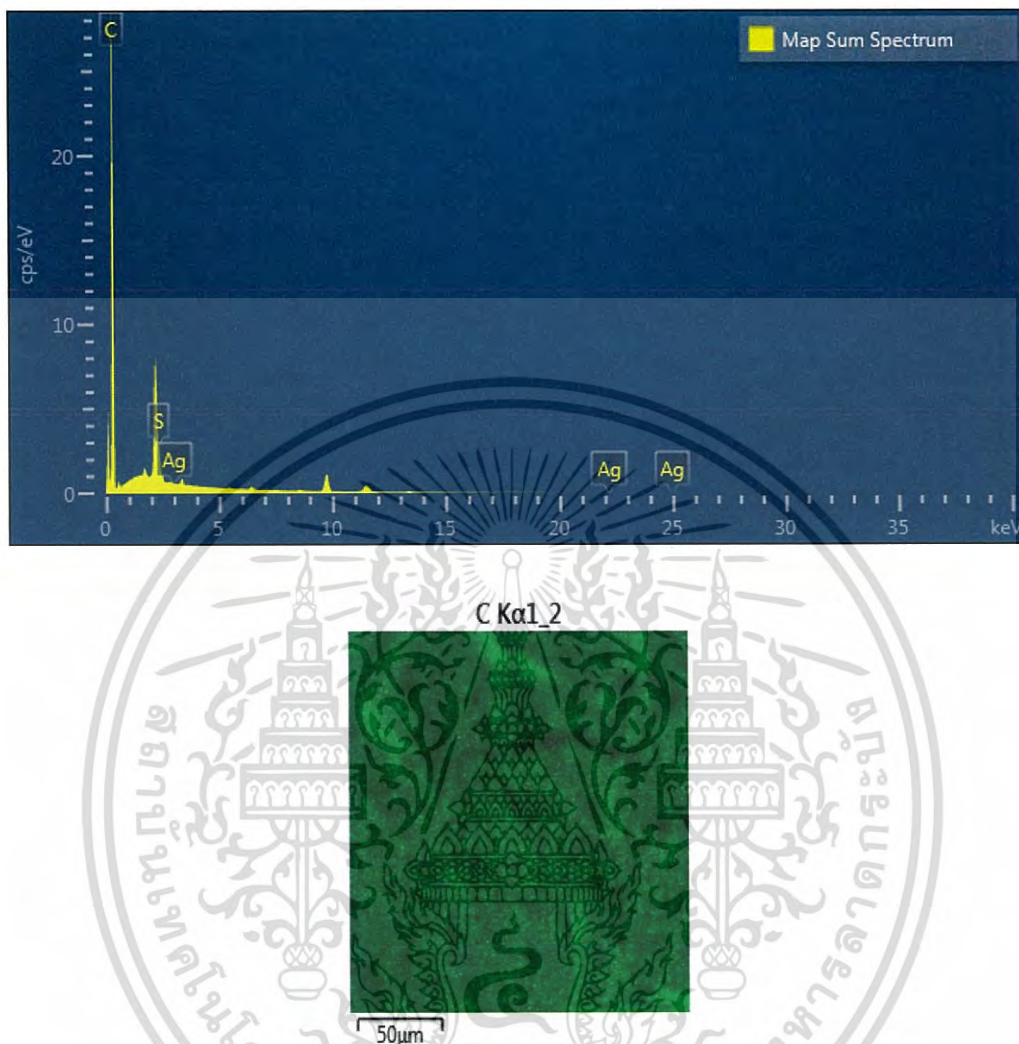


รูปที่ 4.40 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุ NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.% +AgNPs_0.05 wt.% และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของ (a) ธาตุคาร์บอน (b) ธาตุซัลเฟอร์ และ(c) ธาตุซิลเวอร์

จากรูปที่ 4.40 แสดงสเปกตรัมของธาตุในแผนผังธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก, ซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ตรวจวิเคราะห์พบธาตุบนผิวของตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดคือ คาร์บอน (C) ซัลเฟอร์ (S) และ ซิลเวอร์ (Ag) โดยมีสัดส่วนน้ำหนักของทั้ง 3 ธาตุคือ คาร์บอน ซัลเฟอร์ และ ซิลเวอร์ ซึ่งมาจากคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ส่วนธาตุซัลเฟอร์มาจากการเติมซัลเฟอร์ลงไปและจากแผนที่ธาตุพบการกระจายตัวของธาตุคาร์บอนอย่างหนาแน่น ดังภาพ (a) การกระจายตัวของธาตุซัลเฟอร์เพียงเล็กน้อย ดังภาพ (b) และการกระจายตัวของธาตุซิลเวอร์เพียงเล็กน้อย ดังภาพ (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6.7 แผนผังธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ0.28 โดยน้ำหนัก และ อบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C

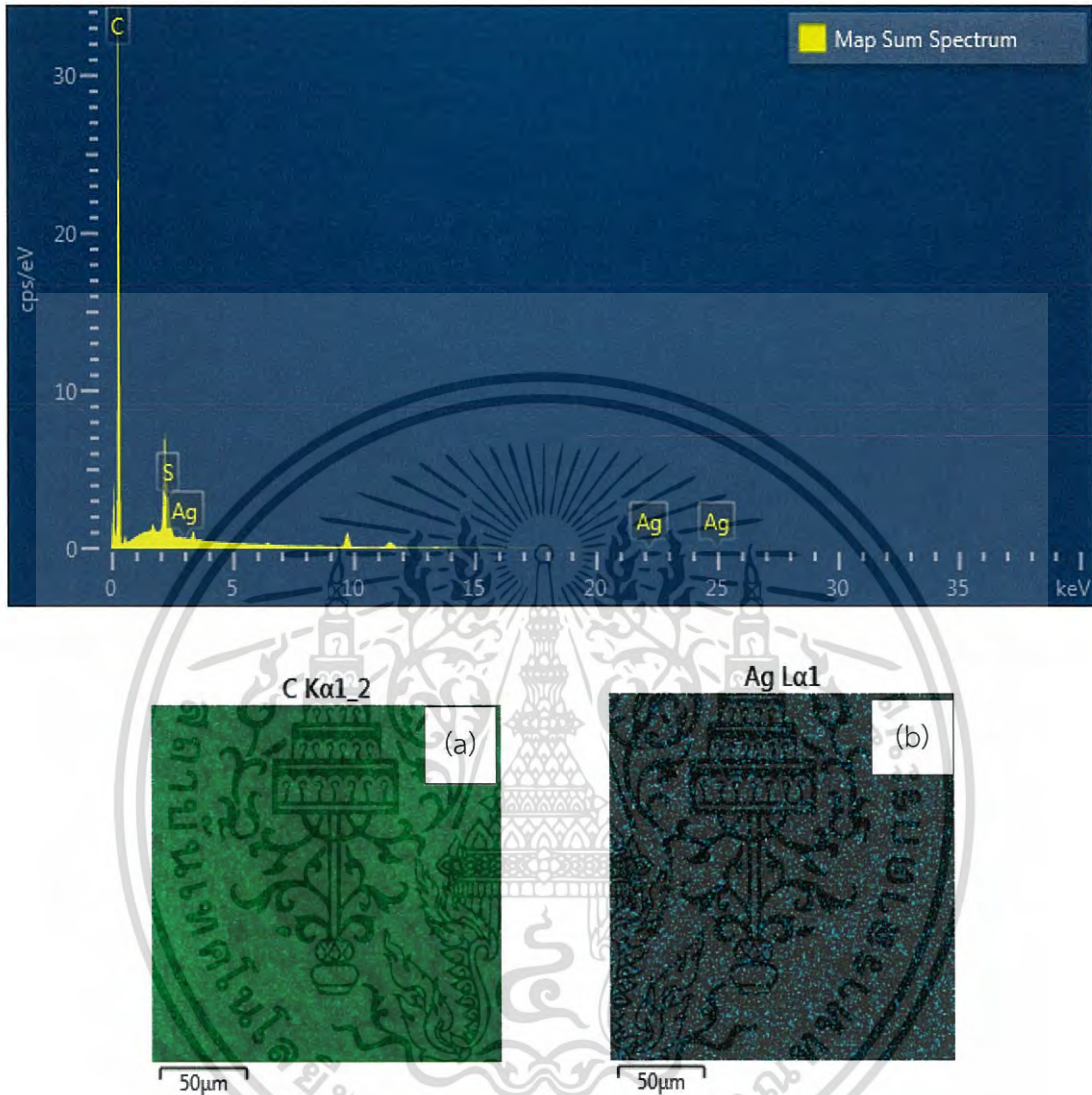


รูปที่ 4.41 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุ NR+rGO_0.28 wt.%+T100 และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของธาตุคาร์บอน

จากรูปที่ 4.41 แสดงสเปกตรัมของธาตุในแผนผังธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก (NR+rGO_0.28 wt.%) ตรวจวิเคราะห์พบธาตุบนผิวของตัวอย่างเพียงชนิดเดียวคือ คาร์บอน (C) ซึ่งมาจากคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และจากแผนที่ธาตุพบแต่การกระจายตัวของธาตุคาร์บอนอย่างหนาแน่นเมื่อเทียบกับแผนผังธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติมเป็นเพราะปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

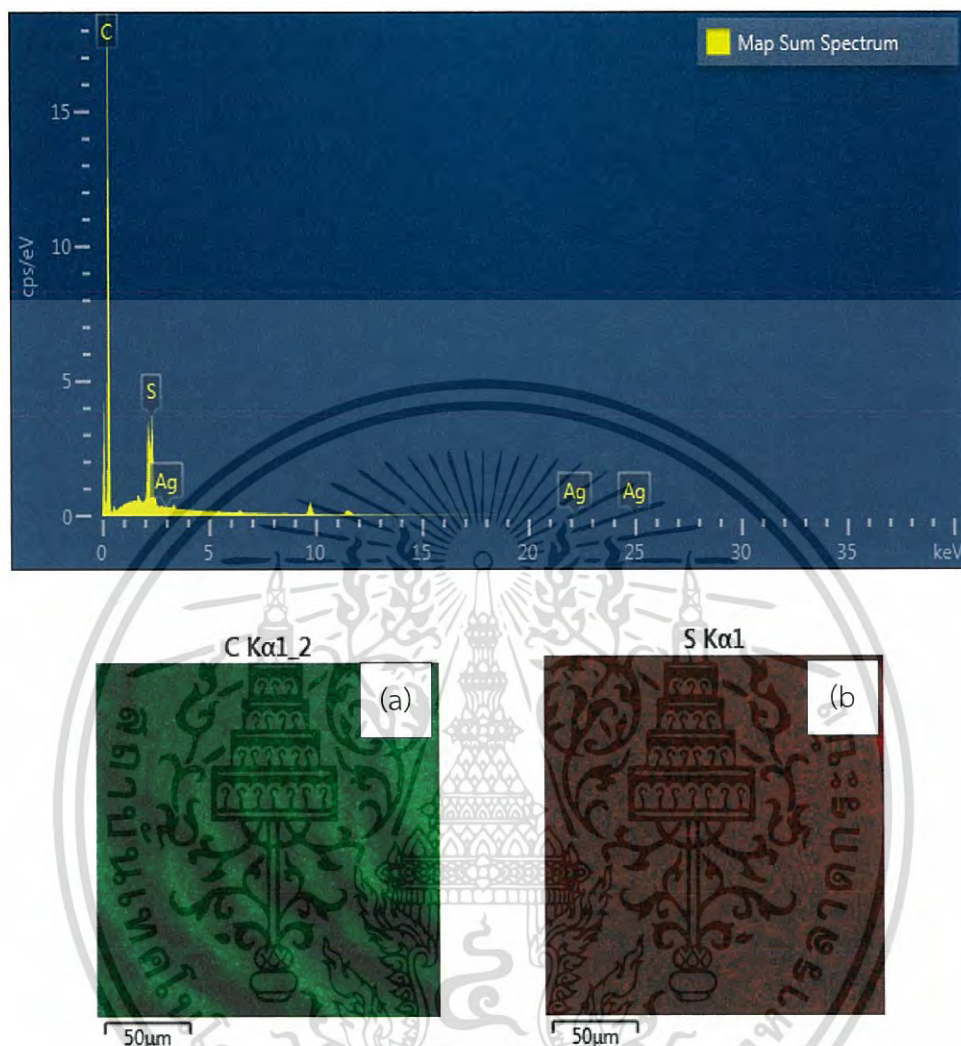
4.3.6.8 แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/
อนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C



รูปที่ 4.42 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุ NR+rGO_0.28 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100 และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของ (a) ธาตุคาร์บอน และ (b) ธาตุซิลเวอร์

จากรูปที่ 4.42 แสดงสเปกตรัมของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนักและอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักตรวจวิเคราะห์พบธาตุบนผิวของตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดคือ คาร์บอน (C) และซิลเวอร์ (Ag) โดยมีสัดส่วนน้ำหนักของทั้ง 2 ธาตุคือ คาร์บอน และซิลเวอร์เท่ากับซึ่งมาจากคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ส่วนซิลเวอร์มาจากการเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนลงไปและจากแผนที่ธาตุพบการกระจายตัวของธาตุคาร์บอนอย่างหนาแน่น ดังภาพ (a) และพบการกระจายตัวของธาตุซิลเวอร์เพียงเล็กน้อย ดังภาพ (b)

4.3.6.9 แผนยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/
ซิลเฟอร์ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C

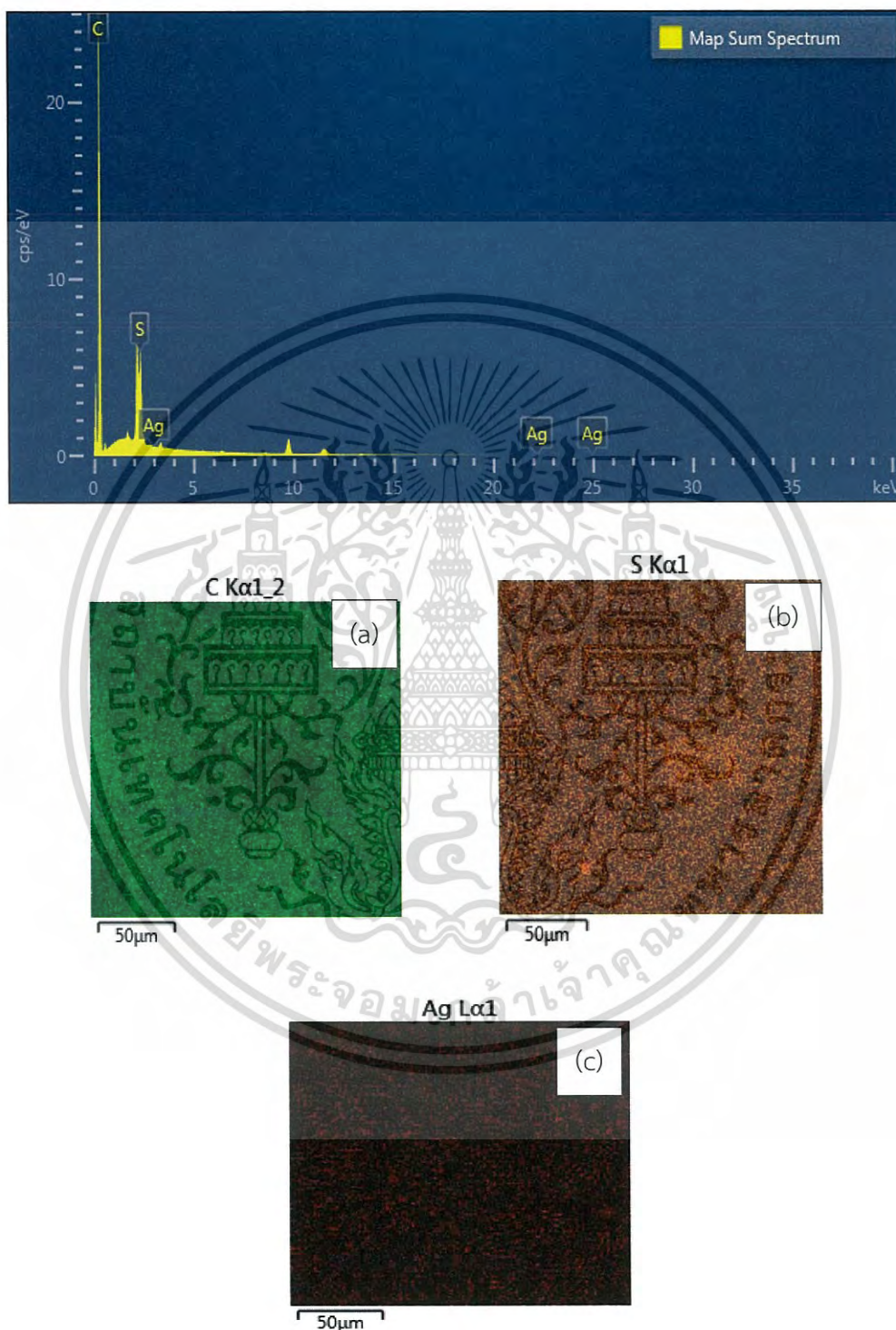


รูปที่ 4.43 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุ NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+T100 และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของ (a) ธาตุคาร์บอน (b) ธาตุซิลเฟอร์ และ (c) ธาตุซิลเวอร์

จากรูปที่ 4.43 แสดงสเปกตรัมของธาตุในแผนยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนักและซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C โดยน้ำหนักตรวจวิเคราะห์พบธาตุนับมีของตัวอย่างทั้ง 2 ชนิดคือ คาร์บอน (C) และซิลเฟอร์ (S) โดยมีสัดส่วนน้ำหนักของทั้ง 2 ธาตุคือ คาร์บอนและซิลเฟอร์ ซึ่งมาจากคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ส่วนธาตุซิลเฟอร์มาจากการเติมซิลเฟอร์ลงไปและจากแผนที่ธาตุพบการกระจายตัวของธาตุคาร์บอนอย่างหนาแน่น ดังภาพ (a) และการกระจายตัวของธาตุซิลเฟอร์เพียงเล็กน้อย ดังภาพ (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6.10 แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ ซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบ อ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C



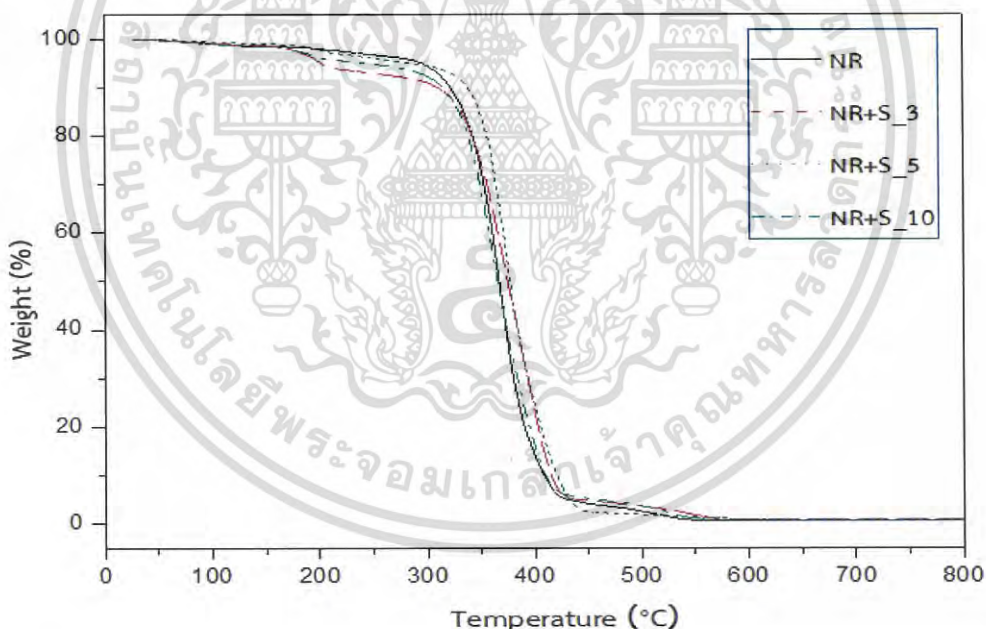
รูปที่ 4.44 แสดงสเปกตรัมและองค์ประกอบของธาตุ NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100 และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของ (a) ธาตุคาร์บอน (b) ธาตุซัลเฟอร์ และ (c) ธาตุซิลเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

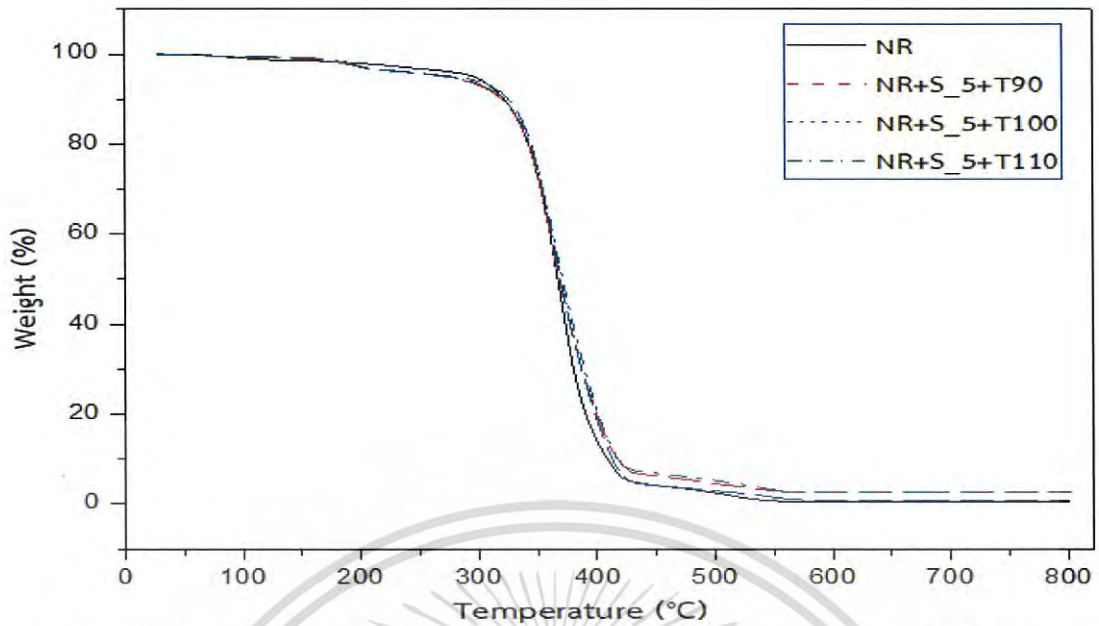
จากรูปที่ 4.44 แสดงสเปกตรัมของธาตุในแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก ซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C ตรวจวิเคราะห์พบธาตุบนผิวของตัวอย่างทั้ง 3 ชนิดคือ คาร์บอน (C) ซัลเฟอร์ (S) และซิลเวอร์ (Ag) โดยมีสัดส่วนน้ำหนักของทั้ง 3 ธาตุคือ คาร์บอน ซัลเฟอร์ และ ซิลเวอร์ ซึ่งมาจากคาร์บอนที่อยู่ในโครงสร้างของยางธรรมชาติและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ส่วนธาตุซัลเฟอร์มาจากการเติมซัลเฟอร์ลงไป และธาตุซิลเวอร์มาจากการเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนลงไป และจากแผนที่ธาตุพบการกระจายตัวของธาตุ คาร์บอนอย่างหนาแน่น ดังภาพ (a) การกระจายตัวของธาตุซัลเฟอร์เพียงเล็กน้อย ดังภาพ (b) และการกระจายตัวของธาตุซิลเวอร์เพียงเล็กน้อย ดังภาพ (c)

4.3.7 ผลการวิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA)

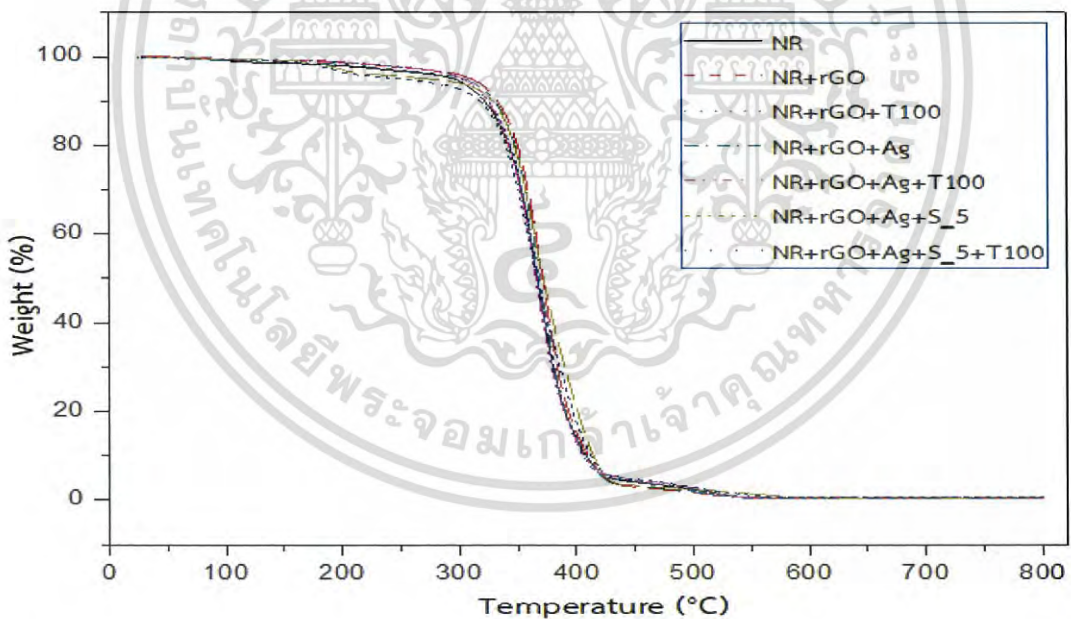
การศึกษาศสมบัติเชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis; TGA) เป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติของซัลเฟอร์ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และอนุภาคซิลเวอร์นาโน ที่สามารถเพิ่มความทนทานต่อการสลายตัวภายใต้ความร้อนได้มากขึ้นเพียงใด โดยใช้อุณหภูมิการวิเคราะห์อยู่ในช่วง 50°C ถึง 800°C ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ซึ่งผลการวิเคราะห์แผ่นยางธรรมชาติผสม ดังแสดงรูปที่ 4.45 - 4.47



รูปที่ 4.45 แสดงเทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ TGA จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นการสูญเสียน้ำหนักของแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม (a) NR Pure เปรียบเทียบกับแผ่นยางธรรมชาติผสม (b) NR+S_3wt% (c) NR+S_5wt.% และ (d) NR+S_10wt.%



รูปที่ 4.46 แสดงเทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ TGA จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นการสูญเสีย น้ำหนักของแผ่นยางธรรมชาติเปรียบเทียบกับแผ่นยางธรรมชาติผสม (a) NR (b) NR+S_5wt%+T90 (c) NR+S_5wt%+T100 และ (d) NR+S_10wt%+T110



รูปที่ 4.47 แสดงเทอร์โมแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ TGA จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นการสูญเสีย น้ำหนักของแผ่นยางธรรมชาติผสม (a) NR+rGO_0.28 wt.%, (b) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.% (c) NR+ rGO_0.28 wt.%+AgNPs_0.05 wt.% (d) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.% (e) NR+rGO_0.28 wt.% + S_5 wt.%+T100 (f) NR+rGO_0.28 wt.% +AgNPs_0.05 wt.%+T100 (g) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.45 - 4.47 และตารางที่ 4.2 พบว่าแผ่นยางธรรมชาติผสมลักษณะทางความร้อนที่ใกล้เคียงกัน โดยแผ่นยางธรรมชาติ (NR) มีอุณหภูมิเฉลี่ยการสลายตัวอยู่ที่ $337.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นช่วงเอกลักษณ์เฉพาะในการสลายตัวของไอโซพรีนที่เป็นโครงสร้างหลักของยางธรรมชาติ ขณะที่แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก (NR + S_3 wt.%) มีอุณหภูมิการสลายตัวเฉลี่ยเท่ากับ $338.70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ขณะที่แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (NR + S_5 wt.%) มีอุณหภูมิการสลายตัวเฉลี่ยเท่ากับ $349.71\text{ }^{\circ}\text{C}$ แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (NR + S_10 wt.%) มีอุณหภูมิการสลายตัวเฉลี่ยเท่ากับ $333.70\text{ }^{\circ}\text{C}$ แสดงให้เห็นช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวที่เพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าการเติมซัลเฟอร์ในปริมาณร้อยละ 3 และ 5 โดยน้ำหนักมีช่วงอุณหภูมิในการสลายตัวที่สูงกว่ายางธรรมชาติ ซึ่งพันธะของซัลเฟอร์จะไป crosslink กับพันธะสายโซ่โมเลกุลของกุก ทำให้พันธะสายโซ่ของยางแข็งแรงขึ้น จึงทำให้ยางมีเสถียรทางความร้อนที่ดีขึ้น แต่ถ้าเติมซัลเฟอร์ในปริมาณที่มากเกินไปอาจจะไปทำให้ซัลเฟอร์บางส่วนกระจายตัวมากเกินไปไม่จับหรือเกาะกลุ่มกันกับพันธะของยาง ทำให้ความแข็งแรงของพันธะสายโซ่ของยางลดลง เมื่อเทียบกับแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ กับแผ่นยางธรรมชาติพบว่า มีอุณหภูมิเฉลี่ยในการสลายตัวไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากความร้อนในการอบอ่อนที่ให้ไปอาจทำให้ซัลเฟอร์เคลื่อนที่ออกจากเมทริกซ์ของยาง จึงทำให้เสถียรภาพทางความร้อนของยางธรรมชาติผสมลดลง ขณะที่แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก (NR+rGO_0.28 wt.%) พบว่ามีช่วงอุณหภูมิเฉลี่ยการสลายตัวเพิ่มขึ้นอยู่ที่ $345.29\text{ }^{\circ}\text{C}$ เมื่อเทียบกับแผ่นยางธรรมชาติ แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนักและอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก (NR + rGO_0.28 wt.% + AgNPs_0.05 wt.%) มีอุณหภูมิเฉลี่ยการสลายตัวเท่ากับ $343.64\text{ }^{\circ}\text{C}$ แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนักผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและผสมซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก (NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+ AgNPs_0.05 wt.%) มีอุณหภูมิเฉลี่ยในการสลายตัวเท่ากับ $340.64\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นผลมาจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวช่วงแรกประมาณร้อยละ 40 ของโครงสร้าง อยู่ที่ $300\text{ }^{\circ}\text{C} - 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ จึงทำให้มีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงขึ้น ขณะที่อนุภาคซิลเวอร์นาโนมีส่วนช่วยในการรักษาเสถียรภาพทางความร้อนในพอลิเมอร์คอมโพสิต เนื่องจากซิลเวอร์มีจุดหลอมเหลวอยู่ที่อุณหภูมิ $960\text{ }^{\circ}\text{C}$ แต่อย่างไรก็ตามอนุภาคซิลเวอร์นาโนจะไปทำลายพันธะสายโซ่ของยางจึงทำให้เสถียรภาพทางความร้อนลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ขณะที่แผ่นยางธรรมชาติผสมที่ผ่านการอบอ่อน ซึ่งผลที่ได้ก็เป็นไปตามทำนองเดียวกันกับแผ่นยางธรรมชาติผสมที่ไม่ผ่านการอบอ่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยการสลายตัวของแผ่นยางธรรมชาติผสม

รูปแบบของแผ่นยางผสม	อุณหภูมิเฉลี่ยการสลายตัวของแผ่นยางธรรมชาติผสม (°C)
NR	337.25
NR+S_3 wt.%	338.70
NR+S_5 wt.%	349.71
NR+S_10 wt.%	333.70
NR+S_5 wt.%+T90	336.00
NR+S_5 wt.%+T100	338.20
NR+S_5 wt.%+T110	335.97
NR + rGO_0.28 wt.%	345.29
NR+rGO_0.28 wt.% +Ag_0.05 wt.%	343.64
NR+rGO_0.28 wt.% +S_5 wt.% +AgNPs_0.05 wt.%	340.64
NR+rGO_0.28 wt.%+T100	339.71
NR+rGO_0.28 wt.% +AgNPs_0.05 wt.%+T100	337.63
NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.% +AgNPs_0.05 wt.%+T100	338.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.8 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล

ศึกษาสมบัติเชิงกล (Tensile testing) โดยทดสอบความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซัลเฟอร์ อนุภาคซิลเวอร์นาโน และผลการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการทดสอบสมบัติทางเชิงกลแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติมและแผ่นยางธรรมชาติผสมกับซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ

ตัวอย่างชิ้นงาน	ซัลเฟอร์ (wt.%)	Stress at Maximum Load (MPa)	Stiffness (N/mm)	Young's Modulus (MPa)	Load at Break (N)
NR	0	1.04	0.19	0.98	10.24
NR+S_3wt.%	3	1.76	0.31	1.68	13.90
NR+S_5wt.%	5	2.37	0.40	2.31	22.01
NR+S_7wt.%	7	2.11	0.36	2.04	18.54
NR+S_10wt.%	10	1.56	0.32	1.49	15.37

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการทดสอบสมบัติทางเชิงกลแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติมและแผ่นยางธรรมชาติผสมกับซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่าง ๆ

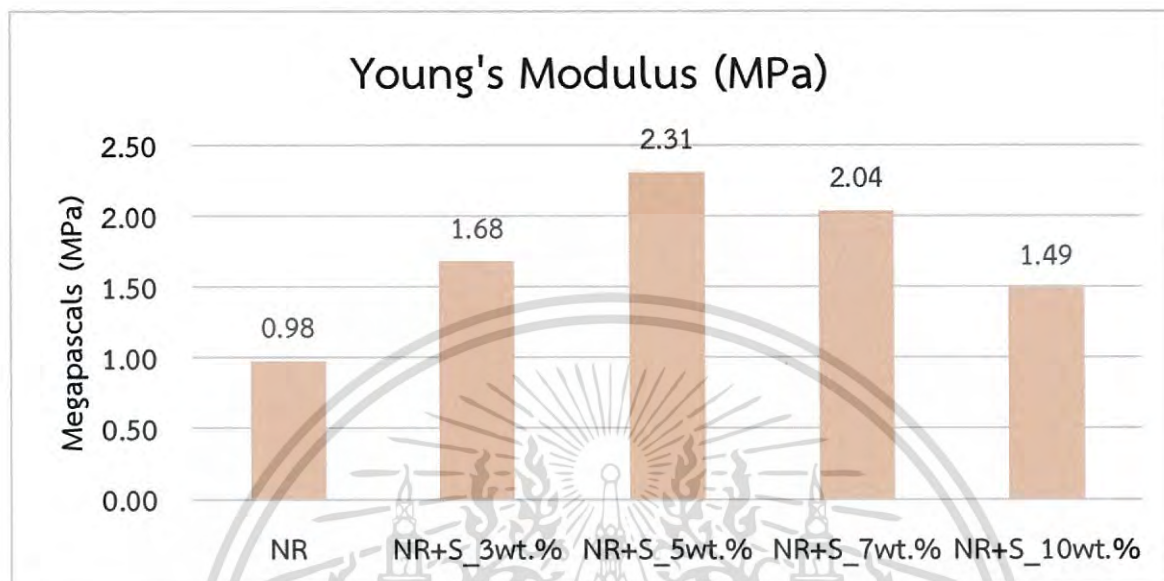
ตัวอย่างชิ้นงาน	อุณหภูมิ (°C)	Stress at Maximum Load (MPa)	Stiffness (N/mm)	Young's Modulus (MPa)	Load at Break (N)
NR+S_5wt.%+T30	30	1.00	0.18	1.00	10.20
NR+S_5wt.%+T90	90	2.99	0.57	2.77	24.03
NR+S_5wt.%+T100	100	3.57	0.61	3.04	27.29
NR+S_5wt.%+T110	110	2.65	0.51	2.45	23.56

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการทดสอบทางเชิงกลของแผ่นยางผสมกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก) เติมซัลเฟอร์และอนุภาคซิลเวอร์นาโนในปริมาณต่าง ๆ

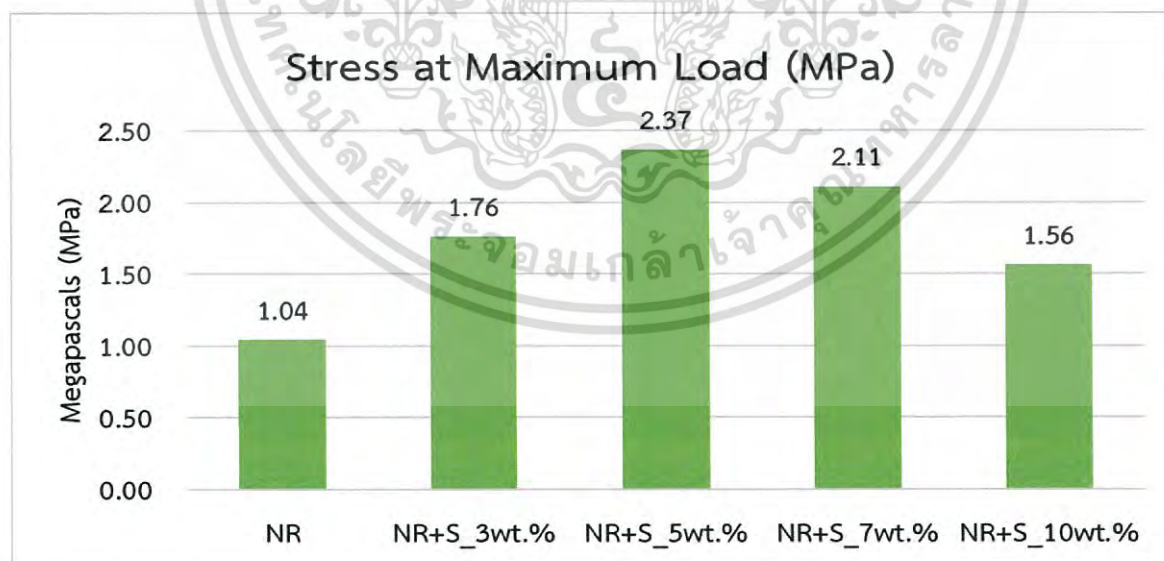
ตัวอย่างชิ้นงาน	rGO (wt.%)	Sulfur (wt.%)	AgNPs (wt.%)	Temp. (°C)	Stress at Maximum Load (MPa)	Stiffness (N/mm)	Young's Modulus (MPa)	Load at Break (N)
NR	0	0	0	30	1.01	0.19	1.01	1.95
NR+rGO	0.28	0	0	30	2.07	0.35	1.50	5.73
NR+rGO+S_5wt.%	0.28	5	0	30	2.89	0.54	2.45	7.63
NR+rGO+S_5wt.% +Ag	0.28	5	0.05	30	2.64	0.42	1.87	7.12
NR+rGO+Ag	0.28	0	0.05	30	1.60	0.33	1.32	3.71
NR+rGO+T100	0.28	0	0	100	3.98	0.85	4.23	9.83
NR+rGO+S_5wt.% +T100	0.28	5	0	100	6.20	1.34	5.55	12.19
NR+rGO+S_5wt.% +Ag+T100	0.28	5	0.05	100	5.00	1.20	4.90	10.83
NR+rGO+Ag +T100	0.28	0	0.05	100	3.35	0.78	3.35	7.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบแรงดึงเชิงกลของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ สามารถแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม และ แผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.48 – 4.62

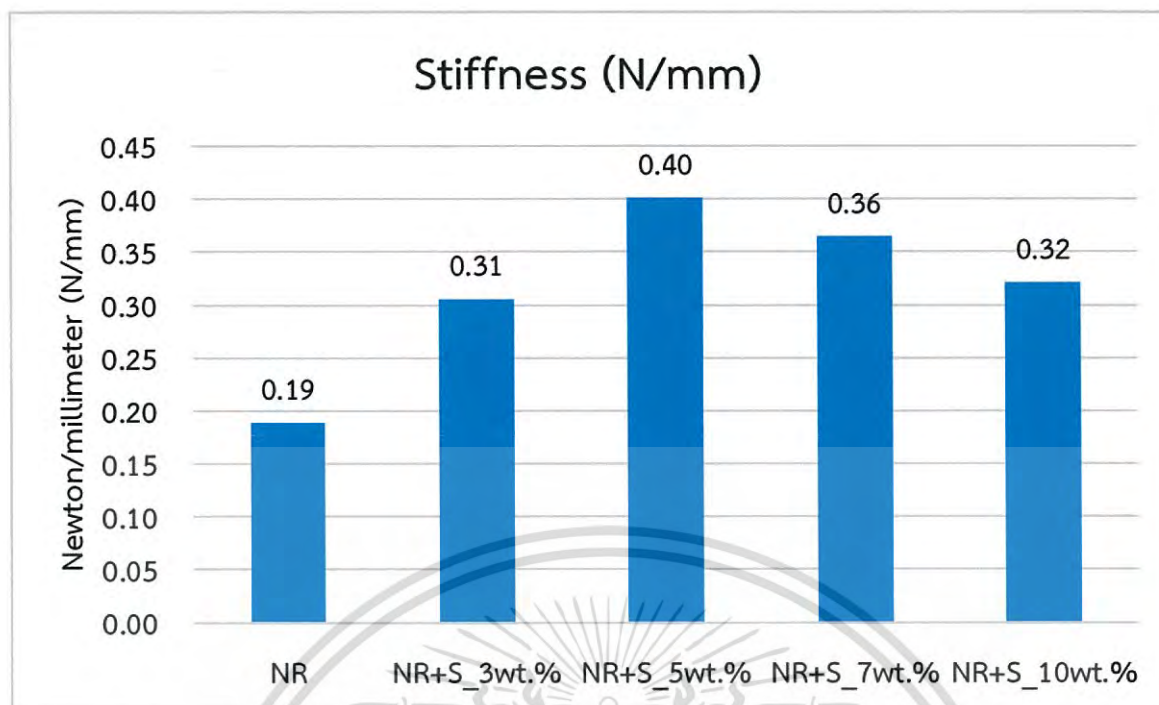


รูปที่ 4.48 แสดงการเปรียบเทียบ Young's modulus ของแผ่นยางธรรมชาติ และแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่าง ๆ

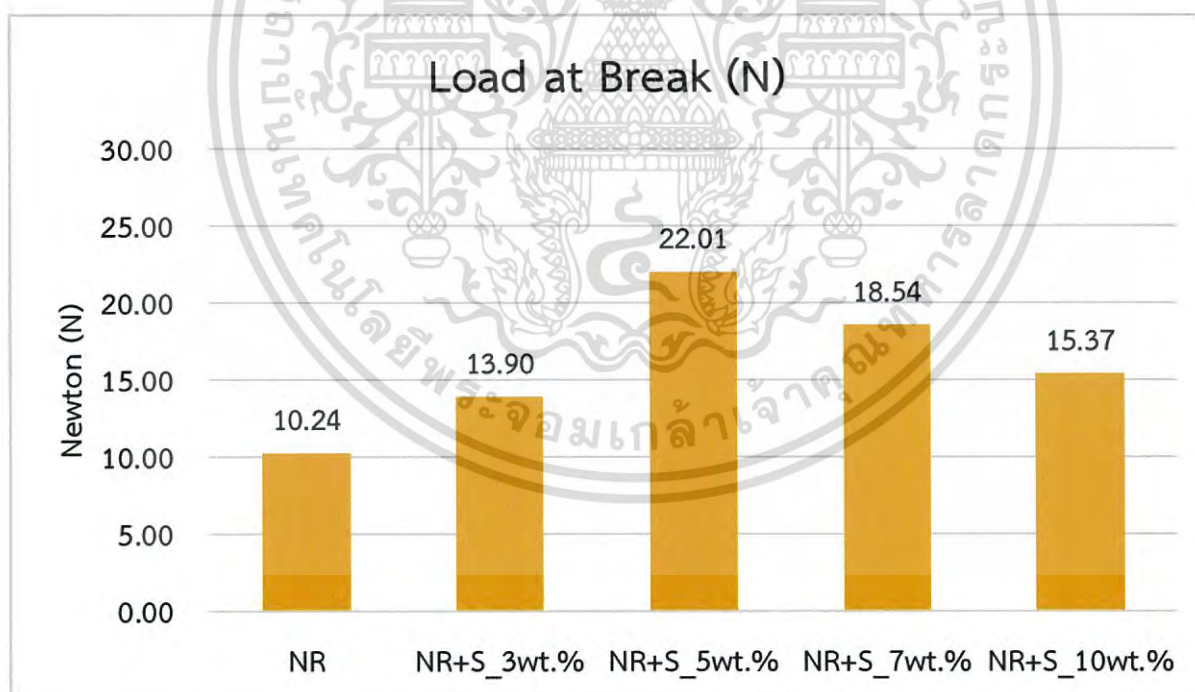


รูปที่ 4.49 แสดงการเปรียบเทียบ Stress at Maximum ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

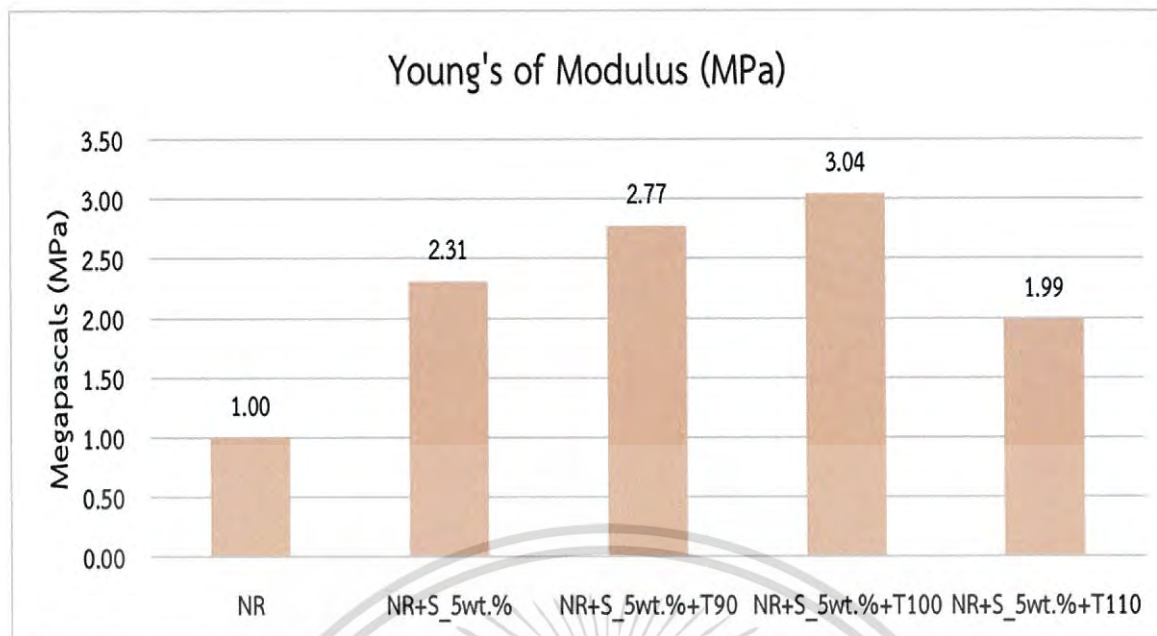


รูปที่ 4.50 แสดงการเปรียบเทียบ Stiffness ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่าง ๆ

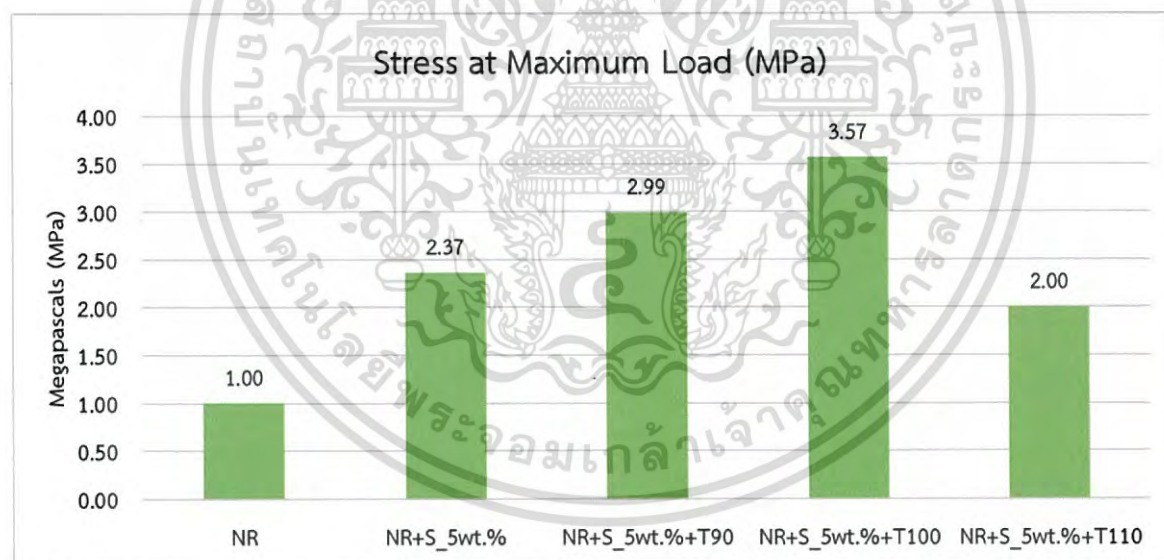


รูปที่ 4.51 แสดงการเปรียบเทียบ Load at Break ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

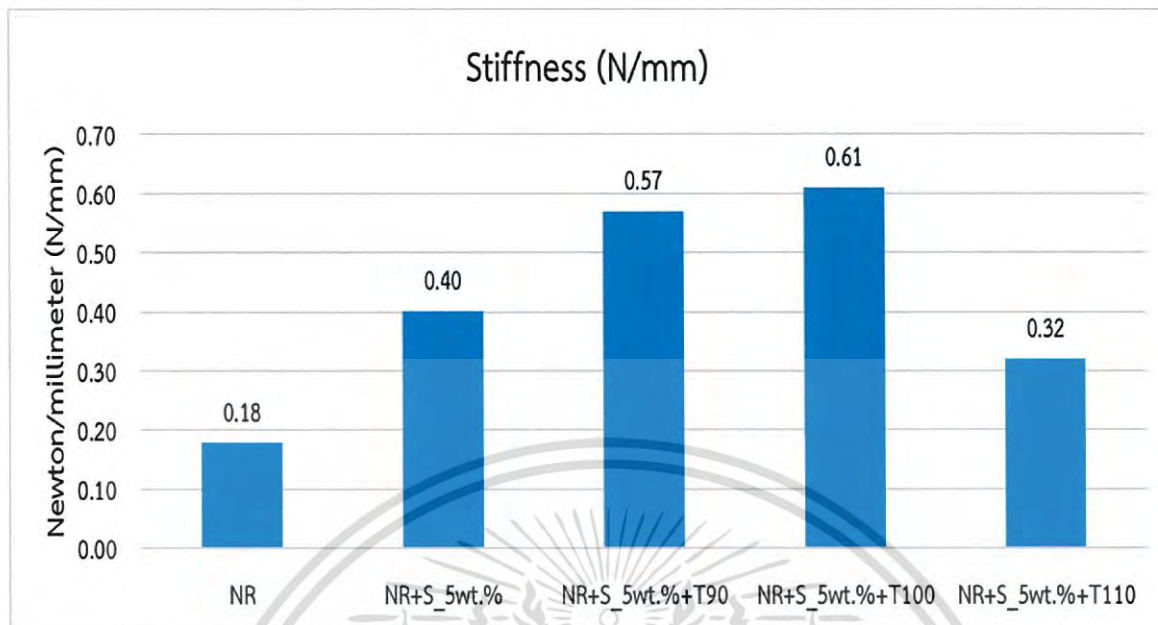


รูปที่ 4.52 แสดงการเปรียบเทียบ Young's modulus ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่างๆ

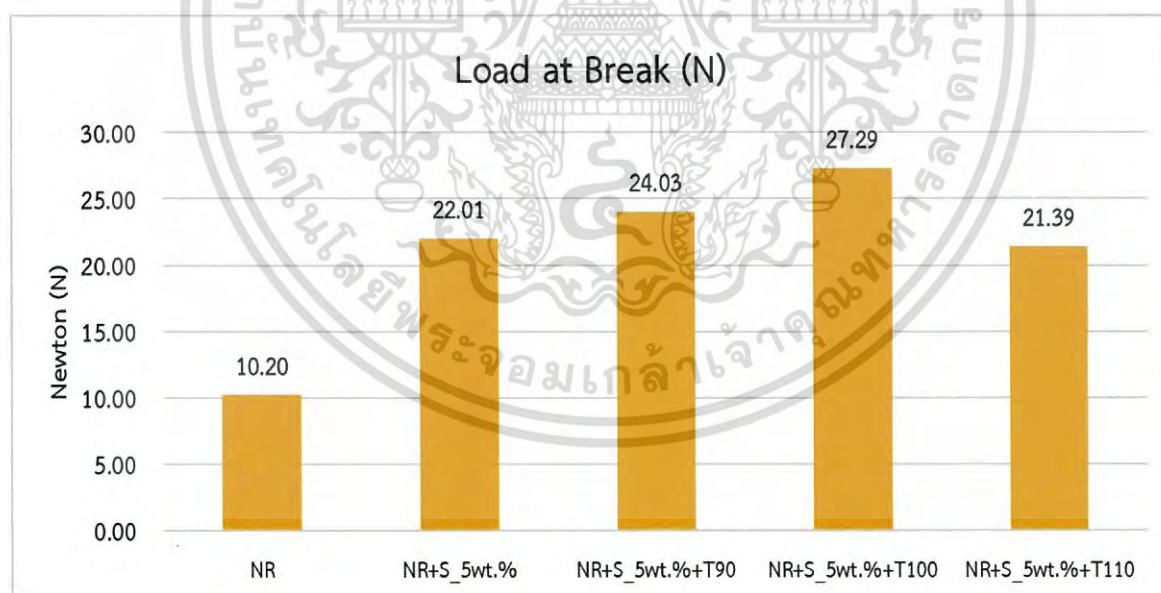


รูปที่ 4.53 แสดงการเปรียบเทียบ Stress at Maximum ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

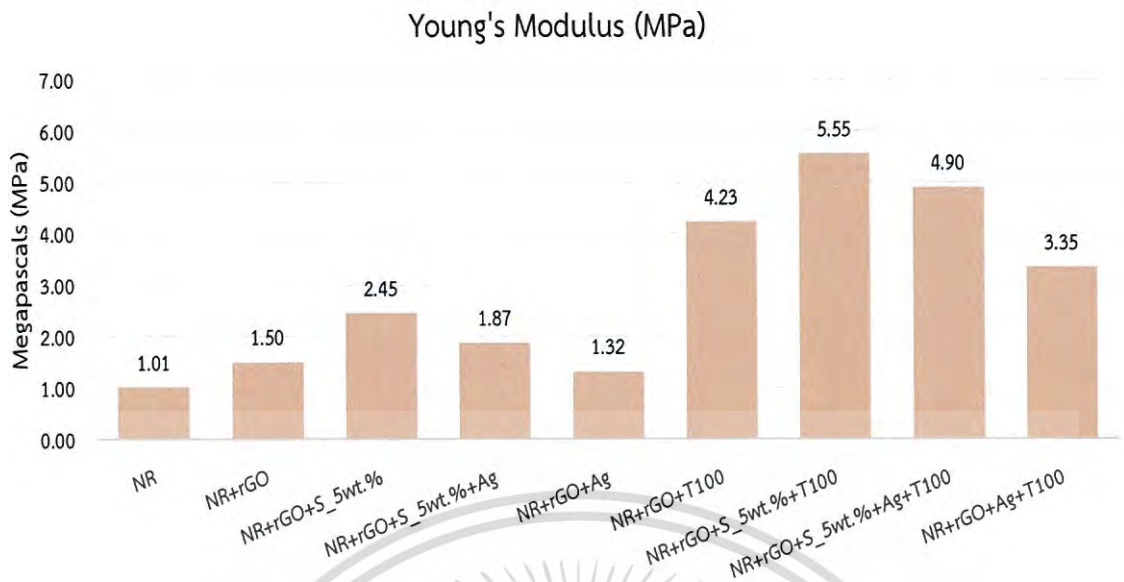


รูปที่ 4.54 แสดงการเปรียบเทียบ Stiffness ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่างๆ

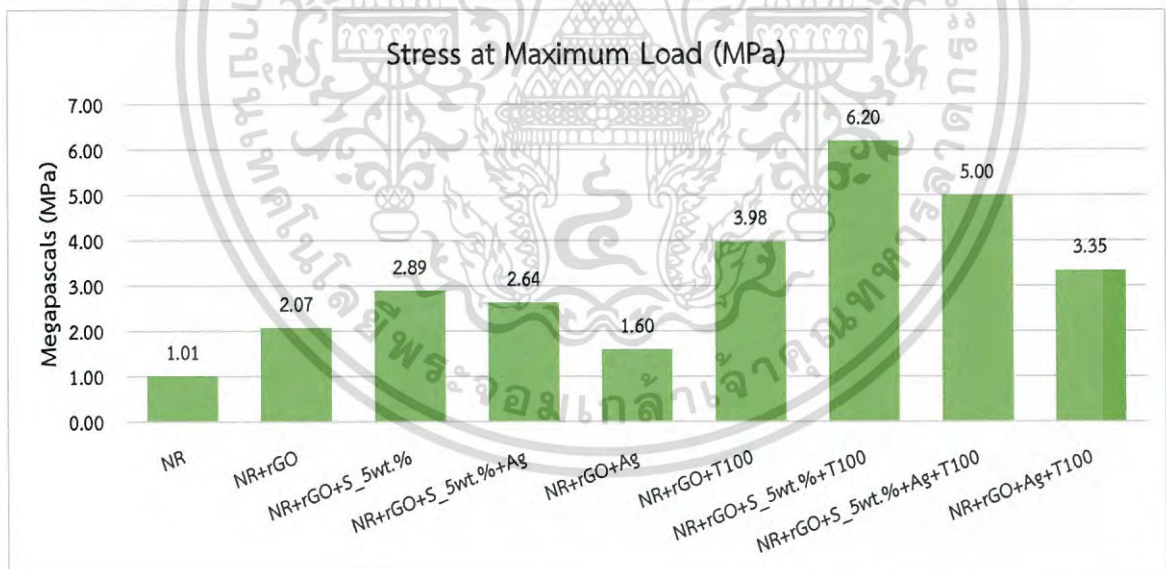


รูปที่ 4.55 แสดงการเปรียบเทียบ Load at Break ของแผ่นยางธรรมชาติแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

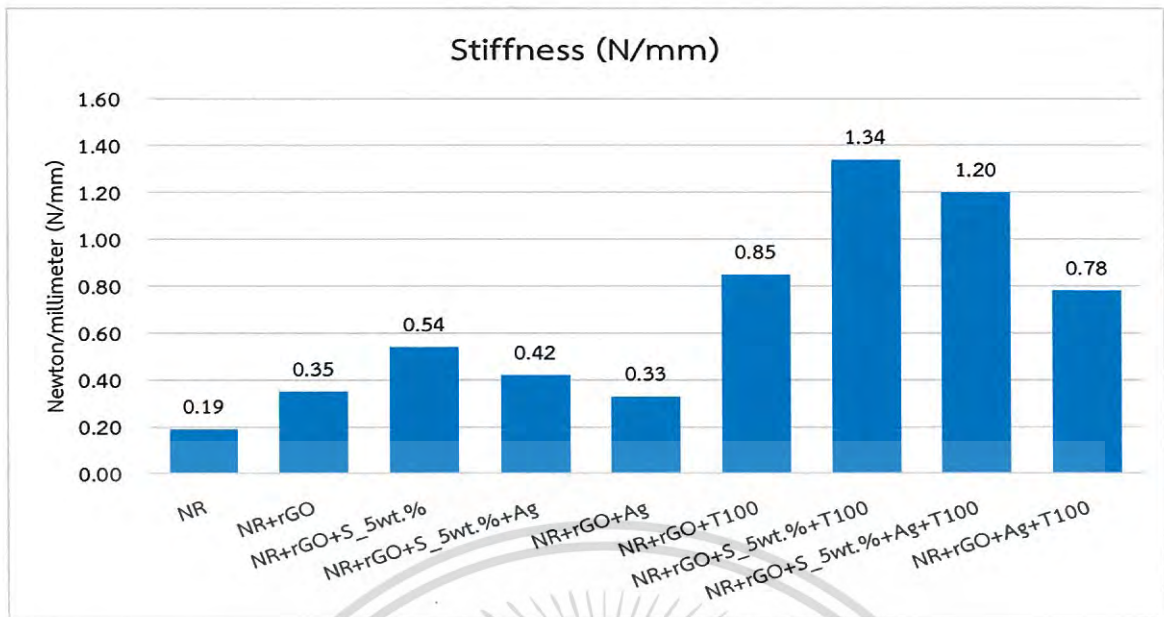


รูปที่ 4.56 แสดงการเปรียบเทียบ Young's modulus ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่างๆ

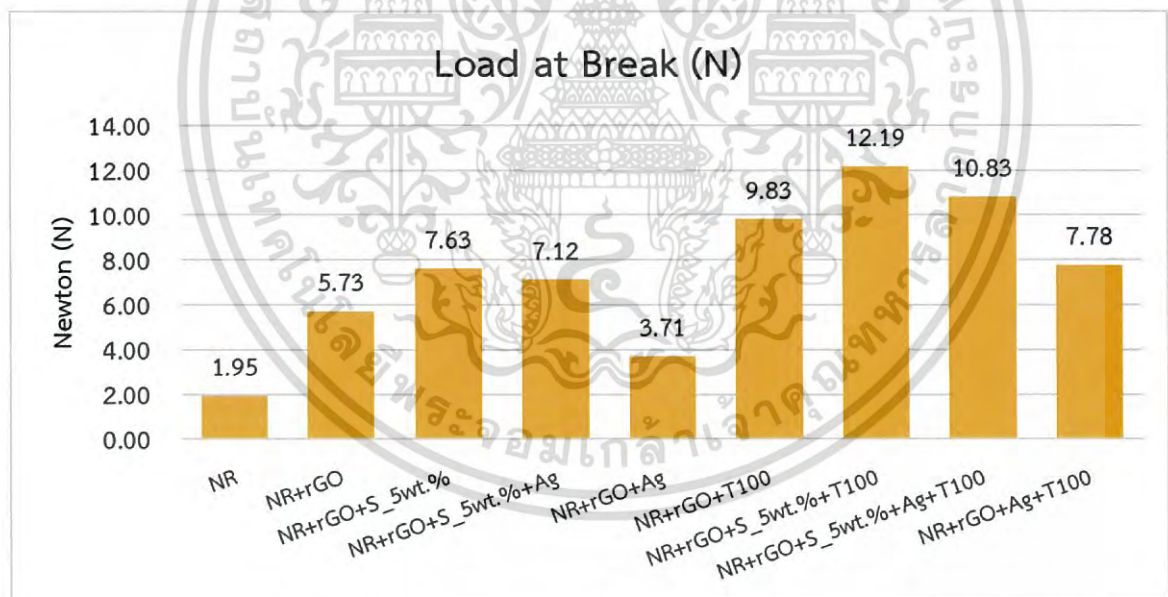


รูปที่ 4.57 แสดงการเปรียบเทียบ Stress at Maximum ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

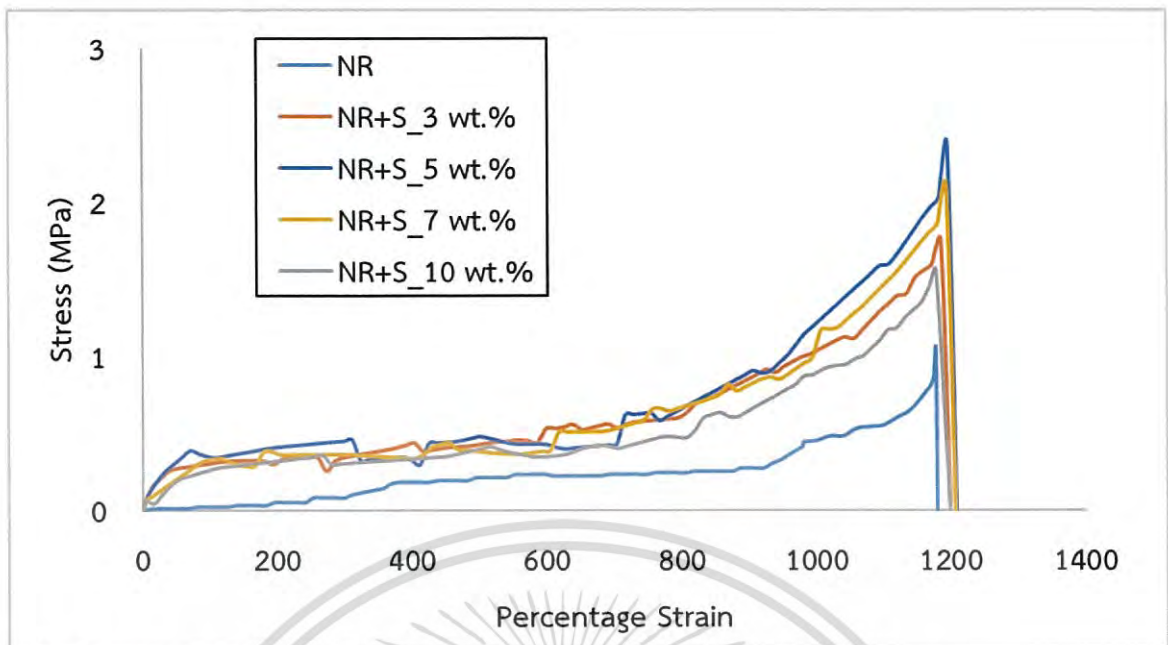


รูปที่ 4.58 แสดงการเปรียบเทียบ Stiffness ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่างๆ

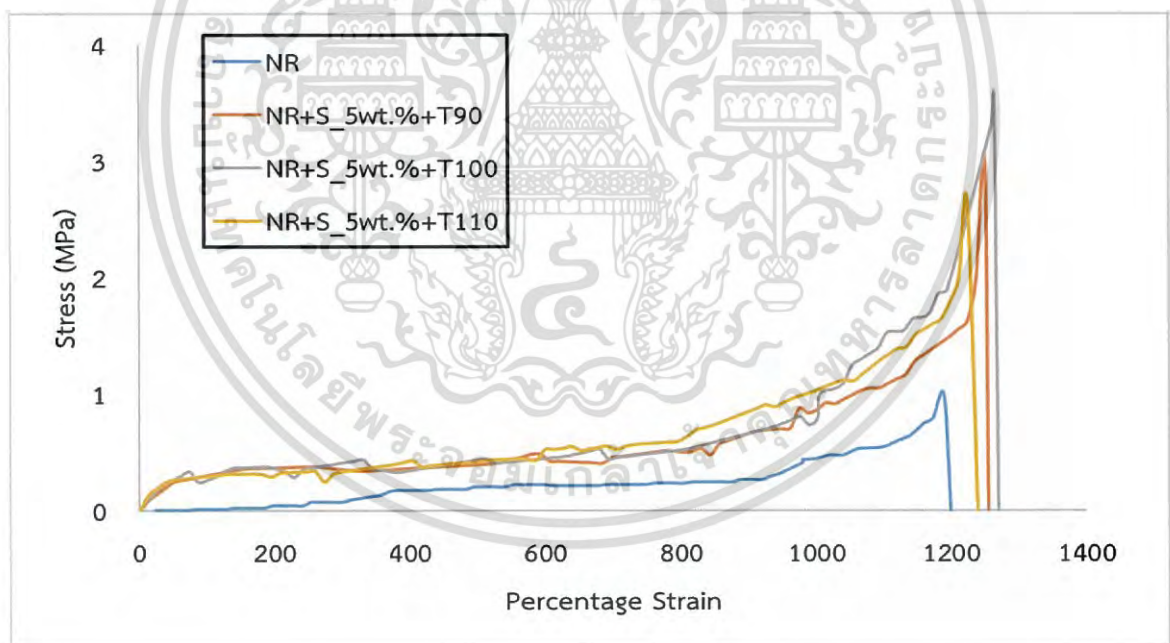


รูปที่ 4.59 แสดงการเปรียบเทียบ Load at Break ของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

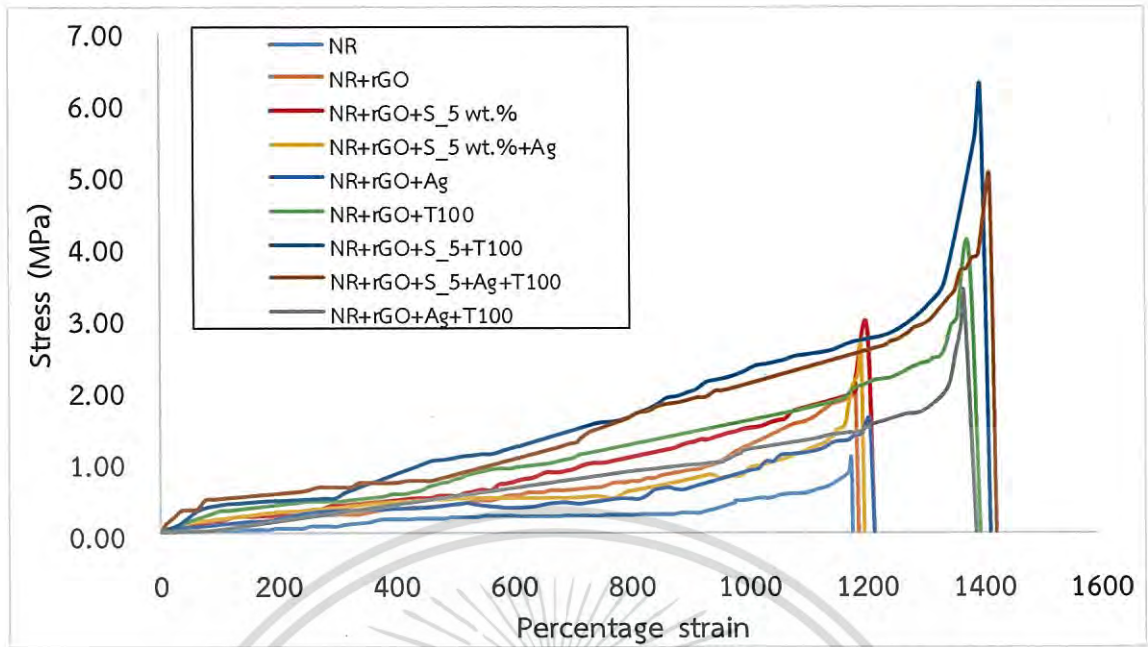


รูปที่ 4.60 แสดงตัวอย่างกราฟ Tensile Strength ของ (a) NR Pure (b) NR+S_3wt% (c) NR+S_5wt.% และ (d) NR+S_10wt.%



รูปที่ 4.61 แสดงตัวอย่างกราฟ Tensile Strength ของ (a) NR (b) NR+S_5wt%+T90 (c) NR+S_5wt.%+T100 (d) NR+S_10wt.%+T110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.62 แสดงตัวอย่างกราฟ Tensile Strength ของ (a) NR, (b) NR+rGO_0.28 wt.%, (c) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%, (d) NR+rGO_0.28 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%, (e) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%, (f) NR+rGO_0.28 wt.%+ S_5 wt.%+T100, (g) NR+rGO_0.28 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100 และ (h) NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100

จากตารางที่ 4.3 พบว่าเมื่อเติมซิลเฟอร์ในแผ่นยางธรรมชาติในปริมาณที่แตกต่างกัน (ร้อยละ 3 5 7 และ 10 โดยน้ำหนัก) พบว่า แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จะมีความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum lode) ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) และค่าการคงรูป (Stiffiness) มากที่สุด เมื่อเทียบกับแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ในปริมาณต่างๆ (ร้อยละ 3 7 และ 10 โดยน้ำหนัก) เนื่องจากซิลเฟอร์มีขนาดอนุภาคเล็กและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอแต่เมื่อเติมซิลเฟอร์ในปริมาณที่เพิ่มขึ้น (ร้อยละ 7 และ 10 โดยน้ำหนัก) จะทำให้ค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum lode) ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) และค่าการคงรูป (Stiffiness) ลดลงตามลำดับ เนื่องจากการเติมซิลเฟอร์ในปริมาณที่มากเกินไปจะทำให้ซิลเฟอร์เกิดการจับตัวกันเป็นก้อนมากขึ้น ทำให้มีการกระจายของซิลเฟอร์ในแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้ค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum lode) ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) และค่าการคงรูป (Stiffiness) ลดลง ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.61 เมื่อนำแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มาให้ความร้อนโดยทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ (90°C 100°C และ 110°C) พบว่า แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100°C จะให้ค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum lode) ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) และค่าการคงรูป (Stiffness) มีค่ามากที่สุด เนื่องจาก การอบอ่อนจะทำให้ซิลเฟอร์เกิดการเปลี่ยนแปลงโดยจะเกิดการเปลี่ยนเฟสจาก Rhombic เป็น monoclinic ซึ่งจะมีลักษณะเป็นเส้นคล้ายเส้นใยสานตัวกันบนแผ่นยางธรรมชาติส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีอีกทั้งการอบอ่อนยังช่วยให้สายโซ่ของยางธรรมชาติมีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมากขึ้นส่งผลให้มีสมบัติเชิงกลที่ดียิ่งขึ้น และแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ (90°C และ 110°C) โดยแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิต่าง ๆ (90°C และ 110°C) จะมีค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum lode) ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) และค่าการคงรูป (Stiffness) มีค่าลดลง ตามลำดับ เนื่องจากซิลเฟอร์ที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 90°C อนุภาคซิลเฟอร์เป็นเม็ดทรงกลมเล็กๆกระจายตัวอยู่บนแผ่นยางธรรมชาติเมื่อเทียบกับซิลเฟอร์ที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100°C ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยทำให้มีสมบัติเชิงกลน้อยกว่า และซิลเฟอร์ที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 110°C ซิลเฟอร์เกิดการหลอมเป็นอนุภาคมีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายแก้วซึ่งไม่ละลายในยางจึงเกิดการแยกตัวส่งผลให้อุณหภูมิการอบอ่อนที่ 110°C มีสมบัติเชิงกลน้อยที่สุด

จากรูปที่ 4.62 เมื่อนำแผ่นยางธรรมชาติผสมริตวซกร้าฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก) และเติมซิลเฟอร์ในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) เติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก) และอบอ่อนที่ 100°C พบว่า แผ่นยางธรรมชาติผสมริตวซกร้าฟีนออกไซด์ในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก) เติมซิลเฟอร์ในปริมาณคงที่ (ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก) และอบอ่อนที่ 100°C มีค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum lode) ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) และค่าการคงรูป (Stiffness) มีค่ามากที่สุด เนื่องจาก ริตวซกร้าฟีนออกไซด์ที่เติมลงไปบนแผ่นยางธรรมชาติเป็นสารที่มีความแข็งแรงและมีความสามารถในการดึงยึดได้สูง อีกทั้งยังมีลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่นบาง ๆ บิดโค้งงอได้ จึงสามารถทำพันธะแล้วผสมเข้ากันได้ดีกับยางธรรมชาติ [36] และการเติมซิลเฟอร์ลงไปบนยางธรรมชาติพร้อมกับอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100°C จะทำให้ค่าความเค้นเมื่อให้แรงสูงสุด (Stress at maximum lode) ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) และค่าการคงรูป (Stiffness) สูงขึ้น เนื่องจากการอบอ่อนจะทำให้ซิลเฟอร์เกิดการเปลี่ยนเฟสเป็น monoclinic ซึ่งจะมีลักษณะคล้ายเส้นใยสานตัวกันอยู่บนแผ่นยางธรรมชาติอีกทั้งอุณหภูมิการอบอ่อนจะช่วยเพิ่มการจัดเรียงสายโซ่ของยางธรรมชาติให้เป็นระเบียบมากขึ้นทำให้แผ่นยางธรรมชาติผสมมีสมบัติให้ทั้งความแข็งแรงและความเหนียวมากยิ่งขึ้น เมื่อเทียบกับก่อนอบอ่อนซิลเฟอร์จะมีลักษณะเป็นเพียงเม็ดทรงกลมขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วบนแผ่นยางธรรมชาติซึ่งลักษณะรูปร่างของเส้นใยจะช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลที่ดีกว่า แต่เมื่อเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนจะทำให้สมบัติเชิงกลลดลง เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนจะเข้าไปทำลายสายโซ่ของยางธรรมชาติ

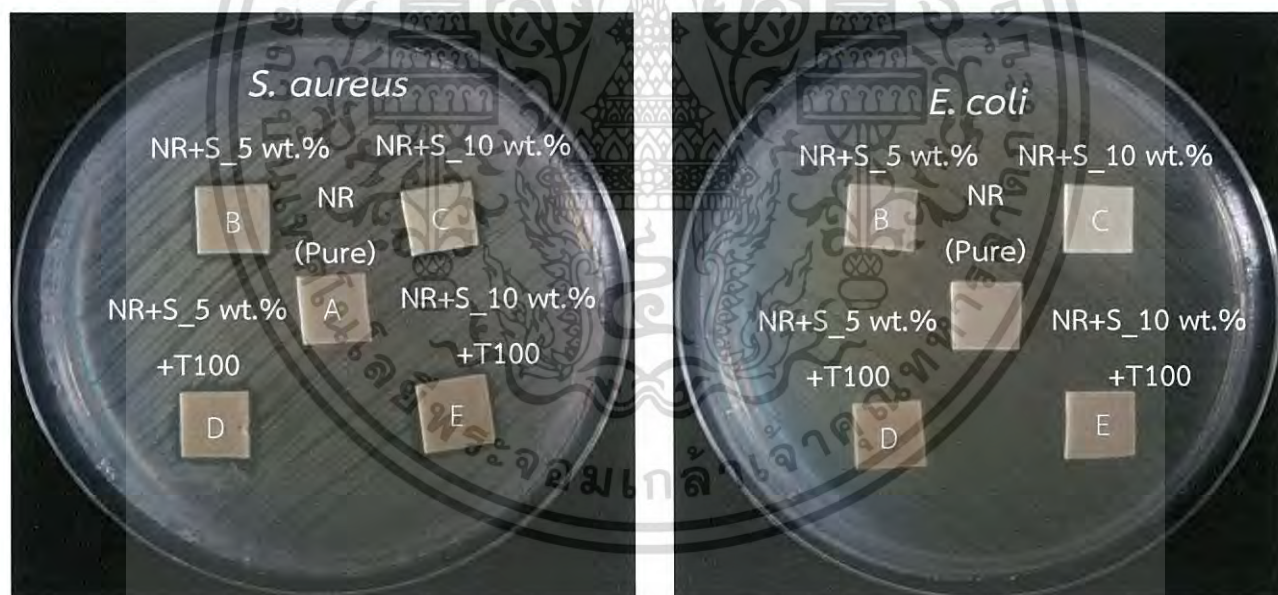
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.9 การทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ในการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทำการทดสอบโดยใช้วิธี Agar disc diffusion โดยใช้เชื้อแบคทีเรียในการทดสอบ 2 ชนิด ซึ่งได้แก่ เชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*Staphylococcus aureus* ATCC 25923 หรือ *S. aureus*) และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (*Escherichia coli* ATCC 25922 หรือ *E. coli*) โดยใช้แบคทีเรียทั้งหมดในการทดสอบจำนวน 1×10^8 cfu/g (Colony forming unit) ซึ่งวัดผลการทดสอบโดยการวัดรัศมีของโซนยับยั้ง (Inhibition Zone) ในหน่วยมิลลิเมตร (mm) โดยแผ่นยางธรรมชาติผสมที่ใช้ในการทดสอบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียมีทั้งหมด 9 ชนิด [9]

4.3.9.1 ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย

จากการศึกษาสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสมด้วยวิธี Agar disc diffusion โดยใช้เชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*) และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) ซึ่งในเงื่อนไขการศึกษาที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วย (A) ยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม (NR) (B) 2 แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (NR, S_5 wt.%) (C) แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (NR, S_10 wt.%) (D) แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C (NR, S_5 wt.%, T100) (E) แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C (NR, S_10 wt.%, T100) ซึ่งแสดงรัศมีของโซนยับยั้ง (Inhibition Zone) รูปที่ 4.63 และรูปที่ 4.64

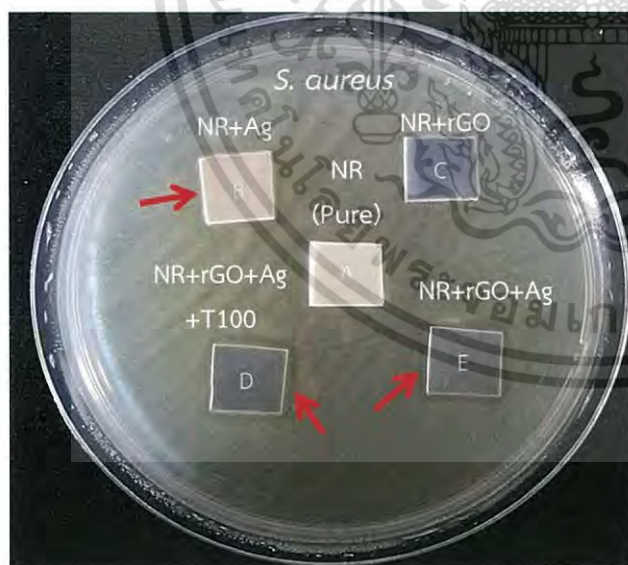


รูปที่ 4.63 และ รูปที่ 4.64 แสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ โดยใช้แผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมทั้งหมด 5 ชนิด ได้แก่ (A) NR Pure, (B) NR+S_5 wt.%, (C) NR+S_10 wt.%, (D) NR+S_5 wt.%+T00 และ (E) NR+S_10 wt.%+T00

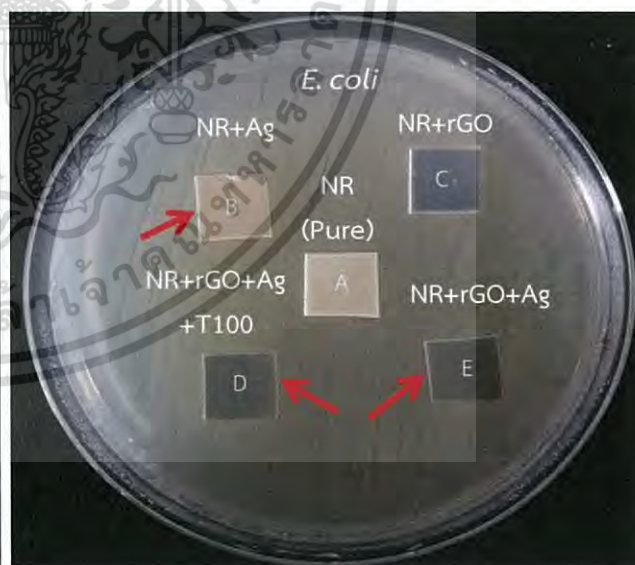
จากรูปที่ 4.63 แสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*) เมื่อสังเกตผลของตัวอย่าง A คือ แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม จะไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกได้ ซึ่งสังเกตจากรัศมีของโซนยับยั้งไม่ปรากฏ แต่แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณต่างๆ จะสามารถยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นเว็บไซต์นี้โปรดอย่าเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุญาตใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ เนื่องจากมีรัศมีของโซนยับยั้งปรากฏ โดยตัวอย่าง B คือ แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ปรากฏรัศมีของโซนยับยั้งขนาดประมาณ 1.4 มิลลิเมตร ตัวอย่าง C คือ แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ปรากฏรัศมีของโซนยับยั้งขนาดประมาณ 1.6 มิลลิเมตร ตัวอย่าง D คือ แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100°C ปรากฏรัศมีของโซนยับยั้งขนาดประมาณ 1.4 มิลลิเมตร และตัวอย่าง E คือ แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C ปรากฏรัศมีของโซนยับยั้งขนาดประมาณ 1.5 มิลลิเมตร ต่อไปเป็นการศึกษาการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) รูปที่ 4.64 ตัวอย่าง A B C D และ E จะไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบได้ เนื่องจากไม่ปรากฏรัศมีของโซนยับยั้ง เมื่อทำการเปรียบเทียบในเงื่อนไขการศึกษาที่ 1 สรุปได้ว่าตัวอย่าง B C D และ E จะสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้เพียงชนิดเดียวแต่ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบได้

เงื่อนไขการศึกษาที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วย 1) (A) ยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม (NR) 2) (B) แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก (NR, Ag 0.05 wt.%) (C) แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก เติมนอนุภาคซิลเวอร์นาโนปริมาณร้อยละ 0.05 wt.% (NR, rGO 0.28 wt.%, Ag 0.05 wt.%) (D) แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก (NR, rGO 0.28 wt.%) และ (E) แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก เติมนอนุภาคซิลเวอร์นาโนปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C (NR, rGO 0.28 wt.%, Ag 0.05 wt.%, T100) แสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง 2 ชนิด ดังรูปที่ 4.65 และรูปที่ 4.66



รูปที่ 4.65



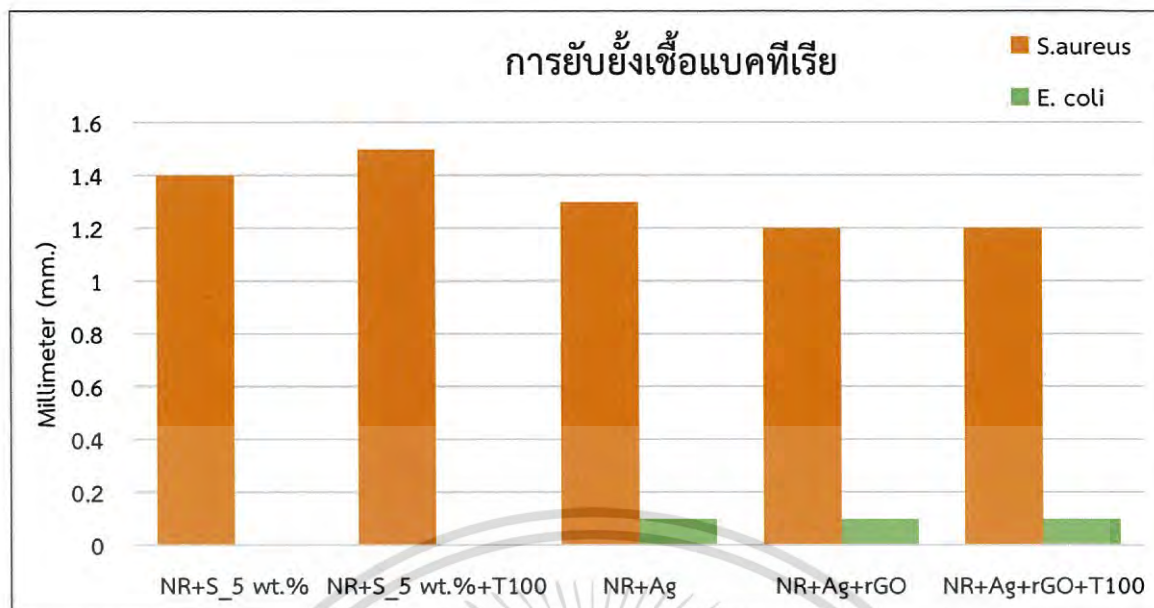
รูปที่ 4.66

รูปที่ 4.65 และ รูปที่ 4.66 แสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบของแผ่นยางธรรมชาติและแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากเงื่อนไขการศึกษาที่ 2 รูปที่ 4.65 แสดงให้เห็นการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*) เมื่อสังเกตผลตัวอย่าง A คือ แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม และตัวอย่าง C คือ แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก จะไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ ซึ่งสังเกตจากรัศมีของโซนยับยั้งไม่ปรากฏ แต่ตัวอย่าง B D และ E สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ เนื่องจากมีรัศมีของโซนยับยั้งปรากฏ โดยตัวอย่าง B คือ แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ซึ่งจะปรากฏรัศมีของโซนยับยั้งขนาดประมาณ 1.3 มิลลิเมตร ตัวอย่าง D คือ แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก เติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C ปรากฏรัศมีของโซนยับยั้งขนาดประมาณ 1.2 มิลลิเมตร และตัวอย่าง E คือ แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก เติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ปรากฏรัศมีของโซนยับยั้งขนาดประมาณ 1.2 มิลลิเมตร เมื่อทำการศึกษามลภาวะยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) รูปที่ 4.6 เมื่อสังเกตผลตัวอย่าง A คือ แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติมและตัวอย่าง C คือ แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก จะไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบได้ ซึ่งสังเกตจากรัศมีของโซนยับยั้งไม่ปรากฏ แต่ตัวอย่าง B คือ แผ่นยางธรรมชาติผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ตัวอย่าง D คือ แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก เติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C และตัวอย่าง E คือ แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก เติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก จะสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมลบได้ เนื่องจากมีรัศมีของโซนยับยั้งปรากฏแต่จะวัดขนาดไม่ได้ เนื่องจาก clear zone มีขนาดแคบมาก เมื่อทำการเปรียบเทียบในเงื่อนไขการศึกษาที่ 2 สรุปได้ว่าตัวอย่าง B D และ E สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง 2 ชนิดและยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ

จากเงื่อนไขที่ 1 แผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C เงื่อนไขที่ 2 แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก และเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก และเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนในปริมาณร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบที่แตกต่างกัน และโดยในเงื่อนไขที่ 1 จะมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้เพียงชนิดเดียว แต่ในเงื่อนไขที่ 2 จะมีประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบโดยจะสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกได้ดีกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งแสดงข้อมูลต่อไปนี้



รูปที่ 4.67 กราฟแสดงการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกและเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ โดยแสดงการเปรียบเทียบในแผ่นยางธรรมชาติผสม

จากรูปที่ 4.63 - 4.66 จะเห็นว่าขนาดรัศมีของโซนยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*) และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) นั้นมีขนาดไม่เท่ากัน ซึ่งขนาดของรัศมีของโซนยับยั้งปรากฏบริเวณกว้างในเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S. aureus*) มากกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ (*E. coli*) เพราะเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกมี layer ชั้นเดียว ส่วนเชื้อแบคทีเรียแกรมลบบมี lipid bilayer 2 ชั้น คือ outer membrane และ cytoplasmic membrane ทำให้สารที่ออกมายับยั้งแบคทีเรียคือ ซิลเวอร์ไอออนเข้าไปทำลายภายในเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกที่มี layer เพียงแค่ชั้นเดียวได้ง่ายกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบบที่มี lipid bilayer ถึง 2 ชั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบสามารถทนต่ออนุภาคซิลเวอร์นาโนได้ดีกว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก [47]

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 สรุปผลคุณลักษณะของสารตัวเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซัลเฟอร์ และอนุภาคซิลเวอร์นาโน

รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จากเทคนิค UV-Visible, FTIR, Raman และ XRD เมื่อนำกราฟีนออกไซด์มาผ่านการรีดิวซ์จะปรากฏพีกเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซึ่งเป็นการยืนยันได้ว่ากราฟีนออกไซด์ถูกรีดิวซ์เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และจากภาพ SEM พบว่าแผ่นกราฟีนออกไซด์มีลักษณะเป็นแผ่นขนาดเล็ก ส่วนแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะเป็นแผ่นบางและซ้อนทับกันอยู่เป็นชั้น ๆ และจากภาพ TEM พบว่าลักษณะแผ่นกราฟีนออกไซด์มีความหนากว่ารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ซัลเฟอร์ จากเทคนิค Raman จะปรากฏพีกเอกลักษณ์ของซัลเฟอร์ 4 ตำแหน่งคือ 49 cm^{-1} , 150 cm^{-1} , 215 cm^{-1} และ 468 cm^{-1} และ XRD จะพบองศาการเลี้ยวเบนอยู่ที่ 2θ เท่ากับ 23.44° , 25.84° และ 27.7° ซึ่งจะมีความเป็นผลึกสูง

อนุภาคซิลเวอร์นาโน จะพบพีกเอกลักษณ์ ในเทคนิค UV-Visible พบพีกค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นประมาณ 420 nm ซึ่งเป็นตำแหน่งพีกเอกลักษณ์ของอนุภาคซิลเวอร์นาโน และจากภาพ TEM มีลักษณะทรงกลม มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยประมาณอยู่ที่ $41.99 \pm 22.55\text{ nm}$

5.1.2 สรุปผลคุณลักษณะแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ และอุณหภูมิในการอบอ่อน

เมื่อเติมซัลเฟอร์ลงในแผ่นยางธรรมชาติผสมในเทคนิค FTIR จะพบแถบการสั่นของโมเลกุลของยางธรรมชาติเป็นหลักแต่จะไม่พบแถบการสั่นของซัลเฟอร์ แต่ในเทคนิครามานจะพบพีกเอกลักษณ์ของยางธรรมชาติ ซัลเฟอร์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ส่วนในเทคนิค XRD จะพบพีกเอกลักษณ์ของยางธรรมชาติ และพีกเอกลักษณ์ของซัลเฟอร์

สูตรที่1 NR+S_5 wt.% มีสมบัติเชิงกลที่ดี เนื่องจากในเทคนิค EDX และ SEM จะเห็นได้ว่าที่บริเวณภาพตัดขวางจะเห็นการกระจายตัวของซัลเฟอร์ที่ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก จะมีอนุภาคขนาดเล็กและมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอว่าแผ่นยางธรรมชาติผสมชนิดอื่น และเมื่อดูลักษณะพื้นผิวจากเทคนิค OM จะพบซัลเฟอร์กระจายตัวสม่ำเสมออยู่ทั่วทั้งแผ่นยางธรรมชาติ

สูตรที่2 NR+S_5 wt.%+T100 มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด เนื่องจากในเทคนิค OM จะเห็นซัลเฟอร์ซึ่งเป็นผลึกโปร่งใสและมีลักษณะเป็นเส้นคล้ายเส้นใยกระจายอยู่ทั่วในแผ่นยางธรรมชาติอีกทั้งแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ที่ปริมาณร้อยละ 5 ทั้งก่อนอบอ่อนและหลังอบอ่อนยังมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก คือ *S. aureus* ได้

สูตรที่3 NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+T100 มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดแต่เมื่อเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณ 0.05 wt.% จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้แต่การเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนจะไปทำลายโครงสร้างของยางทำให้สมบัติเชิงกลลดลง ดังนั้นจึงเลือกที่สภาวะ NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100 เนื่องจากเป็นสภาวะที่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้และไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังคงมีสมบัติเชิงกลที่ดีอยู่ จากผลของTensile strength พบว่าหลังอบอ่อนจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าก่อนอบอ่อน และจากภาพของSEM ในการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงไปจะทำให้เกิดรอยร่นทั่วบริเวณ จากเทคนิคTGA การที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซัลเฟอร์ และอนุภาคซิลเวอร์นาโนจะไม่มีผลต่อเสถียรภาพทางความร้อน อีกทั้งแผ่นยางธรรมชาติที่ผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนักและมีการเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ปริมาณ 0.05 wt.% ทั้งก่อนอบอ่อนและหลังอบอ่อน จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ คือ *S. aureus* และ *E. coli* ได้ ซึ่งอุณหภูมิทั้งก่อนอบอ่อนและหลังอบอ่อนจะไม่มีผลต่อสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ในขั้นตอนการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ การใช้ในปริมาณของไฮดราซีนควรใช้ในปริมาณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับอัตราส่วนของปริมาณกราฟีนออกไซด์และแอมโมเนีย เนื่องจากไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์ที่รุนแรงเมื่อทำการผสมกับแผ่นยางธรรมชาติอาจทำให้เกิดรูพรุนได้
- 2) ในขั้นตอนการเตรียมสารแขวนลอยดีออกไซด์อนุภาคซิลเวอร์นาโน โดยใช้ microwave method ระยะเวลาในการสังเคราะห์สารแขวนลอยดีออกไซด์อนุภาคนาโนซิลเวอร์นั้นมีความเข้มข้นของสารแขวนลอยที่ได้ ซึ่งจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียของแผ่นยางธรรมชาติผสม
- 3) ขั้นตอนในการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสม มีการปั่นกวนเพื่อช่วยในการผสมสารตัวเติมกับน้ำยางธรรมชาติ ควรใช้ความเร็วในการปั่นกวนที่เหมาะสมเพื่อลดฟองอากาศที่เกิดขึ้นในขณะที่ผสม ซึ่งอาจทำให้เมื่อแผ่นยางธรรมชาติผสมแห้งอาจเกิดฟองอากาศเกิดขึ้นซึ่งจะมีผลต่อสมบัติต่างๆ
- 4) ขั้นตอนในการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสม ในขณะที่เทน้ำยางลงในเพลต เพลตควรวางอยู่ในบริเวณพื้นที่สม่ำเสมอเพื่อลดความไม่สม่ำเสมอของแผ่นชิ้นงาน
- 5) ในการทดลองต่อไปอาจจะมีการพัฒนารูปแบบและแนวทางการนำแผ่นยางธรรมชาติผสมที่มีความต้านทานทางแรงดึงสูงไปใช้ประโยชน์ให้มีความหลากหลาย และเกิดการนำผลงานวิจัยไปใช้ในเชิงพาณิชย์มากยิ่งขึ้น เช่น ผ้าคลุมเตียงผู้ป่วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Sorsom, W. Taweepreda, C. Nakason, W. Janvikul. "Possibility Studies of Hydrocolloid Pressure-Sensitive Adhesive Preparation Form Natural Rubber." Proceeding of The 2nd Polymer Graduate Conference of Thailand. Faculty of Science Chulalongkorn University. 21-22 May 2009 21-25.
- [2] พงษ์ธร แซ่ฮุ่ย และชาคริต สิริสิงห. "ยาง: กระบวนการผลิตและการทดสอบ." ศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 1 มิถุนายน 2550
- [3] กาจพันธ์ สกุกแก้ว และอมร พงษ์มะลิวัลย์. "การเสื่อมสภาพของยาง." วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. ปีที่ 54 (ฉบับที่ 171). 29-32.
- [4] Dan.li, Marc B. Muller, Scott Gilje, Richard B. Kaner and Gordon G. Wallace "Processable aqueous dispersion of graphene nanosheets." Nature nanotechnology vol. 3 February 2008
- [5] K. Yossuwan, S. Phaophan, I. Sivakom "Preparation, Characterization, Mechanical and Antibacterial Properties of Silver Nanoparticles / Reduced Graphene Oxide / Natural Rubber Composite Sheets." Department of Chemistry Faculty of Science King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Academic Year 2016
- [6] W.G.I.U. Rathnayake, H. Ismail, Abaharin, A.G.N.D. Darsanasiri, Sanath Rajapakes "Synthesis and characterization of nano silver based natural rubber latex foam for imparting antibacterial and anti-fungal properties." Polymer Testing 31 (2012) 586-592.
- [7] วีระชัย แสงฉาย.2554. "สมบัติของยางธรรมชาติที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนและนาโนเคลย์" วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [8] Retrieved September, 2010. [Online]. Available: <http://kb2tmp.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/6163/9/Chapter2.pdf>
- [9] T. Schneider, A. Baldauf, L. A. Ba, V. Jamier, K. Khairan, M. B. Sarakbi, N. Reum, M. Schneider, A. Röseler, K. Becker, T. Burkholz, P. G. Winyard, M. Kelkel, M. Diederich, and C. Jacob. **“Selective Antimicrobial Activity Associated with Sulfur Nanoparticles.”** *Biomedical Nanotechnology*. Vol. 7 (2011) 1–11.
- [10] Novoselov, K. S. Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Katsnelson, M. I, Grigorieva, I.V., Dubonos, S. V. and Firsov, A. A. (2004). **“Electric field effect in atomically thin carbon films.”** *Science*, 306, 666.
- [11] Retrieved March 20, 2016. [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/cs5404061636216/khomng-ngan-wicay/khunsmbati-khxng-kaerfin-graphene>.
- [12] Choi, W. and Lee, J.-W. (2012). **“Graphene Synthesis and Applications.”** CRC Press Taylor & Francis Group. U.S. Ch. 2.
- [13] Wei Gao, Lawrence B. Alemany, Lijie ci & Pulickel M. Ajayan. 2009. **“New insights into the structure and reduction of graphite oxide.”** *Nature Chemistry*1, 403-408.
- [14] Retrieved June 14, 2017. (Online). Available: <https://th.wikipedia.org/wiki/sulas>
- [15] Zong-ming Xiu, Qing-bo Zhang, Hema L. Puppala, Vicki L. Colvin, and Pedro J. J. Alvarez. **Negligible Particle-Specific Antibacterial Activity of Silver Nanoparticles,** *NanoLett.*, 2012, 12 (8), pp 4271–4275.
- [16] Retrieved December 4, 2012. [Online]. Available: <http://illumin.usc.edu/299/silver-nanoparticles-a-valuable-weapon-in-microbial-warfare/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[17] Retrieved June 18, 2015. (Online). Available:

file:///C:/Users/kmitl/Downloads/Fulltext%2316_376571.pdf

[18] N.A. Ibrahim, B.M. Eid, H. El-Batal. 2012. "Novel approach for adding smart functionalities to cellulosic fabrics." *Carbohydrate Polymers*. 87: 744-751.

[19] 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.

[20] 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.

[21] 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.

[22] 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.

[23] 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

[24] Retrieved September 14, 2015. [Online]. Available: <http://www.wikiwand.com/pt/>

- [25] W. Prasanseang, C. Sriwong, K. Choojun. 2017. "Effect of Synthesized Ag Nanoparticles by Using the Different Amounts of Polyvinylpyrrolidone for Ag-Natural Rubber Hybrid Sheets and Their Antibacterial Properties." Department of Chemistry, Faculty Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok, Thailand.
- [26] Retrieved September 4, 2013. [Online]. Available: <http://cienciasdejoseleg.blogspot.com/2013/11/division-instantanea-en-procariotas.html>
- [27] สภาพร พรหมศร. 2555. "การเตรียมนาโนคอมพอสิตของยางธรรมชาติกับอนุภาคนาโนอินทรีย์และอนินทรีย์" วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาเคมีนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [28] Retrieved August 31, 2014. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/Publication/265170648> Antimicrobial activity of the metals and metal oxide Nanoparticles
- [29] Retrieved February 07, 2010. [online]. Available: <http://www.vcharkarn.com/article/41687>
- [30] R. E. Abharia, P. A. Mouthuya, N. Zargara, C. Browna, A. Carr. "Effect of annealing on the mechanical properties and the degradation of electrospun polydioxanone filaments." Journal of the mechanical behavior of biomedical materials 67 (2017) 127–134.
- [31] P. Pittayavinai, S. Thanawan, T. Amornsakchai. "Comparative study of natural rubber and acrylonitrile rubber reinforced with aligned short aramid fiber." Polymer Testing 64 (2017) 109-116.

- [32] L. Chen, Z. Jia, X. Guo, B. Zhong, Y. Chen, Y. Luo. “Functionalized HNTs nanocluster vulcanized natural rubber with high filler-rubber interaction.” *Chemical Engineering Journal* 336 (2018) 748-756.
- [33] Y. Ko, Y. Lee, K. Devarayan, B. Kim, T. Hayashi, I. Kim. “Annealing effects on mechanical properties and shape memory behaviors of silicon-coated elastomeric polycaprolactone filaments.” *Materials Lett.* 131 (2014) 128-131.
- [34] D.C. Stanier a, A.J. Patil b, C. Sriwong b, S.S. Rahatekar a, J. Ciambella “The reinforcement effect of exfoliated graphene oxide nanoplatelets on the mechanical and viscoelastic properties of natural rubber.” *Composites Science and Technology* 95 (2014) 59–66.
- [35] Y. Guo, J. Zhao, S. Yang, K. Yu, Z. Wang, H. Zhang “Preparation and characterization of monoclinic sulfur nanoparticles by water-in-oil microemulsions technique” *Powder Technology* 162 (2006) 83 – 86
- [36] W. Techangkul, C. Sriwong. 2017. “Preparation, characterization and photocatalytic properties of rGO/TiO₂/natural rubber composite sheets” Department of Chemistry, Faculty Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Road, Ladkrabang, Bangkok, Thailand.
- [37] MATADOR RUBBER s.r.o. “RUBBER CHEMISTRY.” Vert, (2007) 6-94
- [38] Retrieved September 14, 2015. [Online]. Available: <http://.wikiwand.com/pt/พอลิไพโรไลต์>
- [39] Retrieved January 14, 2013. [Online]. Available: <https://www.tcithaijo.org/index.php/journalup/article/view/43268/35759>

ไพโรไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[40] Retrieved September 2, 2014. [Online]. Available:

<http://sites.google.com/site/cs5404061636219/Khorng-ngan-wicay/khusmbait-khxng-keafin-graphene>

[41] P. Junkong, a K. Cornishb and Y. Ikeda, “Characteristics of mechanical properties of Sulphur cross-linked guayule and dandelion natural rubbers.” RSC Advances., 2017, 7, 50739

[42] M. Noozi, 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.

[43] N. Yan, G. Buonocore, M. Lavorgna, S. Kaciulis, S. K. Balijepalli, Y. Zhan, H. Xia, and L. Ambrosio. “The role of reduced graphene oxide on chemical, mechanical and barrier properties properties of natural rubber composites.” Composites Science and Technology 102 (2014) 74-81

[44] S. Yaragalla, A. P. Meera, N. Kalarikka, S. Thomas. “Chemistry associated with natural rubber-graphene nanocomposites and its effects on physical and structural properties.” Industrial Crops and Products 74 (2015) 792-802

[45] Dan li, Marc B. Muller, Scott Gije, Richard B. Kaner and Gordon G. Wallace
“Processable aqueous dispersion of graphene nanosheets.”

Nature nanotechnology vol. 3 February 2008

[46] ศาสตราจารย์ ดร.ณรงค์ฤทธิ์ สมบัติสมภพ และคณะ. 2554. “การพัฒนาวัสดุยางธรรมชาติ ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย สำหรับการประยุกต์ใช้งานในผลิตภัณฑ์ด้านอนามัย.” รายงานวิจัย

คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [47] N. Yan, G. Buonocore, M. Lavorgna, S. Kaciulis, S. K. Balijepalli, Y. Zhan, H. Xia, L. A. Y. Zhan, H. Xia, L. Ambrosio. “The role of reduced graphene oxide on chemical, mechanical and barrier properties of natural rubber composites.” *Composites Science and Technology*, 102 (2014) 74–81
- [48] Retrieved August 31, 2014. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/Publication/265170648> Antimicrobial activity of the metals and metal oxide Nanoparticles



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

• การหาน้ำหนักของแผ่นยางธรรมชาติ

นำน้ำยางธรรมชาติปริมาตร 7 มิลลิลิตร เทลงในแม่แบบพิมพ์พลาสติก และปล่อยให้แห้ง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก

จำนวนครั้ง	น้ำหนักของแผ่นยางธรรมชาติ (กรัม)
1	3.4468
2	3.5608
3	3.8630
เฉลี่ย	3.5313

• การหาความเข้มข้นของกราฟีนออกไซด์ (GO)

ปีเปตสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 1 มิลลิลิตร และนำไปอบให้แห้ง จากนั้นนำชั่งน้ำหนัก

จำนวนครั้ง	น้ำหนักของ GO (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)
1	6.2323
2	5.5700
3	5.5998
เฉลี่ย	5.8007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• การหาความเข้มข้นของซิลเวอร์นาโน (AgNPs)

ปิเปตสารแขวนลอยซิลเวอร์นาโนที่ผสมระหว่างซิลเวอร์ไนเตรท (AgNO_3) กับพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) และสารละลายพอลิไวนิลไพโรลิโดน (PVP) มาอย่างละ 1 มิลลิลิตร และนำไปอบให้แห้ง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนัก

ครั้งที่	น้ำหนักของ AgNO_3 + PVP (กรัม)	น้ำหนักของ PVP (กรัม)	น้ำหนักของ AgNPs (กรัม)
1	0.0314	0.0260	0.0113
2	0.0345	0.0262	0.0089
3	0.0314	0.0258	0.0095
		เฉลี่ย	0.0099 (9.9 mg/ml)

• การหาปริมาณสารแขวนลอยซิลเฟอร์ที่เติมลงไปในแผ่นยางธรรมชาติ

ยกตัวอย่าง การหาปริมาณซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักในแผ่นยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก \rightarrow ถ้า 100 ml มีน้ำยาง 60 g

ในการทดลองใช้ 7 ml มีน้ำยาง 4.2 g

สารแขวนลอยความเข้มข้นร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก \rightarrow ถ้า 100 ml มีซิลเฟอร์ 50 g

ถ้าต้องการหาปริมาณซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก \rightarrow ต้องใส่ลงไป 0.21 g

ดังนั้น จะใช้สารแขวนลอยซิลเฟอร์ = $\frac{(0.21\text{g})(1.00\text{ml})}{0.50\text{g}} = 0.42$ มิลลิลิตร

• การหาค่าร้อยละโดยมวลของตัวถูกละลาย

$$\text{สูตร ร้อยละโดยมวล} = \frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลของสารละลาย}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกตัวอย่าง

การหาค่าร้อยละโดยมวลของปริมาตรการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) ที่ปริมาณ 0.28 wt.%

คิดร้อยละโดยมวล โดยใช้น้ำหนักของยางแห้งเท่ากับ 3.5313 กรัม

$$\text{ดังนั้น จะได้ } 0.28 \text{ wt.}\% = \frac{x}{(3.5313g)+x} \times 100$$

$$x = \frac{(0.28)(3.5313+x)}{100}$$

$$x = \frac{(0.9888)+(0.28x)}{100}$$

$$100x - 0.28x = 0.9888$$

$$x = \frac{0.9888}{99.72}$$

$$= 0.009916 \text{ g} \approx 9.916 \text{ mg}$$

ดังนั้น จะได้ปริมาณ rGO ที่ต้องใส่ลงไปในพื้นที่ยางธรรมชาติเท่ากับ 9.916 มิลลิกรัม

จากความเข้มข้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เท่ากับ 5.8007 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{ต้องใช้ rGO ปริมาตร (ml)} &= \frac{\text{ปริมาณ rGO ในพื้นที่ยางธรรมชาติ (mg)}}{\text{ความเข้มข้นของ rGO (mg/ml)}} \\ &= \frac{9.916 \text{ (mg)}}{5.8007 \text{ (mg/ml)}} \\ &= 1.7095 \text{ ml} \approx 1.7 \text{ ml} \end{aligned}$$

ดังนั้น ต้องใส่รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) ปริมาตร 1.7 มิลลิลิตร

ยกตัวอย่าง

การหาค่าร้อยละโดยมวลของปริมาณการเติมอนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) ที่ปริมาณ 0.05 wt.%

คิดร้อยละโดยมวล โดยใช้น้ำหนักของยางแห้งที่ผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เท่ากับ $3.5313 + 0.0099 = 3.5412 \text{ g}$

$$\text{ดังนั้น จะได้ } 0.05 \text{ wt.}\% = \frac{x}{(3.5412\text{g})+x} \times 100$$

$$x = \frac{(0.05)(3.5412+x)}{100}$$

$$x = \frac{(0.1771)+(0.05x)}{100}$$

$$100x - 0.05x = 0.1771$$

$$x = \frac{0.1771}{99.95}$$

$$x = 0.0017719 \text{ g} \approx 1.7719 \text{ mg}$$

ดังนั้น จะได้ปริมาณ AgNPs ที่ต้องใส่ลงไปในแผ่นยางธรรมชาติเท่ากับ 1.7719 มิลลิกรัม



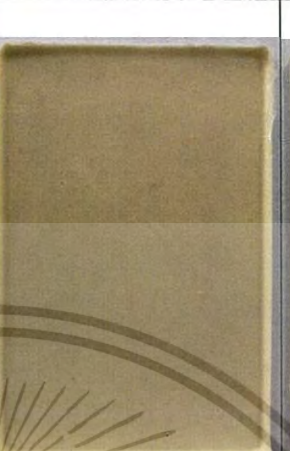

จากความเข้มข้นของอนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) เท่ากับ 9.9 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \text{ต้องใช้ AgNPs ปริมาตร (ml)} &= \frac{\text{ปริมาณ AgNPs ในแผ่นยางธรรมชาติ (mg)}}{\text{ความเข้มข้นของ AgNPs (mg/ml)}} \\ &= \frac{1.7719 \text{ (mg)}}{6.4 \text{ (mg/ml)}} \\ &= 0.2769 \text{ ml} \approx 0.3 \text{ ml} \end{aligned}$$




ดังนั้น ต้องใส่อนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) ปริมาตร 0.3 มิลลิลิตร

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 รูปแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติมกับแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ปริมาณต่าง ๆ

			
NR	NR+S_3 wt.%	NR+S_5 wt.%	NR+S_10 wt.%

ตารางที่ ข.2 รูปแผ่นยางธรรมชาติผสมซัลเฟอร์ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิต่างๆ

		
NR+S_5 wt.%+T90	NR+S_5 wt.%+T100	NR+S_15 wt.%+T110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

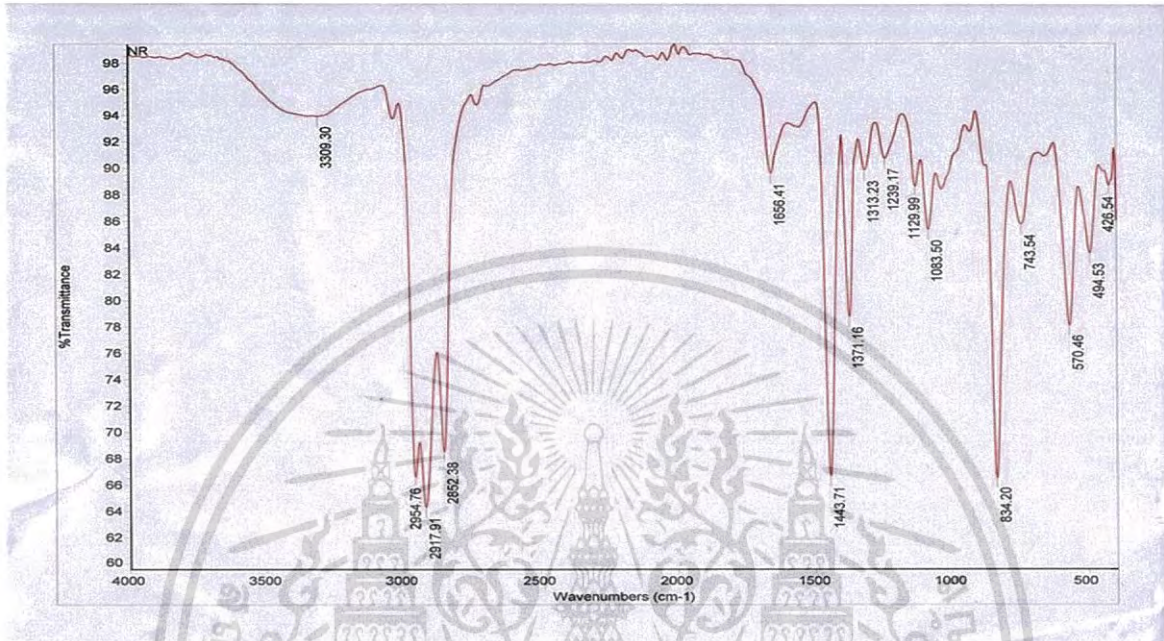
ตารางที่ ข.3 รูปแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณคงที่ (ร้อยละ 0.28 wt.%) เติมซัลเฟตปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก เติมอนุภาคซิลเวอร์นาโนปริมาณร้อยละ 0.05 wt.% และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C

					
NR+rGO	NR+rGO+S_5 wt.% (black)	NR+rGO+S_5 wt.% (white)	NR+rGO+ Ag_0.05 wt.%	NR+rGO+S_5 wt.% (black)	NR+rGO+S_5 wt.% (white)
					
NR+rGO+T100	NR+rGO+Ag_0.05 wt.%+T100	NR+rGO+Ag_0.05 wt.%+T100	NR+rGO+ Ag_0.05 wt.%+T100	NR+rGO+S_5 wt.%+Ag_0.05 wt.%+T100	NR+rGO+S_5 wt.%+Ag_0.05 wt.%+T100

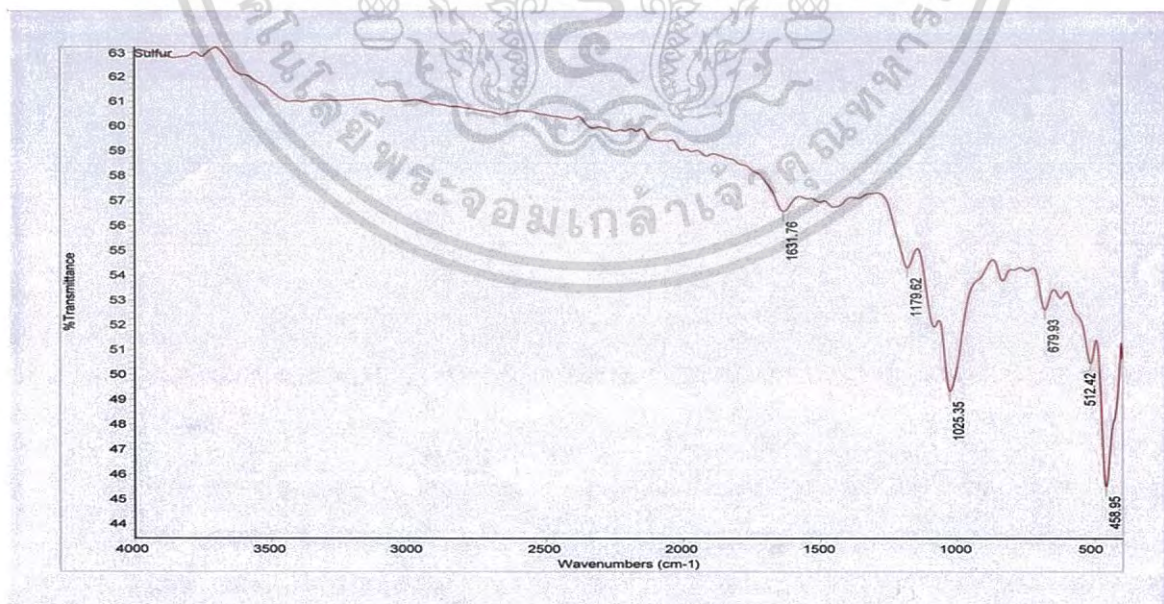
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์การตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานของการสันในโมเลกุลของสารด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier-transform infrared spectroscopy; FTIR)

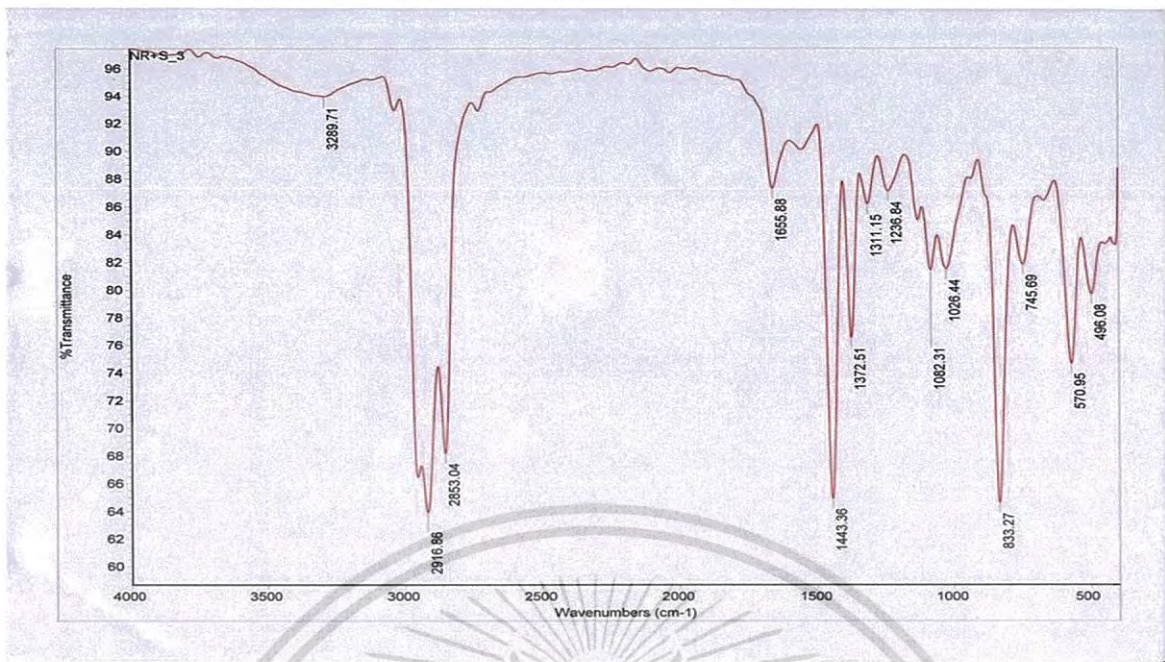


รูปที่ ค.1 แสดงกราฟ FTIR ของแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม (NR Pure)

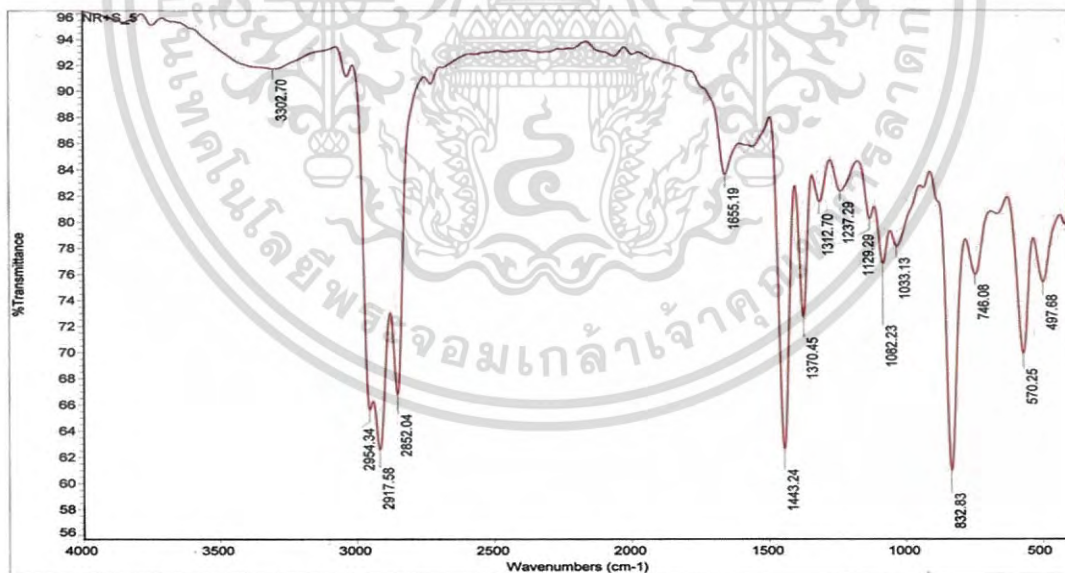


รูปที่ ค.2 แสดงกราฟ FTIR ของซัลเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

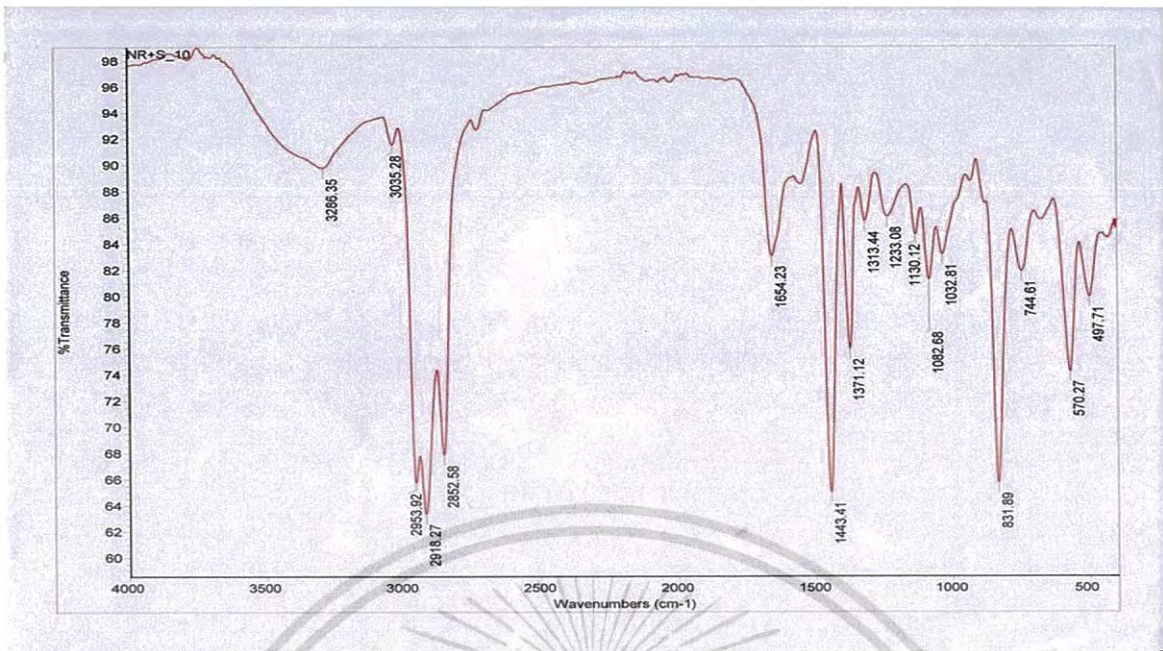


รูปที่ ค.3 แสดงกราฟ FTIR ของแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก (NR+S_3 wt.%)

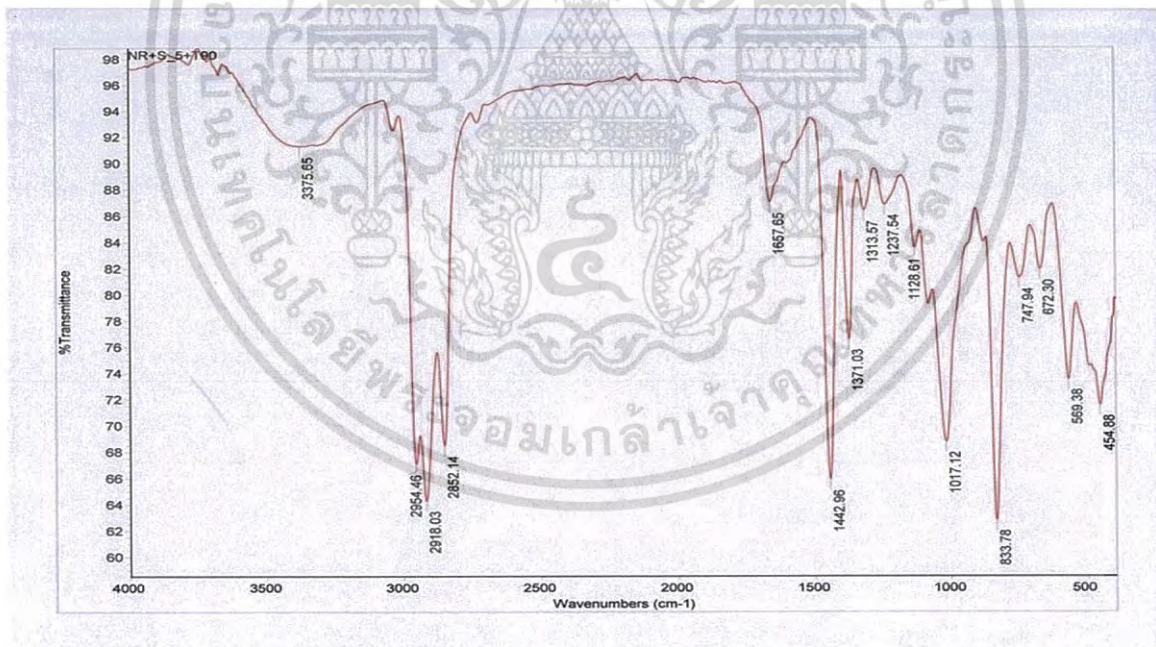


รูปที่ ค.4 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก(NR+S_5 wt.%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

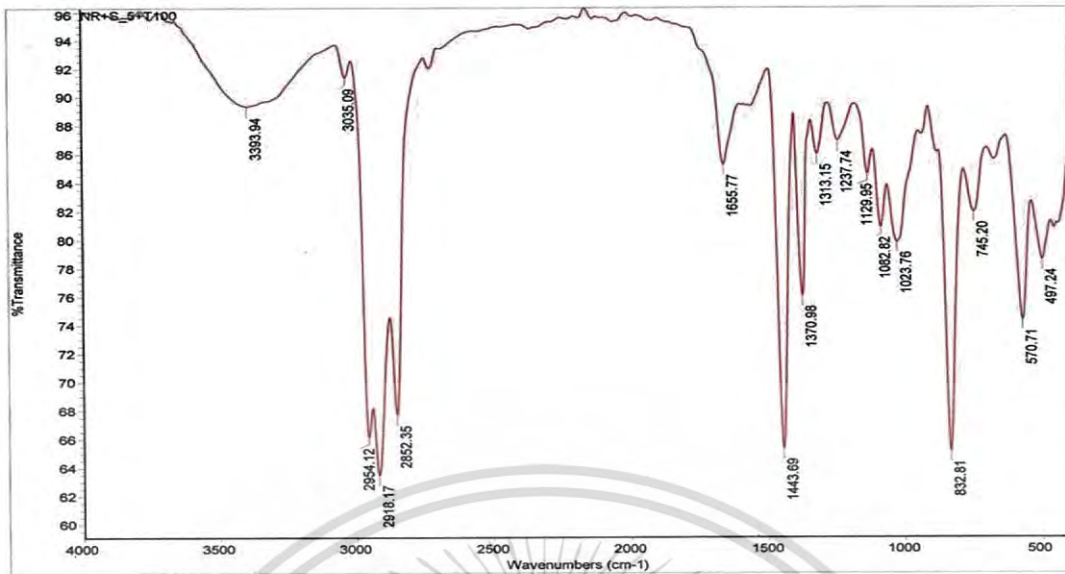


รูปที่ ค.5 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก(NR+S_10 wt.%)

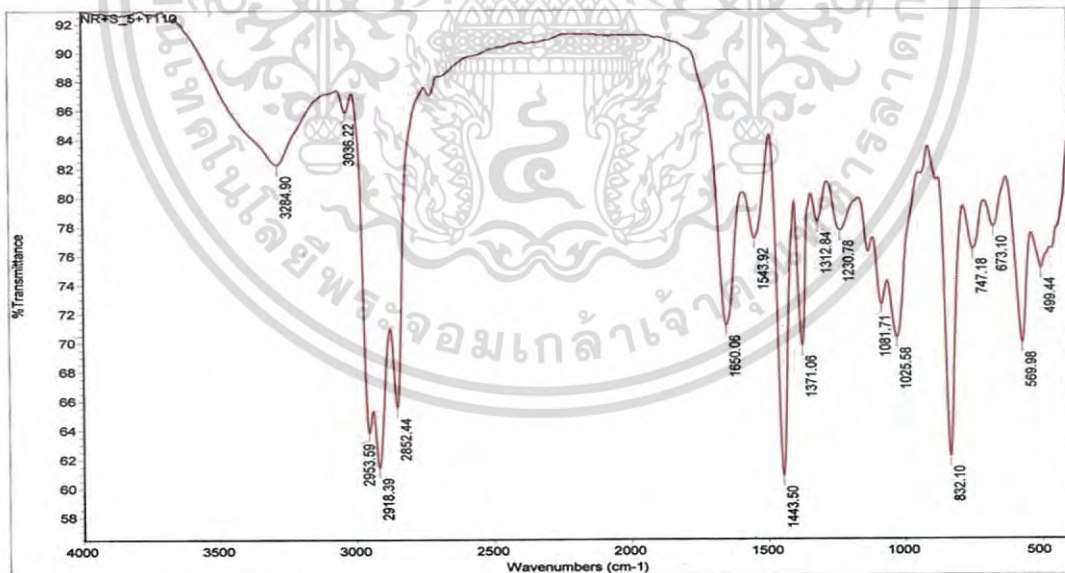


รูปที่ ค.6 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 90°C (NR+S_5 wt%+T90)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

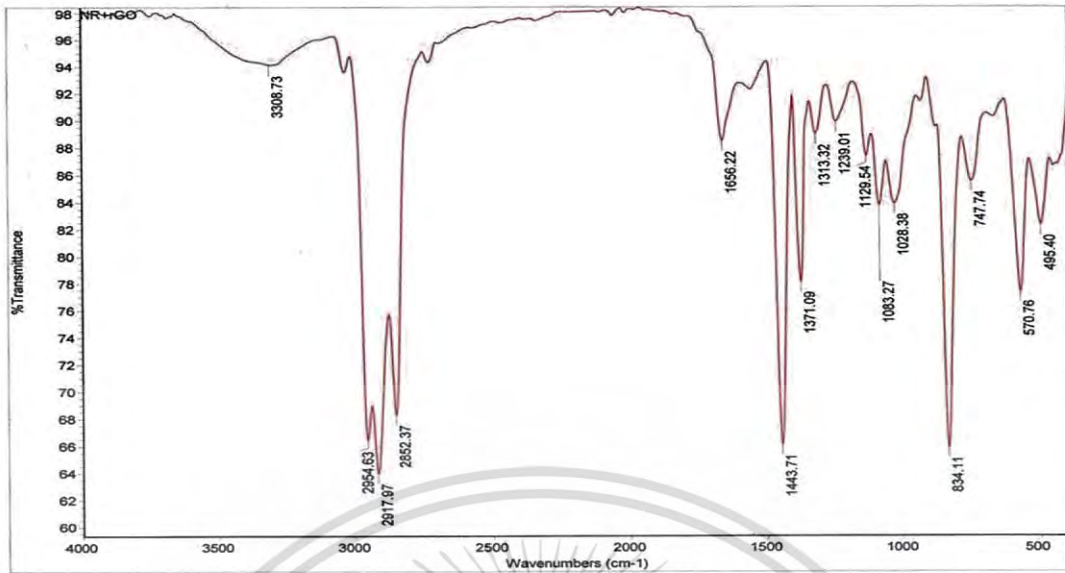


รูปที่ ค.7 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100°C (NR+S_5 wt%+T100)

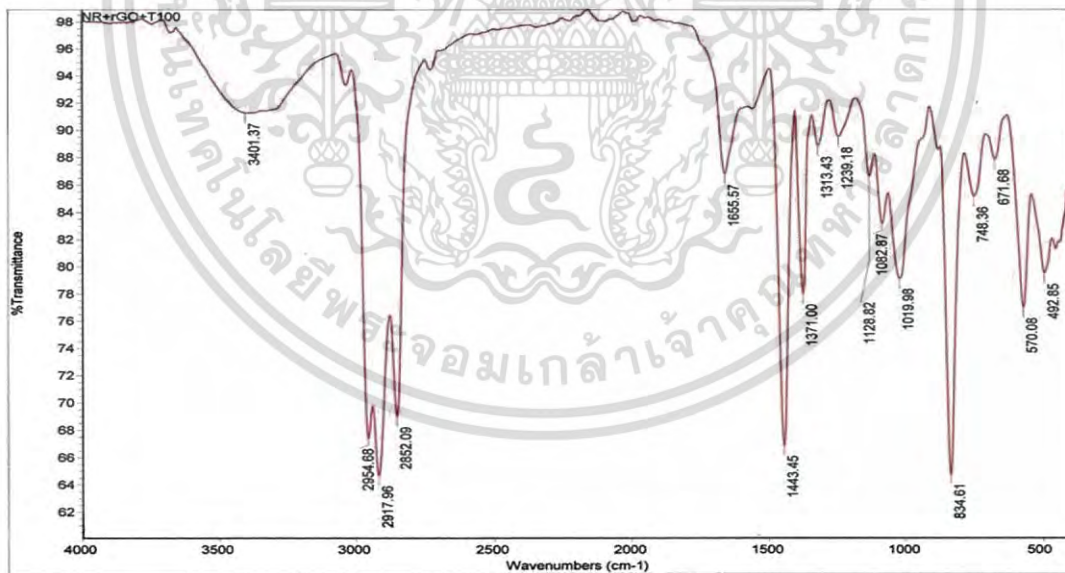


รูปที่ ค.8 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 110°C (NR+S_5 wt%+T110)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

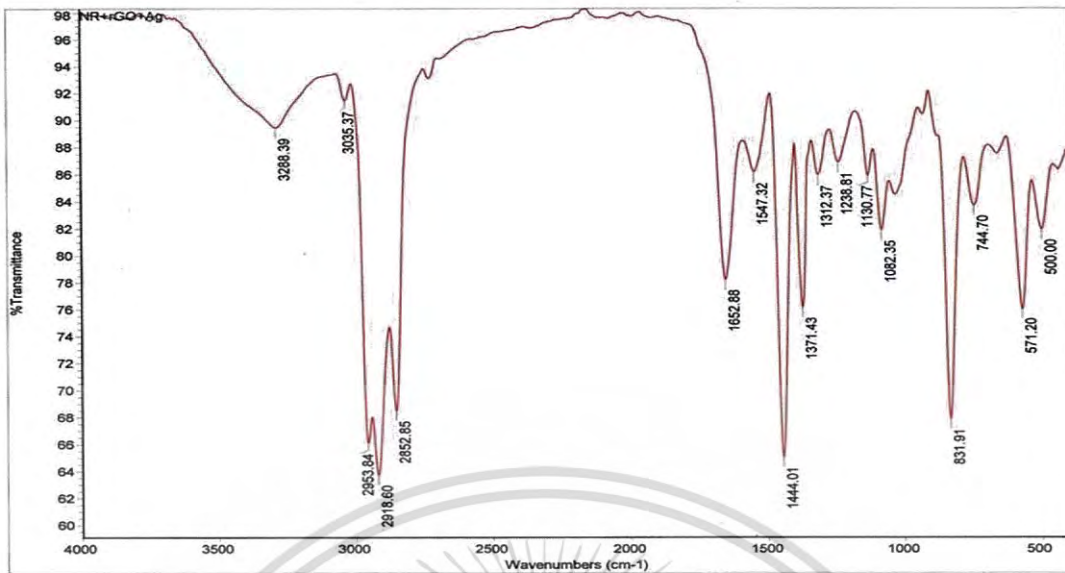


รูปที่ ค.9 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก (NR+rGO_0.28 wt.%)

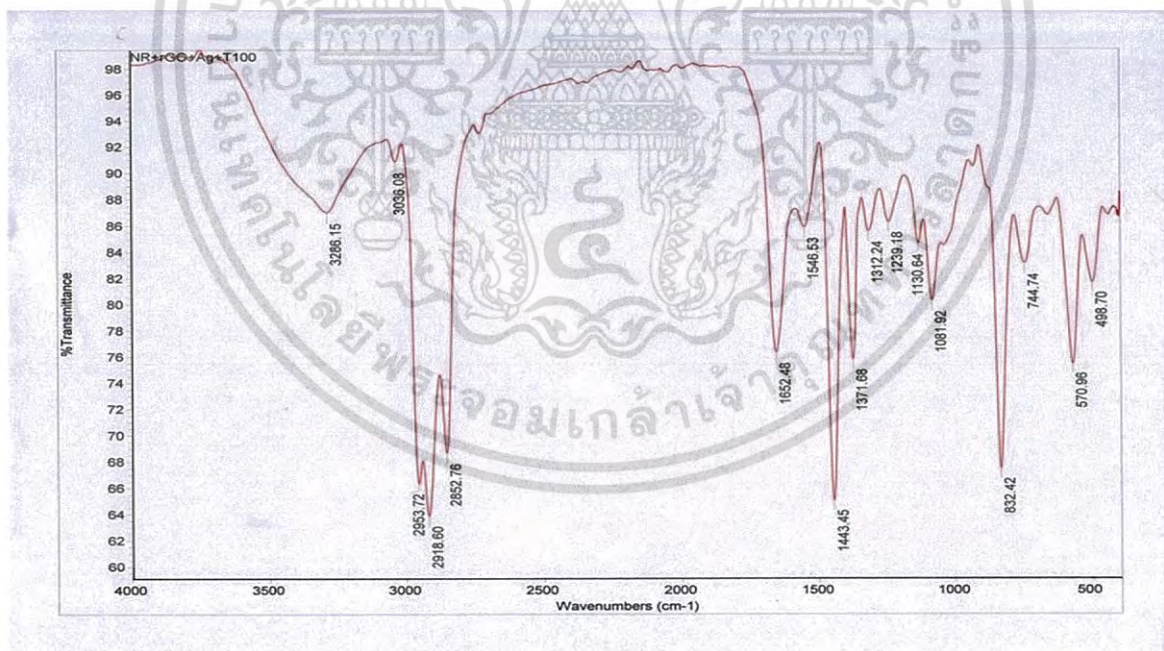


รูปที่ ค.10 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C (NR+rGO_0.28 wt.%+T100)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

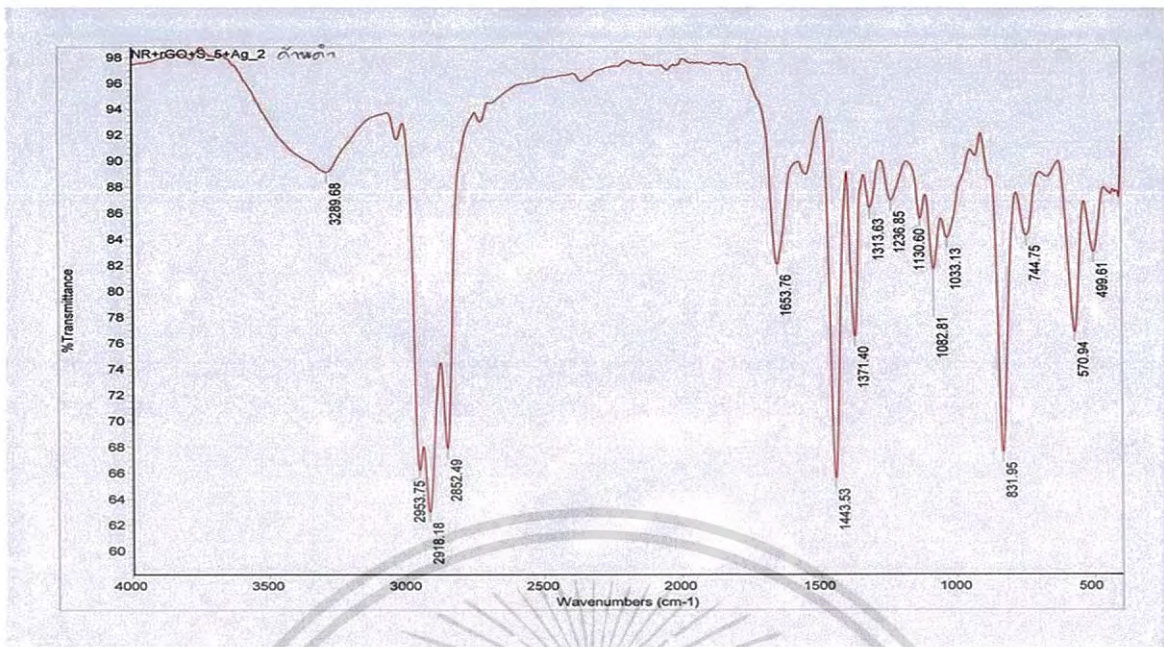


รูปที่ ค.11 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก (NR+rGO_0.28 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%)

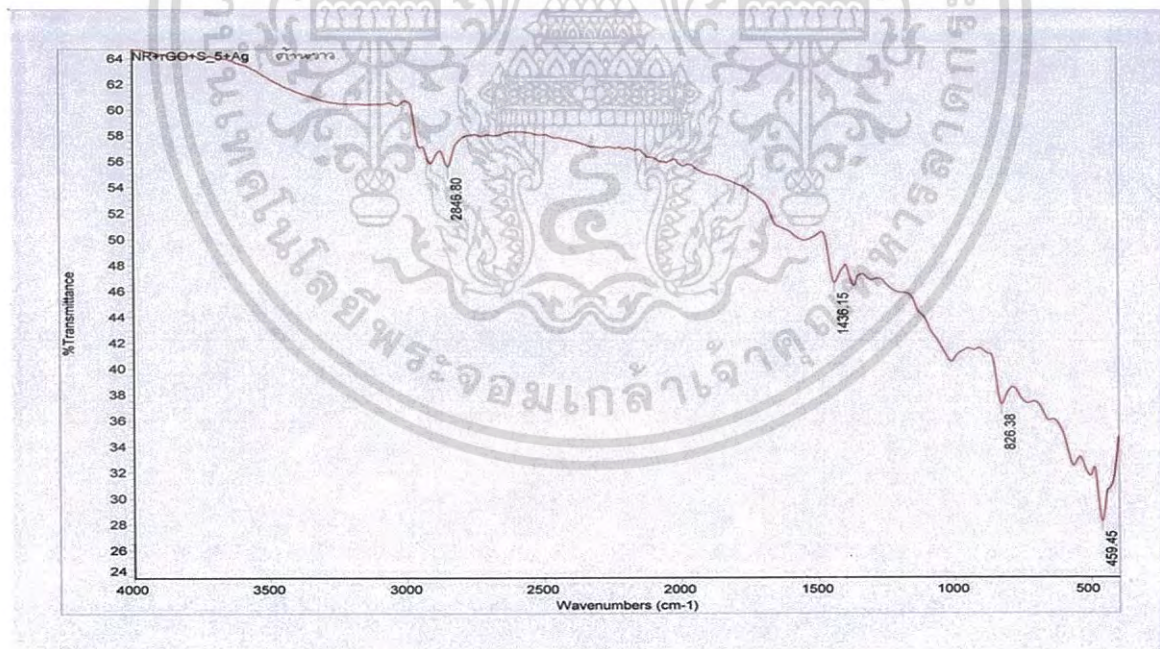


รูปที่ ค.12 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก / อนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100°C (NR+rGO_0.28 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

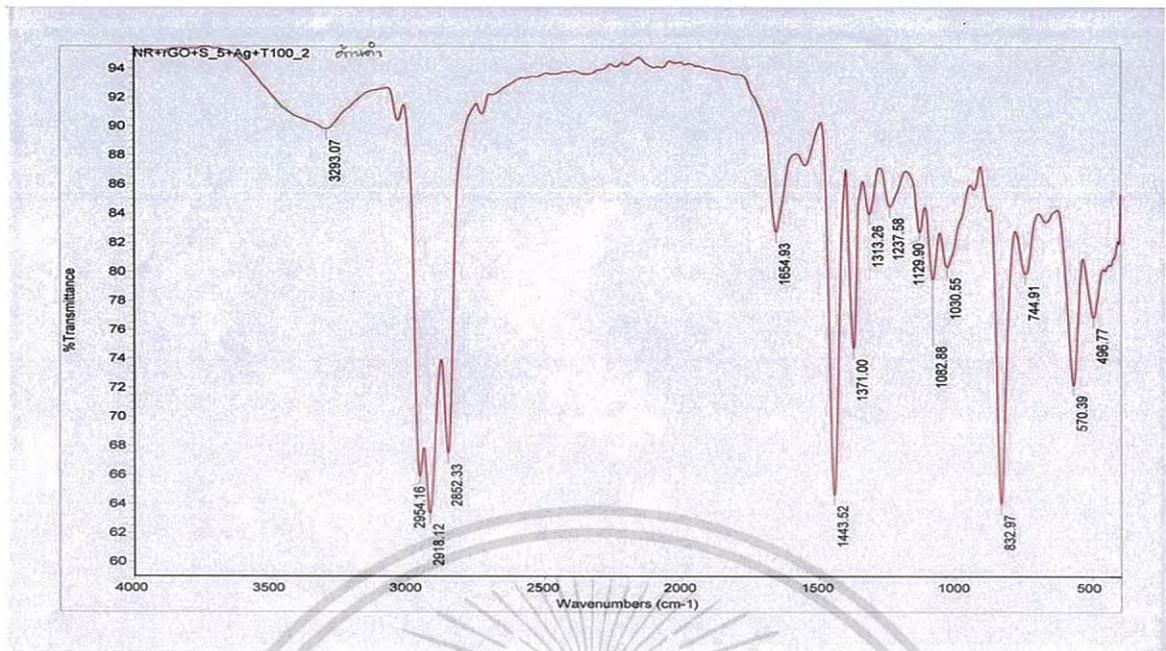


รูปที่ ค.13 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก/ ซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก (ด้านดำ) (NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%, Black)

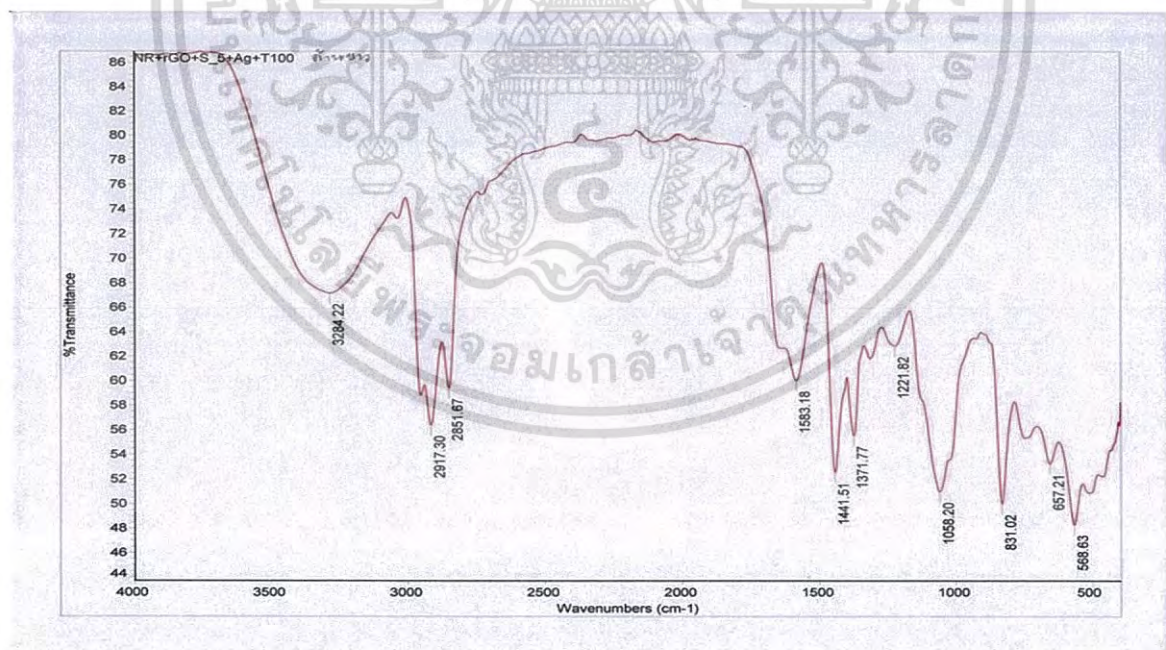


รูปที่ ค.14 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก / ซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก (ด้านขาว) (NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%, White)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.15 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก / ซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100°C (ด้านดำ) (NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100, Black)

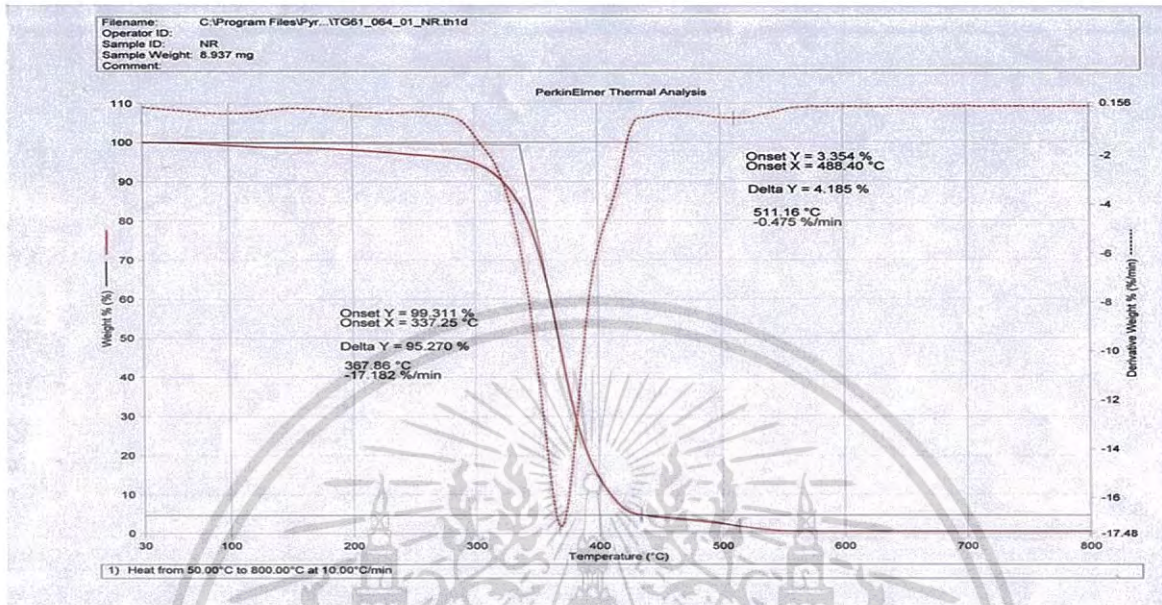


รูปที่ ค.16 แสดงกราฟ FTIR แผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก / ซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก และอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100°C (ด้านขาว) (NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100, White)

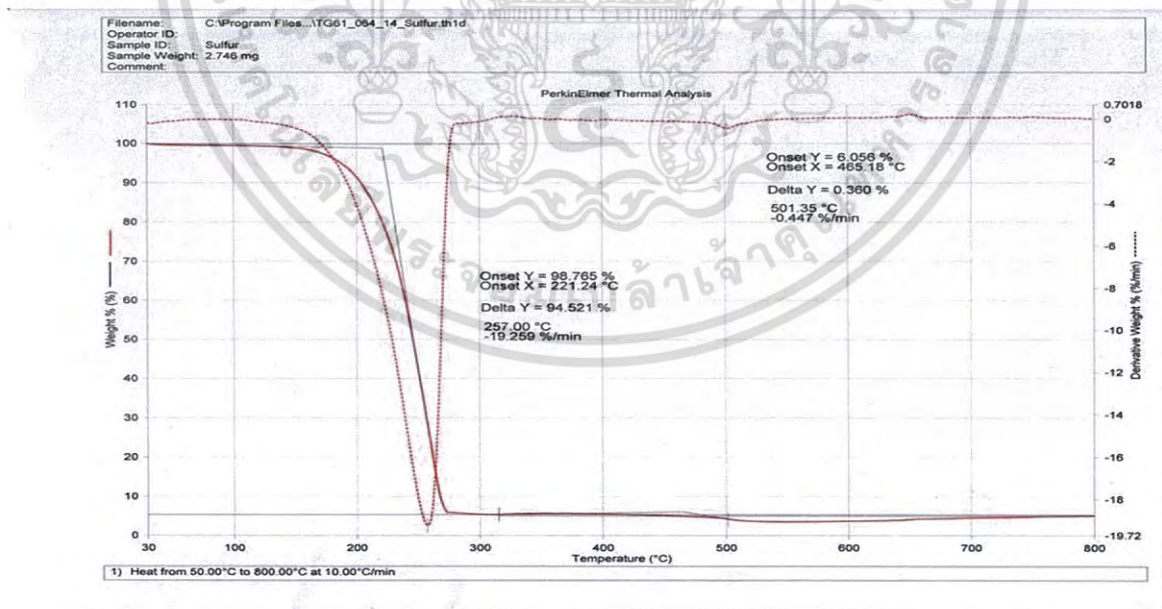
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การวิเคราะห์เชิงความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis

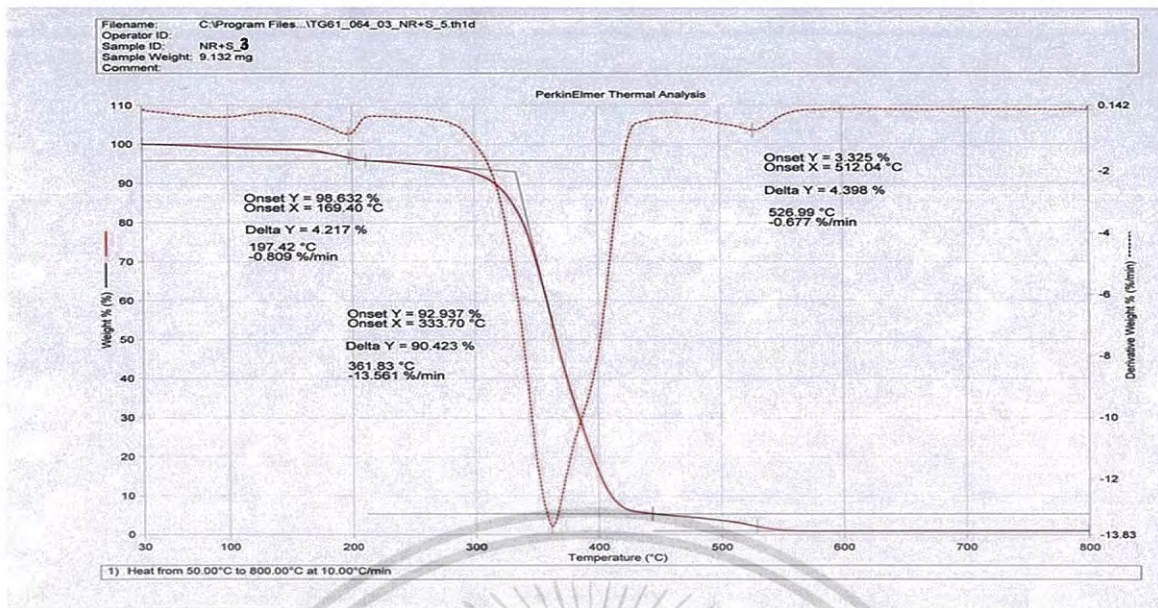


รูปที่ ง.1 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่มีสารตัวเติม (NR Pure)

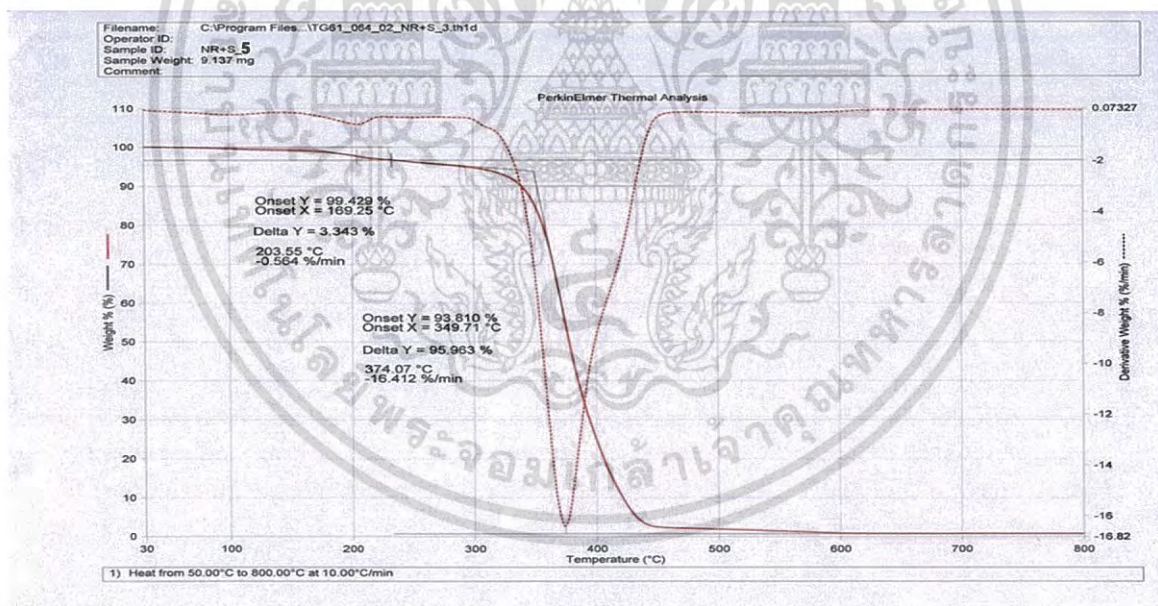


รูปที่ ง.2 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนของซัลเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

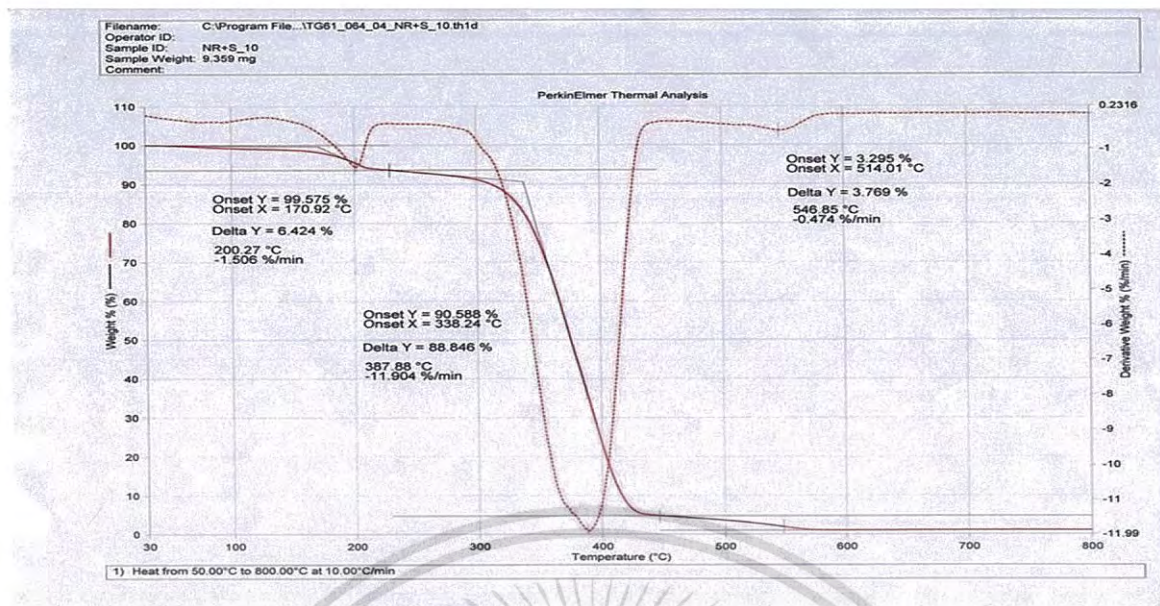


รูปที่ ง.3 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก (NR+S_3 wt.%)

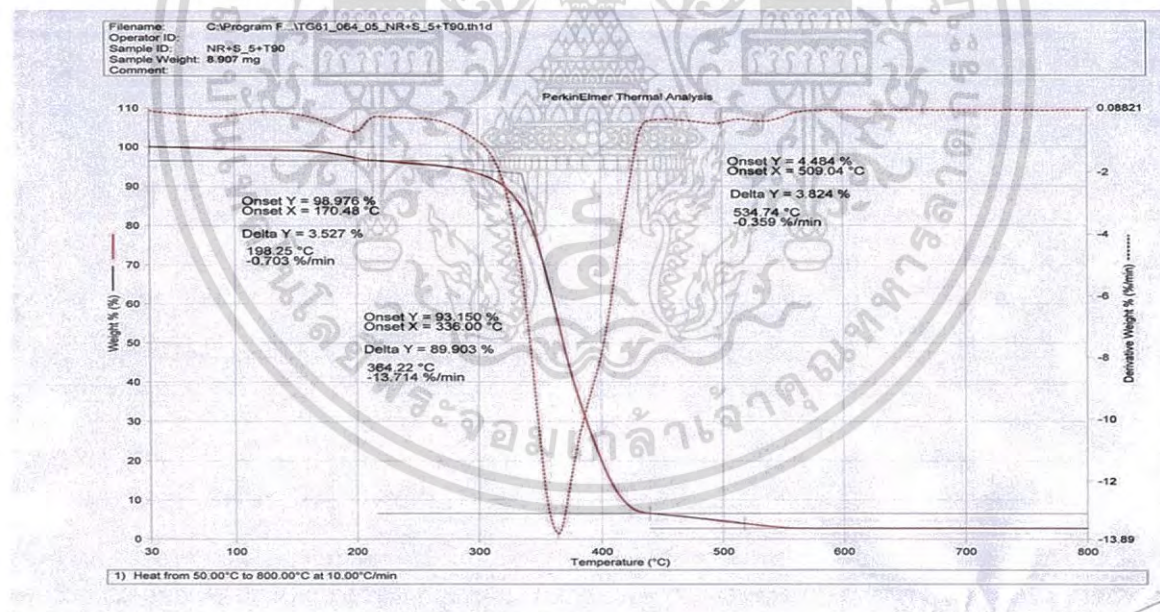


รูปที่ ง.4 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก (NR+S_5 wt.%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

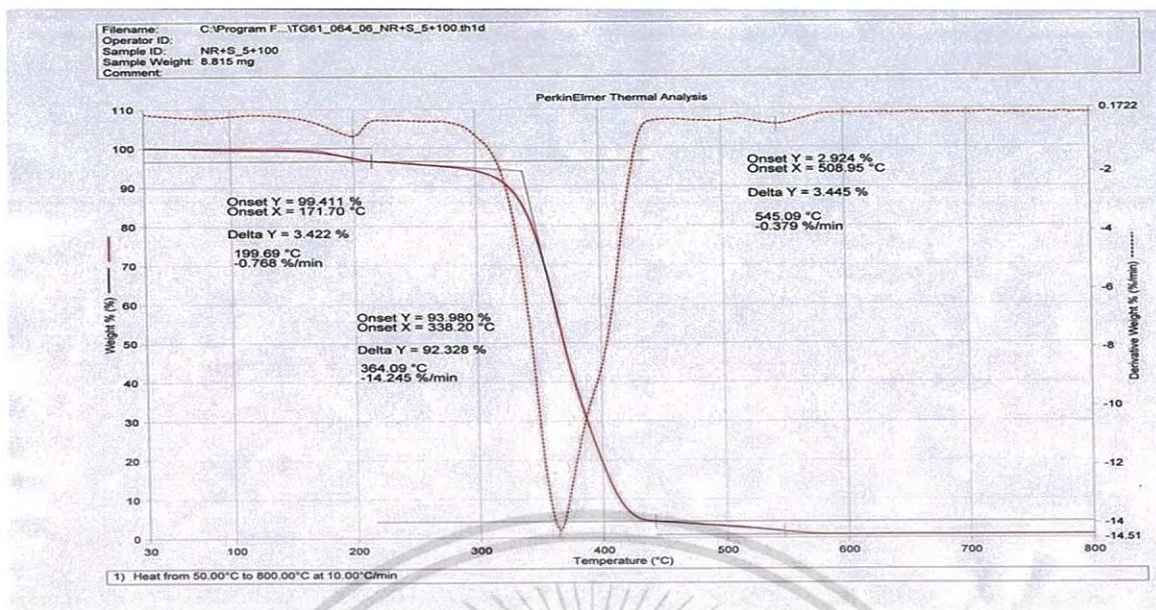


รูปที่ ง.5 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก (NR+S_10 wt.%)

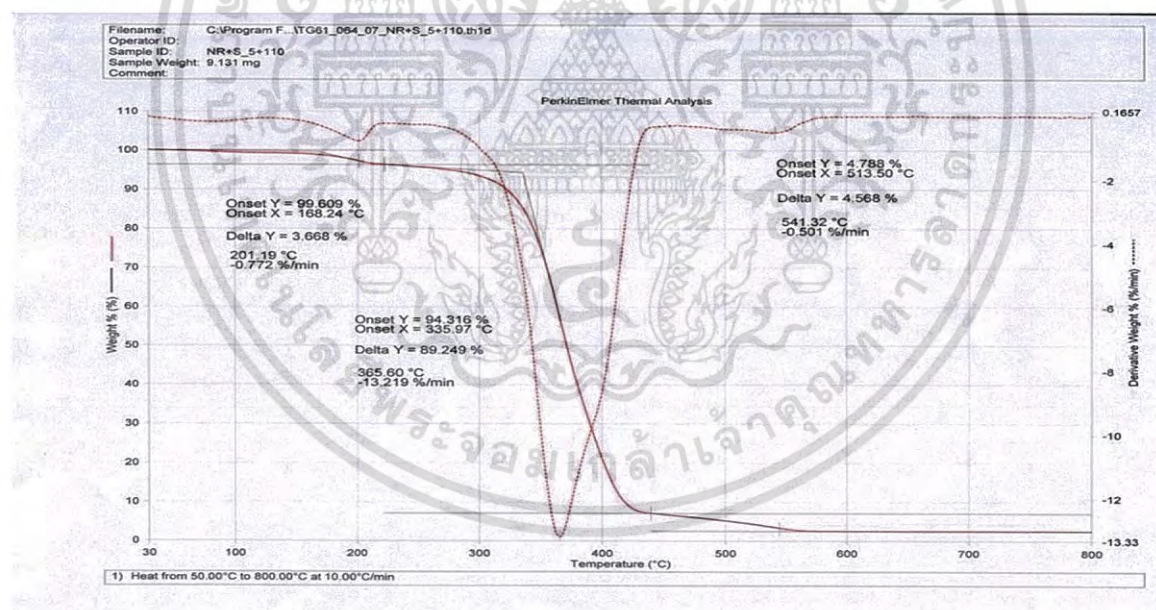


รูปที่ ง.6 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอร์ในปริมาณคงที่ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอุ่นที่อุณหภูมิ 90 °C (NR+S_5 wt.%+T90)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

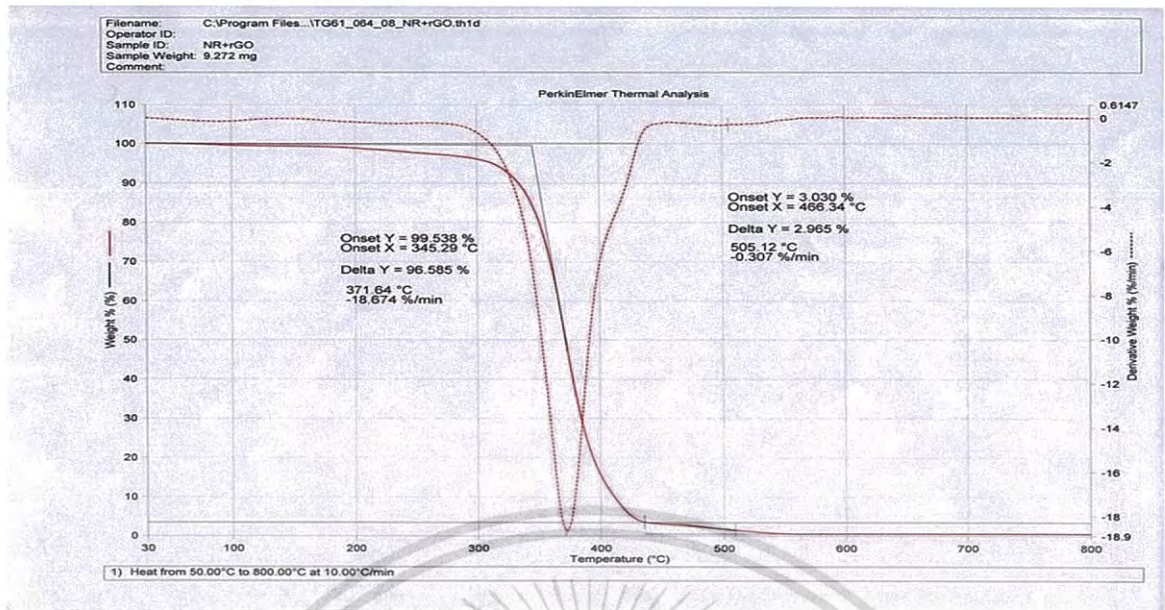


รูปที่ ง.7 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอรในปริมาณคงที่ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C (NR+S_5 wt.%+T100)

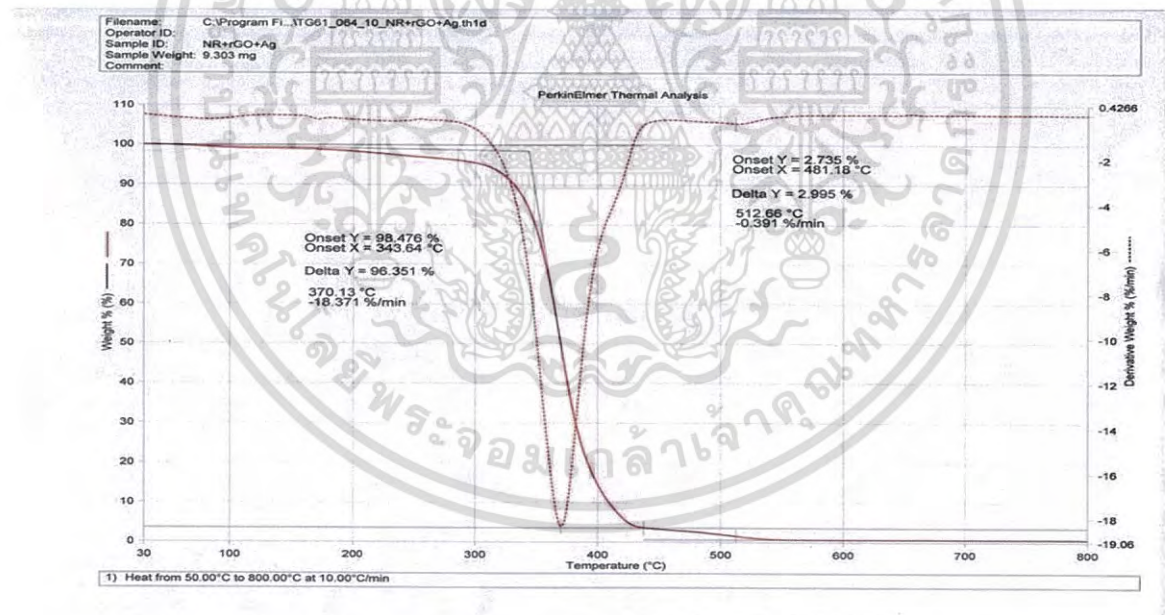


รูปที่ ง.8 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติผสมซิลเฟอรในปริมาณคงที่ ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 110 °C (NR+S_5 wt.%+T110)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

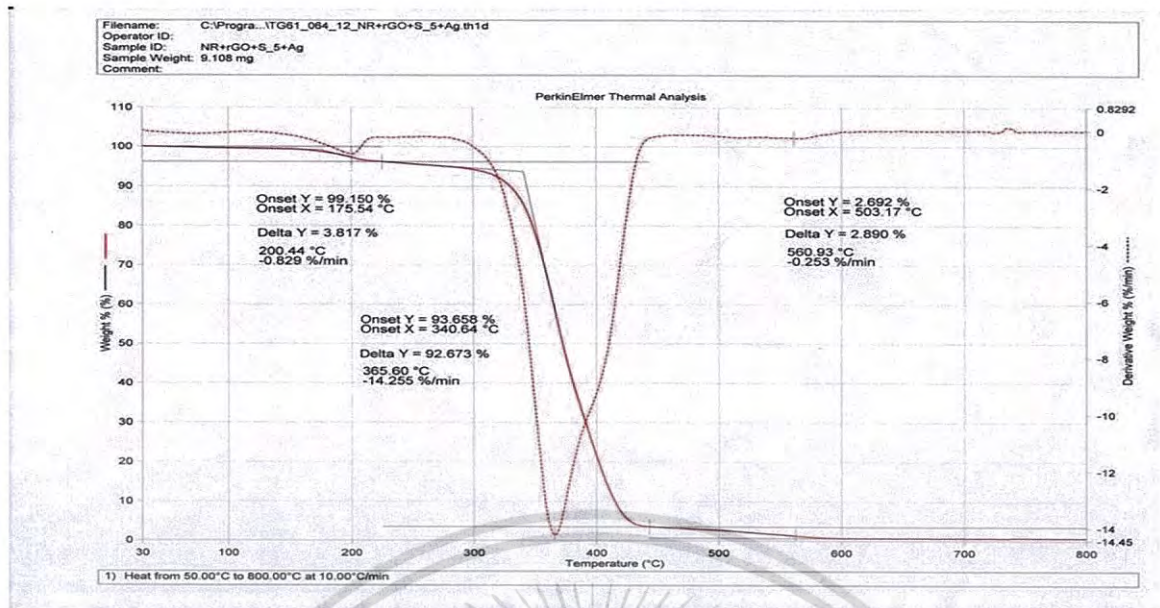


รูปที่ ง.9 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนัก (NR+rGO_0.28 wt.%)

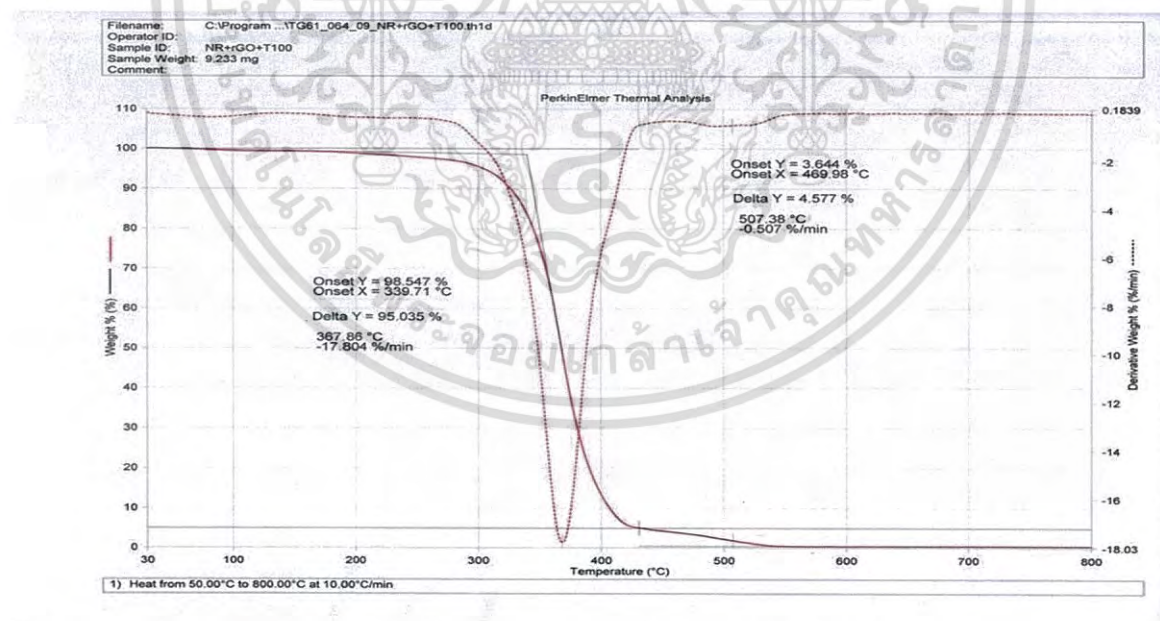


รูปที่ ง.10 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนักและอนุภาคซิลเวอร์นาโน ร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก (NR+rGO_0.28 wt.% + AgNPs_0.05 wt.%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

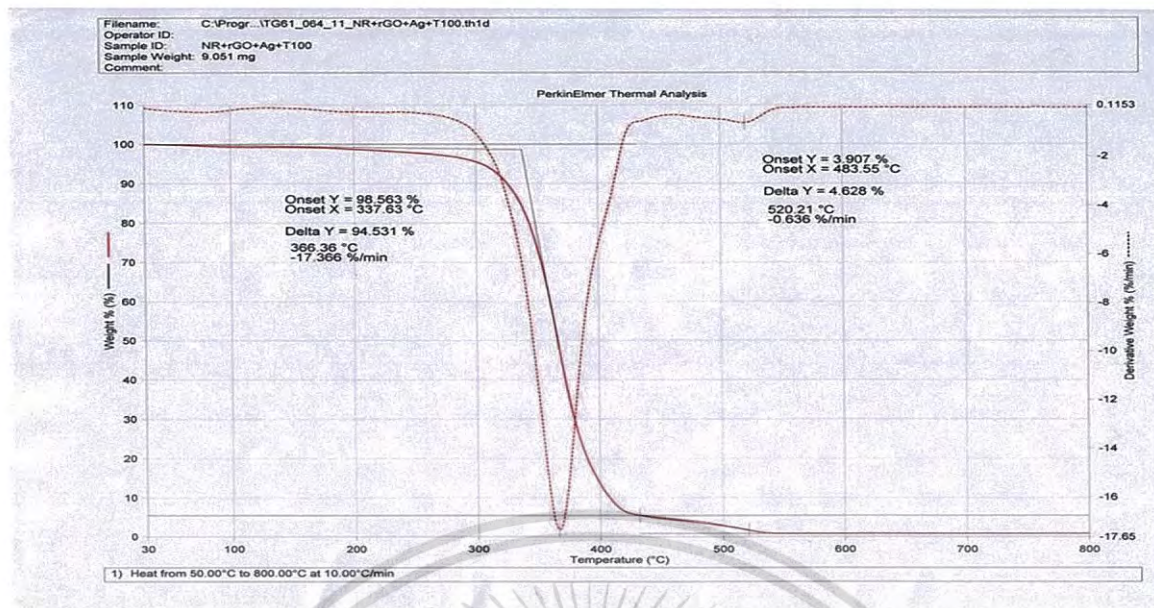


รูปที่ ง.11 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนักผสมซัลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก (NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%)

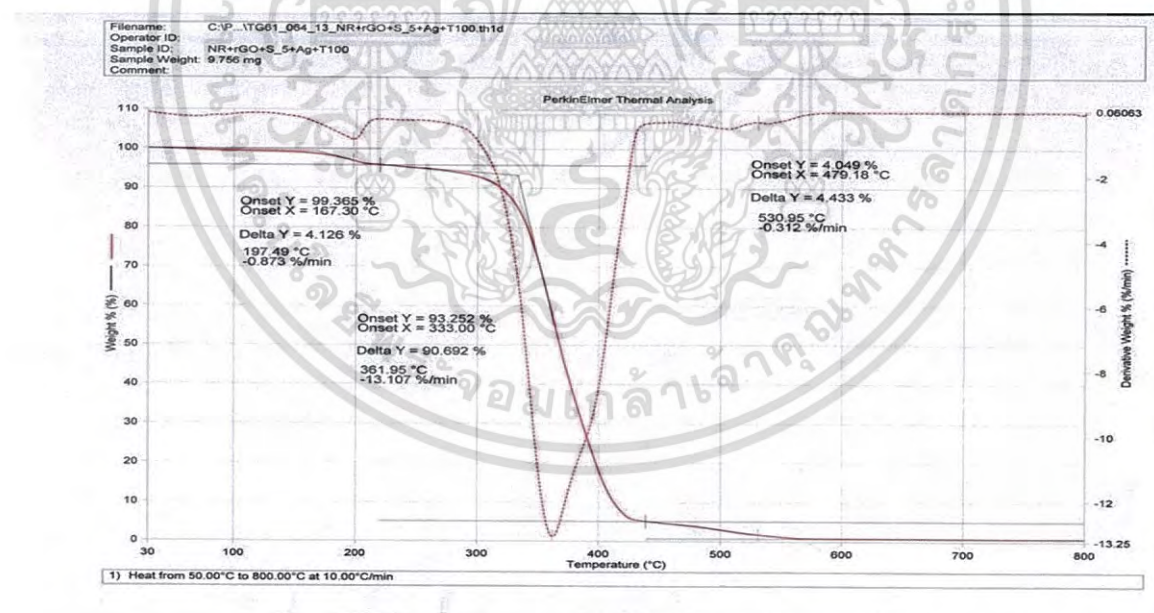


รูปที่ ง.12 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนักและและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C (NR+rGO_0.28 wt.%+T100)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง.13 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนักและอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C (NR+rGO_0.28 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100)



รูปที่ ง.14 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนแผ่นยางธรรมชาติผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ร้อยละ 0.28 โดยน้ำหนักผสมซิลเฟอร์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักและผสมอนุภาคซิลเวอร์นาโนร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนักและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 100 °C (NR+rGO_0.28 wt.%+S_5 wt.%+AgNPs_0.05 wt.%+T100)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ

วันที่ 10 เดือน กรกฎาคม พ.ศ.2561

ข้าพเจ้า นางสาวกนกวรรณ อุ่นทรัพย์ รหัสประจำตัว 57050369

นางสาวพวงทอง คมสันต์ รหัสประจำตัว 57050469

นางสาวแพรวนภา โปธิสาร รหัสประจำตัว 57050482

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี

ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การศึกษาผลของการเติมกำมะถันและอุณหภูมิการอบอ่อนของแผ่นยางธรรมชาติผสม

ชื่อภาษาอังกฤษ Studies on the sulphur loading and annealing temperature effects of natural rubber composite sheets

ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่ได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว โปรแกรมอักขรวิสุทธิ 1.14 %

ลงชื่อ...กนกวรรณ อุ่นทรัพย์... ลงชื่อ...พวงทอง คมสันต์... ลงชื่อ...แพรวนภา โปธิสาร...
(นางสาวกนกวรรณ อุ่นทรัพย์) (นางสาวพวงทอง คมสันต์) (นางสาวแพรวนภา โปธิสาร)

ข้าพเจ้า ดร. ขวาลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้นแล้ว
ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

(ดร.ขวาลย์ ศรีวงษ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้