


การเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์ และการศึกษาสมบัติการ  
ป้องกันความร้อนของแผ่นยางพาราผสมด้วยนาโนกราฟีน  
ออกไซด์และนาโนซิลิกาคอมโพสิต

PREPARATION, CHARACTERIZATION AND HEAT  
PROTECTION PROPERTIES OF PARA-RUBBER MIXED  
WITH NANO-GRAPHENE OXIDE AND NANO-SILICA  
COMPOSITE SHEETS



ธิติมา อินทรกำแหง  
นุชนารถ ชัยสมบุญเจริญ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2565  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION, CHARACTERIZATION AND HEAT  
PROTECTION PROPERTIES OF PARA-RUBBER MIXED  
WITH NANO-GRAPHENE OXIDE AND NANO-SILICA  
COMPOSITE SHEETS



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR  
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)  
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ACADEMIC YEAR 2022  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์ และการศึกษาสมบัติการป้องกัน ความร้อนของแผ่นยางพาราผสมด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาคอมโพสิต

Preparation, characterization and heat protection properties of para-rubber mixed with nano-graphene oxide and nano-silica composite sheets

ชื่อนักศึกษา

ธิติมา อินทรกำแหง รหัสนักศึกษา 62050293

นุชนารถ ชื้อสมบุญเจริญ รหัสนักศึกษา 62050297

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี




ปีการศึกษา

2565

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2565

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช ประธานกรรมการ	
ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล กรรมการ	
ผศ.ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์ และการศึกษาสมบัติการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพาราผสมด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาคอมโพสิต
ชื่อนักศึกษา	จิตติมา อินทรกำแหง รหัสนักศึกษา 62050293 นุชนารถ ชื่อสมบูรณ์เจริญ รหัสนักศึกษา 62050297
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2565
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์ และความเป็นไปได้เกี่ยวกับคุณสมบัติการป้องกันความร้อน การสะท้อนหรือการดูดกลืนความร้อนของแผ่นยางพารา (NR) ผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ (nGO) และนาโนซิลิกา (SiO<sub>2</sub>) คอมโพสิต เตรียมได้โดยวิธีการผสมและขึ้นรูปอย่างง่าย (Latex mixing and casting process) การเตรียมแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาคอมโพสิต (NR/nGO/SiO<sub>2</sub>) ทำการคงที่ปริมาณของน้ำยางพารา 55 มล. ปริมาณนาโนกราฟีนออกไซด์ 12 มล. และเติมนานาซิลิกาปริมาณความเข้มข้นต่างกัน (0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 wt%) และทำการเตรียมแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ (NR/GO) และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ (NR/nGO) โดยคงที่ปริมาณน้ำยางพารา 55 มล. และเติมนานาซิลิกาหรือกราฟีนออกไซด์ปริมาณต่างๆ (4, 8, 12 และ 16 มล.) แผ่นยางพาราคอมโพสิตที่เตรียมได้จะถูกตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อิมิชัน (FE-SEM), สเปกโทรเมตรีรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (EDS), รามานสเปกโทรสโคปี (Raman), เครื่องยูนิเวอร์เซล (UTM), การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD), อินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (FT-IR), เครื่องวัดการสะท้อนแสง (UV - VIS - NIR Spectrophotometer) การทดสอบการนำความร้อนด้วยภาพถ่ายการจับความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared; IR) เพื่อสังเกตกระจายความร้อนบนพื้นผิวของแผ่นยางพาราคอมโพสิต และกล้องทดสอบความสามารถในการสะท้อนความร้อนจากการฉายแสง นอกจากนี้ยังศึกษาขนาดอนุภาคของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ และนาโนกราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่อง Particle Analyzer และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) จากการทดสอบวัดค่าการนำความร้อนโดยใช้ภาพถ่ายการจับความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่วางไว้ก่อนนำเข้าไปงาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ได้  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่าง ๆ ผลการทดสอบพบว่าแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 wt% (NR/nGO/0.05 wt%SiO<sub>2</sub>) มีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด และจากการทดสอบความสามารถในการสะท้อนความร้อน พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณนาโนซิลิกาลงในแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ ทำให้สามารถสะท้อนความร้อนได้มากยิ่งขึ้น หรือมีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดี

**คำสำคัญ :** แผ่นยางพารา นาโนกราฟีนออกไซด์ นาโนซิลิกา แผ่นยางพาราผสมด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาคอมโพสิต ฉนวนป้องกันความร้อน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Title</b>	Preparation, characterization and heat protection properties of para-rubber mixed with nano-graphene oxide and nano-silica composite sheet
<b>Students</b>	Miss Thitima Intarakumhang Student ID 62050293 Miss Nutchanat Churesomboonjarern Student ID 62050297
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
<b>Department</b>	Chemistry
<b>School</b>	Science
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
<b>Academic Year</b>	2022
<b>Advisor</b>	Asst. Prof. Dr. Chaval Sriwong

### Abstract

The objective of this special project was to study the preparation, characterizations and the possibility of thermal protection properties. Thermal reflection or absorption of para-rubber (NR) mixed with nano-graphene oxide (nGO) and nano-silica (SiO<sub>2</sub>) composite sheets were prepared using a simple latex mixing and casting process. Preparation of para-rubber mixed with nano-graphene oxide and nano-silica composite sheets (NR/nGO/SiO<sub>2</sub>) was fixed in 55 ml of NR latex, 12 ml of nano-graphene oxide, and different concentrations of nano-silica were added (0.05, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.5 wt%). And para-rubber mixed with graphene oxide and para-rubber mixed with nano-graphene oxide composite sheets were prepared by fixed 55 ml of NR latex and adding graphene oxide or nano-graphene oxide various volumes (4, 8, 12 and 16 mL). Then, All of para-rubber composite sheets will be characterized by FE-SEM, EDS, Raman, UTM, XRD, FT-IR, UV-Vis NIR techniques, thermal conductivity test using thermal imaging camera Infrared (IR) radiation to observe heat dissipation on the surface of various quantities of para-rubber composite sheets and heat protection test box for the ability to reflect heat. In addition, The particle size of the graphene oxide and nano-graphene oxide was also studied by Particle Analyzer and TEM. From the thermal conductivity measurement test by thermal imaging camera Infrared (IR) radiation of para-rubber and various type of para-rubber composite sheets. The results implied that

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
para-rubber mixed with nano-graphene oxide and 0.05 wt% nano-silica  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(NR/nGO/0.05wt%SiO<sub>2</sub>) had the lowest thermal conductivity. And the results from testing the ability to reflect heat, when increasing the amount of nano-silica in the para-rubber mixed with nano-graphene oxide composite sheet making it able to reflect more heat or have a good thermal insulator.

**Keywords :** Rubber sheet, Nano-graphene oxide, Nano-silica, para-rubber mixed with nano-graphene oxide and nano-silica composite sheet, Heat protection insulators



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ รศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช และ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล คณะกรรมการการสอบโครงการพิเศษ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และ ข้อเสนอแนะในทุกขั้นตอนที่ได้ทำการศึกษา ตลอดจนการเขียนรูปเล่ม การตรวจสอบและแก้ไข ข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำโครงการพิเศษด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนโครงการพิเศษฉบับนี้ ประสบความสำเร็จอย่างสมบูรณ์ไปได้ด้วยดี จึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือด้านการใช้เครื่อง Infrared Thermal Imaging Camera และ รศ.ดร.ปานไพลิน สีหาราช ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือด้านการใช้อุปกรณ์การทดสอบความสามารถในการสะท้อนความร้อน

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมีและเจ้าหน้าที่ห้องธุรการภาควิชาเคมีทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือด้านการใช้อุปกรณ์และสารเคมี การใช้เครื่องมือต่าง ๆ รวมไปถึงการอำนวยความสะดวกในการประสานงานในการทำโครงการพิเศษครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อันเป็นสถานศึกษาที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ให้การอบรมสั่งสอนรายวิชาตลอดหลักสูตร

ขอขอบพระคุณพี่ ๆ ระดับปริญญาโทบัณฑิต ปริญญาตรีบัณฑิต และเพื่อน ๆ นักศึกษาที่ให้ความรู้ คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการศึกษาตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ตลอดจนคอยช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษจนประสบความสำเร็จลุล่วง รวมถึงบุคคลที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยและบทความต่าง ๆ ที่ไม่ได้กล่าวถึง ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงจากใจจริง

จิตติมา อินทรกำแหง  
นุชนารถ ชื่อสมบูรณ์เจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ .....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์ .....	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 สถานที่ทำการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	5
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>6</b>
2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber) .....	6
2.1.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ .....	6
2.1.2 โครงสร้างของยางธรรมชาติ .....	9
2.1.3 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ .....	10
2.1.4 ชนิดของยางธรรมชาติ.....	12
2.2 กราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide).....	14
2.2.1 สมบัติของกราฟีนออกไซด์ (Properties of Graphene Oxide).....	15
2.2.2 การสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์.....	16
2.3 ซิลิกา/ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silica/Silicon Dioxide) .....	17
2.3.1 สมบัติทางเคมีของซิลิกา .....	19
2.3.2 รูปแบบของซิลิกา .....	19
2.3.3 ประโยชน์ของซิลิกาและการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ.....	20
2.4 ฉนวนป้องกันความร้อน .....	21
2.4.1 ประเภทและคุณสมบัติของฉนวนป้องกันความร้อน .....	22
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b> .....	39
3.1 สารเคมี.....	39
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	39
3.3 การทดลอง .....	40
3.3.1 การเตรียมแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์.....	40
3.3.2 การเตรียมแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ .....	40
3.3.3 การเตรียมแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา.....	41
3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์.....	42
3.4.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope; TEM).....	42
3.4.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscope; FE-SEM) .....	43
3.4.3 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy; EDS) .....	44
3.4.4 เครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ (Raman spectrometer).....	44
3.4.5 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine; UTM).....	45
3.4.6 เครื่องมือวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer; XRD)	46
3.4.7 เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared spectroscopy) .....	47
3.4.8 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-Vis-NIR spectrophotometer) .....	47
3.4.9 เครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle Analyzer).....	48
3.4.10 การทดสอบความสามารถในการสะท้อนความร้อน .....	48
3.4.11 เครื่องวัดการนำความร้อนด้วยการถ่ายภาพการแผ่กระจายความร้อนบน พื้นผิวของวัสดุ ด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared thermal imaging camera).....	49
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b> .....	51
4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์ และผงนาโนซิลิกา .....	51
4.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคโครงสร้างผลึก .....	51
4.1.2 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานการสั่นของโมเลกุล.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถนำส่วนหรือบางส่วนไปใช้ได้โดยไม่ต้องขออนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ และนาโนกราฟีนออกไซด์ .....	54
4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิต .....	56
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานในระดับจุลภาค.....	56
4.2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ .....	60
4.2.3 ผลการวิเคราะห์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน .....	63
4.2.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล .....	65
4.2.5 ผลการตรวจสอบผลึกและอสัณฐาน.....	72
4.2.6 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานการสั่นของโมเลกุล .....	74
4.2.7 ผลการวิเคราะห์การสะท้อนแสงด้วยเครื่องมือ UV- Vis-NIR Spectrophotometer.....	75
4.2.8 ผลการวิเคราะห์การป้องกันความร้อนด้วยเทคนิควัดค่าการนำความร้อน ด้วยการถ่ายภาพการแพร่กระจายความร้อนบนพื้นผิวของวัสดุด้วยรังสี อินฟราเรด.....	77
4.2.9 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการสะท้อนความร้อน .....	81
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....</b>	<b>84</b>
เอกสารอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก .....	93
ภาคผนวก ก .....	94
ภาคผนวก ข .....	95
ภาคผนวก ค .....	96
ภาคผนวก ง.....	97
ภาคผนวก จ.....	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ.....	6
2.2 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของส่วนที่เป็นเนื้อยาง.....	8
2.3 คุณสมบัติทั่วไปของซิลิกา (Silica/SiO <sub>2</sub> ).....	18
2.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนของวัสดุชนิดต่าง ๆ.....	21
2.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติฉนวนป้องกันความร้อน.....	25
2.6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติฉนวนป้องกันความร้อน.....	26
3.1 แสดงปริมาณองค์ประกอบและสัดส่วนที่ใช้ในการเตรียมแผ่นยางพาราและแผ่นยางพารา คอมโพสิตในอัตราส่วนต่าง ๆ สำหรับการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน.....	41
3.2 แสดงปริมาณองค์ประกอบและสัดส่วนที่ใช้ในการเตรียมแผ่นยางพาราและแผ่นยางพารา คอมโพสิตในอัตราส่วนต่าง ๆ สำหรับการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน.....	42
4.1 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO).....	55
4.2 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ (nGO).....	56
4.3 แสดงค่าการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์.....	67
4.4 แสดงค่าการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีน ออกไซด์.....	69
4.5 แสดงค่าการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิต ประเภทต่าง ๆ.....	71
4.6 แสดงสเปกตรัมรังสีอินฟราเรดของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ.....	75
4.7 แสดงอุณหภูมิที่ได้รับความร้อนจากหลอดไฟอินฟราเรดของแผ่นยางพาราคอมโพสิต ประเภทต่าง ๆ.....	83
ค.1 แสดงภาพแผ่นยางพารา (NR) เปรียบเทียบกับแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ ปริมาณ 12 มิลลิลิตร (NR/nGO_12).....	96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ.....	10
2.2 โครงสร้างของกราฟีนออกไซด์.....	15
2.3 สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ และนาโนกราฟีนออกไซด์.....	16
2.4 โครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์ จัดเรียงตัวแบบเตตระฮีดรอล (Tetrahedral).....	17
2.5 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.00 wt% -1.00 wt%.....	26
2.6 แสดงคุณสมบัติแรงดึง (Tensile Properties) ของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ ที่ความเข้มข้นระหว่าง 0.00 wt% -1.00 wt% จนถึงการแตก.....	27
2.7 (a) แสดงภาพ AFM ของเกล็ดนาโนกราฟีนออกไซด์ (b) แสดงภาพ AFM ของการกระจายตัวโดยทั่วไปของแผ่นนาโนกราฟีนออกไซด์ (c) แสดงสเปกตรัม FTIR ของนาโนกราฟีนออกไซด์, กราไฟต์, ยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ความเข้มข้น 1.00 wt% (d) แสดงภาพ TEM ของแผ่นนาโนกราฟีนออกไซด์ที่เผยให้เห็นลักษณะแผ่นเรียบบาง.....	27
2.8 แสดงสมบัติทางเชิงกลของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ โดยศึกษาปริมาณการเติมนาโนกราฟีนออกไซด์ได้แก่ 0, 0.5, 1.0, 3.0 และ 5.0 phr.....	28
2.9 แสดงแรงฉีกขาด (Tearing energy) ของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ ภายใต้ความเครียด (Strain) โดยศึกษาปริมาณการเติมนาโนกราฟีนออกไซด์ ได้แก่ 0 phr, 0.5, 1.0, 3.0 และ 5.0 phr.....	28
2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนและความครอบคลุมของอะตอมออกซิเจนและอะตอมไฮโดรเจน (a) อะตอมออกซิเจน ซึ่งเป็นสีแดง (b) อะตอมไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสีน้ำเงิน (c) การจำลองมวลพรวงของอะตอมออกซิเจน (d) การจำลองมวลพรวงของอะตอมไฮโดรเจน สีฟ้าจะเป็นอะตอมคาร์บอน ตัวอย่างมีความยาว คือ L= 20 นาโนเมตร สำหรับทุกกรณี.....	29
2.11 แสดงค่าการนำความร้อนของกราฟีนออกไซด์ที่มีความยาวต่างกันตามปริมาณของความครอบคลุมอะตอมออกซิเจน โดยเส้นประสีแดง บอกถึงค่าการนำความร้อนต่ำสุดที่คาดการณ์ไว้ของกราฟีนที่ขีดจำกัดต่อสัณฐาน.....	30
2.12 แสดงสมบัติทางเชิงกล b. ค่าโมดูลัสของโฟม CNF, CNF-BA, CNF-GO, CNF-GO-BA, CNF-SEP และ CNF-GO-BA-SEP โดยลูกศรสีแดงจะบ่งบอกการเพิ่มขึ้นของโมดูลัสที่เกิดจากการเติม BA.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.13 การทดสอบการเผาไหม้ในแนวตั้งของโฟมนาโนคอมโพสิตที่มี CNF 77%, GO 10%, SEP 10% และ 3% BA (เป็นน้ำหนัก%) .....	31
2.14 แสดงสมบัติทางเชิงกลของ NR, GO/NR และ PGO/NR.....	32
2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของ (a) GO/NR และ (b) PGO/NR	32
2.16 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของพื้นผิวที่ฉีกขาดของ NR, GO 5wt% และ PGO 5wt%	32
2.17 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ Si/GO แอร์เจล.....	33
2.18 ภาพ HRTEM แสดงสัณฐานวิทยาของ Si/GO แอร์เจล โดยมีการเติม GO 5 wt%.....	33
2.19 ภาพซ้ำแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Strain) และความเครียด (Stress) และภาพขวาแสดงกราฟมอดูลัสของแอโรเจลคอมโพสิต Si/GO โดยศึกษาปริมาณนาโนกราฟีนออกไซด์ที่แตกต่างกัน .....	34
2.20 แสดงค่าการนำความร้อนของแอโรเจลคอมโพสิต Si/GO โดยศึกษาปริมาณนาโนกราฟีนออกไซด์ที่แตกต่างกัน.....	34
2.21 (A) แสดงกราฟ TG และ (B) กราฟ DTG แสดงการสลายตัวทางความร้อน ของ SiO <sub>2</sub> @GO/EP.....	35
2.22 (A) แสดงค่า Tensile strength และค่ามอดูลัสของ SiO <sub>2</sub> @GO/EP (B) Elongation at break-point ของ SiO <sub>2</sub> @GO/EP.....	35
2.23 FT-IR spectra ของเม็ดสี (a) Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (b) 0Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> @SiO <sub>2</sub> (c) 0.2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> @SiO <sub>2</sub> (d) 0.4Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> @SiO <sub>2</sub> (e) 1Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> @SiO <sub>2</sub> และ (f) 2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> @SiO <sub>2</sub> .....	36
2.24 ภาพ TEM แสดงสัณฐานวิทยาของเม็ดสี และ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> @SiO <sub>2</sub> โดยมีการเติม SiO <sub>2</sub> ที่ถูกเตรียมด้วย CTAB ที่มีความเข้มข้นต่างกัน.....	37
2.25 แสดงความหนาของ SiO <sub>2</sub> ที่ได้จากภาพ TEM ของ (a) 0Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> @SiO <sub>2</sub> (b) 0.2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> @SiO <sub>2</sub> (c) 0.4Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> @SiO <sub>2</sub> (d) 1Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> @SiO <sub>2</sub> และ (e) 2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> @SiO <sub>2</sub> .....	37
2.26 แสดงสมบัติการสะท้อนแสงของเม็ดสี Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> @SiO <sub>2</sub> .....	38
3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope; TEM).	43
3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อิมิชชัน Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM).....	44
3.3 เครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectrometer) .....	45
3.4 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine; UTM) .....	46
3.5 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer; XRD).....	46
3.6 เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR).	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV – VIS – NIR Spectrophotometer).....	48
3.8 เครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle Analyzer).....	48
3.9 ชุดอุปกรณ์ทดสอบความสามารถในการสะท้อนความร้อน.....	49
3.10 เครื่องวัดการนำความร้อนด้วยการถ่ายภาพการแผ่กระจายความร้อนบนพื้นผิวของวัสดุด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared thermal imaging camera).....	50
4.1 แสดงภาพ TEM ของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO).....	52
4.2 แสดงภาพ TEM ของสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ (nGO).....	52
4.3 แสดงกราฟ FT-IR ของกราฟีนออกไซด์ (GO).....	53
4.4 แสดงกราฟ FT-IR ของนาโนกราฟีนออกไซด์ (nGO).....	53
4.5 แสดงกราฟ FT-IR ของผงนาโนซิลิกา (Nano-Silica powder).....	54
4.6 แสดงกราฟ Normalized Intensity Distribution ของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO).....	55
4.7 แสดงกราฟ Normalized Intensity Distribution ของสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ (nGO).....	55
4.8 แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) จากกล้อง FE-SEM ของ a) NR b) NR/GO_12 และ c) NR/GO_16 โดยมีกำลังขยาย 1) 250x 2) 500x 3) 1000x.....	57
4.9 แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) จากกล้อง FE-SEM ของ a) NR b) NR/nGO_12 และ c) NR/nGO_16 โดยมีกำลังขยาย 1) 250x 2) 500x 3) 1000x.....	58
4.10 แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) จากกล้อง FE-SEM ของ a) NR b) NR/nGO_12 c) แผ่นNR/0.5 wt%SiO <sub>2</sub> d) NR/nGO/0.05 wt%SiO <sub>2</sub> e) NR/nGO/0.3 wt%SiO <sub>2</sub> และ f) NR/nGO/0.5 wt%SiO <sub>2</sub> โดยมีกำลังขยาย 1) 250x 2) 500x 3) 1000x.....	59
4.11 แสดง EDS spectrum องค์ประกอบของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร (NR/nGO_12) และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของ a) ธาตุคาร์บอน และ b) ธาตุออกซิเจน.....	60
4.12 แสดง EDS spectrum องค์ประกอบของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (NR/nGO/0.05 wt%SiO <sub>2</sub> ) และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของ a) ธาตุออกซิเจน b) ธาตุคาร์บอน และ c) ธาตุซิลิกอน.....	61
4.13 แสดง EDS spectrum องค์ประกอบของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก NR/nGO/0.5 wt%SiO <sub>2</sub> และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของ a) ธาตุออกซิเจน b) ธาตุคาร์บอน และ c) ธาตุซิลิกอน.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สามารถนำส่วนใดส่วนหนึ่งไปเผยแพร่ได้โดยไม่จำเป็นต้องจ่ายค่า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.14 แสดงสเปกตรัมของเทคนิครามานเปรียบเทียบ (a) NR (b) NR/nGO_12 (c) NR/nGO/0.05wt%SiO <sub>2</sub> (d) NR/nGO/0.3wt%SiO <sub>2</sub> และ (e) NR/nGO/0.5wt%SiO <sub>2</sub> ตามลำดับ .....	64
4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด (Maximum load) ของ แผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ .....	65
4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ ....	65
4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของแผ่นยางพารา และ แผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ .....	66
4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strngth) ของแผ่นยางพารา และ แผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ .....	66
4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด (Maximum load) ของ แผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ .....	67
4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ .....	68
4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของแผ่นยางพารา และ แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ...	68
4.22 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strngth) ของแผ่นยางพารา และ แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ...	68
4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด (Maximum load) ของ แผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ .....	69
4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ .....	70
4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของแผ่นยางพารา และ แผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ .....	70
4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ของแผ่นยางพารา และ แผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ .....	71

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 แสดงผล XRD pattern ของ a) NR b) NR/nGO_12 c) NR/nGO/0.05 wt%SiO <sub>2</sub> d) NR/nGO/0.3 wt%SiO <sub>2</sub> และ e) NR/nGO/0.5 wt%SiO <sub>2</sub> .....	72
4.28 แสดงกราฟ FT-IR เปรียบเทียบ a) NR b) NR/nGO_12 และ c) NR/nGO/0.05wt%SiO <sub>2</sub> d) NR/nGO/0.3wt%SiO <sub>2</sub> e) NR/nGO/0.5wt%SiO <sub>2</sub> .....	74
4.29 แสดงกราฟ Diffuse Reflectance ของแผ่นยางพารา แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีน ออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ และแผ่นยางพาราผสมกราฟีน ออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร .....	76
4.30 แสดงกราฟ Diffuse Reflectance ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิต ประเภทต่าง ๆ.....	76
4.31 แสดงกราฟการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพารา ผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ .....	77
4.32 แสดงกราฟการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพารา ผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ.....	78
4.33 แสดงกราฟการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา แผ่นยางพาราผสม นาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร และแผ่นยางพาราผสมนาโนซิลิกาปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	79
4.34 แสดงกราฟการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพารา คอมโพสิตประเภทต่าง ๆ .....	79
4.35 แสดงกราฟการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา แผ่นยางพาราผสม นาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนา โนซิลิกาปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก.....	80
4.36 แสดงกราฟการตรวจวัดอุณหภูมิที่ได้รับความร้อนจากหลอดไฟอินฟราเรดของ a) แผ่น ยางพารา b) แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร c)-g) แผ่นยาง พาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ.....	81
ก.1 แผ่นยางพารา (NR).....	94
ก.2 เทียงพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลง ในแบบพิมพ์.....	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.3 แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ หลังจากทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง .....	94
ข.1 แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ .....	95
ง.1 แสดงสเปกตรัมของเทคนิค FT-IR ของ กราฟีนออกไซด์ .....	97
ง.2 (a) แสดง IR spectrum ของ นาโนซิลิกา .....	97
ง.3 (a) แสดงรามานสเปกตรัมของยางพารา .....	97
จ.1 แสดงรามานสเปกตรัมของกราฟีนออกไซด์และกราฟีนออกไซด์ที่ห่อหุ้มด้วยซิลิกา .....	98
จ.2 แสดง XRD pattern ของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ .....	98
จ.3 แสดง XRD pattern ของนาโนซิลิกา .....	98



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
NR	ยางพารา
GO	กราฟีนออกไซด์
nGO	นาโนกราฟีนออกไซด์
SiO <sub>2</sub>	ผงนาโนซิลิกา
NR/GO_4	ยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ โดยใช้น้ำยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร และกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4 มิลลิลิตร
NR/GO_8	ยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ โดยใช้น้ำยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร และกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 8 มิลลิลิตร
NR/GO_12	ยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ โดยใช้น้ำยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร และกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร
NR/GO_16	ยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ โดยใช้น้ำยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร และกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 16 มิลลิลิตร
NR/nGO_4	ยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ โดยใช้น้ำยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร และนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4 มิลลิลิตร
NR/nGO_8	ยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ โดยใช้น้ำยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร และนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 8 มิลลิลิตร
NR/nGO_12	ยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ โดยใช้น้ำยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร และนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร
NR/nGO_16	ยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ โดยใช้น้ำยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร และนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 16 มิลลิลิตร
NR/0.5 wt%SiO <sub>2</sub>	ยางพาราผสมสารแขวนลอยนาโนซิลิกา โดยใช้น้ำยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร น้ำปราศจากไอออน 12 มิลลิลิตร และผงนาโนซิลิกา 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
NR/nGO/0.05 wt%SiO <sub>2</sub>	ยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา โดยใช้น้ำยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร นาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร และผงนาโนซิลิกา 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
NR/nGO/0.1 wt%SiO <sub>2</sub>	ยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา โดยใช้ยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร นาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร และผงนาโนซิลิกา 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
NR/nGO/0.2 wt%SiO <sub>2</sub>	ยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา โดยใช้ยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร นาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร และผงนาโนซิลิกา 0.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
NR/nGO/0.3 wt%SiO <sub>2</sub>	ยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา โดยใช้ยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร นาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร และผงนาโนซิลิกา 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
NR/nGO/0.5 wt%SiO <sub>2</sub>	ยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา โดยใช้ยางพาราปริมาณ 55 มิลลิลิตร นาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร และผงนาโนซิลิกา 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โอโซน (Ozone) เป็นก๊าซธรรมชาติสีน้ำเงินที่พบเป็นจำนวนมากในชั้นบรรยากาศของโลก มีหน้าที่สำคัญคือเป็นเกราะช่วยป้องกัน กรองรังสีต่าง ๆ จากดวงอาทิตย์ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตไม่ให้เข้าสู่พื้นผิวโลก [1] ดวงอาทิตย์ส่งพลังงานมายังโลกในรูปแบบของรังสีคลื่นสั้นเป็นส่วนใหญ่ แต่พลังงานที่ถูกส่งกลับออกไปอยู่ในรูปของรังสีคลื่นยาว รังสีดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลักที่ทำให้เกิดการหมุนเวียนของบรรยากาศและมหาสมุทร ซึ่งพลังงานเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น พลังงานความร้อน และพลังงานจลน์ โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 65 ของรังสีดวงอาทิตย์ที่ส่งมาจะถูกกักเก็บโดยผิวโลกและบรรยากาศทำให้มีอุณหภูมิที่สูงขึ้น [2] นักวิทยาศาสตร์เชื่อกันว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศที่เกิดขึ้นเป็นเพราะการเปลี่ยนแปลงของก๊าซในบรรยากาศ สาเหตุใหญ่มาจากมนุษย์เป็นผู้กระทำ และอุณหภูมิของโลกที่สูงขึ้นเป็นผลจากปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งเกิดขึ้นจากการสะสมของก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) ในชั้นบรรยากาศมากกว่าปกติ ทำให้บรรยากาศโลกกักเก็บพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสมดุลของพลังงานเปลี่ยนแปลงไปและจะมีผลกระทบต่อไปไม่มีสิ้นสุด ปัจจุบันพบว่าชั้นโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์บางลงทำให้รังสีอัลตราไวโอเล็ตสามารถผ่านลงมาถึงพื้นผิวโลกได้ในปริมาณมาก ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและระบบธรรมชาติบนโลก [3]

ผู้คนในปัจจุบันเริ่มหาแนวทางในการป้องกันความร้อนจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในที่อยู่อาศัย เช่น เครื่องปรับอากาศ พัดลม และอุปกรณ์อื่น ๆ จึงมีการคิดค้นวัสดุฉนวนป้องกันความร้อนขึ้นมาเพื่อช่วยลดอุณหภูมิความร้อนภายในตัวอาคารให้อยู่คงที่ตามต้องการ สกัดกั้นความร้อนและไม่นำพาความร้อนไปยังส่วนอื่น ๆ นิยมนำมาติดตั้งบนโครงหลังคาบ้านเพื่อลดความร้อนของแสงแดดที่ทำให้เกิดความร้อนภายในที่พักอาศัย นอกจากนี้ยังสามารถใช้ติดตั้งบริเวณฝ้าเพดานได้เช่นกัน ฉนวนความร้อนแต่ละชนิดจะมีการต้านทานความร้อนที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการเป็นฉนวนที่ดีควรจะต้านทานความร้อนที่ผ่านเข้ามาจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อน (ค่า K) ยิ่งน้อย แสดงว่าเป็นฉนวนที่สามารถต้านทานความร้อนได้ดีกว่า เช่น วัสดุประเภทโลหะมักมีค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนสูงกว่า วัสดุประเภทพลาสติก เป็นต้น หากต้องการป้องกันความร้อนเข้าสู่ตัวบ้าน ควรเลือกใช้วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนต่ำ [4] แต่เนื่องจากฉนวนป้องกันความร้อนในปัจจุบันมีราคาในการติดตั้งสูงและวัสดุในการผลิตบางชนิดยังเป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม [5] แม้จะมีประสิทธิภาพป้องกันความร้อนได้ดี จึงมีแนวคิดที่จะนำวัสดุทางการเกษตรและเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยอย่างพาราไมซ์เป็นวัตถุดิบในการผลิตฉนวนป้องกันความร้อนเพื่อลดต้นทุนการผลิต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่า ส่งเสริมการส่งออกอีกด้วย ยางพารามีคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการคือ ดีเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (Tensile strength) สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (Elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (Heat build-up) ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานต่ำและมีสมบัติการเหนียวติดกัน (Tack) ที่ดี ด้านทานต่อการฉีกขาด (Tear resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีสมบัติที่ดีเหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ มากมาย แต่ยางธรรมชาติก็มีข้อเสียหลัก คือ การเสื่อมสภาพเร็วภายใต้แสงแดด ออกซิเจน โอโซน และความชื้นเนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่ (Double bond) อยู่มาก ทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจนและโอโซนโดยมีแสงแดดและความชื้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ดังนั้น ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิด (สารในกลุ่มของสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antidegradants)) เพื่อยืดอายุการใช้งาน [6]

กราฟีนออกไซด์ (GO) เป็นแผ่นโมเลกุลเดี่ยวของกราฟไฟต์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่ประกอบไปด้วยออกซิเจนต่าง ๆ เป็นอนุพันธ์ของกราฟีน วัสดุในสองมิติที่มีโครงสร้างเป็นอะตอมคาร์บอนจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่น ต่อกันเป็นโครงสร้างรูปหกเหลี่ยม (Hexagonal) ลักษณะโครงสร้างคล้ายรังผึ้ง โดยกราฟีนออกไซด์เป็นกราฟีนรูปแบบออกไซด์ที่ประกอบด้วยออกซิเจน จึงง่ายต่อการแปรรูป เนื่องจากสามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำ และตัวทำละลายอื่น ๆ กราฟีนออกไซด์ไม่ใช่ตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดี แต่มีสมบัติในการเป็นฉนวนไฟฟ้าและฉนวนความร้อนที่ดีเยี่ยม เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันของออกซิเจน ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล คาร์บอนิล คีโตนและอีพอกซี เป็นต้น ทำหน้าที่ในการยับยั้งการไหลผ่านของอิเล็กตรอนและการไหลผ่านของความร้อน ดังนั้นจึงสามารถใช้เป็นวัสดุฉนวนป้องกันไฟฟ้าและฉนวนป้องกันความร้อนได้ นอกจากนี้ กราฟีนออกไซด์สามารถผสมกับพอลิเมอร์และวัสดุอื่น ๆ ได้อย่างง่ายดาย และยังสามารถเพิ่มคุณสมบัติของคอมโพสิตได้ เช่น ความต้านทานแรงดึง ความยืดหยุ่น การลดการนำไฟฟ้าและความร้อน [7], [8], [9]

จากงานวิจัยของ Yaofei Lei และคณะ [10] ศึกษาซิลิกาและกราฟีนออกไซด์ เพื่อปรับปรุงฉนวนป้องกันความร้อนและคุณสมบัติเชิงกลด้วยเทคนิคโซลเจลและการอบแห้งแบบวิกฤตยิ่งยวด (Supercritical) พบว่า กราฟีนออกไซด์ (GO) มีการกระจายตัวได้ดีในซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) เนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารเสริมแรง ซึ่งให้เห็นว่ามีการนำความร้อนลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับซิลิกาที่ไม่มีการผสมสารเสริมแรง นอกจากนี้ยังปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและมีความทนทานได้ดี

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงศึกษาความเป็นไปได้เกี่ยวกับสมบัติการป้องกันความร้อน และการสะท้อนหรือดูดกลืนความร้อนของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา โดยมียางพาราทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาทำหน้าที่เป็นสารเสริมแรงที่ปรับปรุงฉนวนป้องกันความร้อนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้มีราคาไม่สูง หาได้

เอกสารนี้ง่ายในท้องตลาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยศึกษาการเตรียมแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาที่มีอัตราส่วนแตกต่างกัน จากนั้นนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกลและความร้อน

เพื่อให้ได้ฉนวนป้องกันความร้อนที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนดีที่สุด ช่วยลดพลังงานการใช้ไฟฟ้าภายในที่พักอาศัย ลดค่าใช้จ่าย และไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ สิ่งสำคัญที่สุดคือ ช่วยลดการสูญเสียความร้อนและช่วยรักษาอุณหภูมิภายในอาคารให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการเตรียมแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา ด้วยกระบวนการผสมและขึ้นรูปอย่างง่าย
- 2) เพื่อศึกษาอัตราส่วนของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา โดยศึกษาปริมาณการเติม นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาที่แตกต่างกันต่อประสิทธิภาพการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน
- 3) เพื่อศึกษาและตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา สำหรับการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน
- 4) เพื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา
- 5) เพื่อศึกษาความเป็นไปได้เกี่ยวกับสมบัติการป้องกันความร้อน และการสะท้อนหรือดูดกลืนความร้อนของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาองค์ประกอบ อัตราส่วนของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ โดยกำหนดให้ใช้ปริมาณน้ำยางพารา เท่ากับ 55 มิลลิลิตร ปริมาณกราฟีนออกไซด์ และนาโนกราฟีนออกไซด์ที่มีอัตราส่วนแตกต่างกัน คือ 4 8 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ ด้วยกระบวนการผสมและขึ้นรูปอย่างง่าย (Latex mixing and casting process)

2) ศึกษาองค์ประกอบ อัตราส่วนของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาที่เหมาะสม สำหรับการเตรียมแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา โดยกำหนดให้ใช้ปริมาณน้ำยางพารา เท่ากับ 55 มิลลิลิตร ปริมาณนาโนกราฟีนออกไซด์ 12 มิลลิลิตร และนาโนซิลิกาที่มีอัตราส่วนแตกต่างกัน คือ 0.05 0.1 0.2 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

3) ตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา โดยทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์และสมบัติต่าง ๆ ด้วยเทคนิค ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของอนุภาคโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopes; TEM)
- 3.2 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field Emission Scanning Electron Microscopy; FE-SEM)
- 3.3 การวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบด้วยเทคนิคสเปกโทรเมตรีรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; EDS)
- 3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์ของสาร โดยอาศัยหลักการทางแสงด้วยเทคนิครามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy)
- 3.5 การทดสอบสมบัติเชิงกลด้วยเครื่องยูนิเวอร์แซล (Universal Testing Machine; UTM) เพื่อวิเคราะห์ค่าค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด (Maximum load), การยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break), ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) และความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength)
- 3.6 การตรวจสอบผลึกและอสัณฐานด้วยเทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD)
- 3.7 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและโมเลกุลของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR)
- 3.8 การวิเคราะห์การสะท้อนแสงของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์ และนาโนซิลิกา (UV-VIS-NIR spectrophotometer)
- 3.9 การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคกราฟีนออกไซด์และนาโนกราฟีนออกไซด์ ด้วยเครื่อง Particle Analyzer
- 3.10 การทดสอบความสามารถในการสะท้อนความร้อน
- 4) ศึกษาสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาที่เตรียมโดยใช้เทคนิค Universal Testing Machine (UTM)
- 5) ศึกษาสมบัติการป้องกันความร้อน และการสะท้อนหรือดูดกลืนความร้อนของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาที่เตรียมโดยใช้เทคนิค Infrared Thermal Imaging Camera; Range: -20 ถึง 120 องศาเซลเซียส

#### 1.4 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ ห้อง 504-1 ชั้น 5 อาคารพระจอมเกล้า คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสถาบันฯ การใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ทราบถึงกระบวนการเตรียมแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา ด้วยกระบวนการผสมและขึ้นรูปอย่างง่าย
- 2) ทราบถึงอัตราส่วนของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาที่แตกต่างกันต่อประสิทธิภาพการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน
- 3) ทราบถึงเอกลักษณ์ของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา สำหรับการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน
- 4) ทราบถึงสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา
- 5) ทราบถึงสมบัติการป้องกันความร้อนและการสะท้อนหรือดูดกลืนความร้อนของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

ยางธรรมชาติหรือยางพาราเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย สายพันธุ์ยางธรรมชาติที่พบมากในประเทศไทยคือ *Hevea Brasiliensis* [11] ซึ่งมีกำเนิดมาจากกลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมี คือ *cis-1,4-polyisoprene* กล่าวคือ มี isoprene ( $C_5H_8$ ) โดยที่  $n$  มีค่าตั้งแต่ 15-20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน เป็นต้น [6]

#### 2.1.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว มีเนื้อยางแห้งประมาณ 25 - 45% แขนวลอยอยู่ในน้ำ มีความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content; TSC) กับส่วนที่เป็นเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content; DRC) อยู่ประมาณ 3% และมีส่วนประกอบต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ [12]

ส่วนประกอบ	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	28 – 48
เนื้อยางแห้ง	25 – 45
สารจำพวกโปรตีน	1 – 1.5
สารจำพวกเรซิน	1 – 1.25
ขี้เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ปริมาณส่วนที่เหลือ

ถ้านำน้ำยางที่ได้ขึ้นไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็วสูง 20,000 รอบต่อนาที จะทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ในน้ำยางแยกออกเป็นชั้น ๆ ได้ 4 ส่วน ได้แก่

1. ชั้นบนสุดเป็นส่วนของเนื้อยางแห้งมีอยู่ประมาณ 35% ลักษณะเป็นครีมสีขาว ส่วนใหญ่เป็นอนุภาคของยางแต่อาจมีโปรตีน, ไขมัน หรืออนุภาคของโลหะเจือปนอยู่

2. ชั้นถัดมาที่ติดกับเนื้อยางเป็นอนุภาคเฟรย์-วิสลิง (Frey Wyssling) สีเหลืองกว่าอนุภาคยางมีอยู่ประมาณ 2%

3. ชั้นที่สามเป็นเซรัม (Serum) สีเหลืองใส มีอยู่ประมาณ 48% ประกอบด้วย คาร์โบไฮเดรต, โปรตีน, สารประกอบของกรดนิวคลีอิก, อนุภาคของโลหะ และสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการขงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่าการันตีฯ พงสน ยก พงส ห มีม เหด ห แบลง เเนอย และตองย อ งอง เ่ง เ่ง เอกสารถูกรั้งที่มการนำไปใช้

4. ชั้นล่างสุดเป็นตะกอนสีเหลือง สีน้ำตาล หรือสีขาว มีอยู่ประมาณ 15% เป็นสารพวกลูทอยด์ (Lutoids), โลหะหนักพวกแมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และซีลีเนียม

จากที่กล่าวมาส่วนประกอบต่าง ๆ ในน้ำยางสดสามารถแบ่งออกเป็นองค์ประกอบใหญ่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง และส่วนที่ไม่ใช่เนื้อยาง

#### 2.1.1.1 ส่วนที่เป็นเนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content; DRC)

1) อนุภาคยาง เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีรูปร่างค่อนข้างกลมและมีขนาดแตกต่างกันมากตั้งแต่ 0.04-4 ไมโครเมตร แต่ส่วนใหญ่มีขนาดเกิน 0.4 ไมโครเมตร ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของต้นยางที่เจริญเติบโตเต็มที่ที่มีค่าประมาณ 1 ไมโครเมตร

2) โพรตีน ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

- โพรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยาง 25%
- โพรตีนที่อยู่ในชั้นน้ำ 50%
- โพรตีนที่ปนอยู่ในสารพวกลูทอยด์ 25%

ผิวของอนุภาคน้ำยางสดเป็นโพรตีนทำหน้าที่เป็นชั้นดูดซับทำให้อนุภาคยางมีประจุลบที่จุดไอโซอิเล็กตริกของอนุภาคยาง มีค่าพีเอชประมาณ 4.1 (จุดไอโซอิเล็กตริกคือจุดที่ประจุบวกและประจุลบบนโมเลกุลสมดุลกัน ไม่มีแสดงประจุและมีการละลายน้อยที่สุด) โพรตีนบนผิวของอนุภาคยางมีกำมะถันประมาณ 5% เมื่อน้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ โพรตีนจะสลายตัวให้สารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์และสารเมอร์แคปแทน ทำให้น้ำยางมีกลิ่นเหม็นและเกิดการบูดเน่า

3) ไขมัน ในน้ำยางสดประกอบด้วย sterols, sterol esters, fats และ waxes ส่วนใหญ่อยู่ในอนุภาคยาง อาจละลายอยู่ในเนื้อยางไฮโดรคาร์บอนและฟอสโฟไลปิด ซึ่งเป็นส่วนดูดซับบนผิวของอนุภาคยาง ไขมันที่อยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโพรตีนส่วนใหญ่เป็นสารฟอสโฟไลปิดชนิด Lecithin ทำหน้าที่ยึดโพรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง เนื่องจากโมเลกุลเลซิทินแสดงประจุบวกที่พีเอชของน้ำยางสด ในขณะที่โพรตีนประจุลบทำให้เกิดพันธะอออนระหว่างกัน น้ำยางในสถานะที่เป็นต่าง เช่น มีแอมโมเนีย 0.6% ขึ้นไป สารฟอสโฟไลปิดจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาวรวมตัวกับแอมโมเนียกลายเป็นสบู่ ทำให้น้ำยางมีความเสถียรยิ่งขึ้น น้ำยางที่มีปริมาณแอมโมเนียน้อยประมาณ 0.2% การไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นน้อยจึงจำเป็นต้องเพิ่มสบู่เพื่อความเสถียรของน้ำยาง [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของส่วนที่เป็นเนื้อเยื่อ [12]

ส่วนประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
เนื้อเยื่อไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำ (กระจายอยู่ในเนื้อเยื่อ)	10
สารจำพวกโปรตีน	1
สารจำพวกไขมัน	3
พวกโลหะ (Mg, P, Cu)	0.5

### 2.1.1.2 ส่วนที่ไม่ใช่เนื้อเยื่อ

ส่วนที่เป็นน้ำหรือเซรัมอยู่ในน้ำยางสดประมาณ 55% ความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารกลุ่มต่าง ๆ 3 กลุ่ม ดังนี้

1) กลุ่มคาร์โบไฮเดรต เป็นสารพวกแป้งและน้ำตาลมีอยู่ในน้ำยางประมาณ 1% น้ำตาลที่มีอยู่ส่วนใหญ่เป็นชนิดควิบราซิทอล (Quebrachitol) และน้ำตาลชนิด กลูโคส ซูโคส ฟรุคโทส เพียงเล็กน้อยเป็นอาหารของแบคทีเรียในน้ำยางทำให้เกิดปฏิกิริยาการสลายตัวให้กรดที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก มีผลให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพและรวมตัวกันเป็นก้อน กรดที่เกิดขึ้นเหล่านี้เป็นกรดที่ระเหยได้ง่าย

2) กลุ่มโปรตีนและกรดอะมิโน โปรตีนชนิดหลักที่พบในน้ำยางคือ Alpha globulin กับ Hevein รวมอยู่กับสารในกลุ่มของพอลิเปปไทด์และกรดอะมิโน

- Alpha globulin เป็นโปรตีนที่มีผิวว่องไวและเป็นโปรตีนที่สำคัญบนผิวของอนุภาคยาง มีมวลโมเลกุลประมาณ  $2 \times 10^5$  daltons ตูดซับได้ง่ายระหว่างชั้นของอากาศและของเหลว และชั้นของน้ำมันกับน้ำ ไม่ละลายในน้ำกลั่นแต่ละลายในเกลือที่เป็นกลาง ละลายสารละลายกรดและด่าง มีจุดไอโซอิเล็กตริกที่พีเอช 4.8 ใกล้เคียงกับอนุภาคยาง น้ำยางสดจะเสียสภาพการเป็นคอลลอยด์ที่พีเอชนี้เช่นกัน

- Hevein เป็นโปรตีนที่มีจุดไอโซอิเล็กตริกที่พีเอช 4.5 ประกอบด้วยกำมะถันประมาณ 5% ดังนั้นเมื่อน้ำยางสูญเสียสภาพโปรตีนชนิดนี้จะสลายตัวให้สารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารเมอร์แคปแทนทำให้มีกลิ่นเหม็น มีผิวที่ว่องไวเล็กน้อย ละลายในน้ำได้ทุกพีเอช ไม่ตกตะกอนในน้ำเดือด และไม่มีผลต่อสภาพคอลลอยด์ของน้ำยาง

- พอลิเปปไทด์และกรดอะมิโน พบในส่วนของน้ำในน้ำยางสด อาจเป็นตัวเริ่มการเกิดอนุภาคยางหรืออาจมาจากการสลายตัวของโปรตีนในน้ำยาง

3) ส่วนของสารอื่น ๆ ในน้ำยาง ประกอบด้วยสารประกอบชนิดต่าง ๆ หลายชนิดด้วยกัน เช่น

• ต่างที่มีไนโตรเจนอิสระ เช่น Choline และ Methylamine  
 • อีกรัตอนทรีย์ ได้แก่ คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Inorganics anion (Phosphate และ Carbonate)
- โลหะอioon (Potassium, Magnesium, Iron, Sodium และ Copper)
- Thiols
- เอนไซม์

ส่วนของลูทอยด์ (Lutoids) และสารอื่น ๆ

มีสารโพลีฟีนอลออกซิเดสซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีเหลือง หรือสีคล้ำ (เมื่อสัมผัสกับออกซิเจน ในอากาศ) ประกอบด้วย

1) ลูทอยด์ (Lutoids) เป็นอนุภาคค่อนข้างกลม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-3.0 ไมโครเมตร ห่อหุ้มด้วยเยื่อบาง ๆ ชั้นเดียว ภายในเยื่อบาง ๆ มีสารละลายและสารแขวนลอย ส่วนใหญ่ ประกอบด้วยโปรตีนสามารถเกิดการออสโมซิส (Osmosis) ได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยางสดจะทำให้ลูทอยด์บวมและแตกง่ายขณะที่ลูทอยด์เกิดการพองตัวจะทำให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้น และเมื่อลูทอยด์แตกความหนืดจะลดลง

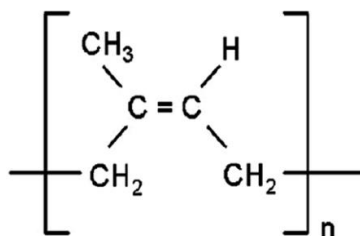
ในสภาพอากาศร้อน อุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลให้ลูทอยด์แตกได้เช่นกัน ทำให้ของเหลวภายในที่มีประจุบวกและอ็ออนของโลหะ เช่น แคลเซียมอ็ออน และ แมกนีเซียมอ็ออน จะปะปนรวมกันอยู่ในเซรุ่มทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันก่อให้เกิดการอุดตันของท่อน้ำยางมีผลทำให้น้ำยางหยุดไหลหลังกรี๊ด

2) อนุภาคเฟรย์-วิสลิง (Frey wysssling) มีปริมาณน้อยแต่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง มีความหนาแน่นน้อยกว่า รูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้น ประกอบด้วยเม็ดสีพวกคาโรติ นอยด์ทำให้ยางมีสีเข้ม สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรุ่ม [14]

### 2.1.2 โครงสร้างของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้ จากต้นพืชในสกุล *Hevea brasiliensis* ซึ่งมีต้นกำเนิดจาก ลุ่มน้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ เป็นพอลิเมอร์ที่มีไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักร้อยละ 94 โดยน้ำหนัก ส่วนประกอบที่เหลือเป็นโปรตีน ไขมันและเกลืออนินทรีย์อื่น ๆ (เช่น ซัลเฟอร์ และอนุผล ของโลหะ เป็นต้น) มีหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันเป็น ไอโซพรีน ( $C_5H_8$ ) ต่อกันเป็นโมเลกุลยาวเรียกว่า พอลิ ไอโซพรีน ( $C_5H_8$ )<sub>n</sub> โดย n มีค่าตั้งแต่ 5,000-15,000 ยางธรรมชาติประกอบด้วยโมเลกุลที่มีน้ำหนัก โมเลกุลตั้งแต่ 50,000-3,000,000 และประมาณ 60% ของโมเลกุลเหล่านี้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 1,300,000 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติมีลักษณะเป็นไอโซเมอร์ชนิด *cis*-isomer ดังนั้นจึง มักจะเรียวยางธรรมชาติว่า *cis*-1,4-Polyisoprene ซึ่งมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ [15]

โครงสร้างหลักที่มีผลกระทบต่อสมบัติของยางธรรมชาติ คือ

2.1.2.1 การมีองค์ประกอบที่เป็นคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติไม่ทนน้ำมัน แต่เป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

2.1.2.2 มีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาทำให้สามารถเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันได้ดีแต่ทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ง่ายกับออกซิเจนและโอโซน จึงเป็นสาเหตุการเสื่อมของยางธรรมชาติ

2.1.2.3 มีสายโซ่โมเลกุลที่เคลื่อนไหวหยุกไปมาและยืดหยุ่นได้ง่ายทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพความยืดหยุ่น (Elasticity) ได้ดี และสามารถใช้งานที่อุณหภูมิต่ำได้

2.1.2.4 โครงสร้างโมเลกุลที่สม่ำเสมอทำให้ยางธรรมชาติสามารถเกิดผลึกได้เมื่อยืด จึงมีความต้านทานต่อแรงดึงสูง และทำให้มีค่าความแข็งแรงขณะไม่วัลคาไนซ์ (Green strength) สูง และความเหนียวติดกัน (Tack) ดี

2.1.2.5 มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้ยางแข็งเกินไปที่จะนำไปแปรรูปโดยตรง ต้องนำยางไปบดเพื่อให้โมเลกุลเล็กลงก่อนนำไปใช้งาน [16], [17]

### 2.1.3 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

#### 2.1.3.1 ความยืดหยุ่น (Elasticity)

สมบัติความยืดหยุ่นเป็นลักษณะเด่นอีกประการหนึ่งของยางธรรมชาติ กล่าวคือ ยางธรรมชาติที่คงรูปแล้วจะมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อแรงภายนอกที่มากระทำกับยางหมดไปยางจะกลับคืนสู่รูปร่างและขนาดเดิมได้อย่างรวดเร็ว

#### 2.1.3.2 ความเหนียวติดกัน (Tack)

สมบัติความเหนียวติดกันของธรรมชาติมีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกันซึ่งเป็นสมบัติสำคัญของการผลิตที่ต้องอาศัยการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน

#### 2.1.3.3 ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย การเติมสารตัวเติมเสริมแรงลงไปก็จะช่วยทำให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้น ซึ่งสมบัตินี้จะแตกต่างจากยางสังเคราะห์ส่วนใหญ่ที่มีแค่เอ็กสาร์ที่มีค่าความทนทานต่อแรงดึงต่ำจึงไม่สามารถนำไปใช้งานในทางวิศวกรรมได้นอกจากจะมีการเติมสารไม่ว่ากัตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วยเท่านั้น แต่แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.1.3.4 ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength)

เนื่องจากยางธรรมชาติสามารถแตกฉีกได้เมื่อถูกยืด ดังนั้นยางธรรมชาติจึงมีความทนทานต่อการฉีกขาดของยางสูงขึ้น

#### 2.1.3.5 สมบัติเชิงพลวัต (Dynamic Properties)

ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัตที่ดี ยางมีการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนต่ำในระหว่างการใช้งาน นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังมีความต้านทานต่อการล้าตัวที่สูงมากอีกด้วย

#### 2.1.3.6 ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion Resistance)

ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูงแต่ยังด้อยกว่ายางสไตรีนบิวตะไดอีน (Styrene Butadiene Rubber; SBR) เล็กน้อย อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับยางสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ พบว่ายางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดอยู่ในกลุ่มที่สูงมาก

#### 2.1.3.7 ความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation)

ยางธรรมชาติมีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูงมาก โดยมีค่าความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะสูงถึง 1,015 ถึง 1,016 ohm.cm

#### 2.1.3.8 ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and Chemical Resistance)

เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติ (Natural Rubber) เป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน เฮกเซน และโทลูอีน เป็นต้น ความสามารถในการละลายนี้จะลดลงถ้าเกิดการคงรูปเนื่องจากการเชื่อมโยงทางเคมีของโมเลกุล เกิดเป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติในยางคงรูป จะไปขัดขวางกระบวนการละลายของยางเกิดการบวมตัวในตัวทำละลายนี้เท่านั้น การบวมตัวของยางดังกล่าวจะทำให้สมบัติเชิงกลของยางด้อยลง ด้วยเหตุนี้ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่าง ๆ แต่จะทนทานต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังทนต่อกรดและด่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดไนตริกและกรดกำมะถันเข้มข้น

#### 2.1.3.9 การเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซน และแสงแดด (Aging Properties)

เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติ (Natural Rubber) มีพันธะคู่อยู่มากทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา ดังนั้นยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดซ์ (Oxidize) ได้ง่าย นอกจากนี้ยางธรรมชาติยังไม่ทนต่อโอโซนเพราะเมื่อยางถูกยืดและได้รับโอโซนนาน ๆ จะเกิดรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากที่บริเวณพื้นผิวในทิศตั้งฉากกับทิศทางการยืดตัวของยาง ด้วยเหตุนี้ในระหว่างการผลิตผลิตภัณฑ์จึงต้องมีการเติมสารเคมีบางชนิดและไหลลงไปเพื่อยืดอายุการใช้งานของยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.1.3.10 การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Flexibility)

ยางธรรมชาติยังคงรักษาสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ ซึ่งยางที่มีสมบัตินี้ที่ดีกว่ายางธรรมชาติมีเพียง 2 ชนิด คือ ยางบิวตะไดอิน (Butadiene Rubber; BR) และยางซิลิโคน (Silicone Rubber; Si)

### 2.1.3.11 สมบัติการยืดหยุ่นภายหลังการกด (Compression Set)

ยางธรรมชาติมีค่า Compression Set ค่อนข้างต่ำทั้งที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามค่า Compression Set ที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะสูงขึ้นเนื่องจากยางอาจเกิดการตกผลึกทำให้ความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไปในขณะที่ค่า Compression set ที่อุณหภูมิสูงของยางธรรมชาติจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติไม่ทนต่อความร้อน ยางจึงเกิดความเสื่อมสภาพซึ่งจะส่งผลทำให้สมบัติ Compression Set ต่ำลง

### 2.1.3.12 อุณหภูมิของการใช้งาน (Service Temperature)

ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -55 จนถึง 70 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามหากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำนาน ๆ ยางอาจเกิดการตกผลึกซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและสูญเสียความยืดหยุ่นไป แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไปสมบัติเชิงกลต่าง ๆ ก็จะต้องลดลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเกิดความเสื่อมสภาพ ในบางกรณีที่มีการคิดสูตรผสมเคมียางได้อย่างเหมาะสม (มีการเติมสารป้องกันการเสื่อมสภาพลง) ยางธรรมชาติอาจสามารถนำไปใช้งานได้อย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูงถึง 90 องศาเซลเซียส หรืออาจสูงถึง 100 องศาเซลเซียส ในกรณีที่ยางได้รับอุณหภูมิสูงเป็นช่วง ๆ เท่านั้น) [18]

## 2.1.4 ชนิดของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันเป็นวัตถุดิบที่ได้จากการแปรรูปขึ้นต้นของน้ำยางสดจากต้นยางพารา โดยทั่วไปสามารถนำมาแปรรูปเป็นยางดิบได้ 2 แบบ คือ

### 2.1.4.1 น้ำยางข้น (Concentrated latex)

เมื่อมีการนำน้ำยางสดไปใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางในโรงงานที่อยู่ค่อนข้างไกลจากสวนยางพารา ทำให้เกิดความไม่สะดวกและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้ำยางสดไปยังโรงงาน รวมถึงสารบางอย่างที่มีอยู่ในน้ำยางอาจส่งผลให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ยางไม่ดี จึงมีการผลิตน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้นที่มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมกับการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ น้ำยางข้นที่ผลิตจำหน่ายทั่วไปอาจแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ น้ำยางข้นธรรมดาที่ไม่ผ่านการทรีต (Treated) กับสารเคมีหรือวิธีการใด ๆ เพื่อให้โมเลกุลเปลี่ยนไป ส่วนอีกประเภทหนึ่งเป็นน้ำยางข้นที่ผ่านกระบวนการทรีตด้วยสารเคมี หรือด้วยการฉายรังสีให้โมเลกุลยางเปลี่ยนแปลง ซึ่งเรียกว่า น้ำยางคงรูป หรือน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ (Prevulcanised or vulcanised latex) หรือบางครั้งเรียกว่า น้ำยางผสมเสร็จ โดยผู้ใช้น้ำยางข้นนิยมซื้อตามมาตรฐานคุณภาพของข้อกำหนดมาตรฐานน้ำยางข้น

เอกสารนี้ไทยเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.1.4.2 ยางแห้ง (Dry rubber)

ยางธรรมชาติในรูปของยางแห้ง อาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของกรรมวิธีการผลิต คือ

##### 1) การผลิตยางแบบธรรมดา (Conventional rubber process)

- ยางแผ่นรมควัน (Ribbed smoked sheet, RSS) เป็นยางแผ่นที่ทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนและปล่อยให้ควันเข้าไปเคลือบผิวของแผ่นยางเพื่อป้องกันเชื้อรา ยางรมควันที่แห้งแล้วจะถูกคัดเลือกเพื่อจัดชั้นยางด้วยการใช้สายตา (Visual grading) ซึ่งต้องอาศัยความชำนาญมาก พิจารณาจากการขึ้นรา การรมควัน ฟองอากาศ สิ่งสกปรก และสิ่งแปลกปลอมต่าง ๆ

- ยางแผ่นผึ่งแห้ง (Air dried sheet, ADS) เป็นยางแผ่นใสและมีสีจาง มีขั้นตอนการผลิตเช่นเดียวกับยางแผ่นรมควัน แต่มีการควบคุมการผลิตที่เข้มงวดกว่า แผ่นยางถูกทำให้แห้งโดยใช้ความร้อนที่ปราศจากควันไฟ และไม่มีการเติมสารใด ๆ นอกจากสารที่ยอมรับ ได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์ โซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ และพาราไนโตรฟินอล

- ยางเครพ (Crepe rubber) สามารถผลิตได้จากน้ำยางสด และน้ำยางแห้ง ทำให้ได้ยางเครพที่มีคุณภาพต่างกัน การผลิตยางเครพในประเทศมี 2 ชนิด คือ

- เครพชนิดคุณภาพดี เรียกว่า เครพสีจาง (Pale crepe) และเครพขาว ผลิตจากน้ำยางที่จับตัวภายใต้การควบคุมและระมัดระวังในกระบวนการผลิต สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงถึงการผลิต คือ สีของน้ำยางการควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ที่จะทำให้ยางมีสีคล้ำ

- เครพชนิดคุณภาพต่ำ เรียกว่า เครพสีน้ำตาล (Brown crepe) ผลิตจากเศษยางที่จับตัว

- ยางskim (Skim rubber) การผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่น เป็นการแยกส่วนของน้ำออกจากน้ำยางทำให้ได้น้ำยางข้นกับส่วนที่เป็นของเหลวที่ยังมีเนื้อยางอยู่ประมาณ 4-8 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เป็นของเหลวนี้เรียกว่า หางน้ำยาง (Skim latex) สามารถนำหางน้ำยางมาแปรรูปเป็นยางแห้งแบบskimบล็อก (Skim block) หรือแบบskimเครพ (Skim crepe) ได้

##### 2) การผลิตยางแบบระบุคุณภาพมาตรฐาน (Technically specified rubber process)

ผลิตโดยมีเงื่อนไขการระบุคุณภาพมาตรฐานสากล ได้แก่ ยางแห้ง มีรายละเอียดดังนี้

- ยางแห้ง (Technically specified rubber, TSR หรือ Block rubber) เป็นยางที่ผลิตขึ้นโดยมีวิธีการระบุคุณภาพมาตรฐานเพื่อปรับปรุงรูปแบบของการผลิตยางธรรมชาติ ลดระยะเวลาการผลิต ปรับปรุงวิธีการหีบห่อให้ทันสมัยเหมาะกับการขนส่งและการใช้งาน และมีวิธีการตรวจสอบสมบัติที่จำเป็นของยางตามวิธีมาตรฐานสากลและจัดชั้นของยางโดยวิธีการในห้องปฏิบัติการ ประเทศไทยเริ่มผลิตยางแห้งครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2511 โดยมีชื่อเรียกว่ายางแห้ง ที ที อาร์ (TTR-Thai Tested Rubber) เพื่อให้สอดคล้องกับภาวะอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยางและสอดคล้องกับการเรียกชื่อยางแห้ง

เอกสารนี้ตามสากล สถาบันวิจัยยางจึงได้แก้ไขและปรับปรุงวิธีปฏิบัติของการบรรจุหีบห่อ การควบคุมคุณภาพไม่ว่าการขีดจำกัดของสมบัติยางแห้งบางประการ ได้ตัดชั้นยางบางชั้น เพิ่มชั้นยาง CV (Constant Viscosity)

และเปลี่ยนชื่อเรียกเป็นยางแท่ง เอส ที อาร์ (STR-StandardThai Rubber) เมื่อวันที่ 1 มกราคม พ.ศ. 2539 โดยกำหนดให้ประกอบด้วยชั้นยาง 8 ชั้น คือ STR XL, STR 5L, STR 5, STR 5 CV, STR 10, STR 10 CV, STR 20 และ STR 20 CV

การเรียกชื่อยางแท่งของแต่ละประเทศ จะมีชื่อเรียกต่างกัน เช่น

- ยางแท่ง SMR (Standard Malaysian Rubber) ผลิตโดยประเทศมาเลเซีย
- ยางแท่ง SIR (Standard Indonesian Rubber) ผลิตโดยประเทศอินโดนีเซีย
- ยางแท่ง SLR (Standard Sri Lanka Rubber) ผลิตโดยประเทศศรีลังกา
- ยางแท่ง SSR (Specified Singapore Rubber) ผลิตโดยประเทศสิงคโปร์

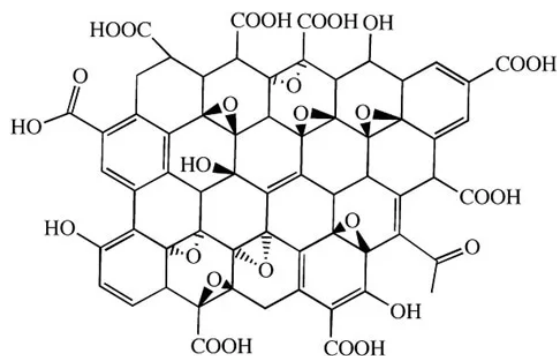
การเรียกชื่อยางแท่งต่างกัน แต่คุณภาพยางแท่งชั้นเดียวกันจะมีคุณสมบัติเหมือนกัน เนื่องจากทุกประเทศใช้มาตรฐานการจำแนกชั้นและวิธีการเดียวกัน วัตถุประสงค์ที่ใช้ผลิตยางแท่งใช้ได้ทั้งน้ำยางสด ที่ต้องทำให้จับตัวก่อนและยางแท่งที่จับตัวแล้ว เช่น ยางแผ่นดิบ ยางก้อนถ้วย เศษยางกันถ้วย และเศษยางอื่น ๆ ชั้นตอนที่สำคัญในการผลิต คือ ตัดย่อยยางดิบให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ อย่างรวดเร็ว ล้าง อบให้แห้งและอัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยมขนาด 33.3 กิโลกรัม หรือ 35 กิโลกรัม

นอกจากนี้ ยังมียางแบบอื่น ๆ ที่มีวิธีการผลิตเฉพาะตัว เพื่อให้ได้ผลผลิตเหมาะสมกับงานขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งโดยเฉพาะ หรือเพื่อวัตถุประสงค์จะปรับปรุงสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ เช่น ยางที่มีความหนืดคงที่ ยางที่มีสมบัติพิเศษในกระบวนการผลิต ยางผสมน้ำมัน ยางเทอร์โมพลาสติกยางอีพอกซีไดซ์ ยางผง และยางเหลว เป็นต้น [19]

## 2.2 กราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide)

กราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide) เป็นอนุพันธ์หนึ่งของวัสดุในกลุ่มกราฟีน โดยเป็นสารประกอบของคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน มีลักษณะเป็น 2 มิติ ที่มีโครงสร้างคาร์บอนอะตอมชั้นเดียวซึ่งจะได้จากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันทางเคมีของกราฟไฟต์ด้วยตัวออกซิไดซ์และกรดเข้มข้น โครงสร้างของชั้นกราฟีนยังคงไว้ แต่มีระยะห่างของชั้นเดิมสูงขึ้น เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันของออกซิเจนแทรกอยู่ทั้งบริเวณขอบและบนพื้นผิวของแผ่นกราฟีน เช่น กลุ่มอีพอกไซด์ คาร์บอนิล คาร์บอกซิล และไฮดรอกซิล กราฟีนออกไซด์ถูกเตรียมขึ้นครั้งแรกในปี 1859 โดย Benjamin Collins Brodie จากการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันทางเคมีของกราฟไฟต์ที่มีส่วนผสมของโพแทสเซียม คลอเรตและกรดไนตริก ต่อมาในปี 1957 Hummers และ Offeman ได้พัฒนากระบวนการที่ปลอดภัยกว่า เร็วกว่า และมีประสิทธิภาพมากกว่าเรียกว่าวิธี Hummers โดยใช้ส่วนผสมของกรดซัลฟิวริก โซเดียมไนเตรต และโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต นอกจากนี้คุณสมบัติของกราฟีนด์ออกไซด์จะขึ้นอยู่กับระดับการเกิดออกซิเดชันและวิธีการสังเคราะห์ [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ [21]

## 2.2.1 สมบัติของกราฟีนออกไซด์ (Properties of Graphene Oxide)

### 2.2.1.1 สมบัติเชิงกล (Mechanical Properties)

กราฟีนออกไซด์นั้นมีความแข็งแรงสูงเนื่องจากโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนที่เรียงตัวต่อกันเป็นวงหกเหลี่ยม (Hexagonal) โดยพันธะโคเวเลนต์ที่มีความแข็งแรงเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายมีลักษณะคล้ายรังผึ้ง จึงเป็นผลให้กราฟีนออกไซด์นั้นมีความแข็งแรงสูง มีความเหนียวและยืดหยุ่นสูง แต่มีความสามารถในการแตกหักต่ำ ดังนั้นกราฟีนออกไซด์จึงเป็นสารตัวเติมและเป็นส่วนต่อประสานเมทริกซ์ได้ดีเยี่ยม

### 2.2.1.2 สมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties)

เนื่องจากที่บริเวณพื้นผิวของกราฟีนออกไซด์นั้นประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบและคาร์บอนมีการสร้างพันธะกับออกซิเจน จึงทำให้มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบ  $sp^3$  ส่งผลให้ในโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์นั้นไม่มีอิเล็กตรอนอิสระที่สามารถเคลื่อนที่ได้ซึ่งอิเล็กตรอนอิสระนั้นจะทำหน้าที่เป็นพาหะในการนำไฟฟ้า (Charge carriers) ที่ทำให้กราฟีนออกไซด์นั้นไม่มีสมบัติด้านการนำไฟฟ้า แต่มีสมบัติความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

### 2.2.1.3 สมบัติทางความร้อน (Thermal Properties)

เป็นเช่นเดียวกับสมบัติทางไฟฟ้าคือกราฟีนออกไซด์มีสมบัติการนำความร้อนต่ำจึงทำให้กราฟีนออกไซด์มีความเป็นฉนวนที่ดี เมื่ออะตอมของคาร์บอนนั้นสร้างพันธะกับออกซิเจนจึงทำให้มีการจัดเรียงอิเล็กตรอนแบบ  $sp^3$  ส่งผลให้โครงสร้างของกราฟีนออกไซด์นั้นไม่มีอิเล็กตรอนอิสระและทำให้ไม่สามารถส่งผ่านอิเล็กตรอนได้ กราฟีนออกไซด์จึงไม่มีสมบัติด้านการนำความร้อนแต่มีสมบัติในการเป็นฉนวนความร้อนที่ดี

### 2.2.1.4 สมบัติการละลาย (Solubility Properties)

กราฟีนออกไซด์สามารถกระจายตัวในน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วเนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนที่บริเวณพื้นผิวของกราฟีนออกไซด์นั้นสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับน้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ได้ จึงเป็นผลทำให้กราฟีนออกไซด์นั้นสามารถดูดความชื้นและกระจายตัวในเอกสารนี้ น้ำและตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วได้ [22], [23] ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ และนาโนกราฟีนออกไซด์

### 2.2.2 การสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์

การปรับปรุงกราฟีนออกไซด์ให้มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ดีก่อนนำไปประยุกต์ใช้ จึงได้มีการพัฒนาการสังเคราะห์มาหลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันโดยกระบวนการสังเคราะห์ที่ดีควรเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีความสามารถสูงในการออกซิไดซ์กราฟไฟต์เป็นกราฟีนออกไซด์ และกระบวนการสังเคราะห์ควรทำได้ง่ายและรวดเร็ว โดยทั่วไปการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์มีอยู่ 3 วิธีหลัก ๆ คือ วิธีการของโบรดี (Brodie Method), วิธีการของสตอเดนเมียร์ (Staudenmaier Method) และวิธีการของฮัมเมอร์ (Hummers Method)

#### 2.2.2.1 วิธีการของโบรดี (Brodie Method)

ในปี 1859 Brodie เป็นคนแรกที่ได้ทำการสังเคราะห์กราฟีนที่มีหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ในโครงสร้าง เช่น Epoxy, Hydroxyl และ Carboxyl ซึ่งการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันที่มีขั้วบนพื้นผิวของกราฟีนจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติความเข้ากันได้กับพอลิเมอร์เมทริกซ์ และช่วยลดการนำความร้อนและการนำไฟฟ้า โดยวิธีการนี้ทำได้โดยเติมกรดไนตริกลงใน Cooling jacket และทำให้เย็นลงที่ 0 องศาเซลเซียส โดยแช่ในอ่างน้ำแข็ง จากนั้นทำการเติมกราฟไฟต์และโพแทสเซียมคลอเรตซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ลงไป โดยกวนปฏิกิริยาเป็นเวลา 21 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส แล้วทำการกรองผลิตภัณฑ์ที่ได้ โดยวิธีการนี้จะทำให้ได้แผ่นกราฟีนที่มีขนาดเล็กและมีพื้นที่ผิวสูง แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อเสียคือมีความเป็นพิษ การกระจายตัวได้น้อยเมื่ออยู่ในสารละลาย ความหนาแน่นของแผ่นไม่สม่ำเสมอ และโครงสร้างที่ได้มีความบกพร่องสูง

#### 2.2.2.2 วิธีการของสตอเดนเมียร์ (Staudenmaier Method)

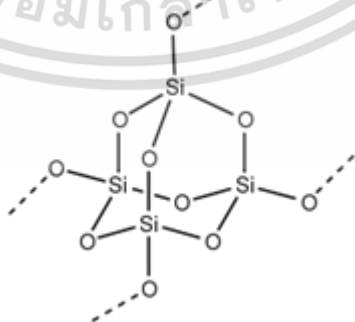
ในปี 1898 Staudenmaier ได้พัฒนาวิธีการสังเคราะห์กราฟีน ด้วยการเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นในปฏิกิริยาซึ่งทำได้โดยผสมกรดไนตริกและกรดซัลฟิวริก ในอัตราส่วน 1:3 ลงในขวด จากนั้นนำไปแช่ในอ่างน้ำแข็งเป็นเวลา 30 นาที แล้วเติมกราฟไฟต์ลงไปพร้อมกับกวนปฏิกิริยาให้สารเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมโพแทสเซียมคลอเรตลงไปอย่างช้า ๆ แล้วทำการกวน 96 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง จะได้กราฟีนออกไซด์ ซึ่งวิธีการนี้ไม่ซับซ้อนเหมือนวิธีของ Brodie และสามารถทำให้เสร็จสมบูรณ์ได้ เอกสารนี้ใน Vessel แต่ข้อเสียคือยังมีความเป็นพิษ ใช้เวลาในการสังเคราะห์นานและเป็นอันตรายขึ้นด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.2.3 วิธีการของฮัมเมอร์ (Hummers Method)

เพื่อลดเวลาในการสังเคราะห์ วิธี Hummer จึงเป็นวิธีที่น่าสนใจและใช้กันอย่างแพร่หลาย วิธีการนี้จะเปลี่ยนตัวออกซิไดซ์จากโพแทสเซียมคลอเรตเป็นโพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์โดยมีอัตราส่วนกราไฟต์ต่อโพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์เป็น 1:3 แล้วทำการบ่มกวน 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง วิธีการนี้มีข้อดีคือตัวออกซิไดซ์ที่ใช้มีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเทียบกับวิธี Staudenmaier หรือ Brodie แต่อย่างไรก็ตาม มีข้อเสียคือในขั้นตอนการออกซิเดชันเปลี่ยนกราไฟต์เป็นกราฟีนออกไซด์ยังทำได้ไม่สมบูรณ์ดังนั้น กราฟีนที่ได้จึงยังมีความบกพร่องทางโครงสร้างอยู่ ต่อมาในปี 2008 มีการปรับปรุงวิธี Hummer เป็น Modified Hummers ซึ่งได้เพิ่มอัตราส่วนกราไฟต์ต่อโพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์เป็น 1:6 โดยข้อดีของวิธีนี้คือมีประสิทธิภาพสูงในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อเปลี่ยนกราไฟต์เป็นกราฟีนเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Hummer แต่ในขั้นตอนการออกซิเดชันจะมีการปลดปล่อยแก๊สพิษ เช่น  $\text{NO}_2$  และ  $\text{N}_2\text{O}_4$  และยังเหลือ  $\text{Na}^+$  และ  $\text{NO}_3^-$  ในปฏิกิริยาทำให้ยากต่อการกำจัดออก และผลิตภัณฑ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้ยังไม่มีบริสุทธิ์มากนัก หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาการสังเคราะห์ด้วยวิธี Improved Hummers วิธีการนี้จะไม่มีการใช้  $\text{NaNO}_3$  เหมือนกับวิธี Modified Hummers และได้เพิ่มปริมาณของกราไฟต์ต่อ  $\text{KMnO}_4$  เป็นอัตราส่วน 1:9 และทำในสารละลายผสมของ  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_3\text{PO}_4$  จากการปรับปรุงดังกล่าวทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้เพิ่มขึ้น ใช้เวลาในการสังเคราะห์น้อย ความบกพร่องทางโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ลดลง และไม่มีการเกิดแก๊สพิษในปฏิกิริยา [24]

## 2.3 ซิลิกา/ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silica/Silicon Dioxide)

ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) เป็นสารประกอบของซิลิกอนและออกซิเจน มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่นและรส พบมากในดิน หิน และเป็นธาตุที่มีมากเป็นอันดับ 2 บนเปลือกโลก รองจากออกซิเจน และถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน อาทิ เป็นสารดูดซับความชื้น เป็นสารเพิ่มความเงา เป็นส่วนผสมของวัสดุก่อสร้าง และใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น [25]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์ จัดเรียงตัวแบบเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทั่วไปของซิลิกา (Silica/SiO<sub>2</sub>) [25]

ชื่อทั่วไป	silica, quartz, free crystalline silica, silica flour
สูตรโมเลกุล	SiO <sub>2</sub>
น้ำหนักโมเลกุล	60.1
สถานะ	ของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น
ความถ่วงจำเพาะ	2.2-2.6
จุดเดือด	มากกว่า 2,200 องศาเซลเซียส
จุดหลอมเหลว	1,713 องศาเซลเซียส
การละลาย	- ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย - ไม่ละลายในกรดทุกชนิด ยกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก - ละลายได้โดยการหลอมกับด่าง
การติดไฟ	ไม่ลุกติดไฟ

ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบของธาตุซิลิกอน (Si) และธาตุออกซิเจน (O) มีการจัดเรียงตัวแบบเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) แบบตาข่าย 3 มิติไม่รู้จัก โดยมีซิลิกอนเป็นอะตอมกลาง และล้อมรอบด้วย 4 อะตอมของออกซิเจน เป็น SiO<sub>4</sub> การเปลี่ยนแปลงรูปของซิลิกาจะเกิดขึ้นได้ช้ามาก แต่จะเกิดขึ้นได้เร็วมากเมื่อหลอมรวมกับอัลคาไล (alkali), วานาเดต (vanadate), คลอไรด์ (chloride) และบอเรต (borate) แต่จะไม่เปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพมากนัก แบ่งซิลิกาออกเป็น 6 ชนิด คือ

1. นีโอซิลิเกต (Nesosilicate) (Si:O<sub>2</sub> = 1:4)
2. โซโรซิลิเกต (Sorosilicate) (Si:O<sub>2</sub> = 2:7)
3. ไซโคลซิลิเกต (Cyclosilicate) (Si:O<sub>2</sub> = 1:3)
4. ไอโนซิลิเกต (Inosilicate) (Si:O<sub>2</sub> = 4:11)
5. ฟิลโลซิลิเกต (Phyllosilicate) (Si:O<sub>2</sub> = 2:5)
6. เทกโทซิลิเกต (Tectosilicate) (Si:O<sub>2</sub> = 1:2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 สมบัติทางเคมีของซิลิกา

ซิลิกาหรือซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) มีสมบัติทางเคมีที่ค่อนข้างเสถียรที่อุณหภูมิปกติ และไม่ทำปฏิกิริยาต่อสารเคมีหลายชนิดแต่สามารถเปลี่ยนรูปแบบได้ โดยซิลิกาชนิดออสถฐานจะไวต่อปฏิกิริยามากกว่าซิลิกาชนิดผลึกเพราะซิลิกาออสถฐานมีพื้นผิวมากกว่า ส่วนสารละลายกรดจะไม่มีผลต่อซิลิกายกเว้นกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับซิลิกาจนได้  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  ทั้งนี้ซิลิกาในรูปแบบที่ต่างกันจะเกิดปฏิกิริยากับกรดไฮโดรฟลูออริกได้ต่างกันขึ้นกับความหนาแน่นเป็นหลัก โดยซิลิกาที่มีความหนาแน่นสูงจะเกิดปฏิกิริยาได้น้อยกว่าซิลิกาที่มีความหนาแน่นต่ำ

### 2.3.2 รูปแบบของซิลิกา

2.3.2.1 ซิลิกาผลึก (Crystalline Silica) เป็นซิลิกาที่พบในรูปแบบสินแร่ มีการจัดเรียงอะตอมของโครงสร้างอย่างมีระเบียบและต่อเนื่อง มีรูปร่างเป็นระบบผลึกที่แน่นอนภายใต้ความดันปกติ มี 3 รูปแบบ

- 1) ควอตซ์ (Quartz) เป็นรูปที่พบมากที่สุด อุณหภูมิเสถียรน้อยกว่า 870 องศาเซลเซียส
- 2) ไทรดิไมท์ (Tridymite) อุณหภูมิเสถียรที่ 870-1,470 องศาเซลเซียส
- 3) คริสโตบาลิต (Cristobalite) อุณหภูมิเสถียรที่ 1470 องศาเซลเซียส และหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 1,713 องศาเซลเซียส

ผลึกทั้งสามรูปนี้สามารถจะเปลี่ยนไปมาระหว่างกันได้โดยการให้ความร้อนหรือลดอุณหภูมิ ซึ่งการเปลี่ยนแปลง (Inversion) นี้มี 2 รูปแบบ คือ แบบที่หนึ่งจะมีการจัดเรียงอะตอมภายในโครงสร้างใหม่ ส่วนแบบที่สองเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบรวดเร็ว พันธะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแต่สามารถกลับคืนสภาพเดิมได้เร็ว โดย  $\alpha$ -quartz ที่อุณหภูมิ 573 °C จะเปลี่ยนเป็น  $\beta$ -quartz ได้อย่างรวดเร็ว ส่วน Quartz ที่มีความบริสุทธิ์สูง ที่อุณหภูมิ 870 °C จะสามารถเปลี่ยนเป็น Cristobalite ได้ แต่หากมีสิ่งเจือปนสูง จะสามารถเปลี่ยนเป็น  $\alpha$ -tridymite ที่อุณหภูมิ 870 °C และค่อยเปลี่ยนแปลงเป็น  $\alpha$ -cristobalite ที่อุณหภูมิ 1,470 °C ต่อ และหากได้รับอุณหภูมิสูงประมาณ 1,713 °C ก็จะทำให้เกิดการหลอมเหลวขึ้น ส่วนในระหว่างการทำให้เย็นลง พบว่า Tridymite และ Cristobalite จะไม่เปลี่ยนมาเป็น Quartz ตามเงื่อนไขปกติ แต่จะมีการเปลี่ยนมาเป็น  $\gamma$ -tridymite และเปลี่ยนเป็น  $\beta$ -cristobalite อย่างรวดเร็ว ดังสมการด้านล่าง

- $\alpha$  Tridymite  $\rightleftharpoons$  117-163 °C  $\rightleftharpoons$   $\beta$  Tridymite
  - $\alpha$  Cristobalite  $\rightleftharpoons$  220-260 °C  $\rightleftharpoons$   $\beta$  Cristobalite
  - $\alpha$  Quartz  $\rightleftharpoons$  573 °C  $\rightleftharpoons$   $\beta$  Quartz
  - Quartz high  $\rightleftharpoons$  870 °C  $\rightleftharpoons$  Tridymite high  $\rightleftharpoons$  1,470 °C  $\rightleftharpoons$  Cristobalite high
- ผลึกทั้ง 3 ชนิด เป็นรูปแบบที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ โดย Cristobalite ที่สามารถสังเคราะห์ได้

เช่น Keatite, Coesite, Stishovite และ Silica เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2.2 ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica)

เป็นซิลิกาที่เกิดจากสิ่งมีชีวิต (Biogenic silica) และสามารถสังเคราะห์ขึ้นได้ มีลักษณะเป็นของแข็ง มีรูปไม่แน่นอน ไม่เป็นผลึก มีการจัดเรียงอะตอมภายในโครงสร้างไม่เป็นระเบียบ อาจอยู่ในรูปของไฮเดรต (Hydrate) หรือ แอนไฮเดรต (Anhydrate) มีพันธะหลายรูปแบบ เช่น Siloxane (Si-O-Si), Silanol (Si-O-H), Silane (Si-H), Organic silicon (Si-O-R หรือ Si-C-R)

การสังเคราะห์จะสามารถสังเคราะห์ได้จากการให้ความร้อนจนมีสถานะเป็นไอ และการตกตะกอนสารละลาย แบ่งเป็น 3 ประเภท ตามลักษณะผลิตภัณฑ์ที่เตรียมได้ ได้แก่

1) วิเทียสซิลิกา (Vitreous Silica) หรือซิลิกาแก้ว (Silica Glass) เป็นของแข็ง ไม่มีรูพรุน ผลิตได้จากการหลอมเหลวผลึกซิลิกาอสัณฐานแล้วปล่อยให้เย็นตัว

2) ซิลิกาเจล (Silica Gel) มีลักษณะแข็ง มีรูพรุนสูง มีโครงสร้างรูพรุนแบบเปิด และมีพื้นที่ผิวสูง แบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

- อะควาเจล (Aquagel) มีลักษณะเป็นเจลเหลว ภายในมีน้ำมาก เตรียมได้จากสารละลาย
- อัลโคเจล (Alcogel) มีลักษณะเป็นเจล เตรียมได้จากอัลคอกซี-ไซเลน
- ซีโรเจล (Xerogel) มีลักษณะเป็นเจลแห้ง จากการกำจัดน้ำออกด้วยการระเหย มีโครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

โครงสร้างไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม

3) แอโรเจล (Aerogel) มีลักษณะเป็นเจลแห้ง น้ำหรือตัวทำละลายถูกกำจัดด้วยวิธีสกัดแบบซูเปอร์คริติคอล เตรียมได้จากกระบวนการทำแห้ง ณ อุณหภูมิเหนือจุดวิกฤต

### 2.3.2.3 ซิลิกาผง (Powder Silica)

เป็นซิลิกาที่เตรียมได้จากสภาวะกลายเป็นไอ และการตกตะกอนของสารละลายที่มีลักษณะการฟุ้งกระจายของอนุภาคสูง เมื่อตกตะกอนจะได้ซิลิกาที่มีขนาดเล็กมาก และมีพื้นที่ผิวสูง

1) อะควาจีนิค (Aquagenic) เตรียมได้จากการตกตะกอนในสารละลายหรือจากอะควาเจล

2) ไพโรจีนิค (Pyrogenic) เตรียมได้จากการระเหยของซิลิกาโดยใช้เปลวไฟหรือการอาร์ค (Arc) ในสภาวะที่ไม่มีก๊าซออกซิเจน และเกิดการรวมตัวกันทางกายภาพ หรือเกิดจากการรวมตัวกันทางเคมีของไอสารประกอบซิลิคอนจากเปลวไฟของไฮโดรเจนกับออกซิเจน

3) ไบโอบีนิค (Biogenic) เป็นประเภทของอะควาจีนิคชนิดพิเศษประเภทหนึ่งที่พบในพืชและไดอะตอม

## 2.3.3 ประโยชน์ของซิลิกาและการนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ

2.3.3.1 ซิลิกาชนิดผลึก (Crystalline Silica) ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับเป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้าง

### 2.3.3.2 ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica)

1) ใช้เป็นองค์ประกอบตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2) ใช้เป็นสารเพิ่มความแข็งแรง และความหนาแน่นในผลิตภัณฑ์ยาง พลาสติก และโพลีเมอร์  
ไม่ว่าจะเป็นต้น ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ใช้เป็นสารเพิ่มแรงยึดติดในผลิตภัณฑ์กาว
- 4) ใช้เป็นสารลดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างของแข็งที่แขวนลอยในของเหลว
- 5) ใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น จารบี หมึกพิมพ์ สี ยา และเครื่องสำอาง เป็นต้น
- 6) ใช้เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ทำให้สารที่ไม่ละลายกันผสมเข้ากันได้ดี เช่น น้ำกับน้ำมัน
- 7) ใช้เป็นสารป้องกันการเกิดโฟม
- 8) ใช้เป็นสารปรับสภาพพื้นผิวให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ
- 9) ใช้เป็นสารเพิ่มความเงา
- 10) ใช้เป็นสารดูดความชื้น
- 11) ใช้เป็นสารเติมแต่ง

## 2.4 ฉนวนป้องกันความร้อน

ฉนวนกันความร้อน คือวัสดุที่สามารถสกัดความร้อนไม่ให้ส่งผ่านไปยังส่วนอื่น ๆ โดยมีลักษณะเบา ประกอบด้วยฟองอากาศเล็ก ๆ จำนวนมากซึ่งมีคุณสมบัติสกัดกั้นความร้อนให้อยู่ในฟองอากาศ จึงไม่นำพาความร้อนไปยังส่วนอื่น ๆ ซึ่งในด้านการตกแต่งบ้าน นิยมนำมาใช้ติดตั้งไว้บนโครงหลังคาบ้านเพื่อลดความร้อนแรงของแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่งผ่านเข้ามาในบ้านจนทำให้เกิดความร้อน นอกจากนี้ยังสามารถใช้ติดตั้งบริเวณฝ้าเพดานได้เช่นกัน

ฉนวนแต่ละชนิด จะมีการต้านทานความร้อนที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งฉนวนที่ดีจะต้องต้านทานความร้อนที่ผ่านจากด้านหนึ่งไปอีกด้านหนึ่งให้ลดลงเหลือน้อยที่สุด ทั้งนี้ถ้าค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อน (ค่า K) ยิ่งน้อย แสดงว่าเป็นฉนวนที่สามารถต้านทานความร้อนได้ดี [27]

ตารางที่ 2.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของการนำความร้อนของวัสดุชนิดต่าง ๆ [28]

วัสดุ	ค่า K (วัตต์/เมตร °C)
โฟมโพลียูรีเทน	0.023
โฟมแผ่น (โพลีสไตรีน)	0.031
ฉนวนใยแก้ว	0.035
ไม้อัด	0.123
แผ่นยิปซัม	0.191
กระเบื้องแผ่นเรียบ	0.280

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.1 ประเภทและคุณสมบัติของฉนวนป้องกันความร้อน

### 2.4.1.1 อะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium Foil)

เป็นฉนวนสะท้อนความร้อนประเภทที่มีผิวมันวาว มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ทำให้ฉนวนไม่เกิดการสะสมความร้อน มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ สามารถแผ่รังสีความร้อนออกมาได้น้อย เมื่อนำไปติดตั้งใต้หลังคา จะทำให้ความร้อนถ่ายเทลงมาภายในบ้านได้น้อย จึงป้องกันความร้อนได้ดี

### 2.4.1.2 โฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane)

โฟมชนิดนี้เรียกกันสั้น ๆ ว่า โฟม PU เป็นวัสดุป้องกันความร้อน-เย็น รั่วซึม และลดเสียงดังได้ดี โดยโครงสร้างเป็นเซลล์ปิด (Closed Cell) มีช่องอากาศเป็นโพรงเรียกว่า Air Gap เป็นจำนวนมาก ติดตั้งโดยวิธีฉีดพ่นไปยังวัตถุ เช่น ไม้ โลหะ อิฐ คอนกรีต แก้ว พลาสติก กระดาษ กระเบื้อง ยิปซัม เป็นต้น เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปัญหาเรื่องระบายความร้อน แต่ข้อเสียคือมีจุดหลอมเหลวต่ำ หากโดนอุณหภูมิร้อนจัดอาจทำให้เปลี่ยนสภาพได้ การฉีดพ่นหากช่างพ่นไม่ดีทำให้ฉนวนฟุ้งกระจายเลอะเทอะได้

ฉนวน P.U.FOAM เป็นเนื้อเดียวกับวัสดุ ไร้รอยต่อของฉนวน สามารถกำหนดความหนาของเนื้อโฟมได้ตามต้องการ ทำให้สามารถลดความร้อนได้มาก

- สามารถลดการแผ่รังสีจากแสงแดดซึ่งผ่านทางหลังคาได้มากกว่า 90%
- สามารถป้องกันเสียงรบกวน กันซึม กันรั่ว กันร้าว กันความชื้น และกันสนิมได้เป็นอย่างดี เพราะติดตั้งแน่นเป็นงานชิ้นเดียวกับหลังคา
- ใช้ได้ดีกับหลังคาทุกประเภท เช่น กระเบื้อง สังกะสี อลูมิเนียม คอนกรีต เหล็กงานอุตสาหกรรมห้องเย็น และเครื่องปรับอากาศ
- สามารถหุ้มผนังห้องเย็นได้ทุกด้าน เพื่อกันการสูญเสียความเย็นจากผนังห้องเย็นจึงเป็นการรักษาความเย็นให้คง สภาพในอุณหภูมิต่ำ ได้เป็นระยะเวลานาน ตลอดจนการหุ้มท่อลมเย็น ท่อน้ำเย็น ไม่ให้สูญเสียความเย็นระหว่างทางของท่อ
- นอกจากนี้ยังเหมาะสำหรับงานเครื่องปรับอากาศ เครื่องทำน้ำเย็นที่เกี่ยวกับถาดน้ำทิ้ง ท่อลมเย็น ท่อน้ำเย็น ฯลฯ งานเรือประมง เรือเดินทะเล หุ่น แพ ลูกลอย เป็นต้น

### 2.4.1.3 ฉนวนใยแก้ว (Microfiber)

ประกอบด้วยเส้นใยไฟเบอร์เล็ก ๆ มีประสิทธิภาพทนความร้อนสูง จึงสามารถช่วยลดปริมาณความร้อนที่จะผ่านเข้าสู่ตัวอาคารได้มาก นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติกันเสียงรบกวนได้ จึงช่วยให้ไม่รบกวนในยามฝนตก รวมถึงป้องกันความชื้นสูง มีความยืดหยุ่นได้ดีเมื่อถูกกดทับจะสามารถคืนตัวได้เร็ว มีน้ำหนักเบา ทนทาน ไม่เสื่อมสภาพ และป้องกันแมลงหรือเชื้อราได้

#### 2.4.1.4 ฉนวนใยหิน (Mineral Wool)

ฉนวนใยหินผลิตจากการหลอมหินที่อุณหภูมิมากกว่า 1000°C แล้วปั่นเป็นเส้นใยของหิน มีคุณสมบัติไม่ติดไฟ ดูดซับเสียงได้เป็นอย่างดี ไม่ดูดซับน้ำจึงทำให้ไม่ขึ้นราและยากต่อการผุพัง ใช้สำหรับการติดตั้งใต้หลังคาบ้านพักอาศัย อาคารสำนักงาน อย่างไรก็ตามฉนวนจากแร่ใยหินประเภท Asbestos ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ถูกห้ามใช้ในหลายประเทศรวมทั้งประเทศไทย ส่วนใยหินโครโซไทล์ประเทศไทยมีการใช้มาแล้ว 77 ปี ตั้งแต่ปี 2481 ยังไม่มีผลการศึกษาทางวิชาการชัดเจนว่ามีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและคนงานในโรงงานที่ใช้แร่ใยหินโครโซไทล์เป็นวัตถุดิบ

#### 2.4.1.5 ฉนวนใยเซลลูโลส (Cellulose)

ใยเซลลูโลส เป็นฉนวนกันความร้อนที่ผลิตจากการนำไม้หรือกระดาษที่ใช้แล้ว นำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง โดยการแผ่และดึงให้กระจายออก ทำการย่อยจนละเอียด จากนั้นทำการประสานเข้าด้วยกันกับบอแรกซ์ ส่วนผสมทั้งสองนี้จะช่วยให้มีสภาพต้านทานการลุกไหม้และการดูดซับความชื้น การใช้งานอาจใช้การเทบรรจุเข้าในช่องผนัง หรือใช้เป็นฉนวนแผ่นบนเพดาน ของอาคาร หรือแบบฉีดพ่น ใต้หลังคาและดาดฟ้า นอกจากนี้เซลลูโลสยังใช้เป็นฉนวนป้องกันเสียง ได้เป็นอย่างดี เพราะโครงสร้างถูกออกแบบเป็นรูพรุนลักษณะคล้ายผ้าไหมหรือรังไข่

ข้อจำกัดของเซลลูโลส คือ

- 1) การควบคุมความหนาแน่นไม่ได้มาตรฐานตามกำหนด ทำให้ฉนวนยุบตัวลงทีละน้อยทั้งจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง การสั่นสะเทือน หรือความชื้น ทำให้การนำความร้อนลดลง
- 2) เป็นเส้นใยธรรมชาติจึงติดไฟได้ ส่วนจะลุกไหม้ได้เร็วแค่ไหนขึ้นอยู่กับปริมาณการใส่สารไม่ลามไฟ
- 3) มีโอกาสหลุดร่วงได้
- 4) ไม่ทนน้ำและความชื้น

#### 2.4.1.6 แคลเซียมซิลิเกต (Calcium Silicate)

เป็นฉนวนที่เหมาะสมกับงานอุตสาหกรรมที่ใช้อุณหภูมิสูง คุณสมบัติ ไม่ทำให้เกิดการสันดาป ป้องกันไฟ ไม่มีสารพิษ ไม่ผสม Asbestos มีทั้งแบบเป็นใยแร่ และเส้นใยสังเคราะห์ Calcium silicate เกิดจากความร้อนค่อนข้างต่ำทำให้มีความสามารถในการปรับตั้งค่าในแต่ละอุณหภูมิได้รวดเร็วตามสภาพงาน ซึ่งมักจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละช่วงไม่เท่ากัน Calcium silicate ประกอบด้วยไฮดรอกไซด์แคลเซียมซิลิเกต โดยระหว่างกรรมวิธีการผลิตไอน้ำจะเปลี่ยนรูปเป็นหินปูนและซิลิกาไปเป็นไฮดรอกไซด์แคลเซียมซิลิเกต ซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งแรงทนทานนิยมนำไปใช้ในการหุ้มท่อและภาชนะในกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่มีอุณหภูมิสูงและจำเป็นต้องใช้วัสดุที่มีความทนต่อแรงอัดสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.1.7 เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite)

ทำมาจากแร่ไมก้า ซึ่งมีลักษณะเป็นเกล็ดๆคล้ายกระดาษ โดยมีน้ำเป็นส่วนประกอบ ในกระบวนการผลิตอนุภาคของแร่ไมก้าจะได้รับความร้อนอย่างรวดเร็ว เกิดการร้อนเป็นเกล็ด

การนำมาใช้งานเป็นฉนวนกันความร้อนแบบเทอร์รจูเข้าไปในบล็อกรหรือโพรงผนัง ถ้านำไปผสมกับปูนซีเมนต์หรือทราย ก็จะเป็นคอนกรีตเวอร์มิคูไลต์ที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตปกติถึง 10 เท่า โดยปกติจะผสมเคมีบางชนิด เพื่อใช้พ่นกันไฟให้กับโครงสร้างเหล็ก ปัจจุบันในเมืองไทยมีการบังคับใช้ นิยมใช้ในยุโรปและอเมริกา

#### 2.4.1.8 เซรามิกโค้ดติ้ง (Ceramic Coating)

ฉนวนกันความร้อนที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงมีส่วนประกอบของเม็ดเซรามิกโบโรซิลิเกต (Ceramic Borosilicate) ซึ่งมีส่วนผสมของสารต่อต้านความร้อนรูปทรงกลมที่เรียกว่า ไมโครสเฟียร์เซรามิก (Microspheres Ceramic) ที่มีลักษณะเดียวกับวัสดุเซรามิก (แผ่นเซรามิก) ที่ติดตั้งบนกระสวยอวกาศขององค์การอวกาศ (NASA) ที่ใช้เป็นฉนวนป้องกันรังสีความร้อน Ceramic Coating มีส่วนผสมของ อิมัลชันปิทุเมนเหลวเสริมความแข็งแรงด้วยเส้นใยโพลีเอสเตอร์, สารอะครีลิกโพลิเมอร์เรซินและไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการต้านทานรังสีอัลตราไวโอเล็ต ช่วยป้องกันรักษาหลังคาและผนังอาคารให้มีอายุทนทานยาวนาน รวมทั้งยังได้ผ่านการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ว่ามีคุณสมบัติในการต้านทานต่อสภาพบรรยากาศทนต่อสารเคมี กรดและด่างมากมายหลายชนิด มีส่วนผสมที่ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม (Non toxic) ไม่ว่าจะอยู่ในสถานะของเหลว (Liquid state) หรือเมื่อแห้งเป็นชั้นฟิล์ม (Dry film)

คุณสมบัติของฉนวนสีสะท้อนความร้อน

- มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อนสูง ดูดซับความร้อนต่ำ กระจายความร้อนได้ดี
- จะช่วยลดอุณหภูมิในตัวอาคาร ช่วยให้เครื่องปรับอากาศทำงานน้อยลง
- ป้องกันรังสี UV ให้สีบ้านสวยสดใสเหมือนใหม่อยู่เสมอ
- มีค่าความยืดหยุ่นสูงยึดเกาะกับผิวได้ดี จึงช่วยป้องกันการแตกร้าวของหลังคาทำให้อายุการใช้งานของหลังคายาวนานขึ้น

การใช้งานของหลังคายาวนานขึ้น

- ป้องกันน้ำ จึงทำให้น้ำไม่สามารถไหลผ่านรั้วซึมเข้ายังตัวอาคารได้
- มีส่วนผสมของสารเคมีที่ช่วยต่อต้านการเกิดราจึงทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อราเหล่านี้

เป็นไปอย่างยากลำบาก

- ไม่หลุด ร่อน บวม หลังจากการพ่น Ceramic Coating ไปแล้ว 21 วัน
- ไม่ติดไฟและไม่มีสารพิษ (Non Toxic) ต่อสุขภาพและร่างกายหรือสิ่งแวดล้อมโดยเด็ดขาด
- ติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว สามารถติดตั้งโดยการใช้แปรงทา, ลูกกลิ้ง, หรือเครื่องพ่นแรงดัน

สูง ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะงานและพื้นที่ ๆ ทำการติดตั้ง [27], [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติฉนวนป้องกันความร้อน [29]

ประเภทฉนวน	คุณสมบัติ	ข้อดี	ข้อเสีย
ฉนวนอลูมิเนียมฟอยล์	มีค่าการแผ่รังสีความร้อน (Emissivity) ของผิวอลูมิเนียมต่ำ	มีสมบัติในการสะท้อนความร้อนสูงทนความร้อนได้ดี ไม่ติดไฟ ไม่ฉีกขาดง่าย	ขาดคุณสมบัติในการป้องกันเสียง
ฉนวนแบบโฟม	เช่น โพลียูรีเทนเป็นฉนวนที่กันความร้อน/เก็บความเย็นได้ดี	มีคุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ รองรับน้ำหนักกดทับได้ดี มีคุณสมบัติด้านเสียงที่ดี	เกิดก๊าซพิษเมื่อถูกไฟไหม้
วัสดุฉนวนใยแก้ว	ทำมาจากแก้วหรือเศษแก้วนำมาหลอมและเป็นเส้นใยละเอียดนำมาอัดรวมกัน	คุณสมบัติในการนำความร้อนต่ำ มีคุณสมบัติด้านเสียงที่ดี	เส้นใยก่อให้เกิดการระคายเคือง ไม่เหมาะกับการใช้งานที่เปิดโล่ง โดยไม่มีอะไรปกคลุม
วัสดุฉนวนใยหิน	เป็นเส้นใยจากธรรมชาติ มีสารประกอบของแอสเบสตอส (Asbestos) ไม่ปลอดภัยต่อสุขภาพ	มีคุณสมบัติในการกันความร้อนและดูดซับเสียงที่ดี ทนไฟ	ไม่ทนทานต่อความเปียกชื้น
เซลลูโลส	เป็นวัสดุ Recycle ผสมเคมี เพื่อช่วยให้เกิดการยึดติด	มีค่าการกันความร้อนและเสียงที่ดี ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม	ไม่ทนต่อน้ำและ ความชื้น มีโอกาสหลุดลอกได้
แคลเซียมซิลิเกต	เป็นผงอัดเป็นแผ่นสำเร็จ	สามารถตัดต่อเหมือนแผ่นยิปซัม แต่มีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อน ทาสีทับได้ ทนไฟ	มีน้ำหนักมาก ไม่ทนต่อความชื้น
เวอร์มิคูไลท์	ทำจากแร่ไมก้า มีลักษณะเป็นเกร็ด คล้ายกระจก เป็นผงนำไปผสมกับซีเมนต์ หรือทรายจะได้คอนกรีตที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ	สามารถหล่อเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ ทนไฟ	มีน้ำหนักมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น

ตารางที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติฉนวนป้องกันความร้อน [29]

ประเภทฉนวน	คุณสมบัติ	ข้อดี	ข้อเสีย
เซรามิกโค้ดติ้ง	เป็นสีเซรามิกลักษณะของเหลวใช้ทาหรือพ่น ช่วยสะท้อนความร้อนได้ดี	ติดตั้งง่าย มีคุณสมบัติช่วยป้องกันความร้อนที่ผิวอาคารโดยตรง	อายุการใช้งานต่ำ เนื่องจากสภาวะอากาศ การติดตั้งอาศัยเทคนิค ความชำนาญสูง

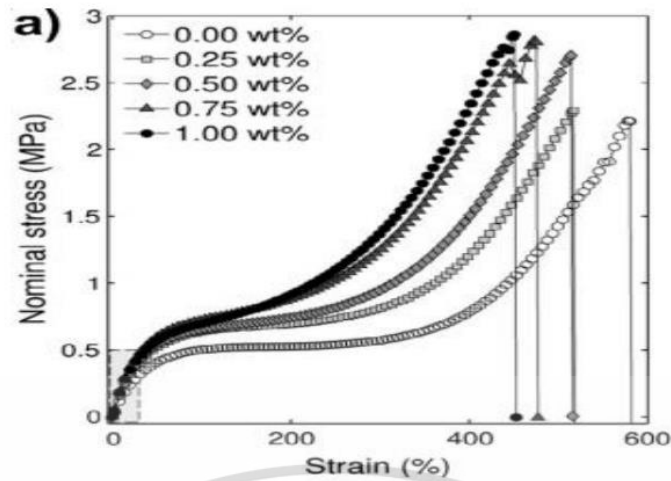
## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

D.C. Stanier และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่เสริมแรงด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์ที่ซัดผิวแล้ว (GO) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการเสริมแรง โดยเติมน้ำยางธรรมชาติปริมาณ 3 กรัม ตามด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์ 3 มิลลิกรัม ที่ปริมาณความเข้มข้นของนาโนกราฟีนออกไซด์แตกต่างกันคือ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 wt% ผสมกัน จากนั้นทิ้งสารละลายให้แห้งในแม่พิมพ์เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปทดสอบ จากการทดสอบแรงดึงและสมบัติเชิงกลอื่น ๆ ของชิ้นงานพบว่า การถ่ายโอนความเครียดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณนาโนกราฟีนออกไซด์ บ่งชี้ให้เห็นว่าชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น นาโนกราฟีนออกไซด์กระจายตัวได้ดีในน้ำยาง ค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นแม้จะมีปริมาณสารตัวเติมที่ต่ำ ส่งผลให้มีการเสริมแรงที่เพิ่มขึ้น ซึ่งค่ามอดูลัสจะแปรผันตามอัตราความเครียดและการกระจายตัวที่เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของกราฟีนออกไซด์ งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการเติมนาโนกราฟีนออกไซด์สามารถปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลได้เช่นเดียวกับการเติมคาร์บอนแบล็คหรือท่อนาโนคาร์บอน ถึงแม้ว่านาโนกราฟีนออกไซด์จะมีความเข้มข้นที่ต่ำกว่า [30]

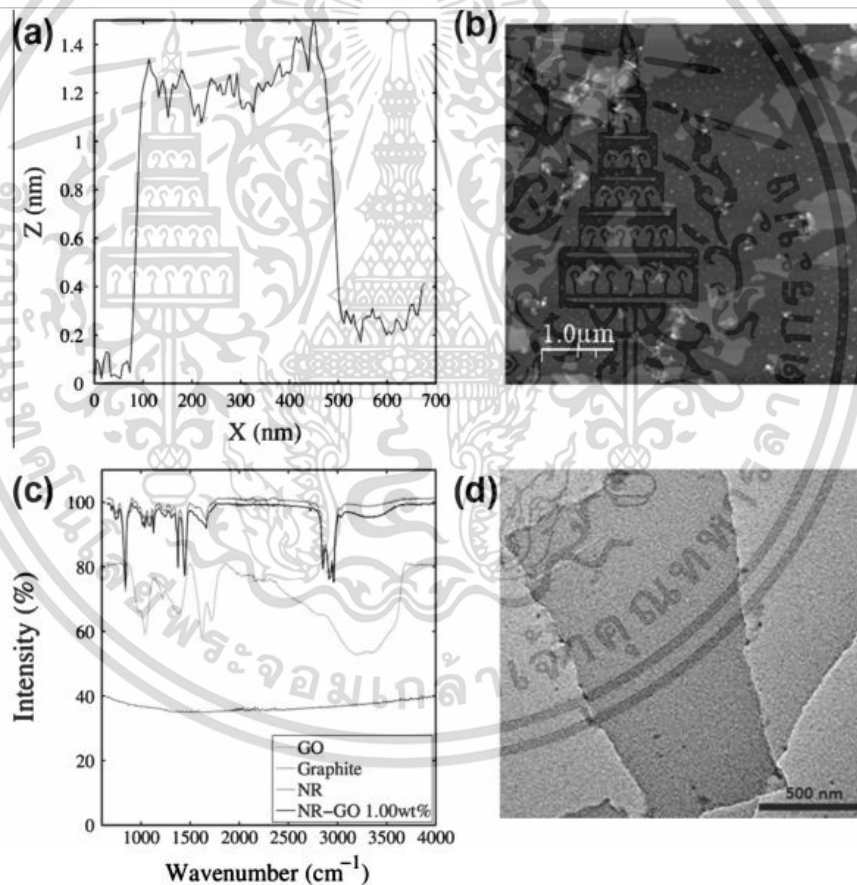
GO (wt%)	Strain-to-failure (%)	Strength (MPa)	Young's modulus (MPa)
0.00	5.98 (±0.39)	2.34 (±0.17)	1.58 (±0.10)
0.25	5.46 (±0.33)	2.30 (±0.18)	1.85 (±0.28)
0.50	5.16 (±0.03)	2.87 (±0.18)	2.09 (±0.24)
0.75	5.01 (±0.24)	3.12 (±0.36)	2.18 (±0.37)
1.00	4.73 (±0.23)	3.13 (±0.24)	2.33 (±0.15)

รูปที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.00 wt% -1.00 wt% [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติแรงดึง (Tensile Properties) ของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ ที่ความเข้มข้นระหว่าง 0.00 wt% -1.00 wt% จนถึงการแตก [30]



รูปที่ 2.7 (a) แสดงภาพ AFM ของเกล็ดนาโนกราฟีนออกไซด์ (b) แสดงภาพ AFM ของการกระจายตัวโดยทั่วไปของแผ่นนาโนกราฟีนออกไซด์ (c) แสดงสเปกตรัม FTIR ของนาโนกราฟีนออกไซด์, กราไฟต์, ยางธรรมชาติ และยางธรรมชาติผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ความเข้มข้น 1.00 wt% (d) แสดงภาพ TEM ของแผ่นนาโนกราฟีนออกไซด์ที่เผยให้เห็นลักษณะแผ่นเรียบบาง [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ห้ามนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Bin Dong และคณะ (2012) ได้ทำการศึกษาการแตกหักแบบกึ่งสถิติ พฤติกรรมความล้าแบบไดนามิกของคอมโพสิต และสมบัติเชิงกลของยางธรรมชาติที่เสริมแรงกราฟีนออกไซด์ (GO) ที่ถูกเตรียมโดยวิธีการจับตัวเป็นก้อนของน้ำยาง เป็นวิธีที่ง่ายและมีแนวโน้มที่ดี การแข็งตัวของน้ำยางทำให้เกิดการผลัดเซลล์ผิวและการกระจายตัวที่สม่ำเสมอของ GO ในเมทริกซ์ยางธรรมชาติ J-testing ถูกใช้เพื่อกำหนดลักษณะความต้านทานการแตกหัก และการทดสอบความล้าได้ดำเนินการภายใต้วงจรสภาวะของความเครียดคงที่ ผลการวิจัยพบว่าด้วยปริมาณ GO ที่เพิ่มขึ้น คุณสมบัติเชิงกลและความต้านทานการแตกหักมากขึ้นด้วย ซึ่งกราฟีนออกไซด์จะมีประสิทธิภาพการเสริมแรงที่สูงกว่าสารตัวเติมแบบอื่น ๆ ดังนั้นกราฟีนออกไซด์จึงเป็นสารตัวเติมที่ดีในการเตรียมคอมโพสิตที่มีความต้านทานการแตกหักและความล้าสูงแม้จะมีปริมาณสารตัวเติมต่ำ [31]

Samples	GO-0	GO-0.5	GO-1	GO-3	GO-5
Modulus at 100% (MPa)	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2
Modulus at 300% (MPa)	1.4	1.9	2.2	3.4	5.0
Tensile Strength (MPa)	20.6	22.9	24.1	25.8	27.9
Tear Strength (kN m <sup>-1</sup> )	25.4	28.3	30.7	37.9	45.9
Elongation at Break (%)	745	718	705	682	657
Shore A Hardness	34.8	37.4	39.1	45.3	47.5

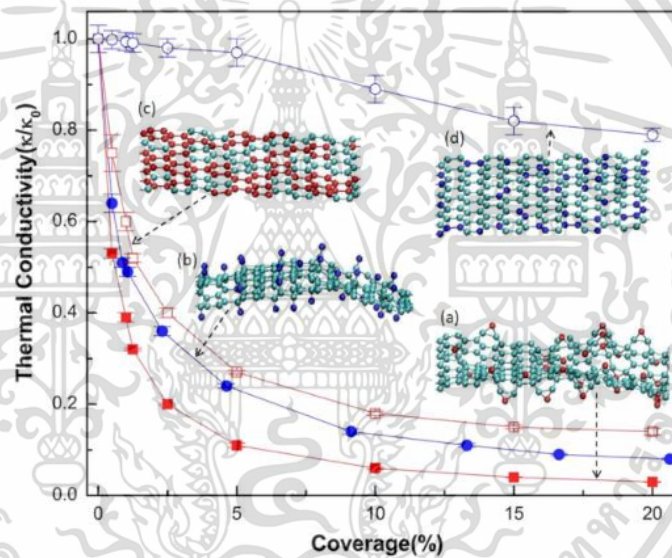
รูปที่ 2.8 แสดงสมบัติทางเชิงกลของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ โดยศึกษาปริมาณการเติมนาโนกราฟีนออกไซด์ได้แก่ 0, 0.5, 1.0, 3.0 และ 5.0 phr [31]

Samples	GO-0	GO-0.5	GO-1	GO-3	GO-5
Tearing Energy $G$ (J m <sup>-2</sup> )	810	951	1110	1252	1403

รูปที่ 2.9 แสดงแรงฉีกขาด (Tearing energy) ของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ ภายใต้ความเครียด (Strain) โดยศึกษาปริมาณการเติมนาโนกราฟีนออกไซด์ ได้แก่ 0, 0.5, 1.0, 3.0 และ 5.0 phr [31]

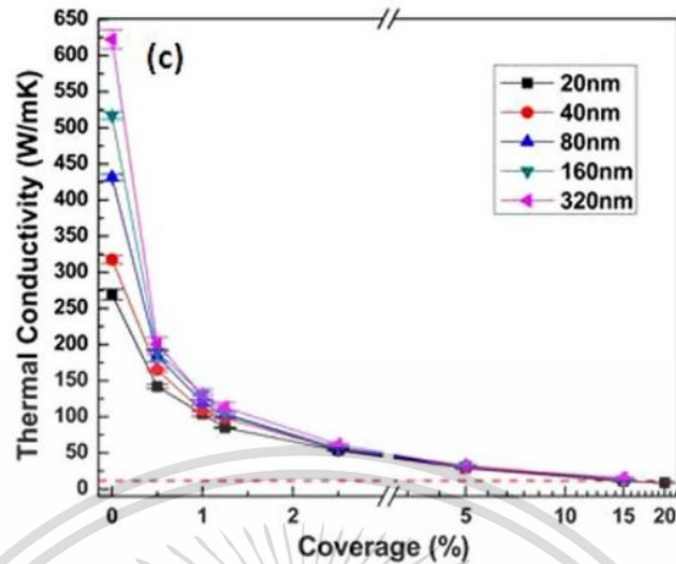
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Xin Mu และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนภายในของกราฟีนออกไซด์ โดยใช้การจำลองไดนามิกของโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีความเป็นไปได้ที่จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นอย่างเป็นระบบเพื่อที่จะศึกษาบทบาทของอะตอมของออกซิเจนในการขนส่งความร้อนของกราฟีน สำหรับกราฟีนที่บริสุทธิ์นั้นจะสามารถสังเกตการถ่ายเทความร้อนที่เคลื่อนที่จากจุดสูงสุด และพบว่ามีปริมาณของออกซิเจนที่ถูกครอบคลุมเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะทำให้คุณสมบัติการนำความร้อนนั้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อการครอบคลุมของออกซิเจนเป็น 5% จะเห็นได้ว่าสามารถลดค่าการนำความร้อนของกราฟีนได้ถึง 90% และลดความครอบคลุมลง 20% หรือต่ำกว่า 8.8 W/mK ซึ่งมักจะถือว่าเป็นค่าการนำความร้อนที่น้อยที่สุดของของแข็ง จากการวิเคราะห์นั้นแสดงให้เห็นว่าการลดลงอย่างมากของค่าการนำความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการกระจายตัวของโฟนอนที่เพิ่มขึ้นอย่างมากที่เกิดมาจากการขบพร่องของออกซิเจน โดยผลลัพธ์เหล่านี้จะให้ข้อมูลเชิงลึกด้านฟิสิกส์เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนในกราฟีนออกไซด์และให้ข้อมูลที่มีคุณค่าสำหรับการออกแบบวัสดุและอุปกรณ์ [32]



รูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการนำความร้อนและความครอบคลุมของอะตอมออกซิเจนและอะตอมไฮโดรเจน (a) อะตอมออกซิเจน ซึ่งเป็นสีแดง (b) อะตอมไฮโดรเจน ซึ่งเป็นสีน้ำเงิน (c) การจำลองมวลพรงของอะตอมออกซิเจน (d) การจำลองมวลพรงของอะตอมไฮโดรเจน สีฟ้าจะเป็นอะตอมคาร์บอน ตัวอย่างมีความยาว คือ  $L = 20$  นาโนเมตร สำหรับทุกกรณี [32]

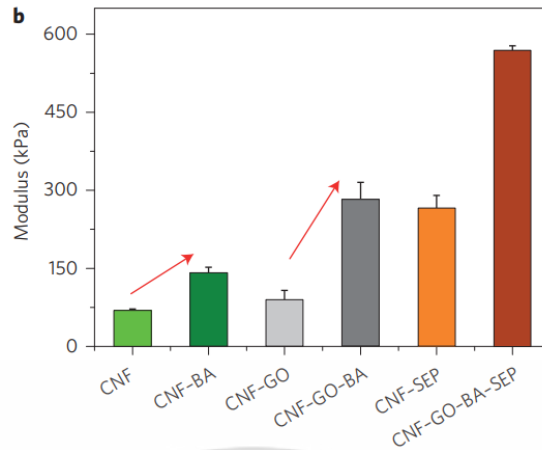
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



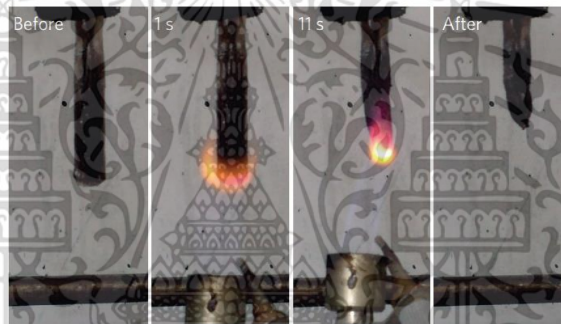
รูปที่ 2.11 แสดงค่าการนำความร้อนของกราฟีนออกไซด์ที่มีความยาวต่างกันตามปริมาณของควมครอบคลุมอะตอมออกซิเจน โดยเส้นประสีแดง บอกถึงค่าการนำความร้อนต่ำสุดที่คาดการณ์ไว้ของกราฟีนที่ขีดจำกัดออสถฐาน [32]

Bernd Wicklein และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาวัสดุฉนวนความร้อนประสิทธิภาพสูงจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เพื่อเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคาร วัสดุฉนวนที่ได้จากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น โพลีสไตรีนและโพลียูรีเทนที่ขยายตัวออกจะมีค่าการนำความร้อนสูงเกินไปสำหรับการติดตั้งเพิ่มเติมหรือสำหรับการสร้างบ้านแบบง่ายและมีประสิทธิภาพที่พื้นผิวใหม่ วัสดุที่ได้รับการปรับแต่ง เช่น แอโรเจลและแผงฉนวนสุญญากาศนั้นเปราะบางและไวต่อการเจาะ ในวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสารแขวนลอยในการหล่อแบบเยือกแข็งของเซลลูโลสนาโนไฟเบอร์ กราฟีนออกไซด์ และแท่งนาโนเซพิโอไลต์ผลิตโฟมแอนไอโซทรอปิกที่มีฉนวนป้องกันความร้อนสูง ทนไฟ และแข็งแรง ซึ่งทำงานได้ดีกว่าวัสดุฉนวนแบบโพลีเมอร์แบบดั้งเดิม โฟมมีน้ำหนักเบามาก แสดงความต้านทานการเผาไหม้ได้ดีเยี่ยม และมีค่าการนำความร้อน  $15 \text{ mW m}^{-1}\text{K}^{-1}$  ซึ่งน้อยกว่าโพลีสไตรีนขยายตัวประมาณครึ่งหนึ่ง ที่  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และความชื้นสัมพัทธ์ 85% โฟมจะคงความแข็งแรงเริ่มต้นไว้มากกว่าครึ่งหนึ่ง ผลลัพธ์งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิศวกรรมระดับนาโนเป็นวิธีที่มีแนวโน้มในการผลิตโฟมที่มีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมโดยใช้เซลลูโลสและวัสดุเส้นใยนาโนที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ [33]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงสมบัติทางเชิงกล b. ค่าโมดูลัสของโพลีเมอร์ CNF, CNF-BA, CNF-GO, CNF-GO-BA, CNF-SEP และ CNF-GO-BA-SEP โดยลูกศรสีแดงจะบ่งบอกการเพิ่มขึ้นของโมดูลัสที่เกิดจากการเติม BA [33]



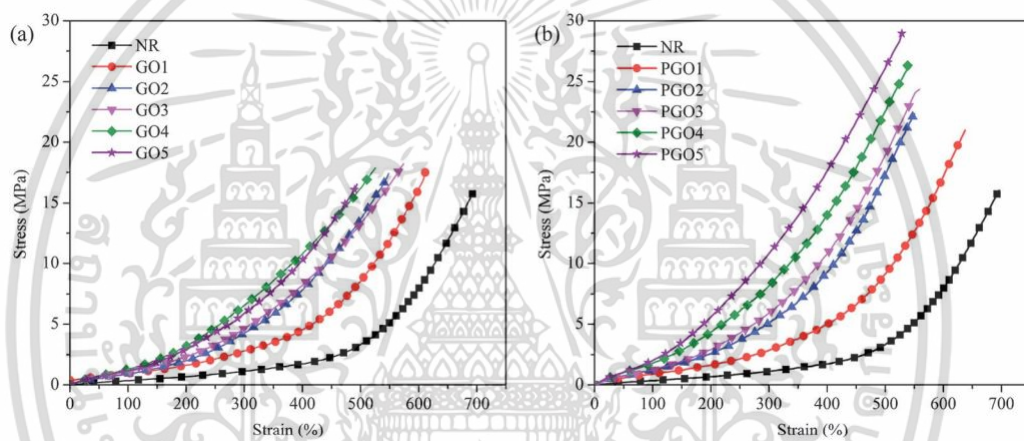
รูปที่ 2.13 การทดสอบการเผาไหม้ในแนวตั้งของโพลีนาโนคอมโพสิตที่มี CNF 77%, GO 10%, SEP 10% และ 3% BA (เป็นน้ำหนัก%) [33]

Xumin Zhang และคณะ (2016) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติทางกล การนำความร้อนและความต้านทานตัวทำละลายของนาโนคอมโพสิตยางธรรมชาติที่ผสมกราฟีนออกไซด์ที่ดัดแปลงด้วยโพลีไวนิลไพร์โรลิโดน (Polyvinyl pyrrolidone modified graphene oxide; PGO) ซึ่งโครงสร้างของ PGO จะมีลักษณะเฉพาะ ตรวจสอบได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังอะตอม, โสไลดสแตต  $^{13}\text{C}$  NMR, พูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี, รามันสเปกตรัมและโฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปีเอ็กซ์เรย์ ความสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุล GO และ PVP ตลอดจนผลกระทบของ PGO ต่อคุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติการนำความร้อน และคุณสมบัติการต้านทานตัวทำละลายของเมทริกซ์ NR ได้รับการศึกษาอย่างละเอียด ผลการวิจัยพบว่าโมเลกุล PVP อาจทำปฏิกิริยากับ GO ผ่านพันธะไฮโดรเจน ซึ่งจะช่วยให้การกระจายตัวและความเข้ากันได้ของกราฟีนออกไซด์ในเมทริกซ์ยางธรรมชาติ นอกจากนี้ PGO ยังส่งผลให้มีการนำความร้อนในยางธรรมชาติ ค่าความต้านทาน แรงดึง และค่าแรงฉีกขาดของนาโนคอมโพสิตยางธรรมชาติที่ผสมกราฟีนออกไซด์ที่ดัดแปลงไม่ต่างกันใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

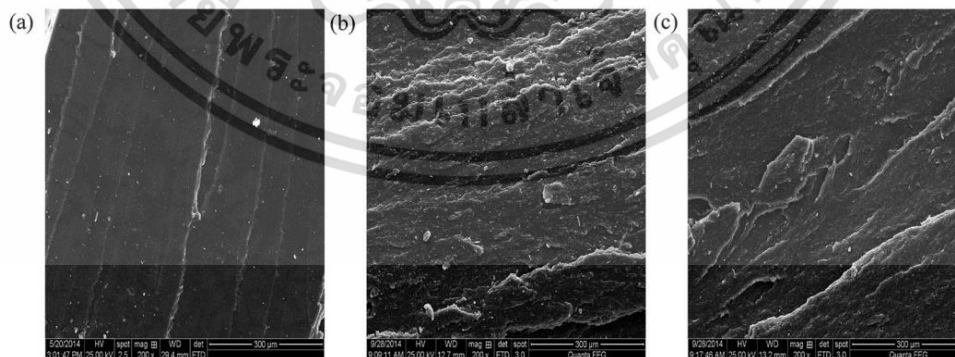
ด้วย โพลีไวนิลไพร์โรลิโดนที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่การดัดขึ้นตัวทำละลายลดลงเมื่อเทียบกับยางธรรมชาติบริสุทธิ์ ดังนั้น PGO จึงเป็นสารเสริมแรงและสารปรับปรุงการนำความร้อนในยางธรรมชาติที่ดี [34]

Sample	$M_{100}$ (MPa)	$M_{500}$ (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Tear strength ( $\text{kN m}^{-1}$ )
NR	$0.39 \pm 0.09$	$1.25 \pm 0.14$	$16.03 \pm 0.69$	$681 \pm 13$	$19.82 \pm 0.63$
GO1	$0.86 \pm 0.05$	$2.70 \pm 0.15$	$17.73 \pm 0.82$	$610 \pm 7$	$24.31 \pm 0.90$
GO2	$0.89 \pm 0.03$	$3.89 \pm 0.42$	$17.41 \pm 0.99$	$547 \pm 12$	$25.10 \pm 0.24$
GO3	$1.11 \pm 0.09$	$5.15 \pm 0.72$	$18.34 \pm 0.65$	$550 \pm 3$	$27.53 \pm 0.32$
GO4	$1.32 \pm 0.02$	$6.42 \pm 0.29$	$17.76 \pm 0.18$	$505 \pm 8$	$28.58 \pm 0.27$
GO5	$1.21 \pm 0.05$	$5.71 \pm 0.23$	$16.55 \pm 0.34$	$474 \pm 5$	$26.01 \pm 0.37$
PGO1	$0.90 \pm 0.04$	$2.97 \pm 0.21$	$19.71 \pm 1.12$	$619 \pm 28$	$31.27 \pm 0.90$
PGO2	$1.16 \pm 0.06$	$4.70 \pm 0.35$	$21.28 \pm 0.60$	$559 \pm 11$	$42.87 \pm 0.69$
PGO3	$1.33 \pm 0.07$	$6.01 \pm 0.50$	$24.37 \pm 0.16$	$559 \pm 21$	$41.60 \pm 0.37$
PGO4	$1.87 \pm 0.06$	$8.42 \pm 0.19$	$26.31 \pm 0.34$	$538 \pm 15$	$47.89 \pm 0.61$
PGO5	$2.08 \pm 0.07$	$11.15 \pm 0.34$	$28.94 \pm 1.50$	$529 \pm 23$	$51.36 \pm 0.42$

รูปที่ 2.14 แสดงสมบัติทางเชิงกลของ NR, GO/NR และ PGO/NR [34]



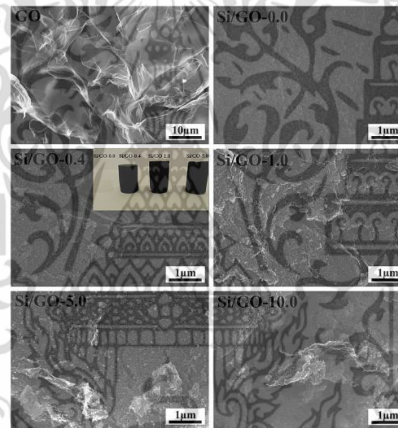
รูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของ (a) GO/NR และ (b) PGO/NR [34]



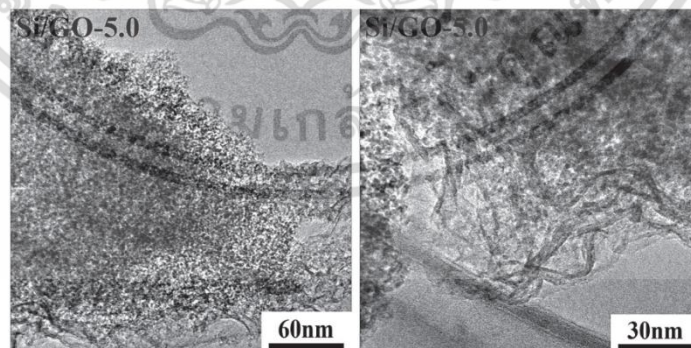
รูปที่ 2.16 ภาพ SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของพื้นผิวที่ฝึกขนาดของ NR, GO 5wt% และ PGO 5wt% [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yaofei Lei และคณะ (2016) ได้ทำการศึกษาเพื่อปรับปรุงฉนวนกันความร้อนและคุณสมบัติเชิงกลของซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) แอโรเจลกราฟีนออกไซด์ (GO) เป็นนาโนฟิลเลอร์ถูกเพิ่มเข้าไปในเมทริกซ์  $\text{SiO}_2$  เพื่อเตรียมแอโรเจลคอมโพสิต  $\text{SiO}_2/\text{GO}$  บนพื้นฐานของเทคโนโลยีโซลเจลและส่งไปยังการอบแห้งแบบ supercritical ผลการศึกษาพบว่าซิลิกาแอโรเจลได้รับการปรับปรุงและ GO มีการกระจายตัวอย่างดีในแอโรเจล เนื่องจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารเสริมแรงกับพอลิเมอร์เมทริกซ์นาโน ซิต GO และเมทริกซ์  $\text{SiO}_2$  คุณสมบัติฉนวนกันความร้อนของแอโรเจลคอมโพสิตได้รับการปรับปรุง ในทางตรงกันข้ามกับ แอโรเจลบริสุทธิ์ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าการนำความร้อนลดลงจาก 0.0089 W/mK เป็น 0.0072 W/mK มีการวิเคราะห์ทกโลกที่เป็นไปได้เพื่ออธิบายผลลัพธ์นี้โดยอาศัยการโหลด GO ความแข็งแรงเชิงกลของแอโรเจลได้รับการปรับปรุง พบว่าเมื่อโหลด GO จาก 0.0 wt% เป็น 5.0 wt% ผลการศึกษาพบว่าค่าโมดูลัสของการบีบอัดเพิ่มขึ้นจาก 0.238 MPa เป็น 0.394 MPa ซึ่งเป็นการปรับปรุงที่สำคัญสำหรับซิลิกาแอโรเจลที่มีปริมาณของแข็งต่ำ นอกจากนี้แอโรเจลคอมโพสิตแบบผสมยังมีความทนทานเมื่อเทียบกับแอโรเจลบริสุทธิ์ที่มีความเหนียว [10]

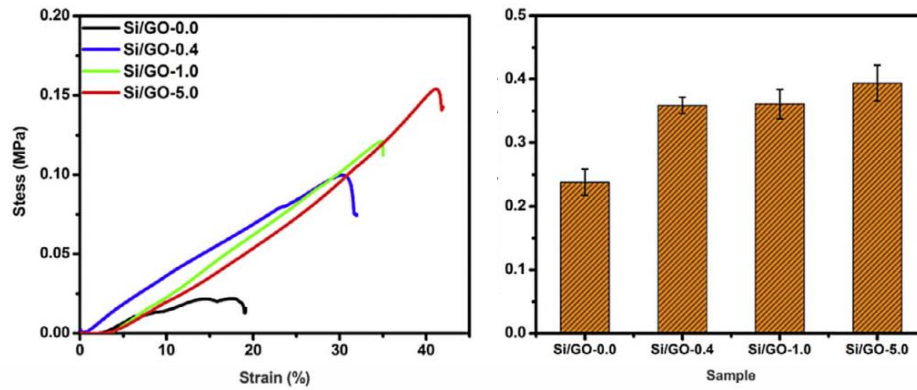


รูปที่ 2.17 ภาพ SEM แสดงสัณฐานวิทยาของ Si/GO แอโรเจล [10]

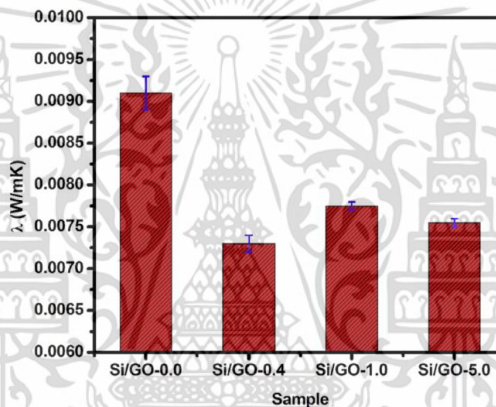


รูปที่ 2.18 ภาพ HRTEM แสดงสัณฐานวิทยาของ Si/GO แอโรเจล โดยมีการเติม GO 5 wt% [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ภาพซ้ายแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Strain) และความเครียด (Stress) และภาพขวาแสดงกราฟพมอดูลัสของแอร์เจลคอมโพสิต Si/GO โดยศึกษาปริมาณนาโนกราฟีนออกไซด์ที่แตกต่างกัน [10]

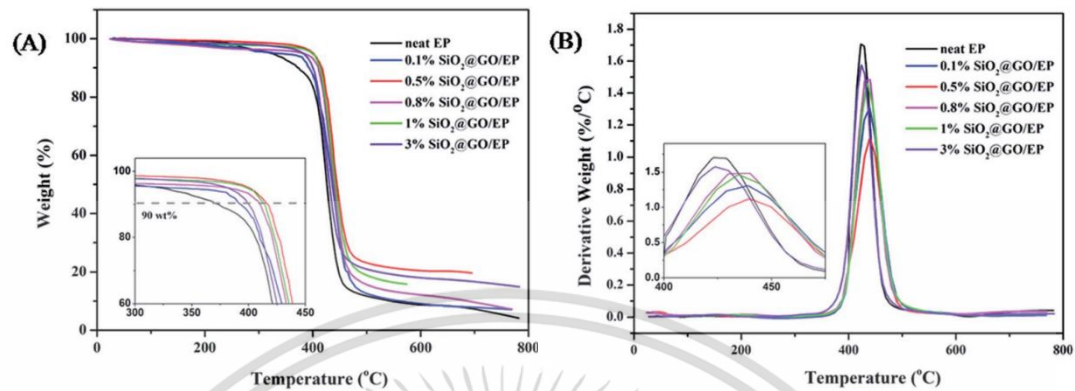


รูปที่ 2.20 แสดงค่าการนำความร้อนของแอร์เจลคอมโพสิต Si/GO โดยศึกษาปริมาณนาโนกราฟีนออกไซด์ที่แตกต่างกัน [10]

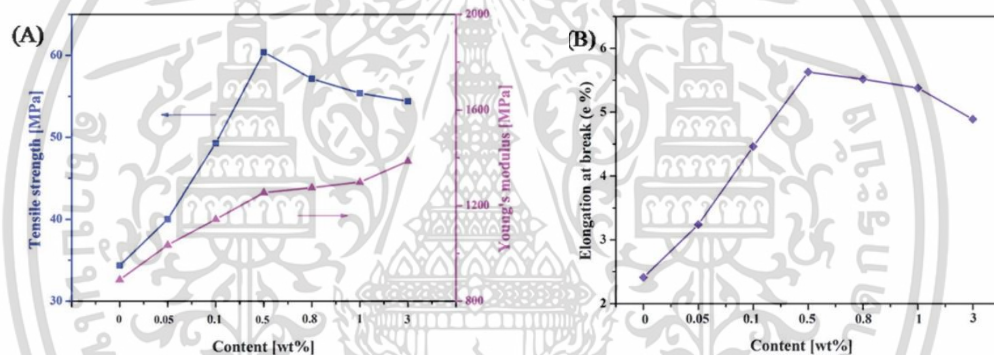
Jing Hong และคณะ (2016) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติการเสียดทาน การสึกหรอ และการหล่อลื่น หรือเรียกว่าคุณสมบัติไตรโบโลยีของโครงสร้างซิลิกาแบบมีเปลือกหุ้มและแกนกลาง (core-shell structured) เคลือบด้วยกราฟีนออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>/GO) สำหรับอู่ฟ็อกซิงนาโนคอมโพสิต (EP) โดยเตรียมอู่ฟ็อกซิงคอมโพสิตด้วยกระบวนการบ่มที่ปราศจากตัวทำละลาย จากนั้นทำการทดสอบและเปรียบเทียบอัตราส่วนของ SiO<sub>2</sub>/GO ที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาบัติเชิงกล เสถียรภาพทางความร้อน และพฤติกรรมไตรโบโลยีของนาโนคอมโพสิต SiO<sub>2</sub>/GO/EP พบว่า นาโนคอมโพสิต SiO<sub>2</sub>/GO/EP มีค่าสัมประสิทธิ์การเสียดสีและอัตราการสึกหรอลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับอู่ฟ็อกซิงพอลิเมอร์ที่ไม่ผ่านการเติมหรืออู่ฟ็อกซิงพอลิเมอร์ที่มีสารตัวเติมที่ไม่ผ่านการดัดแปลง ดังนั้นนาโนคอมโพสิต SiO<sub>2</sub>/GO/EP ปรับปรุงเสถียรภาพทางความร้อน คุณสมบัติเชิงกลและไตรโบโลยีได้ดี ซึ่งการเพิ่มขึ้นของคุณสมบัติทางไตรโบโลยี แสดงให้เห็นว่า โครงสร้างซิลิกาแบบมีเปลือกหุ้มและแกนกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(core-shell structured) เคลือบด้วยกราฟีนออกไซด์ ( $\text{SiO}_2/\text{GO}$ ) มีประสิทธิภาพมากในการปรับปรุงคุณสมบัติการเสียดสี การสึกหรอ และคุณสมบัติเชิงกลของคอมโพสิตที่มีเรซินเป็นส่วนประกอบ [35]



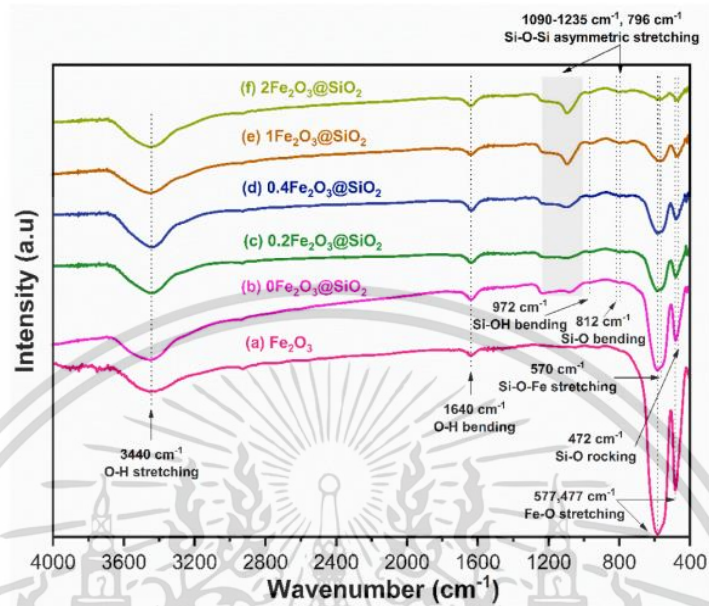
รูปที่ 2.21 (A) แสดงกราฟ TG และ (B) กราฟ DTG แสดงการสลายตัวทางความร้อน ของ  $\text{SiO}_2/\text{GO}/\text{EP}$  [35]



รูปที่ 2.22 (A) แสดงค่า Tensile strength และค่ามอดูลัสของ  $\text{SiO}_2/\text{GO}/\text{EP}$  (B) Elongation at break-point ของ  $\text{SiO}_2/\text{GO}/\text{EP}$  [35]

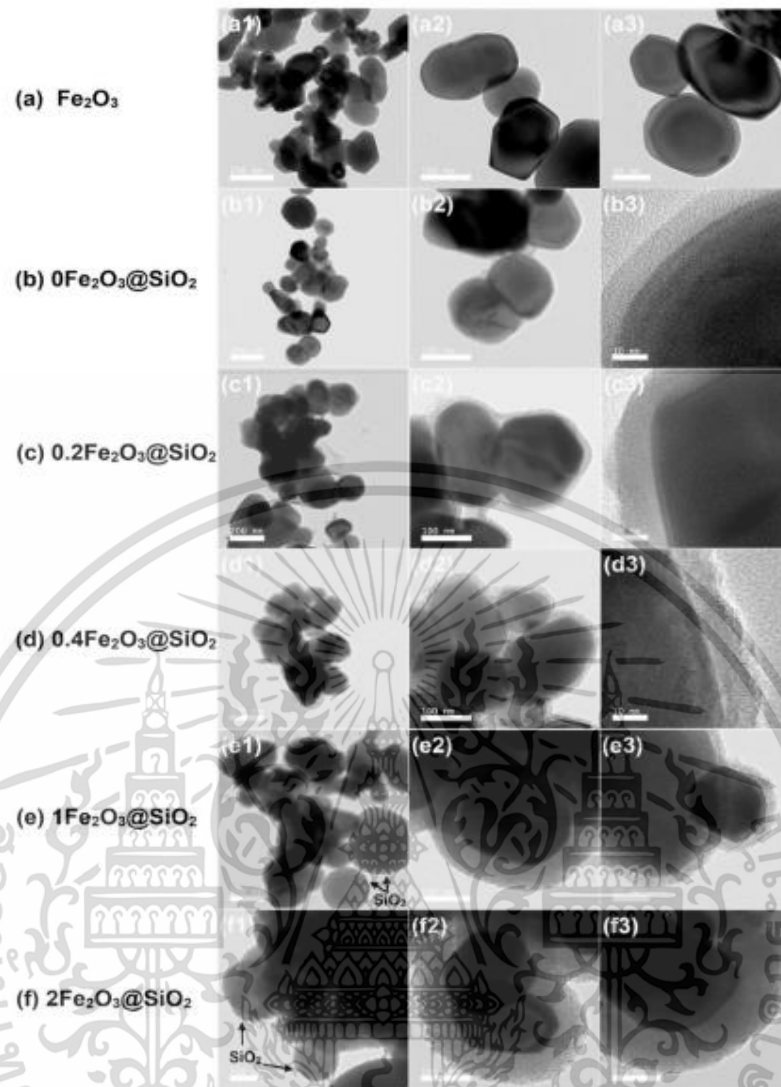
Piya Soranakom และคณะ (2021) ได้นำ NIR เม็ดสีแดงที่มีการสะท้อนแสงสูง นำมาพัฒนาโดยการหุ้มด้วยอนุภาคของ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ในชั้นเปลือกของ  $\text{SiO}_2$  ที่โปร่งใส โดยผ่านกระบวนการ sol-gel พบว่า ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว CTAB มีความแปรผันที่ 0 ถึง 2 mM. เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อการก่อตัวของ  $\text{SiO}_2$  ที่มีการเคลือบด้วย  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  โครงสร้างเปลือกแกนหลักและคุณสมบัติทางแสง การมีส่วนร่วมของ CTAB ในปฏิกิริยา sol-gel พบว่าทำให้เกิดการลดแรงตึงผิวต่อสารเชื่อมซิริลิกเกต CTAB ที่เสถียร ซึ่งเพิ่มความหนาในการก่อตัวของ  $\text{SiO}_2$  โดยความหนาของเปลือก  $\text{SiO}_2$  เพิ่มขึ้นจาก 8 เป็น 6 นาโนเมตร เมื่อความเข้มข้นของ CTAB เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 2 mM. การสะท้อนแสงของ  $\text{SiO}_2$  ที่มีการเคลือบด้วย  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  เป็น 2 เท่าของ  $\text{SiO}_2$  ที่ไม่มีการเคลือบ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  และความหนาไม่มีผลต่อการสะท้อนแสง เม็ดสีของ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ที่เคลือบ  $\text{SiO}_2$  มีเฮมาไทต์สีน้ำตาลแดง การเปลี่ยนสีใน  $\Delta E$  มีเพียง 8.2% เท่านั้น สำหรับความเข้มข้นของ CTAB สูงสุด เนื่องจากการก่อตัวของ  $\text{SiO}_2$  microspheres ระยะที่ 2 เกิดขึ้นเมื่อ CTAB micelles มีมากเกินไป เม็ดสีแดงสะท้อนแสงไม่ผ่านการเติม ฟอสเฟต ยกทั้งหมัดไม่มีเหตุผลแบบสองเงื่อนไข และต้องอ้างอิงถึงเงาของเอกสารที่ทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

SiO<sub>2</sub> ที่มีการเคลือบด้วย Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NIR แสดงความคงตัวสูงถึง 232 ภายใต้สภาพแวดล้อม การเสื่อมสภาพของกรดและ UV ซึ่งเร่งความเร็วได้ ซึ่งให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้เป็น เม็ดสีเย็น [36]

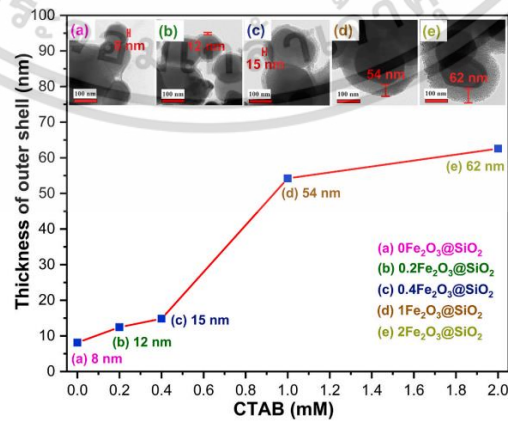


รูปที่ 2.23 FT-IR spectra ของเม็ดสี (a) Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (b) 0Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@SiO<sub>2</sub> (c) 0.2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@SiO<sub>2</sub> (d) 0.4Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@SiO<sub>2</sub> (e) 1Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@SiO<sub>2</sub> and (f) 2Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@SiO<sub>2</sub> [36]

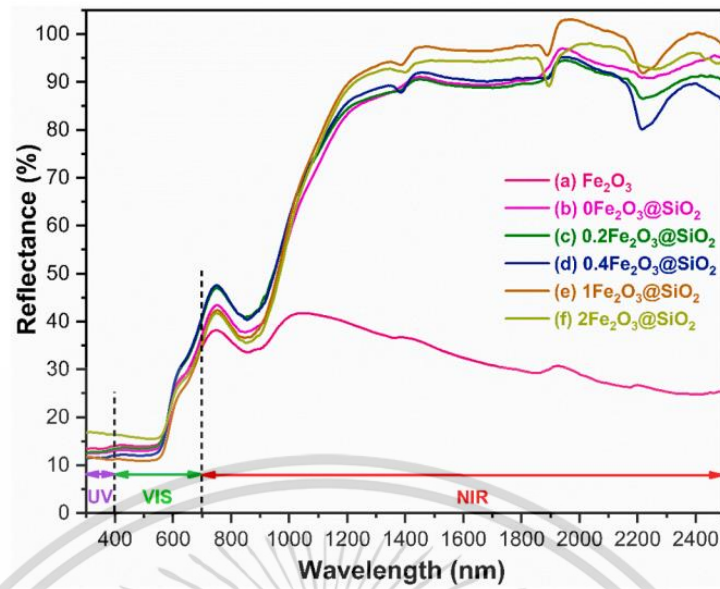
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 ภาพ TEM แสดงสัณฐานวิทยาของเม็ดดีส และ  $\text{Fe}_2\text{O}_3@\text{SiO}_2$  โดยมีการเติม  $\text{SiO}_2$  ที่ถูกเตรียมด้วย CTAB ที่มีความเข้มข้นต่างกัน [36]



รูปที่ 2.25 แสดงความหนาของ  $\text{SiO}_2$  ที่ได้จากภาพ TEM ของ (a)  $0\text{Fe}_2\text{O}_3@\text{SiO}_2$  (b)  $0.2\text{Fe}_2\text{O}_3@\text{SiO}_2$  (c)  $0.4\text{Fe}_2\text{O}_3@\text{SiO}_2$  (d)  $1\text{Fe}_2\text{O}_3@\text{SiO}_2$  และ (e)  $2\text{Fe}_2\text{O}_3@\text{SiO}_2$  [36]



รูปที่ 2.26 แสดงสมบัติการสะท้อนแสงของเม็ดสี  $\text{Fe}_2\text{O}_3@\text{SiO}_2$  [36]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา ด้วยกระบวนการเทผสมและขึ้นรูปอย่างง่าย โดยศึกษา อัตราส่วนของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา ทั้งปริมาณการเติมนาโน กราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาที่แตกต่างกันต่อประสิทธิภาพการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน ตรวจสอบ คุณสมบัติด้วยเทคนิคต่าง ๆ และศึกษาคุณสมบัติเชิงกล ในโครงการพิเศษนี้จะมีขั้นตอนการ ดำเนินงานดังต่อไปนี้

#### 3.1 สารเคมี

- 1) ยางธรรมชาติ หรือน้ำยางพารา (Natural Rubber Latex; NR) ความเข้มข้นร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ชนิด High ammonia (60% DRC, HA)
- 2) สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide; GO) ความเข้มข้น 8 mg/ml
- 3) สารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ (Nano Graphene oxide; nGO) ความเข้มข้น 8 mg/ml
- 4) ผงนาโนซิลิกา (Silica; SiO<sub>2</sub>)

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) ปีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 3) กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 4) กระบอกตวง (Cylinder) ขนาด 10 มิลลิลิตร
- 5) แท่งแก้วคนสาร (Stirring Rod)
- 6) ซ้อนตักสารพลาสติก
- 7) เครื่องดูดจ่ายสารละลายไมโครปิเปต (Micropipette) ปริมาตรช่วงการวัด 20-200 ไมโครลิตร
- 8) แท่งแม่เหล็กคนสาร (Magnetic bar)
- 9) เครื่องปั่นกวนสาร (Magnetic stirrers)
- 10) แบบพิมพ์เทขึ้นรูป ขนาด 10.2x21x5.6 เซนติเมตร
- 11) เครื่องชั่งแบบละเอียด
- 12) ตู้อบลมร้อน (Oven)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ความลับไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 13) Transmission Electron Microscope (TEM)
- 14) Field emission scanning electron microscopy (FE-SEM)
- 15) Energy Dispersive X-ray spectrometer (EDS)
- 16) Raman spectroscopy
- 17) Universal Testing Machine (UTM)
- 18) X-ray Diffractometer (XRD)
- 19) Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR)
- 20) UV-VIS-NIR spectrophotometer
- 21) Particle Analyzer
- 22) กล้องทดสอบความสามารถในการสะท้อนแสง
- 23) Infrared Thermal Imaging Camera บริษัท Keysight Technologies รุ่น U5856A (Rang: -20 ถึง 120 °C)
- 24) Centrifuge
- 25) Ultrasonicator

### 3.3 การทดลอง

#### 3.3.1 การเตรียมแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์

- 1) ตวงน้ำยางพาราชนิดเข้มข้นในปริมาณ 55 มิลลิลิตร ด้วยกระบอกลงขนาด 50 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร
- 2) ตวงกราฟีนออกไซด์ในปริมาณ 4, 8, 12, และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ ด้วยกระบอกลงขนาด 10 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์น้ำยางพาราที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1)
- 3) ทำการปั่นกวนให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 5 นาที
- 4) เทน้ำยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ลงในแบบพิมพ์ และทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2-3 วัน
- 5) เมื่อแห้งสนิทแล้ว แกะแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ออกจากพิมพ์

#### 3.3.2 การเตรียมแผ่นยางพาราผสมด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์

- 1) ตวงน้ำยางพาราชนิดเข้มข้นในปริมาณ 55 มิลลิลิตร ด้วยกระบอกลงขนาด 50 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร
- 2) ตวงนาโนกราฟีนออกไซด์ในปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ ด้วยกระบอกลงขนาด 10 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์น้ำยางพาราที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1)
- 3) ทำการปั่นกวนให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 4) เทน้ำยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ลงในแบบพิมพ์ ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2-3 วัน
- 5) เมื่อแห้งสนิทแล้ว แกะแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ออกจากพิมพ์

### 3.3.3 การเตรียมแผ่นยางพาราผสมด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์ และนาโนซิลิกา

- 1) ตวงนาโนกราฟีนออกไซด์ในปริมาณ 12 มิลลิลิตร ด้วยกระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์ขนาด 150 มิลลิลิตร
- 2) เติมน้ำนาโนซิลิกาลงในบีกเกอร์ในปริมาณ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก เทลงในบีกเกอร์นาโนกราฟีนออกไซด์ที่เตรียมไว้ในข้อที่ข้อ 1)
- 3) ทำการปั่นกวนให้เป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 5 นาที
- 4) ตวงน้ำยางพาราชนิดเข้มข้นในปริมาณ 55 มิลลิลิตร ด้วยกระบอกตวงขนาด 50 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์ที่ผสมนาโนกราฟีนและนาโนซิลิกาภายใต้การปั่นกวน ผสมให้เข้ากัน 5 นาที
- 5) เทน้ำยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาลงในแบบพิมพ์ ทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2-3 วัน
- 6) เมื่อแห้งสนิท แกะแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาออกจากพิมพ์

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณองค์ประกอบและสัดส่วนที่ใช้ในการเตรียมแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตในอัตราส่วนต่าง ๆ สำหรับการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณสารที่ใช้			
	NR (ml)	GO (ml)	SiO <sub>2</sub> (g)	DI (ml)
NR	55	-	-	-
NR/GO_4	55	4	-	-
NR/GO_8	55	8	-	-
NR/GO_12	55	12	-	-
NR/GO_16	55	16	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณองค์ประกอบและสัดส่วนที่ใช้ในการเตรียมแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตในอัตราส่วนต่าง ๆ สำหรับการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณสารที่ใช้			
	NR (ml)	GO (ml)	SiO <sub>2</sub> (g)	DI (ml)
NR/nGO_4	55	4	-	-
NR/nGO_8	55	8	-	-
NR/nGO_12	55	12	-	-
NR/nGO_16	55	16	-	-
NR/0.5wt%SiO <sub>2</sub>	55	-	0.150	12
NR/nGO/0.05wt%SiO <sub>2</sub>	55	12	0.015	-
NR/nGO/0.1wt%SiO <sub>2</sub>	55	12	0.030	-
NR/nGO/0.2wt%SiO <sub>2</sub>	55	12	0.060	-
NR/nGO/0.3wt%SiO <sub>2</sub>	55	12	0.090	-
NR/nGO/0.5wt%SiO <sub>2</sub>	55	12	0.150	-

#### หมายเหตุ

1. ความเข้มข้นของสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์เท่ากับ 8 mg/ml
2. NR หมายถึง แผ่นยางธรรมชาติหรือแผ่นยางพารา
3. NR/GO หมายถึง แผ่นยางพาราผสมสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์
4. NR/nGO หมายถึง แผ่นยางพาราผสมสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์
5. NR/0.5wt%SiO<sub>2</sub> หมายถึง แผ่นยางพาราผสมผงนาโนซิลิกา โดยเติมผงนาโนซิลิกาในปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
6. NR/nGO/0.05wt%SiO<sub>2</sub> หมายถึง แผ่นยางพาราผสมสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ และผงนาโนซิลิกา โดยเติมผงนาโนซิลิกาในปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

### 3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์

3.4.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope; TEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษเพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่าง เครื่อง TEM เหมาะสำหรับการศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง ตัวอย่างที่จะศึกษาจะต้องมีลักษณะที่แบนและบางมาก (อยู่ในช่วงระหว่าง 1 - 100 นาโนเมตร)

ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพในการเอกซเรย์เป็นเอกซเรย์พลังงานสูงสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญาตเหนาไปไซประโยชน์ด้านการค้า แจกแจงรายละเอียดสูง [37]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope; TEM)

#### 3.4.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อิมิสชัน Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM)

Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับจุลภาค และเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในการวิจัยและการผลิตภาคอุตสาหกรรม FE-SEM เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงถึงระดับ 1,000,000 เท่า ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับไมโครหรือนาโนได้ FE-SEM ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer ; EDS) ซึ่งช่วยในการศึกษา ชนิด ปริมาณ และการกระจายขององค์ประกอบธาตุของวัสดุที่ศึกษาได้ อีกทั้ง FE-SEM ยังสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์หรือหัววัดอื่นๆ เพื่อใช้ศึกษาวิเคราะห์ตามวัตถุประสงค์ที่ต่างกันออกไป เช่น เชื่อมต่อกับอุปกรณ์วิเคราะห์การเรียงตัวของผลึกโดยใช้สัญญาณจากการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Electron Backscatter Diffraction; EBSD) นอกจากนี้ FE-SEM ยังสามารถประยุกต์โดยเชื่อมต่อกับชุดอุปกรณ์ควบคุมลำอิเล็กตรอนเพื่อใช้เขียนลวดลายขนาดเล็กลงบนชิ้นงาน (Electron Beam Lithography) [38]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 3.2** กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อิมิสชัน Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM)

3.4.3 เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy; EDS) เป็นการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีแบบกระจายพลังงานที่ใช้ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ซึ่งมีบทบาทสำคัญในปัจจุบันในการวิเคราะห์ธาตุทั้งทางด้านวัสดุศาสตร์ ด้านชีวภาพ ภายภาพ และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีชิ้นส่วนขนาดเล็ก โดยหลักการของ EDS เมื่อตัวอย่างที่ต้องการศึกษาถูกชนด้วยลำอิเล็กตรอนทำให้สามารถเกิดการแตกตัวเป็นไอออน (Ionization) ด้วยการปลุกให้อิเล็กตรอนของตัวอย่างให้หลุดออกจากอะตอม ดังนั้นเพื่อเป็นการรักษาเสถียรภาพอิเล็กตรอนที่อยู่วงโคจรชั้นถัดไปจะลงเข้ามาแทนที่ และปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปรังสีเอกซ์ (X-ray) ซึ่งเรียกรังสีเอกซ์แบบแคแรกเทอริสติก (Characteristic X-ray) โดยพลังงานของรังสีเอกซ์ชนิดนี้มีค่าเฉพาะตามชนิดของธาตุ จากนั้นเมื่อรังสีเอกซ์เข้าสู่หัววัดชนิด Silicon drift detectors (SSD) หัววัดจะสร้างสัญญาณไฟฟ้าซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานของรังสีที่ตกกระทบ และจะนำสัญญาณที่ได้ มาวิเคราะห์หาความสูงของสัญญาณ ส่งไปยังระบบคอมพิวเตอร์เพื่อประเมินและรายงานผลเป็นค่าสเปกตรัมรังสีเอกซ์ต่อไป [39]

3.4.4 เครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ (Raman spectrometer) เป็นเครื่องที่ใช้เทคนิครามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectroscopy) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างของโมเลกุล เนื่องจากสเปกตรัมของรามานสามารถบอกข้อมูลในส่วนของ การสั่นภายในโมเลกุลหรือการสั่นภายในผลึกตาข่าย เทคนิครามานสเปกโตรสโคปีจึงเป็นเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาวัสดุที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊สได้ ซึ่งการฉายแสงที่เป็นโฟตอนลงไปยังวัสดุจะไม่ทำลายวัสดุตัวอย่าง อีกทั้งเทคนิคนี้เป็นเทคนิคที่ไม่จำเป็นต้องเตรียมสารตัวอย่าง ไม่ต้องวัดค่าสเปกตรัมอ้างอิง และสามารถวัดสารตัวอย่างที่ไม่สามารถวัดด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Infrared spectroscopy) ได้อีกด้วย [40]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectrometer) [41]

#### 3.4.5 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine; UTM)

หลักการทำงานของเครื่องทดสอบแรงดึง จะให้แรงดึงกับชิ้นทดสอบด้วยอัตราเร็วในการดึงคงที่ และบันทึกค่าค่าแรงดึง (Tension force) ที่เปลี่ยนไปตามระยะการยืดตัว (Deformation) ของวัสดุ โดยขณะชิ้นทดสอบยืดออกจะมีแรงต้าน ซึ่งแรงต้านของชิ้นงานทดสอบนี้ มีผลทำให้ตัววัดแรงสามารถวัดแรงออกมาได้ แรงที่วัดออกมา มีหน่วยเป็นกิโลกรัม (kg) หรือนิวตัน (N) การทดสอบจะต้องดึงชิ้นทดสอบจนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกัน ซึ่งแรงต้านสูงสุดของชิ้นทดสอบเป็นผลที่ได้จากการวัดแรง ดังนั้นชิ้นงานทดสอบสามารถทนแรงดึงสูงสุดเท่ากับแรงต้านของชิ้นงานที่ทนได้ก่อนขาดจากกัน ผลที่ได้จะมีกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) กับความเครียด (Strain) และจากผลการวิเคราะห์สามารถนำมาทำการวิเคราะห์ ค่ามอดูลัส (Modulus) คือ ค่าความเค้นที่ทำให้วัสดุยืดตัวตามที่กำหนด, ความทนต่อแรงดึง (Tensile Strength) คือ ความเค้นดึงสูงสุดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของชิ้นงานที่ได้รับจนเกิดการขาด มีหน่วยเป็น MPa หรือ  $N/mm^2$  และการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at Break) คือ ร้อยละการยืดตัวของชิ้นทดสอบที่จุดขาดเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวเริ่มต้น [42]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 เครื่องทดสอบแรงดึง (Universal testing machine; UTM)

#### 3.4.6 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer; XRD)

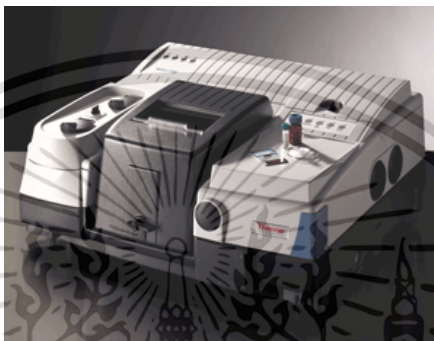
เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์อาศัยหลักการของ Bragg's Law คือ เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบกับระนาบของอะตอมภายในผลึก รังสีเอ็กซ์จะเกิดการสะท้อนที่มุมสะท้อนเท่ากับมุมตกกระทบ ทำให้มีการนำมาใช้ศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่าง การยิงรังสีเอ็กซ์ไปกระทบที่ชิ้นงาน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบน และสะท้อนออกมาที่มุมต่างๆกันโดยมีหัววัดสัญญาณ (Detector) เป็นตัวรับข้อมูล องค์ประกอบและโครงสร้างของสารจะมีองค์ประกอบในการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ในมุมที่แตกต่างกันออกไปขึ้นกับองค์ประกอบ รูปร่าง และลักษณะผลึก ซึ่งผลที่ได้สามารถบ่งชี้ชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และสามารถนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆได้ นอกจากนี้ยังสามารถศึกษาและวิเคราะห์ ปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึก ความสมบูรณ์ของผลึก และความเค้นของสารประกอบในสารตัวอย่าง และเมื่อวิเคราะห์กับอุปกรณ์เสริม เช่น อุปกรณ์ให้ความเย็น-ร้อน ก็จะสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกในขณะทดสอบเปลี่ยนแปลงไป [43], [44]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.5 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer; XRD) [43]  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่ มิมีเหตุแต่แปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาไปใช้

### 3.4.7 เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR)

เป็นการวัดปริมาณของแสงที่ถูกดูดกลืน ด้วยการกระตุ้นสารด้วยพลังงานช่วงแสงอินฟราเรด เนื่องจากโมเลกุลของสารดูดกลืนแสงอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่นและการหมุน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุล การที่โมเลกุลจะดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้นั้นความถี่ของแสงอินฟราเรดต้องเท่ากับค่าความถี่การสั่นของโมเลกุลของสารนั้น ๆ ซึ่งสารอินทรีย์แต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไป จึงใช้สันนิษฐานหมู่ฟังก์ชันในสารได้ [45]



รูปที่ 3.6 เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy; FT-IR) [46]

### 3.4.8 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV – VIS – NIR Spectrophotometer)

UV-Vis-NIR เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดการดูดกลืนแสง (Absorbance) การส่องผ่านแสง (Transmittance) และการสะท้อนแสง (Reflectance) ซึ่งปริมาณการดูดกลืน จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับ ความเข้มข้นของสารตัวอย่าง ทำให้เทคนิค UV-Vis-NIR สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบสารได้อย่างหลากหลายทั้งในกลุ่มสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และสารประกอบเชิงซ้อนที่ดูดกลืนรังสีในช่วงดังกล่าวได้ Near Infrared ซึ่งมีความถี่สูงกว่าช่วงอินฟราเรด หรือมีเลขคลื่น  $12,500-4000\text{ cm}^{-1}$  (คำว่า near ในที่นี้ หมายถึงการที่แสงในช่วงดังกล่าวมีความถี่ค่อนข้างต่ำตามแสงในช่วงที่ตามองเห็น visible light) สำหรับพีคของการดูดกลืนแสงในช่วง Near IR นี้มักจะมีลักษณะเป็นพีคที่กว้างหรืออาจจะเรียกว่าเป็นแถบของการดูดกลืนแสง (Absorption band) เนื่องจากมีการเกิด Overtone หรือการที่พีคของการดูดกลืนแสงหลายอันรวมกันแบบพหุคูณ (Multiple of bands) ซึ่งทำให้สเปกตรัมที่ได้ยากต่อการวิเคราะห์ (ในทางปฏิบัติการวัดในช่วง Near IR นี้มักจะเปลี่ยนจากการใช้ Window cell ประเภท NaCl หรือ KBr มาเป็น quartz หรือซิลิกาแทน) [47], [48]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV – VIS – NIR Spectrophotometer) [49]

### 3.4.9 เครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle Analyzer)

การทำงานของเครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาค อนุภาคที่กระจายตัวอยู่ในของเหลวจะมีการเคลื่อนที่แบบไร้ทิศทาง (Brownian motion) และเมื่อทำการฉายแสงเลเซอร์ที่มีความยาวคลื่นเดียวไปยังอนุภาค จะเกิดการกระเจิงแสงที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดอนุภาค จึงทำให้สามารถวัดขนาดอนุภาคได้ และการวัดประจุที่ผิวอนุภาคนั้น อนุภาคที่มีประจุจะเกิดการเคลื่อนที่ภายใต้สนามไฟฟ้า โดยอนุภาคจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้า (Electrode) ในทิศทางที่มีประจุตรงกันข้าม โดยความสามารถในการเคลื่อนที่ที่จะขึ้นอยู่กับปริมาณประจุของอนุภาค ซึ่งค่าความเป็นประจุ (Zeta potential) สามารถวัดได้จากความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค [50]



รูปที่ 3.8 เครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค (Particle Analyzer) [51]

### 3.4.10 การทดสอบความสามารถในการสะท้อนความร้อน

เตรียมแผ่นยางพารา (NR) แผ่นยางพาราผสมสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ (NR/nGO) และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา (NR/nGO/SiO<sub>2</sub>) โดยความหนาของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ จะมีความหนาที่เท่ากันในปริมาณน้ำยางพารา 55 มิลลิลิตร สารแขวนนาโนกราฟีนออกไซด์ 12 มิลลิลิตร และผงนาโนซิลิกาปริมาณต่าง ๆ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีขนาดกว้าง 6 เซนติเมตร และยาว 9.5 เซนติเมตร จากนั้นนำแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตทั้งหมด มาทำการทดสอบการสะท้อนความร้อนของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิต เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นฉนวนป้องกันความร้อน โดยชุดอุปกรณ์การทดสอบความร้อนจะแสดงดังรูปที่ 3.8

อุปกรณ์กล่องที่จะนำมาใช้ในการทดสอบการสะท้อนความร้อน ประกอบขึ้นมาจากแผ่นอะครีลิกที่มีขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร สูง 40 เซนติเมตร และยาว 30 เซนติเมตร จำนวน 2 กล่องติดกัน โดยภายในกล่องทดสอบจะบุด้วยแผ่นฉนวนป้องกันความร้อน ซึ่งจะทำให้การทดสอบโดยการนำแผ่นทดสอบแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ วางไว้ที่ผนังด้านหน้ากล่อง จากนั้นปิดกล่องทดสอบให้สนิทเพื่อป้องกันการถ่ายเทความร้อน และให้ความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนด้วยหลอดไฟอินฟราเรดขนาด 250 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ฉายไปยังแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตที่ติดกับกล่อง โดยมีระยะห่าง 80 เซนติเมตร แล้วทำการวัดอุณหภูมิ 3 จุดด้วยเทอร์โมมิเตอร์ที่พื้นผิวด้านนอกของแผ่นทดสอบ และวัดอุณหภูมิภายนอกและภายในกล่องทดสอบ โดยจะทำการบันทึกอุณหภูมิบนพื้นผิวของแผ่นทดสอบทุกๆ 1 นาที ระยะเวลาต่อเนื่อง 2 ชั่วโมง



รูปที่ 3.9 ชุดอุปกรณ์การทดสอบความสามารถในการสะท้อนความร้อน

3.4.11 เครื่องวัดการนำความร้อนด้วยการถ่ายภาพการแผ่กระจายความร้อนบนพื้นผิวของวัสดุ ด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared thermal imaging camera; Rang: -20 ถึง 120 องศาเซลเซียส)

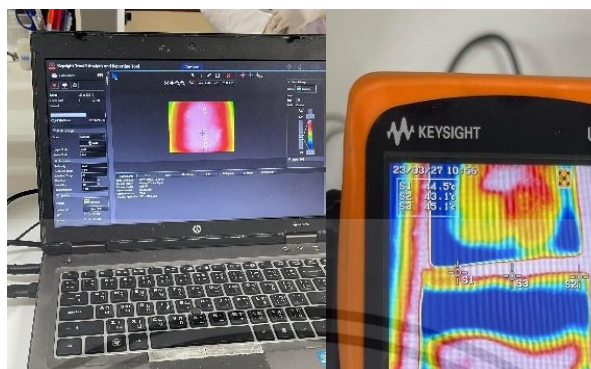
เป็นเครื่องวัดค่าการนำความร้อนด้วยการถ่ายภาพการแผ่กระจายความร้อนบนพื้นผิวของวัสดุด้วยรังสีอินฟราเรด เพื่อสังเกตการกระจายอุณหภูมิพื้นผิวและรายงานความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิบนพื้นผิวตัวอย่างโดยใช้มัลติมิเตอร์ชนิด k probe (Keysight handheld meter logger software program) ซึ่งวัดอุณหภูมิสูงและต่ำ โดยการถ่ายภาพทุกๆ 2 นาที ในการให้ความร้อน

หลักการทำงาน เริ่มต้นจากตัวตรวจจับรังสีอินฟราเรดรับรังสีอินฟราเรด ที่แผ่ออกจากวัตถุหรือชิ้นงานเป้าหมาย ผ่านเลนส์ของเครื่อง Thermal Imager แล้วแปลงรังสีอินฟราเรดเหล่านี้ให้แผ่ออกมารวมกับรังสีที่แผ่จากวัตถุอื่นหรือสิ่งแวดล้อมสะท้อนออกจากผิวของวัตถุเป้าหมาย จากนั้น

เวกสารนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งอาจแสดงผลออกมาในรูปแบบของตัวเลข สี หรือกราฟ หรือสามารถแสดงผลออกมาได้ทั้ง 3 รูปแบบ [52], [53], [54]



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดการนำความร้อนด้วยการถ่ายภาพการแผ่กระจายความร้อนบนพื้นผิวของวัสดุด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared thermal imaging camera)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

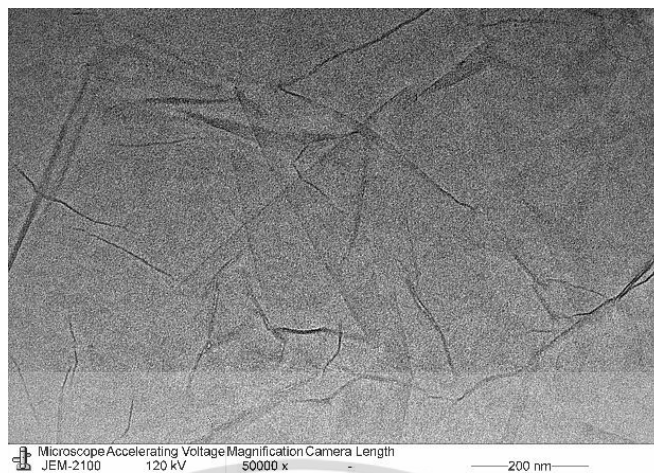
ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์ และการศึกษาสมบัติการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพาราผสมด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาคอมโพสิต สำหรับการเป็นฉนวนป้องกันความร้อน โดยที่น้ำยางพาราและสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์มีปริมาณคงที่และผงนาโนซิลิกาที่ปริมาณต่างๆ เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์และวิเคราะห์สมบัติต่างๆ ได้แก่ การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของอนุภาคโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopes; TEM), วิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field emission scanning electron microscopy; FE-SEM), วิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบด้วยเทคนิคสเปกโทรเมตรีรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy; EDS), เทคนิครามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy), สมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine; UTM), เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction; XRD), เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy; FT-IR), การวิเคราะห์การสะท้อนแสง (UV-VIS-NIR spectrophotometer), การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคกราฟีนออกไซด์และนาโนกราฟีนออกไซด์ ด้วยเครื่อง Particle Analyzer, ทดสอบความสามารถในการสะท้อนความร้อนและตรวจวัดค่าการนำความร้อน (Infrared Thermal imaging Camera) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์ และผงนาโนซิลิกา

##### 4.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของอนุภาคโครงสร้างผลึก

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวสัณฐานวิทยาของอนุภาคโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscopes; TEM) ของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์และนาโนกราฟีนออกไซด์ แสดงผลการศึกษาในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงภาพ TEM ของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO)



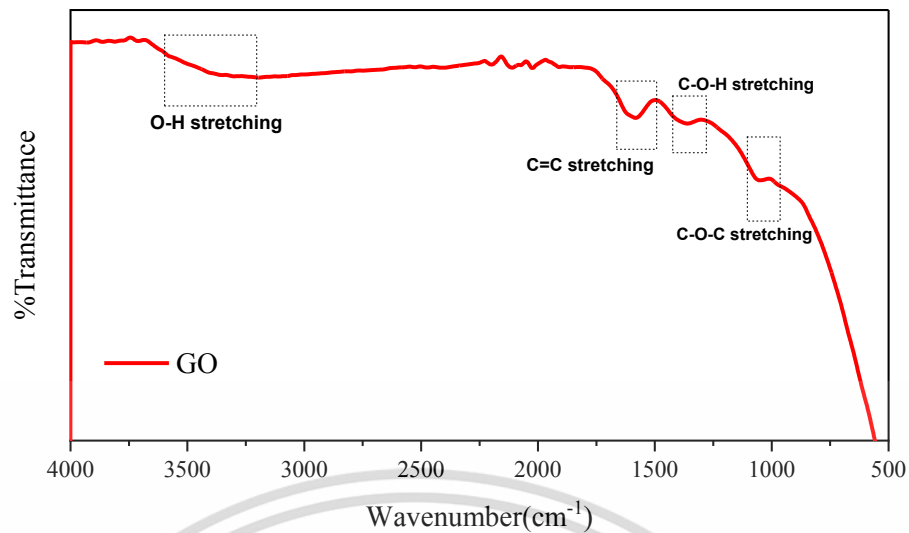
รูปที่ 4.2 แสดงภาพ TEM ของสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ (nGO)

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 มีลักษณะโปร่งใส เห็นชั้นเกล็ดแบนและบาง โดยสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์จะเป็นแผ่นขนาดใหญ่ซ้อนกันอย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่สารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์จะเป็นแผ่นขนาดเล็กๆ รูปร่างไม่สม่ำเสมอและขนาดอนุภาคที่ไม่เป็นระเบียบ กระจายตัวทั่วทั้งแผ่นตัวอย่าง

#### 4.1.2 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานการสั่นของโมเลกุล

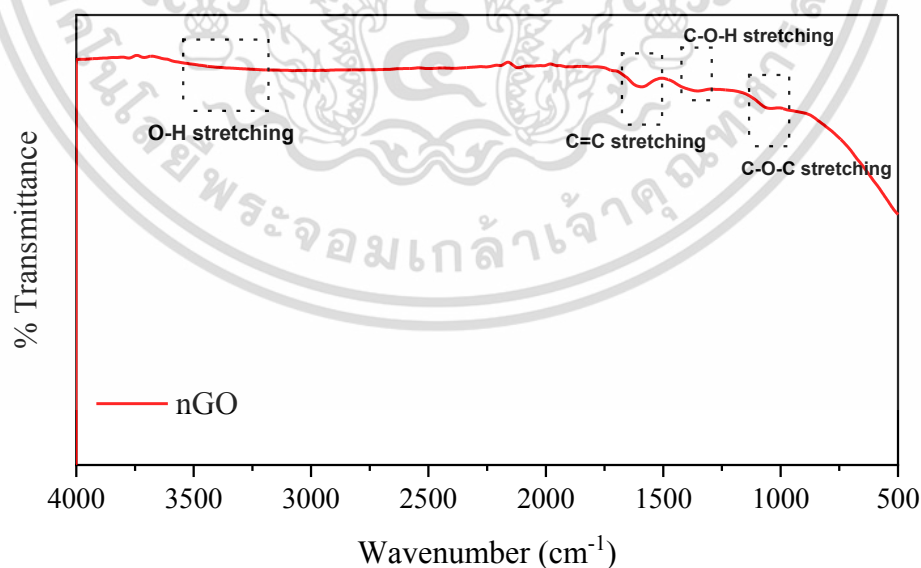
การวิเคราะห์ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ที่ใช้ในการวิเคราะห์กราฟีนออกไซด์ (GO) นาโนกราฟีนออกไซด์ (nGO) และผงนาโนซิลิกา (Nano-Silica powder) แสดงผลการศึกษาในรูปที่ 4.3-4.5 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟ FT-IR ของกราฟีนออกไซด์ (GO)

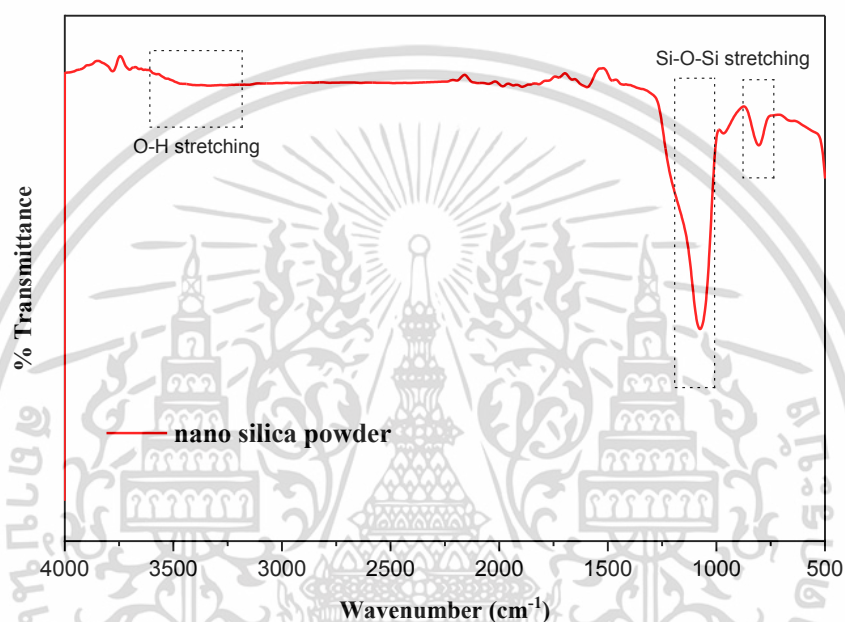
จากรูปที่ 4.3 แสดงกราฟ FT-IR ของกราฟีนออกไซด์ (GO) สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ได้แก่ ช่วงเลขคลื่น 3200-3600  $\text{cm}^{-1}$  เป็นช่วงการสั่นของพันธะออกซิเจนต่อไฮโดรเจน (O-H Stretching) ช่วงเลขคลื่นประมาณ 1600  $\text{cm}^{-1}$  เป็นแถบการสั่นแบบยืดของพันธะ C=C (C=C Stretching) เกิดจากการสั่นของวงอะโรมาติก ที่ช่วงเลขคลื่นประมาณ 1076  $\text{cm}^{-1}$  เป็นการสั่นยืดของ C-O-H (C-O-H Stretching) และช่วงเลขคลื่นประมาณ 1054  $\text{cm}^{-1}$  เป็นการสั่นยืดของ C-O-C (C-O-C Stretching) เป็นการยืนยันหมู่ฟังก์ชันของกราฟีนออกไซด์ ดังภาพที่แสดงโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ [55]



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟ FT-IR ของนาโนกราฟีนออกไซด์ (nGO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 แสดงกราฟ FT-IR ของนาโนกราฟีนออกไซด์ (nGO) สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ได้แก่ ช่วงเลขคลื่น  $3200-3600\text{ cm}^{-1}$  เป็นช่วงการสั่นของพันธะออกซิเจนต่อไฮโดรเจน (O-H Stretching) ช่วงเลขคลื่น  $1060\text{ cm}^{-1}$  เป็นแถบการสั่นแบบยืดของพันธะ C=C (C=C Stretching) เกิดจากการสั่นของวงอะโรมาติก) ช่วงเลขคลื่นประมาณ  $1076\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นยืดของ C-O-H (C-O-H Stretching) และช่วงเลขคลื่นประมาณ  $1066\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นยืดของ C-O-C (C-O-C Stretching) เป็นการยืนยันหมู่ฟังก์ชันของนาโนกราฟีนออกไซด์ ดังภาพที่แสดงโครงสร้างของนาโนกราฟีนออกไซด์



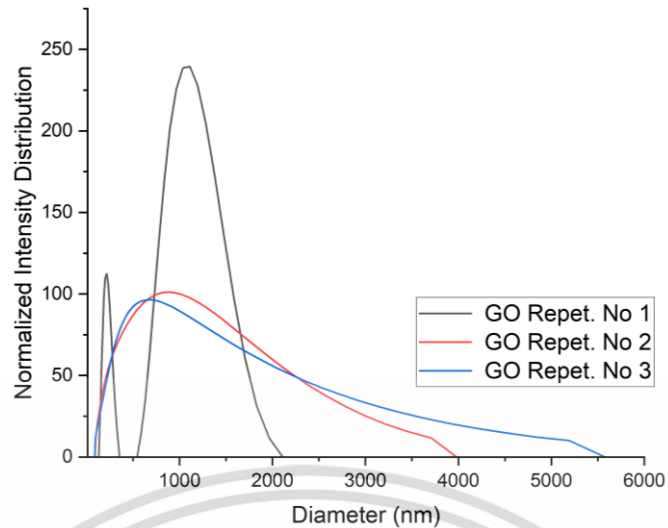
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟ FT-IR ของผงนาโนซิลิกา (Nano-Silica powder)

จากรูปที่ 4.5 แสดงกราฟ FT-IR ของผงนาโนซิลิกา (Nano-Silica powder) สเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ได้แก่ ช่วงเลขคลื่น  $3200-3600\text{ cm}^{-1}$  เป็นช่วงการสั่นของพันธะออกซิเจนต่อไฮโดรเจน (O-H Stretching) และช่วงเลขคลื่นประมาณ  $1075\text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบยืดของพันธะ Si-O-Si (Si-o-Si Stretching) หรือซิล็อกเซนซึ่งเป็น Silicon-oxy compounds จึงเป็นการยืนยันหมู่ฟังก์ชันของซิลิกา

#### 4.1.3 ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ และนาโนกราฟีนออกไซด์

การวิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยเทคนิค Particle Analyzer ของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ และสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ แสดงผลการศึกษาในรูปที่ 4.6 และ 4.7 ตามลำดับ

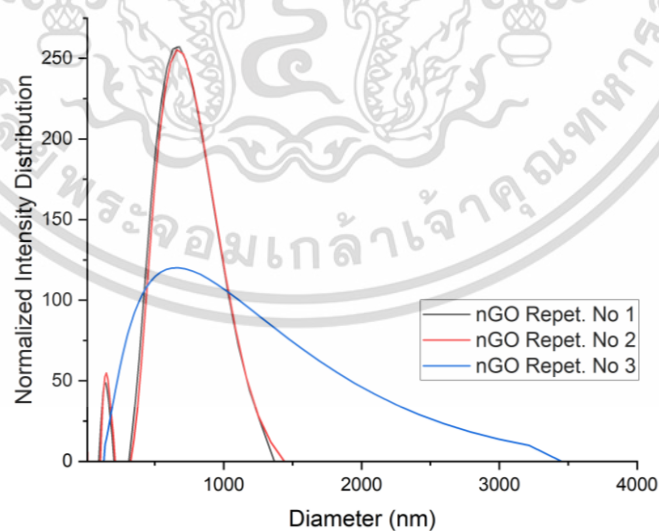
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงกราฟ Normalized Intensity Distribution ของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO)

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO)

ครั้งที่	Diameter (10%) (nm)	Diameter (50%) (nm)	Diameter (90%) (nm)
1	200.8	421.3	1264.8
2	207.0	412.1	1181.4
3	271.1	389.1	1349.2
เฉลี่ย	226.3	407.5	1265.1



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟ Normalized Intensity Distribution ของสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ (nGO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.2** แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ (nGO)

ครั้งที่	Diameter (10%) (nm)	Diameter (50%) (nm)	Diameter (90%) (nm)
1	175.9	315.6	884.5
2	211.6	300.2	804.5
3	210.2	284.3	591.9
เฉลี่ย	199.2	300	760.3

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า 10% ของสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์มีขนาดเล็กน้อยกว่า 226.3 นาโนเมตร, 50% มีขนาดเล็กน้อยกว่า 407.5 นาโนเมตร และ 90% มีขนาดเล็กน้อยกว่า 1265.1 นาโนเมตร และจากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่า 10% ของสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์มีขนาดเล็กน้อยกว่า 199.2 นาโนเมตร, 50% มีขนาดเล็กน้อยกว่า 300 นาโนเมตร และ 90% มีขนาดเล็กน้อยกว่า 760.3 นาโนเมตร จากผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าขนาดอนุภาคของสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

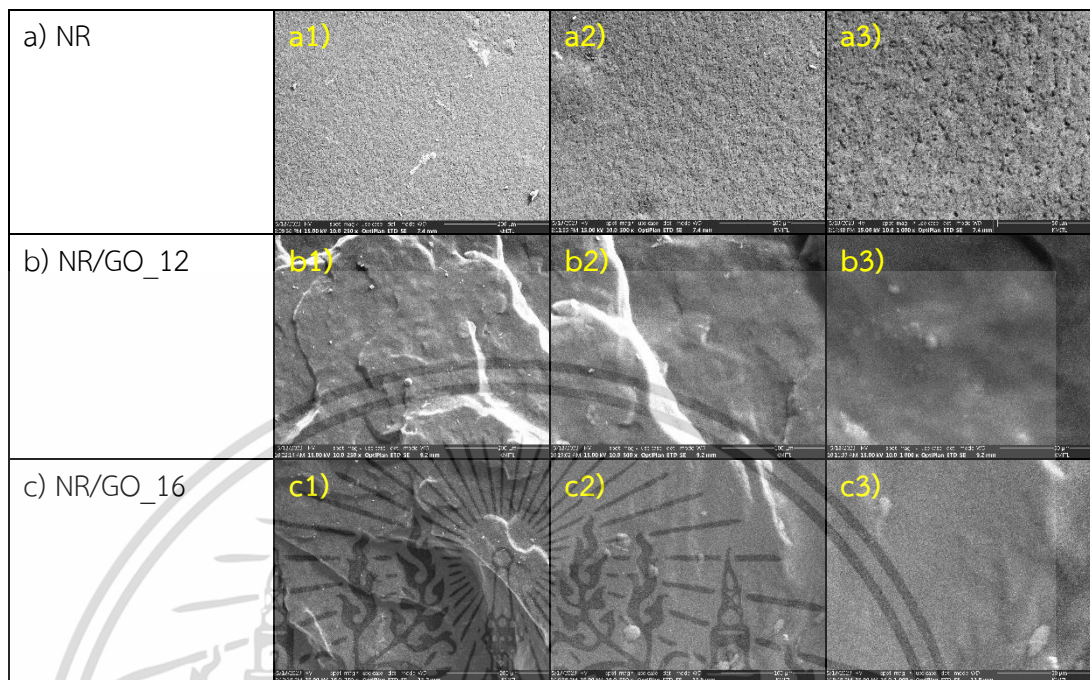
## 4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิต

### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานในระดับจุลภาค

การตรวจสอบพื้นฐานวิทยาและลักษณะพื้นผิวด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีสมรรถนะสูง ชนิดฟิลด์อิมิสชัน (Field emission scanning electron microscopy; FE-SEM) เพื่อศึกษาลักษณะภาพตัดขวาง (Cross section) ของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ แสดงผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์

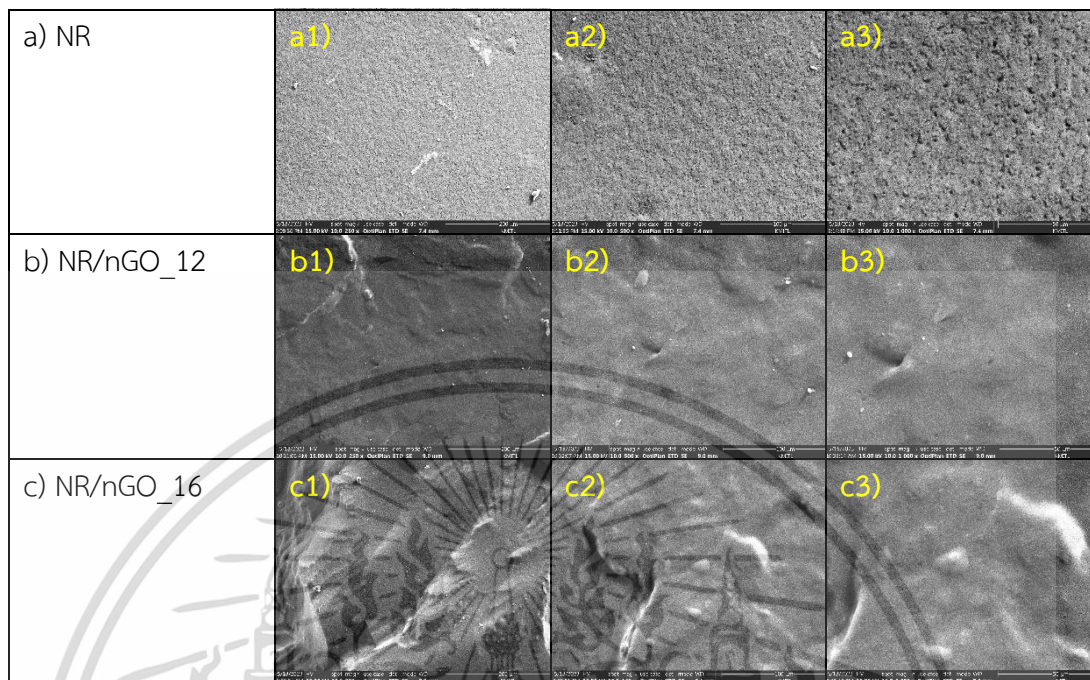


รูปที่ 4.8 แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) จากกล้อง FE-SEM ของ a) NR b) NR/GO\_12 และ c) NR/GO\_16 โดยมีกำลังขยาย 1) 250x 2) 500x 3) 1000x

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา ภาพตัดขวางของแผ่นยางพาราในรูปที่ 4.8a) พบว่าบริเวณพื้นผิวมีลักษณะขรุขระและเกิดรอยแยกบนเนื้อยาง เนื่องจากขั้นตอนการเตรียมแผ่นยาง น้ำยางพาราไม่ได้ทำการปั่นก่อนเทลงแบบพิมพ์จึงทำให้แอมโมเนียในน้ำยางละลายตัวได้ไม่ดี และเกิดจากอุณหภูมิภายนอกขณะทิ้งให้แห้งสูงเกินไป แต่ไม่พบอนุภาคอื่นแทรกตัวอยู่ในเมทริกซ์ยางพารา แผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร ในรูปที่ 4.8b) พบว่าบริเวณพื้นผิวมีลักษณะเรียบ และพบอนุภาคคล้ายเกล็ดบนพื้นผิว เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 16 มิลลิลิตร ในรูปที่ 4.8c) จะเห็นว่าเกล็ดของกราฟีนออกไซด์มีการกระจายตัวที่ดีขึ้น และเข้ากันได้ดีในเมทริกซ์ยางพารา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.1.2 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์

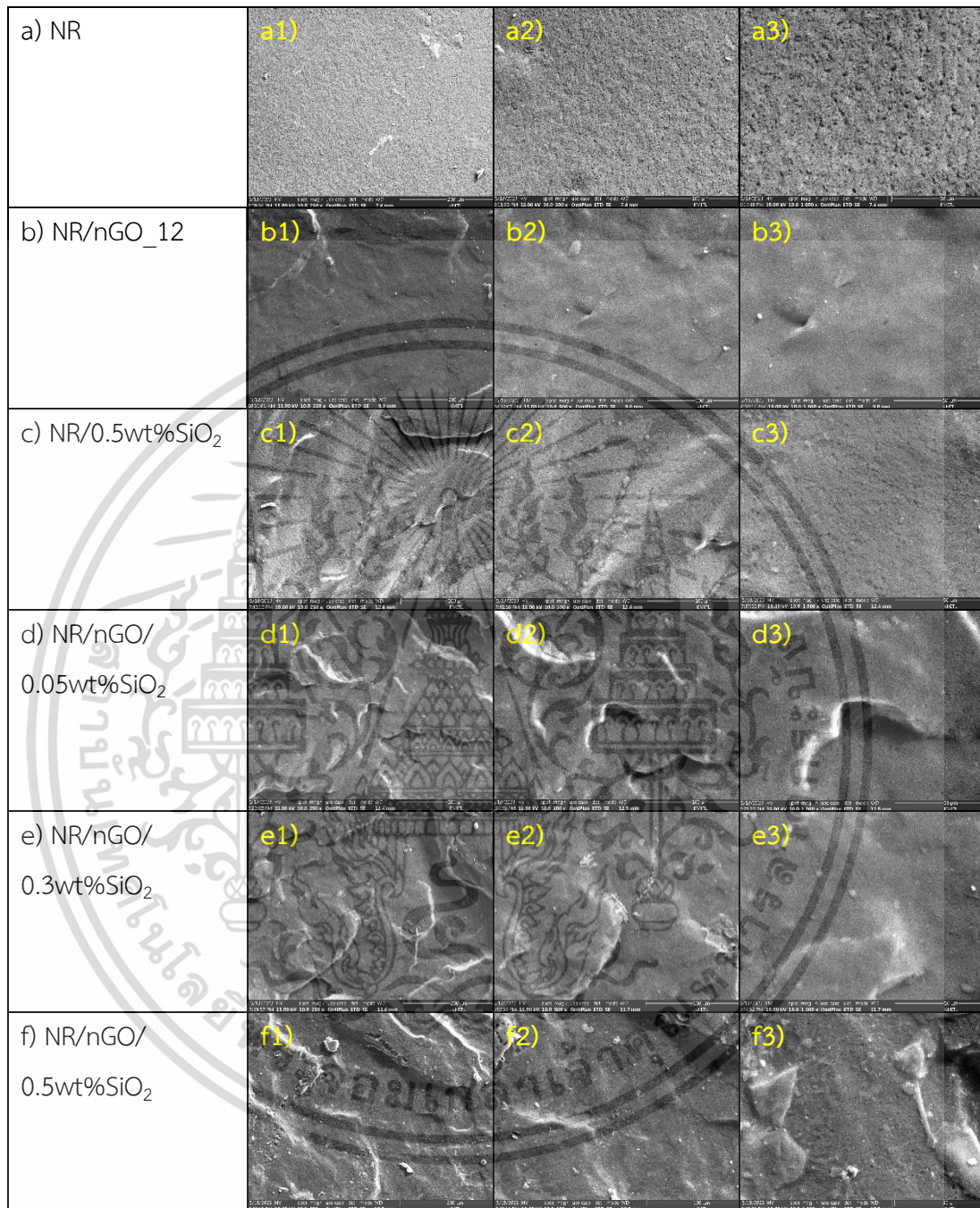


รูปที่ 4.9 แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) จากกล้อง FE-SEM ของ a) NR b) NR/nGO\_12 และ c) NR/nGO\_16 โดยมีกำลังขยาย 1) 250x 2) 500x 3) 1000x

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา ภาพตัดขวางของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิกรัม ในรูปที่ 4.9b) พบว่าบริเวณพื้นผิวมีลักษณะเรียบ นาโนกราฟีนออกไซด์กระจายตัวในเมทริกซ์ยางพาราได้ดี และเมื่อเพิ่มปริมาณนาโนกราฟีนออกไซด์ จะเห็นว่าเกล็ดของนาโนกราฟีนออกไซด์นั้นกระจายตัวและเข้ากันได้มากขึ้นในเมทริกซ์ยางพาราในรูปที่ 4.9c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิต  
ประเภทต่าง ๆ



รูปที่ 4.10 แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) จากกล้อง FE-SEM ของ a) NR b) NR/nGO\_12 c) แผ่นNR/0.5 wt%SiO<sub>2</sub> d) NR/nGO/0.05 wt%SiO<sub>2</sub> e) NR/nGO/0.3 wt%SiO<sub>2</sub> และ f) NR/nGO/0.5 wt%SiO<sub>2</sub> โดยมีกำลังขยาย 1) 250x 2) 500x 3) 1000x

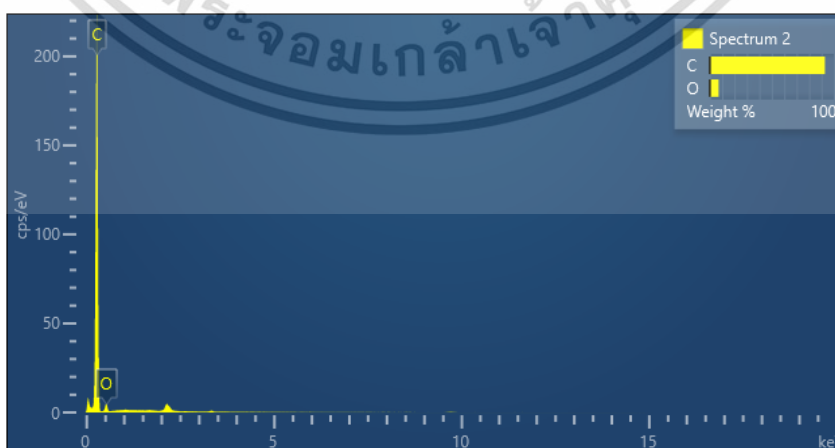
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยา ภาพตัดขวางของแผ่นยางพาราผสมนาโนซิลิกาปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในรูปที่ 4.10c) พบว่าบริเวณพื้นผิวมีลักษณะขรุขระเล็กน้อย นาโนซิลิกามีการกระจายตัวในเมทริกซ์ยางพารา ไม่พบอนุภาคอื่นแทรกตัวอยู่ แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในรูปที่ 4.10d) พบว่าพื้นผิวมีลักษณะเรียบขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยางพาราผสมนาโนซิลิกา ซึ่งให้เห็นว่าเมื่อเติมนาโนกราฟีนออกไซด์เข้าไปจะช่วยให้เมทริกซ์ยางพาราและนาโนซิลิกาเข้ากันได้มากขึ้น และพบเกล็ดของนาโนกราฟีนออกไซด์กระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ยางพาราด้วย และเมื่อเพิ่มปริมาณนาโนซิลิกามากขึ้นเป็น 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในรูปที่ 4.10e) พบว่าพื้นผิวมีลักษณะเรียกว่าแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นาโนซิลิกามีการกระจายตัวและเข้ากันได้ดีขึ้นกับเมทริกซ์ยางพารา ในขณะที่แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในรูปที่ 4.10f) พบว่าพื้นผิวมีลักษณะขรุขระมากกว่าแผ่นยางพาราผสมนาโนซิลิกา 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีเกล็ดของนาโนกราฟีนออกไซด์กระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ยางพารา และมีอนุภาคของผงนาโนซิลิกาเกาะกันเป็นบางบริเวณ เนื่องจากปริมาณซิลิกามากทำให้ความสามารถในการละลายลดลง และเกิดการเข้ากันกับเมทริกซ์ยางพาราได้ไม่ดี

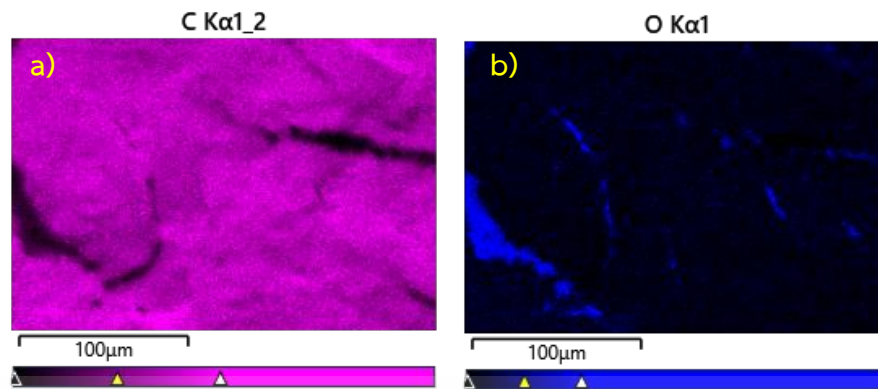
#### 4.2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ

วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุในแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้เทคนิค Energy Dispersive X-ray spectrometer (EDS) แสดงผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 12 มิลลิลิตร (NR/nGO\_12)



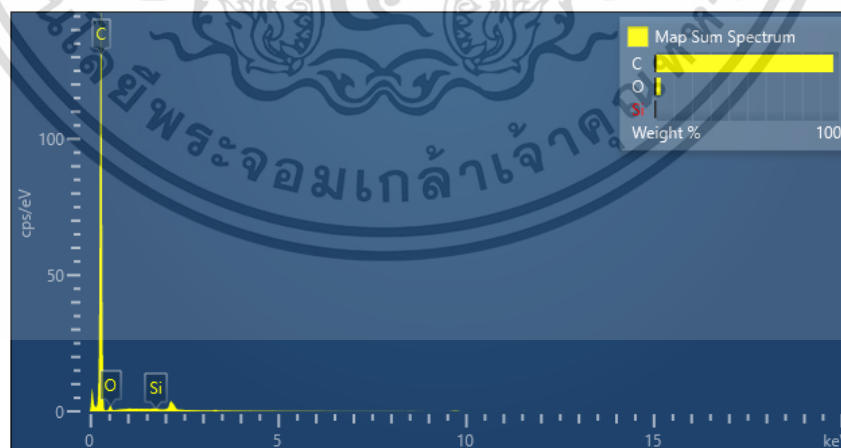
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



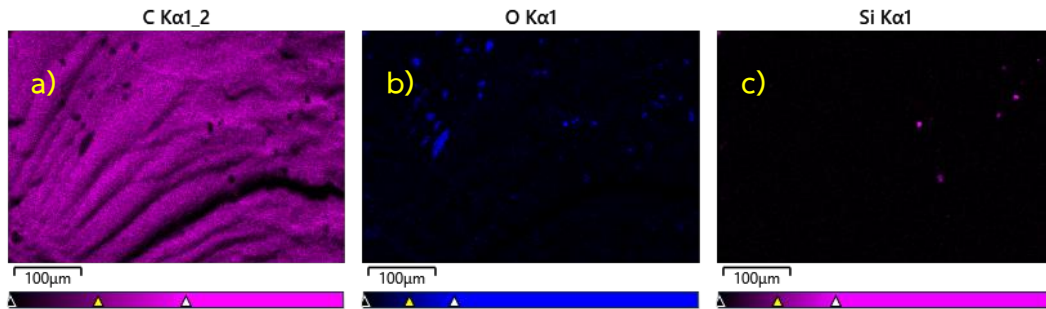
รูปที่ 4.11 แสดง EDS spectrum องค์ประกอบของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิกรัม (NR/nGO\_12) และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของ a) ธาตุคาร์บอน และ b) ธาตุออกซิเจน

จากผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 4.11 แสดง EDS spectrum ของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิกรัม การวิเคราะห์ตรวจพบธาตุคาร์บอน (C) ที่มีอยู่ในโครงสร้างของยางพาราเป็นองค์ประกอบหลัก และ ธาตุออกซิเจน (O) ที่อยู่ในโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ หรือจาก ความชื้นในอากาศ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และแก๊สออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ในรูปที่ 4.11a) จะเห็นว่าธาตุคาร์บอนกระจายตัวอย่างหนาแน่นและสม่ำเสมอ และในรูปที่ 4.11b) ธาตุออกซิเจนกระจายตัวบาง ๆ และสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นยางพาราคอมโพสิต

4.2.2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (NR/nGO/0.05wt%  $\text{SiO}_2$ )



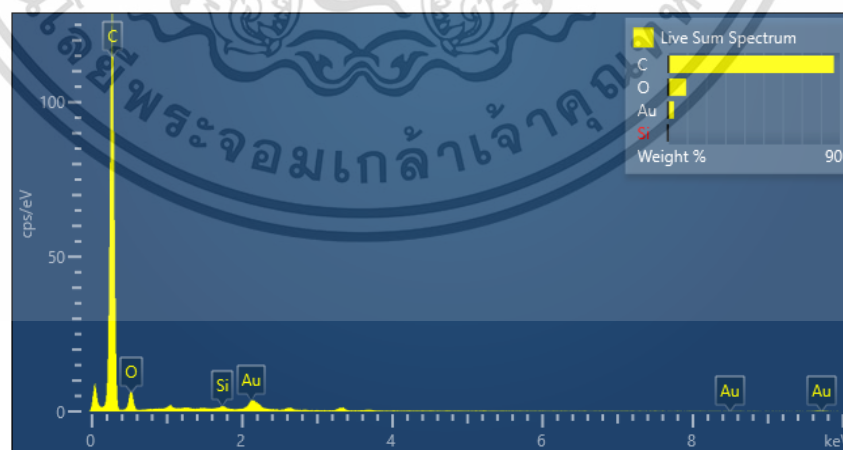
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



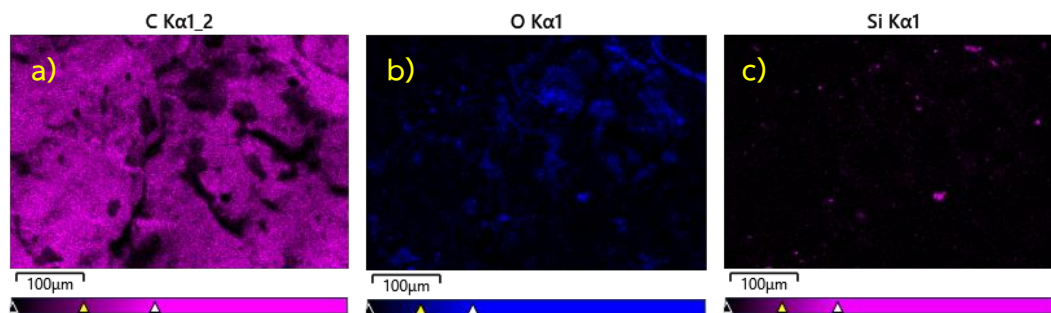
รูปที่ 4.12 แสดง EDS spectrum องค์ประกอบของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (NR/nGO/0.05wt% SiO<sub>2</sub>) และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของ a) ธาตุออกซิเจน b) ธาตุคาร์บอน และ c) ธาตุซิลิกอน

จากผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 4.12 แสดง EDS spectrum ของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การวิเคราะห์ตรวจพบธาตุคาร์บอน (C) ที่มีอยู่ในโครงสร้างของยางพาราเป็นองค์ประกอบหลัก ธาตุออกซิเจน (O) ที่อยู่ในโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ หรือจากความชื้นในอากาศ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และแก๊สออกซิเจน (O<sub>2</sub>) และธาตุซิลิกอน (Si) มีอยู่ในโครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>) หรือผงนาโนซิลิกา ในรูปที่ 4.12a) จะเห็นว่าธาตุคาร์บอนกระจายตัวอย่างหนาแน่นและสม่ำเสมอ ในรูปที่ 4.12b) ธาตุออกซิเจนกระจายตัวบาง ๆ และสม่ำเสมอ มีเกาะกลุ่มกันบ้างเล็กน้อย และในรูปที่ 4.12c) ธาตุซิลิกอนกระจายตัวบางมาก แต่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นยางพาราคอมโพสิต มีเกาะกลุ่มกันบ้างเล็กน้อย

4.2.2.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (NR/nGO/0.5wt% SiO<sub>2</sub>)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



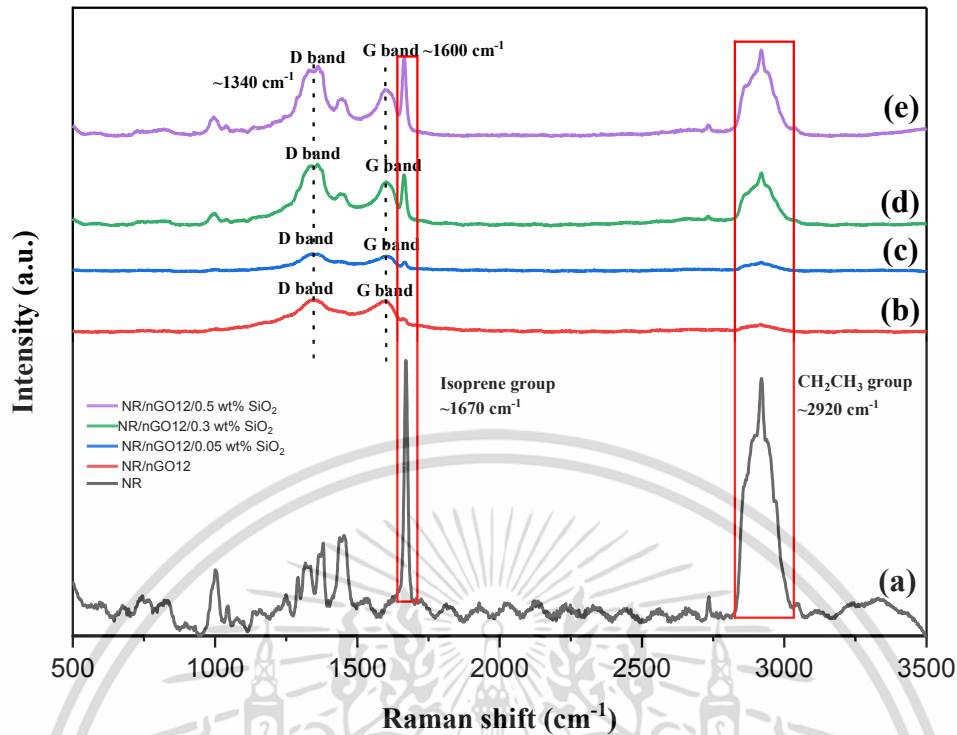
**รูปที่ 4.13** แสดง EDS spectrum องค์ประกอบของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (NR/nGO/0.5wt% SiO<sub>2</sub>) และแผนที่ธาตุแสดงการกระจายตัวของ a) ธาตุออกซิเจน b) ธาตุคาร์บอน และ c) ธาตุซิลิกอน

จากผลการวิเคราะห์ในรูปที่ 4.13 แสดง EDS spectrum ของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การวิเคราะห์ตรวจพบธาตุคาร์บอน (C) ที่มีอยู่ในโครงสร้างของยางพาราเป็นองค์ประกอบหลัก ธาตุออกซิเจน (O) ที่อยู่ในโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ หรือจากความชื้นในอากาศ เช่น แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) และแก๊สออกซิเจน (O<sub>2</sub>) และธาตุซิลิกอน (Si) มีอยู่ในโครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO<sub>2</sub>) หรือผงนาโนซิลิกา ในรูปที่ 4.13a) จะเห็นว่าธาตุคาร์บอนกระจายตัวอย่างหนาแน่นและสม่ำเสมอ ในรูปที่ 4.13b) ธาตุออกซิเจนกระจายตัวบาง ๆ และสม่ำเสมอ มีเกาะกลุ่มรวมตัวกันเป็นบริเวณกว้าง และในรูปที่ 4.13c) ธาตุซิลิกอนกระจายตัวบางมาก แต่สม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่นยางพาราคอมโพสิต มีเกาะกลุ่มกันเป็นก้อนเล็ก ๆ

#### 4.2.3 ผลการวิเคราะห์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน

แสดงผลการวิเคราะห์เอกลักษณ์ของแผ่นยางพารา แผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ แสดงผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงสเปกตรัมของเทคนิครามานเปรียบเทียบ (a) NR (b) NR/nGO<sub>12</sub> (c) NR/nGO/0.05wt%SiO<sub>2</sub> (d) NR/nGO/0.3wt%SiO<sub>2</sub> และ (e) NR/nGO/0.5wt%SiO<sub>2</sub> ตามลำดับ

จากรูป 4.14 (a) แผ่นยางพารา (NR) พบพีคเอกลักษณ์ของยางพาราคือพีคของไอโซพรีน (Isoprene group) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1670  $\text{cm}^{-1}$  และพีคของอะลิฟาติก ( $\text{CH}_2\text{CH}_3$  group) ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 2919  $\text{cm}^{-1}$  และเมื่อเติมนานโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิกรัมในแผ่นยางพารา จะพบ D band ที่ตำแหน่งประมาณ 1340  $\text{cm}^{-1}$  และ G band ที่ตำแหน่งประมาณ 1600  $\text{cm}^{-1}$  กราฟ (b) จะพบพีคเอกลักษณ์ของนาโนกราฟีนออกไซด์และพีคเอกลักษณ์ของยางพาราขนาดเล็กที่ซ้อนทับ (Overlap) กับพีคของ G band ของนาโนกราฟีนออกไซด์ เนื่องจากนาโนกราฟีนออกไซด์มีความเข้มข้นสูงจึงทำให้บังพีคเอกลักษณ์ของยางพาราบางส่วน และเมื่อเติมนานโนซิลิกาลงในแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ในปริมาณ 0.05, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (c), (d) และ (e) พบพีคเอกลักษณ์ของยางพารา ( $\text{CH}_2\text{CH}_3$  group) ที่ตำแหน่ง 2918  $\text{cm}^{-1}$ , 2919  $\text{cm}^{-1}$  และ 2920  $\text{cm}^{-1}$  ตามลำดับ แต่พีคเอกลักษณ์ของยางพารา ( $\text{CH}_2\text{CH}_3$  group) ของกราฟ (e) จะมีความเข้มสูงกว่ากราฟ (c) และ (d) เนื่องจากสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์และผงนาโนซิลิกาเกิดการรวมตัวและเกาะกลุ่มกัน ส่งผลให้ไม่พบพีคของนาโนซิลิกาและความเข้มของพีคยางพาราสูงขึ้น [56]

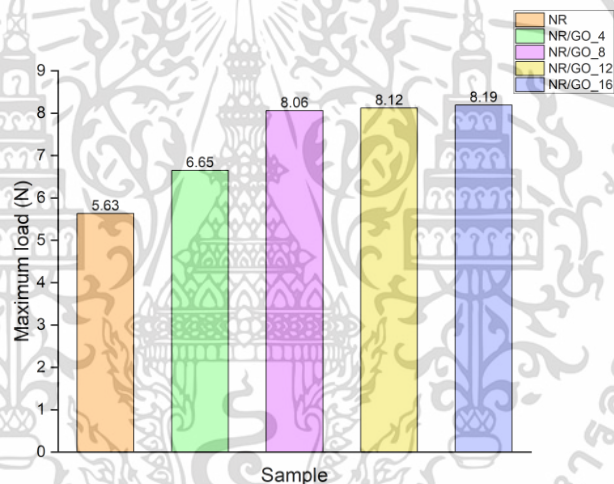
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

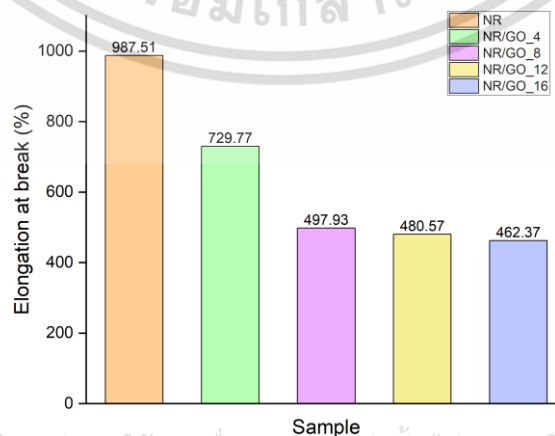
การศึกษาสมบัติเชิงกล (Tensile test) โดยการทดสอบความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของแผ่นยางธรรมชาติคอมโพสิตทั้ง 14 ประเภท ได้แก่ แผ่นยางพารา แผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม ตามลำดับ แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม ตามลำดับ และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ แสดงผลทดสอบดังต่อไปนี้

จากผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพาราคอมโพสิตตัวอย่างที่นำมาทดสอบ สามารถแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

##### 4.2.4.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์

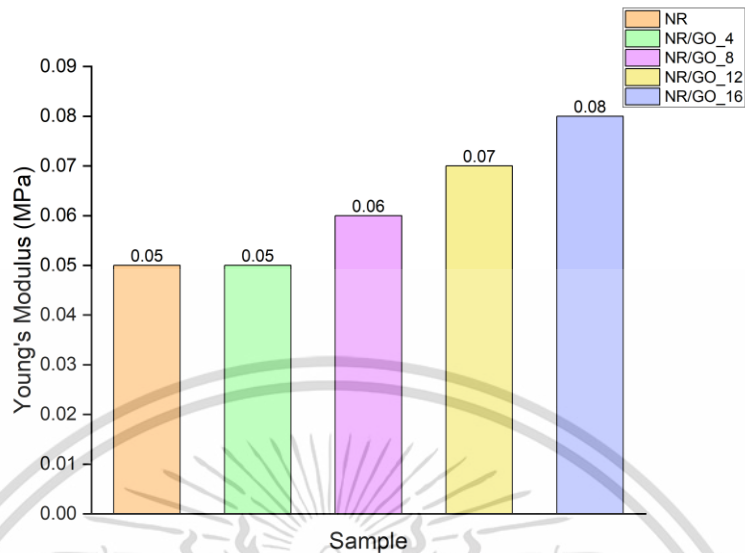


รูปที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด (Maximum load) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม ตามลำดับ

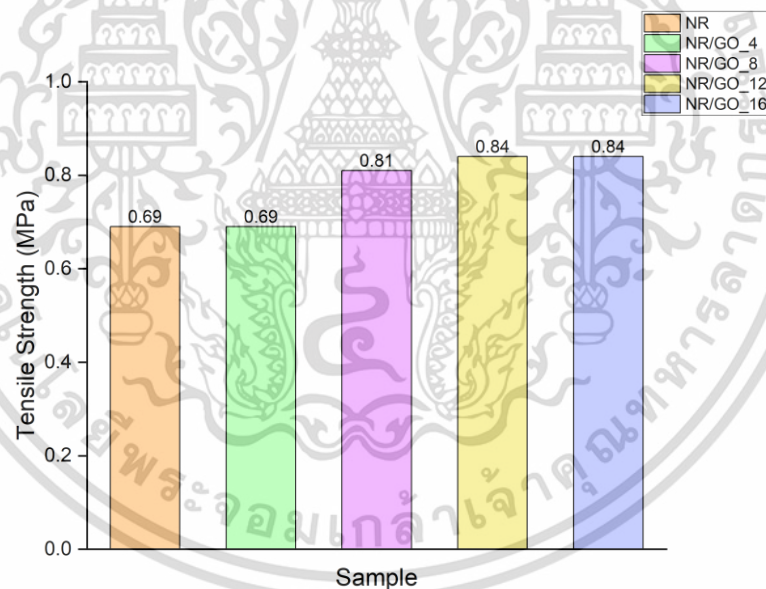


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม ตามลำดับ



รูปที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strngth) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม ตามลำดับ

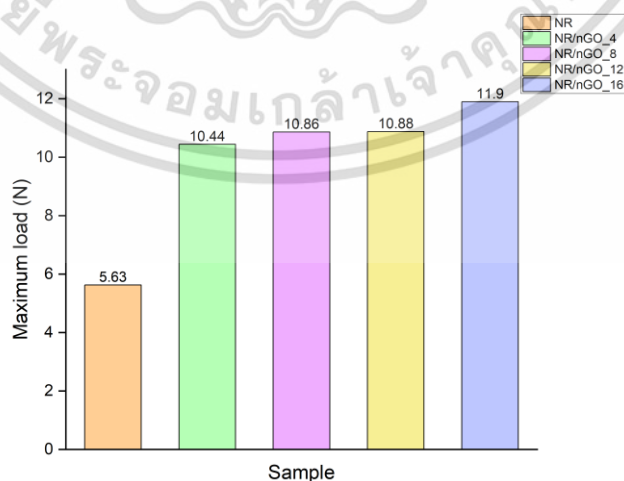
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.3** แสดงค่าการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์

ประเภทของแผ่นยางพาราคอมโพสิต	Maximum load (N)	Elongation at break (%)	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
NR	5.63	987.51	0.05	0.69
NR/GO_4	6.65	729.77	0.05	0.69
NR/GO_8	8.06	497.93	0.06	0.81
NR/GO_12	8.12	480.57	0.07	0.84
NR/GO_16	8.19	462.37	0.08	0.84

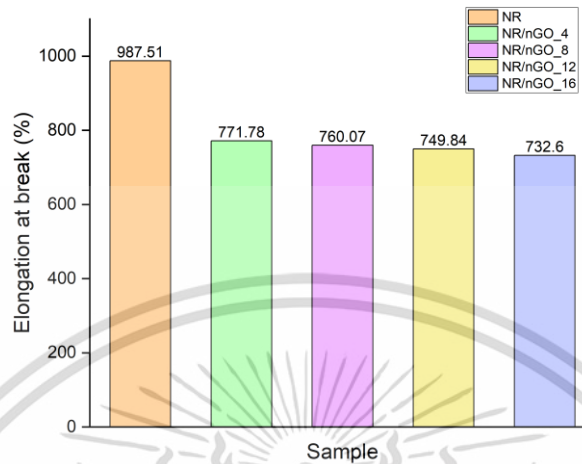
จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.15-4.18 พบว่าเมื่อมีการเติมกราฟีนออกไซด์ลงในแผ่นยางพาราปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด (Maximum load), ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) และค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของกราฟีนออกไซด์ เนื่องจากกราฟีนออกไซด์เป็นสารเสริมแรงที่ทำหน้าที่คล้ายกับแผ่นของแข็งขนาดเล็ก ๆ กระจายตัวอยู่ในเมทริกซ์ยางพารา จึงต้องใช้แรงมากในการทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด เมื่อใช้แรงมากขึ้นบ่งบอกถึงชิ้นงานทดสอบมีความแข็งแรงและแข็งแรงสูง ในขณะที่ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) มีค่าลดลง เนื่องจากกราฟีนออกไซด์มีผลทำให้ชิ้นงานทดสอบมีความแข็งแรงมากขึ้นแต่มีความเปราะ

#### 4.2.4.2 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์

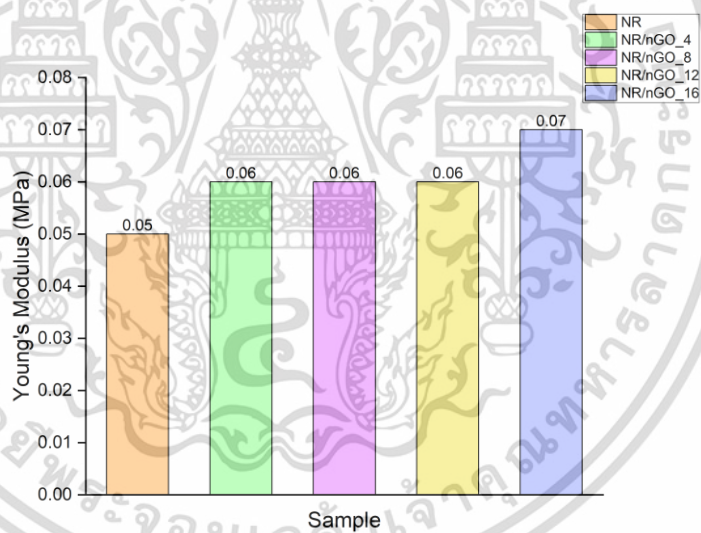


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

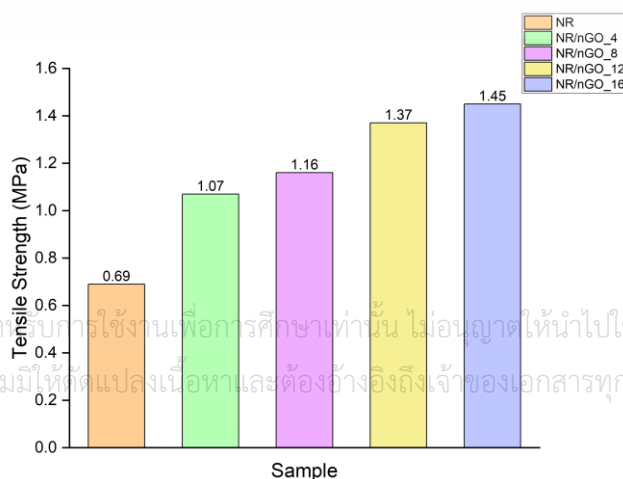
รูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด (Maximum load) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม ตามลำดับ



รูปที่ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

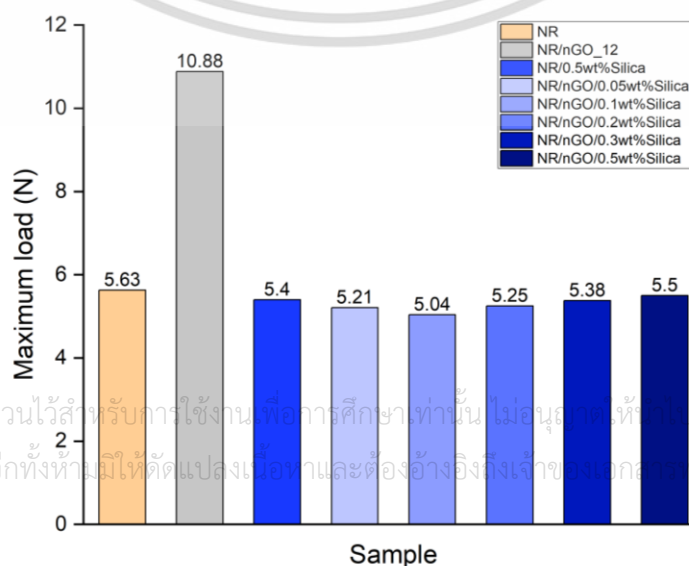
**รูปที่ 4.22** แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strngth) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ

**ตารางที่ 4.4** แสดงค่าการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์

ประเภทของแผ่นยางพาราคอมโพสิต	Maximum load (N)	Elongation at break (%)	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
NR	5.63	987.51	0.05	0.69
NR/nGO_4	10.44	771.78	0.06	1.07
NR/nGO_8	10.86	760.07	0.06	1.16
NR/nGO_12	10.88	749.84	0.06	1.37
NR/nGO_16	11.9	732.6	0.07	1.45

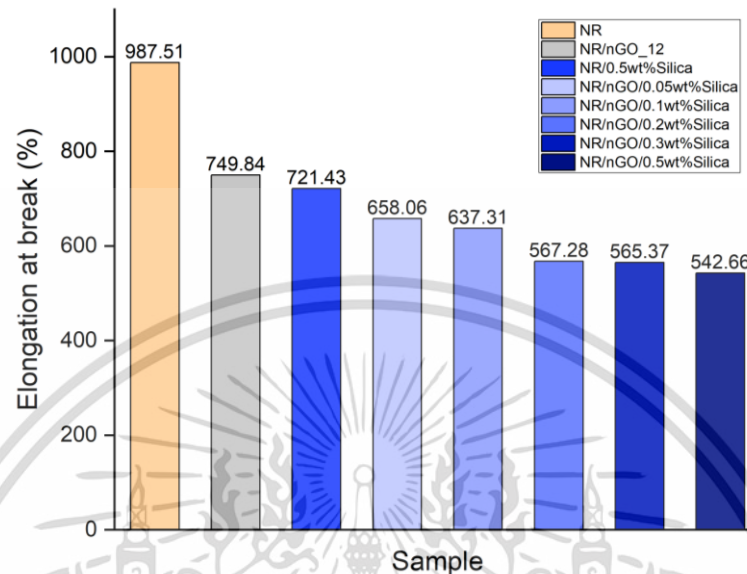
จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.19-4.22 พบว่าเมื่อมีการเติมนาโนกราฟีนออกไซด์ลงในแผ่นยางพาราปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้ค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด (Maximum load), ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) และค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของกราฟีนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น และค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) มีค่าลดลง เมื่อปริมาณของนาโนกราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.1 พบว่าการเติมนาโนกราฟีนออกไซด์ในแผ่นยางพารานั้น ปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลมากขึ้นจากการเติมกราฟีนออกไซด์ลงในแผ่นยางพารา

4.2.4.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ

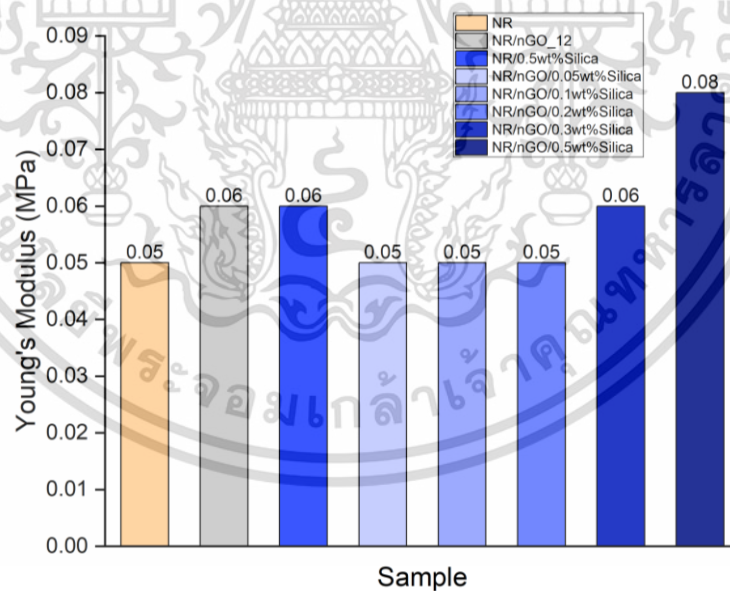


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด (Maximum load) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ

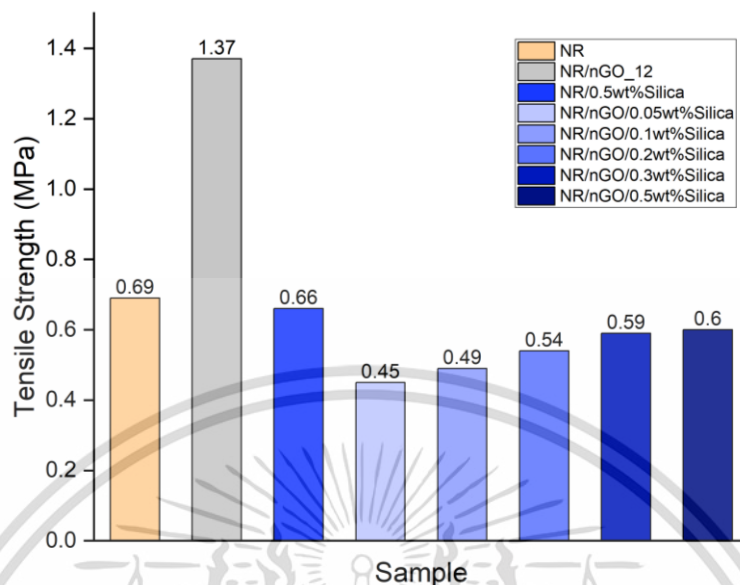


รูปที่ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ



รูปที่ 4.25 แสดงการเปรียบเทียบค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการทดสอบสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ

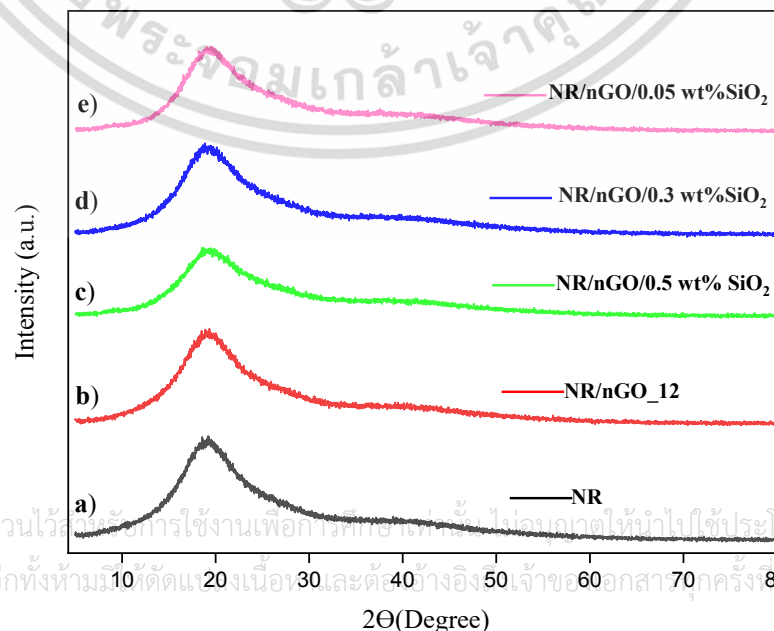
ประเภทของแผ่นยางพาราคอมโพสิต	Maximum load (N)	Elongation at break (%)	Young's Modulus (MPa)	Tensile Strength (MPa)
NR	5.63	987.51	0.05	0.69
NR/nGO_12	10.88	749.84	0.06	1.37
NR/0.5wt%SiO <sub>2</sub>	5.40	721.43	0.06	0.66
NR/nGO/0.05wt%SiO <sub>2</sub>	5.21	658.06	0.05	0.45
NR/nGO/0.1wt%SiO <sub>2</sub>	5.04	637.31	0.05	0.49
NR/nGO/0.2wt%SiO <sub>2</sub>	5.25	567.28	0.05	0.54
NR/nGO/0.3wt%SiO <sub>2</sub>	5.38	565.37	0.06	0.59
NR/nGO/0.5wt%SiO <sub>2</sub>	5.50	542.66	0.08	0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.23-4.26 พบว่าเมื่อเติมสารแขวนลอยนาโนซิลิกาลงในแผ่นยางพาราปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (NR/0.5wt%SiO<sub>2</sub>) ค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด (Maximum load), ค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break), ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) และค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับแผ่นยางพาราผสมด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิกรัม (NR/nGO\_12) เนื่องจากนาโนซิลิกาเป็นสารประกอบของธาตุซิลิกอน (Si) และธาตุออกซิเจน (O) มีการจัดเรียงตัวแบบเตตระฮีดรอล (Tetrahedral) โดยธาตุซิลิกอนทำพันธะกับธาตุออกซิเจนทำให้มีมุมระหว่างพันธะกว้าง สายโซ่หมุนได้ง่ายและเป็นพันธะที่แข็งแรง เนื่องจากอะตอมของซิลิกอนมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับอะตอมคาร์บอนและหมู่เมทิล ทำให้มีความสามารถในการเคลื่อนที่สูง ปริมาตรอิสระมากและผลึกไม่ทำให้สายโซ่ข้างเคียงเข้าใกล้ ส่งผลให้แผ่นยางพาราคอมโพสิตมีความยืดหยุ่นสูง เมื่อเติมนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักลงในแผ่นยางพาราผสมด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิกรัม พบว่าค่าแรงดึงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานทดสอบขาด (Maximum load), ค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) และค่าความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณนาโนซิลิกาที่เพิ่มขึ้น และค่าการยืดตัว ณ จุดขาด (Elongation at break) มีค่าลดลง เนื่องจากการเติมนาโนกราฟีนออกไซด์ลงในแผ่นยางคอมโพสิตทำให้คุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นลดลง แต่ช่วยเสริมแรงให้กับแผ่นยางพาราคอมโพสิตให้มีความแข็งแรงและแข็งแรงมากขึ้น จึงอาจทำให้เกิดความเปราะได้

#### 4.2.5 ผลการตรวจสอบผลึกและอสัณฐาน

ผลการตรวจสอบผลึกและอสัณฐานของแผ่นยางพารา แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิกรัม และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา ปริมาณ 0.05, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer; XRD) แสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีข้อคัดค้านข้ออ้างหรือข้อกล่าวหาใดๆ ต่อการนำไปใช้

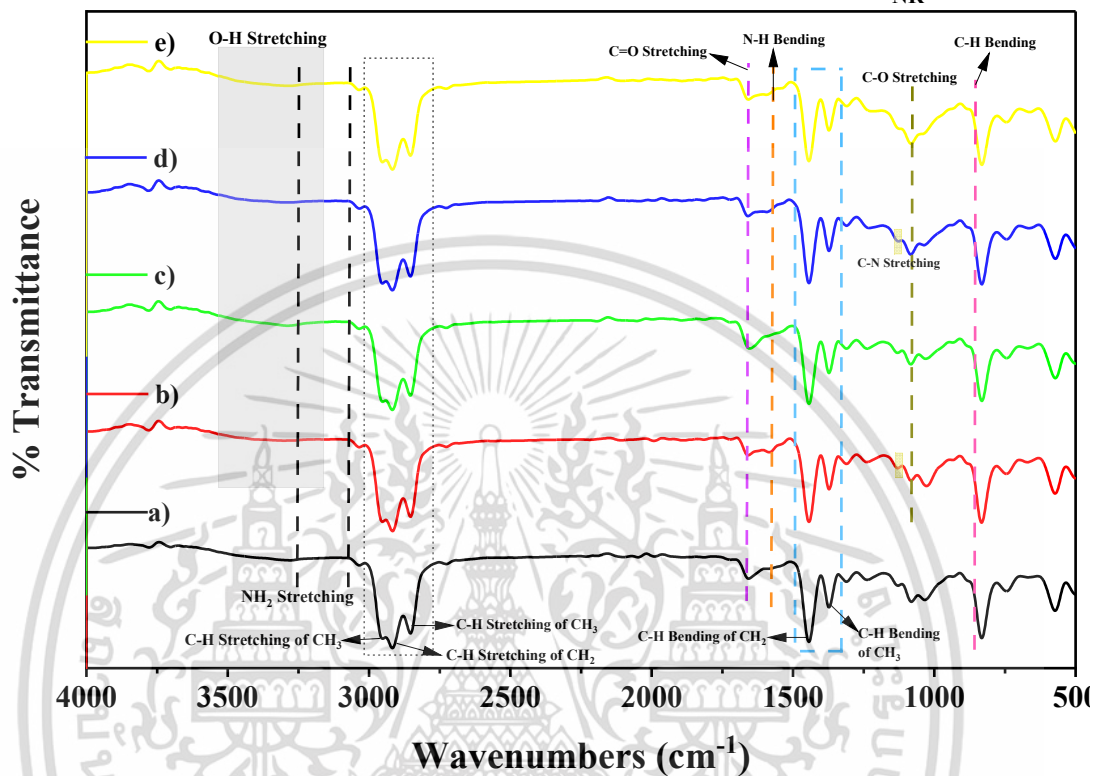
**รูปที่ 4.27** แสดงผล XRD pattern ของ a) NR b) NR/nGO\_12 c) NR/nGO/0.05 wt%SiO<sub>2</sub> d) NR/nGO/0.3 wt%SiO<sub>2</sub> และ e) NR/nGO/0.5 wt%SiO<sub>2</sub>

จากผลการตรวจวิเคราะห์ผลึกและอสัณฐาน ดังแสดงในรูปที่ 4.27 พบว่า แผ่นยางพารา (NR) พบพีคการเลี้ยวเบนที่ตำแหน่ง  $2\theta$  เท่ากับ  $18.61^\circ$  ซึ่งเป็นแถบกว้าง (Broad peak) เนื่องจากการเลี้ยวเบนของยางพาราที่มีลักษณะเป็นอสัณฐาน ขณะที่พีคการเลี้ยวเบนของแผ่นยางพาราผสมด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิกรัม (NR/nGO\_12) ที่ตำแหน่ง  $2\theta$  เท่ากับ  $17.33^\circ$  จะพบพีคเอกลักษณ์ของแผ่นยางพารา แต่ไม่พบพีคเอกลักษณ์ของสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ ซึ่งพีคเอกลักษณ์ของนาโนกราฟีนออกไซด์ จะมีลักษณะดังรูป จ.2 (ภาคผนวก จ) เนื่องจากปริมาณการเติมสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ที่ผสมในยางพาราน้อยเกินไป ทำให้พีคของสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ถูกบดบัง พีคการเลี้ยวเบนของแผ่นยางพาราผสมด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์และผงนาโนซิลิกา (NR/nGO/SiO<sub>2</sub>) ที่มีปริมาณของผงนาโนซิลิกาในแผ่นยางพาราที่ 0.05, 0.3, และ 0.5 wt% ที่ตำแหน่ง  $2\theta$  เท่ากับ  $19.11^\circ$ ,  $19.23^\circ$  และ  $19.27^\circ$  ตามลำดับ จะพบพีคเอกลักษณ์ของยางพาราและซิลิกาซ้อนทับกัน แต่มีความเข้มแตกต่างกัน พีคเอกลักษณ์ของนาโนซิลิกามีลักษณะดังแสดงในรูป จ.3 (ภาคผนวก จ) จากผลการตรวจวิเคราะห์ผลึกและอสัณฐานการเติมผงนาโนซิลิกา ส่งผลต่อความเข้มของพีคการเลี้ยวเบนได้อย่างชัดเจน และสามารถบอกได้ว่าแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่างๆ มีลักษณะเป็นอสัณฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.6 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานการสั่นของโมเลกุล

การวิเคราะห์ Fourier-transform infrared spectroscopy (FT-IR) สำหรับใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของหมู่ฟังก์ชันของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่างๆ แสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.28 แสดงกราฟ FT-IR เปรียบเทียบ a) NR b) NR/nGO\_12 c) NR/nGO/0.05wt%SiO<sub>2</sub> d) NR/nGO/0.3wt%SiO<sub>2</sub> e) NR/nGO/0.5wt%SiO<sub>2</sub>

จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างโมเลกุลในช่วงความยาวคลื่น 500-4000 cm<sup>-1</sup> ของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.28 พบว่าแผ่นยางพาราและแผ่นยางพารามสมด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์แสดงสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ได้แก่ ช่วงเลขคลื่นประมาณ 3284 cm<sup>-1</sup> เป็นช่วงคลื่นการสั่นของพันธะออกซิเจนต่อไฮโดรเจน (O-H Stretching) เกิดจากความชื้นในอากาศ ช่วงเลขคลื่นประมาณ 3037 cm<sup>-1</sup> เป็นแถบการสั่นยืดของ =C-H (=C-H Stretching), ช่วงเลขคลื่นประมาณ 2954 cm<sup>-1</sup> และ 2852 cm<sup>-1</sup> เป็นแถบการสั่นแบบยืดของ CH<sub>3</sub> (C-H Stretching of CH<sub>3</sub>), ช่วงเลขคลื่นประมาณ 2917 cm<sup>-1</sup> เป็นแถบการสั่นแบบยืดของ CH<sub>2</sub> (C-H Stretching of CH<sub>2</sub>), ช่วงเลขคลื่นประมาณ 1642 cm<sup>-1</sup> เป็นแถบการสั่นแบบยืดของพันธะ C=O (C=O Stretching) ซึ่งซ้อนทับกับช่วงเลขคลื่นประมาณ 1541 cm<sup>-1</sup> เป็นการสั่นแบบยืดของพันธะ C=C (C=C Stretching), ช่วงเลขคลื่นประมาณ 1443 cm<sup>-1</sup> จะเป็นการสั่นแบบงอของ CH<sub>2</sub> (C-H Bending of CH<sub>2</sub>), ช่วงเลขคลื่นประมาณ 1371 cm<sup>-1</sup> เป็นการสั่นแบบงอของ CH<sub>3</sub>

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(C-H Bending of  $\text{CH}_3$ ) และช่วงเลขคลื่นประมาณ  $831 \text{ cm}^{-1}$  เป็นการสั่นแบบงอของ  $=\text{C}-\text{H}$  ( $=\text{C}-\text{H}$  Bending)

จากผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันจะพบว่า จะมีช่วงการดูดกลืนแสงที่ตรงกัน ซึ่งช่วงดูดกลืนแสงที่แสดงเอกลักษณ์เฉพาะ ได้แก่ ช่วงเลขคลื่นประมาณ  $3284 \text{ cm}^{-1}$  เป็นช่วงคลื่นการสั่นของพันธะไฮดรอกซิล (O-H), ช่วงเลขคลื่นประมาณ  $3037 \text{ cm}^{-1}$  เป็นแถบการสั่นยืดของหมู่แอลคีน ( $=\text{C}-\text{H}$ ), ช่วงเลขคลื่นประมาณ  $2954 \text{ cm}^{-1}$  และ  $2852 \text{ cm}^{-1}$  เป็นแถบการสั่นแบบยืดของหมู่เมทิล ( $\text{CH}_3$ ), ช่วงเลขคลื่นประมาณ  $2917 \text{ cm}^{-1}$  เป็นแถบการสั่นแบบยืดของหมู่เอทิล ( $\text{CH}_2$ ), ช่วงเลขคลื่นประมาณ  $1642 \text{ cm}^{-1}$  เป็นแถบการสั่นแบบยืดของหมู่คาร์บอนิล ( $\text{C}=\text{O}$ ) และจากผลการตรวจวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันจะพบว่า ณ ช่วงเลขคลื่นประมาณ  $3284 \text{ cm}^{-1}$  ซึ่งเป็นช่วงเลขคลื่นของพันธะไฮดรอกซิล (O-H) เป็นการบ่งบอกว่ามีการเติมสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ผสมในยางพารา

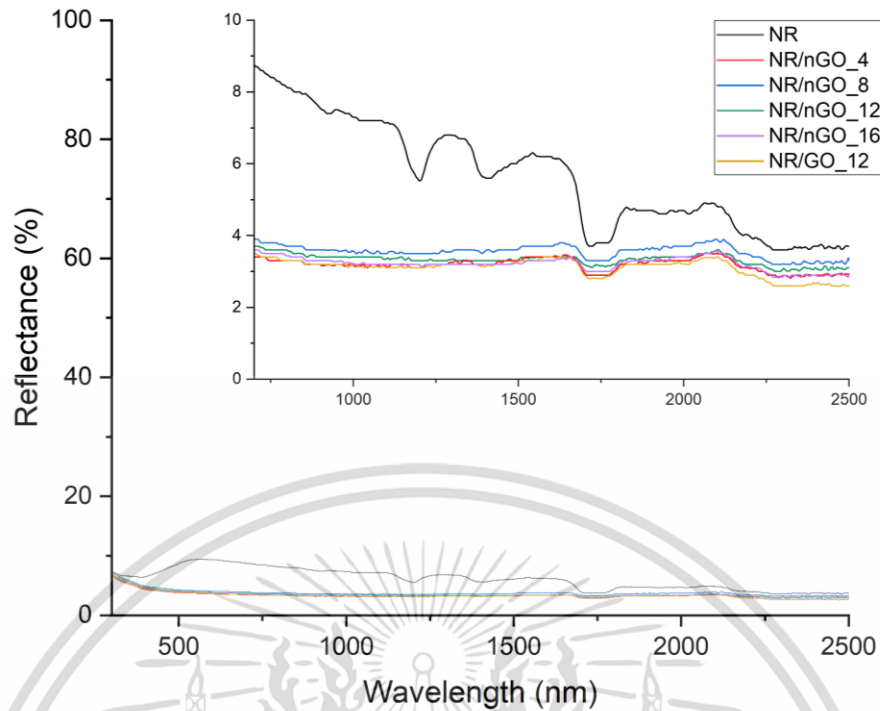
**ตารางที่ 4.6** แสดงสเปกตรัมรังสีอินฟราเรดของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ

Vibration mode	Wavenumber ( $\text{cm}^{-1}$ )
O-H Stretching	3287
=C-H Stretching	3037
C-H Stretching of $\text{CH}_3$	2954, 2852
C-H Stretching of $\text{CH}_2$	2917
C=O Stretching	1642
C=C Stretching	1541
C-H Bending of $\text{CH}_2$	1443
C-H Bending of $\text{CH}_3$	1371
=C-H Bending	831

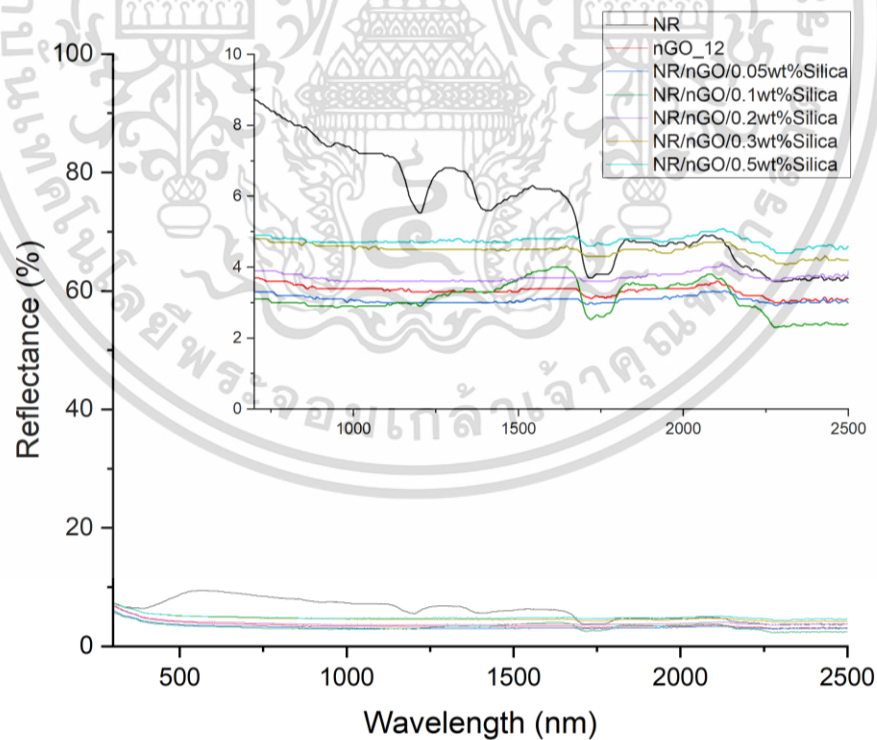
#### 4.2.7 ผลการวิเคราะห์การสะท้อนแสงด้วยเครื่องมือ UV-Vis-NIR Spectrophotometer

การตรวจวัดค่าการสะท้อนแสง Diffuse Reflectance ด้วยเครื่องมือ UV-Vis-NIR Spectrophotometer ของแผ่นยางพารา แผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ 12 มิลลิเมตร แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิเมตร ตามลำดับ และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ที่ความยาวคลื่น 350-2500 นาโนเมตร แสดงกราฟเปรียบเทียบแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 แสดงกราฟ Diffuse Reflectance ของแผ่นยางพารา แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีน ออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ และแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ ปริมาณ 12 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.30 แสดงกราฟ Diffuse Reflectance ของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิต

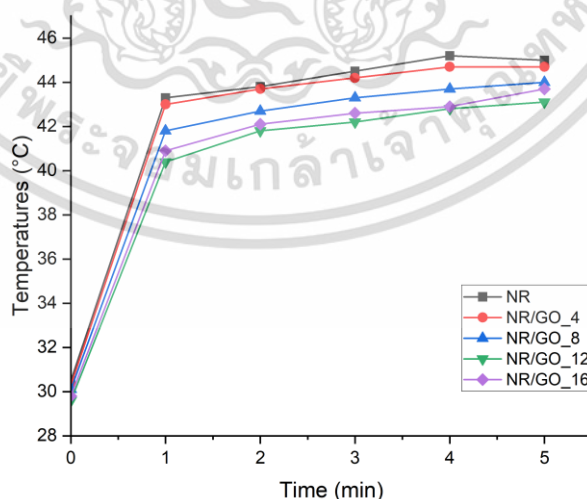
ประเภทต่าง ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษา Diffuse Reflectance ของ Near Infrared ในช่วงความยาวคลื่น 800-2500 นาโนเมตร ในรูปที่ 4.29 พบว่า แผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิกรัม มีค่าการสะท้อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม อีกทั้งแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์และนาโนกราฟีนออกไซด์มีค่าการสะท้อนต่ำกว่าแผ่นยางพารา อาจเป็นเพราะปริมาณของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์และนาโนกราฟีนออกไซด์ที่เติมเข้าไปมีปริมาณน้อยเกินไป หรือไม่มีคุณสมบัติในการสะท้อนแสง แต่เมื่อทำการเติมนาโนซิลิกาลงในแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ ในรูปที่ 4.30 จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณนาโนซิลิกามากขึ้นคือ 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ทำให้มีการสะท้อนเพิ่มขึ้น บ่งชี้ว่านาโนซิลิกามีคุณสมบัติช่วยในการสะท้อนแสงให้กับแผ่นยางพาราคอมโพสิต

#### 4.2.8 ผลการวิเคราะห์การป้องกันความร้อนด้วยเทคนิควัดค่าการนำความร้อนด้วยการถ่ายภาพการแพร่กระจายความร้อนบนพื้นผิวของวัสดุด้วยรังสีอินฟราเรด

การตรวจวัดค่าการนำความร้อน ด้วยการถ่ายภาพการแพร่กระจายความร้อน (Thermal imaging Camera) ด้วยรังสีอินฟราเรด (Infrared; IR) ซึ่งจะทำให้การตรวจวัดและบันทึกภาพทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 5 นาที เพื่อสังเกตการกระจายความร้อนที่พื้นผิวของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ

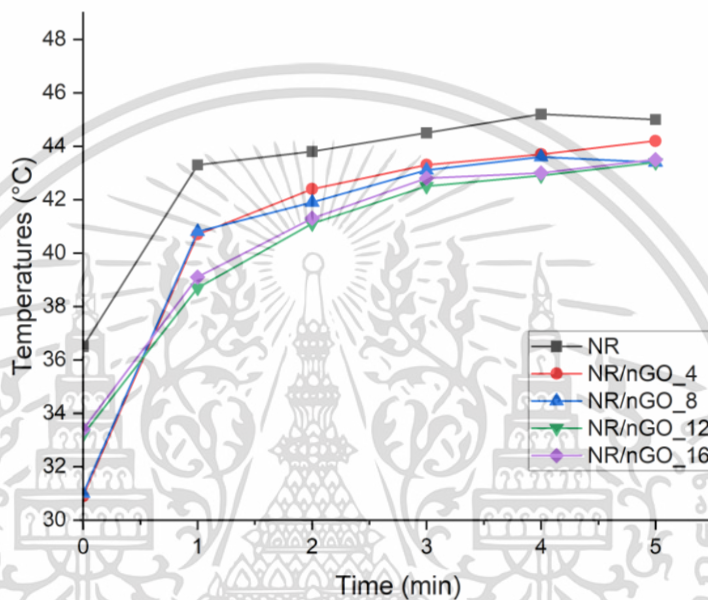
จากผลการตรวจวัดค่าการนำความร้อนของแผ่นยางพารา แผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม แผ่นยางพาราผสมนาโนซิลิกา 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดงกราฟเปรียบเทียบแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.31 แสดงกราฟการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

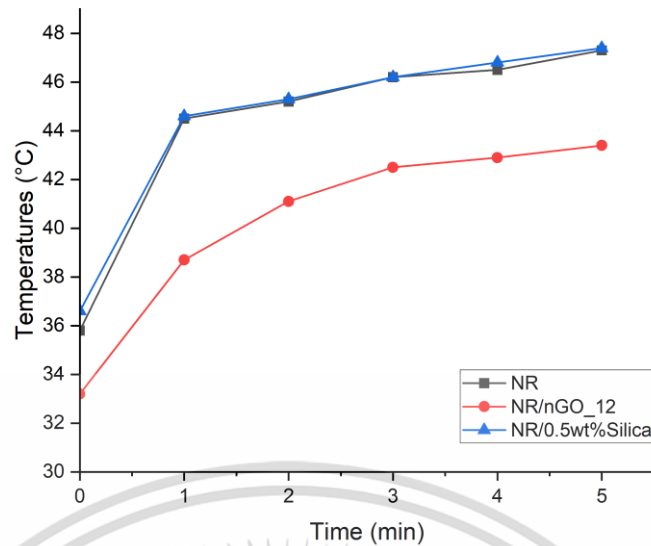
จากรูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม พบว่า แผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4 มิลลิกรัม มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เวลาใด ๆ ใกล้เคียงกัน และเมื่อเพิ่มปริมาณกราฟีนออกไซด์ อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เวลาใด ๆ ช้าลง แต่จะเห็นว่าแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิกรัม มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช้ากว่ายางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 16 มิลลิกรัม เล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากการเติมกราฟีนออกไซด์ที่มากเกินไปจึงส่งผลต่อการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์



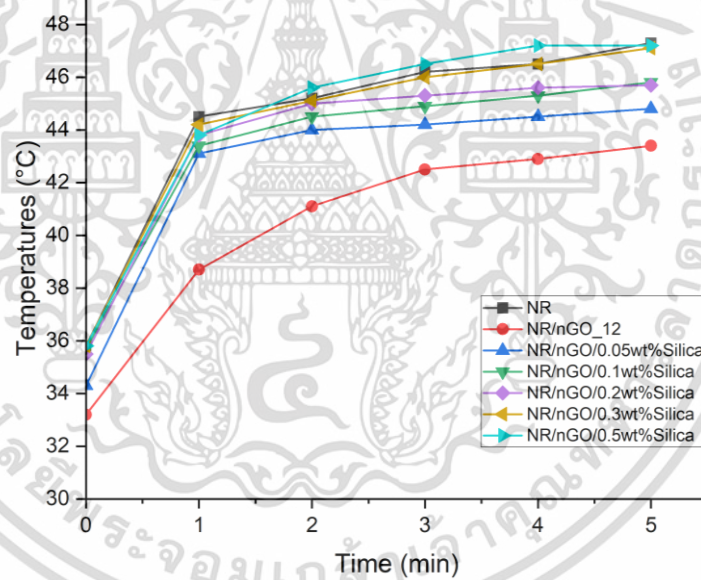
รูปที่ 4.32 แสดงกราฟการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิกรัม พบว่า แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4 และ 8 มิลลิกรัม มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เวลาใด ๆ ใกล้เคียงกัน ในขณะที่แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 และ 16 มิลลิกรัม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เวลาใด ๆ ช้ากว่า แต่แผ่นยางทั้งสองนี้มีอุณหภูมิห่างกันเล็กน้อย จะเห็นว่าแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิกรัม มีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่เวลาใด ๆ ช้าที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากการเติมนาโนกราฟีนออกไซด์ที่มากเกินไปจึงส่งผลต่อการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยางพาราจะเห็นได้ว่า การเติมนาโนกราฟีนออกไซด์ทำให้คุณสมบัติการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพาราได้รับการปรับปรุง หรือสามารถทนต่อความร้อนได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

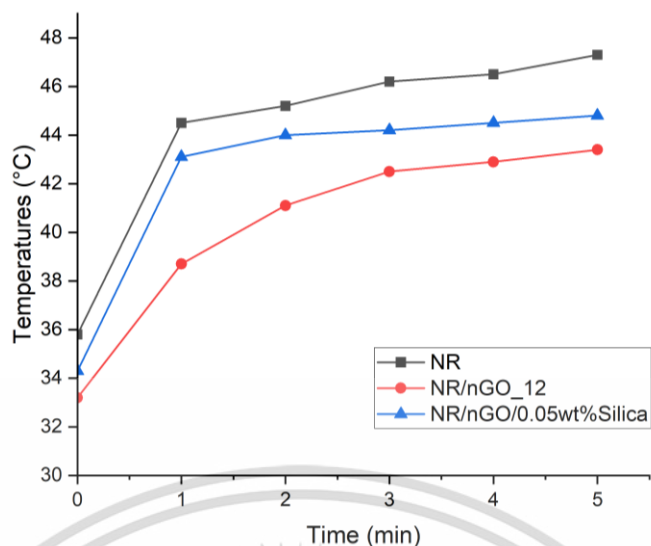


รูปที่ 4.33 แสดงกราฟการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร และแผ่นยางพาราผสมนาโนซิลิกาปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.34 แสดงกราฟการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



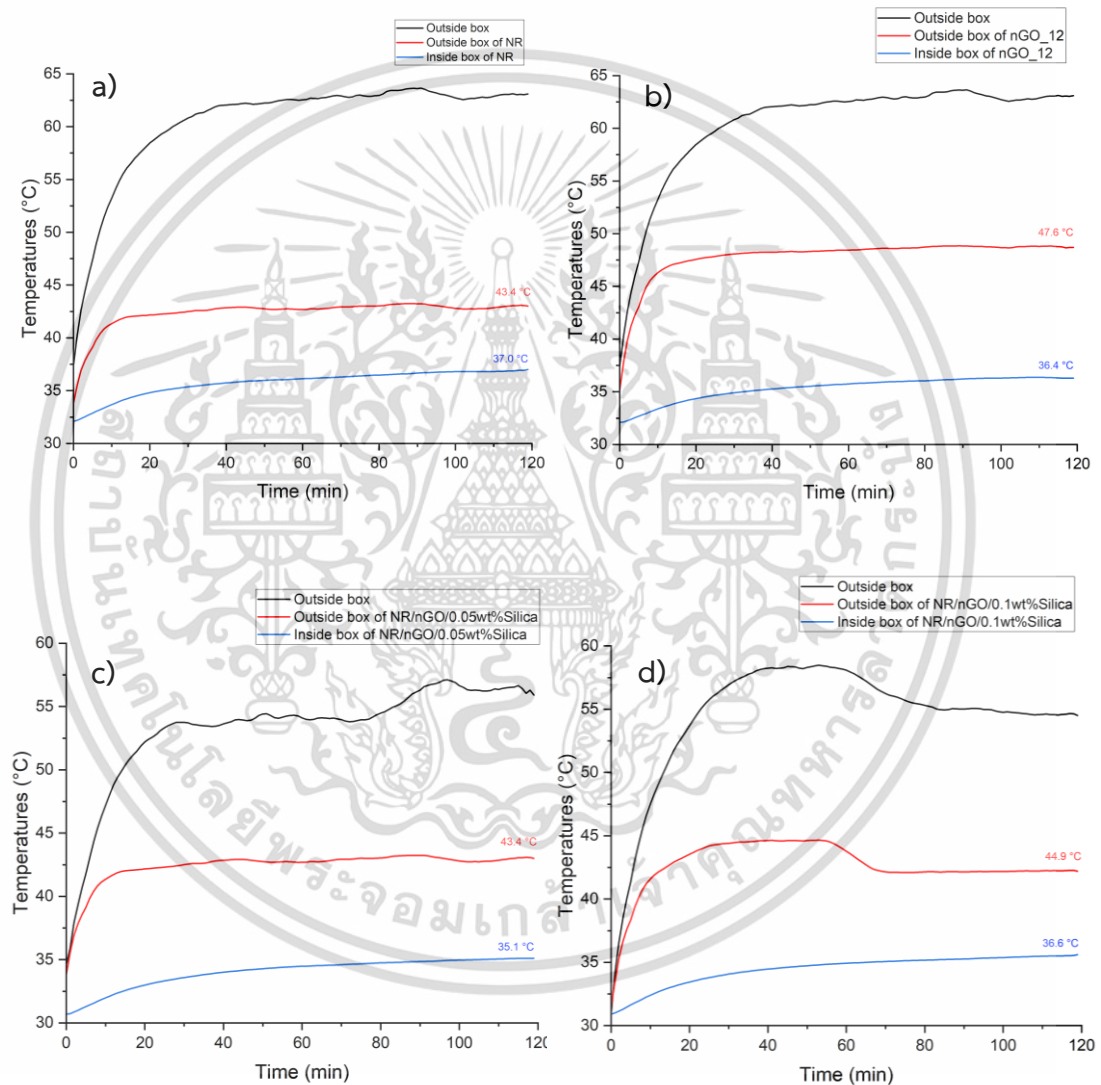
**รูปที่ 4.35** แสดงกราฟการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา ผ่อนยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา ผ่อนยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร และแผ่นยางพาราผสมนาโนซิลิกาปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าแผ่นยางพาราผสมนาโนซิลิกาปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิใกล้เคียงกับแผ่นยางพารา และในรูปที่ 4.34 แสดงการเปรียบเทียบการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพารา ผ่อนยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยทำการคงที่ปริมาณนาโนกราฟีนออกไซด์ที่ 12 มิลลิลิตร พบว่าแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช้าที่สุด โดยในช่วง 1 นาทีแรกอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และเริ่มคงที่จนถึงนาทีที่ 5 และเมื่อทำการเพิ่มปริมาณนาโนซิลิกา พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิสูงขึ้น โดยแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก อุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนเริ่มคงที่ที่นาทีที่ 4 แสดงให้เห็นว่า ผ่อนยางพาราผสมด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีค่าการนำความร้อนที่ดีที่สุด ในขณะที่แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด หรือมีความเป็นฉนวนความร้อนที่ดีที่สุด

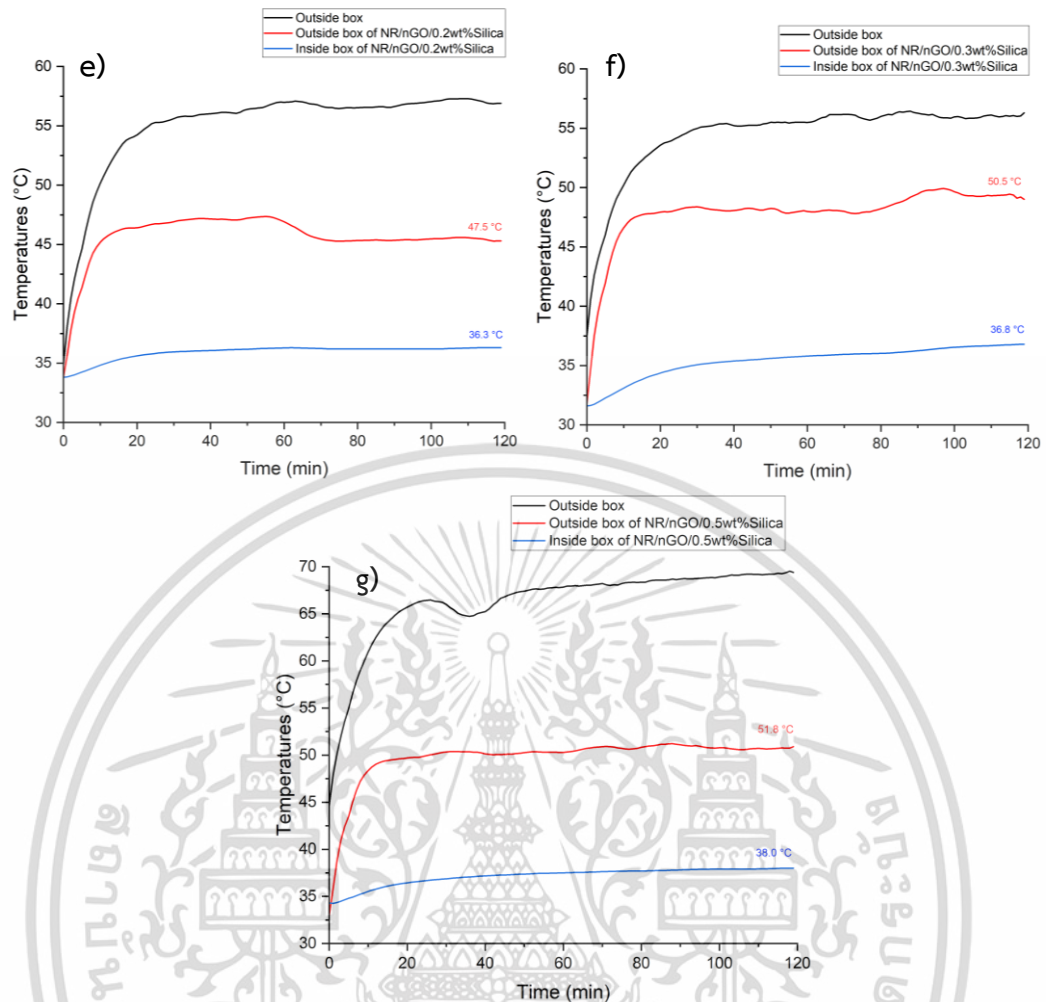
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.9 ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการสะท้อนความร้อน

ศึกษาความสามารถในการสะท้อนความร้อนของแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิที่ได้รับความร้อนจากหลอดไฟอินฟราเรด และควบคุมความร้อนให้เข้าได้ทิศทางเดียวตรงกับแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ จากนั้นทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิทั้งหมด 3 ตำแหน่ง คือ อุณหภูมิภายนอกกล่อง อุณหภูมิแผ่นยางพาราคอมโพสิตภายนอกกล่อง และอุณหภูมิภายในกล่อง ทำการวัดอุณหภูมิทุก ๆ 1 นาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดสอบจะแสดงได้ดังต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 แสดงกราฟการตรวจวัดอุณหภูมิที่ได้รับความร้อนจากหลอดไฟอินฟราเรดของ a) แผ่นยางพารา b) แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร c)-g) แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิสูงสุดที่ได้รับความร้อนจากหลอดไฟอินฟราเรดของแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ

ประเภทของแผ่นยางพาราคอมโพสิต	อุณหภูมิแผ่นยางพาราคอมโพสิตภายนอกกล่อง (°C)	อุณหภูมิสูงสุดในกล่อง (°C)	$\Delta T$ (°C)
NR	43.4	37.0	6.4
NR/nGO_12	47.6	36.4	11.2
NR/nGO/0.05wt%SiO <sub>2</sub>	43.4	35.1	8.3
NR/nGO/0.1wt%SiO <sub>2</sub>	44.9	36.6	8.3
NR/nGO/0.2wt%SiO <sub>2</sub>	47.5	36.3	11.2
NR/nGO/0.3wt%SiO <sub>2</sub>	50.5	36.8	13.7
NR/nGO/0.5wt%SiO <sub>2</sub>	51.8	38.0	13.8

จากตารางที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิสูงสุดที่ตรวจวัดค่าการสะท้อนความร้อน คือ อุณหภูมิแผ่นยางพาราคอมโพสิตภายนอกกล่อง อุณหภูมิภายในกล่อง และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิแผ่นยางพาราคอมโพสิตภายนอกกล่องและอุณหภูมิภายในกล่อง ( $\Delta T$ ) จากการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร และแผ่นยางพารา พบว่า อุณหภูมิสูงสุดในกล่องของแผ่นยางพารา คือ 37 องศาเซลเซียส และแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร คือ 36.4 องศาเซลเซียส ซึ่งความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิแผ่นยางพาราคอมโพสิตภายนอกกล่องและอุณหภูมิภายในกล่องสูงขึ้นเมื่อมีการเติมนาโนกราฟีนออกไซด์ลงในแผ่นยางพารา และเมื่อทำการเติมนาโนซิลิกาลงในแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร ในปริมาณเพิ่มขึ้น คือ 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ พบว่าค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิแผ่นยางพาราคอมโพสิตภายนอกกล่องและอุณหภูมิภายในกล่องสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ หรือสามารถสะท้อนความร้อนได้ดีกว่าแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ ในขณะที่แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05 และ 0.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิแผ่นยางพาราคอมโพสิตภายนอกกล่องและอุณหภูมิภายในกล่องต่ำกว่ายางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร เนื่องจากปริมาณนาโนซิลิกาที่เติมเข้าไปนั้นอาจจะมีปริมาณที่ไม่มากพอที่จะทำให้เกิดการเพิ่มประสิทธิภาพของแผ่นยางพาราคอมโพสิต จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณนาโนซิลิกา แผ่นยางพาราคอมโพสิตสามารถสะท้อนความร้อนได้ดีขึ้นหรือมีความเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

#### 5.1.1 สรุปผลของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ นาโนกราฟีนออกไซด์ และผงนาโนซิลิกา

TEM สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์และนาโนกราฟีนออกไซด์ มีลักษณะทางกายภาพที่เป็น 2 มิติ ขนาดรูปร่างไม่สม่ำเสมอ โดยนาโนกราฟีนออกไซด์จะพบแผ่นขนาดเล็กๆ กระจายตัวอยู่มากกว่าสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

FT-IR กราฟีนออกไซด์และนาโนกราฟีนออกไซด์ พบพีกเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และนาโนกราฟีนออกไซด์ คือ การสั่นของพันธะไฮดรอกซิล (O-H), การสั่นแบบยืดของพันธะ C=C, การสั่นแบบยืดของพันธะ C-O-H และการสั่นแบบยืดของพันธะ C-O-C Stretching และผงนาโนซิลิกา พบพีกเอกลักษณ์ของซิลิกอนไดออกไซด์ คือ การสั่นแบบยืดของพันธะ Si-O-Si และการสั่นของพันธะไฮดรอกซิล O-H เนื่องจากนาโนซิลิกาดูดซับความชื้นได้ง่าย

Particle analyzer ขนาดอนุภาคที่พบมากที่สุดของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์เฉลี่ยคือ 1265.1 นาโนเมตร และขนาดอนุภาคที่พบมากที่สุดของสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์เฉลี่ย 760.3 นาโนเมตร บ่งชี้ให้เห็นว่าสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์มีขนาดเล็กกว่าสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

#### 5.1.2 สรุปผลของแผ่นยางพารา และแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ

FE-SEM เมื่อเพิ่มปริมาณกราฟีนออกไซด์และนาโนกราฟีนออกไซด์ลงในแผ่นยางพารา ทำให้พื้นผิวมีลักษณะเรียบขึ้น พบอนุภาคคล้ายเกล็ดขนาดเล็กกระจายตัวและเข้ากันได้ดีในเมทริกซ์ยางพารา และเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นยางพาราผสมนาโนซิลิกา กับแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกา พบว่าการเติมกราฟีนออกไซด์ทำให้พื้นผิวมีความเรียบ และทำให้เมทริกซ์ยางพารากับนาโนซิลิกาเข้ากันได้ดีขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณของนาโนซิลิกามากเกินไปจะทำให้เกิดการรวมตัวหรือเข้ากันได้กับเมทริกซ์ยางพาราได้น้อยลง

EDS แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์พบธาตุคาร์บอนที่มีอยู่ในโครงสร้างของยางพารา เป็นองค์ประกอบหลัก และพบธาตุออกซิเจนที่อยู่ในโครงสร้างของนาโนกราฟีนออกไซด์ หรือจาก ความชื้นในอากาศ และเมื่อเติมนาโนซิลิกาลงในแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ พบธาตุซิลิกอนที่มีอยู่ในโครงสร้างของซิลิกอนไดออกไซด์หรือผงนาโนซิลิกาเพิ่มเติม กระจายตัวบาง ๆ และเกาะกลุ่มกันขนาดเล็กในแผ่นยางพาราคอมโพสิต

Raman แผ่นยางพารา พบพีกเอกลักษณ์ของยางพารา คือ พีกของไอโซพรีน (Isoprene group) เอกสารนี้ และพีกของอะลิฟาติก ( $\text{CH}_2\text{CH}_3$  group) และเมื่อเติมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงในแผ่นยางพารา จะพบพีคเอกลักษณ์ของนาโนกราฟีนออกไซด์ เนื่องจากนาโนกราฟีนออกไซด์มีความเข้มข้นสูงจึงทำให้บดบังพีคเอกลักษณ์ของยางพาราบางส่วน และเมื่อเพิ่มปริมาณนาโนซิลิกา จะพบพีคเอกลักษณ์ของยางพาราและนาโนซิลิกา เนื่องจากสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์และผงนาโนซิลิกาเกิดการรวมตัวและเกาะกลุ่มกัน ส่งผลให้ไม่พบพีคของนาโนซิลิกาและความเข้มข้นของพีคยางพาราสูงขึ้น

เทคนิคเชิงกล พบว่าแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์มีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่าแผ่นยางพาราผสมกราฟีนออกไซด์ และเมื่อเพิ่มปริมาณของกราฟีนออกไซด์หรือนาโนกราฟีนออกไซด์ในแผ่นยางพารา ทำให้แผ่นยางพารามีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น และเมื่อเพิ่มปริมาณนาโนซิลิกาในแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของแผ่นยางพาราคอมโพสิตดีขึ้น

XRD ไม่พบพีคเอกลักษณ์ของสารแขวนลอยนาโนกราฟีนออกไซด์ แต่พบพีคเอกลักษณ์ของยางพารา การเติมผงนาโนซิลิกาส่งผลต่อความเข้มของพีคการเลี้ยวเบน และสามารถบอกได้ว่าแผ่นยางพาราและแผ่นยางพาราคอมโพสิตประเภทต่าง ๆ มีลักษณะเป็นอสัณฐาน

FT-IR พบพีคเอกลักษณ์ของยางพาราและนาโนกราฟีนออกไซด์ แต่ไม่พบพีคเอกลักษณ์ของนาโนซิลิกา

UV-Vis NIR เมื่อทำการเติมนาโนซิลิกาลงในแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ ทำให้มีการสะท้อนเพิ่มขึ้น บ่งชี้ว่าซิลิกามีคุณสมบัติช่วยในการสะท้อนแสงให้กับแผ่นยางพาราคอมโพสิต

เทคนิคเชิงความร้อน กรณีการให้ความร้อนโดยตรงจาก Hot plate พบว่าแผ่นยางพาราคอมโพสิตมีการป้องกันความร้อนได้ดีกว่าแผ่นยางพารา กรณีการให้ความร้อนจากการฉายแสงพบว่า แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์มีการสะท้อนความร้อนได้ดีกว่าแผ่นยางพารา และเมื่อเพิ่มปริมาณนาโนซิลิกาในแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์จะมีการสะท้อนความร้อนได้ดีขึ้นเช่นกัน

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) การเตรียมตัวอย่างควรมีวิธีการเตรียมแบบอื่นร่วมด้วย เช่น กระบวนการรีดขึ้นรูปแบบแผ่น เพื่อลดปริมาณฟองอากาศ ป้องกันปัญหาฟองในแผ่นยางพาราคอมโพสิต
- 2) การเก็บแผ่นยางคอมโพสิตควรระมัดระวังอุณหภูมิ ความชื้น และระยะเวลาเพื่อรักษาคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติเชิงความร้อน
- 3) ในการทดสอบสมบัติการสะท้อนความร้อนและทดสอบการกระจายความร้อน ควรทดสอบภายในห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่
- 4) ศึกษาการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นยางพาราคอมโพสิตด้วยเทคนิคต่างๆ เพิ่มเติม เช่น Heat flow Meter (HFM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] ปรีศญารัตน์ สังกะเพศ. (2555). “การพิทักษ์ชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศ (The Protection of the Ozone Layer in Atmosphere).” *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 40(2), 437-443.  
[https://scijournal.kku.ac.th/files/Vol\\_40\\_No\\_2\\_P\\_436-443.pdf](https://scijournal.kku.ac.th/files/Vol_40_No_2_P_436-443.pdf)
- [2] วุฒิพงษ์ แสงมณี. (2556). พลังงานจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation).  
<http://www.geog.pn.psu.ac.th/CAIClimate/3Sun49.pdf>.
- [3] Kornrawee. (2553). สภาวะโลกร้อน.  
[http://climate.tmd.go.th/content/file/11?fbclid=IwAR3CiSMUCQ0Y8g\\_ZBV7aX57tKVfe05KhxNWU-oCy7OsLTckyN2AlmtX1eHg](http://climate.tmd.go.th/content/file/11?fbclid=IwAR3CiSMUCQ0Y8g_ZBV7aX57tKVfe05KhxNWU-oCy7OsLTckyN2AlmtX1eHg).
- [4] Encyclopedia. (2017). ฉนวนกันความร้อน (Sound insulation) กับคุณสมบัติที่น่ารู้ก่อนจะนำเอาไปใช้งาน. <https://www.wazzadu.com/article/1367>.
- [5] Tpifoam. (2559). ความรู้เรื่องฉนวนกันความร้อน.  
[https://tpifoam.com/blog/?fbclid=IwAR0eHf1nI61wdXM1NXaQbSLi1LnsI4Jwn\\_oqsOr4B1tgyG93j9L8a4D3l0](https://tpifoam.com/blog/?fbclid=IwAR0eHf1nI61wdXM1NXaQbSLi1LnsI4Jwn_oqsOr4B1tgyG93j9L8a4D3l0).
- [6] MDR International Co., Ltd. 2014. ชนิดของยางและการใช้งาน.  
<https://www.mdr-thai.com/ชนิดของยางและการใช้งาน/>.
- [7] Sekhar C. Ray. (2015). Chapter 2 - Application and Uses of Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide. *Applications of Graphene and Graphene-Oxide Based Nanomaterials*, 39-55.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323375214000029>
- [8] Graphene-info. (2022, 23 November). Graphene Oxide: Introduction and Market News. <https://www.graphene-info.com/graphene-oxide>
- [9] yhisato. (2009). Insulator to semi-metal transition in graphene oxide.  
<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0905/0905.2799.pdf>
- [10] Yaofei Lei, Zijun Hu, Bin Cao, Xiaohong Chen and Huaihe Song. (2016). “Enhancements of thermal insulation and mechanical property of silica aerogel monoliths by mixing graphene oxide.” *Materials Chemistry and Physics*. 187: 1-8.
- [11] สุวดี ก้องพารากุล. (2556). “เทคโนโลยีการตัดแปรรยางธรรมชาติและการประยุกต์ใช้ Natural Rubber Modification Technology and Its Applications.” *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.*, 41(3), 567-581.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Rubber Digest. (2557). ส่วนประกอบของน้ำยาง.  
<https://rubberdigest.com/?p=98>
- [13] Rubber Digest. (2557). ส่วนประกอบของน้ำยางที่เป็นเนื้อยาง.  
<https://rubberdigest.com/?p=104>
- [14] Rubber Digest. (2557). ส่วนประกอบในน้ำยางที่ไม่ใช่เนื้อยาง.  
<https://rubberdigest.com/?p=107>
- [16] ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์. (2553). 2.1 ยางธรรมชาติ.  
<http://dc.oas.psu.ac.th/dcms/files/04715/Chapter2.pdf>
- [17] นิธินาถ แซ่ตั้ง. (2557). “ยางธรรมชาติ: การประยุกต์ใช้เป็นสารตั้งต้นทดแทนวัตถุดิบจากปิโตรเคมี.” วารสาร วิทยาศาสตร์บูรพา. 19(2), 199-209.  
<http://science.buu.ac.th/ojs246/index.php/sci/article/viewFile/517/493>
- [18] สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ. (2562). 2.1 ยางธรรมชาติ.  
<file:///C:/Users/Admin/Downloads/Fulltext%233.pdf>
- [19] สำนักหอสมุดและศูนย์สารสนเทศวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2559). การประยุกต์ใช้ยางธรรมชาติในอุตสาหกรรม. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.  
<http://siweb1.dss.go.th/repack/fulltext/IR%2039.pdf>
- [20] Wikipedia. (2022). Graphite Oxide.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Graphite\\_oxide](https://en.wikipedia.org/wiki/Graphite_oxide)
- [21] Wilkinson J. (2016, 22 September). Developing Graphene Oxide Membrane for the Purification of water and Green Fuels. Azonano.  
<https://www.azonano.com/article.aspx?ArticleID=4275>
- [22] Sekhar C. Ray. (2015). Chapter 2 - Application and Uses of Graphene Oxide and Reduced Graphene Oxide. Applications of Graphene and Graphene-Oxide Based Nanomaterials, 39-55.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323375214000029>
- [23] Andrew T.Smith, Anna MarieLaChance, SongshanZeng, BinLiu, LuyiSun. (2019). “Synthesis, properties, and applications of graphene oxide/reduced graphene oxide and their nanocomposites.” Nano Materials Science. 1: 31-47.
- [24] แมนมนัส ศรีแก้ว และสายันต์ แสงสุวรรณ. (2563). “วัสดุมหัศจรรย์แกรฟีน : กลยุทธ์การสังเคราะห์สมบัติการพัฒนาการพิสูจน์เอกลักษณ์และการประยุกต์ใช้ Graphene (The miracle material) : Strategies for Synthesis, Properties,Development, Characterizations and Applications.” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี., 22(2), 39-49.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การขโมยหรือการนำเอกสารไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการกระทำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [25] Vayo Farm. (2022). ประโยชน์ของซิลิกา (Silica/SiO<sub>2</sub>) และการนำไปใช้อุตสาหกรรมต่างๆ. <https://farm.vayo.co.th/blog/silica/>
- [26] Wikipedia. 2022. Silicon dioxide. [https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon\\_dioxide](https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_dioxide)
- [27] Encyclopedia. (2562, 1 พฤษภาคม). ฉนวนกันความร้อน (Sound insulation) กับคุณสมบัติที่น่ารู้ก่อนจะนำไปใช้งาน. <https://www.wazzadu.com/article/1367>
- [28] ลำดวน. (2563, 4 พฤศจิกายน). ฉนวนกันความร้อน คืออะไร. <https://www.kachathailand.com/articles/ฉนวนกันความร้อน-มีกี่ปร/>
- [29] Bangkok Integrated Trading Co.,Ltd. (ม.ป.ป.). ประเภทฉนวนกันความร้อน และคุณสมบัติ. <https://www.bitbkk.com/ประเภทฉนวนกันความร้อน-แ/>
- [30] D.C. Stanier, A.J. Patil, C. Sriwong, S.S. Rahatekar, J. Ciambella. (2014). “The reinforcement effect of exfoliated graphene oxide nanoplatelets on the mechanical and viscoelastic properties of natural rubber.” *Composites Science and Technology*. 95: 59–66.
- [31] Bin Dong, Chang Liu, Liqun Zhang, Youping Wu. (2012). “Preparation, Fracture, and Fatigue of Exfoliated Graphene Oxide/Natural Rubber Composites.” *RSC Advances*. 1-12.
- [32] Xin Mu, Xufei Wu, Teng Zhang, David B. Go&Tengfei Luo. (2014). “Thermal Transport in Graphene Oxide – From Ballistic Extreme to Amorphous Limit.” *Scientific Reports*. 4: 3909.
- [33] Bernd Wicklein, Andraž Kocjan, German Salazar-Alvarez, Federico Carosio, Giovanni Camino, Markus Antonietti and Lennart Bergström. (2014). “Thermallyinsulating and fire-retardant lightweight anisotropic foams based on nanocellulose and graphene oxide.” *Nature Nanotechnology*. 10: 277-283.
- [34] Xumin Zhang, Jingyi Wang, Hongbing Jia, Biao Yin, Lifeng Ding, Zhaodong Xue and Qingmin Ji. (2016). “Polyvinyl pyrrolidone modified graphene oxide for improving the mechanical, thermal conductivity and solvent resistance properties of natural rubber.” *RSC Advances*. 6: 54668.
- [35] Jing Hong, Changhua Liu, Xi Deng, Ting Jiang, Lin Gan and Jin Huang. (2016). “Enhanced tribological properties in core-shell structured SiO<sub>2</sub>@GO hybrid fillers for epoxy nanocomposites.” *RSC Advances*. 6: 89221.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [36] Piya Soranakom, Naratip Vittayakorn, Pattana Rakkwamsuk, Sitthisuntorn Supothina, Panpailin Seeharaj. (2021). "Effect of surfactant concentration on the formation of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@SiO<sub>2</sub> NIR-reflective red pigments." *Ceramics International*. 47: 13147-13155.
- [37] สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้มหาวิทยาลัยมหิดล. (ม.ป.ป.). Electron microscope กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.  
<https://il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>
- [38] pornsak. (2554, 16 ตุลาคม). Field Emission Scanning Electron Microscope JSM-7001F ศูนย์วิจัยทางฟิสิกส์ของฟิล์มบาง ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์.  
<http://cste.sut.ac.th/lsu/images/doc/fe-sem.pdf>
- [39] June. (2562, 8 พฤศจิกายน). การวิเคราะห์ธาตุและองค์ประกอบด้วยเทคนิค Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS).  
<https://www3.rdi.ku.ac.th/cl/knowledge/EDS.pdf>
- [40] นายปิยะวัฒน์ แก้วใจจง. (2651). การพัฒนารามานสเปกโตรสโคปแบบส่งผ่านสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี. [ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์].  
[http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2018/TU\\_2018\\_5809033516\\_96049479.pdf](http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2018/TU_2018_5809033516_96049479.pdf)
- [41] AZO Materials. (ม.ป.ป.). DXR<sub>3</sub> SmartRaman Spectrometer.  
<https://www.azom.com/equipment-details.aspx?EquipID=1176>
- [42] ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (ม.ป.ป.). UNIVERSAL TESTING MACHINE (UTM).  
[http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id\\_sub=26&id=32#:~:text=หลักการทำงาน%20ให้แรงดึง,ต้น%20\(N\)%20การทดสอบจะ](http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=26&id=32#:~:text=หลักการ%20ให้แรงดึง,ต้น%20(N)%20การทดสอบจะ)
- [43] สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน(องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (ม.ป.ป.). X-Ray Diffractometer (XRD) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.  
<https://www.slri.or.th/bdd/th/22-บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์/71-x-ray-diffractometer-xrd.html>
- [44] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อการวิจัยขั้นสูง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (ม.ป.ป.). X-ray Diffractometer (XRD). <http://www.sat.tu.ac.th/csear/service/19/>
- [45] NANO KMITL College of Nanotechnology. (ม.ป.ป.). Fourier Transform Infrared Spectrometer(เครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์).  
<http://www.nano.kmitl.ac.th/ftir/>

- [46] Thermo Fisher Scientific. (2011, 3 August). Thermo Fisher Scientific launches Build-Your-Own FT-IR Microsite.  
<https://www.europeanpharmaceuticalreview.com/news/8456/thermo-fisher-scientific-launches-build-your-own-ft-ir-microsite/>
- [47] สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน(องค์การมหาชน) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (ม.ป.ป.). UV-Vis spectrophotometer เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง.  
<https://www.slri.or.th/bdd/th/22-บริการเครื่องมือวิทยาศาสตร์/68-uv-vis-spectrophotometer.html#:~:text=UV-Vis-NIR%20เป็นเครื่องมือ,ประยุกต์ใช้ในการ%20วิเคราะห์>
- [48] acer. (2555, 9 สิงหาคม). บทที่ 2 การวิเคราะห์พอลิเมอร์ด้วยเทคนิคทางสเปกโตรสโกปี.  
<https://seem.kmutt.ac.th/research/pentec/download/MTT656-Chapter%20%20Polymer%20Spectroscopy.pdf>
- [49] Hitachi High-Tech. (ม.ป.ป.). UV-Visible/NIR Spectrophotometer UH4150.  
<https://www.hitachi-hightech.com/global/en/products/analytical-systems/spectrophotometers/uv-vis-nir/uh4150/>
- [50] CMIT College Of Materials Innovation and Technology. (ม.ป.ป.). Particle Analyzer (เครื่องวัดการกระจายตัวของขนาดอนุภาค).  
<http://www.cmit.kmitl.ac.th/particle-analyzer/>
- [51] surajit sp. (2565, 18 มกราคม). เครื่องวัดค่าความต่างศักย์ของผิวอนุภาค.  
<https://stdb.mhesi.go.th/equipment/2865>
- [52] ADMIN. (2566, 13 กุมภาพันธ์). กล้องถ่ายภาพความร้อนอินฟราเรดคืออะไรและมีประโยชน์อะไรบ้าง. <https://www.tools.in.th/thermal-image/infrared-thermal-imaging-camera/#:~:text=กล้องถ่ายภาพอินฟราเรด%20IR,อ่านค่าเหล่านั้นได้>
- [53] บริษัท สุพรีมไลน์ส์ จำกัด. (ม.ป.ป.). หลักการเกี่ยวกับกล้องถ่ายภาพความร้อน THERMAL IMAGING CAMERA. <https://www.supremelines.co.th/สาระน่ารู้/2086-หลักการเกี่ยวกับกล้องถ่ายภาพความร้อน.html>
- [54] ลูกคิด. (ม.ป.ป.). Thermal Imager คืออะไร.  
<https://www.cal-laboratory.com/บทความ/thermal-imager>
- [55] Dariush Khalili. (2016). "Graphene oxide: a promising carbocatalyst for the regioselective thiocyanation of aromatic amines, phenols, anisols and enolizable ketones by hydrogen peroxide/KSCN in water." Electronic Supplementary Material (ESI). 1-11.

- [56] Sarawut Prasertsri, Fabienne Lagarde, Nittaya Rattanasom, Chakrit Sirisinha and Philippe Daniel. (2013). "Raman spectroscopy and thermal analysis of gum and silica-filled NR/SBR blends prepared from latex system." *Polymer Testing*. 32: 852-861.
- [57] H. Helmiyati and R. P. Suci. (2019). "Nanocomposite of cellulose-ZnO/SiO<sub>2</sub> as catalyst biodiesel methyl ester from virgin coconut oil." *AIP Conference Proceedings*. 2168: 020063
- [58] Nanying Ning, Minglu Wang, Jing Zhang, Liqun Zhang and Ming Tian. (2015). "Simultaneously improved actuated performance and mechanical strength of silicone elastomer by reduced graphene oxide encapsulated silicon dioxide." *International Journal of Smart and Nano Materials*. 6: 251-267
- [59] Fatima Tuz Johra, Jee-Wook Lee and Woo-Gwang Jung. (2014). "Facile and safe graphene preparation on solution based platform." *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 20: 2883-2887
- [60] Gobi Nallathambi, Thangavelu Ramachandran, Venkatachalam Rajendran And Rajagoundar Palanivelu. (2011). "Effect of Silica Nanoparticles and BTCA on Physical Properties of Cotton Fabrics." *Materials Research*. 14: 552-559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก

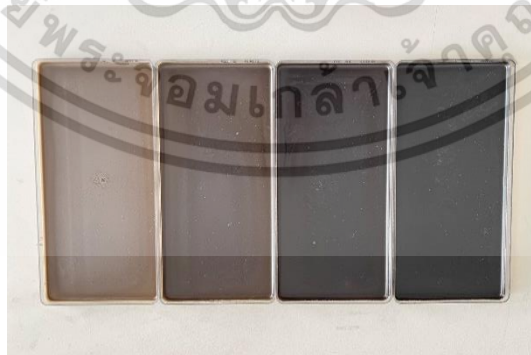
การเตรียมแผ่นยางพาราคอมโพสิต



รูปที่ ก.1 แผ่นยางพารา (NR)



รูปที่ ก.2 เทียงพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ ลงในแบบพิมพ์



รูปที่ ก.3 แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 4, 8, 12 และ 16 มิลลิลิตร ตามลำดับ หลังจากทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข



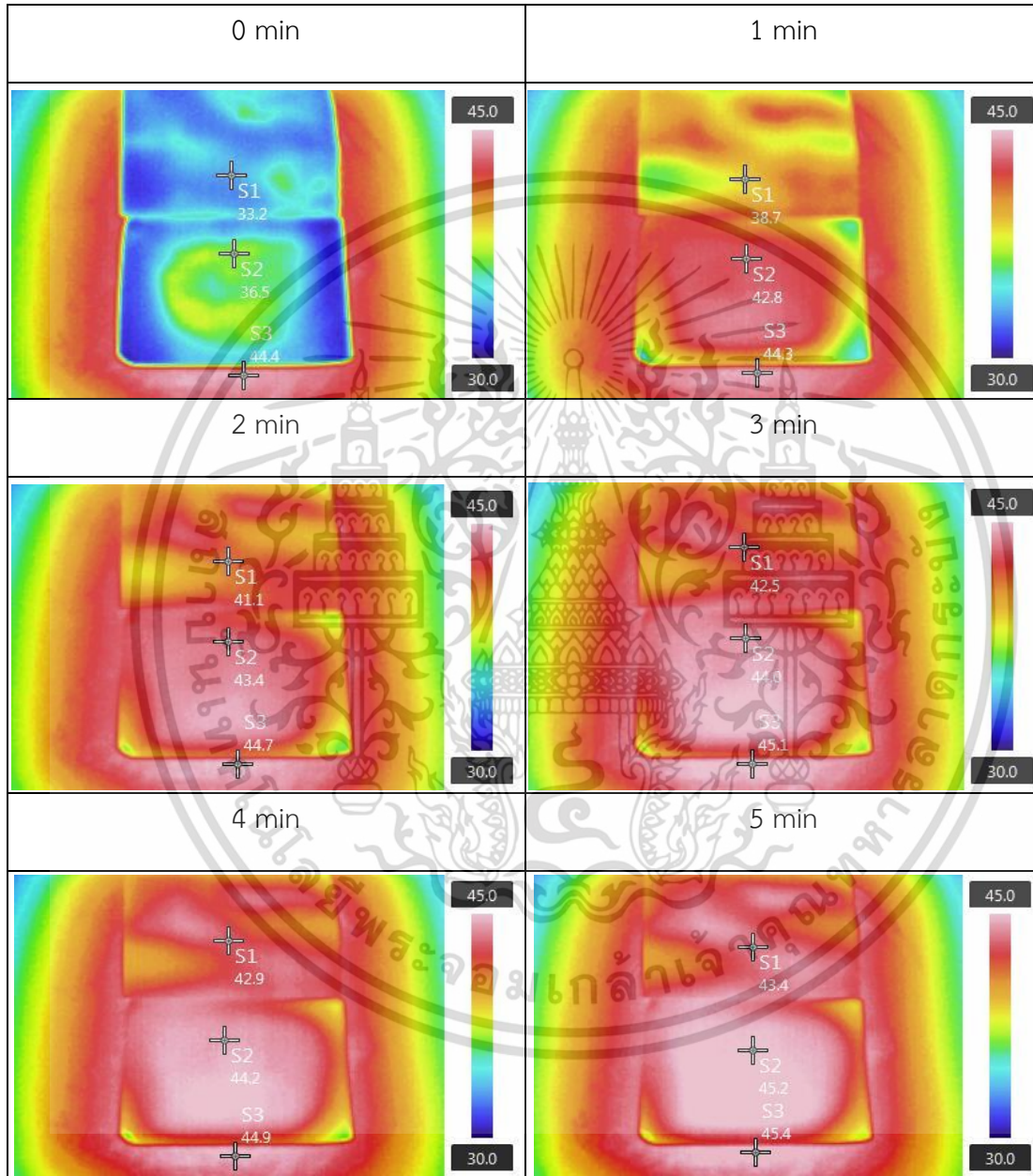
รูปที่ ข.1 แผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาปริมาณ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ค

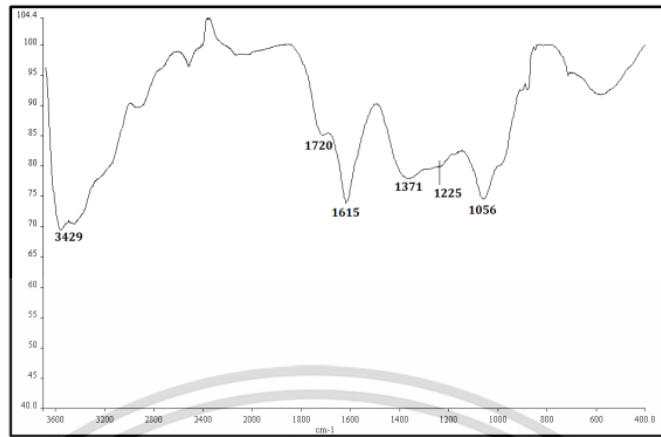
การวิเคราะห์การป้องกันความร้อน ด้วยเครื่อง Infrared thermal imaging camera (IR)

ตารางที่ ค.1 แสดงภาพแผ่นยางพารา (NR) เปรียบเทียบกับแผ่นยางพาราผสมนาโนกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 12 มิลลิลิตร (NR/nGO\_12)

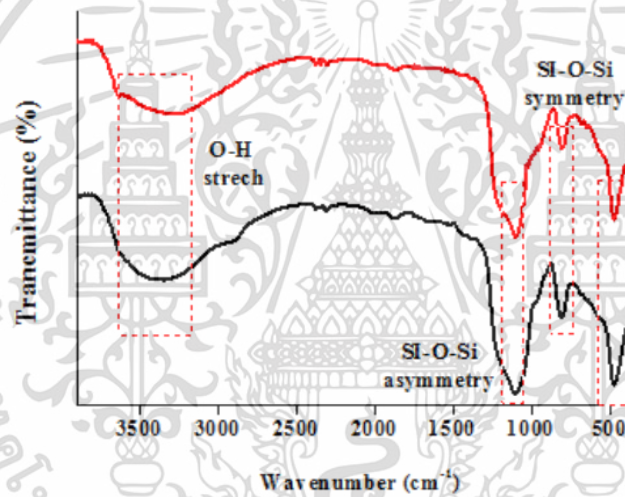


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

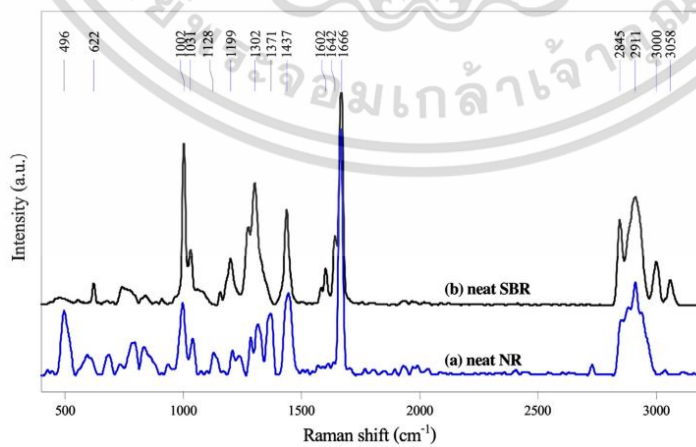
## ภาคผนวก ง



รูปที่ ง.1 แสดงสเปกตรัมของเทคนิค FT-IR ของ กราฟีนออกไซด์ [55]



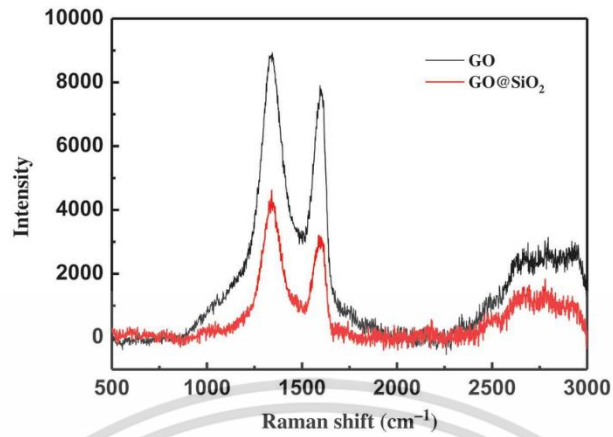
รูปที่ ง.2 (a) แสดง IR spectrum ของ นาโนซิลิกา [57]



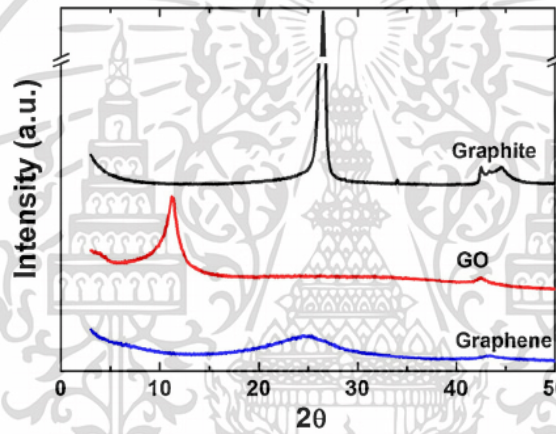
รูปที่ ง.3 (a) แสดงรามานสเปกตรัมของยางพารา [56]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

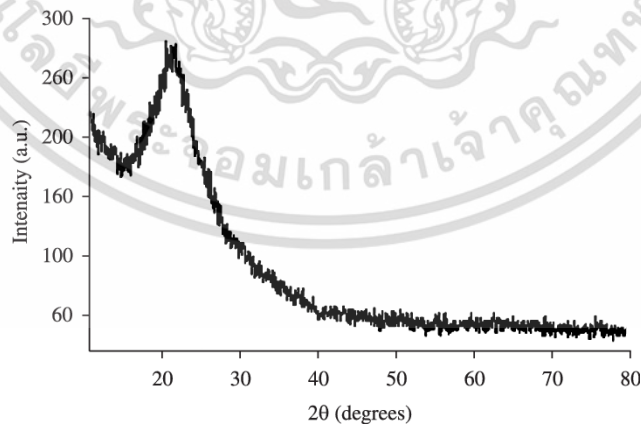
## ภาคผนวก จ



รูปที่ จ.1 แสดงรามานสเปกตรัมของกราฟีนออกไซด์ และกราฟีนออกไซด์ที่ห่อหุ้มด้วยซิลิกา [58]



รูปที่ จ.2 แสดง XRD pattern ของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ [59]



รูปที่ จ.3 แสดง XRD pattern ของนาโนซิลิกา [60]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 26 เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2566

ข้าพเจ้า นางสาวธิดิมา อินทรกำแหง รหัสประจำตัว 62050293

นางสาวนุชนารถ ชื่อสมบูรณ์เจริญ รหัสประจำตัว 62050297

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี ขอรับรองว่าโครงการพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์ และการศึกษาสมบัติการป้องกันความร้อนของแผ่นยางพาราผสม  
ด้วยนาโนกราฟีนออกไซด์และนาโนซิลิกาคอมโพสิตชื่อภาษาอังกฤษ

ชื่อภาษาอังกฤษ Preparation, characterization and heat protection properties of para-rubber mixed  
with nano-graphene oxide and nano-silica composite sheets

ปีการศึกษา 2565

เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว และได้  
แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา  
ฉบับสมบูรณ์แล้ว

โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 6.59 %

ลงชื่อ.....*ธิดิมา อินทรกำแหง*.....

(นางสาวธิดิมา อินทรกำแหง)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....*นุชนารถ ชื่อสมบูรณ์เจริญ*.....

(นางสาวนุชนารถ ชื่อสมบูรณ์เจริญ)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษของนักศึกษาข้างต้น แล้ว  
ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....*[Signature]*.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้