

การเตรียมและพิสูจน์เอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี
เป็นตัวรีดิวซ์เชิงเอเจนต์และสมบัติของแผ่นยางธรรมชาติผสม

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF REDUCED GRAPHENE
OXIDE USING VITAMIN C AS A REDUCING AGENT AND
THE PROPERTIES OF NATURAL RUBBER COMPOSITE SHEET



T142240

นางสาวนิภาวรรณ
นางสาววรรณศิริ
นางสาววิศรา

กลิ่นดาว
วงศ์ประยูร
ปิงตระกูล

เลขหมู่ 2567
เลขทะเบียน 142240
วัน,เดือน,ปี 2.9.1257

b. 12770577
i.

โครงการพิเศษเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF REDUCED GRAPHENE
OXIDE USING VITAMIN C AS A REDUCING AGENT AND
THE PROPERTIES OF NATURAL RUBBER COMPOSITE SHEET



MISS NIPAWAN
MISS WANNASIRI
MISS WARITSARA

KLINDOW
WONGPRAYOON
PUENGTRAKUL

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENTS FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL CHEMISTRY
DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมและพิสูจน์เอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี
เป็นตัวรีดิวซ์เชิงเอเจนต์และสมบัติของแผ่นยางธรรมชาติผสม

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF REDUCED GRAPHENE
OXIDE USING VITAMIN C AS A REDUCING AGENT AND THE
PROPERTIES OF NATURAL RUBBER COMPOSITE SHEET

ชื่อนักศึกษา นางสาวนิภาวรรณ กลิ่นดาว รหัสนักศึกษา 54050197
นางสาววรรณศิริ วงษ์ประยูร รหัสนักศึกษา 54050260
นางสาววิศรา ปิงตระกูล รหัสนักศึกษา 54050262

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2557
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี
อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.เอกรัฐ เดชศรี ประธานกรรมการ	เอกรัฐ เดชศรี
ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติคุณ กรรมการ	กิตติมนต์
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมและพิสูจน์เอกลักษณ์ของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี เป็นรีติวซ์เชิงเอเจนท์และสมบัติของแผ่นยางธรรมชาติผสม		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนิภาวรรณ	กลั่นดาว	รหัสนักศึกษา 54050197
	นางสาววรรณศิริ	วงศ์ประยูร	รหัสนักศึกษา 54050260
	นางสาววรศรา	ปิงตระกูล	รหัสนักศึกษา 54050262
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ชวาลย์ ศรีวงศ์		

บทคัดย่อ

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์ และสมบัติของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ รวมทั้งยังศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติผสมรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ ในส่วนการเตรียมรีติวซ์กราฟีนออกไซด์สามารถเตรียมโดยเริ่มจาก (1) การสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์จากกราไฟต์ด้วยกระบวนการปรับปรุงวิธีการของฮัมเมอร์ จากนั้นนำกราไฟต์ออกไซด์ที่เตรียมได้ เติมน้ำกลั่นแล้วทำการสั่นโดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูง (Sonication) จะได้สารแขวนลอยของกราฟีนออกไซด์ (2) ทำการรีติวซ์สารแขวนลอยของกราฟีนออกไซด์ให้เป็นรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยใช้วิตามินซีเป็นตัวรีติวซ์ซึ่งในขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการรีติวซ์ ได้แก่ ผลของอุณหภูมิ, ผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน และผลของปริมาณวิตามินซี แล้วทำการศึกษาสมบัติของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่เตรียมได้โดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือต่างๆ เช่น การวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Visible spectrophotometer), ฟลูออโรสเปกโตรสโกปีอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FT-IR), รามาน (Raman Spectroscopy), การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) และการวัดค่ากระแสไฟฟ้า (Multimeter) จากการศึกษาพบว่า หลังจากรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี จะมีหมู่คาร์บอกซิลิก ($-\text{COOH}$), หมู่คาร์บอนิล ($-\text{C}=\text{O}$) และหมู่ไฮดรอกซิล ($-\text{OH}$) บางส่วนถูกกำจัดออกไปจากโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ ทำให้ได้รีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีสมบัติเหมือนกับกราฟีน จากการศึกษาพบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเตรียมรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ให้เป็นสารแขวนลอยที่มีความเสถียรและมีสมบัติใกล้เคียงกับกราฟีน ต้องใช้อุณหภูมิเท่ากับ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที และปริมาณวิตามินซีที่มีความเข้มข้น 1.7 โมลาร์ เท่ากับ 100 ไมโครลิตร จากนั้นนำรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ไปผสมกับน้ำยางธรรมชาติชนิดเข้มข้นเทขึ้นรูปและอบให้แห้ง จะได้แผ่นยางผสม แล้วนำแผ่นยางผสม ไปศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นยางผสมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA) พบว่ามีการกระจายตัวของรีติวซ์ กราฟีนออกไซด์ในแผ่นยางธรรมชาติ ได้ดี ส่งผลให้แผ่นยางผสมมีความเสถียรเชิงความร้อนมากขึ้น นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลโดยการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) พบว่าเมื่อเติมรีติวซ์ กราฟีนออกไซด์ในแผ่นยางธรรมชาติเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) และค่าการคงรูป (Stiffness) ของแผ่นยางผสมมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ในขณะเดียวกันค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) ลดลง เนื่องจากการเสถียรภาพของสายโซ่พอลิเมอร์ ส่งผลทำให้ค่าแรงดึงที่จุดขาดลดลง

คำสำคัญ : กระบวนการฮัมเมอร์ กราฟีน ยางธรรมชาติ รีติวซ์กราฟีนออกไซด์ วิตามินซี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Preparation and Characterization of Reduced Graphene Oxide Using vitamin C as a reducing agent and The properties of natural rubber composite sheet		
Student	Miss Nipawan	Klindow	ID 54050197
	Miss Wannasiri	Wongprayoon	ID 54050260
	Miss Waritsara	Puengtrakul	ID 54050262
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Academic Year	2014		
Advisor	Dr.Chaval Sriwong		

ABSTRACT

In this special project, the preparation and characterization of reduced graphene oxide (rGO) using vitamin c as a reducing agent were studied, including the mechanical and thermal properties of rGO-natural rubber composite sheets were also investigated. In the preparation of rGO, (1) The graphite oxide was firstly synthesized by a modified Hummer's method using natural graphite powder after which graphite oxide was added in distilled water, then sonicated and finally, the brown-aqueous dispersion of graphene oxide (GO) was obtained. (2) Graphene oxide was prepared by a chemical reduction method using vitamin c as a reducing agent, resulting the black aqueous suspension was obtained. In the reducing method, the effects of temperature, heat time and the concentration of vitamin c were studied for the optimum condition to achieve the stable suspension of rGO. Then, the obtained rGO samples were characterized by UV-Vis, FT-IR, Ramann, XRD and multimeter techniques. The results found that the optimum condition was the temperature as 90 °C, heat time as 45 min and appropriate concentration of vitamin c as 100 uL (1.7 M) for reducing graphene oxide to rGO in a stable black aqueous suspension. From the FT-IR results, after reducing of graphene oxide using vitamin c, some the functional groups of carboxylic (-COOH), carbonyl (-CO) and hydroxyl (-OH) were removed from the structure of graphene oxide. The UV-Vis results showed that the absorption peak around 230 nm ($\pi - \pi^*$) of graphene oxide had shift to the longer wavelength after reducing, indicating the removal of oxygen groups and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

while the conjugate bonds on the rGO structure were restored. In addition, the composite rubber sheet can be prepared by the directly mixing of as-prepared rGO suspension with the concentrated natural rubber latex (60% HA) and was stirred, after which the homogenized mixture was poured into a petri dish mold, dried at 110 °C for 3 hr. Finally, the rGO-natural rubber composite sheet was taken out from a mold and was obtained. Then, the surface morphologies, mechanical and thermal properties of the composite sheets were investigated using SEM, TGA and tensile test techniques. The results showed that the rGO-natural rubber composite sheet had higher the mechanical and thermal properties than the natural rubber sheet alone. This is due to the fact that it is relatively with the effects of well-combined of natural rubber and rGO which the later material has high tensile and Young's modulus values, enhancing the both properties of the composite sheet.

Keywords : Hummer's Method, Graphene, Natural rubber, Reduce graphene oxide (rGO), Vitamin C

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ชาวลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิดและเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้โครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ ดร.เอกรัฐ เดชศรี และ ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติคุณย์ ที่ช่วยเป็นคณะกรรมการในการตรวจสอบ และอาจารย์ที่เข้ารับฟังการนำเสนอโครงการพิเศษทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจทานและเสนอความคิดเห็นต่างๆ ให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จไปได้อย่างสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมืออำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดในการทำโครงการพิเศษ กราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นางสาวนิภาวรรณ

กลีนดาว

นางสาววรรณศิริ

วงษ์ประยูร

นางสาววิศรา

ปิงตระกูล

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูป	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 อัญรูปต่างๆของคาร์บอน	4
2.1.1 เพชร	4
2.1.2 กราไฟต์	5
2.1.3 บัคกี้บอล	6
2.1.4 คาร์บอนนาโนทิวป์	7
2.1.5 กราฟีน	9
2.2 วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก	13
2.2.1 ปฏิกริยา Oxidation ของกรดแอสคอร์บิก	13
2.3 ยางธรรมชาติ	14
2.3.1 น้ำยางธรรมชาติ	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	21
3.1 สารเคมี	21
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	21
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	22
3.3.1 การเตรียมกราฟีนออกไซด์	22
3.3.2 การรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี	23
3.3.3 การเตรียมแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์.....	28
3.4.1 ศึกษาคุณลักษณะของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	28
3.4.2 ศึกษาคุณลักษณะของแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	31
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	33
4.1 การศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	33
4.1.1 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการดูดกลืนแสง	33
4.1.2 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานของการสั่นของโมเลกุล	40
4.1.3 ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน.....	45
4.1.4 ผลการตรวจสอบลักษณะผลึกและอสัณฐาน	50
4.1.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของสารในระดับจุลภาค.....	51
4.1.6 ผลการทดสอบสมบัติการนำไฟฟ้าเบื้องต้น.....	52
4.2 การศึกษาคุณลักษณะของแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	54
4.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานของสารในระดับจุลภาค	54
4.2.2 ผลการวิเคราะห์เชิงความร้อน	57
4.2.3 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล	60
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	65
5.1 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	65
5.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะของแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	66
5.3 ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก	71
ภาคผนวก ก	72
ภาคผนวก ข	89

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของกรดแอสคอร์บิก	14
2.2 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบและปริมาณของสารต่างๆ ในน้ำยางธรรมชาติ	16
2.3 แสดงส่วนประกอบของเม็ดยาง.....	16
3.1 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	23
3.2 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน	24
3.3 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณของวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	25
3.4 แสดงพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	26
3.5 แสดงพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาแผ่นของผลสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	28
4.1 แสดงค่าความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิต่างกัน	36
4.2 แสดงค่าความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขเวลาต่างกัน	37
4.3 แสดงค่าความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขปริมาณวิตามินซี	39
ต่างกัน	
4.4 แสดงข้อมูล IR สเปกตรัมเปรียบเทียบการสั่นของพันธะที่สำคัญของกราฟไฟต์และกราฟีน	42
ออกไซด์	
4.5 แสดงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า โดยที่เงื่อนไข คือ ปริมาณกราฟีนออกไซด์ 1000 ไมโคร- ... 52	
ลิตร ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร เวลา 20 นาที อุณหภูมิ 50, 70, 90 และ	
100 องศาเซลเซียส	
4.6 แสดงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า โดยที่เงื่อนไข คือ ปริมาณกราฟีนออกไซด์ 1000 ไมโคร- ... 53	
ลิตร ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 15, 30, 45 และ	
60 นาที	
4.7 แสดงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า โดยที่เงื่อนไข คือ ปริมาณกราฟีนออกไซด์ 1000 ไมโคร- ... 53	
ลิตร อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที ปริมาณวิตามินซี 50, 100, 150 และ	
300 ไมโครลิตร	
4.8 ค่าการทดสอบการดึงแผ่นยางผลสมยางธรรมชาติที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ ... 61	

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะและโครงสร้างของกราฟีน.....	1
1.2 โครงสร้างกราฟีนออกไซด์.....	2
2.1 โครงสร้างของเพชร.....	5
2.2 โครงสร้างของกราไฟต์.....	6
2.3 โครงสร้างของแบ็กก๊บอล.....	7
2.4 โครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังหลายชั้น.....	8
2.5 โครงสร้างคาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังชั้นเดียว ซึ่งมี 3 รูปแบบ (ก) Armchair (ข) Zigzag (ค) Chiral	8
2.6 โครงสร้างพื้นฐานของวัสดุคาร์บอนที่มีรูปแบบโครงสร้าง (Allotropic forms)	9
2.7 โครงสร้างของ L-ascorbic acid	13
2.8 ปฏิกิริยา Oxidation ของกรดแอสคอร์บิก.....	13
2.9 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ.....	15
3.1 แสดงชุดการทดลอง การรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	26
3.2 การขึ้นรูปแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (a) ก่อนอบ (b) หลังอบ.....	27
3.3 แสดงการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบสมบัติการนำไฟฟ้าเบื้องต้น (a) ก่อนอบ (b) หลังอบ..	30
4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO).....	33
4.2 ระดับพลังงานของการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน.....	34
4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซีที่อุณหภูมิ 50, 70, 90..... และ 100 องศาเซลเซียส	35
4.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซีที่ระยะเวลาการให้..... ความร้อน 15, 30, 45 และ 60 นาที	36
4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่ปริมาณวิตามินซี..... 50, 100, 150 และ 300 ไมโครลิตร	38
4.6 แสดงสีของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ภายใต้ตัวทำละลายคือน้ำ..... (a) กราฟีนออกไซด์ และ (b) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	39
4.7 แสดงสเปกตรัม FI-IR ของกราไฟต์.....	40
4.8 แสดงสเปกตรัม FI-IR ของกราฟีนออกไซด์.....	41
4.9 แสดงกราฟ FT-IR ของกราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ภายใต้อุณหภูมิการให้..... ความร้อนที่ต่างกัน (a) กราฟีนออกไซด์ (b) 50 องศาเซลเซียส (c) 90 องศาเซลเซียส และ (d) 100 องศาเซลเซียส	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 แสดงกราฟ FT-IR ของกราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ภายใต้ระยะเวลาการให้ความร้อนที่ต่างกัน (a) กราฟีนออกไซด์ (b) 15 นาที (c) 45 นาที และ (d) 60 นาที	43
4.11 แสดงกราฟ FT-IR ของ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ภายใต้ปริมาณวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ต่างกัน (a) กราฟีนออกไซด์ (b) 50 ไมโครลิตร (c) 100 ไมโครลิตร และ (d) 300 ไมโครลิตร	44
4.12 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟไฟต์	45
4.13 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี	46
4.14 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของ กราไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่อุณหภูมิ 50, 90 และ 100 องศาเซลเซียส	47
4.15 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของ กราไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 15, 30, 45 และ 60 นาที	48
4.16 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของ กราไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ด้วยปริมาณวิตามินซี 50, 100, 150 และ 300 ไมโครลิตร	49
4.17 แสดงรูปแบบ XRD ของกราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	50
4.18 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM (a) กราไฟต์กำลังขยาย 3000 เท่า (b) กราไฟต์กำลังขยาย 10000 เท่า	51
4.19 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM (a) กราฟีนออกไซด์กำลังขยาย 3000 เท่า (b) กราฟีนออกไซด์กำลังขยาย 10000 เท่า	51
4.20 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงพื้นผิวของ (a) แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 10000 เท่า	54
4.21 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวางของ (a) แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 10000 เท่า	55
4.22 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงพื้นผิวของ (a) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 10000 เท่า	55
0.21 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 10000 เท่า	

สารบัญรูป (ต่อ)

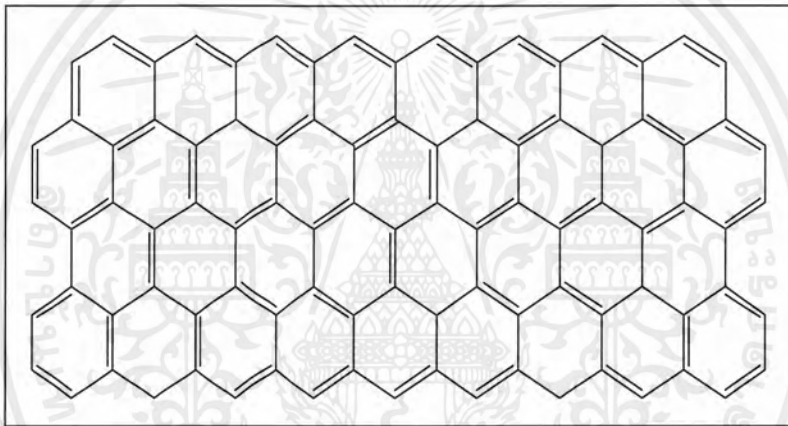
รูปที่	หน้า
4.23 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวางของ (a) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีน ออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 10000 เท่า	56
4.24 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงพื้นผิวของ (a) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 10000 เท่า	56
4.25 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวางของ (a) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีน ออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก กำลังขยาย 10000 เท่า	57
4.26 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %weight กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากการสลายตัวของ 58 แผ่นยางธรรมชาติ แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และแผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	
4.27 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง %weight กับอุณหภูมิในช่วง 260-400 องศาเซลเซียส 58 ที่เปลี่ยนไปจากการสลายตัวของแผ่นยางธรรมชาติ แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	
4.28 แสดงกราฟ DTG ของแผ่นยางธรรมชาติ แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 59 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	
4.29 แสดงตัวอย่างก่อนนำไปวัดทดสอบความแข็งแรงดึง (a) ยางธรรมชาติ (b) ที่เติมรีดิวซ์ 60 กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (c) ที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	
4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่า Stiffness (นิวตันต่อเมตร) ของแผ่นยางผสม 62	
4.31 แสดงการเปรียบเทียบค่า Young's Modulus (เมกะปาสคาล) ของแผ่นยางผสม 62	
4.32 แสดงการเปรียบเทียบค่า Young's Modulus (เมกะปาสคาล) ของแผ่นยางผสม 63	
4.33 แสดงการเปรียบเทียบค่า Stress at Maximun Load (เมกะปาสคาล) ของแผ่นยางผสม 63	

บทที่ 1

บทนำ

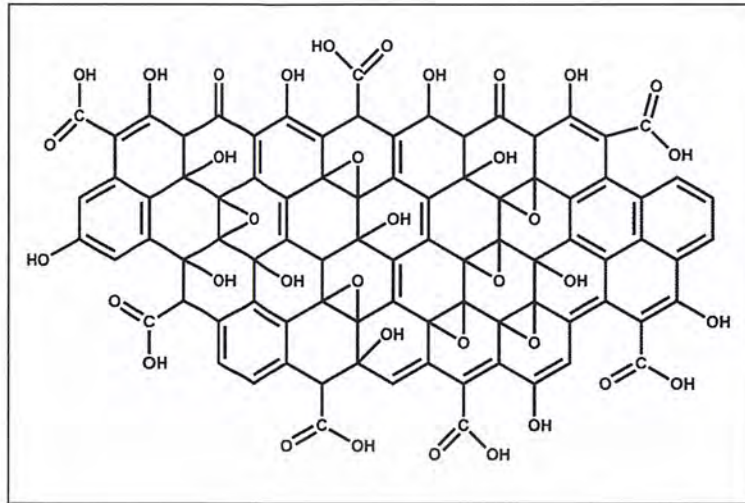
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

กราฟีน (Graphene) คือ วัสดุที่มีโครงสร้างอันเกิดจากการจัดเรียงกันของคาร์บอนอะตอมแบบวงหกเหลี่ยม (Hexagonal configuration) ในแนวระนาบ 2 มิติ หลายๆวงต่อกัน คล้ายกับตาข่ายเกิดเป็นแผ่นกราฟีน ดังแสดงในรูปที่ 1.1 ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำกราฟีนมาใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางเพราะกราฟีนมีสมบัติที่โดดเด่น เช่น มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง มีความแข็งแรงสูง มีการนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดี เป็นต้น จึงทำให้กราฟีนเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในขณะนี้ [1]



รูปที่ 1.1 ลักษณะและโครงสร้างของกราฟีน [1]

โดยทั่วไปการเตรียมกราฟีนจากกราไฟต์มีหลายวิธี เช่น Chemical vapor deposition, Micromechanical exfoliation, Epitaxial growth, Cutting Carbon Nanotubes, Direct Sonication และ Chemical Oxidation ซึ่งจากทั้ง 6 วิธีข้างต้นนี้ วิธีการ Chemical Oxidation เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในทางอุตสาหกรรม เนื่องจาก สามารถควบคุมปริมาณในการผลิตได้จำนวนมาก และทำให้ได้กราฟีนออกไซด์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สมบูรณ์จึงทำให้มีความสามารถในการละลายได้ดีในตัวทำละลายต่างๆ โดยเฉพาะเป็นสารแขวนลอยในน้ำ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่างๆได้มากมาย เช่น ใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติของวัสดุผสม [2] ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 โครงสร้างกราฟีนออกไซด์ [1]

อย่างไรก็ตามเนื่องด้วยกราฟีนออกไซด์มีสมบัติบางประการที่ยังไม่ดัดนัก เช่น สมบัติการนำไฟฟ้า การส่งผ่านอิเล็กตรอน จึงต้องทำการรีดิวซ์เพื่อกำจัดหมู่ฟังก์ชันบางหมู่ เช่น ไฮดรอกไซด์ คาร์บอกซิลิก คีโตน อีพอกไซด์ เป็นต้น บนโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ออก ได้เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีสมบัติที่ดีขึ้น ซึ่งสามารถทำได้โดยวิธีการต่างๆ เช่น Ultrasound assisted reduction, Hydrothermal reduction, Microwave assisted reduction และ Solution based Chemical ซึ่งวิธีการ Solution based Chemical จะมีการใช้รีดิวซ์เอเจนต์หลายตัว เช่น โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium Borohydride), ไฮดราซีน (Hydrazine) และวิตามินซี (Vitamin C) อย่างไรก็ตามพบว่า โซเดียมโบโรไฮไดรด์ และ ไฮดราซีน นั้นมีความเป็นพิษสูง ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้ทำการทดลองและการนำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไปประยุกต์ใช้งาน ดังนั้นจึงสนใจที่จะนำวิตามินซีมาใช้แทน เนื่องจากไม่มีความเป็นพิษ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ต้นทุนในการสังเคราะห์ต่ำ มีปฏิกิริยาที่ไม่รุนแรงและมีความสามารถเป็นตัวรีดิวซ์เอเจนต์ที่ดีมีประสิทธิภาพ [3] แต่อย่างไรก็ตามยังมีการศึกษาในเรื่องของการนำวิตามินซีมาใช้เป็นตัวรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์อยู่น้อย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาในการนำวิตามินซีมาใช้เป็นรีดิวซ์เอเจนต์ และศึกษาถึงปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ระยะเวลาในการให้ความร้อน และรวมถึงปริมาณวิตามินซีที่ใช้ในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสม ได้สารแขวนลอยของรีดิวซ์กราฟีนที่มีเสถียรภาพและมีประสิทธิภาพเหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งาน นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้มีการนำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไปใช้เป็นสารตัวเติมเพื่อเพิ่มสมบัติของยางธรรมชาติ เช่น สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อน เพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายมากขึ้นในอนาคต เช่น วัสดุทนความร้อน วัสดุห่อหุ้มช่วยในการเสริมแรง วัสดุนำไฟฟ้า เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาวิธีการและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยใช้วิตามินซี
- 2) เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆต่อการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ได้แก่ ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา, ผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน และผลของปริมาณของวิตามินซี
- 3) เพื่อศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้ ด้วยเครื่องมือต่างๆ เช่น การวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Visible spectrophotometer), ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR), รามาน (Raman Spectroscopy), การวัดค่ากระแสไฟฟ้า (Multimeter) และการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD)
- 4) เพื่อเตรียมแผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับน้ำยางธรรมชาติ
- 5) เพื่อศึกษาคุณลักษณะสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล และสมบัติเชิงความร้อนของแผ่นยางผสมที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing) และการวิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ทำการศึกษาวิธีการ เงื่อนไข และผลของปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
- 2) ทำการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้
- 3) ทำการเตรียมแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
- 4) ทำการศึกษาคุณลักษณะสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงความร้อน และสมบัติเชิงกลของแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจถึงวิธีการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยใช้วิตามินซี
- 2) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจถึงปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ได้แก่ ปัจจัยทางด้านอุณหภูมิ, ระยะเวลา และปริมาณวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
- 3) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติ และคุณลักษณะเฉพาะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
- 4) ได้รับองค์ความรู้และมีความเข้าใจเกี่ยวกับการนำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไปใช้เป็นสารเติมแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติของยางธรรมชาติ ซึ่งจะนำไปสู่การพัฒนาสมบัติของยางธรรมชาติต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

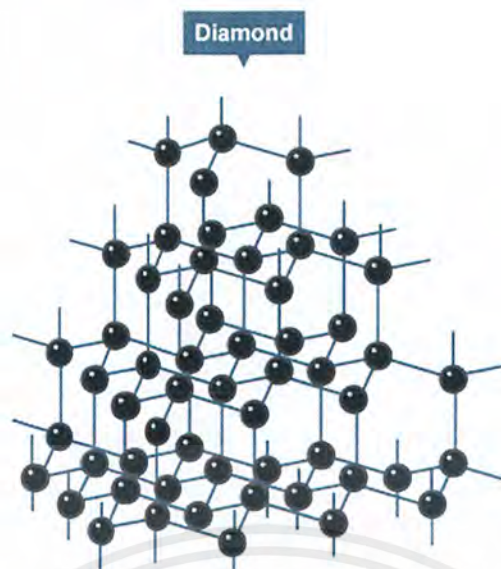
2.1 อัญรูปต่างๆของคาร์บอน

คาร์บอนเป็นธาตุที่มีอยู่มากมายบนโลกและเป็นองค์ประกอบในสารต่างๆอีกมากมาย โครงสร้างของคาร์บอนที่เกิดขึ้นตามธรรมชาตินั้นมีหลายรูปแบบ อย่างไรก็ตามวัสดุที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบเพียงอย่างเดียว นั้นมีเพียงไม่กี่ชนิด เรียกว่าวัสดุประเภทนี้ว่า อัญรูปของคาร์บอน (Allotropes of carbon)

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงอัญรูปต่างๆของคาร์บอน ซึ่งมีคุณสมบัติที่น่าสนใจและโดดเด่นหลายประการ โดยอัญรูปที่กล่าวถึง ได้แก่ เพชร กราไฟต์ บัคกี้บอล คาร์บอนนาโนทิวป์ และกราฟีน

2.1.1 เพชร

เพชร (Diamond) เป็นอัญรูปหนึ่งของคาร์บอน โครงสร้างนี้จะเกิดขึ้นภายใต้อุณหภูมิและความดันสูง เช่น ใต้เปลือกโลก คาร์บอนแต่ละอะตอมจะสร้างพันธะโควาเลนต์กับคาร์บอนอะตอมอื่นอีก 4 อะตอม ในลักษณะของทรงสี่หน้า (Tetrahedral) ดังรูปที่ 2.1 โดยแต่ละอะตอมจะใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนทั้งหมดสร้างพันธะโควาเลนต์กับอะตอมอีก 4 อะตอม เป็นต้น และแต่ละอะตอมที่มุมทั้ง 4 นั้น จะสามารถสร้างพันธะกับอะตอมของคาร์บอนอื่นอีก 4 อะตอมต่อไป การจัดเรียงอิเล็กตรอนในเพชรเป็นแบบ sp^3 -hybridization โดยมีความยาวพันธะ 0.154 นาโนเมตร ทำให้โครงสร้างของเพชร มีลักษณะเป็นโครงตาข่ายในสามมิติ ที่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนจำนวนมากต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์ที่แข็งแรง การที่ทำลายผลึกของเพชรนั้นจะต้องทำลายพันธะโควาเลนต์ซึ่งทำได้ยาก ดังนั้นจึงพบว่าเพชรมีความแข็งแรงมาก ส่งผลให้มีจุดหลอมเหลวสูง 4830 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ เพชรยังมีคุณสมบัติอื่นที่โดดเด่นหลายประการ เช่น การส่งผ่านความร้อน (Thermal Conductivity) สูงประมาณ 2500 W/m·K ค่าการขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ เสถียรภาพต่อสารเคมีสูง (ทนต่อสภาวะกรดและด่าง) ค่าความคล่องตัวของอิเล็กตรอน (Electron Mobility) สูงประมาณ 4500 $cm^2/(V\cdot s)$ และค่าความคล่องตัวของโฮล (Hole Mobility) สูงประมาณ 3800 $cm^2/(V\cdot s)$ นอกจากนี้ เพชรบริสุทธิ์ยังเป็นวัสดุที่โปร่งใสและเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี เนื่องจากมีช่องว่างของแถบพลังงาน (Band gap) กว้าง ดังนั้นเพชรจึงสามารถประยุกต์ใช้เป็นฉนวนโปร่งใสได้ ในเวลาต่อมาได้มีการทดลองเติมอะตอมสารเจือลงในสารบริสุทธิ์ พบว่าอะตอมของสารเจือที่เติมนั้นมีผลให้แถบช่องว่างพลังงานและสีเปลี่ยนไป ดังนั้นเพชรจึงเป็นสิ่งล้ำค่าที่น่าค้นหาสำหรับนักวิจัยหลายคน

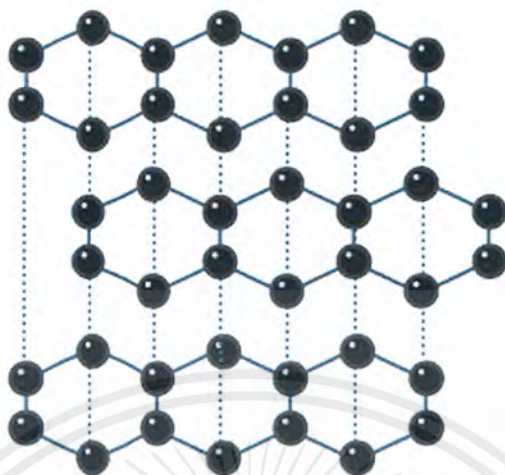


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเพชร [4]

2.1.2 กราไฟต์

กราไฟต์ (Graphite) เป็นอัญรูปของคาร์บอนที่พบมาก ลักษณะโครงสร้างของกราไฟต์ อะตอมของคาร์บอนจัดเรียงตัวกันเป็นชั้นๆ และสร้างพันธะโคเวเลนต์เป็นรูปหกเหลี่ยมเรียงต่อกัน ในระนาบเดียวกัน อะตอมของคาร์บอนแต่ละอะตอมจะล้อมรอบด้วยคาร์บอน 3 อะตอมและทำมุม 120 องศาซึ่งกันและกัน จึงทำให้แต่ละอะตอมของคาร์บอนยังคงมีอิเล็กตรอนอิสระ 1 ตัว เคลื่อนที่อยู่ด้วยเหตุนี้ กราไฟต์จึงสามารถนำไฟฟ้าได้ดีเฉพาะภายในระนาบเดียวกัน เมื่อพิจารณาโครงสร้างทั้งหมดของ กราไฟต์พบว่า ความยาวพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนที่อยู่ในระนาบเดียวกันมีค่า 0.142 นาโนเมตร ส่วนอะตอมของคาร์บอนในแต่ละชั้นอยู่ห่างกัน 0.335 นาโนเมตร การจัดเรียงอะตอมแบบโครงสร้างตาข่ายนี้ส่งผลให้อะตอมของคาร์บอนยึดกันไว้นั่น ทำให้กราไฟต์มีจุดหลอมเหลวสูงประมาณ 3350 องศาเซลเซียส และจุดเดือดสูงประมาณ 4200 องศาเซลเซียส จากการที่อะตอมคาร์บอนในแต่ละระนาบของกราไฟต์อยู่ห่างกัน 0.035 นาโนเมตร ซึ่งมีค่ามากกว่าความยาวพันธะเดี่ยวระหว่างอะตอมคาร์บอน (0.154 นาโนเมตร) แสดงให้เห็นว่าแรงยึดเหนี่ยวของอะตอมคาร์บอนที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นไม่ได้ยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ แต่ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ที่ไม่แข็งแรงเท่ากับพันธะโคเวเลนต์ในชั้นเดียวกัน กราไฟต์จึงเลื่อนไถลไปตามชั้นได้ง่าย ทำให้มีสมบัติในการหล่อลื่นได้ดี กราไฟต์จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นสารหล่อลื่น ทำสีผ้าหมึกสำหรับเครื่องพิมพ์ดีดและเครื่องพิมพ์สำหรับคอมพิวเตอร์ ในขณะเดียวกัน กราไฟต์จัดเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี มีความหนาแน่น 2.27 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความแข็งของกราไฟต์วัดตามค่าของมอส์ (Mohs Scale) อยู่ที่ระดับ 1-2

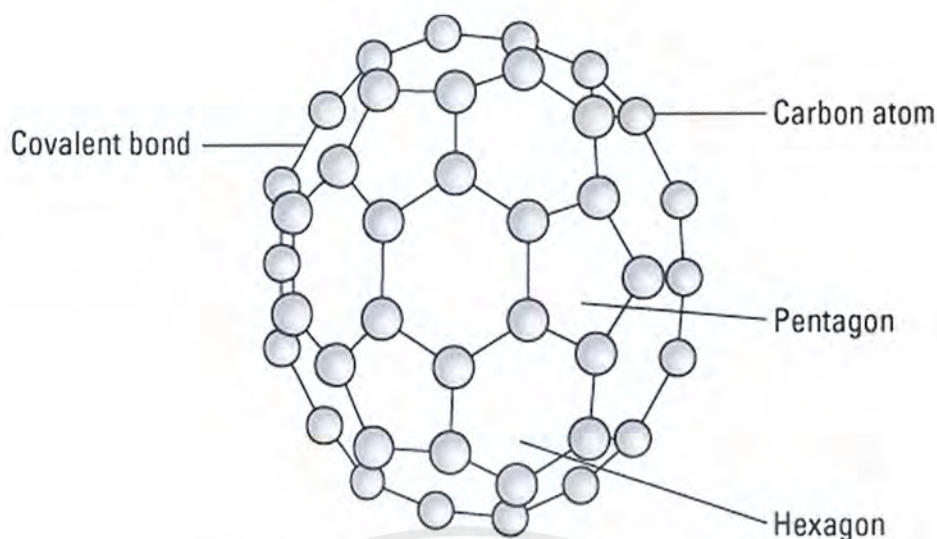
Graphite



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกราไฟต์ [4]

2.1.3 บัคกี้บอล

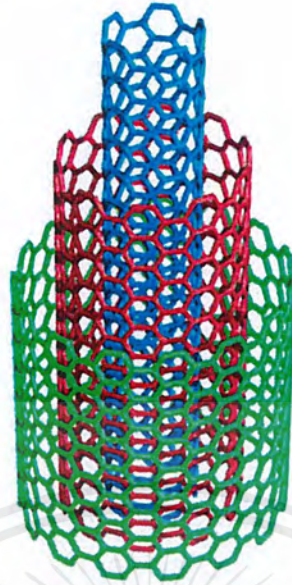
บัคกี้บอล (Buckyball) หรือ ฟูลเลอร์รีน (Fullerene) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนจำนวน 60 อะตอม ที่มีการเรียงต่อกันเป็นผลึกรูปทรงกลมคล้ายลูกฟุตบอลแสดงดังรูปที่ 2.3 โดยโครงสร้างนี้ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนจับตัวกันเป็นโครงสร้างรูปร่างวงแหวนห้าเหลี่ยม 12 วง และวงแหวนหกเหลี่ยม 20 วง บัคกี้บอลถูกค้นพบโดยบังเอิญจากนักวิทยาศาสตร์ 3 ท่าน คือ ศ.ดร. ฮาร์โรลด์ โครโต (Harold Kroto) นักฟิสิกส์ด้านวิทยาศาสตร์แห่งมหาวิทยาลัยซัสเซก (University of Sussex) ประเทศอังกฤษ ศ.ดร. ริชาร์ด สมอลลีย์ (Richard Smalley) และ ศ.ดร.โรเบิร์ต เคิร์ล (Robert Curt) แห่งมหาวิทยาลัยไรซ์ (Rice University) ประเทศสหรัฐอเมริกา เนื่องจากบัคกี้บอลมีคุณสมบัติทางด้านเคมีและฟิสิกส์ที่น่าสนใจหลายประการ จึงทำให้นักวิทยาศาสตร์ทั่วโลกค้นหาแนวทางในการนำบัคกี้บอลมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในหลายๆด้าน เช่น ด้านการแพทย์ บัคกี้บอลมีสรรพคุณเป็นยาต้านเชื้อไวรัสเอชไอวี (HIV) มีฤทธิ์ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โปรตีเอส (Protease) ของไวรัสเอชไอวี มีฤทธิ์ต่อต้านมะเร็ง มีสารต่อต้านเชื้อแบคทีเรีย มีสารต่อต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น ด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากบัคกี้บอลมีคุณสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ เมื่อเติมอะตอมสารเจือของโลหะอัลคาไลน์เข้าไปจะทำให้มีคุณสมบัติเป็นตัวนำยิ่งยวด (Superconductor) ด้านวัสดุ ถ้านำบัคกี้บอลเรียงต่อกันเป็นสายยาวจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงและทนทานให้กับพลาสติกได้อีกด้วย



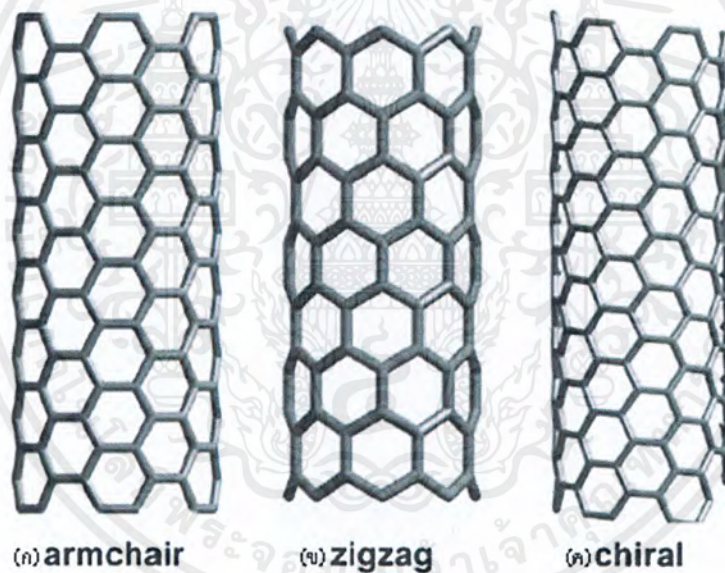
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของบัคกี้บอล [5]

2.1.4 คาร์บอนนาโนทิวป์

คาร์บอนนาโนทิวป์ (Carbon Nanotube) เป็นวัสดุที่เกิดจากอะตอมของคาร์บอนเรียงตัวกันเป็นหกเหลี่ยมในรูปท่อทรงกระบอกซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในระดับนาโนเมตร ในขณะที่ความยาวของท่ออาจสูงไปถึงในระดับไมโครเมตรหรือมากกว่านั้น ด้วยเหตุนี้วัสดุชนิดนี้จึงมีค่าอัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง (Aspect ratio) ที่สูงกว่าวัสดุชนิดอื่นๆ ค่อนข้างมาก คาร์บอนนาโนทิวป์ ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1991 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่นชื่อ ดร.ซูมิโอะ อิจิมา (Sumio Iijima) คาร์บอนนาโนทิวป์ที่ค้นพบในช่วงแรกนั้นมีโครงสร้างเป็นท่อหลายชั้นวางซ้อนกัน (มีท่อเล็กวางซ้อนอยู่ภายในช่องว่างของท่อขนาดใหญ่) เรียก คาร์บอนนาโนทิวป์ชนิดนี้ว่า “คาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังหลายชั้น” (Multi-walled Carbon Nanotube ; MWNT) แสดงดังรูปที่ 2.4 จากนั้นอีก 2 ปีต่อมา คาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังชั้นเดียว ประกอบด้วยผนังคาร์บอน 1 ชั้น ซึ่งมีโครงสร้างทั้งหมด 3 รูปแบบ ดังรูปที่ 2.5 (ก) คือคาร์บอนนาโนทิวป์ผนังชั้นเดียวที่มีโครงสร้างแบบ Armchair (ข) และ (ค) คือ คาร์บอนนาโนทิวป์ผนังชั้นเดียวที่มีโครงสร้างแบบ Zigzag และ Chiral แม้ว่าคาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังหลายชั้นจะมีโครงสร้างที่ซับซ้อนทำให้นักวิทยาศาสตร์ยังคงมีความเข้าใจเกี่ยวกับวัสดุชนิดนี้น้อยมาก แต่เนื่องจากคาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังหลายชั้นนี้สามารถผลิตได้ง่ายและมีราคาถูกกว่าคาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังชั้นเดียว ดังนั้น คาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังหลายชั้นจึงมีความสำคัญในเชิงการค้าสูงกว่าคาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังชั้นเดียว



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังหลายชั้น [6]



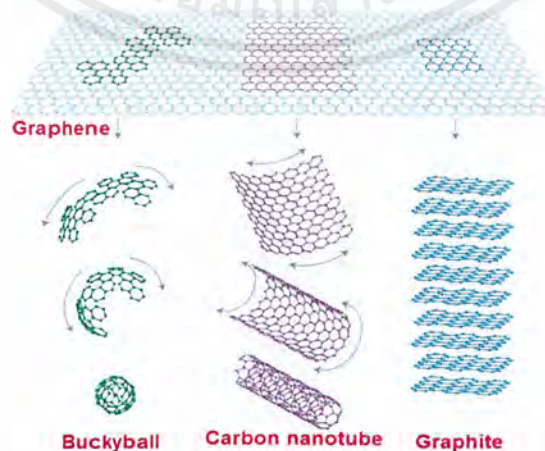
รูปที่ 2.5 โครงสร้างคาร์บอนนาโนทิวป์แบบผนังชั้นเดียว ซึ่งมี 3 รูปแบบ (ก) Armchair (ข) Zigzag (ค) Chiral [7]

เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของคาร์บอนนาโนทิวป์ พบว่าท่อนาโนคาร์บอนเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง น้ำหนักเบา ยืดหยุ่นสูง นำความร้อนได้ดี สามารถใช้เป็นตัวนำไฟฟ้าหรือสารกึ่งตัวนำได้จากคุณสมบัติดังกล่าวปัจจุบัน คาร์บอนนาโนทิวป์จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย ทั้งในกลุ่มของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และกลุ่มอื่นๆอีกมากมาย เช่น ตัวเก็บพลังงาน วัสดุผสมท่อนาโนคาร์บอน เป็นพาหะในการทำยีนหรือพันธุกรรมบำบัด เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 กราฟีน

กราฟีน (Graphene) เป็นวัสดุชนิดใหม่และอีกรูปแบบในการจัดเรียงตัวของตัวของคาร์บอน เป็น 2 มิติ คือมีเพียงความกว้างและความยาวอะตอมคาร์บอนแต่ละอะตอมคาร์บอนยึดกันไว้ด้วย พันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) โดยมีความหนาเพียงอะตอมชั้นเดียว ซึ่งความหนาอะตอมคึกของ กราฟีนอยู่ที่ 0.335 นาโนเมตร มีโครงสร้างเป็นตาข่ายรวงผึ้ง รูปที่ 2.6 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของวัสดุ คาร์บอนที่มีรูปแบบโครงสร้าง (Allotropic forms) ชนิดอื่น เช่น ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nano- tubes), ฟูลเลอร์รีน (Fullerenes) หรือบัคกี้บอล (Buckyballs) และกราไฟต์ (Graphite) ซึ่งเป็น ส่วนประกอบของไส้ดินสอ นั่นเอง กราฟีนถูกค้นพบโดยกลุ่มนักฟิสิกส์จากมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ (Manchester University) ในประเทศอังกฤษ ในปีค.ศ.2004 นำโดย Andre Geim และ Kostya Novoselov เริ่มต้นจากกราไฟต์ที่ประกอบด้วยชั้นของกราฟีน ซึ่งยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์ วาลส์ (Vander Waals) และเทคนิคที่เรียกว่า Micromechanical cleavage ดึงแผ่นกราฟีนให้มี เพียง 1 อะตอม แผ่นกราฟีนที่ได้คุณสมบัติที่น่าสนใจอย่างมาก มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ ดีกว่าโลหะหรือสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นมากแม้ที่อุณหภูมิห้อง (นำไฟฟ้าได้ดีกว่าทองแดง 4 เท่า มีพื้นที่ผิว มากกว่าท่อนาโน 2 เท่า มีคุณสมบัติแข็งแรงกว่าเหล็ก 200 เท่า และแกร่งกว่าเพชรที่เคยได้ชื่อว่าเป็น วัสดุที่แข็งที่สุดในโลก) เนื่องจากอนุภาคในแผ่นกราฟีนมีสปีน $\frac{1}{2}$ เคลื่อนที่แบบบอลลิสติก (Ballistic transport) หรือเคลื่อนที่โดยไม่มีการชนกันของอนุภาค และมีอัตราเร็วใกล้เคียงแสงประมาณ 1 ใน 300 เท่าของอัตราเร็วแสง และสามารถควบคุมความหนาแน่นของอนุภาคพาหะได้โดยการให้ความต่าง ศักย์ผ่านขั้วไฟฟ้าที่ติดบนผิวกราฟีน กราฟีนยังสามารถนำความร้อนได้ดีเนื่องจากโครงสร้างที่เกิดจาก การเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนเพียงอย่างเดียว นอกจากนี้มีความคาดหวังว่า กราฟีนจะเป็นวัสดุชนิด ใหม่ที่นำมาทดแทนซิลิกอนในการสร้างอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์ เช่น สมาร์ทดีสเพล ฟิลเอพเพ็ค ทรายซิสเตอร์ (Field Effect Transistor; FET) ที่มีความเร็วสูง และควอนตัมดอทคอมพิวเตอร์ (Quantum-dot computer) ยืดหยุ่นได้ดี ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้นำไปสู่การประยุกต์ใช้งานได้ หลากหลาย หนึ่งใน การประยุกต์นั้นคือ เซนเซอร์สำหรับวัดกลูโคสและคอเลสเตอรอล



รูปที่ 2.6 โครงสร้างพื้นฐานของวัสดุคาร์บอนที่มีรูปแบบโครงสร้าง (Allotropic forms) [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5.1 วิธีการสังเคราะห์กราฟีน

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

1) วิธี Mechanical Exfoliation ถือเป็นวิธีแรกที่ทำให้นักวิจัยค้นพบ กราฟีนในค.ศ. 2004 อาจารย์และลูกศิษย์จากมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ (The University of Manchester) ดร. อังเดร ไกม์ (Andre Geim) และ ดร.คอนสแตนติน โนโวเซลอฟ (Konstantin Novoselov) ได้แยกกราฟีนออกจากกราไฟต์ โดยมีแนวคิดคือพยายามทำให้กราไฟต์บางลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โครงสร้างของกราไฟต์คือกราฟีนที่เรียงซ้อนกันหลายๆชั้น แต่ละชั้นยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ โดยแรงที่สามารถแยกกราฟีนชั้นเดียวออกจากกราไฟต์ได้มีค่าประมาณ $300 \text{ nN}/\mu\text{m}^2$ [9] ดังนั้น เป้าหมายคือการทำให้กราไฟต์บางจนเหลือเพียงชั้นเดียว นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ในขณะนั้นเชื่อว่าการสร้างวัสดุที่มีความหนาเพียงอะตอมเดียวเป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้ เพราะคาดการณ์กันว่าอะตอมจะสั่นในแนวขึ้น-ลง ทำให้โครงสร้างของวัสดุไม่เสถียร จนทำให้อะตอมทั้งหมดระเหยเป็นไอ แต่ ดร.อังเดร ไกม์ และ ดร.คอนสแตนติน โนโวเซลอฟ ได้พิสูจน์ว่าความเชื่อนี้ผิด หลังจากพวกเขาสามารถสร้างกราไฟต์ที่มีความหนาเพียงอะตอมเดียวได้สำเร็จ และเรียกวัสดุนี้ว่า “กราฟีน” พวกเขาพบว่าวัสดุนี้มีความเสถียรมาก วิธีที่พวกเขาใช้แยกกราฟีนออกจากกราไฟต์คือ นำกราไฟต์วางไว้ที่ด้านเหนียวของเทป เทปปลายอีกด้านของเทปให้แตะกับกราไฟต์ให้แน่น จากนั้นดึงเทปออกจากกันอย่างช้าๆ กราไฟต์จะติดอยู่ที่ด้านเหนียวของเทปที่แยกจากกันทั้ง 2 ด้าน ซึ่งเกิดจากเทปกาวดึงชั้นกราไฟต์ให้แยกจากกัน เมื่อทำซ้ำไปเรื่อยๆด้วยเทปกาวใหม่ ชั้นกราไฟต์จะถูกดึงแยกให้บางลง จนเหลือเพียงชั้นเดียว จากนั้นย้ายกราฟีนไปอยู่บนฐานรองที่ต้องการโดยนำสก็อตเทปที่มีกราฟีนติดอยู่กดลงบนฐานรอง SiO_2/Si [10] กราฟีนที่ถูกลอกออกโดยใช้สก็อตเทปนั้นมีความบริสุทธิ์ จึงทำให้นักวิจัยสามารถวัดคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ เช่น ค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีค่า $10^6 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ [11] แต่อย่างไรก็ตาม กราฟีนที่สร้างได้จากวิธีนี้ยังคงมีพื้นที่ขนาดเล็ก ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะนำกราฟีนไปประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรม

2) วิธี Epitaxial Growth on Silicon Carbide วิธีนี้สามารถสังเคราะห์ กราฟีนได้ โดยการให้ความร้อนแก่ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) ที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 1100 องศาเซลเซียส) ความดันต่ำ (ประมาณ 10^{-6} torr) ทำให้เกิดการระเหิดของซิลิกอนและเป็นผลให้มีคาร์บอนเกิดขึ้น [12] แต่อย่างไรก็ตาม การทำแอลนีลที่อุณหภูมิสูง ภายใต้ความดันต่ำของซิลิกอนคาร์ไบด์ส่งผลให้พื้นที่ผิวเกิดขึ้นเป็นแบบลูกฟูก จึงทำให้กราฟีนมีพื้นที่น้อยประมาณ 1 ไมครอนและมีความหนาแตกต่างกัน [13] วิธีแก้คือทำผิวหน้าของซิลิกอนคาร์ไบด์ให้เป็นคาร์บอนแทนซิลิกอน โดยวิธีนี้จะช่วยปรับปรุงการปกคลุมของกราฟีนที่เกิดขึ้นได้ การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีนี้จะประสบความสำเร็จได้นั้น ควรทำภายใต้ความดันบรรยากาศของอาร์กอน เพราะจะช่วยให้พื้นผิวของกราฟีนที่ได้เรียบมากขึ้น โดยมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่ประมาณ 50 ไมครอน การสังเคราะห์กราฟีนภายใต้บรรยากาศอาร์กอนนั้นช่วยลดการระเหิดของซิลิกอน [14] การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีนี้สามารถตรวจสอบคุณสมบัติที่สำคัญของกราฟีนได้ เช่น แถบพลังงาน สภาพความคล่องตัว เป็นต้น การเคลื่อนที่ของประจุพาหะไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิและมีความมากกว่าเมื่อเทียบกับวิธี Mechanical Exfoliation แต่อย่างไรก็ตาม การสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้ยังคงมีปัญหาในเรื่องราคาของแผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์ซึ่งมีราคาสูงและอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์สูง

3) วิธี Chemical Oxidation การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธี Chemical Oxidation สามารถทำได้ในระดับห้องปฏิบัติการ วิธีนี้สามารถผลิตกราฟีนได้ปริมาณมากในรูปสารแขวนลอย (Suspension) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย หลักการสำหรับการสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธี Chemical Oxidation เริ่มต้นจากการใช้กรดแก่ เช่น กรดไนตริก (HNO_3), กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4), โพแทสเซียมคลอเรต (KClO_3) เป็นต้น มาทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) กับกราฟไฟต์ได้เป็นกราฟไฟต์ออกไซด์ โดยกลุ่มของออกไซด์ ไฮดรอกซิล คาร์บอกซิลิกและคาร์บอนิลจะเข้าไปแทรกและเกาะเต็มระนาบพื้นผิวในแต่ละชั้นของกราฟไฟต์ ทำให้ระยะห่างแต่ละชั้นของกราฟไฟต์กว้างขึ้นและลดแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างชั้นลง เมื่อกราฟไฟต์ออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วยแรงเพียงเล็กน้อย เช่น การใช้คลื่นความถี่สูง (Sonication) จะทำให้กราฟไฟต์ออกไซด์หลุดออกเป็นแผ่นกลายเป็นกราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide) ซึ่งคุณสมบัติละลายได้ดีในน้ำแต่ไม่นำไฟฟ้า จากนั้นนำกราฟีนออกไซด์ที่ได้มาทำปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ด้วยสารรีดักแทนต์ เช่น ไฮดราซีนไฮเดรต กลายเป็นกราฟีน (Reduced Graphene Oxide) ซึ่งมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าและยังสามารถกรองและกระจายตัวได้ดีบนวัสดุสารรองรับ จึงทำให้กราฟีนที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับใช้เป็นฟิล์มบางนำไฟฟ้า เช่น กระจายนำไฟฟ้า เป็นต้น [15]

4) วิธี Chemical Vapor Deposition (CVD) คือการทับถมของไอสารเคมีบนฐานรองทำให้เกิดเป็นฟิล์มบาง วิธีนี้ถือเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์กราฟีน เนื่องจากวิธีนี้สามารถสังเคราะห์กราฟีนที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ได้และสามารถควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ เช่น อุณหภูมิ ความดัน เวลา เป็นต้น แต่การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธี CVD มีข้อเสียคือ กราฟีนที่ได้มีรอยยับเกิดขึ้นเนื่องจากสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนที่แตกต่างกันระหว่างกราฟีนและโลหะฐานรอง [16]

2.1.5.2 คุณสมบัติของกราฟีน

1) คุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ กราฟีนเป็นวัสดุที่ไม่มีช่องว่างพลังงานแถบวาเลนส์และแถบนำกระแสไม่ซ้อนทับกัน ดังนั้น กราฟีนจึงไม่ใช่โลหะและสารกึ่งตัวนำ แต่แถบวาเลนซ์และแถบนำกระแสของกราฟีนสัมผัสกันพอดีที่จุด Dirac points ในบริลลวนโซน (Brillouin Zone) ทำให้ไม่ช่องว่างระหว่างแถบพลังงาน จึงเรียกราฟีนว่า semi-metal หรือ Zero band gap semiconductor นอกจากนี้กราฟีนมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำมาก สามารถเป็นตัวนำที่นำไฟฟ้าได้ดีเกือบเท่า Superconductor (มากกว่าทองแดงหลายล้านเท่า) และกราฟีนยังสามารถนำไฟฟ้าได้ดีมากที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากมีอิเล็กตรอนวงนอกเหลืออยู่หนึ่งตัว ทำให้กราฟีนมีความสามารถในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนย้ายอิเล็กตรอนที่สูงมากในอุณหภูมิห้องราวกับว่าไม่มีมวล ซึ่งต่างจาก Superconductor ที่ต้องลดอุณหภูมิจนติดลบกว่าร้อยละสี่สิบถึงจะแสดงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าแบบนั้นได้ [17]

2) คุณสมบัติเชิงกล กราฟีนมีค่าระดับความแข็งแรงสูงกว่าเหล็กถึง 5 เท่า (เทียบเท่าหรือมากกว่าเพชร) แต่แม้จะแข็งแต่แผ่น กราฟีนกลับสามารถบิดงอ ม้วน หรือพับได้ โดยไม่ทำให้โมเลกุลเสียหาย

3) คุณสมบัติทางแสง โดยทั่วไปวัสดุที่มีความโปร่งแสงมากจะทำให้แสงสามารถทะลุผ่านไปได้มาก จึงทำให้สามารถดูดซับแสงได้น้อย แต่เมื่อพิจารณาคุณสมบัติทางแสงของกราฟีนพบว่ากราฟีนมีอัตราการดูดซับแสงที่สูง ซึ่งหากเทียบกับวัสดุที่มีความโปร่งใสเท่ากัน สำหรับกราฟีนที่มีความหนา 1 ชั้นอะตอมในสุญญากาศ สามารถมองเห็นได้โดยมีค่าการดูดซับแสงอยู่ที่ 2.3%

4) คุณสมบัติการนำความร้อน กราฟีนเป็นวัสดุที่นำความร้อนได้ดี ซึ่งวัดค่าความนำความร้อนจำเพาะของกราฟีนได้สูงกว่า วัสดุประเภทอื่นๆ และยังนำความร้อนได้ดีกว่าเพชร การนำความร้อนของกราฟีนเป็นแบบไอโซทรอปิก (Isotropic) นั่นคือการนำความร้อนได้ทุกทิศทาง เนื่องจากโครงสร้างกราฟีนเป็นแบบ 2 มิติ และด้วยคุณสมบัตินี้จึงสามารถนำกราฟีนไปช่วยในระบบระบายความร้อนใน CPU ได้

5) คุณสมบัติทางเคมี ผิวหน้าของกราฟีนสามารถดูดซับและคายอะตอมหรือโมเลกุลของก๊าซต่างๆ เช่น NO_2 , HN_3 , K และ OH ได้เช่นเดียวกับกราฟไฟต์ สารที่ถูกดูดซับมานั้นจะทำหน้าที่เหมือนเป็นอะตอมผู้ให้และผู้รับและนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นของพาหะนำไฟฟ้า (Carrier Concentration)

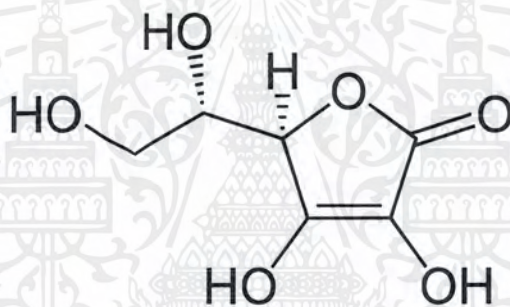
6) คุณสมบัติทางกายภาพ กราฟีนเป็นวัสดุที่บางที่สุดเท่าที่มีการค้นพบ แม้ว่าในทางทฤษฎีจะไม่สามารถวัดความหนาของอะตอมได้แต่สามารถวัดระยะห่าง ระหว่างอะตอมได้ ทำให้สามารถประเมินคร่าวๆได้ว่าแผ่นกราฟีนหนาประมาณ 0.335 นาโนเมตร ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานกราฟีนที่หลากหลาย โดยส่วนใหญ่ยังอยู่ในขั้นวิจัยและพัฒนา เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ คาปาซิเตอร์

2.1.5.3 การประยุกต์ใช้งานกราฟีน

เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นหลายประการของกราฟีน เช่น มีการนำไฟฟ้าที่ดี ความโปร่งใสสูง สามารถยืดหยุ่นได้เป็นต้น จึงทำให้กราฟีนเป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารตัวเติมและสร้างเป็นอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ด้านอื่นๆในอนาคต เช่น อุปกรณ์ปลดปล่อยอิเล็กตรอนฟิลด์อิมิชชันทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า เซนเซอร์ แบตเตอรี่ ชีวนำไฟฟ้าโปร่งใส เป็นต้น

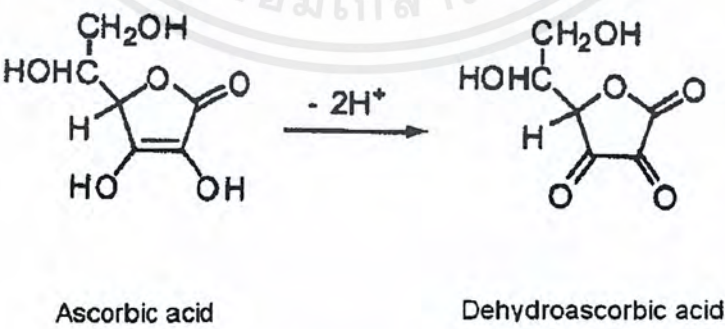
2.2 วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก

วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เป็นผลึกสีขาว มีรสเปรี้ยว สูตรโมเลกุลคือ $C_6H_8O_6$ แสดงดังรูป 2.7 และมีน้ำหนักโมเลกุล 176.12412 กรัมต่อโมล สลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกแสง ความร้อนและอากาศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาวะที่เป็นด่างและมีไอออนของเหล็กหรือทองแดงเป็นตัวเร่ง วิตามินซีละลายได้ในน้ำและแอลกอฮอล์ แต่ไม่ละลายในสารละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ โดยจะละลายน้ำได้ดี (0.3 กรัม ต่อ มิลลิลิตร) ละลายน้อยในอะซิโตนและแอลกอฮอล์ มีฤทธิ์เป็นกรดอย่างแรง ดูดความชื้นในอากาศได้ สลายตัวได้ง่ายโดยแสงสว่าง ความร้อน ด่าง และสารออกซิไดส์แต่คงทนต่อการวิตามินซีในลักษณะรีดิวซ์สามารถรวมกับไอออน ของสารโลหะหนัก เช่น Ca, Na, Cu, Fe, Pb, Hg เป็นเกลือแอสคอร์เบตได้ เมื่อถูกแสงสว่างจัด วิตามินซีจะเปลี่ยนจากสีขาวไปเป็นสีน้ำตาลหรือสีชา มีคุณสมบัติเป็นกรดและ reducing agent เพราะในโครงสร้างมี Enediol เชื่อมต่อกับกลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl group) ในวงแหวนแลคโตน (Lactone ring) [18] ดังโครงสร้าง



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของ L-ascorbic acid [18]

2.2.1 ปฏิกิริยา Oxidation ของกรดแอสคอร์บิก



Ascorbic acid

Dehydroascorbic acid

รูปที่ 2.8 ปฏิกิริยา Oxidation ของกรดแอสคอร์บิก [18]

โดยวิตามินซีพบได้ในธรรมชาติทั้งในพืชและสัตว์ ยกเว้นในมนุษย์ ลิง และหนูตะเภา ที่ไม่สามารถสังเคราะห์ได้ต้องได้จากการรับประทาน โดยจะพบกรดแอสคอร์บิกในผลไม้ที่มีรสเปรี้ยว เช่น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส้ม สตอร์เบอร์รี่ และพบมากในผลเชอร์รี่ (Acerola) นอกจากนี้นักรดแอสคอร์บิกสามารถสังเคราะห์ได้จากกลูโคสโดยปฏิกิริยาเคมี หรือขบวนการหมัก แต่ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพไม่ดีเท่ากับกรดที่พบได้ในธรรมชาติ กรดแอสคอร์บิกเป็นสารที่ได้รับการยอมรับจากองค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาว่าเป็นสารที่มีความปลอดภัยในการใช้ (GRAS) ซึ่งมีคุณสมบัติทางกายภาพของกรดแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของกรดแอสคอร์บิก [18]

ชื่อวิทยาศาสตร์	L-Xyloascorbic acid, L-3-Ketothreohexuronic acid lactone
ชื่อทั่วไป	Vitamin c
สูตรโมเลกุล	C ₆ H ₈ O ₆
น้ำหนักโมเลกุล	176.12
ลักษณะปรากฏ	เป็นลักษณะผงผลึกสีขาว
	190-192 °C
จุดหลอมเหลว	1.65 ที่ 20 °C
ค่าความจำเพาะ	
PK1	4.17
PK2	11.57
คุณสมบัติการละลาย (g/100 ml)	
น้ำ	33 ที่ 20°C, 40 ที่ 45°C, และ 80 ที่ 100°C
Propylene	5.0
Ethanol	2.0
Liquid solvent	ไม่ละลาย

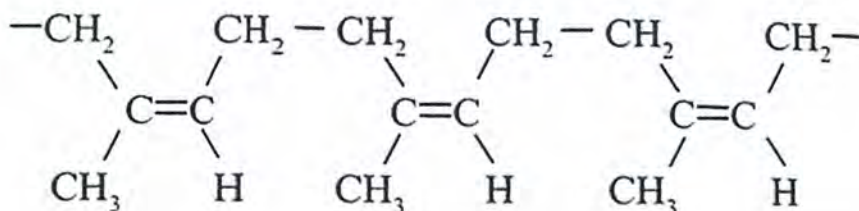
2.3 ยางธรรมชาติ

ยาง (Rubbers) หรืออีลาสโตเมอร์ (Elastomer) หรือวัสดุพอลิเมอร์ (polymer) ประเภทหนึ่ง ส่วนใหญ่โครงสร้างโมเลกุลของยางมีองค์ประกอบหลักเป็นสายโซ่โมเลกุลไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) กล่าวคือ มีองค์ประกอบหลักเป็นโมเลกุลที่มีคาร์บอน (Carbon, C) และ ไฮโดรเจน (Hydrogen, H) เป็นส่วนใหญ่เหมือนกับพอลิเมอร์อื่นๆแต่ยางมีสมบัติที่แตกต่างจากพอลิเมอร์ชนิดอื่น คือ ยางสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือขนาด ยืดหรือหดได้หลายเท่า

ยางธรรมชาติ (Natural Rubbers, NR) หรือที่รู้จักในนาม “ยางพารา” (Para Rubbers) มีชื่อทางเคมี คือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4 Polyisoprene, PI) โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.8 เป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรงและยาว มีหน่วยซ้ำๆกัน คือ ไอโซพรีน (C₅H₈) โครงสร้างโมเลกุลของยาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ธรรมชาติ หรือต้นยางพาราที่มีชื่อวิทยาศาสตร์คือ “ฮีเวีย-บราซิลเลียนซิส” (*Hevea Brasiliensis*) บางครั้งเรียกยางธรรมชาติว่า “ยางฮีเวีย” (*Hevea latex*) หรือยางพาราเป็นต้นไม้ยืนต้นสูงใหญ่ อายุยืนมีมากมายหลายพันธุ์ ซึ่งให้ปริมาณและองค์ประกอบของน้ำยางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.9 โครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ [19]

ต้นยางธรรมชาติหรือยางพารามีต้นกำเนิดที่ประเทศบราซิลทวีปอเมริกาใต้ลุ่มน้ำอะเมซอน ต่อมาได้มีผู้นำมาปลูกที่ทวีปยุโรปและเอเชียเนื่องจากต้นยางพาราชอบอากาศร้อนชื้น ดินทราย ดินร่วน ระบายน้ำดี จึงนิยมปลูกมากแถวเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ต้นยางขึ้นได้ดีในบริเวณที่ฝนตกชุก (ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยมากกว่า 80 นิ้วต่อปี) อุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียสและชอบขึ้นในบริเวณที่มีความสูงของพื้นดินไม่สูงมาก มากกว่า 80% ของการปลูกยางธรรมชาติอยู่ที่ประเทศไทย มาเลเซีย และอินโดนีเซีย ปัจจุบันประเทศไทยผลิตยางธรรมชาติได้มากที่สุดในโลก คือ ประมาณ 3.1 ล้านตันต่อปี มีพื้นที่ปลูกยางพารามากกว่า 16.7 ล้านไร่ (ตัวเลขในปี พ.ศ.2552)

2.3.1 น้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติ (Latex) จากต้นยางพารามีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวข้นคล้ายน้ำมันเป็นสารแขวนลอยหรือคอลลอยด์ (Colloids) ประกอบด้วยน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก เรียกว่า เซรั่ม (Serum) และมีอนุภาคยางพอลิไอโซพรีนประมาณ 30-40% มีขนาดประมาณ 20-20,000 นาโนเมตร แขนงลอยกระจายอยู่ในของเหลวเซรั่มในลักษณะไมเซลล์ (Micelles) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยสารอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber substances) เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และสารอินทรีย์อื่นๆ เช่น แมกนีเซียม แคลเซียม เหล็ก สังกะสี ทองแดง แมงกานีส เป็นต้น ส่วนประกอบต่างๆ ของน้ำยางแสดงได้ดังตารางที่ 2.2 โดยทั่วไปน้ำยางธรรมชาติมี pH ประมาณ 6.5-7.0 มีความหนาแน่นประมาณ 0.97-0.98 g/cm³ และมีความหนืด (Viscosity) ไม่แน่นอน โดยแต่ละอนุภาคอยู่รอบนอกทำให้เกิดแรงผลักระหว่างอนุภาคยาง ซึ่งมีผลให้น้ำยางสามารถคงสภาพเป็นของเหลวได้ตั้งนั้นเมื่อมีการทำลายเยื่อหุ้มอนุภาคหรือมีการสะเทินอนุภาคลบจะทำให้อนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางเกิดการรวมตัวจับกันเป็นก้อน เมื่อนำอนุภาคของเม็ดยางมาวิเคราะห์พบว่ามีส่วนประกอบโดยประมาณดังตารางที่ 2.3 [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างส่วนประกอบและปริมาณของสารต่างๆ ในน้ำยางธรรมชาติ [19]

ส่วนประกอบ	ปริมาณร้อยละ
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	36
เนื้อยางแห้ง	33
โปรตีน	1-1.5
เรซิน	1-2.5
เถ้า	จนถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ (ในปริมาณที่รวมกับสารอื่นๆ)	100

ตารางที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบของเม็ดยาง [19]

ส่วนประกอบ	ปริมาณร้อยละ
เนื้อยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำที่เจือติดเข้าไปในอนุภาค	10
สารโปรตีน	1
สารพวก Lipid	3
พวกโลหะ เช่น แมกนีเซียม จะปนไปกับอนุภาคเม็ดยางด้วย	ไม่เกิน 0.05

ยางธรรมชาติเป็นยางที่มีสมบัติโดดเด่นหลายประการที่ดีกว่ายางไอโซพรีนสังเคราะห์ เช่น ความยืดหยุ่น (Elasticity) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) ความทนทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ความเหนียวติดกัน (Tack) และสมบัติเชิงพลวัต (Dynamic properties) เป็นต้น ซึ่งทำให้ยางธรรมชาติเหมาะกับการใช้งานในเชิงวิศวกรรมที่ต้อรับแรงสูง แต่ยางธรรมชาติก็ยังมีข้อด้อยหลายประการ ทำให้เป็นข้อจำกัดในการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น สีที่เข้มของยางธรรมชาติเมื่อเทียบกับยางไอโซพรีนสังเคราะห์ทำให้ไม่เหมาะทำผลิตภัณฑ์ชนิดอ่อน โดยมีสมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติได้แก่

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

3) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile strength) และความทนทานต่อการฉีกขาด (Tear strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ยางสามารถแตกหักได้ง่ายเมื่อถูกยืด ซึ่งผลึกที่เกิดขึ้นจะช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง ดังนั้น ยางธรรมชาติจึงมีค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงมากโดยที่ไม่ต้องใช้สารตัวเติมเสริมแรงเข้าช่วย และมีความทนทานต่อการฉีกขาดสูงมากทั้งที่มีอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิที่สูง

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

5) ความต้านทานต่อการขัดถู (Abrasion resistance) ยางธรรมชาติมีค่าความต้านทานต่อการขัดถูสูง

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

7) ความทนทานต่อของเหลวและสารเคมี (Liquid and chemical resistance) เนื่องจากองค์ประกอบของยางธรรมชาติเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นยางดิบจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น เบนซีน, เฮกเซน และโทลูอีน ยางธรรมชาติจึงไม่ทนต่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วต่างๆ แต่ยางจะทนทานต่อของเหลวที่มีขั้ว เช่น อะซิโตน หรือแอลกอฮอล์ นอกจากนี้ยางธรรมชาติทนต่อการกรดและต่างเจือจางได้ดี แต่ไม่ทนต่อการกรดในตริกและกรดกำมะถันเข้มข้น

8) ความเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน โอโซนและแสงแดด (Aging properties) เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีพันธะคู่อยู่มากทำให้ยางว่องไวต่อการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน โดยมีแสงแดดหรือความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดังนั้นยางธรรมชาติจึงถูกออกซิไดส์ได้ง่าย

9) การหักงอที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature flexibility) ยางธรรมชาติยังคงรักษาสสมบัติความยืดหยุ่นหรือความสามารถในการหักงอได้แม้ที่อุณหภูมิต่ำ

10) การเสียรูปหลังการกด (Compression set) ยางธรรมชาติมีการเสียรูปหลังการกดค่อนข้างต่ำทั้งที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิสูงปานกลาง อย่างไรก็ตามการเสียรูปหลังการกดที่อุณหภูมิต่ำของยางธรรมชาติจะสูงขึ้น เนื่องจากยางอาจเกิดการแตกหักทำให้ความยืดหยุ่นของยางเริ่มสูญเสียไป ในขณะที่ค่าการเสียรูปหลังการกดที่อุณหภูมิสูงของยางธรรมชาติ จะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากยางธรรมชาติไม่ทนต่อความร้อนจึงเกิดการเสื่อมสภาพ ซึ่งส่งผลทำให้สมบัติการเสียรูปหลังการกดต่ำ

11) การกระด้างกระดอน (Rebound resilience) ยางธรรมชาติมีสมบัติการกระด้างกระดอนสูงและในระหว่างการเปลี่ยนรูปร่างจะสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อนน้อย ยางธรรมชาติจึงมีความร้อนสะสมต่ำเมื่อถูกใช้งานในเชิงพลวัต

12) อุณหภูมิของการใช้งาน (Service temperature) ยางธรรมชาติสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 55 องศาเซลเซียส ถึง 70 องศาเซลเซียส หากเก็บยางไว้ที่อุณหภูมิต่ำเป็นเวลานาน ยางอาจเกิดการตกผลึก ซึ่งจะทำให้ยางแข็งขึ้นและเสียความยืดหยุ่น แต่เมื่ออุณหภูมิการใช้งานสูงเกินไปสมบัติเชิงกลต่างๆ ก็จะต้องลดลงเนื่องจากความร้อนจะทำให้ยางเกิดการเสื่อมสภาพ [20]

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Andre Geim และคณะ [21] ได้ทำการคิดค้นพิสูจน์เอกลักษณ์ ตรวจสอบ และศึกษาคุณสมบัติของกราฟีนซึ่งได้ใช้วิธีการที่ไม่ซับซ้อน แต่มีประสิทธิภาพในการแยกชั้นบางๆ ของกราไฟต์ (Graphite) จากผลึกกราไฟต์ขนาดใหญ่ลอกด้วยเทปกาวยังพื้นผิวซิลิกอน โดยชั้นกราไฟต์จะถูกดึงแยกให้บางลง จนเหลือเพียงชั้นเดียว จะได้แผ่นของกราฟีนถูกแยกออกมาอย่างง่ายด้วยเทปกาวย นอกจากนี้สามารถบอกรายละเอียดของชั้นบางๆ กราฟีนซึ่งมีเพียง 1 อะตอม โดยใช้วิธีการทางแสงในการระบอบุคประกอบเกี่ยวกับชั้นส่วนของโครงสร้างของกราฟีนที่ทำขึ้นได้ ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะด้วยแผ่น กราฟีนและนับว่าเป็นวัสดุที่มีความบางที่สุด คุณสมบัติการคงรูป และมีเสถียรสูงเมื่ออยู่ในอุณหภูมิห้อง มีการเรียงตัวของอะตอมแบบสองมิติและคงรูปอยู่ได้ ซึ่งแข็งแรงเหนียว กันของอะตอมคาร์บอนในโครงสร้างกราฟีนก็เป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งแข็งแรงมากกว่าได้ ทำให้กราฟีนแข็งแรงกว่าเหล็กถึง 200 เท่า และแข็งแรงกว่าเพชร ทำให้กราฟีนกลายเป็นวัสดุที่แข็งแรงที่สุดในโลก

Huating Hu และคณะ [22] ได้ทำการศึกษาการเตรียมกราฟีนออกไซด์จากกราไฟต์ด้วยวิธีการฮัมเมอร์ (Hummer's Method) โดยใช้กรดซัลฟิวริก และโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต หลังจากนั้นผ่านการสั่นด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (Sonication) จะได้กราไฟต์ออกไซด์ นอกจากนี้ได้ทำการรีดิวซ์กราไฟต์ออกไซด์ให้เป็นกราฟีนโดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์เอเจนท์ และนำกราฟีนที่ได้ไปเติมในพอลิเมอร์ เป็นแผ่นวัสดุคอมโพสิตระหว่างกราฟีนและพอลิไธรีน ซึ่งเตรียมโดยวิธีการสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบอิมัลชัน (Emulsion Polymerization) ซึ่งพบว่าวัสดุผสมนี้จะมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูง และมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดี

Sungjin Park และคณะ [23] ได้ทำการเตรียมไฮดราซีนเพื่อเป็นวัสดุในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งทำการเปรียบเทียบโดยมีการลอก (Exfoliated) กราฟีนออกไซด์ และไม่ลอกแผ่นของกราฟีนออกไซด์ โดยทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีด้วย เทคนิค TGA และตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีโดยการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค XPS และ XRD และตรวจสอบลักษณะสัณฐานของวัสดุด้วยเทคนิค SEM โดยการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีนนั้น ในงานวิจัยนี้พบว่ากราฟีนออกไซด์เมื่อถูกรีดิวซ์และทำการลอกแผ่นจะมีอนุภาคและคุณสมบัติทางเคมีของกราฟีนออกไซด์ลดลงเมื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบกับกับไม่ลอกกราฟีนออกไซด์ ผลดังกล่าวนี้เพื่อเป็นวิธีในการทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เพื่อให้มีประสิทธิภาพของกราฟีนออกไซด์ที่สมบูรณ์

Chun Kiang Chua และคณะ [24] ได้ทำการศึกษารีดิวซ์กราฟีนให้เป็นกราฟีนออกไซด์ โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ที่พบมากที่สุด ในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีทางเคมี และยังมี การขยายขอบเขตในการทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยใช้สารในกลุ่มโบโรไฮไดรด์ โดยเฉพาะ โซเดียมไซยาโนโบโรไฮไดรด์ (Sodium Cyanoborohydride) เปรียบเทียบกับโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และทำการตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วย เทคนิค XPS, FTIR และ Raman จากงานวิจัยพบว่าในการ รีดิวซ์กราฟีนให้เป็นกราฟีนออกไซด์นั้น ประสิทธิภาพของโซเดียมไซยาโนโบโรไฮไดรด์ต่ำกว่าโซเดียมโบโรไฮไดรด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ยังมีศักยภาพของกราฟีนมากกว่าในด้านการนำไปใช้งาน

Abulikemu Abulizi และคณะ [25] ได้ทำการศึกษารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ให้เป็นกราฟีนโดยใช้อัลตราซาวนด์ในสารละลายวิตามินซีภายใต้เงื่อนไขการทดลองต่างๆ โดยศึกษาอัตราการเกิดรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จากผลของพลังงานที่ใช้ในการอัลตราซาวนด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ค่า pH และปริมาณวิตามินซี ซึ่งจะพบว่าอัตราการเกิดรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อ พลังงานในการอัลตราซาวนด์สูง อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสูง ค่า pH สูง และปริมาณวิตามินซีที่มาก นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ภายใต้การอัลตราซาวนด์มีอัตราเร็วมากกว่าเมื่อ เปรียบเทียบกับการปั่นกววนเชิงกล โดยค่า E_a (พลังงานก่อกัมมันต์) ของการเกิดรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ภายใต้การอัลตราซาวนด์จะต่ำกว่าการปั่นกววนเชิงกลที่เงื่อนไขเดียวกัน จากงานวิจัยพบว่าผลกระทบทางกายภาพ เช่น แรงเฉือน คลื่นกระแทก (Shock Waves) ในระหว่างการเกิดฟองอากาศ การถ่ายโอนมวลและปฏิกิริยาของวิตามินซีกับกราฟีนออกไซด์ในรูปของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวของกราฟีนออกไซด์ นอกจากนี้อัตราการเกิดรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ขึ้นกับผลของอุณหภูมิบริเวณฟองอากาศที่สูง

MJ Fernandez-Merino และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาการเตรียมกราฟีนออกไซด์จากกราฟีนไฟต์ออกไซด์โดยใช้วิตามินซีแทนไฮดราซีนในการรีดิวซ์ เนื่องจากไฮดราซีนมีความเป็นพิษสูง จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพในกระบวนการกำจัดออกซิเจนของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ โดยใช้รีดิวซ์เอเจนท์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium Borohydride) ไพโรแกลลอน (Pyrogallol) และวิตามินซี (Vitamin C) ซึ่งนอกเหนือไปจากไฮดราซีน โดยการให้ความร้อนภายใต้สภาวะความเป็นด่าง (Alkaline conditions) ซึ่งจากผลการศึกษาผลการกำจัดออกซิเจนและคุณสมบัติที่เกี่ยวข้อง เช่น การนำไฟฟ้า พบว่ามีเพียงวิตามินซีเท่านั้นที่ให้ผลใกล้เคียงกับการใช้ไฮดราซีน นอกจากนี้ในการเตรียมกราฟีนโดยใช้วิตามินซีให้เป็นสารแขวนลอยที่มีเสถียรภาพยังสามารถเตรียมได้โดยใช้ตัวทำละลายอื่นๆที่นอกเหนือจากน้ำ เช่น N,N-dimethyl-formamide (DMF) หรือ N-methyl-2-pyrrolidone (NMP) อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ning Yan และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาวัสดุคอมโพสิตระหว่างยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ โดยเตรียมขึ้นด้วยเครื่องผสมยางแบบสองลูกกลิ้ง และขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน โดยการกระจายตัวของสารตัวเติม (Filler) รีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ สามารถวิเคราะห์ได้จากเทคนิค TEM ซึ่งจะส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำและอากาศ (Barrier Properties) ซึ่งวิเคราะห์ได้จากเทคนิค Small Angle X-ray Scattering (SAXS) และเทคนิค NMR spectroscopy พบว่าแผ่นรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ส่งผลต่อกระบวนการวัลคาไนซ์ (Vulcanization) ของยางธรรมชาติและการเชื่อมโยง (Crossing) ของซัลเฟอร์โพลีซัลไฟด์ (Sulphur Polysulfide) ที่อยู่ในยางธรรมชาติที่บริสุทธิ์จะลดลงตามปริมาณรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ที่เติมลงไป แต่อย่างไรก็ตามความสามารถในการป้องกันการซึมผ่านของน้ำและอากาศ (Barrier Properties) และสมบัติเชิงกลจะดีขึ้นเมื่อมีการกระจายของแผ่นรีดิวซ์กราไฟท์ในยางธรรมชาติ ซึ่งจากผลการทดลองยืนยันว่าลักษณะทางสัณฐานวิทยาของสารเติมแต่งจะส่งผลต่อคุณสมบัติของยางธรรมชาติผสม



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- 1) วิตามินซี ความเข้มข้น 1.7 โมลาร์ (Vitamin C; L-ascorbic acid)
- 2) กราฟีนออกไซด์ ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (Graphene Oxide)
- 3) ยางธรรมชาติชนิดเข้มข้น ความเข้มข้น 60% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ชนิด High ammonia

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 1) ผลิตภัณฑ์เครื่องแก้ว
- 2) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (Magnetic bar)
- 3) กระบอกน้ำกลั่น
- 4) ช้อนตักสาร (Spatula)
- 5) ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)
- 6) ขวดแก้วเล็ก (Vial)
- 7) ตู้อบร้อน
- 8) ตู้ดูดควัน
- 9) เครื่องชั่งแบบละเอียด
- 10) เครื่องวัดและควบคุมอุณหภูมิ (Electronic contact thermometer, รุ่น ETS-D5; IKA)
- 11) เครื่องกวนสารแบบให้ความร้อน (Hot Plate stirrer, รุ่น HS 7; IKA)
- 12) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM รุ่น JSM-5410LV; JEOL Co.,Ltd.)
- 13) เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR. รุ่น NICOLET-6700; Becthai Bangkok Equipment & Chemical Co., Ltd.)
- 14) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer, รุ่น evolution 201; Becthai-Bangkok Equipment & Chemical Co.,Ltd.)
- 15) เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)
- 16) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometer, XRD)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 17) เครื่องรามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy)
- 18) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Multimeter)
- 19) เครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM)

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมกราฟีนออกไซด์

3.3.1.1 การเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการปรับปรุงวิธีของฮัมเมอร์ (Hummer's method)

- 1) ชั่งผงกราฟิตมา 2 กรัม และโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) 6 กรัม
- 2) เทลงในขวดก้นกลมพร้อมกับการปั่นจนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน
- 3) นำขวดก้นกลมไปวางไว้ในถังน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิ 0-3 องศาเซลเซียส
- 4) เติมน้ำกลั่น 48 มิลลิลิตร ภายใต้การปั่นจนเป็นเวลา 20 นาที (ได้สารที่มีลักษณะเป็นโคลนสีน้ำตาลดำ)
- 5) นำขวดก้นกลมออกจากถังน้ำแข็ง จากนั้นทำการปั่นจนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 6) นำขวดก้นกลมไปตั้งไว้ในถังน้ำแข็งอีกครั้ง จากนั้นเติมน้ำกลั่นลงไป ในขวด ก้นกลม จำนวน 192 มิลลิลิตร ภายใต้การปั่นจน แล้วทำการปั่นจนทิ้งไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 7) ทำการล้างตะกอนด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยงทิ้งสารละลาย และเติมน้ำกลั่นจนเมื่อตรวจสอบสารละลายที่ได้มี pH เท่ากับ 7
- 8) ทำการกรองตะกอนล้างตะกอนด้วยอะซิโตนจำนวน 5 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 9) ทำการบดตะกอนให้ละเอียดก็จะได้ผงกราฟีนออกไซด์

3.3.1.2 การเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonication)

- 1) ชั่งผงกราฟีนออกไซด์ 300 มิลลิกรัม จากนั้นเทลงในหลอดเซนตริฟิวส์ ขนาด 50 มิลลิลิตร
- 2) เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร แล้วนำไปวางไว้ในตู้อัลตราโซนิก ทำการ Sonicated เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที
- 3) นำสารแขวนลอยที่ได้ไปทำการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยกสารละลายออกจากผงกราฟีนที่ยังเหลืออยู่ เป็นเวลา 30 นาที
- 4) รินสารละลายออกจากหลอดเซนตริฟิวส์ก็จะได้สารละลายกราฟีนออกไซด์ซึ่งมีสีน้ำตาล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยใช้วิตามินซีเป็นตัวรีดิวซ์ โดยทำการควบคุมปริมาณของกราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide) ที่ปริมาณ 1000 ไมโครลิตร (5 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) และกำหนดปริมาณวิตามินซี อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาและเวลาในการให้ความร้อนตามเงื่อนไข เพื่อให้ได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีสมบัติเหมือนกราฟีน มีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีดำที่มีเสถียรภาพไม่จับตัวและตกตะกอนลงมา

3.3.2.1 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ในเงื่อนไขนี้จะทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยทำการควบคุมปริมาณของวิตามินซีที่ 100 ไมโครลิตร ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 20 นาที และกำหนดเงื่อนไขเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็น 50, 70, 90 และ 100 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เงื่อนไข	ปริมาณวิตามินซี (ไมโครลิตร)	เวลาการให้ความร้อน (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	100	20	50
2	100	20	70
3	100	20	90
4	100	20	100

จากการสังเกตสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้จากเงื่อนไขข้างต้นพบว่าที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้ยังมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลเหลือง ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยารีดักชันที่สมบูรณ์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่สมบูรณ์สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้จะต้องเปลี่ยนเป็นสารแขวนลอยสีดำ และที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส สังเกตพบว่าสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกิดการเสถียรภาพจับตัวเป็นก้อนและตกตะกอนลงมา ดังนั้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ทำให้ได้สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์สีดำที่มีเสถียรภาพไม่จับตัวเป็นก้อน จึงเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

3.3.2.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นในการศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน จึงทำการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณของวิตามินซี ที่ 100 ไมโครลิตรและทำการกำหนดเงื่อนไขเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการให้ความร้อนเป็น 15, 30, 45 และ 60 นาที ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

เงื่อนไข	ปริมาณวิตามินซี (ไมโครลิตร)	เวลาการให้ความร้อน (นาที)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	100	15	90
2	100	30	90
3	100	45	90
4	100	60	90

จากการสังเกตสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้จากเงื่อนไขข้างต้นพบว่าที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 15 และ 30 นาที รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้ยังมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาล และที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 60 นาที สังเกตพบว่าสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกิดการเสียสภาพ จับตัวเป็นก้อน และตกตะกอนลงมา ดังนั้น ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที ที่ทำให้ได้สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์สีดำที่มีเสถียรภาพไม่จับตัวเป็นก้อน จึงเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

3.3.2.3 ศึกษาผลของปริมาณของวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

จากการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่าที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการทำปฏิกิริยาและจากการศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน พบว่าที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการทำปฏิกิริยา ดังนั้นในการศึกษาผลของปริมาณของวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา จึงทำการควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการให้ความร้อนที่ 45 นาที และทำการกำหนดเงื่อนไขเปลี่ยนแปลงปริมาณของวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเป็น 50, 100, 150 และ 300 ไมโครลิตร ดังแสดงในตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณของวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

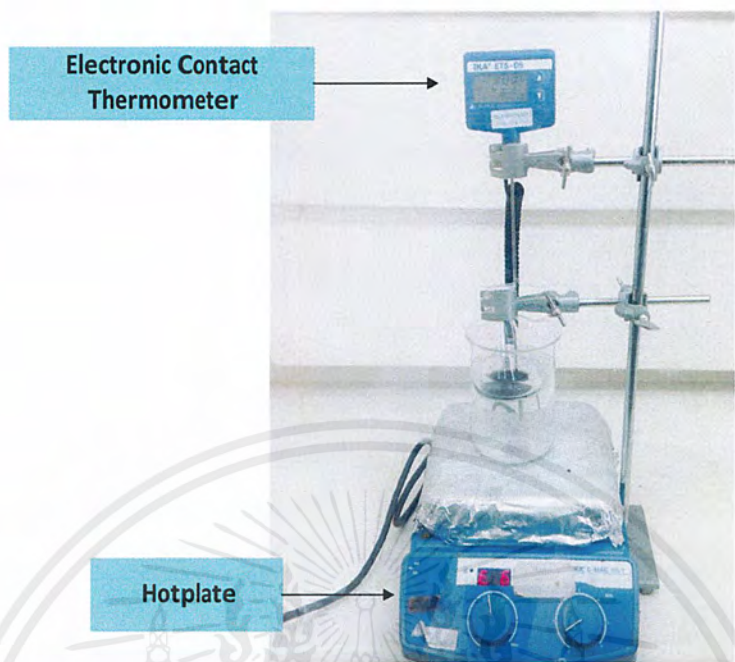
เงื่อนไข	ปริมาณวิตามินซี (ไมโครลิตร)	เวลาการให้ความร้อน (นาท)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
1	50	45	90
2	100	45	90
3	150	45	90
4	300	45	90

จากการสังเกตรสีของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้จากเงื่อนไขข้างต้นพบว่าที่ปริมาณของวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 50 ไมโครลิตร รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้ยังมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลและที่ปริมาณของวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 150 และ 300 ไมโครลิตร สังเกตพบว่าสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกิดการเสถียรภาพจับตัวเป็นก้อนและตกตะกอนลงมา ดังนั้นที่ปริมาณของวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ 100 ไมโครลิตร ที่ทำให้ได้สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์สีดำ ที่มีเสถียรภาพไม่จับตัวเป็นก้อน จึงเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการศึกษาผลของปริมาณของวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยใช้วิตามินซีเป็นตัวรีดิวซ์พบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุด ในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพื่อให้ได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีสมบัติเหมือนกราฟีน มีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีดำที่มีเสถียรภาพ ไม่จับตัวเป็นก้อนและตกตะกอนลงมา คือ ที่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที และปริมาณของวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 100 ไมโครลิตร

3.3.2.4 ขั้นตอนการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี

- 1) ปิเปตสารละลายกราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide) มา 1000 ไมโครลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 19 มิลลิลิตร และปริมาณวิตามินซี ตามที่เงื่อนไขกำหนด
- 2) นำขวดรูปชมพู่ใส่ลงในบีกเกอร์ชุดให้ความร้อน โดยทำการปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กกวนสาร ตามเวลาที่เงื่อนไขกำหนด
- 3) ได้สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์



รูปที่ 3.1 แสดงชุดการทดลอง การรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษถึงปัจจัยที่มีผลต่อการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยใช้วิตามินซีเป็นตัวรีดิวซ์ โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาและวิธีที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ลำดับที่	พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา	วิธีที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์
1	ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	UV-VIS, FT-IR, Raman spectra, SEM, XRD, Multimeter
2	ผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน	UV-VIS, FT-IR, Raman spectra, SEM, XRD, Multimeter
3	ผลของปริมาณวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	UV-VIS, FT-IR, Raman spectra, SEM, XRD, Multimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การเตรียมแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

การเตรียมแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยเลือกใช้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในเงื่อนไขที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้สารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีเสถียรภาพเป็นสารละลายสีดำไม่จับตัวเป็นก้อนในการเตรียม คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที และปริมาณของวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 100 ไมโครลิตร และทำการกำหนดเงื่อนไข โดยการกำหนดปริมาณสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่เติมลงในแผ่นยางผสมยางธรรมชาติที่แตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 2 ปริมาณ คือ

- 1) สารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 3.75 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)
- 2) สารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 7.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร (0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

3.3.3.1 ขั้นตอนการเตรียมแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

- 1) ทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี จากเงื่อนไขที่ดีที่สุด คืออุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที และปริมาณวิตามินซี ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 100 ไมโครลิตร โดยใช้สารละลายกราฟีนออกไซด์ 2 ปริมาณ คือ 1000 และ 2000 ไมโครลิตร
- 2) ปิเปตสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้มา 15 มิลลิลิตร และยางธรรมชาติชนิดเข้มข้น 3 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 3) ปั่นกวนเป็นเวลา 20 นาที
- 4) เทขึ้นรูปในจานเพาะเชื้อ (Petri dish)
- 5) นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง
- 6) ได้แผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งแผ่นยางผสมที่ได้จะมีสีดำ



รูปที่ 3.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้
(a) ก่อนอบ (b) หลังอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยมี พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา และวิธีที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ลำดับที่	พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา	วิธีที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์
1	สมบัติเชิงกล	UTM
2	สมบัติทางร้อน	TGA

3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์

3.4.1 ศึกษาคุณลักษณะของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.4.1.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาว คลื่นที่ต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีก็ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสาร ต่างๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสาร จึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและปริมาณ ผลที่ ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และ ค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่าสเปกตรัม (Spectrum) โดยตัวอย่างกราฟีนออกไซด์ และ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่นำไปวิเคราะห์ จะทำการเจือจางให้มีค่าความดูดกลืน (Absorbance) ที่ช่วง 1.2 - 1.5 แล้วทำการบรรจุใน Cuvette และนำเข้าเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ช่วง 200 – 600 นาโนเมตร เพื่อศึกษาการเปลี่ยนสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงของกราฟีนออกไซด์เมื่อถูก รีดิวซ์ด้วยวิตามินซี

3.4.1.2 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)

เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ ตรวจสอบ โครงสร้างของสาร โดยการวัดการดูดกลืนแสง ของสารในช่วง Infrared (IR) ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไปทำ ให้สามารถนำเทคนิคนี้มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารได้ จึงนำเทคนิคดังกล่าวนี้มาใช้ในการ ศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไปของกราฟีนออกไซด์เมื่อทำการรีดิวซ์ด้วยวิตามินซี โดยตัวอย่างที่ทำการ วิเคราะห์มีลักษณะเป็นผง จึงทำการเตรียมตัวอย่างแบบ KBr-disc โดยวิธีการคือ บดสารตัวอย่างปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1-2 มิลลิกรัม รวมกับผง KBr ปริมาณ 100 มิลลิกรัม อบให้แห้ง แล้วบดรวมกัน จากนั้นทำการอัดเป็นแผ่นโดยนำเข้าสู่เครื่องอัด Minipress จนได้ตัวอย่างมีลักษณะเป็นแผ่นกลมแบนใสคล้ายแก้ว (KBr Disc) แล้วนำตัวอย่างใส่ที่ยึดพิเศษแล้ววางบนลำรังสี IR จากนั้นทำการวิเคราะห์ เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.4.1.3 เครื่องรามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์วัตถุตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์หาชนิด (Qualitative Analysis) ของตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เช่น อัญมณี แร่ และวัสดุต่างๆ โดยส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ซึ่งไม่สามารถแสดงให้เห็นสเปกตรัมในช่วงอินฟราเรด โดยหลักการของรามานสเปกโตรมิเตอร์ ตรวจสอบโดยการวัดเปรียบเทียบการกระเจิงแสงแบบรามานของวัสดุหรือสารที่ใช้ในการตรวจสอบ จะใช้หาความยาวพันธะในโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว ซึ่งจะทำให้สามารถระบุหาประเภทของสารตัวอย่างได้ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ดังนั้นจึงใช้วัดสารได้ทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ จึงนำเทคนิคดังกล่าวนี้มาใช้ในการศึกษาชนิดของสารประกอบที่อยู่ในรูปของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์มีลักษณะเป็นผง โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างคือ บดผงที่ของสารตัวอย่างให้ละเอียดพอประมาณ จากนั้นตักผงของสารตัวอย่างลงบนแผ่นสไลด์แล้วนำแผ่นสไลด์อีกแผ่นประกบเพื่อให้สารกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แล้วนำแผ่นสไลด์ที่มีสารอยู่ด้านบนไปวิเคราะห์

3.4.1.4 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer, XRD)

เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ หรือเทคนิค XRD เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอ็กซ์มาวิเคราะห์สารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสารตัวอย่างโดยไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non-destructive method) เทคนิค XRD อาศัยหลักการของการยิงรังสีเอ็กซ์ ที่ทราบความยาวคลื่นไปกระทบชิ้นงานทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างๆกันโดยมีหัววัดเป็นตัวรับข้อมูล เนื่องจากองศาในการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ในการศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆได้ จึงนำเทคนิคดังกล่าวนี้มาใช้ในการศึกษาวิเคราะห์สมบัติและโครงสร้างผลึกของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยตัวอย่างการวิเคราะห์ครั้งนี้มีลักษณะเป็นผง จึงทำการเตรียมได้โดยการบดผงของสารตัวอย่างให้ละเอียดพอประมาณ จากนั้นนำไปอัดลงบนแผ่นกระจกที่มีลักษณะเป็นหลุมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร มีความลึกประมาณ 3 มิลลิเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer)

3.4.1.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

ใช้ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและรายละเอียดของพื้นผิวของกราไฟต์และกราฟีนออกไซด์ เนื่องจากตัวอย่างกราไฟต์ และกราฟีนออกไซด์ มีลักษณะเป็นผง จึงเตรียมตัวอย่างโดยวิธีการ คือ นำผงกราไฟต์ และกราฟีนออกไซด์ ไปติดบน Stub ได้เลย โดยพยายามติดให้อนุภาคเรียงตัวในลักษณะชั้นเดียวไม่เกาะกลุ่มกัน เพื่อให้การฉาบผิวทำได้ทั่วถึง และไม่เกิดปัญหาการ Charge up จากนั้นนำตัวอย่างไปทำการเคลือบทอง แล้วนำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 3000 และ 6000 เท่า

3.4.1.6 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Multimeter)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุ โดยมัลติมิเตอร์สามารถวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้ เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ความต้านทานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า จึงนำเครื่องมือดังกล่าวนี้มาใช้วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าเพื่อศึกษาสมบัติการนำไฟฟ้าของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งมีวิธีการเตรียมตัวอย่างดังนี้

- 1) นำสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์หยดลงบนแผ่นซีดีปริมาณ 300 ไมโครลิตร
- 2) นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 ชั่วโมง
- 3) นำมาวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัด (Multimeter)



(a)

(b)

รูปที่ 3.3 แสดงการเตรียมตัวอย่างในการทดสอบสมบัติการนำไฟฟ้าเบื้องต้น (a) ก่อนอบ (b) หลังอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ศึกษาคุณลักษณะของแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับบริดจ์กราฟีนออกไซด์

3.4.2.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและรายละเอียดของพื้นผิวของตัวอย่างแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับบริดจ์กราฟีนออกไซด์ มีลักษณะเป็นแผ่นยางขนาดบาง โดยทำการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาอยู่ 2 บริเวณ คือ ที่บริเวณบริเวณพื้นผิว ซึ่งสามารถเตรียมตัวอย่างได้โดยตัดแผ่นยางให้มีขนาดไม่เกิน Stub จากนั้นนำไปติดบน Stub แล้วทำการเคลือบทอง และบริเวณที่ทำการศึกษาบริเวณ ที่ 2 คือ บริเวณตัดขวาง ซึ่งการเตรียมตัวอย่างต้องทำการหักตัวอย่างจึงต้องทำภายใต้ อุณหภูมิที่เย็นจัด (Freeze fracture) โดยจุ่มตัวอย่างในไนโตรเจนเหลวแล้วหักทันที เพราะอุณหภูมิที่เย็นจัดจะทำให้พลาสติกแข็งและเปราะ ทำให้หักง่ายและเกิดรอยแตกตามโครงสร้าง จากนั้นรื้อให้ตัวอย่างหายเย็นแล้วติดตัวอย่างบน stub แล้วนำไปเคลือบทอง เมื่อได้ตัวอย่างทั้ง 2 บริเวณแล้ว จากนั้นนำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 6000 และ 10000 เท่า

3.4.2.2 เครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (Thermogravimetric Analysis, TGA)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อนของวัสดุต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยใช้ในการวัดการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักด้วยเครื่องซึ่งที่มีความไวและความละเอียดสูงในสภาวะแวดล้อมที่สามารถควบคุมได้ สามารถใช้ในการศึกษาสมบัติของตัวอย่างได้หลากหลายชนิด ทั้งตัวอย่างในกลุ่มเซรามิก พอลิเมอร์ หรือสารอนินทรีย์ต่างๆ สามารถวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลว การสูญเสียน้ำหนัก รวมไปถึงการหาสารเจือปนในตัวอย่างได้ จึงนำเทคนิคดังกล่าวนี้มาใช้ในการศึกษาสมบัติเชิงความร้อนของยางธรรมชาติ และแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับบริดจ์กราฟีนออกไซด์ ทำการเตรียมตัวอย่างโดยเตรียมแผ่นยางผสมที่สังเคราะห์ได้ประมาณ 8-12 มิลลิกรัม บรรจุลงในจาน (Pan) ที่แขวนอยู่บน Micro balance แล้วทำการทดสอบโดยการตั้งโปรแกรมทดสอบให้ความร้อนต่อชิ้นงานตัวอย่างที่อุณหภูมิเริ่มต้น 32 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส ต่อนาที ภายใต้บรรยากาศของไนโตรเจน

3.4.2.3 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

สมบัติต้านทานแรงดึงของวัสดุ เป็นตัวบอกความแข็งแรงและความสามารถในการทนรับแรงดึงของวัสดุจนขาดในระยะเวลาสั้นๆ ด้วยอัตราการดึงคงที่ โดยการเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบ ด้วยเครื่องทดสอบอเนกประสงค์ (Universal testing machine, UTM) ตามมาตรฐาน ASTM D882 โดยเตรียมชิ้นงานและกำหนดสภาวะเครื่องทดสอบดังนี้

- ขนาดชิ้นงาน 10 x 60 ตารางมิลลิเมตร
- ความเร็วในการดึง 250 มิลลิเมตร/นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความยาวเกจ (Gauge length) 60 มิลลิเมตร
- ค่าแรงสูงสุดที่เครื่องรับได้ 1 นิวตัน
- จำนวนชิ้นงานที่ทดสอบ 2 ชิ้น/เงื่อนไข

โดยผลการทดลองที่ได้จะแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stress) และความเครียด (strain) รวมถึงค่ามอดูลัสของยัง (Young's Modulus) ค่าการคงรูป (Stiffness) ค่าความเค้นสูงสุด (Stress at Maximum Load) และ ค่าเปอร์เซ็นต์ความเครียดสูงสุด (Percentage strain at maximum load) จึงนำมาใช้ในการศึกษาหาค่าความแข็งแรงเชิงกลของยางธรรมชาติกับแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

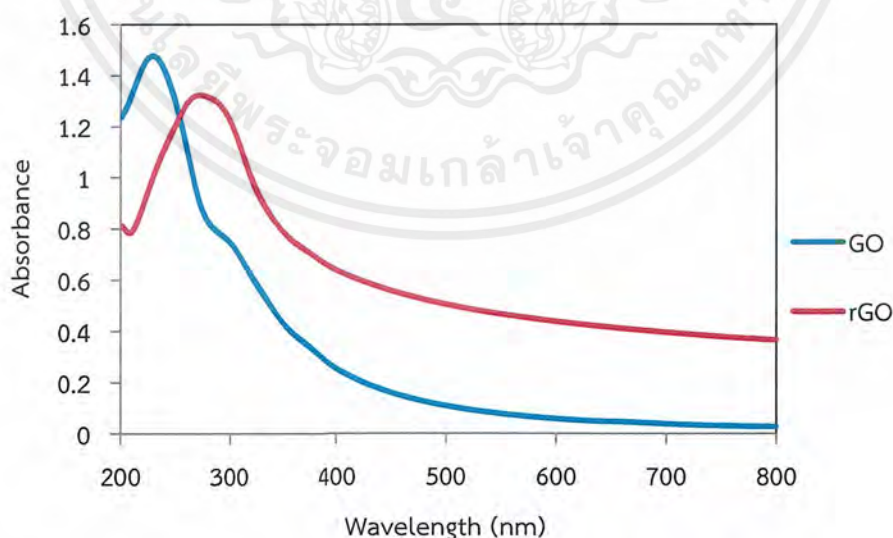
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมและสังเคราะห์สารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี และการเตรียมแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพื่อวิเคราะห์พิสูจน์เอกลักษณ์และสมบัติต่างๆ ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และแผ่นยางผสม ซึ่งในบทนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่องมือต่างๆ ได้แก่ การวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrometer), ฟูเรียร์-ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR), ตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน (Raman spectroscopy), เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD), การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), การวัดค่ากระแสไฟฟ้า (Multimeter), การศึกษาสมบัติเชิงความร้อน (TGA) และ การศึกษาสมบัติเชิงกล (Tensile Test) โดยมีรายละเอียดตามลำดับดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.1.1 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร

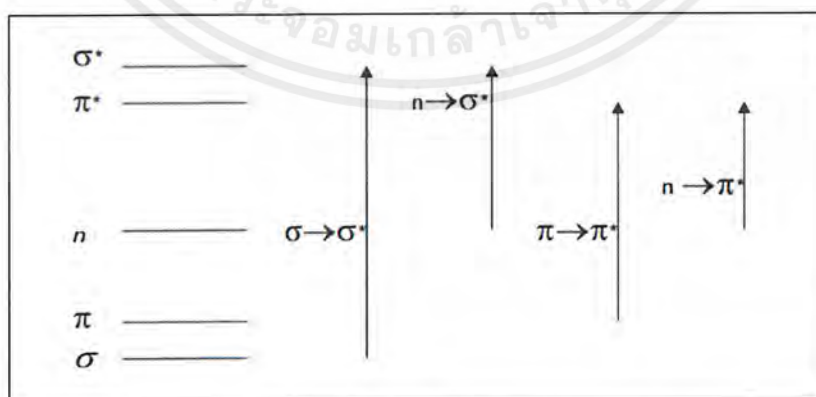
ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ของกราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที ซึ่งผลการศึกษาแสดงดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์(rGO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสง พบว่า กราฟีนออกไซด์จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะ $\pi - \pi^*$ และจะพบพีคเล็กๆที่ความยาวคลื่นประมาณ 300 นาโนเมตรซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะ $n - \pi^*$ เนื่องมาจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนที่เกิดในสารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญมี 4 แบบคือ $\sigma - \sigma^*$, $n - \sigma^*$, $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ซึ่งการเปลี่ยนสถานะนี้ใช้พลังงานต่างกัน ดังรูปที่ 4.2 สำหรับการเปลี่ยนสถานะ $\sigma - \sigma^*$ ซึ่งเกิดกับสารประกอบไม่อิ่มตัวใช้พลังงานมากที่สุด และเกิดที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 200 นาโนเมตรการเปลี่ยนสถานะ $\pi - \pi^*$ เกิดกับสารประกอบที่มีพันธะคู่ พันธะสามและอะโรมาติก เนื่องจากระดับพลังงานของ $\pi - \pi^*$ ออร์บิทัลอยู่ระหว่าง σ และ σ^* ออร์บิทัล ดังนั้นการเกิด $\pi - \pi^*$ ทรานซิชันจึงต้องการพลังงานน้อยกว่า $n - \sigma^*$ ทรานซิชัน การที่อิเล็กตรอนหนึ่งตัวใน π - bonding ออร์บิทัลถูกกระตุ้นไปอยู่ใน π^* ซึ่งเป็นออร์บิทัลที่ต้านการสร้างพันธะ มีผลให้พันธะคู่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน อ่อนลง ซึ่ง $\pi - \pi^*$ จะเกิดได้ที่มีความยาวคลื่นตั้งแต่ 220 นาโนเมตรขึ้นไป ขึ้นอยู่กับว่าโมเลกุลมีพันธะคู่โดด (Isolated double bond) หรือพันธะคู่ต่อเนื่อง (Conjugated double bond) กับโครโมฟอร์อื่น ถ้าโมเลกุลที่มีพันธะคู่ต่อเนื่อง อิเล็กตรอนใน π - ออร์บิทัลหนึ่งสามารถกระจายไปยัง π - ออร์บิทัลอื่นที่มีอยู่ในโมเลกุลนั้นได้ ทำให้พันธะคู่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน ยิ่งอ่อนลง ทำให้พลังงานที่ใช้ในการทรานซิชันลดลง และการเปลี่ยนสถานะ $n - \pi^*$ เกิดกับโมเลกุลที่มีทั้ง n - และ π - ออร์บิทัล ซึ่งได้แก่สารประกอบคาร์บอนิล ($-C=O$) หลังจากทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จะพบว่า $\pi - \pi^*$ จะเกิดการเลื่อนตำแหน่ง(shift)ไปที่ความยาวคลื่นที่มากขึ้น (Red shift) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเกิดพันธะคู่ ($-C=C$) ที่เพิ่มขึ้นในโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และจะพบว่าจะไม่ปรากฏพีคที่ตำแหน่งของ $n - \pi^*$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสารประกอบคาร์บอนิล ($-C=O$) ถูกกำจัดออกไปจากโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

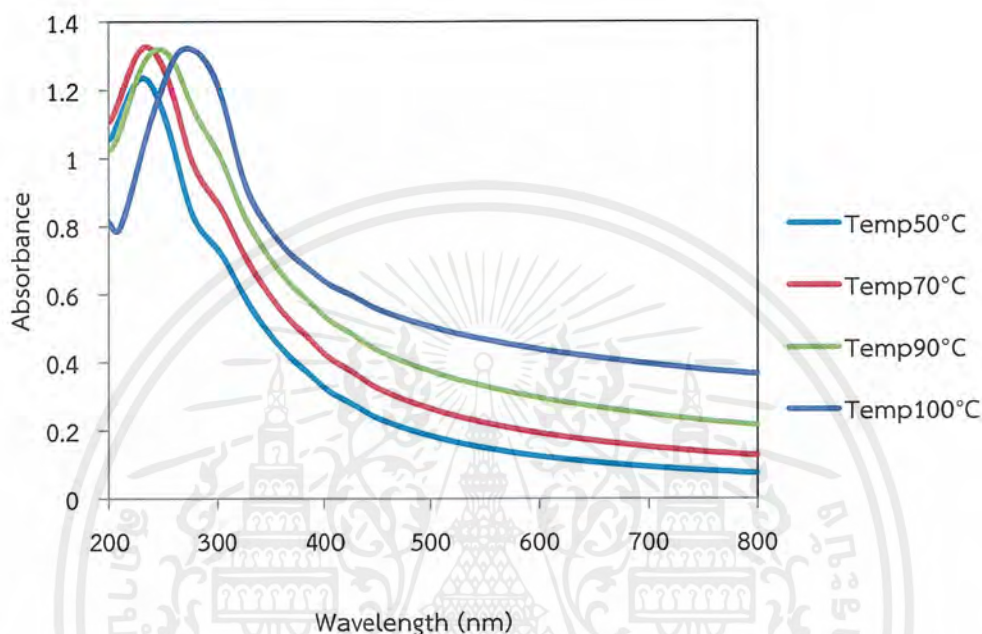


รูปที่ 4.2 ระดับพลังงานของการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.1 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ภายใต้ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที และอุณหภูมิการให้ความร้อนที่ 50, 70, 90 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซีที่อุณหภูมิ 50, 70, 90 และ 100 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซีพบว่าเมื่ออุณหภูมิการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ที่ 50, 70, 90 และ 100 องศาเซลเซียส ลักษณะของสเปกตรัมจะ Shift ไปทางความยาวคลื่นที่มากขึ้น กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะพบพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 231, 234, 246 และ 272 นาโนเมตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าแนวโน้มของค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตาราง 4.1 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการเกิดพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน ($C=C$) ที่เพิ่มขึ้นในโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อิเล็กตรอนภายในโครงสร้างเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ใช้พลังงานในการทรานซิชันน้อย ส่งผลให้ค่าความยาวคลื่นสูงขึ้น และจะพบว่าพีคเล็กๆที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร จะไม่ปรากฏให้เห็นเมื่อใช้อุณหภูมิในการให้ความร้อน 100 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตาราง 4.1 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากสารประกอบคาร์บอนิล ($C=O$) ถูกกำจัดออกไปจากสร้างโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

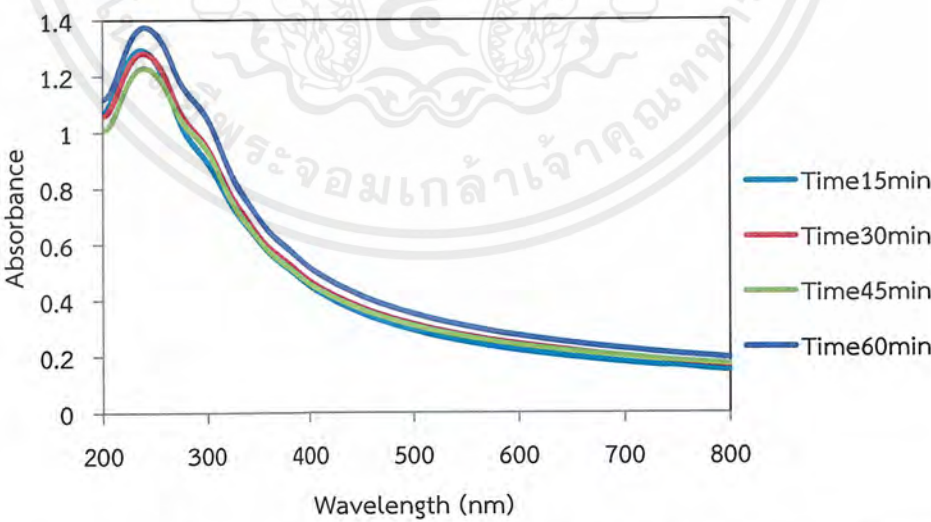
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิต่างกัน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	
	$\pi - \pi^*$	$n - \pi^*$
-	230	300
50	231	300
70	234	300
90	246	300
100	272	-

4.1.1.2 ผลของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการให้ความร้อน

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ภายใต้ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร อุณหภูมิการให้ความร้อน 90 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการให้ความร้อน 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซีพบว่าเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ที่ 15, 30, 45 และ 60 นาที ลักษณะของสเปกตรัมจะ Shift ไปทางความยาวคลื่นที่มากขึ้น กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะพบพีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 231, 249, 256 และ 260 นาโนเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซีที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 15, 30, 45 และ 60 นาที

จากการทดลองพบว่าแนวโน้มของค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตาราง 4.2 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการเกิดพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน (-C=C) ที่เพิ่มขึ้นในโครงสร้างของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ อิเล็กตรอนภายในโครงสร้างเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ใช้พลังงานในการทรานซิชันน้อย ส่งผลให้ค่าความยาวคลื่นสูงขึ้น และจะพบว่าพิกขนาดเล็กที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร จะไม่ปรากฏให้เห็นเมื่อใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 และ 60 นาที ดังแสดงในตาราง 4.2 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากสารประกอบคาร์บอนิล (-C=O) ถูกกำจัดออกไปจากสร้างโครงสร้างของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์

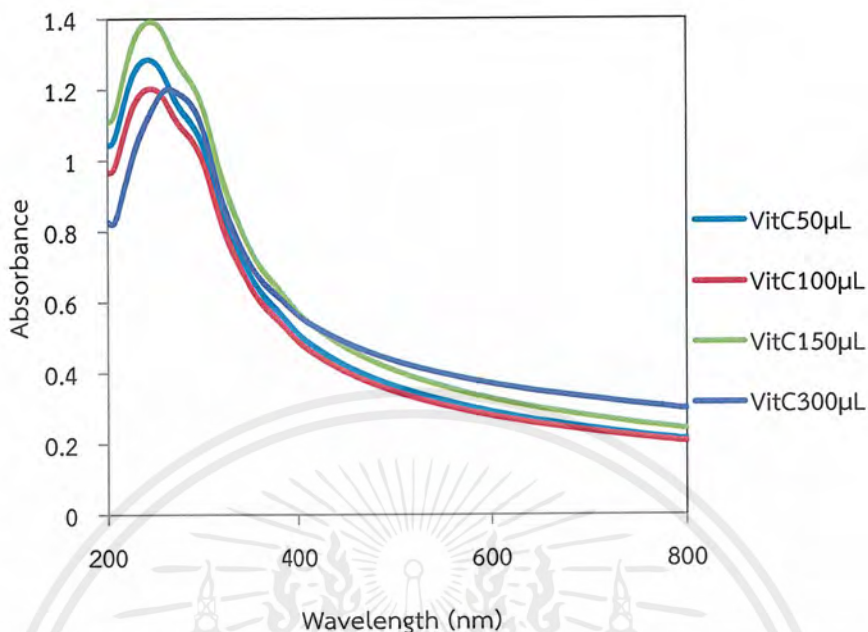
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขเวลาต่างกัน

ระยะเวลา(นาที)	ค่าความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	
	$\pi - \pi^*$	$n - \pi^*$
-	230	300
15	231	300
30	249	300
45	256	-
60	260	-

4.1.1.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ภายใต้อุณหภูมิการให้ความร้อนที่ 90 องศาเซลเซียสระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที และปริมาณวิตามินซี 50, 100, 150 และ 300 ไมโครลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสงของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซีพบว่า เมื่อปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้น ที่ 50, 100, 150 และ 300 ไมโครลิตร ลักษณะของสเปกตรัมจะ Shift ไปทางความยาวคลื่นที่มากขึ้น กล่าวคือ เมื่อปริมาณวิตามินซีเพิ่มขึ้นจะพบพิกการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 242, 244, 249 และ 264 นาโนเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซีที่ปริมาณวิตามินซี 50, 100, 150 และ 300 ไมโครลิตร

จากการทดลองจะเห็นว่าแนวโน้มของค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตาราง 4.3 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากการเกิดพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอน ($C=C$) ที่เพิ่มขึ้นในโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อิเล็กตรอนภายในโครงสร้างเคลื่อนที่ได้ง่ายขึ้น ใช้พลังงานในการทรานซิชันน้อย ส่งผลให้ค่าความยาวคลื่นสูงขึ้น และจะพบว่าพีคเล็กๆที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร จะไม่ปรากฏให้เห็นเมื่อใช้ปริมาณวิตามินซี 300 ไมโครลิตร ดังแสดงในตาราง 4.3 ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากสารประกอบคาร์บอนิล ($C=O$) ถูกกำจัดออกไปจากสร้างโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขปริมาณวิตามินซีต่างกัน

ปริมาณวิตามินซี (ไมโครลิตร)	ค่าความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	
	$\pi - \pi^*$	$n - \pi^*$
-	230	300
50	242	300
100	244	300
150	249	300
300	264	-

โดยการรีดิวซ์ที่สมบูรณ์ยืนยันได้จากสีของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ภายใต้ตัวทำละลายคือน้ำ พบว่าสารละลายกราฟีนออกไซด์จะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสารแขวนลอยสีดำของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ดังแสดงในรูปที่ 4.6

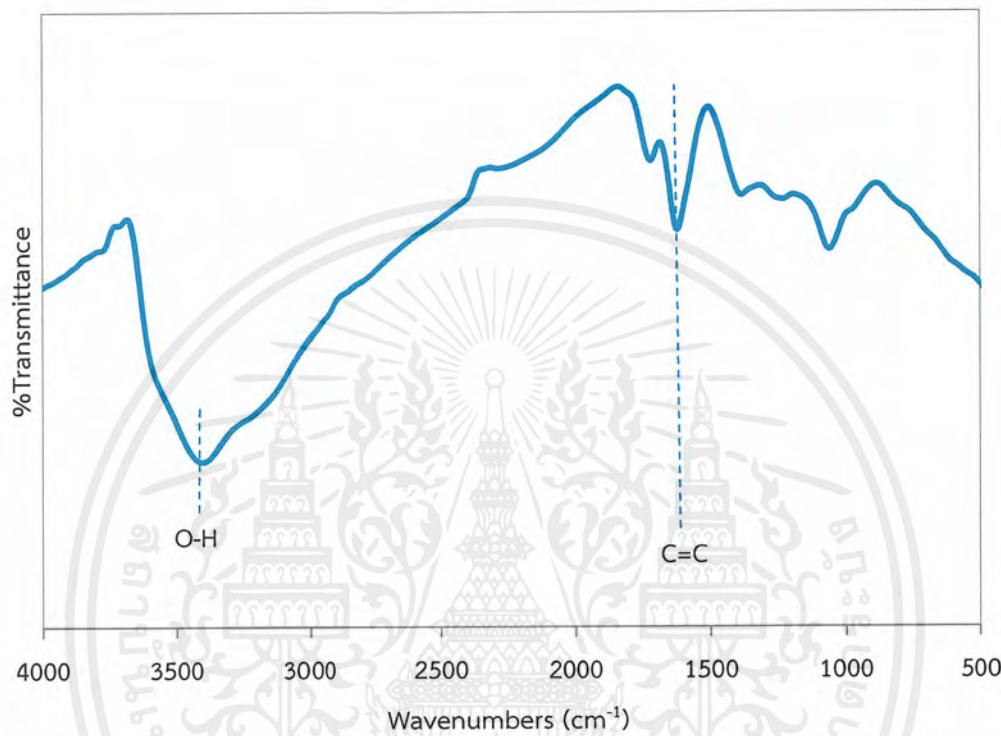


รูปที่ 4.6 แสดงสีของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซีภายใต้ตัวทำละลายคือน้ำ (a) กราฟีนออกไซด์และ (b) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.1.2 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานของการสั่นของโมเลกุล

4.1.2.1 กราไฟต์

ผลการวิเคราะห์ สเปกตรัมของ FT-IR ของกราฟไฟต์ ซึ่งแสดงผลการศึกษาต่อไปนี้

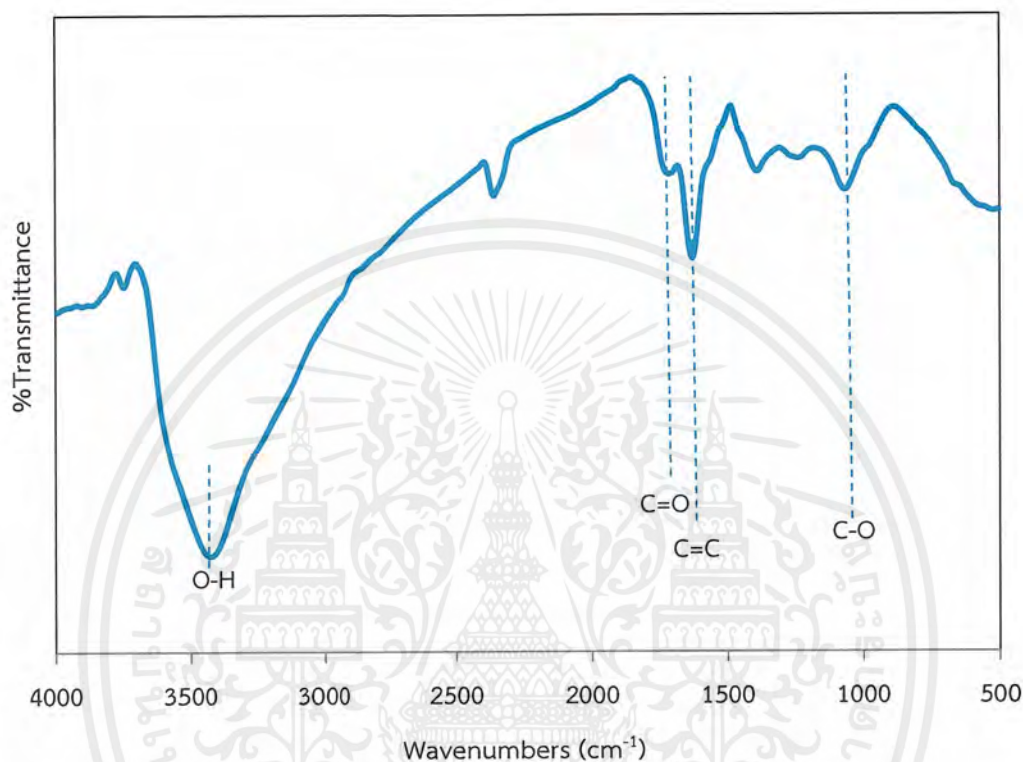


รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัม FI-IR ของกราฟไฟต์

จากรูปที่ 4.7 พบแถบการสั่นของกราฟไฟต์ปรากฏความถี่ที่เลขคลื่น 3402 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-OH) และพบแถบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่น 1621 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C=C) ของวงอะโรมาติก ซึ่งเป็นการยืนยันหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่ในกราฟไฟต์ [1]

4.1.2.2 กราฟอินฟราเรด

ผลการวิเคราะห์ สเปกตรัมของ FT-IR ของกราฟีนออกไซด์ ซึ่งแสดงผลการศึกษา ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัม FI-IR ของกราฟีนออกไซด์

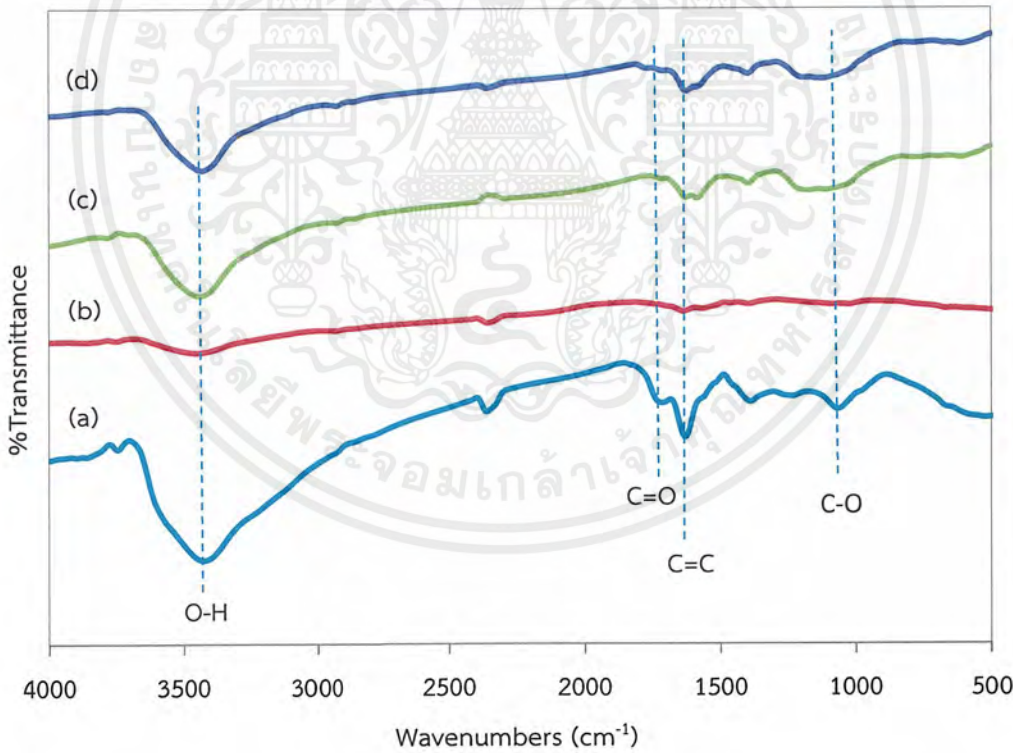
จากรูปที่ 4.8 พบแถบการสั่นของกราฟีนออกไซด์ปรากฏความถี่ ที่เลขคลื่น 3425 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-OH) ของหมู่ไฮดรอกซิลและโมเลกุลของน้ำ พบแถบการสั่นช่วงความถี่ที่เลขคลื่น 1629 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C=C) ของวงอะโรมาติก และพบแถบการสั่นที่แตกต่างจากกราฟไฟต์ คือ พบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1702 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C=O) ของสารประกอบคาร์บอนิลและคาร์บอกซิลิก และพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1065 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C-O) ของแอลคอกซี เนื่องมาจากการออกซิไดส์กราฟไฟต์ให้เป็นกราฟีนออกไซด์จึงทำให้มีหมู่ฟังก์ชันสารประกอบคาร์บอนิล คาร์บอกซิลิก และอีพอกซีเข้าไปแทรกตัวอยู่อยู่บนระนาบของกราฟไฟต์ [1] ซึ่งยืนยันได้จากลักษณะโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ ดังรูปที่ 1.2

ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูล IR สเปกตรัมเปรียบเทียบการสั่นของพันธที่สำคัญของกราฟไต์และกราฟีนออกไซด์

การสั่นของพันธะ	ความถี่ (cm ⁻¹)	การสั่นของพันธะ	ความถี่ (cm ⁻¹)
O-H stretching	3402	O-H stretching	3425
C=C stretching	1621	C=O stretching	1702
		C=C stretching	1629
		C-O stretching	1065

4.1.2.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัม FT-IR ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที และอุณหภูมิ 50, 90 และ100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



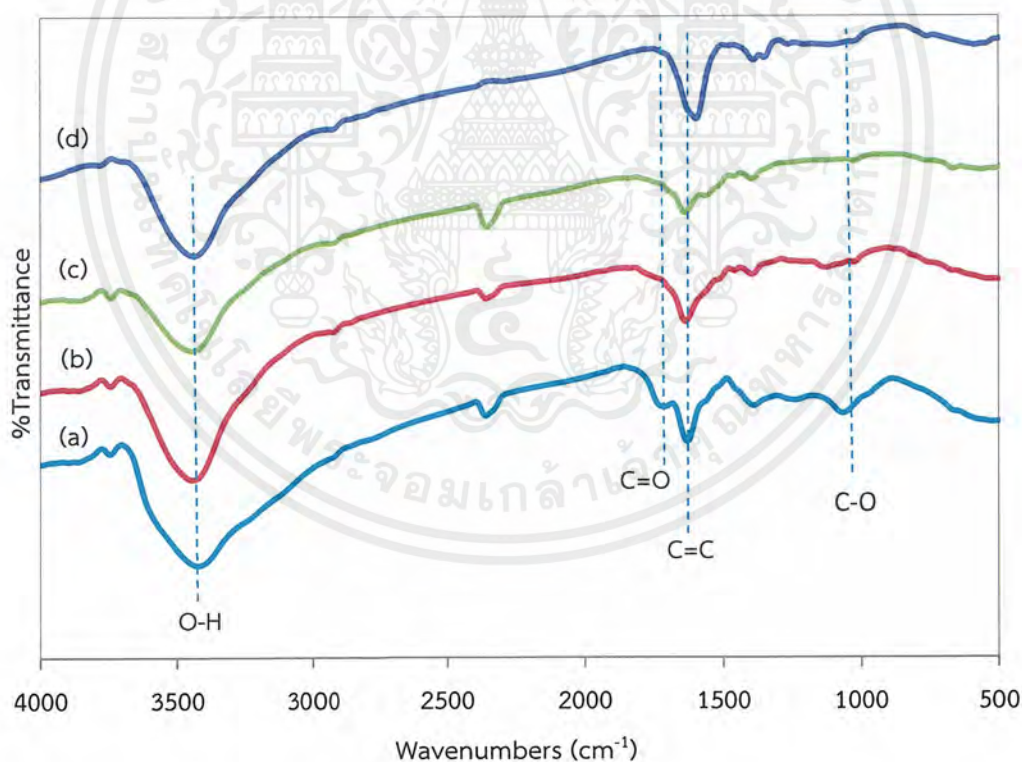
รูปที่ 4.9 แสดงกราฟ FT-IR ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ภายใต้อุณหภูมิการให้ความร้อนที่ต่างกัน (a) กราฟีนออกไซด์ (b) 50 องศาเซลเซียส (c) 90 องศาเซลเซียส และ (d) 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 พบแถบการสั่นของกราฟีนออกไซด์ปรากฏความถี่ที่เลขคลื่นประมาณ 3425 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-OH) ของหมู่ไฮดรอกซิลและโมเลกุลของน้ำ พบแถบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่นประมาณ 1629 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C=C) ของวงอะโรมาติก และพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1065 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C-O) ของแอลคอกซี หลังจากการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซีพบว่าเมื่ออุณหภูมิในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นความเข้มพีดตำแหน่ง (-OH), (-C=O) และ (-C-O) จะลดลงหรือหายไป เนื่องมาจากปฏิกิริยารีดักชันเพื่อกำจัดหมู่ออกซิเจนที่อยู่บนโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ ในขณะที่แถบยืดของพันธะ (-C=C) ของวงอะโรมาติก จะยังคงปรากฏให้เห็น เนื่องจากการหลุดออกของออกซิเจนทำให้เกิดการกลับสู่สภาพเดิมของวงอะโรมาติกภายหลังจากการรีดิวซ์

4.1.2.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการให้ความร้อน

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัม FI-IR ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90°C องศาเซลเซียส ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร และระยะเวลาการให้ความร้อนที่ 15, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการศึกษาต่อไปนี้

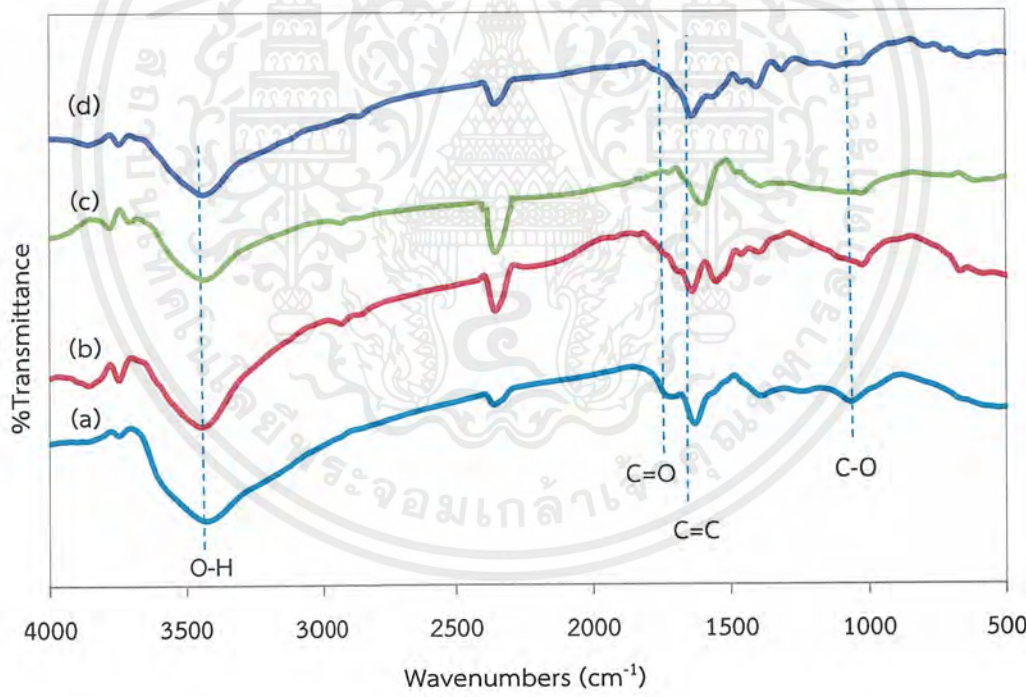


รูปที่ 4.10 แสดงกราฟ FT-IR ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ภายใต้ระยะเวลาการให้ความร้อนที่ต่างกัน (a) กราฟีนออกไซด์ (b) 15 นาที (c) 45 นาที และ (d) 60 นาที

จากรูปที่ 4.10 พบแถบการสั่นของกราฟีนออกไซด์ปรากฏความถี่ที่เลขคลื่นประมาณ 3425 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-OH) ของหมู่ไฮดรอกซิลและโมเลกุลของน้ำ พบแถบการสั่นความถี่ที่เลขคลื่นประมาณ 1629 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C=C) ของวงอะโรมาติก และพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1065 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C-O) ของแอลคอกซี หลังจากการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี พบว่าเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ความเข้มพีคตำแหน่ง (-OH), (-C=O) และ (-C-O) จะลดลงหรือหายไป เนื่องมาจากปฏิกิริยารีดักชันเพื่อกำจัดหมู่ออกซิเจนที่อยู่บนโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ ในขณะที่แถบยืดของพันธะ (-C=C) ของวงอะโรมาติกจะยังคงปรากฏให้เห็นเนื่องจากการหลุดออกของออกซิเจนทำให้เกิดการกลับสู่สภาพเดิมของวงอะโรมาติกภายหลังจากการรีดิวซ์

4.1.2.4 ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัม FT-IR ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที ปริมาณวิตามินซี 50, 100 และ 300 ไมโครลิตร ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



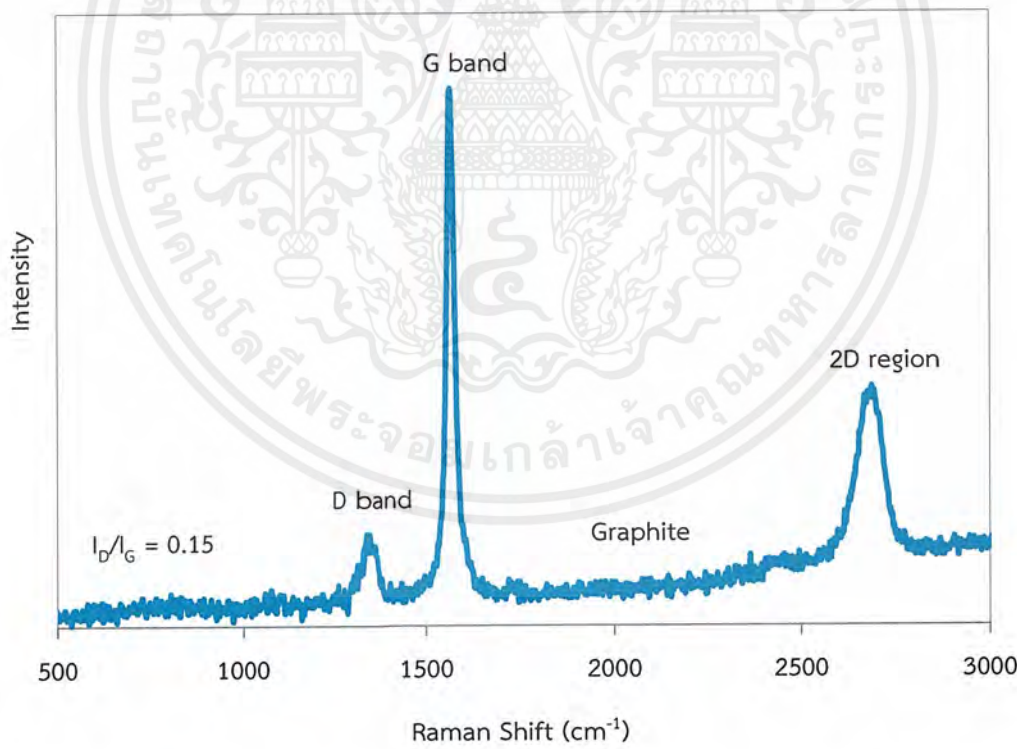
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟ FT-IR ของ กราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ภายใต้ปริมาณวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาที่ต่างกัน (a) กราฟีนออกไซด์ (b) 50 ไมโครลิตร (c) 100 ไมโครลิตร และ(d) 300 ไมโครลิตร

จากรูปที่ 4.11 พบแถบการสั่นของกราฟีนออกไซด์ปรากฏความถี่ที่เลขคลื่นประมาณ 3425 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-OH) ของหมู่ไฮดรอกซิลและโมเลกุลของน้ำ พบแถบการสั่นที่เลขคลื่นประมาณ 1629 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C=C) ของวงอะโรมาติก และพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1065 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C-O) ของแอลคอกซี หลังจากการรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี พบว่าเมื่อปริมาณวิตามินซีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ความเข้มพีคตำแหน่ง (-OH), (-C=O) และ (-C-O) จะลดลงหรือหายไป เนื่องมาจากปฏิกิริยารีดักชันเพื่อกำจัดหมู่ออกซิเจนที่อยู่บนโครงสร้างกราฟีนออกไซด์ ในขณะที่แถบยืดของพันธะ (-C=C) ของวงอะโรมาติกจะยังคงปรากฏให้เห็นเนื่องจากการหลุดออกของออกซิเจนทำให้เกิดการกลับสู่สภาพเดิมของวงอะโรมาติกภายหลังจากการรีดิวซ์

4.1.3 ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน

4.1.3.1 กราฟไฟต์

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน (Raman spectroscopy) ของกราฟไฟต์ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

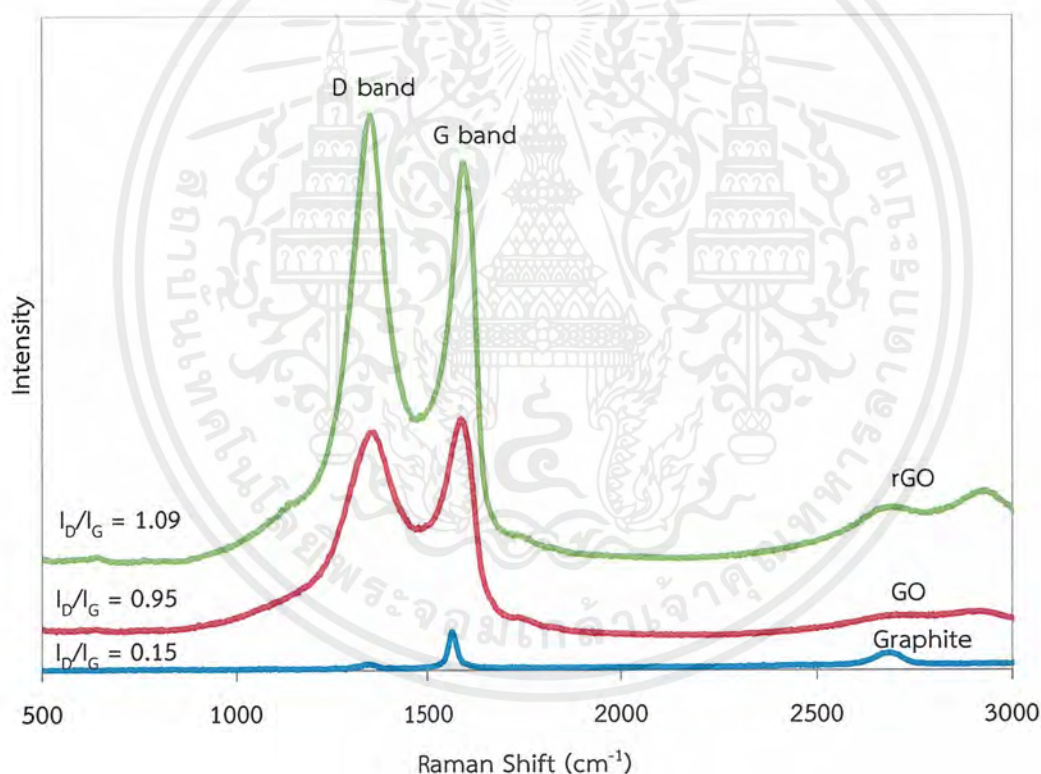


รูปที่ 4.12 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟไฟต์

จากรูปที่ 4.12 จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน อัตราส่วนของ I_D/I_G จะแสดงถึงความไม่เป็นระเบียบ (Defect) ของคาร์บอนในสเปกตรัม ซึ่ง Defect มากจะแสดงถึงความไม่เป็นระเบียบขององค์ประกอบคาร์บอนที่สูง และจากการทดลองพบว่าสเปกตรัมกราฟไฟต์ซึ่งอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G แสดง D band ที่ตำแหน่งประมาณ 1350 cm^{-1} และมี G band ที่ตำแหน่งประมาณ 1600 cm^{-1} โดยกราฟไฟต์มีอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G เท่ากับ 0.15 ความเป็นระเบียบและความเป็นผลึกสูง นอกจากนี้ยังพบ 2D ซึ่งเป็นฟิสิกเอกลักษณ์ของกราฟไฟต์อีกด้วย

4.1.3.2 กราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



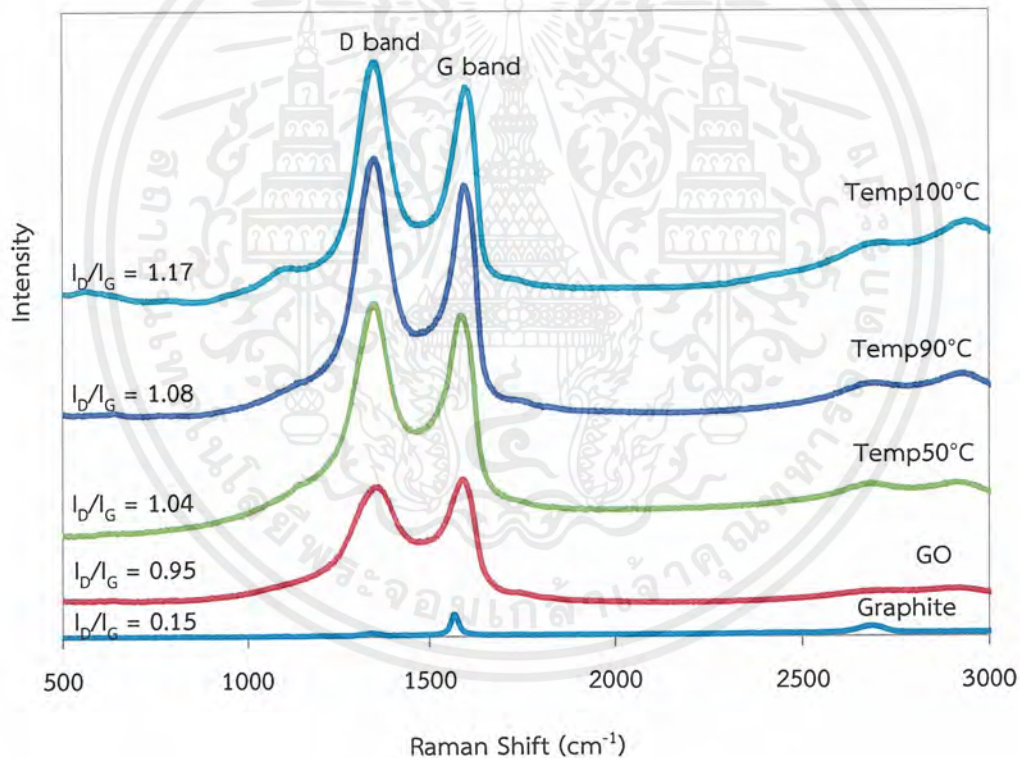
รูปที่ 4.13 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี

จากรูปที่ 4.13 พบว่า Defect ที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีส่งผลให้ฟิสิกของกราฟีนออกไซด์หายไป ในบริเวณ 2D เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันที่แทรกตัวและเกาะบนระนาบของโครงสร้างแผ่นกราฟีน

หลังจากผ่านปฏิกิริยารีดักชันพบว่าเกิดพีคที่ไม่สูงมากประมาณ 2700 cm^{-1} หลังจากการผ่านปฏิกิริยารีดักชันทำให้ Defect เพิ่มขึ้น ซึ่งจะไปทำลายลักษณะสัณฐานของกราฟีน สังเกตได้จากสเปกตรัมของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์แสดง D band ที่ตำแหน่งประมาณ 1350 cm^{-1} มีพีคสูงขึ้น โดยอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G เพิ่มขึ้นจาก 0.95 เป็น 1.09 และมี G band ที่ตำแหน่งประมาณ 1600 cm^{-1} นอกจากนี้ค่า G band มากกว่า D band แสดงให้เห็นว่าออกซิเจนถูกกำจัดไปบางส่วน มีการสร้างพันธะคู่เกิดขึ้น จึงทำให้มีความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างและรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงขนาดบนระนาบของคาร์บอนใน sp^2 [27]

4.1.3.3 ผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50, 90 และ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



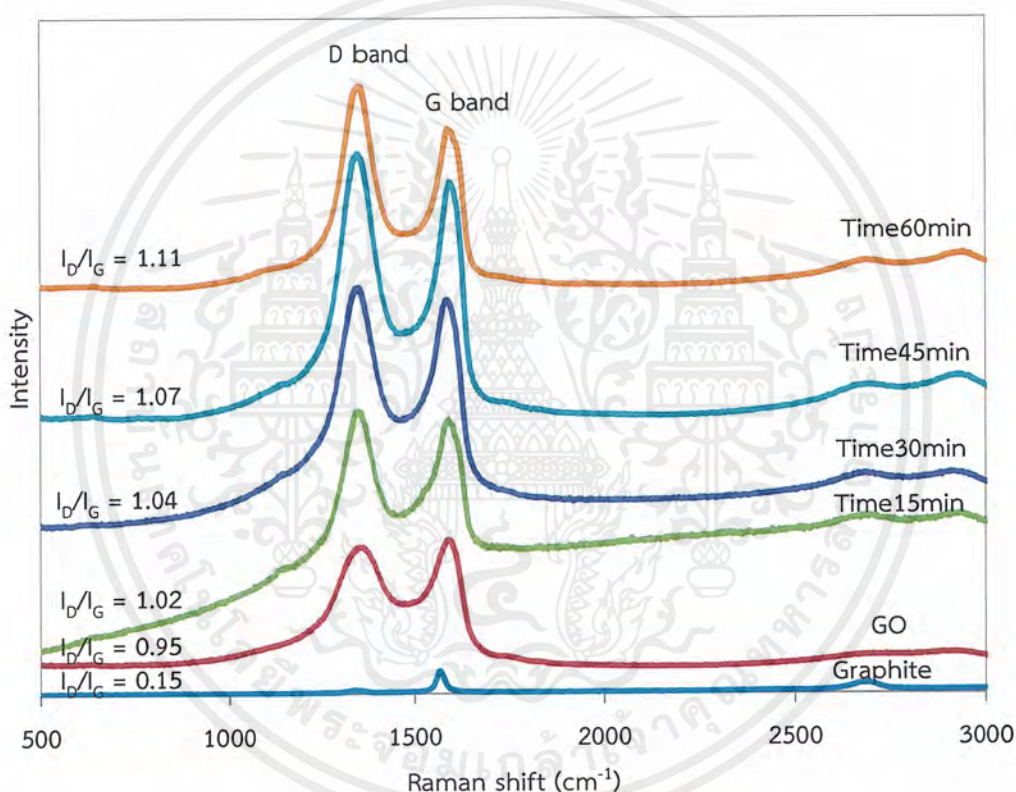
รูปที่ 4.14 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของ กราไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่อุณหภูมิ 50, 90 และ 100 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.14 ที่อุณหภูมิ 50, 90 และ 100 องศาเซลเซียส อัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เท่ากับ 1.04, 1.08 และ 1.17 ตามลำดับ พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราส่วน

ระหว่าง I_D/I_G ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ Defect เพิ่มขึ้นหลังจากการรีดิวซ์ในอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งเกิดความไม่เป็นระเบียบเมื่อออกซิเจนบางส่วนถูกกำจัดไปและรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงขนาดบนระนาบของคาร์บอนใน sp^2 [27]

4.1.3.4 ผลของการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการให้ความร้อน

ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการให้ความร้อน ที่ระยะเวลาในการให้ความร้อน 15, 30, 45 และ 60 นาที ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



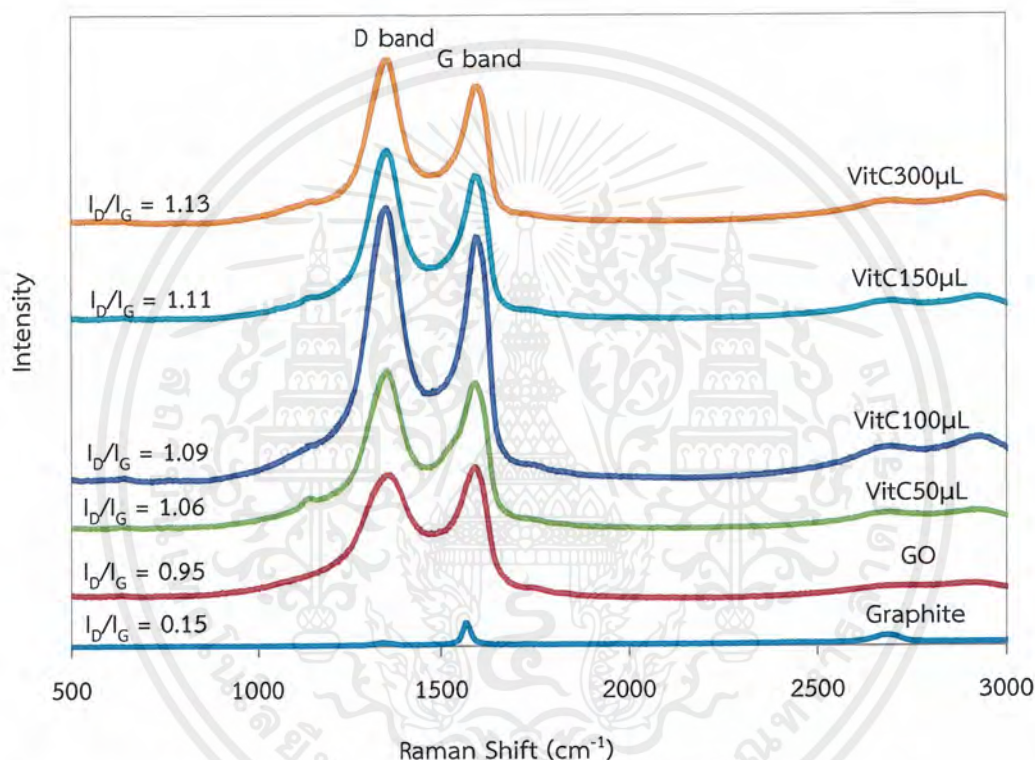
รูปที่ 4.15 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของ กราไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 15, 30, 45 และ 60 นาที

จากรูปที่ 4.15 ที่ระยะเวลาการให้ความร้อน 15, 30, 45 และ 60 นาทีอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G ของ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เท่ากับ 1.02, 1.04, 1.07 และ 1.11 ตามลำดับ พบว่าเมื่อระยะเวลาการให้ความร้อนเพิ่มขึ้นอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ Defect

เพิ่มขึ้น หลังจากการรีดิวซ์ในระยะเวลาการให้ความร้อนที่มากขึ้น ซึ่งเกิดความไม่เป็นระเบียบเมื่อออกซิเจนบางส่วนถูกกำจัดไปและรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงขนาดบรณนาบของคาร์บอนใน sp^2 [27]

4.1.3.5 ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี

ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี ที่ปริมาณวิตามินซี 50, 100, 150 และ 300 ไมโครลิตร ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

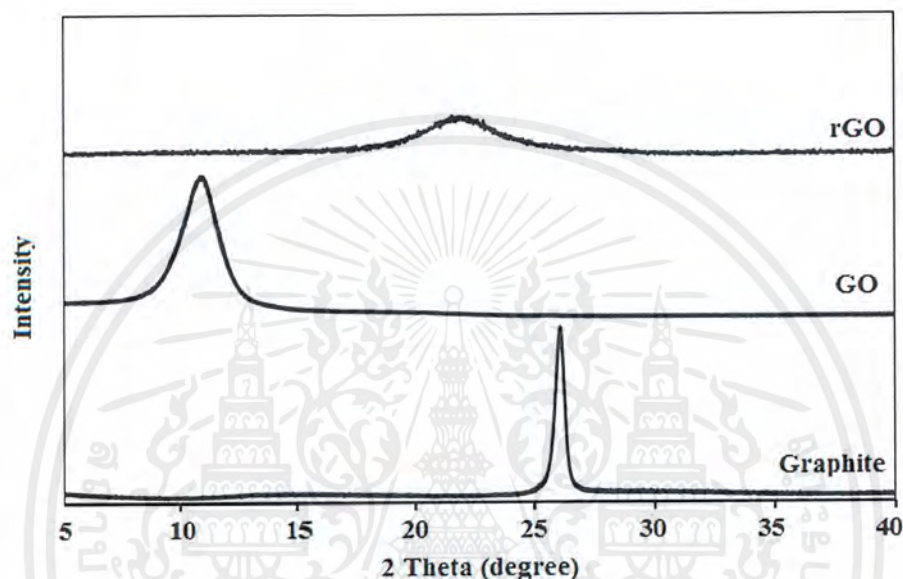


รูปที่ 4.16 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของ กราไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยปริมาณวิตามินซี 50, 100, 150 และ 300 ไมโครลิตร

จากรูปที่ 4.16 ที่ปริมาณวิตามินซี 50, 100, 150 และ 300 นาที่อัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เท่ากับ 1.06, 1.09, 1.11 และ 1.13 ตามลำดับ พบว่าเมื่อปริมาณวิตามินซี เพิ่มขึ้นอัตราส่วนระหว่าง I_D/I_G ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ Defect เพิ่มขึ้นหลังจากการรีดิวซ์ในปริมาณวิตามินซีที่มากขึ้น ซึ่งเกิดความไม่เป็นระเบียบเมื่อออกซิเจนบางส่วนถูกกำจัดไปและรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงขนาดบรณนาบของคาร์บอนใน sp^2 [27]

4.1.4 ผลการตรวจสอบลักษณะผลึกและอสัณฐาน

ผลการวิเคราะห์ลักษณะผลึกและอสัณฐานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของกราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffraction technique) เป็นเทคนิคที่อาศัยการเลี้ยวเบน และการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

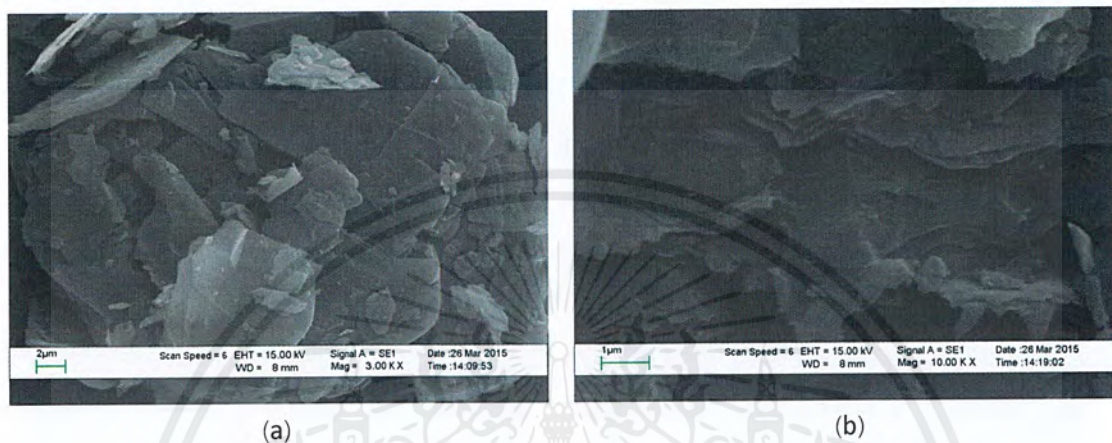


รูปที่ 4.17 แสดงรูปแบบ XRD ของกราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

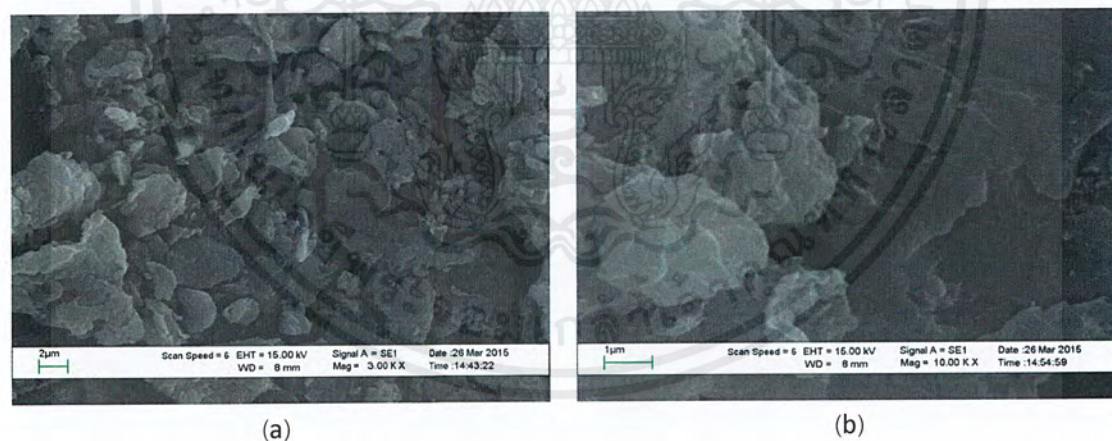
จากรูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของกราฟไฟต์พบพีคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่มุมการเลี้ยวเบน 2θ เท่ากับ 26.20° ที่เป็นลักษณะพื้นฐานของคาร์บอนอสัณฐาน มีระยะห่างระหว่างระนาบ 0.35 นาโนเมตร ส่วนกราฟีนออกไซด์ปรากฏพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 11.20° มีระยะห่างระหว่างระนาบ 0.79 นาโนเมตร ระยะห่างระนาบที่เปลี่ยนแปลงไป บ่งบอกถึงการมีหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนเกาะอยู่บริเวณขอบของกราฟีนออกไซด์ และเมื่อทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พบว่าจะไม่พบการปรากฏของพีคที่บริเวณ 11.20° ซึ่งสามารถยืนยันถึงการรีดิวซ์ที่สมบูรณ์และพีคเกิดการเลื่อนตำแหน่งไปที่มุม 2θ เท่ากับ 22.40° ซึ่งพีคจะกว้างขึ้นเนื่องจากความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้างและมีระยะห่างระหว่างระนาบ 0.40 นาโนเมตร โดยจากการเลื่อนไปของพีคบ่งบอกว่ากราฟีนจะมีระยะห่างระหว่างชั้นที่น้อยกว่ากราฟีนออกไซด์ เนื่องจากมีหมู่ออกซิเจนบางส่วนที่หลุดออกไปจากโครงสร้าง โดยยืนยันยืนยันความเป็นผลึกที่ลดลงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.1.5 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของสารในระดับจุลภาค

ผลการทดสอบด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เพื่อศึกษาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของกราฟไฟต์ และกราฟีนออกไซด์ ในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยทำการวัดที่กำลังขยาย 3000 เท่า และ 10000 เท่า ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.18 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM (a) กราไฟต์กำลังขยาย 3000 เท่า (b) กราไฟต์กำลังขยาย 10000 เท่า



รูปที่ 4.19 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM (a) กราฟีนออกไซด์กำลังขยาย 3000 เท่า (b) กราฟีนออกไซด์กำลังขยาย 10000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 และ 4.19 การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของกราไฟต์ และกราฟีนออกไซด์ที่กำลังขยาย 3000 เท่าและ 10000 เท่า พบว่ากราไฟต์จะมีเกรนขนาดใหญ่ เป็นลักษณะแผ่นซ้อนทับกันเป็นระเบียบ ส่วนกราฟีนออกไซด์จะมีเกรนขนาดเล็กและแยกออกจากกันเป็นแผ่นขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับกราไฟต์เริ่มต้น

4.1.6 ผลการทดสอบสมบัติการนำไฟฟ้าเบื้องต้น

ผลการทดสอบสมบัติการนำไฟฟ้าเบื้องต้นของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าด้วยเครื่องมือมัลติมิเตอร์ (Multimeter) โดยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการให้ความร้อน และการเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า โดยที่เงื่อนไขคือ ปริมาณกราฟีนออกไซด์ 1000 ไมโครลิตร ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร เวลา 20 นาที อุณหภูมิ 50, 70, 90 และ 100 องศาเซลเซียสตามลำดับ

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความต้านทาน (กิโลโอห์ม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	-	-	-	-
70	-	-	-	-
90	-	-	-	-
100	0.03×10^3	0.03×10^3	0.03×10^3	$0.03 \times 10^3 \pm 0.00$

จากตารางที่ 4.5 การทดสอบสมบัติการนำไฟฟ้าของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ พบว่าที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 90 องศาเซลเซียส ไม่ปรากฏค่าความต้านทานไฟฟ้า และที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ปรากฏค่าความต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 0.03×10^3 กิโลโอห์ม ซึ่งจากค่าความต้านทานไฟฟ้าสามารถยืนยันได้ว่าของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์บางเงื่อนไขมีสมบัติการนำไฟฟ้าคล้ายกับกราฟีน

อ

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า โดยที่เงื่อนไขคือ ปริมาณกราฟีนออกไซด์ 1000 ไมโครลิตร ปริมาณวิตามินซี 100ไมโครลิตร อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ

เวลา (นาที)	ค่าความต้านทาน (กิโลโอห์ม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
15	-	-	-	-
30	-	-	-	-
45	0.63×10^3	0.60×10^3	0.68×10^3	$0.64 \times 10^3 \pm 0.40 \times 10^2$
60	1.40×10^3	1.30×10^3	1.48×10^3	$1.39 \times 10^3 \pm 0.90 \times 10^2$

จากตารางที่ 4.6 การทดสอบสมบัติการนำไฟฟ้าของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการให้ความร้อน พบว่าที่ระยะเวลา 15 นาทีและ 30 นาทีไม่ปรากฏค่าความต้านทานไฟฟ้าและที่ระยะเวลา 45 นาที และ 60 นาทีปรากฏค่าความต้านทานไฟฟ้าเท่ากับ 0.64×10^3 และ 1.39×10^3 กิโลโอห์ม ซึ่งจากค่าความต้านทานไฟฟ้าสามารถยืนยันได้ว่าของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์บางเงื่อนไขมีสมบัติการนำไฟฟ้าคล้ายกับกราฟีน

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า โดยที่เงื่อนไขคือ ปริมาณกราฟีนออกไซด์ 1000 ไมโครลิตร อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที ปริมาณวิตามินซี 50, 100, 150 และ 300 ไมโครลิตร ตามลำดับ

ปริมาณวิตามินซี (ไมโครลิตร)	ค่าความต้านทาน (กิโลโอห์ม)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	-	-	-	-
100	13.03×10^3	11.27×10^3	16.90×10^3	$13.73 \times 10^3 \pm 2.88 \times 10^3$
150	26.40×10^3	28.37×10^3	29.53×10^3	$28.10 \times 10^3 \pm 1.58 \times 10^3$
300	1.11×10^3	1.20×10^3	1.08×10^3	$1.13 \times 10^3 \pm 0.62 \times 10^2$

จากตารางที่ 4.7 การทดสอบสมบัติการนำไฟฟ้าของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี พบว่าที่ปริมาณวิตามินซี 50 ไมโครลิตร ไม่ปรากฏค่าความต้านทานไฟฟ้าและที่ปริมาณวิตามินซี 100, 150 และ 300 ไมโครลิตร ปรากฏค่าความต้านทานไฟฟ้าในช่วง

ประมาณ 1.13×10^{-3} - 28.10×10^{-3} กิโลโห์ม ซึ่งจากค่าความต้านทานไฟฟ้าสามารถยืนยันได้ว่าของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์บางเงื่อนไขมีสมบัติการนำไฟฟ้าคล้ายกับกราฟีน

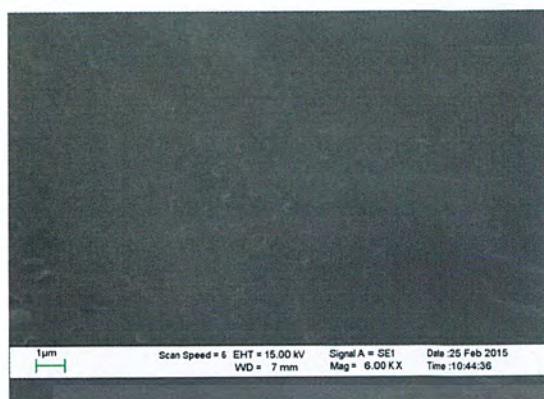
4.2 การศึกษาคุณลักษณะของแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.2.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของสารในระดับจุลภาค

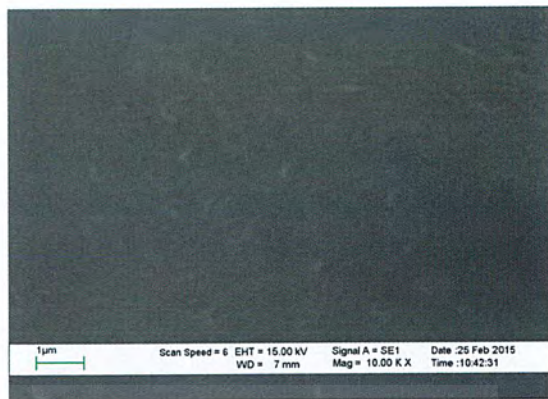
ผลการศึกษาลักษณะพื้นฐานวิทยาของแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด Scanning Electron Microscope โดยทำการวัดที่กำลังขยาย 6000 เท่า และ 10000 เท่า โดยทำการศึกษาจำนวน 3 ตัวอย่าง คือ แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและแผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงบริเวณพื้นผิว (Surface) ของ (a) แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 10000 เท่า

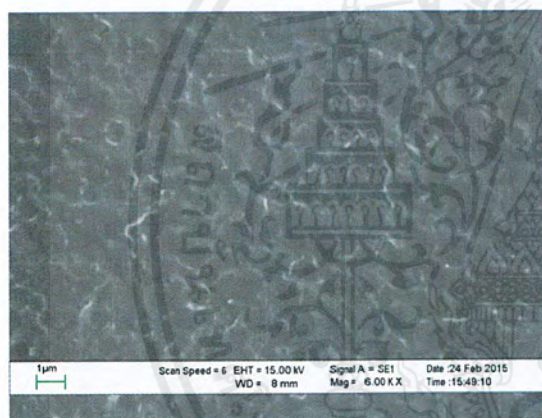


(a)

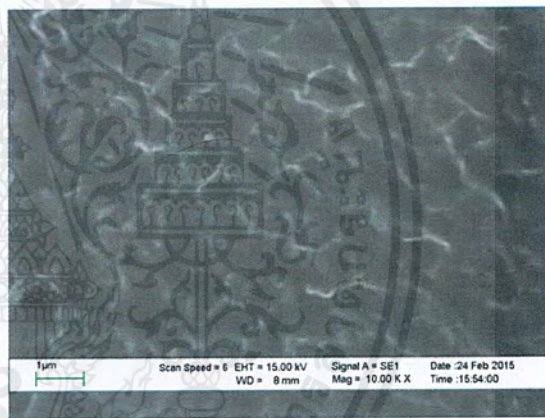


(b)

รูปที่ 4.21 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของ (a) แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่เติมรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางธรรมชาติที่ไม่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กำลังขยาย 10000 เท่า

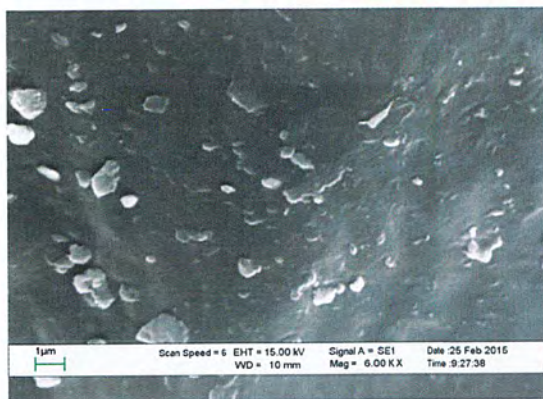


(a)

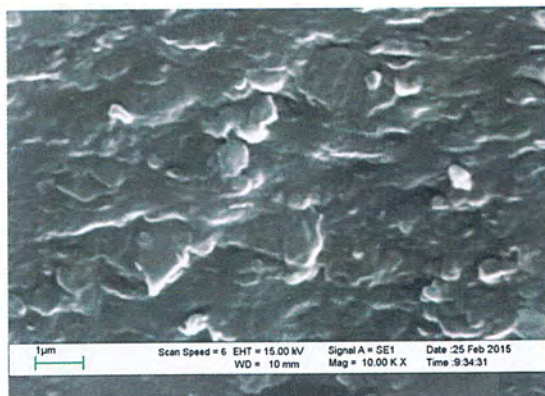


(b)

รูปที่ 4.22 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงพื้นผิว (Surface) ของ (a) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกำลังขยาย 10000 เท่า

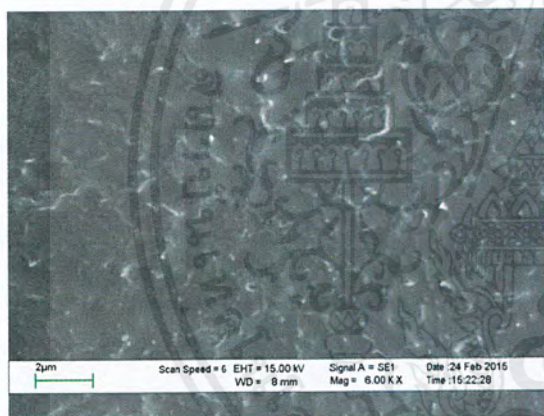


(a)

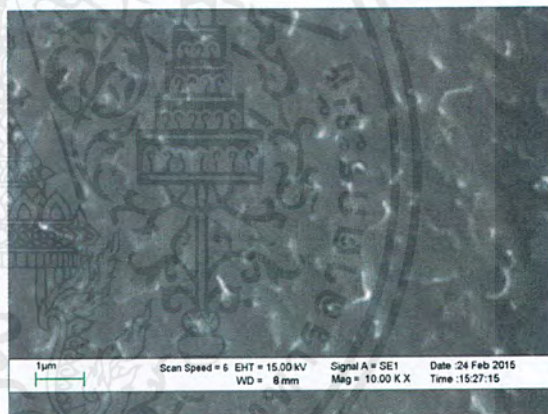


(b)

รูปที่ 4.23 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของ (a) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกำลังขยาย 10000 เท่า

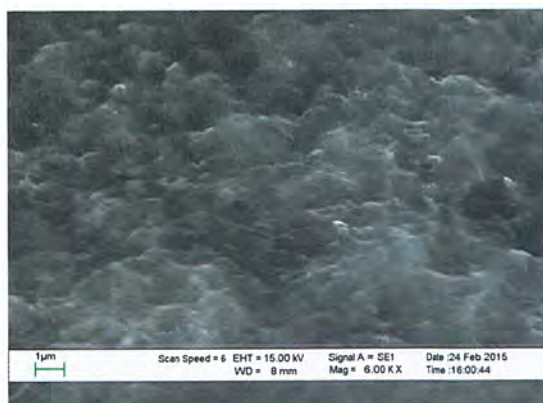


(a)



(b)

รูปที่ 4.24 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงพื้นผิว (Surface) ของ (a) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกำลังขยาย 10000 เท่า



(a)



(b)

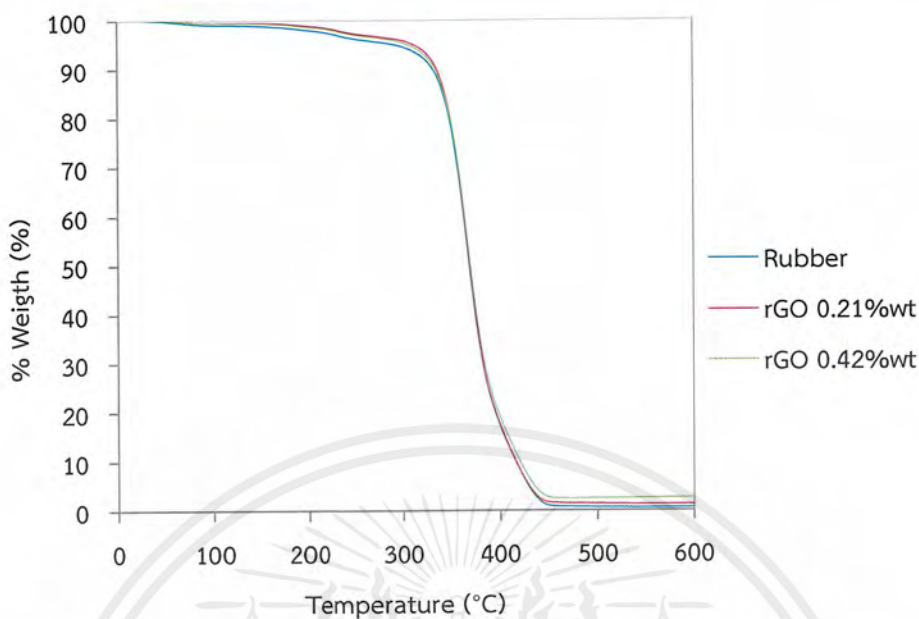
รูปที่ 4.25 ภาพถ่ายจากกล้อง SEM แสดงภาพตัดขวาง (Cross section) ของ (a) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกำลังขยาย 6000 เท่า (b) แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักกำลังขยาย 10000 เท่า

จากรูปที่ 4.20 ถึงรูปที่ 4.25 ผลการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของแผ่นยางธรรมชาติ แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และแผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่กำลังขยาย 6000 เท่าและ 10000 เท่า พบว่าบริเวณพื้นผิว (Surface) และบริเวณภาพตัดขวาง (Cross Section) ของแผ่นยางธรรมชาติมีลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน ในขณะที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และแผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักลงไปทำให้บริเวณพื้นผิวของแผ่นยางผสมจะมีลักษณะขรุขระ เนื่องจากการกระจายตัวของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในแผ่นยางผสม ส่วนบริเวณภาพตัดขวางจะเห็นลักษณะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมลงไปกระจายตัวในแผ่นยางผสมที่ชัดเจนเป็นลักษณะเกรนขนาดเล็ก นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลทำให้แผ่นยางผสมมีลักษณะการกระจายตัวของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในแผ่นยางผสมลดลงจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและยังส่งผลต่อสมบัติเชิงกลอีกด้วย

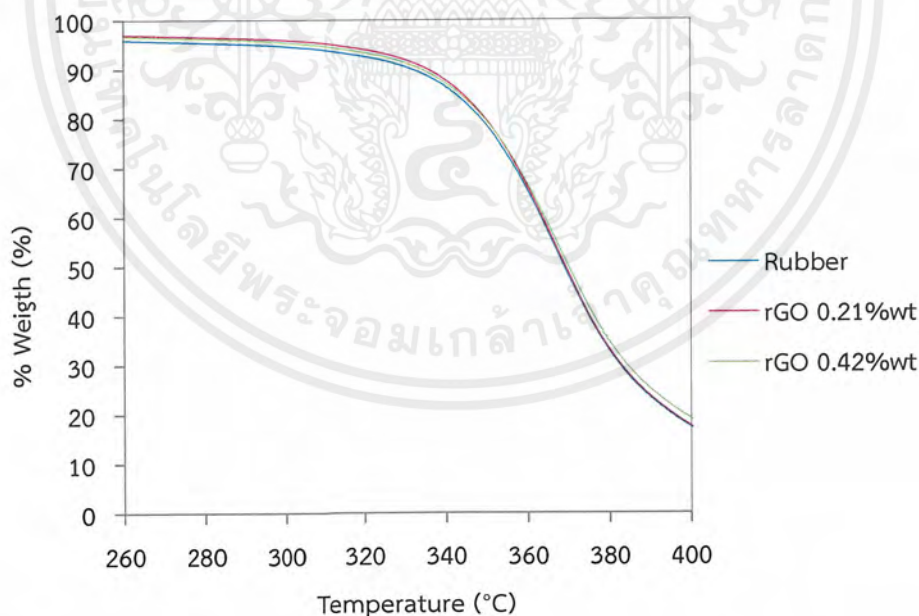
4.2.2 ผลการวิเคราะห์เชิงความร้อน

การศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermogravimetric Analysis (TGA) จะทำให้ทราบถึงความเสถียรภาพทางความร้อนของสารโดยข้อมูลจากการศึกษาเทอร์โมแกรม ของแผ่นยางธรรมชาติแผ่นยางผสมยางธรรมชาติที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แสดง Thermogram ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



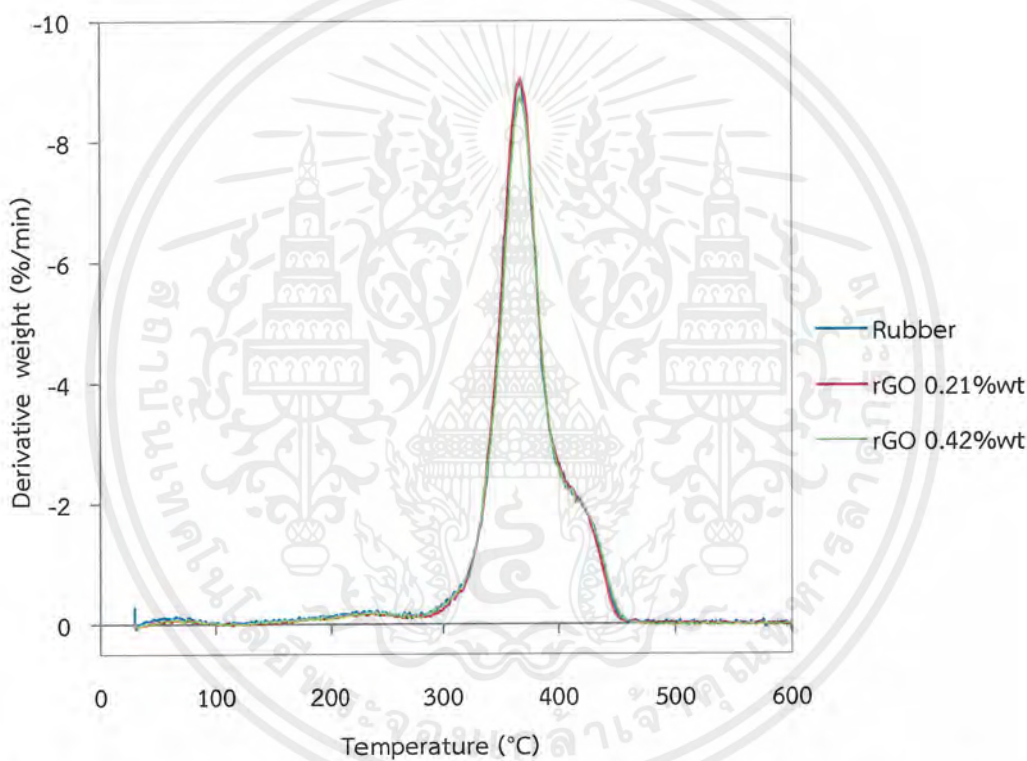
รูปที่ 4.26 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % weight กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปจากการสลายตัวของแผ่นยางธรรมชาติ แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและแผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 4.27 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % weight กับอุณหภูมิในช่วง 260 ถึง 400 องศาเซลเซียสที่เปลี่ยนไปจากการสลายตัวของแผ่นยางธรรมชาติแผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.26 และรูปที่ 4.27 พบว่าแผ่นยางธรรมชาติมีการสลายตัวอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 344.5 องศาเซลเซียส โดยมีร้อยละน้ำหนักเท่ากับ 86.71 เปอร์เซ็นต์ แผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การสลายตัวอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 344.8 องศาเซลเซียส โดยมีร้อยละน้ำหนักเท่ากับ 82.18 เปอร์เซ็นต์ และแผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักการสลายตัวอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 344.3 องศาเซลเซียส โดยมีร้อยละน้ำหนักเท่ากับ 82.02 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการทดลองพบว่าเมื่อมีการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงไปแผ่นยางผสมจะมีแนวโน้มของอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวเพิ่มขึ้น และทนความร้อนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงไปแผ่นยางผสมในปริมาณที่มากเกินไป จะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพความทนต่อความร้อนดังกล่าวนั้นลดลง



รูปที่ 4.28 แสดงกราฟ DTG ของแผ่นยางธรรมชาติแผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

จากรูปที่ 4.28 แผ่นยางธรรมชาติแผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและแผ่นยางผสมที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักจากการทดลองพบว่าเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 240.9, 239.9 และ 239.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ การสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 367.2, 422.0 และ 366.8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และสิ้นสุดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 425.0, 368.3 และ 425.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงไปจะมี

อุณหภูมิการสลายตัวสูงสุดมากกว่าแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และแผ่นยางที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ยังมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่าแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.2.3 ผลการศึกษาสมบัติเชิงกล

เป็นการศึกษาสมบัติเชิงกล (Tensile Testing) โดยการทดสอบความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และหาความสัมพันธ์ของสมบัติเชิงกลโดยปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมคือ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



(a)



(b)



(c)

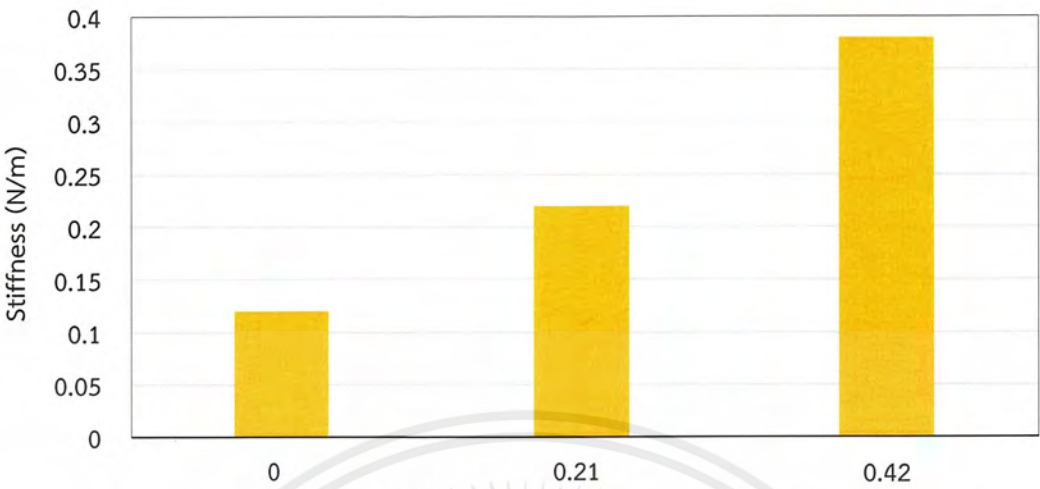
รูปที่ 4.29 แสดงตัวอย่างก่อนนำไปวัดทดสอบความแข็งแรงถึง (a) ยางธรรมชาติ (b) ที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (c) ที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.8 ค่าการทดสอบการดึงแผ่นยางผสมยางธรรมชาติที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณต่างๆ

ปริมาณรีดิวซ์กราฟีน ออกไซด์ที่เติม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	Stiffness (นิวตัน/เมตร)			Young's Modulus (เมกะปาสคาล)		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
0	0.09	0.14	0.12	0.87	1.01	0.94
0.21	0.17	0.27	0.22	2.00	2.18	2.09
0.42	0.38	0.38	0.38	5.61	5.25	5.43

ปริมาณรีดิวซ์กราฟีน ออกไซด์ที่เติม (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)	Load at Break (นิวตัน)			Stress at Maximum Load (เมกะปาสคาล)		
	1	2	เฉลี่ย	1	2	เฉลี่ย
0	0.40	0.53	0.47	0.49	0.49	0.49
0.21	0.20	0.20	0.20	0.38	0.39	0.39
0.42	0.17	0.17	0.17	0.33	0.35	0.34

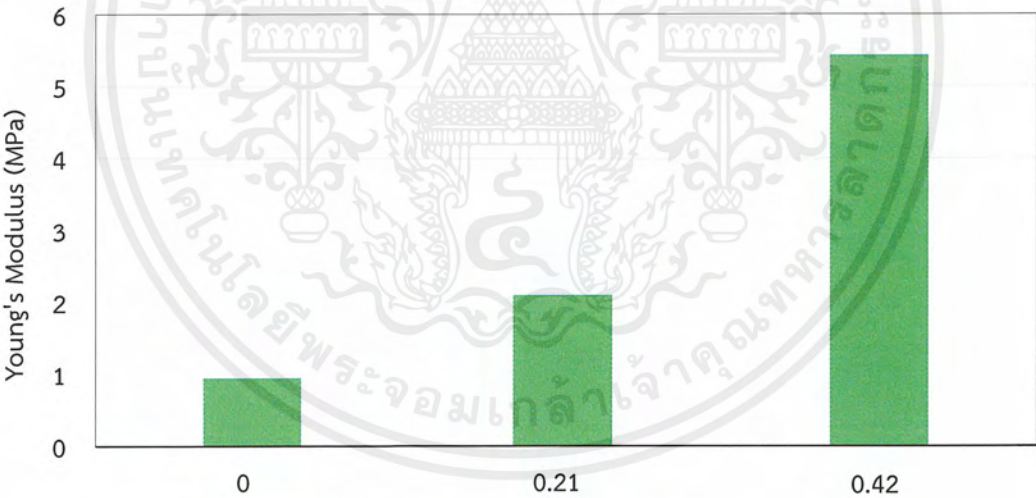
จากผลการศึกษาความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของตัวอย่างที่นำการทดสอบ สามารถแสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างแต่ละตัวอย่างที่มีปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมในแผ่นยางธรรมชาติแตกต่างกันได้ดังต่อไปนี้



ปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมในแผ่นยางธรรมชาติ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

■ Stiffness

รูปที่ 4.30 แสดงการเปรียบเทียบค่า Stiffness (นิวตันต่อเมตร) ของแผ่นยางผสม

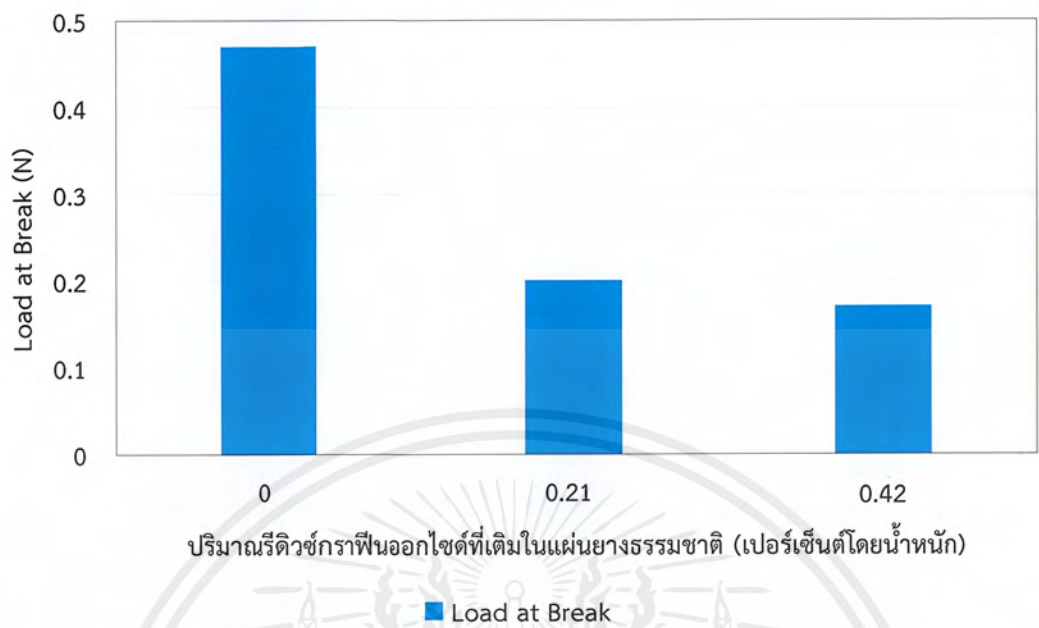


ปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เติมในแผ่นยางธรรมชาติ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)

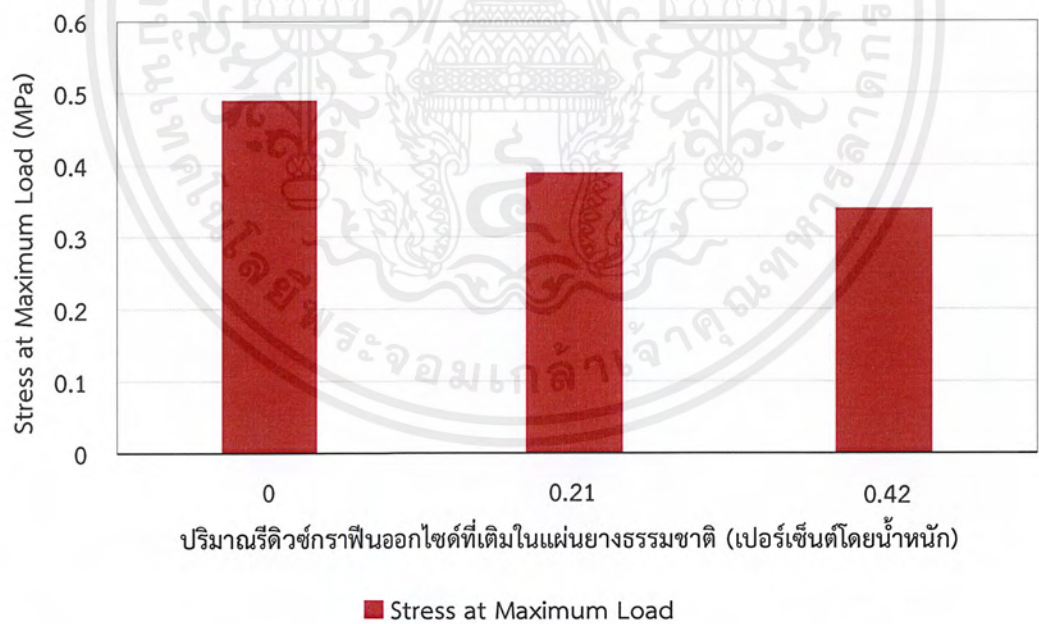
■ Young's Modulus

รูปที่ 4.31 แสดงการเปรียบเทียบค่า Young's Modulus (เมกะปาสกาล) ของแผ่นยางผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32 แสดงการเปรียบเทียบค่า Load at Break (นิวตัน) ของแผ่นยางผสม



รูปที่ 4.33 แสดงการเปรียบเทียบค่า Stress at Maximun Load (เมกะปาสกาล) ของแผ่นยางผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 พบว่าเมื่อเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในแผ่นยางธรรมชาติเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) และค่าการคงรูป (Stiffness) ของแผ่นยางผสมมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ในขณะเดียวกันค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) เนื่องจากเกิดการเสียสภาพของสายโซ่พอลิเมอร์ ส่งผลทำให้ค่าแรงดึงที่จุดขาดลดลง และการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงไปในยางธรรมดานั้นทำให้ Chain mobility ลดลง และเกิด Defects จึงทำให้ค่า Stress ลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นยางผสมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีคุณสมบัติเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงแต่เปราะ



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการศึกษาคุณลักษณะของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากการศึกษาโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer) พบว่ากราฟีนออกไซด์จะปรากฏพีคที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร ($\pi - \pi^*$) และ 300 นาโนเมตร ($n - \pi^*$) หลังจากทำการรีดิวซ์เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จะเกิดการเลื่อนตำแหน่งของพีคที่มีความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร ไปในทิศทางที่มีความยาวคลื่นเพิ่มมากขึ้น และในขณะเดียวกัน พีคที่มีความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร จะไม่ปรากฏให้เห็น แสดงให้เห็นว่ากราฟีนออกไซด์ถูกรีดิวซ์ให้เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) พบว่ากราฟีนออกไซด์ จะพบแถบการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) อะโรมาติก (-C=C) หมู่คาร์บอนิล (-C=O) หมู่อีพอกซี (-C-O-C) และหลังจากการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี พบว่าแถบการสั่นของ หมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) หมู่คาร์บอนิล (-C=O) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) จะมีความเข้มลดต่ำลงหรือไม่ปรากฏให้เห็น ในขณะที่แถบการสั่นของอะโรมาติก (-C=C) จะยังคงปรากฏให้เห็นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ระยะเวลาในการให้ความร้อน และปริมาณวิตามินซี

จากการศึกษาด้วยเทคนิครามาน (Raman Spectroscopy) พบว่าพีคสเปคตรัมของ D band ที่ตำแหน่ง 1351 cm^{-1} พบพีคสเปคตรัมของ G band ที่ตำแหน่ง 1600 cm^{-1} ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จะมีอัตราส่วนของ I_D/I_G เพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ระยะเวลาในการให้ความร้อน และปริมาณวิตามินซี เนื่องมาจากความไม่ระเบียบหรือความไม่เป็นผลึกภายในโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้เพิ่มขึ้นนั่นเอง

จากการวิเคราะห์ลักษณะผลึกและออสันฐานด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบว่ากราฟีนไฟต์ออกไซด์ จะปรากฏพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 11.20° มีระยะห่างระหว่างระนาบ 0.79 นาโนเมตร และหลังจากทำการรีดิวซ์เป็นกราฟีนไฟต์ออกไซด์ด้วยวิตามินซีแล้วจะพบพีคที่มุม 2θ เท่ากับ 22.40° มีระยะห่างระหว่างระนาบ 0.40 นาโนเมตร เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันบางหมู่ที่อยู่ระหว่างชั้นของกราฟีนไฟต์ออกไซด์ได้ถูกกำจัดออกไปจากโครงสร้าง

จากการวิเคราะห์ทางด้านสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของกราฟีนไฟต์ออกไซด์ พบว่ากราฟีนไฟต์ออกไซด์จะมีขนาดเกรนเล็กลง และแยกออกจากกันเป็นแผ่นขนาดเล็ก เมื่อเทียบกับกราฟีนไฟต์เริ่มต้น

จากการวิเคราะห์ทางด้านสมบัติทางไฟฟ้าเบื้องต้นด้วยเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Multimeter) พบว่ากราฟีนออกไซด์ จะไม่มีความสามารถในการนำไฟฟ้า และหลังจากทำการรีดิวซ์พบว่าบางเงื่อนไขมีค่าความต้านทานไฟฟ้าอยู่ในช่วงประมาณ 0.03×10^3 ถึง 28.10×10^3 กิโลโอห์ม แสดงให้เห็นว่า กราฟีนออกไซด์ถูกรีดิวซ์ให้สมบัติการนำไฟฟ้าเช่นเดียวกับกราฟีน

5.2 ผลการศึกษาคุณลักษณะของแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากการวิเคราะห์ทางด้านสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าแผ่นยางธรรมชาติที่ไม่ได้มีการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พื้นผิวจะมีลักษณะเรียบเป็นเนื้อเดียวกัน และหลังจากทำการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ลงในยางธรรมชาติ จะพบว่าที่พื้นผิวโดยทั่วไปจะมีความขรุขระ ซึ่งเกิดจากการกระจายตัวของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในยางธรรมชาติ แต่เมื่อเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มากขึ้นเป็น 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากการวิเคราะห์เชิงความร้อนด้วยเครื่องวิเคราะห์เชิงความร้อน (TGA) พบว่าเมื่อมีการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงในยางธรรมชาติจะช่วยให้แผ่นยางผสมยางธรรมชาติมีเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับยางธรรมชาติเพียงอย่างเดียว และพบว่าในกรณีที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะมีเสถียรภาพทางความร้อนที่ดีกว่าที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก เนื่องจากการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะเกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากการทดสอบความแข็งแรงดึงยืด (Tensile Test) พบว่าเมื่อเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในแผ่นยางธรรมชาติเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ค่ามอดูลัสของยัง (Young's modulus) และค่าการคงรูป (Stiffness) ของแผ่นยางผสมมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ในขณะเดียวกันค่าแรงดึงที่จุดขาด (Load at break) ลดลง เนื่องจากเกิดการเสียสภาพของสายโซ่พอลิเมอร์ ส่งผลทำให้ค่าแรงดึงที่จุดขาดลดลง และการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงไปในยางธรรมชาตินั้นทำให้ chain mobility ลดลง และเกิด defects จึงทำให้ค่า Stress ลดลง

5.3 ข้อเสนอแนะ

- 1) ในงานวิจัยครั้งนี้พบว่าวิตามินซีสามารถใช้ในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการใช้วิตามินซีที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ผักและผลไม้ ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ทดแทนได้
- 2) ในงานวิจัยนี้ตัวรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมขึ้นได้นั้นยังเก็บไว้ได้ไม่นาน (7-14 วัน) จะเกิดการเสียสภาพไม่กระจายตัวในน้ำทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ดังนั้นจึงควรมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาในเรื่องของตัวทำลายเพื่อใช้ในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ให้ได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีเสถียรภาพ และมีระยะเวลาในการใช้งานที่นานขึ้น

- 3) ในขั้นตอนการขึ้นรูปแผ่นยางผสมยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ควรมีแบบพิมพ์ที่มีลักษณะเรียบและในการเทขึ้นรูปแผ่นยางผสมไม่ควรให้มีฟองอากาศ จะทำให้ได้แผ่นยางผสมที่มีความหนาสม่ำเสมอ และต้องมีฝาครอบป้องกันฝุ่นหรือสารอื่นๆเข้าไปเจือปน
- 4) ศึกษาสมบัติที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมเพื่อให้แผ่นยางผสมสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลายมากขึ้น เช่น สมบัติในการนำไฟฟ้า ความคงทนเมื่อทิ้งไว้นาน และสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] X. Zhu, Q. Liu, X. Zhu, C. Li, M. Xu and Y. Liang. "Reduction of grapheme oxide via ascorbic acid and its application for simultaneous detection of dopamine and ascorbic acid." *Int. J. Electrochem. Sci.* 7(2012) : 5172-5184.
- [2] J. Gao, F. Liu, Y. Liu, N. Ma, Z. Wang and X. Zhang, "Environment-friendly method to produce grapheme that employs vitamin C and amino acid" *Chem. Mater.* 22(2010) : 2213-2218.
- [3] M. J. Fernandez-Merino, L. Guardia, J. I. Paredes, S. Billar-Rodil, P. Solis-Fernandez, A. Martinez-Alonso and J. M. D. Tascon. "Vitamin C is an ideal substitute for hydrazine in the reduction of graphene oxide suspension." *J. Phys. Chem.* 114(2010) : 6426-6432.
- [4] R. Beraldo. 2015. **Bonding and Properties of materials.** [Online]
Available : <http://www.bbc.co.uk/education/guides/zjgmn39/revision/1>
- [5] H. Perch. 2007. **Nanotechnology.** [Online].
Available : <http://www.understandingnano.com/buckyball.jpg>
- [6] J. Sloan. 2010. **Functionalization.** [Online].
Available:<http://www.compositesworld.com/articles/the-key-to-cnts-functionalization>
- [7] B.P. Grady, F. Pompeo, R.L. Shambaugh and D.E. Resasco. "Nucleation of Polypropylene Crystallization by Single-Walled Carbon Nanotubes". *Journal of Physical Chemistry B.* 106(2002) : 52-58.
- [8] A. K. Geim and A. H. "Graphene: Exploring Carbon Flatland." *MacDonald in Physics Today.* 60(2007) : 35-41.
- [9] Y. Zhang, J. P. Small, W. V. Pontius and P. Kim. "Fabrication and electric-field Dependent Transport Measurements of Mesoscopic Graphite Devices." *Appl. Phys. Lett.* 86(2005) : 1-3.
- [10] K. S. Novoselov, A K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos and I. V. Firsov Grigorieva. "Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films." *Science.* 306(2004) : 666-669
- [11] C. R. Dean, A. F. Young, I. Meric, C. Lee, L. Wang and S. Sorgenfrei. "Boron nitride substrates for high-quality graphene electronics." *Nat. Nanotech.* 5(2010) : 722-726.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] I. Forbeaux, J. Themlin and J. Debever. "high-temperature graphitization of the 6H-SiC(00101)face." *Surf. Sci.* 442(1999) : 9-18.
- [13] P. Sutter. "Epitaxial praphene: How Silicon leaves the scene." *Nat. Mater.* 8(2009) : 171-172.
- [14] K. V. Emtsev, A. Bostwick, K. Horn, J. Jobst, G. L. Kellogg, L. Ley, J. L. McChesney, T. Ohta, S. A. Reshanov, J. Rohrl, E. Rotenberg, A. K. Schmid, D. Waldmann, H. B. Weber and T. Seyller. "Towards wafer-size graphene layers by atmospheric pressure graphitization of silicon carbide." *Nat. Mater.* 8(2009) : 203.
- [15] S. Pei and H. Cheng "The reduction of grapheme oxide" *Carbon.* 50(2011) : 3210-3228.
- [16] M. Congqin, Z. Churan, L. Owen and X. Ya-Hong "Chemical Vapor Deposition of Graphene." *In Physics and Applications of Graphene – Experiment; Mikhailov, S. Ed.; In Tech :Rijeka.* 2011 : 37-44.
- [17] K.Smbati. 2014. **Graphene.** [Online].
Avaliable : <https://sites.google.com/site/cs5404061636216/khorng-ngan-wicay/khunsmbati-khxng-kaerfin-grapheme>
- [18] S.C. Rumsey, M. Levine. "Absorption, transport, and disposition of ascorbic acid in humans." *The Journal of Nutritional Biochemistry.* 3(1998) : 116-130.
- [19] วีระชัย แสงฉาย. "สมบัติของยางธรรมชาติที่ผสมท่อนาโนคาร์บอนและนาโนเคลย์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2554.
- [20] รศ.ดร.จิตต์ลัดดา ศักดาภิพาณิชย์. "เทคโนโลยียางธรรมชาติ (Natural Rubber Technology)." ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, 2554.
- [21] [Online]. Avaliable : <http://www.nstda.or.th/nstda-knowledge/3895-graphene>
- [22] H. Hu, X. Wang, J. Wang, L. Wan, F. Liu , H. Zheng, R. Chen, C. Xu. "Preparation and properties of graphene nanosheets-polystyrene nanocomposites via insitu emulsion polymerization." *Chemical Physics Letters.* 484(2010) : 247-253.
- [23] S. Park, J. An, J.R. Potts, A. Velamakanni, S. Murali, and R.S. Ruoff. "Hydrazine-reduction of graphite- and graphene oxide." *CARBON.* 49(2011) : 3019 – 3023.
- [24] C.K. Chua and M. Pumera, "Reduction of graphene oxide with substituted borohydrides." *Journal of Materials Chemistry A.* 1(2013) : 1892-1898.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [25] A. Abulizi, K. Okitsu and J. Zhu, "Ultrasound assisted reduction of grapheme oxide to grapheme in L-ascorbic aqueous solutions: Kinetic and effects of various factors on the rate of grapheme formation." *Ultrasound Sonochemistry*. 36(2014): 1174-1181.
- [26] N. Yan, G. Buonocore, M. Lavorgna, S. Kaciulis, S.K Balijepalli, Y. Zhan, H. Xia and L. Ambrosio. "The role of reduced graphene oxide on chemical mechanical and barrier properties of natural rubber composites." *Composites Science and Technology*. 6(2014): 74-81
- [27] Z. Fan, W. Kai, J. Yan, T. Wei, L. Zhi, J. Feng, Y. Ren, L. Song and F. Weis "Facile Synthesis of Graphene Nanosheets via Fe Reduction of Exfoliated Graphite Oxide." *American Chemical Society*. 5(2011): 191-198





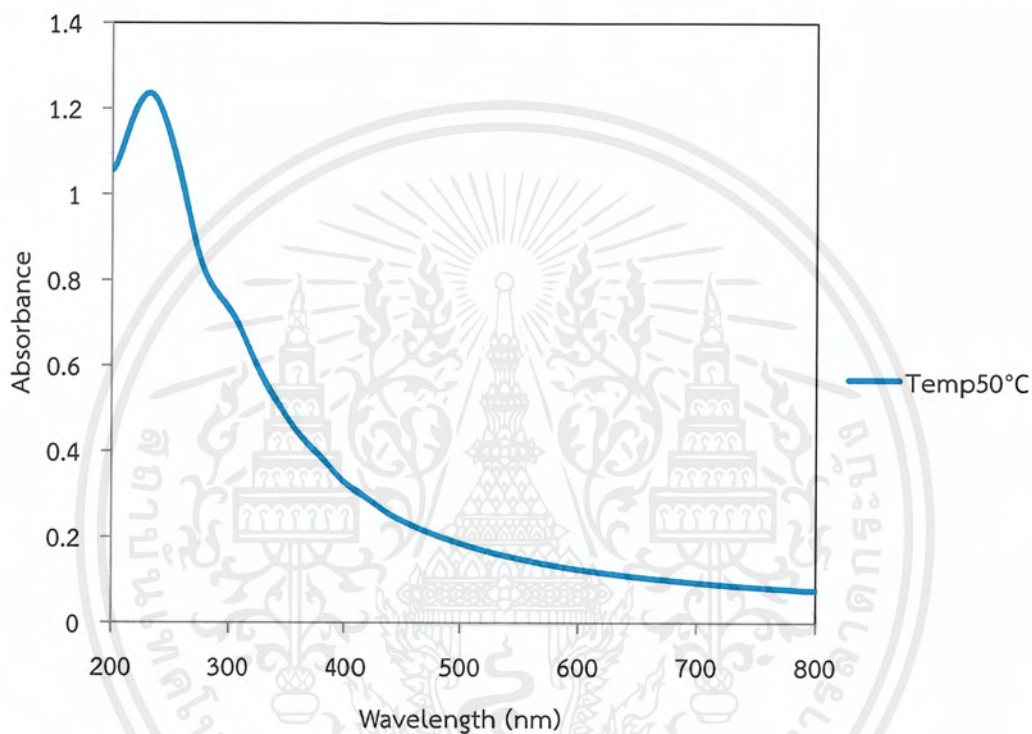
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

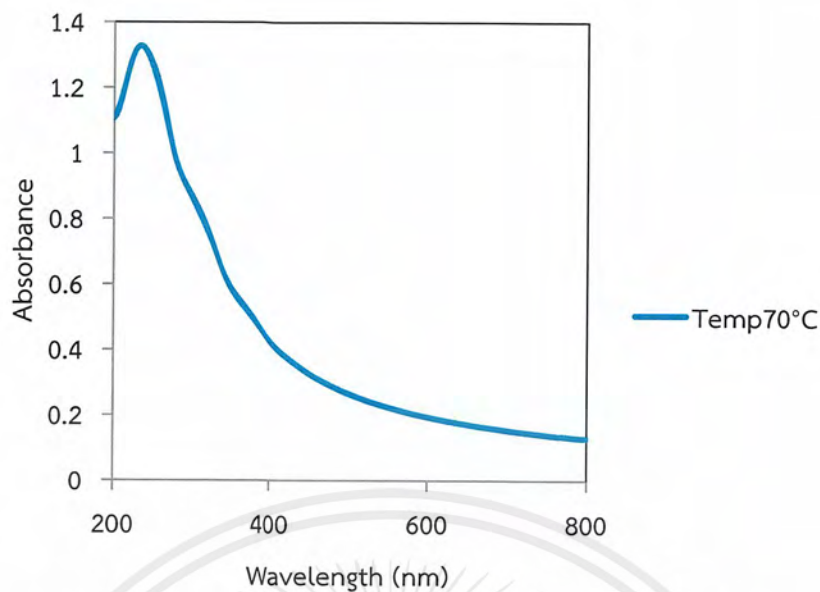
การวิเคราะห์เอกลักษณ์

1. การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer

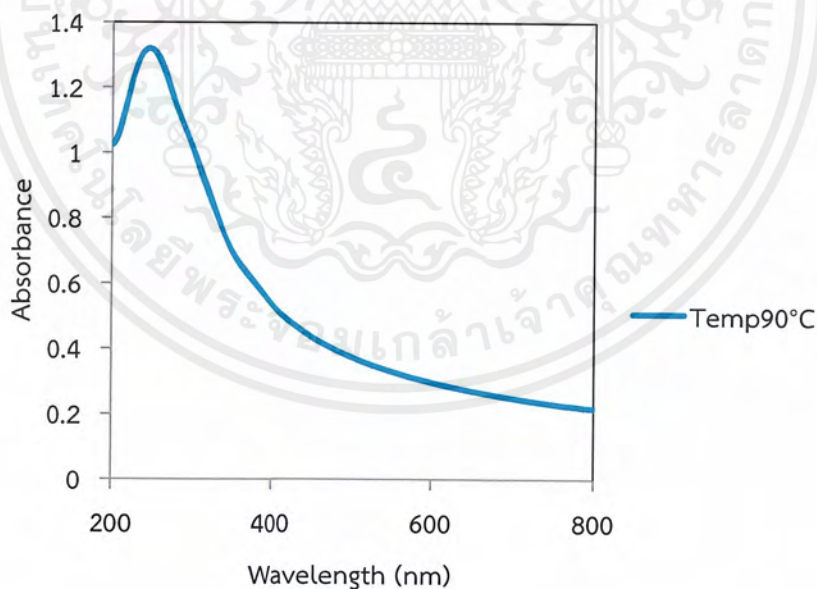
1.1 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ



รูปที่ ก-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความยาวคลื่นของสารละลายรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร ระยะเวลาการให้ความร้อน 15 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

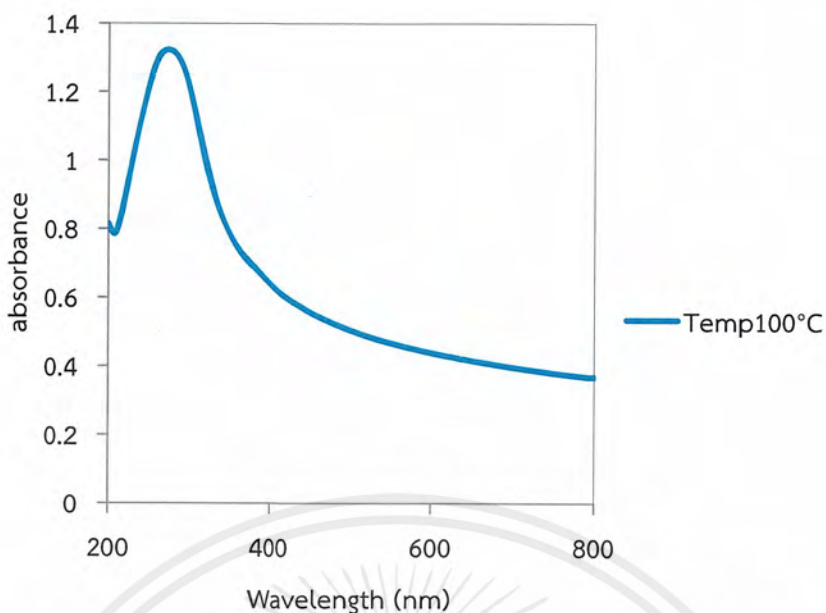


รูปที่ ก-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความยาวคลื่นของสารละลายรีตีวซ์ กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที และอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส



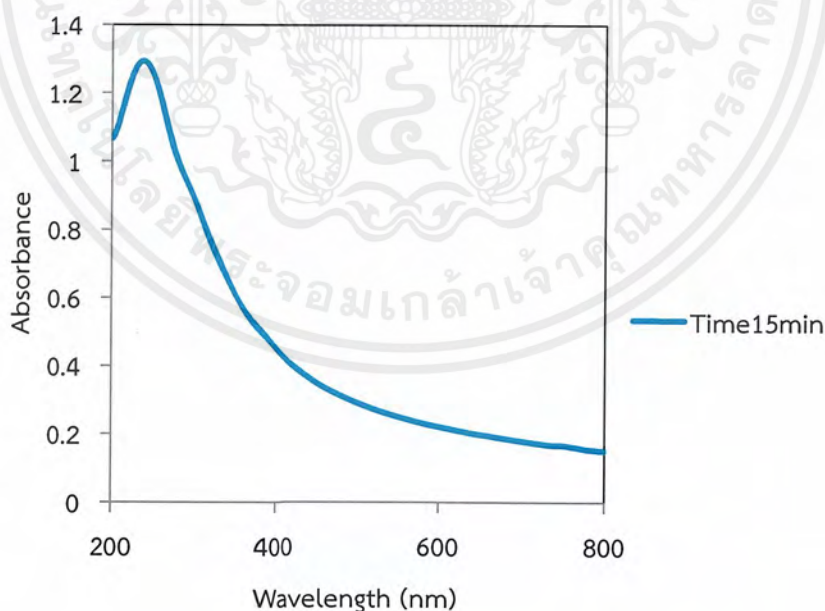
รูปที่ ก-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความยาวคลื่นของสารละลายรีตีวซ์ กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



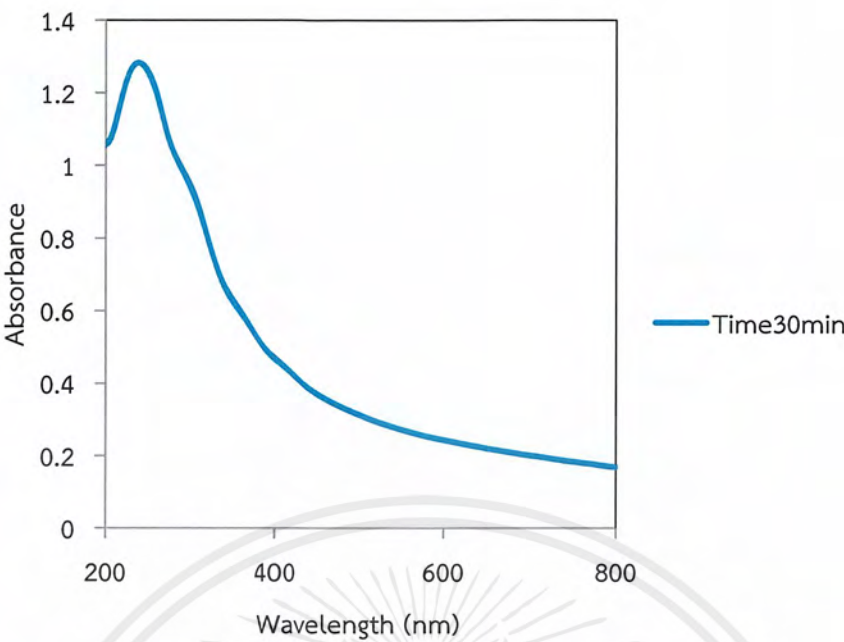
รูปที่ ก-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความยาวคลื่นของสารละลายรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

1.2 การเปลี่ยนแปลงระยะเวลาการให้ความร้อน

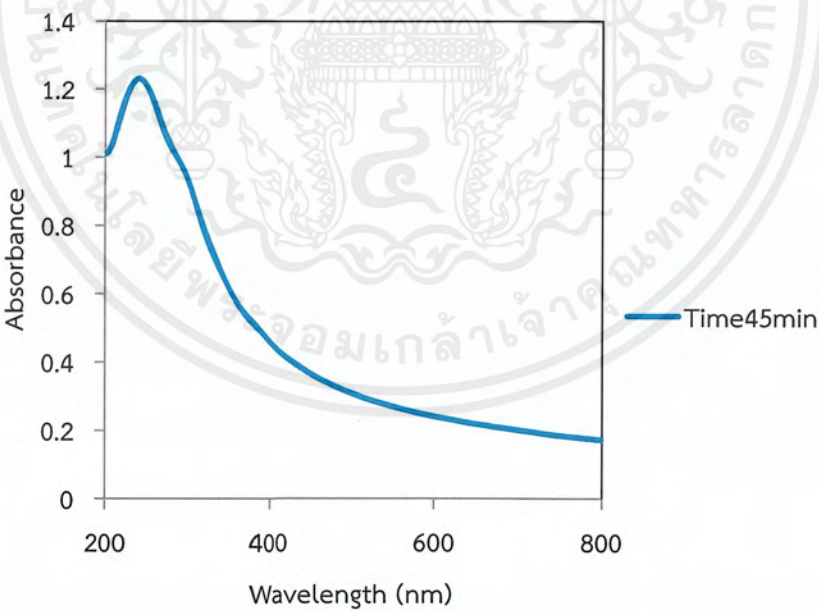


รูปที่ ก-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความยาวคลื่นของสารละลายรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร และ ระยะเวลาการให้ความร้อน 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

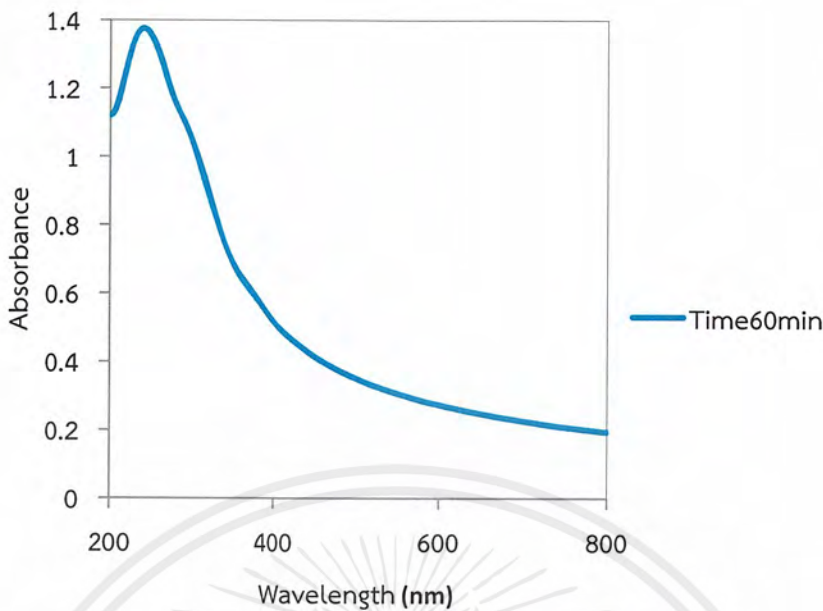


รูปที่ ก-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความยาวคลื่นของสารละลายรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร และระยะเวลาการให้ความร้อน 30 นาที



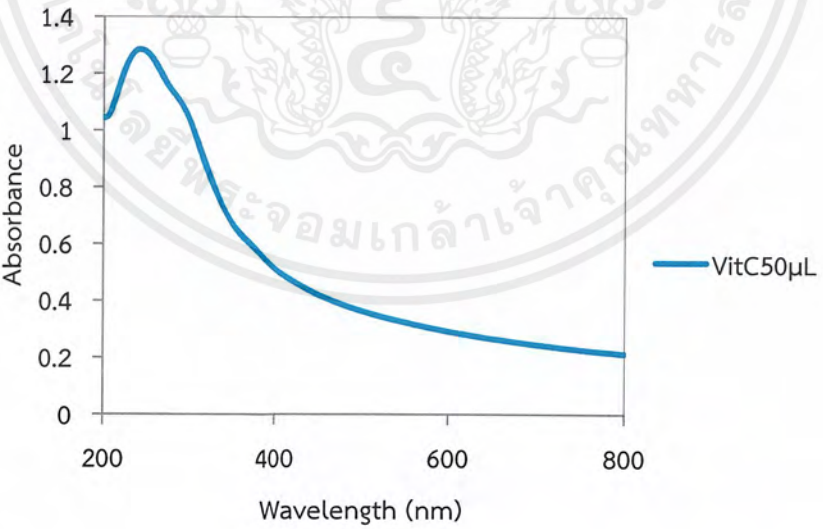
รูปที่ ก-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความยาวคลื่นของสารละลายรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร และระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



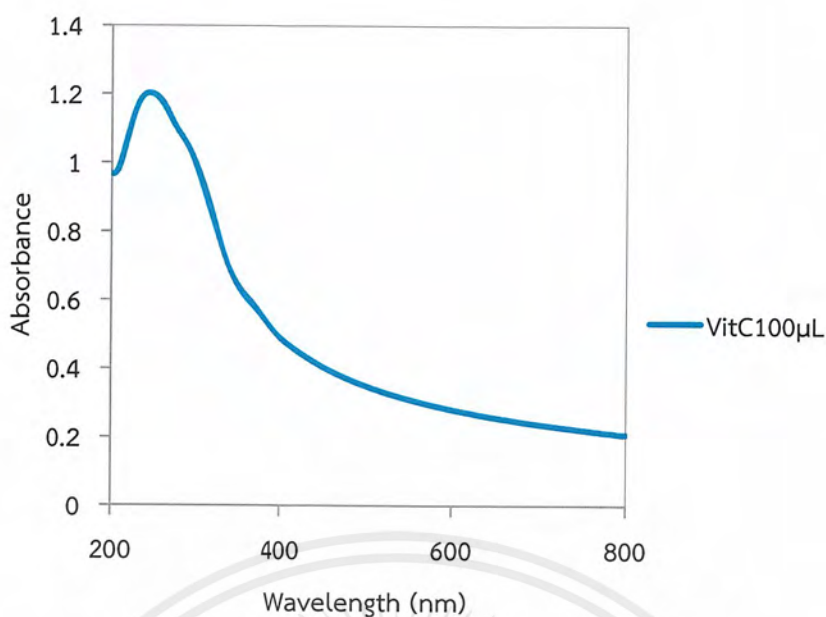
รูปที่ ก-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความยาวคลื่นของสารละลายรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร และระยะเวลาการให้ความร้อน 60 นาที

1.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณวิตามินซี

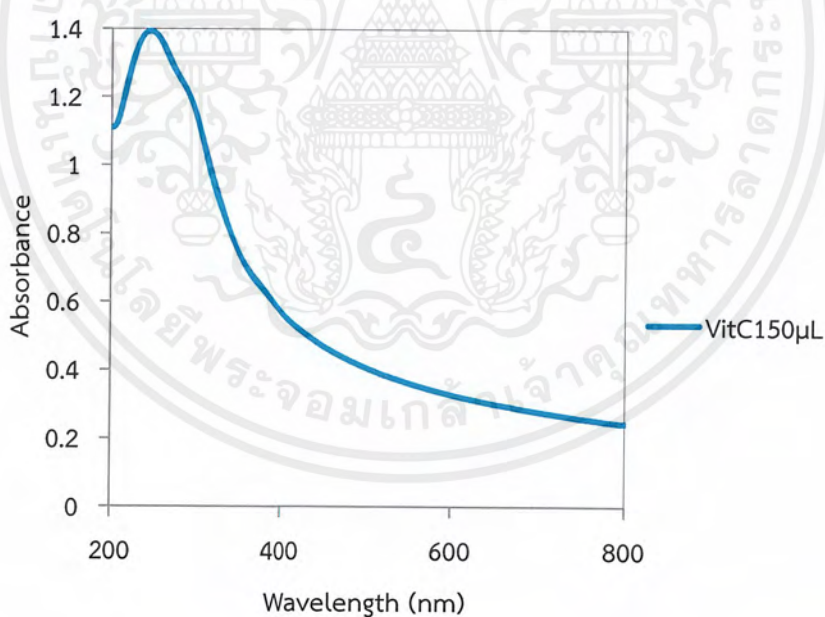


รูปที่ ก-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความยาวคลื่นของสารละลายรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที และปริมาณวิตามินซี 50 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

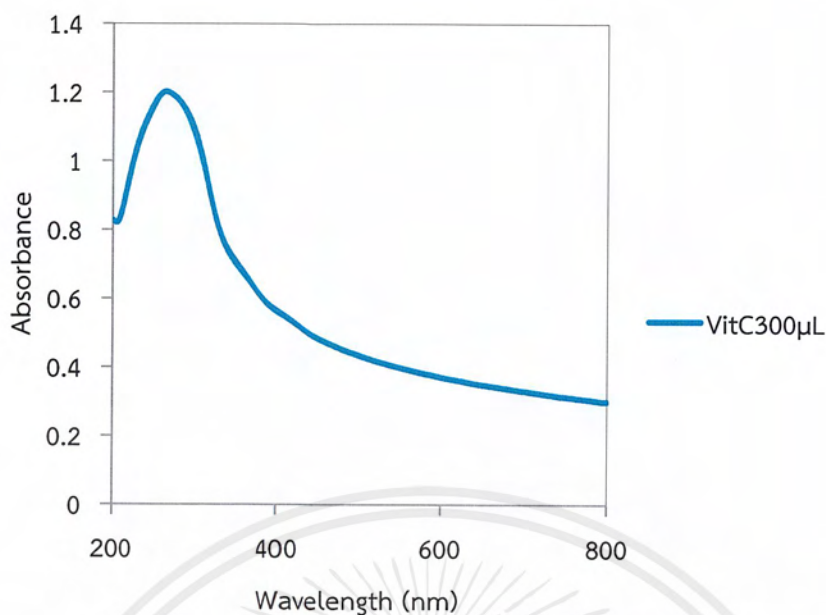


รูปที่ ก-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความยาวคลื่นของสารละลายรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที และ ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร



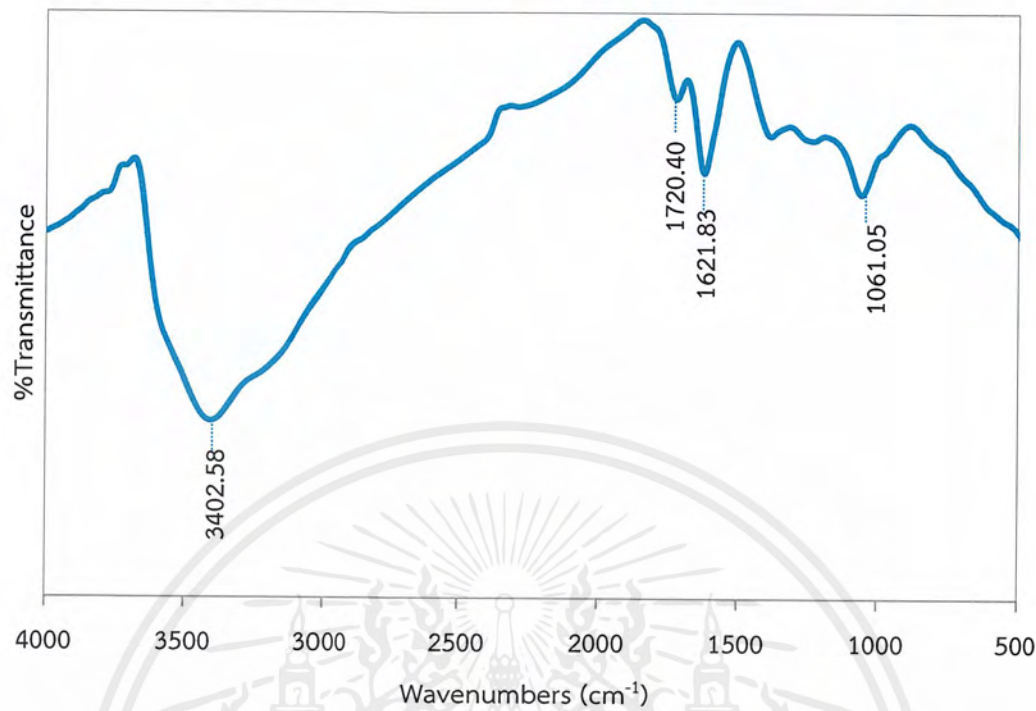
รูปที่ ก-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความยาวคลื่นของสารละลายรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที และ ปริมาณวิตามินซี 150 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

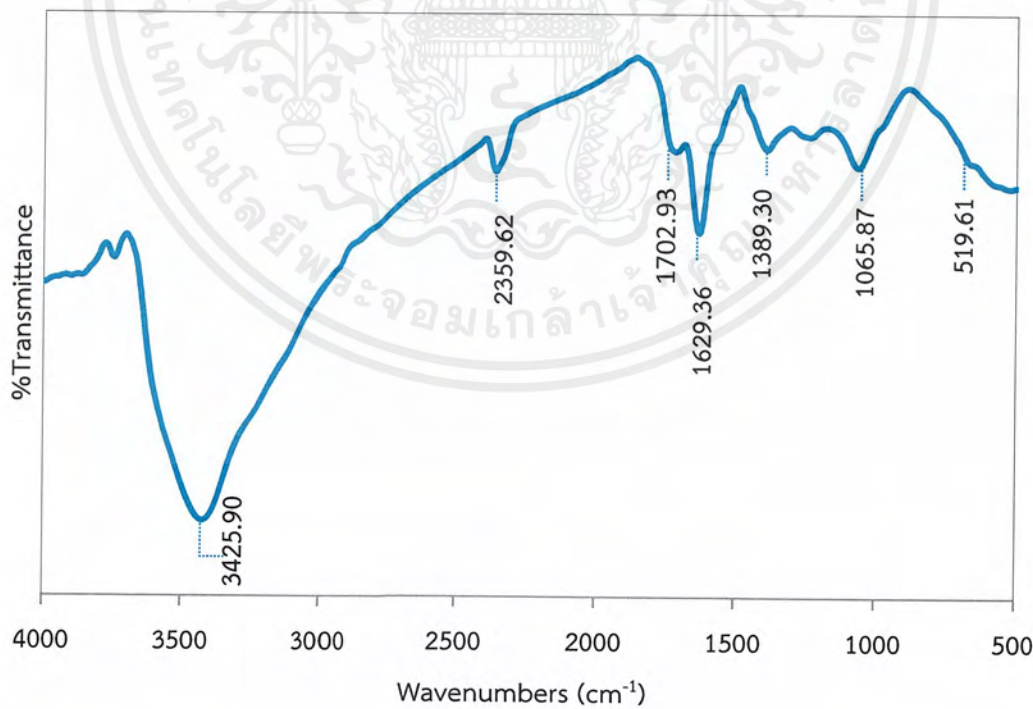


รูปที่ ก-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนและความยาวคลื่นของสารละลายรีดิวซ์ กราฟนี้ออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที และปริมาณวิตามินซี 300 ไมโครลิตร

2. การวิเคราะห์การตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานของการสั่นในโมเลกุลสาร (FT-IR)

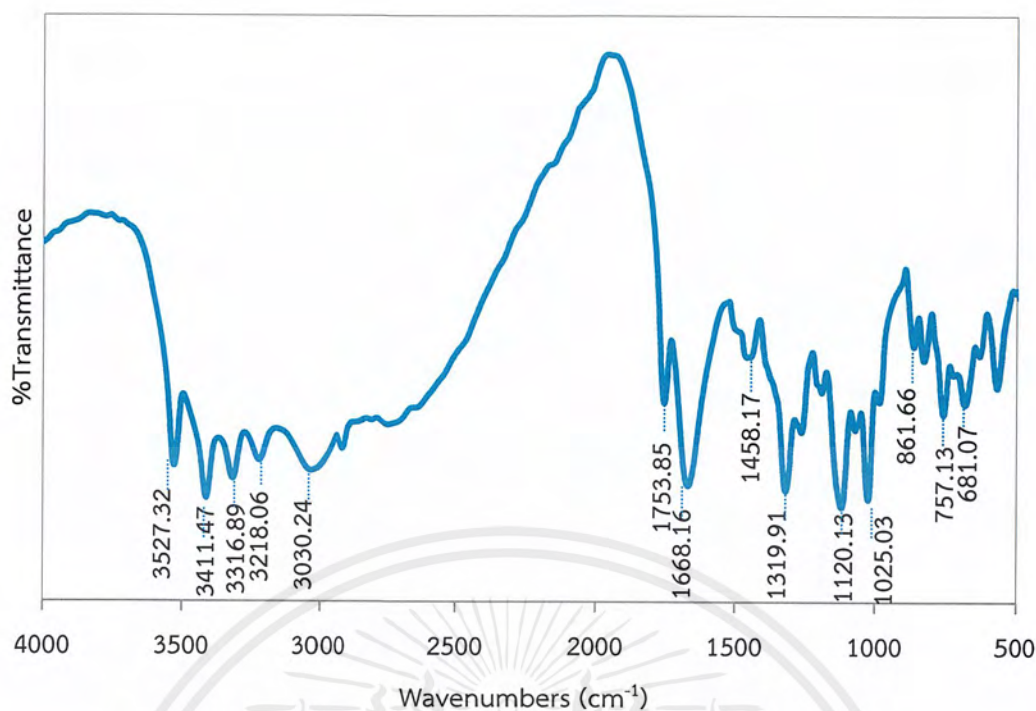


รูปที่ ก-13 กราฟ FT-IR ของกราไฟต์

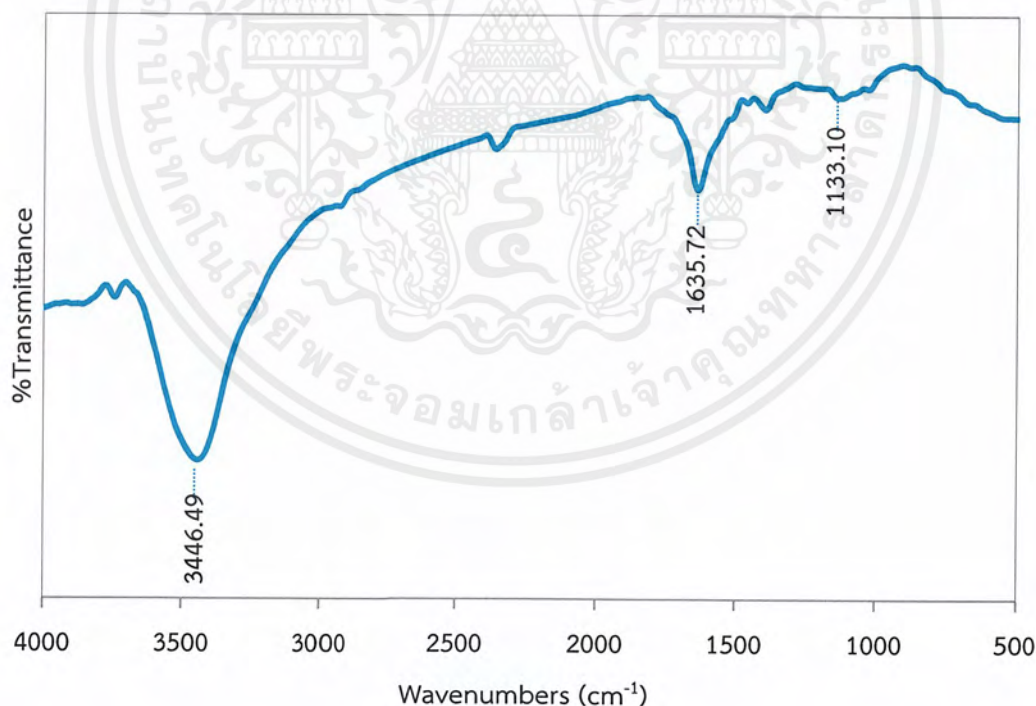


รูปที่ ก-14 กราฟ FT-IR ของกราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

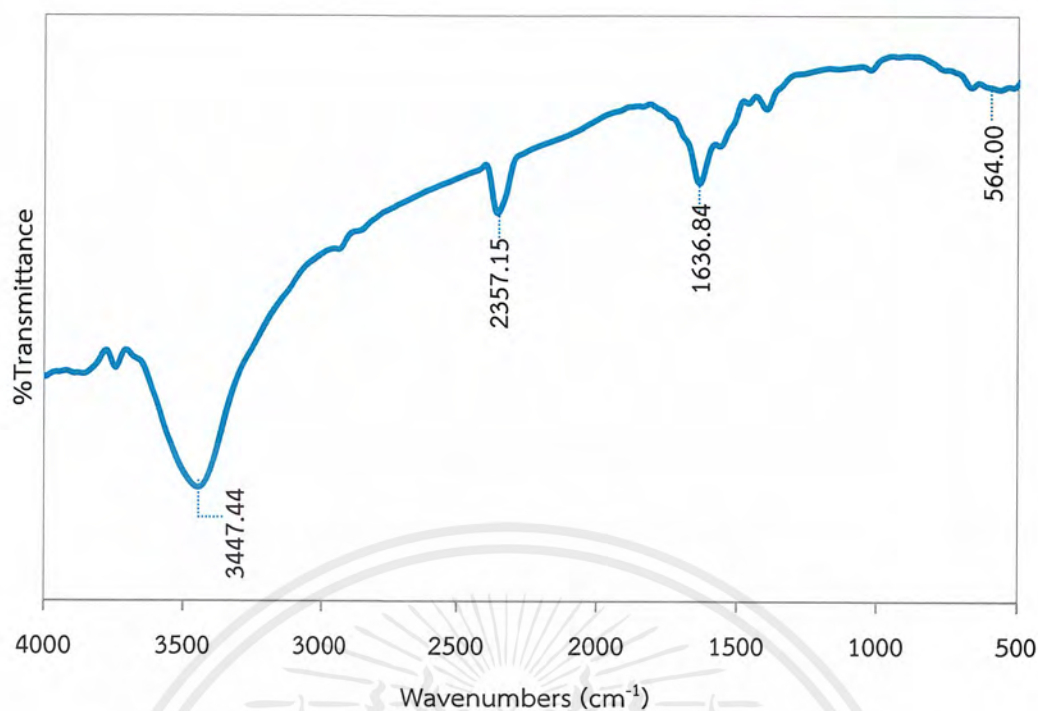


รูปที่ ก-15 กราฟ FT-IR ของวิตามินซี

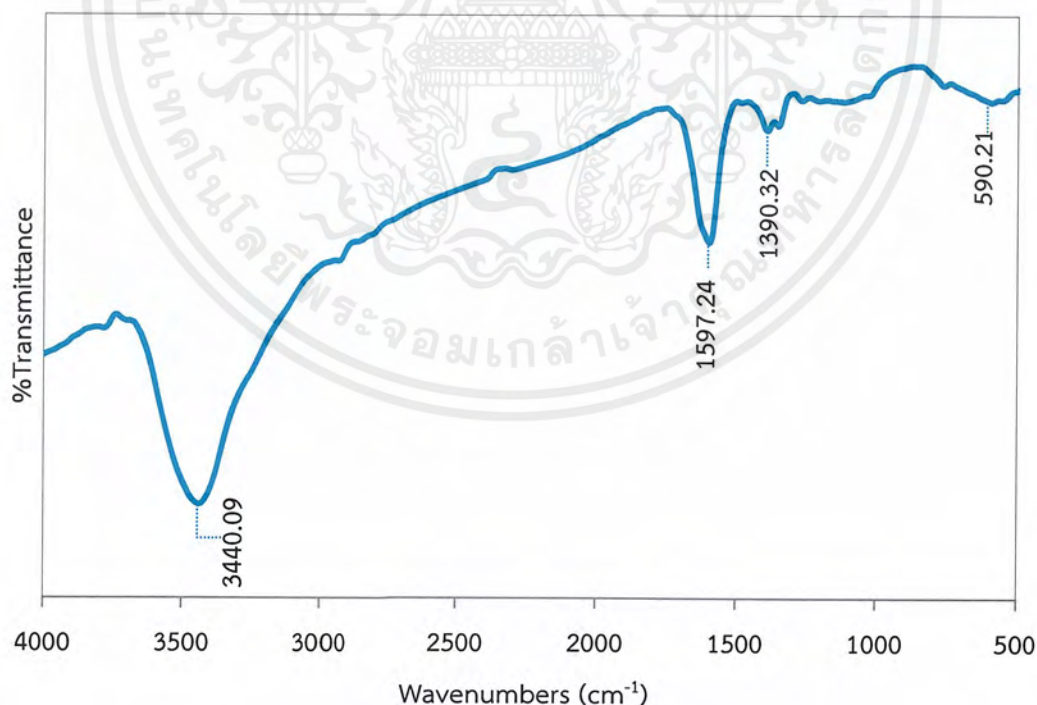


รูปที่ ก-16 กราฟ FT-IR ของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร และ ระยะเวลาการให้ความร้อน 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

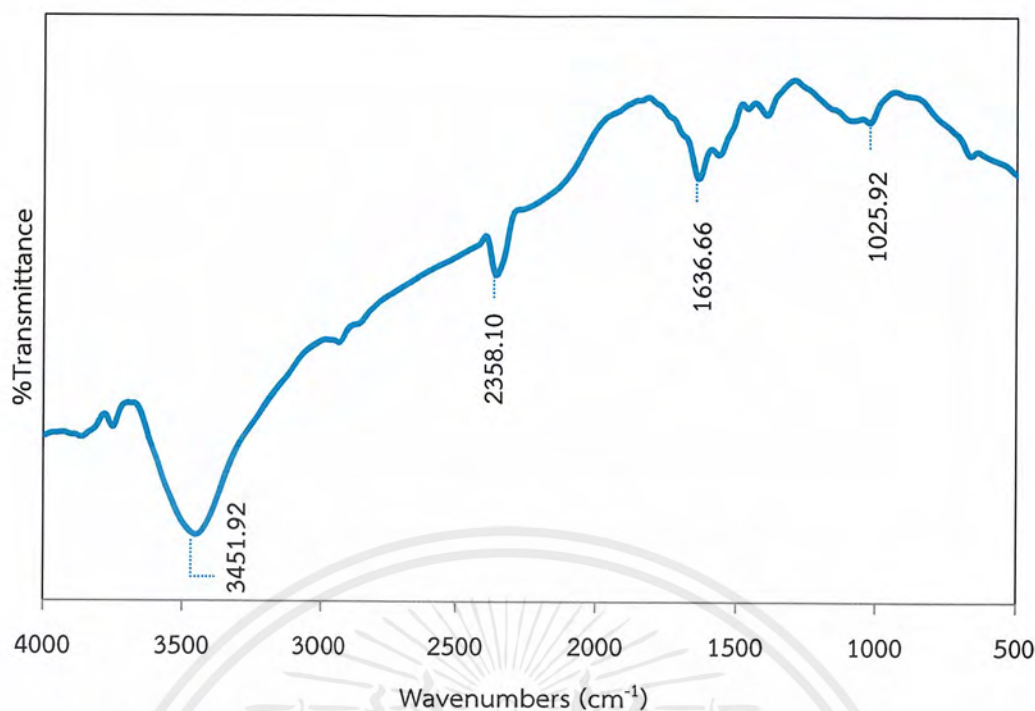


รูปที่ ก-17 กราฟ FT-IR ของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร และ ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที

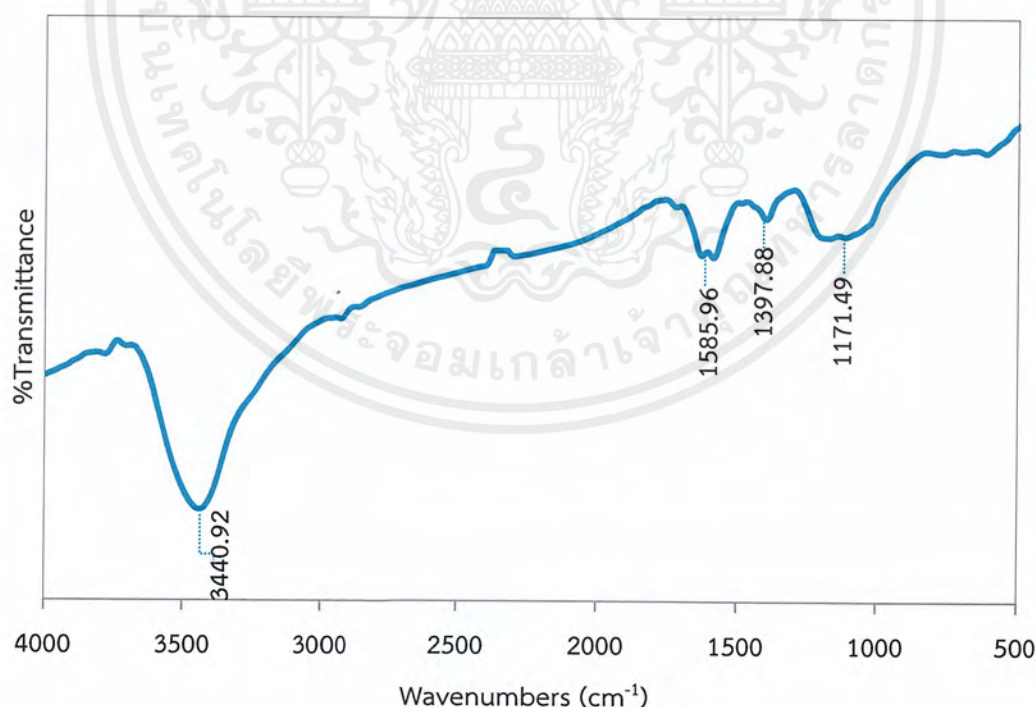


รูปที่ ก-18 กราฟ FT-IR ของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร และ ระยะเวลาการให้ความร้อน 60 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

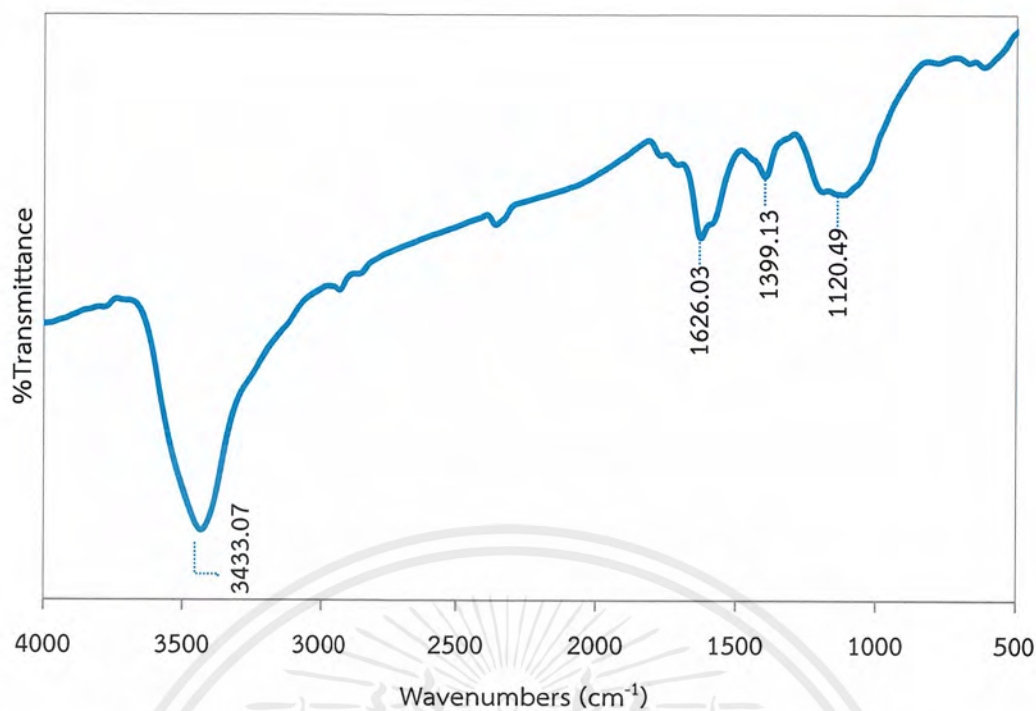


รูปที่ ก-19 กราฟ FT-IR ของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

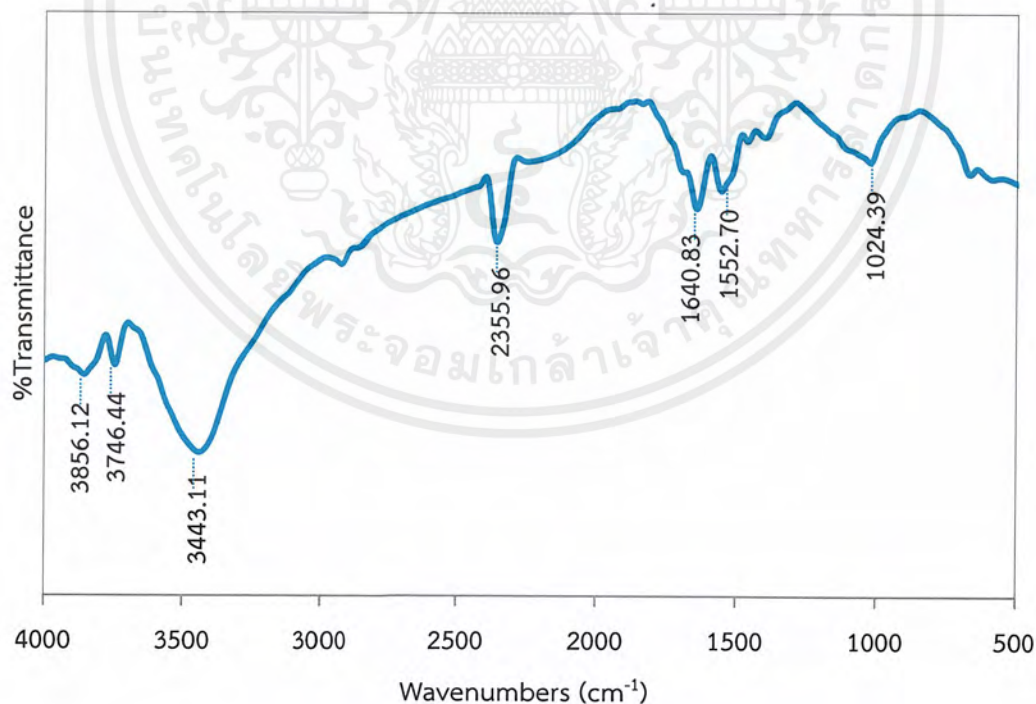


รูปที่ ก-20 กราฟ FT-IR ของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

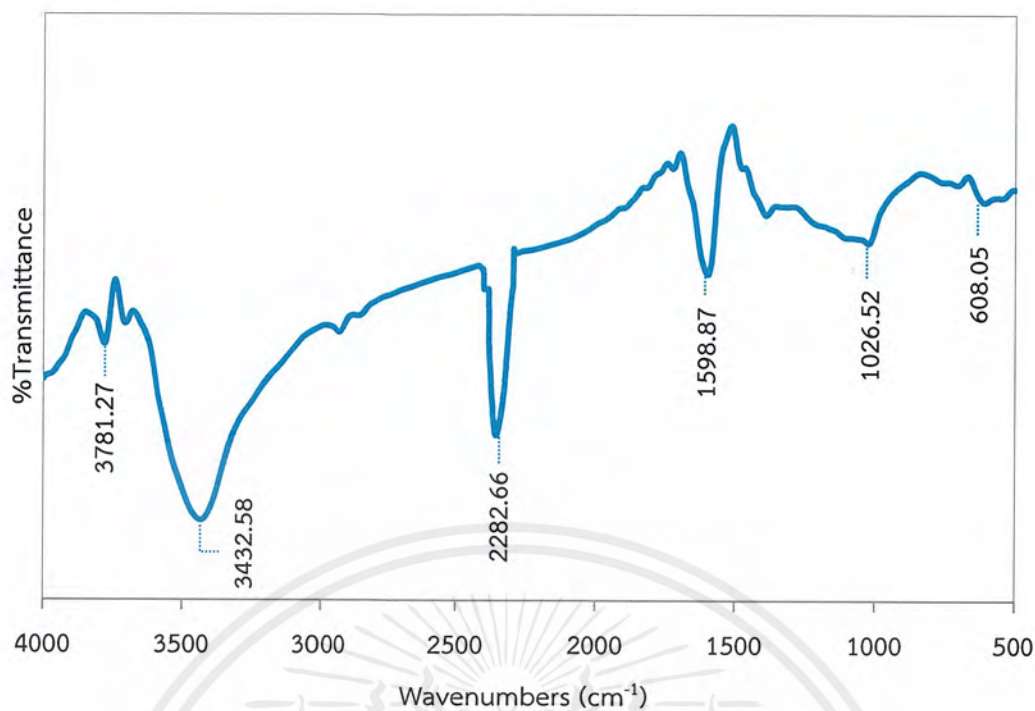


รูปที่ ก-21 กราฟ FT-IR ของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

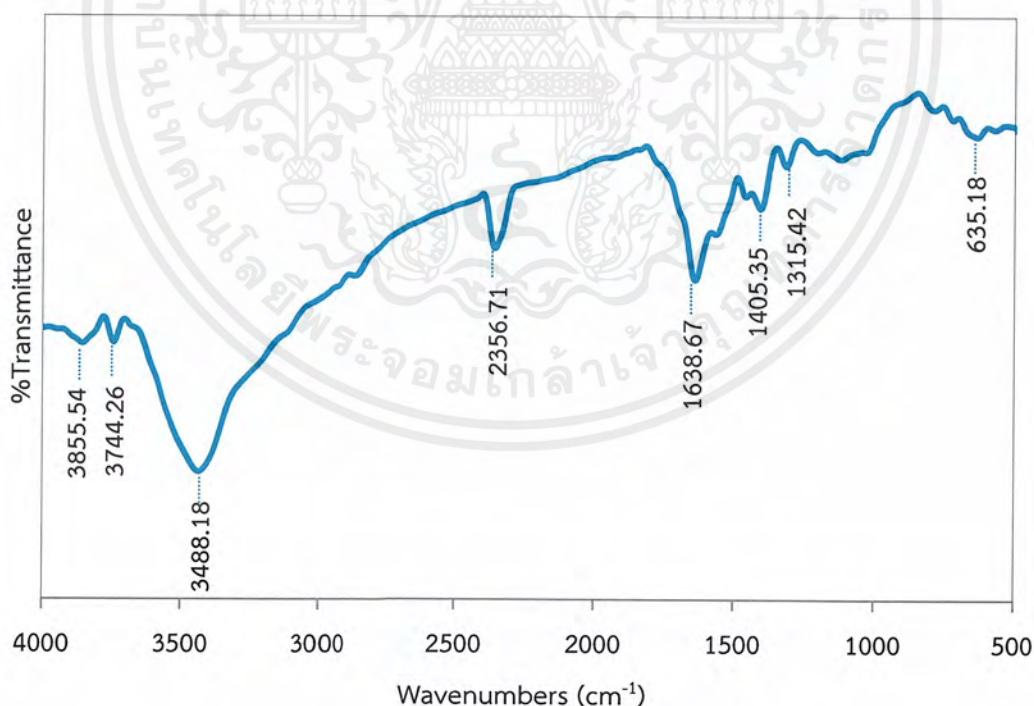


รูปที่ ก-22 กราฟ FT-IR ของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที ปริมาณวิตามินซี 50 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



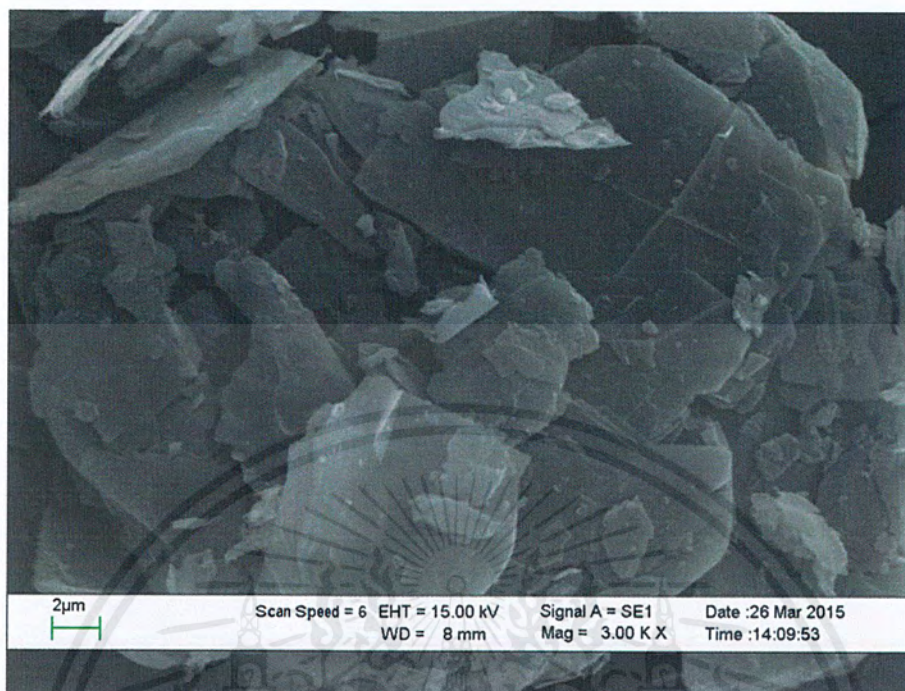
รูปที่ ก-23 กราฟ FT-IR ของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที ปริมาณวิตามินซี 100 ไมโครลิตร



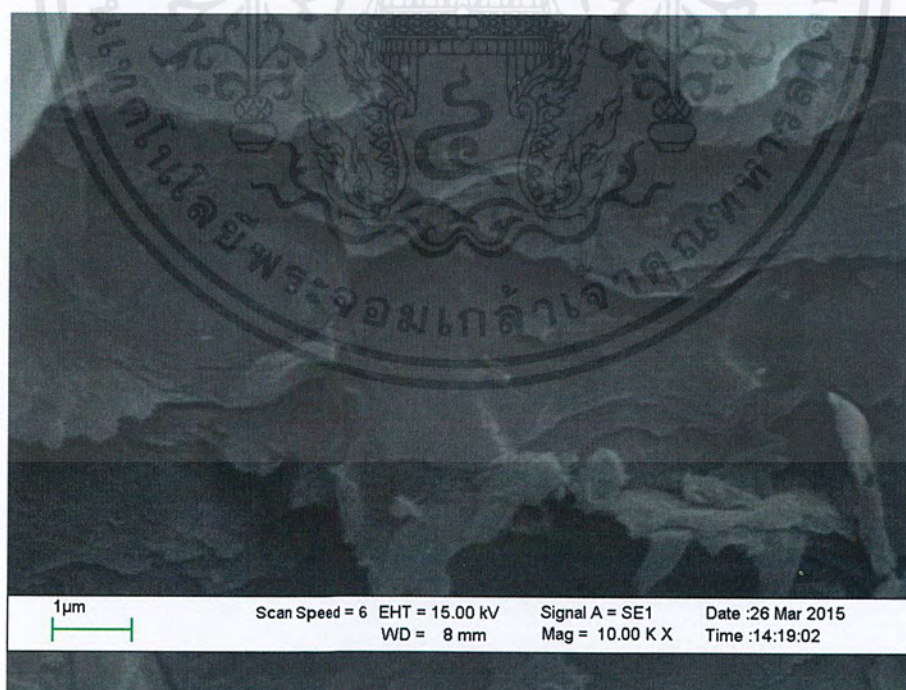
รูปที่ ก-24 กราฟ FT-IR ของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลาการให้ความร้อน 45 นาที ปริมาณวิตามินซี 300 ไมโครลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การวิเคราะห์ลักษณะพื้นฐานของสารในระดับจุลภาค (SEM)

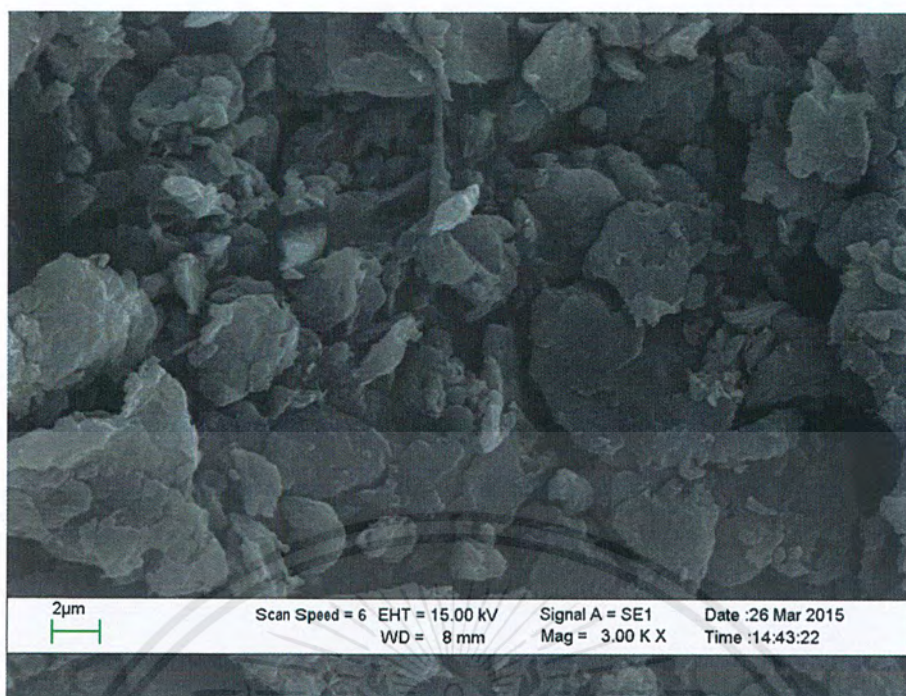


รูปที่ ก-25 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 3000 เท่า ของกราไฟต์

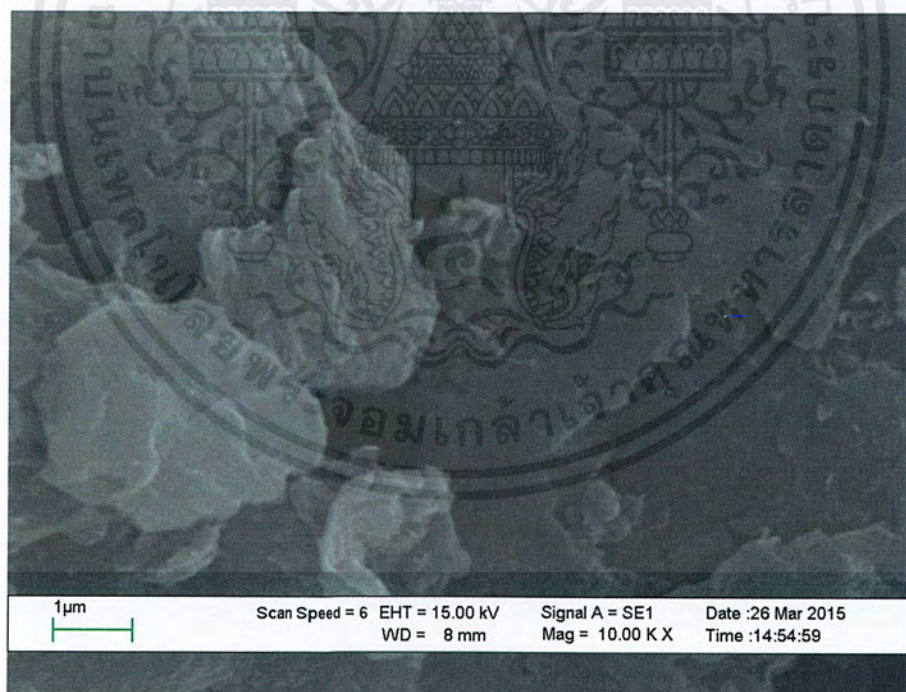


รูปที่ ก-26 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 10000 เท่า ของกราไฟต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



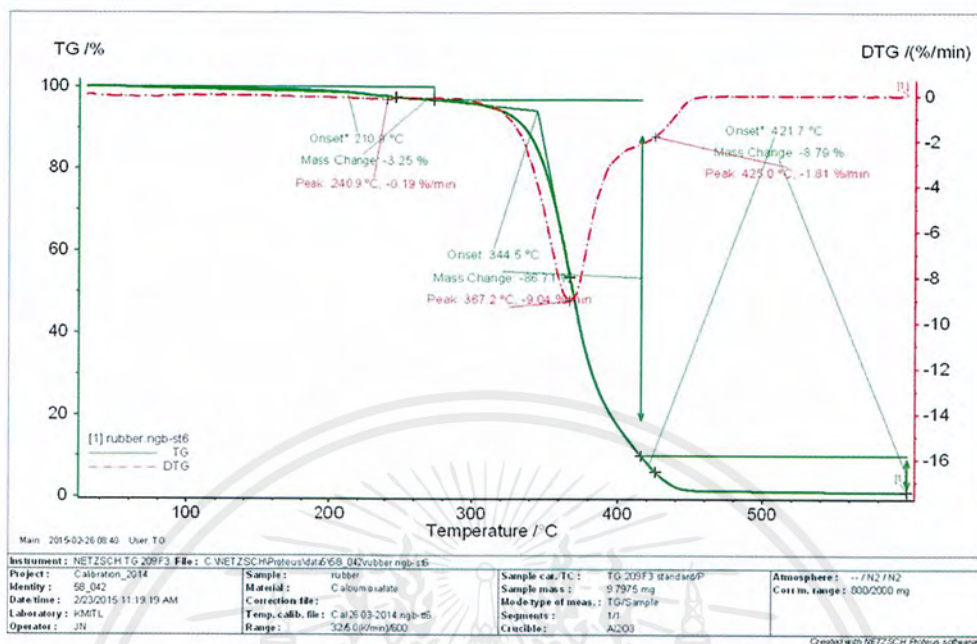
รูปที่ ก-27 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 3000 เท่า ของกราฟีนออกไซด์



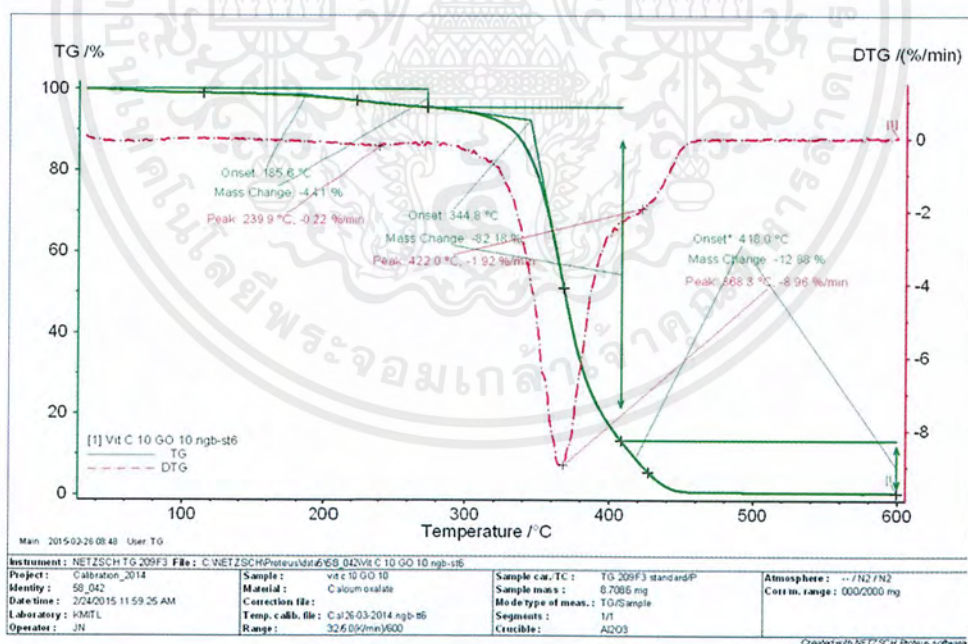
รูปที่ ก-28 ภาพถ่าย SEM กำลังขยาย 10000 เท่า ของกราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การวิเคราะห์เชิงความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric Analysis

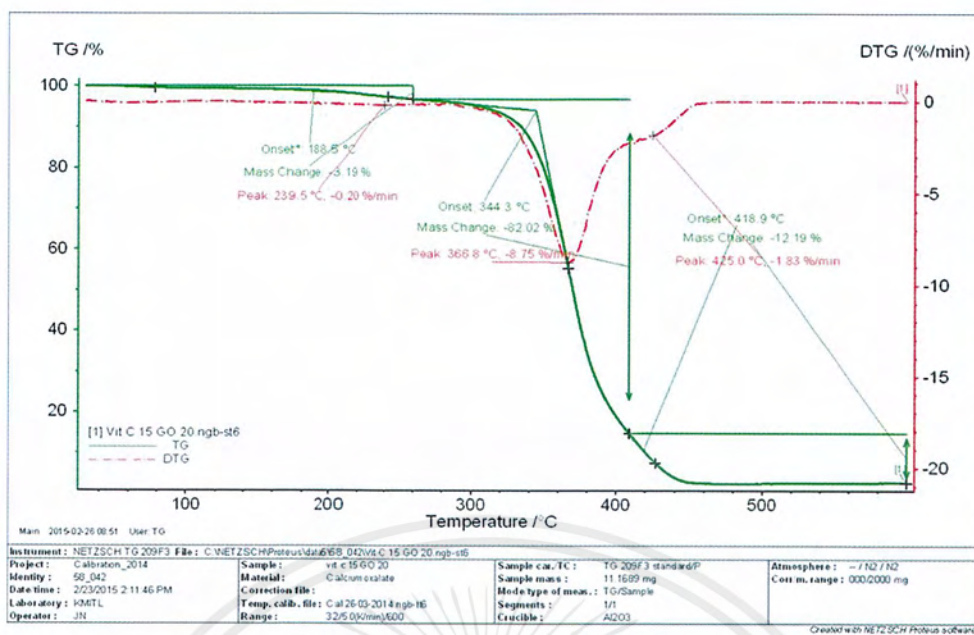


รูปที่ ก-29 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติ



รูปที่ ก-30 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติที่เติมสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

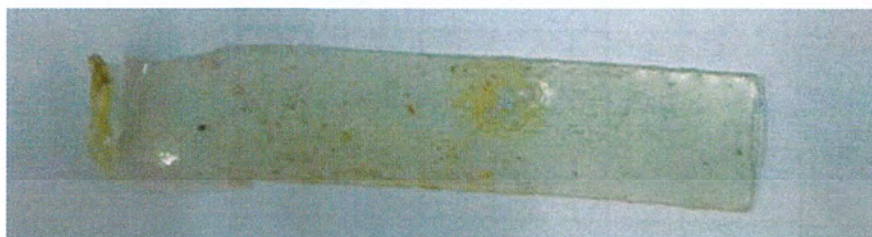


รูปที่ ก-31 กราฟแสดงการวิเคราะห์เชิงความร้อนของแผ่นยางธรรมชาติที่เติมสารละลายวิตามินซีกราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ลักษณะตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงด้วย Universal Testing Machine



รูปที่ ข-1 ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงของแผ่นของผสมยางธรรมชาติที่ไม่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์



รูปที่ ข-2 ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงของแผ่นยางผสมยางธรรมชาติที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ ข-3 ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงของแผ่นยางผสมยางธรรมชาติที่เติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 0.42 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้