

การเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์และสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด
ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

Preparation, Characterization and Superhydrophobic Property
of Melamine-Formaldehyde Sponge Decorated with
Reduced Graphene Oxide



นัชชา จิรสุตติสาร
Natcha Jirasuttisarn

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมี (เคมีอนินทรีย์)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายใน KMUTT-2021-SC-M-012-006 เท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION, CHARACTERIZATION AND SUPERHYDROPHOBIC
PROPERTY OF MELAMINE-FORMALDEHYDE SPONGE DECORATED
WITH REDUCED GRAPHENE OXIDE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN CHEMISTRY (INORGANIC CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY SCHOOL OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ KMITL-2021-SC-M-012-006 ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

SCHOOL OF SCIENCE

เอกสารนี้ KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์และสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวรัชชา จิรสุนทรสาร
รหัสประจำตัว	590605111
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมีอินทรีย์)
ภาควิชา	เคมี
พ.ศ.	2564
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวาลย์ ศรีวงษ์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์ และการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งสามารถเตรียมได้โดยวิธีการให้ความร้อนอย่างง่าย ในกระบวนการเตรียมขั้นแรกใส่เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมขนาด 1 x 1x 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ลงในสารละลายวิตามินซี 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร วางลงในอ่างน้ำให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้จะนำไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้ เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) เครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ (Raman) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) อุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDS) และเครื่องวิเคราะห์หุ้มสัมผัส (CAA) ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์แสดงให้เห็นโครงสร้างและหมู่ฟังก์ชันของโฟมที่เตรียมได้ซึ่งสอดคล้องกับเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเริ่มต้น ในขณะที่ผลจากเทคนิครามานแสดงให้เห็นฟิสิกส์เอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ผลของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงานแสดงแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนโครงสร้างของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม ซึ่งอาจมาจากการเกิดพันธะทางกายภาพระหว่างเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมและแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ยิ่งไปกว่านั้นเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ วัดค่ามุมสัมผัสได้ของหยดน้ำได้ 156.9 องศา มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่ดีเยี่ยม และที่สำคัญโฟมที่เตรียมได้นี้ยังคงมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่ดีหลังจากผ่านการใช้ซ้ำมาแล้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10 ครั้ง จากผลการทดลองที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์-กราฟีนออกไซด์มีประสิทธิภาพสำหรับการนำมาใช้กำจัดน้ำมัน

คำสำคัญ : สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด การกำจัดน้ำมัน ความสามารถในการดูดซับ เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์ รีติวซ์กราฟีนออกไซด์ วิตามินซี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Preparation, Characterization and Superhydrophobic Property of Melamine-Formaldehyde Sponge Decorated with Reduced Graphene Oxide
Student	Miss Natcha Jirasuttisarn
Student ID	59605111
Degree	Master of Science (Inorganic Chemistry)
Department	Chemistry
Year	2021
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Chaval Sriwong

Abstract

The purpose of this research was to investigate the preparation, characterization and superhydrophobic property of melamine formaldehyde (MF) sponge decorated with reduced graphene oxide (rGO). The MF sponge/rGO has been easily prepared via a single step by a conventional heating method. In the preparation process, MF sponge (1 x 1 x 1 cm³) was firstly mixed with 50 mL of Vitamin C solution, followed by adding of graphene oxide (GO) suspension (1 mg/mL) and heating at 90 °C in water bath for 30 min under stirring. Then, the structure and surface properties of the obtained MF sponge/rGO product samples were characterized and also analyzed using a several techniques, such as, XRD, FTIR, Raman, SEM, TEM, EDS and Contact Angles Analyzer (CAA), respectively. The results showed that the crystalline structure and functional groups of the as-prepared product was corresponding to pristine MF, whereas the characteristic peaks of rGO in the MF sponge/rGO were observed and confirmed by raman spectroscopy. SEM and EDX results indicated that rGO sheets had well-covered and impregnated on the surface of MF sponge. These results may be due to the good-interaction through a physical bonding between MF sponge and rGO sheets. Moreover, the obtained MF sponge/rGO product exhibited good-water repellency with a water contact angle of 156.9° and with excellent oil adsorption capacity. More importantly, the MF sponge/rGO product still maintained a high adsorption capacity after used 10 times by sorption/squeezing. These results

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

suggest that the melamine formaldehyde (MF) sponge decorated with reduced graphene oxide (rGO) may provide great potential application for oil removal.

Keywords : Superhydrophobic property, Melamine formaldehyde, Polymer sponge, Oil removal, Reduced graphene oxide, vitamin C



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่มอบความรู้ ให้คำแนะนำ และความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการดำเนินวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างยิ่งสำหรับการอบรมสั่งสอน การให้คำแนะนำและคำปรึกษา รวมไปถึงความอนุเคราะห์ช่วยเหลือตลอดในการดำเนินวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ปานไพลิน สีหาราช และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิวติลา สุวรรณชวลิต คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ทั้งคำปรึกษาและความอนุเคราะห์ในการตรวจทาน เพื่อแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากร ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่าน สำหรับความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในเรื่องอุปกรณ์และเครื่องมือในการดำเนินวิทยานิพนธ์ รวมไปถึงคำปรึกษาและการแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้อาจสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากขาดความอนุเคราะห์ช่วยเหลือจากทาง คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้การสนับสนุนนักศึกษาอย่างเต็มกำลังความสามารถ

สุดท้ายนี้ ประโยชน์และองค์ความรู้อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแต่บิดา มารดา ครอบครัว ผู้มีพระคุณ และคณาจารย์ทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้ศึกษาขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นัชชา จิรสุทธิสาร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญรูป.....	ฒ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ธ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การดูดซับ	4
2.1.1 การดูดซับทางกายภาพ.....	5
2.1.2 การดูดซับทางเคมี	5
2.2 วัสดุดูดซับ.....	5
2.3 เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม.....	5
2.4 กราฟีนและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	8
2.4.1 กราฟีน.....	8
2.4.2 รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	9
2.4.3 การสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	9
2.4.4 สมบัติของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	11
2.4.5 การประยุกต์ใช้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	12
2.5 วิตามินซี	13
2.6 สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด.....	15
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	29
3.3.1 การเตรียมสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO) ตั้งต้น	29
3.3.1.1 การเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการปรับปรุงวิธีของฮัมเมอร์ (modified Hummer’s method).....	29
3.3.1.2 การเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonication).....	33
3.3.2 การเตรียมผิวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม	34
3.3.3 การเตรียมสารละลายวิตามินซีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร.....	35
3.3.4 การเตรียมเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่ปรับปรุงด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	35
3.3.4.1 ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของสารละลายวิตามินซี.....	35
3.3.4.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน.....	38
3.3.4.3 ศึกษาผลของปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น.....	38
3.3.4.4 ศึกษาชนิดของโฟม	39
3.3.4.5 ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ.....	40
3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์.....	40
3.4.1 ศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer, UV-Vis).....	40
3.4.2 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตร- สโคปี (Fourier Transform Infrared spectrophotometer, FT-IR).....	41
3.4.3 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectroscopy)	41
3.4.4 ศึกษาสมบัติความเป็นผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบน ของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD).....	42
3.4.5 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.6	ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM).....	43
3.4.7	ศึกษาองค์ประกอบของธาตุด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (Energy Dispersive X-ray spectrometer, EDX)	43
3.4.8	ศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และประสิทธิภาพการแยกน้ำมันออกจากน้ำ	43
3.4.8.1	ศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angles analyzer, CAA).....	43
3.4.8.2	ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมัน	44
3.4.8.3	ศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานซ้ำ.....	44
3.4.8.4	ศึกษาประสิทธิภาพการแยกน้ำมันออกจากน้ำ	45
บทที่ 4	ผลการทดลองและการอภิปรายผล.....	46
4.1	ศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	46
4.1.1	การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วย เครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer).....	48
4.1.2	การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วย เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR).....	49
4.1.3	การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วย เครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectrometer)	50
4.1.4	การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วย เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD).....	52
4.1.5	การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	53
4.1.6	การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM).....	55
4.2	ศึกษาเอกลักษณ์ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์	56
4.2.1	การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ด้วย เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR).....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ด้วย เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD).....	58
4.2.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM).....	59
4.3 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	60
4.4 ศึกษาเอกลักษณ์ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	61
4.4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรสโคปี (FTIR).....	61
4.4.1.1 ศึกษาปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น.....	61
4.4.1.2 ศึกษาชนิดของโพลีเมอร์.....	63
4.4.1.3 ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ.....	64
4.4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectrometer).....	65
4.4.2.1 ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของสารละลายวิตามินซี.....	65
4.4.2.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน.....	67
4.4.2.3 ศึกษาปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น.....	68
4.4.2.4 ศึกษาชนิดของโพลีเมอร์.....	69
4.4.2.5 ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ.....	70
4.4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD).....	71
4.4.3.1 ศึกษาปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น.....	71
4.4.3.2 ศึกษาชนิดของโพลีเมอร์.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.3.3 ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ.....	74
4.4.4 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	75
4.4.4.1 ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของสารละลายวิตามินซี.....	75
4.4.4.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน.....	76
4.4.4.3 ศึกษาปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น.....	78
4.4.4.4 ศึกษาชนิดของโฟม	79
4.4.4.5 ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ.....	80
4.4.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (EDX).....	81
4.4.5.1 ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของสารละลายวิตามินซี.....	81
4.4.5.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน.....	83
4.4.5.3 ศึกษาปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น.....	85
4.4.5.4 ศึกษาชนิดของโฟม	87
4.4.5.5 ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ.....	89
4.5 ศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด.....	91
4.5.1 ศึกษาความสัมพันธ์ของหยดน้ำบนพื้นผิวเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH แตกต่างกัน	91
4.5.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของหยดน้ำบนพื้นผิวเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อน แตกต่างกัน	92

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.3 ศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันผิวเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น แตกต่างกัน	93
4.5.4 ศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันผิวเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้โฟมความหนาแน่น แตกต่างกัน	95
4.5.5 ศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันผิวเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ	96
4.6 ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมัน	97
4.6.1 การศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีน- พอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ	98
4.6.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานซ้ำ	100
4.6.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานซ้ำของเมลามีน- พอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์	100
4.6.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานซ้ำของเมลามีน- พอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ	102
4.7 ศึกษาประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ	104
4.7.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการแยกคลอโรฟอร์มออกจากน้ำของ เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ	104
4.7.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันหล่อลื่นออกจากน้ำของ เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ	105
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	107
5.1 สรุปผลการวิจัย	107
5.1.1 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีติวซ์กราฟีนออกไซด์	107
5.1.2 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม	108
5.1.3 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วย รีติวซ์กราฟีนออกไซด์	108

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.1.4 ผลการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ความสามารถในการ ดูดซับน้ำมัน และประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ.....	109
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	110
เอกสารอ้างอิง.....	111
ภาคผนวก	120
ภาคผนวก ก.....	121
ภาคผนวก ข.....	122
ภาคผนวก ค.....	123
ภาคผนวก ง.....	124
ภาคผนวก จ.....	126
ภาคผนวก ฉ.....	128
ภาคผนวก ช.....	134
ภาคผนวก ซ.....	135
ภาคผนวก ฌ.....	136
ภาคผนวก ญ.....	137
ประวัติผู้เขียน.....	138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	28
3.2 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไข	37
3.3 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไข	38
3.4 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไข	39
3.5 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไข	39
3.6 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไข	40
4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมและเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ pH ของสารละลายวิตามินซี pH2 pH3 และ pH4	82
4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมและเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาให้ความร้อน 15 30 45 และ 60 นาที	85
4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งแต่ 1 3 5 10 และ 15 มิลลิกรัม.....	87
4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลาง และความหนาแน่นสูงที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	88
4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ	90
4.6 แสดงน้ำหนักของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำที่ได้จากการทดลองดูดซับน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์ม และน้ำมันหล่อลื่น	98
4.7 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ โดยการใส่เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ.....	99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.8 ประสิทธิภาพการใช้งานซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ โดยการใช้ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนเคลือบด้วยรีดิคัลกราฟีนออกไซด์	100
4.9 ประสิทธิภาพการใช้งานซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ โดยการใช้ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนเคลือบด้วยรีดิคัลกราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ	102
4.10 แสดงน้ำหนักเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนเคลือบด้วยรีดิคัลกราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ และน้ำหนักน้ำมันจากการทดสอบแยกน้ำมันหล่อลื่นออกจากน้ำ	106



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (MF)	6
2.2 แสดงโครงสร้างของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์.....	6
2.3 แสดงลักษณะของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม.....	7
2.4 เปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างกราฟีนและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	9
2.5 แสดงวิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	11
2.6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของวิตามินซี.....	14
2.7 แสดงกลไกการเกิดออกซิเดชันของวิตามินซี.....	14
2.8 แสดงกลไกการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี.....	15
2.9 แสดงหยดน้ำที่มีลักษณะเป็นเม็ดกลมบนผิวของใบบัว.....	16
2.10 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงโครงสร้าง ระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรบนผิวของใบบัว.....	16
2.11 แสดงค่ามุมสัมผัส (contact angle) ของหยดน้ำบนพื้นผิวสัมผัส.....	18
2.12 แสดงขั้นตอนการเตรียมเส้นใยไม่ชอบน้ำพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตที่ปรับปรุงด้วย พอลิโดเมทิลไซโลเซน.....	19
2.13 แสดงพอลิเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เตรียมได้สามารถทนการถูกเผาไหม้ได้ (a) และ โฟมที่นำไปใช้ดูดซับน้ำมันมาแล้วทำการบีบน้ำมันออกเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ (b).....	20
2.14 แสดงขั้นตอนการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนคาร์บอนนาโนทิวป์-โดพามีน- Octadecylamine.....	21
2.15 แสดงขั้นตอนการเตรียมและกลไกการเกิดของ FGN/PU sponge.....	22
2.16 แสดงความจำเพาะเจาะจงในการเลือกดูดซับเฉพาะน้ำมันในน้ำ.....	23
2.17 แสดงกระบวนการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมที่ปรับปรุงด้วย Thiolated Graphene.....	23
2.18 แสดงอุปกรณ์และขั้นตอนในการแยกน้ำมันออกจากน้ำอย่างง่าย (a,b) น้ำมันและน้ำที่ปราศจากน้ำมันหลังจากผ่านกระบวนการแยก (c).....	24
2.19 แสดงวิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนเมลามีนโฟม.....	24
2.20 แสดงภาพค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และความจำเพาะเจาะจงในการเลือกดูดซับน้ำมันในน้ำ (a,b,c).....	25
2.21 แสดงวิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โฟมด้วยกระบวนการ freeze-dried.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 แสดงค่า Zeta potential ของกราฟไฟต์ออกไซด์และกราฟีนที่ผ่านกระบวนการรีดักชัน (a) แสดงค่าเปอร์เซ็นต์แสงสว่างส่องผ่านของแผ่นกราฟีน (b) และแผ่นกราฟีนมีความหนา 1 นาโนเมตรเมื่อตรวจวัดด้วย Tapping-mode ของเครื่อง AFM (c).....	26
2.23 แสดงภาพกระบวนการรีดักชันโดยใช้วิตามินซีของสารละลายกราฟไฟต์ออกไซด์ เริ่มต้น (a) เปลี่ยนเป็นสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในน้ำ (b).....	27
2.24 แสดงการเกิดปฏิกิริยารีดักชันทางเคมีของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยใช้วิตามินซี	27
3.1 แสดงผงกราฟไฟต์ และผงกราฟไฟต์ที่ผสมกับโซเดียมไนเตรต.....	30
3.2 แสดงการตกสารตั้งต้นลงในขวดก้นกลม วางบนอ่างน้ำแข็ง และเติมกรดซัลฟิวริก.....	30
3.3 แสดงการเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และปั่นกวนต่อในอ่างน้ำร้อน	31
3.4 แสดงการเติมน้ำกลั่นที่ละเล็กลน้อย การปั่นกวนต่อในอ่างน้ำร้อน และเติมน้ำกลั่น.....	31
3.5 แสดงการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริก	32
3.6 แสดงการล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น การตกตะกอน และนำมากรอง	32
3.7 แสดงผงกราฟไฟต์ออกไซด์ที่บดละเอียดแล้ว.....	33
3.8 แสดงการเตรียมสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ด้วยการโซนิเคชัน และทำการแยก ตะกอนออกโดยการหมุนเหวี่ยง	33
3.9 แสดงสารแขวนลอยกราฟีนไซด์ (GO).....	34
3.10 แสดงภาพถ่ายเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่ผ่านการเตรียมผิว	34
3.11 แสดงภาพถ่ายสารละลายวิตามินซีในน้ำ	35
3.12 แสดงภาพถ่ายเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ในสารละลายวิตามินซี	39
3.13 แสดงภาพถ่ายเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เมื่อเติมสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์.....	40
3.14 แสดงภาพถ่ายชุดอุปกรณ์การเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบเมลามีนฟอร์มัล- ดีไฮด์โพลีเมอร์.....	40
3.15 แสดงภาพถ่ายเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	40
4.1 แสดงโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO).....	47
4.2 แสดงสีของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO) และสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO).....	47
4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO).....	48
4.4 แสดง FT-IR สเปกตรัมของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO).....	49
4.5 แสดงรามานสเปกตรัมของกราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	51

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่แตกต่างกันระหว่างกราไฟต์ กราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO).....	52
4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของ กราไฟต์ที่กำลังขยาย X10000 เท่า	53
4.8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของ กราไฟต์ออกไซด์ที่กำลังขยาย X10000 เท่า.....	54
4.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของ กราฟีนออกไซด์ที่กำลังขยาย X10000 เท่า.....	54
4.10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่กำลังขยาย X10000 เท่า	54
4.11 แสดงภาพถ่ายกราฟีนออกไซด์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน.....	55
4.12 แสดงภาพถ่ายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน	56
4.13 แสดง FT-IR สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม (MF).....	57
4.14 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม (MF).....	58
4.15 แสดงลักษณะพื้นผิวของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลาง ที่กำลังขยาย X1200 (a) และ X8000 (b) เท่า.....	59
4.16 แสดงลักษณะพื้นผิวของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นสูงที่กำลังขยาย X1200 (a) และ X8000 (b) เท่า.....	59
4.17 แสดงเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมก่อน (ซ้าย) และหลังทำการเคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (ขวา).....	60
4.18 แสดง FT-IR สเปกตราของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ใช้ปริมาตรกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 5 10 และ 15 มิลลิกรัม.....	62
4.19 แสดง FT-IR สเปกตราของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นสูงเคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	63
4.20 แสดง FT-IR สเปกตราของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ.....	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 แสดง Raman สเปกตร้าของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH2 pH3 และ pH4	66
4.22 แสดง Raman สเปกตร้าของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน 15 30 และ 60 นาที	67
4.23 แสดง Raman สเปกตร้าของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งแต่ 1 3 5 10 และ 15 มิลลิกรัม	68
4.24 แสดง Raman สเปกตร้าของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลาง และความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	69
4.25 แสดง Raman สเปกตร้าของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ.....	70
4.26 แสดง XRD สเปกตร้าของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งแต่ 5 10 และ 15 มิลลิกรัม.....	72
4.27 แสดง XRD สเปกตร้าของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นสูงเคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	73
4.28 แสดง XRD สเปกตร้าของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ.....	74
4.29 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์ โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH2 (1a-1d) pH3 (2a-2d) และ pH4 (3a-3d) ที่กำลังขยาย X600 X1200 X2400 และ X8000 เท่า.....	75
4.30 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์ โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน 15 (1a-1d) 30 (2a-2d) 45 (3a-3d) และ 60 นาที (4a-4d) ที่กำลังขยาย X600 X1200 X2400 และ X8000 เท่า	77
4.31 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์ โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งแต่ 1 (1a-1d) 3 (2a-2d) 5 (3a-3d) 10 (4a-4d) และ 15 มิลลิกรัม (5a-5d) ที่กำลังขยาย X600 X1200 X2400 และ X8000 เท่า	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์ โฟมความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ (1a-1d) และเมลามีน- พอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ (2a-2d) ที่ กำลังขยาย X600 X1200 X2400 และ X8000 เท่า.....	79
4.33 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์ โฟม (1a-1d) เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ (2a-2d) และ เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ (3a-3d) ที่ กำลังขยาย X600 X1200 X2400 และ X8000 เท่า.....	80
4.34 แสดงองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ของเมลามีน- พอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH2 (1a-1c) pH3 (2a-2c) และ pH4 (3a-3c).....	82
4.35 แสดงองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ของเมลามีน- พอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน 15 (1a-1c) 30 (2a-2c) 45 (3a-3c) และ 60 นาที (4a-4c).....	84
4.36 แสดงองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ของเมลามีน- พอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 1 (1a-1c) 3 (2a-2c) 5 (3a-3c) 10 (4a-4c) และ 15 มิลลิกรัม (5a-5c).....	86
4.37 แสดงองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ของเมลามีนพอร์มัล- ดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ (1a-1c) และ เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ (2a-2c).....	88
4.38 แสดงองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ของเมลามีนพอร์มัล- ดีไฮด์โฟม (1a-1c) เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ (2a-2c) และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ (3a-3c).....	89
4.39 แสดงค่ามัมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์ โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ pH ของสารละลายวิตามินซีแตกต่างกัน.....	91
4.40 แสดงค่ามัมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์ โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้เวลาในการให้ความร้อนแตกต่างกัน.....	92

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.41 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นแตกต่างกัน.....	94
4.42 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม ความหนาแน่นปานกลาง และความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์.....	95
4.43 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วย รีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ	96
4.44 แสดงภาพถ่ายมุมด้านบน (ซ้าย) และมุมด้านหน้า (ขวา) ของหยดน้ำและหยดน้ำมัน บนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ	97
4.45 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ	99
4.46 กราฟแสดงประสิทธิภาพการใช้น้ำในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ ของเมลามีน- ฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์.....	101
4.47 กราฟแสดงประสิทธิภาพการใช้น้ำในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ ของเมลามีน- ฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ.....	103
4.48 แสดงการเลือกดูดซับเฉพาะคลอโรฟอร์มที่อยู่จมอยู่ในน้ำของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ	104
4.49 แสดงการเลือกดูดซับเฉพาะน้ำมันหล่อลื่นที่อยู่บนผิวน้ำของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ	105

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
MF	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิม
rGO	รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
MF/rGO pH2	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH2
MF/rGO pH3	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH3
MF/rGO pH4	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH4
MF/rGO 15min	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อน 15 นาที
MF/rGO 30min	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อน 30 นาที
MF/rGO 45min	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อน 45 นาที
MF/rGO 60min	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อน 60 นาที
MF/rGO 1mg	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้กราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 1 มิลลิกรัม
MF/rGO 3mg	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้กราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 3 มิลลิกรัม
MF/rGO 5mg	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้กราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 5 มิลลิกรัม
MF/rGO 10mg	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้กราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 10 มิลลิกรัม
MF/rGO 15mg	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้กราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 15 มิลลิกรัม
MF/rGO-MD	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์ (ต่อ)

MF/rGO-HD	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีโพรพิลีนความหนาแน่นสูงเคลือบด้วย รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
MF/rGO-recoat	เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีโพรพิลีนเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ทำการเคลือบซ้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เมื่อเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว ความต้องการด้านพลังงานย่อมเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของประชากรในประเทศ น้ำมัน ถือเป็นทรัพยากรอย่างหนึ่งที่มีปริมาณความต้องการใช้มากขึ้นและยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต ปัจจุบันประเทศไทยต้องนำเข้าน้ำมันเป็นอัตราส่วนที่สูง เนื่องจากกำลังการผลิตในประเทศยังต่ำกว่าปริมาณความต้องการใช้มาก ดังนั้นการนำเข้าน้ำมันโดยขนส่งทางทะเลจึงเข้ามามีบทบาทเพิ่มมากขึ้น [1,2] อันเนื่องมาจากการขนส่งทางทะเลสามารถขนส่งสินค้าได้ปริมาณมาก โดยที่มีต้นทุนต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการขนส่งทางอื่น ดังนั้นปัญหาการรั่วไหลของน้ำมันในทะเลจึงสามารถเกิดขึ้นได้ ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา มีข่าวเกี่ยวกับเหตุการณ์น้ำมันรั่วไหลในทะเลให้เห็นอยู่บ่อยครั้ง แต่แต่ละครั้งล้วนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ระบบนิเวศ การดำรงชีวิตของสัตว์ทะเล รวมถึงสุขภาพของมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม [3,4]

ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปจะมีมาตรการหรือกระบวนการเพื่อจัดการกับปัญหาน้ำมันรั่วไหลด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น วิธีการตักแยก วิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี วิธีการย่อยทางชีวภาพ วิธีการใช้สารเคมีเพื่อให้ไขมันเกิดการแตกตัว และการเผา เป็นต้น [5,6] แต่กระบวนการเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดอยู่มาก ได้แก่ มีขั้นตอนที่ซับซ้อน ใช้เวลานานดำเนินการนาน ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และใช้ต้นทุนค่อนข้างสูง [7] ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาในด้านข้อจำกัดดังกล่าว จึงต้องคิดหากระบวนการหรือวิธีการอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้ในการกำจัดหรือดูดซับน้ำมัน ซึ่งกระบวนการดูดซับเพื่อแยกน้ำมันออกจากน้ำ จะต้องเป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายไม่สูง สามารถทำได้ง่าย และไม่ยุ่งยากซับซ้อน

ปัจจุบันวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการดูดซับน้ำมันและน้ำ เช่น ดินเหนียว ซีโอไลต์ วัสดุธรรมชาติ และโพรพิลีนโพลิเมอร์สังเคราะห์ เป็นต้น [4-7] แต่วัสดุเหล่านี้ยังมีข้อจำกัด ในแง่ของความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่ไม่ดีนัก ประสิทธิภาพในการแยกต่ำ ไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงเพื่อให้มีสมบัติดีขึ้น โดยเติมสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำแต่ชอบน้ำมัน เช่น พอลิ-ไดเมทิลไซโลเซน ลอริวเมทาซิเลต และอัญรูปต่าง ๆ ของคาร์บอน เป็นต้น เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเลือกดูดซับเฉพาะน้ำมัน [6-8]

รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งเป็นอัญรูปหนึ่งของคาร์บอนที่เชื่อมต่อกันเป็นวงแหวนเหลี่ยมในระนาบเดียวกันจนมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ 2 มิติ ที่มีความหนาเท่ากับอะตอมคาร์บอน กำลังได้รับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นสารที่มีสมบัติโดดเด่นในหลาย ๆ ด้าน เช่น โปร่งแสง นำไฟฟ้าได้ดี มีความแข็งแรงมาก มีพื้นที่ผิวสูง เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสมบัติไม่ชอบน้ำ [4-8] เมื่อนำไปเคลือบบนผิวโพลีเมอร์จะทำให้โพลีเมอร์นั้นมีสมบัติไม่ชอบน้ำได้

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเตรียมเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยใช้กระบวนการให้ความร้อนอย่างง่าย เป็นวิธีการเตรียมที่รวดเร็วและไม่ยุ่งยากซับซ้อน นอกจากนี้ยังใช้วิตามินซีเป็นตัวรีดิวซ์ซึ่งไม่มีพิษ และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [9] เพื่อเปลี่ยนกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นให้เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จากนั้นจึงนำไปทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำ ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ โดยใช้ไขมันปาล์ม น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันเบนซิน ในการทดสอบ รวมถึงตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ต่าง ๆ โดยใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้ คือ เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR) เครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ (Raman spectrometer) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) อุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDX) และ เครื่องวิเคราะห์ค่ามุมสัมผัส (CAA) เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาการเตรียมเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
- 2) เพื่อศึกษาผลของปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
- 3) เพื่อศึกษาผลของพีเอชสารละลายวิตามินซีที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
- 4) เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการให้ความร้อนที่เหมาะสมที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
- 5) เพื่อศึกษาผลของชนิดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่ความหนาแน่นต่างกันที่มีผลต่อสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
- 6) เพื่อศึกษาการพิสูจน์เอกลักษณ์เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
- 7) เพื่อศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ โดยใช้ไขมันปาล์ม น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันเบนซิน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาการเตรียมเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยกระบวนการให้ความร้อนอย่างง่าย และใช้วิตามินซี (Vitamin C) เป็นตัวรีดิวซ์ (Reductant)
- 2) ศึกษาผลของปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นที่ใช้ปริมาณแตกต่างกัน ได้แก่ 1 3 5 10 และ 15 มิลลิกรัม ตามลำดับ
- 3) ศึกษาผลของสารละลายวิตามินซีที่พีเอชต่าง ๆ ได้แก่ pH=2 pH=3 และ pH=4 ตามลำดับ
- 4) ศึกษาผลของระยะเวลาที่ให้ความร้อนโดยใช้เวลาแตกต่างกัน ได้แก่ 15 30 45 และ 60 นาที ตามลำดับ
- 5) ศึกษาผลของชนิดเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมที่แตกต่างกัน คือ ชนิดความหนาแน่นสูง (HD) และความหนาแน่นปานกลาง (MD) ตามลำดับ
- 6) ศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ โดยใช้ไขมันปาล์ม น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันเบนซิน ในการทดสอบตามลำดับ
- 7) ศึกษาการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิค XRD SEM EDX FTIR Raman spectroscopy และ Contact angles Analyzer (CAA) เป็นต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้รับองค์ความรู้และความเข้าใจในการเตรียมเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ด้วยกระบวนการให้ความร้อนอย่างง่าย และใช้วิตามินซีเป็นตัวรีดิวซ์
- 2) สามารถทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
- 3) สามารถทราบถึงความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
- 4) ได้รับความรู้และมีความเข้าใจมากขึ้นในการใช้เทคนิคในการพิสูจน์เอกลักษณ์รวมถึงเครื่องมือต่าง ๆ
- 5) สามารถนำเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับน้ำมัน และใช้แยกน้ำมันออกจากน้ำได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การดูดซับ

การดูดซับ (adsorption) คือ ลักษณะของโมเลกุลจากสภาวะปกติไปสู่สภาวะที่ยึดติดบนพื้นผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง การดูดซับเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมตัวของสาร หรือความเข้มข้นของสารที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (interface) กระบวนการนี้สามารถเกิดที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่าง 2 สภาวะใด ๆ เช่น ของเหลวกับของเหลว แก๊สกับของเหลว แก๊สกับของแข็ง หรือของเหลวกับของแข็ง โดยโมเลกุลหรือสารละลายที่ถูกดูดซับเรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ทำหน้าที่ดูดซับสารอื่นเรียกว่า สารดูดซับ (adsorbent) กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างสารถูกดูดซับกับสารดูดซับ ปริมาณการดูดซับขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ธรรมชาติของสารถูกดูดซับกับสารดูดซับ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับ พลังงานกระตุ้นของตัวดูดซับ และสภาวะการดูดซับ อาทิ อุณหภูมิ ความเข้มข้น ความดัน และพลังงานศักย์ของอันตรกิริยาระหว่างสารถูกดูดซับกับสารดูดซับ ดังนั้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความดันหรือความเข้มข้น และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะทำให้ปริมาณการดูดซับเปลี่ยนแปลง [16,17]

ในระบบการดูดซับระหว่างของแข็งและของเหลว จะเกิดกระบวนการกักสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กที่ละลายอยู่ในตัวกลาง ให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง เกิดขึ้นเฉพาะบริเวณผิวสัมผัส โดยที่มีวัฏภาคดูดซับเป็นของแข็ง ซึ่งเป็นวัฏภาคคายความร้อน โมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับจะเกาะอยู่บนผิวหน้าของของแข็งที่เป็นสารดูดซับ ดังนั้นการดูดซับด้วยตัวดูดซับของแข็งจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวสัมผัสของของสารดูดซับ การดูดซับจะเกิดขึ้นเนื่องจากแรงดึงดูดที่พื้นที่ผิวของของแข็งซึ่งเป็นสารดูดซับที่มีค่ามากกว่าพลังงานจลน์ของโมเลกุลของของเหลวนั้น [18]

การดูดซับสามารถพบได้ทั่วไปในธรรมชาติ ทางชีววิทยา หรือแม้กระทั่งในแวดวงเคมีเอง วัสดุที่พัฒนาขึ้นเพื่อการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมโดยอาศัยหลักการพื้นฐานเรื่องการดูดซับ ยกตัวอย่างเช่น ตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ (heterogeneous catalysts) ถ่านกัมมันต์ (activated charcoal) ตัวกรองน้ำ (water purification) เรซินสังเคราะห์ (synthetic resins) และ powder cellulose เป็นต้น [19]

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับพื้นผิวของสารดูดซับ สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ การดูดซับทางกายภาพ

และการดูดซับทางเคมี
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption)

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน ๆ เรียกว่า แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) แรงดึงดูดระหว่างสารที่อยู่ในของเหลวกับสารดูดซับมีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างสารในของเหลวกับของเหลว ทำให้สารที่อยู่ในของเหลวเข้าติดอยู่กับสารดูดซับแทน เนื่องจากการดึงดูดด้วยแรงอ่อน ๆ จึงทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากพื้นผิวดูดซับสามารถทำได้ง่าย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ พื้นผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (multilayer) ในแต่ละชั้นจะซ้อนทับกันอยู่เหนือชั้นที่เกิดขึ้นก่อน โดยจำนวนชั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และเกิดขึ้นได้แก่ที่อุณหภูมิต่ำ [20]

2.1.2 การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption หรือ chemisorption)

เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอมขึ้นใหม่โดยมีพันธะเคมีที่แข็งแรง แรงที่ใช้ดูดซับเป็นพันธะโคเวเลนต์ มักเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตของสารที่ถูกดูดซับ มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากพื้นผิวตัวดูดซับทำได้ยาก และการดูดซับประเภทนี้เป็นแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น [20]

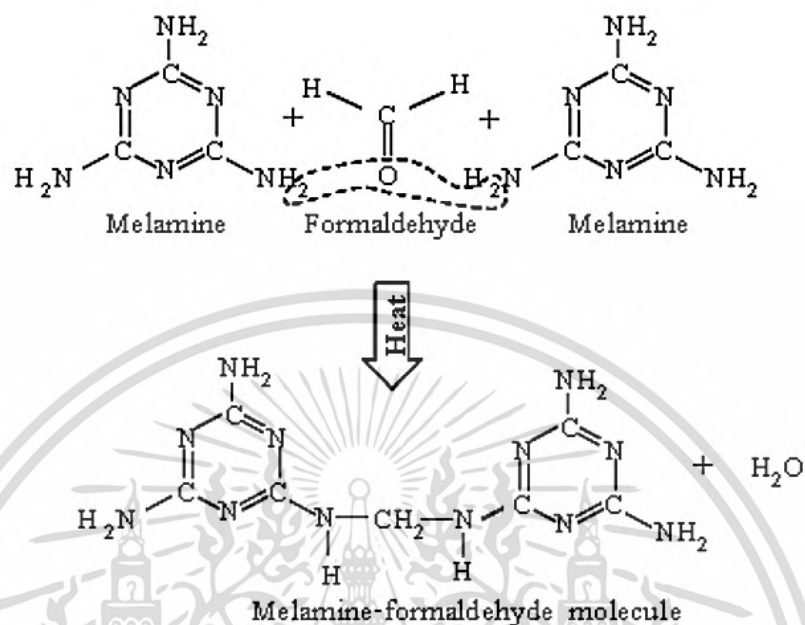
2.2 วัสดุดูดซับ

วัสดุดูดซับ (adsorbent) หมายถึง วัสดุที่มีพื้นที่ผิวสูง และมีรูพรุนภายในโครงสร้างมาก ซึ่งสามารถดูดซับของเหลว แก๊ส หรือของแข็งที่ละลายได้ ไว้ที่พื้นผิวหรือภายในตัวเองได้ปริมาณมาก ด้วยแรงระหว่างโมเลกุล ตัวอย่างวัสดุดูดซับ เช่น คาร์บอนกัมมันต์ (activated carbon) ซิลิกาเจล (silica gel) ดินเบนโทไนต์ (bentonite clays) และโฟม (sponge) เป็นต้น [17-19]

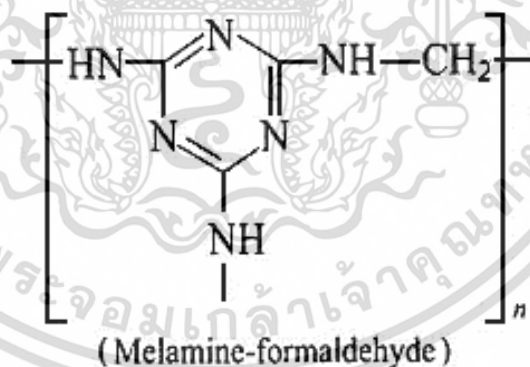
2.3 เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม

เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (Melamine formaldehyde : MF) หรือเรียกอย่างย่อว่า เมลามีน ถูกสังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกในปีค.ศ. 1935 โดยนักวิทยาศาสตร์ชื่อ เฮนเกล (Henkel) ถือเป็นพอลิเมอร์สังเคราะห์ชนิดหนึ่งที่ได้จากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของมอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ เมลามีน และ ฟอรัลดีไฮด์ ซึ่งในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาต้องมีการให้ความร้อน โดยฟอรัลดีไฮด์จะทำหน้าที่เป็นเอกซอสเต็ม (crosslinker) ระหว่างเมลามีน จากนั้นจึงเกิดการควบแน่นได้เป็นเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์และไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แล้วทำปฏิกิริยาต่อไปเรื่อย ๆ จนสามารถจัดเรียงตัวได้สายโซ่ยาวขึ้น [21,22] สามารถเขียนหน่วยมอโนเมอร์ (repeating unit) ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิม ได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดงปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (MF) [21]



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ [22]

เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมเซต (Thermoset plastic) คือ ไม่สามารถหลอมเหลวและขึ้นรูปใหม่ได้ เนื่องจากโครงสร้างตาข่ายมีการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุลอย่างหนาแน่น ส่งผลให้สายโซ่โมเลกุลขยับตัวยาก เมื่อได้รับแรงหรือความร้อนสูงถึงอุณหภูมิสลายตัว (Degradation temperature) จะสลายตัวไปเนื่องจากพันธะเคมีแตกหัก ดังนั้นจึงเป็นพลาสติกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภทรีไซเคิลไม่ได้ [23] ซึ่งในปัจจุบันมีผลิตภัณฑ์ที่ทำขึ้นจากเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์หลายกลุ่มด้วยกัน เช่น สารเคลือบ กาว ลามิเนต ฟอร์ไมก้า และโฟม เป็นต้น [24]

เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟม มีโครงสร้างเป็นเส้นใยขนาดเล็กจำนวนมากที่เชื่อมต่อกัน (Cross-linked) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งถือเป็นโครงสร้างที่มีความแข็งแรงสูง เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยนั้นมีขนาดเล็กมาก พอลิเมอร์จึงจำเป็นต้องรับแรงในแนวแกนเส้นใยให้ได้สูงสุด [23] ถึงแม้ว่าเส้นใยจะมีลักษณะทางกายภาพที่ดูเบาบาง แต่กลับมีความแข็งแรง ทนทานสูง อีกทั้งยังมีสมบัติในด้านการทนไฟ เนื่องจากโครงสร้างที่มีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ส่งผลให้มีความสามารถในการดูดซับที่ดีเยี่ยม นอกจากนี้ยังมีพื้นที่ผิวสูง และมีความยืดหยุ่นดี เมื่อทำการบีบจะยุบตัวลง และสามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมได้อย่างรวดเร็ว จึงมีการนำเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมมาใช้ในการดูดซับสารต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง [25]



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟม [23-25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 กราฟีนและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

2.4.1 กราฟีน

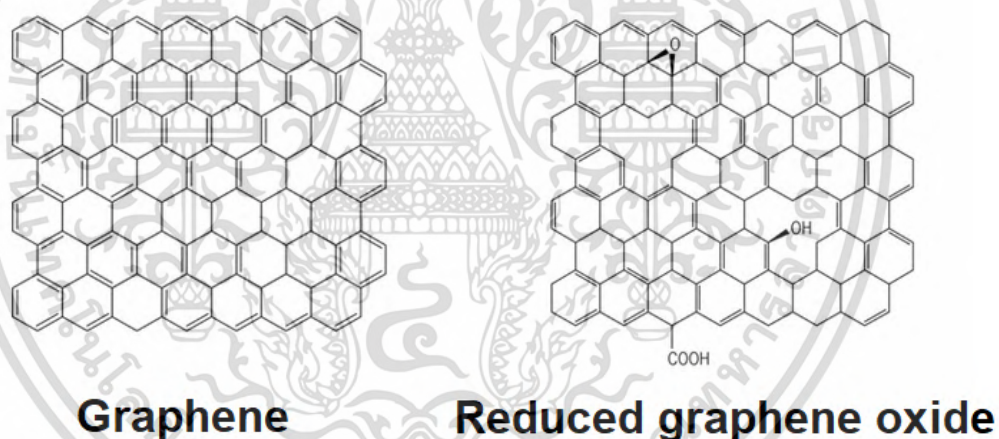
กราฟีน (Graphene) ถูกค้นพบในปี ค.ศ. 2004 โดย ศ.ดร. อังเดร ไกม์ (Andre Geim) และ ศ.ดร. คอนสแตนติน โนโวเซลอฟ (Konstantin Novoselov) จากมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ สหราชอาณาจักร ซึ่งผลงานการค้นพบดังกล่าว ทำให้อาจารย์ทั้งสองท่านได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ในปี ค.ศ. 2010 นี่จึงเป็นจุดเริ่มต้นให้บรรดานักวิจัยและนักวิทยาศาสตร์หันมาสนใจกราฟีนเป็นอย่างมาก [27]

กราฟีน เป็นอัญรูปหนึ่งของคาร์บอน (Carbon allotropes) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์เป็นวง 6 เหลี่ยม (hexagonal) ซึ่งมีไฮบริดไดเซชันเป็น sp^2 ในระนาบเดียวกันจนมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ 2 มิติ (2D) ที่มีความหนาเท่ากับอะตอมคาร์บอน (มีค่าเท่ากับ 0.335 นาโนเมตร) หรืออาจกล่าวได้ว่ากราฟีนคือแผ่นระนาบเพียงชั้นเดียวของกราฟไฟต์ ทำให้กราฟีนมีสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างออกไปจากคาร์บอนอัญรูปอื่น ๆ เช่น น้ำหนักเบา มีความโปร่งแสง แข็งแกร่งกว่าเหล็กกล้าถึง 100 เท่า นำความร้อนได้ดีเยี่ยม ขณะเดียวกันยังนำไฟฟ้าได้ดีกว่าทองแดง ในทางทฤษฎีกราฟีนเพียงแค่ 1 กรัม จะมีพื้นที่ผิวมากถึง 2,360 ตารางเมตร และเนื่องจากมีโครงสร้างเป็นคาร์บอนเหมือนกันทั้งแผ่น จึงทำให้กราฟีนมีสมบัติไม่มีขั้วอีกด้วย [27,28]

ในตอนแรกเริ่มนั้นการสังเคราะห์กราฟีนจะใช้เทคนิคง่าย ๆ ที่เรียกว่า micromechanical cleavage หรือการใช้เทปกาวทาบบนกราฟไฟต์แล้วดึงออก เมื่อดึงเทปกาวออกจะพบว่ากราฟไฟต์บางส่วนหลุดติดขึ้นมาเทปกาวด้วย จากนั้นนำไปทาบบนเทปกาวอีกอันหนึ่งแล้วดึงออก ทำเช่นนี้ซ้ำไปซ้ำมา ซึ่งในแต่ละครั้งแผ่นกราฟไฟต์ที่ติดอยู่บนเทปกาวก็จะบางลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้แผ่นกราฟีนที่มีความบางแค่อะตอมเดียวเท่านั้น การเตรียมด้วยเทคนิคนี้เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาสมบัติขั้นพื้นฐานของกราฟีน แต่การสังเคราะห์จากวิธีการลอกด้วยเทปกาวนี้สามารถเตรียมต่อครั้งได้ปริมาณน้อย แผ่นกราฟีนที่ได้มีขนาดเล็กและรูปร่างไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งมีขั้นตอนยุ่งยากซับซ้อน ใช้เวลาในการผลิตนาน [27] ในเมื่อการสังเคราะห์กราฟีนด้วยเทคนิคแบบเดิมนั้นมีข้อจำกัดต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งไม่เอื้ออำนวยต่อการผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่มีความจำเป็นต้องใช้สารในปริมาณมาก นักวิทยาศาสตร์จึงทำการสังเคราะห์สารชนิดใหม่ขึ้นมา เรียกว่า รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เพื่อนำมาใช้แทนกราฟีน ซึ่งรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีสมบัติใกล้เคียงกราฟีนในหลาย ๆ ด้าน

2.4.2 รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (Reduced graphene oxide; rGO) คือ กราฟีนที่เตรียมโดยกระบวนการทางเคมี โดยสามารถเตรียมได้ครั้งละเป็นจำนวนมาก มีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ใช้เวลาไม่นาน และมีต้นทุนไม่สูงมากนัก จึงเหมาะสมต่อการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม หรือเพื่อใช้สำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการ โครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีลักษณะคล้ายกับกราฟีนมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ความแตกต่างระหว่างกราฟีนและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์อยู่ที่โครงสร้าง ซึ่งกราฟีนเป็นโครงสร้างที่มีแค่คาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบเท่านั้น ทำให้กราฟีนเป็นสารที่มีสมบัติไม่มีขั้ว (Non-polar) [28] แต่รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีหมู่ฟังก์ชันของออกซิเจน (Oxygen containing functional groups) กระจายอยู่บนแผ่น เช่น หมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl group; COOH-) หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group; OH-) หรือหมู่อีพอกซี (Epoxy group) เป็นต้น โดยหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวจะมีจำนวนเพียงเล็กน้อย ซึ่งมักพบบริเวณรอบ ๆ ที่ขอบหรือระหว่างโครงสร้าง การมีอยู่ของหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้ทำให้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เป็นสารที่มีสมบัติมีขั้ว (Polar) ซึ่งส่วนใหญ่มักอยู่ในลักษณะของสารแขวนลอยอยู่ในน้ำ จึงสะดวกต่อการเก็บรักษาและนำไปใช้งาน [35-37]



รูปที่ 2.4 เปรียบเทียบโครงสร้างระหว่างกราฟีนและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ [28]

2.4.3 การสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

การสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยใช้กระบวนการทางเคมีสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.5 เริ่มต้นกราฟไฟต์จะถูกออกซิไดซ์ด้วยกรดแก่เพื่อให้ได้กราฟไฟต์ออกไซด์ (Graphite oxide) จากนั้นจึงทำการอัลตราโซนิก เพื่อให้กราฟไฟต์ออกไซด์ในแต่ละชั้นหลุดออกมาเป็นแผ่นกราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide; GO) ซึ่งจะกระจายตัวอยู่ในเฟสของตัวทำละลาย แล้วจึงทำการรีดิวซ์เพื่อเปลี่ยนเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งกระบวนการสังเคราะห์ดังกล่าวจะมีขั้นตอน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 1 กราไฟต์ เป็น กราไฟต์ออกไซด์

ขั้นตอนแรกคือการเปลี่ยนผงกราฟไฟต์ให้ไปเป็นกราฟไฟต์ออกไซด์ ด้วยกระบวนการของฮัมเมอร์ (Hummer's method) ซึ่งเป็นกระบวนการดัดแปลงหมู่ฟังก์ชันให้แก่กราฟไฟต์ ด้วยการเติมหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นส่วนประกอบ อย่างเช่น หมู่คาร์บอกซิลหมู่คาร์บอนิล หมู่ไฮดรอกซิล หมู่คีโตน หรือหมู่อีพอกซี ให้เข้าไปแทรกระหว่างแผ่นของกราฟไฟต์ทำให้ความกว้างของระนาบผลึก (D-spacing) ของกราฟไฟต์กว้างมากขึ้น โดยกระบวนการนี้จะใช้ตัวออกซิไดส์ที่รุนแรง คือ กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid; H_2SO_4) กรดไนตริก (Nitric acid; HNO_3) หรือ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (Potassium permanganate; $KMnO_4$) เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในการดัดแปลงหมู่ฟังก์ชันดังกล่าว

ขั้นที่ 2 กราไฟต์ออกไซด์ เป็น กราฟีนออกไซด์

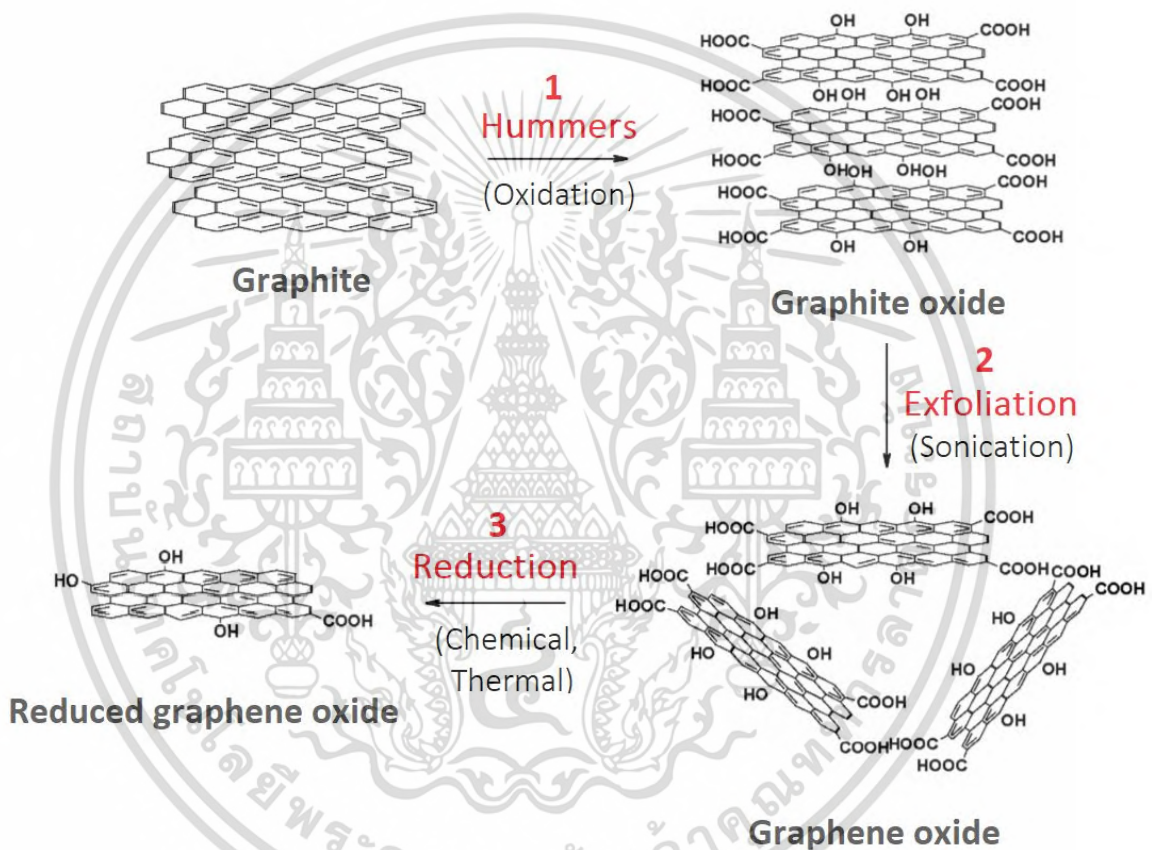
ต่อมาเป็นขั้นตอนในการเปลี่ยนกราฟไฟต์ออกไซด์ให้ได้เป็นสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ โดยการปล่อยคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasonication process) ให้เข้าแทรกไประหว่างชั้นของกราฟไฟต์ออกไซด์ที่เกาะกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forcing) เพื่อให้หลุดลอก (Exfoliation) ออกมาเป็นแผ่นชั้นเดียวของกราฟีนออกไซด์ ซึ่งกระบวนการในขั้นตอนนี้เกิดขึ้นได้เพราะอาศัยผลจากการดัดแปลงหมู่ฟังก์ชันด้วยกระบวนการฮัมเมอร์ทำให้ช่องว่างระหว่างชั้นของกราฟไฟต์กว้างมากขึ้น ส่งผลให้แรงแวนเดอร์วาลส์ที่ยึดเกาะกันระหว่างชั้นอ่อนลง เมื่อได้รับความดันจากคลื่นความถี่สูงแทรกเข้ามา จึงทำให้กราฟไฟต์ออกไซด์เกิดการแยกออกจากกันได้ง่ายขึ้น โดยสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์เป็นสารที่มีขี้วจิสามารถละลายน้ำได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันเกาะอยู่ทั่วทั้งแผ่น

ขั้นที่ 3 กราฟีนออกไซด์ เป็น รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

สุดท้ายเป็นขั้นตอนในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ให้เปลี่ยนไปเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งสีของสารแขวนลอยจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลไปเป็นสีดำ โดยในกระบวนการรีดักชัน (Reduction) สามารถทำได้ 2 วิธีหลัก ๆ ได้แก่ กระบวนการรีดักชันทางความร้อน (Thermal reduction) และกระบวนการรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction) ในส่วนของกระบวนการรีดักชันทางความร้อน เป็นกระบวนการที่เรียบง่าย ไม่ซับซ้อน ไม่ต้องใช้สารเคมีที่เป็นอันตราย แต่ต้องอาศัยเวลานานกว่าจะสามารถรีดิวซ์จนได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งทำให้สิ้นเปลืองเวลา สิ้นเปลืองพลังงาน และเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายของเครื่องจักร โดยส่วนมากกระบวนการรีดักชันทางเคมีได้รับความนิยมนมากกว่า เพราะเป็นกระบวนการที่รวดเร็ว ให้ผลผลิตร้อยละ (Percent yield; % yield) ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สูง แต่ต้องใช้สารเคมีควบคุมไปด้วย เช่น ไฮดราซีน (Hydrazine; N_2H_4) ไฮโดรควิโนน (Hydroquinone; $C_6H_6O_2$) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride; $NaBH_4$) หรือวิตามินซี (Ascorbic acid) เป็นตัวช่วยในการรีดิวซ์ [32]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับกราฟีน โดยสามารถเตรียมได้จากการนำกราฟีนออกไซด์มาผ่านกระบวนการรีดักชันทางความร้อน หรือทางเคมี โดยมีการให้ระยะเวลาที่เพียงพอเพื่อให้เกิดการกำจัดหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ บนระนาบของแผ่นกราฟีนออกไซด์ให้หมดไป เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนจะได้กราฟีน แต่ทั้งนี้การจะสังเคราะห์เพื่อให้ได้กราฟีนนั้นต้องอาศัยระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาที่นาน ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองเวลา พลังงาน และต้นทุน ดังนั้นจึงนิยมให้กระบวนการสังเคราะห์สิ้นสุดลงที่การได้สารแขวนลอยสีดำของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่มีคุณสมบัติแตกต่างเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกราฟีน แต่สามารถประหยัดต้นทุนและเวลาในการผลิตได้มากกว่า



รูปที่ 2.5 แสดงวิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยดัดแปลงจาก [33]

2.4.4 สมบัติของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จัดเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน ทั้งนี้เป็นเพราะกราฟีนมีสมบัติซึ่งเป็นเอกลักษณ์พิเศษ [29,30] ดังต่อไปนี้

1) ความโปร่งแสง (Translucent properties) แผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 1 แผ่นมีความหนาประมาณ 0.335 นาโนเมตร ซึ่งมีความบางมากจนสามารถมองเห็นได้ โดยมีค่าการดูดซับแสงเอกสารนี้เพียงแค่ 2.3% เท่านั้น ทรัพยากรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ความแข็ง (Hardness) รีติวซ์กราฟีนออกไซด์เป็นวัสดุที่มีสมบัติเชิงกลด้านความแข็งสูงกว่าเหล็กกล้าถึงหนึ่งร้อยเท่า โดยเปรียบเทียบที่ความหนาเท่ากัน

3) ความยืดหยุ่น (Elastic properties) ถึงแม้ว่ารีติวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีความแข็ง แต่ขณะเดียวกันก็มีความยืดหยุ่นสูง สามารถบิดงอ ม้วน หรือพับได้อย่างง่ายดายโดยไม่ทำให้โมเลกุลเสียหาย

4) การนำความร้อน (Thermal properties) สามารถนำความร้อนได้ดี เนื่องจากมีค่าการนำความร้อนจำเพาะที่สูง โดยสามารถนำความร้อนกระจายได้ทุกทิศทางตามระนาบของแผ่นรีติวซ์กราฟีนออกไซด์

5) การนำไฟฟ้า (Electrical properties) รีติวซ์กราฟีนออกไซด์มีค่าความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน (electron mobility) สูงมาก ซึ่งเป็นผลมาจากการที่รีติวซ์กราฟีนออกไซด์ไม่มีช่องว่างพลังงานระหว่างชั้นวาเลนซ์และชั้นเหนือวงนำ ทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้ง่าย อิสระทั่วทั้งโครงสร้าง จึงทำให้นำไฟฟ้าได้ดี มีประสิทธิภาพ เร็วกว่า และแม่นยำกว่าวัสดุอื่น ๆ อีกทั้งยังมีความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำมาก จึงเป็นตัวนำที่นำไฟฟ้าได้ดีเกือบเท่าตัวนำไฟฟ้ายิ่งยวด (Superconductor)

6) พื้นที่ผิว (Surface area) เนื่องจากกราฟไฟต์ 1 ชั้น หากทำการลอกชั้นกราฟไฟต์แต่ละชั้นออกจะได้แผ่นรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เป็นจำนวนมาก เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วจึงทำให้พื้นที่ผิวของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์สูงชันมาก จึงมีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยามากเช่นกัน

7) ความไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) โครงสร้างที่เกิดจากอะตอมคาร์บอนเรียงต่อกันเป็นแผ่น จึงทำให้เป็นวัสดุที่ไม่มีขั้ว เนื่องจากไม่มีความแตกต่างของค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีภายในโมเลกุล ส่งผลให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ

2.4.5 การประยุกต์ใช้รีติวซ์กราฟีนออกไซด์

เนื่องด้วยสมบัติอันโดดเด่นในหลาย ๆ ด้าน ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีการนำรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ไปประยุกต์ใช้งานมากมาย [30,31] ตัวอย่างเช่น

1) แผงวงจรไฟฟ้า รีติวซ์กราฟีนออกไซด์มีสมบัติการนำไฟฟ้าที่โดดเด่น จึงมีความคล่องตัวในการขนส่งกระแสไฟฟ้าได้ดี และมีคลื่นรบกวนต่ำ ทำให้ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตแผงวงจรของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น คอมพิวเตอร์

2) ทรานซิสเตอร์ ซึ่งทรานซิสเตอร์ คือ อุปกรณ์ที่สามารถสลับระหว่างสองสถานะทางอิเล็กทรอนิกส์ด้วยตัวของมันเอง รีติวซ์กราฟีนออกไซด์มีความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนสูงมาก จึงทำให้สามารถสร้างทรานซิสเตอร์ที่ทำงานเร็วมาก ๆ ได้

3) ให้นำไฟฟ้าที่โปร่งแสง เนื่องจากรีติวซ์กราฟีนออกไซด์มีค่าการนำไฟฟ้าสูง อีกทั้งยังมีความโปร่งแสงสูง จึงสามารถทำเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงสำหรับการใช้งานในหน้าจอสัมผัสที่ใช้กับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรศัพท์มือถือ จอแสดงผลแบบคริสตัลเหลว และไดโอดเปล่งแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เป็นข้อได้เปรียบ เมื่อเทียบกับวัสดุอื่นที่มีความแข็งแรงเหมือนกัน แต่มีความเปราะ

4) เซลล์แสงอาทิตย์ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีทั้งสมบัติด้านการนำไฟฟ้าที่สูง และสมบัติความโปร่งแสง ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความโปร่งแสงสูงแต่สามารถดูดซับแสงได้ดี จึงทำให้เป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์

5) กระบวนการกลั่นเอทานอล และกระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำ เยื่อออกไซด์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์นั้นยอมให้น้ำซึมผ่านไปได้ แต่ไม่ยอมให้ของเหลวหรือแก๊สอื่น ๆ ซึมผ่านได้ ปฏิกิริยานี้ได้ถูกนำมาใช้ในการกลั่นนวดค้ำ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่สูงขึ้น

6) ใช้เคลือบบนวัสดุ เพื่อใช้เป็นวัสดุสำหรับเลือกดูดซับ เช่น เลือกดูดซับเฉพาะน้ำมัน หรือสารอเนกิกต่าง ๆ ที่ไม่มีขั้ว ออกจากน้ำ โดยอาศัยสมบัติความไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เนื่องจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีสมบัติไม่มีขั้ว

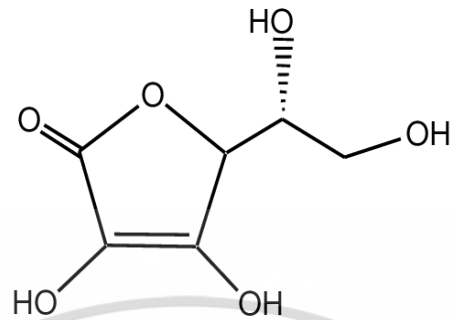
2.5 วิตามินซี

วิตามินซี (Vitamin C) หรือ กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เป็นวิตามินที่สามารถพบได้ทั่วไปในผัก ผลไม้ จำพวกตระกูลส้ม มะนาว เชอร์รี่ กีวี ฝรั่ง มะขามเทศ และผักสีเขียว เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถสังเคราะห์จากกลูโคส (glucose) ได้อีกด้วย วิตามินซีมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของร่างกาย มีส่วนช่วยในการสร้างคอลลาเจน รวมทั้งช่วยลดโคเลสเตอรอลในเลือด เป็นต้น และอีกบทบาทที่สำคัญของวิตามินซี คือ เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) ที่ดี จึงถูกออกซิไดซ์ (oxidized) ได้ง่าย ดังนั้นวิตามินซีจึงทำหน้าที่เป็นสาร antioxidant เพื่อป้องกันไม่ให้สารอื่น ๆ ถูกออกซิไดซ์ [41,42]

วิตามินซี มีสูตรเคมีคือ $C_6H_8O_6$ น้ำหนักโมเลกุล 176.1 กรัมต่อโมล จุดหลอมเหลวอยู่ที่อุณหภูมิ 192 องศา มีลักษณะทางกายภาพเป็นผลึกสีขาวละเอียด ไม่มีกลิ่น ดูดความชื้นในอากาศได้ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายที่เป็นน้ำจะมองเห็นเป็นสารละลายใสไม่มีสี สามารถสลายตัวได้ง่ายเมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงสว่าง ความร้อน หรือออกซิเจน เมื่อเสื่อมสภาพและเกิดการเปลี่ยนแปลงจากสีขาวไปเป็นสีเหลืองหรือสีชา [43]

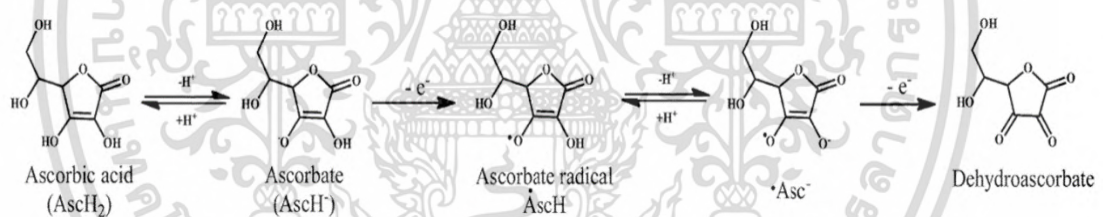
กรดแอสคอร์บิก มีโครงสร้างหลักเป็นวงแลคโตน (lactone) ห้าเหลี่ยม ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล ที่ต่อกับคาร์บอนพันธะคู่ ซึ่งเรียกว่า เอ็นไดออล (enediol) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ในโครงสร้างมีระบบคอนจูเกต (conjugate system) ระหว่างหมู่คาร์บอนิลและหมู่เอ็นไดออล ทำให้ไพอิเล็กตรอน (π electron) สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ (delocalization) ภายในโมเลกุล จึงทำให้กรดแอสคอร์บิกรักษาเสถียรภาพอยู่ได้ [44,45] แต่เมื่อถูกกระตุ้นแม้เพียงเล็กน้อยด้วยแสงสว่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้โทษไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อน หรือออกซิเจน จะทำให้โครงสร้างสูญเสียโปรตอนและอิเล็กตรอนอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้ จึงส่งผลให้กรดแอสคอร์บิกถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย [46,47]



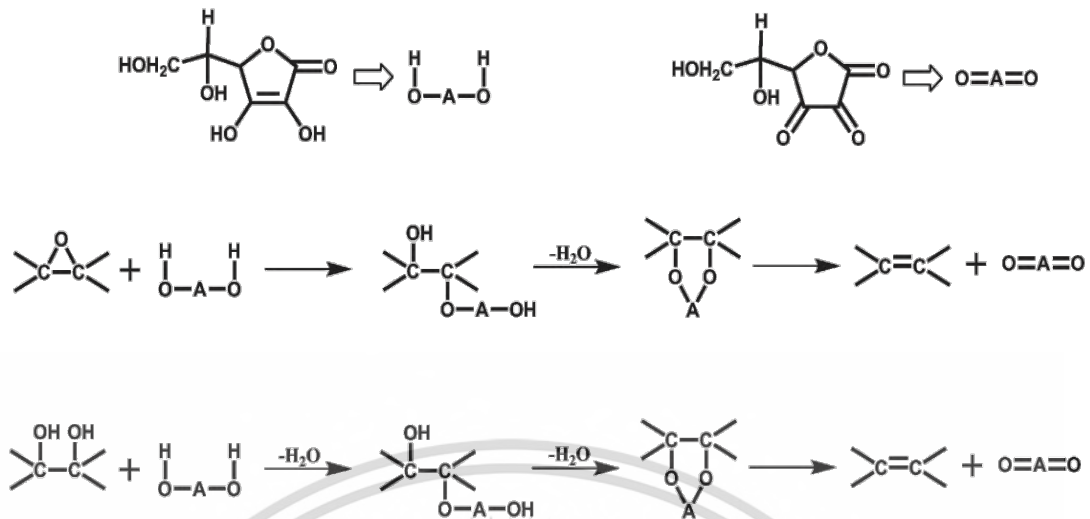
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างทางเคมีของวิตามินซี [41]

เนื่องจากวิตามินซี (Ascorbic acid) เป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี ทำหน้าที่จ่ายอิเล็กตรอนให้ในปฏิกิริยาต่าง ๆ เมื่อวิตามินซีถูกออกซิไดซ์ คือจ่ายอิเล็กตรอนออกไป 2 อิเล็กตรอน จะเรียกโครงสร้างที่ถูกออกซิไดซ์นั้นว่า กรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก (Dehydroascorbate acid) ซึ่งขั้นตอนการเกิดออกซิเดชันของวิตามินซี แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงกลไกการเกิดออกซิเดชันของวิตามินซี [46]

วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งกราฟีนออกไซด์จะเปลี่ยนไปเป็นตัวรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยหมู่ไฮดรอกซิล และหมู่เอพอกซีจะถูกกำจัด แล้วทำให้เกิดการสร้างพันธะขึ้นใหม่เป็นคาร์บอนพันธะคู่ C=C ของวงอะโรมาติกในโครงสร้างของแผ่นรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ ส่วนวิตามินซีจะเปลี่ยนไปเป็นกรดดีไฮโดรแอสคอร์บิก [40] ซึ่งกลไกการเกิดปฏิกิริยาแสดงในรูปที่ 2.15



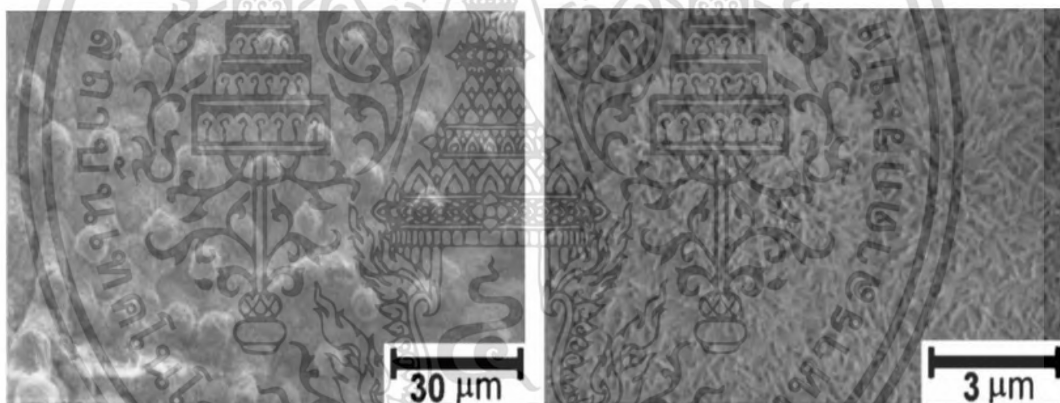
รูปที่ 2.8 แสดงกลไกการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี [40]

2.6 สมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (Superhydrophobic property)

วัสดุที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic) จะสามารถต้านทานการยึดเกาะของน้ำได้ ยกตัวอย่างเช่น ปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (lotus effect) ที่พบเห็นได้ในธรรมชาติ ซึ่งเป็นที่รู้จักมาแต่โบราณว่าใบบัวเป็นใบไม้ที่ไม่เปียกน้ำ ทุกครั้งที่หยดน้ำตกลงบนใบบัว หยดน้ำจะไม่ไหลกระจายออก แต่ยังคงลักษณะเป็นหยดและกลิ้งไหลลงไปรวมกันที่กึ่งกลางของใบบัว ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ด้วยลักษณะพิเศษของใบบัวนี้ จึงมีการศึกษาโดยส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า ผิวหน้าของใบบัวประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นปุ่มขนาดเล็กซึ่งปกคลุมด้วยแท่งคล้ายหนามจำนวนมาก และมีการกระจายตัวอย่างเป็นระเบียบ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 โดยหนามแต่ละอันมีขนาดในระดับนาโนเมตร และมีสารคล้ายไขหรือขี้ผึ้ง (wax) ปกคลุมอยู่ ซึ่งขี้ผึ้งเหล่านี้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ จึงทำให้น้ำไม่เกิดการเกาะติดกับผิวของใบบัวแต่รวมตัวกันแล้วกลิ้งไปมาบนใบบัวแทน เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างโมเลกุลของน้ำกับใบบัวน้อยมาก และเกิดอากาศที่บริเวณช่องว่างระหว่างปุ่ม ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่ามุมสัมผัส ซึ่งค่ามุมสัมผัสกับน้ำมีค่ามากกว่า 150 องศา ทำให้เกิดลักษณะที่เรียกว่า ความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic) [49,50]



รูปที่ 2.9 แสดงหยดน้ำที่มีลักษณะเป็นเม็ดกลมบนผิวของใบบัว [51]



รูปที่ 2.10 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงโครงสร้างระดับไมโครเมตรและนาโนเมตรบนผิวของใบบัว [49]

โดยปกติของเหลวทุกชนิดจะมีคุณสมบัติของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล 2 แรงหลัก ๆ คือ แรงเชื่อมแน่น และแรงยึดติด ดังนั้นจึงใช้แรง 2 แรงนี้ในการอธิบายว่าของเหลวจะสามารถเกิดการเปียกบนพื้นผิวของของแข็งได้ดีหรือไม่

1. แรงเชื่อมแน่น (Cohesive force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารชนิดเดียวกัน หรือก็คือแรงที่พยายามทำให้โมเลกุลของของเหลวเกาะกลุ่มกันเองเป็นหยด เช่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำกับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แรงยึดติด (Adhesive force) คือ แรงยึดเหนี่ยวระหว่างสารต่างชนิดกัน หมายถึงแรงระหว่างโมเลกุลของเหลวและของแข็ง ซึ่งเป็นแรงที่ตรงข้ามกับแรงเชื่อมแน่น คือแรงยึดติดจะพยายามทำให้หยดของของเหลวแตกออกจากกัน และกระจายแนบไปกับผิวของของแข็ง เช่น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำกับแก้ว

ถ้าพิจารณาน้ำกับวัสดุชนิดหนึ่ง ขณะที่น้ำเกาะอยู่บนผิวของของแข็งจะเกิดสภาพสมดุลของแรงยึดติดและแรงเชื่อมแน่น ถ้าแรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นอย่างมาก น้ำจะกระจายแนบติดบนผิวของของแข็งในที่สุด แสดงว่าผิวของของแข็งชนิดนี้มีสมบัติชอบน้ำ ในทางตรงข้ามถ้าแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ น้ำจะไม่เกาะแต่จะหลุดออกจากผิว แล้วรวมกันเป็นหยดกลิ้งไปมาได้บนผิวของของแข็ง แสดงว่าผิวของของแข็งชนิดนี้มีสมบัติไม่ชอบน้ำ [51,52]

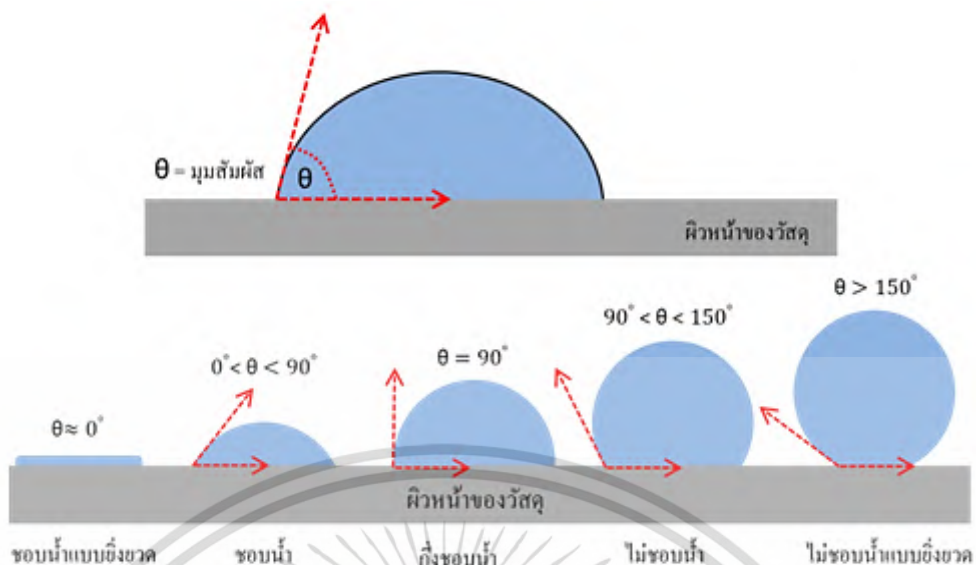
ดังนั้นในการศึกษาการสมบัติน้ำและความชอบน้ำและไม่ชอบน้ำบนผิวของวัสดุ จะใช้ค่ามุมสัมผัส (contact angle) ซึ่งคือมุมระหว่างหยดของของเหลววัดเทียบกับผิววัสดุ ณ จุดที่ผิวทั้งสองเกาะติดกัน เป็นเกณฑ์แบ่งลักษณะพื้นผิวต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 และจากการศึกษาสามารถแบ่งชนิดของพื้นผิวได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. ผิวชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophilic) มีค่ามุมสัมผัสเท่ากับ 0 องศา เกิดการเปียกอย่างสมบูรณ์ แสดงว่าแรงยึดติดมีค่ามากกว่าแรงเชื่อมแน่นมาก ๆ เมื่อของเหลวถูกหยดลงบนผิวของเหลวนั้นจะกระจายไปตามผิวของของแข็งจนกลายเป็นชั้นของของเหลวบาง ๆ ครอบคลุมพื้นผิวของของแข็ง

2. ผิวชอบน้ำ (hydrophilic) มีค่ามุมสัมผัสระหว่าง 0 ถึง 90 องศา เกิดการเปียกได้ดีของเหลวจะกระจายไปบนผิวได้เป็นบริเวณกว้าง แต่จะยังคงเกาะกันเป็นหยดบนพื้นเล็กน้อยจากผิวของของแข็ง

3. ผิวไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) มีค่ามุมสัมผัสอยู่ระหว่าง 90 ถึง 150 องศา เกิดการเปียกได้ค่อนข้างยาก ของเหลวจะรวมกันเป็นหยดรูปทรงค่อนข้างกลม และมีบริเวณเล็ก ๆ ที่ฐานของหยดที่ของเหลวยังคงแตะกับผิวของแข็ง

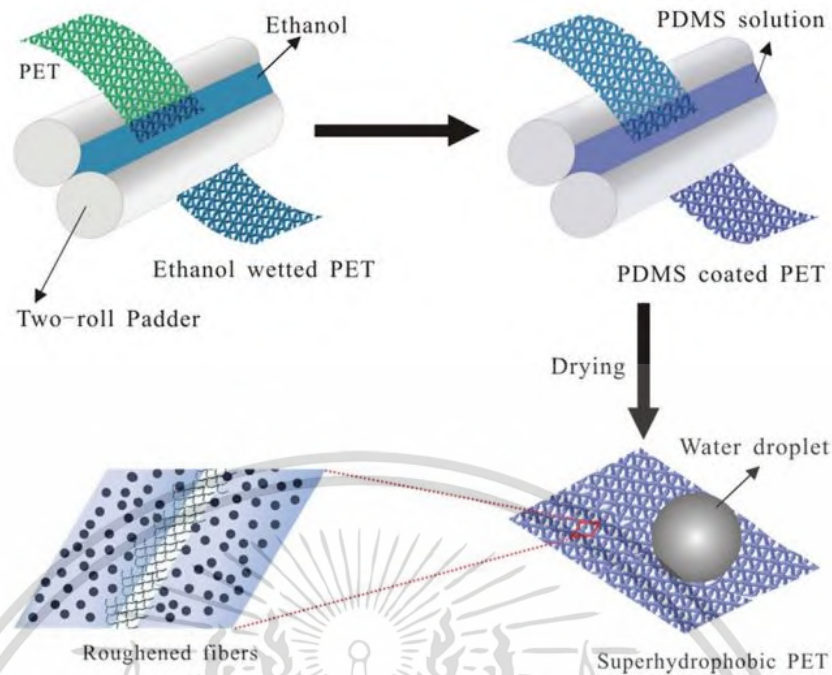
4. ผิวไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (superhydrophobic) มีมุมสัมผัสที่มีค่ามากกว่า 150 องศา เกิดการเปียกยาก แสดงว่าแรงยึดติดมีค่าน้อยกว่าแรงเชื่อมแน่น ดังนั้นเหลวจะรวมกันเป็นหยดทรงกลม บริเวณที่ของเหลวแตะกับผิวของแข็งจะอยู่ที่ฐานของทรงกลมซึ่งเล็กมาก เมื่อเป็นเช่นนี้ของเหลวจึงสามารถกลิ้งไปมาบนผิวได้อย่างอิสระ เช่นปรากฏการณ์น้ำกลิ้งบนใบบัว (lotus effect) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น [50,53]



รูปที่ 2.11 แสดงค่ามุมสัมผัส (contact angle) ของหยดน้ำบนพื้นผิวสัมผัส [54]

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

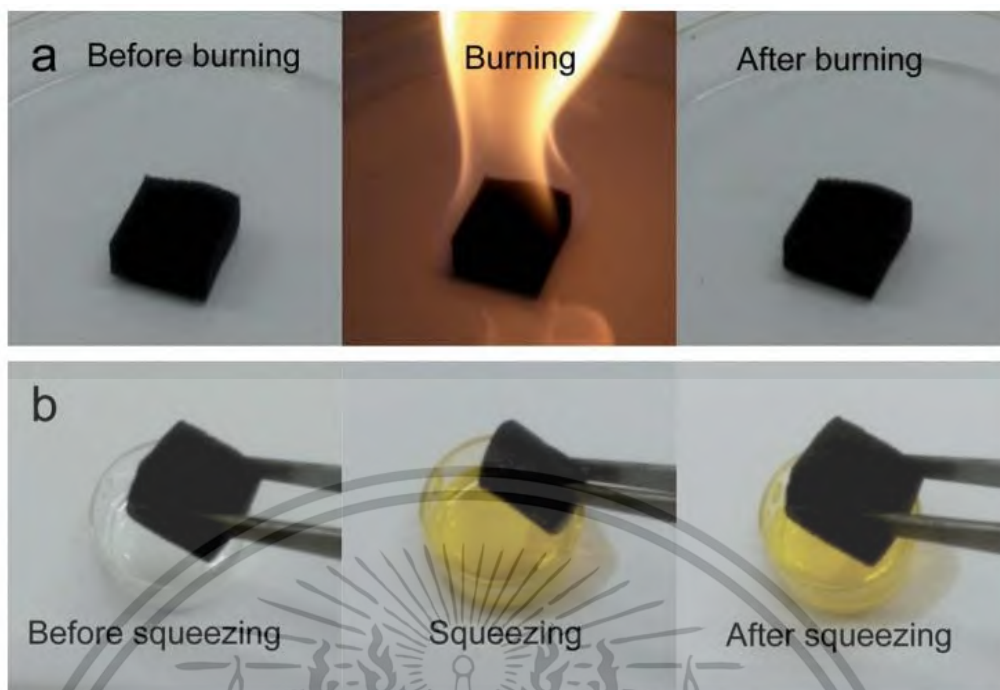
Cho-Hua Xue และคณะ (2015) ได้ทำการเตรียมเส้นใยที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยใช้พอลิไดเมทิลไซโลเซน (Polydimethylsiloxane : PDMS) มาเคลือบบนเส้นใยพอลิเอทิลีน-เทเรพทาเลต (Polyethylene terephthalate : PET) ด้วยเทคนิค double-dip double-nip ซึ่งจะไม่มีการเติมวัสดุนาโนอื่น ๆ ให้ไปเกาะบนพื้นผิวหรือโครงสร้างเส้นใยเพิ่ม เมื่อ PDMS เคลือบอยู่บนเส้นใย PET จะทำให้เส้นใยมีความขรุขระ เมื่อนำหยดน้ำหยดลงบนเส้นใยที่เตรียมได้พบว่าหยดน้ำไม่ซึมลงไป แสดงให้เห็นว่าเส้นใยมีสมบัติไม่ชอบน้ำ นอกจากนี้ยังนำเส้นใยไปทดสอบแยกน้ำมันออกจากน้ำด้วยการกรอง พบว่าน้ำมันแยกจากน้ำได้ดีเยี่ยม และเมื่อทดลองใช้ซ้ำ พบว่าสามารถนำเส้นใยนี้กลับมาใช้ซ้ำได้โดยที่ประสิทธิภาพในการแยกไม่ลดลง ดังนั้นจึงสามารถนำเส้นใยไม่ชอบน้ำนี้ไปปรับใช้ในการกำจัดน้ำมันหรือสารอินทรีย์อื่น ๆ ได้จริง [1]



รูปที่ 2.12 แสดงขั้นตอนการเตรียมเส้นใยไม่ชอบน้ำพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ที่ปรับปรุงด้วยพอลิไดเมทิลไซโลเซน

Yu Yang และคณะ (2014) ได้ศึกษาพอลิเมลามีนฟอรัมาดีไฮด์โพลิม (Poly Melamine Formaldehyde) ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ส่งผลให้โพลิมประกอบด้วยไนโตรเจน และคาร์บอนเป็นจำนวนมาก และปรับปรุงด้วยคลอไรด์ไตรเมทิลไซเลน จนได้โพลิมที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด มีน้ำหนักราเป็นพิเศษ ทนการเผาไหม้ และสามารถทนการบีบอัดได้ จากผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ พบว่าภายในโพลิมจะมีการเชื่อมกันของรูพรุนภายใน มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่ 145.4° มืองค์ประกอบของไนโตรเจนที่สูงจึงทำให้ทนการเผาไหม้ได้ดีเยี่ยม มีความยืดหยุ่นที่ดี มีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด และมีโครงสร้างรูพรุนเปิด ทำให้สามารถแยกน้ำและน้ำมันได้ และสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงสุด 158 เท่าของน้ำหนักโพลิม อีกทั้งยังสามารถดูดซับสารละลายอินทรีย์อื่น ๆ ได้อีกด้วย เมื่อทดลองนำโพลิมไปดูดซับน้ำมันแล้วจะทำการบีบอัดตัวโพลิมเพื่อกำจัดน้ำมันออกจากโพลิม พบว่ารูปร่างโพลิม สามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ แสดงให้เห็นว่าโพลิมนี้สามารถใช้ดูดซับซ้ำได้ ดังนั้น โพลิมที่เตรียมได้ถือว่ามีประสิทธิภาพที่ดี และสามารถนำวิธีการเตรียมนี้ไปใช้ในภาคอุตสาหกรรมได้ [2]

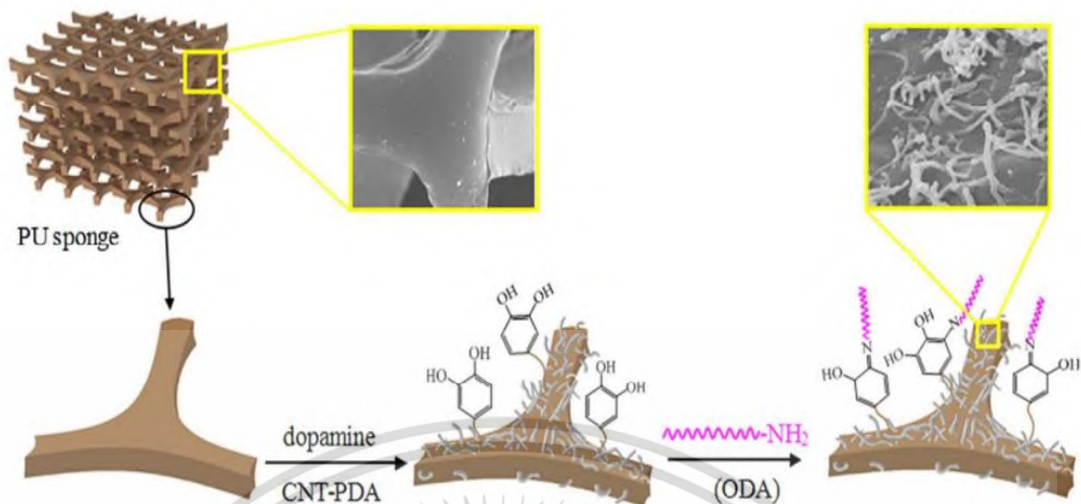
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงพอลิเอทิลีนพอร์มาดีไฮด์โพลีที่เตรียมได้สามารถทนการถูกเผาไหม้ได้ (a) และโพลีที่นำไปใช้ดูดซับน้ำมันมาแล้วทำการบีบน้ำมันออกเพื่อนำกลับมาใช้ซ้ำ (b)

Huaiyuan Wang และคณะ (2014) ได้ทำการศึกษาการเตรียมโพลีเอทิลีนพอร์มาดีไฮด์ ซึ่งเสริมด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์-โดพามีน จากนั้นจะเกิดปฏิกิริยาเคมีขึ้นเมื่อเติม Octadecylamine ลงไป ซึ่งทำให้โพลีที่เตรียมมีสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด แต่ชอบน้ำมันอย่างยิ่งยวดเพื่อใช้สำหรับการเลือกแยกน้ำมันและน้ำออกจากกัน โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าฟองน้ำพอลิเอทิลีนพอร์มาดีไฮด์ที่เตรียมได้ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันถึง 34.9 เท่าของน้ำหนัก มีความแข็งแรงเชิงกลสูงชัน เนื่องจากมีการเสริมโครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ยึดติดกับโครงสร้างของฟองน้ำ มีเสถียรภาพที่ดีเมื่อทดสอบที่ อุณหภูมิ และ pH ต่าง ๆ นอกจากนี้ยังสามารถนำฟองน้ำกลับมาใช้ในการแยกน้ำมันและน้ำซ้ำได้ถึง 150 ครั้ง โดยยังคงมีความสามารถในการดูดซับที่สูงเช่นเดิม [3]

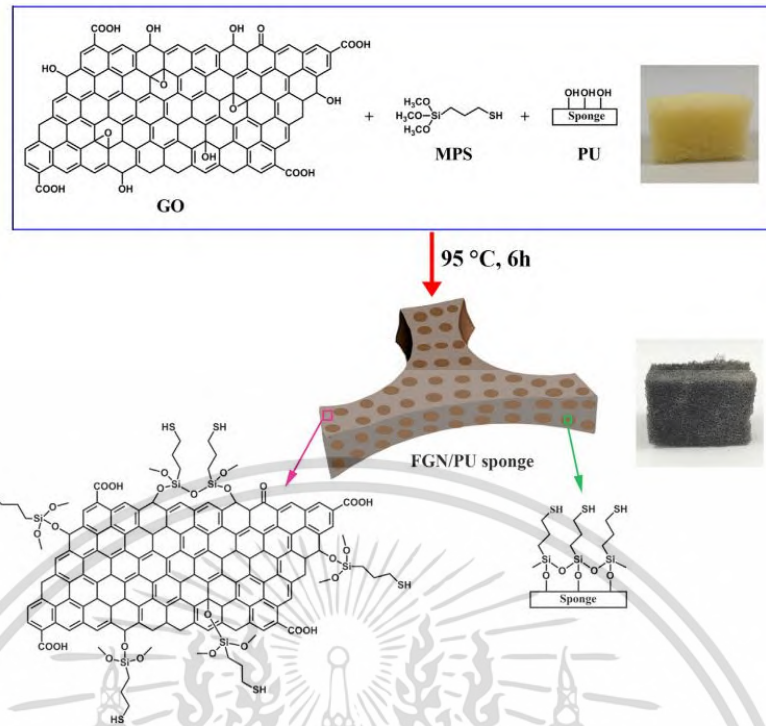
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงขั้นตอนการเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนคาร์บอนนาโนทิวป์-โดพามีน-Octadecylamine

Shuai Zhou และคณะ (2016) ทำการศึกษาและเตรียมโฟมพอลิยูรีเทนที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดซึ่งปรับปรุงด้วยกราฟีนที่ผ่านการเติมหมู่ฟังก์ชัน (functionalization) ด้วย ((3-Mercaptopropyl)trimethoxy silane : MPS) โดยวิธีโซลโวลเทอร์มอล ได้เป็น FGN/PU sponge พบว่าโครงสร้างของโฟมมีความขรุขระเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเกิดจากกราฟีนและ MPS ที่มีเกาะอยู่บนโครงสร้างของโฟมนั่นเอง ซึ่งสามารถยืนยันได้จากการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย Raman, XRD, XPS, FTIR, SEM เมื่อทำการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำพบว่าโฟมที่เตรียมได้มีค่ามุมสัมผัสสูงถึง 160° มีความสามารถในการดูดซับสูง นอกจากนี้ยังทำการติดตั้งโฟมที่เตรียมได้บริเวณปลายสายยางของเครื่องดูดสูญญากาศจากนั้นจุ่มลงในบีกเกอร์ที่มีของผสมน้ำมันและน้ำ พบว่า FGN/PU sponge มีความสามารถในการแยกน้ำมันออกจากน้ำอย่างต่อเนื่องได้ดีเยี่ยม สรุปได้ว่า FGN/PU sponge ที่เตรียมได้แยกน้ำมันและน้ำออกจากกันได้จริง ซึ่งสามารถนำเทคนิคที่ศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมได้ [4]

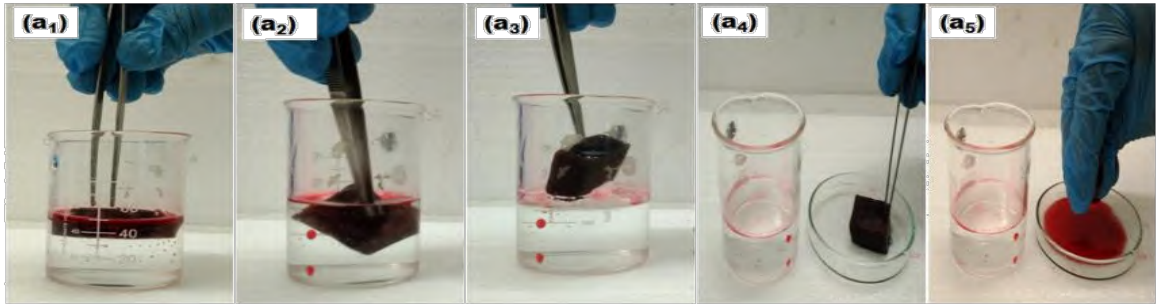
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงขั้นตอนการเตรียมและกลไกการเกิดของ FGN/PU sponge

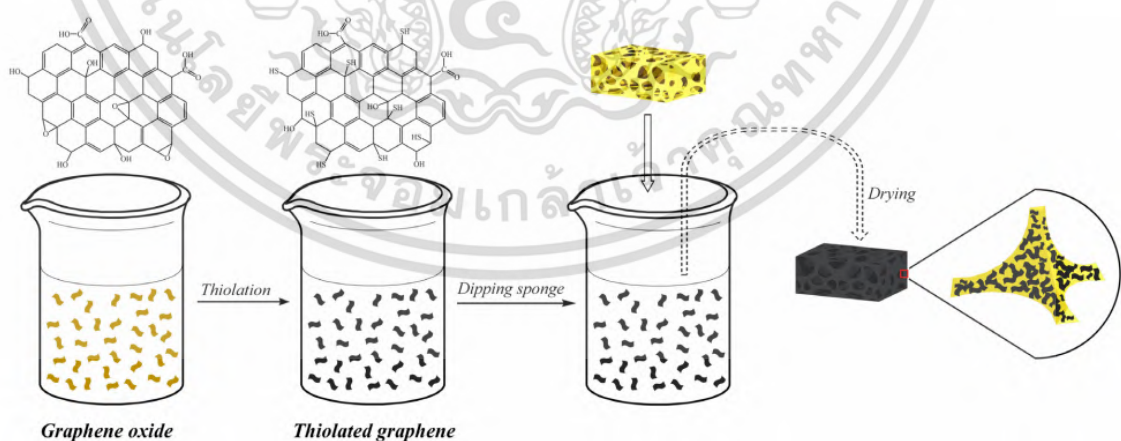
Partha Saha และคณะ (2018) ได้ศึกษาวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่สามารถใช้ดูดซับน้ำมันเพื่อแยกออกจากน้ำ โดยเลือกเตรียมโฟมไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปรับปรุงเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม (rGO@MF) เพื่อนำไปใช้แยกน้ำมันออกจากน้ำ สามารถเตรียมได้โดยนำสารตั้งต้นกราฟีนออกไซด์มาทำการโซนิเคตเพื่อให้เปลี่ยนเป็นกราฟีนออกไซด์ จากนั้นค่อย ๆ เติมหีดราซีนไฮเดรตซึ่งใช้เป็นสารรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ให้เปลี่ยนเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แล้วจึงจุ่มเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์โฟมลงในสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ ต่อมาจึงย้ายของผสมลงใน Teflon autoclave เพื่อทำการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้ rGO@MF ซึ่งพบว่าโฟมที่เตรียมได้เปลี่ยนจากโฟมสีขาวเป็นโฟมสีดำ มีพื้นผิวขรุขระที่เกิดจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะอยู่บนเส้นใยของโฟม สามารถวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้ 162° มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่มากกว่าน้ำหนักโฟมเดิมประมาณ 90 – 120 เท่าขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมันที่ทำการทดสอบ มีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำได้เป็นอย่างดี และสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ 10 ครั้ง โดยที่ประสิทธิภาพในการดูดซับลดลงเพียงเล็กน้อย จึงเหมาะที่จะนำ rGO@MF มาใช้ดูดซับน้ำมันเพื่อบำบัดน้ำเสีย [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



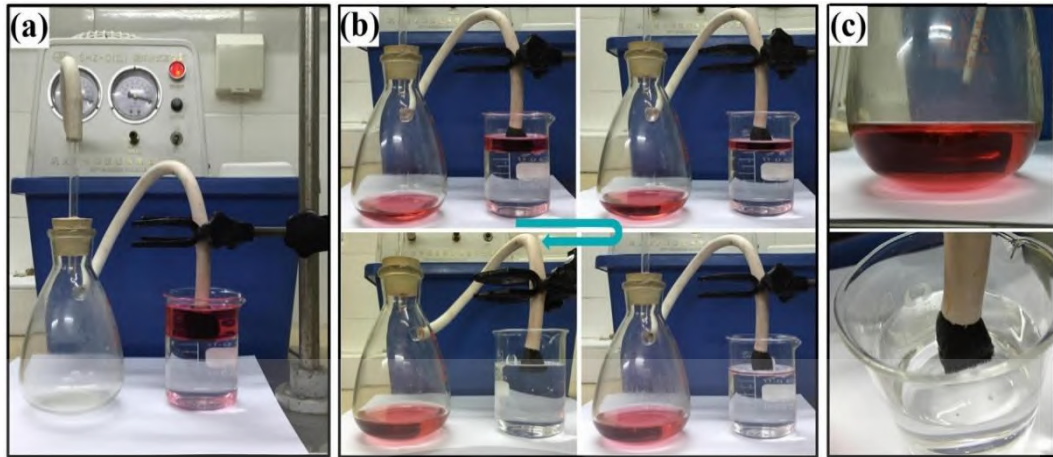
รูปที่ 2.16 แสดงความจำเพาะเจาะจงในการเลือกดูดซับเฉพาะน้ำมันในน้ำของ rGO@MF

Lin Zhang และคณะ (2017) ได้ทำการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมที่ปรับปรุงด้วยกราฟีน โดยกราฟีนที่เตรียมได้จะเกิดผ่านปฏิกิริยา Thiolation ของไทโอยูเรียและกราฟีนออกไซด์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง เรียกสารแขวนลอยกราฟีนที่เตรียมโดยเทคนิคนี้ว่า GSH (Thiolated Graphene) หลังจากนั้นนำพอลิยูรีเทนโฟมจุ่มลงในสารแขวนลอยกราฟีน GSH แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าโฟมที่เตรียมได้พื้นผิวมีความขรุขระ วัดค่ามุมสัมผัสได้ 160.5° มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันดี การเลือกดูดซับเฉพาะน้ำมันมีค่าสูง เมื่อนำมาใช้ซ้ำ 10 ครั้งพบว่าความสามารถในการดูดซับไม่ลดลง ประสิทธิภาพในการแยกสูงถึง 99.7 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้เมื่อทดลองจุดไฟเผา พบว่าโฟมมีระยะเวลาในการเผาไหม้สั้นลง และสามารถลดควันที่เกิดตอนเผาไหม้ลงได้ เมื่อเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมปกติ แสดงให้เห็นว่าโฟมที่เตรียมได้นี้มีสมบัติทนไฟ [6]



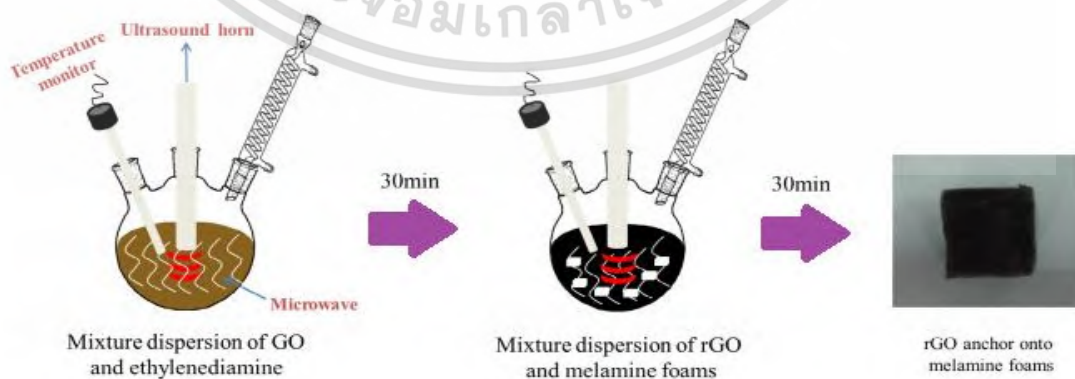
รูปที่ 2.17 แสดงกระบวนการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมที่ปรับปรุงด้วย Thiolated Graphene

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



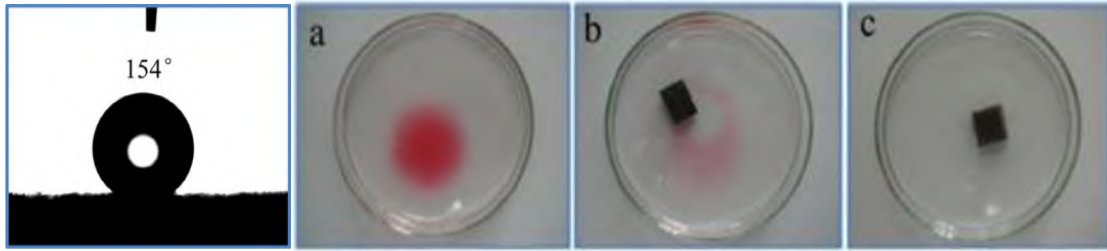
รูปที่ 2.18 แสดงอุปกรณ์และขั้นตอนในการแยกน้ำมันออกจากน้ำอย่างง่าย (a,b)
น้ำมันและน้ำที่ปราศจากน้ำมันหลังจากผ่านกระบวนการแยก (c)

Shuang Song และคณะ (2016) ได้ทำการศึกษาการใช้คลื่นอัลตราโซนิกร่วมกับคลื่นไมโครเวฟ ในการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพื่อนำมาปรับปรุงเมลามีนโฟมให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดและมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ดี ซึ่งกราฟีนออกไซด์เตรียมได้จากผงกราไฟต์ ด้วยวิธีของฮัมเมอร์ การสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพื่อปรับปรุงเมลามีนโฟมเตรียมได้จากจากนำกราฟีนออกไซด์มารีดิวซ์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน (Ethylenediamine) โดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกและไมโครเวฟ (Ultrasonic-microwave) จากนั้นนำเมลามีนโฟมมาจุ่มเคลือบเพื่อให้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มายึดเกาะบนเมลามีนโฟม จากการทดลองพบว่าเมลามีนโฟมที่ถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ 154° มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้สูง มีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันหรือสารอแกนิคต่าง ๆ ออกจากน้ำได้ดี และสามารถนำกลับมาใช้ในการดูดซับซ้ำได้ [7]



รูปที่ 2.19 แสดงวิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนเมลามีนโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 แสดงภาพค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และความจำเพาะเจาะจงในการเลือกดูดซับน้ำมันในน้ำ (a,b,c)

Shu Wan และคณะ (2016) ได้จัดทำงานวิจัยขั้นนี้ขึ้นเพื่อศึกษาพัฒนาการเกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ และประสิทธิภาพการทำงานของกราฟีน และวัสดุโนโนที่มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอนในด้านการดูดซับน้ำมัน และสารละลายอินทรีย์ต่าง ๆ (organic solvent) โดยนำสารละลายกราฟีนออกไซด์ความเข้มข้นสูงมาผ่านกระบวนการ freeze-dried อย่างรวดเร็ว จากนั้นกราฟีนออกไซด์โฟมจะถูกรีดิซ์ สุดท้ายจะได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โฟม ซึ่งมีสมบัติเชิงกลดี เมื่อนำไปทดสอบการดูดซับน้ำมันหรือสารอินทรีย์ต่าง ๆ พบว่าสามารถดูดซับได้ดี และสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ โดยการให้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำมันออก [8]

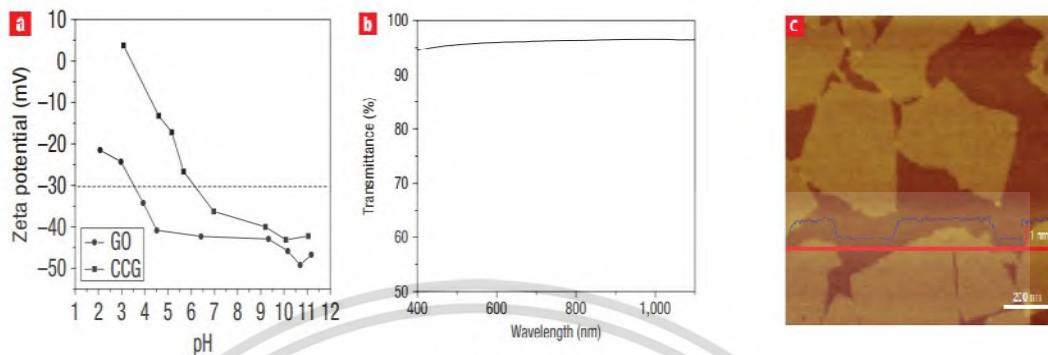


รูปที่ 2.28 แสดงวิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โฟมด้วยกระบวนการ freeze-dried

Dan Li และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาวิธีการสังเคราะห์กราฟีน สมบัติต่าง ๆ และการประยุกต์ใช้กราฟีน โดยนำผงกราฟไฟต์ซึ่งมีราคาถูกและหาได้ง่ายมาผ่านกระบวนการรีดักชันซึ่งใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์ โดยไม่อาศัยพอลิเมอร์ หรือสารลดแรงตึงผิวเพื่อช่วยให้เกิดการกระจายตัว พบว่ากราฟีนที่ผ่านกระบวนการรีดักชันมาแล้วยังคงมีหมู่คาร์บอกซิลิกเหลืออยู่บนโครงสร้างจึงทำให้แผ่นกราฟีนแต่ละแผ่นเกิดการผลักกันเองด้วยประจุลบ (electrostatic repulsion) ทำให้กราฟีนเป็นสารแขวนลอยที่มีความเสถียรและกระจายตัวได้ดี จึงสามารถนำมาเคลือบลงบนกระดาษให้มีสมบัตินำไฟฟ้าได้ สามารถนำไปเคลือบกระจกได้เนื่องจากแผ่นกราฟีนมีความบางมากจึงไม่ส่งผลต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแสงสว่างส่องผ่าน หรือสามารถนำไปเคลือบผิวเพื่อทำเป็นวัสดุไม่ชอบน้ำ นอกจากนี้ยังมีสมบัติทางความร้อน และเชิงกลที่โดดเด่น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย [9]



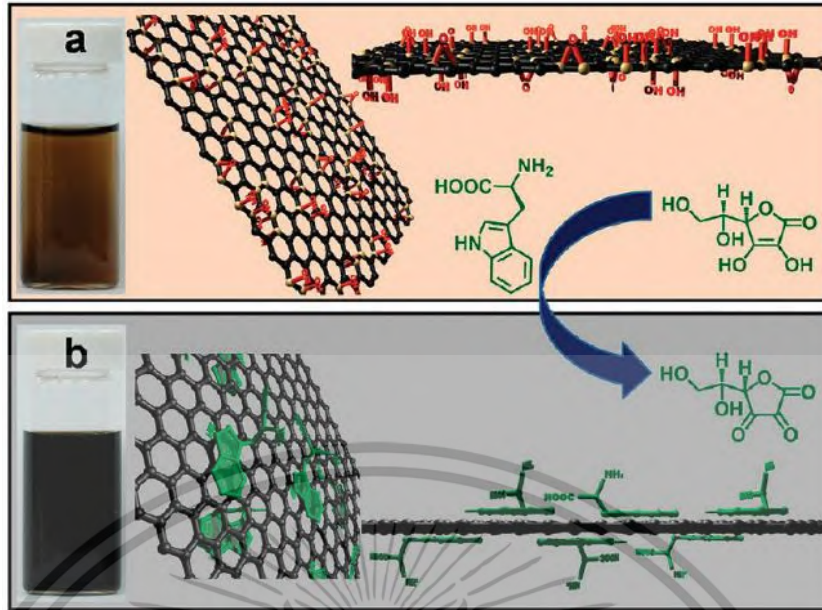
รูปที่ 2.22 แสดงค่า Zeta potential ของกราฟไฟต์ออกไซด์และกราฟีนที่ผ่านกระบวนการรีดักชัน (a)

แสดงค่าเปอร์เซ็นต์แสงสว่างส่องผ่านของแผ่นกราฟีน (b)

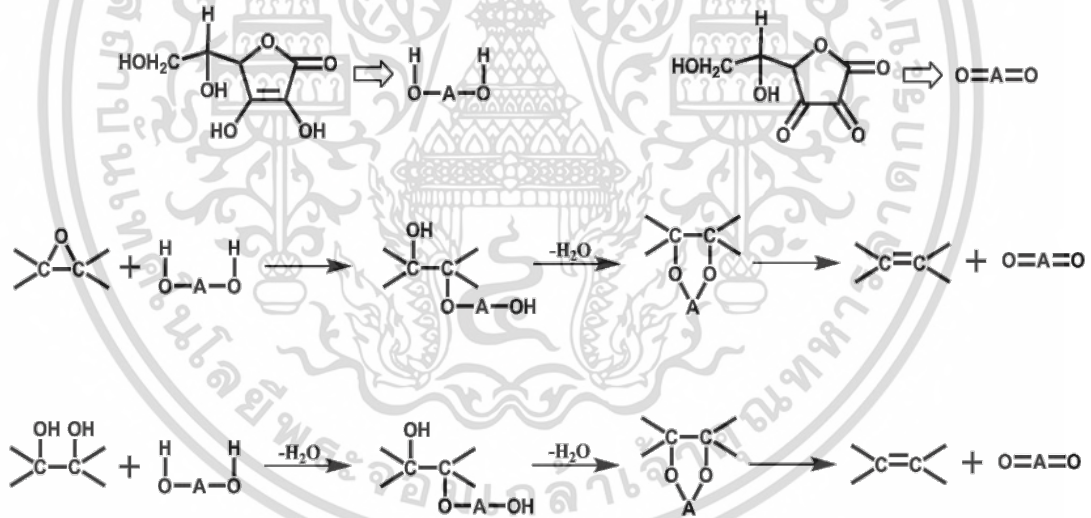
และแผ่นกราฟีนมีความหนา 1 นาโนเมตรเมื่อตรวจวัดด้วย Tapping-mode ของเครื่อง AFM (c)

Jian Gao และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์กราฟีน โดยใช้วิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีที่เป็นพิษ เช่น ไฮดราซีน หรือไดเมทิลไฮดราซีน ดังนั้นจึงเลือกใช้วิตามินซี (ascorbic acid) ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ เพราะวิตามินซีเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี นอกจากนี้โครงสร้างที่ถูกออกซิไดซ์ไปแล้ว มีความเสถียร และไม่เกิดปฏิกิริยาต่อ และมีกรดอะมิโน คือ L-tryptophan เป็นตัวรักษาเสถียรภาพเพื่อป้องกันไม่ให้แผ่นกราฟีนเกิดการจับกันเป็นกลุ่มก้อน โดย L-tryptophan จะเกิด $\pi - \pi$ interaction กับแผ่นกราฟีน และหันด้านหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุเป็นลบออกด้านนอก ทำให้เกิดการผลักกันของประจุลบ ส่งผลให้แผ่นกราฟีนไม่รวมตัวกัน แขนงลอยอยู่ในน้ำอย่างอิสระ ซึ่งการเตรียมกราฟไฟต์ออกไซด์เตรียมตามวิธีการของฮัมเมอร์ (Hummers's method) จากนั้นนำกราฟไฟต์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มารีดิวซ์ด้วยกรดวิตามินซี แล้วทำการอัลตราโซนิเคชัน (ultrasonication) (40 กิโลเฮิร์ตซ์, 600 วัตต์) เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้สารแขวนลอยกราฟีน สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนสีจากสีน้ำตาลเป็นสีดำ ซึ่งเป็นหลักฐานว่ากราฟไฟต์ออกไซด์ถูกรีดิวซ์เปลี่ยนไปเป็นกราฟีนแล้ว นอกจากนี้การกระจายตัวของกราฟีนยังมีเสถียรภาพที่ดี สามารถเก็บรักษาโดยไม่เกิดการตกตะกอนได้เป็นเวลานานเดือนอีกด้วย [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แสดงภาพกระบวนการรีดักชันโดยใช้วิตามินซีของสารละลายกราฟิออกไซด์เริ่มต้น (a) เปลี่ยนเป็นสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในน้ำ (b)



รูปที่ 2.24 แสดงการเกิดปฏิกิริยารีดักชันทางเคมีของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยใช้วิตามินซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เมลามีนฟอรั่มัลดีไฮด์โพลิม ยี่ห้อScotch Brite ของบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด
2. สารเคมีต่าง ๆ ได้แก่
 - Graphite ความบริสุทธิ์ 99.9 %
 - Potassium permanganate (KMnO₄) ความบริสุทธิ์ 99 %
 - Sodium nitrate (NaNO₃) ความบริสุทธิ์ 99.9 %
 - Sulphuric acid (H₂SO₄) ความเข้มข้น 98 % โดยน้ำหนัก
 - Hydrogen peroxide (H₂O₂) ความเข้มข้น 30 % โดยน้ำหนัก
 - Ethanol ความเข้มข้น 95 % โดยน้ำหนัก
 - Vitamin C (Ascorbic acid) ความบริสุทธิ์ 99 %

ตารางที่ 3.1 แสดงสารเคมีที่ใช้ในการทดลองและสมบัติทางเคมี

สารเคมี	บริษัท	สูตร โมเลกุล	มวล โมเลกุล (g/mol)	ความ หนาแน่น (g/cm ³)	จุดหลอม เหลว (°C)	CAS Num ber
Graphite	SIGMAALDRICH, Co.,	C	12.01	2.09-2.23	3652- 3697	7782-42- 5
Potassium permanganate	CARLO ERBA	KMnO ₄	158.03	2.703	240	7722-64- 7
Sodium nitrate	SIGMAALDRICH, Co.,	NaNO ₃	84.99	2.26	308	7631-99- 4
Sulphuric acid	QR&C	H ₂ SO ₄	98.08	1.834	10	7664-93- 9
Hydrogen peroxide	SIGMAALDRICH, Co.,	H ₂ O ₂	34.0147	1.450	-0.43	7722-84- 1
Ethanol	DUKSAN CHEMICAL	C ₂ H ₅ OH	46.07	0.789	79	64-17-5
Vitamin C	Merck	C ₆ H ₈ O ₆	176.14	1.694	190-192	50-81-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) ปีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร จำนวน 3 ใบ
- 2) ปีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร จำนวน 3 ใบ
- 3) ปีกเกอร์ 600 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ
- 4) ขวดรูปชมพู่ 125 มิลลิลิตร จำนวน 3 ใบ
- 5) ขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร จำนวน 1 ใบ
- 6) เทอร์โมมิเตอร์ จำนวน 1 อัน
- 7) แท่งแก้วคนสาร จำนวน 1 อัน
- 8) ซ้อนตักสารสแตนเลส จำนวน 1 คัน
- 9) คีมคีบ 1 ด้าม
- 10) อ่างน้ำร้อน จำนวน 4 ใบ
- 11) กระบอกตวง 10 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
- 12) กระบอกตวง 100 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
- 13) ยูนิเวอร์ซัลอินดิเคเตอร์
- 14) เครื่องปั่นกวนปรับความเร็วได้ ของบริษัท LMS CO., LTD.
- 15) เครื่องชั่งแบบดิจิตอล รุ่น ML204/01 ของบริษัท Mettler Toledo
- 16) ตู้อบลมร้อน
- 17) ไมโครปิเปต
- 18) เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO) ตั้งต้น

3.3.1.1 การเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการปรับปรุงวิธีของฮัมเมอร์ (modified Hummer's method)

- 1) ชั่งผงกราฟีน 2 กรัม และโซเดียมไนเตรต (NaNO_3) 1 กรัม ลงในปีกเกอร์ผสมให้เข้ากัน จากนั้นค่อย ๆ ตักใส่ในขวดก้นกลม แล้วทำการหล่อเย็นโดยวางไว้บนอ่างน้ำแข็ง
- 2) เติมกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) 46 มิลลิลิตร พร้อมกับทำการปั่นกวนให้เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แสดงผงกราไฟต์ และผงกราไฟต์ที่ผสมกับโซเดียมไนเตรต



รูปที่ 3.2 แสดงการตักสารตั้งต้นลงในขวดก้นกลม วางบนอ่างน้ำแข็ง และเติมกรดซัลฟิวริก

3) ค่อย ๆ เติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) 6 กรัม พร้อมกับปั่น กวนต่อเป็นเวลา 15 นาที จะได้สารละลายสีด้าอมเขียว

4) ย้ายขวดก้นกลมออกจากถังน้ำแข็ง มาวางในอ่างน้ำร้อนอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พร้อมทำการปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ

5) ค่อย ๆ เติมน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ภายใต้การหล่อเย็น จากนั้นย้ายไปวาง ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ปั่นกวนต่อเป็นเวลา 90 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงการเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และปั่นกวนต่อในอ่างน้ำร้อน



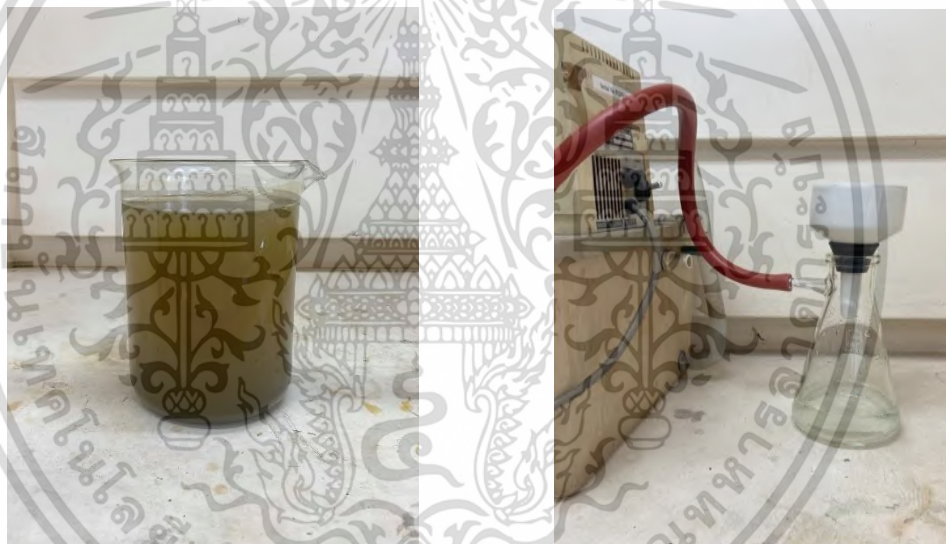
รูปที่ 3.4 แสดงการเติมน้ำกลั่นที่ละเล็กลน้อย การปั่นกวนต่อในอ่างน้ำร้อน และเติมน้ำกลั่น

- 6) จากนั้นเติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที
- 7) เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 6 มิลลิลิตร พร้อมปั่นกวนต่อเป็นเวลา 5 นาที สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเหลือง
- 8) เติมกรดไฮโดรคลอริก 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (10% v/v) 5 มิลลิลิตร ปั่นกวนต่อ 5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และกรดไฮโดรคลอริก



รูปที่ 3.6 แสดงการล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น การตกตะกอน และนำมากรอง

9) ล้างตะกอนโดยเทของผสมลงในปิកเกอร์ขนาด 2000 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้เกือบเต็มปิกเกอร์ รอให้ตกตะกอน จากนั้นรินน้ำออก ทำซ้ำ 2-3 รอบ

10) กรองตะกอนแบบลดความดัน ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง

11) นำตะกอนที่อบแห้งแล้วมาทำการบดให้ละเอียด จะได้ผงกราไฟต์-ออกไซด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นผงสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

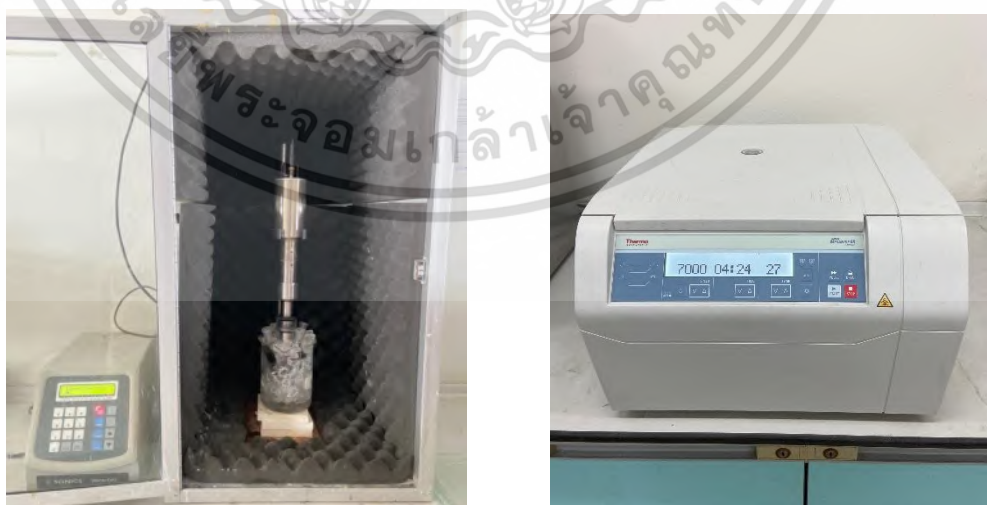
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงผงกราฟไฟต์ออกไซด์ที่บดละเอียดแล้ว

3.3.1.2 การเตรียมกราฟไฟต์ออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonication)

- 1) ชั่งผงกราฟไฟต์ออกไซด์ 400 มิลลิกรัม จากนั้นเทลงในหลอดเซนทริฟิวส์ ขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร พร้อมทำการหล่อเย็นโดยวางไว้ในถังน้ำแข็ง
- 2) จากนั้นย้ายไปวางในตู้อัลตราโซนิกเพื่อทำการสั่นด้วยคลื่นความถี่สูง (Sonication) ด้วย Sonicator probe เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 3) นำสารแขวนลอยที่ได้ไปทำการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยกผงกราฟไฟต์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ออกจากสารแขวนลอยที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 7 นาที
- 4) รินสารละลายออกจากหลอดเซนทริฟิวส์จะได้สารแขวนลอยกราฟไฟต์ออกไซด์มีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลดำ ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 แสดงการเตรียมสารแขวนลอยกราฟไฟต์ออกไซด์ด้วยการโซนิเคชัน และทำการแยก

ตะกอนออกโดยการหมุนเหวี่ยง
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO)

3.3.2 การเตรียมผิวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม

- 1) ตัดเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลาง (MD) ให้มีขนาดยาว 1 x กว้าง 1 x หนา 1 cm³ ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) เติมน้ำเกลือลงในขวดรูปชมพู่ให้ท่วมเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม และปิดปากขวดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์
- 3) นำไปวางในอ่างอัลตราโซนิก (Ultrasonic bath) ทำการโซนิเคตเป็นเวลา 90 นาที
- 4) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่ผ่านการเตรียมผิว ดังแสดงในรูปที่ 3.10
- 5) ทำซ้ำ ขั้นตอนที่ 1-5 โดยเปลี่ยนเป็นเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นสูง (HD)



รูปที่ 3.10 แสดงภาพถ่ายเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่ผ่านการเตรียมผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การเตรียมสารละลายวิตามินซีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

ชั่งผงวิตามินซี 2 กรัม ลงในปิ๊กเกอร์ จากนั้นเติมน้ำกลั่นอีก 20 มิลลิลิตร คนให้ละลาย จะได้สารละลายวิตามินซีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงภาพถ่ายสารละลายวิตามินซีในน้ำ

3.3.4 การเตรียมเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่ปรับปรุงด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.3.4.1 ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของสารละลายวิตามินซี

โดยทำการคงที่ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที ปริมาณกราฟีนออกไซด์ ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD) โดยมีวิธีการเตรียมดังต่อไปนี้

1) นำเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่ผ่านการเตรียมผิวแล้วมา 5 ชิ้น ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 150 มิลลิลิตร

2) เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และสารละลายวิตามินซีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ โดยมีการปรับค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้มีค่าแตกต่างกันดังตาราง 3.2 แล้วปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.12

3) เติมนสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ความเข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตรจำนวน 10 มิลลิลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ปั่นกวนต่อเป็นเวลา 15 นาที

4) นำขวดรูปชมพู่วางในอ่างน้ำร้อนโดยปรับอุณหภูมิไว้ที่ 90 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนพร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์จะเปลี่ยนเป็นสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ล้างเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนมาที่เตรียมได้ด้วยน้ำกลั่น และนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพน อยู่ในลักษณะเป็นโพนสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.12 แสดงภาพถ่ายเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนในสารละลายวิตามินซี



รูปที่ 3.13 แสดงภาพถ่ายเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนเมื่อเติมสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงภาพถ่ายชุดอุปกรณ์การเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม



รูปที่ 3.15 แสดงภาพถ่ายเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ตารางที่ 3.2 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไข

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณกราฟีนออกไซด์ (ml) (1 mg/ml)	pH ของสารละลายวิตามินซี	ระยะเวลาการให้ความร้อน (นาที)	ชนิดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม (ความหนาแน่น)
MF/rGO pH2	10	2	30	ปานกลาง
MF/rGO pH3	10	3	30	ปานกลาง
MF/rGO pH4	10	4	30	ปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

โดยทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)

ทำการทดลองเหมือนกับหัวข้อ 3.3.4.1) แต่ปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการให้ความร้อนตามข้อ 4 ให้มีระยะเวลาแตกต่างกันดังตาราง 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไข

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณกราฟีนออกไซด์ (ml) (1 mg/ml)	pH ของสารละลายวิตามินซี	ระยะเวลาการให้ความร้อน (นาที)	ชนิดของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ (ความหนาแน่น)
MF/rGO 15min	10	3	15	ปานกลาง
MF/rGO 30min	10	3	30	ปานกลาง
MF/rGO 45min	10	3	45	ปานกลาง
MF/rGO 60min	10	3	60	ปานกลาง

3.3.4.3 ศึกษาปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น

โดยทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)

ทำการทดลองเหมือนกับหัวข้อ 3.3.4.1) แต่ปรับเปลี่ยนปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นตามข้อ 3 ให้มีปริมาณแตกต่างกันดังตาราง 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไข

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณกราฟีนออกไซด์ (mg/ml)	pH ของสารละลายวิตามินซี	ระยะเวลาการให้ความร้อน (นาที)	ชนิดของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิม (ความหนาแน่น)
MF/rGO 1 mg	1	3	30	ปานกลาง
MF/rGO 3 mg	3	3	30	ปานกลาง
MF/rGO 5 mg	5	3	30	ปานกลาง
MF/rGO 10 mg	10	3	30	ปานกลาง
MF/rGO 15 mg	15	3	30	ปานกลาง

3.3.4.4 ศึกษาชนิดของโพลิม

โดยทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที และปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม

ทำการทดลองเหมือนกับหัวข้อ 3.3.4.1) แต่ปรับเปลี่ยนชนิดของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมให้มีความหนาแน่นแตกต่างกันดังตาราง 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไข

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณกราฟีนออกไซด์ (mg/ml)	pH ของสารละลายวิตามินซี	ระยะเวลาการให้ความร้อน (นาที)	ชนิดของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิม (ความหนาแน่น)
MF/rGO-MD	10	3	30	ปานกลาง
MF/rGO-HD	10	3	30	สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.5 ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้ทำการเลือกเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีสมบัติดีที่สุดจากการทดลองในข้อ 3.3.4.1) ถึงข้อ 3.3.4.4) มาหนึ่งตัวอย่าง จากนั้นจึงนำมาทำการเคลือบด้วยกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นซ้ำอีกครั้ง

โดยทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบความหนาแน่นปานกลาง (MD)

จากนั้นนำเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาใช้เป็นโพลีเมเคลือบตั้งต้นแทนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบ แล้วนำมาเคลือบซ้ำอีกครั้ง ซึ่งทำการทดลองเหมือนกับหัวข้อ 3.3.4.1 โดยเงื่อนไขที่ใช้เป็นไปตามตาราง 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารที่ใช้ในแต่ละเงื่อนไข

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณกราฟีนออกไซด์ (ml) (1 mg/ml)	pH ของสารละลายวิตามินซี	ระยะเวลาการให้ความร้อน (นาที)	ชนิดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบ (ความหนาแน่น)
MF	-	-	-	ปานกลาง
MF/rGO	10	3	30	ปานกลาง
MF/rGO-recoat	10	3	30	ปานกลาง

3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์

3.4.1 ศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer, UV-Vis)

เทคนิค UV-vis เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วงยูวีและวิสิเบิล ตั้งแต่ความยาวคลื่น 190 ถึง 1000 นาโนเมตร ที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่สารแต่ละชนิดจะสามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกัน และปริมาณการดูดกลืนแสงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสาร ซึ่งสารตัวอย่างส่วนใหญ่จะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน และสารอนินทรีย์ ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น ยูวีและวิสิเบิลได้ โดยตัวอย่างกราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่นำไปวิเคราะห์จะถูก เจือจางก่อนบรรจุลงในคิวเวทท์ (cuvette) จากนั้นนำเข้าเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยให้ค่าการ ดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 1.0-2.5 โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร เพื่อศึกษาการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี

3.4.2 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared spectrophotometer, FT-IR)

เทคนิค FT-IR เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์วัสดุที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ เพื่อ ตรวจวิเคราะห์หาโครงสร้างและองค์ประกอบของโมเลกุล โดยอาศัยหลักการของการดูดกลืนคลื่นรังสี ช่วงกลางอินฟราเรด (Middle infrared region) ประมาณ $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$ เมื่อโมเลกุลได้รับ พลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของการสั่น (Stretching) หรือการหมุน (Bending) ของพันธะโคเวเลนต์ในโมเลกุล จะทำให้โมเลกุลดังกล่าวเกิดการดูดกลืนแสง และมีการ เปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (Dipole moment) ของโมเลกุล จากนั้นเครื่องมือจะวัดค่าความเข้มแสง ต่อความถี่หรือความยาวคลื่น (Wave number) ได้ผลเป็นสเปกตรัม ซึ่งในแต่ละพันธะของหมู่ฟังก์ชัน จะแสดงค่าความยาวคลื่นเฉพาะต่างกัน ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะ และน้ำหนักของอะตอม ในโมเลกุลนั้น โดยสารตัวอย่างที่ใช้วัดด้วยเทคนิคนี้ต้องเป็นผง ซึ่งสามารถทำการเตรียมตัวอย่างได้โดย บดผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ ทำการอัดเม็ดโดยนำเข้าเครื่องอัด Minipress แล้วนำตัวอย่างไปวาง บนลำรังสีอินฟราเรด จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันของกราฟีนออกไซด์ รีดิวซ์กราฟีน- ออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์

3.4.3 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectroscopy)

เทคนิค Raman เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของสารตัวอย่างได้ทั้งชนิด ของแข็ง ของเหลว ผง สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ สามารถวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยอาศัยหลักการชนแบบไม่ยืดหยุ่นระหว่างโฟตอนกับโมเลกุลของสาร พลังงานบางส่วนจะถูกถ่ายเท ไปยังโมเลกุลทำให้เกิดการสั่น เกิดการเปลี่ยนแปลง polarizability ขึ้น แล้วโมเลกุลจะเกิดการ กระเจิงออกไป ใช้หลักการตรวจสอบโดยวัดเปรียบเทียบกับสเปกตรัมการกระเจิงแสงแบบ รามาน (Raman Light Scattering) ของวัสดุ หรือสารที่ตรวจสอบ กับสเปกตรัมของสารมาตรฐานที่ ได้บันทึกไว้หรือที่มีอยู่แล้วในฐานข้อมูล โดยสเปกตรัมจะต้องเหมือนกันถ้าเป็นสารเดียวกัน ซึ่งการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์นี้จะได้ผลออกมาคล้ายกับเทคนิคทางอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี โดยตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์จะเป็นชิ้นโพลีที่ถูกเคลือบด้วยวิธีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.4.4 ศึกษาสมบัติความเป็นผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD)

เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ อาศัยหลักการของการยิงรังสีเอ็กซ์ไปกระทบที่ชิ้นงานทำให้เกิดการเลี้ยวเบน และสะท้อนออกมาที่มุมต่าง ๆ กันโดยมีหัววัดสัญญาณ (Detector) เป็นตัวรับข้อมูล เพื่อระบุชนิดสารประกอบ โครงสร้างผลึกที่อยู่ในสารตัวอย่าง สารแต่ละชนิดจะมีองศาในการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ในมุมที่แตกต่างกันขึ้นกับองค์ประกอบ โครงสร้าง รูปร่าง และลักษณะผลึก ซึ่งผลที่ได้จะมีรูปแบบเป็น pattern เรียกว่า XRD pattern ซึ่งเป็นเอกลักษณ์ของวัสดุนั้น ๆ ดังนั้นจึงสามารถบ่งชี้ชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้น ๆ ได้ สามารถศึกษาและวิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative) และเชิงปริมาณ (Quantitative) ซึ่งจะทำการตรวจวัดเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยวิธีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.4.5 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ใช้ในการศึกษาลักษณะสัณฐาน และรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของสารตัวอย่างอย่างกว้างขวาง ภาพที่ได้จะเป็นภาพ 3 มิติ การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์ โดรนนำแผ่นเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยวิธีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ที่ถูกตัดเป็นแผ่นบาง ไปติดบน Stub นำไปเคลือบด้วยอนุภาคทองเพื่อให้เกิดการนำไฟฟ้า จากนั้นทำการตรวจวัดที่กำลังขยายแตกต่างกัน นอกจากนี้ SEM ยังสามารถใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น เช่น Energy Dispersive X-ray spectrometer (EDX) เพื่อให้ข้อมูลด้านองค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่างได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope, TEM)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ใช้ศึกษาลักษณะทางกายภาพของรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ที่มีขนาดเล็กระดับนาโนเมตร ซึ่งเล็กจนไม่สามารถใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดวิเคราะห์ได้ จึงจำเป็นต้องศึกษาจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องผ่าน ที่มีกำลังขยายภาพที่สูงกว่ามาก โดยเริ่มจากการหยดสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ลงบนกริดทองแดง (copper's grid) ที่จางแห้ง แล้วจึงนำมาวิเคราะห์โดยใช้ลำแสงอิเล็กตรอนในการส่องผ่านตัวอย่าง เทคนิค TEM สามารถตรวจสอบอนุภาคที่มีขนาดเล็กระดับนาโนตั้งแต่ 0.2 นาโนเมตร จนถึง 0.2 มิลลิเมตรได้

3.4.7 ศึกษาองค์ประกอบของธาตุด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (Energy Dispersive X-ray spectrometer, EDX)

เทคนิค EDX เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบและปริมาณของธาตุนบนพื้นผิวชิ้นงาน ตัวอย่าง การใช้กล้องจุลทรรศน์ SEM ร่วมกับเทคนิค EDX ทำให้การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานมีความละเอียดขึ้น และได้ข้อมูลที่สมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งสามารถวิเคราะห์ธาตุได้ทั้งเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ ใช้การวิเคราะห์ในโหมด elemental mapping ทำให้ทราบว่าในชิ้นงานนั้นมีธาตุอะไรเป็นองค์ประกอบบ้าง และธาตุแต่ละชนิดมีอยู่ที่เปอร์เซ็นต์ โดยจะนำแผ่นโพลีเมตติคบนแท่นวางตัวอย่าง จากนั้นทำการตรวจสอบองค์ประกอบของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ และเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.4.8 ศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยั่งยืน ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และประสิทธิภาพการแยกน้ำมันออกจากน้ำ

3.4.8.1 ศึกษาความมุมสัมผัสของหยดน้ำด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angles analyzer, CAA)

เทคนิค CAA เป็นเทคนิควิเคราะห์ค่ามุมสัมผัสของของเหลวบนพื้นผิววัสดุ มุมสัมผัส (contact angle) คือมุมระหว่างหยดของของเหลววัดเทียบกับผิววัสดุ ณ จุดที่ผิวทั้งสองเกาะติดกัน ในที่นี้ทำการทดสอบหาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งนำไปทดสอบโดยหยดหยดน้ำ ปริมาตร 6 ไมโครลิตร ลงบนพื้นผิวของแผ่นเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ขนาดกว้าง 1 x ยาว 1 x หนา 1 เอกสารนี้ เชนติเมตร จากนั้นคำนวณค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส ซึ่งประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.8.2 ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

1. บันทึกน้ำหนักของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมก่อนเริ่มทดสอบดูดซับน้ำมัน
2. วางเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมลงบนผิวน้ำมันปาล์ม จับเวลา 5 นาที โฟมจะค่อย ๆ จมลงไปในน้ำมัน
3. เมื่อครบ 5 นาที ใช้คีบคีบขึ้นเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมขึ้นจากน้ำมัน นำไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกค่าที่ได้
4. ทำซ้ำ 10 ครั้ง โดยจดบันทึกน้ำหนักที่ชั่งได้ไว้ทุกครั้ง
5. นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการที่ (1) จะได้ค่าความสามารถในการดูดซับของแต่ละครั้งที่ทดสอบ จากนั้นนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย
6. ทำซ้ำตามข้อที่ 1-5 โดยเปลี่ยนจากน้ำมันปาล์ม เป็นน้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันเบนซิน ตามลำดับ
7. ทำซ้ำตามข้อที่ 1-6 โดยเปลี่ยนจากเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม เป็นเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าความสามารถในการดูดซับ [3,4,7] ดังสมการที่ (1)

$$\text{ความสามารถในการดูดซับ} = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \quad (1)$$

โดย m_0 คือ น้ำหนักของโฟมก่อนการดูดซับ

m_1 คือ น้ำหนักของโฟมหลังจากการดูดซับ

3.4.8.3 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานซ้ำ [4,7]

1. บันทึกน้ำหนักของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ก่อนเริ่มทดสอบ
2. วางเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ลงบนน้ำมันปาล์ม รอ 5 นาที เพื่อให้โฟมดูดซับน้ำมันจนอิ่มตัว
3. คีบเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ขึ้นจากน้ำมัน นำไปชั่งน้ำหนัก และบันทึกไว้
4. ใช้นิ้วมือบีบน้ำมันที่อิ่มตัวอยู่ในชั้นโฟมออก
5. นำเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ขึ้นเดิมไปดูดซับน้ำมันอีก

เอกสารนี้ **ครั้ง** ทำตามข้อที่ 2-4 สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำซ้ำ 10 ครั้ง โดยจดบันทึกน้ำหนักที่ซั่งได้ไว้ทุกครั้ง
7. ทำซ้ำตามข้อที่ 1-6 โดยเปลี่ยนจากน้ำมันปาล์ม เป็นน้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันเบนซิน ตามลำดับ
8. ทำซ้ำตามข้อที่ 1-7 โดยเปลี่ยนจากเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ เป็นเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

3.4.8.4 ศึกษาประสิทธิภาพการแยกน้ำมันออกจากน้ำ

1. บันทึกน้ำหนักของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำก่อนเริ่มทดสอบ
2. เทน้ำลงในปิ๊กเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร ประมาณครึ่งปิ๊กเกอร์
3. เติมน้ำมันหล่อลื่นลงในปิ๊กเกอร์จำนวน 0.5 กรัม จดบันทึกน้ำหนักของน้ำมันหล่อลื่นที่เติมลงไป
4. วางเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำลงบนผิวน้ำมันที่ผสมกับน้ำจากข้อ 3. โฟมจะค่อย ๆ ดูดซับน้ำมันจนหมดไป
5. ใช้คีมคีบเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำที่ดูดซับน้ำมันจนอิ่มตัวขึ้นมา จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อกำจัดน้ำออกจากโฟมให้คงเหลือไว้แต่น้ำมัน
6. ชั่งน้ำหนักของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำที่ดูดซับน้ำมันไว้
7. นำน้ำหนักเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำที่ได้จากข้อ 6. ลบกับน้ำหนักโฟมก่อนเริ่มทดสอบ จะได้น้ำหนักของน้ำมันที่โฟมดูดซับไว้ได้
8. นำน้ำหนักของน้ำมันที่ได้หลังการทดสอบมาคำนวณตามสมการที่ (2) จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ
9. ทำซ้ำตามข้อที่ 1-6 โดยเปลี่ยนจากน้ำมันหล่อลื่นเป็นคลอโรฟอร์ม จากนั้นนำมาคำนวณเพื่อหาค่าประสิทธิภาพในการแยกน้ำมัน [7] ตามสมการที่ (2)

$$\text{ประสิทธิภาพในการแยกน้ำมัน} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันหลังการทดลอง} \times 100}{\text{น้ำหนักน้ำมันก่อนการทดลอง}} \quad (2)$$

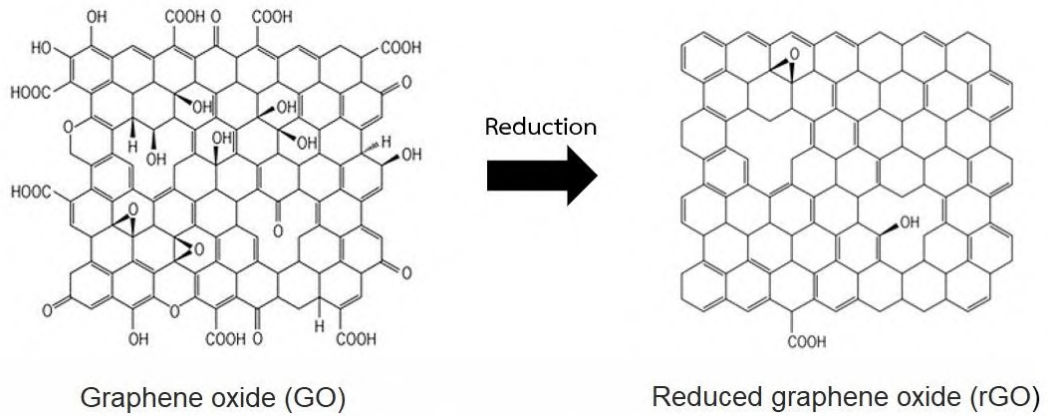
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งใช้รีติวซ์กราฟีนออกไซด์เพื่อเปลี่ยนให้เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมมีสมบัติไม่ชอบน้ำ โดยใช้กระบวนการให้ความร้อนอย่างง่ายเพื่อเปลี่ยนกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นให้เป็นรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ และใช้วิตามินซีซึ่งเป็นตัวรีติวซ์ที่ไม่เป็นพิษ เพื่อช่วยให้กราฟีนออกไซด์เกิดปฏิกิริยารีดักชันเปลี่ยนเป็นรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของสารจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการพิสูจน์เอกลักษณ์ของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม ส่วนที่สองเป็นการพิสูจน์เอกลักษณ์ของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งในบทนี้จะนำเสนอผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่องมือและเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้ เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis) เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR) เครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ (Raman spectrometer) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) และอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDX) นอกจากนี้ยังศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดด้วยเครื่องวิเคราะห์ค่ามุมสัมผัส (CAA) ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์ และรีติวซ์กราฟีนออกไซด์

โครงสร้างพื้นฐานของกราฟีนออกไซด์ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนที่เชื่อมต่อกันเป็นวงหกเหลี่ยม ในระนาบเดียวกันจนมีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ 2 มิติ ซึ่งบนโครงสร้างจะถูกปกคลุมไปด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หมู่คาร์บอนิล (-C=O) และหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) เป็นต้น เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จะถูกรีติวซ์ พร้อมกับการสร้างพันธะคู่ของวงอะโรมาติกขึ้นมาใหม่ ทำให้โครงสร้างเกิดคอนจูเกตของคาร์บอนมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)

ซึ่งกระบวนการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพื่อให้เปลี่ยนไปเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สมบูรณ์สามารถยืนยันได้จากสีของสารแขวนลอย โดยสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์จะมีสีน้ำตาล ส่วนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์สารแขวนลอยจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 4.2

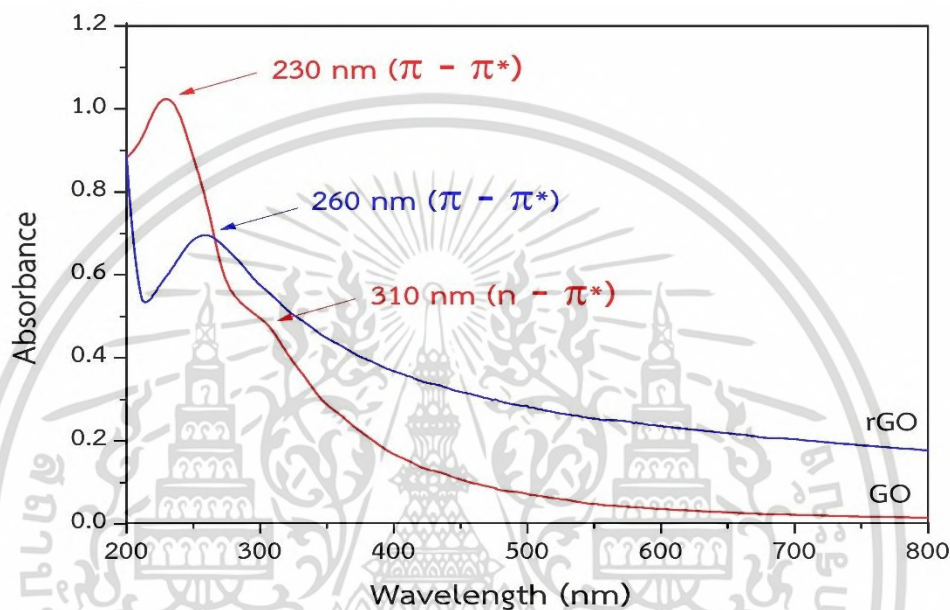


กราฟีนออกไซด์ตั้งต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้เตรียมได้จากกระบวนการดัดแปลงของฮัมเมอร์ (modified Hummer's method) จากนั้นจึงนำมาผ่านปฏิกิริยารีดักชันทางเคมี (chemical reduction) เพื่อให้ได้เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยใช้สารละลายวิตามินซีเป็นตัวรีดิวซ์ และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง (UV-Vis spectrophotometer)

การยืนยันเอกลักษณ์เฉพาะของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงเป็นเทคนิคที่สะดวกและรวดเร็ว พบว่ากราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งให้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)

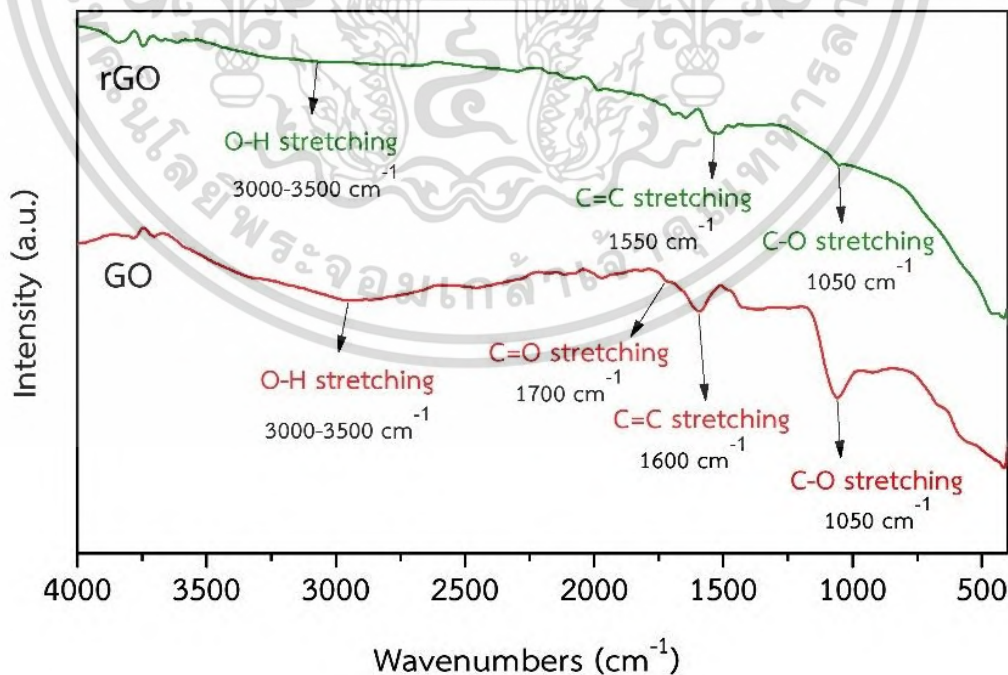
กราฟีนออกไซด์มีการดูดกลืนแสง 2 ช่วง ช่วงแรกมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร เป็นการเปลี่ยนสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนจากชั้น π ไปสู่ชั้น π^* เป็นค่าพลังงานเอกลักษณ์ของอิเล็กตรอนในคาร์บอนพันธะคู่ ($-C=C-$) ของวงอะโรมาติก ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานของกราฟีนออกไซด์ มีการดูดกลืนแสงอีกช่วงที่ความยาวคลื่น 310 นาโนเมตร เกิดจากการเปลี่ยนสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนจากชั้น n ไปสู่ชั้น π^* เป็นค่าพลังงานเอกลักษณ์ของอิเล็กตรอนคูโดดเดี่ยว (lone pair electron) ของออกซิเจนอะตอมที่อยู่ในหมู่ฟังก์ชันบนแผ่นกราฟีนออกไซด์ [9] เช่น หมู่คาร์บอนิล ($-C=O$) หรือหมู่คาร์บอกซิล ($-COOH$) ซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปมายังพันธะคู่ที่อยู่ติดกันได้ การเปลี่ยนสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนแบบ $n - \pi^*$ ใช้พลังงานน้อยกว่าแบบ $\pi - \pi^*$ เนื่องจากอิเล็กตรอนในชั้น n เป็นอิเล็กตรอนที่ยังไม่ได้ใช้ในการสร้างพันธะกับอะตอมข้างเคียง (non-bonding) จึงใช้พลังงาน (ΔE) ในการกระตุ้นน้อยกว่า เพื่อให้อิเล็กตรอนขึ้นไปอยู่ในระดับชั้น π^* [57]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปรากฏค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร แสดงถึงการเปลี่ยนสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนจากชั้น π ไปสู่ชั้น π^* ซึ่งเป็นค่าพลังงานเอกลักษณ์ของอิเล็กตรอนในคาร์บอนพันธะคู่ ($-C=C$) ของวงอะโรมาติก แต่ไม่พบการเปลี่ยนสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนแบบ $n - \pi^*$ เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันซึ่งประกอบด้วยออกซิเจนอะตอมที่อยู่บนแผ่นถูกกำจัดออกไปหลังจากผ่านปฏิกิริยารีดักชัน [9] ทั้งนี้การดูดกลืนแสงเพื่อเปลี่ยนสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนแบบ $\pi - \pi^*$ ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ มีการเคลื่อนไปยังความยาวคลื่นที่สูงขึ้น (Red shift) ซึ่งหมายถึงอิเล็กตรอนจะใช้พลังงานในการเปลี่ยนสถานะลดน้อยลง อันเนื่องมาจากหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ถูกรีดิวซ์พร้อมกับเกิดการสร้างพันธะคู่ของวงอะโรมาติกขึ้นมาใหม่ จึงทำให้โครงสร้างเกิดพันธะคู่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดระบบคอนจูเกตของคาร์บอนเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้ง่ายยิ่งขึ้น ดังนั้นการกระตุ้นเพื่อให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนสถานะแบบ $\pi - \pi^*$ จึงใช้พลังงานน้อยลง [58]

4.1.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR)

การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของกราฟีนออกไซด์ รีดิวซ์กราฟีน ที่ช่วงเลขคลื่นระหว่าง 4000 ถึง 400 cm^{-1} โดยได้ผลการตรวจวิเคราะห์ดังต่อไปนี้



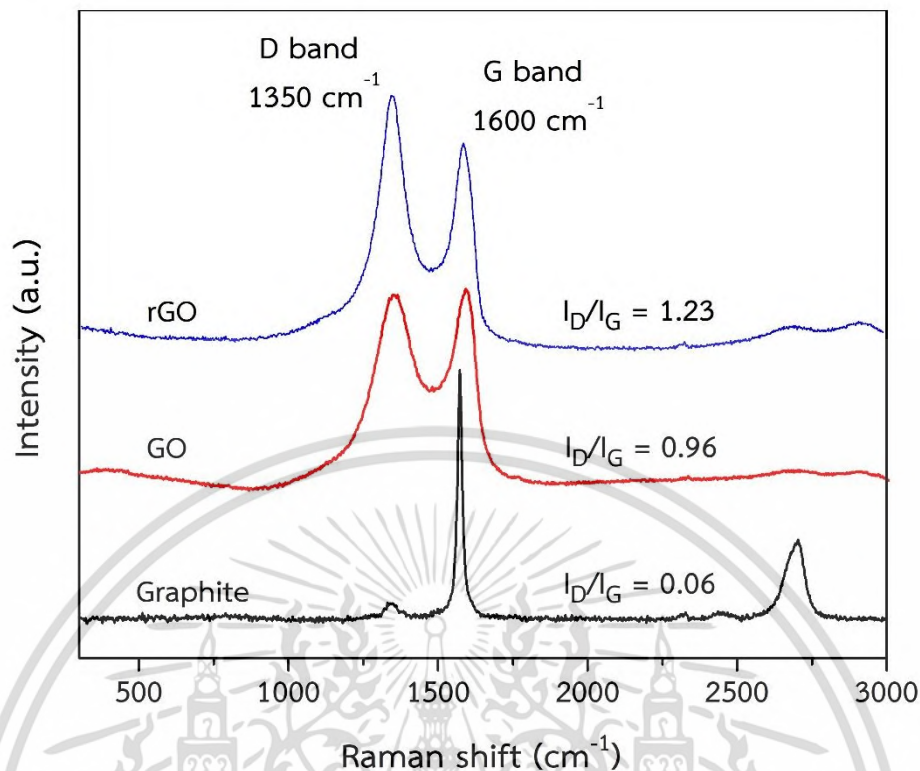
รูปที่ 4.4 แสดง FT-IR สเปกตรัมของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟีนออกไซด์ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น หมู่คาร์บอนิล หมู่คาร์บอกซิล หมู่คีโตน หมู่อีพอกซี และหมู่ไฮดรอกซิล เป็นต้น ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค FT-IR ที่แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4.4 จากสเปกตรัมของกราฟีนออกไซด์ ปรากฏพีคการสั่น (vibration) ของหมู่ฟังก์ชันที่สังเกตเห็นได้ชัดเจนในช่วงเลขคลื่น $3000 - 3500 \text{ cm}^{-1}$ เป็นเอกลักษณ์เฉพาะในการสั่นยืดของพันธะ O-H stretching จากหมู่คาร์บอกซิล และหมู่ไฮดรอกซิล นอกจากนี้ยังพบการสั่นยืดของพันธะ C=O stretching ที่เลขคลื่น 1700 cm^{-1} ของหมู่คาร์บอกซิล และหมู่คาร์บอนิล พีคที่ปรากฏที่เลขคลื่น 1600 cm^{-1} เป็นเอกลักษณ์เฉพาะในการสั่นยืดของพันธะ C=C stretching ซึ่งพบว่าพีคมีความเข้มที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากโครงสร้างส่วนใหญ่ของกราฟีนออกไซด์เป็นคาร์บอนพันธะคู่ต่อกันเป็นวงอะโรมาติก และช่วงเลขคลื่นที่ 1050 cm^{-1} เป็นการสั่นยืดของพันธะ C-O stretching ที่มาจากหมู่คาร์บอกซิล และหมู่อีพอกซี [4]

ส่วนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซึ่งผ่านปฏิกิริยารีดักชันมาแล้วนั้นหมู่ฟังก์ชันที่ประกอบด้วยออกซิเจนจะถูกกำจัดออกจากแผ่นจนเกือบหมดไป พร้อมกับทำการสร้างพันธะคู่ C=C อะโรมาติกขึ้นมาใหม่ [70] จึงทำให้โครงสร้างประกอบด้วยคาร์บอนพันธะคู่เป็นหลัก ดังนั้นพีคที่แสดงการสั่นของหมู่ฟังก์ชันจึงมีความเข้มของพีคลดลงอย่างเห็นได้ชัด ในทางกลับกันพีคการสั่นยืดของ C=C stretching ที่เป็นการสั่นของคาร์บอนพันธะคู่ในวงอะโรมาติกปรากฏขึ้นอย่างชัดเจน นอกจากนี้ตำแหน่งพีคยังเคลื่อนไปทางช่วงเลขคลื่นที่ต่ำลง เนื่องจากโครงสร้างมีระบบคอนจูเกตเพิ่มมากขึ้นจากการสร้างพันธะคู่ขึ้นมาใหม่ จึงทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ได้ดีขึ้น ส่งผลให้ใช้พลังงานในการกระตุ้นพันธะให้เกิดการสั่นลดลง ดังนั้นพีค C=C stretching ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จึงเคลื่อนไปที่เลขคลื่นต่ำลง ซึ่งอยู่ที่เลขคลื่นประมาณ 1550 cm^{-1} เมื่อเทียบกับพีค C=C stretching ของกราฟีนออกไซด์ [9] ทั้งนี้ผลจากการตรวจพิสูจน์ด้วยเทคนิค FTIR แสดงให้เห็นว่าการเกิดปฏิกิริยารีดักชันภายใต้กระบวนการนี้สามารถเปลี่ยนกราฟีนออกไซด์เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ได้สำเร็จ

4.1.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectrometer)

ความเป็นระเบียบและโครงสร้างผลึกของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ สามารถยืนยันได้จากผลการตรวจพิสูจน์ด้วยเทคนิครามานสเปกโตรสโคปี ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 4.5



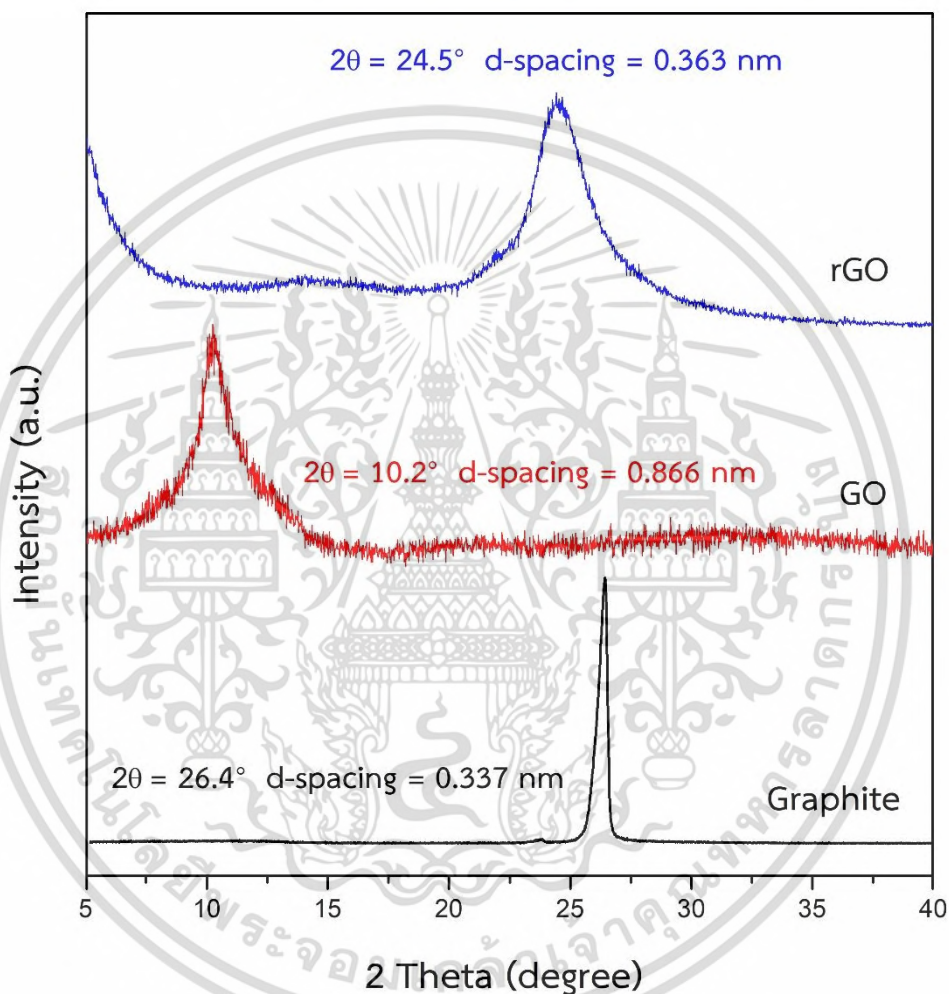
รูปที่ 4.5 แสดงรามานสเปกตรัมของกราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

สารประกอบที่เป็นอนุพันธ์ของคาร์บอน จะแสดงพิกเอกลักษณะอยู่ 2 พิก คือ G band (Graphitic carbon band) และ D band (Defect graphitic carbon band) โดย G band แสดงถึงความเป็นผลึกและความเป็นระเบียบของแผ่นในโครงสร้างที่เกิดจากคาร์บอนที่มีไฮบริดเซชันแบบ sp^2 (C=C conjugated) โดยปกติจะปรากฏพิกที่ตำแหน่งประมาณ 1600 cm^{-1} ส่วน D band ที่แสดงถึงความบกพร่อง (Defect) และความไม่เป็นระเบียบ (Disorder) ของโครงสร้างจากตำแหน่งที่เป็นหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ (C-O, C=O) โดยปกติจะปรากฏพิกที่ตำแหน่งประมาณ 1350 cm^{-1} [7] จากรามานสเปกตรัมของกราฟไฟต์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการเตรียมกราฟีนออกไซด์ พบว่าพิก G band มีความเข้มพิกสูงมาก เนื่องจากโครงสร้างมีความเป็นระเบียบสูง สเปกตรัมของกราฟีนออกไซด์ พิก G band มีความเข้มของพิกสูงกว่าพิก D band ส่งผลให้อัตราส่วนความไม่เป็นระเบียบต่อความเป็นระเบียบ (I_D/I_G) อยู่ที่ 0.96 แต่กลับกันเมื่อกราฟีนออกไซด์ถูกรีดิวซ์เปลี่ยนเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พิก D band จะมีความเข้มพิกที่สูงกว่าพิก G band และจะมีอัตราส่วนของ I_D/I_G เพิ่มขึ้นจาก 0.96 เป็น 1.23 เนื่องจากเมื่อโครงสร้างกราฟีนออกไซด์ถูกรีดิวซ์ จะเกิดการสลายพันธะและหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ จะถูกกำจัดทำให้โครงสร้างของแผ่นเกิดช่องว่าง (Vacancies) มากยิ่งขึ้น จึงส่งผลให้ความเป็นระเบียบลดลง [60]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

การใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์สำหรับพิจารณาลักษณะของโครงสร้างผลึก และออสัญฐานของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กราฟีนออกไซด์และกราไฟต์ ให้ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



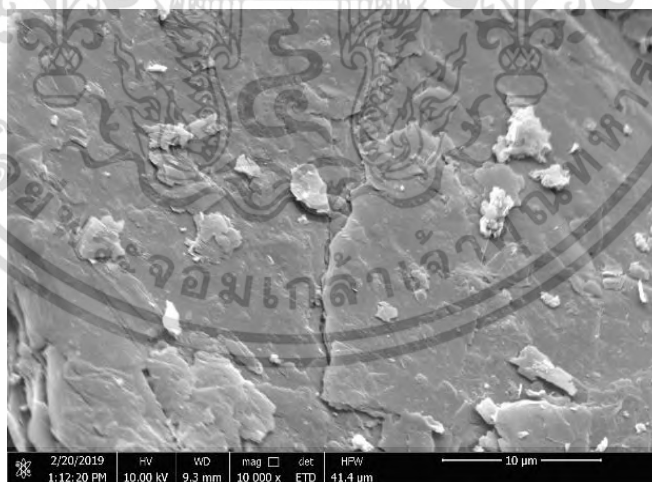
รูปที่ 4.6 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ต่างกันระหว่างกราไฟต์ กราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)

กราไฟต์ที่ใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบจึงมีความเป็นผลึกสูง ส่งผลให้พิกที่ได้มีลักษณะแคบ (sharp) อีกทั้งยังมีความเข้มพิก (Intensity) ที่สูง และพบว่าพิกมีองศาเลี้ยวเบน (2θ) อยู่ที่ 26.4° เมื่อคำนวณตามกฎของแบรกก์ (Bragg's Law) จะได้ระยะห่างระหว่างระนาบของผลึก (D-spacing) อยู่ที่ 0.337 นาโนเมตร แต่เมื่อกราไฟต์ผ่านการดัดแปลงหมู่ฟังก์ชันจากระบวนการของฮัมเมอร์ และผ่านกระบวนการไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซนิเคชันเพื่อให้ได้กราฟีนออกไซด์ จะส่งผลให้ความกว้างระหว่างระนาบผลึกเพิ่มขึ้น องศาเลี้ยวเบนพีคจึงเคลื่อนไปอยู่ที่ 2θ เท่ากับ 10.2° ความเป็นผลึกและความเป็นระเบียบก็ลดลง ส่งผลให้พีคของกราฟีนออกไซด์มีความเข้มลดลง และพีคมีลักษณะกว้างขึ้นเล็กน้อย [63] โดยมีระยะห่างระหว่างระนาบผลึกอยู่ที่ 0.866 นาโนเมตร สูดทำยเมื่อผ่านกระบวนการรีดักชันเปลี่ยนเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พบว่าตำแหน่งพีคกลับมีค่าองศาเลี้ยวเบนใกล้เคียงกับกราฟไฟต์ตั้งต้น เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ได้ถูกกำจัดออกไปในหว่างเกิดปฏิกิริยารีดักชัน จึงทำให้ระยะห่างระหว่างแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีค่าน้อยลง ซึ่งแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์นั้นก็คือแผ่นคาร์บอนแผ่นเดียวของกราฟไฟต์ แต่เนื่องจากความเป็นผลึกและความเป็นระเบียบลดลงจากการถูกรีดิวซ์ทำให้พีคของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีความเข้มลดลง และพีคมีความกว้างมากขึ้น [64,65] ซึ่งมีองศาเลี้ยวเบนอยู่ที่ 2θ เท่ากับ 24.5° และมีระยะห่างระหว่างระนาบผลึกอยู่ที่ 0.363 นาโนเมตร

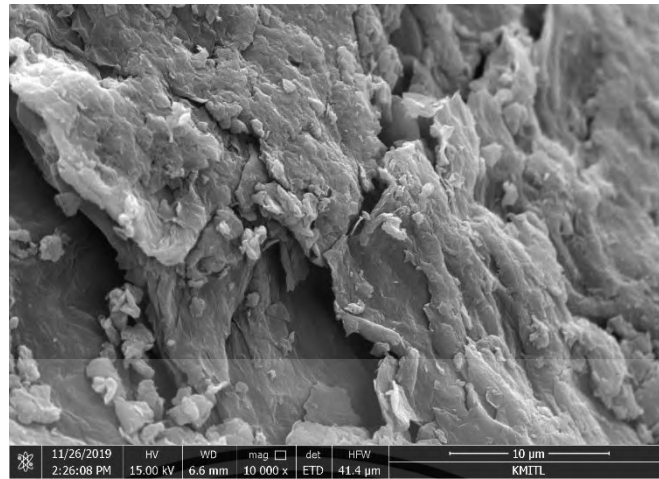
4.1.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของกราฟไฟต์ กราฟไฟต์ออกไซด์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ให้ผลการตรวจพิสูจน์พื้นผิวดังแสดงในรูปที่ 4.7 4.8 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

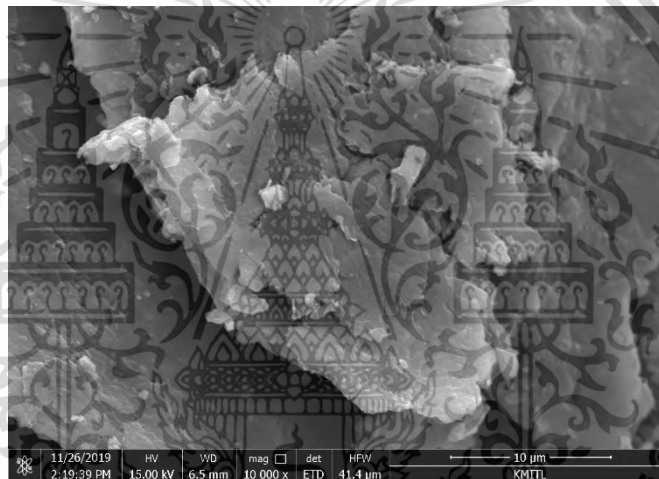


รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของกราฟไฟต์ที่กำลังขยาย X10000 เท่า

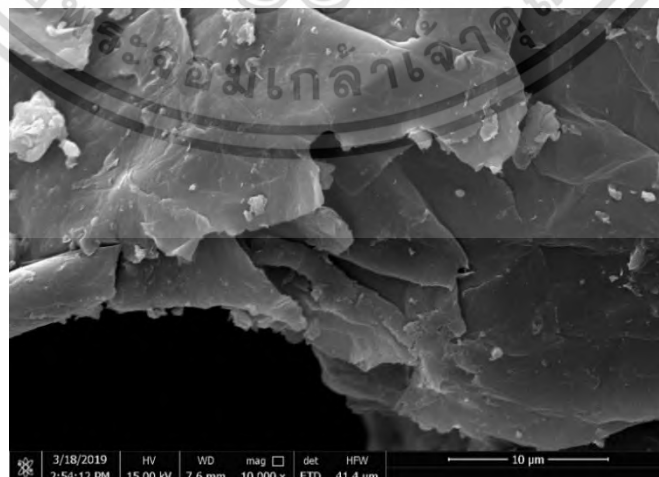
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของกราไฟต์ออกไซด์ที่กำลังขยาย X10000 เท่า



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของกราฟีนออกไซด์ที่กำลังขยาย X10000 เท่า

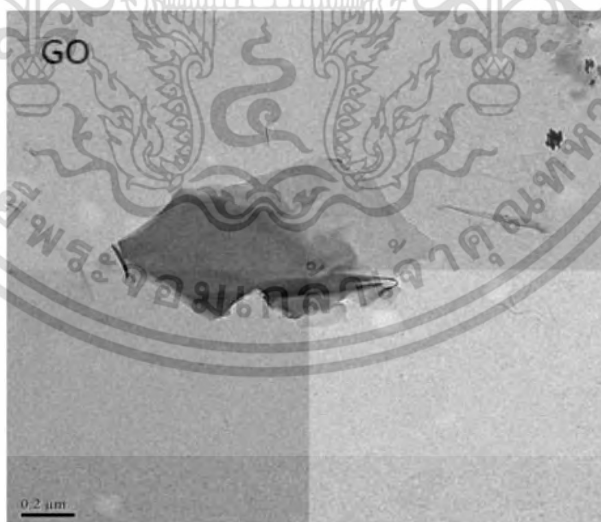


รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิวของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับริตวิซักร้าฟีนออกไซด์ที่กำลังขยาย X10000 เท่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.7 แสดงลักษณะสัณฐานของกราฟไฟต์ ซึ่งพบว่าแผ่นกราฟไฟต์มีพื้นผิวที่เรียบ มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบสูง เป็นผลมาจากโครงสร้างที่เป็นผลึกและการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของคาร์บอน [66] ซึ่งแตกต่างจากลักษณะสัณฐานของกราฟไฟต์ออกไซด์ที่แสดงในภาพที่ 4.8 ซึ่งพบว่าแผ่นกราฟไฟต์ออกไซด์จับตัวกันเป็นก้อนทำให้พื้นผิวมีความขรุขระ โดยเกิดจากกราฟไฟต์ออกไซด์ที่มีความเป็นระเบียบลดลงจากการที่มีหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ เพิ่มเข้าไปในโครงสร้าง ซึ่งทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนได้ จากการทำพันธะระหว่างระนาบของกราฟไฟต์ออกไซด์ กราฟไฟต์ออกไซด์ที่ผ่านกระบวนการโซโนเคชันมาแล้วนั้น บนพื้นผิวของแผ่นจะปรากฏรอยย่นเป็นริ้ว ๆ ที่เกิดจากการซ้อนทับไปมาของแผ่นกราฟไฟต์ออกไซด์ [67] ดังแสดงในภาพที่ 4.9 ต่างจากรีดิวิซ์กราฟไฟต์ออกไซด์ ที่หลังจากหมู่ฟังก์ชันถูกทำลายด้วยกระบวนการรีดักชันทางเคมี ทำให้โครงสร้างของรีดิวิซ์กราฟไฟต์ออกไซด์มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีพื้นผิวเรียบอยู่แยกจากกันอย่างชัดเจน [68] ดังแสดงในภาพที่ 4.10

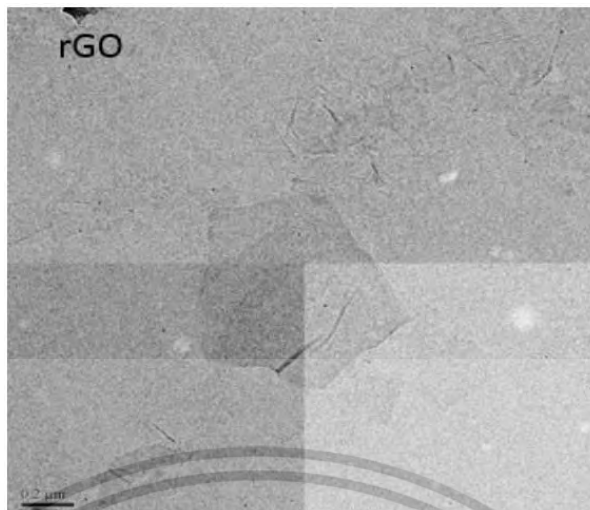
4.1.6 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะรีดิวิซ์กราฟไฟต์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)

ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านให้ข้อมูลสัณฐานวิทยาของกราฟไฟต์ออกไซด์และรีดิวิซ์กราฟไฟต์ออกไซด์ ซึ่งให้ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 แสดงภาพถ่ายของกราฟไฟต์ออกไซด์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



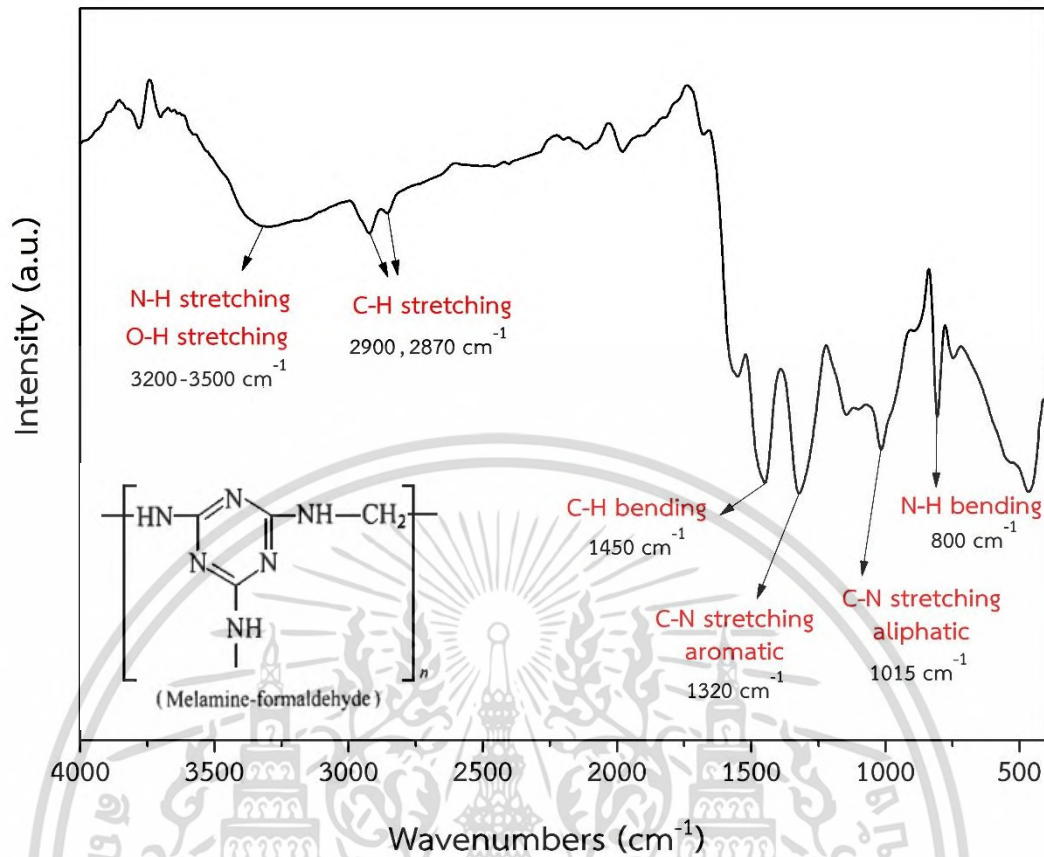
รูปที่ 4.12 แสดงภาพถ่ายของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

ภาพถ่ายกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้จากการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน แสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนในเรื่องความหนาของแผ่น โดยแผ่นของกราฟีนออกไซด์มีความหนามากกว่า สังเกตได้จากส่วนที่เป็นสีดำซึ่งแสดงว่าบริเวณนั้นมีความหนาดังภาพที่ 4.11 ที่อาจเกิดจากการทำพันธะกันเองระหว่างหมู่ฟังก์ชันที่มีอยู่บนแผ่นกราฟีนออกไซด์แต่ละแผ่น ส่วนแผ่นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ผ่านการกำจัดหมู่ฟังก์ชันบนแผ่นออกจนเกือบหมดไป จึงสามารถลดการทำพันธะระหว่างแผ่นลงได้ ทำให้แผ่นมีความหนาน้อยกว่า ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนในภาพที่ 4.12 ที่แผ่นมีความโปร่งแสงสูง ยืนยันได้ว่าแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์อยู่เป็นแผ่นเดี่ยว ๆ แยกจากกันอย่างอิสระ

4.2 ศึกษาเอกลักษณ์ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิม

4.2.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมด้วยเครื่องฟูเรียร์-ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR)

เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมเซต ที่เกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของมอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ เมลามีน และ ฟอร์มัลดีไฮด์ ดังนั้นการตรวจพิสูจน์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีสามารถช่วยยืนยันเอกลักษณ์ของหมู่ฟังก์ชันภายในโครงสร้างของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมได้ โดยสเปกตรัมที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 4.13

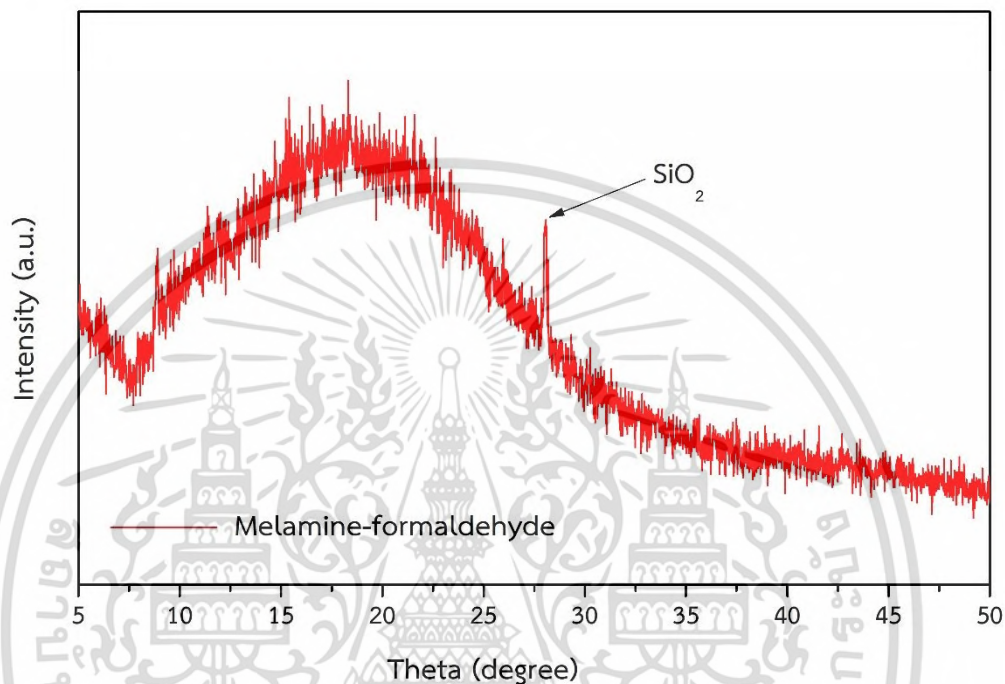


รูปที่ 4.13 แสดง FT-IR สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิม (MF)

จากรูปที่ 4.13 พบว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์แสดงสเปกตรัมของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญดังต่อไปนี้ ตำแหน่งแรกพบที่ช่วงเลขคลื่นระหว่าง $3200 - 3500 \text{ cm}^{-1}$ เป็นเอกลักษณ์เฉพาะการสั่นยืดของพันธะ N-H stretching ของหมู่เอมีน ซึ่งปกติพีคของหมู่ N-H จะมีลักษณะเป็นพีคคู่คล้ายฟันหนู แต่เนื่องจากเกิดการซ้อนทับกับการสั่นยืดของพันธะ O-H stretching ของน้ำ จึงทำให้พีคมีลักษณะกว้างขึ้น (broad peak) ที่ช่วงเลขคลื่น 2900 และ 2870 cm^{-1} มีลักษณะเป็นพีคคู่ ซึ่งเป็นเอกลักษณ์เฉพาะการสั่นยืดของพันธะ C-H stretching ของหมู่แอลเคน ที่เลขคลื่น 1450 cm^{-1} เป็นการสั่นงอของพันธะ C-H bending ของหมู่แอลเคน การสั่นยืดของพันธะ C-N stretching ของหมู่ไซยาไนต์ในวงไตรอะซีน (triazine aromatic) ซึ่งปรากฏที่เลขคลื่น 1320 cm^{-1} นอกจากนี้ยังพบการสั่นยืดของพันธะ C-N stretching ของสายโซ่แบบตรงบริเวณเลขคลื่น 1015 cm^{-1} และที่เลขคลื่น 800 cm^{-1} เป็นการสั่นงอของพันธะ N-H bending ของหมู่เอมีน [61,71]

4.2.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

การใช้ทฤษฎีการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์สำหรับพิจารณาลักษณะของโครงสร้างผลึกของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิม จะแสดงดังรูปที่ 4.14

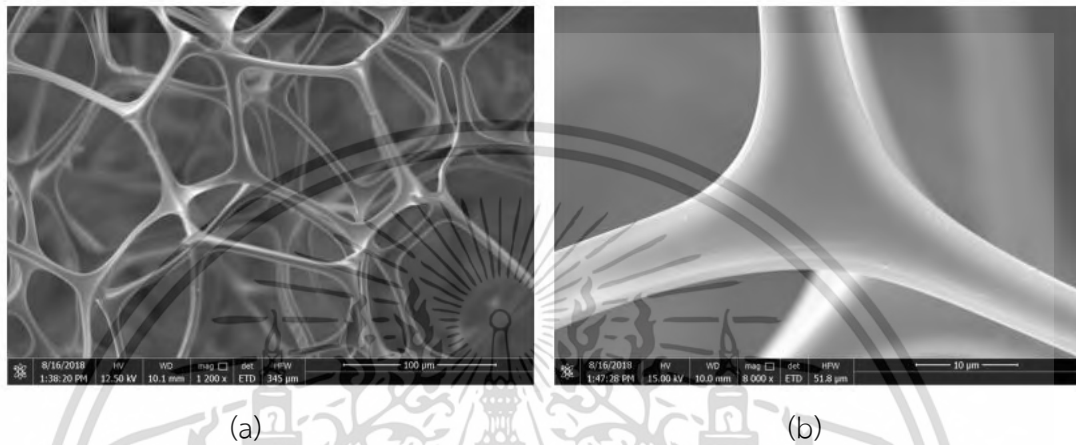


รูปที่ 4.14 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิม (MF)

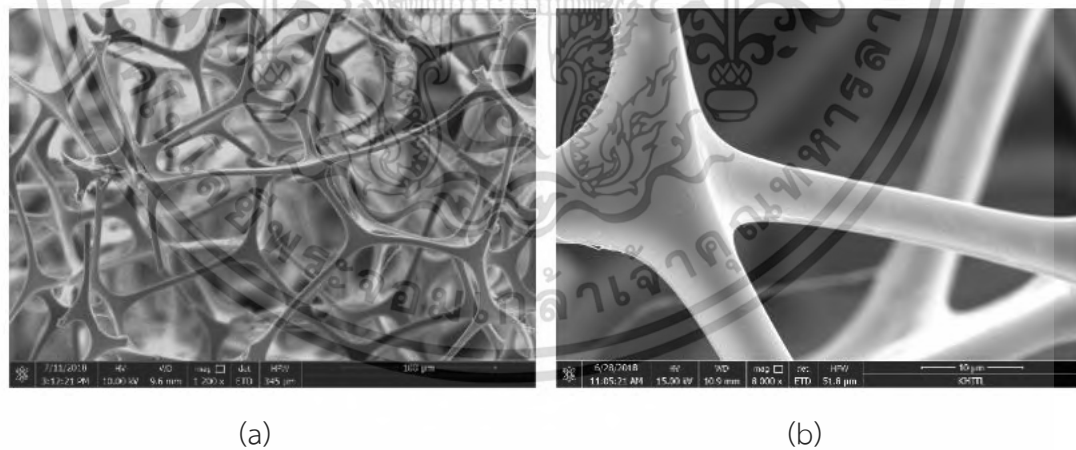
การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยวิธีวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์สามารถยืนยันได้ว่าโครงสร้างผลึกของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเป็นแบบอสัณฐาน (ไม่เป็นระเบียบ) เนื่องจากโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นสายโซ่ยาวเกิดการจัดเรียงตัวกันอย่างอิสระ จึงทำให้โครงสร้างเกิดการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (amorphous) ส่งผลให้พีคที่ตรวจวัดได้มีลักษณะที่เป็นพีคกว้าง (broad peak) ซึ่งปรากฏองศาการเลี้ยวเบนอยู่ที่ 2θ เท่ากับ 20° [7,86] นอกจากนี้สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมที่ตรวจวัดได้ยังปรากฏพีคที่ 2θ เท่ากับ 28° ซึ่งไม่ใช่พีคของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิม แต่เป็นพีคเอกลักษณ์ของควอตซ์ (SiO_2) [75,76] ซึ่งถูกใช้เป็นสับสเตรทในระหว่างกระบวนการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD

4.2.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ลักษณะสัณฐานวิทยาของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมความหนาแน่นปานกลาง และเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมความหนาแน่นสูง แสดงในรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะพื้นผิวของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมความหนาแน่นปานกลางที่กำลังขยาย X1200 (a) และ X8000 (b) เท่า



รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะพื้นผิวของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมความหนาแน่นสูงที่กำลังขยาย X1200 (a) และ X8000 (b) เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะสำคัญของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลาง และความหนาแน่นสูงที่ได้จากการตรวจพิสูจน์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าโพลีเมอร์ทั้ง 2 มีโครงสร้างเป็นเส้นใยลักษณะพื้นผิวเรียบขนาดเล็กที่เชื่อมต่อกัน [4,7] จึงทำให้เกิดรูพรุนภายในเป็นจำนวนมาก ซึ่งรูพรุนเหล่านี้จะทำหน้าที่ดูดซับของเหลวต่าง ๆ เข้ามาไว้ภายในโครงสร้าง [25] ซึ่งโพลีเมอร์แต่ละความหนาแน่นจะมีจำนวนรูพรุน และขนาดของรูพรุนแตกต่างกัน โดยเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ชนิดความหนาแน่นสูงจะมีรูพรุนจำนวนมากกว่า และรูพรุนมีขนาดเล็กกว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลาง ดังแสดงในรูปที่ 4.16

4.3 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์



รูปที่ 4.17 แสดงเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ก่อน (ซ้าย) และหลังทำการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (ขวา)

เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยมีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาว และสามารถสังเกตเห็นรูพรุนได้ด้วยตาเปล่าดังภาพที่ 4.17 (ซ้าย) ส่วนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (ขวา) เส้นใยจะเปลี่ยนจากสีขาวไปเป็นสีดำ โดยกระบวนการเปลี่ยนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ไปเป็นเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์นั้น ในขั้นตอนแรกจะใช้วิตามินซีเป็นสารปรับพื้นผิวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ โดยโปรตอน (H^+ ; Proton) ที่แตกตัวออกจากโครงสร้างหลักของวิตามินซีจะไปโปรโตเนต (Proton Protonation) ผิวของโพลีเมอร์ให้มีประจุโดยรวมเป็นบวก จากนั้นเมื่อเติมกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นเข้าไป ซึ่งกราฟีนออกไซด์มีประจุบนพื้นผิว (zeta เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

potential) เป็นลบ [9] อันเป็นผลมาจากหมู่ฟังก์ชันต่าง ๆ ที่อยู่บนแผ่น จะเกิดการยึดเกาะทางกายภาพระหว่างเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมและกราฟีนออกไซด์ด้วยแรงระหว่างประจุ (electrostatic force) รวมถึงเกิดแรงดึงดูดระหว่างวงอะโรมาติกของโฟมและกราฟีนออกไซด์ ($\pi - \pi$ stacking) [4,5,7,10] และเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส กราฟีนออกไซด์ (สีน้ำตาล) จะถูกรีดิวซ์และเปลี่ยนไปเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (สีดำ) ดังนั้นเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมที่ถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จึงเป็นโฟมสีดำ

4.4 ศึกษาเอกลักษณ์ของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

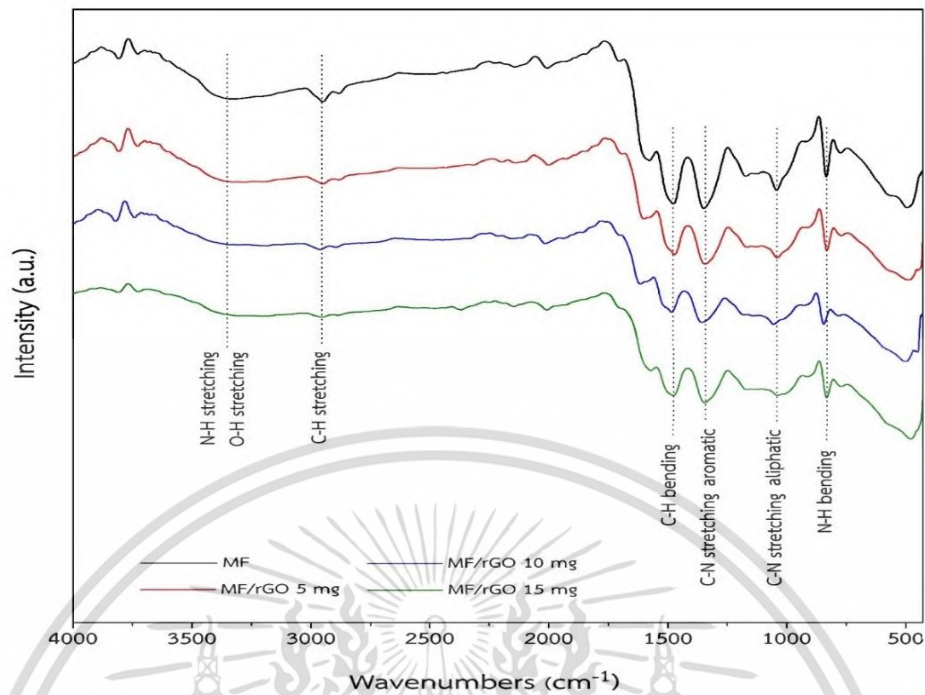
การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ทำการศึกษาในหัวข้อดังต่อไปนี้ คือ 1.ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของสารละลายวิตามินซี 2.ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน 3.ศึกษาปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 4.ศึกษาชนิดของโฟม และ 5.ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ

4.4.1 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR)

การศึกษามุฟังก์ชันต่าง ๆ เป็นการยืนยันองค์ประกอบของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ประกอบไปด้วยเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยแสดงผลการตรวจวิเคราะห์ตามหัวข้อที่ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

4.4.1.1 ศึกษาปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น

โดยใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น ดังนี้ 5 10 และ 15 มิลลิกรัม เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)

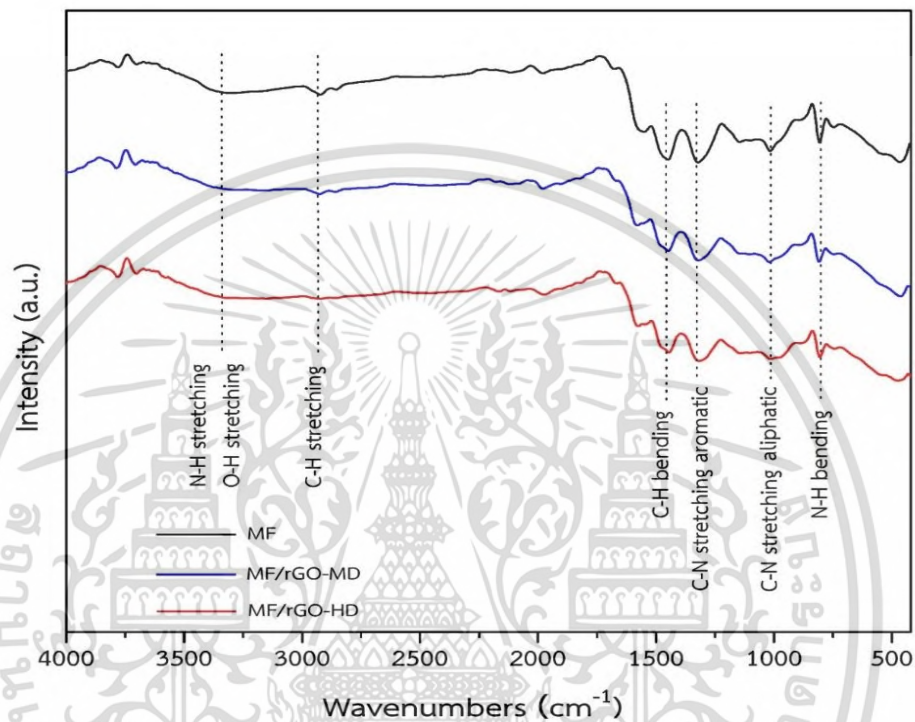


รูปที่ 4.18 แสดง FT-IR สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 5 10 และ 15 มิลลิกรัม

จากรูปที่ 4.18 แสดง FTIR สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมและเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีการใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นแตกต่างกัน พบว่าในทุกตัวอย่างโฟมที่ทำการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไม่ปรากฏพีกเอกลักษณ์ในการสั่นยืดของพันธะ C=C stretching ที่แสดงถึงการมีอยู่ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซึ่งควรจะพบที่เลขคลื่นประมาณ 1550 cm^{-1} เนื่องจากปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบอยู่มีสัดส่วนที่น้อยกว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมมาก ดังนั้นจึงส่งผลให้ไม่สามารถตรวจพบพีกเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ได้ ถึงแม้ว่าผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์จะไม่พบพีกของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แต่สามารถอ้างอิงถึงการมีอยู่ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์บนโครงสร้างของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมได้จากความเข้มของพีกที่ปรากฏ กล่าวคือ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่ทำการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีความเข้มของพีกลดลง เมื่อเทียบกับเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเริ่มต้นที่ไม่ได้เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ การใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นมากขึ้น จะทำให้มีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่บนโฟมมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อทำการยิงรังสีอินฟราเรดลงไปบนชิ้นโฟมจึงถูกรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กั้นขวางไว้ ส่งผลให้ความเข้มพีกของโฟมที่วัดได้มีค่าลดลง

4.4.1.2 ศึกษาชนิดของโพลีเมอร์

โดยใช้โพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่น ดังนี้ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลาง และ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นสูง เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที และปริมาณกราฟีน-ออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม



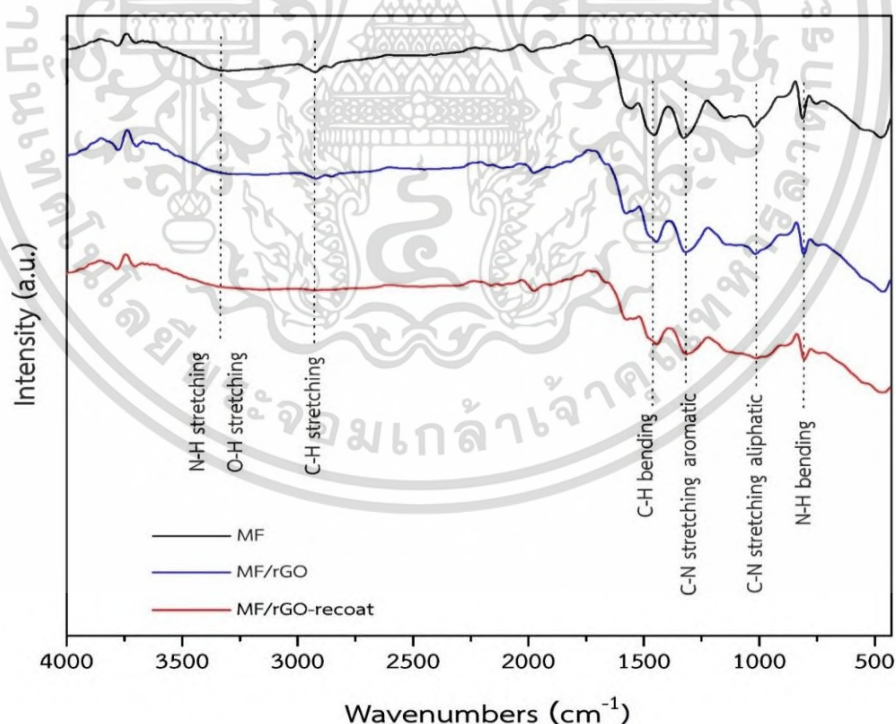
รูปที่ 4.19 แสดง FT-IR สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

FTIR สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่าจากการตรวจสอบพิสูจน์ไม่พบพีคการสั่นยืดพันธะ C=C stretching ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในสเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เนื่องจากในโพลีเมอร์หนึ่งชั้นมีส่วนของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์น้อยกว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์มาก อีกหนึ่งสิ่งที่สามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนคือ ความเข้มพีคของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ทั้ง 2 ความหนาแน่นที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีค่าต่ำลงเมื่อเทียบกับเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่ไม่ได้เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เนื่องจากมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่บนโครงสร้างของโฟม ดังนั้นจึงทำให้ค่าความเข้มพีคที่วัดได้ต่ำลง และ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีความเข้มพีค น้อยกว่า แสดงว่ามีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะอยู่มากกว่า เพราะเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความ หนาแน่นปานกลางมีขนาดรูพรุน และความหนาแน่นของเส้นใยที่เหมาะสมที่จะให้รีดิวซ์กราฟีน- ออกไซด์แพร่เข้าไปในรูพรุนและเกาะบนเส้นใยได้มาก กลับกันเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความ หนาแน่นสูงมีขนาดรูพรุนเล็กกว่า และมีเส้นใยอยู่อย่างหนาแน่น จึงทำให้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์แพร่ ผ่านเข้าไปในรูพรุนโฟมได้น้อยกว่า ส่งผลให้มีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะอยู่บนเส้นใยโฟมน้อยกว่า

4.4.1.3 ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบรีดิวซ์กราฟีน- ออกไซด์ซ้ำ

โดยใช้เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาทำการเคลือบซ้ำ เมื่อทำ การคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมชนิดความหนาแน่น ปานกลาง (MD)



รูปที่ 4.20 แสดง FT-IR สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

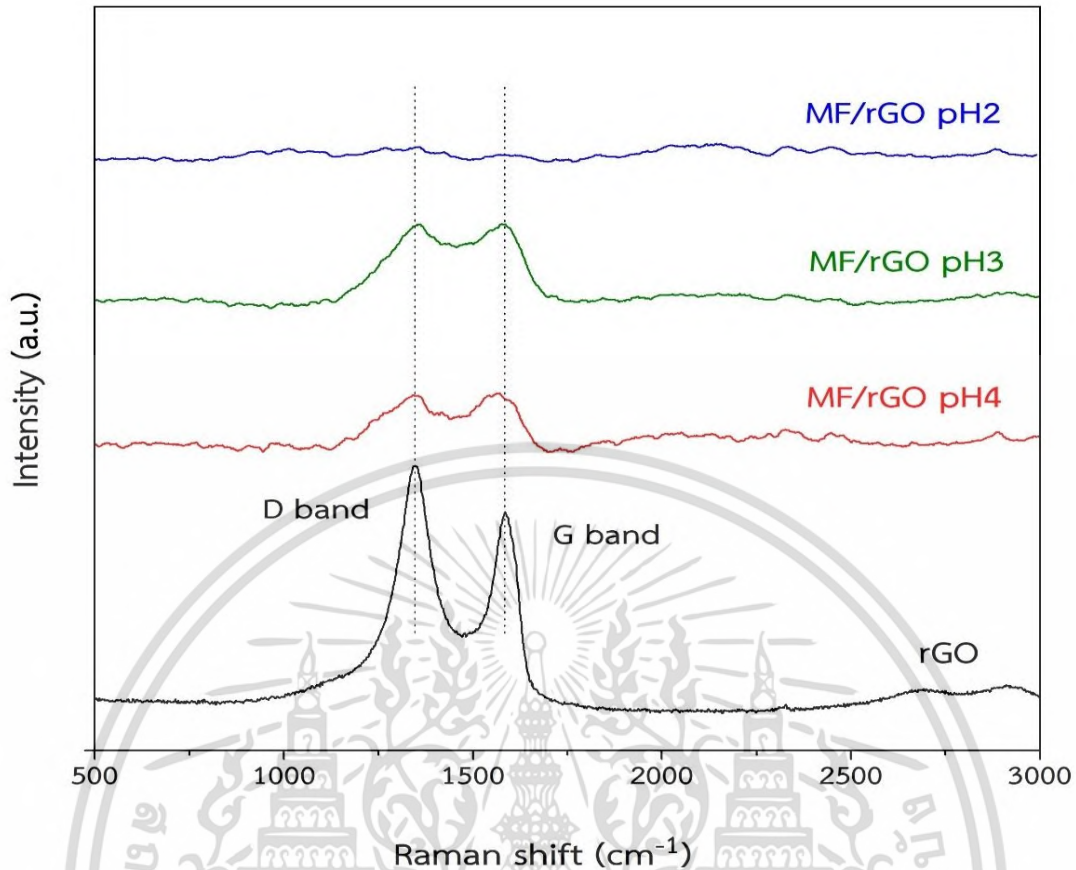
ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ได้จากเทคนิค FTIR ดังรูปที่ 4.20 พบว่า เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำไม่ปรากฏพีคการสั่นยืดพันธะ C=C stretching ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ เนื่องจากในโพลีเมอร์หนึ่งชิ้นนั้นจะมีสัดส่วนของโพลีเมอร์มากกว่ารีติวซ์กราฟีนออกไซด์ แต่เนื่องจากความเข้มข้นของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์มีค่าลดลงเมื่อทำการเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ จึงทำให้อนุมานได้ว่ามีรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่บนโครงสร้างของโพลีเมอร์ ดังนั้นจึงทำให้ความเข้มข้นของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่วัดได้มีค่าต่ำลง และยังสามารถสังเกตเห็นได้ว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำมีความเข้มข้นของพีคน้อยกว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบเพียงหนึ่งครั้ง เมื่อเปรียบเทียบโพลีเมอร์ 2 ตัวอย่างนี้ จึงสรุปได้ว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำมีรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่บนเส้นใยของโพลีเมอร์มากกว่า

4.4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์ (Raman spectrometer)

การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค Raman สามารถให้ข้อมูลโครงสร้างและองค์ประกอบของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยแสดงผลการตรวจวิเคราะห์ตามหัวข้อที่ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

4.4.2.1 ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของสารละลายวิตามินซี

โดยใช้ pH ของสารละลายวิตามินซี ดังนี้ pH2 pH3 และ pH4 เมื่อทำการคงที่ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



รูปที่ 4.21 แสดง Raman สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีอะครีโลนไคริลด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH2 pH3 และ pH4

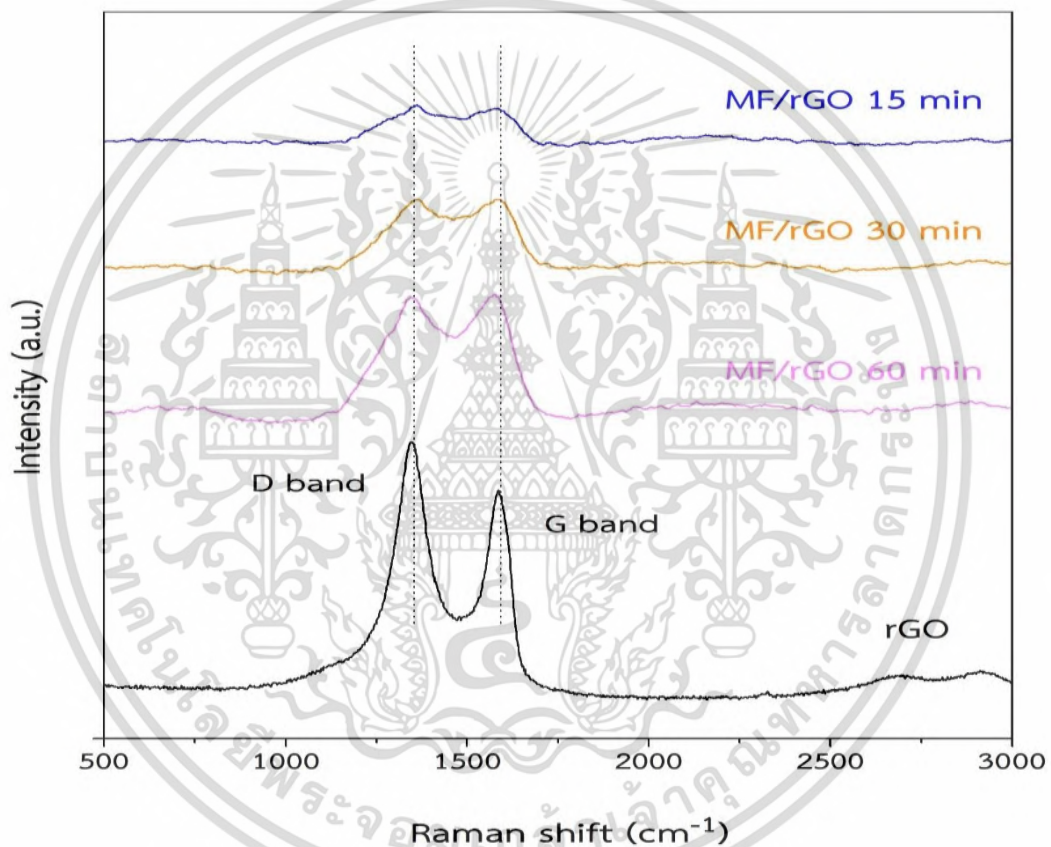
รามานสเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีอะครีโลนไคริลด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH2 pH3 และ pH4 ที่แสดงดังรูป 4.21 พบว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีอะครีโลนไคริลด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH เท่ากับ 2 ไม่พบพีกเอกลักษณ์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 1350 cm^{-1} ของ D band และ 1600 cm^{-1} ของ G band [7] เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของโพลีเมอร์ถูกปกคลุมไปด้วยผลึกของวิตามินซี (ลักษณะเป็นเกล็ดสีขาวขนาดเล็ก) จึงทำให้ออกไซด์เคลือบเกาะบนเส้นใยของโพลีเมอร์ได้น้อยมาก ๆ ซึ่งเป็นเพราะใช้ปริมาณวิตามินซีมากเกินไป จึงอึดตัวและเกิดเป็นผลึก ส่วนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีอะครีโลนไคริลด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH เท่ากับ 3 และ 4 ตรวจพบพีก D band และ G band ซึ่งแสดงว่าตัวอย่างโพลีเมอร์ 2 ตัวอย่างนี้มีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่บนโครงสร้างของโพลีเมอร์จริง เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีอะครีโลนไคริลด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH เท่ากับ 3 ความเข้มพีกมีค่าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH 2 และ 4 แสดงว่ามีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนโพลีเมอร์มากที่สุด เป็นเพราะสารละลายวิตามินซีที่มี pH เท่ากับ 3 มีปริมาณวิตามินซีมากพอและเหมาะสมที่จะช่วยปรับพื้นผิวของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ให้เป็นบวกได้ดี กราฟีนออกไซด์จึงยึดเกาะได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH เท่ากับ 4 มีปริมาณวิตามินซีน้อยกว่า จึงโปรโตเนตให้พื้นผิวเป็นบวกได้ไม่ดี หรือบางบริเวณไม่ได้รับการโปรโตเนต ดังนั้นจึงทำให้กราฟีนออกไซด์เกาะได้น้อย

4.4.2.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

โดยใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน ดังนี้ 15 30 และ 60 นาที เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



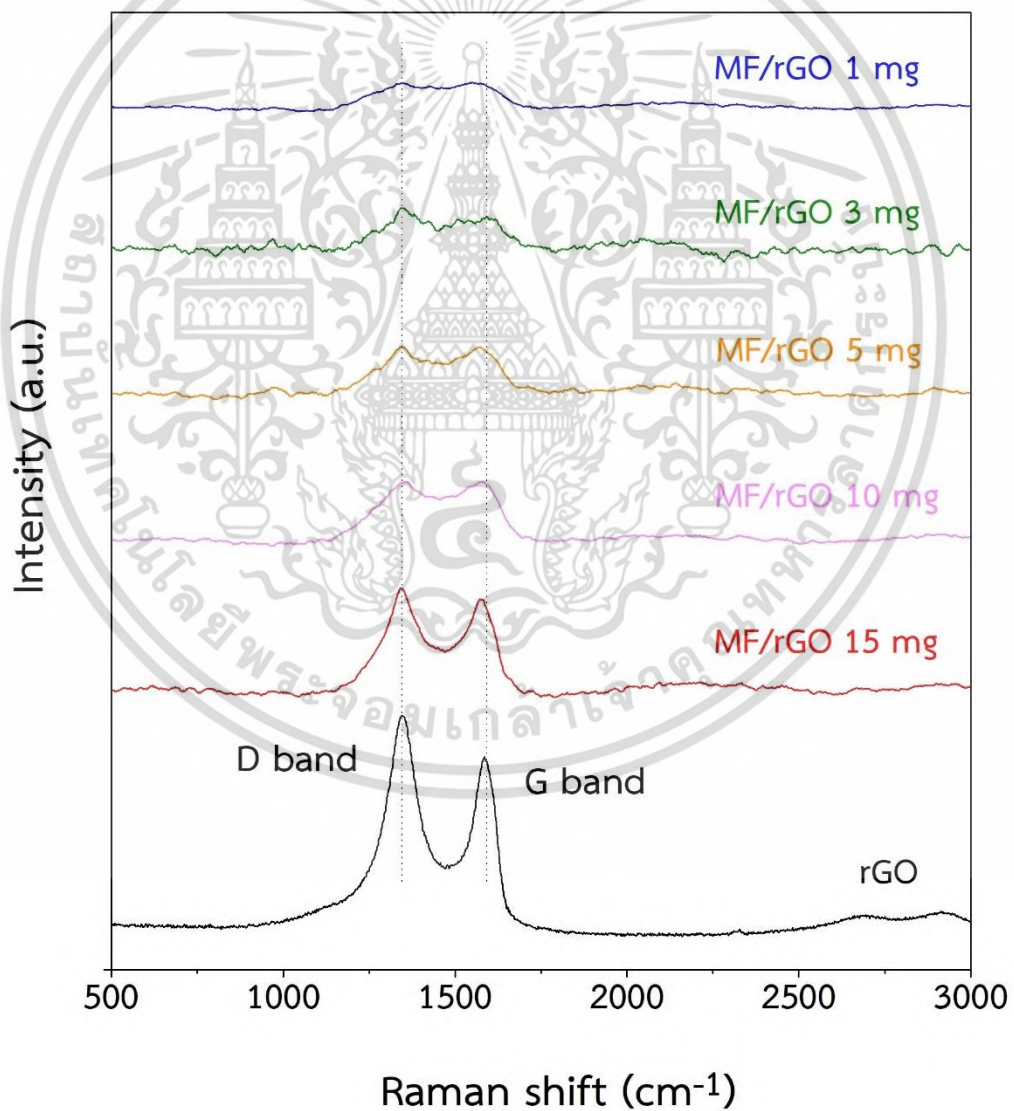
รูปที่ 4.22 แสดง Raman สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน 15 30 และ 60 นาที

จากรูปที่ 4.22 แสดงสเปกตรัมรามานของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่ใช้เวลาในการให้ความร้อน 15 30 และ 60 นาที เทียบกับสเปกตรัมของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งพบว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ทั้ง 3 ตัวอย่างมีฟีกเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปรากฏให้เห็นในช่วงการสั่น 1350 cm^{-1} และ 1600 cm^{-1} ซึ่งคือฟีก D band และ G band ตามลำดับ เมื่อมีเอกสารนี้การให้ระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น จะเห็นได้ว่าความเข้มของฟีกที่ปรากฏมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วย เนื่องจากเมื่อระยะเวลาให้ความร้อนมากขึ้นจะมีเวลาให้กราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์สามารถแพร่เข้าไปในรูพรุนของโฟมได้นานขึ้น ดังนั้นโอกาสที่กราฟีนออกไซด์ที่แพร่เข้าไปในรูพรุนจะไปเกาะบนเส้นใยโฟมจึงเพิ่มขึ้น และเปลี่ยนไปเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันสมบูรณ์ ดังนั้นเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น จึงทำให้พบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้น

4.4.2.3 ศึกษาปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น

โดยใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น ดังนี้ 1 3 5 10 และ 15 มิลลิกรัม เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที และเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์โฟมชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)

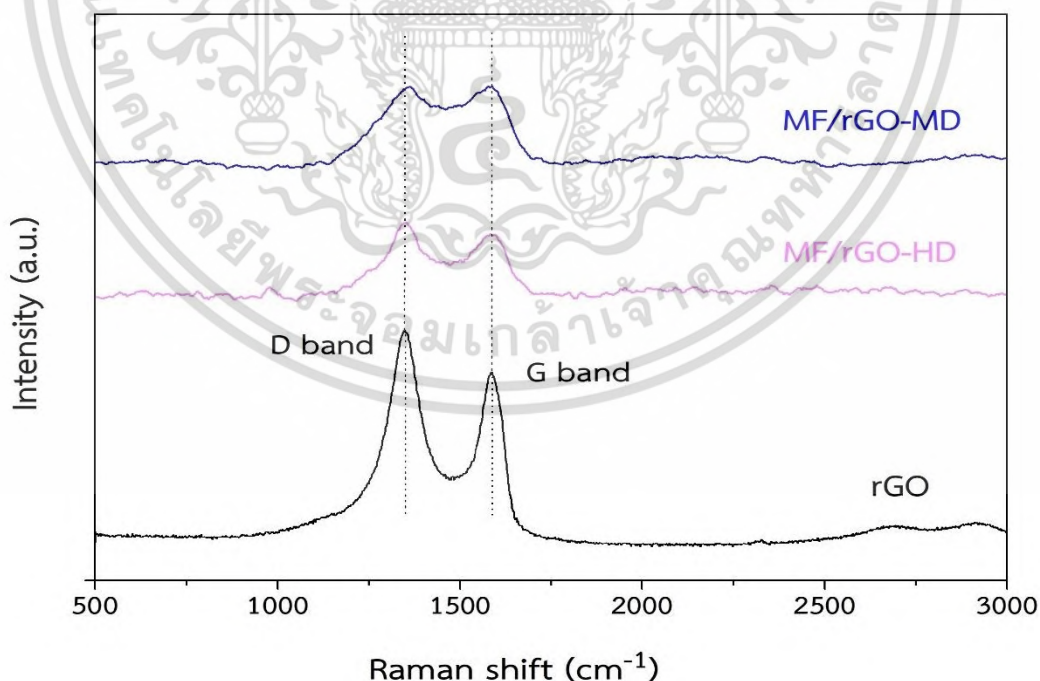


รูปที่ 4.23 แสดง Raman สเปกตร้าของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 1 3 5 10 และ 15 มิลลิกรัม ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นต่างกันด้วยเทคนิครามาน ให้ผลการตรวจพิสูจน์ตั้งรูปที่ 4.23 ซึ่งแสดงให้เห็นสเปกตรัมของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์เริ่มต้น 1 3 5 10 และ 15 มิลลิกรัมเปรียบเทียบกัน โดยพบว่าเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้กราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 1 มิลลิกรัม ปรากฏพีคการสั่นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ คือพีค D band ที่ 1350 cm^{-1} และพีค G band ที่ 1600 cm^{-1} ซึ่งมีความเข้มพีคเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มปริมาณกราฟีนออกไซด์มากขึ้น พบว่าสัดส่วนความเข้มพีคมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นที่ใช้มีผลต่อปริมาณของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ยึดเกาะบนโฟม โดยเมื่อมีปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นมากจะส่งผลให้มีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไปเคลือบอยู่บนโครงสร้างโฟมมากขึ้น จากกราฟจะเห็นว่าสเปกตรัมของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 15 มิลลิกรัม มีความเข้มพีคสูงที่สุด เนื่องจากมีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่บนโครงสร้างโฟมมากที่สุด

4.4.2.4 ศึกษาชนิดของโฟม

โดยใช้โฟมที่มีความหนาแน่น ดังนี้ เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลาง และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นสูง เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที และปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม



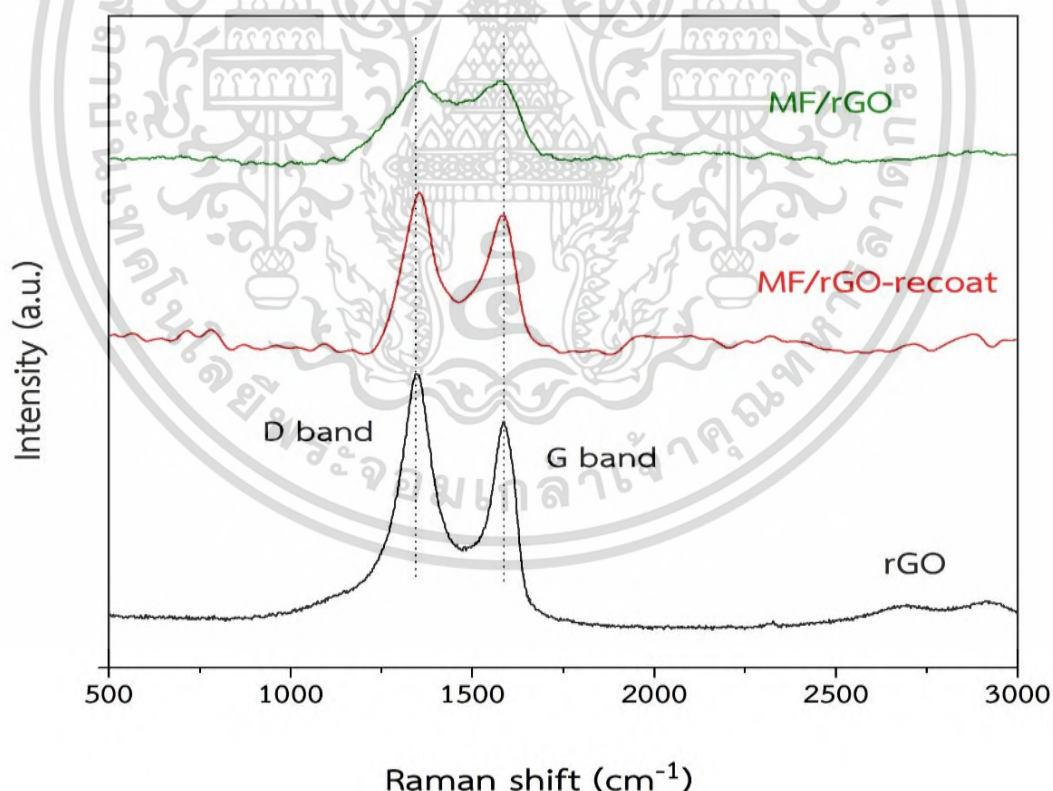
รูปที่ 4.24 แสดง Raman สเปกตรัมของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลาง และ ความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.24 พบว่ารามานสเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลาง และความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แสดงพีคเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งปรากฏในช่วงการสั่นที่ 1350 cm^{-1} และ 1600 cm^{-1} เป็นพีค D band และ G band ตามลำดับ โดยเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีความเข้มพีคสูงกว่าโพลีเมอร์ความหนาแน่นสูง เป็นเพราะโครงสร้างโพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่นปานกลางมีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะอยู่บนโครงสร้างมากที่สุด

4.4.2.5 ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ

โดยใช้เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาทำการเคลือบซ้ำ เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



รูปที่ 4.25 แสดง Raman สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

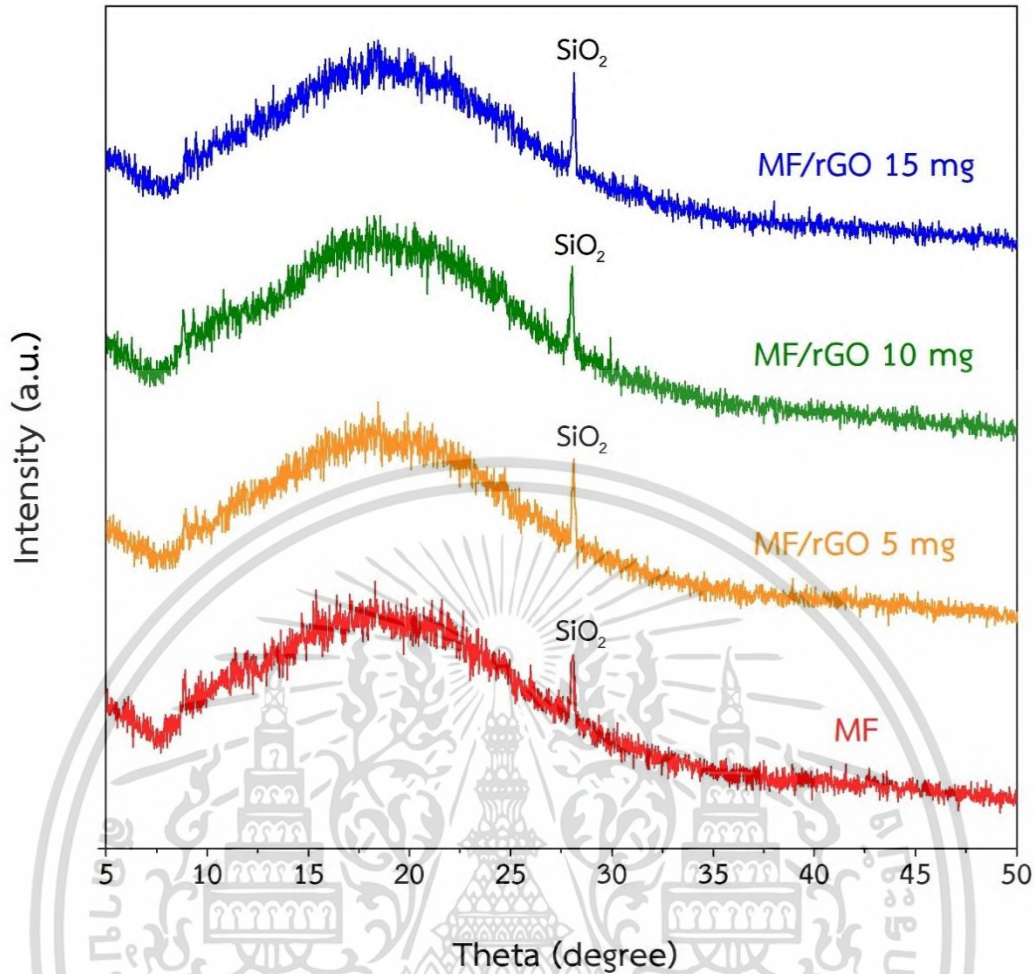
ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำจากเทคนิครามาน แสดงสเปกตรัมดังรูป 4.25 พบว่าโฟมทั้ง 2 ตัวอย่างปรากฏพีคที่ 1350 cm^{-1} ของ D band และพีค G band ที่ 1600 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เป็นผลมาจากการที่มีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กระจายตัวอยู่บนโครงสร้างเส้นใยของโฟม เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำมีความเข้มพีคสูงกว่าเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าความเข้มพีค D band สูงกว่า G band ซึ่งมีลักษณะพีคใกล้เคียงกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาก การที่เห็นความแตกต่างของความเข้มพีค D band สูงกว่า G band ในเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ อาจเป็นเพราะมีปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์บนโครงสร้างโฟมมากพอ จึงทำให้สามารถเห็นความแตกต่างของความเข้มพีคระหว่าง D band และ G band ได้อย่างชัดเจน

4.4.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องวัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

การพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิควัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ เป็นเทคนิคที่สามารถยืนยันองค์ประกอบและโครงสร้างผลึกของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยแสดงผลการตรวจวิเคราะห์ตามหัวข้อที่ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

4.4.3.1 ศึกษาปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น

โดยใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น ดังนี้ 5 10 และ 15 มิลลิกรัม เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



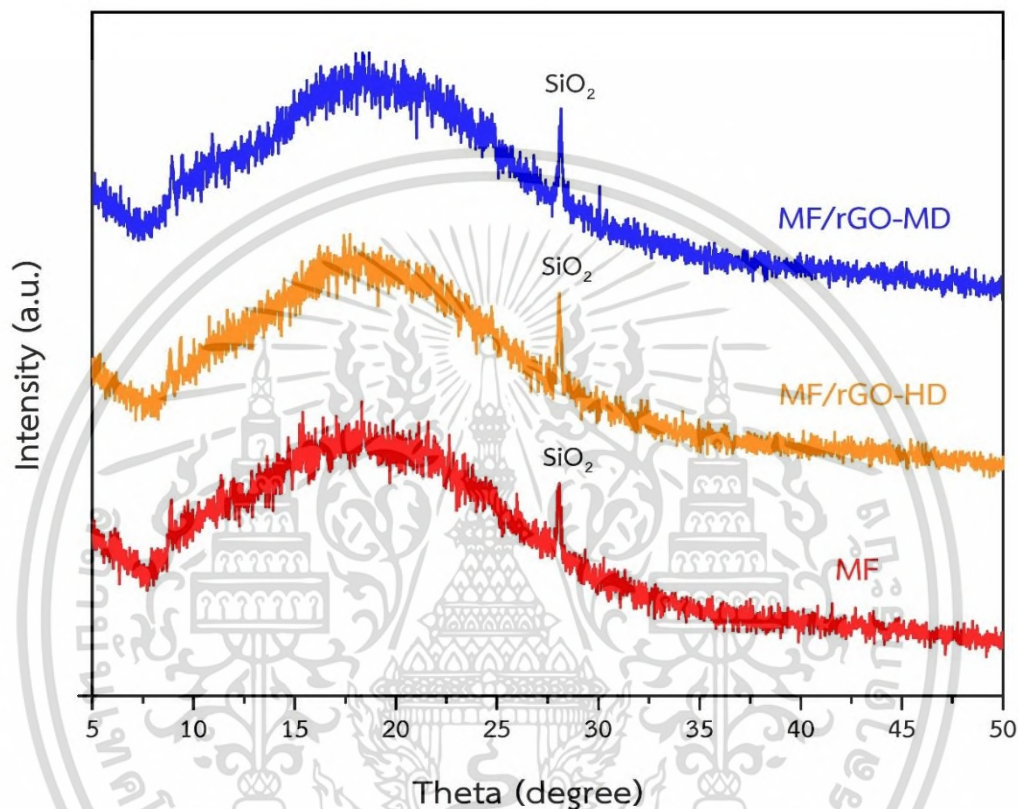
รูปที่ 4.26 แสดง XRD สเปกตราของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งแต่ 5 10 และ 15 มิลลิกรัม

จากรูปที่ 4.26 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ที่ได้จากเทคนิค XRD ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งแต่ 5 10 และ 15 มิลลิกรัม พบว่าสเปกตราที่ได้มีลักษณะเป็นพีคกว้าง (broad peak) อนุกรมการเลี้ยวเบนอยู่ที่ 2θ เท่ากับ 20° ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ ซึ่งแสดงถึงการที่โครงสร้างเกิดการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ และไม่พบพีคเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งควรจะปรากฏพีคที่ 2θ เท่ากับ 26° อาจเพราะมีปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์น้อยมาก ๆ จนเครื่องมือไม่สามารถตรวจพบ จากสเปกตราที่ได้จะเห็นว่าไม่มีพีคปรากฏที่ 2θ เท่ากับ 28° ซึ่งไม่ใช่พีคของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์แต่อย่างใด แต่เป็นพีคเอกลักษณ์ของควอตซ์ (SiO_2) ซึ่งถูกใช้เป็นซับสเตรทในการตรวจวิเคราะห์ เนื่องจากโพลีเมอร์มีรูพรุนจำนวนมาก และตอนเตรียมตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์ได้ทำการหั่นโพลีเมอร์ให้มีลักษณะเป็นแผ่นบาง ๆ ดังนั้นเมื่อยิงรังสีเอกซ์ไปกระทบชั้นโพลีเมอร์เพื่อให้เกิดการเลี้ยวเบน จึงมีโอกาสสูงที่รังสีจะทะลุผ่านรูพรุนของโพลีเมอร์ลงไปที่กระทบซับสเตรท จึงเกิดพีคที่ตำแหน่งนี้ขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3.2 ศึกษาชนิดของโพลีเมอร์

โดยใช้โพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่น ดังนี้ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลาง และ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นสูง เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที และปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม



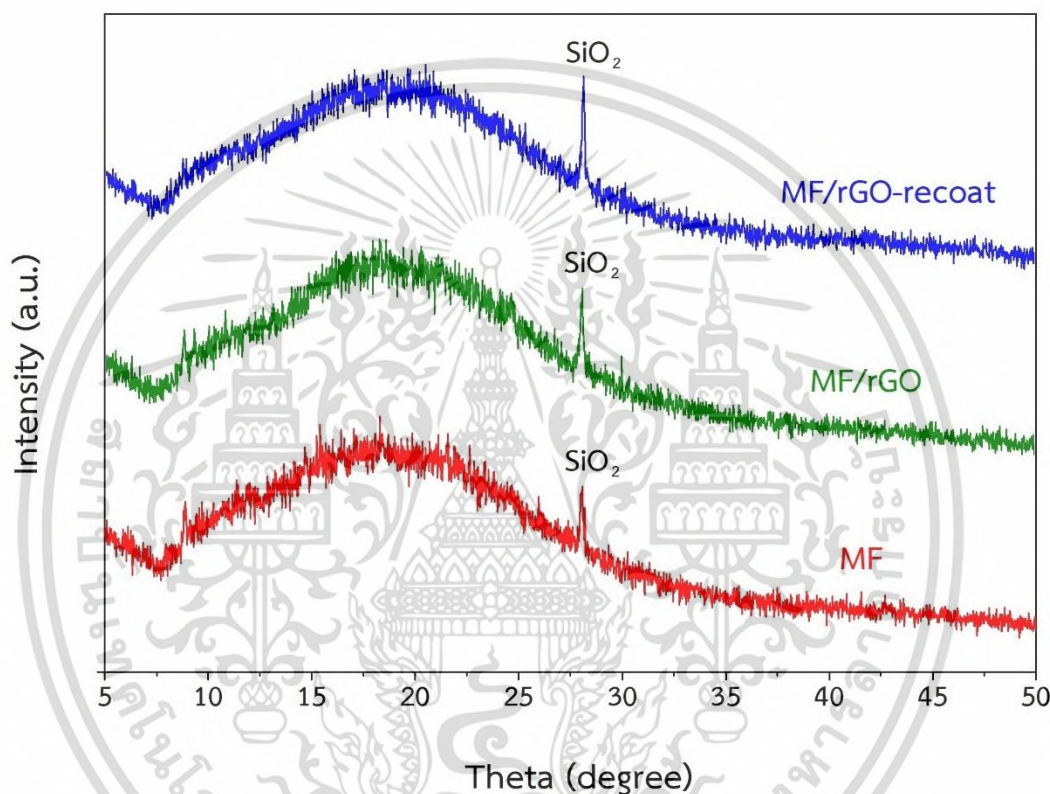
รูปที่ 4.27 แสดง XRD สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

สเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่แสดงดังรูป 4.27 มีลักษณะเหมือนกับเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ตั้งต้น และไม่พบพีคเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 2θ เท่ากับ 26° แต่ปรากฏพีคเอกลักษณ์ของควอตซ์ที่ 28°

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3.3 ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ

โดยใช้เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาทำการเคลือบซ้ำอีกครั้ง เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



รูปที่ 4.28 แสดง XRD สเปกตร้าของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

จากผล XRD ดังรูปที่ 4.28 เมื่อเปรียบเทียบสเปกตร้าของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำกับเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเริ่มต้นที่ไม่ได้เคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พบว่าสเปกตร้าที่ได้เป็นพีคกว้าง ซึ่งเกิดการจัดเรียงตัวที่ไม่เป็นระเบียบ มีองศาการเลี้ยวเบนอยู่ที่ 2θ เท่ากับ 20° และไม่พบพีคเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อาจเพราะมีปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์น้อยมาก ๆ จน

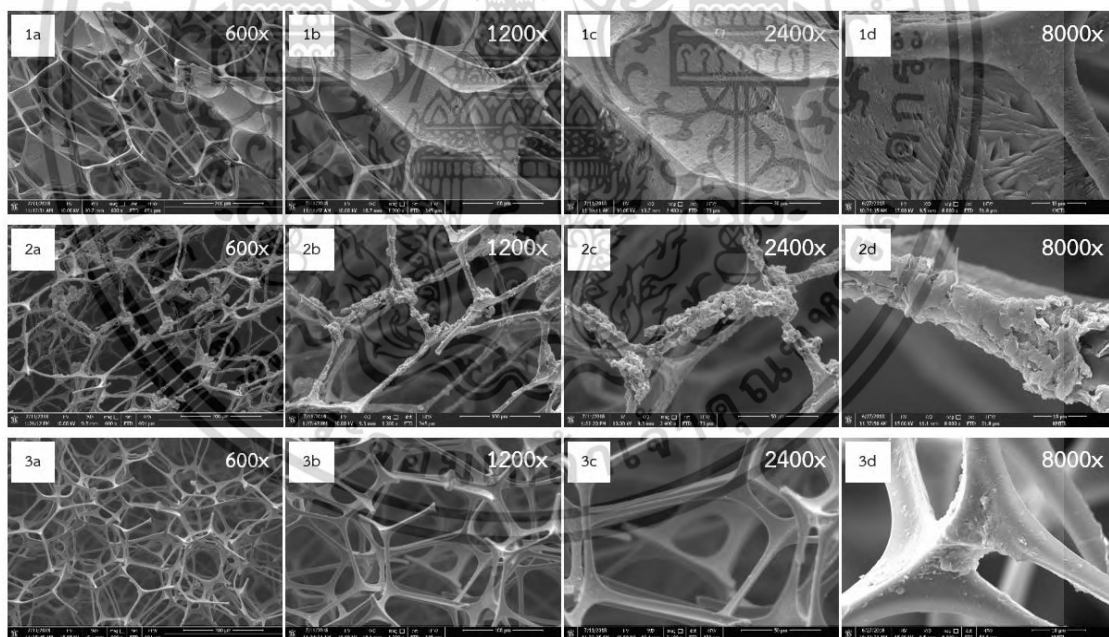
เครื่องมือไม่สามารถตรวจพบ นอกจากนี้จะเห็นว่ามีการปรากฏที่ 2θ เท่ากับ 28° ซึ่งเป็นลักษณะของควอตซ์ ที่ถูกใช้เป็นซับสเตรท

4.4.4 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ลักษณะพื้นฐานวิทยาของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยแสดงผลการตรวจวิเคราะห์ตามหัวข้อที่ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

4.4.4.1 ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของสารละลายวิตามินซี

โดยใช้ pH ของสารละลายวิตามินซี ดังนี้ pH2 pH3 และ pH4 เมื่อทำการคงที่ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



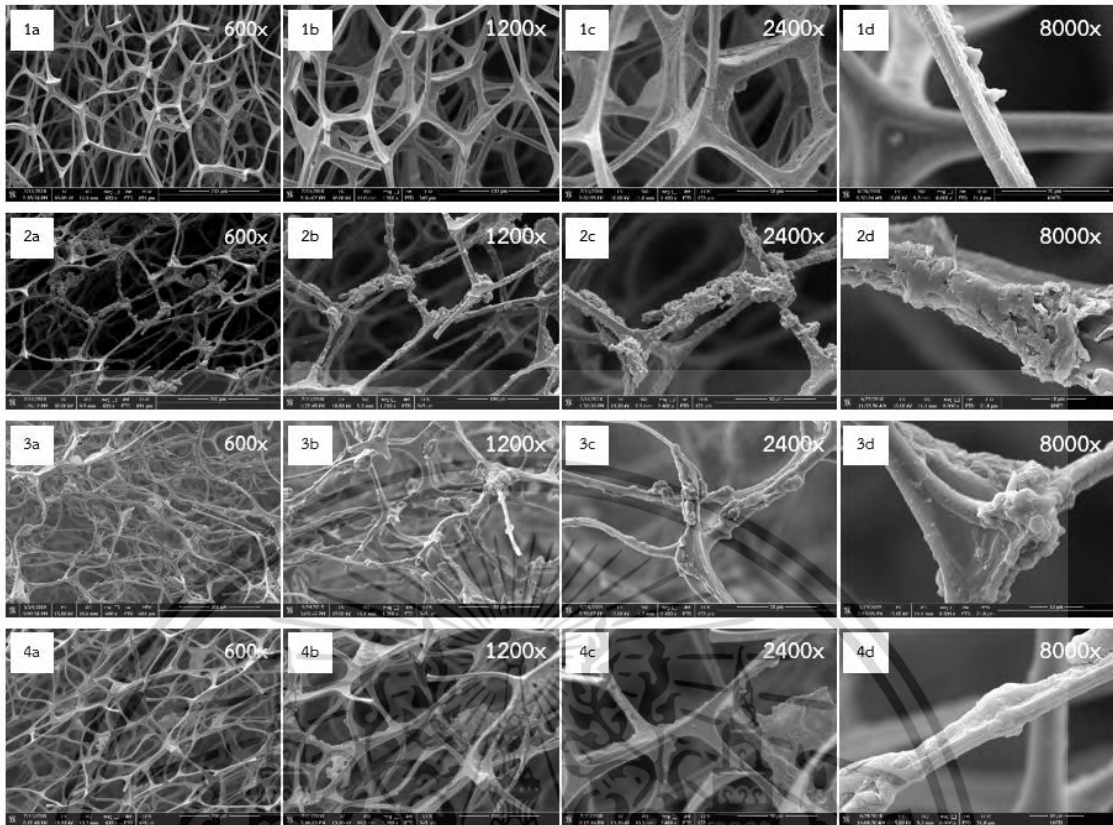
รูปที่ 4.29 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH2 (1a-1d) pH3 (2a-2d) และ pH4 (3a-3d) ที่กำลังขยาย X600 X1200 X2400 และ X8000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.29 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดให้ข้อมูลลักษณะ สัณฐานวิทยาของพื้นผิวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ pH ของ สารละลายวิตามินซีแตกต่างกัน พบว่าบนเส้นใยของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์- กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH3 มีการยึดเกาะของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์มากที่สุดและ ค่อยข้างกระจายตัวดีในทุกบริเวณ ดังแสดงในรูป 2a-2d หมายความว่า การใช้สารละลายวิตามินซีที่มี pH เท่ากับ 3 จะมีปริมาณวิตามินซีพอเหมาะต่อการโปรโตเนตพื้นผิวของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ ให้ มีประจุเป็นบวก กราฟีนออกไซด์จึงเกาะบนโพลีเมอร์ได้ดี กลับกันเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วย รีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH4 มีรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะอยู่บนเส้นใยน้อย ที่สุด ดังแสดงในรูป 3a-3d เป็นเพราะมีปริมาณวิตามินซีน้อย ทำให้มีโปรตอนไม่เพียงพอในการปรับ พื้นผิวของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ ดังนั้นจึงทำให้รีติวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะที่เส้นใยโพลีเมอร์ได้ไม่ดี ส่วน เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH2 นั้นแทบจะ ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ว่ามีรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะบนเส้นใยเลย เพราะมีผลึกของวิตามินซีเกาะ อยู่บนเส้นใยโพลีเมอร์ ดังแสดงในรูป 1a-1d ผลึกนี้จึงบดบังการเข้ายึดเกาะบนเส้นใยโพลีเมอร์ของรีติวซ์- กราฟีนออกไซด์

4.4.4.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

โดยใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน ดังนี้ 15 30 45 และ 60 นาที เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของ สารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



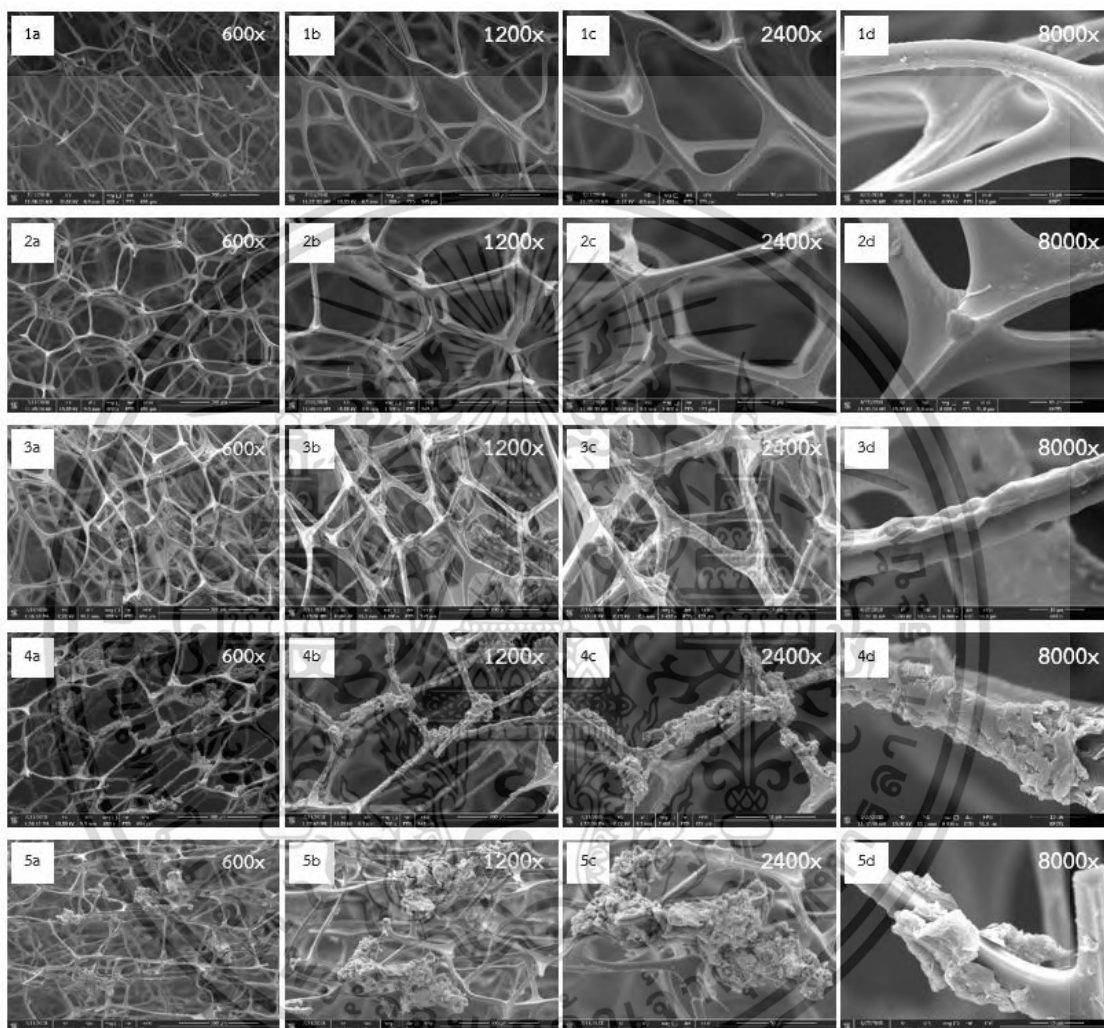
รูปที่ 4.30 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน 15 (1a-1d) 30 (2a-2d) 45 (3a-3d) และ 60 นาที (4a-4d) ที่กำลังขยาย X600 X1200 X2400 และ X8000 เท่า

เมื่อเปรียบเทียบเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อน 15 30 45 และ 60 นาที ที่แสดงในรูป 4.30 พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาให้ความร้อนนานขึ้นจาก 15 นาที เป็น 30 นาที จะพบรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะบนโครงสร้างเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมมากขึ้น ดังแสดงในรูป 1a-1d และ 2a-2d ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อระยะเวลาขึ้นจะมีโอกาสให้รีติวซ์กราฟีนออกไซด์สามารถไปเกิดการยึดเกาะบนเส้นใยของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมได้มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการให้ความร้อนเป็น 45 และ 60 นาที กลับพบว่ารีติวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะบนโครงสร้างโฟมลดลง ดังแสดงในรูป 3a-3d และ 4a-4d ตามลำดับ โดยเฉพาะโฟมที่ให้ความร้อนเป็นเวลา 60 นาที พบว่ามีปริมาณรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะอยู่น้อยมาก ซึ่งอาจเป็นผลมาจากแท่งแม่เหล็กที่ใช้ในการปั่นกวน เนื่องจากยิ่งระยะเวลาการให้ความร้อนนานขึ้น ขึ้นโฟมที่ลอยอยู่ในสารละลายผสมจะถูกกระทบด้วยแท่งแม่เหล็กนานมากขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้รีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบอยู่มีโอกาสหลุดออกจากเส้นใยของโฟมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4.3 ศึกษาปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น

โดยใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น ดังนี้ 1 3 5 10 และ 15 มิลลิกรัม เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที และเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์โพนชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



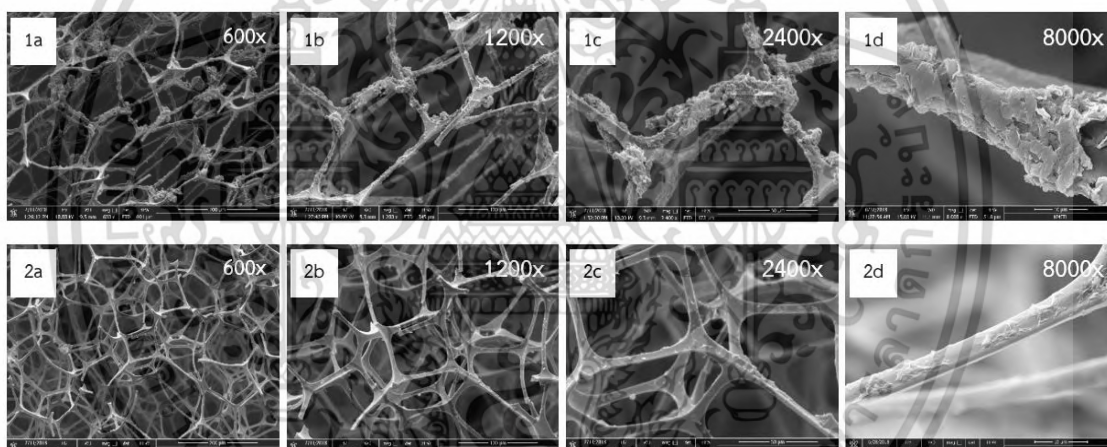
รูปที่ 4.31 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 1 (1a-1d) 3 (2a-2d) 5 (3a-3d) 10 (4a-4d) และ 15 มิลลิกรัม (5a-5d) ที่กำลังขยาย X600 X1200 X2400 และ X8000 เท่า

รูปที่ 4.31 คือภาพถ่ายเปรียบเทียบสัณฐานวิทยาของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เมื่อเติมปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นที่ปริมาณต่างกัน แสดงให้เห็นถึงปริมาณของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เกาะบนโครงสร้างเส้นใยเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนที่แตกต่างเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นกัน ข้อมูลจากภาพถ่าย SEM สามารถสรุปได้ว่าเมื่อปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นเพิ่มขึ้น จะพบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์บนเส้นใยโพลิเมอร์มากขึ้นตามไปด้วย แต่ในตัวอย่างเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลิเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 15 มิลลิกรัม พบว่ารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกิดการรวมตัวและเกาะกันเองเป็นกลุ่มก้อนแทนที่จะกระจายตัวยึดเกาะบนเส้นใยของโพลิเมอร์ เนื่องจากมีการใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นในปริมาณมาก จึงอาจทำให้เกิดการทำพันธะกันเองระหว่างหมู่ฟังก์ชันที่หลงเหลืออยู่บนแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ส่งผลให้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกิดการรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนดังแสดงในรูป 5a-5d

4.4.4.4 ศึกษาชนิดของโพลิเมอร์

โดยใช้โพลิเมอร์ที่มีความหนาแน่น ดังนี้ เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลิเมอร์ความหนาแน่นปานกลาง และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลิเมอร์ความหนาแน่นสูง เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที และปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.32 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลิเมอร์ความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (1a-1d) และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลิเมอร์ความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (2a-2d) ที่กำลังขยาย

X600 X1200 X2400 X4000 และ X8000 เท่า

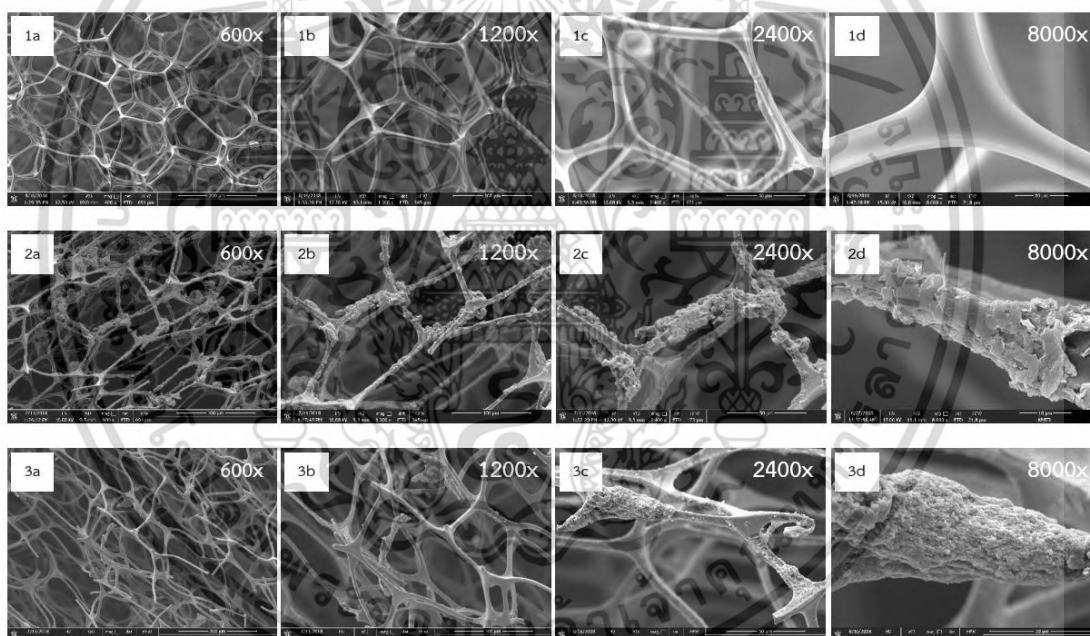
จากรูปที่ 4.32 แสดงภาพ SEM ของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลิเมอร์ความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (MD) และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลิเมอร์ความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (HD) พบว่าเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลิเมอร์ความหนาแน่นสูงมีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะอยู่บนเส้นใยโพลิเมอร์เพียงเล็กน้อย เพราะมีรูพรุนขนาดเล็ก และมีเส้นใยอยู่อย่างหนาแน่น จึงทำให้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์แพร่เข้าไปในรูพรุนโพลิเมอร์ได้ไม่มากนัก ส่งผลให้มีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะอยู่บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยพอลิเมอร์น้อย ดังแสดงในรูป 2a-2d ส่วนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมชนิดความหนาแน่นปานกลางมีรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะบนโครงสร้างของโฟมมาก ดังแสดงในรูป 1a-1d จึงอาจกล่าวได้ว่าเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลางมีขนาดรูพรุน และความหนาแน่นของเส้นใยที่พอเหมาะ จึงทำให้รีติวซ์กราฟีนออกไซด์แพร่เข้าไปในรูพรุนและเกาะบนโฟมได้มาก

4.4.4.5 ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ

โดยใช้เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์มาทำการเคลือบซ้ำ เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



รูปที่ 4.33 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม (1a-1d) เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ (2a-2d) และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ (3a-3d) ที่กำลังขยาย X600 X1200 X2400 X4000 และ X8000 เท่า

จากลักษณะพื้นฐานวิทยาของของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ ที่แสดงในภาพ 4.33 พบว่าเมื่อนำเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์มา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ประการใดไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

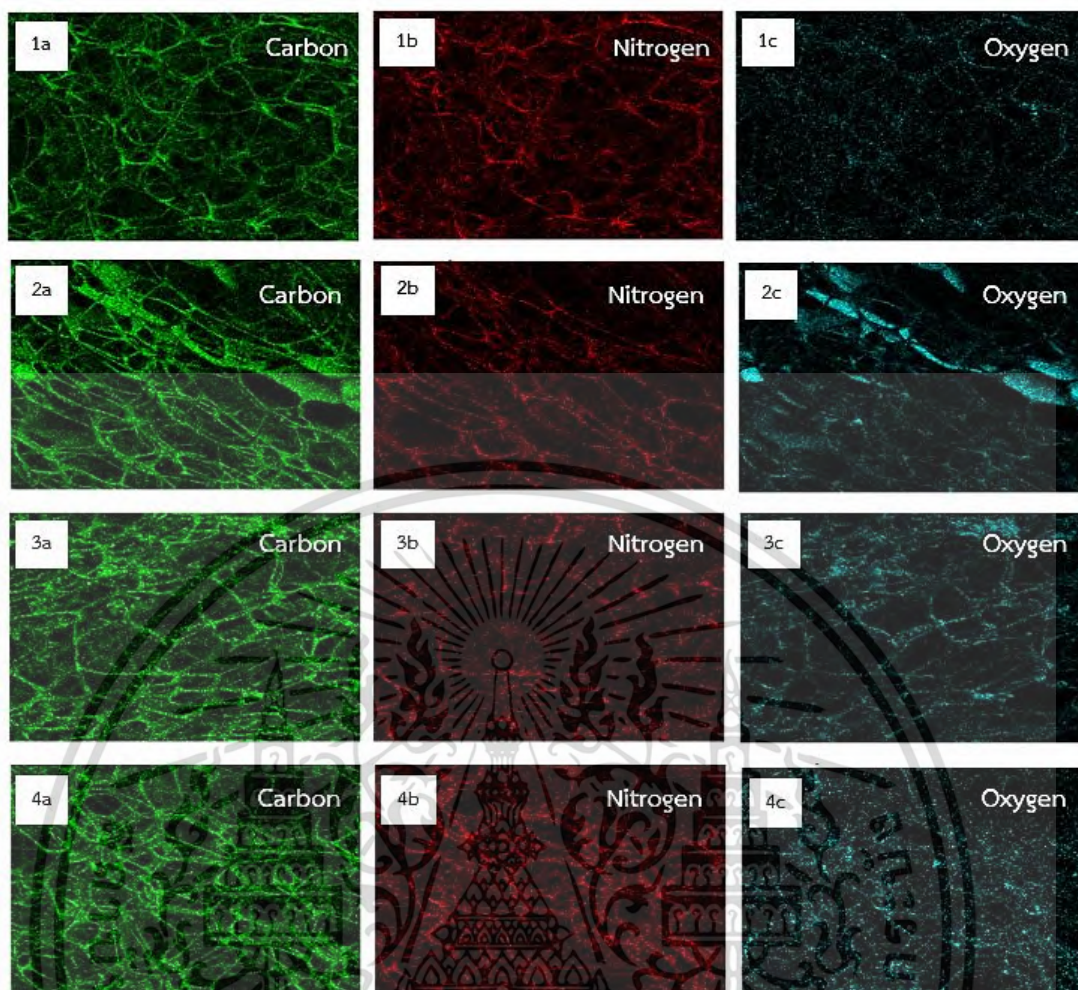
ออกไซด์มาทำการเคลือบซ้ำจะมีปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนเส้นใยของโพลีเมอร์มากขึ้น ดังแสดงในรูป 3a-3d เมื่อเทียบกับเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ไม่ได้ทำการเคลือบซ้ำ ดังแสดงในรูป 2a-2d เนื่องจากกระบวนการเคลือบซ้ำจะเป็นการช่วยเพิ่มโอกาสให้กราฟีนออกไซด์ตั้งต้นไปเกาะบนเส้นใยโพลีเมอร์ได้มากขึ้น เมื่อทำการให้ความร้อนกราฟีนออกไซด์จะเปลี่ยนไปเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และเคลือบอยู่บนโพลีเมอร์

4.4.5 การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (EDX)

การพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะด้วยเทคนิค EDX สามารถบอกบอกสัดส่วนของธาตุที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ มีการรายงานผลการวิเคราะห์เป็นแผนภาพธาตุ (elemental mapping) ของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุจะแสดงในตาราง ซึ่งรายงานผลเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก (Weight %) มีค่ารวมเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ โดยแสดงผลการตรวจวิเคราะห์ตามหัวข้อที่ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

4.4.5.1 ศึกษาผลของพีเอช (pH) ของสารละลายวิตามินซี

โดยใช้ pH ของสารละลายวิตามินซี ดังนี้ pH2 pH3 และ pH4 เมื่อทำการคงที่ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



รูปที่ 4.34 แสดงองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม (1a-1c) เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH2 (2a-2c) pH3 (3a-3c) และ pH4 (4a-4c)

ตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมและเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ pH ของสารละลายวิตามินซี pH2 pH3 และ pH4

ชื่อตัวอย่าง	Weight % Carbon	Weight % Nitrogen	Weight % Oxygen
MF	37.41	52.14	10.45
MF/rGO pH2	39.55	23.81	36.63
MF/rGO pH3	42.79	22.89	34.32
MF/rGO pH4	39.05	24.70	36.25

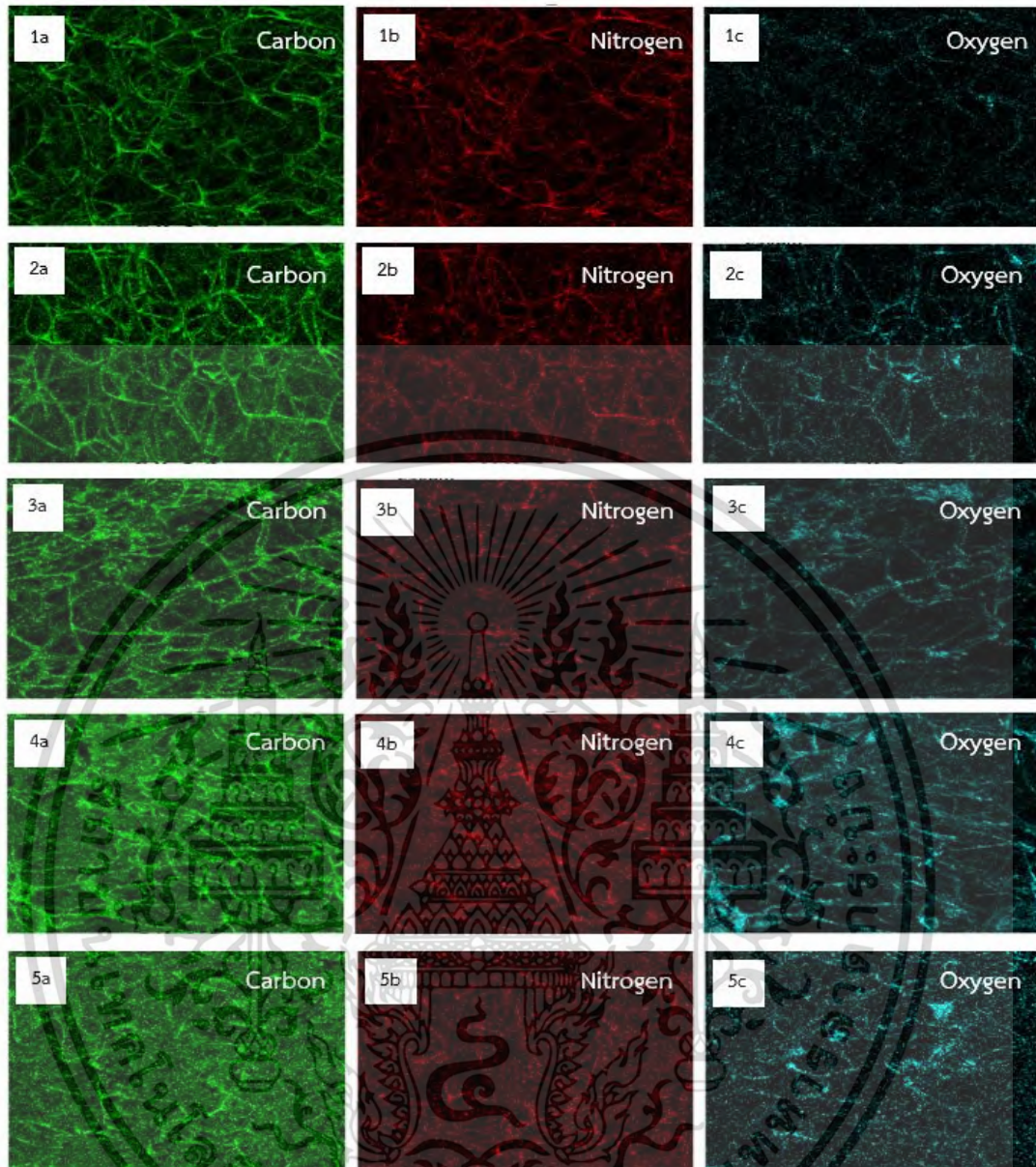
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการตรวจวิเคราะห์ EDX ในรูปที่ 4.34 พบว่า เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ pH ของสารละลายวิตามินซีแตกต่างกันทั้ง 3 ตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าโพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีจุดสีเขียวสว่างขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบ และตัวอย่างโพลีเมอร์ที่ทำการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ยังมีปริมาณจุดสีเขียวน้อยกว่าจุดสีแดง และจุดสีฟ้า โดยจุดสีแดงแสดงธาตุไนโตรเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ จุดสีฟ้าแสดงสัดส่วนปริมาณธาตุออกซิเจน ของหมู่ฟังก์ชันที่หลงเหลืออยู่บนแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ รวมถึงความชื้น (H_2O) ที่อยู่ในชั้นโพลีเมอร์ และจุดสีเขียวแสดงสัดส่วนปริมาณของธาตุคาร์บอน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ดังนั้นจากภาพถ่าย element mapping นี้จึงยืนยันได้ว่า มีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่บนเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์จริง

นอกจากนี้การตรวจวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุของตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ทั้ง 3 ตัวอย่างมีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้น และมีค่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุไนโตรเจนลดลง เมื่อเทียบกับโพลีเมอร์ที่ไม่ผ่านการเคลือบ เนื่องจากพื้นผิวของโพลีเมอร์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่ ดังนั้นจึงทำให้ตรวจพบธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้น แต่ธาตุไนโตรเจนลดลง โดยเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ pH ของสารละลายวิตามินซีเท่ากับ 3 มีเปอร์เซ็นต์ธาตุคาร์บอนมากที่สุด

4.4.5.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

โดยใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน ดังนี้ 15 30 45 และ 60 นาที เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



รูปที่ 4.35 แสดงองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ โฟม (1a-1c) เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน 15 (2a-2c) 30 (3a-3c) 45 (4a-4c) และ 60 นาที (5a-5c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

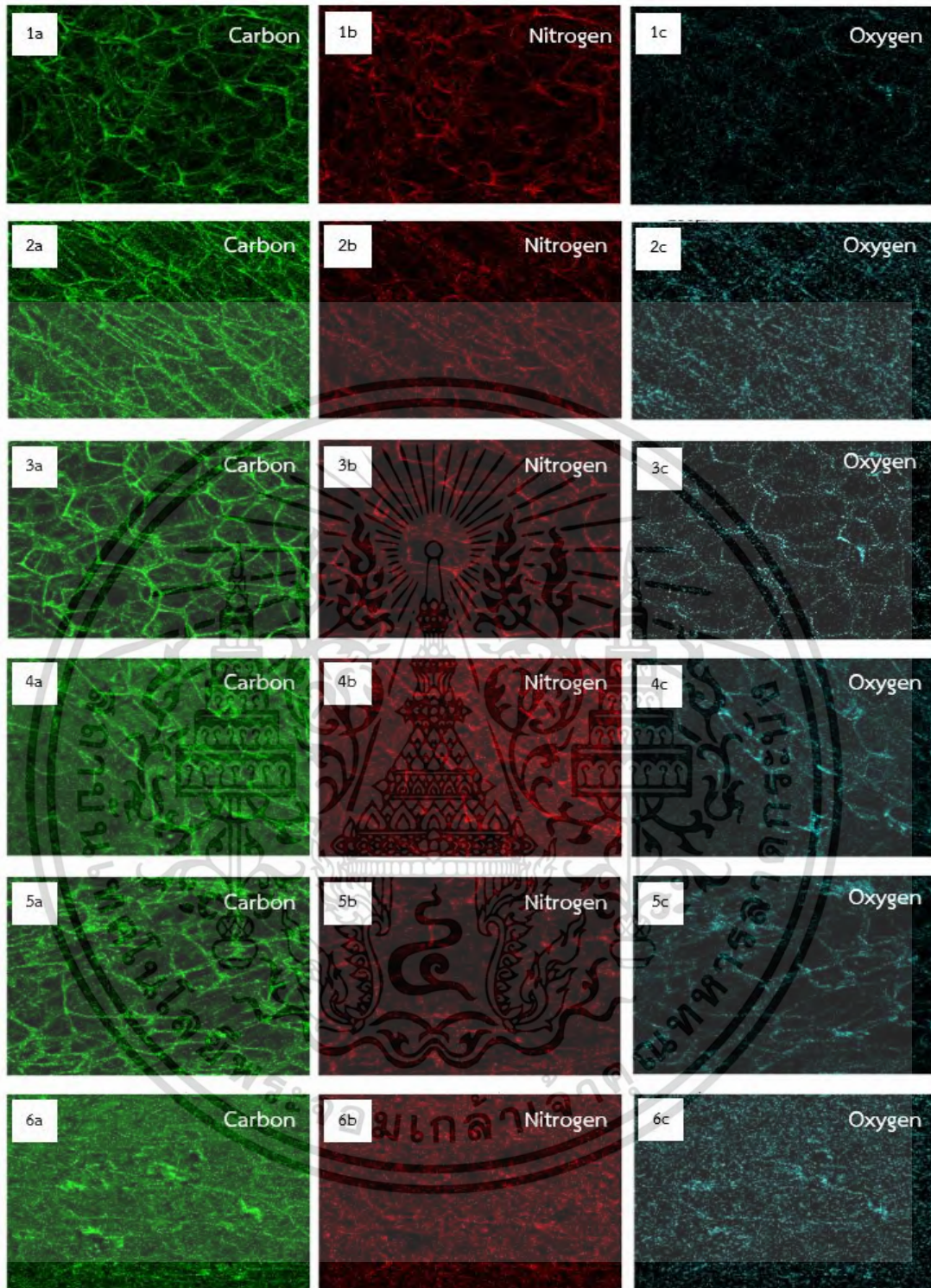
ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน 15 30 45 และ 60 นาที

ชื่อตัวอย่าง	Weight % Carbon	Weight % Nitrogen	Weight % Oxygen
MF	37.41	52.14	10.45
MF/rGO 15 min	39.44	27.87	32.69
MF/rGO 30 min	42.79	22.89	34.32
MF/rGO 45 min	39.56	26.03	34.41
MF/rGO 60 min	41.46	27.05	31.49

จากรูปที่ 4.35 แสดง element mapping ของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ที่พบในเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อนแตกต่างกัน พบว่าตัวอย่างทั้ง 4 มีปริมาณจุดสีเขียวของคาร์บอนมากกว่าสีแดงของไนโตรเจน และมากกว่าสีฟ้าของออกซิเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลการตรวจวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุที่แสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าโพลีเมอร์ที่เคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีเปอร์เซ็นต์ธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้น เป็นการยืนยันว่ามีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปกคลุมอยู่บนโครงสร้างของโพลีเมอร์จริง โดยเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น จะมีเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพราะเมื่อเพิ่มเวลา จะทำให้กราฟีนออกไซด์ตั้งต้นไปเกาะบนเส้นใยโพลีเมอร์ได้มากขึ้น โดยเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน 30 นาที มีเปอร์เซ็นต์ธาตุคาร์บอนสูงที่สุด

4.4.5.3 ศึกษาปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น

โดยใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น ดังนี้ 1 3 5 10 และ 15 มิลลิกรัม เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



รูปที่ 4.36 แสดงองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ โฟม (1a-1c) เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติคิวเลชันออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ ตั้งแต่ 1 (2a-2c) 3 (3a-3c) 5 (4a-4c) 10 (5a-5c) และ 15 มิลลิกรัม (6a-6c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งแต่ 1 3 5 10 และ 15 มิลลิกรัม

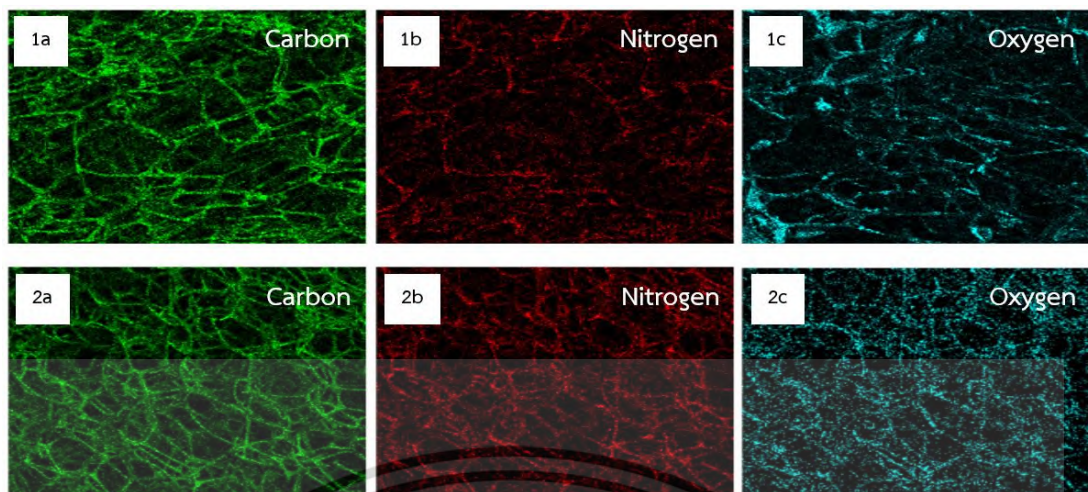
ชื่อตัวอย่าง	Weight % Carbon	Weight % Nitrogen	Weight % Oxygen
MF	37.41	52.14	10.45
MF/rGO 1 mg	39.71	25.70	34.59
MF/rGO 3 mg	39.41	24.61	35.98
MF/rGO 5 mg	39.36	23.17	37.47
MF/rGO 10 mg	42.79	22.89	34.32
MF/rGO 15 mg	43.53	22.52	33.96

เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งแต่แตกต่างกัน มีผลการตรวจพิสูจน์ด้วยเทคนิค EDX ดังแสดงในรูปที่ 4.36 พบว่ามีปริมาณจุดสีเขียวของคาร์บอนสูงกว่าจุดสีแดงของไนโตรเจน และจุดสีฟ้าของออกซิเจนในทุกตัวอย่าง นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุในแต่ละตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่ยังไม่ได้ผ่านการเคลือบ และเมื่อปริมาณของกราฟีนออกไซด์ตั้งแต่เพิ่มขึ้น จะตรวจพบเปอร์เซ็นต์ธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย อนุมานได้ว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์จะมีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนเส้นใยมากขึ้น ในทางกลับกันจะตรวจพบปริมาณธาตุไนโตรเจนลดลง เนื่องจากโพลีเมอร์ถูกบดบังด้วยธาตุคาร์บอนของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.4.5.4 ศึกษาชนิดของโพลีเมอร์

โดยโพลีเมอร์ที่มีความหนาแน่น ดังนี้ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลาง และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นสูง เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที และปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งแต่จำนวน 10 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.37 แสดงองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ โฟมความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (1a-1c) และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (2a-2c)

ตารางที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลาง และความหนาแน่นสูงที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

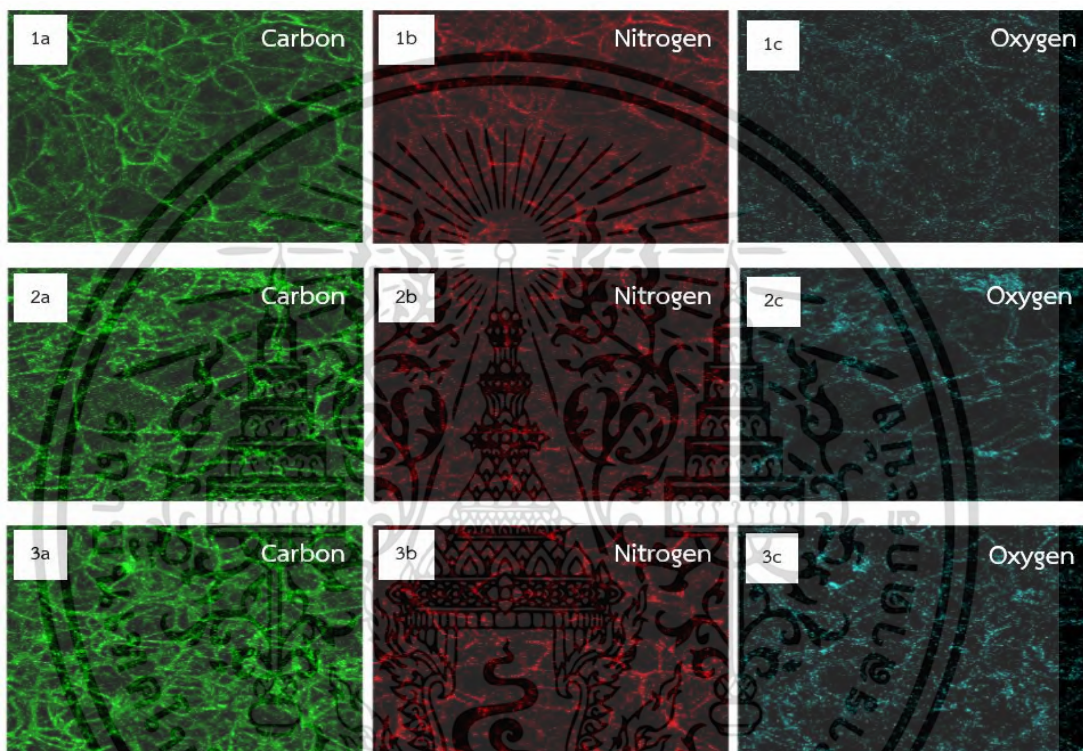
ชื่อตัวอย่าง	Weight % Carbon	Weight % Nitrogen	Weight % Oxygen
MF	37.41	52.14	10.45
MF/rGO-MD	42.79	22.89	34.32
MF/rGO-HD	39.71	25.70	34.59

จากการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค EDX ให้ผลดังรูปที่ 4.37 แสดงให้เห็นว่าตัวอย่าง โฟมทั้ง 2 ความหนาแน่น มีจุดสีเขียวที่แสดงถึงธาตุคาร์บอนชัดเจนมากกว่าจุดสีแดงที่แสดงถึงธาตุ ไนโตรเจน เปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุในแต่ละตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ โฟมความหนาแน่นปานกลางและความหนาแน่นสูงที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ มีเปอร์เซ็นต์ ปริมาณธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้นจากเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่ยังไม่ได้เคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่ง เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลางที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ตรวจพบ เปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอนมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.5.5 ศึกษาผลของการเคลือบเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ

โดยใช้เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาทำการเคลือบซ้ำ เมื่อทำการคงที่ค่า pH ของสารละลายวิตามินซีให้เท่ากับ 3 ระยะเวลาการให้ความร้อนเท่ากับ 30 นาที ปริมาณ กราฟีนออกไซด์ตั้งต้นจำนวน 10 มิลลิกรัม และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมชนิดความหนาแน่นปานกลาง (MD)



รูปที่ 4.38 แสดงองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน ของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลี (1a-1c) เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (2a-2c) และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ (3a-3c)

ตารางที่ 4.5 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

ชื่อตัวอย่าง	Weight % Carbon	Weight % Nitrogen	Weight % Oxygen
MF	37.41	52.14	10.45
MF/rGO	42.79	22.89	34.32
MF/rGO-recoat	52.50	20.12	27.38

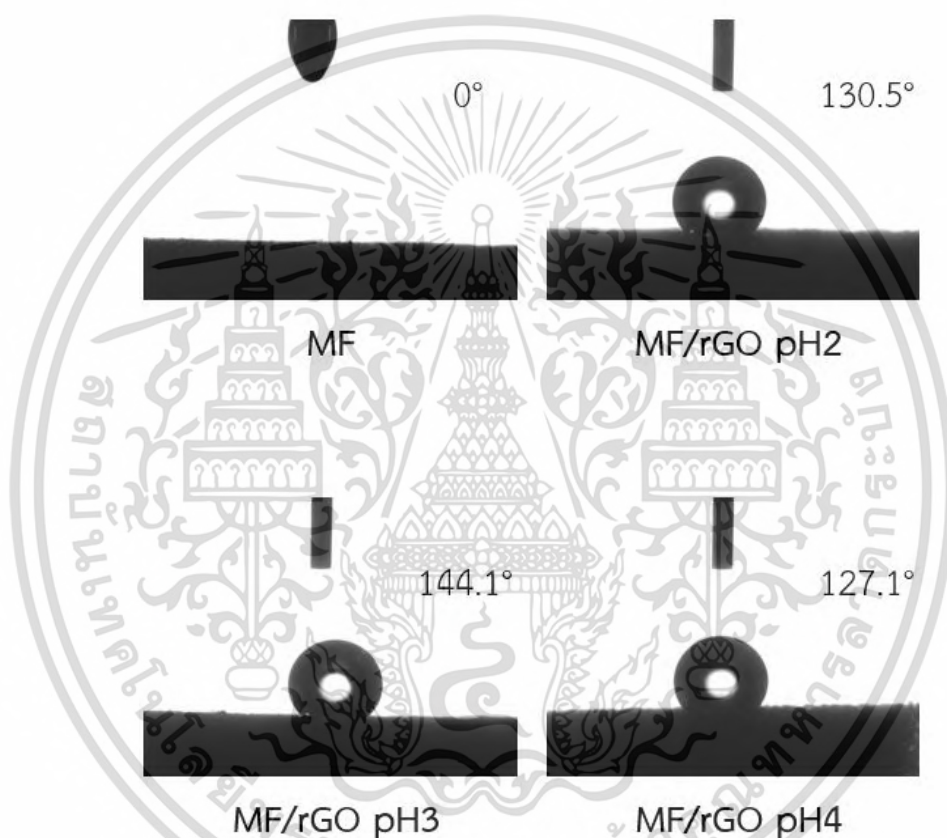
จากรูปที่ 4.38 ซึ่งแสดงภาพการกระจายตัวของธาตุคาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจนของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ มีปริมาณจุดคาร์บอนมากกว่าไนโตรเจน และออกซิเจน ซึ่งจาก element mapping นี้ยังแสดงให้เห็นว่าจุดสีเขียวของตัวอย่างโพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำมีจำนวนมากกว่า สว่างกว่าจุดสีเขียวของโพลีเมอร์ที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพียงครั้งเดียว เปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุในแต่ละตัวอย่างแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ที่ยังไม่ได้เคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอน 37.41 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ทำให้เปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้นเป็น 42.79 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อนำเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาทำการเคลือบซ้ำอีกครั้งพบว่าเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้นเป็น 52.50 เปอร์เซ็นต์ จากผลการตรวจพิสูจน์นี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซ้ำ จะส่งผลให้พบเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอนเพิ่มขึ้น เนื่องจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีองค์ประกอบหลักเป็นคาร์บอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด

การศึกษาศักยภาพความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ (MF/rGO) โดยการคำนวณมุมสัมผัสของหยดน้ำที่อยู่บนผิวโฟม ด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส Contact Angles Analyzer (CAA) ตามหัวข้อที่ทำการศึกษาดังต่อไปนี้

4.5.1 ศึกษาความมุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH แตกต่างกัน

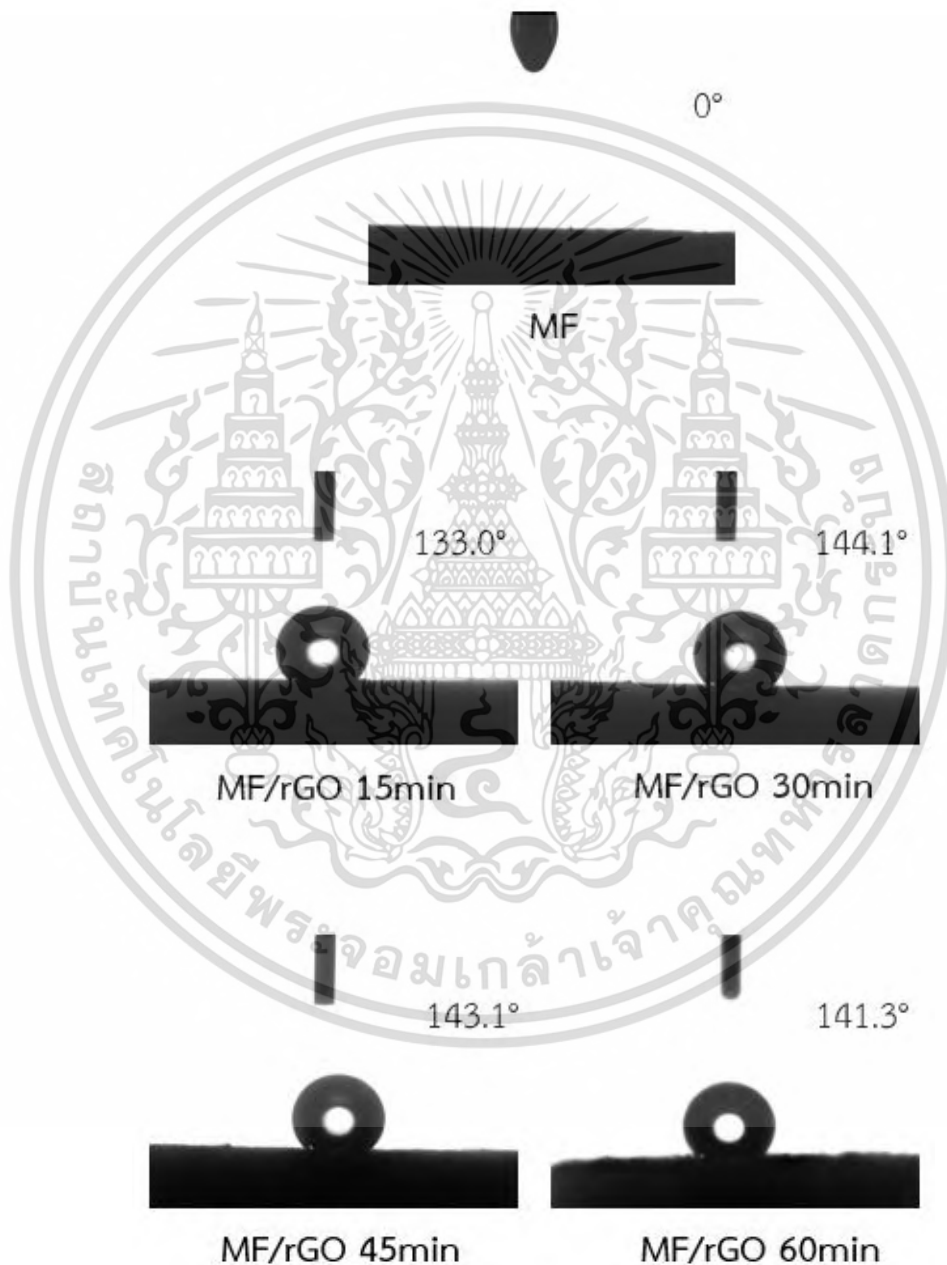


รูปที่ 4.39 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ pH ของสารละลายวิตามินซีแตกต่างกัน

ผลการคำนวณค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำแสดงดังรูปที่ 4.39 เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมที่ยังไม่ได้เคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์วัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้เท่ากับ 0° จึงจัดเป็นวัสดุที่มีสมบัติชอบน้ำอย่างยิ่งยวด เนื่องจากเมื่อหยดหยดน้ำลงไป หยดน้ำซึมลงสู่พื้นผิวโฟมทันที ส่วนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้สารละลายวิตามินซี pH2 pH3 และ pH4 วัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้ 130.5° 144.1° และ 127.1° ตามลำดับ ซึ่งหยดน้ำมีรูปร่างค่อนข้างเป็นเม็ดกลม ในตัวอย่างเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ pH สารละลายวิตามินซี เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ 3 มีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำสูงที่สุด เพราะมีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่บนเส้นใยโพลีเมอร์มากที่สุด อ้างอิงจากผล SEM รูปที่ 4.29 ภาพ 2a-2d ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเมื่อมีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่บนเส้นใยของโพลีเมอร์จะเปลี่ยนให้โพลีเมอร์นั้นเป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ

4.5.2 ศึกษาความสัมพันธ์ของหยดน้ำบนพื้นผิวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนแตกต่างกัน

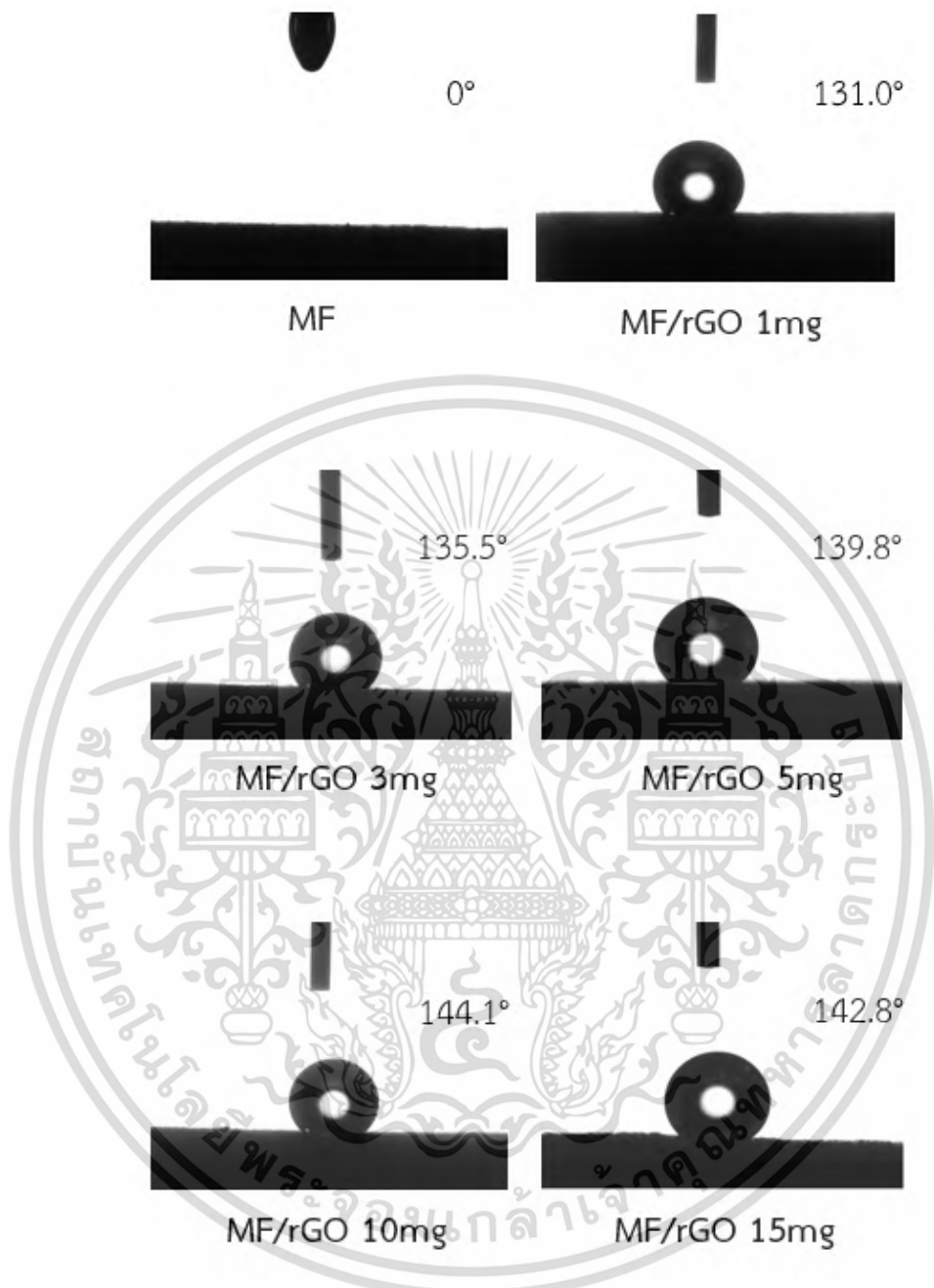


รูปที่ 4.40 แสดงความสัมพันธ์ของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนแตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.40 แสดงรูปถ่ายของหยดน้ำบนผิวเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้เวลาในการให้ความร้อน 15 30 45 และ 60 นาที โดยเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมที่ยังไม่ได้เคลือบรีติวซ์กราฟีนออกไซด์วัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้เท่ากับ 0° ส่วนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ใช้เวลาในการให้ความร้อน 15 30 45 และ 60 นาที จะมีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเพิ่มขึ้นเป็นดังนี้ 133.0° 144.1° 143.1° และ 141.3° ตามลำดับ ซึ่งหยดน้ำมีรูปร่างกลม จากผลวิเคราะห์ที่ได้จะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนนานขึ้น จะทำให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่วัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อให้ระยะเวลาการให้ความร้อนนานขึ้น จะทำให้กราฟีนออกไซด์ตั้งต้นมีระยะเวลาในการเข้าไปยึดเกาะบนโครงสร้างเส้นใยของโฟมได้นานขึ้น จากนั้นจึงเกิดปฏิกิริยารีดักชันเปลี่ยนไปเป็นรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ เมื่อเส้นใยของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมมีรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่ปริมาณมากขึ้น จะส่งผลให้โฟมมีสมบัติไม่ชอบน้ำมากขึ้นด้วยเช่นกัน แต่เมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาให้ความร้อนนานมากขึ้นเป็น 45 และ 60 นาที พบว่าค่ามุมสัมผัสมีค่าลดลงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากแท่งแม่เหล็กที่ใช้ในการปั่นกวน เนื่องจากยิ่งระยะเวลาการให้ความร้อนนานขึ้น ชั้นโฟมที่ลอยอยู่ในสารละลายผสมจะถูกกระทบด้วยแท่งแม่เหล็กนานมากขึ้น ดังนั้นจึงส่งผลให้รีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบอยู่มีโอกาสหลุดออกจากเส้นใยของโฟมได้ จึงทำให้มุมสัมผัสมีค่าลดลง โดยเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้เวลาในการให้ความร้อน 30 นาที วัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้สูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับภาพถ่าย SEM รูปที่ 4.30 ภาพ 2a-2d ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะอยู่บนเส้นใยโฟมมากที่สุด

4.5.3 ศึกษาคุณสมบัติของหยดน้ำบนพื้นผิวเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นแตกต่างกัน

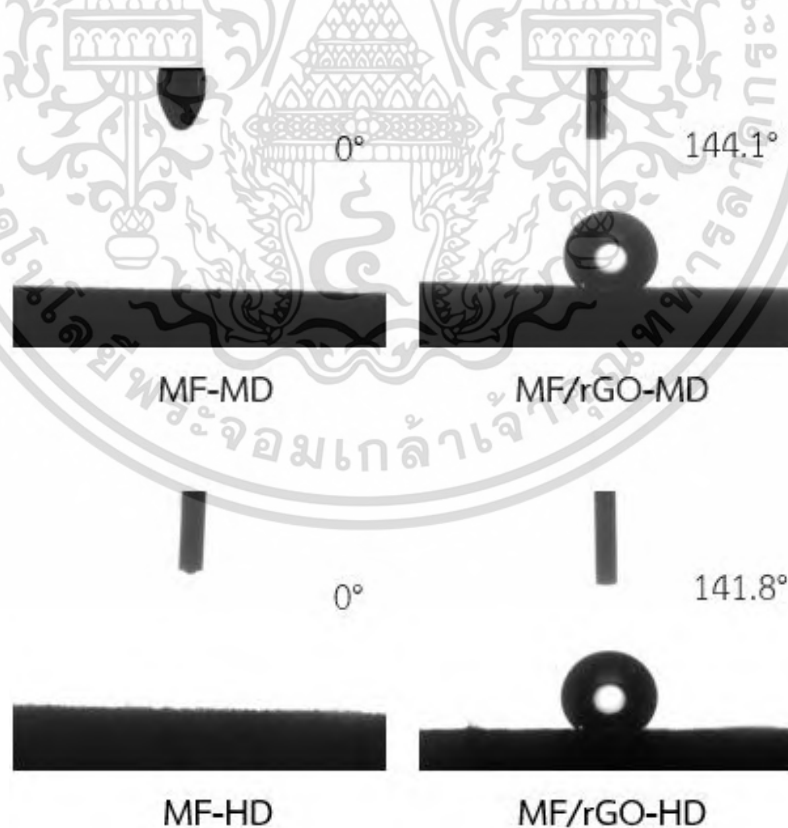


รูปที่ 4.41 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นแตกต่างกัน

ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่แสดงในรูปที่ 4.41 เป็นของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่ยังไม่ได้เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซึ่งวิเคราะห์ค่ามุมสัมผัสได้เท่ากับ 0° และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 1 3 5 10 และ 15 มิลลิกรัม วิเคราะห์ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้เท่ากับ 131.0° 135.5° 139.8° 144.1° และ 142.8° ตามลำดับ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพจะเห็นว่าหยดน้ำมีรูปร่างค่อนข้างกลม แนวโน้มจากผลการวิเคราะห์ที่ได้ทำให้ทราบว่า ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นที่ใช้ ส่งผลต่อค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ โดยเมื่อมีการใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้นมากขึ้น จะทำให้เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีสมบัติไม่ชอบน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในตัวอย่างเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้กราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 10 มิลลิกรัม สามารถวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้สูงกว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้กราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 15 มิลลิกรัม เนื่องจากเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้กราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 10 มิลลิกรัม มีการกระจายตัวของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ยึดเกาะบนโครงสร้างโฟมค่อนข้างดี ดังแสดงในภาพถ่าย SEM รูปที่ 4.31 ภาพ 4a-4d กลับกันเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 15 มิลลิกรัม พบว่ารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกิดการเกาะกันเองเป็นกลุ่มก้อนแทนที่จะกระจายตัวยึดเกาะบนเส้นใยของโฟม ดังแสดงในผล SEM รูปที่ 4.31 ภาพ 5a-5d จึงทำให้บางครั้งกลุ่มก้อนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์นี้สามารถหลุดออกจากเส้นใยโฟมได้เมื่อมีแรงกระทำ ทั้งนี้จึงส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสที่วัดได้มีค่าน้อยกว่า

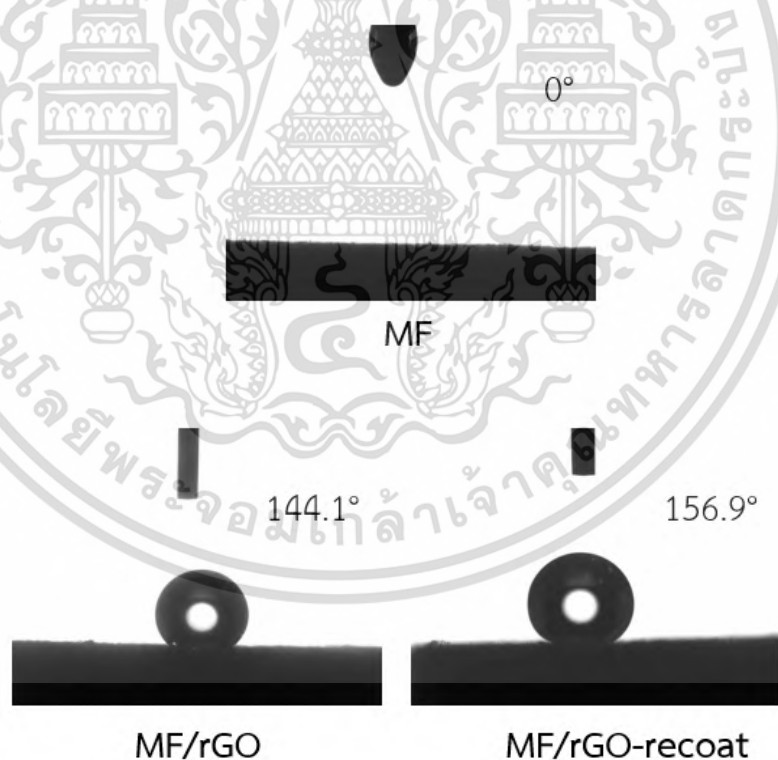
4.5.4 ศึกษาคุณสมบัติของหยดน้ำบนพื้นผิวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้โฟมความหนาแน่นแตกต่างกัน



รูปที่ 4.42 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมความหนาแน่นปานกลาง และความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งด้านการคำนวณค่ามุมสัมผัสนี้เป็นการวัดที่ค่อนข้างยาก เพราะการวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวที่มีความหยาบหรือมีความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้ค่ามุมสัมผัสที่วัดได้มีค่าน้อยกว่าค่าจริง ดังนั้น การวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพื้นผิวที่มีความหยาบหรือมีความหนาแน่นสูงจึงต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายหยดน้ำบนพื้นผิวโพลีเมอร์ ที่แสดงในรูปที่ 4.42 พบว่าเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลางก่อนเคลือบและหลังเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์วัดค่ามุมสัมผัสหยดน้ำได้เท่ากับ 0° และ 144.1° ตามลำดับ ส่วนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นสูงก่อนเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์วัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้เท่ากับ 0° และเมื่อเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ค่ามุมสัมผัสเพิ่มขึ้นเป็น 141.8° จากผลที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเคลือบเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จะทำให้สมบัติของโพลีเมอร์เปลี่ยนจากชอบน้ำอย่างยิ่งยวดไปเป็นไม่ชอบน้ำ ดังนั้นสมบัติความไม่ชอบน้ำจึงเกิดจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนเส้นใยของโพลีเมอร์ โดยเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลางที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำสูงที่สุด และหยดน้ำมีลักษณะค่อนข้างกลม สอดคล้องกับภาพถ่าย SEM รูปที่ 4.32 ภาพ 1a-1d ที่แสดงให้เห็นว่าโพลีเมอร์ความหนาแน่นปานกลางมีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะอยู่มากกว่าโพลีเมอร์ความหนาแน่นสูง

4.5.5 ศึกษาคุณสมบัติของหยดน้ำบนพื้นผิวเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ



รูปที่ 4.43 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์ เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 4.43 ซึ่งแสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟม เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ จะเห็นได้ว่าเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมที่ยังไม่ได้เคลือบรีติวซ์กราฟีนออกไซด์วัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้เท่ากับ 0° จึงจัดเป็นวัสดุที่มีสมบัติชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ส่วนเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเพิ่มขึ้นเป็น 144.1° มีสมบัติเป็นวัสดุไม่ชอบน้ำ ลักษณะของหยดน้ำค่อนข้างเป็นทรงกลม และเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ มีรูปทรงของหยดน้ำกลมที่สุด สามารถวัดค่ามุมสัมผัสได้สูงถึง 156.9° ดังนั้นจึงจัดเป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด เนื่องจากเมื่อทำการเคลือบซ้ำจะเป็นการเพิ่มโอกาสให้รีติวซ์กราฟีนออกไซด์มาเกาะที่ผิวโฟมได้มากขึ้น เมื่อนำผลการวัดค่ามุมสัมผัสที่ได้มาวิเคราะห์ร่วมกับผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์จากเทคนิค SEM ในรูปที่ 4.33 จะสามารถสรุปได้ว่ารีติวซ์กราฟีนออกไซด์มีผลต่อค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ เนื่องจากรีติวซ์กราฟีนออกไซด์มีสมบัติไม่ชอบน้ำ ดังนั้นเมื่อมีรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมมาก จะทำให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำเพิ่มขึ้น และทำให้โฟมนั้นมีสมบัติไม่ชอบน้ำมากขึ้นเช่นกัน

4.6 ศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมัน



รูปที่ 4.44 แสดงภาพถ่ายมุมด้านบน (ซ้าย) และมุมด้านหน้า (ขวา) ของหยดน้ำและหยดน้ำมันบนเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ

หยดน้ำสีแดงทางด้านซ้ายมือของรูปไม่สามารถซึมผ่านลงไปในตัวของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำได้ ยังคงเห็นหยดน้ำซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดกลมอยู่ด้านบนโฟม กลับกันนั้นหยดน้ำมันทางด้านขวามือสามารถซึมผ่านพื้นผิวลงไปโฟมได้ทั้งหมด จากภาพถ่ายนี้แสดงให้เห็นถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด แต่ชอบน้ำมันของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.1 การศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

ในหัวข้อนี้ทำการศึกษาความสามารถในการดูดซับ (Absorption capacity) น้ำมันชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันเบนซิน ของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ (MF) เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (MF/rGO) และเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ (MF/rGO-recoat) ซึ่งในขั้นตอนการทดสอบ จะทำการชั่งน้ำหนักของโพลีเมอร์ก่อนจะนำมาดูดซับน้ำมัน และเมื่อนำโพลีเมอร์นั้นไปทำการดูดซับน้ำมันแล้ว จะทำการชั่งน้ำหนักของโพลีเมอร์นั้นอีกครั้ง น้ำหนักของโพลีเมอร์ที่บันทึกได้ แสดงในตารางที่ 4.6

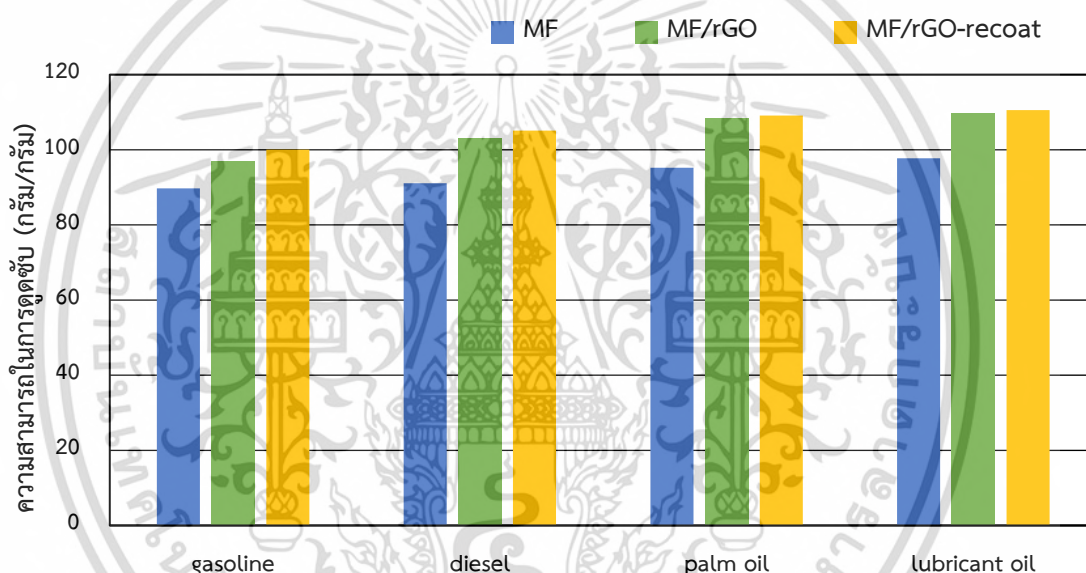
ตารางที่ 4.6 แสดงน้ำหนักของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ ที่ได้จากการทดลองดูดซับน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์ม และน้ำมันหล่อลื่น

ตัวอย่าง	น้ำหนักของโพลีเมอร์ที่ได้จากการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ (กรัม)							
	เบนซิน		ดีเซล		ปาล์ม		หล่อลื่น	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
MF	0.0066	0.5989	0.0076	0.6999	0.0072	0.6929	0.0076	0.7504
MF/rGO	0.0067	0.6559	0.0087	0.9049	0.0069	0.7552	0.0073	0.8085
MF/rGO-recoat	0.0079	0.7983	0.0073	0.7745	0.0071	0.7815	0.0083	0.9260

ความสามารถในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ ของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์ เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ จะรายงานในตารางที่ 4.7 และนำมาพล็อตเป็นกราฟแผนภูมิแท่งเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำมัน ดังรูปที่ 4.45

ตารางที่ 4.7 แสดงความสามารถในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ โดยการใช้เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

ตัวอย่าง	ความสามารถในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ			
	เบนซิน	ดีเซล	ปาล์ม	หล่อลื่น
MF	89.74	91.10	95.23	97.74
MF/rGO	96.90	103.02	108.46	109.75
MF/rGO-recoat	100.05	105.09	109.07	110.58



รูปที่ 4.45 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

ค่าความสามารถในการดูดซับน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่น ของโฟม ทั้ง 3 ตัวอย่างที่ปรากฏในตาราง 4.7 สามารถพล็อตเป็นกราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับน้ำมันได้ดังรูปที่ 4.45 แสดงให้เห็นว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ (กราฟแท่งสีเหลือง) ซึ่งจัดเป็นวัสดุที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (ค่ามุมสัมผัสเกิน 150°) มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันทั้ง 4 ชนิดได้ดีที่สุด เพราะมีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่บนโฟมมากที่สุด ซึ่งรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เป็นสารที่มีสมบัติไม่มีขั้ว เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมาเกาะบนเส้นใยจึงทำให้โฟมมีสมบัติไม่มีขี้ และสมบัติไม่มีขี้จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ ดังนั้นจึงทำให้ให้เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำดูดซับน้ำมันได้มากที่สุด ส่วนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม (กราฟแท่งสีน้ำเงิน) มีสมบัติเป็นวัสดุชอบน้ำอย่างยิ่งยวด (ค่ามุมสัมผัสเท่ากับ 0°) แต่จากกราฟจะเห็นว่าสามารถดูดซับน้ำมันได้เนื่องจากโครงสร้างของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก จึงทำให้น้ำมันสามารถซึมผ่านเข้าไปได้ผ่านทางรูพรุนนี้ และสุดท้ายเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (กราฟแท่งสีเขียว) มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (ค่ามุมสัมผัสอยู่ระหว่าง 90° - 150°) มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันด้อยกว่าเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ แต่ดีกว่าเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมที่ไม่ได้เคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เนื่องจากมีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนเส้นใยน้อยกว่าโฟมที่ทำการเคลือบซ้ำ ดังนั้นจึงมีสมบัติไม่ชอบน้ำแต่ชอบน้ำมันด้อยกว่า ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันน้อยกว่าตามไปด้วย นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตเห็นได้ว่า น้ำมันแต่ละชนิดจะมีค่าความสามารถในการดูดซับไม่เท่ากันแม้จะใช้โฟมชนิดเดียวกันทดสอบ เป็นผลมาจากความหนาแน่นของน้ำมันชนิดนั้น ๆ ซึ่งน้ำมันเบนซิน น้ำมันดีเซล น้ำมันปาล์ม น้ำมันหล่อลื่นมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.75 0.83 0.93 และ 0.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ดังนั้นน้ำมันหล่อลื่นจึงมีค่าความสามารถในการดูดซับสูงที่สุด และน้ำมันเบนซินมีค่าความสามารถในการดูดซับน้อยที่สุด

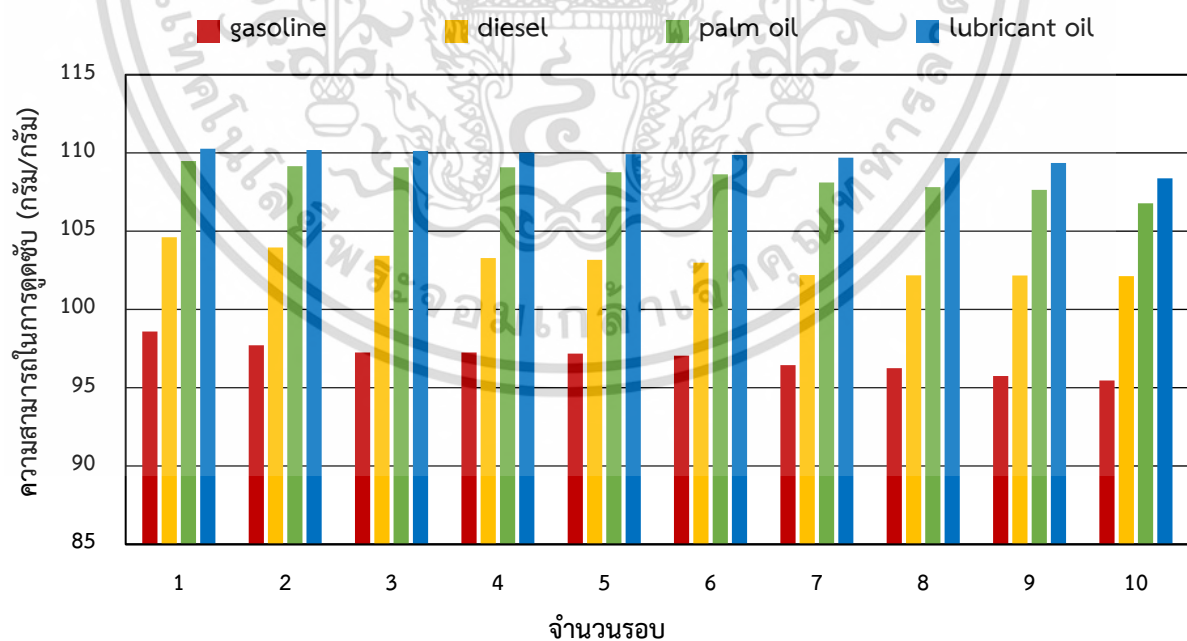
4.6.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานซ้ำ

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้งานซ้ำ (Recyclability) ในด้านการดูดซับน้ำมัน โดยการนำโฟมมาดูดซับน้ำมันจากนั้นบีบน้ำมันออกจากโฟมแล้วจึงนำไปดูดซับใหม่ ทำซ้ำเป็นจำนวน 10 ครั้ง ซึ่งเลือกใช้เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำเป็นตัวอย่างทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานซ้ำ โดยมีการใช้น้ำมันชนิดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันเบนซิน ในการทดสอบ

4.6.2.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานซ้ำของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการใช้งานซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ โดยการใช้เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ครั้งที่	ความสามารถในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ			
	เบนซิน	ดีเซล	ปาล์ม	หล่อลื่น
1	98.59	104.62	109.47	110.27
2	97.71	103.96	109.15	110.19
3	97.25	103.42	109.08	110.12
4	97.25	103.28	109.08	110.02
5	97.17	103.17	108.76	109.91
6	97.04	102.98	108.63	109.87
7	96.44	102.20	108.11	109.69
8	96.25	102.18	107.81	109.67
9	95.74	102.17	107.63	109.35
10	95.46	102.12	106.78	108.38



รูปที่ 4.46 กราฟแสดงประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์

โฟมเคลือบด้วยรีติคิวลาฟีนออกไซด์

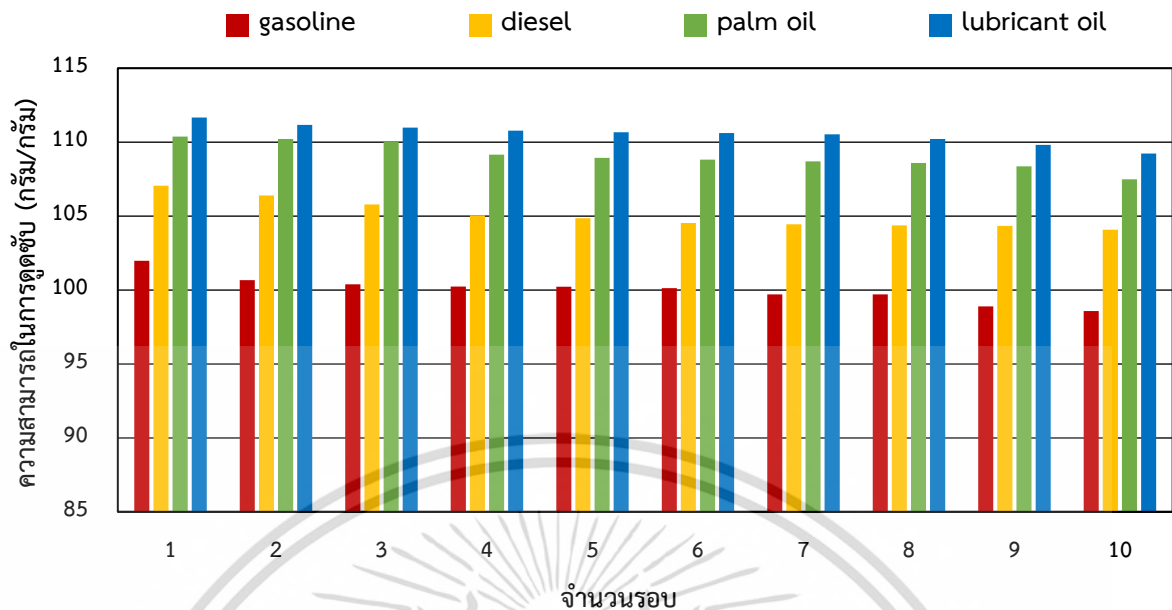
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานซ้ำของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการใช้งานซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ โดยการใช้เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โพลีเมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

ครั้งที่	ความสามารถในการดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ			
	เบนซิน	ดีเซล	ปาล์ม	หล่อลื่น
1	101.97	107.05	110.38	111.66
2	100.67	106.39	110.21	111.16
3	100.39	105.79	110.02	110.98
4	100.24	105.05	109.15	110.78
5	100.22	104.86	108.94	110.67
6	100.12	104.53	108.81	110.61
7	99.70	104.45	108.70	110.53
8	99.70	104.36	108.59	110.21
9	98.89	104.34	108.36	109.81
10	98.58	104.08	107.49	109.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงประสิทธิภาพการใช้น้ำมันชนิดต่าง ๆ ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

จากข้อมูลในตาราง 4.8 และ 4.9 เมื่อนำมาพล็อตกราฟแผนภูมิแท่งแสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการนำโฟมไปใช้ดูดซับน้ำมันชนิดต่าง ๆ ซ้ำ 10 ครั้ง ได้ดังรูปที่ 4.46 และ 4.47 ตามลำดับ พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับเริ่มต้น เนื่องจากในการทดสอบประสิทธิภาพการใช้น้ำมันของโฟม แต่ครั้งที่นำโฟมมาใช้ดูดซับ เมื่อแล้วเสร็จจะต้องทำการกำจัดน้ำมันที่อิมตัวอยู่ภายในชั้นโฟมออกด้วยการบีบ ดังนั้นจึงทำให้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนเส้นใยโฟมสามารถหลุดออกไปได้ระหว่างการบีบไล่ไขมัน เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และโครงสร้างเส้นใยของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเป็นเพียงแรงอย่างอ่อนที่ดึงดูดเข้าไว้ด้วยกันเท่านั้น [61] เมื่อรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์บนโฟมน้อยลงจะทำให้ความไม่มีขั้วของโฟมลดลงตามไปด้วย ดังนั้นจึงทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมันของโฟมน้อยลง ทั้งเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำเมื่อนำมาทดสอบดูดซับน้ำมันทั้ง 4 ชนิด หลังจากผ่านการใช้น้ำมันซ้ำมาทั้งหมด 10 ครั้ง พบว่าโฟมยังมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงกว่า 96 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับค่าเริ่มต้น แสดงให้เห็นว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำมีความสามารถในการนำกลับมาใช้ซ้ำที่ดี

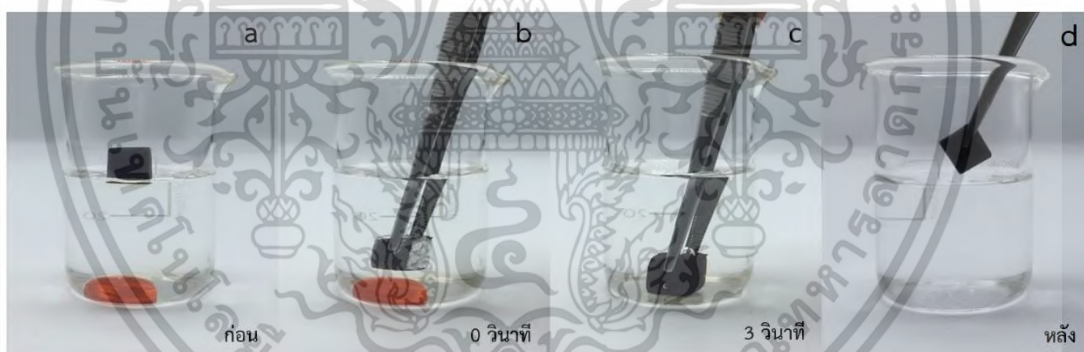
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ศึกษาประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ

ในหัวข้อการศึกษานี้เลือกใช้เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำเนื่องจากเป็นชุดตัวอย่างที่ดีที่สุด มีความมัมผัสของหยดน้ำเกิน 150° และแสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ซึ่งการศึกษาประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำโดยใช้เมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ จะแสดงให้เห็นความจำเพาะเจาะจงในการเลือกดูดซับเฉพาะน้ำมัน ซึ่งมีการเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่น และคลอโรฟอร์มเป็นสารทดสอบ

4.7.1 การศึกษาประสิทธิภาพในการแยกคลอโรฟอร์มออกจากน้ำของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

คลอโรฟอร์มมีความหนาแน่นเท่ากับ 1.49 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีความมากกว่าน้ำ ดังนั้นจึงให้คลอโรฟอร์มเป็นสารทดสอบแทนน้ำมันชนิดอื่น ๆ ที่มีความหนาแน่นสูงกว่าน้ำ ซึ่งเมื่อผสมเข้าด้วยกันจะจมอยู่ใต้ผิวน้ำ



รูปที่ 4.48 แสดงการเลือกดูดซับเฉพาะคลอโรฟอร์มที่จมอยู่ใต้น้ำของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ

จากรูปที่ 4.48 แสดงเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำที่ลอยอยู่เหนือผิวน้ำ โดยมีคลอโรฟอร์มที่จมอยู่ก้นบีกเกอร์ ในภาพ a เมื่อใช้แรงผลักให้โฟมจมลงไปใต้น้ำดังภาพ b และสัมผัสกับคลอโรฟอร์มที่จมอยู่ก้นบีกเกอร์ พบว่าทันทีที่โฟมสัมผัสกับคลอโรฟอร์ม คลอโรฟอร์มจะถูกดูดเข้าไปอยู่ในโฟมอย่างรวดเร็ว (วินาทีที่ 3) ดังปรากฏในภาพ c และเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าภายในบีกเกอร์ไม่มีคลอโรฟอร์มหลงเหลืออยู่เลย ดังแสดงในภาพ d ซึ่งเป็นผลจากสมบัติความไม่ชอบน้ำแต่ชอบน้ำมันอย่างยิ่งยวดของเมลามีนฟอร์มาลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ จึงทำให้สามารถดูดซับคลอโรฟอร์มซึ่งเป็นสารไม่

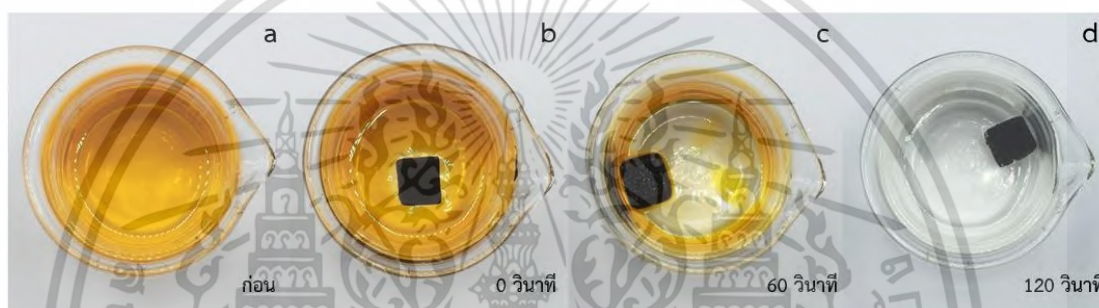
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ซึ่งในภายหลังหากมีผู้อื่นนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมายทุกประการ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีขี้ผึ้งเข้ามาในโพลีเมอร์ได้ จากการทดสอบนี้สรุปได้ว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีน-ออกไซด์ที่เคลือบซ้ำมีความจำเพาะเจาะจงในการเลือกดูดซับเฉพาะคลอโรฟอร์ม จึงทำให้มีความสามารถแยกน้ำมันออกจากน้ำได้

4.7.2 การศึกษาประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันหล่อลื่นออกจากน้ำของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ

น้ำมันหล่อลื่นมีความหนาแน่นเท่ากับ 0.94 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าน้ำ ดังนั้นจึงให้น้ำมันหล่อลื่นเป็นสารทดสอบแทนน้ำมันชนิดอื่น ๆ ที่มีความหนาแน่นต่ำกว่าน้ำ ซึ่งเมื่อผสมเข้าด้วยกันจะลอยอยู่เหนือผิวน้ำ



รูปที่ 4.49 แสดงการเลือกดูดซับเฉพาะน้ำมันหล่อลื่นที่อยู่บนผิวน้ำของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ

จากรูป 4.49 แสดงน้ำมันหล่อลื่นที่ลอยอยู่เหนือน้ำในภาพ a เมื่อวางเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำลงไป (วินาทีที่ 0) จะสามารถสังเกตเห็นได้ว่าน้ำมันหล่อลื่นถูกดูดซับเข้าไปอยู่ในโพลีเมอร์ (วินาทีที่ 60) ดังแสดงในภาพ b และ c สุดท้ายในภาพ d เมื่อผ่านไป 120 วินาที พบว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำดูดซับน้ำมันเข้าไปอยู่ในโพลีเมอร์จนหมด และไม่สามารถมองเห็นน้ำมันหล่อลื่นได้อีก เนื่องจากโครงสร้างที่มีรูพรุนจำนวนมาก และสมบัติความไม่ชอบน้ำแต่ชอบน้ำมันอย่างยิ่งยวดของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบซ้ำ จึงทำให้ดูดซับน้ำมันเข้าไปในตัวเองได้ สามารถสรุปได้ว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำมีความจำเพาะเจาะจงในการเลือกดูดซับเฉพาะน้ำมันจึงทำให้มีความสามารถแยกน้ำมันออกจากน้ำได้

ประสิทธิภาพการแยกน้ำมันหล่อลื่นออกจากน้ำ (separation efficiency) ของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบซ้ำ แสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงน้ำหนักเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ และน้ำหนักน้ำมันจากการทดสอบแยกน้ำมันหล่อลื่นออกจากน้ำ

โพลีเมอร์ ชั้นที่	น้ำหนักก่อนการทดลอง (กรัม)			น้ำหนักหลังการทดลอง (กรัม)			ประสิทธิภาพในการแยก (%)
	โพลีเมอร์	โพลีเมอร์+น้ำมัน	น้ำมัน	โพลีเมอร์	โพลีเมอร์+น้ำมัน	น้ำมัน	
1	0.0081	0.6110	0.5009	0.0081	0.5066	0.4985	99.52
2	0.0082	0.6163	0.5007	0.0082	0.4993	0.4911	98.08
3	0.0080	0.5828	0.5000	0.0080	0.4968	0.4888	97.76
ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ (เปอร์เซ็นต์) เท่ากับ							98.45

จากผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันหล่อลื่นออกจากน้ำของเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ พบว่าโพลีเมอร์สามารถดูดซับเฉพาะน้ำมันหล่อลื่นออกจากน้ำที่ผสมกับน้ำมันหล่อลื่นได้จริง ซึ่งมีประสิทธิภาพการแยกเฉลี่ยสูงถึง 98.45 เปอร์เซ็นต์ จึงสรุปได้ว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำมีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำได้ดีเยี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีการใช้เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิม และกราฟีนออกไซด์ซึ่งเตรียมได้จากกระบวนการอัมเมอร์และกระบวนการโซนิเคชันเป็นสารตั้งต้นในการเตรียมเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยใช้กระบวนการให้ความร้อนอย่างง่ายร่วมกับสารรีดิวซ์ซึ่งเลือกใช้วิตามินซี ซึ่งเป็นตัวรีดิวซ์ที่ไม่มีพิษ อีกทั้งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อเปลี่ยนกราฟีนออกไซด์ให้เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิม และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ รวมถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

เทคนิคการวัดค่าดูดกลืนแสงยืนยันได้ว่ากราฟีนออกไซด์มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร เป็นการเปลี่ยนสถานะพลังงานแบบ $\pi - \pi^*$ และที่ความยาวคลื่น 310 นาโนเมตร เกิดจากการเปลี่ยนสถานะพลังงานแบบ $n - \pi^*$ เมื่อเกิดปฏิกิริยารีดักชันและเปลี่ยนไปเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พิกการเปลี่ยนสถานะพลังงานแบบ $\pi - \pi^*$ จะเคลื่อนไปยังความยาวคลื่นที่สูงขึ้นซึ่งปรากฏพีกที่ความยาวคลื่น 260 นาโนเมตร จากผลการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี พบว่าพิกการสั่นของพันธะ C=O และ C-O stretching ที่ปรากฏในสเปกตรัมของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีความเข้มลดลง ในทางกลับกันพิกการสั่นของพันธะ C=C stretching มีความเข้มพิกเพิ่มขึ้น ตำแหน่งพิกเคลื่อนไปทางช่วงเลขคลื่นที่ต่ำลงเนื่องจากโครงสร้างมีระบบคอนจูเกตเพิ่มมากขึ้นจากการสร้างพันธะคู่ขึ้นมาใหม่ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน จึงทำให้เกิดการเรโซแนนซ์ได้ดีขึ้น ส่งผลให้ใช้พลังงานในการกระตุ้นพันธะให้เกิดการสั่นลดลง ดังนั้นพิก C=C stretching ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จึงเคลื่อนไปที่เลขคลื่นต่ำลง ส่วนรามานสเปกตรัมของกราฟีนออกไซด์พิก G band จะมีความเข้มของพิกสูงกว่าพิก D band แต่เมื่อถูกรีดิวซ์และเปลี่ยนเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พิก D band จะมีความเข้มพิกที่สูงกว่าพิก G band และจะมีอัตราส่วนของ I_D/I_G เพิ่มขึ้น จากเทคนิควัดการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ในกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พบองศาการเลี้ยวเบนของพิกที่ 2θ เท่ากับ 10.2° และ 24.5° ตามลำดับ และเมื่อศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและส่องผ่าน แสดงให้เห็นว่าอนุภาคนี้เป็นอนุภาคที่สวมนวสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เห็นลักษณะของแผ่นกราฟอินฟราเรดที่เห็นเด่นชัด ๆ แต่ละแผ่นจะมีรอยย่นเป็นริ้ว ๆ ส่วนรีดิวิชัน-กราฟอินฟราเรดหลังจากถูกทำลายหมู่ฟังก์ชันด้วยกระบวนการรีดักชันทำให้มีลักษณะเป็นแผ่นที่มีพื้นผิวเรียบ อยู่แยกจากกันอย่างอิสระจึงทำให้แผ่นมีความโปร่งแสง

5.1.2 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟม

สเปกตรัมเอกลักษณ์เฉพาะของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์ที่ได้จากเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีแสดงให้เห็นหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ อันประกอบด้วยหมู่เอมีน (N-H) หมู่แอลกอฮอล์ (O-H) หมู่แอลเคน (C-H) และหมู่ไซยาไนด์ (C-N) เทคนิควัดการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์ช่วยยืนยันว่าโครงสร้างของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเกิดจากการจัดเรียงตัวอย่างไม่เป็นระเบียบ (amorphous) พบพีคที่ 2θ เท่ากับ 20° ซึ่งมีลักษณะเป็นพีคกว้าง นอกจากนี้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดช่วยบ่งบอกลักษณะสัณฐานวิทยาได้อย่างชัดเจนโดยพบว่าโครงสร้างของโฟมประกอบด้วยเส้นใยพื้นผิวเรียบขนาดเล็กเชื่อมต่อกัน จึงทำให้เกิดรูพรุนภายในเป็นจำนวนมาก

5.1.3 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวิชันกราฟีน-ออกไซด์

ลักษณะทางกายภาพที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมพบว่ามีลักษณะเป็นโฟมสีขาวที่ประกอบด้วยรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก แต่เมื่อทำการเคลือบโฟมด้วยรีดิวิชันกราฟีนออกไซด์ พบว่าสีของโฟมจะเปลี่ยนเป็นสีดำ เกิดจากการเคลือบด้วยรีดิวิชันกราฟีน-ออกไซด์ซึ่งมีสีดำ เมื่อทำการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์เฉพาะโดยใช้เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปีพบว่า เมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวิชันกราฟีนออกไซด์ไม่ปรากฏพีค C=C stretching ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของรีดิวิชันกราฟีนออกไซด์ เนื่องจากปริมาณรีดิวิชันกราฟีนออกไซด์ที่เคลือบอยู่มีสัดส่วนที่น้อยกว่าเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมมาก แต่ความเข้มพีคของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวิชันกราฟีนออกไซด์ที่วัดได้มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเริ่มต้น เนื่องจากมีรีดิวิชันกราฟีนออกไซด์ยึดเกาะอยู่บนโฟม ซึ่งเป็นการยืนยันว่ารีดิวิชันกราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่บนโฟมจริง สอดคล้องกับผลจากเทคนิครามานที่แสดงให้เห็นพีค D band และพีค G band ที่เป็นพีคเอกลักษณ์ของรีดิวิชันกราฟีนออกไซด์ปรากฏขึ้นมาเมื่อทำการเคลือบโฟมด้วยรีดิวิชันกราฟีนออกไซด์ ผลจากเทคนิควัดการเลี้ยวเบนด้วยรังสีเอ็กซ์พบว่าสเปกตรัมของเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวิชันกราฟีนออกไซด์มีลักษณะเหมือนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์เริ่มต้น แต่ไม่ปรากฏพีคเอกลักษณ์ของรีดิวิชันกราฟีนออกไซด์ เนื่องจากมีสัดส่วนปริมาณรีดิวิชันกราฟีนออกไซด์น้อยกว่าโฟมมาก ยิ่งไปกว่านั้น

การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดร่วมกับเครื่องวิเคราะห์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบของธาตุ แสดงภาพถ่ายของโฟมที่กำลังขยายต่าง ๆ ช่วยยืนยันได้ว่ารีติวส์กราฟีน-ออกไซด์กระจายตัวยึดเกาะอยู่บนโครงสร้างเส้นใยของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม ส่งผลทำให้เส้นใยของโฟมมีความขรุขระ และสามารถวัดเปอร์เซ็นต์ปริมาณธาตุคาร์บอนได้เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเริ่มต้น ซึ่งผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ว่ารีติวส์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมจริง

5.1.4 ผลการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกจากน้ำ

จากการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวส์กราฟีนออกไซด์โดยอ้างอิงจากค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่วิเคราะห์ได้ พบว่า เมื่อทำการเคลือบเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมด้วยรีติวส์กราฟีนออกไซด์จะทำให้สมบัติของโฟมเปลี่ยนเป็นไม่ชอบน้ำ ต่างจากโฟมเริ่มต้นที่ไม่ได้ทำการเคลือบด้วยรีติวส์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งมีสมบัติชอบน้ำอย่างยิ่งยวด และเมื่อนำเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวส์กราฟีนออกไซด์มาทำการเคลือบซ้ำอีกครั้ง พบว่าสามารถวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำได้สูงถึง 156.9° ซึ่งเป็นโฟมที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวด ในการศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมันของโฟมโดยใช้น้ำมันปาล์ม น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น และน้ำมันเบนซินในการทดสอบ พบว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวส์กราฟีนออกไซด์ มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันทุกชนิดที่ใช้ในการทดสอบสูงกว่าเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมที่ไม่ได้ทำการเคลือบด้วยรีติวส์กราฟีนออกไซด์อย่างชัดเจน และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวส์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันสูงที่สุด นอกจากนี้เมื่อนำเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวส์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวส์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำมาผ่านการใช้ซ้ำจำนวน 10 ครั้ง พบว่าโฟมทั้ง 2 ยังคงมีความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่สูง จึงมีความสามารถในการนำกลับมาใช้ซ้ำที่ดี ส่วนการศึกษาประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันออกน้ำของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวส์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำ ซึ่งเลือกใช้น้ำมันหล่อลื่นและคลอโรฟอร์มเป็นสารทดสอบ โดยพบว่าโฟมสามารถเลือกดูดซับเฉพาะน้ำมันหล่อลื่นและคลอโรฟอร์มเข้าไปในชั้นโฟมได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีติวส์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการเคลือบซ้ำที่เตรียมได้มีความสามารถแยกน้ำมันออกจากน้ำได้ดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเติมสารที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดชนิดอื่น ๆ เสริมเข้าไป อาจช่วยให้โฟมที่เตรียมมีสมบัติไม่ชอบน้ำอย่างยิ่งยวดได้ โดยไม่ต้องทำการเคลือบซ้ำ เช่น 1H,1H,2H,2H-perfluorooctyltriethoxysilane (PFOTES) 1H,1H,2H,2H-perfluorodecyltrichlorosilane (PFDTs) Octadecyltrimethoxysilane (OTMS) และ dodecyl trichlorosilane (DTS) เป็นต้น เนื่องจากเป็นสารที่นิยมนำมาใช้เพื่อปรับปรุงให้พื้นผิวของวัสดุมีสมบัติไม่ชอบน้ำ
2. อาจจะทดลองใช้โฟมชนิดอื่น เช่น พอลิยูรีเทนโฟม (polyurethane, PU) และชนิดของโฟมที่มีความหนาแน่นระหว่างความหนาแน่นสูงและความหนาแน่นต่ำ เพื่อให้มีจำนวนเส้นมากกว่าโฟมความหนาแน่นปานกลาง แต่มีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าโฟมความหนาแน่นสูง เพื่อคว่ำรีติวซ์กราฟีนออกไซด์จะสามารถยึดเกาะบนเส้นใยได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chao-Hua Xue, Ya-Ru Li, Jin-Lin Hou, Lei Zhang, Jian-Zhong Ma and Shun-Tian Jia. 2015. "Self-roughened superhydrophobic coatings for continuous oil-water separation." *Journal of Materials Chemistry A*. 3 : 10248–10253.
- [2] Yu Yang, Yonghong Deng, Zhen Tonga and Chaoyang Wang. 2014. "Multifunctional foams derived from poly(melamine formaldehyde) as recyclable oil absorbents." *Journal of Materials Chemistry A*. 2 : 9994–9999.
- [3] Huaiyuan Wang, Enqun Wang, Zhanjian Liu, Dong Gao, Ruixia Yuan, Liyuan Suna and Yanji Zhua. 2015. "A novel carbon nanotubes reinforced superhydrophobic and superoleophilic polyurethane sponge for selective oil-water separation through a chemical fabrication." *Journal of Materials Chemistry A*. 3 : 266–273.
- [4] Shuai Zhou, Gazi Hao, Xiang Zhou, Wei Jiang, Tianhe Wang, Ning Zhang and Liuhua Yu. 2016. "One-pot synthesis of robust superhydrophobic, functionalized graphene/polyurethane sponge for effective continuous oil-water separation." *Chemical Engineering Journal*. 302 : 155–162.
- [5] Partha Saha and Love Dashairya. 2018. "Reduced graphene oxide modified melamine formaldehyde (rGO@MF) superhydrophobic sponge for efficient oil-water separation." *Journal of Porous Materials*. 25 : 1475–1488.
- [6] Lin Zhang, Hongqiang Li, Xuejun Lai, Xiaojing Su, Tao Liang and Xingrong Zeng. 2017. "Thiolated graphene-based superhydrophobic sponges for oil-water separation." *Chemical Engineering Journal*. 316 : 736–743.
- [7] ShuangSong, Hao Yang, Chunping Su, Zhibin Jiang and Zhong Lu. 2016. "Ultrasonic microwave assisted synthesis of stable reduced graphene oxide modified melamine foam with superhydrophobicity and high oil adsorption capacities." *Chemical Engineering Journal*. 306 : 504–511.
- [8] Shu Wan, Hengchang Bi and Litao Sun. 2016. "Graphene and carbon-based nanomaterials as highly efficient adsorbents for oils and organic solvents." *Nanotechnol Rev*. 5 : 3–22.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] Dan Li, Mu Ller, Scott Gilie, Richard B. Kaner and Gondon G. Wallace. 2008. “Processable aqueous dispersions of graphene nanosheets.” *Nature Nanotechnology*. 3 : 101-105.
- [10] Jian Gao, Fang Liu, Yiliu Liu, Ning Ma, Zhiqiang Wang, and Xi Zhang. 2010. “Environment-Friendly Method To Produce Graphene That Employs Vitamin C and Amino Acid.” *Chemistry of materials article*. 22 : 504– 511.
- [11] ดร.นำชัย ชีววิวรรธน์. 2556. 10 วิธี แก้ปัญหาน้ำมันดิบรั่วไหลสู่ท้องทะเล. [online]. Available : <https://www.nstda.or.th/sci2pub/sarawit/Sarawit-Issue05.pdf>
- [12] คู่มือการใช้สารเคมีขจัดคราบน้ำมัน. [online]. Available : https://www.mwa.co.th/ewt_dl_link.php?nid=541
- [13] ฐานข้อมูลความรู้ทางทะเล. น้ำมันรั่วไหล. [online]. Available : http://www.mkh.in.th/index.php?option=com_content&view=article&id=277&Itemid=235&lang=th
- [14] Momypedia. น้ำมันดิบรั่วไหล คราบน้ำมันในทะเล อันตรายต่อสุขภาพ. [online]. Available : <http://www.rakluke.com/public/index.php/lifestyle/7/64/246/น้ำมันดิบรั่วไหล-คราบน้ำมันในทะเล-อันตรายต่อสุขภาพ>
- [15] ไทยพับลิก้า. 2013. 10 เหตุการณ์น้ำมันรั่วครั้งใหญ่สุดทั่วโลก. [online]. Available : <https://thaipublica.org/2013/08/10-the-oil-spilled-biggest-worldwide/>
- [16] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และศ.เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์. Adsorbent / ตัวดูดซับ. [online]. Available : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0174/adsorbent%E0%B8%95%E0%B8%B1%E0%B8%A7%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B8%94%E0%B8%8B%E0%B8%B1%E0%B8%9A>
- [17] Delta Adsorbents. Difference between Adsorbent and Absorbent. [online]. Available : <https://www.deltaadsorbents.com/Blog/Post/8/difference-between-adsorbent-and-absorbent>
- [18] Pradthana. 2008. กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process). [online]. Available : <https://pradthana.wordpress.com/tag/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%94%E0%B8%B9%E0%B8%94%E0%B8%8B%E0%B8%B1%E0%B8%9A>
- [19] Wikipedia. Adsorption. [online]. Available : <https://en.wikipedia.org/wiki/Adsorption>

เอกสารนี้เป็นเอกสารสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [20] วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. 2558. **ประสิทธิภาพการดูดซับไอออนตะกั่วจากสารละลายโดยใช้อิฐมวลเบาเป็นตัวดูดซับ.** [online]. Available : https://repository.rmutp.ac.th/bitstream/handle/123456789/1958/SCI_59_08.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [21] สุรน เสถียรยานนท์. 2551. **“เมลามีน (MELAMINE).”** กวาทันโลกวิทยาศาสตร์. 8(2) : 57-64.
- [22] นางสาวบุษยามาศ วอขวา. 2559. **“การแปรรูปเศษเมลามีนเป็นวัตถุดิบรีไซเคิลเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์เมลามีน.”** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [23] สารานุกรมเสรี. **พอลิเมอร์.** [online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9E%E0%B8%AD%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%A1%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C>
- [24] Natasha Gilani. 2017. **What Is Melamine Formaldehyde?** [online]. Available : <https://sciencing.com/melamine-formaldehyde-6495357.html>
- [25] polymerdatabase. **MELAMINE-FORMALDEHYDE RESINS.** [online]. Available : <https://polymerdatabase.com/polymer%20classes/MelamineFormaldehyde%20type.html>
- [26] Wikipedia. **Melamine resin.** [online]. Available : https://en.wikipedia.org/wiki/Melamine_resin
- [27] ดร.ศิริกาญจน์ วิเศษสุวรรณภูมิ. 2560. **“แกรฟีน วัสดุ 2 มิติ เพื่ออนาคต”.** [online]. Available : https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/302_65.pdf
- [28] Nur Hawa Nabilah Azman, Md Shuhazlly Mamat, Mat Nazir, Lim Hong Ngee and Yusran Sulaiman. 2018. **“Graphene-based ternary composites for super capacitors.”** *International journal of energy research.* 1-13.
- [29] กนกวรรณ บุญวันต์. **คุณสมบัติของกราฟีน (graphene).** [online]. Available : <https://sites.google.com/site/cs5404061636216/khorng-ngan-wicay/khunsmbati-khxng-kaerfin-graphene>
- [30] pantip ชื่อสมาชิก ped cad. 2553. **กราฟีน (graphene) ทำไมกราฟีนถึงคู่ควรกับรางวัลโนเบล.** [online]. Available : <http://topicstock.pantip.com/wahkor/topicstockเอกสารนี้เป็นเอก/2010/10/X9789808/X9789808.html> เขาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] สารานุกรมเสรี. แกรฟีน. [online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B8%A3%E0%B8%9F%E0%B8%B5%E0%B8%99>
- [32] Md. Sajibul Alam Bhuyan, Md. Nizam Uddin, Md. Maksudul Islam, Ferdaushi Alam Bipasha and Sayed Shafayat Hossain. 2016. "Synthesis of graphene." *International Nano Letters*. 6 : 65-83.
- [33] Azadeh Tadjarodi and Somayeh Moazen Ferdowsi. 2016. "The novel synthesis of highly water-soluble few-layer graphene nanosheets by a simple one-pot chemical route and without any modification." *Materials Chemistry and Physics*. 183 : 297-305.
- [34] 2556. การสังเคราะห์แกรฟีนด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical Exfoliation). [online]. Available : http://thep-center.org/src2/views/network-academic-news.php?news_id=7
- [35] iglcoatings. The Science Of Graphene-Based Protective Coating. [online]. Available : <https://blog.iglcoatings.com/the-science-of-graphene-based-protective-coating/>
- [36] graphene-info. 2019. Reduced graphene oxide: an introduction. [online]. Available : <https://www.graphene-info.com/reduced-graphene-oxide-introduction>
- [37] Jesus de La Fuente. Reduced Graphene Oxide - What Is It? How Is It Created? [online]. Available : <https://www.graphenea.com/pages/reduced-graphene-oxide#.XblnAOgzY2x>
- [38] Phaedon Avouris and Christos Dimitrakopoulos. 2012. "Graphene: synthesis and applications." *CRC Press Taylor & Francis Group*. 15 : 86-97.
- [39] Xiaomeng Lü, Zhengshan Cui, Wei Wei Jimin Xie, Liang Jiang, Jun Huang and Jun Liu. 2016. "Constructing polyurethane sponge modified with silica/graphene oxide nano-hybrids as a ternary sorbent." *Chemical Engineering Journal*. 284 : 478-486.
- [40] Chun Kiang Chua and Martin Pumera. 2014. "Chemical reduction of graphene oxide: a synthetic chemistry viewpoint." *Chem. Soc. Rev.* 34 : 291-312.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [41] สารานุกรมเสรี. **วิตามินซี**. [online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%95%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B8%8B%E0%B8%B5>
- [42] ไทยรัฐ. 2553. **วิตามินซี หรือ L-ascorbic acid**. [online]. Available : <https://www.thairath.co.th/content/116194>
- [43] ร.อ. ฉัตรชัย ไตรทอง. 2552. **วิตามินซี (Ascorbic acid)**. [online]. Available : <http://digi.library.tu.ac.th/index/0158/55-1-Jan-Apr-2552/06PAGE32-PAGE46.pdf>
- [44] Lester Packer and Jurgen Fuchs. **Vitamin c in health and disease**. [online]. Available : <https://books.google.co.th/books?id=4nODCOzu2n8C&pg=PA26&dq=vitamin+c+have+enediol&hl=th&sa=X&ved=0ahUKEwja9ezkhvXeAhXFLY8KHRCOCEoQ6AEILzAB#v=onepage&q&f=false>
- [45] David j. Hart, Christopher M. Hadad, Leslie E. Craine and Harold Hart. Organic Chemistry. [online]. Available : <https://books.google.co.th/books?id=2VkuzMjDFDoC&pg=PA486&lpg=PA486&dq=vitamin+c+have+enediol&source=bl&ots=3KadoqXLGH&sig=tHIXB9diHMyur2eya5p8jl0atY>
- [46] Satish Balasaheb Nimse and Dilipkumar Pal. 2015. “Free radicals, natural antioxidants, and their reaction mechanisms.” *RSC Advances*. 5 : 27986-28006.
- [47] Yunjeong Kim and Min-Gul Kim. 2016. “HPLC-UV method for the simultaneous determinations of ascorbic acid and dehydroascorbic acid in human plasma.” *Transl Clin Pharmacol*. 24 : 37-42.
- [48] Esther Issac. 2015. **vitamin c (Ascorbic acid)**. [online]. Available : <https://www.slideshare.net/estherissaac/vitamin-c-46410157>
- [49] ภัทร์ สุขแสน. “**พื้นผิวอัจฉริยะด้วยนาโนเทคโนโลยี**.” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 2554(16) : 124-130.
- [50] **Superhydrophobic Surfaces**. [online]. Available : https://www.lawrencehallofscience.org/sites/default/files/pdfs/college_resources/modules/Superhydrophobic/Superhydro-phobic_Surfaces.pdf
- [51] ฤทัยรัตน์ อุตครุฑ. 2012. **กระจกทำความสะอาดตัวเองด้วยวิธีการไม่ชอบน้ำ**. [online]. Available : <http://ruethairat007.blogspot.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [52] สารานุกรมเสรี. **สภาวะการเปียก**. [online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/ภาวะการเปียก>
- [53] ดร.ปิยะพงษ์ อะสะนะนิจิ. **วิทยาศาสตร์ของธรรมชาติ: ไขข้อเกี่ยวกับการทำความสะอาดตัวเอง**. [online]. Available : http://www.physics.kmutt.ac.th/version2558/information2558/interested_topic_group/self_cleaning_leaf.html
- [54] Wikipedia. **Ultrahydrophobicity**. [online]. Available : <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultrahydrophobicity>
- [55] posttoday. 2560. **ทางเลือกใหม่กำจัดคราบน้ำมันในทะเลด้วยฟองน้ำแบบพิเศษ**. [online]. Available : <https://www.posttoday.com/it/496004>
- [56] Thierry Darmanin and Frederic Guittard. 2015. “Superhydrophobic and superoleophobic.” *Materials Today*. 18 : 273-285.
- [57] **Theory of Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectroscopy**. [online]. Available : http://www.chem.ucla.edu/~bacher/UV-vis/uv_vis_tetracyclone.html.html
- [58] X Zhu, Q Liu, X Zhu, C Li, M Xu and Y Liang. 2012. “Reduction of graphene oxide via ascorbic acid and its application for simultaneous detection of dopamine and ascorbic acid.” *Int. J. Electrochem. Science*. 7 : 5172-5184.
- [59] สารานุกรมเสรี. **เมลามีนเรซิน**. [online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%80%E0%B8%A1%E0%B8%A5%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%B5%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%A3%E0%B8%8B%E0%B8%B4%E0%B8%99>
- [60] Hsin-Hui Huang, K. Kanishka H. De Silva, G. R. A. Kumara and Masamichi Yoshimura. 2018. “Structural Evolution of Hydrothermally Derived Reduced Graphene Oxide.” *Scientific report*. 1-9.
- [61] Dongwei Wang, Xiaoxian Zhang, Song Luo and Sai Li. 2012. “Preparation and Property Analysis of Melamine Formaldehyde Foam.” *Advances in Materials Physics and Chemistry*. 2 : 63-67.
- [62] Xiufeng Mei, Xiuqing Meng and Fengmin Wu. 2015. “Hydrothermal method for the production of reduced graphene oxide.” *Physica E*. 68 : 81–86.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [63] Peng Chen, Hongqiang Li , Shaoxian Song, Xiaoqing Weng, Dongsheng He and Yunliang Zhao. 2017. “Adsorption of dodecylamine hydrochloride on graphene oxide in water.” *Results in Physics*. 7 : 2281–2288.
- [64] Srinivasarao Yaragalla, A.P. Meera, Nandakumar Kalarikkal and Sabu Thomas. 2015. “Chemistry associated with natural rubber–graphene nanocomposites and its effect on physical and structural properties.” *Industrial Crops and Products*. 74 : 792–802.
- [65] Mahima Khandelwal and Anil Kumar. 2015. “One-step chemically controlled wet synthesis of graphene nanoribbons from graphene oxide for high performance supercapacitor applications.” *Journal of Materials Chemistry A*. 3 : 22975–22988.
- [66] Heng Wang, Yawei Lin, Tianbin Zhu, Shaobai Sang and Qinghu Wang. 2014. “Microstructures and mechanical properties of Al_2O_3 -C refractories with addition of microcrystalline graphite.” *Ceramics International*. 40 : 11139–11148.
- [67] Seyyedeh Saadat Shojaeenezhad, Mansoor Farbod and Iraj Kazeminezhad. 2017. "Effect of initial graphite particle size and shape on oxidation time in graphene oxide prepared by Hummers’ method." *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*. 2 : 470-475.
- [68] E.C. Vermisoglou, T. Giannakopoulou, G. Romanos, M. Giannouri, N. Boukos, C. Lei, C. Lekakoub, C. Trapalis. 2015. "Effect of hydrothermal reaction time and alkaline conditions on the electrochemical properties of reduced graphene oxide." *Applied Surface Science*. 358 : 100–109
- [69] ฅปถัช พืมพ้ดี. 2560. การละลาย (Solubility). [online]. Available : <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7178-solubility>
- [70] Yue Liu, Junkui Ma, Tao Wu, Xingrui Wang, Guanbo Huang, Yu Liu, Haixia Qiu, Yi Li, Wei Wang and Jianping Gao. 2013. “Cost-Effective Reduced Graphene Oxide-Coated Polyurethane Sponge as a Highly Efficient and Reusable Oil-Absorbent.” *Applied materials and interfaces*. 5 : 10018-10026.

- [71] Fengqin Yin, Peixuan Peng, Wenjie Mo, Shuixia Chen and Teng Xu. 2017. "Preparation of a porous melamine-formaldehyde adsorbent grafted with polyethyleneimine and its CO₂ adsorption behavior." *New Journal of Chemistry*.
- [72] University of Colorado. **IR Spectroscopy Tutorial: Amines**. [online]. Available : <https://orgchemboulder.com/Spectroscopy/irtutor/aminesir.shtml>
- [73] Linda Wang. 2006. **Polyurethane Foam From furniture cushions to insulation, versatile polymer has found a world of applications**. [online]. Available : <https://pubs.acs.org/cen/whatstuff/84/8402foam.html>
- [74] H.Thagira Banu and Sankaran Meehakshi. 2017. "Synthesis of a novel quaternized form of melamine-formaldehyde resin for the removal of nitrate from water." *Journal of Water Process Engineering*. 16 : 81-89.
- [75] Lab Solutions for Analytical testing & Issues. **X-RAY Diffraction (XRD)**. [online]. Available : <https://www.lsalabs.com/XRD.html>
- [76] RRUFF. **Quartz R100134**. [online]. Available : <http://rruff.info/quartz/R100134>
- [77] วิศณุสรณ์ ชาติอารยะวดี. 2013. **การสังเคราะห์คาร์บอนรูปแบบใหม่**. [online]. Available : http://journal.up.ac.th/files/journal_issue_list/1161_10.pdf
- [78] Geoffrey Ijeomah, Fahmi Samsuri and Mohamad Adzhar Md Zawawi. 2017. "A Review of Surface Engineering of Graphene for Electrochemical Sensing Applications." *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES (IJETS)*. 8.
- [79] Kenneth S Suslick, Yuri Didenko, Ming M Fang, Taeghwan Hyeon, Kenneth J Kolbeck, William B McNamara, Millan M Mdleleni and Mike Wong. 1999. "Acoustic cavitation and its chemical consequences." *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 357 : 335-353.
- [80] JH Bang and KS Suslick. 2010. "Applications of ultrasound to the synthesis of nano-structured materials." *Advanced Materials*. 22 : 1039-1059.
- [81] Songfeng Pei and Hui-Ming Cheng. 2012. "The reduction of graphene oxide." *Carbon*. 50 : 3210-3228.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [82] Giang T.T. Le, Jedsada Manyam, Pakorn Opaprasit, Narong Chanlek, Nurak Gridanurak and Paiboon Sreearunothai. 2018. "Divergent mechanisms for thermal reduction of graphene oxide and their highly different ion affinities." *Diamond & Related Materials*. 89 : 246-256.
- [83] Enrico Bonatti, Dee Breger, Tommaso Di Rocco, Fulvio Franchi, Luca Gasperini, Alina Polonia, John Anfinogenov and Yana Anfinogenova. 2015. "Origin of John's Stone: A quartzitic boulder from the site of the 1908 Tunguska (Siberia) explosion." *Icarus*. 258 : 297-308.
- [84] Jinping Zhao, Wencai Ren and Hui-Ming Cheng. 2012. "Graphene sponge for efficient and repeatable adsorption and desorption of water contaminations." *Journal of Materials Chemistry*. 22 : 20197-20202.
- [85] Yi Wang, Lihua Zhou, Xiaoshan Luo, Yaping Zhang, Jian Sun, Xunan Ning and Yong Yuan. 2019. "Solar-heated graphene sponge for high-efficiency clean-up of viscous crude oil spill." *Journal of Cleaner Production*. 230 : 995-1002
- [86] Ying Zhang, Qian Zhang, Ruiyang Zhang, Shuaizhuo Liu and Ying Zhou. 2019. "Superhydrophobic and elastic melamine sponge for oil/water separation." *New Journal of Chemistry*. 43 : 6343-6349.

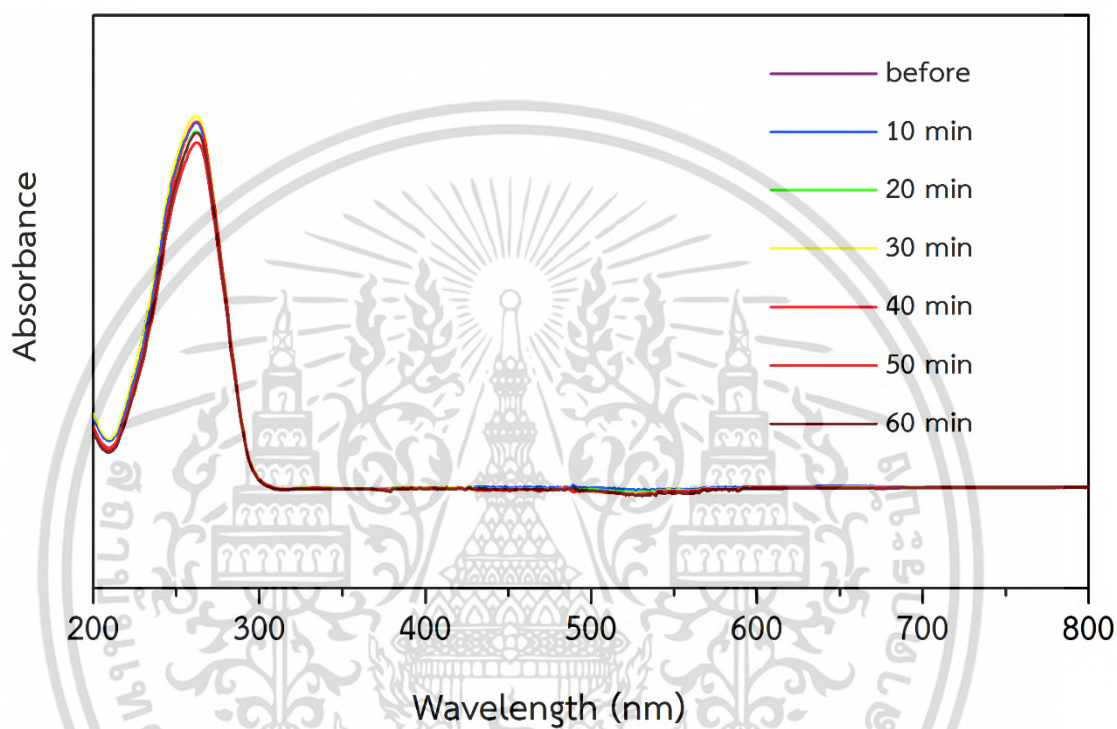


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวัดค่าดูดกลืนแสง

(UV-Vis spectrophotometer)

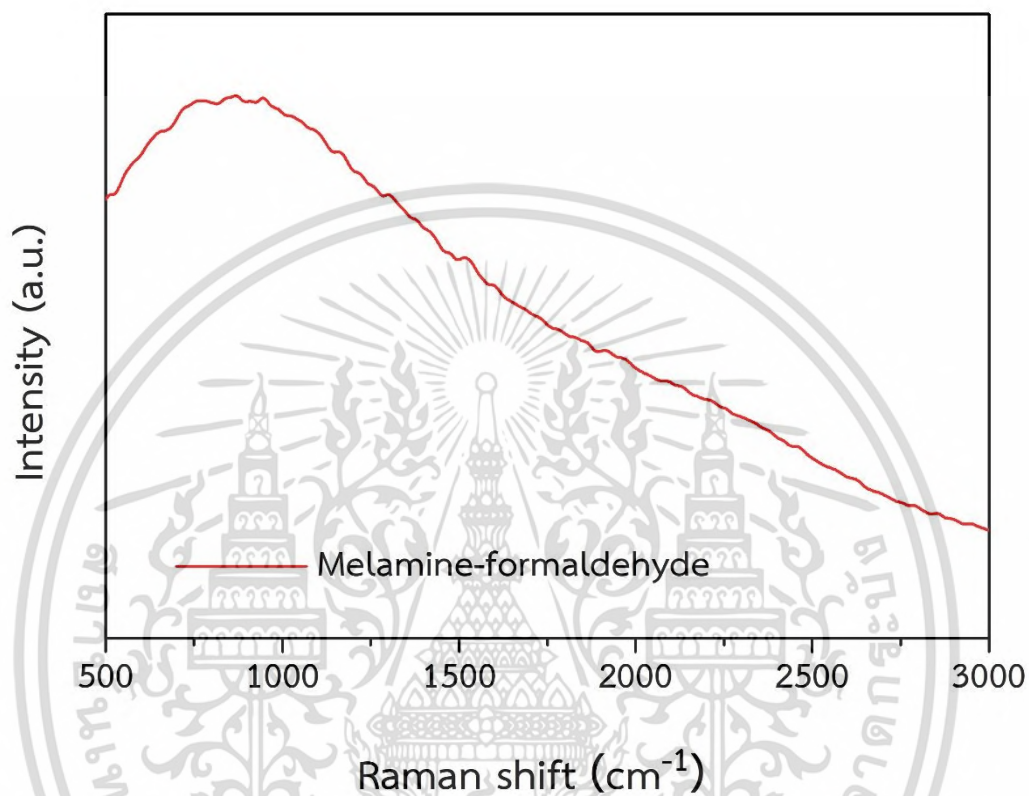


รูปที่ ก-1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของวิตามินซีเมื่อได้รับความร้อนอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
ที่เวลาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องรามาน (Raman spectrometer)

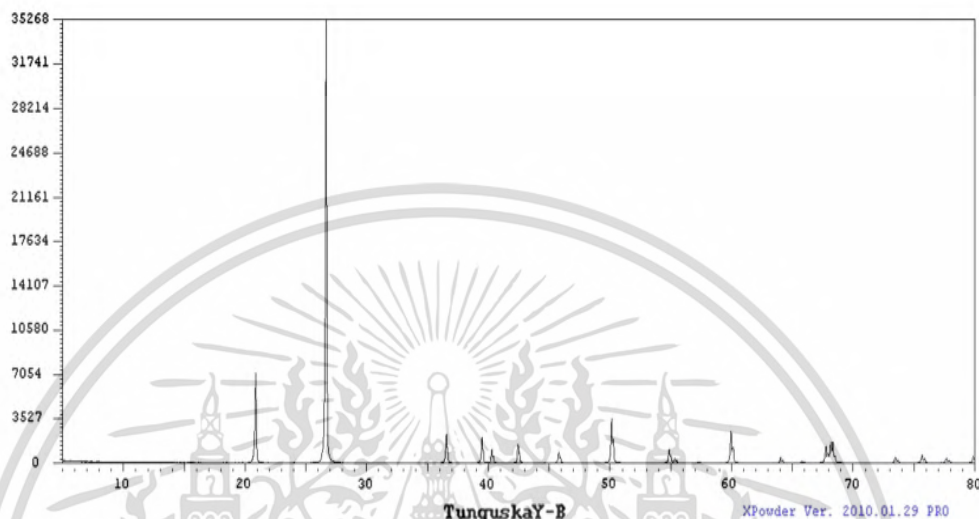


รูปที่ ข-1 แสดงรามานสเปกตรัมของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)

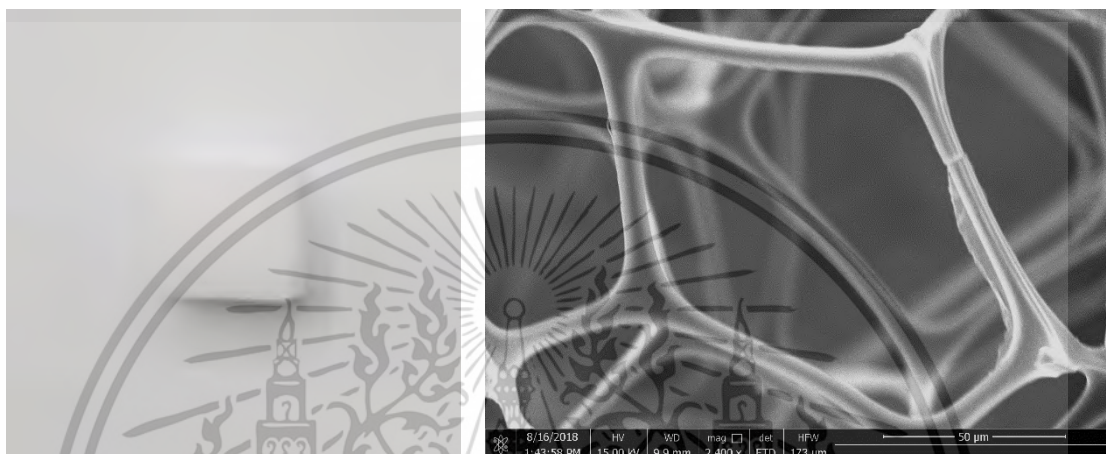


รูปที่ ค-1 แสดง XRD สเปกตราของควอตซ์ (SiO_2)

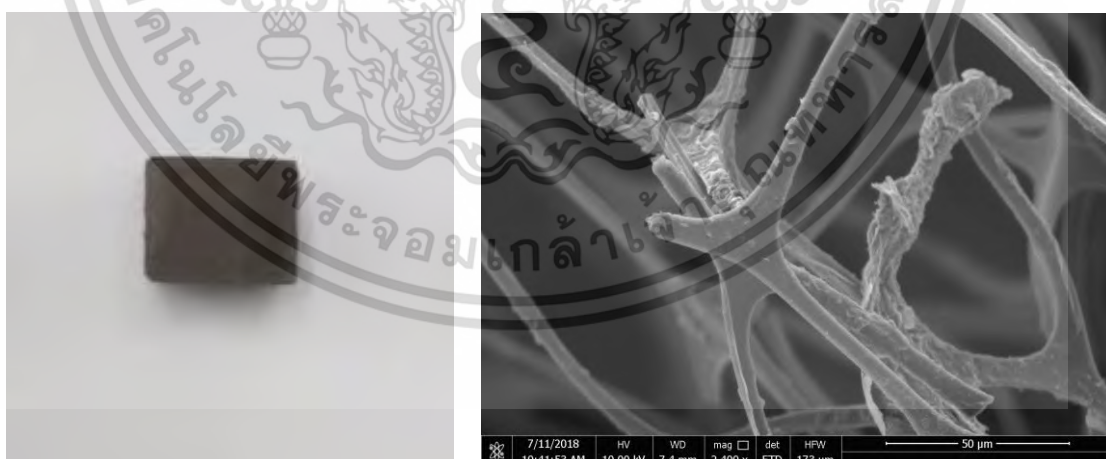
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์จากภาพถ่าย และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

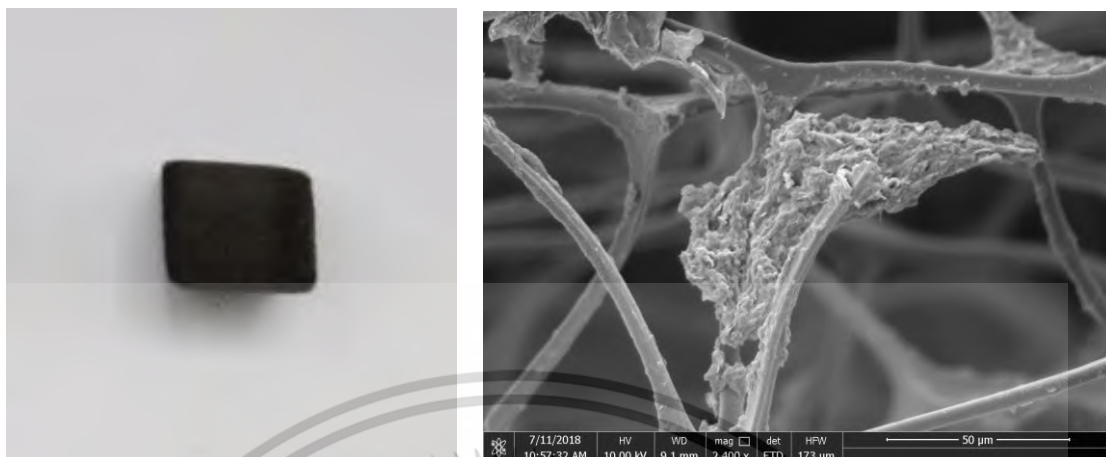


รูปที่ ง-1 แสดงภาพถ่าย และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์โพลิมที่กำลังขยาย 2400 เท่า



รูปที่ ง-2 แสดงภาพถ่าย และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเมลามีน-ฟอร์มาลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่กำลังขยาย 2400 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ง-3 แสดงภาพถ่าย และภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเมลามีน-ฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเมอร์เคลือบด้วยรีดิคซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำที่กำลังขยาย 2400 เท่า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ข้อมูลจากภาพถ่ายเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมก่อนและหลังเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์



รูปที่ จ-1 แสดงภาพถ่ายของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมก่อนและหลังเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ สารละลายวิตามินซี pH2 pH3 และ pH4 (จากซ้ายไปขวาตามลำดับ)



รูปที่ จ-2 แสดงภาพถ่ายของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมก่อนและหลังเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาการให้ความร้อน 15 30 45 และ 60 นาที (จากซ้ายไปขวาตามลำดับ)



รูปที่ จ-3 แสดงภาพถ่ายของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมก่อนและหลังเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งแต่ 1 3 5 10 และ 15 มิลลิกรัม (จากซ้ายไปขวาตามลำดับ) การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ-4 แสดงภาพถ่ายของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีติวซ์-
กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมความหนาแน่นสูงเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์
(จากซ้ายไปขวาตามลำดับ)

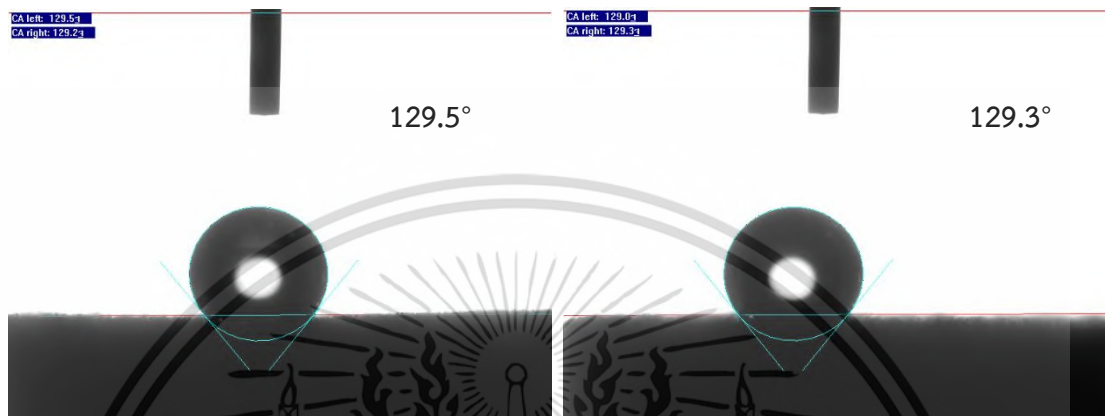


รูปที่ จ-5 แสดงภาพถ่ายของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมก่อนเคลือบ เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบ
ด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลิมเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ
(จากซ้ายไปขวาตามลำดับ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angles Analyzer)

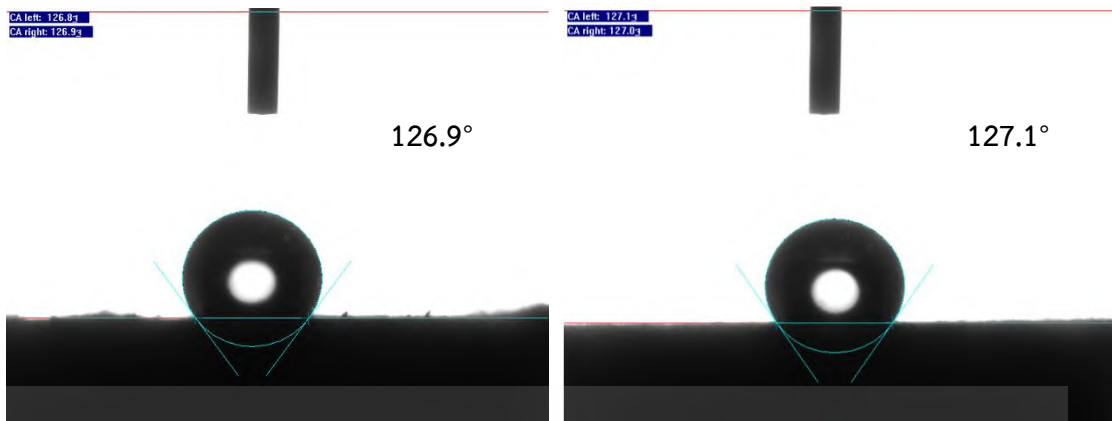


รูปที่ ฉ-1 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเอทิลีนไกลคอลเคลือบด้วยรีติคิวลาฟีนออกไซด์ที่ใช้ pH ของสารละลายวิตามินซีเท่ากับ 2

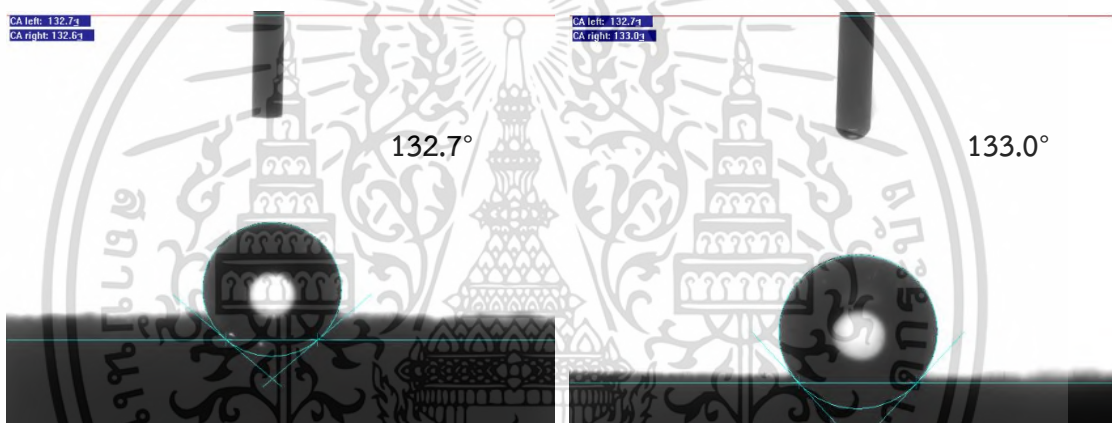


รูปที่ ฉ-2 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีเอทิลีนไกลคอลเคลือบด้วยรีติคิวลาฟีนออกไซด์ที่ใช้ pH ของสารละลายวิตามินซีเท่ากับ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๓-3 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามินพอร์มัลดีไฮด์โพลิเอทิลีนไกลคอลเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ใช้ pH ของสารละลายวิตามินซีเท่ากับ 4

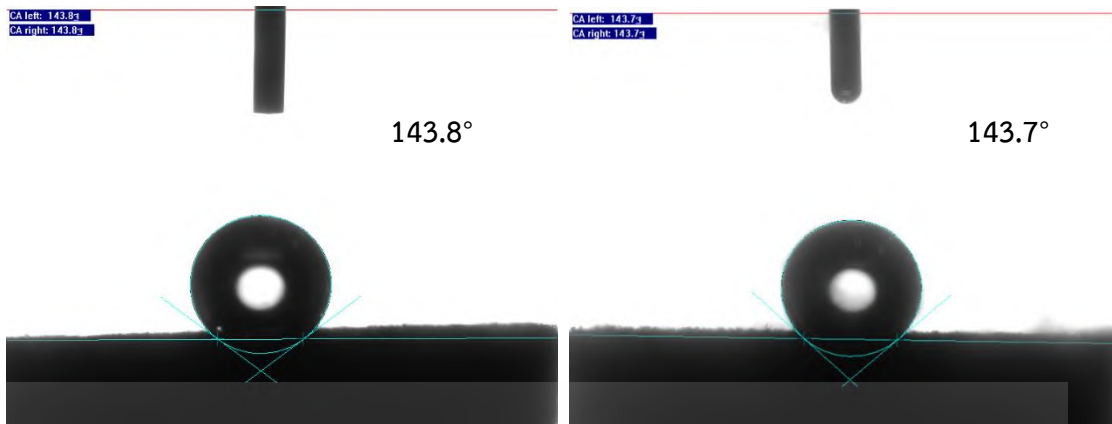


รูปที่ ๓-4 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามินพอร์มัลดีไฮด์โพลิเอทิลีนไกลคอลเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ใช้เวลาในการให้ความร้อน 15 นาที

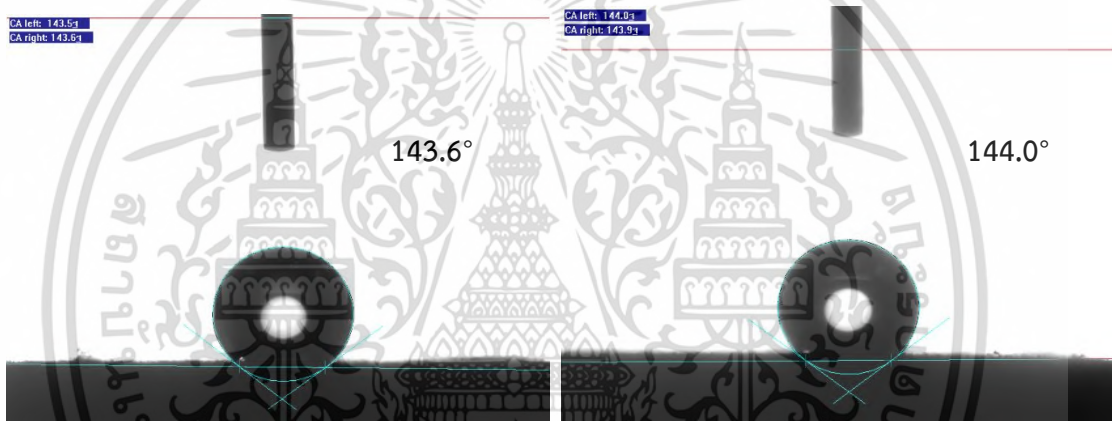


รูปที่ ๓-5 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามินพอร์มัลดีไฮด์โพลิเอทิลีนไกลคอลเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ใช้เวลาในการให้ความร้อน 30 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๖-6 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีอิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ใช้เวลาในการให้ความร้อน 45 นาที

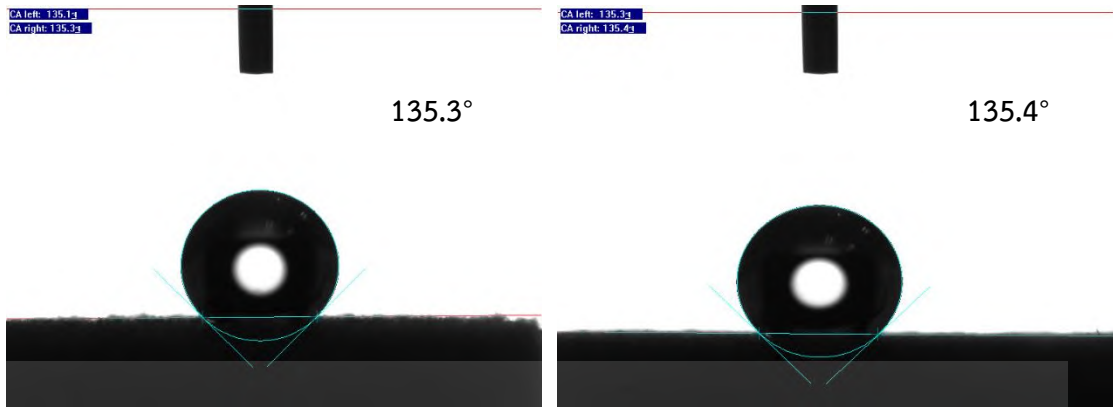


รูปที่ ๖-7 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีอิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ใช้เวลาในการให้ความร้อน 60 นาที



รูปที่ ๖-8 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีอิมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 1 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๙-9 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 3 มิลลิกรัม



รูปที่ ๙-10 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 5 มิลลิกรัม



รูปที่ ๙-11 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 10 มิลลิกรัม

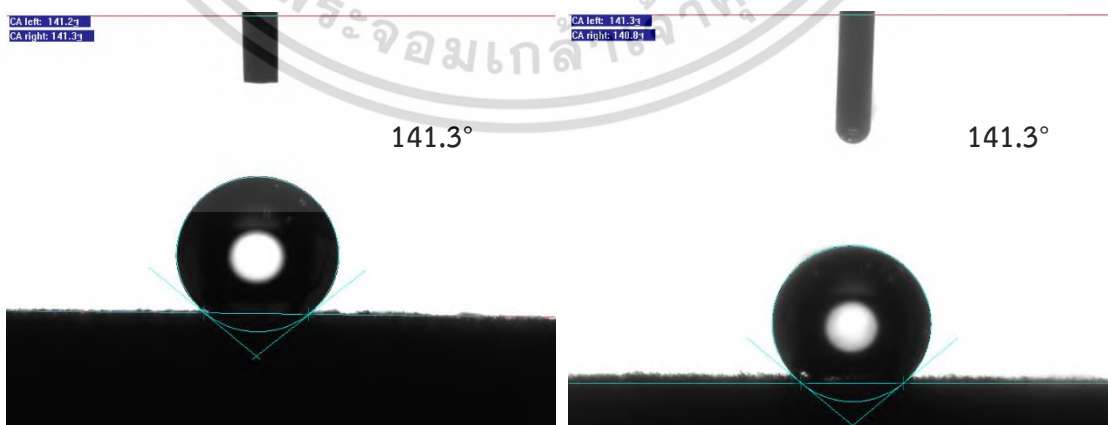
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ฉ-12 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเอไมด์เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใช้ปริมาณกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 15 มิลลิกรัม

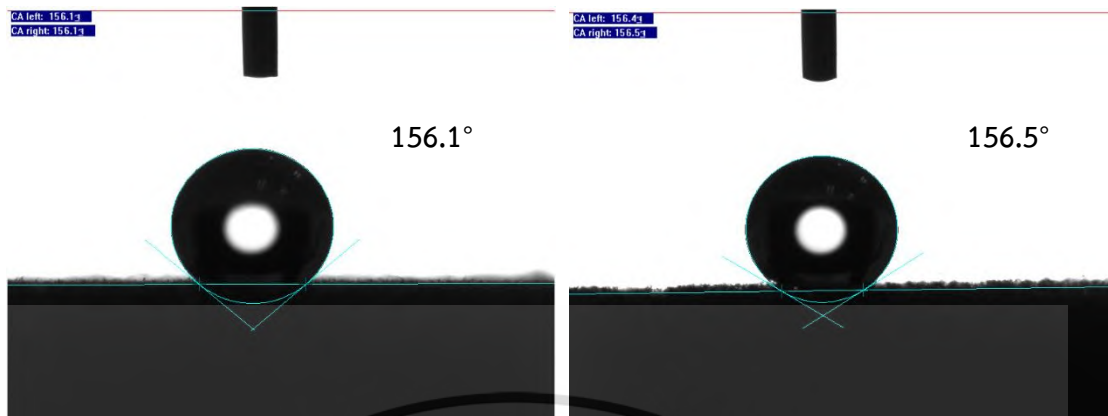


รูปที่ ฉ-13 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเอไมด์ความหนาแน่นปานกลางเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์



รูปที่ ฉ-14 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนพอร์มัลดีไฮด์โพลีเอไมด์ความหนาแน่นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะภายในงานวิจัยที่สนับสนุนโดยศูนย์เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ฉ-15 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพนเคลือบด้วยรีติวซ์กราฟีน-

ออกไซด์ที่เคลือบซ้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลแสดงน้ำหนักของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โคมก่อนและหลังเคลือบ ด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ตาราง ข-1 แสดงน้ำหนักของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โคมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ชื่อตัวอย่าง	น้ำหนัก MF ก่อน เคลือบ rGO (กรัม/5ชิ้น)	น้ำหนัก MF หลัง เคลือบ rGO (กรัม/5ชิ้น)	น้ำหนัก rGO (กรัม/5ชิ้น)	น้ำหนัก rGO (มิลลิกรัม/ชิ้น)
MF/rGO pH2	0.0334	0.0750	0.0416	8.32
MF/rGO pH3	0.0337	0.0392	0.0055	1.10
MF/rGO pH4	0.0331	0.0345	0.0014	0.28
MF/rGO 15 min	0.0342	0.0363	0.0021	0.42
MF/rGO 30 min	0.0337	0.0392	0.0055	1.10
MF/rGO 45 min	0.0355	0.0412	0.0057	1.14
MF/rGO 60 min	0.0338	0.0397	0.0059	1.18
MF/rGO 1 mg	0.0343	0.0362	0.0019	0.38
MF/rGO 3 mg	0.0366	0.0381	0.0021	0.42
MF/rGO 5 mg	0.0355	0.0388	0.0033	0.66
MF/rGO 10 mg	0.0337	0.0392	0.0055	1.10
MF/rGO 15 mg	0.0365	0.0416	0.0051	1.02
MF/rGO-MD	0.0337	0.0392	0.0055	1.10
MF/rGO-HD	0.0487	0.0538	0.0051	0.68
MF/rGO-recoat	0.0339	0.0407	0.0068	1.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ซ

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์มุมสัมผัส (Contact angles Analyzer)



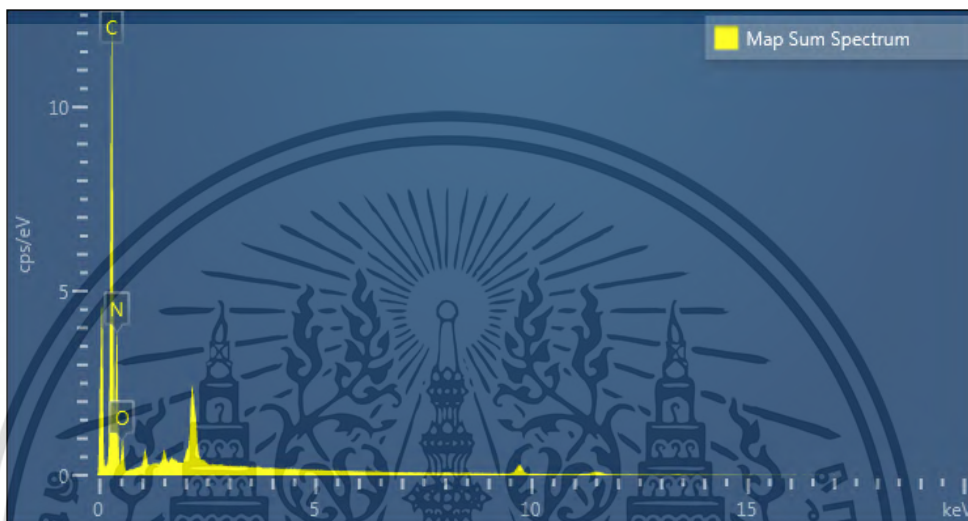
รูปที่ ซ-1 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีที่ใส่กราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 10 มิลลิกรัม แต่ไม่ได้เติมวิตามินซี และไม่มีการให้ความร้อน

รูปที่ ซ-2 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โพลีที่ใช้วิตามินซี pH เท่ากับ 3 และเติมกราฟีนออกไซด์ตั้งต้น 10 มิลลิกรัม แต่ไม่มีการให้ความร้อน

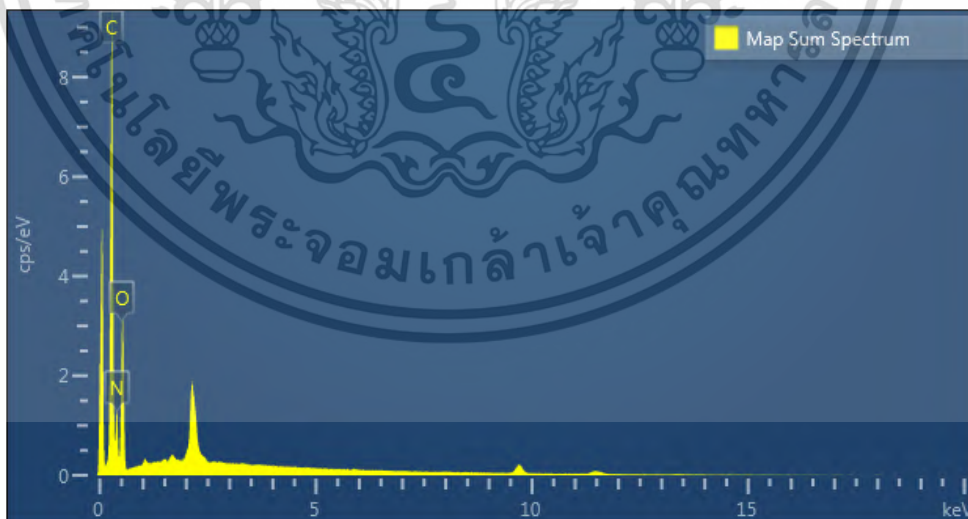
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฅ

ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (Energy dispersive X-ray spectroscopy)



รูปที่ ฅ-1 แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟม



รูปที่ ฅ-2 แสดงสเปกตรัมองค์ประกอบธาตุของเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ญ

สมการที่ (1) หาความสามารถในการดูดซับ

$$\text{ความสามารถในการดูดซับ} = \frac{m_1 - m_0}{m_0}$$

โดย m_0 คือ น้ำหนักของโคมก่อนการดูดซับ

m_1 คือ น้ำหนักของโคมหลังจากการดูดซับ

สมการที่ (2) หาประสิทธิภาพในการแยกน้ำมัน

$$\text{ประสิทธิภาพในการแยกน้ำมัน} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำมันหลังการทดลอง}}{\text{น้ำหนักน้ำมันก่อนการทดลอง}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวนัชชา จิรสุตติสาร
วัน เดือน ปี เกิด	10 มิถุนายน พ.ศ. 2537
ที่อยู่	199 หมู่ที่ 3 ตำบลอ่าวน้อย อำเภอมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ รหัสไปรษณีย์ 77000
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2559 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม เกรดเฉลี่ย 2.98 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2564 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีประยุกต์ เกรดเฉลี่ย 4.00 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	1. [Poster presentation] September 6-7, 2018. “MSAT-10 2018: 10 th International Conference on Materials Science and Technology.” Bitec. Bangkok, Thailand. 2. [Publication] Natcha Jirasuttisarn and Chaval Sriwong. 2020. “Effect of Graphene Oxide Precursor Loading on the Surface of Melamine-Formaldehyde/rGO Sponge with Enhanced Ultra-Hydrophobicity for Oil Removal.” <i>American Journal of Nano Research and Application</i> . 8(2) : 22-27. 3. [Publication] Natcha Jirasuttisarn and Chaval Sriwong. 2021. “Facile and Green Synthesis of Melamine-Formaldehyde@rGO Foam with Enhanced Superhydrophobicity for Oil Removal Application.” <i>Current Applied Science and Technology</i> . 21(4) : 686-697.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้