การเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมสำหรับการแยกน้ำ-น้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF REDUCED GRAPHENE OXIDE COATED ON POLYURETHANE FOAM FOR EFFICIENT WATER-OIL SEPARATION

จุฑาลักษณ์ ภาระพฤติ
จุรีรัตน์ บุญมาก
พรนรินทร์ อินทะพิมพ์

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมสำหรับการแยกน้ำ-น้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF REDUCED GRAPHENE OXIDE COATED ON POLYURETHANE FOAM FOR EFFICIENT WATER-OIL SEPARATION

T149478

จุฑาลักษณ์ ภาระพฤติ
จุรีรัตน์ บุญมาก
พรนรินทร์ อินทะพิมพ์

b 12884388
i
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สารบัญ
เลขทะเบียน 149478
วัน เดือน ปี 8 มิ.ย. 2561

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF REDUCED GRAPHENE OXIDE COATED ON POLYURETHANE FOAM FOR EFFICIENT WATER-OIL SEPARATION

JUTALUK PARAPRUEK
JUREERAT BOONMARK
PORNNARIN INTAPIM

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมสำหรับการแยกน้ำ-น้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF REDUCED GRAPHENE OXIDE COATED ON POLYURETHANE FOAM FOR EFFICIENT WATER-OIL SEPARATION
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจุฑาลักษณ์ ภาระพฤติ รหัสนักศึกษา 56050471 นางสาวจุรีรัตน์ บุญมาก รหัสนักศึกษา 56050472 นางสาวพรนรินทร์ อินทะพิมพ์ รหัสนักศึกษา 56050540
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี ประธานกรรมการ	
ดร.สามารถ คงทวีเลิศ กรรมการ	
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การเตรียมและการพิสูจน์เอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมสำหรับการแยกน้ำ-น้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF REDUCED GRAPHENE OXIDE COATED ON POLYURETHANE FOAM FOR EFFICIENT WATER-OIL SEPARATION
ชื่อนักศึกษา	นางสาวจุฑาลักษณ์ ภาระพฤติ รหัสนักศึกษา 56050471 นางสาวจุรีรัตน์ บุญมาก รหัสนักศึกษา 56050472 นางสาวพรนรินทร์ อินทะพิมพ์ รหัสนักศึกษา 56050540
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
ปีการศึกษา	2559
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงงานพิเศษนี้เป็นการศึกษาการเตรียม การพิสูจน์เอกลักษณ์ และสมบัติความไม่ชอบน้ำของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม รวมทั้งยังได้มีการศึกษาสมบัติทางความร้อนอีกด้วย ในกระบวนการเตรียมวัสดุผสมพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ นั้นจะใช้วิธีการรีดักชันทางเคมีอย่างง่ายโดยการใช้วิตามินซีเป็นสารรีดักแตนท์ภายใต้การใช้พอลิยูรีเทนโฟม แล้วทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ที่แตกต่างกัน ได้แก่ 5, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิกรัม ตามลำดับ จากนั้นนำวัสดุผสมพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้มาตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่ การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD), ฟูเรียทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตสโคปี (FT-IR), เทคนิครามาน (Raman spectroscopy), กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM), เอกซเรย์สเปคโตรสโคปีแบบกระจายพลังงาน (EDX) และเทคนิคการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน (TGA) ผลปรากฏว่าโครงสร้างผลึกและหมู่ฟังก์ชันของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จะสอดคล้องกับโครงสร้างของพอลิยูรีเทนโฟมแบบอีเทอร์ แต่พีคที่เป็นเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะไม่สามารถสังเกตเห็นได้ อย่างไรก็ตามพีคเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมจะสังเกต และยืนยันได้เป็นอย่างดีจากเทคนิครามาน จากผลของ SEM และ EDX พบว่าความขรุขระของพื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้นจากการปกคลุมของอนุภาครีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของกราฟีนออกไซด์ที่ถูกเติมลงไป ผลจากการวิเคราะห์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิค TGA พบว่าสมบัติทางความร้อนของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น สมบัติความไม่ชอบน้ำของตัวอย่างพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ทั้งหมดสามารถหาได้จากเทคนิคการวัดค่ามุมสัมผัส (CAs) จากผลการวิเคราะห์พบว่าสมบัติความไม่ชอบน้ำของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมด้วยกราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ให้ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำสูงสุดเท่ากับ 130.5^{o} ทั้งนี้เนื่องจากผลที่เกี่ยวข้องกับสมบัติความไม่ชอบน้ำของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซึ่งปกคลุมอย่างสมบูรณ์บนพื้นผิวของพอลิยูรีเทนโฟม นอกจากนี้พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ยังแสดงให้เห็นถึงสมบัติในการแยกน้ำ-น้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพรวมถึงความสามารถในการดูดซับที่จำเพาะเจาะจงต่อน้ำมัน และคลอโรฟอร์มจากน้ำได้อย่างดีเยี่ยม ซึ่งค่าประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันสูงสุดมีค่าเท่ากับ 46.88 เท่าของพอลิยูรีเทนโฟมเริ่มต้น

คำสำคัญ : พอลิยูรีเทนโฟม สมบัติความไม่ชอบน้ำ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ วิตามินซี กระบวนการรีดักชันทางเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF REDUCED GRAPHENE OXIDE COATED ON POLYURETHANE FOAM FOR EFFICIENT WATER-OIL SEPARATION
Students	Jutaluk Parapruek student ID 56050471
	Jureerat Boonmak student ID 56050472
	Pornnarin Intapim student ID 56050540
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2016
Advisor	Dr. Chaval Sriwong

Abstract

The objective of this special project is to study the preparation, characterization and hydrophobic property of reduced graphene oxide (rGO) coated on polyurethane (PU) foam, including the thermal property was also investigated. In the preparation process, PU/rGO composite foams were easily prepared via the chemical reduction method using vitamin c as a reductant based on the use of PU foam with the varying amounts of graphene oxide (GO) suspension such as 5, 10, 15, 20 and 30 mg respectively. Then, the obtained PU/rGO composite foams were characterized by using X-ray diffraction (XRD), Fourier-transformed infrared spectroscopy (FT-IR), Raman spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive X-ray spectrometer (EDX) and thermogravimetric analysis (TGA) techniques. The results showed that the crystalline phases and functional groups of these PU/rGO foams are corresponding to pristine PU-ether foam, whereas all of the rGO characteristic peaks are not observed. Nevertheless, the characteristic peaks of rGO in the PU foams could be observed and well-confirmed by Raman spectroscopy technique. From the SEM and EDX results, the surface roughness of PU/rGO foams were increased by covering of rGO particles upon the increasing amount of GO. From the TGA results found that the thermal properties of the PU/rGO foams could be

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

increased with the increasing amounts of rGO. The hydrophobic properties of all PU/rGO foam samples were evaluated by static contact angle (CAs). The results indicated that the hydrophobic property of the PU/rGO foam prepared with 20 mg GO loading has the highest contact angle value (130.5°). This may be due to the fact that it is relatively with the hydrophobic effect of rGO which completely covered on the PU foam surface. Besides, PU/rGO foam showed efficient water-oil separation and excellent selective adsorption capacity of oil and chloroform from water. The maximum oil adsorption capacity was 46.88 times of the weight of initial PU foam.

Keywords: Polyurethane foam, Hydrophobic property, Reduced graphene oxide, Vitamin C, Chemical reduction method

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบคุณ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิดและเสนอแนะแนวทางปัญหา รวมทั้งตรวจแก้โครงงานพิเศษฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ ผศ.ดร.เอกรัฐ เดชศรี และ ดร.สามารถ คงทวีเลิศ ที่ช่วยเป็นคณะกรรมการในการตรวจสอบ และอาจารย์ที่เข้ารับฟังการนำเสนอโครงงานพิเศษทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจทานและเสนอความคิดเห็นต่างๆให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จไปได้อย่างสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมืออำนวยความสะดวก ในการทำโครงงานพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดในการทำโครงงานพิเศษ กราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

จุฑาลักษณ์ ภาระพฤติ
จุรีรัตน์ บุญมาก
พรนรินทร์ อินทะพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญรูป ..... ฏ
คำย่อ/สัญลักษณ์ (ถ้ามี) ..... ฒ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับตัวดูดซับ 3
2.2 โฟมดูดซับ 3
2.3 สมบัติความชอบน้ำและความไม่ชอบน้ำของวัสดุ 4
2.4 กราฟีน 5
2.4.1 สมบัติของกราฟีน 6
2.4.2 การประยุกต์ใช้กราฟีน 7
2.4.3 การสังเคราะห์กราฟีน 7
2.4.3.1 การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีทางเคมี 8
2.5 วิตามินซี 11
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 18
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 18
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 19
3.3 ขั้นตอนการทดลอง 19
3.3.1 การเตรียมสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ 19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1.1 การเตรียมกราไฟต์ออกไซด์ด้วยวิธีการปรับปรุงวิธีของฮัมเมอร์ (Hummer's method) 19
3.3.1.2 การเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonication) 20
3.3.2 การเตรียมผิวพอลิยูรีเทนโฟม 20
3.3.3 การเตรียมสารละลายวิตามินซี 21
3.3.4 การปรับ pH สารละลายวิตามินซี 21
3.3.5 การเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 21
3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์ 23
3.4.1 ศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis Spectrophotometer 23
3.4.2 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) 23
3.4.3 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างด้วยเทคนิค Raman Spectroscopy 23
3.4.4 ศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง Transmission Electron Microscope (TEM) 24
3.4.5 ศึกษาสมบัติความเป็นผลึกด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD) 24
3.4.6 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา Scanning Electron Microscope (SEM) 24
3.4.7 ศึกษาองค์ประกอบของธาตุ Energy Dispersive X-ray Spectrometer (EDX) ... 24
3.4.8 ศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermo Gravimetric Analysis (TGA) 24
3.4.9 ศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน และการแยกน้ำมันออกจากน้ำ 25
3.4.9.1 ศึกษาค่ามุมสัมผัสของน้ำและน้ำมันต่อพื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิค Static Contact Angles (CAs) 25
3.4.9.2 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่ถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.9.3 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันบนผิวน้ำของพอลิยูรีเทน 25
โฟมที่ถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

3.4.9.4 ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับระหว่างสารละลาย... 25
สีย้อมในน้ำและน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่ถูกเคลือบด้วย
รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

3.4.9.5 ศึกษาประสิทธิภาพการกรองแยกระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำ..... 26
และคลอโรฟอร์มของพอลิยูรีเทนโฟมที่ถูกเคลือบด้วย
รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ที่เวลาต่างๆ

3.4.9.6 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับคลอโรฟอร์มในน้ำของพอลิยูรีเทน 26
โฟมที่ถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล 27

4.1 ศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์..... 27

4.1.1 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการดูดกลืนแสง..... 27

4.1.2 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานของการสั่นของโมเลกุล 29

4.1.2.1 กราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 29

4.1.2.2 พอลิยูรีเทนโฟม 30

4.1.3 ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน..... 32

4.1.4 ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค TEM..... 33

4.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของพอลิยูริเทนโฟมและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 34
บนพอลิยูริเทนโฟม

4.3 การศึกษาคุณลักษณะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม..... 35

4.3.1 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานของการสั่นของโมเลกุล 35

4.3.2 ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน..... 36

4.3.3 ผลการศึกษาสมบัติความเป็นผลึก 37

4.3.4 ผลการตรวจพิสูจน์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา..... 38

4.3.5 ผลการตรวจพิสูจน์องค์ประกอบของธาตุ..... 43

4.3.6 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน..... 44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4 การศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน และการแยกน้ำมันออกจากน้ำ 47

4.4.1 ผลการศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ และหยดน้ำมันบนพื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิว์กราฟีนออกไซด์ 47

4.4.2 ผลของประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 52

4.4.3 ผลของประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันบนผิวน้ำของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ปริมาณ 20 มิลลิกรัม 53

4.4.4 ผลเปรียบเทียบของประสิทธิภาพการดูดซับระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำและน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 55

4.4.5 ผลของประสิทธิภาพการกรองแยกระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำและคลอโรฟอร์มของของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ที่เวลาต่างๆ 56

4.4.6 ผลของประสิทธิภาพการดูดซับคลอโรฟอร์มในน้ำของของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม 58

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 61

5.1 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 61

5.2 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของพอลิยูรีเทนโฟม 62

5.3 ผลการศึกษารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 62

5.4 ผลการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ แต่ชอบน้ำมัน และประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมัน 63

5.5 ข้อเสนอแนะ 64

เอกสารอ้างอิง 65

ภาคผนวก 69

ภาคผนวก ก 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์..... 22

4.1 แสดงเปอร์เซนต์ปริมาณธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนของพอลิยูรีเทนโฟมและพอลิยูรีเทน 44
โฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.2 แสดงน้ำหนักที่ได้จากการดูดซับน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีน..... 52
ออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

4.3 แสดงน้ำหนักที่ได้จากการทดสอบการแยกน้ำมันออกจากน้ำของพอลิยูรีเทนโฟมที่..... 54
เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

4.4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน และค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ..... 59
ของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงโครงสร้างของพอลิยูรีเทนโฟม (Polyurethane)	4
2.2	แสดงลักษณะของแผ่นพอลิยูรีเทนโฟม	4
2.3	แสดงค่ามุมสัมผัส (contact angle) ของหยดน้ำบนพื้นผิวสัมผัส	5
2.4	แสดงโครงสร้างอัญรูปของคาร์บอน แผ่นกราฟีน และกราไฟต์	5
2.5	แผนภาพแสดงวิธีการสังเคราะห์กราฟีน	8
2.6	วิธีการสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีโซนิเคชัน	9
2.7	แสดงโครงสร้างกราไฟต์ กราไฟต์ออกไซด์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ในกระบวนการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชัน	10
2.8	แสดงโครงสร้างทางเคมีของวิตามินซี	11
2.9	แสดงกลไกการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยกรดแอสคอร์บิก	12
2.10	แสดงวิธีการเคลือบพอลิไดเมทิลไซโลเซนบนพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต	13
2.11	แสดงโครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ยึดติดกับโครงสร้างของฟองน้ำ	13
2.12	พอลิเมลามีนฟอร์มาดีไฮด์โฟม ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส	14
2.13	แสดงกระบวนการดูดซับของโทลูอีนด้วยพอลิยูรีเทนโฟม ภายในเวลา 5 วินาที	15
2.14	แสดงวิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนเมลามีนโฟมด้วยวิธีการทำงานร่วมกับอัลตราโซนิค-ไมโครเวฟ และวิธีการจุ่มเคลือบ	15
2.15	แสดงภาพการจำเพาะเจาะจงในการเลือกดูดซับน้ำมัน และคลอโรฟอร์มในน้ำ	16
2.16	แสดงการเตรียมสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน	17
2.17	แสดงภาพกระบวนการรีดักชันและภาพของสารละลายกราไฟต์ออกไซด์ และความเสถียรในการกระจายตัวของกราฟีนในน้ำ	17
3.1	แสดงชิ้นงานพอลิยูรีเทนโฟม	21
3.2	แสดงชุดอุปกรณ์การเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม	22
4.1	แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)	27
4.2	แสดงแผ่นโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	28
4.3	แสดงสีของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ และสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	29
4.4	แสดง FT-IR สเปกตราของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	29
4.5	แสดง FT-IR สเปกตรัมของพอลิยูรีเทนโฟม	30
4.6	แสดงโครงสร้างของส่วนที่แข็งและส่วนที่นิ่มของพอลิยูรีเทนโฟม	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.7 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟีนออกไซด์ และ 32
รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.8 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของพอลิยูรีเทนโฟม..... 33

4.9 แสดงลักษณะลักษณะทางกายภาพของแผ่นกราฟีนออกไซด์ 33

4.10 แสดงลักษณะลักษณะทางกายภาพของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์..... 34

4.11 พอลิยูริเทนก่อนและหลังการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 34

4.12 แสดง FT-IR สเปกตราของพอลิยูรีเทนโฟมและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบน 35
พอลิยูรีเทนโฟมในปริมาณที่ต่างกันคือ 5, 10, 20 และ 30 มิลลิกรัม

4.13 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์..... 36
พอลิยูรีเทนโฟม พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ
5, 10, 20 และ 30 มิลลิกรัม

4.14 แสดงรูปแบบ XRD ของพอลิยูรีเทนโฟม และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วย 37
รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณ 5, 10 และ 30 มิลลิกรัม

4.15 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 100X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม..... 38
พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณต่างๆได้แก่ 5, 10, 20, และ
30 มิลลิกรัม และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ใน 5 มิลลิกรัม แต่
ไม่มีการให้ความร้อน

4.16 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 500X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม..... 39
พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณต่างๆได้แก่ 5, 10, 20, และ
30 มิลลิกรัม และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ใน 5 มิลลิกรัม แต่
ไม่มีการให้ความร้อน

4.17 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 1000X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม..... 40
พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณต่างๆได้แก่ 5, 10, 20, และ
30 มิลลิกรัม และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ใน 5 มิลลิกรัม แต่
ไม่มีการให้ความร้อน

4.18 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 5000X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม..... 41
พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณต่างๆได้แก่ 5, 10, 20, และ
30 มิลลิกรัม และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ใน 5 มิลลิกรัม แต่
ไม่มีการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.19	แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 10000X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณต่างๆได้แก่ 5, 10, 20, และ 30 มิลลิกรัม และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ใน 5 มิลลิกรัม แต่ไม่มีการให้ความร้อน	42
4.20	แสดงองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน และไนโตรเจนของพอลิยูรีเทนโฟม และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม และ 20 มิลลิกรัม	43
4.21	แสดงกราฟ TGA ของพอลิยูรีเทนโฟม พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 5 มิลลิกรัม และพอลิยูรีเทนที่โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 30 มิลลิกรัม	45
4.22	แสดงกราฟ DTG ของพอลิยูรีเทนโฟม พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 5 มิลลิกรัม และพอลิยูรีเทนที่โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 30 มิลลิกรัม	46
4.23	เปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของน้ำบนพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	47
4.24	เปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันบนพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	48
4.25	เปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำและหยดน้ำมันบนพอลิยูรีเทนโฟมและพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ณ เวลา 3 วินาที และเมื่อทิ้งไว้จนถึง 300 วินาที	49
4.26	เปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันบนพอลิยูรีเทนโฟมและพอลิยูรีเทนโฟมและโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 5 มิลลิกรัม, 5 มิลลิกรัม(ไม่เติมวิตามินซี) และ 5 มิลลิกรัม (ไม่ให้ความร้อน) ณ เวลา 3 วินาที และเมื่อทิ้งไว้จนถึง 300 วินาที	50
4.27	แสดงการดูดซับน้ำมันบนผิวน้ำของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ก่อนการดูดซับ และหลังการดูดซับ พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ภายในเวลา 5 วินาที	53
4.28	แสดงภาพการบีบน้ำมันที่เกิดจากการดูดซับของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม	54
4.29	แสดงภาพการดูดซับน้ำมัน และสารละลายสีย้อมในน้ำของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.30 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับหยดน้ำ และหยดน้ำมันบนพื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบ ... 55
ด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

4.31 แสดงประสิทธิภาพในการกรองแยกระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำกับคลอโรฟอร์มด้วย.... 56
พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ช่วงเวลาเริ่มต้น

4.32 แสดงประสิทธิภาพในการกรองแยกระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำกับคลอโรฟอร์มด้วย.... 56
พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม เมื่อเวลาผ่านไป
10 นาที

4.33 แสดงประสิทธิภาพในการกรองแยกระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำกับคลอโรฟอร์มด้วย.... 57
พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม เมื่อเวลาผ่านไป
30 นาที

4.34 แสดงการดูดซับคลอโรฟอร์มในสารละลายสีย้อมในน้ำของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 58
เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมก่อนการดูดซับ และหลังการดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
XRD	X-ray Diffraction
Raman	Raman spectroscopy
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectrophotometer
UV-vis	UV-vis Spectrophotometer
TEM	Transmission Electron Microscope
SEM	Scanning Electron Microscope
EDX	Energy Dispersive X-ray Spectrometer
TGA	Thermo Gravimetric Analysis
CAs	Static Contact Angles
PU Foam	พอลิยูรีเทนโฟม
PU/rGO (5 mg)	พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม
PU/rGO (10 mg)	พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 10 มิลลิกรัม
PU/rGO (15 mg)	พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 15 มิลลิกรัม
PU/rGO (20 mg)	พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม
PU/rGO (30 mg)	พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 30 มิลลิกรัม
PU/rGO (5 mg) *	พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยมีการให้ความร้อน แต่ไม่เติมสารละลายวิตามินซี
PU/rGO (5 mg) **	พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยไม่ให้ความร้อน แต่มีการเติมสารละลายวิตามินซี
P-oil	น้ำมันพืช
GO	กราฟีนออกไซด์
rGO	รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมยังคงเกิดขึ้นมากมายและยังคงเป็นปัญหาหนักของเมืองใหญ่ในแต่ละประเทศ อย่างเช่น ปัญหาน้ำเสีย และน้ำทิ้งที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรม การทิ้งขยะมูลฝอยลงสู่แม่น้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมลพิษที่เกิดจากการรั่วไหลของน้ำมันลงสู่แม่น้ำ เช่น จากโรงงานอุตสาหกรรม หรือแท่นขุดเจาะน้ำมัน เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย ปิดกั้นการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบอย่างยิ่งต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งส่งผลกระทบโดยตรงต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปจะมีการกำจัดคราบน้ำมันด้วยวิธีการต่างๆ เช่น วิธีการกรอง วิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมี วิธีการย่อยทางชีวภาพ และการเผา เป็นต้น [1] แต่อย่างไรก็ตามวิธีการดังกล่าวยังมีข้อจำกัดมากมาย ได้แก่ มีขั้นตอนที่ซับซ้อน ใช้เวลานาน เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว จึงจำเป็นที่จะต้องมีกระบวนการอื่น เพื่อนำมาใช้ในการกำจัดน้ำมันหรือดูดซับน้ำมัน ซึ่งกระบวนการดูดซับเพื่อแยกน้ำมันออกจากน้ำนี้จะต้องเป็นวิธีการที่มีราคาถูก ทำได้ง่าย และไม่ยุ่งยากซับซ้อน

ปัจจุบันวัสดุที่นิยมนำมาใช้ในการดูดซับน้ำกับน้ำมัน เช่น ดินเหนียว ซีโอไลต์ วัสดุธรรมชาติ พอลิเมอร์สังเคราะห์ และโฟมพอลิเมอร์ต่างๆ แต่วัสดุเหล่านี้ยังมีข้อจำกัดในการดูดซับน้ำมันได้น้อย มีประสิทธิภาพในการแยกต่ำ นำกลับมาใช้ซ้ำไม่ได้และไม่มีความเสถียร ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการเติมสารที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำแต่ชอบน้ำมัน เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับโฟมดูดซับมาช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น เช่น พอลิไดเมทิลไซโลเซน ลอริวเมทาคิเลต และอัญรูปของคาร์บอนชนิดต่างๆ [2,3] เพื่อมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ ที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องมาจากเป็นสารที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ นอกจากนั้นยังเพิ่มสมบัติเชิงกลที่ดี ทนความร้อนได้สูง มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง และสามารถต้านทานต่อการลุกไหม้ของไฟได้ [4,6]

แต่อย่างไรก็ตามจากงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมา พบว่าขั้นตอนการเคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงบนฟองน้ำหรือโฟม ยังมีขั้นตอนยุ่งยากซับซ้อน ใช้เวลานาน และต้องใช้อุณหภูมิสูง นอกจากนี้ยังพบว่า มีการใช้ตัวรีดิวซิ่งที่รุนแรงและเป็นอันตรายในการช่วยให้การเคลือบเกิดได้อย่างสมบูรณ์ [4,5,6,7] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ด้วยกระบวนการให้ความร้อนอย่างง่าย เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยใช้วิตามินซีเป็นตัวรีดิวซ์ที่ปลอดภัยเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อเปลี่ยนกราฟีนออกไซด์ให้เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ หลังจากนั้นทำการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ สมบัติทางความร้อน และการพิสูจน์เอกลักษณ์ ด้วยเทคนิคต่างๆ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อทำการศึกษาการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม

2) เพื่อทำการศึกษาผลของปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมต่อความสามารถในการดูดซับน้ำมัน และประสิทธิภาพในการแยกน้ำกับน้ำมัน

3) เพื่อศึกษาการพิสูจน์เอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมและสมบัติการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน

4) เพื่อศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ สมบัติความชอบน้ำมัน รวมทั้งความสามารถในการดูดซับน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่ถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมอย่างง่ายด้วยวิธีการเตรียมให้ความร้อนอย่างง่ายโดยใช้วิตามินซีเป็นตัวรีดิวซ์

2) ศึกษาผลของปริมาณของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 5, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิกรัม

3) ศึกษาการพิสูจน์เอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมด้วย XRD, FT-IR, Raman, SEM, TEM, UV-vis, EDX และศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วย TGA

4) ศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำโดยใช้ Static contact angles (CAs) และศึกษาความสามารถในการดูดซับน้ำมัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้รับองค์ความรู้เกี่ยวกับการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมด้วยกระบวนการให้ความร้อนอย่างง่าย โดยการใช้วิตามินซีเป็นตัวรีดิวซ์

2) ได้รับองค์ความรู้เกี่ยวกับการพิสูจน์เอกลักษณ์ วิธีการทดสอบทางความร้อน และทดสอบสมบัติความไม่ชอบน้ำ

3) สามารถนำพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ในการดูดซับน้ำมัน และสามารถแยกน้ำกับน้ำมันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับตัวดูดซับ

ตัวดูดซับ (adsorbent) หมายถึง สารที่มีความสามารถในการดูดซับ เป็นสารที่สามารถดูดซับหรือกักเก็บสารอื่นไว้ที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้าของสารได้ในปริมาณมาก เป็นสารที่มีพื้นที่ผิวสูง มีรูพรุนภายในมาก ซึ่งกระบวนการดูดซับเกิดขึ้นเมื่อมีการสัมผัสกันโดยตรงบริเวณผิวสัมผัสระหว่างสารถูกดูดซับกับตัวดูดซับ โมเลกุลของสารถูกดูดซับส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับพื้นผิวภายในรูพรุนของตัวดูดซับ และบางส่วนจะเกาะจับอยู่ที่พื้นผิวภายนอกของตัวดูดซับ

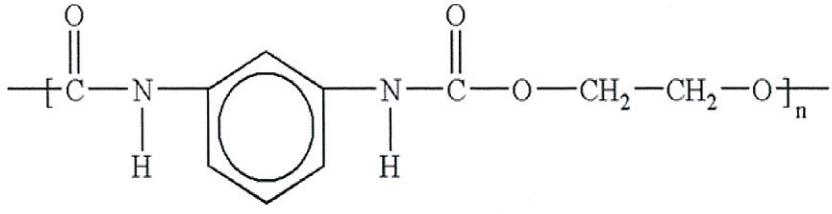
ข้อจำกัดของตัวดูดซับขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ธรรมชาติของสารถูกดูดซับกับตัวดูดซับ ความสามารถในการดูดซับน้อย ประสิทธิภาพในการแยกต่ำ พื้นที่ผิวของตัวดูดซับน้อย ตัวดูดซับไม่มีความเสถียร พลังงานกระตุ้นของตัวดูดซับ พลังงานศักย์ของอันตรกิริยาระหว่างสารถูกดูดซับกับตัวดูดซับ และสภาวะในการดูดซับ อาทิ อุณหภูมิ ความดัน ความเข้มข้น โดยตัวอย่างของตัวดูดซับที่นิยมใช้ ได้แก่ ดินเหนียว ซีโอไลต์ วัสดุธรรมชาติ และพอลิเมอร์สังเคราะห์ เป็นต้น

2.2 โฟมดูดซับ [8]

พอลิเมอร์สังเคราะห์ในรูปแบบโฟมดูดซับมีหลากหลายชนิดอย่างเช่น พอลิยูรีเทนโฟม (Polyurethane Foam) เมลามีนโฟม (Melamine Foam) และพอลิโพรพิลีนโฟม (Polypropylene Foam) เป็นต้น พอลิยูรีเทน เกิดจากปฏิกิริยาของพอลิออลกับไอโซไซยาเนตหรือพอลิเมอริกไอโซไซยาเนต ที่มีการใช้ตัวเร่งให้ได้เป็นพอลิยูรีเทน จัดเรียงตัวได้สายโซ่ยาวขึ้นเป็นพอลิยูรีเทนโฟม ดังแสดงในรูปที่ 2.1 พอลิยูรีเทนโฟมเป็นโฟมดูดซับที่มีการนิยมนำมาใช้งานเป็นอย่างมาก เนื้อพอลิเมอร์ของโฟมพอลิยูรีเทนไม่แน่นมากนัก มีลักษณะของโครงสร้างตาข่ายหนาแน่นสามมิติ และเชื่อมขวาง (cross-linked) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โครงสร้างเช่นนี้ทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสสูงขึ้น ช่วยให้ดูดซับและทำความสะอาดดียิ่งขึ้น โดยพอลิยูรีเทนส่วนใหญ่เป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมเซ็ต ที่ไม่สามารถหลอมเหลวและขึ้นรูปใหม่ได้ ซึ่งมีการผลิตพอลิยูรีเทนออกมาในหลากหลายรูปแบบได้แก่ สารเคลือบป้องกันสารเคมี กาว สารผนึก อีลาสโตเมอร์ โฟมแข็ง (Rigid Foam) และโฟมยืดหยุ่น (Flexible Foam) ซึ่งโฟมยืดหยุ่นเป็นโฟมที่นิยมนำมาผลิตโฟมดูดซับน้ำมันรั่วไหลในทะเล พอลิยูรีเทนโฟมนั้นสามารถพบเห็นได้ทั่วไปตามท้องตลาด หาง่าย ราคาถูก มีสมบัติเด่นมากมาย เช่น มีความยืดหยุ่นดี มีน้ำหนักเบา กันฉนวน ดูดซับเสียง ไม่ลามไฟ แข็งแรง ทนทาน ไม่เป็นพิษ รองรับน้ำหนักดี มีความคงตัว มีอายุการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้งานมากกว่า 10 ปี โดยไม่ต้องบำรุงรักษาแต่อย่างใด และความหนาแน่นมีความสม่ำเสมอเท่ากันทั้งปริมาตร ทำให้เนื้อโฟมมีประสิทธิภาพทั่วพื้นที่



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของพอลิยูรีเทนโฟม (Polyurethane) [9]

รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของแผ่นพอลิยูรีเทนโฟม [10]

2.3 สมบัติความชอบน้ำและความไม่ชอบน้ำของวัสดุ [11,12]

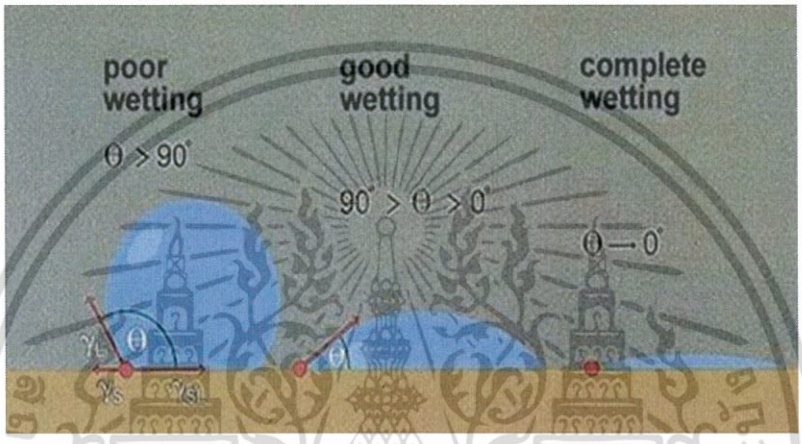
สมบัติความชอบน้ำและความไม่ชอบน้ำของวัสดุ (Hydrophilic and Hydrophobic Properties) สมบัติความชอบน้ำหรือผิวไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) คือสารละลายในน้ำได้ดี เนื่องจากเป็นสารมีขั้ว และความไม่ชอบน้ำหรือผิวไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) สารที่ไม่ละลายในน้ำหรือละลายได้ไม่ดี เนื่องจากเป็นสารที่ไม่มีขั้ว โดยมีการเลียนแบบมาจากธรรมชาติ เช่น น้ำกลิ้งบนใบบัว ซึ่งโครงสร้างระดับจุลภาคของใบบัวนั่นมีเส้นขนเล็กประมาณ 5-20 ไมโครเมตร จำนวนมากกระจายอยู่ทั่วใบ แต่ละเส้นห่างกันประมาณ 20-40 ไมโครเมตร และเส้นขนเหล่านั้นมีสารลักษณะเป็นไขหรือขี้ผึ้ง (wax) ปกคลุมอยู่ด้านบน ซึ่งโดยธรรมชาติของสารประเภทขี้ผึ้งหรือไขนั้นจะมีสมบัติความไม่ชอบน้ำอยู่แล้ว หรืออาจสังเกตเห็นได้จากทรงหยดน้ำที่ลองหยดลงบนใบบัวจะมีลักษณะนูน ทั้งๆที่ปกตินั้นรูปทรงของหยดน้ำที่อยู่บนสารมีสมบัติความชอบน้ำจะมีลักษณะแผ่แบน การจำแนกสมบัติความชอบน้ำและความไม่ชอบน้ำของวัสดุได้จากค่ามุมสัมผัส (contact angle) ต่างๆดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) หากหยดน้ำกับวัสดุมีมุมสัมผัสระหว่างผิวน้อยกว่า 90 องศา หรือหยดน้ำมีลักษณะค่อนข้างแบนไม่โค้งนูนมาก แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติชอบน้ำ ในทางตรงข้ามหากหยดน้ำมีลักษณะเป็นเม็ดนูนเด่นชัดแสดงว่า ผิววัสดุมีสมบัติความไม่ชอบน้ำมาก

2) ถ้ามุมสัมผัสระหว่างผิวอยู่ระหว่าง 90-150 องศา แสดงว่าผิววัสดุมีสมบัติความไม่ชอบน้ำ

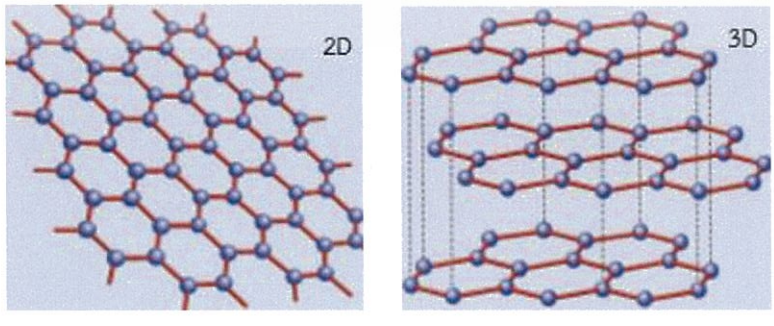
3) ถ้าหยดน้ำกับพื้นผิวมีค่ามุมสัมผัสระหว่างผิวตั้งแต่ 150-180 องศา แสดงว่าผิววัสดุนั้นมีสมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวดหรือเป็นซุปเปอร์ไฮโดรโฟบิก (superhydrophobic) ซึ่งใบบัวเป็นต้นแบบวัสดุธรรมชาติที่มีผิวแบบซุปเปอร์ไฮโดรโฟบิก แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงค่ามุมสัมผัส (contact angle) ของหยดน้ำบนพื้นผิวสัมผัส [12]

2.4 กราฟีน [13-16]

กราฟีน (Graphene) เป็นอัญรูปหนึ่งของวัสดุคาร์บอนที่ประกอบด้วยอะตอมคาร์บอนมีการจัดเรียงตัวกันในแลตทิซหกเหลี่ยมในระนาบสองมิติ (2D) มีลักษณะคล้ายรังผึ้ง ซึ่งมีไฮบริดไดเซชันเป็น sp^2 กราฟีนเป็นวัสดุที่มีความบางมากเนื่องจากมีความหนาเพียงคาร์บอน 1 อะตอม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.335 นาโนเมตร ดังรูปที่ 2.4



(a) (b)

รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างอัญรูปของคาร์บอน (a) แผ่นกราฟีน (b) กราไฟต์ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 สมบัติของกราฟีน

กราฟีนจัดเป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบันนี้ ทั้งนี้เป็นเพราะว่ากราฟีนมีสมบัติซึ่งเป็นเอกลักษณ์พิเศษดังต่อไปนี้

1) ความแข็งแรง กราฟีนมีค่าระดับความแข็งแกร่งสูงกว่าเหล็กถึง 5 เท่า (เทียบเท่าหรือมากกว่าเพชร) เบากว่า เหนียวกว่า และยืดหยุ่นกว่า แต่แม้จะแข็งแต่แผ่นกราฟีนกลับสามารถบิดงอม้วน หรือพับ ได้อย่างง่ายดายโดยไม่ทำให้โมเลกุลเสียหาย ทั้งยังเป็นผลิตภัณฑ์ที่รีไซเคิลได้ดีต่อสภาพแวดล้อม

2) ความโปร่งแสง สามารถมองเห็นได้ (แม้ว่ามีความบางขนาดอะตอมก็ตาม) ขณะที่ตัวกราฟีนก็โปร่งแสง ดูดกลืนแสงเพียงร้อยละสองถึงสามเท่านั้น กราฟีนจึงเหมาะกับการใช้เป็นแผงโซลาร์เซลล์กราฟีนชั้นเดียวสามารถมองทะลุได้โดยมีค่าการดูดซับแสงอยู่ที่ 2.3%

3) ความยืดหยุ่น กราฟีนมีความยืดหยุ่นสูง ยืดได้ร้อยละ 20 ของความยาว อีกทั้งยังเป็นวัสดุที่บางที่สุดเท่าที่มีการค้นพบ แม้ว่าในทางทฤษฎีจะไม่สามารถวัดความหนาของอะตอมได้แต่สามารถวัดระยะห่างระหว่างอะตอมได้ ทำให้สามารถประเมินคร่าวๆได้ว่าแผ่นกราฟีนหนาประมาณ 0.335 นาโนเมตร

4) การนำความร้อน กราฟีนนั้นนำความร้อนได้ดีมาก ซึ่งวัดค่าความนำความร้อนจำเพาะของกราฟีนได้สูงกว่า โลหะชนิดอื่นในปัจจุบัน และดีกว่าเพชร ซึ่งถือว่านำความร้อนได้ดีเยี่ยม ด้วยคุณสมบัตินี้จึงสามารถนำกราฟีนไปช่วยในระบบระบายความร้อนใน CPU รวมถึงนำไปใช้ในการระบายความร้อนเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆได้ง่าย

5) ความทึบ กราฟีนเป็นวัสดุที่ทึบมากที่สุด จึงเหมาะที่จะใช้เป็นตัวตรวจจับก๊าซความไวสูง เพราะแม้ปริมาณก๊าซน้อยมาก ๆ ก็ถูกจับไว้ในแลตทิซของกราฟีน

6) การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน กราฟีนมีความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนสูงมาก ทำให้นำไฟฟ้าได้มากกว่า มีประสิทธิภาพสูงกว่า เร็วกว่า และแม่นยำกว่าวัตถุอื่น ด้วยการที่มีความสามารถในการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนสูงมากจะทำให้สามารถสร้างทรานซิสเตอร์ที่ทำงานเร็วมากๆ

7) การนำไฟฟ้า มีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ดีมากกว่า ทองแดง 2 เท่าตัว และพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาได้ 2 เท่าตัว ความแข็งแรงมากกว่าเหล็กกล้าถึง 2 เท่า ถือว่าแข็งแรงมากที่สุดในโลก และเหนือกว่าเพชร อีกทั้งมีความยืดหยุ่นสูงถึง 20% จึงเหมาะกับการนำไปใช้ผสมในพอลิเมอร์ต่างๆในการนำไฟฟ้า เพื่อไม่ให้มีการขาดตอน และนำไฟฟ้าได้อย่างดี

8) พื้นที่ผิวสูง เนื่องจากกราไฟต์ 1 ชั้น เมื่อทำการลอกชั้นจะได้ชั้นของกราฟีนหลายๆชั้น ทำให้พื้นที่ผิวของกราฟีนสูงขึ้น มีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยาที่สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การประยุกต์ใช้กราฟีน

ในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้งานของกราฟีนที่หลากหลาย ตัวอย่างเช่น

1) ทางการแพทย์ กราฟีนช่วยปรับปรุงปฏิกิริยาลูกโซ่พอลิเมอเรส หรือ PCR โดยการเพิ่มผลผลิตของดีเอ็นเอ

2) แผงวงจรรวม จะสร้างกราฟีนเป็นตัวผสมวิทยุบรอดแบนด์ วงจรสามารถจัดการกับความถี่ได้ถึง 10 กิกะเฮิรตซ์ และประสิทธิภาพการทำงานจะไม่ได้รับผลกระทบกับอุณหภูมิที่สูงถึง 127 องศาเซลเซียส

3) ทรานซิสเตอร์ ซึ่งทรานซิสเตอร์ คือ อุปกรณ์สามารถสลับระหว่างสองสถานะทางอิเล็กทรอนิกส์ด้วยตัวของมันเอง อุปกรณ์ประกอบด้วยสองชั้นของกราฟีนที่แยกจากกันโดยชั้นฉนวนของโบรอนไนไตรด์ หนาเพียงไม่กี่อะตอม อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านอุปสรรคนี้ได้โดยการขุดอุโมงค์ควอนตัมทรานซิสเตอร์ใหม่เหล่านี้แสดง "conductance ความแตกต่างเชิงลบ" โดยที่การไหลของกระแสไฟฟ้าจะเท่ากัน ที่แรงดันที่จ่ายให้สองแรงดันที่แตกต่างกัน

4) ขั้วนำไฟฟ้าที่โปร่งใส กราฟีนมีการนำไฟฟ้าสูงและมีความโปร่งใสทางแสงสูง ทำให้มันเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งใสที่จำเป็นสำหรับการใช้งาน เช่น หน้าจอสัมผัส จอแสดงผลแบบคริสตัลเหลว เซลล์แสงอาทิตย์แบบอินทรีย์ และไดโอดเปล่งแสงแบบอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความแข็งแรงทางกลของกราฟีน และความยืดหยุ่นเป็นข้อได้เปรียบ เมื่อเทียบกับอินเดียมดีบุกออกไซด์ ซึ่งเปราะ และแผ่นฟิล์มกราฟีนอาจถูกทิ้งไว้ในดินให้เป็นอาหารของพืชต่อไป

5) การกลั่นเอทานอล เยื่อออกไซด์ของกราฟีนยอมให้ไอน้ำซึมผ่านไปได้ แต่ไม่ยอมให้ของเหลวหรือแก๊สอื่นแม้แต่ฮีเลียมซึมผ่านได้ ปรากฏการณ์นี้ได้ถูกนำมาใช้ในการกลั่นวอดก้าในขั้นตอนต่อไปเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่สูงขึ้น ในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่ต้องมีการใส่ความร้อนหรือสุญญากาศในวิธีการกลั่นแบบดั้งเดิม การส่งเสริมการพัฒนา และการค้าของเยื่อดังกล่าวอาจปฏิวัติเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพและอุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

6) กระบวนการแยกเกลือออกจากน้ำ การวิจัยแสดงให้เห็นว่าตัวกรองกราฟีนจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าเทคนิคอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ

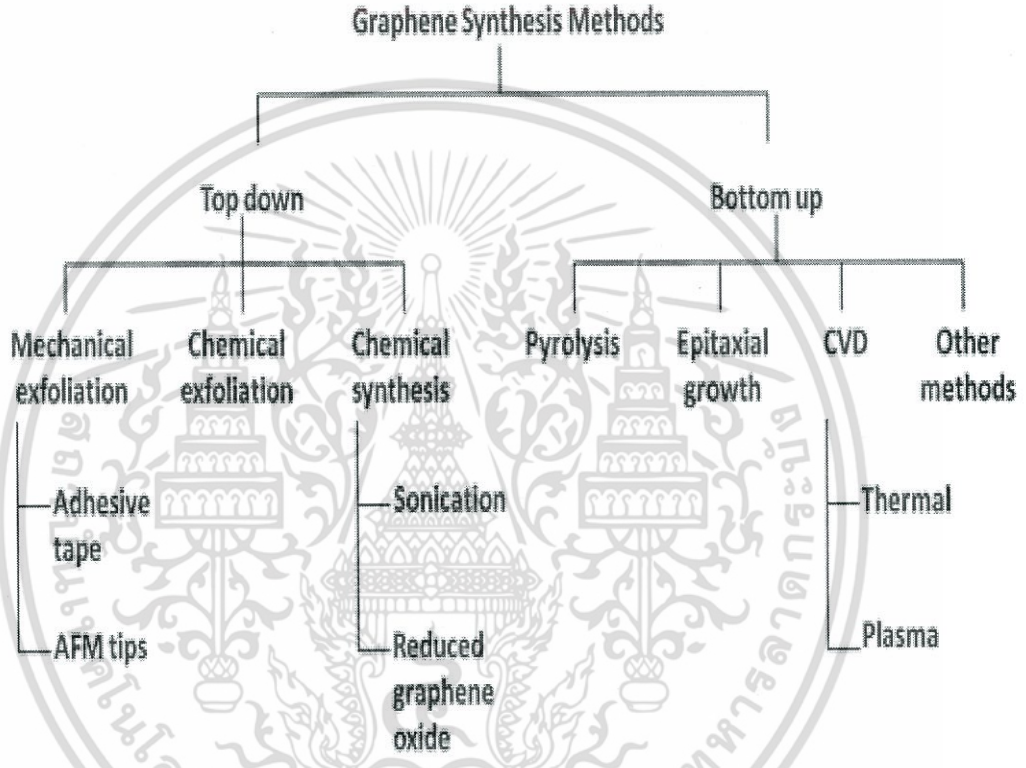
7) เซลล์แสงอาทิตย์ กราฟีนมีการผสมผสานที่เป็นเอกลักษณ์ของการนำไฟฟ้าสูง และความโปร่งใสของแสง ซึ่งทำให้มันเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์

2.4.3 การสังเคราะห์กราฟีน

ในการสังเคราะห์กราฟีน สามารถทำกันได้หลายวิธีดังรูปที่ 2.5 ซึ่งโดยแบ่งตาม กระบวนการสังเคราะห์วัสดุนาโน คือ กระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่าง (Top-down) และแบบล่างสู่บน (Bottom-up) ในกระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่างแบ่งเป็นการลอกแผ่นกราฟีนโดยตรง เช่น การใช้เข็ม AFM ลากแผ่นกราฟีนออกมา ใช้สก๊อตเทปลอกแผ่นกราฟีนจากกราไฟต์บริสุทธิ์ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสังคราะห์ทางเคมี เช่น การสั่นด้วยเสียงความถี่สูง (Sonication) และการรีดิวซ์จากกราฟีน-ออกไซด์ ส่วนกระบวนการสังเคราะห์แบบล่างสู่บน ได้แก่ กระบวนการไพโรไลซิส การปลูกฟิล์มบางกราฟีนแบบผลึกเดี่ยว การปลูกฟิล์มบางกราฟีนด้วยไอระเหยทางเคมี เป็นต้น ซึ่งวิธีกระบวนการสังเคราะห์แบบล่างสู่บนจะเป็นวิธีที่ซับซ้อนยุ่งยาก ต้องใช้เครื่องมือขั้นสูง และให้ปริมาณของกราฟีนจำนวนมาก แต่กระบวนการสังเคราะห์แบบบนลงล่างสามารถทำได้ง่ายกว่า สามารถทำในระดับห้องปฏิบัติการและงานวิจัยได้



รูปที่ 2.5 แสดงแผนภาพวิธีการสังเคราะห์กราฟีน [16]

2.4.3.1 การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีการทางเคมี

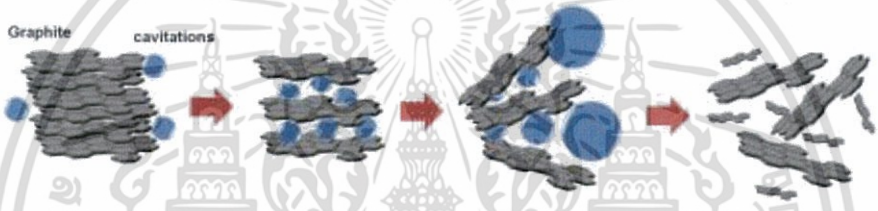
กราฟีนถูกสังเคราะห์ขึ้นครั้งแรกด้วยวิธี Micromechanical exfoliation หรือการลอกชั้นบางๆ ของกราฟีนออกจากกราไฟต์ ซึ่งวิธีนี้จะได้กราฟีนในปริมาณน้อย แต่อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะสังเคราะห์กราฟีนเพื่อให้ได้ปริมาณมาก โดยการใช้วิธีการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical synthesis) สามารถทำได้ในระดับห้องปฏิบัติการ ได้กราฟีนในปริมาณมากเพียงพอ และนำมาใช้ในงานได้หลากหลาย

1) การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีโซนิเคชัน

วิธีโซนิเคชัน (Sonication) หรือการใช้คลื่นเสียงที่ความเข้มสูงช่วยในการสังเคราะห์กราฟีน เนื่องจากคลื่นเสียงสามารถเดินทางผ่านไปในตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายได้ มีการถ่ายทอดพลังงานให้แก่ของเหลวทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความดันส่วนอัด (compression) และส่วนขยาย (rarefaction) จึงเกิดฟองสุญญากาศขนาดเล็กในของเหลวจำนวนมากโดยเฉพาะบริเวณส่วนอัด ซึ่งมีความดันสูง เรียกว่า Cavitation และเกิดการระเบิดของฟองอากาศในเวลาต่อมา โดยปกติ Cavitation หรือจุดความร้อนขนาดเล็กๆนี้จะมีอุณหภูมิสูงมากถึง 5,000 เคลวิน และอาจมีความดันถึง 2,000 atm ขึ้นอยู่กับความถี่หรือพลังงานของคลื่นเสียง ซึ่งการระเบิดของฟองอากาศทำให้โมเลกุลของเหลวมีความเร็วถึง 280 เมตรต่อวินาที [17] ดังรูปที่ 2.6 แสดงกระบวนลอกแผ่นกราฟีนจากกราไฟต์ด้วยวิธีการโซนิเคชัน ซึ่งเกิดฟองอากาศขนาดเล็กหรือ Cavitation และแรงระเบิดที่มากกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์ ทำให้สามารถลอกชั้นของกราฟีนออกได้ ปรากฏการณ์นี้นำมาใช้ในทาง Sonochemistry ทำอันตรกิริยาระหว่างพลังงานกับสสารด้วยจุดความร้อนที่เกิดขึ้นภายในฟองอากาศขนาดเล็ก เมื่อมีการลดอุณหภูมิด้วยอัตรามากกว่า 1,010 เคลวินต่อวินาที ซึ่งใช้สำหรับการสังเคราะห์อนุภาคระดับนาโนได้ [18]



รูปที่ 2.6 วิธีการสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีโซนิเคชัน [18]

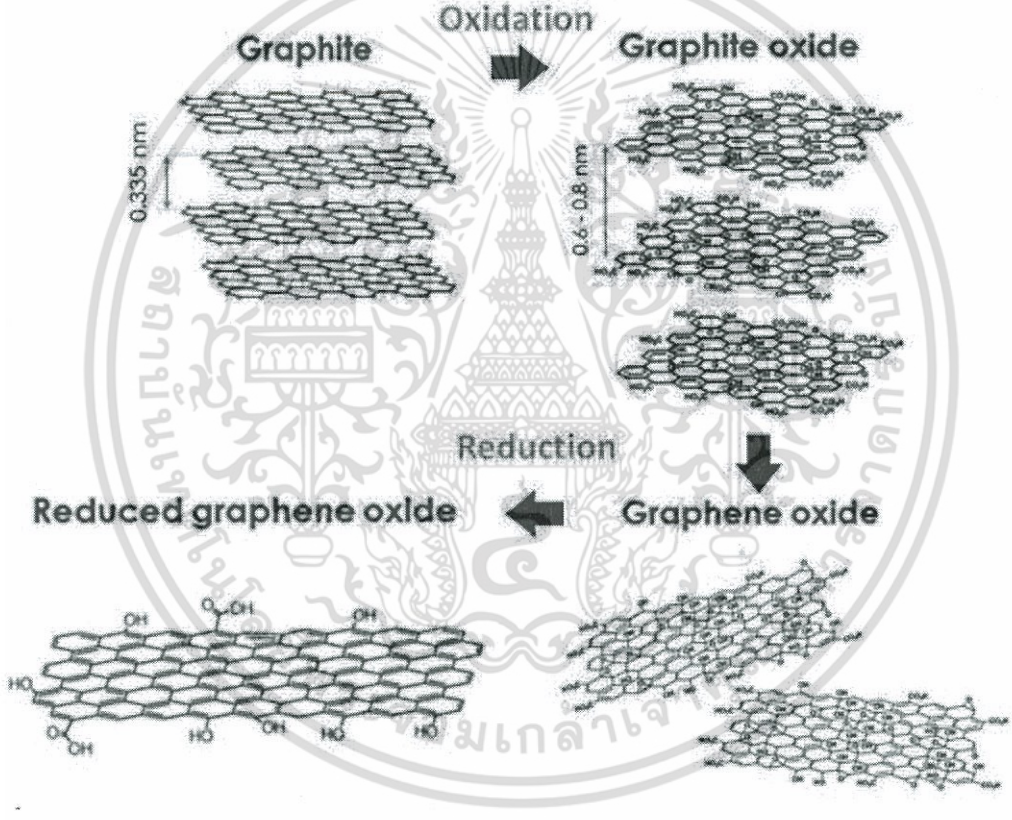
สำหรับการเตรียมกราฟีน การใช้คลื่นเสียงเป็นวิธีให้ผลแผ่นกราฟีนค่อนข้างใหญ่ และเป็นวิธีที่ง่าย และสังเคราะห์ได้ในปริมาณมาก ซึ่งได้มีการพัฒนาโดยสังเคราะห์ในสารละลายต่างๆ เช่น กรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ น้ำ และมีการฉายแสงเพื่อเพิ่มพลังงานให้แก่โมเลกุลทำให้สามารถแยกชั้นของกราฟีนออกจากกราไฟต์ได้ดีขึ้น การใช้วิธีโซนิเคชันในการสังเคราะห์กราฟีนจากกราไฟต์ในรูปแบบของสารละลาย โดยใช้ตัวทำละลายที่มีค่าพลังงานผิว (Surface energy) ตรงกับของกราฟีน ทำให้ได้ชั้นของกราฟีนที่หลุดลอกออกมา เป็นชั้นที่บางมาก และกระจายตัวได้ดีมาก และแสดงให้เห็นว่าชั้นของกราฟีนสามารถถูกลอกได้ในน้ำ และสามารถกระจายตัวได้ดี เมื่อมีการใช้สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) ภายใต้วิธี Sonication กราฟีนจะกระจายตัวอยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งง่ายต่อการนำไปผสมหรือคอมโพสิทกับสารชนิดอื่น เช่น อนุภาคนาโนของโลหะ พอลิเมอร์ เป็นต้น

2) การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี

กราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide) เป็นกราฟีนที่มีการดัดแปลงทางเคมี (Chemically modified graphene) เตรียมจากกระบวนการปฏิกิริยาออกซิเดชันของกราไฟต์ และลอกเป็นชั้นเดียวของกราฟีน ดังรูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างแผ่นคาร์บอนในกระบวนการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของกราไฟต์ด้วยการทำปฏิกิริยากับกรดแก่ จากแบบจำลองของ Lerf – Klinowski [19] แสดงหมู่ออกไซด์ที่มีการแทรกอยู่ระหว่างชั้นของกราไฟต์หรือบนผิวของแผ่นกราไฟต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเฉพาะหมู่ 1,2-epoxides และ hydroxyl ส่วนบริเวณขอบจะมีหมู่ carboxyl และ hydroxyl เกาะเป็นส่วนใหญ่ และอาจจะมี 5- และ 6-membered lactols ทำให้ค่า d-spacing จาก 0.335 นาโนเมตร ขยายถึง 2-3 เท่า เรียกสารที่ได้ว่า กราไฟต์ออกไซด์ (Graphite oxide) จากนั้นสามารถแยกชั้นของกราไฟต์ออกไซด์ในน้ำหรือในตัวทำละลายเป็นชั้นเดียวด้วยวิธีโซนิเคชันก็จะได้สารแขวนลอยสีน้ำตาลเข้มในน้ำ เรียกว่า กราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide) จากนั้นเมื่อทำปฏิกิริยารีดักชัน จะได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (Reduced graphene oxide) ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการรีดักชันหมู่ออกไซด์ส่วนใหญ่ที่อยู่บริเวณผิวของแผ่นกราฟีนออกไซด์จะหลุดออกจากโครงสร้างของแผ่น อาจมีหลงเหลือตามขอบบ้าง อย่างไรก็ตาม การทำรีดักชันสามารถทำด้วยการให้อุณหภูมิสูง มีการใช้สารรีดักแตนท์ที่เป็นอันตรายสูง การใช้คลื่นไมโครเวฟ และการใช้แสง เป็นต้น [19-20]

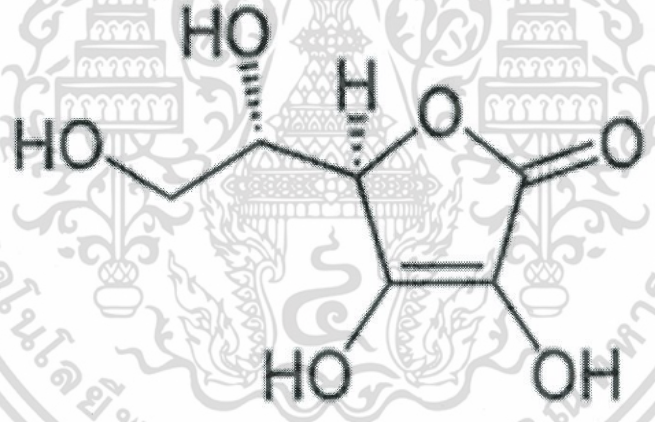


รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างกราไฟต์ กราไฟต์ออกไซด์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในกระบวนการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชัน [19-20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 วิตามินซี

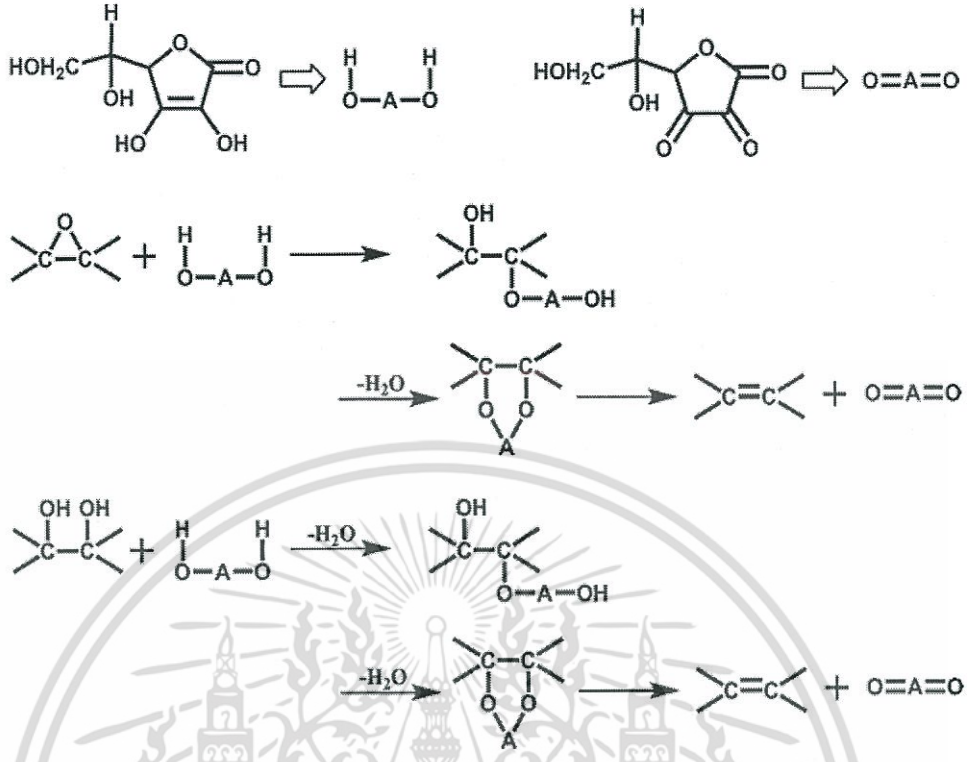
วิตามินซี (Vitamin C) หรือกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) เป็นสารที่มีฤทธิ์ในการรีดิวซ์ สูตรทางเคมี คือ $C_6H_8O_6$ น้ำหนักโมเลกุล 176.1 กรัมต่อโมล มีลักษณะเป็นผลึกสีขาว ไม่มีกลิ่น ดูดความชื้นในอากาศได้ สลายตัวได้ง่ายในสภาวะที่มีแสงสว่าง ความร้อน สารออกซิไดซ์ และด่าง เมื่อถูกแสงสว่างจัด สีของวิตามินซีจะเปลี่ยนจากสีขาวไปเป็นสีน้ำตาลหรือสีชา สามารถละลายได้ทั้งในตัวทำละลายที่เป็นน้ำ และแอลกอฮอล์ แต่ไม่ละลายในตัวทำละลาย เช่น ไขมัน คลอโรฟอร์ม อีเทอร์ ปิโตรเลียมอีเทอร์ และเบนซีน เป็นต้น มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 192 องศาเซลเซียส ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี เพราะในโครงสร้างของวิตามินซี เป็นสารประกอบอีนไดออล (Enediol) ซึ่งมีกลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl group) เชื่อมต่อในวงแหวนแลคโทน (Lactone ring) [21] ดังรูปที่ 2.8 โดยแหล่งของวิตามินซีมาจากทั้งในธรรมชาติ และการสังเคราะห์ ซึ่งในธรรมชาติพบได้ในพืช และสัตว์ โดยส่วนมากพบได้ในผัก และผลไม้ ได้แก่ เชอรี่ สตรอเบอรี่ กล้วย แอปเปิ้ล องุ่น กีวี ส้ม มะนาว ฝรั่ง มะขามป้อม มะขามเทศ มะละกอ และส้มโอ เป็นต้น



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างทางเคมีของวิตามินซี [21]

วิตามินซี หรือกรดแอสคอร์บิก จะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี ซึ่งมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งกราฟีนออกไซด์จะเปลี่ยนไปเป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์หมู่โดยไฮดรอกซิลหรือหมู่อีพอกซีจะถูกกำจัดแล้วทำให้เกิดการสร้างพันธะขึ้นมาใหม่เป็นพันธะ C=C ของวงอะโรมาติกในโครงสร้างของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



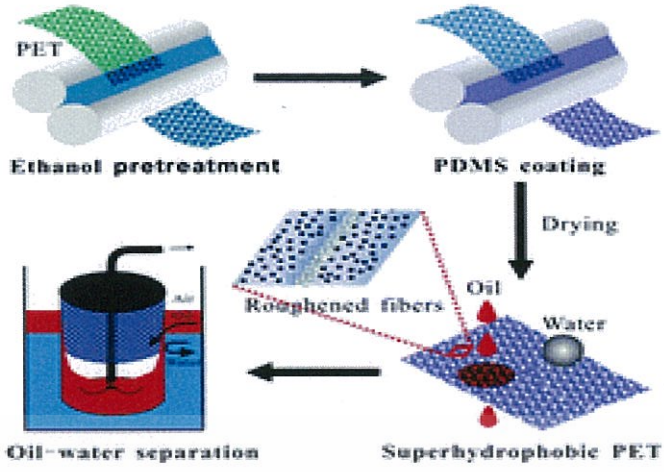
รูปที่ 2.9 แสดงกลไกการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยกรดแอสคอร์บิก [22]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Xi-Sen Wang และคณะ (2013) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำความสะอาดน้ำมันของพอลิเมอร์ที่มีรูพรุนสูง ที่มีพอร์ไฟรินเป็นองค์ประกอบหลัก โดยวิธีการ homo-coupling ซึ่งวัดค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่า 135° แสดงว่ามีความสามารถดูดซับน้ำมันและมีสมบัติความไม่ชอบน้ำสูง [4]

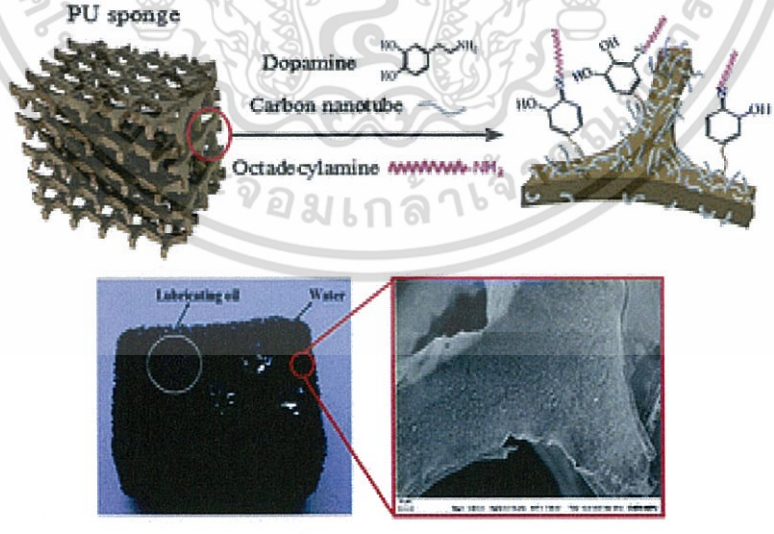
Cho-Hua Xue และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำของการเคลือบพอลิไดเมทิลไซโลเซนบนพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต ซึ่งใช้วิธีการทอเป็นเส้นใยโดยไม่มีตัวทำละลายที่ทำให้เกิดการแยกเฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งลักษณะหยาบของการเคลือบจะมีความทนทานที่สูงกว่าสำหรับการมีสมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด วัสดุที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวดและสมบัติชอบน้ำมันยิ่งยวด แสดงให้เห็นถึงความต่อเนื่องในการกรองน้ำมันกับน้ำได้ดีเยี่ยม ซึ่งงานวิจัยนี้จะมีขนาดใหญ่และมีการประยุกต์ใช้งานได้จริงสำหรับการเก็บสะสมน้ำมันออกจากน้ำ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการเคลือบพอลิไดเมทิลไซโลเซนบนพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต

Huaiyuan Wang และคณะ (2015) ได้ทำการศึกษาการเตรียมฟองน้ำพอลิยูรีเทนที่เสริมด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์ที่มีสมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวดและความชอบน้ำมันยิ่งยวด ดังแสดงในรูปที่ 2.11 สำหรับการเลือกแยกน้ำมันและน้ำ โดยใช้กระบวนการทางเคมี ซึ่งใช้ความร้อน และสารละลายที่มีฤทธิ์กัดกร่อนจากค่าพีเอชที่แตกต่างกัน เป็นวิธีการเตรียมอย่างรวดเร็วโดยวิธีการบีบ โดยผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าฟองน้ำพอลิยูรีเทนที่เสริมด้วยคาร์บอนนาโนทิวป์มีความสามารถในการดูดซับน้ำมันถึง 34.9 เท่าของน้ำหนัก มีความแข็งแรงเชิงกลที่สูงขึ้น เนื่องจากมีการเสริมโครงสร้างของคาร์บอนนาโน-ทิวป์ที่ยึดติดกับโครงสร้างของฟองน้ำ และยังสามารถนำฟองน้ำกลับมาใช้ในการแยกน้ำมันและน้ำ ได้ถึง 150 ครั้ง โดยยังคงความสามารถในการดูดซับที่สูง [3]



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของคาร์บอนนาโนทิวป์ที่ยึดติดกับโครงสร้างของฟองน้ำ

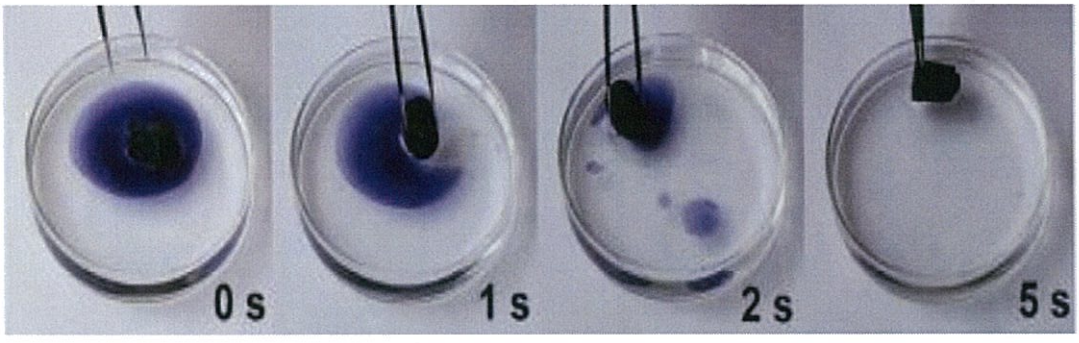
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Yu Yang และคณะ (2014) ได้ศึกษาการนำกลับมาใช้ใหม่ของโฟมที่ได้จากพอลิเมลามีน-ฟอร์มาดีไฮด์โฟม (PMF) ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิสภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน และบรรจุไนโตรเจน คาร์บอนจำนวนมากด้วยคลอโรไตรเมทิลสิเลน จนได้โฟมที่มีน้ำหนักเบาเป็นพิเศษ ทนความร้อน และสามารถอัดได้ (UFC Foam) ซึ่งจะทำการปฏิรูปการดูดซับน้ำมัน ที่ประกอบไปด้วย การดูดซับ/การกลั่น การดูดซับ/การเผาไหม้ การดูดซับ/การบีบอัด จากนั้นทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ พบว่าภายในโฟมจะมีการเชื่อมกันของรูพรุนภายใน มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำที่ 145.4° ธาตุองค์ประกอบที่อยู่ใน UFC Foam มีองค์ประกอบของไนโตรเจนที่สูง ทำให้ทนความร้อนได้ดีเยี่ยม มีความยืดหยุ่นที่ดี มีสมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวดและมีโครงสร้างรูพรุนเปิด ทำให้สามารถแยกน้ำกับน้ำมันได้ และสามารถดูดซับสารอินทรีย์ได้หลายชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.12 เมื่อทำการดูดซับเสร็จมีการบีบอัดตัวโฟม พบว่าโฟมสามารถที่จะกลับมาสู่สภาพเดิมได้ แสดงให้เห็นว่าโฟมที่ได้มีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง และมีสมบัติทางเชิงกลดีเยี่ยม เห็นได้จากทั้ง 3 วิธีการ เราสามารถที่จะประยุกต์การนำกลับมาใช้ใหม่ของโฟมได้ ดังนั้นโฟมที่ได้จะมีสมบัติความไม่ชอบน้ำ มีความจุการดูดซับที่สูง ราคาถูก และสามารถที่จะแยกระหว่างน้ำกับน้ำมันได้ [7]

รูปที่ 2.12 พอลิเมลามีนฟอร์มาดีไฮด์โฟม ที่ผ่านกระบวนการไพโรไลซิส

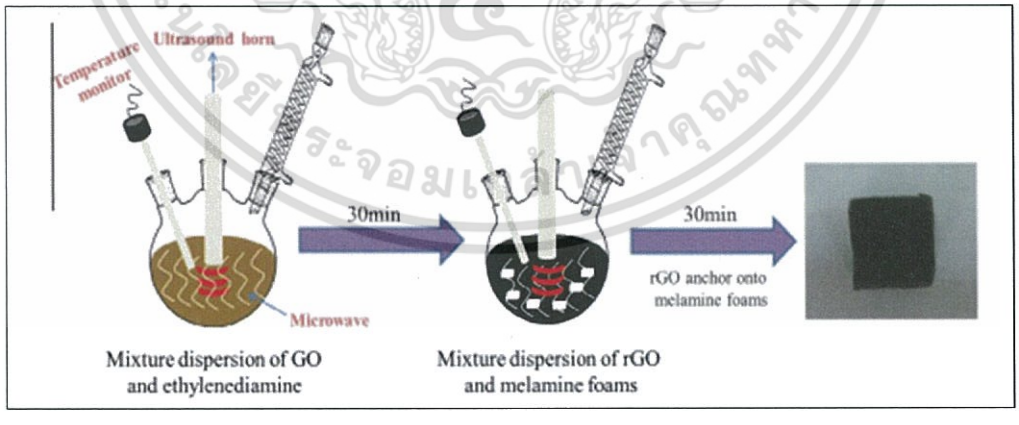
Shu Wan และคณะ (2016) ได้จัดทำงานวิจัยชิ้นนี้เพื่อศึกษาการพัฒนากระบวนการสังเคราะห์ และประสิทธิภาพการทำงานของกราฟีน และวัสดุนาโนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักในการดูดซับน้ำมัน และสารประกอบอินทรีย์ โดยนำกราฟีนออกไซด์เคลือบบนฟองน้ำพอลิยูรีเทนด้วยวิธีการ freeze dried จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจนได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่บนฟองน้ำพอลิยูรีเทน ซึ่งทำให้มีสมบัติเชิงกลดีขึ้น เมื่อนำไปทดสอบการดูดซับน้ำมันหรือสารอินทรีย์สามารถดูดซับได้ดี และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการให้ความร้อนเพื่อระเหยน้ำมันออก สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 99 เปอร์เซนต์ เมื่อใช้ซ้ำประมาณ 10 ครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.13 [5]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



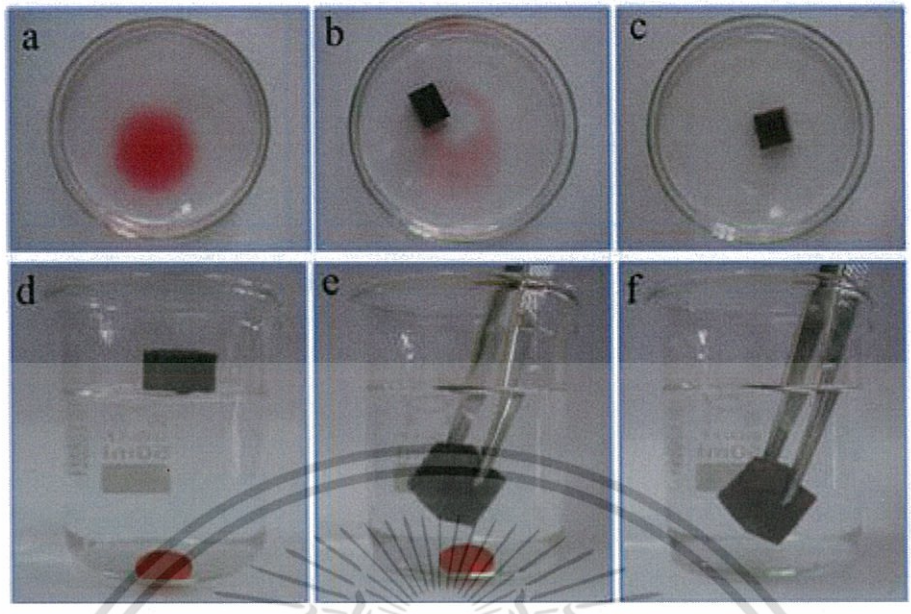
รูปที่ 2.13 แสดงกระบวนการดูดซับของโทลูอีนด้วยพอลิยูรีเทนโฟมน้ำภายในเวลา 5 วินาที

Shuang Song และคณะ (2016) ได้ศึกษาการใช้อัลตราโซนิคไมโครเวฟ ช่วยในการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์อย่างมีเสถียรภาพในการปรับเปลี่ยนเมลามีนโฟมให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำยิ่งยวดและความสามารถในการดูดซับน้ำมันที่สูง ซึ่งกราฟีนออกไซด์เตรียมได้จากกราไฟต์บริสุทธิ์โดยการเปลี่ยนแปลงวิธีฮัมเมอร์ การสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปรับเปลี่ยนเมลามีนโฟมจากการรีดิวซ์ด้วยเอทิลีนไดเอมีน (Ethylenediamine) โดยวิธีการทำงานร่วมกับอัลตราโซนิคไมโครเวฟ (Ultrasonic-microwave) และวิธีการจุ่มเคลือบ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 จากการทดลองพบว่าเมลามีนโฟมที่ถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ มีสมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวดสำหรับการแยกน้ำมันหรือน้ำ สามารถกักเก็บน้ำมันและตัวทำละลายอินทรีย์ออกจากน้ำได้ดี และสามารถนำมาใช้ในการดูดซับซ้ำได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 [1]



รูปที่ 2.14 แสดงวิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนเมลามีนโฟมด้วยวิธีการทำงานร่วมกับอัลตราโซนิคไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

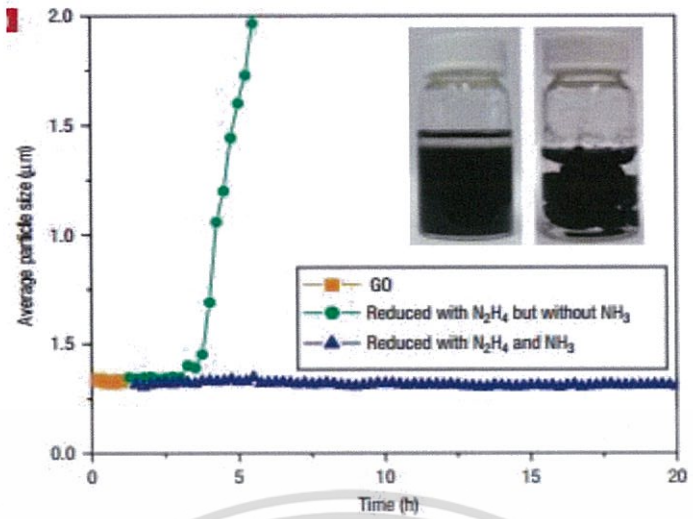


รูปที่ 2.15 แสดงภาพการจำเพาะเจาะจงในการเลือกดูดซับ (a,b,c) น้ำมัน (d,e,f) คลอโรฟอร์มในน้ำ

Dan Liและคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาการกระจายของของเหลวบนแผ่นกราฟีนที่เป็นไปได้ โดยใช้ไฮดราซีน ดังแสดงในรูป 2.16 ซึ่งแผ่นกราฟีนจะมีคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ความร้อน และเชิงกลที่โดดเด่นและคาดว่าจะสามารถใช้งานได้หลากหลายสิ่งที่จำเป็นสำหรับการประยุกต์ใช้งาน สำหรับแผ่นกราฟีนที่สามารถผลิตได้ในขนาดใหญ่ ปริมาณที่มาก การกระจายตัวของกราไฟต์ที่ไม่ชอบน้ำหรือแผ่นกราฟีนในน้ำ โดยไม่ต้องอาศัยสารกระจายตัว พิจารณาได้ว่าแผ่นกราฟีนมีการเปลี่ยนแปลงเคมีที่ได้จากกราไฟต์สามารถสร้างคอลลอยด์ที่มีเสถียรภาพในน้ำได้ โดยผ่านการรักษาเสถียรภาพแบบไฟฟ้าสถิต ซึ่งจะช่วยได้ เพื่อพัฒนาแนวทางที่ง่ายต่อการผลิตการกระจายตัวของกราไฟต์ในน้ำ โดยไม่จำเป็นต้องใช้พอลิเมอร์ หรือสารลดแรงตึงผิวเพื่อลดแรงตึงผิว การค้นพบครั้งนี้ทำให้สามารถได้วัสดุกราฟีน โดยใช้เทคนิคการประมวลผลการใช้สารละลายต้นทุนต่ำ เปิดโอกาสมหาศาลที่จะใช้นาโนคาร์บอนที่ไม่ซ้ำกัน สำหรับการใช้งานด้านเทคโนโลยีจำนวนมาก [23]

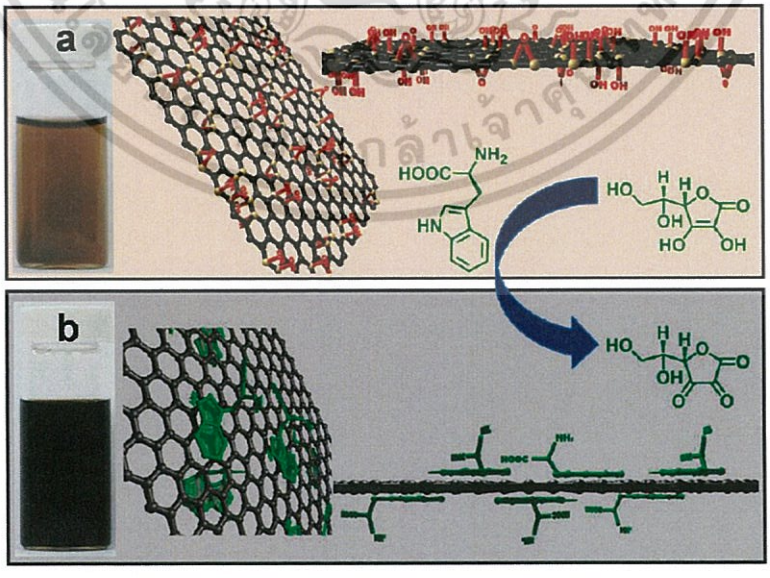
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.16 แสดงการเตรียมสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน

Jian Gao และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์กราฟีนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิตามินซีเป็นกรดรีดักซ์แตนท์ และกรดอะมิโนเพื่อรักษาเสถียรภาพ โดยหลีกเลี่ยงสารเคมีที่เป็นพิษ ซึ่งการเตรียมกราไฟต์ออกไซด์ได้จัดเตรียมตามวิธีการของฮัมเมอร์ (Hummers's method) จากนั้นนำกราฟีนที่ถูกสังเคราะห์มารีดิวซ์กราไฟต์ออกไซด์ด้วยกรดแอสคอร์บิก แล้วทำการอัลตราโซ-นิเคชัน (ultrasonication) (40 กิโลเฮิรตซ์, 600 วัตต์) เป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง จะเห็นว่าเกิดการกระจายตัวของกราไฟต์ในน้ำ เนื่องจากการเปลี่ยนสีน้ำตาลเป็นสีดำ เป็นเหตุผลว่ากราไฟต์ออกไซด์ถูกรีดิวซ์อย่างแน่นอน ดังแสดงในรูป 2.17 นอกจากนี้การกระจายตัวของกราฟีนยังมีความสเถียรภาพเป็นเวลาหลายเดือนอีกด้วย [22]



รูปที่ 2.17 แสดงภาพกระบวนการรีดักชัน (ก) สารแขวนลอยกราไฟต์ออกไซด์เริ่มต้น และ (ข) เสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

149478

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- พอลิยูรีเทนโฟม ยี่ห้อ Scotch Brite ของบริษัท 3 เอ็ม ประเทศไทย จำกัด
- สารเคมีและสมบัติ

Graphite, Sulphuric acid (Conc.H_2SO_4), Potassium permanganate ($KMnO_4$), Hydrogen peroxide (H_2O_2), Ethanol, Vitamin C (Ascorbic acid)

สารเคมี	Graphite	Potassium permanga-nate	Sulphuric acid	Hydrogen peroxide	Ethanol	Vitamin C
บริษัท	SIGMA-ALDRICH, Co.,	CARLO ERBA	QRëC	SIGMA-ALDRICH, Co.,	DUKSAN PURE CHAMICALS	Merck
สูตรโมเลกุล	C	$KMnO_4$	H_2SO_4	H_2O_2	C_2H_5OH	$C_6H_8O_6$
มวลโมเลกุล (g/mol)	12.01	158.03	98.08	34.0147	46.07	176.14
ความหนาแน่น (g/cm^3)	2.09-2.23	2.703	1.834	1.450	0.789	1.694
จุดหลอมเหลว (°C)	3652-3697	240	10	-0.43	79	190-192
CAS number	7782-42-5	7722-64-7	7664-93-9	7722-84-1	64-17-5	50-81-7
Code number	101402662	473387	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) บีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร จำนวน 3 ใบ
2) บีกเกอร์ 100 มิลลิลิตร จำนวน 3 ใบ
3) บีกเกอร์ 600 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ
4) ขวดรูปชมพู่ 150 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ
5) เทอร์โมมิเตอร์ จำนวน 1 อัน
6) เครื่องชั่งแบบดิจิตอล รุ่น ML204/01 ของบริษัท Mettle Toledo
7) แท่งแก้วคน จำนวน 1 อัน
8) กระบอกตวง 10 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
9) กระบอกตวง 100 มิลลิลิตร จำนวน 1 อัน
10) เครื่องปั่นกวนปรับความเร็วได้ ของบริษัท LMS CO., LTD.
11) ตู้ดูดควัน
12) ตู้อบลมร้อน
13) สแตน จำนวน 1 อัน
14) แคมป์ จำนวน 1 อัน
15) ช้อนตักสาร จำนวน 1 คัน
16) ถาดเพาะเชื้อ จำนวน 6 ใบ

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารแขวนลอยด์กราฟีนออกไซด์

3.3.1.1 การเตรียมกราไฟต์ออกไซด์ด้วยวิธีการปรับปรุงวิธีของฮัมเมอร์ (Hummer's method)

1) ชั่งผงกราไฟต์ 2 กรัม และโซเดียมไนเตรต 1 กรัม ผสมให้เข้ากัน
2) เทลงในขวดก้นกลม แล้วนำขวดก้นกลมไปหล่อเย็นโดยวางไว้บนถังน้ำแข็ง
3) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (Conc.H_2SO_4) 46 มิลลิลิตร พร้อมกับทำการปั่นกวน และหล่อเย็น
4) ค่อยๆเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) 6 กรัม พร้อมกับการปั่นกวนเป็นเวลา 20 นาที จะได้สารละลายสีดำอมเขียว
5) นำขวดก้นกลมออกจากถังน้ำแข็ง และนำขวดก้นกลมไปวางไว้ในอ่างน้ำร้อน 40 องศาเซลเซียส พร้อมกับทำการปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) เติมน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร และนำไปอุ่นในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสทำการปั่นกวนต่อเป็นเวลา 90 นาที

7) เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร และทำการปั่นกวนต่อเป็นเวลา 20 นาที

8) ค่อยๆเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) 10 มิลลิลิตร พร้อมกับทำการปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที สารละลายจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเหลือง

9) เติมกรดไฮโดรคลอริก 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร จำนวน 5 มิลลิลิตร พร้อมกับทำการปั่นกวน

10) เติมน้ำกลั่นเรื่อยๆ เพื่อทำการล้าง และรอให้เกิดการแยกชั้นของตะกอน

11) รินสารละลายด้านบนทิ้ง แล้วทำการกรองตะกอนแบบลดความดัน ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง

12) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 12 ชั่วโมง

13) นำตะกอนที่อบแห้งแล้วมาทำการบดละเอียด จะได้เป็นผงกราไฟต์ออกไซด์ลักษณะเป็นผงสีดำ

3.3.1.2 การเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonication)

1) ชั่งผงกราไฟต์ออกไซด์ 400 มิลลิกรัม จากนั้นเทลงไปในหลอดเซนทริฟิวส์ ขนาด 50 มิลลิลิตร

2) เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร พร้อมกับทำการหล่อเย็นโดยวางไว้บนถังน้ำแข็ง แล้วนำไปวางในตู้อัลตราโซนิก ทำการ Sonicated เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3) นำสารแขวนลอยที่ได้ไปทำการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) เพื่อแยกผงกราไฟต์ออกไซด์ที่เหลืออยู่ออกจากสารแขวนลอยด์ ที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ทำทั้งหมด 3 ครั้ง

4) รินสารละลายออกจากหลอดเซนทริฟิวส์จะได้สารแขวนลอยด์ของกราฟีนออกไซด์มีลักษณะเป็นสีน้ำตาลดำ

3.3.2 การเตรียมผิวพอลิยูรีเทนโฟม

1) ตัดพอลิยูรีเทนโฟม ให้มีขนาด ยาว 1 x กว้าง 1 x หนา 1 เซนติเมตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2) เติมเอทานอล ลงในขวดรูปชมพู่ให้ท่วมพอลิยูรีเทนโฟม และปิดปากขวดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์

3) นำไปวางในตู้อัลตราโซนิก (Ultrasonic bath) ทำการโซนิเคท เป็นเวลา 90 นาที

4) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ได้พอลิยูรีเทนโฟมที่ผ่านการเตรียมผิว ดังแสดงในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แสดงชิ้นงานพอลิยูรีเทนโฟม

3.3.3 การเตรียมสารละลายวิตามินซี

ชั่งผงวิตามินซี 2 กรัม ลงในบีกเกอร์ จากนั้นเติมน้ำกลั่นอีก 20 มิลลิลิตร คนให้ละลายเป็นเนื้อเดียวกัน ก็จะได้สารละลายวิตามินซีเข้มข้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

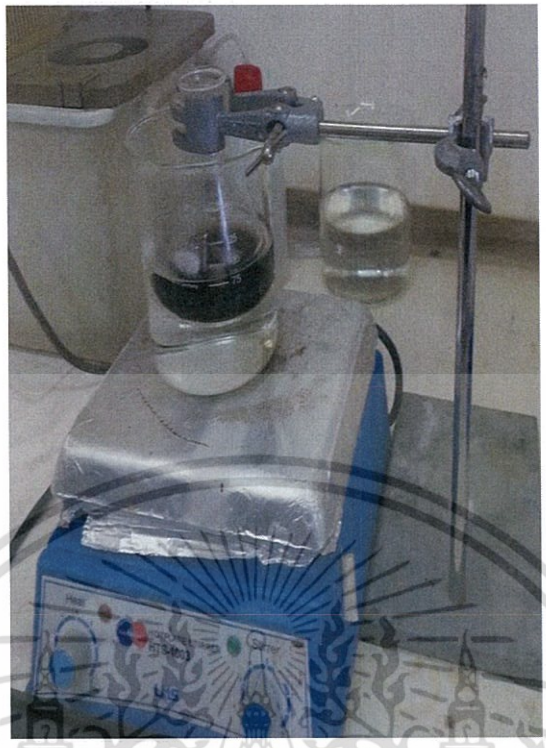
3.3.4 การปรับ pH สารละลายวิตามินซี

ค่อยๆหยดสารละลายวิตามินซี ลงในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ปรับให้ได้ pH เท่ากับ 3 (ใช้ประมาณ 30 หยด)

3.3.5 การเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม

1) นำพอลิยูรีเทนโฟมที่ผ่านการเตรียมผิว 5 ชิ้น ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 150 มิลลิลิตร
2) เติมสารละลายวิตามินซี จากข้อ 3.3.4 และทำการปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที
3) เติมสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ ตามสูตรดังตารางที่ 3.1 พร้อมกับทำการปั่นกวนเป็นเวลา 15 นาที
4) นำขวดรูปชมพู่ไปวางไว้ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และให้ความร้อนพร้อมกับทำการปั่นกวนเป็นเวลา 60 นาที พอลิยูรีเทนโฟมจะเปลี่ยนเป็นสีดำ ดังแสดงในรูป 3.2
5) ล้างพอลิยูเทนโฟมที่ได้ด้วยน้ำกลั่น และนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จะได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงชุดอุปกรณ์การเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนปริมาณสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์

สูตร	ปริมาณกราฟีนออกไซด์		สารละลายวิตามินซี (หยด)	ให้ความร้อน (นาที)
	มิลลิกรัม	มิลลิลิตร		
PU/rGO (5 mg)	5	1	30	60
PU/rGO (10 mg)	10	2	30	60
PU/rGO (15 mg)	15	3	30	60
PU/rGO (20 mg)	20	4	30	60
PU/rGO (30 mg)	30	6	30	60
PU/rGO (5 mg) *	5	1	-	60
PU/rGO (5 mg) **	5	1	30	-

หมายเหตุ * พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยมีการให้ความร้อน แต่ไม่มีการเติมสารละลายวิตามินซี

** พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยไม่ให้ความร้อน แต่มีการเติมสารละลายวิตามินซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์

3.4.1 ศึกษาสมบัติการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometer

เทคนิค UV-vis เป็นเทคนิคที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแสงและค่า intensity ในช่วงความยาวคลื่น 190-1000 นาโนเมตร ที่ทะลุผ่านหรือถูกดูดกลืนโดยตัวอย่างที่วางอยู่ในเครื่องมือ โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อนและสารอนินทรีย์ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นเหล่านี้ได้ โดยตัวอย่างกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่นำไปวิเคราะห์ที่มีการเจือจางบรรจุลงใน Cuvette จากนั้นนำเข้าเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วง 1.0-2.5 โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร เพื่อศึกษาการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี

3.4.2 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR)

เทคนิค FT-IR เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ตรวจสอบเกี่ยวกับโมเลกุลของสาร โดยอาศัยหลักการเกี่ยวกับการสั่น (vibration) ของหมู่ฟังก์ชันภายในโมเลกุลของสารตัวอย่าง เมื่อสารตัวอย่างได้รับพลังงานจากคลื่นรังสีอินฟราเรดที่พอเหมาะจะเกิดการสั่นของโมเลกุล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าโมเมนต์ขั้วคู่ (dipole moment) ของโมเลกุล ทำให้โมเลกุลเกิดการดูดกลืนแสงแล้ววัดแสงที่ส่งผ่านออกมาแสดงผล ซึ่งลักษณะสเปคตรัมการดูดกลืนแสงของสารแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติเฉพาะโมเลกุลของสสารจึงสามารถดูดกลืนแสงอินฟราเรดได้ที่ความถี่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของพันธะ และน้ำหนักของอะตอมในโมเลกุลนั้น โดยใช้ตัวอย่างในลักษณะที่เป็นผง ทำการเตรียมตัวอย่าง โดยบดผสมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ ทำการอัดเม็ด โดยนำเข้าเครื่องอัด Minipress แล้วนำตัวอย่างไปวางบนลำรังสีอินฟราเรด จากนั้นทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันของกราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.4.3 ศึกษาหมู่ฟังก์ชันของตัวอย่างด้วยเทคนิค Raman spectroscopy

เทคนิค Raman เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์วัตถุตัวอย่าง เพื่อการวิเคราะห์หาชนิดของตัวอย่างที่เป็นของแข็ง และวัสดุต่างๆที่มีโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ซึ่งไม่แสดงให้สเปกตรัมในช่วงของอินฟราเรด โดยหลักการของรามานสเปกโตรมิเตอร์ตรวจสอบโดยการวัดการกระเจิงแสงแบบรามานของวัสดุหรือสารที่ใช้ในการตรวจสอบ จะใช้หาความยาวพันธะในโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว โดยตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์จะเป็นแผ่นโฟม เป็นแผ่นฟิล์มบางประมาณ 5-200 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 ศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง Transmission Electron Microscope (TEM)

เทคนิค TEM เป็นเทคนิคที่ศึกษาลักษณะสัณฐาน โครงสร้างจุลภาค ตลอดจนโครงสร้างผลึกของชิ้นงาน โดยตัดตัวอย่างให้มีขนาดบาง จากนั้นทำการตรวจวิเคราะห์

3.4.5 ศึกษาสมบัติความเป็นผลึกด้วยเทคนิค X-ray Diffraction (XRD)

เทคนิค XRD เป็นเทคนิคที่ใช้ในในการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบและแร่ สามารถแยกประเภท และชนิดของวัสดุได้ โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิดมีรูปแบบโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน และระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมที่จัดเรียงกันอย่างเป็นระเบียบแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดและประจุของอะตอม สารประกอบแต่ละชนิดจะมีรูปแบบ (XRD pattern) ที่เป็นเอกลักษณ์ของวัสดุนั้นๆ โดยตัวอย่างที่ใช้มีขนาด 2.3x2.3 เซนติเมตร แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD

3.4.6 ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา Scanning Electron Microscope (SEM)

เทคนิค SEM เป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาลักษณะทางสันฐานวิทยาและรายละเอียดของพื้นผิวตัวอย่างแผ่นพอลิยูริเทนโฟมที่มีขนาดเป็นแผ่นบาง นำตัวอย่างไปติดบน Stub จากนั้นทำการตรวจวัดด้วยกำลังขยายที่แตกต่างกัน

3.4.7 ศึกษาองค์ประกอบของธาตุ Energy Dispersive X-ray spectrometer (EDX)

เทคนิค EDX เป็นเทคนิคที่วิเคราะห์การหาองค์ประกอบของธาตุตัวอย่าง โดยจะนำแผ่นโฟมติดบนแผ่นวางตัวอย่าง จากนั้นทำการตรวจสอบองค์ประกอบของพอลิยูรีเทนโฟม

3.4.8 ศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermo gravimetric analysis (TGA)

เทคนิค TGA เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุโดยเฉพาะพอลิเมอร์ เมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิด้วยเครื่องชั่งที่มีความไวสูง สามารถวิเคราะห์หาจุดหลอมเหลว การสูญเสียน้ำหนักไปถึงการหาสารปนเปื้อนในตัวอย่างได้ โดยจะนำพอลิยูรีเทนโฟมมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆใส่ลงใน pan ประมาณ 1.80-2.90 มิลลิกรัม แล้วตั้งสภาวะของเครื่องปรับค่า heating rate 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ช่วงอุณหภูมิ 50-500 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะแก๊สไนโตรเจนและวัดอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.9 ศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน และการแยกน้ำมันออกจากน้ำ

3.4.9.1 ศึกษาค่ามุมสัมผัสของน้ำและน้ำมันต่อพื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิค Static contact angles (CAs)

เทคนิค CAs เป็นเทคนิคทดสอบค่ามุมสัมผัสของของเหลวบนผิววัสดุ ทดสอบมุมสัมผัสของของเหลวเหลวบนผิววัสดุทดสอบค่ามุมสัมผัสของน้ำ และน้ำมันต่อพื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยกราฟีนออกไซด์ โดยนำแผ่นพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ขนาดกว้าง 1 x ยาว 1 x หนา 1 เซนติเมตร นำไปทดสอบโดยหยดน้ำ และหยดน้ำมัน ที่ปริมาณ 6 ไมโครลิตร ลงบนแผ่นพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จากนั้นนำไปวิเคราะห์ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำและหยดน้ำมันด้วยเครื่องวัดค่ามุมสัมผัส

3.4.9.2 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่ถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

$$\text{Adsorption capacity} = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \quad [1]$$

โดย M_0 คือ น้ำหนักของโฟมก่อนการดูดซับ

M_1 คือ น้ำหนักของโฟมหลังจากการดูดซับ

ชั่งน้ำหนักพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ก่อนการดูดซับ จากนั้นนำพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาดูดซับน้ำมัน จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้มาคำนวณตามสมการ

3.4.9.3 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันบนผิวน้ำของพอลิยูรีเทนโฟมที่ถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

นำบีกเกอร์ในน้ำพร้อมชั่งน้ำหนัก จากนั้นเติมน้ำมันลงไปพร้อมชั่งน้ำหนักน้ำมันที่เติมลงไป นำพอลิยูรีเทนโฟมที่ถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ที่เตรียมได้ดูดซับน้ำมัน จากนั้นนำพอลิยูรีเทนโฟมมาชั่ง พร้อมทั้งชั่งน้ำที่เหลือในบีกเกอร์

3.4.9.4 ศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการดูดซับระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำและน้ำมันของของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

นำสารละลายสีย้อมในน้ำและน้ำมันใส่ลงในบีกเกอร์ a และ b ตามลำดับ จากนั้นนำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมที่เตรียมได้ จากนั้นทำการดูดซับสารละลายสีย้อมในน้ำ และน้ำมันในบีกเกอร์พร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.9.5 ศึกษาประสิทธิภาพการกรองแยกระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำ และคลอโรฟอร์มของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ที่เวลาต่างๆ

ใส่สารละลายสีย้อมในน้ำปริมาณ 20 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร จากนั้นเติมคลอโรฟอร์มปริมาณ 20 มิลลิลิตร ลงไปในบีกเกอร์ที่มีสารละลายสีย้อมในน้ำ จากนั้นนำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมที่เตรียมได้ ใส่ลงไปด้านในกรวยกรองจนแน่น แล้วนำมาตั้งบนกระบอกตวง จากนั้นเทสารละลายสีย้อมในน้ำกับคลอโรฟอร์มจากบีกเกอร์ที่เตรียมไว้ลงในกรวยกรอง

3.4.9.6 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับคลอโรฟอร์มในสารละลายสีย้อมในน้ำของของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

ใส่สารละลายสีย้อมในน้ำปริมาณ 40 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมคลอโรฟอร์มลงไปปริมาณ 2 มิลลิลิตร จากนั้นนำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมที่เตรียมได้ทำการดูดซับคลอโรฟอร์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

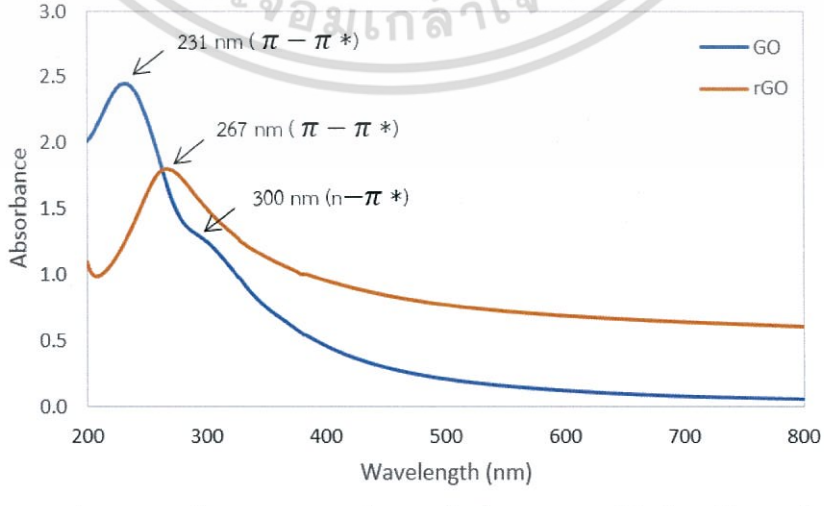
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียม และสังเคราะห์สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี และการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เพื่อวิเคราะห์พิสูจน์เอกลักษณ์ และสมบัติต่างๆของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และพอลิยูรีเทนโฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ ซึ่งในบทนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่องมือต่างๆ ได้แก่ ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอิน-ฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR), การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน (Raman spectroscopy), การวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-visible spectrophotometer), เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD), การศึกษาสมบัติทางความร้อน (TGA), การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM), การศึกษาองค์ประกอบของธาตุ (EDX), การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM), การศึกษาค่ามุมสัมผัสของน้ำ และน้ำมันด้วยเทคนิค Static contact angles (CAs) และการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน และการแยกน้ำมันออกจากน้ำ โดยมีรายละเอียดตามลำดับ ดังต่อไปนี้

4.1 ศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.1.1 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการดูดกลืนแสง

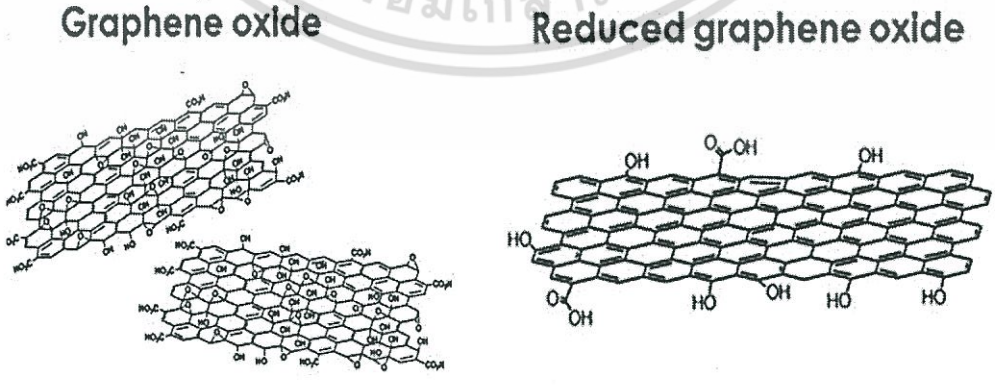
ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ของกราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ปริมาณวิตามินซี 30 หยด ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ภายใต้ความยาวคลื่น 200-800 นาโนเมตร ซึ่งให้ผลการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ (GO) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 เมื่อพิจารณาค่าการดูดกลืนแสง พบว่ากราฟีนออกไซด์จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 231 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะ π - π^* และจะพบพีคเล็กๆ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 300 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะ n – π^* เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนที่เกิดในสารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญมี 4 แบบ คือ σ – σ^*, n – σ^*, π - π^* และ n – π^* ซึ่งการเปลี่ยนสถานะนี้ใช้พลังงานต่างกัน [24] สำหรับการเปลี่ยนสถานะ σ – σ^* ซึ่งเกิดกับสารประกอบไม่อิ่มตัวใช้พลังงานมากที่สุด และเกิดที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 200 นาโนเมตร การเปลี่ยนสถานะ π - π^* เกิดกับสารประกอบที่มีพันธะคู่ พันธะสาม และอะโรมาติก เนื่องจากระดับพลังงานของ π - π^* ออร์บิทัลอยู่ระหว่าง σ และ σ^* ออร์บิทัล ดังนั้นการเกิด π - π^* ทรานซิชันจึงต้องการพลังงานน้อยกว่า n – σ^* ทรานซิชัน การที่อิเล็กตรอนหนึ่งตัวใน π - bonding ออร์บิทัลถูกกระตุ้นไปอยู่ใน π^* ซึ่งเป็นออร์บิทัลที่ต้านการสร้างพันธะ มีผลให้พันธะคู่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนอ่อนลง ซึ่ง π - π^* จะเกิดได้ที่ความยาวคลื่นตั้งแต่ 220 นาโนเมตรขึ้นไป ขึ้นอยู่กับว่าโมเลกุลมีพันธะคู่โดด (Isolated double bond) หรือพันธะคู่ต่อเนื่อง (Conjugated double bond) กับโครโมฟอร์มอื่น ถ้าโมเลกุลที่มีพันธะคู่ต่อเนื่อง อิเล็กตรอนใน π – ออร์บิทัลหนึ่งสามารถกระจายไปยัง π – ออร์บิทัลอื่นที่มีอยู่ในโมเลกุลนั้นได้ ทำให้พันธะคู่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนยิ่งอ่อนลง ทำให้พลังงานที่ใช้ในการทรานซิชันลดลง และการเปลี่ยนสถานะ n – π^* เกิดกับโมเลกุลที่มีทั้ง n – ออร์บิทัล และ π – ออร์บิทัล ซึ่งได้แก่ สารประกอบคาร์บอนิล (-C=O) และคาร์บอกซิล หลังจากทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จะดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 267 นาโนเมตร ซึ่งพบว่า π – π^* เกิดการเลื่อนตำแหน่ง (shift) ไปที่ความยาวคลื่นที่มากขึ้น (Red shift) แสดงให้เห็นถึงการเกิดพันธะคู่ (-C=C) ที่เพิ่มขึ้นในโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และพบว่าจะไม่ปรากฏพีคที่ตำแหน่งของ n – π^* ซึ่งแสดงให้เห็นว่า สารประกอบคาร์บอนิล และคาร์บอกซิล ถูกกำจัดออกไปจากโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงโครงสร้างทางเคมีของแผ่นกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สมบูรณ์ยืนยันได้จากสีของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ โดยสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์จะมีสีน้ำตาล เมื่อทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี จะเปลี่ยนเป็นสารแขวนลอยสีดำ ดังรูปที่ 4.3

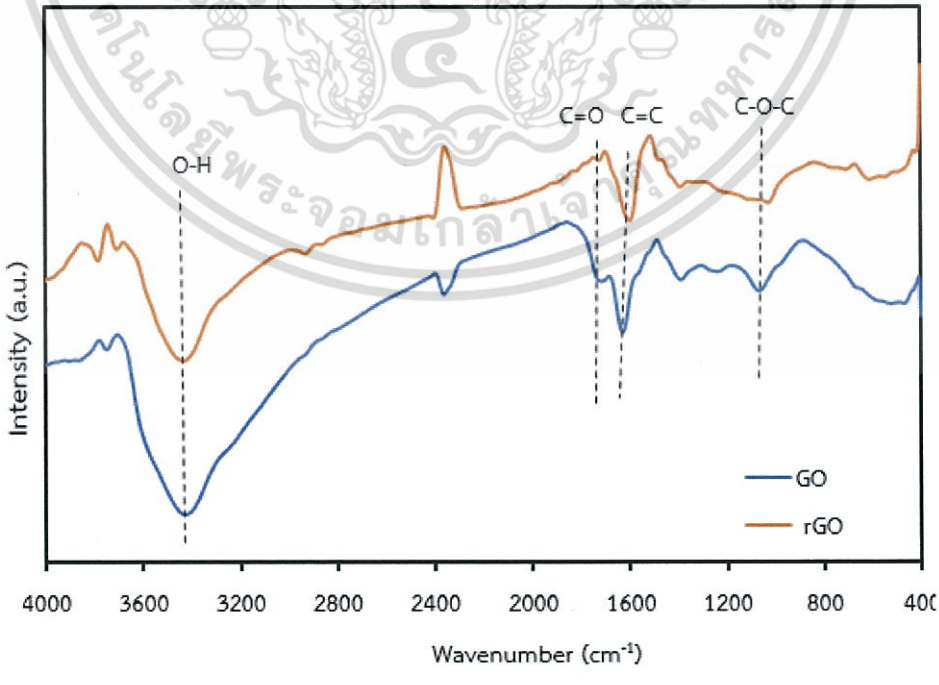
(a) (b)

รูปที่ 4.3 แสดงสีของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (a) และสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (b)

4.1.2 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานของการสั่นของโมเลกุล

4.1.2.1 กราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

การวิเคราะห์ FT-IR สเปกตราของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แสดงผลการตรวจวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

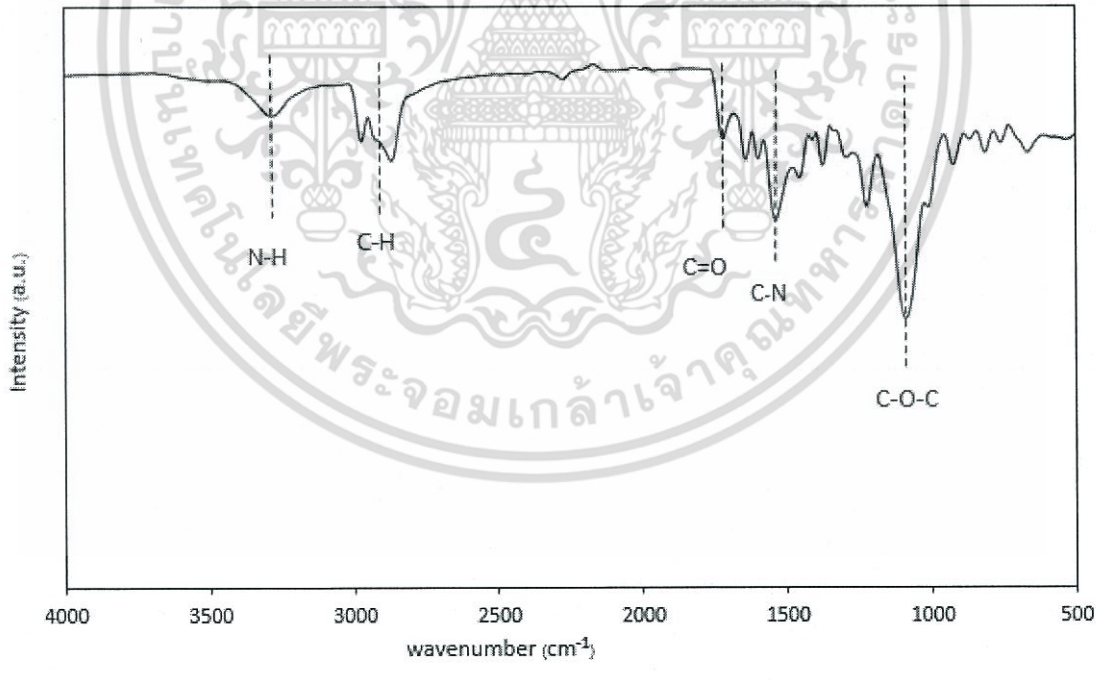


รูปที่ 4.4 แสดง FT-IR สเปกตราของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 พบว่าการสั่นของหมู่ฟังก์ชันภายในโมเลกุลของกราฟีนออกไซด์ที่ปรากกฏเลขคลื่นดังต่อไปนี้ ที่เลขคลื่น 3410 cm^{-1} เป็นการสั่นยืดของพันธะ O-H ของหมู่ไฮดรอกซิล และโมเลกุลของน้ำ ที่เลขคลื่น 1720 cm^{-1} เป็นการสั่นยืดของพันธะ C=O ของคาร์บอกซิลิกและคาร์บอนิล เลขคลื่น 1628 cm^{-1} เป็นการสั่นยืดของพันธะ C=C ของวงอะโรมาติก ซึ่งเป็นโครงสร้างของกราฟีน และที่เลขคลื่น 1063 cm^{-1} เป็นการสั่นยืดของพันธะ C-O-C ของหมู่อีพอกซี เนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของกราไฟต์ จึงทำให้มีหมู่ฟังก์ชันของสารประกอบคาร์บอนิล อีพอกซี และคาร์บอนิล เข้าไปแทรกชั้นของกราไฟต์ หลังจากการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี พบว่าตำแหน่งเลขคลื่นของการสั่นยืดของพันธะ O-H, C=O และ C-O-C จะลดลงหรือหายไป เนื่องมาจากหลังจากผ่านปฏิกิริยารีดักชัน กำจัดหมู่ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับออกซิเจนดังกล่าวถูกกำจัดออกไปจากโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ และมีการสร้างพันธะขึ้นมาใหม่ ในขณะที่การสั่นยืดของพันธะ C=C มีการเลื่อนไปทางที่เลขคลื่นต่ำกว่า เนื่องมาจากมีการสร้าง π-conjugate ขึ้น มีการเกิดเรโซแนนซ์เพิ่มขึ้น จึงทำให้พันธะคู่อ่อนลง พลังงานการสั่นยืดจึงลดลงนั่นเอง [23]

4.1.2.2 พอลิยูริเทนโฟม

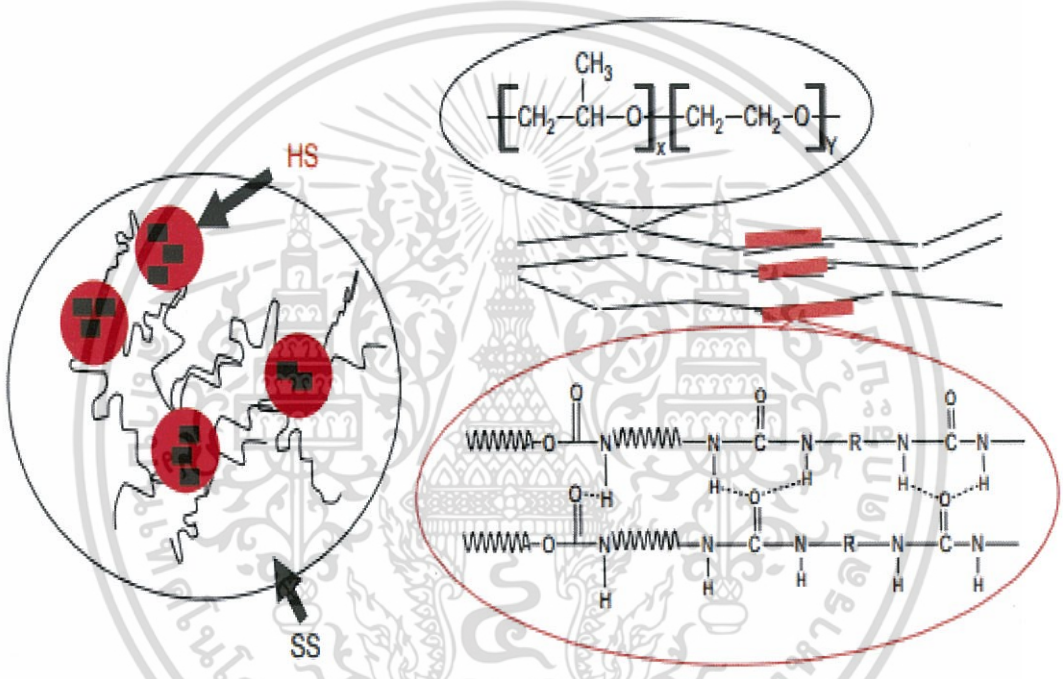


รูปที่ 4.5 แสดง FT-IR สเปกตรัมของพอลิยูรีเทนโฟม

จากรูปที่ 4.5 พบว่าหมู่ฟังก์ชันสั่นภายในโมเลกุลของพอลิยูรีเทนโฟมที่ปรากกฏเลขคลื่นดังต่อไปนี้ พบที่เลขคลื่น 3266 cm^{-1} เป็นการสั่นยืดของพันธะ N-H ของหมู่เอมีน ที่เลขคลื่น 2870 cm^{-1} เป็นการสั่นยืดของ C-H หมู่แอลเคน ที่เลขคลื่น 1720 cm^{-1} เป็นการสั่นยืดของ C=O ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

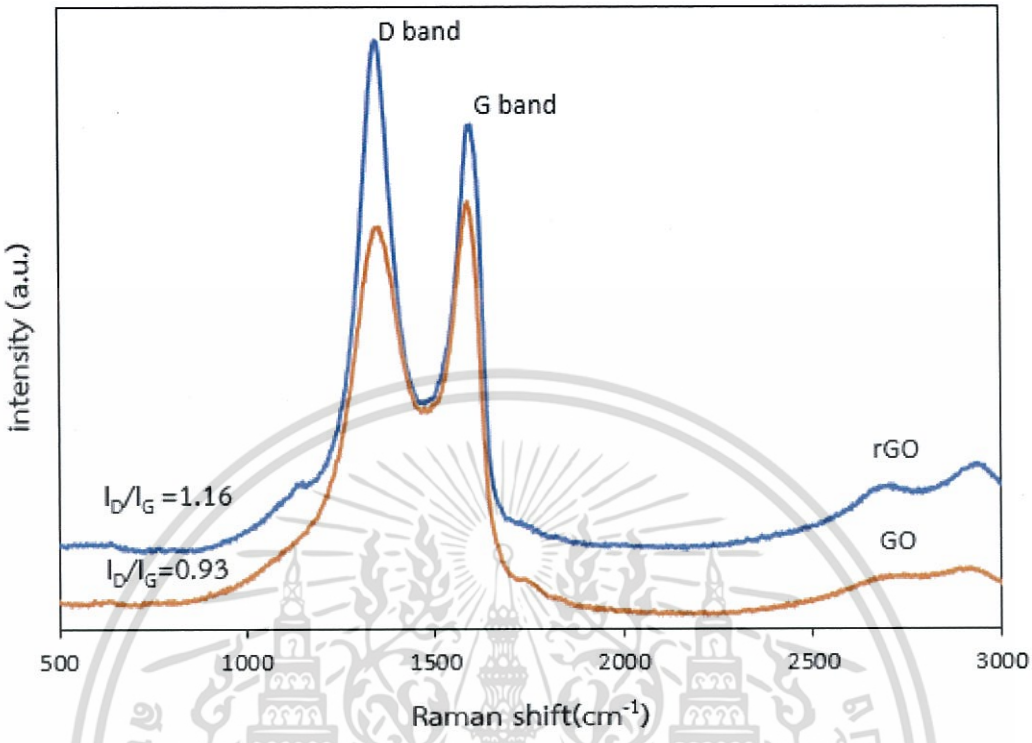
คาร์บอกซิลิก คาร์บอนิล ที่เลขคลื่น 1540 cm^{-1} เป็นการสั่นยืดของพันธะ C-N ของหมู่ไซยาไนด์ และที่เลขคลื่น 1070 cm^{-1} เป็นการยืดของพันธะ C-O-C ของหมู่อีเทอร์ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าความเข้มของพีคของ C-O-C จะเป็นแบบอีเทอร์ ซึ่งโครงสร้างของพอลิยูรีเทนโฟมแบบอีเทอร์นี้จะสอดคล้องกับงานวิจัยของ John Demassa และคณะ [25] ดังแสดงในรูปที่ 4.6 พอลิยูรีเทนโฟมแบบอีเทอร์มีหมู่อีเทอร์ที่เป็นเอกลักษณ์ ประกอบไปด้วย ส่วนที่แข็ง คือ Hard segments (HS) และส่วนที่นิ่ม คือ Soft segments (SS) ซึ่งส่วนที่แข็งจะเป็นเอกลักษณ์ของพอลิยูรีเทนโฟม และส่วนที่นิ่มจะเป็นเอกลักษณ์อีเทอร์



รูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างของส่วนที่แข็งและส่วนที่นิ่มของพอลิยูรีเทนโฟม [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

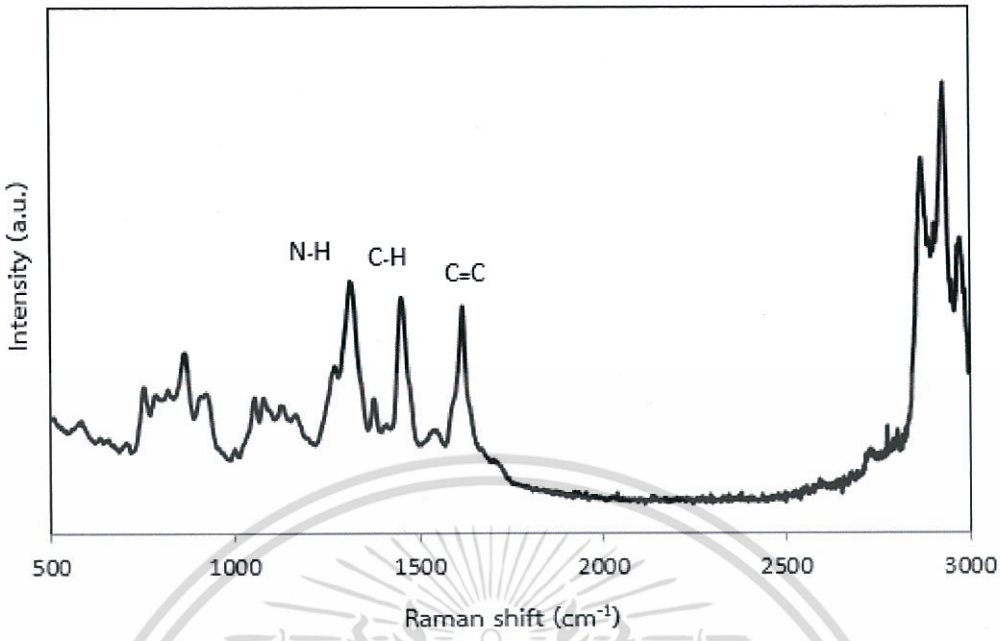
4.1.3 ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน



รูปที่ 4.7 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟีนออกไซด์ และ รีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์

จากรูปที่ 4.7 พบว่ากราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีพีคเอกลักษณ์ปรากฏ 2 พีค ที่ตำแหน่งประมาณ 1349 cm^{-1} และ 1592 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคเอกลักษณ์ของความไม่เป็นระเบียบของแผ่นกราฟีน เรียกว่า D band และพีคเอกลักษณ์ที่แสดงเอกลักษณ์ sp^2 ของกราไฟต์ เรียกว่า G band หลังจากกราฟีนออกไซด์ถูกรีดิวซ์เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จะมีอัตราส่วนของ I_D/I_G เพิ่มขึ้นจาก 0.93 เป็น 1.16 เนื่องมาจากกราฟีนออกไซด์ถูกรีดิวซ์เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งจะมีความไม่เป็นระเบียบที่เพิ่มขึ้น และขนาดของแผ่นมีขนาดเล็กลง [26]

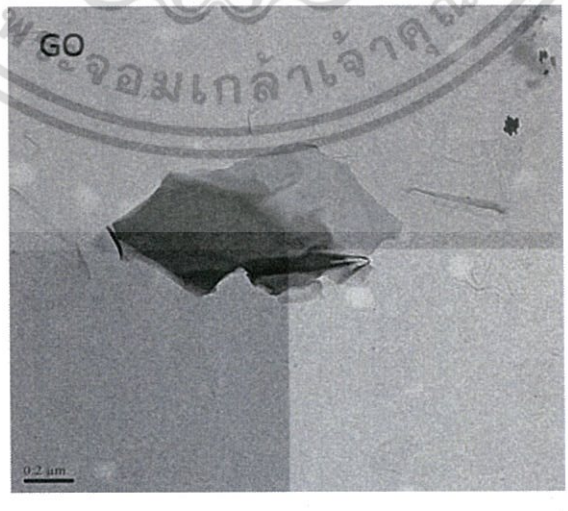
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของพอลิยูรีเทนโฟม

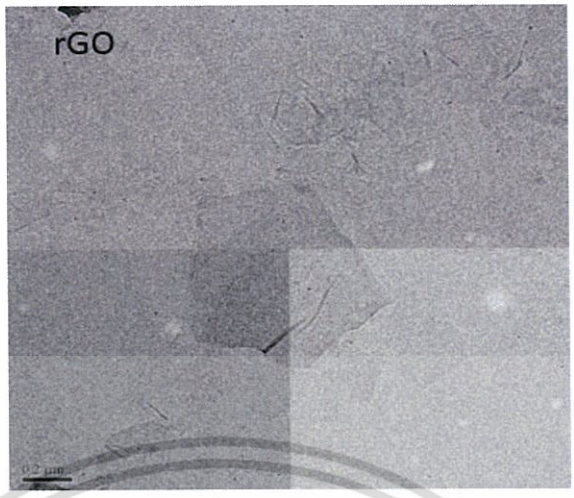
จากรูปที่ 4.8 พบว่าลักษณะพีคที่เป็นเอกลักษณ์ของพอลิยูรีเทนโฟมที่สามารถสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนมี 3 พีค คือ ช่วงตั้งแต่ประมาณ 1300-1650 cm^{-1} ได้แก่ พีคเอกลักษณ์การสั่นยืดของพันธะที่เกิดจาก N-H, C-H และ C=C ซึ่งตรงกับค่า Raman shift เท่ากับ 1320, 1450 และ 1620 cm^{-1} ตามลำดับ

4.1.4 ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค TEM



รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะทางกายภาพของแผ่นกราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะทางกายภาพของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผ่นกราฟีนออกไซด์ (GO) และแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) ตามลำดับ ด้วยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องผ่าน พบว่าภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพของแผ่นกราฟีนออกไซด์จะมีขนาดแผ่นใหญ่และทึบแสง ส่วนภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะเห็นภาพมีลักษณะโปร่งแสงสูง ซึ่งบอกถึงลักษณะแผ่นบางของชั้นรีดิวซ์กราฟีนต์ออกไซด์เพียงแผ่นเดียว และมีขนาดเป็นแผ่นเล็กกว่าภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพของแผ่นกราฟีนออกไซด์

4.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของพอลิยูรีเทนโฟมและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์บนพอลิยูรีเทนโฟม

รูปที่ 4.11 พอลิยูรีเทนโฟมก่อนและหลังการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

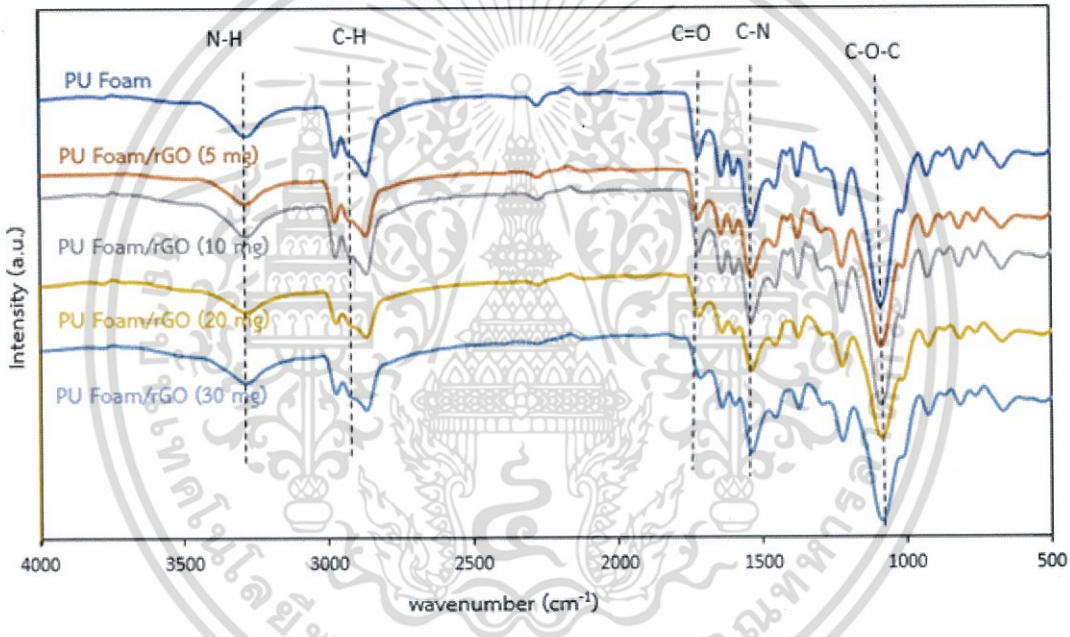
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.11 พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมก่อนถูกเคลือบมีสีขาวหลังถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์มีสีดำ เนื่องจากมีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกาะติดอยู่ที่เส้นใยของพอลิยูรีเทนโฟมจนเป็นเนื้อเดียวกัน

4.3 การศึกษาคุณลักษณะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม

4.3.1 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานของการสั่นของโมเลกุล

ผลการวิเคราะห์ FT-IR สเปคตราของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมในปริมาณที่ต่างกันคือ 5, 10, 20 และ 30 มิลลิกรัม ซึ่งแสดงผลการตรวจวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

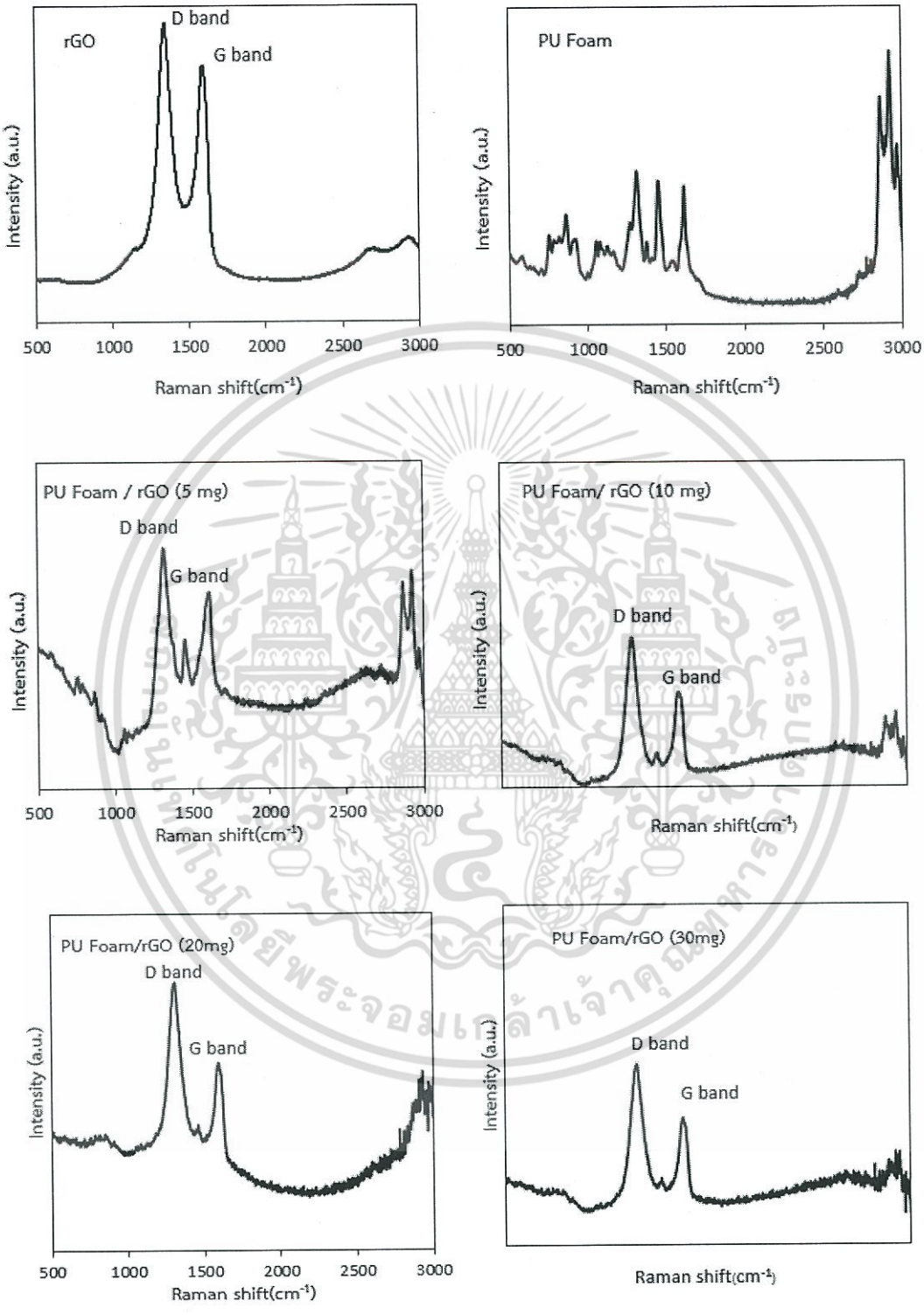


รูปที่ 4.12 แสดง FT-IR สเปกตราของพอลิยูรีเทนโฟมและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมในปริมาณที่ต่างกันคือ 5, 10, 20 และ 30 มิลลิกรัม

จากรูปที่ 4.12 แสดง FT-IR สเปกตราของพอลิยูรีเทนโฟมและรีดิวซ์การฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมในปริมาณต่างๆ จากผลวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าพอลิยูรีเทนโฟมก่อนและหลังจากการเคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จะไม่พบพีคเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เนื่องมาจากอาจมีปริมาณน้อยเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมก่อนการเคลือบ พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ มีพีคบางพีคจะมีการเลื่อนไปทางเลขคลื่นที่ต่ำลง และหมู่ฟังก์ชันบางหมู่จะมีแถบการดูดกลืนที่กว้างขึ้น อธิบายได้ว่ามีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่มีการเกิดอันตรกิริยาภายในที่เกิดขึ้นในส่วนที่แข็ง (HS) ที่มีวงอะโรมาติกนั่นแสดงได้ว่ารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนเส้นใยของพอลิยูรีเทนโฟมได้เป็นอย่างดี [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน

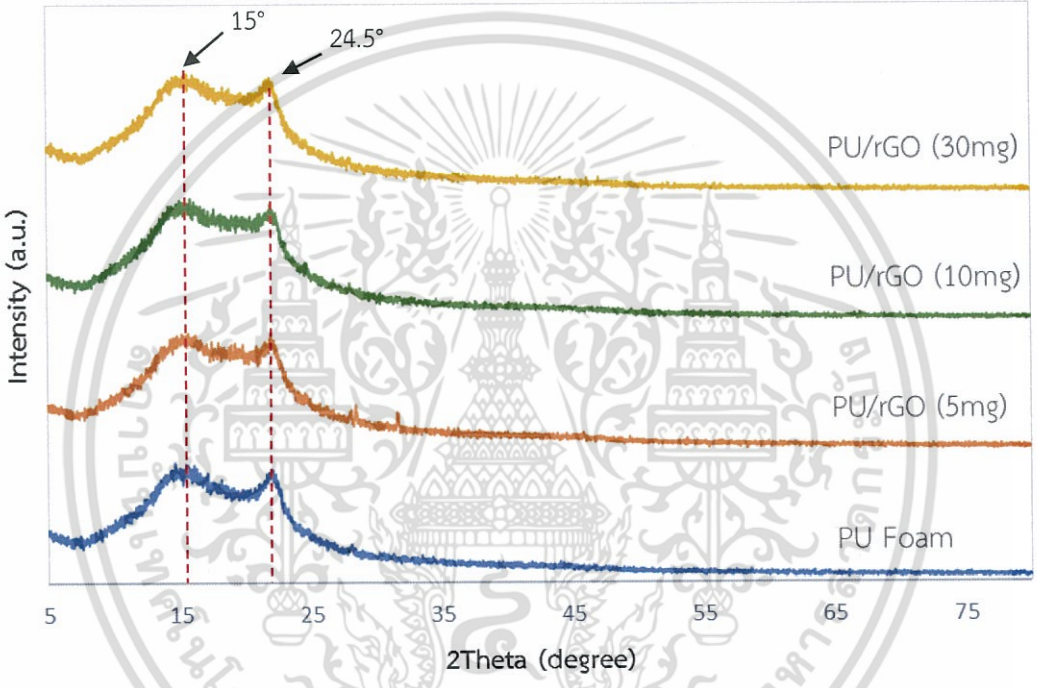


รูปที่ 4.13 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พอลิยูรีเทนโฟม พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 พบว่าพีคแถบการดูดกลืนบางพีคของพอลิยูรีเทนโฟมอาจลดลง เนื่องจากอาจจะถูกบดบังจาก D band และ G band ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซึ่งเกิดขึ้นในตำแหน่งใกล้เคียงกัน เมื่อเพิ่มปริมาณของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พีคของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้น ในขณะที่พีคของพอลิยูรีเทนโฟมจะลดลงที่แถบการสั่นประมาณ 1450 cm^{-1} มีสัดส่วนลดลง นั่นแสดงว่ารีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ นั้นเคลือบบนเส้นใยของพอลิยูรีเทนโฟม

4.3.3 ผลการศึกษาสมบัติความเป็นผลึก

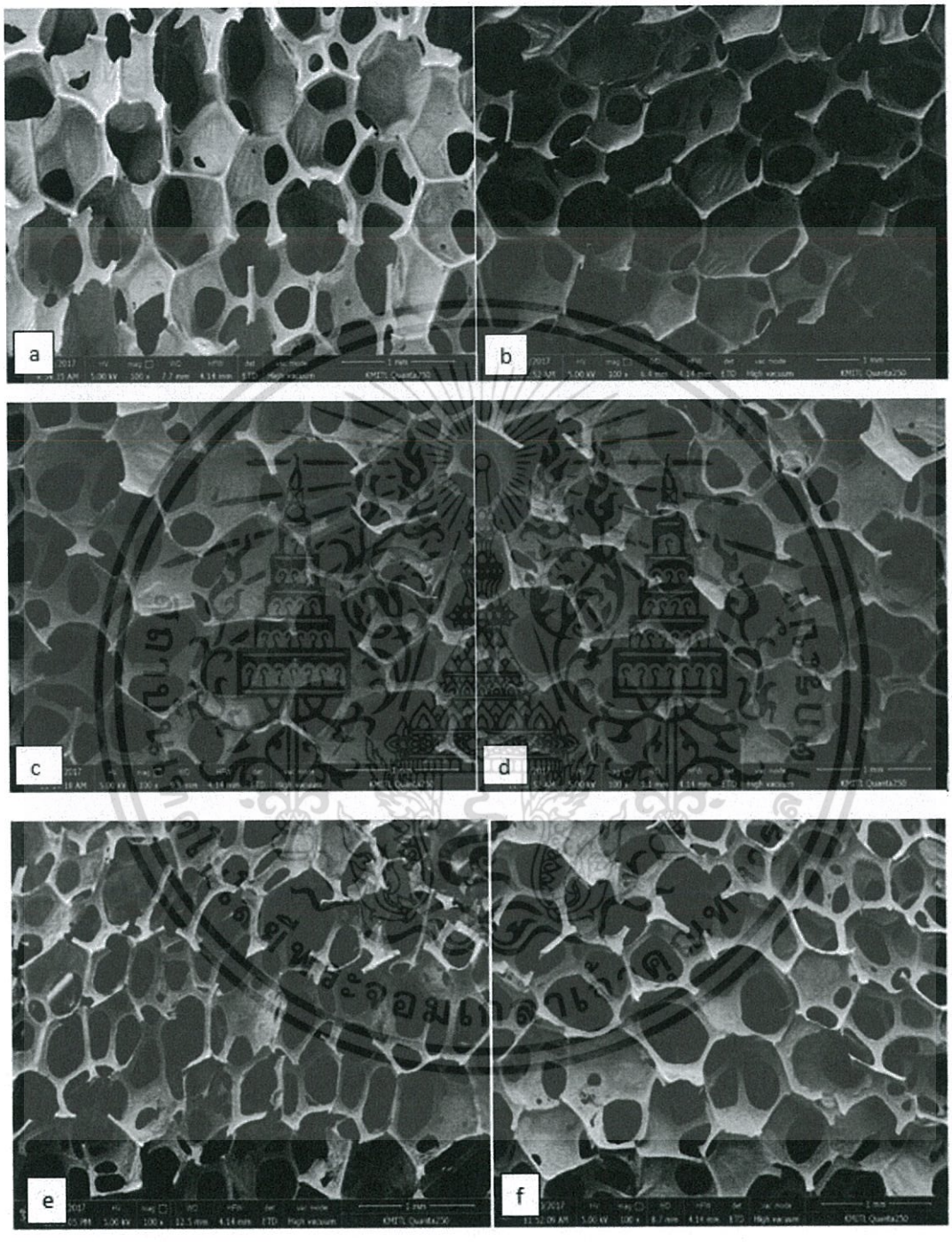


รูปที่ 4.14 แสดงรูปแบบ XRD ของพอลิยูรีเทนโฟมและพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ในปริมาณ 5, 10 และ 30 มิลลิกรัม

จากรูปที่ 4.14 ศึกษารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของพอลิยูรีเทนโฟม จะปรากฏพีคเอกลักษณ์ที่มุม 2θ เท่ากับ 15.0° และ 24.5° ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างทางเคมีของพอลิยูรีเทนโฟม ซึ่งพีคที่ปรากฏที่ 2θ เท่ากับ 15.0°คือส่วนที่มีความเป็นผลึกต่ำที่เกิดจากส่วนนิ่ม (Soft Segments) ของโครงสร้าง และที่มุม 2θ เท่ากับ 24.5° คือส่วนที่มีความเป็นผลึกสูงที่เกิดจากส่วนแข็ง (Hard Segmants) ของโครงสร้างพอลิยูรีเทนโฟม [27] และไม่พบพีคของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เลย เนื่องจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์นั้นมีปริมาณที่น้อยและมีส่วนที่เป็นอสัญฐานที่สูงมากเมื่อเทียบกับพีคเอกลักษณ์ของพอลิยูรีเทนโฟม

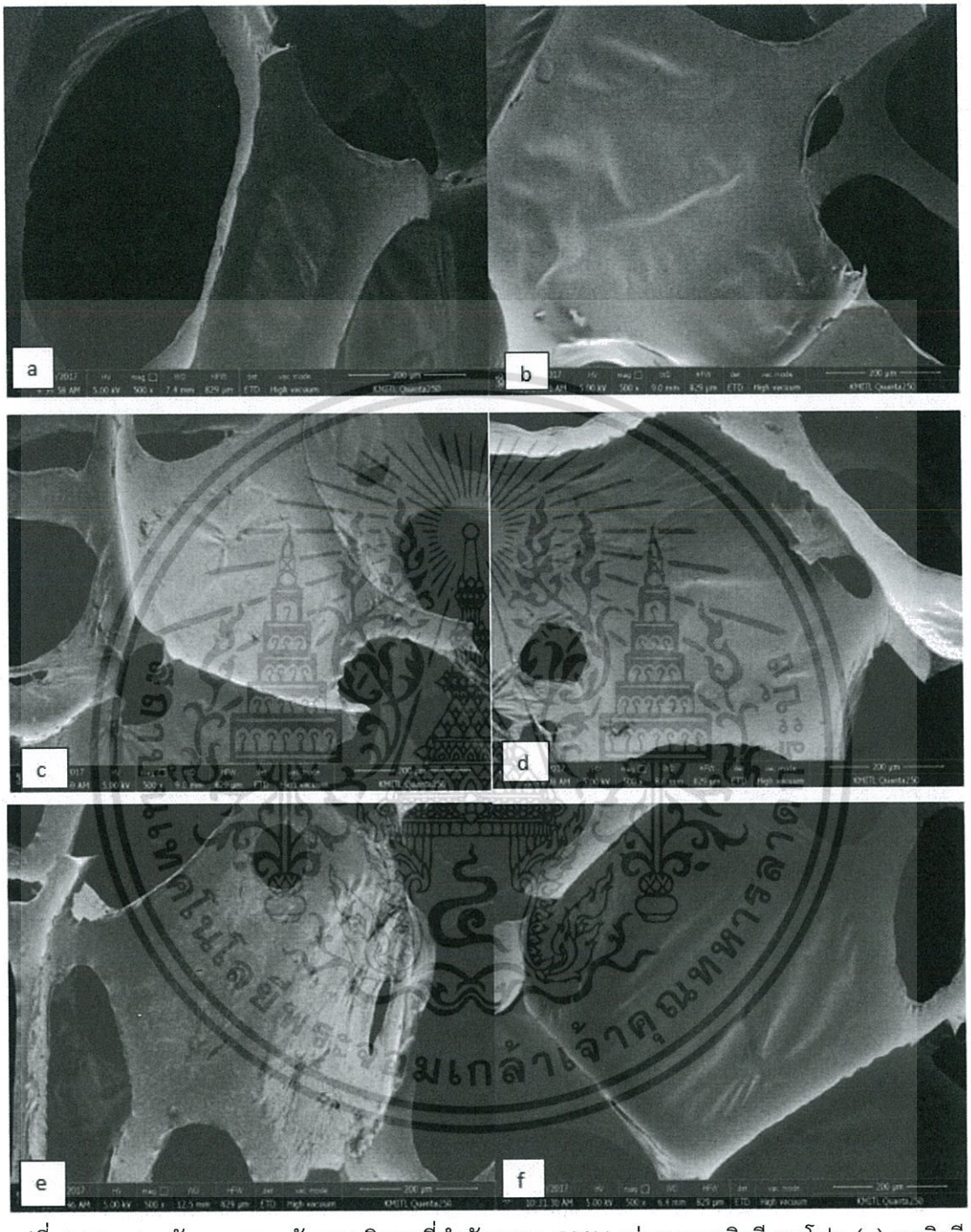
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4 ผลการตรวจพิสูจน์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา



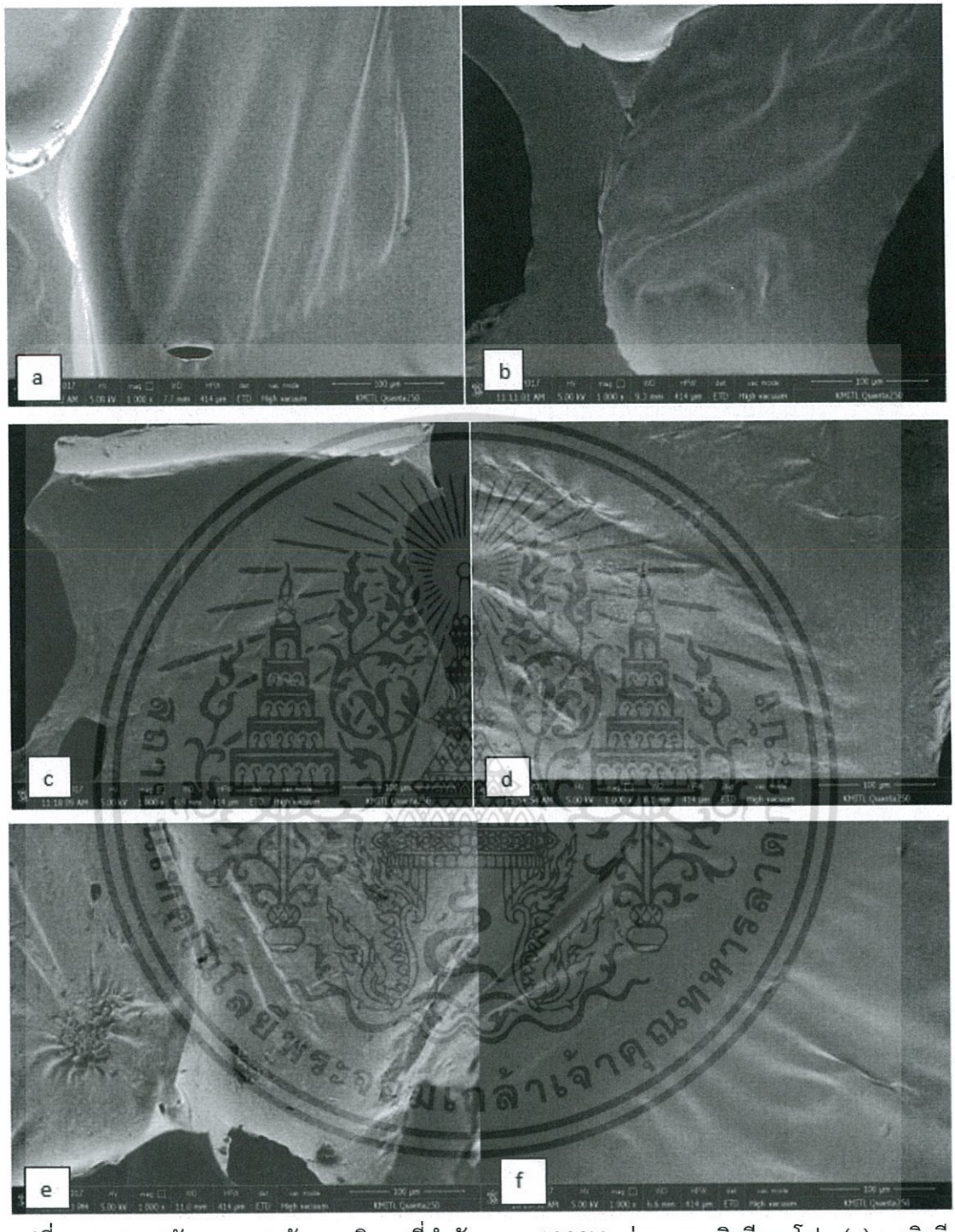
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 100X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม (a) พอลิยูรี-เทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 5, 10, 20 และ 30 มิลลิกรัม (b, c, d, e) และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม แต่ไม่มีการให้ความร้อน (f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



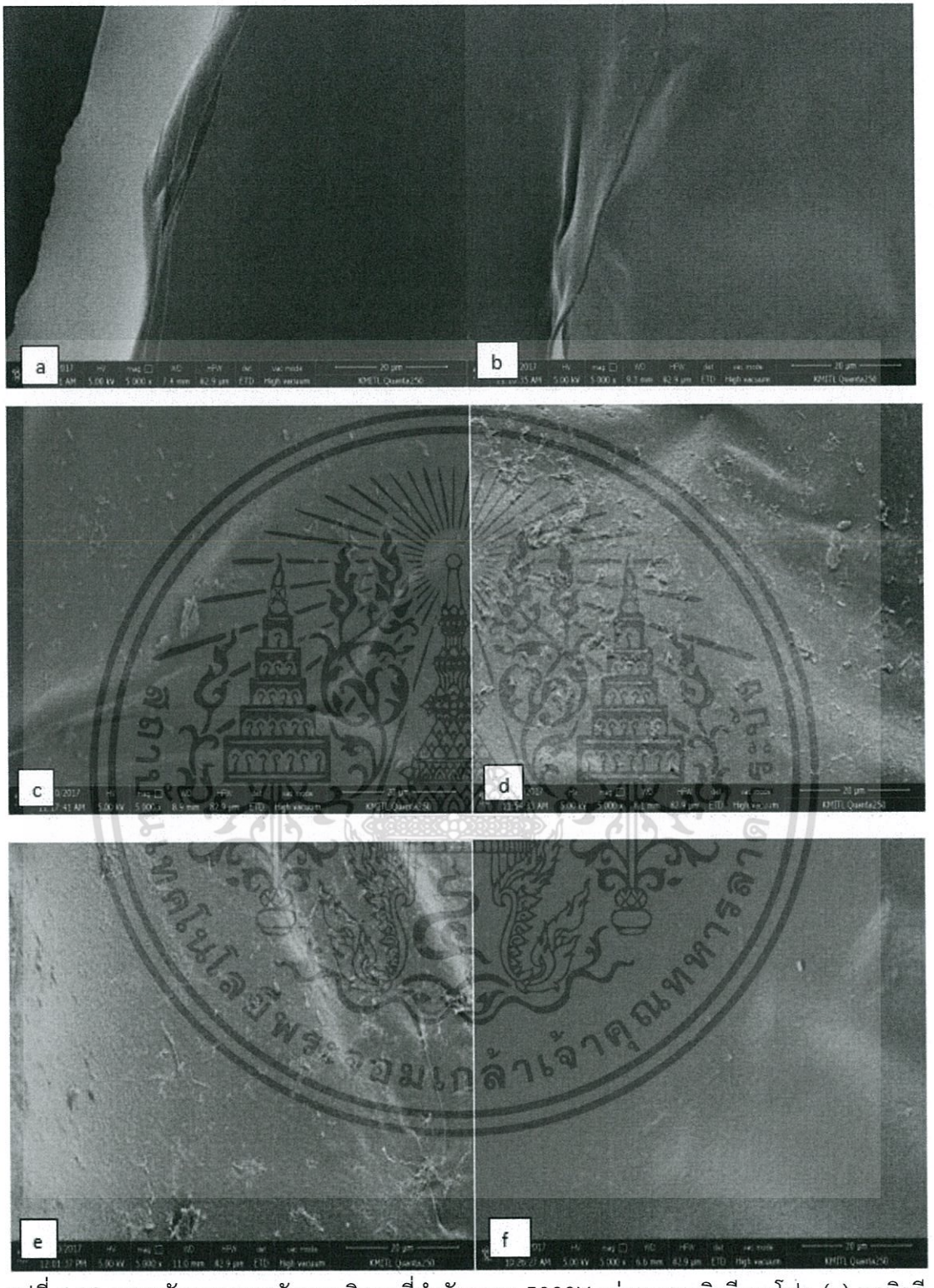
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 500X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม (a) พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณต่างๆ ได้แก่ 5, 10, 20 และ30 มิลลิกรัม (b, c, d, e) และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 5 มิลลิกรัม แต่ไม่มีการให้ความร้อน (f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



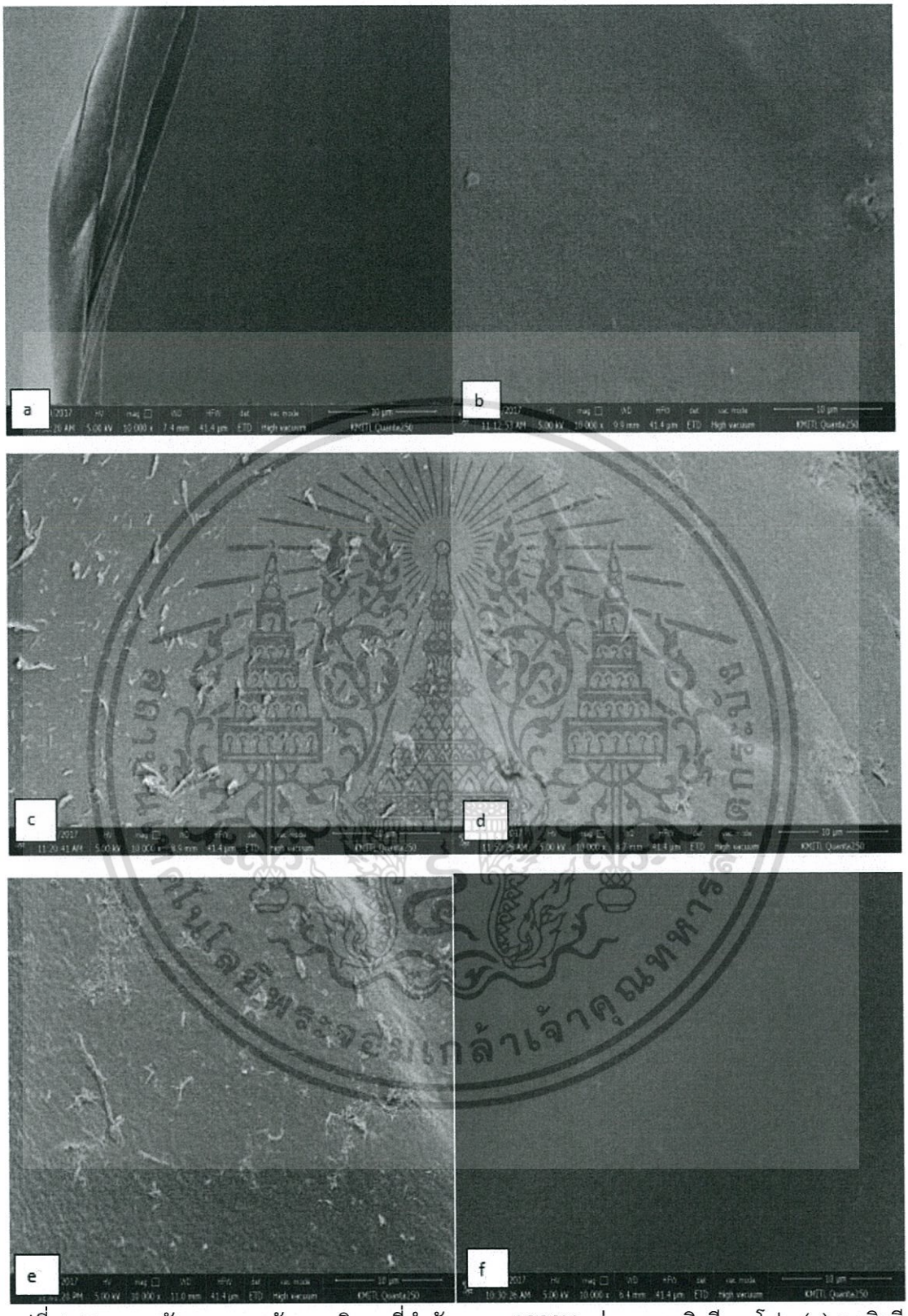
รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 1000X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม (a) พอลิยูรี-เทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 5, 10, 20 และ30 มิลลิกรัม (b, c, d, e) และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบพอลิยูรีเทนโฟม 5 มิลลิกรัม แต่ไม่มีการให้ความร้อน (f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 5000X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม (a) พอลิยูรี-เทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 5, 10, 20 และ30 มิลลิกรัม (b, c, d, e) และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม แต่ไม่มีการให้ความร้อน (f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

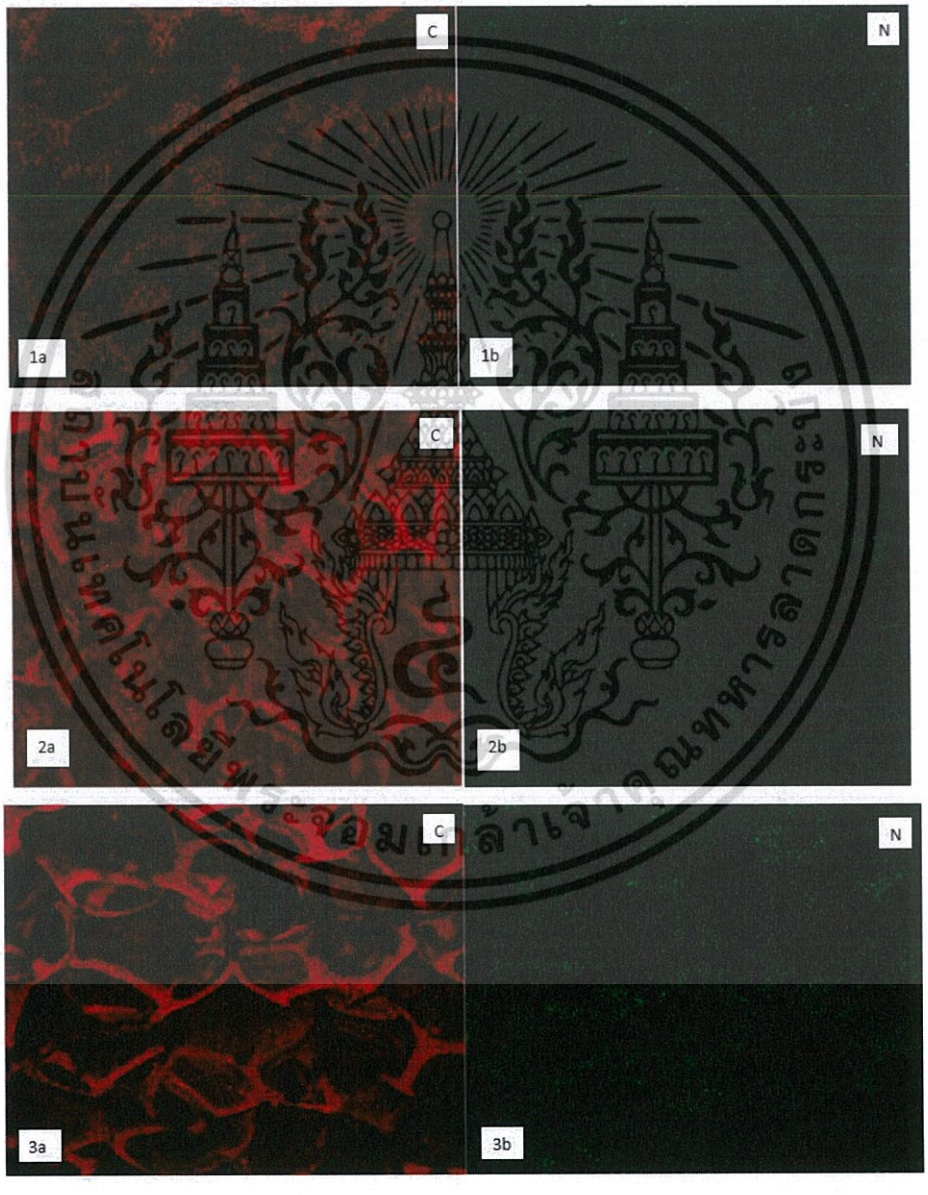


รูปที่ 4.19 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 1000X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม (a) พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณต่างๆ ได้แก่ 5, 10, 20 และ30 มิลลิกรัม (b, c, d, e) และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม แต่ไม่มีการให้ความร้อน (f)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15-4.19 พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมเริ่มต้น (ไม่มีการเติมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์) จะมีลักษณะผิวเรียบ หลังจากมีการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีความขรุขระมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าเส้นใยถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ในปริมาณรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ 5 มิลลิกรัม แต่ไม่มีการให้ความร้อน จากภาพที่ 4.15f-4.19f พบว่าพื้นผิวมีความขรุขระเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟม ทั้งนี้เพราะว่ามีกราฟีนออกไซด์ไปเคลือบอยู่บนเส้นใยของพอลิยูรีเทนโฟม

4.3.5 ผลการตรวจพิสูจน์องค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค EDX



รูปที่ 4.20 แสดงองค์ประกอบของธาตุคาร์บอน (ทางซ้ายมือ) และไนโตรเจน (ทางขวามือ) ของพอลิ-ยูรีเทนโฟม (1a, 1b) และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม (2a, 2b) และ 20 มิลลิกรัม (3a, 3b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 ผลการตรวจวิเคราะห์ด้วย EDX พบว่าเมื่อเคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์บนพอลิยูรีเทนโฟม จะเห็นสีของ spot ของคาร์บอนสว่างขึ้น ในขณะที่ spot ของไนโตรเจนมีสีจางลง นั้นแสดงให้เห็นได้ว่า รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมได้สมบูรณ์ ซึ่งเปอร์เซนต์ของคาร์บอนและไนโตรเจนที่เปลี่ยนไป แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงเปอร์เซนต์ปริมาณธาตุคาร์บอนและไนโตรเจนของพอลิยูรีเทนโฟมและพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

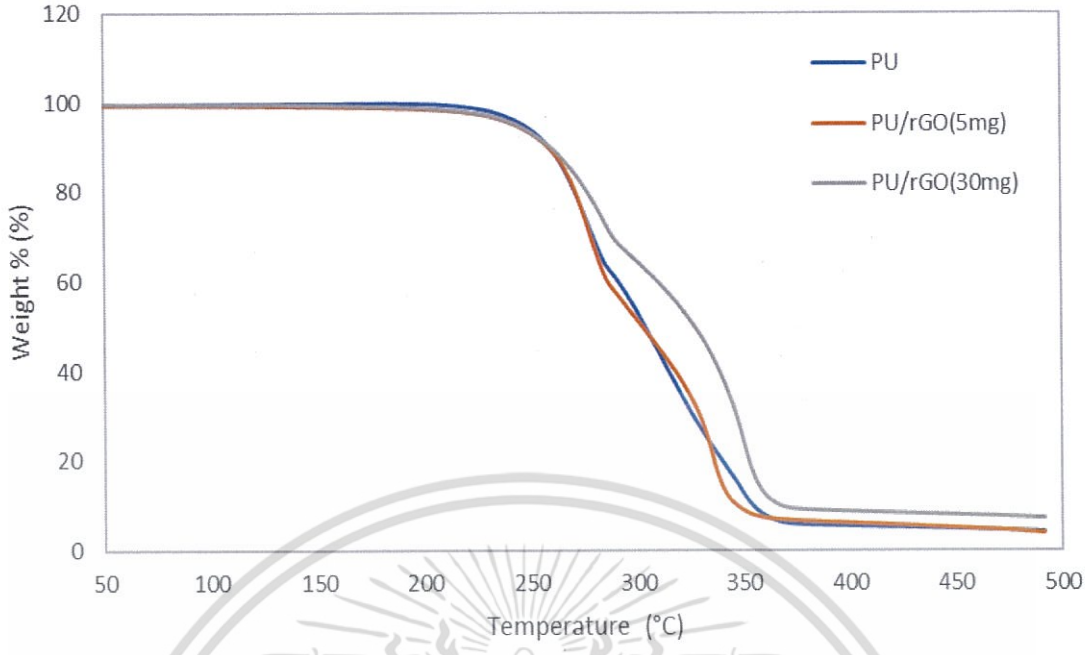
สูตร	เปอร์เซนต์ของคาร์บอน		เปอร์เซนต์ของไนโตรเจน	
	Weigth %	Atomic %	Weigth %	Atomic%
PU Foam	75.41	78.15	24.59	21.85
PU Foam/rGO (5mg)	77.23	79.82	22.77	20.18
PU Foam/rGO (20mg)	78.21	80.72	21.79	19.28

จากตารางที่ 4.1 พบว่า เมื่อทำการเคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงบนพอลิยูริเทนโฟมปริมาณของเปอร์เซนต์คาร์บอนเพิ่มขึ้น แต่ในขณะที่เปอร์เซนต์ไนโตรเจนลดลง นั่นแสดงให้เห็นว่า มีการเคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์บนเส้นใยของพอลิยูรีเทนโฟมในปริมาณที่เพิ่มขึ้น

4.3.6 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

การศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อน และเปอร์เซ็นต์การลดลงของน้ำหนัก ของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) ภายใต้สภาวะบรรยากาศไนโตรเจน อุณหภูมิที่ใช้ 50-500 องศาเซลเซียส ที่อัตรา 10 องศา-เซลเซียสต่อนาที ซึ่งให้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

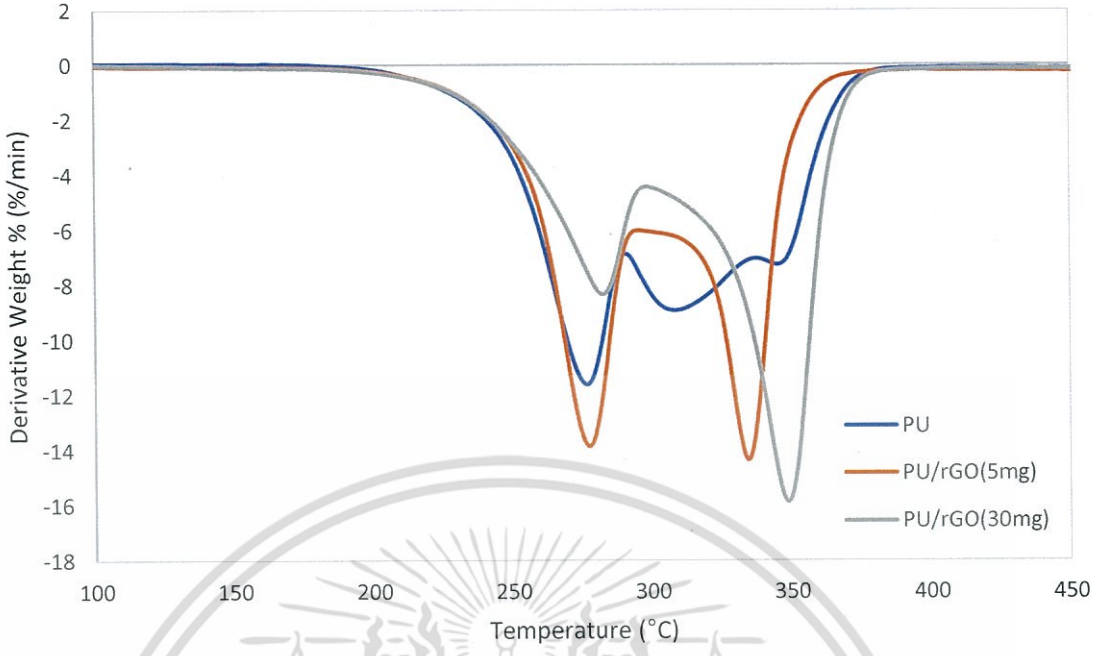
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 แสดงกราฟ TGA ของพอลิยูรีเทนโฟม พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 5 มิลลิกรัม และพอลิยูรีเทนที่โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 30 มิลลิกรัม

จากรูปที่ 4.21 พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิยูรีเทนโฟมเริ่มมีการสลายตัวอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 276.47 องศาเซลเซียส มีค่าของน้ำหนักที่หายไปเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์คือ 95.44 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิการสลายตัวของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ 5 มิลลิกรัม เริ่มมีการสลายตัวอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 278.58 องศาเซลเซียส มีค่าของน้ำหนักที่หายไปเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์คือ 95.87 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 30 มิลลิกรัม เริ่มมีการสลายตัวอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 286.41 องศาเซลเซียส มีค่าของน้ำหนักที่หายไปเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์คือ 92.75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จะมีแนวโน้มของอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวเพิ่มขึ้น แสดงถึงเสถียรภาพทางความร้อนที่เพิ่มขึ้น และทนความร้อนเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 แสดงกราฟ DTG ของพอลิยูรีเทนโฟม พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 5 มิลลิกรัม และพอลิยูรีเทนที่โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 30 มิลลิกรัม

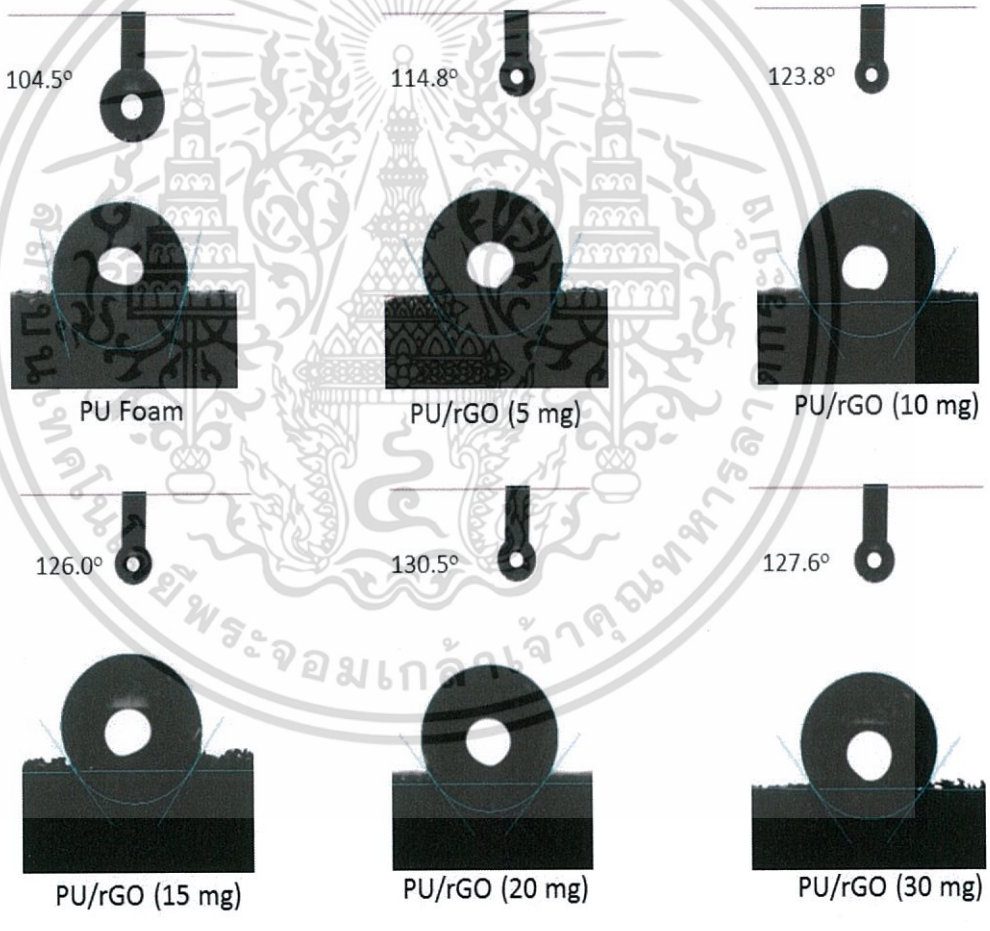
จากรูปที่ 4.22 พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิยูรีเทนโฟมมี 3 ขั้น คือ ขั้นที่หนึ่งเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 255.06 องศาเซลเซียส การสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 276.47 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของพันธะของยูรีเทน (urethane bond) ขั้นที่สองเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 293.18 องศาเซลเซียส การสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 308.14 องศาเซลเซียส และขั้นที่สามเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 340.17 องศาเซลเซียส การสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 345.32 องศาเซลเซียส ซึ่งขั้นที่สอง และสามเป็นการสลายตัวของกลุ่มอีเทอร์ (ether group) [28,29] เมื่อพอลิยูรีเทนโฟมผ่านการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ทำให้พฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนเปลี่ยนแปลงไป โดยอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 5 มิลลิกรัม มี 2 ขั้น คือ ขั้นที่หนึ่งเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 261.69 องศาเซลเซียส การสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 278.58 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของพันธะของยูรีเทน (urethane bond) และขั้นที่สองเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 329.11 องศาเซลเซียส การสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 336.12 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของกลุ่มอีเทอร์ (ether group) และอุณหภูมิการสลายตัวของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 30 มิลลิกรัม มี 2 ขั้น คือ ขั้นที่หนึ่งเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 260.35 องศาเซลเซียส การสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 286.41 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของพันธะของยูรีเทน (urethane bond) และขั้นที่สองเริ่มมีการสลายตัวที่อุณหภูมิ 339.10 องศาเซลเซียส การสลายตัวสูงสุดที่อุณหภูมิ 352.69 องศาเซลเซียส เป็นการสลายตัวของกลุ่มอีเทอร์ (ether group) แสดงให้เห็นว่าเมื่อพอลิยูรีเทนโฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสลายตัวมากกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่ถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ มีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่ถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.4 การศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ ประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน และการแยกน้ำมันออกจากน้ำ

4.4.1 ผลการศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ และหยดน้ำมันบนพื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

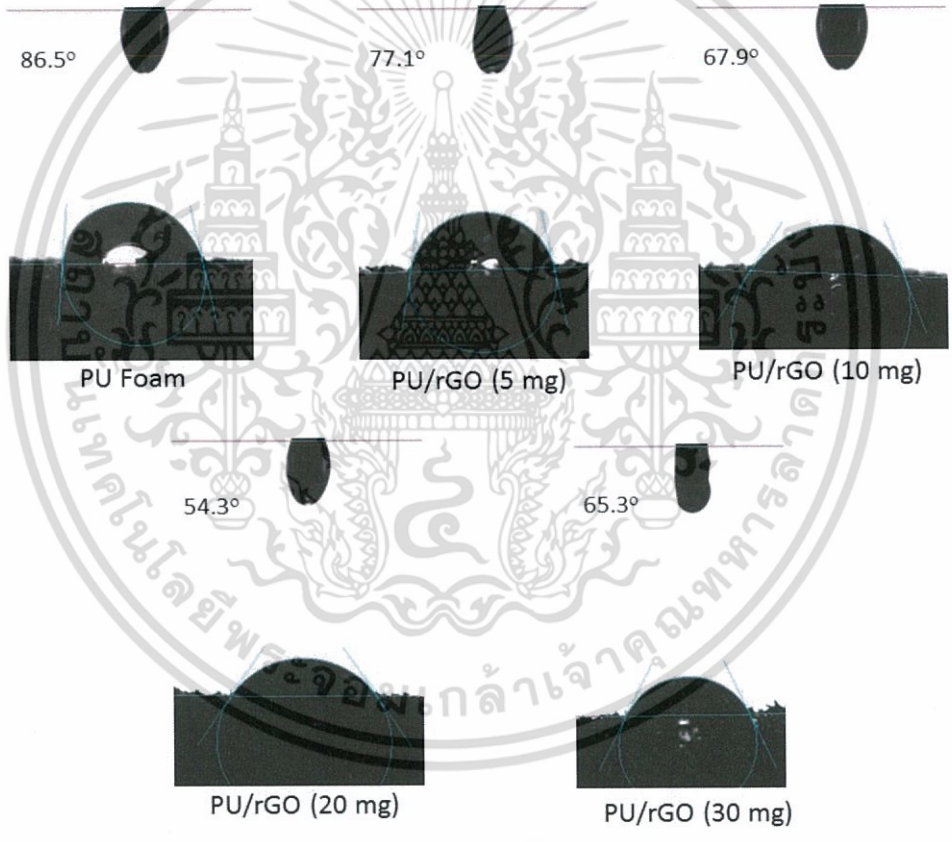


รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากรูปที่ 4.23 การศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพอลิยูรีเทนโฟม และพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 5, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิกรัม พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมมีค่ามุมสัมผัสคือ 104.5^{o} และเมื่อเติมปริมาณความเข้มข้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ค่ามุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมผัสของหยดน้ำบนพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ก็เพิ่มขึ้น โดยที่ปริมาณ 5, 10, 15, 20 และ 30 มิลลิกรัม มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 114.8^{o}, 123.8^{o}, 126.0^{o}, 130.5^{o} และ127.6^{o} ตามลำดับ นั่นคือเมื่อค่ามุมสัมผัสที่เพิ่มขึ้น แสดงว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีสมบัติความไม่ชอบน้ำเพิ่มสูงขึ้น ทำให้การซึมผ่าน และการดูดซับน้ำช้าลง และที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมมีค่ามุมสัมผัสสูงกว่าที่ 30 มิลลิกรัม เนื่องจากการที่ปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 30 มิลลิกรัม มีการยึดเกาะบนเส้นใยพอลิยูรีเทนโฟมได้น้อยกว่า รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกิดการเกาะตัวกันเองแล้วหลุดออกจากเส้นใยโฟม จึงทำให้มีมุมสัมผัสกับพอลิยูรีเทนโฟมลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ที่มีการยึดเกาะของรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์บนเส้นใยพอลิยูรีเทนโฟมที่ยึดเกาะกันได้เป็นอย่างดี ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลของ SEM

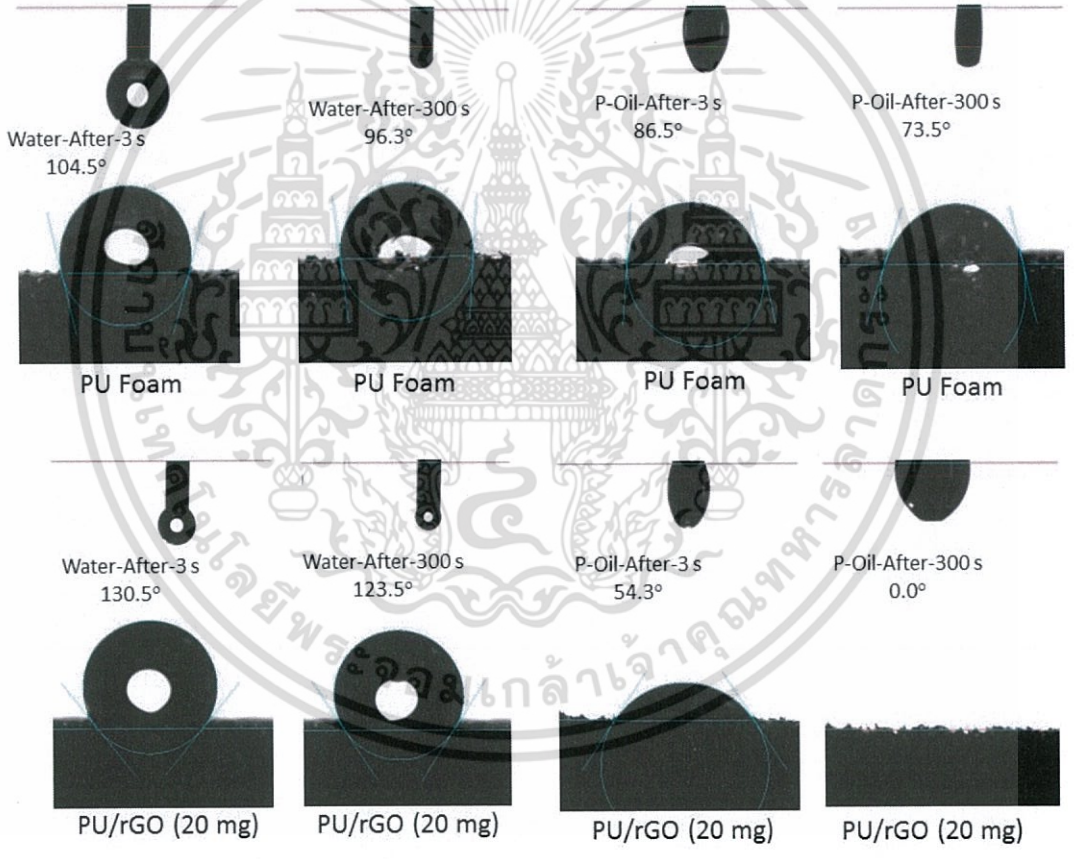


รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันบนพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์

จากรูปที่ 4.24 การศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันบนพอลิยูรีเทนโฟมและพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 มิลลิกรัม พบว่าพอลิยูรีเทนโฟม มีค่ามุมสัมผัสคือ 86.5^{o} และเมื่อเติมปริมาณความเข้มข้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ค่ามุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัมผัสของหยดน้ำบนแผ่นพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ก็ลดลง โดยที่ปริมาณ 5, 10, 20 และ 30 มิลลิกรัม มีค่าลดลงขึ้นเป็น 71.1^{o}, 67.9^{o}, 54.3^{o} และ 65.3^{o}ตามลำดับ นั่นคือเมื่อค่ามุมสัมผัสลดลง แสดงว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีสมบัติความชอบน้ำมันสูงขึ้น ทำให้การซึมผ่านและการดูดซับน้ำมันได้มากขึ้น และที่ความเข้มข้น 20 มิลลิกรัม มีค่ามุมสัมผัสต่ำกว่าที่ 30 มิลลิกรัม เนื่องจากการที่ปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 30 มิลลิกรัม มีการยึดเกาะบนเส้นใยพอลิยูรีเทนโฟมได้น้อยกว่า รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกิดการเกาะตัวกันเองแล้วหลุดออกจากเส้นใยโฟม จึงทำให้มีมุมสัมผัสกับพอลิยูรีเทนโฟมลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ที่มีการยึดเกาะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์บนเส้นใยพอลิ-ยูรีเทนโฟมที่ยึดเกาะกันได้เป็นอย่างดี ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลของ SEM

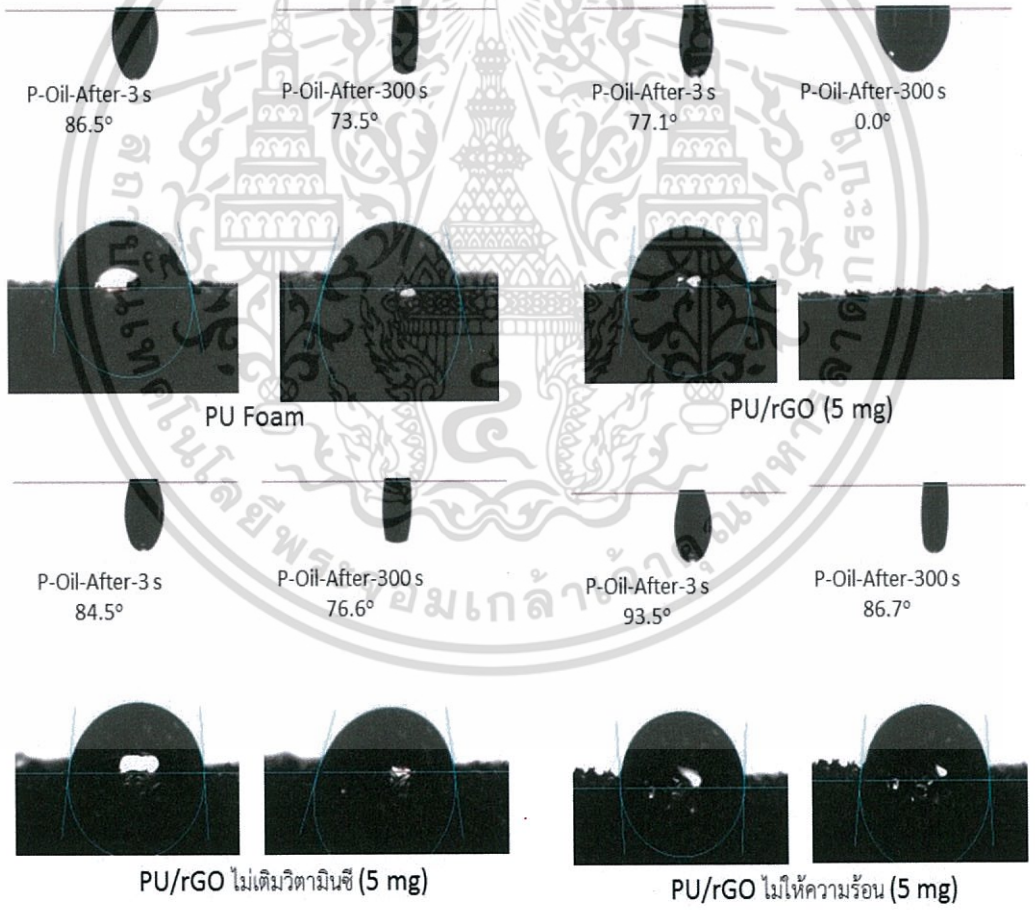


รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำและหยดน้ำมันบนพอลิยูรีเทนโฟมและพอลิยูรี-เทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ณ เวลา 3 วินาที และเมื่อทิ้งไว้จนถึง 300 วินาที

จากรูปที่ 4.25 การศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำและหยดน้ำมันบนพอลิยูรีเทนโฟมและพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ณ เวลา 3 วินาที และเมื่อทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้จนถึง 300 วินาที พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 300 วินาที ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพอลิยูรีเทนโฟม มีค่าลดลงจาก 104.5^{o} เป็น 96.3^{o} เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม มีค่าลดลงจาก 130.5^{o} เป็น 123.5^{o} ซึ่งจะว่าเห็นว่าค่ามุมสัมผัสของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีค่ามุมสัมผัสหยดน้ำสูงกว่า แสดงว่ามีสมบัติความชอบน้ำที่ต่ำกว่า ดูดซับน้ำได้ไม่ดี และเมื่อเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมัน พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 300 วินาที ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันบนพอลิยูรีเทนโฟม มีค่าลดลงจาก 86.5^{o} เป็น 73.5^{o} และค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันบนพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม มีค่าลดลงจาก 54.3^{o} เป็น 0.0^{o} (ดูดซับจนหมด) แสดงว่าสมบัติความชอบน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 20 มิลลิกรัม มีค่าสูงกว่าพอลิยูรีเทนโฟม นั่นคือ เมื่อมีการเคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์บนพอลิยูรีเทนโฟมจะแสดงสมบัติความไม่ชอบน้ำ และความชอบน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 4.26 เปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันบนพอลิยูรีเทนโฟมและพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 5 มิลลิกรัม 5 มิลลิกรัม (ไม่เติมวิตามินซี) และ 5 มิลลิกรัม (ไม่ให้ความร้อน) ณ เวลา 3 วินาที และเมื่อทิ้งไว้จนถึง 300 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.26 การศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันบนพอลิยูรีเทนโฟมและพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 5 มิลลิกรัม, 5 มิลลิกรัม (ไม่เติมวิตามินซี) และ 5 มิลลิกรัม (ไม่ให้ความร้อน) ณ เวลา 3 วินาที และเมื่อทิ้งไว้จนถึง 300 วินาที พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 300 วินาที พอลิยูรีเทนโฟมมีค่ามุมสัมผัสลดลงจาก 86.5^{o} เป็น 73.5^{o} พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม มีค่าลดลงจาก 77.1^{o} เป็น 0.0^{o} ที่ปริมาณ 5 มิลลิกรัม (ไม่เติมวิตามินซี) ค่าลดลงจาก 84.5^{o} เป็น 76.6^{o} และที่ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัม (ไม่ให้ความร้อน) ค่าลดลงจาก 93.5^{o} เป็น 86.7^{o} แสดงว่าปริมาณของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น การเติมวิตามินซีและการให้ความร้อน มีผลต่อความชอบน้ำมัน หรือการดูดซับน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันลดลง เนื่องจากเมื่อเติมวิตามินซี และให้ความร้อน พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม เมื่อเวลาผ่านไป 300 วินาที สามารถดูดซับน้ำมันได้จนหมด แต่พอลิยูรีเทนโฟม พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม (ไม่เติมวิตามินซี) และ 5 มิลลิกรัม (ไม่ให้ความร้อน) เมื่อเวลาผ่านไปจนถึง 300 วินาที ยังมีหยดน้ำมันเหลืออยู่บนพื้นผิว และยังเห็นว่าค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม (ไม่ให้ความร้อน) ที่เวลา 3 วินาที และเมื่อทิ้งไว้จนถึง 300 วินาที มีค่าสูงกว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม (ไม่เติมวิตามินซี) เนื่องจากพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม (ไม่ให้ความร้อน) วิตามินซีที่มีอยู่ทำให้พื้นผิวของพอลิยูรีเทนโฟมมีสภาพขั้วเป็นบวก กราฟีนออกไซด์มีสภาพขั้วเป็นลบ และมีสมบัติความชอบน้ำ เมื่อยึดเกาะกันทำให้พอลิยูรีเทนโฟมมีสมบัติความชอบน้ำเพิ่มมากขึ้น สมบัติความชอบน้ำมันต่ำลง ส่วนพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 มิลลิกรัม (ไม่เติมวิตามินซี) เมื่อให้ความร้อนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ก็สามารถเกาะบนเส้นใยพอลิยูรี-เทนโฟมได้จึงมีสมบัติความไม่ชอบน้ำ แต่ชอบน้ำมันสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลของประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

ตารางที่ 4.2 แสดงน้ำหนักที่ได้จากการดูดซับน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

ครั้งที่	โฟมชิ้นที่ 1		โฟมชิ้นที่ 2	
	น้ำหนักก่อนการดูดซับ (กรัม)	น้ำหนักหลังการดูดซับ (กรัม)	น้ำหนักก่อนการดูดซับ (กรัม)	น้ำหนักหลังการดูดซับ (กรัม)
1	0.1295	6.3190	0.1239	5.8504
2	0.1295	6.3646	0.1239	5.9646
3	0.1295	6.3531	0.1239	6.2041
4	0.1295	6.3189	0.1239	6.1748
5	0.1295	6.1355	0.1239	6.2096
6	0.1295	6.5063	0.1239	6.0846
7	0.1295	6.2657	0.1239	6.1417
8	0.1295	6.1895	0.1239	6.1155
9	0.1295	6.2388	0.1239	6.1058
10	0.1295	6.3656	0.1239	6.0545
เฉลี่ย	**0.1295**	**6.0357**	**0.1239**	**6.0906**

จากสมการ $$\text{Adsorption capacity} = \frac{M_1 - M_0}{M_0}$$

โดย M_0 คือ น้ำหนักของโฟมก่อนการดูดซับ

M_1 คือ น้ำหนักของโฟมหลังจากการดูดซับ

นำค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองแทนลงในสมการ $$\text{Adsorption capacity} = \frac{M_1 - M_0}{M_0}$$

จะได้ โฟมชิ้นที่ 1 $$\text{Adsorption capacity} = \frac{6.0357 - 0.1295}{0.1295}$$

$$= 45.6077$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฟมชิ้นที่ 2 Adsorption capacity $= \frac{6.0906-0.1239}{0.1239}$

$= 48.1573$

$$\text{Adsorption capacity}_{\text{เฉลี่ย}} = \frac{\text{Adsorption capacity}_{\text{โฟมชิ้นที่1}} + \text{Adsorption capacity}_{\text{โฟมชิ้นที่2}}}{2}$$

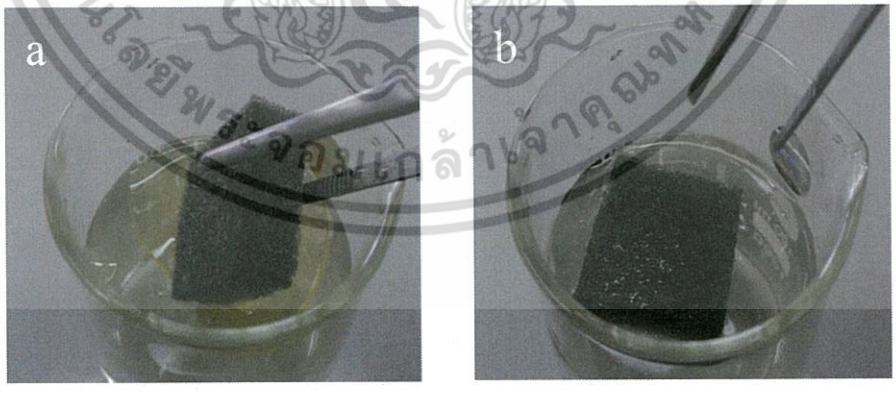
$$= \frac{45.6077 + 48.1573}{2}$$

$= 46.88$

จะได้ ค่า Adsorption capacity เฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 46.88

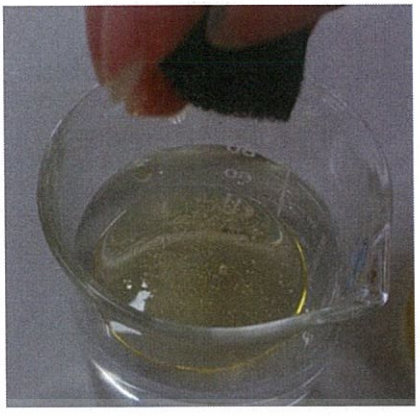
จากตารางที่ 4.2 แสดงน้ำหนักที่ได้จากการดูดซับน้ำมันของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมที่ปริมาณ 20 มิลลิกรัม โดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 10 ครั้ง ทั้งหมด 2 ชิ้น พบว่าเมื่อนำค่าที่ได้มาคำนวนจะได้ค่าประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันเฉลี่ยของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมที่ปริมาณ 20 มิลลิกรัม มีค่าเท่ากับ 46.88 กรัมต่อกรัม

4.4.3 ผลของประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันบนผิวน้ำของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.27 แสดงการดูดซับน้ำมันบนผิวน้ำของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (a) ก่อนการดูดซับ (b) หลังการดูดซับ พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ภายในเวลา 5 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงภาพการบีบน้ำมันที่เกิดจากการดูดซับของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

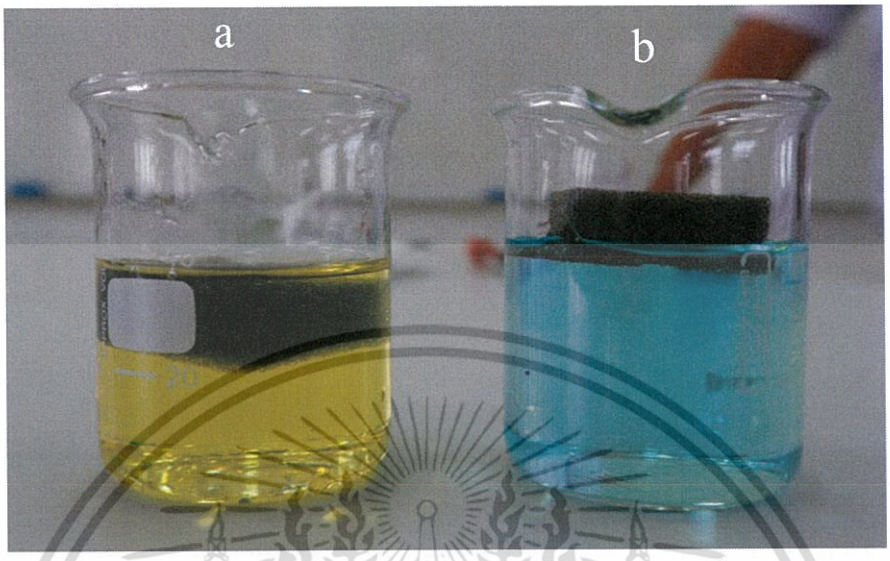
ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักที่ได้จากการทดสอบการแยกน้ำมันออกจากน้ำของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

	โฟมชิ้นที่ 1	โฟมชิ้นที่ 2	โฟมชิ้นที่ 3
น้ำหนักโฟม (กรัม)	0.3824	0.2968	0.3138
น้ำหนักน้ำ (กรัม)	64.9779	59.9423	54.4568
น้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น (กรัม)	**3.6463**	**4.0224**	**3.9769**
น้ำหนักโฟม+น้ำมัน (กรัม)	4.8272	5.0989	4.9358
น้ำหนักน้ำที่เหลือ (กรัม)	64.1587	59.1275	53.8117
น้ำหนักของน้ำที่หายไป	**0.8193**	**0.7148**	**0.6451**
น้ำหนักน้ำมันสุทธิ (กรัม)	**3.6255**	**4.0873**	**3.9769**

จากตารางที่ 4.3 การทดสอบการแยกน้ำมันออกจากน้ำของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมที่ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ทำการทดลองซ้ำจำนวน 3 ชิ้น พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีการดูดซับทั้งน้ำมัน และน้ำ เนื่องจากพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีขนาดของรูพรุนที่กว้าง และน้ำมันที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณน้อย มีค่าไม่ถึงค่าความจุน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ทำให้พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ยังมีพื้นที่ผิวที่ว่างอยู่ น้ำจึงสามารถเข้าไปแทนที่ในพื้นที่ผิวที่ว่างจึงเกิดการดูดซับน้ำได้ อย่างไรก็ตามพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์สามารถดูดซับน้ำมันได้เกือบ 100 เปอร์เซนต์ นั่นแสดงให้เห็นว่า พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ แต่ชอบน้ำมัน

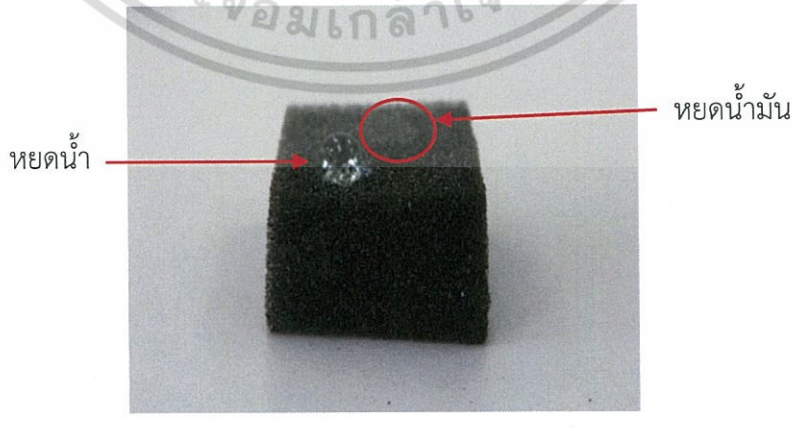
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 ผลเปรียบเทียบของประสิทธิภาพการดูดซับระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำและน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์



รูปที่ 4.29 แสดงภาพการดูดซับ (a) น้ำมันและ (b) สารละลายสีย้อมในน้ำ ของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

จากรูปที่ 4.29 ศึกษาการการดูดซับน้ำมันและสารละลายสีย้อมในน้ำของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จมลงในน้ำมันรวดเร็วภายในไม่กี่วินาที นั้นคือพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์สามารถดูดซับน้ำมันได้ดีและมีความชอบน้ำมัน ส่วนเมื่อทดสอบดูดซับสารละลายสีย้อมในน้ำ พบว่าพอลิยูรี-เทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลอยอยู่บนผิวน้ำ นั้นคือรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมมีสมบัติความไม่ชอบน้ำจึงไม่สามารถจมลงในน้ำได้

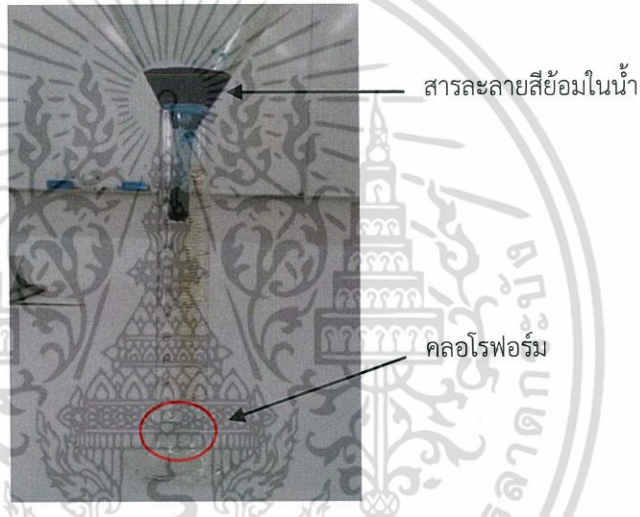


รูปที่ 4.30 แสดงประสิทธิภาพการดูดซับหยดน้ำและหยดน้ำมันบนพื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม

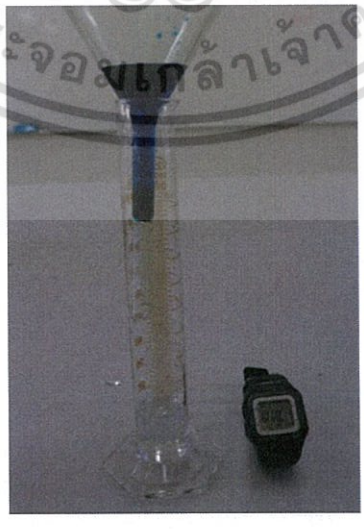
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.30 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับหยดน้ำ และหยดน้ำมันบนพื้นผิวของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม พบว่าหยดน้ำบนพื้นผิวของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไม่สามารถซึมผ่านลงไปยังพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ได้ จะเห็นหยดน้ำมีลักษณะกลมนูนอยู่บนพื้นผิวของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แต่หยดน้ำมันสามารถซึมผ่านลงไปยังพื้นผิวของพอลิยูรีเทนที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ได้จนหมด นั่นแสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำ แต่ชอบน้ำมันของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.4.5 ผลของประสิทธิภาพการกรองแยกระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำและคลอโรฟอร์มของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ที่เวลาต่างๆ

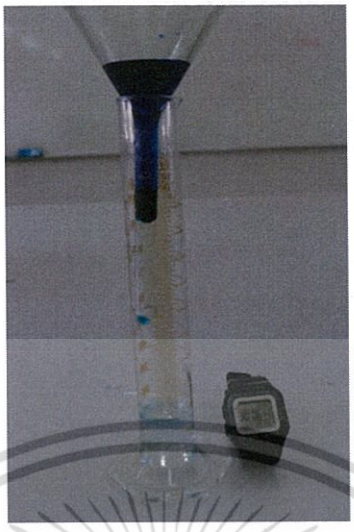


รูปที่ 4.31 แสดงประสิทธิภาพในการกรองแยกระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำกับคลอโรฟอร์มด้วยพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม ช่วงเวลาเริ่มต้น



รูปที่ 4.32 แสดงประสิทธิภาพในการกรองแยกระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำกับคลอโรฟอร์มด้วยพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

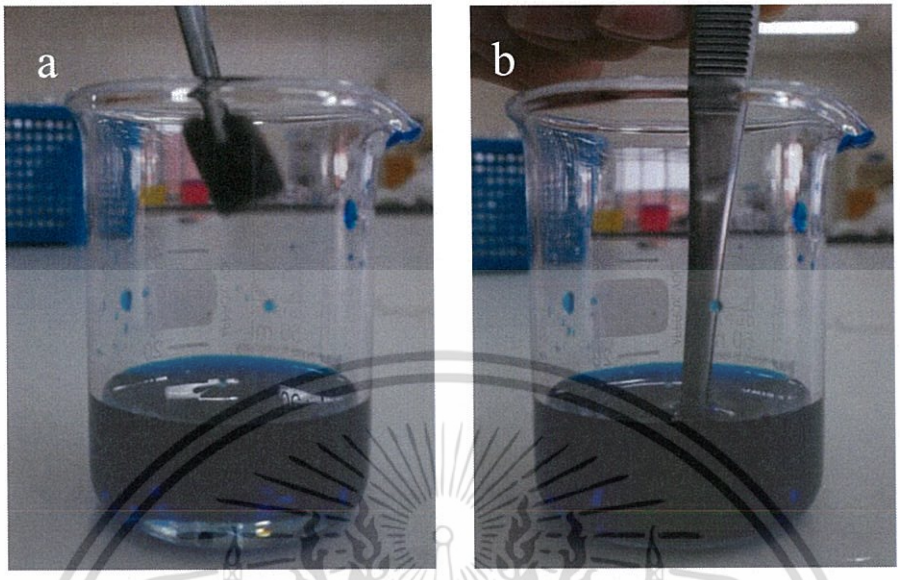


รูปที่ 4.33 แสดงประสิทธิภาพในการกรองแยกระหว่างสารละลายสีย้อมในน้ำกับคลอโรฟอร์มด้วยพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม เมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที

จากรูปที่ 4.31-4.33 ศึกษาประสิทธิภาพในการกรองแยกสารละลายสีย้อมในน้ำกับคลอโรฟอร์มด้วยพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม พบว่าเมื่อช่วงเริ่มต้นเทสารละลายสีย้อมในน้ำและคลอโรฟอร์มลงในกรวยกรองเริ่มมีคลอโรฟอร์มไหลลงมายังกระบอกตวงอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาผ่านไป 10 นาที ไม่มีการหยดของคลอโรฟอร์ม และสารละลายสีย้อมไหลลงมายังกระบอกตวง และเมื่อเวลาผ่านไป 30 นาที เริ่มมีสารละลายสีย้อมในน้ำสามารถซึมผ่านพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงมาในกระบอกตวงเพียงเล็กน้อยและใช้เวลานาน แสดงให้เห็นว่าในการกรองแยกนั้นคลอโรฟอร์มสามารถไหลผ่านพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงมาได้อย่างรวดเร็ว แต่สารละลายสีย้อมนั้นต้องให้เวลานานมากในการไหลซึมผ่านพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงมายังกระบอกตวง นั่นคือพอลิยูรี-เทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์สามารถแยกคลอโรฟอร์มกับสารละลายสีย้อมในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.6 ผลของประสิทธิภาพการดูดซับคลอโรฟอร์มในสารละลายสีย้อมในน้ำของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม



รูปที่ 4.34 แสดงการดูดซับคลอโรฟอร์มในสารละลายสีย้อมในน้ำของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม (a) ก่อนการดูดซับ (b) หลังการดูดซับ

จากรูปที่ 4.34 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับคลอโรฟอร์มในสารละลายสีย้อมในน้ำของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 20 มิลลิกรัม สามารถดูดซับคลอโรฟอร์มซึ่งเป็นสารละลายใสไม่มีสีได้หมดอย่างรวดเร็ว เนื่องจากคลอโรฟอร์มเป็นสารที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น พอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จึงสามารถดูดซับสารจำพวกตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว เช่น คลอโรฟอร์ม และน้ำมันได้เป็นอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมัน และค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำของตัวดูดซับชนิดต่างๆ

ชนิดตัวดูดซับ	ประเภทของน้ำมัน	Adsorption capacity (กรัมต่อกรัม)	ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ	เอกสารอ้างอิง
Melamine foam/rGO	น้ำมันดีเซล น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันหล่อลื่น	81 75 79	154.0°	[1]
PU sponge/carbon nanotubes	น้ำมันหล่อลื่น	34.9	158.0°	[3]
Pristine sponge/ Thiolated graphene-based	น้ำมันดิบ น้ำมันเครื่อง น้ำมันปั๊ม	48 40 40	128.0°	[30]
Melamine sponge/ 3-Mercaptopropyltriethoxysilane	น้ำมันปรุงอาหาร	90	152.8°	[31]
Polyurethane sponge	น้ำมันหล่อลื่น	25	120.5°	[32]
Carbon nanofiber aerogel	น้ำมันเบนซิน น้ำมันพืช	40-80	120.5°	[32]
Ni-doped graphene	น้ำมันเครื่อง น้ำมันพืช	23	120.5°	[32]
PU foam/rGO	น้ำมันปาล์ม	46.9	130.5°	งานปัจจุบัน

จากตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าเมลามีนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และฟองน้ำเมลามีนที่เคลือบด้วย 3-Mercaptopropyltriethoxysilane มีประสิทธิภาพการดูดซับ และค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมากกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เนื่องจากชนิดของตัวดูดซับมีสมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด ส่วนฟองน้ำพอลิยูรีเทนที่เคลือบด้วยท่อคาร์บอนนาโน มีประสิทธิภาพในการดูดซับต่ำกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แต่มีค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมากกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เนื่องจากวัสดุที่ใช้เคลือบบนฟองน้ำพอลิยูรีเทนแตกต่างกัน และประเภทของน้ำมันที่ใช้ในการดูดซับแตกต่างกัน ในขณะที่ฟองน้ำที่เคลือบด้วยไทโอเลตกราฟีนเป็นองค์ประกอบ ฟองน้ำพอลิยูรีเทน เส้นใยนาโนคาร์บอนแอโรเจล และกราฟีนที่เจือไนโตรเจน มีประสิทธิภาพการดูดซับ และค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำน้อยกว่าของพอลิ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เนื่องจากชนิดของตัวดูดซับ และประเภทของน้ำมันที่ใช้ในการดูดซับแตกต่างกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุดูดซับประเภทของสารที่ใช้เคลือบบนวัสดุดูดซับ และประเภทของน้ำมัน มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ และค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ ทั้งนี้ก็ยังขึ้นอยู่กับกระบวนการเคลือบอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากการศึกษาโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-vis Spectrophotometer) พบว่ากราฟีนออกไซด์จะปรากฏพีคที่ความยาวคลื่น 231 นาโนเมตร เป็นการเปลี่ยนสถานะ π - π^* และที่ความยาวคลื่นประมาณ 300 นาโนเมตร เป็นการเปลี่ยนสถานะ n – π^* หลังจากทำการีดิวซ์ให้เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะปรากฏพีคที่ความยาวคลื่น 267 นาโนเมตร เป็นการเปลี่ยนสถานะ π - π^* ซึ่งเกิดการเลื่อนตำแหน่งของพีคไปในทิศทางที่ความยาวคลื่นที่มากขึ้น และจะไม่ปรากฏพีคที่ความยาวคลื่นประมาณ 300 นาโนเมตร แสดงให้เห็นว่ากราฟีนออกไซด์ ถูกรีดิวซ์ให้เป็นรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชั่นและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม-อินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (FT-IR) พบว่ากราฟีนออกไซด์พบแถบการสั่นยืดของหมู่ไฮดรอกซิล (O-H) หมู่คาร์บอกซิลิกและคาร์บอนิล (C=O) วงอะโรมาติก (C=C) หมู่แอลคอกซี (C-O-C) หลังจากการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิตามินซี พบว่าแถบการสั่นยืดของหมู่หมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิลิก คาร์บอนิล และหมู่แอลคอกซีจะลดลงหรือหายไป เนื่องมาจากหลังจากผ่านปฏิกิริยารีดักชันกำจัดหมู่ฟังก์ชันที่เกี่ยวข้องกับออกซิเจนดังกล่าวถูกกำจัดออกไปจากโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ และมีการสร้างพันธะขึ้นมาใหม่ ในขณะที่การสั่นยืดของวงอะโรมาติก มีการเลื่อนไปทางที่เลขคลื่นต่ำกว่า เนื่องมาจากมีการสร้าง π conjugate ขึ้น มีการเกิดเรโซแนนซ์เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิครามาน (Raman Spectroscopy) พบว่าตำแหน่ง D band ที่ประมาณ 1349 cm^{-1} และ G band ที่ประมาณ 1592 cm^{-1} มีอัตราส่วนของ I_D/I_G เพิ่มขึ้นจาก 0.93 เป็น 1.16 เนื่องมาจากว่ากราฟีนถูกรีดิวซ์เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งจะมีความไม่เป็นระเบียบที่ลดลง และขนาดของแผ่นมีขนาดเล็กลง

จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของแผ่นกราฟีนออกไซด์ (GO) และแผ่นรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ (rGO) ด้วยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบลำแสงส่องผ่าน พบว่าภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพของแผ่นกราฟีนออกไซด์ จะมีขนาดแผ่นใหญ่และทึบแสง ส่วนภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะเห็นภาพมีลักษณะโปร่งแสงสูง ซึ่งบอกถึงลักษณะแผ่นบางของชั้นรีดิวซ์กราฟีนต์ออกไซด์เพียงแผ่นเดียว และมีขนาดเป็นแผ่นเล็กกว่าภาพถ่ายลักษณะทางกายภาพของแผ่น กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของพอลิยูรีเทนโฟม

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชั่นและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม-อินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (FT-IR) พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมพบแถบการสั่นยืดของหมู่เอมีน (N-H) หมู่เอลคีน (C-H) หมู่คาร์บอกซิลิก คาร์บอนิล (C=O) หมู่เอไมด์ (N-H) และหมู่แอลคอกซี (C-O-C) ซึ่งพอลิยูรีเทนโฟมแบบอีเทอร์นี้มีหมู่อีเทอร์ที่เป็นเอกลักษณ์ ประกอบไปด้วยส่วนที่แข็ง คือ Hard segments (HS) และส่วนที่นิ่ม คือ Soft segment (SS) ซึ่งส่วนที่แข็งจะเป็นเอกลักษณ์ของพอลิยูรีเทนโฟม และส่วนที่นิ่มจะเป็นเอกลักษณ์อีเทอร์

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิครามาน (Raman Spectroscopy) พบว่าลักษณะพีคที่เป็นเอกลักษณ์ของพอลิยูรีเทนโฟมมี 3 ช่วง ได้แก่ พีคเอกลักษณ์ที่เกิดจาก C-N, C-H และ C=C ซึ่งตรงกับค่า Raman shift เท่ากับ 1320, 1450 และ 1620 cm^{-1} ตามลำดับ

5.3 ผลการศึกษารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชั่น และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์-ฟอร์มอินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (FT-IR) พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมก่อนและหลังจากการเคลือบรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์จะไม่พบพีคเอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เนื่องมาจากอาจมีปริมาณน้อยเกินไป เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมก่อนการเคลือบ และเมื่อเพิ่มปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์พบว่ามีพีคบางพีคจะมีการเลื่อนไปทางเลขคลื่นที่ต่ำลง อธิบายได้ว่ามีรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบอยู่และมีการเกิดอันตรกิริยาภายในขึ้นในส่วนที่แข็ง (HS) ที่มีวงอะโรมาติก เมื่อเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์หมู่บางหมู่จะมีพีคที่กว้างขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟม นั่นแสดงได้ว่ารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนเส้นใยของพอลิยูรีเทนโฟม

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิครามาน (Raman Spectroscopy) พบว่าพีคบางพีคของพอลิยูรีเทนโฟมอาจลดลงหรืออาจจะถูกบดบังจาก D band และ G band ของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์ เมื่อเพิ่มปริมาณของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์พีคของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้น พีคของพอลิ-ยูรีเทนโฟมจะลดลง นั่นแสดงว่ารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์นั้นเคลือบบนเส้นใยของพอลิยูรีเทนโฟม

จากการศึกษารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของพอลิยูรีเทนโฟม จะปรากฏพีคเอกลักษณ์ที่มุม 2θ เท่ากับ 15.0° และ 24.5° ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างทางเคมีของพอลิยูรีเทนโฟม ซึ่งพีคที่ปรากฏที่ 2θ เท่ากับ 15.0° คือส่วนที่มีความเป็นผลึกต่ำที่เกิดจากส่วนนิ่ม (Soft Segments) ของโครงสร้าง และที่มุม 2θ เท่ากับ 24.5° คือส่วนที่มีความเป็นผลึกสูงที่เกิดจากส่วนแข็ง (Hard Segmants) ของโครงสร้างพอลิยูรีเทนโฟม และไม่พบพีคของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ทางด้านสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมเริ่มต้นจะมีลักษณะผิวเรียบ หลังจากมีการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีความขรุขระมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าเส้นใยถูกเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ในปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 5 มิลลิกรัม และไม่มีการให้ความร้อน พบว่าพื้นผิวที่ไม่มีการให้ความร้อนจะมีความขรุขระมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมเริ่มต้น

จากการตรวจวิเคราะห์พิสูจน์องค์ประกอบของธาตุด้วย EDX พบว่าเมื่อเคลือบรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์บนพอลิยูรีเทนโฟม จะเห็นสีของ spot ของคาร์บอนสว่างขึ้น ในขณะที่ spot ของไนโตรเจนมีสีจางลง นั่นแสดงให้เห็นได้ว่ารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมได้สมบูรณ์ ซึ่งเปอร์เซนต์ของคาร์บอนจะมีปริมาณสูงขึ้น และไนโตรเจนมีปริมาณลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับพอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Thermogravimetric analyzer (TGA) พบว่าเมื่อพอลิยูรีเทนโฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีแนวโน้มของอุณหภูมิที่ใช้ในการสลายตัวเพิ่มขึ้น และมีเสถียรภาพทางความร้อนมากกว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

5.4 ผลการศึกษาสมบัติความไม่ชอบน้ำ แต่ชอบน้ำมัน และประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมัน

จากการศึกษาค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำ และหยดน้ำมันบนพื้นผิวพอลิยูรีเทนโฟม และพอลิ-ยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พบว่าเมื่อทดสอบค่ามุมสัมผัสของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมีค่ามุมสัมผัสสูงขึ้น เมื่อปริมาณของรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์สูงขึ้น เมื่อทดสอบค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำมันค่ามุมสัมผัสมีค่าลดต่ำลง เมื่อปริมาณรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มสูงขึ้น และเมื่อทดสอบค่ามุมสัมผัสในกรณีที่ไม่เติมวิตามินซีและไม่ให้ความร้อน พบว่าค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำและหยดน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้น และลดลงตามลำดับเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นั่นคือพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีสมบัติความไม่ชอบน้ำ แต่มีสมบัติความชอบน้ำมันได้อย่างดี

จากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับน้ำ น้ำมัน และคลอโรฟอร์มของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ พบว่าพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันดีกว่าน้ำ ดูดซับน้ำมันได้อย่างดี และรวดเร็วถึง 5 วินาที โดยค่าประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันเฉลี่ยของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟมที่ปริมาณ 20 มิลลิกรัม มีค่าเท่ากับ 46.88 และยังสามารถดูดซับคลอโรฟอร์มได้เป็นอย่างดี ซึ่งแสดงถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำ แต่ชอบน้ำมันของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ข้อเสนอแนะ

1) ในงานวิจัยนี้พบว่าวิตามินซีสามารถใช้ในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น อาจจะมีการใช้วิตามินซีจากธรรมชาติ เช่น ผักและผลไม้ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สามารถนำมาทดแทนได้

2) ในขั้นตอนการเตรียมพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ควรจะมีการใช้สารเชื่อมประสานเพื่อให้การยึดเกาะระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และพอลิยูรีเทนโฟมสามารถยึดเกาะได้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Shuang Song, Hao Yang, Chunping Su, Zhibin Jiang and Zhong Lu. **"Ultrasonic-microwave assisted synthesis of stable reduced graphene oxide modified melamine foam with superhydrophobicity and high oil adsorption capacities".** Chemical Engineering Journal 306 (2016) 504–511.

[2] Chao-Hua Xue, Ya-Ru Li, Jin-Lin Hou, Lei Zhang; Jian-Zhong Ma and Shun-Tian Jia. **" Self-roughened superhydrophobic coatings for continuous oil-water separation".** Journal of Materials Chemistry A 3 (2015) 10248–10253.

[3] Huaiyuan Wang, Enqun Wang, Zhanjian Liu, Dong Gao, Ruixia Yuan, Liyuan Suna and Yanji Zhua. **" 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 (2015) 266–273.

[4] Xi-Sen Wang, Jian Liu, Jean M. Bonefont, Da-Qiang Yuan, Praveen K. Thallapally and Shengqian Ma. **" A porous covalent porphyrin framework with exceptional uptake capacity of saturated hydrocarbons for oil spill cleanup".** Chemical Communications 49 (2013) 1533-1535.

[5] Shu Wan, Hengchang Bi and Litao Sun."**Graphene and carbon-based nanomaterials as highly efficient adsorbents for oils and organic solvents".** Nanotechnol Rev 5 (2016) 3–22.

[6] Yanwu Zhu, Shanthi Murali, Weiwei Cai, Xuesong Li, Ji Won Suk, Jeffrty Potts and Rodney Ruoff. **" Graphene and Graphene Oxide:Synthesis, Porperties and Application".**Advanced Materials 22 (2010) 3906-3924.

[7] Yu Yang, Yonghong Deng, Zhen Tonga and Chaoyang Wang. **" Multifunctional foams derived from poly (melamine formaldehyde) as recyclable oil absorbents".** Journal of Materials Chemistry A 2 (2014) 9994–9999.

[8] Trison. 2010. **พอลิยูรีเทนโฟม.** [Online]. Available: http://www.rffoam.com/index.php?lay= show&ac= article&Id=538747158

[9] Polymer Science Learning Center. 2002. **Polyurethane.** [Online]. Available: http://www.pslc.ws/macrog/urethane.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] [Online]. Available: http://www.newenglandfoam.com/gallery.html

[11] สารานุกรมเสรี. 2559. **สารละลายในน้ำ.** [Online]. Available: https://th.wikipedia.org/wiki/สารละลายในน้ำ

[12] บุญรักษ์ กาญจนวรวณิชย์. MTEC. **อิฐกันตะไคร่จากเทคโนโลยีเลียนแบบธรรมชาติ.** [Online]. Available: https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/919-

[13] Konstantin NovoselovGeim, Andre Geim, SV Morozov, De-en Jiang, Yingying Zhang, S. V. Dubonos, IV Grigorieva and Firsov AA. **"Electric field effect in atomically thin carbon films".** Science A 306 (2004) 666-669.

[14] Antonio Castro Neto, Francisco Guinea and Nuno Miguel Peres. **"Drawing conclusions from graphene".** Physics World 19 (2006) 33.

[15] AHC Neto, F Guinea, NMR Peres and KS Novoselov Andre Geim. **"the electronic properties of graphene".** Reviews of Modern Physics 81 (2009) 109.

[16] P Avouris and C Dimitrakopoulos. **"Graphene Synthesis and Applications".** CRC PressTaylor & Francis Group 15 (2012) 86-97.

[17] Kenneth S Suslick, Yuri Didenko, Ming M Fang, Taeghwan Hyeon, Kenneth J Kolbeck, William B McNamara, Millan M Mdleleni and Mike Wong. **"Acoustic cavitation and its chemical consequences".** Phil. Trans. R. Soc. Lond 357 (1999) 335.

[18] JH Bang and KS Suslick. **"Applications of ultrasound to the synthesis of nanostructured materials".** Advanced Materials 22 (2010) 1039.

[19] CK Chua and M Pumera. **"Chemical reduction of graphene oxide: a synthetic chemistry viewpoint".** Chemecal Society Reviews 43 (2014) 291.

[20] S Pei and HM Cheng. **"The reduction of graphene oxide".** Carbon 50 (2012) 3210.

[21] SC Rumsey and M Levine. **"Absorption, transport, and disposition of ascorbic acid in humans".** The Journal of Nutritional Biochemistry 9 (1998) 116-130.

[22] Jian Gao, Fang Liu, Yiliu Liu, Ning Ma, Zhiqiang Wang, and Xi Zhang. **" Environment-Friendly Method To Produce Graphene That Employs Vitamin C and Amino Acid".** Chemistry of materials article 22 (2010) 504–511.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[23] Dan Li, Mu Ller, Scott Gilie, Richard B. Kaner and Gondon G. Wallace. **"Processable aqueous dispersions of graphene nanosheets".** Nature nanotechnologye 3 (2008) 101-105.

[24] X Zhu, Q Liu, X Zhu, C Li, M Xu and Y Liang. **"Reduction of graphene oxide via ascorbic acid and its application for simultaneous detection of dopamine and ascorbic acid".** Int. J. Electrochem. Science 7 (2012) 5172-5184.

[25] John Demassa. **"Polyol Stabilization and the Introduction of a New PUR Slabstock Foam Antioxidant".** Vanderbilt Company. (2011) 26-28.

[26] Eun-Young Choi, Tae Hee Han, Jihyun Hong, Ji Eun Kim, Sun Hwa Lee, Hyun Wook Kima and Sang Ouk Kim. **"Noncovalent functionalization of graphene with end-functional polymers".** J. Mater. Chem. 20 (2010) 1907–1912.

[27] Morteza Sadeghi, Mohammad Ali Semsarzadeh, Mehdi Barikani and Behnam Ghalei. **" Study on the morphology and gas permeation property of polyurethane membranes" .** Journal of Membrane Science 385– 386 (2011) 76– 85.

[28] Graziella Trovati, Edgar Ap Sanches, Salvador Claro Neto, Yvonne Primerano Mascarenhas and Gilberto Orivaldo Chierice. **" Characterization of polyurethane resins by FTIR, TGA, and XRD".** Journal of Applied Polymer Science 115 (2010) 263–268.

[29] José Maria Cangemi, Salvador Claro Neto, Gilberto Orivaldo Chierice and Antonia M Dos Santos. 2006. **Study of the biodegradation of a polymer derived from castor oil by scanning electron microscopy, thermogravimetry and infrared spectroscopy.** [Online]. Available: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282006000200013

[30] Lin Zhang, Hongqiang Li, Xuejun Lai, Xiaojing Su, Tao Liang and Xingrong Zeng. "Thiolated graphene-based superhydrophobic sponges for oil-water separation". Chemical Engineering Journal 316 (2017) 736–743.

[31] Kun Hou, Yun Jin, Jiahui Chen, Xiufang Wen, Shouping Xu, Jiang Cheng and Pihui Pi. "Fabrication of superhydrophobic melamine sponges by thiol-ene click chemistry for oil removal". Materials Letters 202 (2017) 99-102.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[32] Wenlong Yang, Hui Gao, Yu Zhao, kaiqi Bi and Xiaolong Li. **"Facile preparation of nitrogen-doped graphene sponge as a highly efficient oil absorption material".** Materials Letters 178 (2016) 95-99.

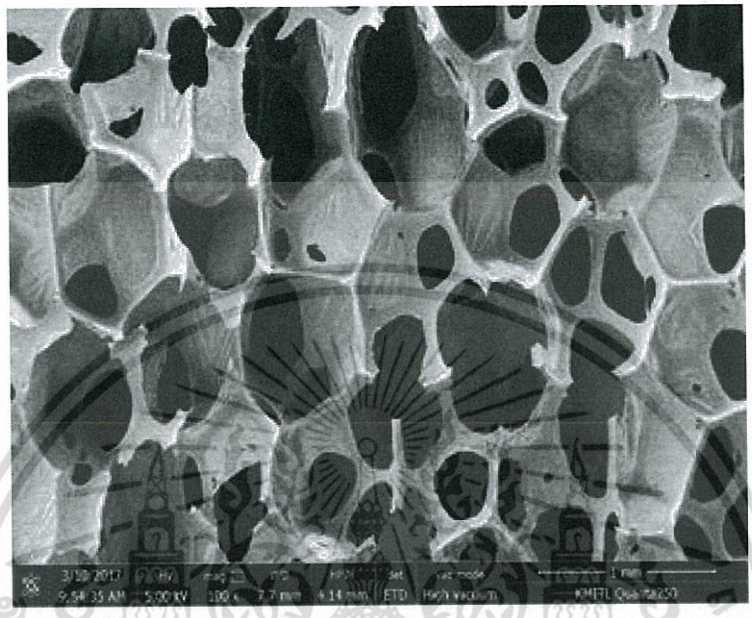
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

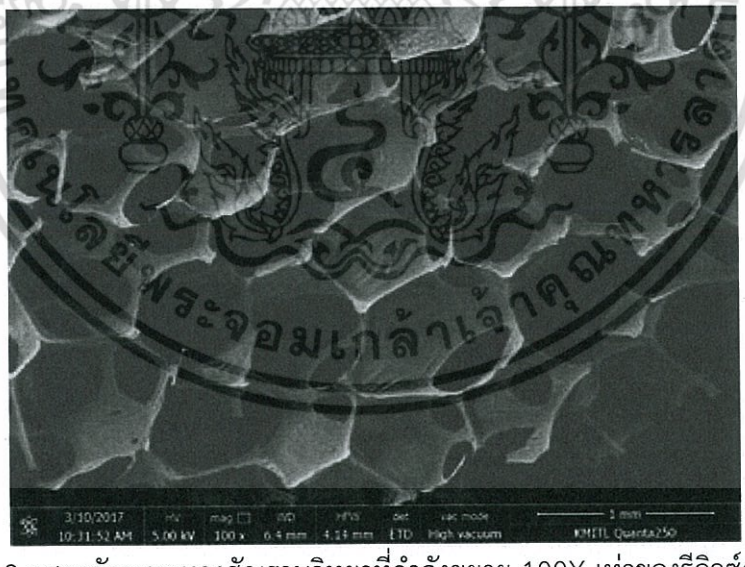
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

1. การตรวจพิสูจน์ลักษณะทางสัณฐานวิทยา

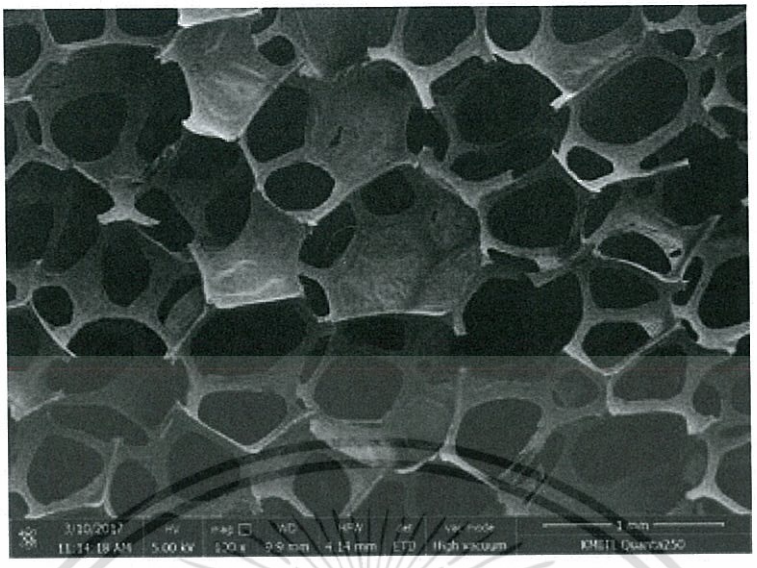


รูปที่ ก-1 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 100X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม



รูปที่ ก-2 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 100X เท่าของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 5 มิลลิกรัม

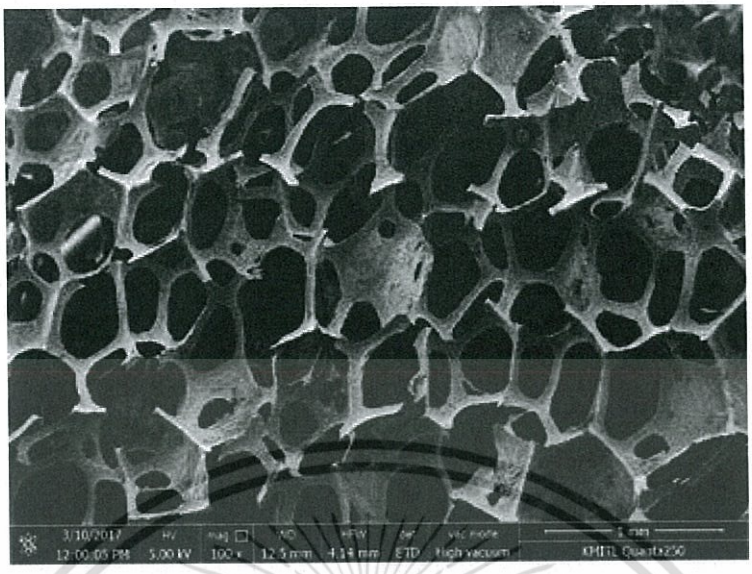
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



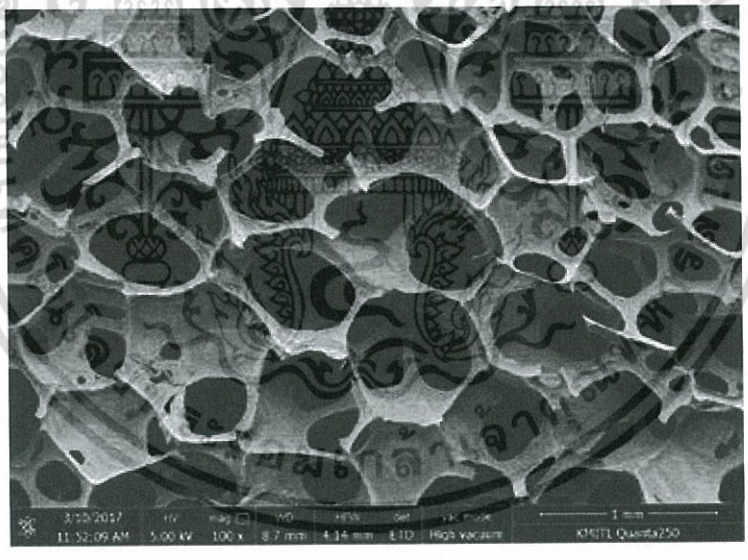
รูปที่ ก-3 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 100X เท่าของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 10 มิลลิกรัม

รูปที่ ก-4 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 100X เท่าของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 20 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

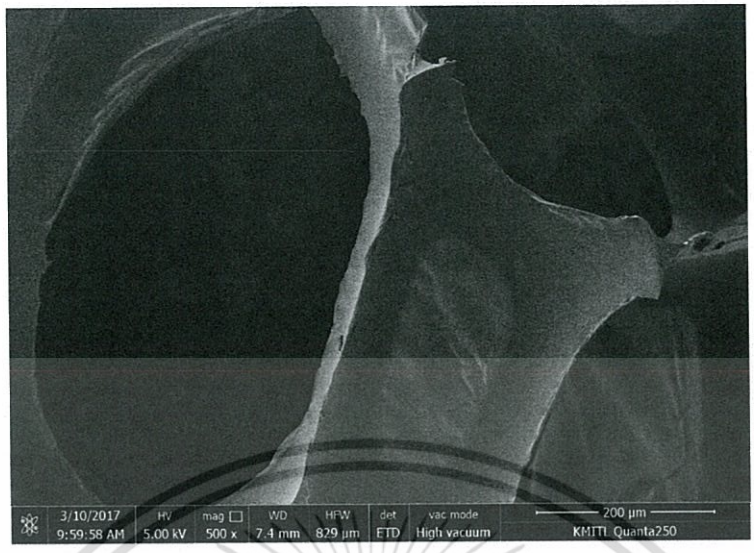


รูปที่ ก-5 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 100X เท่าของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 30 มิลลิกรัม



รูปที่ ก-6 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 100X เท่าของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 5 มิลลิกรัม ไม่มีการให้ความร้อน

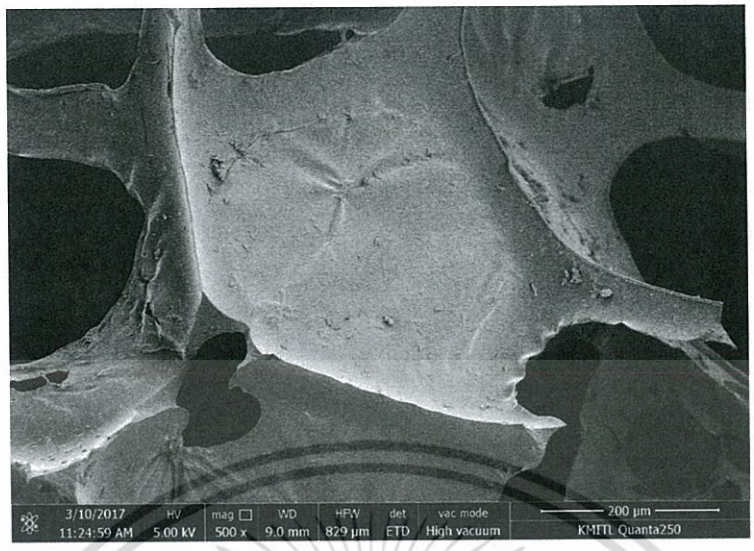
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-7 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 500X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม

รูปที่ ก-8 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 500X เท่าของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 5 มิลลิกรัม

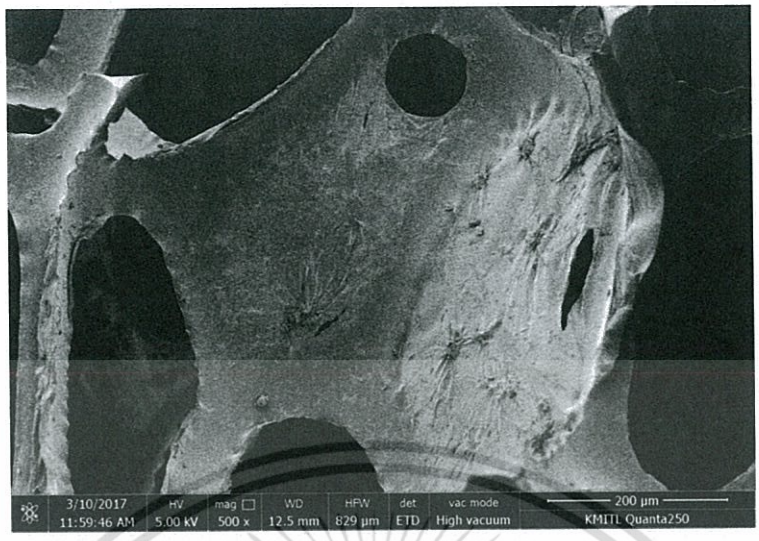
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-9 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 500X เท่าของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 10 มิลลิกรัม

รูปที่ ก-10 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 500X เท่าของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 20 มิลลิกรัม

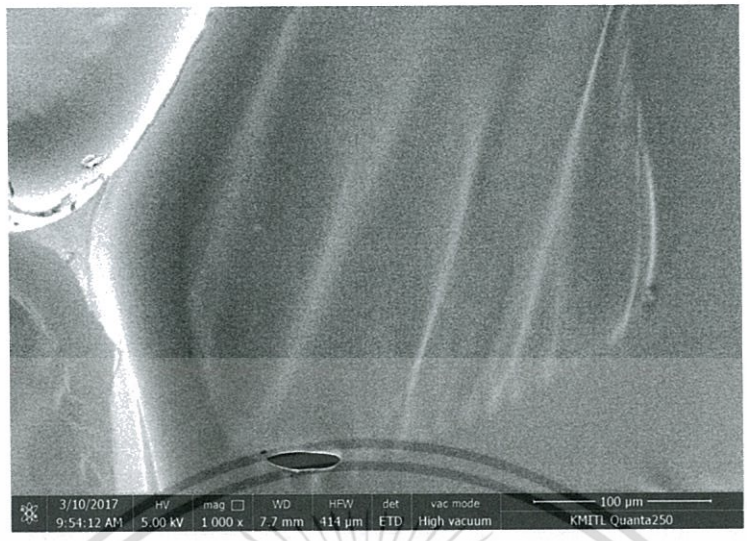
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-11 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 500X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 30 มิลลิกรัม

รูปที่ ก-12 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 500X เท่าของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 5 มิลลิกรัม ไม่มีการให้ความร้อน

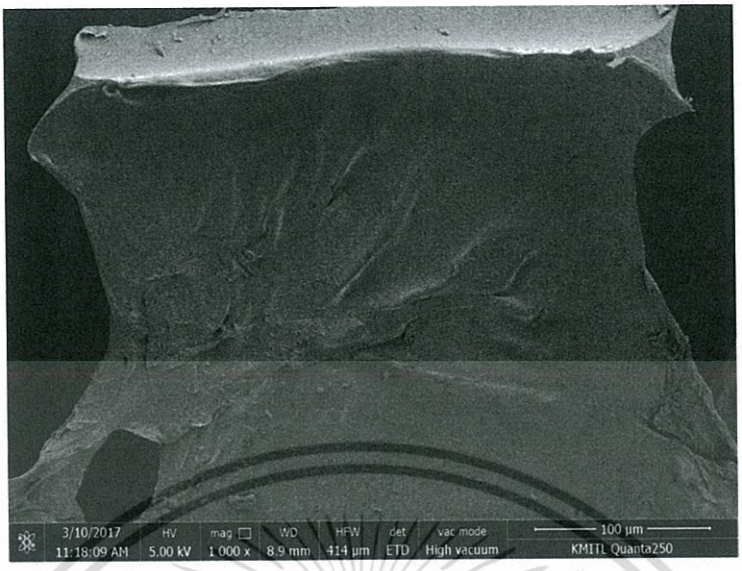
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-13 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 1000X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม

รูปที่ ก-14 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 1000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 5 มิลลิกรัม

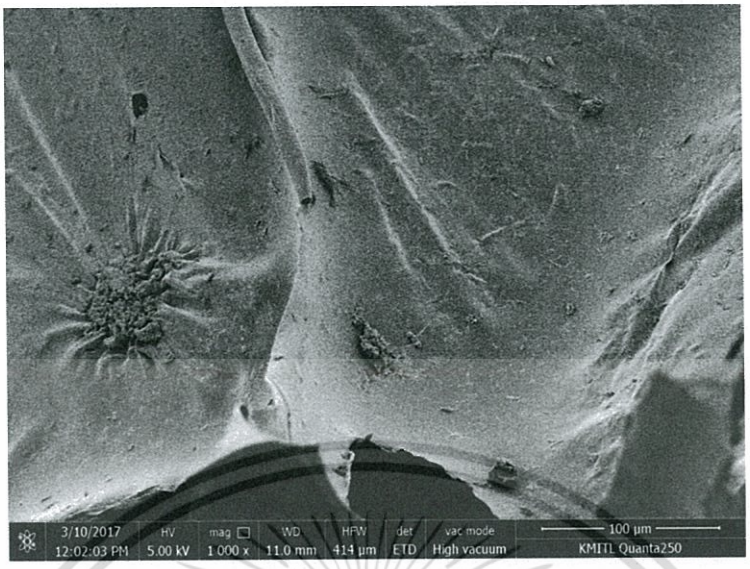
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-15 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 1000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 10 มิลลิกรัม

รูปที่ ก-16 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 1000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 20 มิลลิกรัม

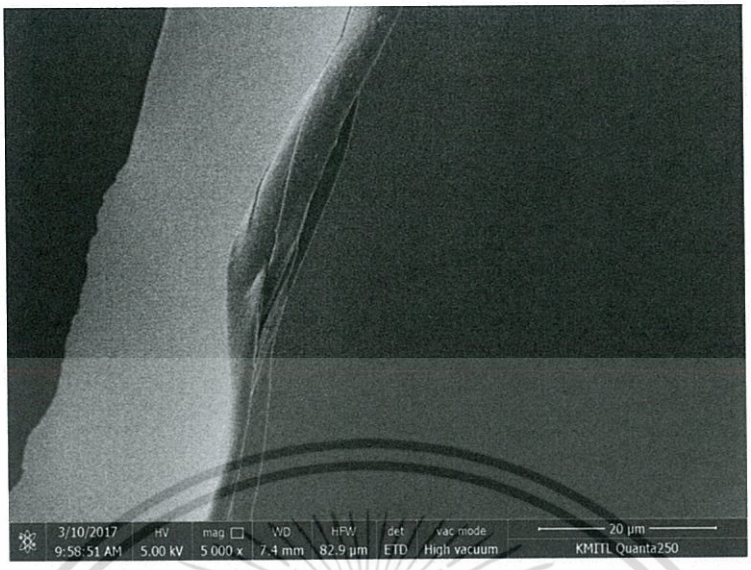
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-17 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 1000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 30 มิลลิกรัม

รูปที่ ก-18 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 1000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 5 มิลลิกรัม ไม่มีการให้ความร้อน

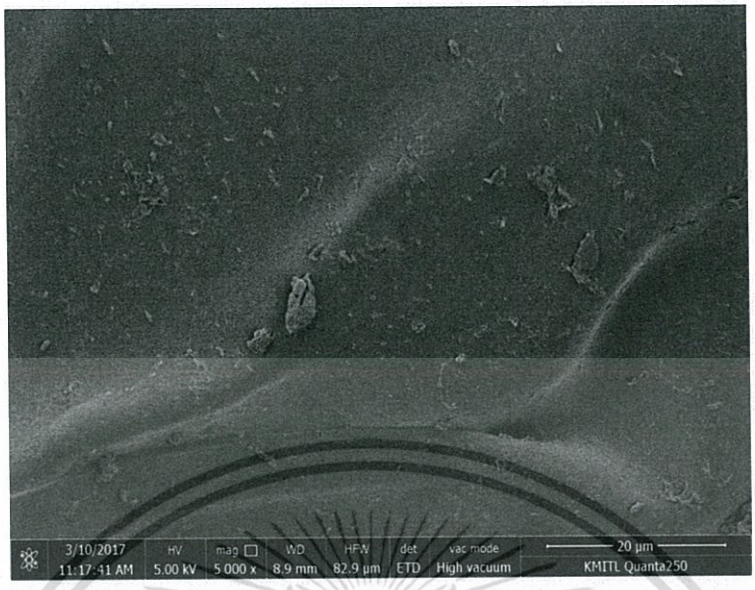
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-19 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 5000X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม

รูปที่ ก-20 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 5000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 5 มิลลิกรัม

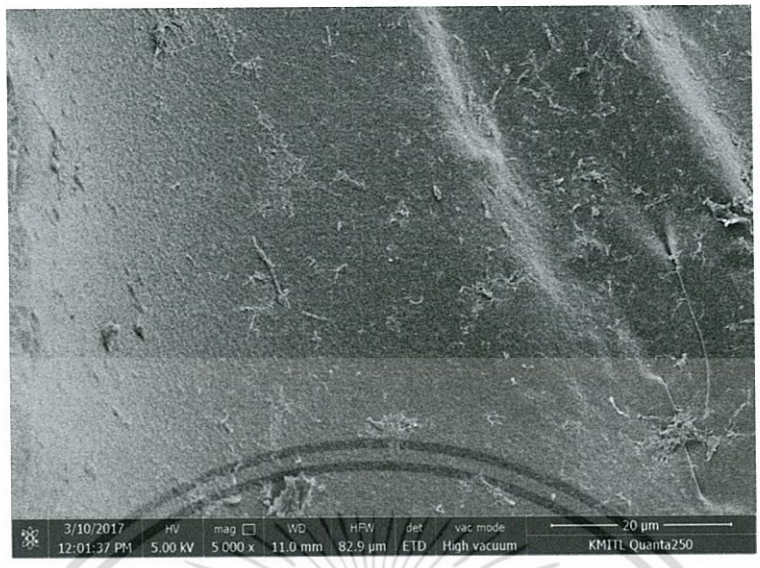
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-21 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 5000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 10 มิลลิกรัม

รูปที่ ก-22 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 5000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 20 มิลลิกรัม

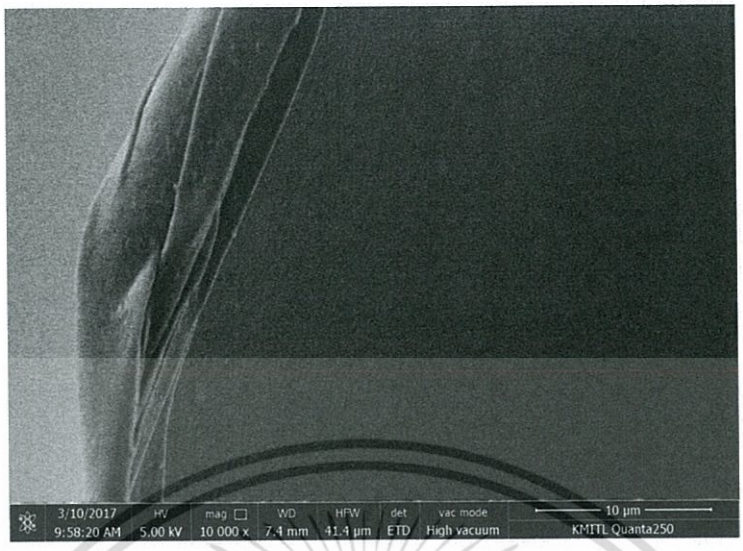
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-23 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 5000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 30 มิลลิกรัม

รูปที่ ก-24 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 5000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 5 มิลลิกรัม ไม่มีการให้ความร้อน

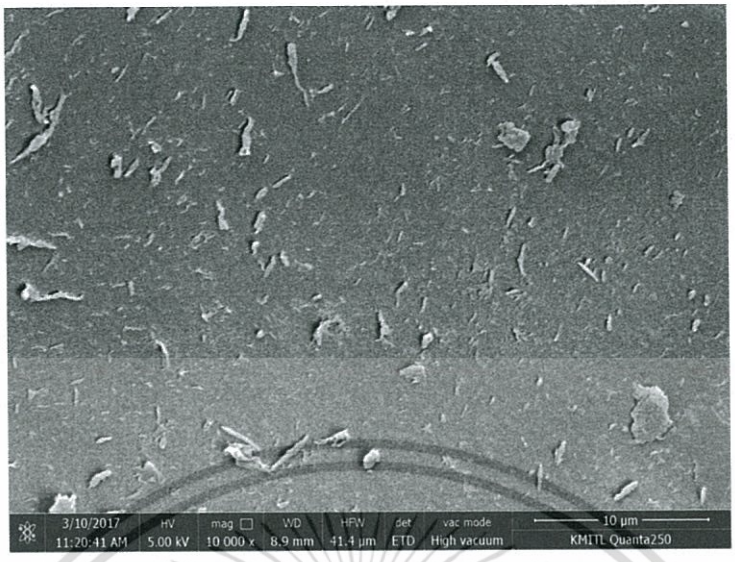
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-25 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 10000X เท่าของพอลิยูรีเทนโฟม

รูปที่ ก-26 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 10000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 5 มิลลิกรัม

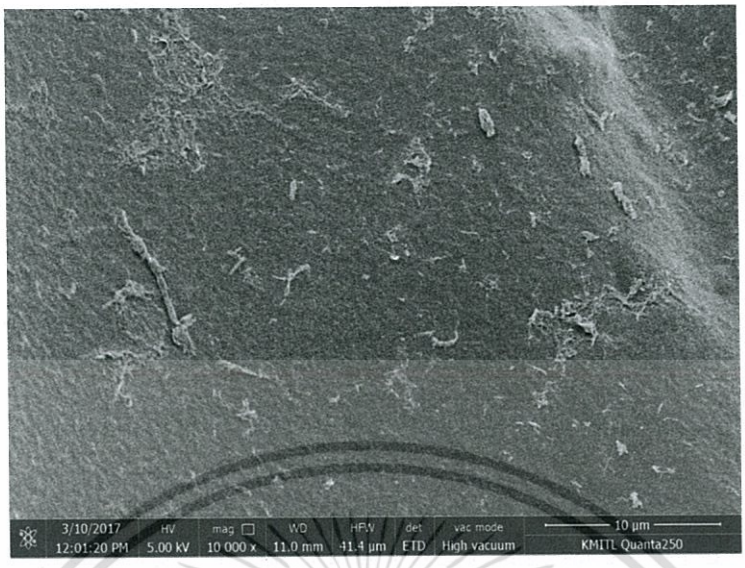
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-27 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 10000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 10 มิลลิกรัม

รูปที่ ก-28 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 10000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 20 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

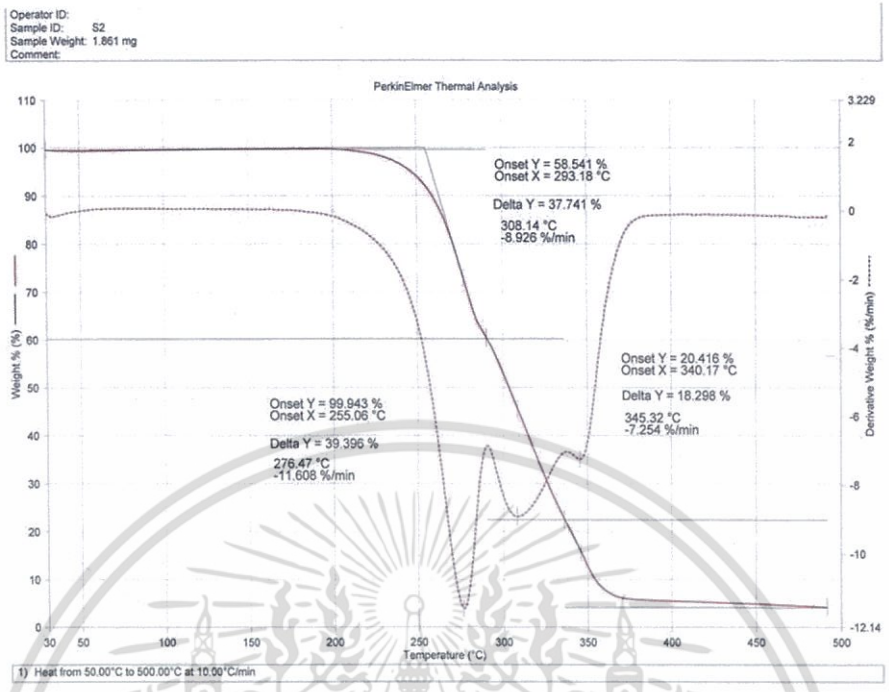


รูปที่ ก-29 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 10000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 30 มิลลิกรัม

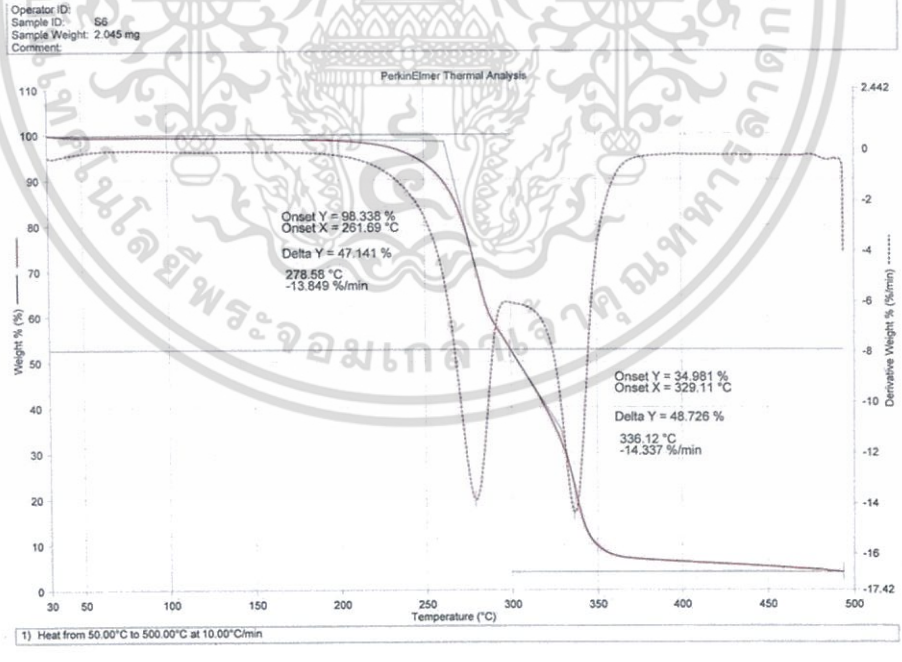
รูปที่ ก-30 แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่กำลังขยาย 10000X เท่าของรีดิวซ์กราฟีน-ออกไซด์เคลือบบนพอลิยูรีเทนโฟม 5 มิลลิกรัม ไม่มีการให้ความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน

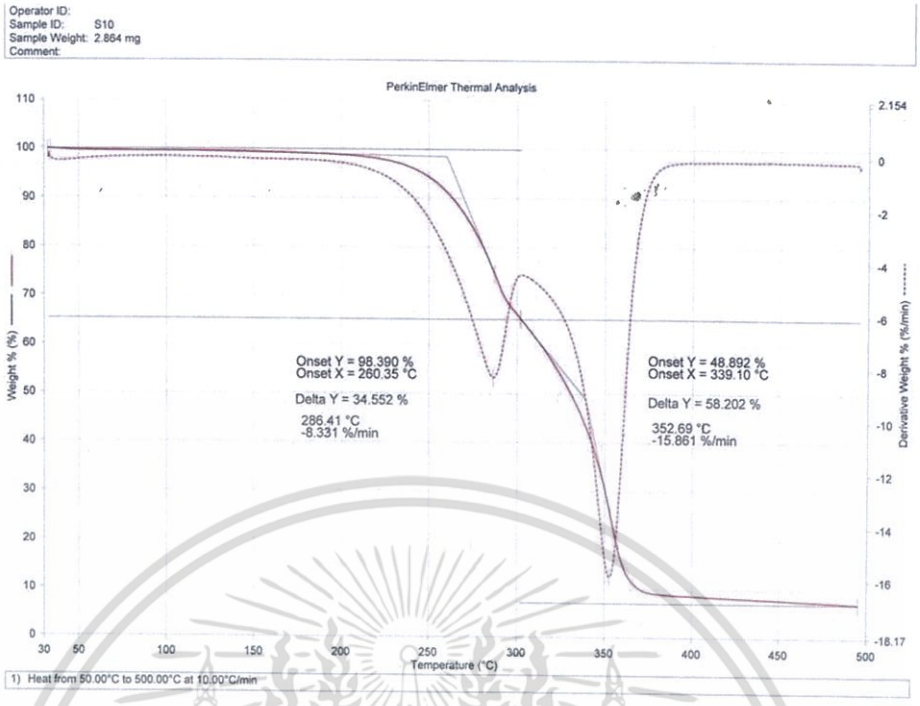


รูปที่ ก-31 กราฟแสดงการวิเคราะห์ทางความร้อนของพอลิยูรีเทนโฟม



รูปที่ ก-32 กราฟแสดงการวิเคราะห์ทางความร้อนของพอลิยูรีเทนโฟมที่เคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ 5 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-33 กราฟแสดงการวิเคราะห์ทางความร้อนของพอลิยูรีเทนที่โฟมเคลือบด้วยรีดิวซ์-กราฟีนออกไซด์ 30 มิลลิกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง