

การใช้ไมโครเวฟช่วยในการสังเคราะห์แผ่นนาโนรีดิวซ์กราฟีน
ออกไซด์ในน้ำโดยใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ

MICROWAVE ASSISTED SYNTHESIS OF REDUCED
GRAPHENE OXIDE NANOSHEET IN WATER USING
A POLY(VINYLPYRROLIDONE) AS STABILIZER



โครงการพิเศษเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การใช้ไมโครเวฟช่วยในการสังเคราะห์แผ่นนาโนรีดิวซ์กราฟีน
ออกไซด์ในน้ำโดยใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ

MICROWAVE ASSISTED SYNTHESIS OF REDUCED
GRAPHENE OXIDE NANOSHEET IN WATER USING
A POLY(VINYLPYRROLIDONE) AS STABILIZER



ส.พ.
๑๖/๕๘ ก

สงหนุ ๒๐๖๘
.ลขทะเบียน 149278
วันเดือนปี 30 ส.ค. 2561



โครงการพิเศษเล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในห้องสมุด ขอสงวนสิทธิ์ในอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROWAVE ASSISTED SYNTHESIS OF REDUCED
GRAPHENE OXIDE NANOSHEET IN WATER USING
A POLY(VINYLPYRROLIDONE) AS STABILIZER



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIALFULFILLMENT 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 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การใช้ไมโครเวฟช่วยในการสังเคราะห์แผ่นนาโนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในน้ำ โดยใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ
MICROWAVE ASSISTED SYNTHESIS OF REDUCED GRAPHENE OXIDE NANOSHEET IN WATER USING A POLY(VINYLPYRROLIDONE) AS STABILIZER

ชื่อนักศึกษา นางสาวนพวรรณ พงษ์สนิท รหัสนักศึกษา 55050695
นางสาวนัชชา จิรสุทธิสาร รหัสนักศึกษา 55050702
นางสาวน้ำตาล หอมหวล รหัสนักศึกษา 55050704

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา เคมี

ปีการศึกษา 2558

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ ประธานกรรมการ	
ดร.เอกรัตน์ เดชศรี กรรมการ	 Karat. Det.
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การใช้ไมโครเวฟช่วยในการสังเคราะห์แผ่นนาโนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในน้ำ โดยใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวนพวรรณ พงษ์สนธิ	รหัสนักศึกษา	55050695
	นางสาวนัชชา จิรสุทธิสาร	รหัสนักศึกษา	55050702
	นางสาวน้ำตาล หอมหวล	รหัสนักศึกษา	55050704
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์		

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของโครงการพิเศษนี้คือเพื่อทำการศึกษาระบวนการสังเคราะห์และตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) ในน้ำด้วยวิธีการที่ง่าย รวดเร็ว และคุ้มค่าโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟช่วยสังเคราะห์ โดยใช้ไฮดราซีน ($N_2H_4 \cdot H_2O$) เป็นตัวรีดิวซ์เอเจนต์ และมีโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) เป็นตัวรักษาเสถียรภาพ ในกระบวนการเตรียมนี้จะนำสารแขวนลอยสีน้ำตาลเหลืองของกราฟีนออกไซด์ไปให้ความร้อนด้วยการฉายรังสีไมโครเวฟเพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันทางเคมีเปลี่ยนสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ให้กลายเป็นสีดำของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ในการทดลองนี้ได้มีการศึกษาผลของเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้คือศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน (0 1 2 3 และ 4 นาที) กำลังงานความร้อนของไมโครเวฟ (100 300 และ 450 วัตต์) ปริมาณไฮดราซีนไฮเดรตความเข้มข้น 50-60 เปอร์เซ็นต์ (0.05 0.10 0.15 และ 0.20 มิลลิลิตร) และปริมาณสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดนความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (0.10 0.50 และ 1.00 มิลลิลิตร) เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับใช้เตรียมสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เป็นสีดำและมีเสถียรภาพ จากนั้นนำสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิควัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis) ฟลูออโรสเปกโตรสโกปี อินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (FT-IR) รามาน สเปกโทรสโกปี (Raman) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) ผลจากการตรวจวัดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงพบว่า พีคการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร ($\pi - \pi^*$) ของกราฟีนออกไซด์ มีค่าเพิ่มขึ้นและเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่ยาวขึ้น ในขณะที่พีคการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร ($n - \pi^*$) จะหายไปหลังจากถูกรีดิวซ์แสดงให้เห็นว่าหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) คาร์บอนิล (-CO) และไฮดรอกซิล (-OH) ถูกกำจัดออกไปจากโครงสร้างกราฟีนออกไซด์แล้ว ในขณะที่ยวกันพันธะคู่ (-C=C-) ในโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะถูกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานาน นโมอนุญาตเห็นาเบเซประยชนดานัก พิศาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างขึ้นใหม่เพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการละลายและเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในตัวทำละลายออร์แกนิก (Organic Solvents) ชนิดต่างๆ จากผลการทดลองพบว่าสารแขวนลอยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายมีขี้ เช่น น้ำ เมทานอล เอทานอล และอะซิโตน เป็นต้น และเมื่อกึ่งสารแขวนลอยเหล่านี้ไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือน พบว่าสารแขวนลอยส่วนใหญ่ยังคงมีเสถียรภาพคงเดิมยกเว้นในอะซิโตนเท่านั้นที่เสถียรภาพและเกิดการตกตะกอนขึ้น

คำสำคัญ : กราฟีนออกไซด์ เทคนิคไมโครเวฟ โพลีไวนิลไพโรลิโดน รีติวซ์กราฟีนออกไซด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Microwave Assisted Synthesis of Reduced Graphene Oxide Nanosheet in Water Using a Polyvinylpyrrolidone as Stabilizer		
Students	Noppawan Pongsanit	Student ID	55050695
	Natcha Jirasuttisarn	Student ID	55050702
	Namtan Homhuan	Student ID	55050704
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2015		
Advisor	Dr.Chaval Sriwong		

Abstract

The aim of this special project is to study the synthesis and characterization of reduced graphene oxide (rGO) nanosheets in water by a simple, rapid and cost-effective microwave assisted method using hydrazine hydrate ($N_2H_4 \cdot H_2O$) as a reducing agent and polyvinylpyrrolidone (PVP) as a stabilizer. In the preparation, the yellow-brown aqueous dispersions of graphene oxide (GO) sheets were reduced by a chemical reduction method under microwave irradiation which resulting the black aqueous suspensions of rGO nanosheets. In this chemical reduction method, the effects of heating time (0, 1, 2, 3 and 4 min), power of microwave (100, 300 and 450 watt), the amounts of 50-60 vol% hydrazine hydrate (0.05, 0.10, 0.15 and 0.20 mL) and 5 wt% PVP (0.10, 0.50 and 1.00 mL) were studied for the optimum condition to achieve the black stable aqueous suspension of rGO sheets. Then, the obtained rGO samples were characterized by UV-vis, FT-IR, Raman, SEM and TEM techniques. From the UV-vis spectrum results, the absorption peak around 230 nm ($\pi - \pi^*$) of graphene oxide has increased and shifted to the longer wavelength, whereas the disappearance of the absorption peak around 300 nm ($n - \pi^*$) after reducing, indicating the complete removal of the functional groups of carboxylic (-COOH), carbonyl (-CO) and hydroxyl (-OH) from the structure of graphene oxide nanosheets along with the conjugate bonds (-C=C-) on the rGO sheets structure were also

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

restored under microwave irradiation. Moreover, the dispersion behavior and stability of rGO sheets in a wide range of organic solvents were also investigated. The results showed that the aqueous suspension of rGO sheets could be well dispersed in on the polar solvents such as water, methanol, ethanol, and acetone. After one month, most of the suspensions were remained stable, but only in acetone the rGO sheets were precipitated.

Keywords: Graphene oxide (GO), Microwave assisted synthesis, Polyvinylpyrrolidone (PVP), Reduced graphene oxide (rGO)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิดและเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้โครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณอย่างสูงสำหรับ ผศ.ดร.มนตรี ทองคำ และดร.เอกรัฐ เดชศรี ที่ช่วยเป็นคณะกรรมการในการตรวจสอบ และอาจารย์ที่เข้ารับฟังการนำเสนอโครงการพิเศษทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการตรวจทานและเสนอความคิดเห็นต่างๆ ให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จไปได้อย่างสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความร่วมมืออำนวยความสะดวก ในการทำโครงการพิเศษให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อนๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดในการทำโครงการพิเศษ กราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

นพวรรณ พงษ์สนิท
 นัชชา จิรสุทธิสาร
 น้ำตาล หอมหวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กราฟีน.....	4
2.1.1 ประวัติการค้นพบ.....	5
2.1.2 วิธีการสังเคราะห์กราฟีน.....	6
2.1.3 คุณสมบัติของกราฟีน.....	7
2.1.4 การนำกราฟีนมาใช้งาน.....	8
2.2 กราฟีนออกไซด์.....	8
2.2.1 ตัวอย่างวิธีการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	9
2.3 โพลีไวนิลไพร์โรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone;PVP).....	10
2.3.1 การนำไปใช้งาน.....	11
2.4 ไฮโดรราซิน.....	11
2.4.1 การนำไปใช้งาน.....	12
2.5 ยางธรรมชาติ.....	12
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	15
3.1 สารเคมี.....	15
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	15
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.1 การเตรียมสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน ความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก (5wt%).....	16
3.3.2 การรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน.....	16
3.3.2.1 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน.....	16
3.3.2.2 ศึกษาผลของกำลังงานที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	17
3.3.2.3 ศึกษาผลของปริมาณไฮดราซีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	17
3.3.2.4 ศึกษาผลของปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ในการ ทำปฏิกิริยา.....	18
3.3.3 การศึกษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ในตัวทำละลายต่างๆ.....	19
3.3.4 การเตรียมแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	20
3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์เฉพาะ.....	20
3.4.1 ศึกษาคุณลักษณะของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	20
3.4.1.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer).....	20
3.4.1.2 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR).....	20
3.4.1.3 เครื่องรามานสเปกโทรสโคปี (Raman spectroscopy).....	21
3.4.1.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope;SEM).....	21
3.4.1.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope;TEM).....	21
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	22
4.1 การศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	22
4.1.1 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการดูดกลืนแสง.....	22
4.1.2 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานของการสั่นของโมเลกุล.....	37
4.1.3 ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน.....	40
4.1.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัมพันธ์ฐานวิทยาและพื้นผิวของสารในระดับจุลภาค.....	41
4.1.5 ผลการตรวจสอบลักษณะสัมพันธ์ฐานวิทยาของสารรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	42
4.2 การศึกษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในตัวทำละลายต่างๆ...43	43
4.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไปใช้ ประโยชน์ในการเพิ่มสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	48
5.2 ผลการศึกษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในตัวทำละลายต่างๆ.....	49
5.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ.....	49
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	49
เอกสารอ้างอิง.....	51
ภาคผนวก.....	55
ภาคผนวก ก.....	56
ภาคผนวก ข.....	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงสมบัติของโพลีไวนิลไพโรลิโดน.....	10
2.2 แสดงสมบัติของไฮดราซีน.....	11
3.1 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน.....	16
3.2 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของกำลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	17
3.3 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณไฮดราซีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	18
3.4 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	18
3.5 แสดงพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	19
4.1 แสดงค่าความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขระยะเวลาที่ ให้ความร้อนต่างกัน.....	26
4.2 แสดงค่าความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขกำลังงาน ความร้อนที่ให้ต่างกัน.....	29
4.3 แสดงสีของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สังเกตได้.....	32
4.4 แสดงค่าความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขปริมาณ ไฮดราซีนที่ต่างกัน.....	33
4.5 แสดงค่าความยาวคลื่นที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขปริมาณ โพลีไวนิลไพโรลิโดนต่างกัน.....	36
4.6 แสดงข้อมูล IR สเปกตรัมเปรียบเทียบการสั่นของพันธะที่สำคัญของกราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	39
4.7 สภาพขั้วของตัวทำละลาย.....	45

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นกราฟีน.....	1
1.2 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นกราฟีนออกไซด์.....	1
2.1 โครงสร้างของแผ่นกราฟีน.....	4
2.2 โครงสร้างพื้นฐานของวัสดุคาร์บอนที่มีรูปแบบโครงสร้างต่างๆ.....	5
2.3 นักวิทยาศาสตร์ที่ทำการค้นพบกราฟีนได้รับรางวัล Nobel Prize.....	6
2.4 ซุปเปอร์มวลผลและแผงโซลาร์เซลล์ที่มีกราฟีนเป็นองค์ประกอบ.....	8
2.5 ลักษณะโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์.....	9
2.6 โครงสร้างและผงของโพลีไวนิลไพโรลิโดน.....	10
2.7 โครงสร้างไฮดราซีนและสารละลายไฮดราซีน.....	11
2.8 โครงสร้างยางธรรมชาติและน้ำยางธรรมชาติ.....	12
4.1 แสดงภาพถ่ายของ (a) สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์เริ่มต้น (b) สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์หลังจากผ่านการรีดิวซ์ด้วยไฮดราซีนโดยใช้ไมโครเวฟ.....	22
4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO) สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) และโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP).....	23
4.3 แสดงการเปลี่ยนสภาวะของอิเล็กทรอนิกส์.....	24
4.4 แสดงภาพสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ให้ความร้อนในระยะเวลาต่างกัน (a) ก่อนให้ความร้อน (b) 1 นาที (c) 2 นาที (d) 3 นาที.....	25
4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ระยะเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกันคือ 0 1 2 และ 3 นาทีตามลำดับ.....	26
4.6 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ให้กำลังงานความร้อน 100 วัตต์ในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที.....	27
4.7 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ให้กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที.....	27
4.8 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ให้กำลังงานความร้อน 450 วัตต์ในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่กำลังงานความร้อนที่แตกต่างกันคือ 100 300 และ 450 วัตต์ ตามลำดับ.....	28
4.10 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.05 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยากำลังงานความร้อน 300 วัตต์ ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที.....	30
4.11 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.10 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยากำลังงานความร้อน 300 วัตต์ ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที.....	30
4.12 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยากำลังงานความร้อน 300 วัตต์ ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที.....	31
4.13 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.20 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยากำลังงานความร้อน 300 วัตต์ ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที.....	31
4.14 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณไฮดราซีนที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกันคือ 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 มิลลิลิตรตามลำดับ.....	33
4.15 แสดงภาพของสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.10 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยา ไฮดราซีนปริมาณ 0.15 มิลลิลิตร กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที.....	34
4.16 แสดงภาพของสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.15 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยา ไฮดราซีนปริมาณ 0.15 มิลลิลิตร กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที.....	34
4.17 แสดงภาพของสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 1.00 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยา ไฮดราซีนปริมาณ 0.15 มิลลิลิตร กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที.....	35
4.18 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่แตกต่างกันคือ 0.10 0.50 และ 1.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ.....	35
4.19 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของกราฟีนออกไซด์.....	37
4.20 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.21 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของโพลีไวนิลไพโรลิโดน.....	39
4.22 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	40
4.23 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM (a) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กำลังขยาย X150 เท่า (b) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กำลังขยาย X1000 เท่า.....	41
4.24 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM ของโพลีไวนิลไพโรลิโดนกำลังขยาย X150 เท่า.....	42
4.25 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง TEM ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (a) กำลังขยาย X19000 เท่า (b) กำลังขยาย X29000 เท่า.....	42
4.26 แสดงเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์หลังใส่ลงในตัวทำละลายทันที.....	43
4.27 แสดงเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์หลังใส่ลงในตัวทำ ละลาย 1 สัปดาห์.....	44
4.28 แสดงเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์หลังใส่ลงในตัวทำ ละลาย 1 เดือน.....	44
4.29 แสดงภาพทางธรรมชาติผสมสารรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์หลังผสมทันที.....	46
4.30 แสดงภาพทางธรรมชาติผสมสารรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์หลังทิ้งไว้ 1 คืน.....	47

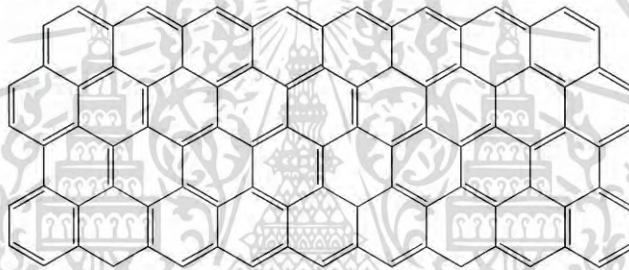
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

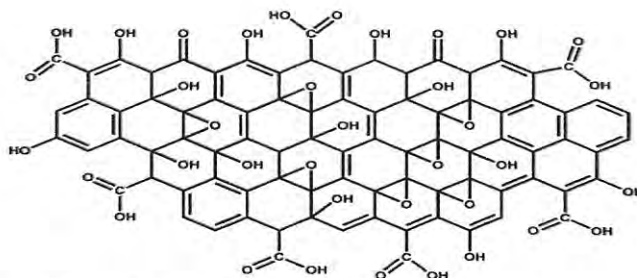
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

กราฟีน (Graphene) เป็นอัญรูปหนึ่งของคาร์บอน มีการจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนเป็นวงหกเหลี่ยมคล้ายกับรังผึ้ง โดยมีความหนาเท่ากับคาร์บอนหนึ่งอะตอม (0.335 นาโนเมตร) ระยะห่างระหว่างพันธะโคเวเลนต์ของแต่ละอะตอมคาร์บอนเท่ากับ 0.142 นาโนเมตร ลักษณะเป็นแผ่นบาง 2 มิติคือกว้างและยาว ดังแสดงในรูปที่ 1.1 กราฟีนมีคุณสมบัติที่ตีแย้มอยู่หลายอย่างที่น่าสนใจคือ สมบัติด้านความแข็งแรง สมบัติการนำไฟฟ้าและส่งผ่านอิเล็กทรอนิกส์และสมบัติการนำความร้อน[1] ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้กราฟีนถูกนำไปใช้งานในด้านต่างๆมากมาย เช่น อุตสาหกรรมโซลาร์เซลล์ อุตสาหกรรมไมโครคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรมพลาสติกและอุตสาหกรรมพอลิเมอร์ประกอบ เป็นต้น [2]



รูปที่ 1.1 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นกราฟีน (Graphene sheet)

โดยทั่วไปการเตรียมกราฟีนจากกราฟไฟต์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น Chemical vapor deposition, Micromechanical exfoliation และ Chemical Oxidation [3,4,5] ซึ่งจากทั้ง 3 วิธีข้างต้นนี้ วิธีการ Chemical Oxidation (ใช้กรดเข้มข้นและสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดทางอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและสามารถควบคุมปริมาณในการผลิต ทำให้ได้แผ่นกราฟีนออกไซด์ที่มีหมู่ฟังก์ชันที่สมบูรณ์ ซึ่งแผ่นกราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จะมีหมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิลิก หมู่อีพอกซีและหมู่คาร์บอนิลเข้าไปแทรกและเกาะอยู่บนระนาบพื้นผิวของแผ่นกราฟีนออกไซด์ ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ส่งผลให้กราฟีนออกไซด์สามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำหรือตัวทำละลายชนิดมีขั้วจึงง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์เป็นอย่างมาก



รูปที่ 1.2 ลักษณะโครงสร้างของแผ่นกราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide sheet)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตามกราฟีนออกไซด์ยังมีสมบัติที่ด้อยกว่ากราฟีนในเรื่องของการนำไฟฟ้าและความร้อน เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่คาร์บอนิลอยู่ในโครงสร้าง ซึ่งไปขัดขวางการเคลื่อนไหลของอิเล็กตรอนจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องกำจัดหมู่ต่างๆเหล่านี้ออกไปเพื่อให้ได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (Reduced graphene oxide; rGO) ซึ่งมีสมบัติต่างๆคล้ายกับกราฟีนโดยเฉพาะสมบัติการส่งผ่านอิเล็กตรอนและการนำไฟฟ้า

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาการเตรียมสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ให้มีสมบัติใกล้เคียงกับกราฟีนมากที่สุด โดยการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ให้เป็นกราฟีนด้วยวิธีการทางเคมีสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การให้ความร้อน การใช้คลื่นไมโครเวฟและการใช้แสง [6,7,8] เป็นต้น โดยผู้วิจัยเลือกการใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อให้ความร้อนในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ใช้เวลาไม่นาน สามารถเกิดความร้อนสม่ำเสมอทั่วทั้งระบบและมีการใช้ไฮดราซีน(Hydrazine) เป็นตัวรีดิวซ์เชิงเอเจนต์ (Reducing agent) เนื่องจากเป็นตัวรีดิวซ์ที่รุนแรงมีประสิทธิภาพทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้อย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามการใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์ก็ยังมีข้อด้อยคือเมื่อได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาแล้ว สารแขวนลอยที่ได้จะเกาะกันเป็นก้อนและตกตะกอนทำให้ได้สารแขวนลอยในน้ำที่ไม่เสถียร ไม่กระจายตัวเนื่องจากหมู่ไฮดรอกซิลและหมู่คาร์บอกซิลิกบนโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ถูกกำจัดออกไปจนหมดจึงจำเป็นต้องใช้สารที่ช่วยในการรักษาเสถียรภาพ (Stabilizer agent) ของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone; PVP) ซึ่งละลายในน้ำได้เป็นตัวสเตบิไลเซอร์ (Stabilizer) เพื่อช่วยรักษาเสถียรภาพและการกระจายตัวของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในน้ำไม่ให้เกิดการเกาะกลุ่มกันทำให้สามารถเก็บรักษาสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไว้ได้นานยิ่งขึ้นง่ายต่อการนำมาใช้งาน นอกจากนี้ยังนำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มาศึกษาความเป็นไปได้ในการนำไปใช้เป็นสารเติมแต่ง (Filler) เพื่อเพิ่มสมบัติบางประการของยางธรรมชาติอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟโดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์เชิงเอเจนต์และใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ
2. เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่างๆต่อการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ได้แก่ ผลของอุณหภูมิที่ใช้และระยะเวลาการทำปฏิกิริยา ผลของปริมาณไฮดราซีนและโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา
3. เพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคต่างๆ
4. เพื่อศึกษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในตัวทำละลายต่างๆ
5. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไปใช้เพื่อเพิ่มสมบัติบางประการในยางธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการศึกษาวีธีการ เงื่อนไข และผลของปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เช่น ระยะเวลาในการให้ความร้อน กำลังวัตต์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณไฮดราซีนและโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เป็นต้น
2. ทำการศึกษาคุณลักษณะเฉพาะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเครื่องมือต่างๆเช่นเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Visible spectrophotometer) ฟลูออโรสเปกโตรสโกปี (FT-IR) รามาน (Raman spectroscopy) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope; TEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)
3. ทำการศึกษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้ในตัวทำละลายเช่น น้ำกลั่น เอทานอล เมทานอล อะซิโตน คลอโรฟอร์มและไซโคลเฮกเซน เป็นต้น
4. ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไปผสมกับยางธรรมชาติ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับองค์ความรู้เกี่ยวกับการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์เอเจนต์ และใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ
2. ได้ทราบถึงปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยใช้กระบวนการไมโครเวฟ
3. ได้รับองค์ความรู้ถึงคุณลักษณะเฉพาะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ
4. ได้ทราบถึงเสถียรภาพของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เมื่อใส่ลงในตัวทำละลายต่างชนิดกัน
5. ได้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไปใช้ในการเตรียมแผ่นยางธรรมชาติผสม

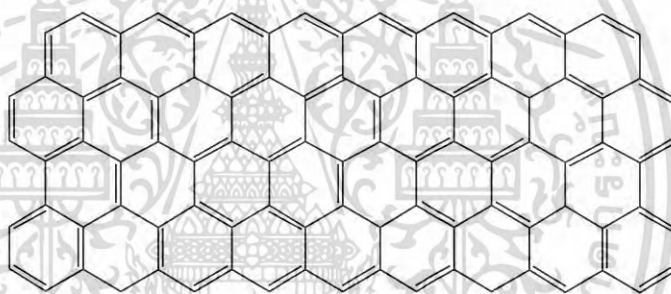
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กราฟีน

กราฟีน (Graphene) เป็นอัญรูปหนึ่งของคาร์บอนเป็นชั้นของคาร์บอนหนึ่งชั้นโดยมีการจัดเรียงอะตอมของคาร์บอนเป็นวงหกเหลี่ยมคล้ายกับรังผึ้ง ระยะห่างระหว่างคาร์บอนเท่ากับ 0.142 นาโนเมตร กราฟีนเป็นวัสดุที่มีความบางและเบามาก ซึ่งในทางทฤษฎีไม่สามารถวัดความหนาของอะตอมได้แต่สามารถวัดระยะห่างระหว่างอะตอมได้ว่าแผ่นกราฟีนหนาประมาณ 0.335 นาโนเมตร ลักษณะเป็นแบบ 2 มิติคือมีความกว้างกับความยาว และมีสีดำ กราฟีนมีคุณสมบัติมากมายที่น่าสนใจคือ สมบัติด้านความแข็งแรง สมบัติการนำไฟฟ้าและสมบัติการนำความร้อน ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้กราฟีนถูกนำไปใช้งานในด้านต่างๆ เช่น ทางการแพทย์ อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ [9] เป็นต้น

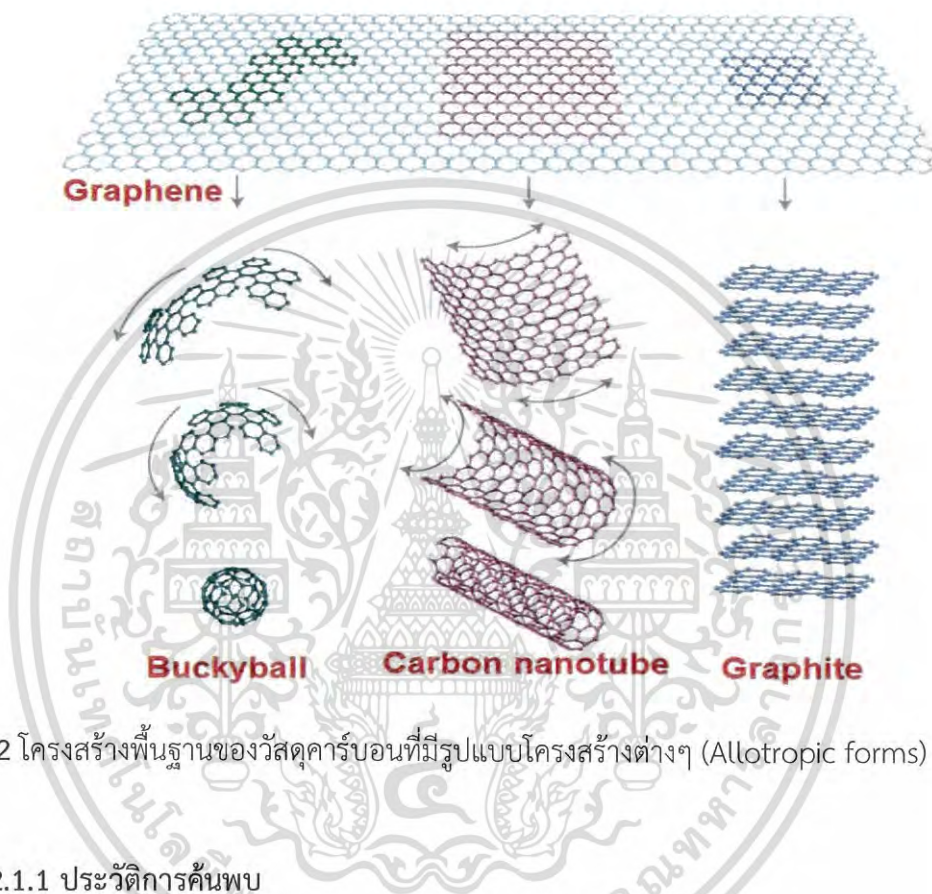


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแผ่นกราฟีน (graphene sheet)

กราฟีนเป็นองค์ประกอบพื้นฐานหรือวัสดุต้นแบบอัญรูปต่างๆของคาร์บอน ถ้าเรานำกราฟีนมาห่อให้เป็นลูกกลมๆเราจะได้ บัคมินสเตอร์ฟูลเลอร์ีน (Buckminsterfullerene) หรือที่เรียกสั้นๆว่า บัคกี้บอล (Bucky ball) เป็นสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 60 อะตอม (C_{60}) เชื่อมต่อกันเป็นรูปทรงกลมคล้ายกับลูกฟุตบอลจัดเป็นสารในกลุ่มฟูลเลอร์ีนส์ (fullerenes, C_n) บัคกี้บอลมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโมเลกุลประมาณ 1 นาโนเมตรประกอบด้วยวงหกเหลี่ยมของคาร์บอน (hexagons) จำนวน 20 วงและวงห้าเหลี่ยม (pentagons) จำนวน 12 วง [10] รูปที่ 2.2 ถ้านำกราฟีนมาม้วนเป็นแท่งกลมๆจะได้ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotube) ท่อนาโนคาร์บอนจะมีผนังของอะตอมคาร์บอนที่จัดเรียงกันด้วยพันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมเป็นวงแหวนหกเหลี่ยมและอาจมีบริเวณปลายของท่อปิดด้วยวงแหวนห้าเหลี่ยมของคาร์บอนที่มีโครงสร้างคล้ายครึ่งหนึ่งของบัคกี้บอลมีเส้นผ่านศูนย์กลางระดับนาโนเมตร ผนังท่ออาจมีเพียงแค่ชั้นเดียว (Single-walled) หรือหลายชั้น (Multi-walled) ก็ได้ [11] รูปที่ 2.2 ถ้านำกราฟีนมาซ้อนกันเป็นชั้นๆจะเรียก กราไฟต์ (Graphite)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งเป็นวัสดุในถ่านหรือไส้ดินสอด่ มีการจัดเรียงตัวแบบแอลฟาหรือเป็นรูปผลึก 6 หน้า (hexagonal) และจัดเรียงตัวแบบเบตาหรือรูปผลึกขนมเปียกปูน (rhombohedral) โดยมีลักษณะทางกายภาพเหมือนกัน แร่กราไฟต์มีการนำไฟฟ้าเพราะการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนแต่ละระนาบ โดยอิเล็กตรอนวงนอกสุดสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระจึงสามารถนำไฟฟ้าได้ แต่อย่างไรก็ตามแร่กราไฟต์นำไฟฟ้าได้เพียงระนาบเดียวเท่านั้น [12] รูปที่ 2.2

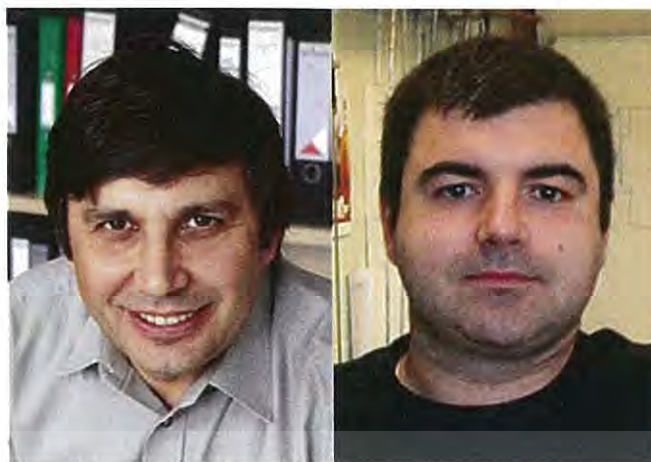


รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของวัสดุคาร์บอนที่มีรูปแบบโครงสร้างต่างๆ (Allotropic forms) [13]

2.1.1 ประวัติการค้นพบ

อาจารย์และศิษย์ชาวรัสเซีย อังเดร ไกม์ (Andre Geim) และคอนสแตนติน โนโวเชลอฟ (Konstantin Novoselov) รูปที่ 2.3 ผู้ศึกษาเกี่ยวกับกราไฟต์ ในงานวิจัยของเค้ามีแนวคิดคือพยายามจะทำให้กราไฟต์บางลงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้อย่างที่ได้อีกกล่าวไว้ข้างต้นว่าโครงสร้างของกราไฟต์มีลักษณะเป็นชั้นๆซ้อนกันอยู่ ดังนั้นเป้าหมายของไกม์และโนโวเชลอฟจึงอยู่ที่การทำให้กราไฟต์ "บางลงจนเหลือเพียงชั้นเดียว" หรืออีกความหมายหนึ่งก็คือ "มีความหนาเท่ากับอะตอมเพียงอะตอมเดียว" นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ในขณะนั้นเชื่อว่าการสร้างวัสดุที่มีความหนาเพียงอะตอมเดียวเป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้ เพราะคาดการณ์กันว่าอะตอมจะสั่นในแนวขึ้น-ลง ทำให้โครงสร้างของวัสดุไม่เสถียร จนอาจทำให้อะตอมทั้งหมดระเหยเป็นไอ แต่ในปี ค.ศ. 2004 ไกม์และโนโวเชลอฟ ได้พิสูจน์ว่าความเชื่อนี้ผิด หลังจากสามารถสร้างกราไฟต์ที่มีความหนาเพียงอะตอมเดียวได้สำเร็จ และวัสดุนี้มีความเสถียรมาก เรียกว่าวัสดุนี้ว่า "กราฟีน (graphene)" การค้นพบนี้ทำให้ไกม์และโนโวเชลอฟได้รางวัลโนเบลปี ค.ศ. 2010 [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อังเดร ไกม์ คอนสแตนติน โนวาเซลอฟ

รูปที่ 2.3 นักวิทยาศาสตร์ที่ทำการค้นพบกราฟีนและได้รับรางวัล Nobel Prize [15]

2.1.2 วิธีการสังเคราะห์กราฟีน

โดยทั่วไปการเตรียมกราฟีนจากกราฟาไฟต์สามารถทำได้หลายวิธี เช่น Chemical vapor deposition, Micromechanical exfoliation และ Chemical Oxidation โดยกระบวนการสังเคราะห์เหล่านี้มีข้อดี ข้อเสีย และวิธีการที่แตกต่างกัน ดังนี้

1. วิธี Chemical Vapor Deposition (CVD) คือการทับถมของไอสารเคมีบนโลหะฐานรองทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางวิธีนี้ถือเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์กราฟีนเนื่องจากวิธีนี้สามารถสังเคราะห์กราฟีนที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่ได้และสามารถควบคุมพารามิเตอร์ต่างๆได้ เช่น อุณหภูมิ ความดัน เวลา เป็นต้น แต่การสังเคราะห์ กราฟีนด้วยวิธี CVD มีข้อเสียคือ กราฟีนที่ได้จะมีรอยยับเกิดขึ้นเนื่องจากสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนที่แตกต่างกันระหว่างกราฟีนและโลหะฐานรอง [16]

2. วิธี Mechanical Exfoliation ถือเป็นวิธีแรกที่ทำให้นักวิจัยค้นพบกราฟีนใน ค.ศ. 2004 อาจารย์และลูกศิษย์จากมหาวิทยาลัยแมนเชสเตอร์ (The University of Manchester) ดร.อังเดร ไกม์ (Andre Geim) และ ดร.คอนสแตนติน โนวาเซลอฟ (Konstantin Novoselov) ได้แยกกราฟีนออกจากกราฟาไฟต์ โดยมีแนวคิดคือพยายามทำให้กราฟาไฟต์บางลงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยแรงที่สามารถแยกกราฟีนชั้นเดียวออกจากกราฟาไฟต์ได้มีค่าประมาณ $300 \text{ nN}/\mu\text{m}^2$ [17] โครงสร้างของกราฟาไฟต์คือกราฟีนที่เรียงซ้อนกันหลายๆชั้น แต่ละชั้นยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ ดังนั้นเป้าหมายคือการทำให้กราฟาไฟต์บางจนเหลือเพียงชั้นเดียววิธีที่พวกเขาใช้แยกกราฟีนออกจากกราฟาไฟต์คือนำกราฟาไฟต์วางไว้ที่ด้านเหนียวของเทปทาบปลายอีกด้านของเทปให้แปะทับกราฟาไฟต์ให้แน่นจากนั้นดึงเทปออกจากกันอย่างช้าๆกราฟาไฟต์จะติดอยู่ที่ด้านเหนียวของเทปที่แยกจากกันทั้ง 2 ด้าน ซึ่งเกิดจากเทปกวาดดึงชั้นกราฟาไฟต์ให้แยกจากกัน เมื่อทำซ้ำไปเรื่อยๆด้วยเทปกวาดใหม่ ชั้นกราฟาไฟต์จะถูกดึงแยกให้บางลงจนเหลือเพียงชั้นเดียวจากนั้นย้ายกราฟีนไปอยู่บนฐานรองที่ต้องการโดยนำสก็อตเทปที่มีกราฟีนติดอยู่กดลงบนฐานรอง SiO_2/Si [18] กราฟีนที่ถูกลอกออกโดยใช้สก็อตเทปนั้นมีความบริสุทธิ์จึงทำให้นักวิจัยสามารถวัดคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ เช่น ค่าความสามารถในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีค่า $106 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ [19] แต่อย่างไรก็ตามกราฟีนที่สร้างได้จากวิธีนี้ยังคงมีพื้นที่ขนาดเล็กซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะนำกราฟีนไปประยุกต์ใช้งานในระดับอุตสาหกรรม

3. วิธี Chemical Oxidation การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธี Chemical Oxidation สามารถทำได้ในระดับห้องปฏิบัติการ วิธีนี้สามารถผลิตกราฟีนได้ปริมาณมากในรูปสารแขวนลอย (Suspension) และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย หลักการสำหรับการสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธี Chemical Oxidation เริ่มต้นจากการใช้กรดแก่ เช่น กรดไนตริก (HNO_3) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) โพแทสเซียมคลอเรต (KClO_3) และโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) เป็นต้น มาทำปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) กับกราฟิต์ได้เป็นกราฟิต์ออกไซด์ โดยกลุ่มของออกไซด์ไฮดรอกซิล คาร์บอกซิลิกและคาร์บอนิลจะเข้าไปแทรกและเกาะเต็มระนาบพื้นผิวในแต่ละชั้นของกราฟิต์ ทำให้ระยะห่างแต่ละชั้นของกราฟิต์กว้างขึ้นและลดแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างชั้นลงเมื่อกราฟิต์ออกไซด์ถูกระตุ้นด้วยแรงเพียงเล็กน้อย เช่น การใช้คลื่นความถี่สูง (Sonication) จะทำให้กราฟิต์ออกไซด์หลุดออกเป็นแผ่นกลายเป็นกราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide) ซึ่งคุณสมบัติละลายได้ดีในน้ำแต่ไม่นำไฟฟ้า จากนั้นนำกราฟีนออกไซด์ที่ได้มาทำปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ด้วยสารรีดิวซิงเอเจนต์ เช่นไฮดราซีนไฮเดรต โซเดียมโบโรไฮไดรด์และวิตามินซี เป็นต้น ให้กลายเป็นกราฟีน (Reduced Graphene Oxide) ซึ่งมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าและยังสามารถกรองและกระจายตัวได้ดีบนวัสดุสารรองรับ จึงทำให้กราฟีนที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีนี้เหมาะสำหรับใช้เป็นฟิล์มบางนำไฟฟ้า เช่น กระจกนำไฟฟ้า เป็นต้น [20]

2.1.3 คุณสมบัติของกราฟีน [21]

2.1.3.1 สมบัติเชิงกล

กราฟีนมีความแข็งแรงมากโดยมีค่าความแข็งแรงต้านทานการแตกหัก (Breaking strength) สูงถึง 42 นิวตันต่อเมตร ความเครียดเชิงกลประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ค่ายังโมดูลัส (Young's modulus) สูงถึง 1 เมกะปาสคาลและค่าความแข็งแรงภายใน (Intrinsic strength) สูงถึง 130 กิกะปาสคาล

2.1.3.2 สมบัติทางแสง

กราฟีนที่มีความหนาเพียงหนึ่งชั้นอะตอมจะมีค่าการดูดกลืนแสงที่ประมาณ 2.3 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่ากราฟีนมีค่าความโปร่งแสงสูงถึง 97-98 เปอร์เซ็นต์

2.1.3.3 สมบัติทางไฟฟ้า

กราฟีนมีความต้านทานไฟฟ้าต่ำมากทำให้สามารถเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีที่อุณหภูมิห้อง สามารถนำไฟฟ้าได้มากกว่าทองแดงหลายเท่า

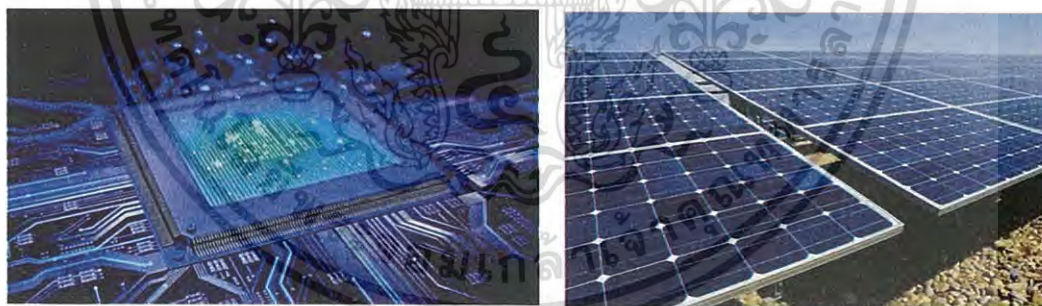
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.4 สมบัติการสั่นและสมบัติทางความร้อน

โดยปกติแล้วเมื่อมีพลังงานความร้อนเกิดขึ้นจะส่งผลให้แลตทิซของของแข็งเกิดการสั่น และมีการปลดปล่อยพลังงานที่เรียกว่า โฟนอน (Phonon) โดยโฟนอนจะแพร่ผ่านวัสดุที่มีการสั่นนั้นด้วยความเร็วเสียงความเร็วโฟนอนจะแปรผันโดยตรงกับค่าการนำความร้อนยิ่งความเร็วโฟนอนมากค่าการนำความร้อนก็จะสูงมากตามไปด้วยเราจึงสามารถนำกราฟีนไปใช้ในระบาระบายความร้อนของ CPU (Central-Processing Unit) ได้ [21]

2.1.4 การนำกราฟีนมาใช้ในงาน

นักวิทยาศาสตร์เห็นศักยภาพของกราฟีนที่จะเข้ามาแทนซิลิกอนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ในอนาคตชิ้นส่วนของคอมพิวเตอร์ เช่น ชิปประมวลผล รูปที่ 2.4 ซึ่งนับวันจะยิ่งถูกพัฒนาให้หน่วยทรานซิสเตอร์บนชิปมีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ จนถึงขีดจำกัดทางควอนตัมของสารกึ่งตัวนำที่ทำจากซิลิกอนแล้วคุณสมบัติของกราฟีนที่กล่าวมาน่าจะสามารถก้าวข้ามข้อจำกัดของซิลิกอนได้ไม่ยากนัก เนื่องจากกราฟีนมีขนาดเล็ก บางกว่า แข็งแรงกว่าและนำไฟฟ้าได้ดีกว่า หมายความว่าสามารถนำกราฟีนมาทำเป็นวงจรรีเล็กทรอนิกส์ เช่น เซอร์ทรานซิสเตอร์ โซลาร์เซลล์ดังแสดงในรูปที่ 2.4 หรือแม้แต่เป็นโครงสร้างของตัวอุปกรณ์เอง สามารถนำไปประยุกต์ใช้สร้างอุปกรณ์อะไรก็ได้ นอกจากนั้นยังมีการนำกราฟีนมาใช้เพิ่มสมบัติด้านต่างๆ โดยการเติมลงในวัสดุบางชนิดเพื่อทำเป็นวัสดุผสม [22]

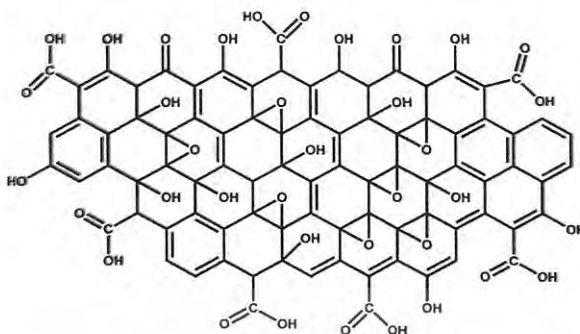


รูปที่ 2.4 ชิปประมวลผลและแผงโซลาร์เซลล์ที่มีกราฟีนเป็นองค์ประกอบ [23]

2.2 กราฟีนออกไซด์

กราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide) จะมีลักษณะคล้ายกันกับแผ่นกราฟีนแต่จะมีหมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิลิกและหมู่คาร์บอนิลเข้าไปแทรกและเกาะเต็มระนาบพื้นผิวของแผ่นกราฟีนออกไซด์ รูปที่ 2.5 ส่งผลให้กราฟีนออกไซด์สามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำหรือตัวทำละลายชนิดมีขั้วจึงง่ายต่อการนำไปใช้ประโยชน์ แต่มีสมบัติที่ด้อยกว่ากราฟีนในด้านการนำไฟฟ้าและการนำความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากการมีหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาอยู่บนโครงสร้างของแผ่นกราฟีนออกไซด์ จึงส่งผลให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าเหมาะไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้การส่งผ่านอิเล็กตรอนเกิดขึ้นได้ไม่ดี การนำไฟฟ้าจึงต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาวิธีการกำจัดหมู่ต่างๆ เหล่านี้ออกไป [25]



รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide)

2.2.1 ตัวอย่างวิธีการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

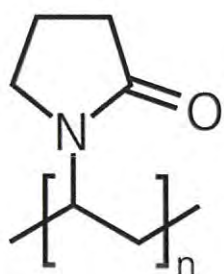
การรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (Reduced graphene oxide) ให้มีสมบัติใกล้เคียงกับกราฟีนมากที่สุดสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การให้ความร้อน การใช้คลื่นไมโครเวฟ การใช้แสง โดยแต่ละวิธีมีวิธีการแตกต่างกันดังนี้

1. การให้ความร้อน เพื่อเปลี่ยนกราฟีนออกไซด์ให้เป็นกราฟีนทำได้โดยการใส่กราฟีนออกไซด์ลงในน้ำกลั่น 5.0 mL ไฮโดรซีนไฮเดรต 5.0 mL (เข้มข้น 35% wt) แอมโมเนีย 35.0 mL (เข้มข้น 28% wt) ลงในขวดแก้วขนาด 20 mL ทำการเขย่าหรือปั่นกวนเล็กน้อยจากนั้นนำขวดแก้วใส่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง [6]

2. การใช้คลื่นไมโครเวฟ เป็นรีดิวซ์กราฟีนกราฟีนออกไซด์โดยใช้กลูโคสเป็นตัวรีดิวซ์เชิงเอเจนต์ โดยการหยดสารละลายแอมโมเนียลงในสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ เพื่อทำการปรับ pH ของสารแขวนลอยให้มีค่า pH เท่ากับ 9 หลังจากนั้นนำกลูโคสไปละลายในสารแขวนลอยแล้วทำการปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที เก็บสารละลายจำนวน 50 มิลลิลิตรลงในขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ 95 องศาเซลเซียสในระยะเวลาที่แตกต่างกันคือ 0.5 1 2 และ 3 ชั่วโมง แล้วทำการกรองลดความดันจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะได้ผงรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ [7]

3. การใช้แสงในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะเป็นการใช้แสงจากหลอดไฟซินอนฉายลงบนแผ่นกราฟีนออกไซด์ โดยจะฉายแสงในระยะใกล้หลายๆครั้ง จนเกิดพลังงานความร้อนมากกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน [26]

2.3 โพลีไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone ; PVP)



รูปที่ 2.6 โครงสร้างและผงของโพลีไวนิลไพโรลิโดน [27]

ชื่อ IUPAC : 1-ethenylpyrrolidin-2-one

ชื่ออื่น : Povidone, Copovidone, Crospovidone, Polyvidone, Poly[1-(2-oxo-1-pyrrolidiny)ethylen], 1-Ethenyl-2-pyrrolidon homopolymer, 1-Vinyl-2-pyrrolidinon-Polymere

ตาราง 2.1 แสดงสมบัติของโพลีไวนิลไพโรลิโดน [27]

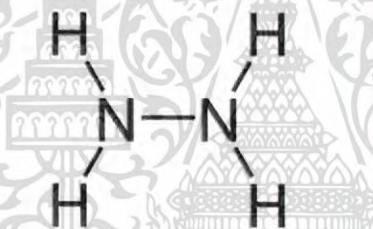
สมบัติ	
สูตรโมเลกุล	$(C_6H_9NO)_n$
มวลโมเลกุล	40,000. $g \cdot mol^{-1}$
ลักษณะทางกายภาพ	ผงสีขาว
ความหนาแน่น	$1.2 g/cm^3$
จุดหลอมเหลว	150 to 180 °C (302 to 356 °F; 423 to 453 K) (glass temperature)
ความสามารถในการละลาย	ละลายในน้ำ เอทานอล และ คลอโรฟอร์ม
pH	3.0 – 7.0 (5% sol ⁿ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การนำไปใช้งาน

1. ใช้เป็นสารยึดเกาะ (Binder) ในอุตสาหกรรมยา
2. ใช้เป็นสารยึดติดในกาว
3. ใช้เป็นสารเติมแต่งในเบตเตอร์ เซรามิก ไฟเบอร์กลาส (Fiberglass) หมึก
4. ใช้เป็นส่วนผสมในน้ำในการชุบแข็งโลหะ
5. ใช้เป็นการผลิตเยื่อเลือกผ่านของเครื่องกรอง
6. ใช้เป็นสารเพิ่มความชื้นในยาสีฟัน

2.4 ไฮดราซีน (Hydrazine)



รูปที่ 2.7 โครงสร้างไฮดราซีนและสารละลายไฮดราซีน [28]

ชื่อ IUPAC : Hydrazine

ชื่ออื่น : Diamine Diazane Tetrahydridodinitrogen

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของไฮดราซีน [28]

สมบัติ	
สูตรโมเลกุล	N_2H_4
มวลโมเลกุล	$32.0452 \text{ g mol}^{-1}$
ลักษณะทางกายภาพ	ของเหลวใสไม่มีสี มีควัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำยาง (latex) จะได้มาจากการกรีดต้นยางพารา (*Hevea brasiliensis*) มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวคล้ายน้ำมันและต้องเติมสารรักษาสภาพน้ำยางไม่ให้น้ำยางจับตัวเป็นก้อนก่อนการนำมาใช้งาน

สมบัติของยางธรรมชาติ

1. มีความยืดหยุ่น (Elasticity) เมื่อถูกแรงกระทำและสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้เมื่อพ้นจากแรงกระทำ
2. มีความเหนียว (Toughness)
3. มีความต้านทานการขัดถู (Abrasion resistance)
4. ป้องกันการซึมผ่านของน้ำและอากาศได้ดี
5. สามารถยึดติดกับวัสดุอื่นได้ดี

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sungjin Park และคณะ [30] ทำการรีดิวซ์กราไฟต์ออกไซด์และกราฟีนออกไซด์โดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์เอเจนต์ การรีดิวซ์กราไฟต์ออกไซด์เริ่มจากนำผงกราไฟต์ออกไซด์ไปละลายน้ำให้อยู่ในรูปสารแขวนลอย จากนั้นใส่ไฮดราซีนโมโนไฮดรตลงไปแล้วทำการปั่นกวนพร้อมกับให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้ตะกอนของรีดิวซ์กราไฟต์ออกไซด์อยู่ในสารละลาย จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดัน จะได้เป็นผงสีดำของรีดิวซ์กราไฟต์ออกไซด์ ส่วนการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เริ่มจากนำผงกราไฟต์ออกไซด์ไปละลายน้ำให้อยู่ในรูปสารแขวนลอยนำไปให้คลื่นเสียงความถี่สูงเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นใส่ไฮดราซีนโมโนไฮดรตลงไปแล้วทำการปั่นกวนพร้อมกับให้ความร้อน 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้ตะกอนของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์อยู่ในสารละลาย จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปกรองด้วยเครื่องกรองแบบลดความดันจะได้เป็นผงสีดำของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

Qinglong Yan และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาการรีดิวซ์กราฟีนกราฟีนออกไซด์โดยใช้กลูโคสเป็นตัวรีดิวซ์เอเจนต์ ทำการศึกษาเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นโดยการให้ความร้อนจากเทคนิคไมโครเวฟ เริ่มจากการเตรียมกราฟีนออกไซด์จากผงกราไฟต์ธรรมชาติ โดยใช้วิธีฮัมเมอร์ในการสังเคราะห์เพื่อให้ได้สารแขวนลอยที่มีความเข้มข้น 0.20 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ทำการปรับ pH ของสารแขวนลอยให้มีค่า pH เท่ากับ 9 โดยการหยดสารละลายแอมโมเนีย หลังจากนั้นนำกลูโคสไปละลายในสารแขวนลอยแล้วทำการปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที เก็บสารละลายจำนวน 50 มิลลิลิตรลงในขวดแก้วขนาด 100 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟที่ 95 องศาเซลเซียสในระยะเวลาที่แตกต่างกันคือ 0.5 1 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 3 ชั่วโมง แล้วทำการกรองลดความดันจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะได้ผงรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

Gordon G. Wallace และคณะ [7] ได้ทำสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีการทางเคมี โดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์เชิงเอเจนต์ ซึ่งสารตั้งต้นที่ใช้คือกราฟีนออกไซด์สีน้ำตาลที่สังเคราะห์ได้มาจากกระบวนการฮัมเมอร์ โดยใช้คลื่นเสียงความถี่สูงเป็นระยะเวลา 30 นาทีแล้วจะนำสารแขวนลอยสีน้ำตาลนี้ไปทำการหมუნเหวียงอีกเป็นเวลา 30 นาทีเพื่อที่จะได้กราฟีนออกไซด์ ซึ่งขั้นตอนการสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีการทางเคมีนี้จะใช้สารที่สังเคราะห์ได้ข้างต้นมาผสมกับน้ำ ไฮดราซีน และใส่สารละลายแอมโมเนียลงไปเพื่อช่วยในการรักษาเสถียรภาพไม่ให้เกิดการตกตะกอนนำสารทั้งหมดใส่ลงในขวดแก้วแล้วใส่ลงในอ่างน้ำโดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 95 องศาเซลเซียส จากนั้นสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนที่ได้จะนำมาตรวจวิเคราะห์ ซึ่งจะพบว่าอัตราส่วนของไฮดราซีนต่อกราฟีนออกไซด์ที่ 7:10 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่จะได้รีดิวซ์กราฟีนที่สามารถนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด

Zhiguang Liu และคณะ [31] ได้ทำการเตรียมวัสดุนาโนคอมโพสิต โดยขั้นแรกจะทำการเตรียมแผ่น GCE โดยการเอาแผ่นอะลูมินามาตัดให้มีขนาด 1.00 0.30 0.05 ไมโครเมตร จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นในขณะที่ล้างก็ขัดทำความสะอาดไปด้วยจากนั้นนำไปล้างด้วยกรดไนตริกและอะซิโตน อัตราส่วน 1:1 เสร็จแล้วนำไปใส่ลงในน้ำกลั่นและให้คลื่นความถี่สูง จากนั้นทิ้งไว้ให้แห้งแล้วนำ PVP-GNs-NiNPs-CS ความเข้มข้น 0.10 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 6.00 ไมโครลิตร หรือ PVP-GNs ความเข้มข้น 0.50 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร 6.00 ไมโครลิตร ที่เตรียมได้ก่อนหน้านี้เทลงบนผิวหน้าของแผ่นที่เตรียมไว้จะได้เป็น PVP-GNs-NiNPs-CS นาโนคอมโพสิตที่เป็นแผ่นเคลือบอยู่บนผิวหน้าของแผ่น GCE

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมี

- 1) กราฟีนออกไซด์ (Graphene Oxide ; GO)
- 2) ไฮดราซีนเข้มข้น 50-60% (Hydrazine Hydrate ; $N_2H_4 \cdot H_2O$, Mw 32.0452 g/mol)
- 3) โพลีไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone; PVP ; $(C_6H_9NO)_n$, Mw 40,000 g/mol)
- 4) เอทานอล (commercial grade ; Carlo Erba Reagents S.A.S Val de Reuil Cedex)
(Ethanal ; C_2H_6O , Mw 26.07 g/mol)
- 5) เมทานอล (AR grade ; Carlo Erba Reagents S.A.S Val de Reuil Cedex)
(Methanal ; CH_3OH , Mw 32.05 g/mol)
- 6) อะซีโตน (AR grade ; Carlo Erba Reagents S.A.S Val de Reuil Cedex)
(Acetone ; CH_3COCH_3 , Mw 58.08 g/mol)
- 7) คลอโรฟอร์ม (AR grade ; Carlo Erba Reagents S.A.S Val de Reuil Cedex)
(Chloroform ; $CHCl_3$, Mw 119.38 g/mol)
- 8) ไซโคลเฮกเซน (AR grade ; RFCL Limited (INDIA)) (Cyclohexane ; C_6H_{14} ,
Mw 86.18 g/mol)
- 9) น้ำยางธรรมชาติเข้มข้น 60 wt% High Ammonia (Natural Rubber ; $(C_5H_8)_n$)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) ผลิตภัณฑ์เครื่องแก้ว
- 2) ไมโครเวฟ ยี่ห้อ Samsung กำลังวัตต์ 100-800 วัตต์
- 3) กระจกบอาน้ำกลั่น
- 4) ซ้อนตักสาร
- 5) ไมโครปิเปต (Micropipettes)
- 6) พายตักสาร (Spatula)
- 7) กระจกชั่ง
- 8) ตู้ดูดควัน
- 9) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (ML204/01 , Made in Switzerland)
- 10) ที่หนีบ (forcep)
- 11) ขวดแก้วเล็ก (Vial)
- 12) หลอดหยดสาร
- 13) จานเพาะเชื้อ (petri dish)
- 14) แท่งแม่เหล็ก (magnetic bar)
- 15) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer, รุ่น evolution 201;
Becthai Bangkok Equipment & Chemical Co.,Ltd.)
- 16) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope; TEM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 17) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron microscope; SEM) ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 18) เครื่องรามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy)
- 19) เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR. รุ่น NICOLET-6700; Becthai Bangkok Equipment & Chemical Co., Ltd.)

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดนความเข้มข้น 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (5wt%)

- 1) ชั่งผงโพลีไวนิลไพโรลิโดนมา 1.0000 กรัม
- 2) เติมน้ำกลั่น 19.00 มิลลิลิตรลงไป จากนั้นคนให้ละลาย
- 3) เก็บสารละลายที่ได้ในขวดแก้วที่มีฝาปิดมิดชิด

3.3.2 การรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน

- 1) ปิเปตสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์เข้มข้น 1 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร มา 2.00 มิลลิลิตรใส่ลงในถ้วยแก้ว เติมน้ำกลั่น 10.00 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดนและไฮดราซีนตามเงื่อนไขที่กำหนด
- 2) นำถ้วยแก้วที่มีสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์จากข้อ 1) ไปให้ความร้อนจากไมโครเวฟที่กำลังงานและเวลาต่างๆตามเงื่อนไขที่กำหนด
- 3) ได้สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์
- 4) เก็บสารแขวนลอยที่ได้ลงในขวดแก้วขนาดเล็ก

3.3.2.1 ศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

ในการทดลองนี้จะทำการรีดิวซ์สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ ซึ่งจะควบคุมปริมาณไฮดราซีน (เข้มข้น 50-60%) ปริมาณสารละลายโพลีไวนิลไพโรลิโดน และกำลังงานความร้อนให้คงที่ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน

เงื่อนไข	ปริมาณไฮดราซีน (มิลลิลิตร)	กำลังงาน (วัตต์)	ระยะเวลาที่ให้ ความร้อน (นาที)	ปริมาณโพลีไวนิล-ไพโรลิโดน (มิลลิลิตร)
1	0.15	300	0	0.50
2	0.15	300	1	0.50
3	0.15	300	2	0.50
4	0.15	300	3	0.50
5	0.15	300	4	0.50

จากการสังเกตสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้จากเงื่อนไขข้างต้น พบว่าก่อนให้ความร้อนสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้อย่างมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลเหลืองที่ยังเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการวิจัย ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ข้อมูลใดๆ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่เกิดปฏิกิริยารีดักชันที่สมบูรณ์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยารีดักชันที่สมบูรณ์สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้จะต้องเปลี่ยนเป็นสารแขวนลอยสีดำ ณ ระยะเวลาที่ให้กำลังงานความร้อนจากไมโครเวฟ 300 วัตต์เป็นระยะเวลา 1 นาที พบว่าสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะเกิดเป็นสารแขวนลอยที่มีสีน้ำตาลเข้ม แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนเป็น 2 นาที พบว่าสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้มออกดำและเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการให้ความร้อนเป็น 3 นาทีจะพบว่าสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เปลี่ยนเป็นสีดำ แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาให้ความร้อนนานกว่านี้สารแขวนลอยที่ได้จะตกตะกอนไม่มีความเสถียรดังนั้นสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้รับกำลังงานความร้อนจากไมโครเวฟ 300 วัตต์เป็นระยะเวลา 3 นาที จะทำให้ได้สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีสีดำ และมีเสถียรภาพไม่ตกตะกอนดังนั้นเงื่อนไขจึงเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดในการศึกษาผลของเวลาในการให้ความร้อนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

3.3.2.2 ศึกษาผลของกำลังงานที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ในการทดลองนี้จะทำการรีดิวซ์สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์โดยทำการเปลี่ยนแปลงกำลังงานที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาซึ่งจะควบคุมปริมาณไฮดราซีนปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนและระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟให้คงที่ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เงื่อนไข	ปริมาณไฮดราซีน (มิลลิลิตร)	กำลังงาน (วัตต์)	ระยะเวลาที่ให้ ความร้อน (นาที)	ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน (มิลลิลิตร)
1	0.15	100	3	0.50
2	0.15	300	3	0.50
3	0.15	450	3	0.50

จากการสังเกตสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้จากเงื่อนไขข้างต้น พบว่ากำลังงานความร้อนที่ให้กับสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 100 วัตต์ยังมีลักษณะเป็นสารแขวนลอยสีน้ำตาลเหลือง เมื่อเพิ่มกำลังงานความร้อนจากไมโครเวฟเป็น 300 วัตต์และ 450 วัตต์พบว่าสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะเกิดเป็นสารแขวนลอยที่มีสีดำและมีเสถียรภาพไม่ตกตะกอน จะเห็นว่ากำลังงานความร้อนทั้ง 300 และ 450 วัตต์สามารถรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ให้ได้สารแขวนลอยสีดำเหมือนกันดังนั้นจึงเลือกใช้พลังงานไมโครเวฟที่ 300 วัตต์ เนื่องจากมีการใช้กำลังงานที่น้อยกว่า และสามารถควบคุมความร้อนของปฏิกิริยาได้ง่ายกว่าที่ 450 วัตต์

3.3.2.3 ศึกษาผลของปริมาณไฮดราซีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ในการทดลองนี้จะทำการรีดิวซ์สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮดราซีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา ซึ่งจะควบคุมปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟและกำลังงานความร้อนให้คงที่ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณไฮโดรซีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เงื่อนไข	ปริมาณไฮโดรซีน (มิลลิลิตร)	กำลังงาน (วัตต์)	ระยะเวลาที่ให้ ความร้อน (นาที)	ปริมาณโพลีไวนิล- ไพโรลิโดน (มิลลิลิตร)
1	0.05	300	3	0.50
2	0.10	300	3	0.50
3	0.15	300	3	0.50
4	0.20	300	3	0.50

จากการสังเกตสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้จากเงื่อนไขข้างต้น พบว่าปริมาณไฮโดรซีน 0.05 และ 0.10 มิลลิลิตร ที่ใช้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เมื่อให้ความร้อนไป 3 นาทีสารแขวนลอยเป็นสีดำ เมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรซีนเป็น 0.15 และ 0.20 มิลลิลิตร ให้ความร้อนไป 1 นาทีสารแขวนลอยจะเปลี่ยนเป็นสีดำ โดยใช้เวลาน้อยกว่า ดังนั้นปริมาณไฮโดรซีนที่ดีที่สุดคือ 0.15 มิลลิลิตรเพราะสามารถรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ให้เปลี่ยนเป็นสีดำได้ อีกทั้งยังใช้ปริมาณไฮโดรซีนน้อยกว่าแต่ให้ผลการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ไม่แตกต่างจากการใช้ไฮโดรซีนที่ 0.20 มิลลิลิตร

3.3.2.4 ศึกษาผลของปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ในการทดลองนี้จะทำการรีดิวซ์สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาซึ่งจะควบคุมปริมาณไฮโดรซีนระยะเวลาในการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ และกำลังงานความร้อนให้คงที่ ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงเงื่อนไขการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

เงื่อนไข	ปริมาณไฮโดรซีน (มิลลิลิตร)	กำลังงาน (วัตต์)	ระยะเวลาที่ให้ ความร้อน (นาที)	ปริมาณโพลีไวนิล- ไพโรลิโดน (มิลลิลิตร)
1	0.15	300	3	0.10
2	0.15	300	3	0.50
3	0.15	300	3	1.00

จากการสังเกตสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้จากเงื่อนไขข้างต้น พบว่าปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาในปริมาณที่แตกต่างกันไม่ส่งผลต่อการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แต่โพลีไวนิลไพโรลิโดนส่งผลต่อเสถียรภาพของสารแขวนลอยไม่ให้เกิดการตกตะกอนซึ่งปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ 0.10 มิลลิลิตร เมื่อทำการทิ้งสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไว้เป็นเวลานานส่งผลให้เกิดตะกอนขึ้นต่างจากปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ 0.50 กับ 1.00 มิลลิลิตร ไม่เกิดตะกอนขึ้นดังนั้นจึงเลือกใช้ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ 0.50 มิลลิลิตรในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาดังต่อไปนี้ที่มีผลต่อการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์และใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาและวิธีที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ลำดับที่	พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา	วิธีที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์
1	ผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน	UV-VIS, FT-IR, Raman spectra, SEM, TEM
2	ผลของกำลังวัตต์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	UV-VIS
3	ผลของปริมาณไฮดราซีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	UV-VIS
4	ผลของปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา	UV-VIS

3.3.3. การศึกษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในตัวทำละลายต่างๆ

ในการทดลองนี้จะเลือกเงื่อนไขที่ดีที่สุดที่จะใช้คือสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร กำลังงานความร้อนที่ 300 วัตต์ ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ใส่เพื่อรักษาเสถียรภาพ 0.50 มิลลิลิตรและระยะเวลาที่ให้ความร้อนคือ 3 นาที

โดยมีวิธีการทดลองในเรื่องเสถียรภาพดังนี้

- 1) เปิดสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มา 0.80 มิลลิลิตรลงในขวดแก้วขนาดเล็ก
- 2) เปิดตัวทำละลายต่างชนิดกันคือ น้ำกลั่น เอทานอล เมทานอล อะซิโตน คลอโรฟอร์มและไซโคลเฮกเซน อย่างละ 3.00 มิลลิลิตร ลงในขวดแก้วเล็กที่มีสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์อยู่
- 3) เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ซักพักแล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลง
- 4) เก็บสารละลายทิ้งไว้ 1 สัปดาห์กับ 1 เดือนแล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การเตรียมแผ่นยางผสมระหว่างยางธรรมชาติกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.3.4.1 ยางธรรมชาติ 5.00 มิลลิลิตรผสมกับสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 2.00 มิลลิลิตร

ตวงยางธรรมชาติ 5.00 มิลลิลิตร เทลงในบีกเกอร์ขนาด 40.00 มิลลิลิตร ตามด้วยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 2.00 มิลลิลิตร ทำการปั่นกวนโดยใช้แท่งแม่เหล็กให้ยางธรรมชาติและรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เข้ากันเป็นเวลา 15 นาที แล้วเทลงจานเพาะเชื้อ ทิ้งไว้ค้างคืนเพื่อให้ยางแห้ง ลอกแผ่นยางออกจากจานเพาะเชื้อ

3.4 การตรวจสอบเอกลักษณ์เฉพาะ

3.4.1 ศึกษาคุณลักษณะของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.4.1.1 เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารโดยอาศัยหลักการดูดกลืนรังสีของสารที่อยู่ในช่วง Ultra violet (UV) และ Visible (VIS) ความยาวคลื่นประมาณ 190-1000 นาโนเมตร ส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ ทั้งที่มีสีและไม่มีสี สารแต่ละชนิดจะดูดกลืนรังสีในช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันและปริมาณการดูดกลืนรังสีจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารนั้น การดูดกลืนแสงของสารต่างๆ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารจึงสามารถวิเคราะห์ได้ในเชิงคุณภาพและปริมาณ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) และค่าความยาวคลื่น (Wavelength) ซึ่งเรียกว่าสเปกตรัม (Spectrum) โดยตัวอย่าง กราฟีนออกไซด์ และ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่นำไปวิเคราะห์ จะทำการเจือจางให้มีค่าการดูดกลืน(Absorbance) ที่ช่วง 0.8 - 1.2 แล้วทำการบรรจุใน Cuvette และนำเข้าเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 230 - 800 นาโนเมตร เพื่อศึกษาการเปลี่ยนสเปกตรัมที่เปลี่ยนแปลงของกราฟีนออกไซด์เมื่อถูกรีดิวซ์ด้วยไฮดราซีน

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

เป็นเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์ ตรวจสอบ โครงสร้างของสาร โดยการวัดการดูดกลืนแสงของสารในช่วง Infrared (IR) ซึ่งสารแต่ละชนิดจะมีค่าความถี่ของการสั่นที่จำเพาะและแตกต่างกันไป ทำให้สามารถนำเทคนิคนี้ มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างและชนิดของสารได้ จึงนำเทคนิคดังกล่าวนี้ มาใช้ในการศึกษาหมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนไปของกราฟีนออกไซด์เมื่อทำการรีดิวซ์ด้วยไฮดราซีน โดยตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์มีลักษณะเป็นผง จึงทำการเตรียมตัวอย่างแบบ KBr disc โดยวิธีการคือ บดสารตัวอย่างปริมาณ 1-2 มิลลิกรัม รวมกับผง KBr ปริมาณ 100 มิลลิกรัม อบให้แห้ง แล้วบดเอกละเอียดเป็นผงที่ส่งมอบสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมกัน จากนั้นทำการอัดเป็นแผ่นโดยนำเข้าเครื่องอัด Minipress จนได้ตัวอย่างมีลักษณะเป็นแผ่นกลมแบนใสคล้ายแก้ว (KBr Disc) แล้วนำตัวอย่างใส่ที่ยึดพิเศษแล้ววางบนลำรังสี IR จากนั้นทำการวิเคราะห์ เพื่อศึกษาหมู่ฟังก์ชันของ รีติวซ์กราฟีนออกไซด์

3.4.1.3 เครื่องรามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์หาชนิด (Qualitative Analysis) ของตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เช่น อัญมณี แร่ และวัสดุต่างๆ โดยส่วนใหญ่จะเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว ซึ่งไม่สามารถแสดงสเปกตรัมในช่วงอินฟราเรด โดยหลักการของรามานสเปกโตรมิเตอร์ตรวจสอบโดยการวัดเปรียบเทียบการกระเจิงแสงแบบรามานของวัสดุหรือสารที่ใช้ในการตรวจสอบ จะใช้หาความยาวพันธะในโมเลกุลแบบไม่มีขั้ว ซึ่งจะทำให้สามารถระบุหาประเภทของสารตัวอย่างได้ ทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ดังนั้นจึงใช้วัสดุสารได้ทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว และ ก๊าซ จึงนำเทคนิคดังกล่าวนี้ มาใช้ในการศึกษาชนิดของสารประกอบที่อยู่ในรูปของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยตัวอย่างที่ทำการวิเคราะห์มีลักษณะเป็นของเหลว

3.4.1.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)

ใช้ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและรายละเอียดของพื้นผิวของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ เนื่องจากตัวอย่างรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ มีลักษณะเป็นของเหลว จึงต้องหยดสารแขวนลอยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ลงบนแผ่นซีดี จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อแห้งจึงขูดรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ติดบนแผ่นซีดีออก แล้วทำการบดให้ละเอียด จะได้สารตัวอย่างที่เป็นผง วิธีการเตรียมตัวอย่าง คือ นำผงรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ไปติดบน Stub ได้เลย โดยพยายามติดให้อนุภาคเรียงตัวในลักษณะชั้นเดียวไม่เกาะกลุ่มกัน เพื่อให้การฉายผิวทำได้ทั่วถึง และไม่เกิดปัญหาการ Charge up จากนั้นนำตัวอย่างไปทำการเคลือบทอง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 150 500 1000 และ 2000 เท่า

3.4.1.5 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope; TEM)

ใช้ศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายใน เซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ เป็นต้น ซึ่งจะให้รายละเอียดสูงกว่ากล้องจุลทรรศน์ชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีกำลังขยายและประสิทธิภาพ ในการแจกแจงรายละเอียดสูงมาก โดยมีหลักการคือยิงลำอิเล็กตรอนไปที่ตัวอย่าง เมื่อลำอิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างจะเกิดเป็นภาพ 2 มิติขึ้น โดยวัตถุที่มีเลขอะตอม (Atomic- Number) มาก ภาพที่ได้จะมีสีดำ ส่วนวัตถุที่มีเลขอะตอมน้อย ภาพที่ได้จะเป็นสีขาว โดยตัวอย่างที่ใช้วิเคราะห์จะต้องมีลักษณะที่บางมาก เพื่อให้ลำอิเล็กตรอนทะลุผ่านไปได้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์แผ่นนาโนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีนโดยใช้เทคนิคไมโครเวฟช่วยในการสังเคราะห์ซึ่งมีโพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพเพื่อทำการศึกษาและวิเคราะห์เอกลักษณ์เฉพาะของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกราฟีนออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ ซึ่งในบทนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ที่ได้จากเครื่องมือต่างๆ ได้แก่ การวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Visible Spectrophotometer) พูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปคโตรสโคปี (FT-IR) ตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน (Raman spectroscopy) การทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.1.1 ผลการวิเคราะห์การวัดค่าการดูดกลืนแสงของสาร

ในงานวิจัยนี้การสังเกตกระบวนการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สมบูรณ์จะดูได้คร่าวๆจากการเปลี่ยนแปลงสีของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ จากผลการทดลองพบว่าสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์จะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสารแขวนลอยสีดำภายหลังจากผ่านกระบวนการให้ความร้อนโดยใช้ไมโครเวฟแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.1



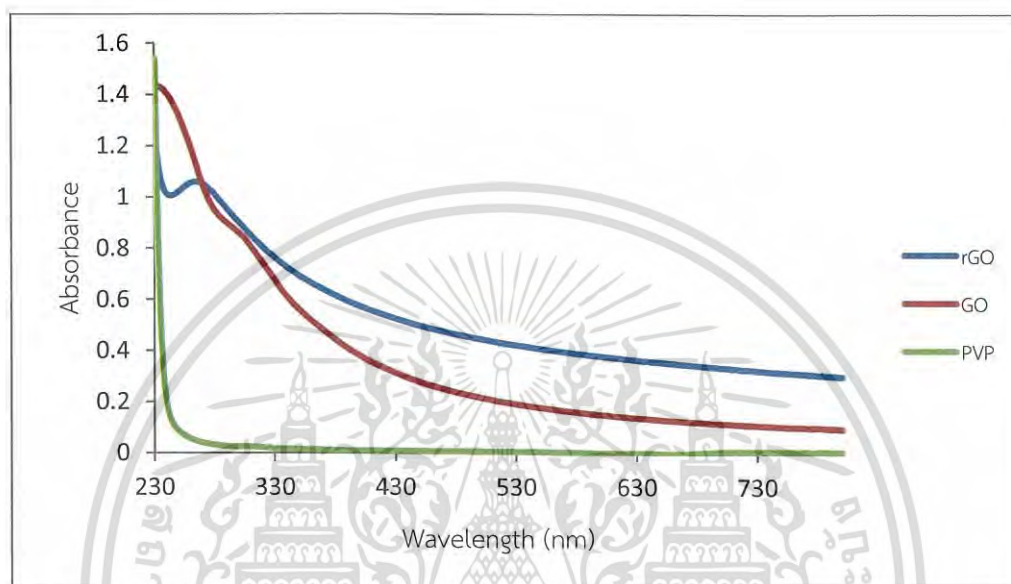
(a)

(b)

รูปที่ 4.1 แสดงภาพถ่ายของ (a) สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์เริ่มต้น (b) สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์หลังจากผ่านการรีดิวซ์ด้วยไฮดราซีนโดยใช้ไมโครเวฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

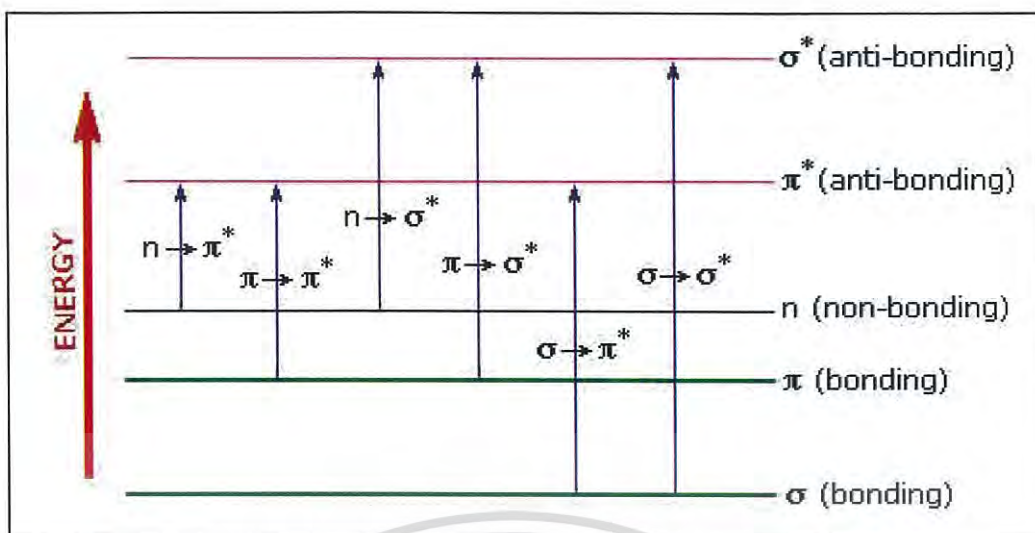
ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารด้วยเทคนิค UV-Visible ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร กำลังงานความร้อนที่ให้ 300 วัตต์ ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ใส่เพื่อรักษาเสถียรภาพ 0.50 มิลลิลิตรและระยะเวลาที่ให้ความร้อนคือ 3 นาที ซึ่งจากผลการศึกษาแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ (GO) สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) และโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP)

จากภาพที่ 4.2 เมื่อวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารด้วยเครื่อง UV-Visible ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์พบว่ากราฟีนออกไซด์จะดูดกลืนแสงและปรากฏพีกสองตำแหน่งคือที่ช่วงประมาณ 230 นาโนเมตรของ $\pi - \pi^*$ ($-C=C-$) และที่ช่วงประมาณ 300 นาโนเมตรของ $n - \pi^*$ ($-C=O$) [6] หลังจากที่ทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีนโดยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟแล้ว ส่งผลให้หมู่คาร์บอนซิลิก และหมู่คาร์บอนิลถูกกำจัดออกไปทำให้ไม่ปรากฏพีกที่ช่วงความยาวคลื่น 300 นาโนเมตรของ $n - \pi^*$ แล้ว แสดงให้เห็นว่าหมู่ต่างๆถูกกำจัดออกไปจากโครงสร้างของกราฟีนออกไซด์แล้ว ในขณะที่เดียวกันพีกที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ ที่จะ shift ไปทางความยาวคลื่น (λ) ที่มากขึ้นแสดงให้เห็นว่ามีการสร้างพันธะคู่ของ $-C=C-$ ขึ้นมาใหม่ ทำให้จำนวนพันธะคู่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อิเล็กตรอนเกิดการเรโซแนนซ์ (Resonance) ได้ดี ความแข็งแรงของพันธะจะน้อยลงพลังงานในการใช้กระตุ้นอิเล็กตรอนจากสถานะพื้น (Ground state) ไปสู่สถานะเร้า (Excited state) ก็จะใช้พลังงานจึงทำให้มีการดูดกลืนพลังงานน้อยลงจึงปรากฏค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นเพิ่มขึ้นนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน [32]

การเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน (electronic transition) โดยอิเล็กตรอนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสถานะนี้คือ อิเล็กตรอนก่อกพันธะ (bonding electron) และอิเล็กตรอนที่ไม่ได้ก่อกพันธะ (non-bonding electron) หรืออิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (unpaired electron) การดูดกลืนรังสีนี้เรียกว่า การเร้าอิเล็กตรอน (electronic excitation) ซึ่งเป็นการทำให้อิเล็กตรอนตัวหนึ่งไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่าเดิม

จากรูปที่ 4.3 เมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตหรือรังสีในช่วงสายตามองเห็น จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะของอิเล็กตรอนจากสถานะพื้น (ground state, E_0) ซึ่งมีพลังงานต่ำไปสู่สถานะเร้า (excited state, E^*) ซึ่งมีพลังงานสูงกว่า โดยโมเลกุลจะมีโมเลกุลาร์ ออร์บิทัล (molecular orbital) 2 แบบ ได้แก่

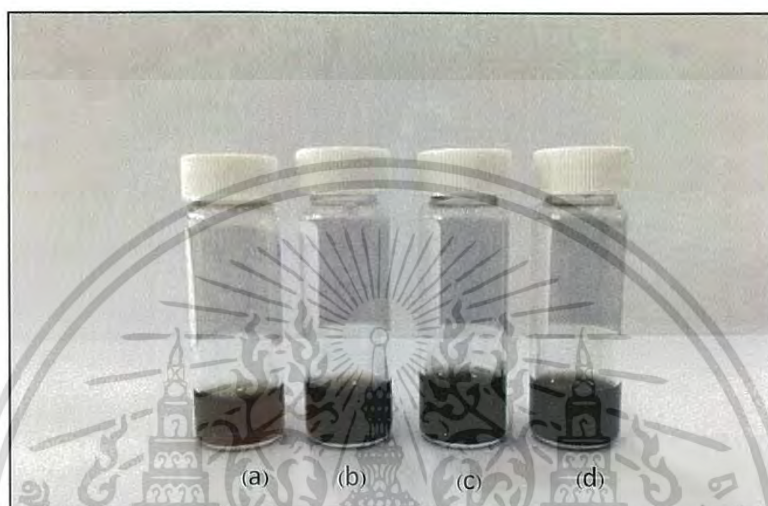
- bonding orbital เป็นออร์บิทัลที่อยู่ในสถานะพื้น ได้แก่ σ -orbital (ซิกมา-ออร์บิทัล) π -orbital (ไพ-ออร์บิทัล) และ n-orbital (เอ็น-ออร์บิทัล) เป็น non-bonding orbital
- antibonding orbital เป็นออร์บิทัลที่อยู่ในสถานะเร้าได้แก่ σ^* -orbital (ซิกมาสตาร์-ออร์บิทัล) และ π^* -orbital (ไพสตาร์-ออร์บิทัล)

ระดับพลังงานของ σ -orbital จะมีค่าต่ำสุด ส่วน π -orbital และ n-orbital จะมีค่าพลังงานสูงขึ้นตามลำดับ สำหรับ antibonding orbital นั้น σ^* -orbital มีพลังงานสูงกว่า π^* -orbital

การเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนเกิดได้หลายแบบ เรียงตามลำดับพลังงานที่ใช้ในการทำให้ อิเล็กตรอนเกิดการเปลี่ยนสถานะจากน้อยไปมากได้ดังนี้

$$n-\pi^* < \pi-\pi^* < n-\sigma^* < \sigma-\pi^* < \sigma-\sigma^*$$

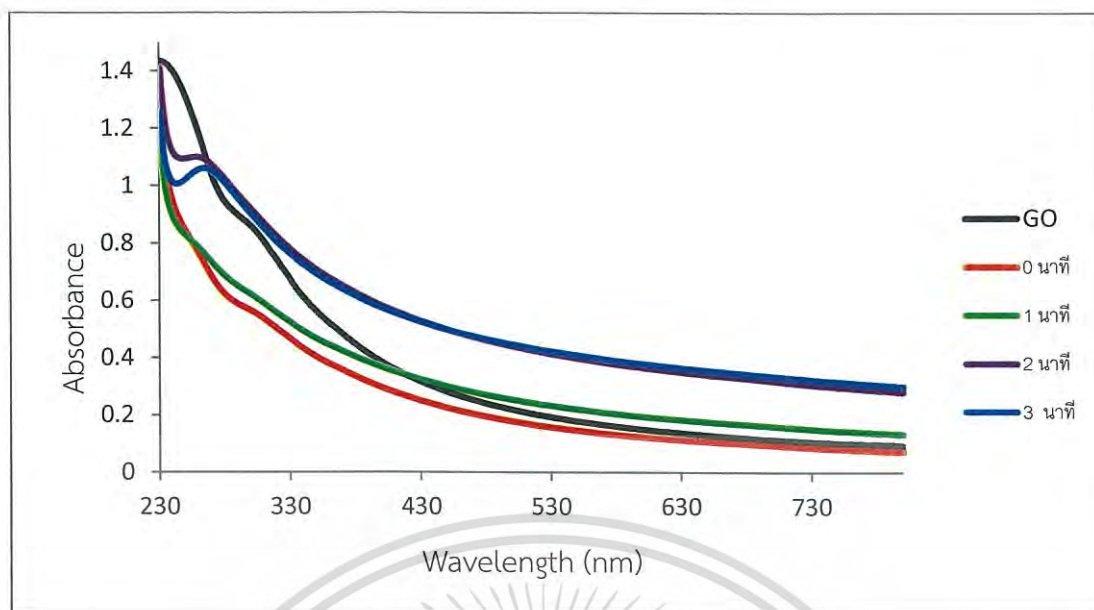
4.1.1.1 ผลของระยะเวลาในการให้ความร้อน



รูปที่ 4.4 แสดงภาพสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ให้ความร้อนในระยะเวลาต่างกัน (a) ก่อนให้ความร้อน (b) 1 นาที (c) 2 นาที (d) 3 นาที

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน ภายใต้เงื่อนไขที่มีปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร กำลังงานความร้อนที่ให้ 300 วัตต์ ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตรและศึกษาระยะเวลาที่ให้ความร้อนคือ 1 2 และ 3 นาที ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังรูป 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ระยะเวลาการให้ความร้อนที่แตกต่างกันคือ 0 1 2 และ 3 นาทีตามลำดับ

จากรูปที่ 4.5 พบว่ากราฟีนออกไซด์จะดูดกลืนแสงและปรากฏพีคสองตำแหน่งคือที่ช่วงประมาณ 230 นาโนเมตรของ $\pi - \pi^*$ และที่ช่วงประมาณ 300 นาโนเมตรของ $n - \pi^*$ หลังจากทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีนโดยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟเป็นเวลา 1 นาที พีคของ $\pi - \pi^*$ จะ shift ไปที่ความยาวคลื่น 258 นาโนเมตร โดยยังคงเห็นพีคของ $n - \pi^*$ ปรากฏอยู่ และเมื่อระยะเวลาในการให้ความร้อนจากไมโครเวฟเพิ่มขึ้นเป็น 2 และ 3 นาที พีคของ $\pi - \pi^*$ จะ shift ไปที่ความยาวคลื่น 260 และ 263 นาโนเมตรตามลำดับ และไม่สามารถสังเกตเห็นพีคของ $n - \pi^*$ แล้ว เพราะเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นพลังงานความร้อนจากไมโครเวฟก็จะเพิ่มขึ้น และยิ่งเวลานานขึ้นโอกาสในการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) ก็จะมีมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นที่ระยะเวลา 3 นาที จึงเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์จากสีน้ำตาลไปเป็นสีดำได้ดีที่สุด

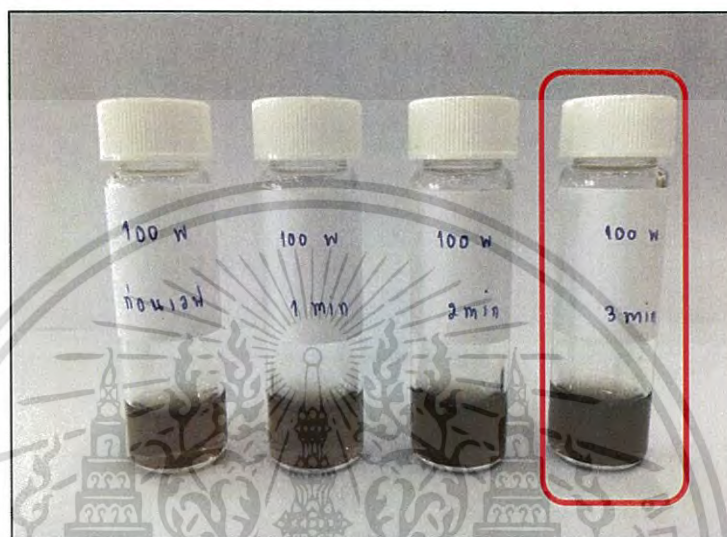
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขระยะเวลาที่ให้ความร้อนต่างกัน

ระยะเวลาที่ให้ความร้อน (นาที)	ค่าความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	
	$\pi - \pi^*$	$n - \pi^*$
0	230	305
1	258	308
2	260	-
3	263	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.2 ศึกษาผลของกำลังงานที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน ภายใต้เงื่อนไขที่มีปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ระยะเวลาที่ให้ความร้อน 3 นาที ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร และศึกษากำลังงานความร้อนที่ให้คือ 100 300 และ 450 วัตต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังรูป 4.6

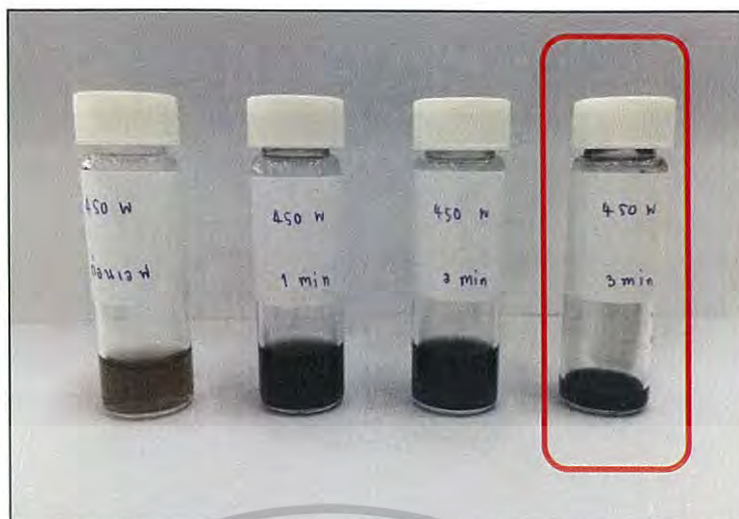


รูปที่ 4.6 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ให้กำลังงานความร้อน 100 วัตต์ในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที

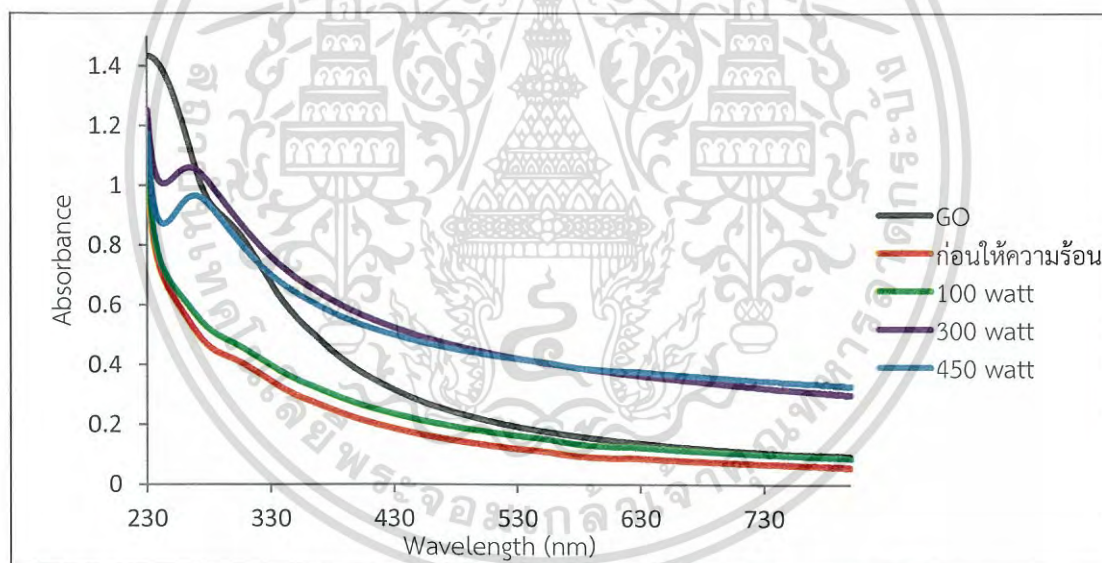


รูปที่ 4.7 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ให้กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ให้กำลังงานความร้อน 450 วัตต์ในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที



รูปที่ 4.9 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ กำลังงานความร้อนที่แตกต่างกันคือ 100 300 และ 450 วัตต์ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.9 พบว่ากราฟีนออกไซด์จะดูดกลืนแสงและปรากฏพีคสองตำแหน่งคือที่ช่วงประมาณ 230 นาโนเมตรของ π - π^* และที่ช่วงประมาณ 300 นาโนเมตรของ n - π^* หลังจากทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีนโดยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟเป็นเวลา 3 นาที พบว่ากำลังงานความร้อนที่ 100 วัตต์ พีคจะไม่แตกต่างไปจากกราฟีนออกไซด์ที่ไม่ให้ความร้อน ส่วนกำลังงานความร้อนที่ 300 และ 450 วัตต์พีค π - π^* จะ shift ไปที่ความยาวคลื่น 263 และ 267 นาโน-เอกซามิเตอร์ ตามลำดับโดยที่ไม่เห็นพีคของ n - π^* ปรากฏอยู่ ทั้งนี้เนื่องจากกำลังงานที่มากขึ้นส่งผลให้เกิดคาร์บอนโครงสร้างที่มากขึ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

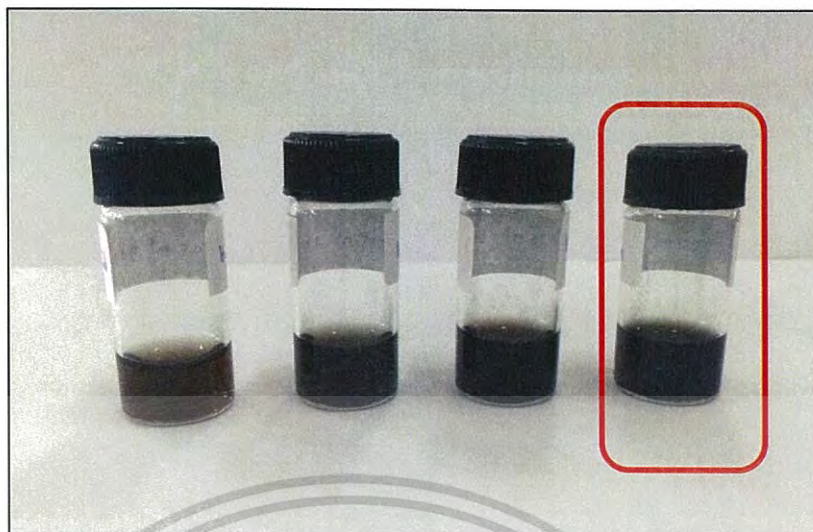
ความร้อนมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากความร้อนจะเป็นตัวกระตุ้นให้สารเกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุล ทำให้โมเลกุลเกิดการชนกันได้มากขึ้น และส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยารีดักชันสูงขึ้น ซึ่งความร้อนนี้จะขึ้นกับกำลังงานของไมโครเวฟที่กำลังงานความร้อนที่ 300 และ 450 วัตต์ จะสามารถรีดิวซ์สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ให้เป็นสีดำได้ดีที่สุด แต่เนื่องจากที่กำลังงาน 450 วัตต์ กำลังงานจากไมโครเวฟสูงกว่า ส่งผลให้การควบคุมปฏิกิริยารวมทั้งปริมาณคงเหลือสุทธิของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ทำได้ยาก ดังนั้นกำลังงานความร้อนที่เหมาะสมในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์คือ 300 วัตต์

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขกำลังงานความร้อนที่ให้ต่างกัน

กำลังงาน (วัตต์)	ค่าความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	
	$\pi - \pi^*$	$n - \pi^*$
-	230	296
100	230	306
300	263	-
450	267	-

4.1.1.3 ศึกษาผลของปริมาณไฮดราซีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีนภายใต้เงื่อนไขคือ ระยะเวลาที่ให้ความร้อน 3 นาที ปริมาณโพลิไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร กำลังงานความร้อนที่ให้ 300 วัตต์ตามลำดับและศึกษาผลของปริมาณไฮดราซีนที่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังรูป 4.7

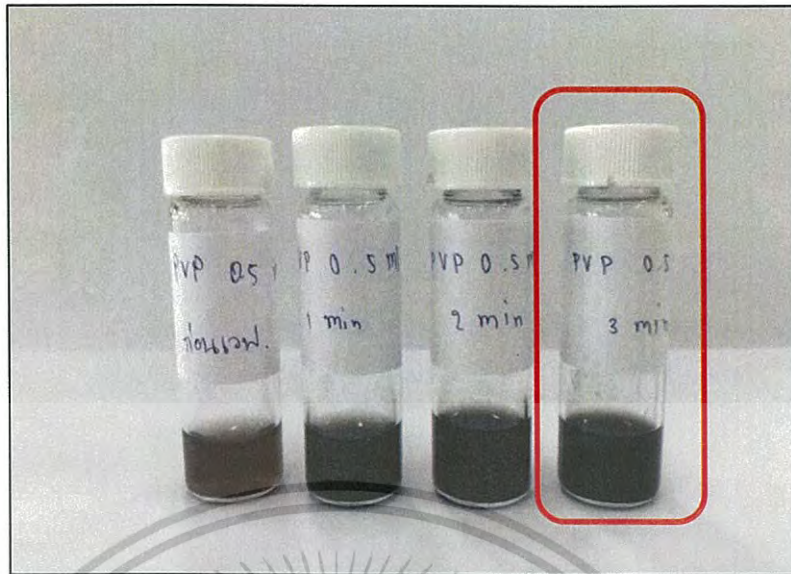


รูปที่ 4.10 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณไฮโดรเจน 0.05 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยา กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที

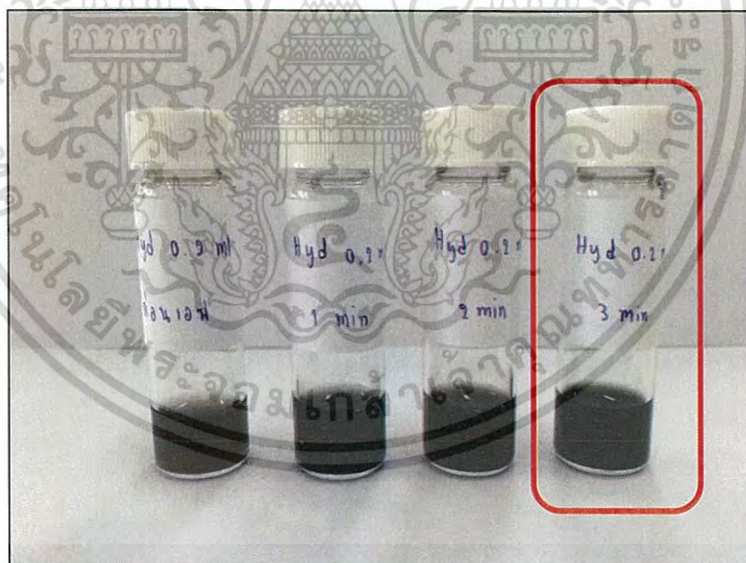


รูปที่ 4.11 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณไฮโดรเจน 0.10 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยา กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยา กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที



รูปที่ 4.13 แสดงภาพสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.20 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยา กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที

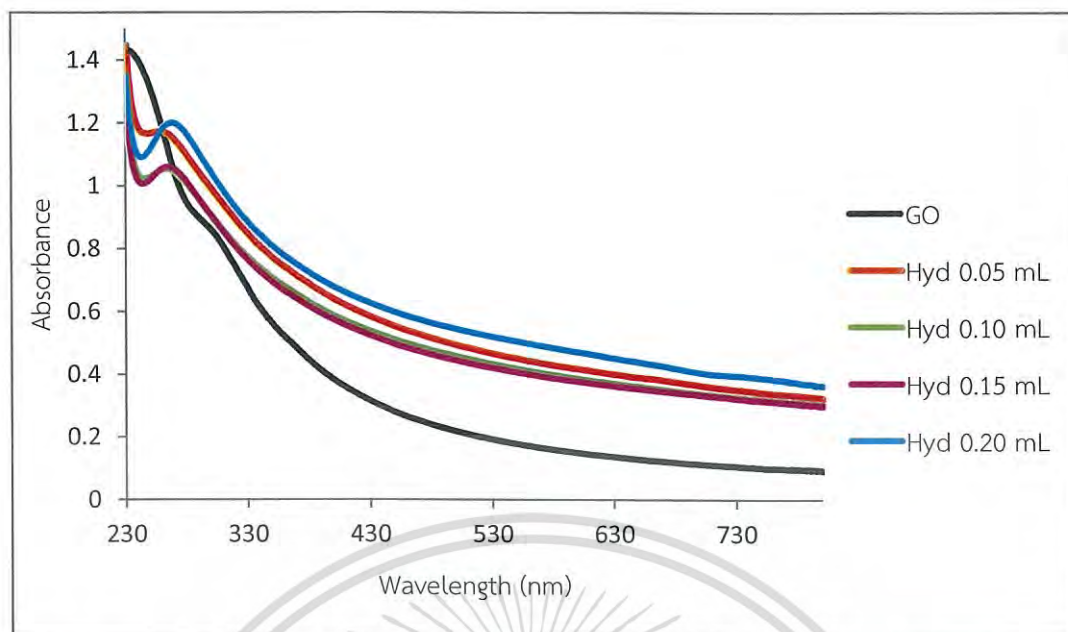
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงสีของสารแขวนลอยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สังเกตได้จากการศึกษาผลของไฮดราซีน

เวลา (นาที)	ปริมาณไฮดราซีน (มิลลิลิตร)			
	0.05	0.10	0.15	0.20
0	สีน้ำตาล	สีน้ำตาล	สีน้ำตาล	สีน้ำตาล
1	สีน้ำตาลเข้ม	สีน้ำตาลเข้ม	สีน้ำตาลเข้ม	สีดำ
2	สีน้ำตาลเข้ม	สีน้ำตาลเข้ม	สีดำ	สีดำ
3	สีดำ	สีดำ	สีดำ	สีดำ

จากตารางที่ 4.3 พบว่าปริมาณไฮดราซีนที่ 0.05 และ 0.10 มิลลิลิตร จะเปลี่ยนสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ให้เป็นสีดำได้ช้า โดยจะเปลี่ยนเป็นสีดำที่นาทีที่ 3 ในขณะที่ปริมาณไฮดราซีนที่ 0.15 และ 0.20 มิลลิลิตร สามารถเปลี่ยนสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์ให้เป็นสีดำได้อย่างรวดเร็ว โดยปริมาณไฮดราซีนที่ 0.15 มิลลิลิตร สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์จะมีสีดำที่นาทีที่ 2 ส่วนปริมาณไฮดราซีนที่ 0.20 มิลลิลิตร สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์จะมีสีดำตั้งแต่นาทีที่ 1 แต่เนื่องจากไฮดราซีนมีความเป็นพิษสูง ดังนั้นไฮดราซีนที่เหมาะสมในการรีติวซ์กราฟีนออกไซด์คือ 0.15 มิลลิลิตร เพราะสามารถรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ให้เปลี่ยนเป็นสีดำได้อีกทั้งยังใช้ปริมาณไฮดราซีนน้อยกว่าแต่ให้ผลการรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ไม่แตกต่างจากการใช้ไฮดราซีนที่ 0.20 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณไฮโดรเจลที่ใช้ทำปฏิกิริยาที่แตกต่างกันคือ 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 มิลลิลิตรตามลำดับ

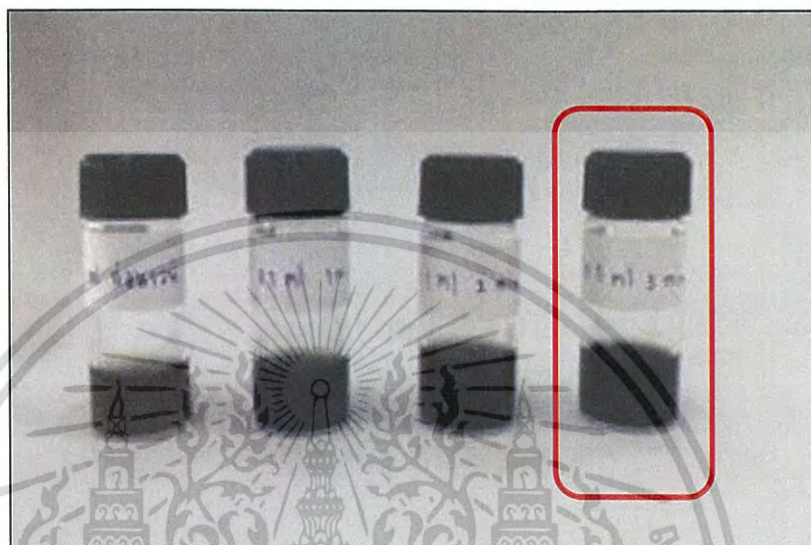
จากรูปที่ 4.14 พบว่ากราฟีนออกไซด์จะดูดกลืนแสงและปรากฏฟิสิกสองตำแหน่งคือที่ช่วงประมาณ 230 นาโนเมตรของ $\pi - \pi^*$ และที่ช่วงประมาณ 300 นาโนเมตรของ $n - \pi^*$ หลังจากทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮโดรเจลที่ปริมาณแตกต่างกันคือ 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 มิลลิลิตร โดยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟเป็นเวลา 3 นาที พบว่าการ shift ของพีค $\pi - \pi^*$ จะไม่แตกต่างกันมากนัก โดยจะ shift ไปที่ความยาวคลื่น 260 263 263 และ 266 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยที่ไม่เห็นพีคของ $n - \pi^*$ ปรากฏอยู่เลย เพราะเมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจล ซึ่งเป็นตัวรีดิวซ์ที่รุนแรง เท่ากับเพิ่มตัวช่วยในการรีดิวซ์ให้มากขึ้นปฏิกิริยาจึงเกิดได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขปริมาณไฮโดรเจลที่ต่างกัน

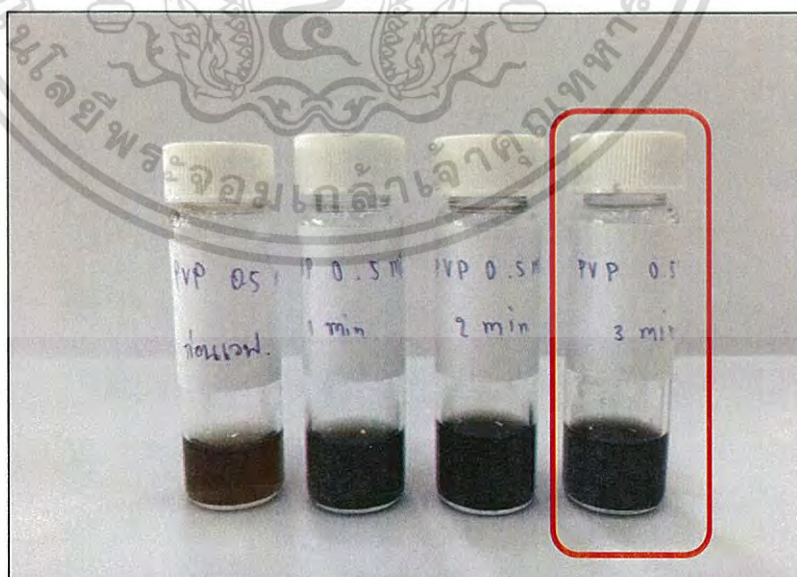
ปริมาณไฮโดรเจล (มิลลิลิตร)	ค่าความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	
	$\pi - \pi^*$	$n - \pi^*$
0.05	260	-
0.10	263	-
0.15	263	-
0.20	266	-

4.1.1.4 ศึกษาผลของปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

ผลการวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน ภายใต้เงื่อนไขที่มีปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ระยะเวลาที่ให้ความร้อน 3 นาที กำลังงานความร้อนที่ให้ 300 วัตต์ และศึกษาปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ช่วยในการรักษาเสถียรภาพ คือ 0.10 0.50 และ 1.00 ตามลำดับ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังรูป 4.8



รูปที่ 4.15 แสดงภาพของสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.10 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยาไฮดราซีนปริมาณ 0.15 มิลลิลิตร กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที



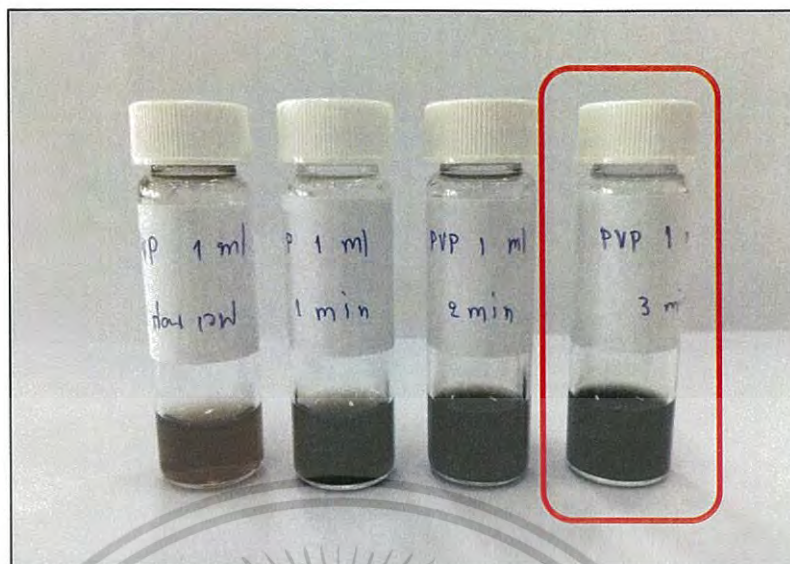
รูปที่ 4.16 แสดงภาพของสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตรในการทำ

ปฏิกิริยาไฮดราซีน ปริมาณ 0.15 มิลลิลิตร กำลังงานความร้อน 300 วัตต์โดยทำการ

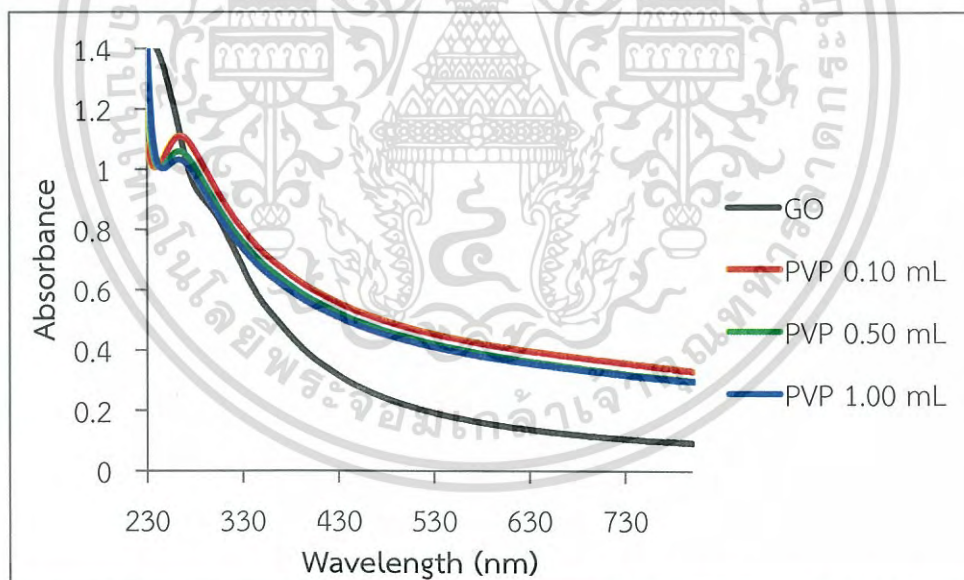
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 แสดงภาพของสารแขวนลอยที่ใช้ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 1.00 มิลลิลิตรในการทำปฏิกิริยาไฮดราซีนปริมาณ 0.15 มิลลิลิตร กำลังงานความร้อน 300 วัตต์โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที



รูปที่ 4.18 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่แตกต่างกันคือ 0.10 0.50 และ 1.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 พบว่ากราฟีนออกไซด์จะดูดกลืนแสงและปรากฏพีคสองตำแหน่งคือที่ช่วงประมาณ 230 นาโนเมตรของ $\pi - \pi^*$ และที่ช่วงประมาณ 300 นาโนเมตรของ $n - \pi^*$ หลังจากทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีนโดยการให้ความร้อนจากไมโครเวฟเป็นเวลา 3 นาที พบว่าการ shift ของพีค $\pi - \pi^*$ จะไม่แตกต่างกันมากนัก โดยจะ shift ไปที่ความยาวคลื่น 264 263 และ 263 นาโนเมตร ตามลำดับ และไม่ปรากฏพีคของ $n - \pi^*$ โดยที่ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.10 มิลลิลิตร เมื่อทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งจะเกิดตะกอนขนาดเล็ก ต่างจากปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ 0.50 และ 1.00 มิลลิลิตร จะยังคงรักษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ได้คงเดิม ไม่เกิดการตกตะกอน ดังนั้นเพื่อเป็นการลดการใช้สารเคมีและให้สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีเสถียรภาพสูงจึงเลือกปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่เหมาะสมคือ 0.50 มิลลิลิตร

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงที่ตำแหน่ง $\pi - \pi^*$ และ $n - \pi^*$ ภายใต้เงื่อนไขปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนต่างกัน

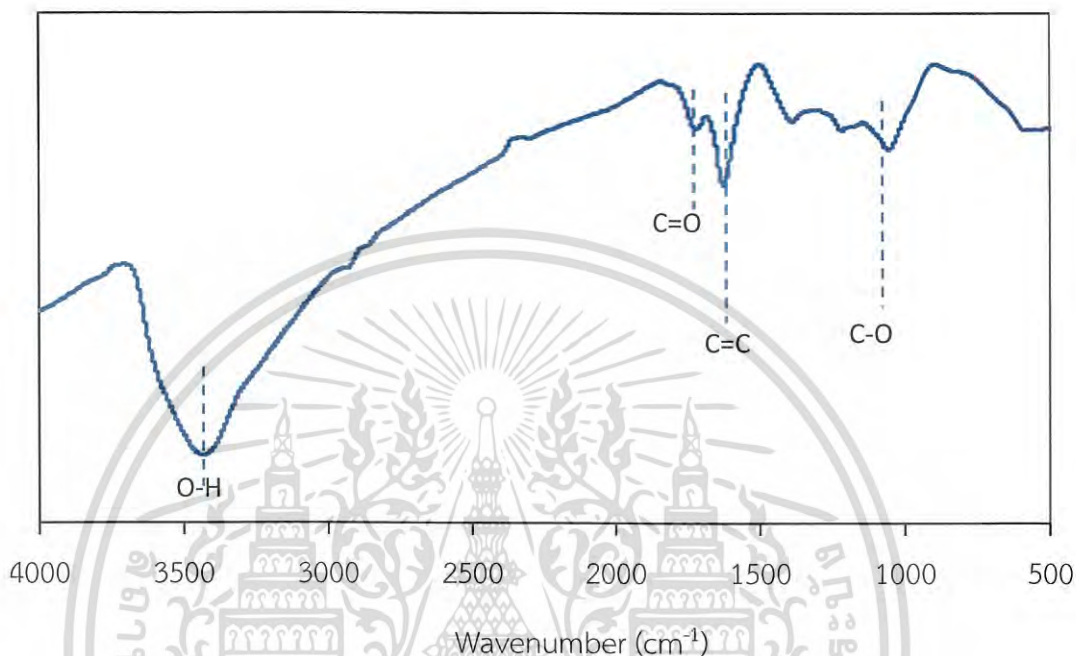
ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน (มิลลิลิตร)	ค่าความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	
	$\pi - \pi^*$	$n - \pi^*$
0.10	264	-
0.50	263	-
1.00	263	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการตรวจสอบเอกลักษณ์พื้นฐานของการสั่นของโมเลกุล

4.1.2.1 กราฟอินฟราเรด

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของ FT-IR ของกราฟีนออกไซด์ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



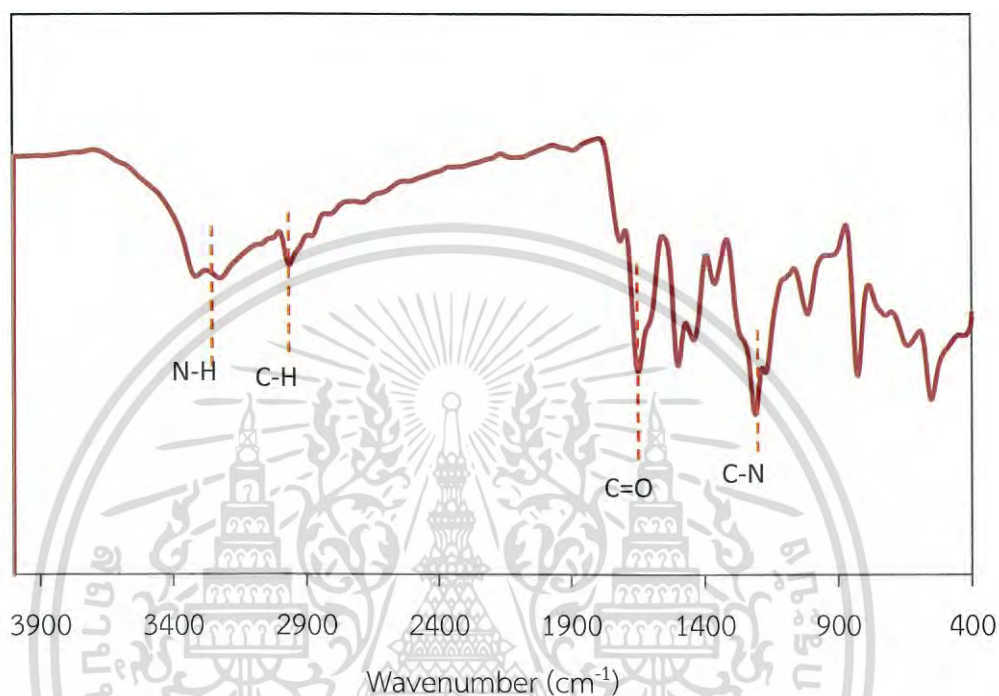
รูปที่ 4.19 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของกราฟีนออกไซด์ (GO)

จากรูปที่ 4.19 พบแถบการสั่นของกราฟีนออกไซด์ปรากฏความถี่ ที่เลขคลื่น 3430 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-O-H) ของหมู่ไฮดรอกซิลและโมเลกุลของน้ำ พบแถบการสั่นช่วงความถี่ที่เลขคลื่น 1640 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C=C) ของวงอะโรมาติก พบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1700 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C=O) ของสารประกอบคาร์บอนิลและคาร์บอกซิลิก และพบแถบการสั่นที่เลขคลื่น 1030 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-C-O-C) ของอีพอกไซด์ เนื่องมาจากการกราฟีนออกไซด์มีหมู่ฟังก์ชันสารประกอบ คาร์บอนิล คาร์บอกซิลิก ไฮดรอกซิล และอีพอกไซด์ อยู่จึงทำให้ปรากฏบนสเปกตรัมของ FT-IR [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

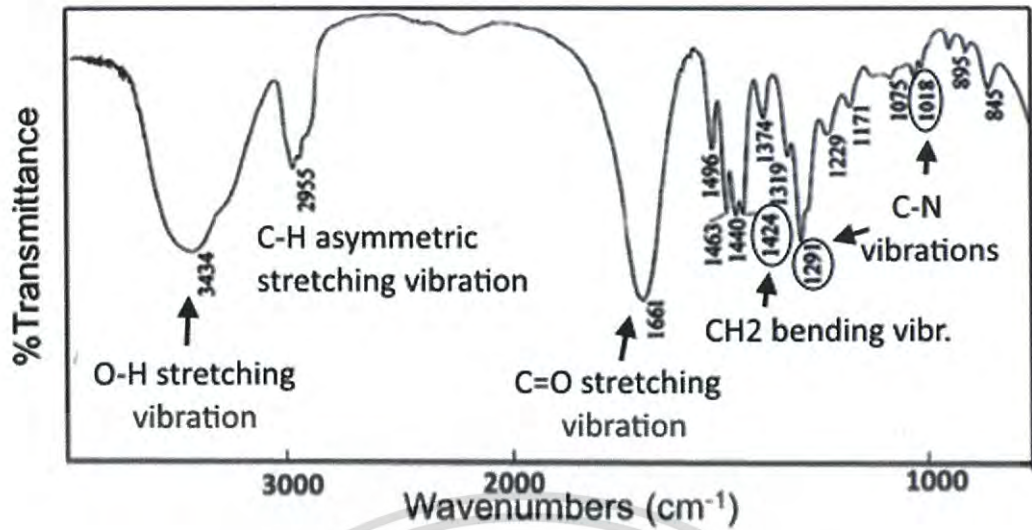
4.1.2.2 รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ผลการวิเคราะห์สเปกตรัมของ FT-IR ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.20 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)

จากรูปที่ 4.20 พบแถบการสั่นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปรากฏความถี่ ที่เลขคลื่น 3230 cm^{-1} ซึ่งเป็นการยืดของพันธะ (-N-H) ของไฮดราซีน เนื่องจากมีการใช้ไฮดราซีนเพื่อรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในปริมาณมากจึงทำให้หลงเหลือและปรากฏความถี่ที่การยืดของพันธะ (-N-H) เด่นชัด ในขณะที่พบแถบการสั่นช่วงความถี่ที่เลขคลื่น 1630 cm^{-1} พันธะ (-C=O) ของสารประกอบคาร์บอนิล พบแถบการสั่นช่วงความถี่ที่เลขคลื่น 1200 cm^{-1} (-C-N-) ของหมู่ไซยาไนด์ของโพลีไวนิลไพโรลิโดนซึ่งลักษณะของสเปกตรัมส่วนใหญ่จะปรากฏความถี่ของโพลีไวนิลไพโรลิโดนดังแสดงในรูปที่ 4.21 ซึ่งทำให้บ่งชี้ความถี่ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ [33]



รูปที่ 4.21 แสดงสเปกตรัม FT-IR ของโพลีไวนิลฟลูออไรด์ [33]

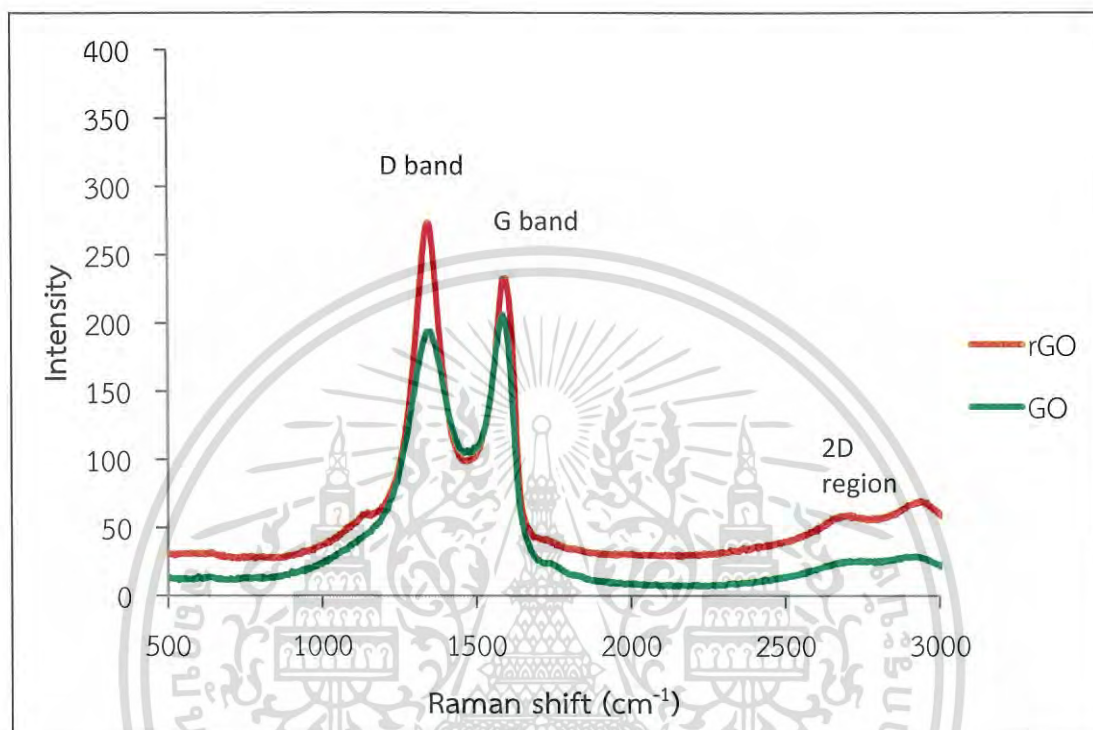
ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูล IR สเปกตรัมเปรียบเทียบการสั่นของพันธะที่สำคัญของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

กราฟีนออกไซด์ (GO)		รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO)	
การสั่นของพันธะ	ความถี่ (cm ⁻¹)	การสั่นของพันธะ	ความถี่ (cm ⁻¹)
O-H stretching	3430	N-H stretching	3230
C=C stretching	1700	C-H stretching	2944
C=O stretching	1640	C=O stretching	1630
C-O stretching	1030	C-N stretching	1200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน (Raman spectroscopy)

ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



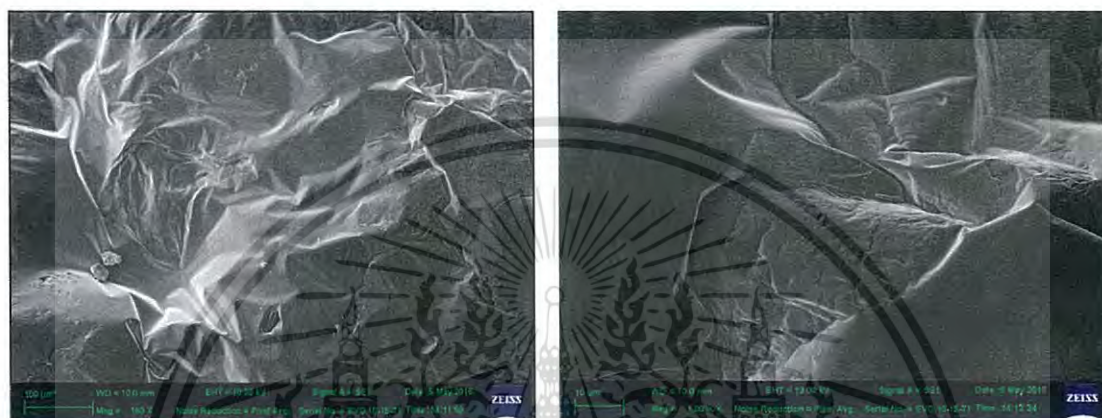
รูปที่ 4.22 แสดงผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามานของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากรูปที่ 4.22 จากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน พบว่าการผ่านปฏิกิริยารีดักชันทำให้ Defect เพิ่มขึ้น ส่งผลให้แผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีขนาดเล็กลง หรือมีความไม่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้นทำให้แผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีความไม่สมบูรณ์ สังเกตได้จากสเปกตรัมของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์แสดง G band ที่ตำแหน่งประมาณ 1590 cm^{-1} โดยอัตราส่วนระหว่าง ID/IG เพิ่มขึ้นจาก 0.93 เป็น 1.17 และ D band ที่ตำแหน่งประมาณ 1342 cm^{-1} มีพีคสูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าหมู่ฟังก์ชันถูกกำจัดไปและมีการสร้างพันธะคู่เกิดมากขึ้น [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาและพื้นผิวของสารในระดับจุลภาค

ผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron-Microscope; SEM) เพื่อศึกษาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ ในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยทำการวัดที่กำลังขยาย 150 เท่า และ 1000 เท่า ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้



(a)

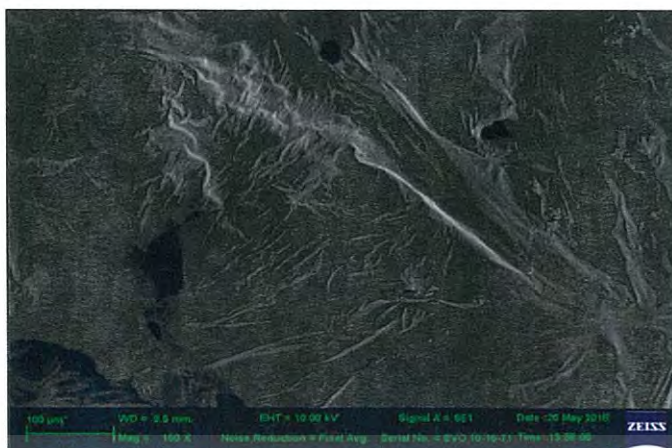
(b)

รูปที่ 4.23 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM (a) รีติวซ์กราฟีนออกไซด์กำลังขยาย X150 เท่า
(b) รีติวซ์กราฟีนออกไซด์กำลังขยาย X1000 เท่า

จากรูปที่ 4.23 จากรูปจะเห็นว่ารีติวซ์กราฟีนออกไซด์มีลักษณะเป็นแผ่นบางเรียงมาเกาะอยู่บนก้อนของโพลีไวนิลไพโรลิโดนซึ่งบริเวณที่เรียบสลับกับบริเวณที่ขรุขระโดยบริเวณที่เรียบนั้นจะเป็นบริเวณของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ส่วนบริเวณที่ขรุขระจะเป็นของโพลีไวนิลไพโรลิโดน แสดงให้เห็นว่ามีโพลีไวนิลไพโรลิโดนจำนวนมากผสมอยู่กับรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เนื่องจากการใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ

ผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron-Microscope; SEM) เพื่อศึกษาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของโพลีไวนิลไพโรลิโดนในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยทำการวัดที่กำลังขยาย 150 เท่า ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

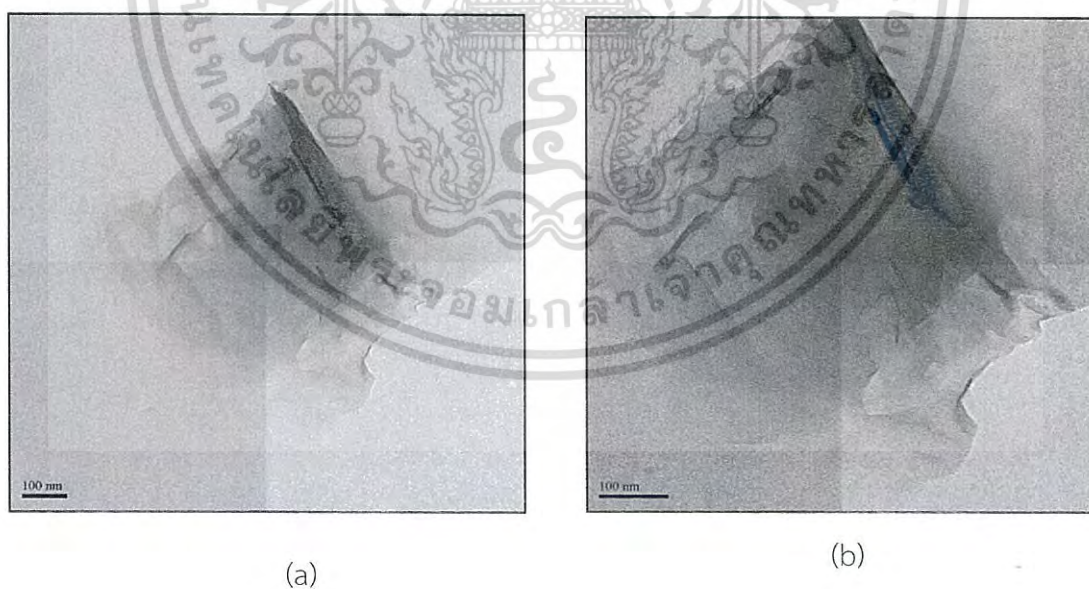
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง SEM ของโพลีไวนิลไพโรลิโดนกำลังขยาย X150 เท่า

4.1.5 ผลการตรวจสอบลักษณะสัณฐานวิทยาของสารรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ผลการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron-microscope; TEM) เพื่อศึกษาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยพบว่าแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีความบางมาก ซึ่งแสดงผลการศึกษาดังรูป 4.25



รูปที่ 4.25 แสดงภาพถ่ายจากกล้อง TEM ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (a) กำลังขยาย X19000 เท่า (b) กำลังขยาย X29000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.25 พบว่าแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีความบางและโปร่งแสง โดยจะมีการเกาะทับกันเป็นชั้นบางๆ ซึ่งอาจจะเกิดจากผลของการมีโพลีไวนิลไพโรลิโดนอยู่ในของผสมนี้ มากเกินไป

4.2 การศึกษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในตัวทำละลายต่างๆ

หลังจากการทดลองรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์แล้วนำมาศึกษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้ในตัวทำละลายต่างๆ คือ น้ำ เอทานอล เมทานอล อะซิโตน คลอโรฟอร์ม และไซโคลเฮกเซน พบว่าเมื่อนำสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ปริมาณ 0.30 มิลลิลิตร ลงในตัวทำละลายปริมาณ 0.80 มิลลิลิตร สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่อยู่ในตัวทำละลายเอทานอล เมทานอล อะซิโตนและน้ำจะเกิดการรวมตัวเป็นเนื้อเดียวกัน (like dissolves like) ในขณะที่ไซโคลเฮกเซนและคลอโรฟอร์มจะเกิดการแยกชั้นกับสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยในไซโคลเฮกเซนสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะอยู่ชั้นล่าง ไซโคลเฮกเซนจะอยู่ชั้นบนต่างจากคลอโรฟอร์มที่สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะอยู่ชั้นบน คลอโรฟอร์มจะอยู่ชั้นล่าง ซึ่งเป็นผลมาจากความหนาแน่นของตัวทำละลาย ดังแสดงในรูปที่ 4.26

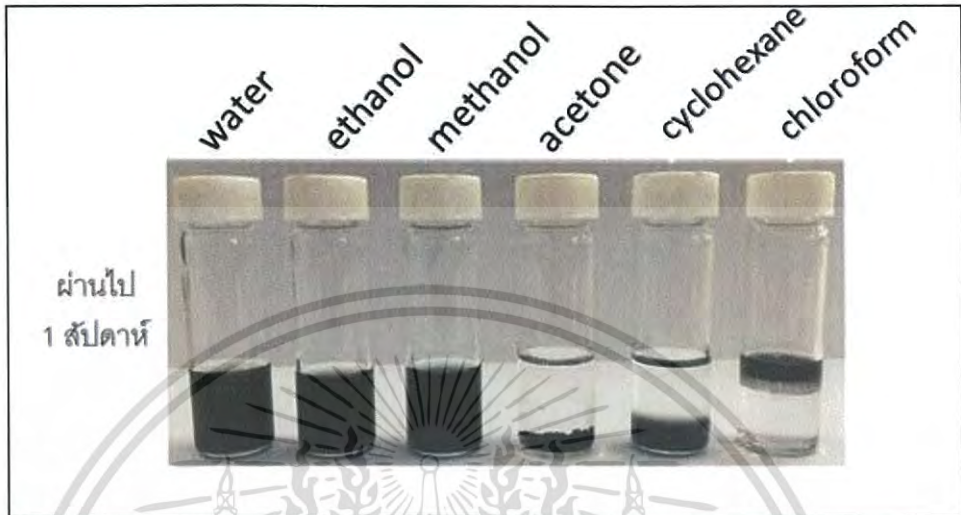


รูปที่ 4.26 แสดงเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์หลังใส่ลงในตัวทำละลายทันที

เมื่อทำการทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์จะเห็นว่าสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนในตัวทำละลายอะซิโตนจะเกิดการตกตะกอนลงมา เนื่องจากอะซิโตนมีค่า dipole moment ประมาณ 2.88 ดอลตันซึ่งมีค่ามากกว่าค่า dipole moment ของน้ำมีค่าเพียง 1.85 ดอลตัน จากค่า dipole moment ที่แตกต่างกันจึงมีผลให้อะซิโตนดึงโมเลกุลน้ำออกมาจากโครงสร้างของรีดิวซ์

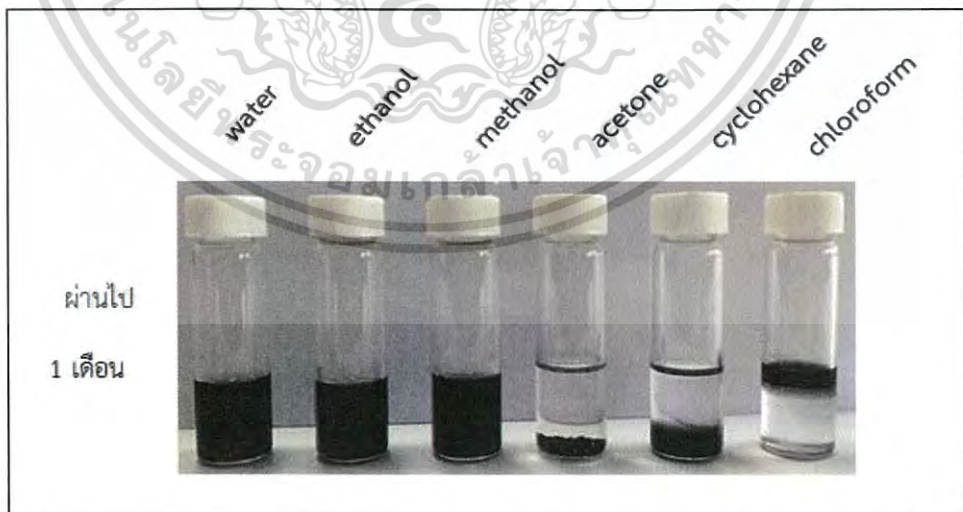
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟีนออกไซด์ ส่งผลให้กราฟีนออกไซด์เกิดการตกตะกอนลงมา ในขณะที่สารแขวนลอยรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ในตัวทำละลายชนิดอื่นยังคงเหมือนเดิมดังแสดงในรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 แสดงเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์หลังใส่ลงในตัวทำละลาย 1 สัปดาห์

เมื่อทำการทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 1 เดือน จะเห็นว่าไม่มีความแตกต่างจากช่วงระยะเวลาที่ทิ้งไว้ 1 สัปดาห์ ดังแสดงในรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 แสดงเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์หลังใส่ลงในตัวทำละลาย 1 เดือน

ทั้งนี้เป็นผลมาจากสมบัติของตัวทำละลายเนื่องจากสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เริ่มต้นนั้นจะอยู่ในน้ำเมื่อนำสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาละลายในตัวทำละลายต่างชนิดกัน ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วใกล้เคียงกัน (like dissolve like) โดยสภาพขั้วจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเป็นขั้วของสารได้ในระดับหนึ่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 สภาพขั้วของตัวทำละลาย [35]

Solvent	Chemical formula	Boiling point	Dielectric Constant	Density	Dipole Moment
Non-Polar Solvents					
Pentane	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	36 °C	1.84	0.626 g/ml	0.00 D
Cyclopentane	C_5H_{10}	40 °C	1.97	0.751 g/ml	0.00 D
Hexane	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$	69 °C	1.88	0.655 g/ml	0.00 D
Cyclohexane	C_6H_{12}	81 °C	2.02	0.779 g/ml	0.00 D
Benzene	C_6H_6	80 °C	2.3	0.879 g/ml	0.00 D
Toluene	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-CH}_3$	111 °C	2.38	0.867 g/ml	0.36 D
1,4-Dioxane	$\text{/-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-}$	101 °C	2.3	1.033 g/ml	0.45 D
Chloroform	CHCl_3	61 °C	4.81	1.498 g/ml	1.04 D
Diethyl ether	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$	35 °C	4.3	0.713 g/ml	1.15 D
Polar Aprotic Solvents					
Dichloromethane (DCM)	CH_2Cl_2	40 °C	9.1	1.3266 g/ml	1.60 D
Tetrahydrofuran (THF)	$\text{/-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}$	66 °C	7.5	0.886 g/ml	1.75 D
Ethyl acetate	$\text{CH}_3\text{-C(=O)-O-CH}_2\text{-CH}_3$	77 °C	6.02	0.894 g/ml	1.78 D
Acetone	$\text{CH}_3\text{-C(=O)-CH}_3$	56 °C	21	0.786 g/ml	2.88 D
Dimethylformamide (DMF)	$\text{H-C(=O)N(CH}_3\text{)}_2$	153 °C	38	0.944 g/ml	3.82 D
Acetonitrile (MeCN)	$\text{CH}_3\text{-C}\equiv\text{N}$	82 °C	37.5	0.786 g/ml	3.92 D
Dimethyl sulfoxide (DMSO)	$\text{CH}_3\text{-S(=O)-CH}_3$	189 °C	46.7	1.092 g/ml	3.96 D
Propylene carbonate	$\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$	240 °C	64	1.205 g/ml	4.9 D
Polar Protic Solvents					
Formic acid	H-C(=O)OH	101 °C	58	1.21 g/ml	1.41 D
n-Butanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	118 °C	18	0.810 g/ml	1.63 D
Isopropanol (IPA)	$\text{CH}_3\text{-CH(OH)-CH}_3$	82 °C	18	0.785 g/ml	1.66 D
n-Propanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-OH}$	97 °C	20	0.803 g/ml	1.68 D
Ethanol	$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$	79 °C	24.55	0.789 g/ml	1.69 D
Methanol	$\text{CH}_3\text{-OH}$	65 °C	33	0.791 g/ml	1.70 D
Acetic acid	$\text{CH}_3\text{-C(=O)OH}$	118 °C	6.2	1.049 g/ml	1.74 D
Water	H-O-H	100 °C	80	1.000 g/ml	1.85 D

นอกจากนั้นเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ยังเป็นผลมาจากการมีส่วนผสมของโพลีไวนิลไพโรลิโดนรวมอยู่ในสารแขวนลอยด้วย เนื่องจากโครงสร้างของโพลีไวนิลไพโรลิโดนจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) โดยโพลีไวนิลไพโรลิโดนจะหันด้านที่มีขั้วเข้าหาน้ำ และหันด้านที่ไม่มีขั้วเข้าหาส่วนที่ไม่มีขั้วของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ส่งผลให้เกิดการรักษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ในตัวทำละลายต่างๆ อีกทั้งยังมีโพลีไวนิลไพโรลิโดนอยู่ในสารแขวนลอยจำนวนมากส่งผลให้เกิดการเกี่ยวพันระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์กับรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ทำให้เกิดการกระจายตัวของรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ในตัวทำละลาย ไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนและตกตะกอนลงมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

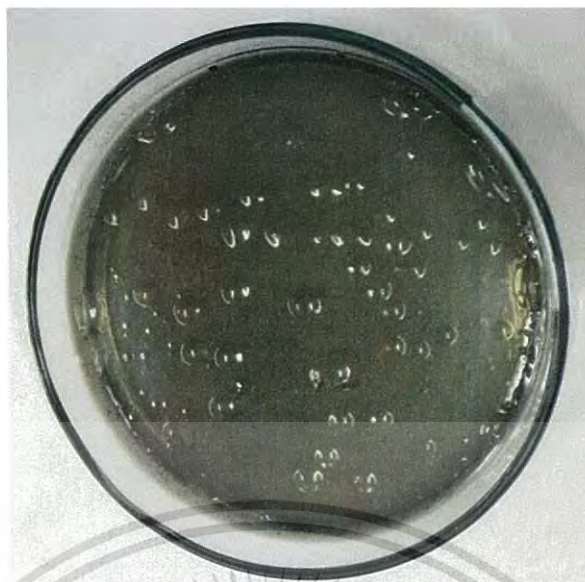
4.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารแขวนลอยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ

โดยปกติแล้วกราฟีนจะมีสมบัติเด่นคือความแข็งแรง ด้านทานการแตกหักหรือแม้แต่สมบัติทางแสงและการนำไฟฟ้า เนื่องจากสารแขวนลอยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ทำการทดลองนั้นจะมีความสามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำได้ดีมากกว่ากราฟีน จึงทำให้สามารถเข้ากันได้ดีในน้ำยางธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 แสดงภาพยางธรรมชาติผสมสารรีติวซ์กราฟีนออกไซด์หลังผสมทันที

จากการทำการศึกษา เมื่อนำสารแขวนลอยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ภายใต้เงื่อนไขที่มีปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร กำลังงานความร้อนที่ให้ 300 วัตต์เป็นเวลา 3 นาที ใส่ลงในยางธรรมชาติแล้วทิ้งไว้ให้แห้งเพื่อให้เกิดประโยชน์ในการเพิ่มสมบัติบางประการของยางธรรมชาติพบว่าเมื่อนำยางธรรมชาติปริมาณ 5.00 มิลลิลิตรผสมกับสารแขวนลอยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ความเข้มข้น 3.90 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ในปริมาณ 2.00 มิลลิลิตร เมื่อแห้งแล้วพบว่าแผ่นยางธรรมชาติจะมีสีดำ และเกิดฟองอากาศขึ้นจำนวนมากบริเวณพื้นผิวของแผ่นยางดังแสดงในรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 แสดงภาพยางธรรมชาติผสมสารรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์หลังทิ้งไว้ 1 คืน

จากภาพที่ 4.30 สังเกตได้ว่าบนพื้นผิวของแผ่นยางธรรมชาติจะมีรูพรุนอันเนื่องมาจากการเกิดฟองอากาศจำนวนมากเกิดขึ้น ทั้งนี้ น่าจะเป็นผลมาจากการใช้ไฮโดรเจนในปริมาณมากเพื่อรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ไฮโดรเจนมีสมบัติคล้ายกับแอมโมเนียสามารถระเหยได้ง่าย เมื่อไฮโดรเจนระเหยออกไป จึงทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในยางธรรมชาติ จึงไม่สามารถนำไปศึกษาหาค่าแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติได้รวมทั้งอาจจะไม่สามารถนำแผ่นยางธรรมชาติผสมนี้ไปใช้งานได้จริงอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการศึกษาเอกลักษณ์ของกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการเตรียมสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยตัวออบไมโครเวฟโดยมีการใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์และใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็นตัวรักษาเสถียรภาพ จากผลการทดลองพบว่า สามารถเตรียมสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีเสถียรภาพสูงได้หลังจากนั้นจึงนำไปตรวจเอกลักษณ์เฉพาะด้วยเทคนิคต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลอง ได้ดังนี้

จากการศึกษาโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง (UV-Vis Spectrophotometer) พบว่าสารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์สีน้ำตาลเหลืองจะปรากฏพีคที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร ($\pi - \pi^*$) และ 300 นาโนเมตร ($n - \pi^*$) หลังจากรีดิวซ์ด้วยไฮดราซีนโดยให้ความร้อนจากไมโครเวฟช่วยเร่งการเกิดการรีดิวซ์จะได้สารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์สีดำ ซึ่งจะเกิดการเลื่อนตำแหน่งของพีคที่มีความยาวคลื่น 230 นาโนเมตรไปในทิศทางที่มีความยาวคลื่นเพิ่มมากขึ้นและในขณะเดียวกันพีคที่มีความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร จะไม่ปรากฏให้เห็นแสดงให้เห็นว่ากราฟีนออกไซด์ถูกรีดิวซ์ให้มีสมบัติคล้ายกราฟีนแล้ว นอกจากนี้จากการศึกษาผลของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อปฏิกิริยาพบว่าเมื่อปริมาณปริมาณไฮดราซีนที่ใช้ทำปฏิกิริยา กำลังงานความร้อนที่ใช้มากขึ้นและระยะเวลาในการรีดิวซ์ที่เพิ่มขึ้น จะส่งผลให้สารแขวนลอยกราฟีนออกไซด์รีดิวซ์ได้มากยิ่งขึ้น

จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชันและวิเคราะห์โครงสร้างประกอบทางเคมีด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FT-IR) พบว่าหลังจากทำการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีนและมีการใช้โพลีไวนิลไพโรลิโดนในปริมาณมาก จึงส่งผลให้ลักษณะที่ตรวจวิเคราะห์ที่ได้ส่วนใหญ่จะปรากฏเลขคลื่นความถี่การยืดของพันธะ (-N-H) ของเอไมด์พบแถบการสั่นของพันธะ (-C=O) ของสารประกอบคาร์บอนิลและพบแถบการสั่น (-C-N-) ของหมู่ไซยาไนด์ ซึ่งเป็นลักษณะสเปกตรัมของโพลีไวนิลไพโรลิโดนและไฮดราซีน ไปบดบังทำให้ไม่ปรากฏสเปกตรัมความถี่ของกราฟีนออกไซด์หรือรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

จากการศึกษาด้วยเทคนิครามาน (Raman Spectroscopy) พบพีคสเปกตรัมของ D band ที่ตำแหน่ง 1342 cm^{-1} พบพีคสเปกตรัมของ G band ที่ตำแหน่ง 1590 cm^{-1} ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยจะมีอัตราส่วนของ I_D/I_G เพิ่มมากขึ้นจาก 0.93 ของกราฟีนออกไซด์เป็น 1.17 แสดงให้เห็นว่าหมู่ฟังก์ชันถูกกำจัดไปและมีการสร้างพันธะคู่ (-C=C-) เกิดขึ้นบนแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาและพื้นผิวในระดับจุลภาคของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) พบว่าพื้นผิวของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีลักษณะเป็นแผ่นเล็กและบางซ้อนทับกันอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ นอกจากนี้ยังศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยาของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope; TEM) เพื่อศึกษาวิเคราะห์ลักษณะสัณฐานวิทยาของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์พบว่าแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีความบางและโปร่งแสง

5.2 ผลการศึกษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในตัวทำละลายต่างๆ

เมื่อนำสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาผสมเข้ากับตัวทำละลายต่างๆ ได้แก่ น้ำ เอทานอล เมทานอล อะซิโตน ไซโคลเฮกเซนและคลอโรฟอร์ม จะพบว่าเมื่อระยะเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์และ 1 เดือน สารจะยังคงรักษาเสถียรภาพเหมือนเดิมไม่เกิดการตกตะกอนหรือเปลี่ยนแปลงสภาพไปโดยเฉพาะที่อยู่ในน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากมีโพลีไวนิลไพโรลิโดนเป็นสารที่ช่วยในการรักษาเสถียรภาพของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

5.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไปใช้ประโยชน์ในการเพิ่มสมบัติบางประการของยางธรรมชาติ

จากการนำสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มาผสมลงในน้ำยางธรรมชาติ เมื่อทิ้งไว้ 1 คืน พื้นผิวของแผ่นยางเกิดฟองอากาศจำนวนมากหลังจากที่ใส่รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ลงไปนั้นเป็นผลมาจากการใช้ไฮดราซีนในปริมาณมากเพื่อรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ไฮดราซีนมีสมบัติคล้ายกับแอมโมเนียสามารถระเหยได้ เมื่อไฮดราซีนระเหยออกไป จึงทำให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในยางธรรมชาติ ไม่สามารถนำไปวัดความแข็งแรงดึงของยางธรรมชาติได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาการเตรียมรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยใช้วิธีนี้ต่อไป

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยครั้งนี้พบว่าไฮดราซีนสามารถใช้ในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็วแต่ไฮดราซีนมีความเป็นพิษสูง ทำให้เป็นอันตรายต่อผู้ทำการทดลองได้ ดังนั้นควรเลือกใช้ตัวรีดิวซ์เอเจนต์ตัวอื่นที่มาจากรวมชาติหรือเป็นพิษน้อยกว่ามาใช้ทดแทน
2. ในการนำสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ใส่ลงในยางธรรมชาติเพื่อศึกษาสมบัติบางประการพบว่าแผ่นยางจะเป็นรูพรุนเนื่องจากไฮดราซีนสามารถระเหยได้ เมื่อระเหยออกไปจะส่งผลให้ยางเกิดฟองอากาศขึ้นจึงไม่สามารถปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติได้ ดังนั้นควรเลือกใช้ตัวรีดิวซ์เอเจนต์ตัวอื่นมาทดแทนไฮดราซีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จากการนำสารแขวนลอยรีติวซ์กราฟีนออกไซด์เส้นใยที่ดีที่สุดใส่ลงในยางธรรมชาติพบว่าเกิดฟองอากาศจำนวนมากบริเวณพื้นผิวของแผ่นยาง เป็นผลมาจากมีปริมาณไฮดราซีนอยู่ในส่วนผสมของสารแขวนลอย รีติวซ์กราฟีนออกไซด์มากเกินไปดังนั้นจึงควรลดปริมาณไฮดราซีนที่ใช้ให้น้อยลงหรือเปลี่ยนไปใช้รีติวซ์อิงเอเจนต์ตัวอื่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปุณฺทริกา ปัญญาวคิน. 2013. ฤาเมื่อถือ Nokia ในอนาคตจะทำมาจากกราฟีน. [Online].
Available : <http://y34.wikidot.com/it-report01-041>
- [2] Mingsheng Xu. “**graphene like two dimensional materials.**” Acs publications. (2013) :
106-118.
- [3] Jian-guo Zhao, Bao-yan Xing, Hui Yang, Qi-liang Pan, Zuo-peng Li, Zhan-jun Liu. “**Growth of carbon nanotubes on graphene by chemical vapor deposition.**” New Carbon Materials. (2016) : 31-36.
- [4] Alireza Hadi, Javad Karimi-Sabet, Seyed Mohammad Ali Moosavian, Sohrabali Ghorbanian. “**Optimization of graphene production by exfoliation of graphite in supercritical ethanol: A response surface methodology approach.**” The Journal of Supercritical Fluids. (2016) : 92–105.
- [5] Martin Rosillo-Lopez, Christoph G. Salzmann. “**A simple and mild chemical oxidation route to high-purity nano-graphene oxide.**” Carbon. (2016) : 56–63.
- [6] Gordon G. Wallace, Richard B. Kaner, Marc Muller, Scott Gilje, Dan Li. “**Processable aqueous dispersions of graphene nanosheets.**” (2008) : 101-105.
- [7] Qinglong Yan, Qing Liu, Jieqiang Wang. “**A simple and fast microwave assisted approach for the reduction of graphene oxide.**” Ceramics international. (2016) : 3007-3013.
- [8] Songfeng Pei, Hui-Ming Cheng. “**The reduction of graphene oxide.**” Carbon. (2012) :
3210 - 3228.
- [9] Jeeranun D. 2012. กราฟีน, อัณมณีนแห่งวัสดุอนาคต. [Online].
Available : <http://www.nstda.or.th/prs/index.php/graphene?showall=1>
- [10] ดร. ณัฐพันธ์ ศุภกา. บัคกี้บอลลายมหัศจรรย์แห่งยูคนานอ. [Online].
Available : <http://www.rmutphysics.com/CHARUD/specialnews/6/buckyball/index.htm>
- [11] สุรวุฒิ ช่วงโชติ, พิษณุ ศุภผล. 2005. ท่อนาโนคาร์บอน. [Online].
Available : <http://www.technologymedia.co.th/articleDetail.asp?arid=i2484&pid=257>
- [12] สำนักงานกลางศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์. กราฟีน (Graphene) คืออะไร? .[Online].
Available : http://thep-center.org/src/qa_read.php?question_id=2
- [13] KUNGL. VETENSKAPSAKADEMIEN. 2010. GRAPHENE .[Online] .
Available : https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2010/advanced-physicsprize2010.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] A. K. Geim and A. H. “Graphene: Exploring Carbon Flatland.” MacDonald in Physics Today. 2007 : 35–41.
- [15] M.G.R. 2006. “โกรม” นักฟิสิกส์คนแรกที่ว่า “อีกโนเบล” คอบ “โนเบล”. [Online].
Available : <http://www.manager.co.th/Science/ViewNews.aspx?NewsID=9530000140723>
- [16] M. Congqin, Z. Churan, L. Owen and X. Ya-Hong. “Chemical Vapor Deposition of Graphene.” In Physics and Applications of Graphene – Experiment ; Mikhailov, S. Ed.; In Tech : Rijeka. 2011 : 37-44.
- [17] Y. Zhang, J. P. Small, W. V. Pontius and P. Kim. “Fabrication and electric-field Dependent Transport Measurements of Mesoscopic Graphene Devices.” Appl.Phys. Lett. 86(2005) : 1-3.
- [18] K. S. Novoselov, A K. Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Y. Zhang, S. V. Dubonos and I. V. Firsov Grigorieva. “Electric Field Effect in Atomically Thin Carbon Films.” Science. 306(2004) : 666-669.
- [19] C. R. Dean, A. F. Young, I. Meric, C. Lee, L. Wang and S. Sorgenfrei. “Boron nitride substrates for high-quality graphene electronics.” Nat. Nanotech. 5(2010) : 722-726.
- [20] S. Pei and H. Cheng “The reduction of graphene oxide” Carbon 50. (2011) : 3210-3228.
- [21] Jesus de La Fuente. Graphene. [Online].
Available : <http://www.graphenea.com/pages/graphene-properties#.V1-9YvmLTIV>
- [22] Dave Smith. 2014. 5 Applications For Graphene, The 'Wonder Material,' That Could Change The Way We Live. [Online].
Available : <http://www.businessinsider.com/graphene-applications-2014-6>
- [23] Pat Mouhan. 2015. Tech Chip 1200x1200px – 100% Quality HD Wallpapers. [Online]
Available : <http://6iee.com/708347.html>
- [24] Adam De Gree. 2015. Materials Used in Solar Panels. [Online].
Available : <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12014>
- [25] Jesus de La Fuente. Graphene. [Online].
Available : http://www.graphenea.com/pages/graphene-oxide#.V1_FyvmLTIV
- [26] Songfeng Pei, Hui-Ming Cheng. “The reduction of graphene oxide.” Carbon. (2012) : 3210 - 3228.

- [27] E. I. Ryumtsev, N. P. Evlampieva, O. V. Nazarova, S. N. Bokov, E. F. Panarin. (2003). Electro-Optical and Molecular Properties of Polyvinylpyrrolidone with Covalent-Bonded Fullerene C60. [Online]. Available : <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1025780904878>
- [28] Dr B. Gilbert. INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY. [Online]. Available : <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc68.htm>
- [29] ผศ.จรัส บุญยธรรมมา. 2004. ยางธรรมชาติ (Natural Rubber). [Online]. Available : http://www.electron.rmutphysics.com/science-news.../index.php?option=com_content&task=view&id=141&Itemid=0
- [30] Sungjin Park, Jinho An, Jeffrey R. Potts, Aruna Velamakanni, Shanthi Murali, Rodney S. Ruoff. “Hydrazine-reduction of graphite- and graphene oxid.” CARBON49. (2011) : 3019-3023.
- [31] Zhiguang Liu, Yujing Guo, Chuan Dong. “A high performance nonenzymatic electrochemical glucose sensor based on polyvinylpyrrolidone-graphene nanosheets-nickel nanoparticles-chitosan nanocomposite.” Talanta137.(2015): 87-93.
- [32] William Reusch. (2013). Visible and Ultraviolet Spectroscopy. [Online]. Available : <http://www2.chemistry.msu.edu/faculty/reusch/virttxtjml/spectrpy/uv-vis/spectrum.htm>
- [33] Kallum M. Koczkur, Stefanos Mourdikoudis, Lakshminarayana Polavarapu, Sara E. Skrabalak. “Polyvinylpyrrolidone (PVP) in nanoparticle synthesis.” Dalton Trans. (2015):178883-17905.
- [34] Z. Fan, W. Kai, J. Yan, T. Wei, L. Zhi, J. Feng, Y. Ren, L. Song and F. Weis “Facile Synthesis of Graphene Nanosheets via Fe Reduction of Exfoliated Graphite Oxide.” American Chemical Society. 5(2011) : 191-198
- [35] John Fuchs. 2013. Chemistry – Solvent Characteristics. [Online]. Available : <http://www.ctgclean.com/tech-blog/2013/01/chemistry-solvent-characteristics/>
- [36] supottwit. 2012. SOLVENT. [Online]. Available : <https://oilabexcise.wordpress.com/2012/09/26/solvent/>
- [37] chakrit tongurai .2011. PSU ไบโอดีเซล 5: เคมีอินทรีย์. [Online]. Available : <http://share.psu.ac.th/blog/eng-biodiesel/21082?locale=en>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [38] kwanslotmc. 2015. เมทานอล (Methanol). [Online].
Available : <http://www.vcharkarn.com/vcafe/211697>
- [39] นพ.ภวัต วิทย์ผลโยทัย. 2013. Methanol. [Online]
Available : http://www.summacheeva.org/index_thaitox_methanol.htm
- [40] สยามเคมี.คอม สารเคมี และผลิตภัณฑ์เคมี. เอทานอล/เอทิลแอลกอฮอล์. [Online].
Available: <http://www.siamchemi.com>
- [41] พญ.ดาริกา วอทอง. 2012. Etanol. [Online].
Available : http://www.summacheeva.org/index_thaitox_ethanol.htm
- [42] สยามเคมี.คอม สารเคมี และผลิตภัณฑ์เคมี. อะซิโตน (Acetone). [Online].
Available : <http://www.siamchemi.com>
- [43] นพ.อังกูร นพคุณภูษิต. 2012. Acetone. [Online].
Available : http://www.summacheeva.org/index_thaitox_acetone.htm
- [44] Danny S.. คลอโรฟอร์ม. [Online].
Available : <http://www.wikiwand.com/th/>
- [45] นพ.วิวัฒน์ เอกบูรณะวัฒน์. 2011. Chloroform. [Online].
Available : http://www.summacheeva.org/index_thaitox_chloroform.htm
- [46] Joseph J. Grabowski. 2005. Projecting Computer Generated 3D Molecular Images in a Chemistry Lecture Hall. [Online].
Available : <http://confchem.ccce.divched.org/2005WinterConfChemP1>
- [47] สยามเคมี.คอม สารเคมี และผลิตภัณฑ์เคมี. เฮกเซน (hexane). [Online].
Available : <http://www.siamchemi.com>
- [48] นพ.ณรงค์ฤทธิ์ กิตติกวิน. 2011. Cyclohexane. [Online].
Available : http://www.summacheeva.org/index_thaitox_cyclohexane.htm



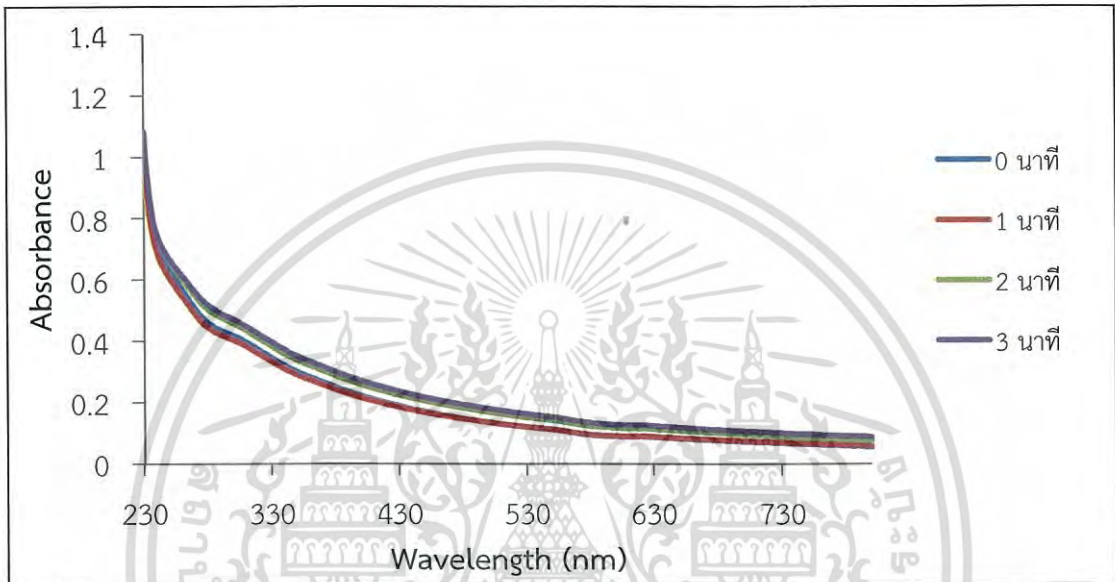
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

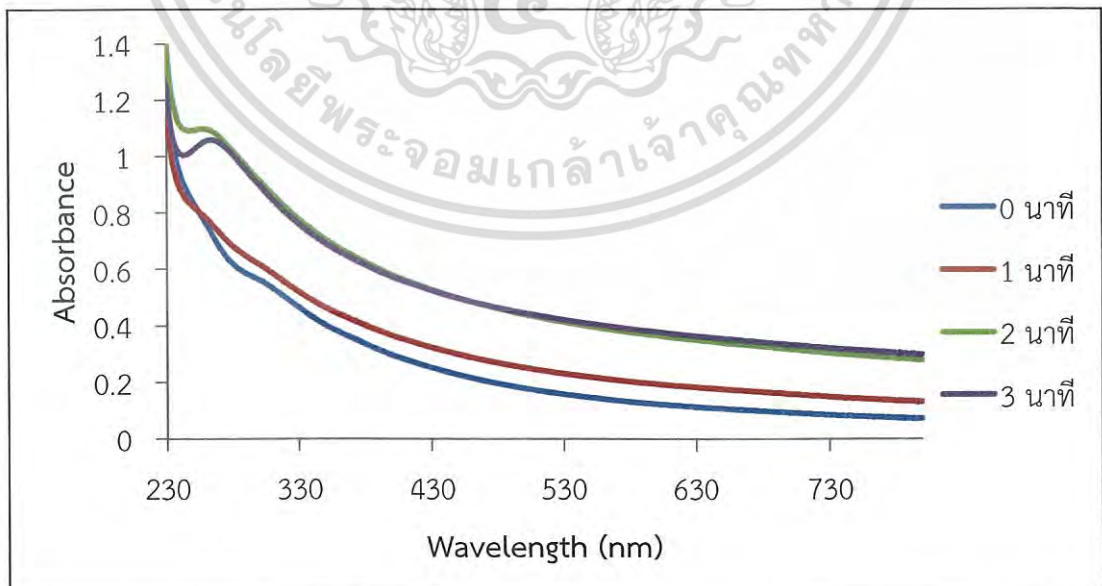
การวิเคราะห์เอกลักษณ์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

1. การวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงของสารด้วยเครื่อง UV-Visible ของสารแขวนลอยรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

1.1 ศึกษาผลของกำลังงานความร้อนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

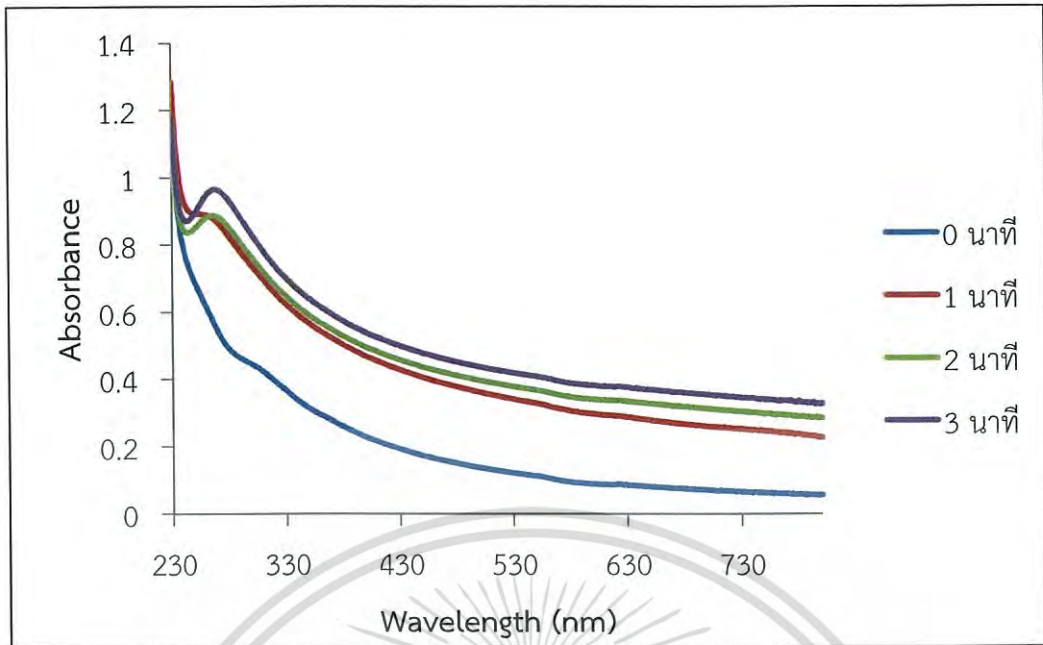


รูปที่ ก-1 ผลของกำลังงานความร้อน 100 วัตต์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที



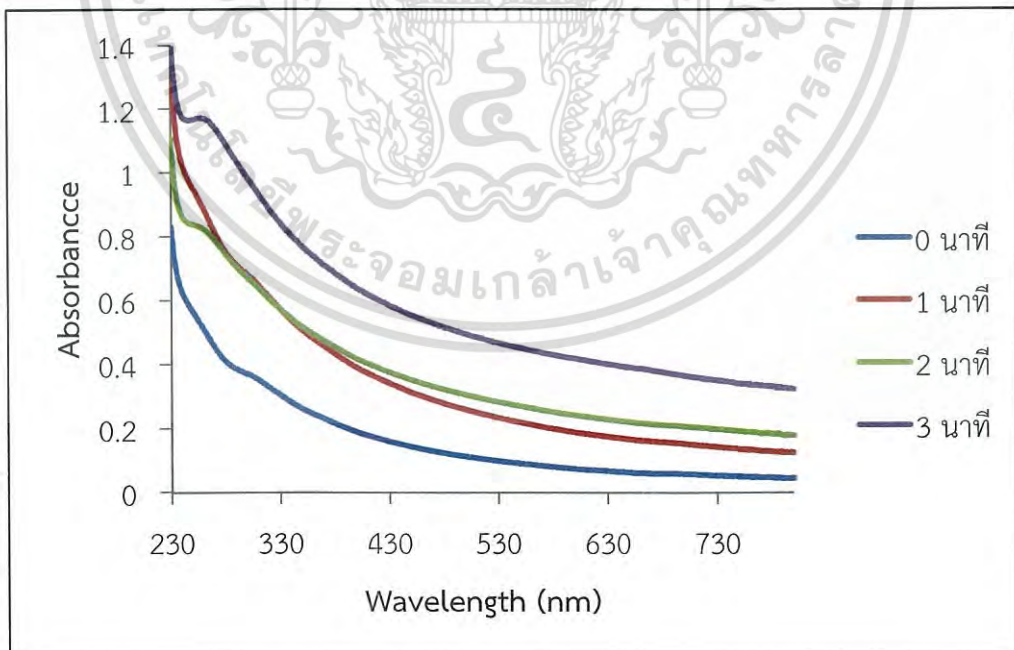
รูปที่ ก-2 ผลของกำลังงานความร้อน 300 วัตต์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา

0 1 2 3 นาที เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



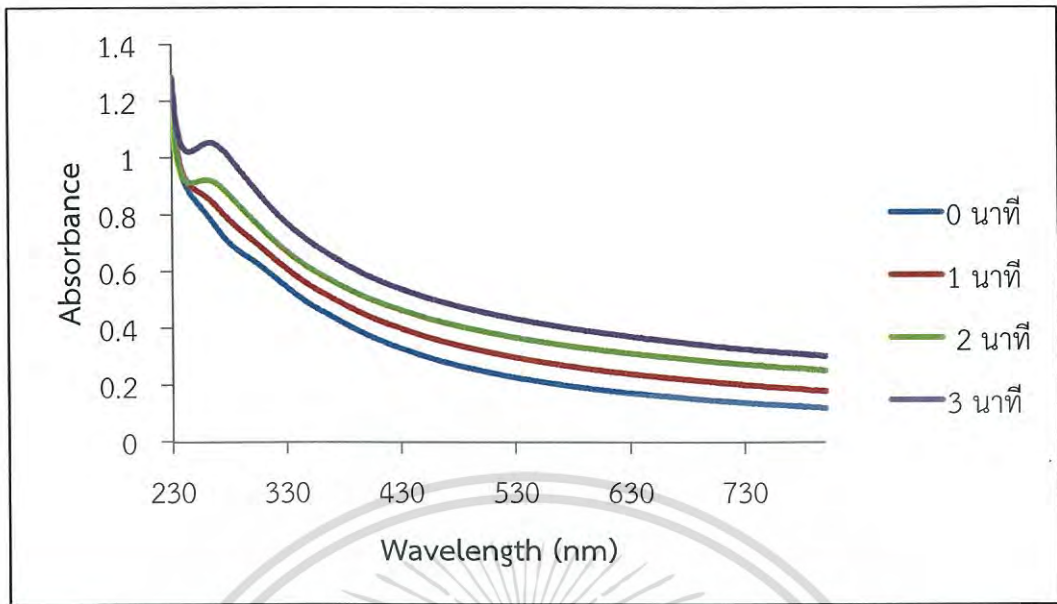
รูปที่ ก-3 ผลของกำลังงานความร้อน 450 วัตต์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ปริมาณโพลิไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที

1.2 ศึกษาผลของปริมาณไฮดราซีนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

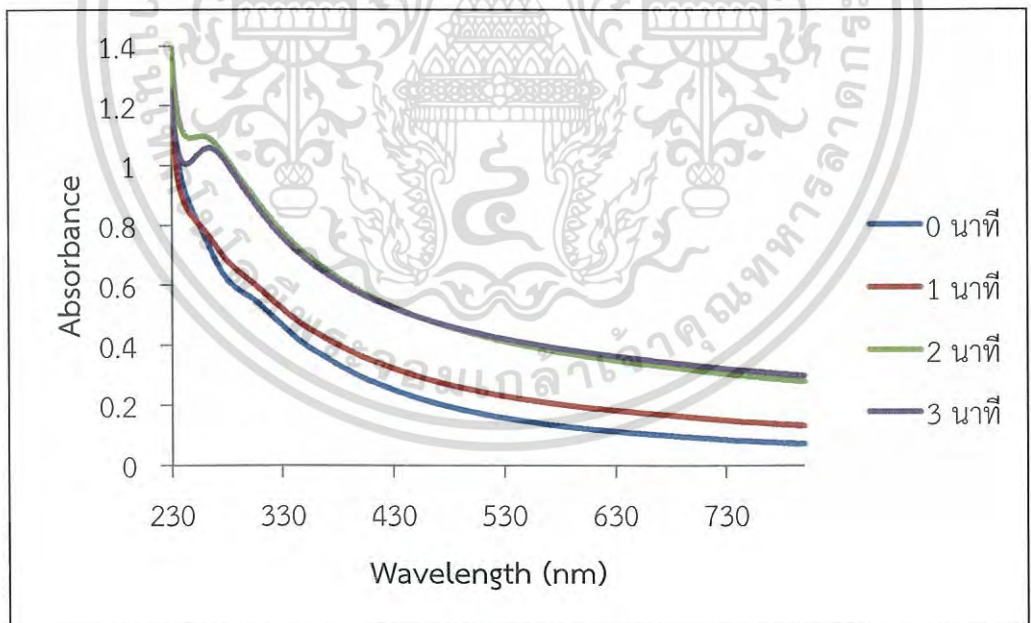


รูปที่ ก-4 ผลของปริมาณไฮดราซีน 0.05 มิลลิลิตร โดยใช้กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ในการทำปฏิกิริยา ปริมาณโพลิไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา

0 1 2 3 นาที เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

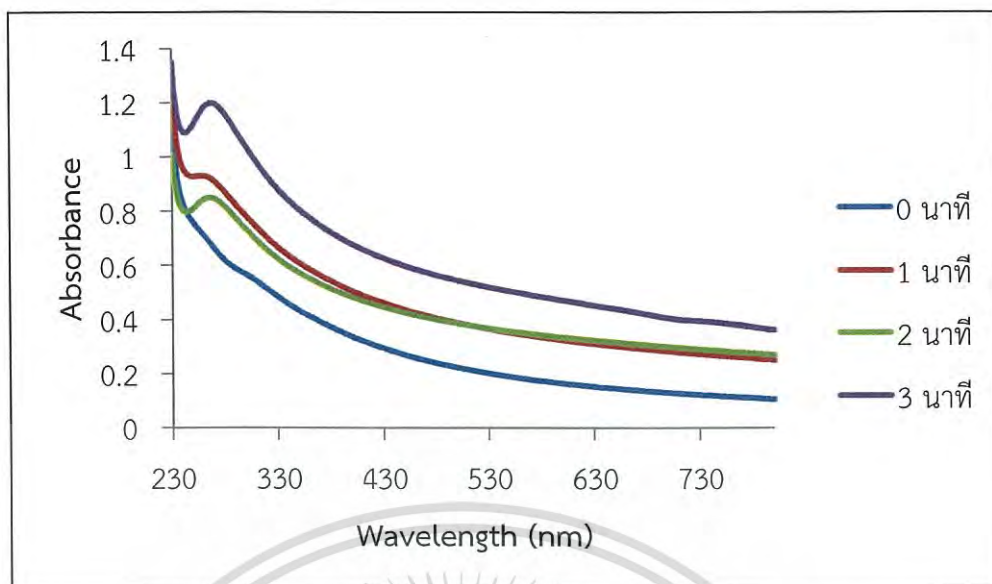


รูปที่ ก-5 ผลของปริมาณไฮดราซีน 0.10 มิลลิลิตร โดยใช้กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ในการทำปฏิกิริยาปริมาณโพลิไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที



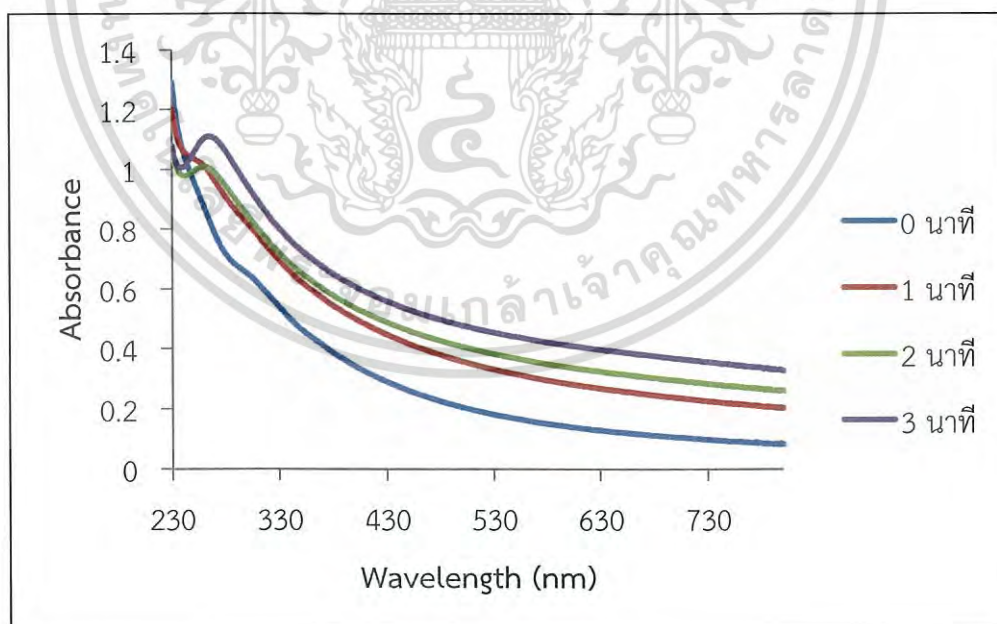
รูปที่ ก-6 ผลของปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร โดยใช้กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ในการทำปฏิกิริยาปริมาณโพลิไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



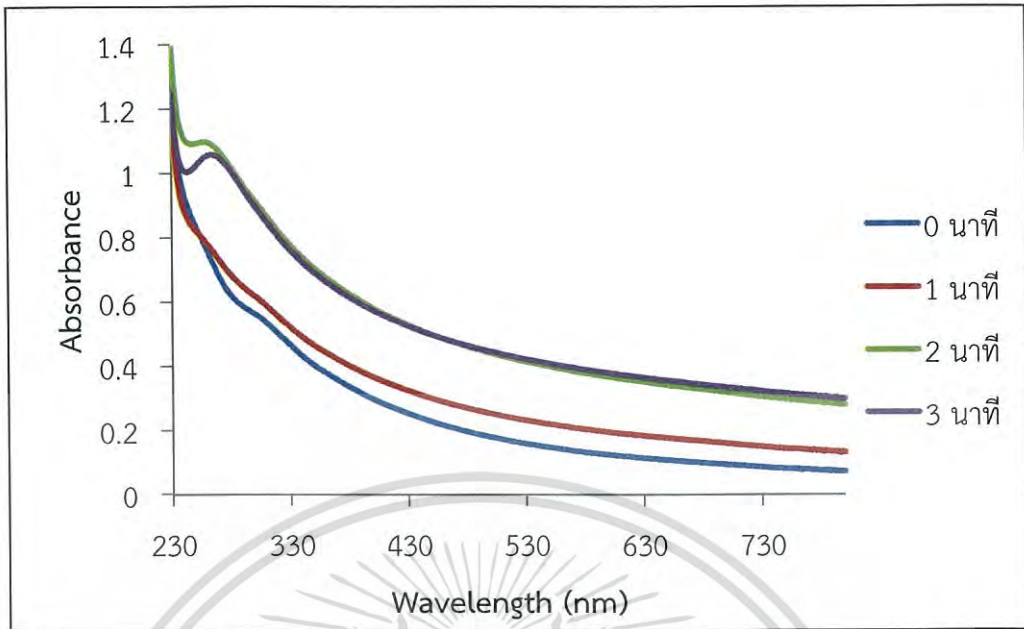
รูปที่ ก-7 ผลของปริมาณไฮดราซีน 0.20 มิลลิลิตร โดยใช้กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ในการทำปฏิกิริยาปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร โดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที

1.3 ศึกษาผลของปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดนที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

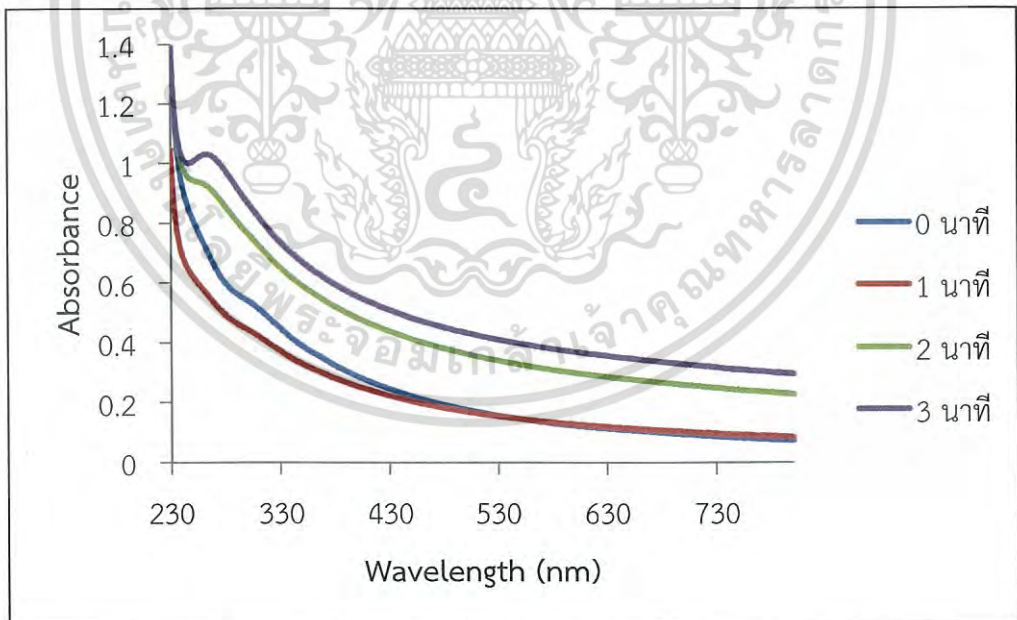


รูปที่ ก-8 ผลของปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.10 มิลลิลิตร ใช้ปริมาณไฮดราซีน 0.15 มิลลิลิตร ซึ่งให้กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ในการทำปฏิกิริยาโดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก-9 ผลของปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 0.50 มิลลิลิตร ใช้ปริมาณไฮโดรเจน 0.15 มิลลิลิตร ซึ่งให้กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ในการทำปฏิกิริยาโดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที



รูปที่ ก-10 ผลของปริมาณโพลีไวนิลไพโรลิโดน 1.00 มิลลิลิตร ใช้ปริมาณไฮโดรเจน 0.15 มิลลิลิตร ซึ่งให้กำลังงานความร้อน 300 วัตต์ในการทำปฏิกิริยาโดยทำการเปรียบเทียบที่ระยะเวลา 0 1 2 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ตัวทำละลาย

ตัวทำละลาย (Solvent)

ตัวทำละลายเป็นของเหลวที่สามารถละลายตัวถูกละลายที่เป็นของแข็ง ของเหลวหรือก๊าซได้ ตัวทำละลายที่คุ้นเคยมากที่สุดและใช้ในชีวิตประจำวันคือ น้ำ โดยปกติตัวทำละลายจะมีจุดเดือดต่ำและระเหยง่าย หรือสามารถกำจัดได้โดยการกลั่น โดยทั่วไปแล้วตัวทำละลายไม่ควรทำปฏิกิริยากับตัวถูกละลาย และจะต้องมีคุณสมบัติเฉื่อยทางเคมี [36]

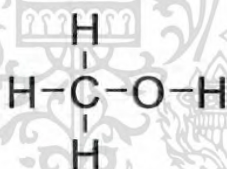
ชนิดของตัวทำละลาย

ตัวทำละลาย แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น น้ำ น้ำมันเบนซิน เป็นต้น

ตัวทำละลายที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น เอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอล น้ำมันสน เป็นต้น

1. เมทานอล (Methanol)



รูปที่ ง-1 โครงสร้างของเมทานอล [37]

ชื่อ IUPAC : Methanol

ชื่ออื่นๆ : Hydroxymethane, Methyl alcohol, Methyl hydrate, Wood alcohol, Carbinol

ตาราง ข-1 แสดงสมบัติของเมทานอล [38]

สมบัติ	
สูตรโมเลกุล	CH ₃ OH
มวลโมเลกุล	32.05 g/mol
ลักษณะทางกายภาพ	ของเหลวใสไม่มีสี
ความหนาแน่น	0.7918 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	-97 °C, -142.9 °F (176 K)
จุดเดือด	64.7 °C, 148.4 °F (337.8 K)
ความสามารถละลายได้ในน้ำ	ละลายน้ำได้
ความหนืด	0.59 mPa·s at 20 °C
Dipole moment	1.69 D (gas)

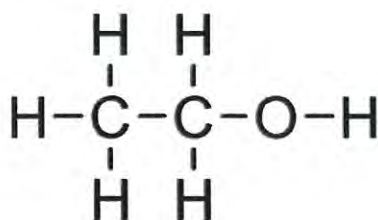
ประโยชน์ของเมทานอล

เมทานอลส่วนใหญ่จะนำไปเป็นสารฟอร์มัลดีไฮด์ เพื่อผลิตพลาสติก ไม้อัด สี วัตถุระเบิด และการจัดกลีบผ้าถาวร สารแปรรูปของเมทานอลถูกนำไปผสมกับแก๊สหุงต้ม (Liquid Petroleum Gas; LPG) เพื่อใช้ในครัวเรือนและเป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมเพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

ความอันตรายของเมทานอล

การได้รับเมทานอลโดยการกลืนกินหรือหายใจ อาจมีอาการปรากฏขึ้นหลังจาก 40 นาที ถึง 72 ชั่วโมง อาการที่ปรากฏมักจะมีเกี่ยวกับระบบประสาทส่วนกลาง ตา ทางเดินอาหาร เช่น ปวดศีรษะ มึนงง หน้ามืด ตาพร่ามัว ไวต่อแสง และอาจมีอันตรายถึงขั้นเสียชีวิตได้ [39]

2. เอทานอล (Ethanol)



รูปที่ ง-2 โครงสร้างของเอทานอล [37]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ IUPAC : Ethanol

ชื่ออื่น : Ethyl alcohol, Grain alcohol, Pure alcohol, Hydroxyethane, Drinking alcohol, Ethyl hydrate

ตาราง ข-2 แสดงสมบัติของเอทานอล [40]

คุณสมบัติ	
สูตรโมเลกุล	C ₂ H ₆ O
มวลโมเลกุล	46.07 g mol ⁻¹
ลักษณะทางกายภาพ	ของเหลวใสไม่มีสี
ความหนาแน่น	0.789 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	-114.3 °C, 159 K, -174 °F
จุดเดือด	78.4 °C, 352 K, 173 °F
ความสามารถละลายได้ในน้ำ	ละลายน้ำได้อย่างดี
ความหนืด	1.200 mPa·s (cP) at 20.0 °C
Dipole moment	5.64 fC·fm (1.69 D) (gas)

ประโยชน์ของเอทานอล

1. ใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง ผลิตภัณฑ์น้ำหอมและอื่นๆ
2. ใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรค เช่น น้ำยาฆ่าเชื้อ
3. ใช้ผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ
4. ใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยนำเอทานอลกับน้ำมันเบนซินออกเทน 91 ในอัตราส่วนเอทานอล 1 ส่วนกับน้ำมันเบนซิน 9 ส่วน เป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนารถยนต์ให้สามารถใช้ น้ำมันที่มีส่วนผสมของเอทานอล 20% เรียกว่า E20 สำหรับรถบางรุ่นสามารถใช้ น้ำมันเบนซินที่มีส่วนผสมของเอทานอลถึง 85% เรียกว่า E85

อันตรายของเอทานอล

1. แอลกอฮอล์ที่มีโมเลกุลใหญ่ ได้แก่ Amyl alcohol, Isobutyl alcohol และ 2-Phenyl

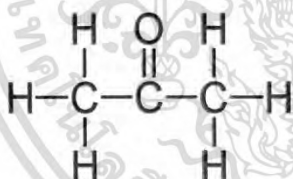
ethanol สารเหล่านี้เป็นสารกระตุ้นอาการแพ้ ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ รบกวนระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสาท เพิ่มความดันและทำให้ปวดศีรษะ

2. แอลดีไฮด์ เป็นสารระคายเคืองเยื่อตา ทำให้น้ำตาไหล ระคายเคืองระบบทางเดินหายใจ เพิ่มความดัน ปวดศีรษะ คลื่นเหียนอาเจียน และเป็นสารกระตุ้นการแพ้
3. สารฟูลออลอยล์ ได้แก่ แอลกอฮอล์มวลโมเลกุลสูงๆ เช่น 1-propanol, 1-butanol, 2-methyl-1-butanol, 3-methyl-1-butanol, 3-pentanol และ 1-hexanol สารเหล่านี้เป็นสารกระตุ้นอาการแพ้ เป็นสารเร่งการก่อมะเร็ง
4. เมทิลแอลกอฮอล์หรือเมทานอล เมทานอลในเลือดกับอาการที่ปรากฏ ดังนี้
 - 4.1 เมทานอลมากกว่า 20 มิลลิกรัม/ลิตร อาการที่ปรากฏ คือ ปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน
 - 4.2 เมทานอล 100 มิลลิกรัม/ลิตร อาการที่ปรากฏ คือ ตาพร่า ตามัว แพ้แสง ปวดศีรษะ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย
 - 4.3 เมทานอล 100-150 มิลลิกรัม/ลิตร อาการที่ปรากฏ คือ หายใจขัด โคม่า เกิดภาวะสะสมกรด แลคติกสูงขึ้นจนขาดออกซิเจน
 - 4.4 เมทานอล 150-200 มิลลิกรัม/ลิตร อาการที่ปรากฏ คือ เสียชีวิต [41]

3. อะซีโตน (Acetone)



รูปที่ ง-3 โครงสร้างของอะซีโตน [37]

ชื่อ IUPAC : Propan-2-one

ชื่ออื่น : β -Ketopropane, Dimethyl ketone, Dimethylformaldehyde, DMK, Propanone, 2-Propanone, Propan-2-one, β -Ketopropane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-3 แสดงสมบัติของอะซีโตน [42]

คุณสมบัติ	
สูตรโมเลกุล	C ₃ H ₆ O
มวลโมเลกุล	58.08 g mol ⁻¹
ลักษณะทางกายภาพ	ของเหลวใสไม่มีสี
ความหนาแน่น	0.79 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	-94.9 °C, 178 K, -139 °F
จุดเดือด	56.53 °C, 330 K, 134 °F
ความสามารถละลายได้ในน้ำ	ละลายน้ำได้
ความหนืด	0.32 cP at 20 °C
Dipole moment	2.91 D

ประโยชน์ของอะซีโตน

1. ในภาคอุตสาหกรรม

มักใช้เป็นตัวทำละลายในกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเคมี ผลิตภัณฑ์พลาสติก หมึกพิมพ์ น้ำมันขัดเงา กาว แลคเกอร์ เครื่องสำอาง และอุตสาหกรรมพลาสติก

2. ห้องปฏิบัติการ

มักใช้อะซีโตนสำหรับเป็นตัวทำละลายในการเตรียมสารเคมี หรือ ใช้เป็นสารทำละลายสำหรับการสกัดสารอินทรีย์จากพืชหรือสัตว์

3. ประโยชน์ด้านอื่นๆ ได้แก่ ใช้สำหรับการชะล้าง และเป็นสารไล่น้ำ

อันตรายของอะซีโตน

1. ระบบหายใจ : การสูดดมหรือหายใจเอาอะซีโตนเข้าสู่ระบบหายใจจะทำให้เกิดอาการระคายเคืองของเยื่อทางเดินหายใจ มีอาการไอ แน่นหน้าอก เวียนศีรษะ ปวดหัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทางผิวหนัง : เมื่อมีการสัมผัสทางผิวหนังจะทำให้ชั้นไขมันใต้ผิวหนังถูกทำลาย ส่งผลให้ผิวหนังแดง เกิดการอักเสบ มีอาการปวดแสบปวดร้อน
3. สัมผัสกับตา : เมื่อมีการสัมผัสกับตาจะทำให้ตาระคายเคือง น้ำตาไหล มีอาการตาแดง และปวดตา
4. การกลืนกิน : การกลืนกินเข้าสู่ระบบทางเดินอาหารจะทำให้รู้สึกคลื่นไส้ อาเจียน วิงเวียนศีรษะ ปวดหัว [43]

4. คลอโรฟอร์ม (Chloroform)



รูปที่ ง-4 โครงสร้างของคลอโรฟอร์ม [44]

ชื่อตาม IUPAC : Trichloromethane

ชื่ออื่นๆ : Formyl trichloride, Methane trichloride, Methyl trichloride, Methenyl trichloride, TCM, Freon 20, R-20, UN 1888

ตาราง ข-4 แสดงสมบัติของคลอโรฟอร์ม [44]

คุณสมบัติ	
สูตรเคมี	CHCl_3
มวลโมเลกุล	119.38 g/mol
ลักษณะทางกายภาพ	ของเหลวใสไม่มีสี
ความหนาแน่น	1.48 g/cm^3
จุดหลอมเหลว	$-63.5 \text{ }^\circ\text{C}$
จุดเดือด	$61.2 \text{ }^\circ\text{C}$
ความสามารถละลายได้ในน้ำ	0.8 g/100 ml at 20

ประโยชน์ของคลอโรฟอร์ม

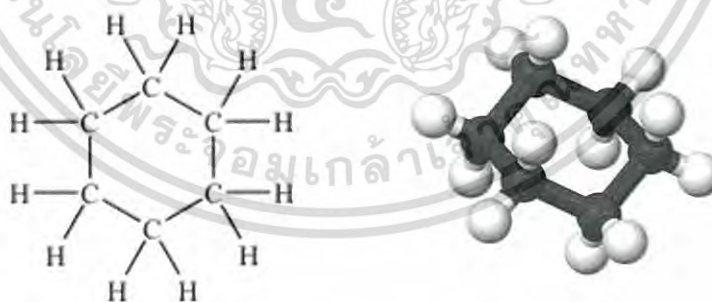
1. ใช้เป็นตัวทำละลายในสารเคมีหลายประเภท เช่น อยู่ในส่วนผสมของกาว ทินเนอร์ แลคเกอร์ น้ำยาทำความสะอาด ยาฆ่าแมลง น้ำยาฟอกขาว (Bleaching agent) เป็นต้น
2. ใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตสารฟรอน (Freon) ซึ่งใช้ในตู้เย็น ใช้เป็นสารสกัด (Extractors) ในกระบวนการผลิตยา
3. ในอดีตเคยใช้เป็นยาสลบ แต่เนื่องจากภายหลังพบว่ามิพิษต่อดับ ปัจจุบันจึงเลิกใช้แล้ว
4. ในอดีตเคยใช้เป็นน้ำยาซักแห้ง กำจัดรอยดำนบนเสื้อผ้า แต่เนื่องจากมิพิษต่อดับ ปัจจุบันจึงเลิกใช้ในอุตสาหกรรมนี้แล้วเช่นกัน

อันตรายของคลอโรฟอร์ม

อาการที่ปรากฏหลังจากได้รับคลอโรฟอร์มเข้าสู่ร่างกายที่เด่นชัด คือ ความดันโลหิตต่ำและอุณหภูมิร่างกายสูงขึ้น แต่หากได้รับคลอโรฟอร์มต่อเนื่องกันนานๆ หรือได้รับปริมาณมาก จะเกิดอันตรายต่อส่วนต่างๆของร่างกาย ดังนี้

- ระบบหัวใจ หัวใจเต้นผิดปกติ และอาจทำให้หัวใจหยุดเต้นได้
- ระบบทางเดินหายใจ คลอโรฟอร์มจะไปกดระบบการหายใจ อาจมีอาการปอดบวม จนถึงปอดอักเสบ
- ระบบประสาท คลอโรฟอร์มจะไปกดระบบประสาทส่วนกลาง ทำให้เกิดอาการปวดหัว ไม้รู้สึกอยากอาหาร
- ระบบทางเดินอาหาร รู้สึกคลื่นไส้ อาเจียน [45]

5. ไฮโคลเฮกเซน (Cyclohexane)



รูปที่ ๕-5 โครงสร้างของไฮโคลเฮกเซน [46]

ชื่อตาม IUPAC : Cyclohexane

ชื่ออื่น : Hexahydrobenzene, Hexamethylene, Benzenehexahydride, Hexanaphthene.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-5 แสดงสมบัติของไซโคลเฮกเซน [47]

คุณสมบัติ	
สูตรโมเลกุล	C_6H_{12}
มวลโมเลกุล	86.18 g/mol
ลักษณะทางกายภาพ	ของเหลวใสไม่มีสี
ความหนาแน่น	0.7781 g/mL, liquid
จุดหลอมเหลว	6.47 °C (43.65 °F; 279.62 K)
จุดเดือด	80.74 °C (177.33 °F; 353.89 K)
ความสามารถละลายได้ในน้ำ	ไม่ละลายน้ำ
ความสามารถในการละลาย	ละลายในอีเทอร์ แอลกอฮอล์ อะซิโตน น้ำมันมะกอก
ความหนืด	1.02 cP at 17 °C

ประโยชน์ของไซโคลเฮกเซน

เป็นสารเคมีตั้งต้นในการผลิตไนลอน (Nylon) เป็นส่วนประกอบในแลคเกอร์ เรซิน สีน้ำมัน น้ำยาทำความสะอาดสีและสารฆ่าเชื้อราใช้ในการผลิต Benzene Cyclohexanone และ Nitrocyclohexane และใช้ในการผลิต Adipic acid และ Caprolactam

อันตรายของไซโคลเฮกเซน

ไซโคลเฮกเซนมีฤทธิ์ระคายเคืองต่อตา และเยื่อต่างๆในร่างกาย ถ้าได้สัมผัสในปริมาณมาก จะมีฤทธิ์กดระบบประสาทส่วนกลางทำให้ความรู้สึกตัวลดลง กรณีรับสัมผัสซ้ำๆเป็นเวลานานจะมีผลต่อผิวหนังบริเวณสัมผัสทำให้เนื้อเยื่อผิวหนังชั้นไขมันถูกทำลาย [48]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้