

การสร้างแผ่นฟิล์มบางหลายชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และ
อนุภาคทองในระดับนาโนโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น
เพื่อการประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดแก๊ส

FABRICATION OF REDUCED GRAPHENE OXIDE/
GOLD NANOPARTICLES MULTILAYER THIN FILMS
USING LAYER-BY-LAYER TECHNIQUE FOR
GAS SENSING APPLICATION

จิโรตม์ พงษ์ศักดิ์
จุฑาทิพย์ โสมภีร์
ดารารพร คงตะ

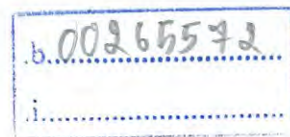
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การสร้างแผ่นฟิล์มบางหลายชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองในระดับนาโนโดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้นเพื่อการประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดแก๊ส

FABRICATION OF REDUCED GRAPHENE OXIDE/
GOLD NANOPARTICLES MULTILAYER THIN FILMS
USING LAYER-BY-LAYER TECHNIQUE FOR
GAS SENSING APPLICATION



จิโรตม์ พงษ์ศักดิ์
จุฑาทิพย์ โสมภีร์
ดารารพร คงดี



TB00141

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FABRICATION OF REDUCED GRAPHENE OXIDE/
GOLD NANOPARTICLES MULTILAYER THIN FILMS
USING LAYER-BY-LAYER TECHNIQUE FOR
GAS SENSING APPLICATION



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

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2015

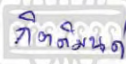

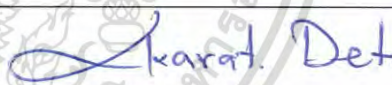
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสร้างแผ่นฟิล์มบางหลายชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองในระดับนาโน
Fabrication of reduced graphene oxide/gold nanoparticles multilayer thin films using Layer-by-Layer technique for gas sensing application

ชื่อนักศึกษา นายจิโรตม์ พงษ์ศักดิ์ รหัสนักศึกษา 55050603
นางสาวจุฑาทิพย์ โสมภีร์ รหัสนักศึกษา 55050605
นางสาวดารารพร คงดี รหัสนักศึกษา 55050663

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา เคมี
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. เอกรัฐ เดชศรี

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

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร. กิตติมนต์ จิระกิตติคุณ ประธานกรรมการ	
ดร. ณวสิทธิ์ โชติแสง กรรมการ	
ดร. เอกรัฐ เดชศรี กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสร้างแผ่นฟิล์มบางหลายชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองในระดับนาโน		
ชื่อนักศึกษา	นายจิโรตม์ พงษ์ศักดิ์	รหัสนักศึกษา	55050603
	นางสาวจุฑาทิพย์ โสมภีร์	รหัสนักศึกษา	55050605
	นางสาวดารารพร คงดี	รหัสนักศึกษา	55050663
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2558		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. เอกรัฐ เดชศรี		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาวิธีการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียโดยการสร้างแผ่นฟิล์มบางหลายชั้นของวัสดุแต่งประกอบระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองในระดับนาโน โดยพฤติกรรมการเป็นตัวรับรู้ของวัสดุแต่งประกอบของแผ่นฟิล์มบางหลายชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองในระดับนาโนถูกประเมินค่าโดยการวัดการตอบสนองทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งแผ่นฟิล์มบางหลายชั้นของวัสดุแต่งประกอบสามารถทำการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียได้ที่ความเข้มข้น 0.001-10 มิลลิโมลาร์ ซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองและความเข้มข้นของไอระเหยแอมโมเนียสามารถอธิบายด้วยพฤติกรรมการแพร่กระจายของไอระเหยเข้าไปในโพลิเมอร์เมทริกซ์ เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการแพร่ของโมเลกุลแก๊สแอมโมเนียเพิ่มมากขึ้น และเข้าไปในแผ่นฟิล์มบางของวัสดุแต่งประกอบโพลิเมอร์มากขึ้น แผ่นฟิล์มบางหลายชั้นของวัสดุแต่งประกอบระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองในระดับนาโนนี้มีการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว และสามารถนำไปใช้เป็นตัวรับรู้สำหรับแอมโมเนียในภาคอุตสาหกรรมได้

คำสำคัญ : แก๊สแอมโมเนีย เทคนิคขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคทองในระดับนาโน

Title	Fabrication of reduced graphene oxide/gold nanoparticles multilayer thin films using Layer-by-Layer technique for gas sensing application
Students	Mr.Jirot Pongsak Student ID 55050603 Miss.Juthathip Sommapee Student ID 55050605 Miss.Daraporn Kongta Student ID 55050663
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Dr. Ekarat Detsri

Abstract

This special project was aimed to develop a method for determination of ammonia gas by fabrication of reduced graphene oxide (rGO) and gold nanoparticles (AuNPs) multilayer composite thin films. The activity of RGO/AuNPs multilayer thin films based sensor had been investigated by measuring the changes of sensor electrical responsively. The composite thin films based sensors were exposed to ammonia gas with concentration of 0.001-10 mM. The relationship between response and concentration of NH₃ vapors could be explained by the diffusion behavior of vapor into polymer matrix. The increase of NH₃ concentration was enhanced the rate of diffusion of ammonia molecules towards and into the composite polymer thin films. These rGO/AuNPs multilayer thin films based sensor displayed fast electrical change and could be used for ammonia sensing in industrial section.

Keywords : Ammonia gas, Gold nanoparticles, Layer-by-Layer, Reduced graphene oxide

กิตติกรรมประกาศ

ที่โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี ต้องขอขอบพระคุณในความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เอกรัฐ เดชศรี ที่ให้การอบรมสั่งสอน ให้ความรู้ ให้คำปรึกษาและกำลังใจเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณ ดร.กิตติมนต์ จิระกิตติดุลย์ และ ดร.ณวสิทธิ์ โชติแสง ที่กรุณามาเป็นกรรมการควบคุมการสอบและให้คำปรึกษาเพื่อให้โครงการพิเศษมีความสมบูรณ์ขึ้น

ขอขอบคุณ ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและแก้ไขให้โครงการพิเศษมีความสมบูรณ์ขึ้น

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่วิทยาศาสตร์ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยติดต่อประสานงาน

ขอขอบคุณเลขานุการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ช่วยติดต่อประสานงาน

ท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้เสมอมา รวมทั้งขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้องที่คอยให้คำปรึกษา

จิโรตม์ พงษ์ศักดิ์
จุฑาทิพย์ โสมภีร์
ดารารพร คงดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology)	3
2.1.1 ประเภทของนาโนเทคโนโลยี	4
2.1.1.1 การแพทย์นาโน (Nanomedicine)	4
2.1.1.2 วัสดุนาโน (Nanomaterial)	4
2.1.1.3 นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ (Bionanotechnology)	5
2.1.1.4 นาโนอิเล็กทรอนิกส์ (Nanoelectronics)	5
2.2 วัสดุนาโน (Nanomaterials)	5
2.2.1 กราฟีน (Graphene)	5
2.2.1.1 สมบัติของกราฟีน	6
2.2.1.2 การสังเคราะห์กราฟีน (Synthesis of graphene)	7
2.2.1.2.1 กระบวนการสังเคราะห์กราฟีนแบบบนลงล่าง	7
2.2.2 อนุภาคทองระดับนาโน (Gold Nanoparticles)	10
2.2.2.1 สมบัติทางแสงของอนุภาคทองระดับนาโน	10
2.2.2.2 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน	11
2.3 วัสดุแต่งประกอบระดับนาโน (Nanocomposites)	12
2.4 เทคนิคการขึ้นรูปแบบเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-Layer technique)	14
2.4.1 โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte)	14
2.5 ก๊าซแอมโมเนีย	16
2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของแอมโมเนีย	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 แก๊สเซนเซอร์ (Gas sensor)	17
2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	18
2.7.1 เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง	18
2.7.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM)	19
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	28
3.1 วิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการทางเคมี	28
3.1.1 วิธีการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์	28
3.1.1.1 สารเคมี	28
3.1.1.2 สังเคราะห์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการปรับปรุงวิธีของ Hummers.....	28
3.1.2 วิธีการเตรียมกราฟีนออกไซด์.....	29
3.1.2.1 สารเคมี	29
3.1.2.2 วิธีการเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง	29
3.1.3 วิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	30
3.1.3.1 สารเคมี	30
3.1.3.2 วิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	30
3.2 วิธีการปรับสภาพพื้นผิวของ Substrate ให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ	31
3.2.1 สารเคมี.....	31
3.2.2 วิธีการปรับสภาพพื้นผิวของ Substrate ให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ	31
3.3 วิธีการเตรียมชั้นแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	31
3.3.1 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำชั้นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	31
3.3.2 การศึกษาหาจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการทำฟิล์มของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดย การเตรียม 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 ชั้น.....	32
3.4 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน (Gold Nanoparticles, AuNPs) ด้วยวิธีการ ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน	34
3.4.1 สารเคมี.....	34
3.4.2 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน	34
3.5 วิธีการเตรียมแผ่นของชั้นฟิล์มอนุภาคทองในระดับนาโน	35
3.5.1 สารเคมี.....	35
3.5.2 การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการทำฟิล์มของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน	35
3.6 การทำวัสดุแต่งประกอบ (Composite) ระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และ อนุภาคทอง ระดับนาโน.....	36
3.6.1 สารเคมี.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6.2	วิธีการทำแผ่นฟิล์มวัสดุแต่งประกอบระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองในระดับนาโน	36
3.7	การสร้างเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย (Ammonia gas sensing).....	37
3.7.1	สารเคมี.....	37
3.7.2	การศึกษาความสามารถในการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียด้วยเซนเซอร์จากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคทองในระดับนาโน และวัสดุประกอบ.....	37
บทที่ 4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล	38
4.1	การศึกษาการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	38
4.1.1	การศึกษาการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์	39
4.1.2	การศึกษาลักษณะทางกายภาพของกราฟไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	40
4.1.2.1	ผลการศึกษาลักษณะ และรูปร่าง ของกราฟไฟต์.....	40
4.1.2.2	การศึกษาลักษณะรูปร่าง ของกราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้.....	41
4.1.2.3	การศึกษาลักษณะรูปร่าง ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้....	42
4.1.3	การศึกษาความเข้มข้นของไฮดราซีนที่เหมาะสมในสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์	43
4.1.5	การศึกษาการยึดเกาะ และเวลาที่เหมาะสมในการยึดติดของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์ บนแผ่นฟิล์มบาง	46
4.1.6	การศึกษาจำนวนชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เหมาะสมในการสร้างเซนเซอร์	48
4.2	การศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคทองในระดับนาโน	50
4.2.1	การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตที่เหมาะสมในการรีดิวซ์อนุภาคระดับทองระดับนาโน (AuNPs)	50
4.2.2	การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการยึดเกาะอนุภาคทองในระดับนาโนบนแผ่นฟิล์มบาง	52
4.3	การศึกษาแผ่นฟิล์มจากวัสดุแต่งประกอบของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองในระดับนาโน.....	54
4.4	การศึกษาการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย	55
4.4.1	การตรวจวัดของแก๊สเซนเซอร์ที่สร้างจากวัสดุเซนเซอร์ชนิดต่างๆ.....	55
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	59
5.1	สรุปผลการวิจัย	59
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	60
	เอกสารอ้างอิง.....	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก.....	69
ภาคผนวก ข.....	70
ภาคผนวก ค.....	73
ภาคผนวก ง.....	73



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะคุณสมบัติของกราฟีน.....	6
2.2 แสดงตัวอย่างของโพลีอิเล็กโทรไลต์แบบประจุลบ (Polyanion).....	15
2.3 แสดงตัวอย่างของโพลีอิเล็กโทรไลต์แบบประจุบวก (Polycation).....	15
2.4 ผลของการสัมผัสแอมโมเนียที่มีผลต่อมนุษย์ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียระดับต่างๆ.....	16
3.1 สารเคมี.....	28
3.2 สารเคมี.....	29
3.3 สารเคมี.....	30
3.4 สารเคมี.....	31
3.5 สารเคมี.....	34
3.6 สารเคมี.....	35
3.7 สารเคมี.....	36
3.8 สารเคมี.....	37
4.1 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองนาโนที่ความเข้มข้นไซเดียมซีเตรต 20, 30 และ 40 มิลลิโมลาร์.....	52
4.2 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองนาโน ที่เวลา 1, 12 และ 24 ชั่วโมง... ..	53
4.3 แสดงการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียของวัสดุเซนเซอร์ 3 ชนิด.....	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ริชาร์ด ไฟน์แมน บิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี.....	3
2.2 โครงสร้างของกราฟีนเป็นโครงสร้างแบบตาข่ายรูปหกเหลี่ยม.....	6
2.3 การเกิดเซอร์เฟส พลาสมอน เรโซแนนซ์ของอนุภาคทรงกลม.....	10
2.4 การสร้างฟิล์มโดยใช้เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์.....	14
2.5 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-vis spectrophotometer.....	19
2.6 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่องTEM.....	20
3.1 แผนผังวิธีการสังเคราะห์กราฟาไฟต์ออกไซด์ด้วยวิธีการปรับปรุงวิธีของ Hummer.....	29
3.2 แผนผังวิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	31
3.3 แผนผังวิธีการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำชั้นของรีดิวซ์กราฟีน.....	32
3.4 แผนผังวิธีการศึกษาหาจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการทำฟิล์มของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์.....	33
3.5 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน.....	34
3.6 แผนผังศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการทำฟิล์มของสารละลายอนุภาคทองในระดับนาโน.....	35
3.7 แผนผังวิธีการทำแผ่นฟิล์มวัสดุแต่งประกอบระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาค.....	37
3.8 การศึกษาความสามารถในการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียด้วยเซนเซอร์จากแผ่นฟิล์ม รีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ ,แผ่นฟิล์มอนุภาคทองในระดับนาโนและแผ่นฟิล์มวัสดุประกอบ.....	37
4.1 การสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์โดยเกิดผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันและการโซนิเคชัน.....	38
4.2 การสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ผ่านกระบวนการปฏิกิริยารีดักชัน.....	39
4.3 การดูดกลืนแสงของกราฟาไฟต์ (Graphite) และกราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide).....	40
4.4 ลักษณะรูปร่างของกราฟาไฟต์ด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy	41
4.5 ลักษณะรูปร่างของกราฟีนออกไซด์ที่ด้วยเทคนิค TEM.....	42
4.6 ลักษณะรูปร่างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิค TEM.....	43
4.7 การดูดกลืนแสงของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์.....	44
4.8 (a.) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เมื่อใช้ความเข้มข้นไฮดราซีนต่างๆ และ (b.) กลไกการตกตะกอน ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ไฮดราซีนความเข้มข้นต่างๆ.....	45
4.9 (a.) การดูดกลืนแสงของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 2.67 มิลลิโมลาร์ ที่เวลาต่างๆ และ (b.) แผ่นฟิล์มที่เวลาต่างๆ.....	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ลักษณะรูปร่างของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิค TEM.....	43
4.7 การดูดกลืนแสงของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีนต่างๆ.....	44
4.8 (a.) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เมื่อใช้ความเข้มข้นไฮดราซีนต่างๆและ (b.) กลไกการตกตะกอนของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 13.36 มิลลิโมลาร์.....	45
4.9 (a.) การดูดกลืนแสงของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 2.67 มิลลิโมลาร์ที่เวลา ต่างๆ และ (b.) แผ่นฟิล์มที่เวลาต่างๆ.....	46
4.10 (a.) การดูดกลืนแสงของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 8.01 มิลลิโมลาร์ที่เวลาต่างๆและ (b.) แผ่นฟิล์มที่เวลาต่างๆ.....	47
4.11 การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตรของแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 2.67 และ 8.01 มิลลิโมลาร์ ที่เวลาต่างๆ.....	48
4.12 การดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่สร้างขึ้นจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีความเข้มข้นไฮดราซีน 8.01 มิลลิโมลาร์ ที่จำนวนชั้น 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้น.....	49
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าและการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ของแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนที่จำนวน 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้น.....	50
4.14 การดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่เติมโซเดียมซิเตรต 20, 30 และ 40 มิลลิโมลาร์.....	51
4.15 การดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโน ที่เวลาจุ่มแผ่นฟิล์ม 1, 12, 24 ชั่วโมง.....	53
4.16 กราฟการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่จำนวน 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้นกับอนุภาคทองระดับนาโน.....	54
4.17 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า และการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตรของแผ่นฟิล์มแต่งประกอบกราฟีนที่จำนวนชั้นต่างๆ กับอนุภาคทองนาโน.....	55
4.18 การตรวจวัดของแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 9 ชั้น กับแอมโมเนียความเข้มข้น 0.001, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 5 และ10 มิลลิโมลาร์.....	56
4.19 การตรวจวัดของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองนาโน กับแอมโมเนียความเข้มข้น 0.001, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 5 และ10 มิลลิโมลาร์.....	56
4.20 การตรวจวัดของแผ่นฟิล์มแต่งประกอบระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 9 ชั้น และอนุภาคทองในระดับนาโน กับแอมโมเนียความเข้มข้นต่างๆ.....	57

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
rGO	Reduce graphene oxide
AuNPs	Gold nanoparticles
LbL	Layer-by-Layer
PDADMAC	Poly (diallyl dimethyl ammonium chloride)
PSS	Poly (styrene sulfonic acid)
UV-vis spectrophotometer	Ultraviolet-visible spectrophotometer
TEM	Transmission electron microscope
mL	Milliliter
μ L	Microliter
mM	Millimolar
μ M	Micromolar
nm	Nanometer
k Ω	Kilo-ohm
M Ω	Mega-ohm
ppm	Part per million
$^{\circ}$ C	Degree celsius

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

แอมโมเนีย (Ammonia, NH_3) เป็นสารที่ไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ซึ่งสามารถพบได้ทั่วไปในบรรยากาศ โดยแอมโมเนียสามารถเกิดได้เองโดยธรรมชาติและเกิดขึ้นได้จากฝีมือมนุษย์ โดยเกิดจากการทับถมกันของเศษซาก เศษขยะ เศษอาหาร สิ่งปฏิกูล น้ำทิ้งจากชุมชน รวมถึงน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งแอมโมเนียนั้นเบากว่าอากาศ แอมโมเนียมีข้อดีโดยเป็นสารเคมีที่มีประโยชน์อย่างมากทั้งภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม คือ ในด้านของภาคเกษตรกรรม แอมโมเนียส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการผลิตปุ๋ยโดยเฉพาะใช้ผลิตปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรด (Ammonium nitrate) และปุ๋ยยูเรีย (Urea) ส่วนในภาคอุตสาหกรรม แอมโมเนียถูกใช้เป็นสารทำความเย็นที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมห้องเย็น โรงงานทำน้ำแข็ง อีกทั้งยังใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมย้อมผ้า ยาเส้นใยสังเคราะห์ และพลาสติก รวมถึงยังมีการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการสร้างวัตถุระเบิดอีกด้วย [1] แต่แก๊สแอมโมเนียก็ถือว่าเป็นแก๊สมีพิษชนิดหนึ่งเมื่อได้สูดดมหรือสัมผัสในปริมาณมากๆ จะก่อให้เกิดอันตรายกับร่างกายได้ อีกทั้งยังเป็นพิษกับธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

ในการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียสามารถตรวจวัดได้หลายวิธี เช่น การตรวจวัดแอมโมเนียโดยใช้เทคนิคแก๊สโครมาโตกราฟี ($\text{Gas chromatography}$) [2] หรือวิธีการวิเคราะห์แบบไหล ($\text{Flow injection spectrophotometric method}$) [3] ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะให้ผลการวิเคราะห์ที่ถูกต้องแม่นยำและใช้สารตัวอย่างในปริมาณน้อย แต่การตรวจวัดด้วยวิธีดังกล่าวมีความยุ่งยากในการเตรียมสารตัวอย่าง เครื่องมือมีราคาแพงและยังต้องใช้ความชำนาญของบุคคล จึงส่งผลให้ปัจจุบันมีนักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่ได้เริ่มพัฒนาและใช้วัสดุนาโนเพื่อเป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียมากขึ้น

ในปัจจุบันได้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีมากขึ้นเนื่องจากนาโนเทคโนโลยีเป็น การจัดการ การสร้าง การสังเคราะห์วัสดุอุปกรณ์และระบบต่างๆ ที่มีขนาดเล็กอยู่ในช่วง 1 ถึง 100 นาโนเมตร ด้วยความถูกต้องและแม่นยำซึ่งจะส่งผลให้วัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ มีคุณสมบัติพิเศษ [4] และด้วยขนาดที่เล็กในระดับนาโนเมตรเมื่อนำมาใช้ทำวัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ จะส่งผลให้วัสดุนั้นมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่แตกต่างออกไปจากเดิมทำให้เกิดเป็นคุณสมบัติพิเศษที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมาก อาทิเช่น กราฟีนและอนุภาคทองในระดับนาโน โดยกราฟีนเป็นวัสดุที่เกิดจากการเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนที่มีความหนาของชั้นเพียง 1 อะตอมคาร์บอน และกราฟีนมีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าวัสดุอื่นๆ นอกจากนี้การจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบของอะตอมคาร์บอน ทำให้กราฟีนเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงที่สุด ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กกล้าแต่แม้จะเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงแต่กราฟีนกลับมีความยืดหยุ่นสูง สามารถบิดงอ ม้วน หรือพับ ได้อย่างง่ายดาย ส่วนอนุภาคทองระดับนาโนเป็นวัสดุนาโนโลหะที่ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเมื่อทองอยู่ในระดับนาโนจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างไปจากเดิมมากเมื่อมีขนาดเล็กลงโดยเฉพาะสมบัติทางแสงซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงไป อีกทั้งยังมีคุณสมบัติที่ดีในด้านการนำไฟฟ้าอีกด้วย จึงมีการนำอนุภาคทองในระดับนาโนมาใช้ประโยชน์ในงานต่างมากมาย เช่น การนำไปประยุกต์ในทางการแพทย์ในการใช้รักษาโรคมะเร็ง และอื่นๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุผลข้างต้นจึงทำให้ในงานวิจัยนี้จึงได้มีการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียโดยการพัฒนา เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดแก๊สโดยทำการสร้างแผ่นฟิล์มบางของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (Reduce graphene oxide), อนุภาคทองในระดับนาโน (Gold nanoparticles) และวัสดุแต่งประกอบระหว่าง รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองในระดับนาโน (Reduce graphene oxide/Gold nanoparticles) จากเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique) โดยจะ ทำการศึกษาความสามารถในการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียจากคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุทั้ง 3 ชนิด นี้ ซึ่งวัสดุที่นำมาทำเป็นเซนเซอร์ในการตรวจวัดแก๊สในครั้งนี้จะมีโครงสร้างและคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ แตกต่างกันไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical reduction method)
2. เพื่อสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน ด้วยวิธีการทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน
3. เพื่อทำการสร้างวัสดุแต่งประกอบ (Composite) โดยใช้เทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer technique)
4. เพื่อศึกษาความสามารถในการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาปริมาณความเข้มข้นของไฮดรอกซิลที่เหมาะสมในการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical reduction method)
2. ศึกษาปริมาณของไฮเดียมซีเตรตที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน ด้วยวิธีการทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน
3. เพื่อศึกษาความสามารถในการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียของวัสดุที่นำมาใช้ทำเป็นเซนเซอร์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างเซนเซอร์จากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคทองนาโน และวัสดุแต่งประกอบ ระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองระดับนาโนได้
2. สามารถตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียด้วยเซนเซอร์ที่สร้างจาก รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคทอง นาโน และวัสดุแต่งประกอบระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองระดับนาโนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 นาโนเทคโนโลยี (Nanotechnology)

นาโน (Nano) คือสิ่งที่เล็ก ๆ เมื่อนำคำว่า นาโน มาใช้หน้าหน่วยวัดทางวิทยาศาสตร์หรือคณิตศาสตร์ จะหมายถึงขนาดเศษหนึ่งส่วนพันล้านส่วนของหน่วยวัดนั้น ดังนั้นคำว่า นาโนเมตร จึงหมายถึงหน่วยวัดที่มีขนาดเท่ากับ “เศษหนึ่งส่วนพันล้านส่วนของหนึ่งเมตร” [5] และแนวคิดที่นำไปสู่การพัฒนา นาโนเทคโนโลยีอย่างเป็นทางการเป็นรูปธรรม คือ การปาฐกถาของศาสตราจารย์ริชาร์ด ฟิลลิปส์ ฟายน์แมน (Richard Phillips Feynman) รูปที่ 2.1 นักฟิสิกส์ชาวอเมริกัน และได้รับรางวัลโนเบลในปี 1965 ซึ่งได้บรรยายในปี ค.ศ. 1959 ในหัวข้อเรื่อง “There’s Plenty of Room at the Bottom” ซึ่งสาระสำคัญของการบรรยายในครั้งนั้นได้จุดประกายแนวคิดเกี่ยวกับความเป็นไปได้ของนาโนเทคโนโลยีซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดเรียงอะตอมให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการอย่างแม่นยำ มีเสถียรภาพ และสามารถนำไปประดิษฐ์สิ่งเล็กจิ๋วต่างๆ ได้ และแนวคิดนี้ทำให้ศาสตราจารย์ริชาร์ด ฟายน์แมนได้รับการยกย่องให้เป็น “บิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี” ในเวลาต่อมา [6]



รูปที่ 2.1 ริชาร์ด ฟายน์แมน บิดาแห่งนาโนเทคโนโลยี [6]

ในเวลาต่อมาได้มีนักวิทยาศาสตร์ที่ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยีมากขึ้นเช่น ในปี ค.ศ. 1981 เกร็ด บินนิง (Gerd Binnig) และไฮน์ริชโรห์เออร์ (Heinrich Rohrer) ได้ประดิษฐ์เครื่องมือที่สามารถมองเห็นการจัดเรียงอะตอมของธาตุต่างๆ สำเร็จเป็นครั้งแรก นั่นคือกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Tunneling Microscope ; STM) รวมถึงดร. ดอน ไอเกลอร์ (Don Eigler) นักฟิสิกส์จากบริษัท ไอบีเอ็ม จำกัด สามารถนำอะตอม 35 อะตอมของก๊าซซีนอน (Xenon) มาจัดเรียงเป็นตัวอักษรว่า IBM บนผิวของโลหะนิกเกิล (Nickel) ได้สำเร็จซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้นของการนำนาโนเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้อย่างแท้จริง [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ประเภทของนาโนเทคโนโลยี

2.1.1.1 การแพทย์นาโน (Nanomedicine)

ปัจจุบันได้มีการนำนาโนเทคโนโลยีไปใช้ในการแพทย์และสาธารณสุข โดยประยุกต์ใช้กับวัสดุชีวโมเลกุล ซึ่งทำให้การตรวจวินิจฉัยโรคเป็นไปอย่างแม่นยำและมีการรักษาที่มีประสิทธิภาพตรงจุดมากยิ่งขึ้น เช่น การผ่าตัดในระดับเซลล์และโมเลกุลโดยใช้นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ โดยการสร้างอุปกรณ์ขนาดนาโนแทรกตัวเข้าไปทำลายเซลล์ร้าย [8]

ยกตัวอย่างนาโนเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ด้านการแพทย์ ได้แก่ การสร้างเปลือก นาโนสำหรับบรรจุตัวยาโดย Hazle JD และคณะ [9] ได้เริ่มพัฒนาการเตรียมอนุภาคนาโนขนาดเล็กซึ่งเรียกว่า “เปลือกนาโน” (Nanoshells) โดยเปลือกนาโนคือ เปลือกที่หุ้มห่อวัตถุจะมีลักษณะเป็น อนุภาคทรงกลมซึ่งตัวเปลือกมีความหนาขนาดนาโนที่มีเปลือกนอกเป็นชั้นทองคำแล้วห่อหุ้มแกน กลางที่เป็นสารไดอิเล็กทริก (Dielectric) ซึ่งคือซิลิกา โดยเปลือกนาโนนี้ทำหน้าที่เป็นเหมือนเปลือกนอกของยาแคปซูลที่ภายในบรรจุตัวยาหรือแอนติบอดี โดยนำเปลือกนาโนที่ทำการบรรจุตัวยาแล้วเข้าสู่กระแสโลหิตเพื่อเข้าสู่เซลล์มะเร็งที่เป็นเป้าหมาย เมื่อถึงเป้าหมายแพทย์ทำการฉายรังสี อินฟราเรดเข้าไปกระตุ้นเปลือกนาโนให้ดูดกลืนแสงและเกิดการเปลี่ยนรูปเป็นความร้อน และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึง 55 องศาเซลเซียส เซลล์มะเร็งจะแตกออกไปในที่สุด ซึ่งข้อดีของการใช้เปลือก นาโนที่เหนือกว่าเคมีบำบัดคือ มีความจำเพาะเจาะจงต่อเซลล์มะเร็งมากกว่า และการใช้ของคามีข้อดีคือ มีความเป็นพิษต่ำ และทำให้เปลือกนาโนนำความร้อนได้ดี ไวต่อการกระตุ้นด้วยแสงอินฟราเรด จึงใช้ในการรักษาโรคมะเร็งได้ดี

2.1.1.2 วัสดุนาโน (Nanomaterial)

วัสดุนาโนเป็นวัสดุที่เป็นได้ทั้ง โลหะ เซรามิก พอลิเมอร์และคอมโพสิตต่างๆ ซึ่งถูกสังเคราะห์ขึ้นมาโดยการตัดแปลงการจัดเรียงตัวของอะตอมหรือโมเลกุลให้มีช่วงขนาด 0.1-100 นาโนเมตร ซึ่งเมื่อวัตถุมีขนาดที่เล็กมากก็จะมีผลให้อะตอมที่อยู่บริเวณผิวหน้าเพิ่มมากขึ้นอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดสมบัติทางเคมี กายภาพ และทางกล ที่เป็นคุณสมบัติพิเศษเฉพาะตัว ซึ่งวัสดุนาโนได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย [10]

ตัวอย่างการนำวัสดุนาโนไปใช้ได้แก่ การสร้างคอมพิวเตอร์ดีเอ็นเอ โดย อีฮัด ชาปิโร (Ehud Shapiro) และคณะ [11] จากสถาบันไวซ์แมนน์ (Weizmann Institute) ได้ทำการสร้างคอมพิวเตอร์จากดีเอ็นเอชนิดที่มีแหล่งพลังงานในตัวเอง โดยใช้เอนไซม์ FokI และ Ligase เป็นฮาร์ดแวร์ และใช้เกลียวคู่ของสายดีเอ็นเอเป็นข้อมูลคำสั่ง และโมเลกุลดีเอ็นเออีกส่วนหนึ่งเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนซอฟต์แวร์ข้อมูล โดยพิจารณาจากการเรียงลำดับของคู่เบสในสายดีเอ็นเอ การทำงานจะเริ่มจากการเพิ่มข้อมูลเข้าไปในเกลียวคู่ของดีเอ็นเอ โดยที่ฮาร์ดแวร์ที่เป็นเอนไซม์จะทำตามข้อมูลที่กำหนดจากการจัดเรียงตัวของคู่เบสโดยการตัดหรือต่อสายดีเอ็นเอ ในการตัดหรือต่อปลายสายดีเอ็นเอจะมีลักษณะการจัดเรียงของเบสที่ต่างกันไปเรื่อย ๆ สามารถจับคู่กับสายดีเอ็นเอที่เป็นซอฟต์แวร์เพียงตัวเดียวที่เข้าคู่กันได้โดยเฉพาะเจาะจง กระบวนการนี้จะดำเนินต่อไปจนสิ้นสุดคำสั่ง ซึ่งคอมพิวเตอร์ดีเอ็นเอจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในวงการแพทย์ โดยจะนำคอมพิวเตอร์ดีเอ็นเอเข้าไปในร่างกายมนุษย์เพื่อตรวจติดตามโรคและทำการรักษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.3 นาโนเทคโนโลยีชีวภาพ (Bionanotechnology)

เป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่มีวิทยาศาสตร์เป็นรากฐาน ประกอบด้วยหลายสาขาวิชาผสมผสานกัน ได้แก่ สาขาชีววิทยา จุลชีววิทยา เคมี เป็นการที่นำความรู้พื้นฐานสิ่งมีชีวิตไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น การพัฒนานาโนไบโอเซนเซอร์ หรือ หัวตรวจวัดสารชีวภาพ การใช้ในงานด้านการเกษตร การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง ในการส่งผ่านสารบำรุงเข้าสู่ชั้นใต้ผิวหนังได้ดียิ่งขึ้น [12]

ตัวอย่างนาโนเทคโนโลยีชีวภาพที่นำมาประยุกต์ใช้โดย Dr. Walid A. Daoud และ Dr. John Xin [13] นักวิทยาศาสตร์จาก The Hong Kong Polytechnic University ได้ทำการพัฒนานาโนเทคโนโลยีโดยการใช้ไททานเนียมไดออกไซด์ ในการเพิ่มคุณสมบัติฆ่าเชื้อโรคให้กับสิ่งทอ ซึ่งอนุภาคนาโนของไททานเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติที่สามารถทำความสะอาดหรือกำจัดสิ่งสกปรกได้ด้วยตัวเอง โดยจะนำผ้าฝ้ายมาจุ่มลงในสารละลายที่มีไททานเนียมไดออกไซด์ จากนั้นนำไปผ่านเครื่องอัดรีดเพื่อรีดเอาสารละลายที่เป็นส่วนเกินออก และนำไปทำให้แห้งและจึงนำไปผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มัล (Hydrothermal) และทำการต้มผ้าในน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ผ้าที่ได้จากกระบวนการนี้จะมีสารเคมีที่ประกอบด้วยไททานเนียมไดออกไซด์เคลือบอยู่บนเส้นใยด้วยความหนาประมาณ 50 นาโนเมตร ซึ่งสามารถเกาะติดได้ดีบนเส้นใยฝ้าย ทำให้ได้ผ้าที่มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรค กลิ่นหรือแบคทีเรียต่างๆ ทั้งยังไม่ก่อให้เกิดสารพิษอีกด้วย

2.1.1.4 นาโนอิเล็กทรอนิกส์ (Nanoelectronics)

เป็นการประยุกต์ใช้นาโนเทคโนโลยีศาสตร์ด้านนาโนอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและทำงานด้วยประสิทธิภาพสูง ตัวอย่างเช่น การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ การพัฒนานาโนชิป ทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูง[12]

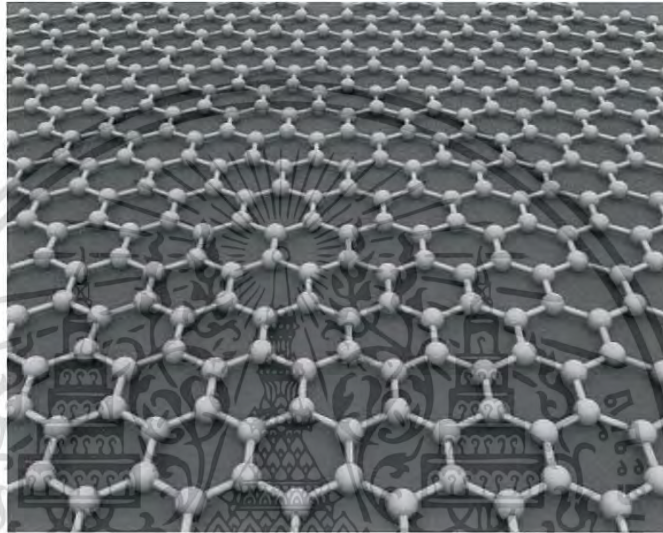
การนำนาโนอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ในการสร้างจอภาพแบบ OLED (Organic Light Emitting Diodes) [14] โดยจอภาพแบบ OLED จะมีลักษณะคล้ายแผ่นฟิล์ม ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถเปล่งแสงเองได้เมื่อได้รับพลังงานไฟฟ้า โดยจะประกอบไปด้วยด้านหน้าสุดที่เป็นกระจกซึ่งเคลือบด้วยอินเดียม ทิน ออกไซด์ (ITO) ทำหน้าที่เป็นแอนโนด ถัดจากนั้นจะเป็นชั้นของสารอินทรีย์ชั้นแรกที่ทำด้วย Aromatic diamine ถัดมาจะเป็นชั้นของสารอินทรีย์ชั้นที่ 2 ที่เป็น Metal chelate complex ซึ่งจะเป็นชั้นที่ทำหน้าที่ปลดปล่อยแสงออกมา และในชั้นสุดท้ายจะเป็นแคโทดซึ่งทำจากแมกนีเซียและเงิน โดยทั้งหมดทั้งหมดยังรวมกันเป็น 4 ชั้นซึ่งมีความหนาเพียง 500 นาโนเมตรเท่านั้น ซึ่งการใช้เทคโนโลยีแบบ OLED นี้ทำให้จอภาพได้ภาพที่คมชัดมากยิ่งขึ้น มีมุมมองที่กว้างมากขึ้น และยังใช้พลังงานน้อยในการทำงานอีกด้วย

2.2 วัสดุนาโน (Nanomaterials)

2.2.1 กราฟีน (Graphene)

เป็นวัสดุที่เกิดจากการเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนในลักษณะ 2 มิติ โดยมีโครงสร้างเป็นรูปหกเหลี่ยมต่อเรียงกันเป็นแผ่นที่มีความหนาเพียง 1 อะตอม ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งหากนำแผ่นกราฟีนมาซ้อนทับกันจำนวน 1 ล้านแผ่น จะมีความหนาเพียง 1 มิลลิเมตร ทั้งนี้ ในปี ค.ศ. 2004 Andre Geim และคณะ [15] ได้ค้นพบการสร้างวัสดุกราฟีนโดยการแยกกราฟีน 1 ชั้นออกจากกราไฟต์ (Graphite) วัสดุกราฟีนมีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถนำไฟฟ้าได้ดีกว่าวัสดุอื่นๆ เช่น โลหะ และสารกึ่งตัวนำ อนุกรมนี้ นอกจากนั้นการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบของอะตอมคาร์บอน ทำให้ไม่วุ่นวายใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟีนเป็นวัสดุที่มีความแข็งที่สุด ซึ่งมีความแข็งแรงมากกว่าเหล็กกล้าและเพชร แม้จะเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงแต่กราฟีนกลับมีความยืดหยุ่น สามารถบิดงอ ม้วน หรือพับ ได้อย่างง่ายดาย และด้วยคุณสมบัติดังกล่าวทำให้กราฟีนกลายเป็นวัสดุที่ถูกนำเข้ามาแทนซิลิกอนในชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงการใช้งานเพื่อทดแทนวัสดุที่มีราคาแพง หรือแม้แต่การนำไปใช้สร้างอุปกรณ์เชิงแสงในจอแสดงผลคอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ และโทรศัพท์มือถือ ในการทดแทนการใช้อินเดียมทินออกไซด์ ซึ่งมีส่วนประกอบหลักเป็นธาตุอินเดียมที่มีราคาสูงและหาได้ยากมากขึ้น โดยในปัจจุบันได้มีการนำวัสดุกราฟีนมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแผงวงจร (Circuit) ทรานซิสเตอร์ เซนเซอร์ขนาดเล็ก และตัวนำยิ่งยวด (Superconductor) [16]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของกราฟีนเป็นโครงสร้างแบบตาข่ายรูปหกเหลี่ยม [17]

2.2.1.1 สมบัติของกราฟีน

ตารางที่ 2.1 ลักษณะคุณสมบัติของกราฟีน

ชนิดของคุณสมบัติ	ลักษณะพิเศษของกราฟีน
1. สมบัติทางไฟฟ้า (Electronic properties) [18]	กราฟีนมีความคล่องตัวของอิเล็กตรอน (Electron mobility) สูงมากซึ่งตามทฤษฎีพบว่ามีค่ามากถึง 1000 เท่าของซิลิคอนและจากการทดลองพบว่ามีค่าสูงถึง $0.25 \times 10^6 \text{ cm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ซึ่งมีค่ามากกว่าซิลิคอน 100 เท่าจึงทำให้กราฟีนนำไฟฟ้าได้ดีมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของคุณสมบัติ	ลักษณะพิเศษของกราฟีน
2. สมบัติทางความร้อน (Thermal properties) [19]	กราฟีนมีค่าการนำความร้อนสูงมากประมาณ 50 W/cmK ในขณะที่ทองแดงมีค่าการนำ ความร้อน ประมาณ 4 W/cmK ที่อุณหภูมิห้อง กราฟีนจึงนำ ความร้อนได้ดีกว่าทองแดงมากกว่า 10 เท่า
3. สมบัติเชิงกล (Mechanical properties) [20]	กราฟีนมีความแข็งแรงมากโดยมีค่าความแข็งแรง ต้านการแตกหัก (Breaking strength) สูงถึง 42 นิวตันต่อเมตร ค่าความเครียดเชิงกลประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ค่ายังโมดูลัส (Young's modulus) สูง ถึง 1 เทตราปาสคาล และค่าความแข็งแรงภายใน (Intrinsic strength) สูงถึง 130 กิโลปาสคาล กราฟีนจึงเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงที่สุดในโลก
4. สมบัติทางแสง (Optical properties) [21]	กราฟีนมี ค่าความโปร่งแสงสูงถึงเกือบ 98 เปอร์เซ็นต์ ในทุกความยาวคลื่น โดยพบว่าจำนวน ชั้นของกราฟีนที่เพิ่มขึ้น 1 ชั้นจะทำให้ค่าความทึบ แสงเพิ่มขึ้นประมาณ 2.3 เปอร์เซ็นต์

2.2.1.2 การสังเคราะห์กราฟีน (Synthesis of graphene)

2.2.1.2.1 กระบวนการสังเคราะห์กราฟีนแบบบนลงล่าง (Top-down)

1). วิธีการลอกแผ่นกราฟีนโดยวิธีการเชิงกล (Mechanical exfoliation)

การลอกแผ่นกราฟีนโดยวิธีนี้เป็นวิธีแรกที่ใช้สังเคราะห์กราฟีนขึ้นโดยมีการใช้ขั้นตอน ง่าย ๆ อย่างการใช้ดินสอฝนแล้วใช้เทปกาวมาลอกออกจะได้ชั้นกราฟีนแต่วิธีนี้จะได้กราฟีนในปริมาณ น้อย เหมาะสำหรับการศึกษาสมบัติขั้นพื้นฐานของกราฟีน [22]

Angela Jones และคณะ [23] ได้ทำการสังเคราะห์กราฟีนจากการใช้เทปกาวแปะกับ แผ่นแกร์ตกราไฟต์แล้วลอกออกหลายๆครั้งจนมีชั้นสีดำของกราไฟต์ติดอยู่บนเทปกาวทำการดึงชั้น ของกราไฟต์ที่อยู่บนเทปกาว 4-5 ครั้งแล้วนำเทปกาวกดลงเบาๆบนวัสดุรองรับซิลิกอนไดออกไซด์ที่ อยู่บนซิลิกอนอีกชั้นหนึ่งแล้วนำไปตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่า จะเห็นเป็นชั้นของกราฟีนที่มีลักษณะแบบชั้นเดียวและแบบสองชั้น ซึ่งงานวิจัยนี้พบว่ากราฟีนที่ สังเคราะห์ได้มีปริมาณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับการสังเคราะห์วิธีอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2). วิธีการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical Synthesis)

การสังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีส่วนใหญ่จะใช้วิธีของฮัมเมอร์ (Hummer's method) [24] เนื่องจากสามารถสังเคราะห์เองได้ในห้องปฏิบัติการ ใช้สารเคมีน้อยและได้ปริมาณกราฟีนมาก โดยการสังเคราะห์กราฟีนจะมี 2 ขั้นตอนด้วยกัน โดยขั้นตอนแรกจะทำการสังเคราะห์กราฟีนจากกราไฟต์ออกไซด์ด้วยการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับกรดแก่หรือตัวออกซิไดซ์มาทำการออกซิไดซ์กราฟไฟต์ให้เป็นกราไฟต์ออกไซด์ (Graphite Oxide) ซึ่งหมู่ของออกไซด์ที่เกิดขึ้นบนกราฟไฟต์ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล, คาร์บอกซิลิกและคาร์บอนิลจะเข้าไปแทรกและเกาะเต็มระนาบพื้นผิวในแต่ละชั้นของกราฟไฟต์ ทำให้แต่ละชั้นของกราฟไฟต์กว้างและใช้วิธีการใช้คลื่นเสียงที่มีความเข้มสูง (Sonication) ทำให้ชั้นของกราฟไฟต์ออกไซด์แยกออกจากกันจนได้เป็นกราฟีนออกไซด์ [25-26] และในขั้นตอนที่สองจะเป็นการรีดิวซ์หมู่ของออกไซด์ที่เกิดขึ้นบนแผ่นกราฟีนออกไซด์ทำให้กราฟีนที่สังเคราะห์ได้มีคุณสมบัตินำไฟฟ้ามากขึ้นโดยจะใช้ตัวรีดิวซ์เป็นไฮดราซีนมาทำปฏิกิริยารีดักชันกับ กราฟีนออกไซด์ จะได้กราฟีนออกไซด์ที่มีหมู่ของออกไซด์บนแผ่นกราฟีนลดลง [27]

Ji Chen และคณะ [28] ได้ทำการสังเคราะห์กราฟีนจากผงกราฟไฟต์ด้วยวิธีการปรับปรุงจากวิธีของฮัมเมอร์โดยการไม่เติมโซเดียมไนเตรทลงไป ในขั้นตอนของการสังเคราะห์กราฟไฟต์ออกไซด์ซึ่งการเติมโซเดียมไนเตรทลงไป ในปฏิกิริยาจะทำให้เกิดแก๊ส NO_2 ซึ่งเป็นแก๊สที่มีพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม โดยขั้นตอนการเกิดปฏิกิริยาจะมี 2 ส่วนได้แก่ ส่วนแรกจะใช้กรดซัลฟิวริกผสมกับกราฟไฟต์ลงในอ่างน้ำแข็งจากนั้นจะเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต ซึ่งสารทั้งสองชนิดจะเป็นตัวออกซิไดซ์ในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับผงกราฟไฟต์จนทำให้เกิดเป็นสารละลายกราฟไฟต์ออกไซด์จากนั้นจะทำการเติมน้ำกลั่น สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดไฮโดรคลอริกลงไป สารละลายกราฟไฟต์ออกไซด์จะมีสีน้ำตาลเข้ม และส่วนที่สองจะนำสารละลายกราฟไฟต์ออกไซด์มาทำการโซนิเคตจนกราฟไฟต์ออกไซด์แยกชั้นเป็นกราฟีนออกไซด์ โดยจะทำการเปรียบเทียบกราฟีนที่ปรับปรุงจากวิธีของฮัมเมอร์คือไม่เติมโซเดียมไนเตรทกับกราฟีนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีฮัมเมอร์ ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี พบว่ากราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์จากทั้งสองวิธีให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ใกล้เคียงกันคือช่วง 230-232 นาโนเมตร และปริมาณที่สังเคราะห์ได้ก็ใกล้เคียงกัน ทำให้สามารถสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีจากงานวิจัยนี้แทนวิธีของฮัมเมอร์ได้และยังเป็นการลดมลพิษจากแก๊ส NO_2 อีกด้วย

งานวิจัยของ Vorrada Loryuenyong และคณะ [29] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีโดยการนำผงกราฟไฟต์มาผ่านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันโดยการปรังวิธีของฮัมเมอร์ (Hummer's method) ซึ่งจะเริ่มจากการนำผงกราฟไฟต์มาทำการเติมกรดซัลฟิวริก จากนั้นเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ 5 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อลดโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ยังหลงเหลืออยู่แล้วล้างไอออนของโลหะออกด้วยกรดไฮโดรคลอริก จะได้เป็นกราฟไฟต์ออกไซด์ที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ นำมาโซนิเคตเพื่อทำให้ชั้นกราฟไฟต์ออกไซด์หลุดออกจนได้เป็นกราฟีนออกไซด์และนำกราฟีนออกไซด์มาเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนทำการปั่นกวนและให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 วัน จะได้เป็นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี กราฟีนออกไซด์ที่วัดได้จะมีค่าการดูดกลืนแสงที่ 230 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของ C-C ของวงอะโรมาติก และมีค่าการดูดกลืนแสงที่ 303 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของ C=O

เกิดจากการที่มีหมู่ของกรดมาเกาะบนกราฟไฟต์ส่วนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีค่าการดูดกลืนแสง 255

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นาโนเมตรซึ่งเกิดจากการลดลงของหมู่กรดและมีการเพิ่ม C-C ในวงอะโรมาติก และทำการตรวจวัดด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FTIR) พบว่า กราฟีนออกไซด์จะพบการสั่นอยู่ในช่วง $3,450\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นแถบการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล (OH) และช่วง $1,728\text{ cm}^{-1}$ จะเป็นแถบการสั่นของหมู่คาร์บอนิล ส่วนรีดิวซ์กราฟีนจะพบว่าแถบการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล และแถบการสั่นของหมู่คาร์บอนิลจะลดลงเนื่องจากหมู่กรดที่ถูกรีดิวซ์ออกไป ซึ่งสารที่สังเคราะห์ได้เป็นกราฟีนออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จริง

Leila Shahriary และคณะ [30] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์จากผงกราไฟต์ที่ถูกกรดแก่ออกไซด์ด้วยการปรับปรุงวิธีของฮัมเมอร์ (Hummer's method) โดยการสังเคราะห์จะมี 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรกจะนำผงกราไฟต์มาเติมกรดไนตริก และกรดซัลฟิวริก โดยทำการปั่นกวนสารตลอดการสังเคราะห์จากนั้นเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต (KMnO_4) ทำการควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ประมาณ 12 ชั่วโมงจากนั้นเติมน้ำกลั่นปราศจากไอออนแล้วเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก ทำการกรองและทำให้แห้งจะได้เป็นกราฟีนออกไซด์ เมื่อนำมาตรวจวัดด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรมิเตอร์ (FTIR) พบว่า กราฟีนออกไซด์จะพบการสั่นอยู่ในช่วง $3,000\text{-}3,700\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นแถบการสั่นของหมู่ไฮดรอกซิล และช่วง $1,630\text{ cm}^{-1}$ จะเป็นแถบการสั่นของหมู่คาร์บอนิล เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี กราฟีนออกไซด์ที่วัดได้จะมีค่าการดูดกลืนแสงที่ 237 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของ C-C ของวงอะโรมาติก ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่างๆ เหล่านี้ทำให้ทราบว่าสารที่ทำการสังเคราะห์คือ กราฟีนออกไซด์

3). การสังเคราะห์ด้วยวิธีเคลือบผิวด้วยไอเคมี (Chemical Vapor Deposition, CVD)

กราฟีนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีนี้จะนิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเนื่องจากเป็นวิธีที่สังเคราะห์แล้วได้กราฟีนปริมาณมากและได้กราฟีนที่มีคุณภาพสูง การสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธี CVD จะทำให้สารนั้นกลายเป็นไอในเตาปฏิกิริยาที่มีอุณหภูมิประมาณตั้งแต่ 600-1,200 องศาเซลเซียส ซึ่งต้องมีอนุภาคนาโนของโลหะคะตะลิสต์อยู่บริเวณนั้นด้วย โดยโมเลกุลของแก๊สให้แตกตัว (Decomposed) แล้วระเหยไปควบแน่นเป็นอนุภาคนาโนวัสดุรองรับโดยการควบคุมอุณหภูมิ ความดัน

Yi Zhang และคณะ [32] ได้ทำการสังเคราะห์กราฟีนด้วยวิธีเคลือบผิวด้วยไอเคมี โดยจะการผ่านแก๊สมีเทน (CH_4) และแก๊สไฮโดรเจน (H_2) ในอัตราส่วนที่เหมาะสม ภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อยในงานวิจัยนี้ได้ใช้แก๊สอาร์กอนผ่านท่อควอทซ์ซึ่งบรรจุวัสดุฐานรองรับ (Substrate) ไว้ที่อุณหภูมิสูงประมาณ $1,000\text{ }^\circ\text{C}$ ก็จะได้กราฟีนบนวัสดุฐานรองรับ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ศึกษาชนิดของวัสดุฐานรองรับที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ นิกเกิลฟิล์ม (Nickel Film) และ คอปเปอร์ฟอยล์ (Copper Foil) และจากการตรวจวัดคุณสมบัติของกราฟีนที่สังเคราะห์ขึ้น จะพบว่าวัสดุฐานรองรับประเภทคอปเปอร์ฟอยล์สามารถสังเคราะห์กราฟีนที่ดีที่สุด โดยกราฟีนจะมีลักษณะชั้นเดียวและขนาดใหญ่เป็นแผ่นสม่ำเสมอ

Dhiman และคณะ [33] ได้นำวัสดุกราฟีนมาพัฒนาเพื่อใช้ในเซนเซอร์ขนาดเล็ก (Microsensor) ซึ่งเซนเซอร์ขนาดเล็กจะถูกเคลือบด้วยกราฟีน โดยการใช้เทคนิค Chemical Vapor Deposition (CVD) โดยใช้คอปเปอร์เป็นวัสดุฐานรองรับ (Substrate) ภายใต้บรรยากาศของแก๊สอาร์กอน ที่อุณหภูมิประมาณ 700-1,000 องศาเซลเซียส จะได้เป็นกราฟีนบนวัสดุฐานรองรับ ซึ่งเป็นคอปเปอร์ออกมา จากนั้นนำสารที่สังเคราะห์ได้ตั้งกล่าวไปติดในผนังท่อคาร์บอน (Carbon Nanotube) โดยเมื่อมีน้ำไหลผ่าน คลอไรด์ไอออนจะติดอยู่ที่ผิวของกราฟีน และทำให้เกิดแรง

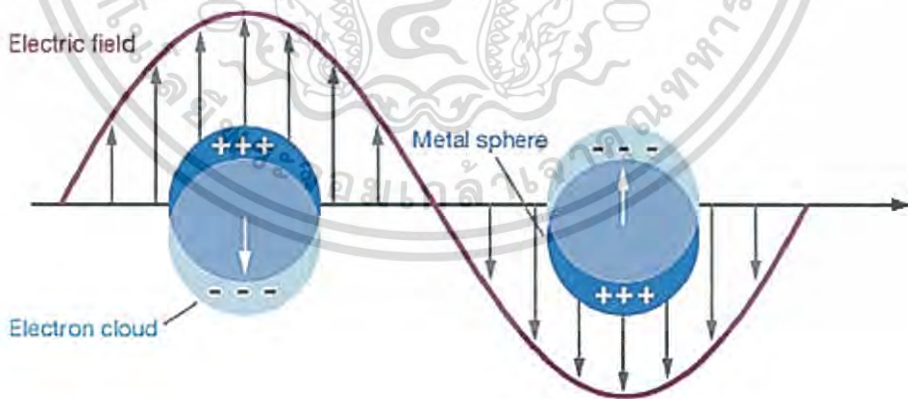
เสียดทาน (Friction Force) ระหว่างกระแสน้ำและชั้นดูดซับคลอไรด์ไอออน ซึ่งก่อให้เกิดการไหลของไอออนตามทิศทางการกระแสน้ำ ทิศทางการเคลื่อนที่ของไอออนทำให้เกิดประจุอิสระในกราฟีน จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

2.2.2. อนุภาคทองระดับนาโน (Gold Nanoparticles)

อนุภาคทองระดับนาโนเป็นวัสดุนาโนโลหะที่ได้รับการศึกษาอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเมื่อทองอยู่ในระดับนาโนจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างไปจากเดิมมากโดยเฉพาะสมบัติทางแสงซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดและรูปร่างของอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลต่อสมบัติเชิงแสงด้วย [34] ด้วยคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไปเราจึงนำอนุภาคทองระดับนาโนมาใช้ประโยชน์ในงานต่างมากมาย เช่น การนำไปประยุกต์ใช้ในการแพทย์ในการใช้รักษาโรคมะเร็ง

2.2.2.1. สมบัติทางแสงของอนุภาคทองระดับนาโน

สมบัติทางแสงซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของโลหะและโลหะออกไซด์โดยเฉพาะโลหะ เช่น ทองคำจะแสดงสมบัติทางแสงอย่างเด่นชัดอธิบายด้วยปรากฏการณ์เซอร์เฟซพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface plasmon resonance, SPR) เป็นคลื่นความหนาแน่นของประจุที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระ ที่มีลักษณะการสั่นอย่างพร้อมเพรียงกันเป็นปรากฏการณ์ที่จะเกิดขึ้นที่บริเวณรอยผิวต่อของโลหะกับสารไดอิเล็กทริก เช่น ระหว่างทองหรือเงินกับอากาศหรือสารละลาย โดยที่ขนาดยอดคลื่น และความกว้างของสเปกตรัมพลาสมอนเรโซแนนซ์ของวัสดุต่างๆ จะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง ประเภทของวัสดุ และสภาพแวดล้อมรอบๆ วัสดุนั้น [35] โดยอนุภาคทองในระดับนาโนจะแสดงปรากฏการณ์ทางแสงคือจะมีสีแว่นแดงแทนที่จะเป็นสีเหลือง และเนื่องจากสีที่เปลี่ยนแปลงไปยังพบว่าช่วงความยาวคลื่นของแถบการดูดกลืนในอนุภาคระดับนาโนจะมีช่วงความยาวคลื่นที่สั้นลงกว่าเดิม คือมีแนวโน้มไปในทางช่วงความยาวคลื่นแถบสีน้ำเงิน ซึ่งช่วงความยาวคลื่นที่เกิดขึ้นนี้จะแปรผันตามขนาดของอนุภาคในระดับนาโน ซึ่งปรากฏการณ์ทางแสงของอนุภาคระดับนาโนจะแสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเกิดเซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์ของอนุภาคทรงกลม [36]

จากรูปที่ 2.3 จะแสดงกระบวนการสั่นของเซอร์เฟซ พลาสมอน เรโซแนนซ์แสดงให้เห็นการกระจัดของกลุ่มประจุอิเล็กตรอน (Conduction electron charge cloud) ที่สัมพันธ์กับนิวเคลียส เมื่อได้รับแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนอิสระจะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดการสั่นพ้อง โดยความถี่ของการสั่นนี้จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของอิเล็กตรอน (Electron density)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มวลสัมพัทธ์อิเล็กตรอน (Effective electron mass) และขนาดรูปร่างของการกระจายของประจุ (Charge distribution)

2.2.2.2 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน

1). วิธีการเกิดปฏิกิริยารีดักชันทางเคมี (Chemical Reduction Method)

วิธีนี้จะอาศัยหลักการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสารละลายโกลด์เตตระคลอไรด์ (HAuCl_4) โดยใช้ตัวรีดิวซ์เป็นโซเดียมซิติเรท [37] เพื่อเปลี่ยนไอออนของทองคำ (Au^{3+}) ไปเป็นอะตอมของทองคำ (Au^0) จากนั้นอะตอมของทองจะรวมตัวกันหลายๆ อะตอมจนกลายเป็นอนุภาคทองที่มีขนาดระดับนาโนเมตรและยังทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพให้กับอนุภาคทองนอกจากนี้ยังสามารถควบคุมขนาดอนุภาคทองระดับนาโนโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์ [38]

Rosy และคณะ [39] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้วิธีการเกิดปฏิกิริยารีดักชันทางเคมี โดยเกิดการรีดักชันของโกลด์เตตระคลอไรด์ (HAuCl_4) ในสารละลายโซเดียม โบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ และมีโซเดียมซิติเรทในการรักษาเสถียรภาพ โดยขั้นตอนจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ในส่วนแรกจะเป็นการเตรียมสารละลายโกลด์เตตระคลอไรด์โดยละลายในน้ำกลั่นปราศจากไอออน และส่วนที่สองจะเป็นการเตรียมสารละลายโซเดียมซิติเรทและโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในน้ำกลั่นปราศจากไอออน จากนั้นจะนำสารในส่วนแรกมาทำการปั่นกวานสารเป็นเวลา 1 นาทีแล้วเติมโซเดียมซิติเรทลงไปปั่นกวานต่อจนครบ 1 นาทีแล้วเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์จากนั้นทำการปั่นกวานตลอดเป็นเวลา 15 นาที โดยสีที่เกิดขึ้นจะได้เป็นสีไวน์แดง เมื่อนำไปตรวจดูโครงสร้างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) จะพบว่าขนาดของอนุภาคทองในระดับนาโนจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยน้อยกว่า 5 นาโนเมตร และค่าการดูดกลืนแสงอยู่ที่ 514 นาโนเมตรซึ่งดูจากสเปกตรัมการดูดกลืนแสงของยูวี-วิสิเบิล

Khalida S. Merza และคณะ [40] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยวิธีรีดักชันทางเคมี โดยขั้นตอนจะแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ส่วนแรกจะเป็นการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้สารละลายโกลด์เตตระคลอไรด์ เป็นสารตั้งต้นในการเกิดอนุภาคทองและใช้โพแทสเซียมโบทาร์เทรตเป็นตัวรีดิวซ์ ซึ่งเริ่มจากการนำสารละลายโกลด์เตตระคลอไรด์มาเติมโพแทสเซียมโบทาร์เทรตภายใต้การปั่นกวานแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมโพลีเอทิลีน ไกคอลลงไป โดยสีของสารที่สังเคราะห์ได้จะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีไวน์แดง และส่วนที่สองจะเป็นการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้โซเดียมซิติเรทเป็นตัวรีดิวซ์ โดยจะนำสารละลายโกลด์เตตระคลอไรด์ มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเติมโซเดียมซิติเรทภายใต้การปั่นกวานตลอดการทดลองจนสีที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีไวน์แดง นำสารที่สังเคราะห์ได้มาตรวจดูด้วยกล้อง TEM พบว่าอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้โพแทสเซียมโบทาร์เทรตเป็นตัวรีดิวซ์จะมีขนาดอยู่ที่ประมาณ 50-200 นาโนเมตร ส่วนอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้โซเดียมซิติเรทเป็นตัวรีดิวซ์จะมีขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร และพบว่าโซเดียมซิติเรทมีคุณสมบัติในการทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพให้กับอนุภาคทองในขณะที่โพแทสเซียมโบทาร์เทรตจะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์อนุภาคทองเพียงอย่างเดียว และต้องใช้โพลีเอทิลีน ไกคอลในการทำหน้าที่รักษาเสถียรภาพให้กับอนุภาคทอง ทำการเปรียบเทียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวรีดิวซ์ระหว่างโซเดียมซัลไฟด์กับโพแทสเซียมโบรไมด์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแล้วโซเดียมซัลไฟด์จึงเป็นตัวเลือกที่ดีกว่าในการนำมาสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน

2). วิธีเชิงแสงทางเคมี (Photochemical Method)

Wei-Chieh Huang และคณะ [41] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้วิธีเชิงแสงทางเคมีโดยการฉายรังสียูวี มีสารละลายโกลด์เตตระคลอไรด์ เป็นสารตั้งต้นของอนุภาคทอง และใช้สารละลายโซเดียมออกซาลेटเป็นตัวรีดิวซ์ไอออนของอนุภาคทองจะเกิดเป็นอนุภาคอิสระ (Au^0) จากการใช้รังสียูวีและยังทำหน้าที่เป็นตัวรักษาเสถียรภาพของอนุภาคทองในระดับนาโนด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการเติมสารละลายโซเดียมออกซาลेटความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่ปริมาณต่างๆ ได้แก่ จำนวน 62 , 65 และ 68 ไมโครลิตร จากนั้นทำการฉายรังสียูวีเป็นเวลา 120 นาที จะได้เป็นคอลลอยด์ของอนุภาคทองระดับนาโนนำไปปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 15 นาทีจึงจะได้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่มีสีไวน์แดง มีค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ 522 นาโนเมตร และนำสารที่สังเคราะห์ได้มาตรวจด้วยกล้อง TEM พบว่าอนุภาคทองระดับนาโนมีขนาดประมาณ 25-80 นาโนเมตร โดยพบว่าเมื่อลดปริมาณของโซเดียมออกซาลेटจะทำให้อนุภาคมีใหญ่ขึ้นและการเพิ่มเวลาในการฉายแสงจะทำให้อนุภาคมีใหญ่ขึ้น

Tapan K. Sau และคณะ [42] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน โดยใช้วิธีเชิงแสงทางเคมี โดยการสังเคราะห์แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนที่มีขนาด 5 และ 20 นาโนเมตร ด้วยการนำสารละลายโกลด์เตตระคลอไรด์ เป็นสารตั้งต้นในการเกิดอนุภาคทองและใช้ TX-100 (Poly(oxyethylene) iso-octylphenyl ether) ที่ความเข้มข้น 0.992×10^{-2} โมลาร์และ 7.93×10^{-6} โมลาร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และรักษาเสถียรภาพของอนุภาคทองระดับนาโน ทำการฉายรังสียูวีเป็นเวลา 25 นาที จะได้สารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่มีสีชมพู เมื่อนำอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์ด้วยกล้อง TEM พบว่าอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ TX-100 ความเข้มข้น 0.992×10^{-2} โมลาร์ อนุภาคทองที่ได้จะมีขนาด 23 นาโนเมตรและอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้ TX-100 ความเข้มข้น 7.93×10^{-6} โมลาร์ อนุภาคทองจะมีขนาด 5.6 นาโนเมตร และขั้นตอนที่สองจะเป็นการนำสารละลายอนุภาคทองที่ได้จากขั้นตอนแรกมาเติมกรดแอสคอบิกความเข้มข้น 6×10^{-4} โมลาร์ โดยกรดแอสคอบิกจะทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ให้กับอนุภาคทอง ทำการฉายรังสียูวีเป็นเวลา 25 นาที และนำสารที่สังเคราะห์ได้มาตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้อง TEM พบว่าอนุภาคทองระดับนาโนที่ใช้กรดแอสคอบิกเป็นตัวรีดิวซ์จะมีขนาดตั้งแต่ 20–110 นาโนเมตร และยังพบว่า การสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้วิธีเชิงแสงทางเคมีเป็นวิธีที่สังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนได้รวดเร็วและยังทำให้อนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาดใกล้เคียงกัน

2.3 วัสดุแต่งประกอบระดับนาโน (Nanocomposites)

วัสดุแต่งประกอบระดับนาโนคือ วัสดุเชิงประกอบที่เกิดจากการผสมกันของวัสดุมากกว่าหนึ่งชนิดขึ้นไป โดยหนึ่งในสารตัวเติม (Filler) นั้นมีหนึ่ง สองหรือทั้งสามมิติ ขนาดเล็กกว่า 100 นาโนเมตร [43] ซึ่งวัสดุแต่งประกอบระดับนาโนจะมีคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมที่พัฒนาดีขึ้นมากอย่างไม่น่าเชื่อเมื่อเทียบกับวัสดุแต่งประกอบโดยทั่วไป ทั้งทางด้านคุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติทางเคมี รวมถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้า โดยเติมสารตัวเติมนาโนเพียง 1-10% ของน้ำหนักวัสดุโดยรวม [44]

วัสดุระดับนาโนที่ใช้ในการเติมลงไปกับพื้นผิวของโครงสร้าง เพื่อสังเคราะห์เป็นโครงสร้างวัสดุแต่งประกอบระดับนาโนนั้นก็ยังมีหลากหลายชนิดแตกต่างกันออกไป เช่น ท่อนาโนคาร์บอน, แผ่นกราฟไฟต์, เส้นใยนาโนคาร์บอน หรือเส้นใยธรรมชาติซึ่งวัสดุต่างๆ เหล่านี้จะทำให้วัสดุแต่งประกอบระดับนาโนที่เพิ่มขีดความสามารถของทางด้านการนำไฟฟ้า และการนำพาความร้อนได้เป็นอย่างดี อีกทั้งมีการนำมาใช้กันมากในอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก หรือวัสดุที่สามารถกักน้ำหรือของเหลวได้ เป็นต้น [45]

Xiao-Yan Zhang และคณะ [46] ได้ทำการสร้างวัสดุแต่งประกอบขึ้นจากกราฟีนและไททาเนียมไดออกไซด์ โดยอาศัยการสังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจล (Sol-gel) เพื่อนำมาใช้งานในการแยกน้ำ (Water photocatalytic splitting) และสังเคราะห์กราฟีนจากกราฟไฟต์โดยวิธีของ Hummers ได้กราฟีนออกไซด์เกิดขึ้น จากนั้นนำผงกราฟีนออกไซด์มา 0.117 กรัม มาทำการรีดักชันโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นทำหน้าที่ตัวรีดิวซ์ จากนั้นทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องนาน 24 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างแผ่นกราฟีนด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนและทำการอบจนแห้ง แล้วนำมาละลายในเอทานอล 50 มิลลิลิตร และทำการโซนิเคชันนาน 30 นาที จากนั้นนำสารละลายไททาเนียมบิวออกไซด์ (TBOT) มา 10 มิลลิลิตร ค่อยๆทำการหยดลงในสารละลายกราฟีน จากนั้นทำการปั่นกวนต่อเนื่อง 2 วัน จากนั้นเติมสารละลายกรดอะซิติก 5 มิลลิลิตร และน้ำกลั่นปราศจากไอออน 2 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปั่นกวนนาน 2 วัน และทำการอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมง จากนั้นนำวัสดุแต่งประกอบไปทำให้เผาที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการรวมตัวกันของกันของกราฟีนและไททาเนียมไดออกไซด์ จากนั้นให้แหล่งกำเนิดแสงด้วยรังสียูวี-วิสิเบิล กับวัสดุแต่งประกอบทำให้ปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสง (Photocatalytic activity) และทำภายใต้บรรยากาศปกติ และภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจน เมื่อนำวัสดุแต่งประกอบขึ้นจากกราฟีนและไททาเนียมไดออกไซด์มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง TEM พบว่า โดยทำการศึกษาจำนวนแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น พบว่า ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจนให้จำนวนไฮโดรเจนมากกว่าภายใต้บรรยากาศปกติ

Xiaoming Yang และคณะ [47] ได้ทำการสังเคราะห์วัสดุแต่งประกอบระดับนาโนระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์กับกราฟีนออกไซด์โดยจะแบ่งเป็นสามขั้นตอน ได้แก่ขั้นตอนแรกจะเป็นการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีของฮัมเมอร์ (Hummer's method) โดยการนำผงกราฟไฟต์มาผ่านการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยทำการเติมโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อลดโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ยังหลงเหลืออยู่แล้วล้างไอออนของโลหะออกด้วยกรดไฮโดรคลอริกได้เป็น กราไฟต์ออกไซด์แล้วนำไปอบให้แห้งเป็นผง จากนั้นนำผงกราฟไฟต์ออกไซด์มาละลายในน้ำกลั่นปราศจากไอออน แล้วทำการโซนิเคตเป็นเวลา 45 นาที เพื่อทำให้ชั้นกราฟไฟต์ออกไซด์หลุดออกจนได้เป็น กราฟีนออกไซด์ ขั้นตอนที่สองจะเป็นการเตรียมโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ โดยนำผงโพลีไวนิลแอลกอฮอล์มาละลายในน้ำกลั่นปราศจากไอออนแล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำมาตั้งทิ้งไว้ให้เย็นจะได้เป็นสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และขั้นตอนที่สามจะนำสารละลายกราฟีนออกไซด์มาเติมลงในสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ทำการ โซนิเคตเป็นเวลา 15 นาที และนำมาปั่นกวนให้สารละลายผสมกันเป็นเนื้อเดียว จากนั้นทำการรีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์โดยการเติมไฮดราซีนลงไปในการละลายผสมระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์กับกราฟีนออกไซด์ภายใต้การปั่นกวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำสารละลายผสมที่ได้มาใส่ในภาชนะที่ทำจากแก้วและควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 40 องศาเซลเซียส เพื่อสร้างฟิล์ม แล้วนำฟิล์มของวัสดุแต่งประกอบ

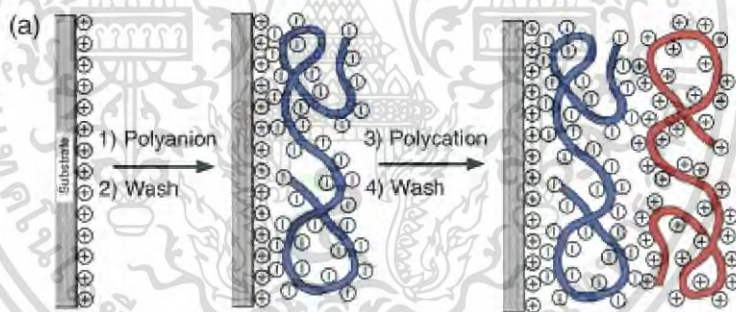
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับนาโนระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์กับกราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) พบว่า มีการหายไปของพีคที่ 11.3 องศา กับ 22.4 องศา และมีการลดลงของพีค 19.4 องศา และพีคมีความกว้างขึ้น แสดงถึงการลดลงของผลึกแสดงให้เห็นว่ามีการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารโพลีเมอร์และสารตัวเติมที่ทำการเติมลงไป และเมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยกล้อง SEM จะพบว่าเมื่อส่องดูโพลีไวนิลแอลกอฮอล์จะมีลักษณะพื้นผิวเรียบไปในทางเดียวกันในขณะที่ฟิล์มของวัสดุแต่งประกอบระดับนาโนระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์กับ กราฟีนออกไซด์จะมีลักษณะแยกเป็นชั้นโดยแผ่นกราฟีนจะกระจายในโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ และพบว่าการนำโพลีไวนิลแอลกอฮอล์กับกราฟีนออกไซด์มาสร้างเป็นวัสดุแต่งประกอบระดับนาโนจะทำให้ความเป็นผลึกลดลง

2.4 เทคนิคการขึ้นรูปแบบเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-Layer technique)

เทคนิคการขึ้นรูปแบบเลเยอร์บายเลเยอร์เป็นเทคนิคการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มบาง ซึ่งแผ่นฟิล์มบางที่เกิดขึ้นจะเกิดจากยึดเกาะของสารที่มีประจุต่างชนิดกันในแต่ละชั้นของแผ่นฟิล์ม [48] โดย H. Kuhn ได้ทำการพัฒนาโดยการใช้สารโพลีอิเล็กโทรไลต์มาสร้างฟิล์มหลายชั้นโดยสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในทำเทคนิคนี้จะเป็นแบ่งเป็นสารชนิด Polycation และสารชนิด Polyanion [49] ซึ่งการทำเทคนิคการขึ้นรูปแบบเลเยอร์บายเลเยอร์นี้จะอาศัยแรงดึงดูดของประจุที่แตกต่างกันของสารโพลีอิเล็กโทรไลต์ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การสร้างฟิล์มโดยใช้เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ [50]

รูปที่ 2.4 แสดงการสร้างฟิล์มด้วยการใช้เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์โดยเริ่มจากการจุ่มสารที่ให้ประจุบวก (Polyanion) ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออนเพื่อชะล้างประจุส่วนเกินออกแล้วทำการจุ่มสารที่ให้ประจุลบ (Polycation) ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นที่ปราศจากไอออนเพื่อชะล้างประจุส่วนเกินออกเช่นกันทำการจุ่มสารที่มีประจุต่างชนิดสลับไปมาจนได้จำนวนชั้นที่ต้องการ [51]

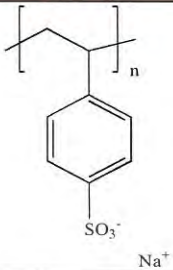
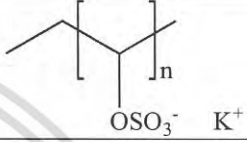
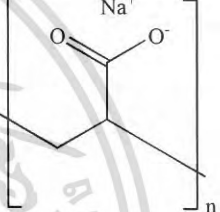
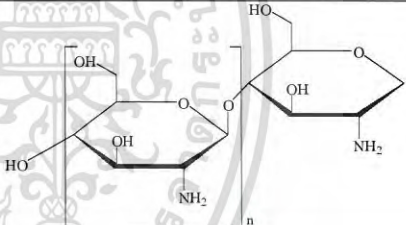
2.4.1. โพลีอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte)

เป็นการนำโพลีเมอร์ที่มีประจุตรงกันข้ามมาทำปฏิกิริยาเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งทำให้ได้สารชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติเหมือนหรือต่างไปจากโพลีเมอร์ชนิดเดิม โดยโพลีอิเล็กโทรไลต์คือกลุ่มของสารโมเลกุลใหญ่ (Macromolecule) ที่สามารถแตกตัวได้เมื่ออยู่ในของเหลวเกิดเป็น

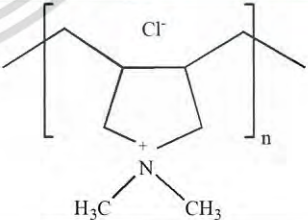
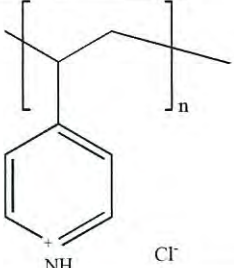
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ซึ่งโพลีอิเล็กโทรไลต์แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ โพลีอิเล็กโทรไลต์แบบประจุลบ (Polyanion) และโพลีอิเล็กโทรไลต์แบบประจุบวก (Polycation) [52]

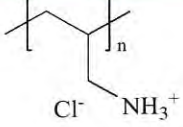
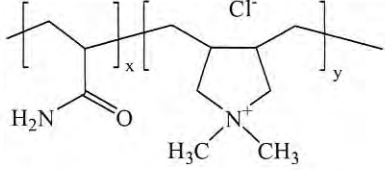
ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของโพลีอิเล็กโทรไลต์แบบประจุลบ (Polyanion)

ชื่อโพลีอิเล็กโทรไลต์	โครงสร้าง
Polystyrene sulfonic acid (PSS)	
Poly(potassium vinyl sulfate)	
Poly(acrylate)	
Chitosan	

ตารางที่ 2.3 แสดงตัวอย่างของโพลีอิเล็กโทรไลต์แบบประจุบวก (Polycation)

ชื่อโพลีอิเล็กโทรไลต์	โครงสร้าง
Poly(diallyldimethylammonium chloride)	
Poly(4-vinylpyridine hydrochloride)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโพลีอิเล็กโทรไลต์	โครงสร้าง
Poly(diallyl amine hydrochloride)	
Poly(acrylamide-co-diallyldimethyl ammonium chloride)	

2.5 ก๊าซแอมโมเนีย

2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของแอมโมเนีย

แอมโมเนียจัดเป็นแก๊สพิษชนิดหนึ่ง ไม่มีสีแต่มีกลิ่นฉุนรุนแรง สูตรทางเคมีคือ NH_3 มีน้ำหนักโมเลกุล 17.03 มีจุดเดือดที่ -33.35 องศาเซลเซียส และมีจุดหลอมเหลว -77.7 องศาเซลเซียสเป็นแก๊สที่เบากว่าอากาศเนื่องจากความหนาแน่นไอเท่ากับ 0.58 เมื่อเทียบกับความหนาแน่นไอของอากาศเท่ากับ 1 [53] และเนื่องจากแก๊สชนิดนี้มีจุดเดือดที่ต่ำ ดังนั้นในกระบวนการทางอุตสาหกรรมนิยมนำแก๊สชนิดนี้มาใช้เป็นสารทำความเย็นในระบบทำความเย็นโดยเฉพาะโรงงานทำน้ำแข็งและอุตสาหกรรมห้องเย็น ซึ่งดีกว่าการใช้สารทำความเย็นคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน (CFC) เนื่องจากแก๊สแอมโมเนียจะไม่ทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศเมื่อเทียบกับสารทำความเย็นประเภทคลอโรฟลูโอโรคาร์บอน ชนิดอื่นๆ ส่วนข้อเสียก็คือแก๊สแอมโมเนียจัดเป็นแก๊สที่เป็นมลพิษที่มีบทบาทสำคัญในการเร่งปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ของระบบนิเวศน์ [54] ซึ่งปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชันคือ ปรากฏการณ์ที่ทำให้พืชจำพวกสาหร่ายและวัชพืชเจริญเติบโตมากกว่าปกติจากการที่แหล่งน้ำได้รับธาตุอาหารจำพวกไนโตรเจนและฟอสเฟตมากเกินไป พืชเหล่านั้นจะปกคลุมผิวน้ำทำให้น้ำขาดออกซิเจนและในที่สุดทำให้น้ำเน่าเสียสร้างความเสียหายให้กับระบบนิเวศน์ [55]

นอกจากแก๊สชนิดนี้จะสามารถทำลายระบบนิเวศน์ได้แล้วยังจัดเป็นแก๊สพิษที่เป็นอันตราย ต่อสุขภาพอีกด้วยหากสัมผัสกับแก๊สชนิดนี้ที่ระดับความเข้มข้นสูงๆเป็นเวลานาน ซึ่งระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียที่ก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์แสดงดังตารางที่ 2.4 ดังนี้ [56]

ตารางที่ 2.4 ผลของการสัมผัสแอมโมเนียที่มีผลต่อมนุษย์ที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียระดับต่างๆ

ระดับความเข้มข้น ppm	ผลกระทบต่อร่างกาย	ระยะเวลาที่สัมผัส
25	คนส่วนใหญ่เริ่มไต่กลิ่น	ทนได้มากที่สุด 8 ชั่วโมง
100	ไม่ส่งผลกระทบต่อร่างกาย ระยะยาวคือ เล็กน้อย	ไม่อนุญาตให้สัมผัสเป็นเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความเข้มข้น ppm	ผลกระทบต่อร่างกาย	ระยะเวลาที่สัมผัส
400	ระคายเคืองจมูกและลำคอ	30 นาที – 1 ชั่วโมง
1,700	เกิดอาการชัก และระคายเคืองตา จมูก และคออย่างรุนแรง	อาจจะเสียชีวิต ถ้าได้รับเกิน 30 นาที
2,000-5,000	ระคายเคืองคอ ปวดแสบที่ลำคออย่างรุนแรง	อาจจะเสียชีวิต ถ้าได้รับเกิน 15 นาที
5,000-10,000	เกิดการชักกระตุกของกล้ามเนื้อและระบบหายใจ ทำให้ร่างกายขาดออกซิเจน	อาจจะเสียชีวิต ภายใน 2-3 นาที

2.6 แก๊สเซนเซอร์ (Gas sensor)

แก๊สเซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ซึ่งตรวจจับแก๊สโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของสมบัติบางอย่างของวัสดุที่ใช้ในการทำเซนเซอร์ เช่น ความต้านทานไฟฟ้า การนำไฟฟ้า การนำความร้อน เป็นต้น

Dinesh Chanda Tiwari และคณะ [57] ได้ทำการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียด้วยวัสดุที่สร้างขึ้นจากวัสดุแต่งประกอบระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และโพลีไพโรล โดยการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ได้มาจากอาศัยการเกิดผ่านปฏิกิริยาจากวิธีของ Hummers และใช้สารในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์คือไฮดราซีน จากนั้นนำรีดิวซ์กราฟีนที่สังเคราะห์ได้มาเติมเอทานอล 2 มิลลิลิตร แล้วทำการโซนิเคตนาน 90 นาที และทำการเตรียมโพลีไพโรลที่ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์ ในน้ำกลั่นปราศจากไอออน จากนั้นนำสารละลายรีดิวซ์กราฟีนที่สังเคราะห์ขึ้นผสมกับสารละลายโพลีไพโรล จากนั้นนำมาทำการโซนิเคตนาน 15 นาที และปั่นกวนต่ออีก 30 นาที จากนั้นปิเปตสารมา 10 ไมโครลิตร หยดลงบนแผ่นกระจก จากนั้นหยดแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (ASP) 10 ไมโครลิตร ใส่ลงบนหยดของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนและโพลีไพโรลทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืนเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการสร้างสายโพลิเมอร์ (Polymerization) จากนั้นทำการล้างแผ่นฟิล์มด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนและเอทานอล แล้วทำให้แห้ง จากนั้นทำการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าเข้ากับเซนเซอร์ที่สร้างขึ้น โดยจะวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนทำการความเข้มข้นของแก๊สแอมโมเนีย พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนีย ค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นเซนเซอร์จะเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากเมื่อแก๊สแอมโมเนียสัมผัสกับวัสดุเซนเซอร์ที่สร้างขึ้น ทำให้โมเลกุลของแอมโมเนียเกิดการสูญเสียอิเล็กตรอนเกิดเป็นแอมโมเนียไอออนบวกขึ้นบนสายโพลิเมอร์จึงทำให้วัสดุเซนเซอร์มีค่าความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

Yong Zhou และคณะ [58] ได้ทำการสร้างวัสดุตรวจวัดแก๊สจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยนำสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ได้ถูกสังเคราะห์เป็นสารละลายแล้วมา 10 มิลลิลิตร แล้วทำการเจือจางให้เป็น 0.09 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในน้ำกลั่นปราศจากไอออน จากนั้นทำการโซนิเคตเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วทำรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์นี้ไปกระจายตัวยึดเกาะบนอินเทอร์ดิจิทัลอิเล็กโทรด (Interdigital electrodes) จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะสูญญากาศ เป็นเวลา 2 วัน โดยในการตรวจวัดจะทำการนำแก๊สตัวอย่างผสมเข้ากับแก๊สไนโตรเจน โดยทำการ

เชื่อมต่อแผ่นเซนเซอร์เข้ากับเครื่อง KEITHLEY 2700 แล้วต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อดูค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่ออัตราการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่อแก๊สไนโตรเจนเปลี่ยน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มอัตราการไหลของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าบนแผ่นเซนเซอร์เพิ่มขึ้น เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จัดเป็นสารออกซิไดซ์ เมื่อสัมผัสกับแผ่นตรวจวัดเซนเซอร์จะเกิดการเสียอิเล็กตรอน จึงทำให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าบนแผ่นตรวจวัดเซนเซอร์เพิ่มขึ้น

Madhav Gautam และคณะ [59] ได้ทำการสร้างแก๊สเซนเซอร์โดยทำการตรวจวัดกับแก๊ส โดยทำการสร้างวัสดุในการตรวจวัดขึ้นจากกราฟีน ซึ่งจะทำการสังเคราะห์กราฟีนด้วยเทคนิค Chemical vapor deposition (CVD) ลงบนแผ่นซับสเตรตที่ทำจากทองแดง โดยใช้แก๊สผสมระหว่างแก๊สมิเทนและแก๊สไฮโดรเจนผ่านเข้าไปภายในระบบทำให้เกิดชั้นกราฟีนขึ้นบนแผ่นทองแดง จากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วทำการลอกแผ่นกราฟีนออกด้วยสารละลายเฟอร์ริคลอไรด์ ($FeCl_3$) แผ่นกราฟีนที่ได้จะถูกย้ายไปเกาะบนแผ่นซับสเตรตที่ทำจากกระจก (SiO_2/Si) จากนั้นทำการล้างด้วยอะซิโตนแล้วเป่าให้แห้งและนำไปอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ในการตรวจวัดแก๊สทำการต่อไฟฟ้ากระแสตรงและต่อเทอร์โมคัปเปิลชนิด Ni-Cr thermocouple เข้ากับแผ่นเซนเซอร์กราฟีนที่สร้างขึ้น ซึ่งในการตรวจวัดจะศึกษาจากค่าความต้านทานไฟฟ้า โดยนำแก๊สตัวอย่างได้แก่แก๊สแอมโมเนีย มีเทน และไฮโดรเจน มาทำการตรวจวัดกับเซนเซอร์ที่สร้างขึ้น ซึ่งผลการตรวจวัดพบว่าเมื่อให้ความเข้มข้น และอุณหภูมิในการตรวจวัดแก๊สตัวอย่างสูงขึ้น ค่าความเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น ตามลำดับ

2.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.7.1 เครื่องตรวจวัดสารด้วยการดูดกลืนแสง (UV-vis spectrophotometer)

ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ศึกษาการดูดกลืนแสงหรือรังสีที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ตและวิสิเบิลจะอยู่ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190-800 นาโนเมตร ของสารเคมี ส่วนใหญ่ได้แก่ พวกลสารอินทรีย์ (Organic compound) หรือสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) หรือสารอนินทรีย์ (Inorganic compound) ทั้งที่มีสีและไม่มีสี ซึ่งสมบัติของสารดังกล่าวนี้ได้นำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณอย่างกว้างขวาง เพราะวิธีนี้ให้ความถูกต้องแม่นยำดี และมีสภาพไว (Sensitivity) สูง [60]

ส่วนประกอบของเครื่อง UV-vis spectrophotometer

1. แหล่งกำเนิดแสง

แหล่งกำเนิดแสงจะต้องให้รังสีในช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการอย่างต่อเนื่องและคงที่ ตลอดเวลา รวมทั้งมีความเข้มแสงที่มากพอด้วยหลอดกำเนิดแสง มีหลายชนิดตามความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมา ซึ่งต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับของเหลวที่นำมาวัดค่าดูดกลืนแสง

2. โมโนโครมาเตอร์

ทำหน้าที่แยกลำแสงจากแหล่งกำเนิดแสงโดยแสงจะผ่านเข้าที่ช่องแสงเข้า (Entrance slit) และจะถูกแยกด้วยปริซึมหรือเกรตติง จากนั้นแสงที่มีความยาวคลื่นเดียวที่ต้องการเท่านั้นจะออกจาก โมโนโครมาเตอร์โดยผ่านทางช่องแสงออก (Exit slit).

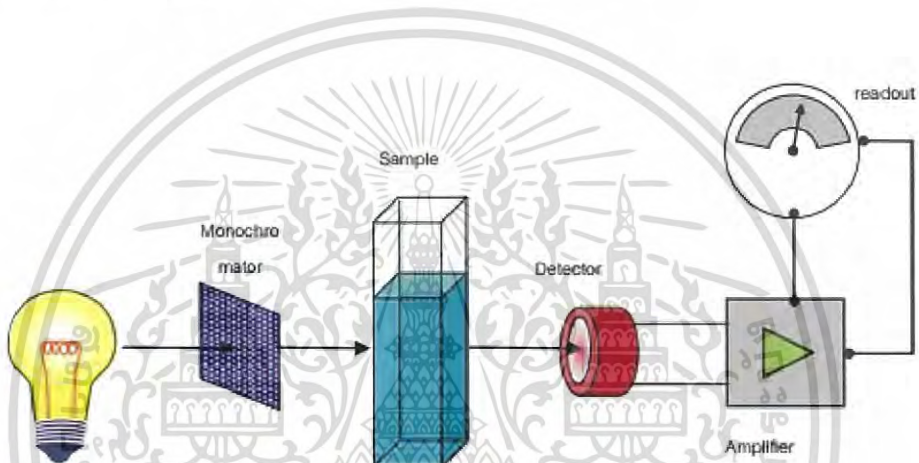
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เซลล์ที่ใช้บรรจุสารละลายตัวอย่าง

เป็นอุปกรณ์สำหรับใส่ตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ซึ่งจะต้องมีลักษณะโปร่งแสง การวิเคราะห์ในช่วงยูวี วัสดุที่นิยมใช้ได้แก่ Quartz หรือ Fused silica และการวิเคราะห์ช่วงวิสิเบิล จะใช้วัสดุที่เป็น Silicate glasses

4. เครื่องตรวจวัด

ทำหน้าที่ในการวัดความเข้มของรังสีที่ถูกดูดกลืนโดยการแปลงพลังงานคลื่นรังสีเป็นพลังงานไฟฟ้าเครื่องตรวจจับสัญญาณที่ดีต้องมีสภาพไวสูง คือแม้ปริมาณแสงจะเปลี่ยนไปเล็กน้อย ก็สามารถตรวจจับสัญญาณความแตกต่างได้ เครื่องวัดแสงที่ยังนิยมกันอยู่ในปัจจุบัน คือ หลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier tube, PMT) และเครื่องวัดแสงชนิดซิลิคอนไดโอด (Silicon diode detector)



รูปที่ 2.5 แสดงส่วนประกอบของเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยแหล่งกำเนิดแสงจะส่งผ่านลำแสงไปตกกระทบกับโมโนโครมาเตอร์ผ่านไปยังสารตัวอย่างเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณทำการแปลงสัญญาณแล้วส่งไปยังหน้าจอแสดงผล [61]

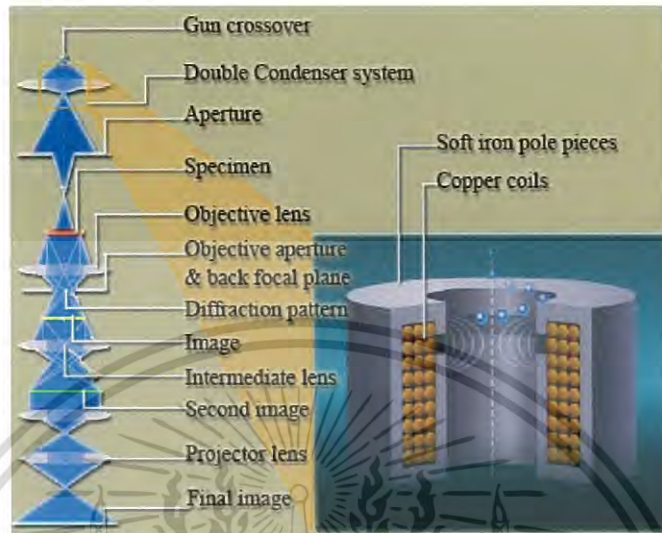
2.7.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscope : TEM)

เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่ใช้ศึกษาตัวอย่างชนิดบาง ซึ่งเตรียมขึ้นโดยวิธีพิเศษ เพื่อให้ลำอนุภาคอิเล็กตรอนผ่านทะลุได้ การสร้างภาพจากกล้องประเภทนี้จะทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่ทะลุผ่านตัวอย่างนั่นเอง กล้อง TEM จะเหมาะสำหรับศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบภายในของตัวอย่าง เช่น องค์ประกอบภายในเซลล์ ลักษณะของเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์ เป็นต้น

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีหลักการทำงาน [62] แสดงดังรูปที่ 2.6 โดยจะประกอบด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนซึ่งทำหน้าที่ผลิตอิเล็กตรอนเพื่อป้อนให้กับระบบ โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่มอิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี (Condenser lens) เพื่อทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ซึ่งจะสามารถปรับให้ขนาดของลำอิเล็กตรอนใหญ่หรือเล็กได้ตามต้องการ จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านตัวอย่างที่จะศึกษา (Specimen) ไปซึ่งตัวอย่างที่จะศึกษานั้นจะต้องมีลักษณะที่แบนและบางมาก จากนั้นจะเกิดการกระเจิงของอนุภาคขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนทะลุผ่านตัวอย่างไป และอิเล็กตรอนที่ทะลุ

เอกสารนี้ผ่านตัวอย่างนี้ก็จะถูกปรับโฟกัสของภาพด้วยเลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) ซึ่งเป็นเลนส์ที่ทำหน้าที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขยายภาพให้ได้รายละเอียดมากที่สุด จากนั้นจะได้รับการขยายด้วยเลนส์ทอดภาพไปสู่จอร์บ (Projector lens) และปรับโฟกัสของลำอนุภาคอิเล็กตรอนให้ยาวพอดีที่จะปรากฏบนฉากเรืองแสงสุดท้ายจะเกิดการสร้างภาพขึ้นมา



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง TEM [62]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การรีดิวซ์กราฟไฟต์ให้เป็นกราฟีนออกไซด์ด้วยไฮดราซีน

(Hydrazine-reduction of graphite and graphene oxide)

Sungjin Park และคณะ [63] ได้นำเสนอวิธีในการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จากกราฟไฟต์ออกไซด์โดยใช้วิธีการทางเคมีด้วยการรีดิวซ์ซึ่งการสังเคราะห์กราฟไฟต์ออกไซด์ทำโดยใช้การประยุกต์วิธีของฮัมเมอร์ (Hummers method) จากนั้นเมื่อได้กราฟไฟต์ออกไซด์มาแล้วจึงนำมาทำให้เป็นสารละลายโดยการผสมน้ำบริสุทธิ์ โดยใช้ที่ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จึงนำมาทำการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยการนำกราฟไฟต์ออกไซด์มาโซนิเคตเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วทำการรีดิวซ์ด้วยไฮดราซีนโมโนไฮเดรต 98เปอร์เซ็นต์ และให้ความร้อนที่คงที่ที่ 80 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำร้อนเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในขณะที่ปั่นกวนไปด้วย เมื่อกระบวนการเสร็จสมบูรณ์แล้วจะได้สารละลายสีดำและจะมีเศษตะกอนของผงกราฟไฟต์ส่วนเกินเหลืออยู่ เมื่อนำมาไว้ที่อุณหภูมิห้องจนเย็นก็นำมากรองตะกอนของกราฟไฟต์ส่วนเกินออก ส่วนอีกวิธีการหนึ่งจะทำการสังเคราะห์กราฟไฟต์ออกไซด์ทำโดยการนำกราฟไฟต์ออกไซด์มาเติมด้วยน้ำบริสุทธิ์จนได้ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร จากนั้นนำมารีดิวซ์ด้วยไฮดราซีนโมโนไฮเดรต 98 เปอร์เซ็นต์ และให้ความร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ในขณะที่ปั่นกวนไปด้วย เมื่อกระบวนการเสร็จสมบูรณ์แล้วจะได้สารละลายสีดำและจะมีเศษตะกอนของผงกราฟไฟต์ส่วนเกินเหลืออยู่ เมื่อนำมาไว้ที่อุณหภูมิห้องจนเย็นก็นำมากรองตะกอนของกราฟไฟต์ส่วนเกินออก

จากการศึกษาในการพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้การตรวจวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่ารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีการหลุดลอกออกเป็นแผ่นแต่ยังคงมีการซ้อนทับกันระหว่างชั้นอยู่ และนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ (XPS) จะพบว่ากราฟไฟต์

ออกไซด์จะพบพีคขึ้น 2 พีค คือพีคที่ 284.6 และ 286.7 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นพีคของคาร์บอนที่เป็น sp^2 (C-C) และพีคของ C-O พันธะเดี่ยว ส่วนรีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์จะมีพีคขึ้นพีคเดียวคือ 284.6 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งเป็นพีคของคาร์บอนที่เป็น sp^2 (C-C) และนำมาวิเคราะห์ด้วยการใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) จะพบว่ากราฟไฟต์ออกไซด์ ที่มีมุม 2 theta เท่ากับ 10.6 องศา มีระยะห่างระหว่างชั้นอยู่ที่ 8.32 อังสตรอม ส่วนรีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์ ที่ 2 theta เท่ากับ 18.5 องศา และมีระยะห่างระหว่างชั้นอยู่ที่ประมาณ 3.7-3.8 อังสตรอม

2.8.2 การสังเคราะห์แผ่นกราฟีนตามโดยใช้วิธีการรีดิวซ์ผิวของกราฟไฟต์ออกไซด์

(Synthesis of graphene-based nanosheets via chemical reduction of exfoliated graphite oxide)

Sasha Stankovich และคณะ [64] ได้นำเสนอวิธีในการสังเคราะห์แผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ขึ้นโดยใช้การรีดิวซ์ที่บริเวณผิวของกราฟไฟต์ออกไซด์ โดยทำการนำผงกราฟไฟต์ออกไซด์ที่ได้จากการประยุกต์วิธีของฮัมเมอร์ (Hummers method) มา 100 มิลลิกรัม ใส่ในขวดก้นกลม 250 มิลลิลิตร เติมน้ำบริสุทธิ์ 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายสีน้ำตาล-เหลือง จากนั้นจึงสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยการนำกราฟไฟต์ออกไซด์มาโซนิเคตโดยใช้เครื่อง Fisher scientific FS60 แล้วทำการรีดิวซ์ด้วยไฮดราซีนโมโนไฮเดรต 98 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการเติม 1 มิลลิตร (32.1 มิลลิโมล) และให้ความร้อนที่คงที่ในอ่างน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้เป็นสารสีดำออกมา

จากการศึกษาในการพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยแสดงให้เห็นว่าความบางของแผ่นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีความบางมากโดยจะบางน้อยกว่า 2 นาโนเมตร ส่วนในการศึกษาการพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ (XPS) จะพบว่ากราฟไฟต์ออกไซด์จะมีพีคของ C=O ที่ 287.8 eV, C-O ที่ 286.2 eV, C-C ที่ 284.8 eV, และ C(O)O ที่ 289.0 eV ส่วนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีพีคเดียวคือ 284.5 eV คือพีคของ C-C และจากการศึกษาในการพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้เครื่องเครื่องรามานสเปกโตรมิเตอร์จะพบว่ากราฟไฟต์จะมีพีค G ที่ $1,581\text{ cm}^{-1}$ ส่วนกราฟไฟต์ออกไซด์จะมีพีค G ที่ $1,594\text{ cm}^{-1}$ และพีค D ที่ $1,363\text{ cm}^{-1}$ โดยพีค G จะสูงกว่าพีค D เล็กน้อย ส่วนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะมีพีค G ที่ $1,584\text{ cm}^{-1}$ และพีค D ที่ $1,352\text{ cm}^{-1}$ โดยพีค D จะสูงกว่าพีค G เล็กน้อยและการวัดค่าการนำไฟฟ้า โดยการสังเคราะห์แผ่นกราฟีนในงานวิจัยนี้ พบว่าจะทำให้เป็นกราฟีนบางลง และเมื่อนำไปวัดค่าการนำไฟฟ้าพบว่ากราฟไฟต์ออกไซด์มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดที่ $0.0206 \pm 0.002\ \Omega$ ส่วนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีค่าการนำไฟฟ้าสูงสุดที่ $2420 \pm 200\ \Omega$ จึงทำให้สามารถบอกได้ว่าการทำแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์โดยการรีดิวซ์กราฟไฟต์ออกไซด์ด้วยไฮดราซีนโมโนไฮเดรตจะทำให้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์มีค่าการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น

2.8.3 การสังเคราะห์อนุภาคทองคำนาโนโดยวิธีการใช้ซิเตรตและรังสีแกมมา

(The synthesis of gold nanoparticles by a citrate-radiolytical method)

Nikolina Hazic และคณะ [65] ได้นำเสนอวิธีในการสังเคราะห์อนุภาคทองคำในระดับนาโนด้วยวิธีการใช้รังสีแกมมา โดยใช้สารละลายทองคำ (III) คลอไรด์ ($\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) เป็นสารตั้งต้นในการเกิดอนุภาคของทองและมีไตรโซเดียมซิเตรตทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และรักษาเสถียรภาพของอนุภาคทองคำในระดับนาโน โดยจะแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน ได้แก่ขั้นตอนแรกจะเป็นการเตรียมไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายโกลด์ (III) คลอไรด์โดยละลายในน้ำกลั่นปราศจากไอออน และเตรียมสารละลายโซเดียมซิเตรททำการละลายในน้ำกลั่นปราศจากไอออน และส่วนขั้นตอนที่สองจะเป็นการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนโดยจะเริ่มจากนำสารละลายโกลด์ (III) คลอไรด์ มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเติมด้วยไตรโซเดียมซิเตรต โดยตัวสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตจะมาเป็นตัวรีดิวซ์เพื่อให้สารละลายโกลด์ (III) คลอไรด์ ที่เป็น Au^{+3} กลายเป็น Au^0 และการฉายรังสีแกมมาเข้าไปเป็นเวลา 20 นาที และทำการเติมอากาศและแก๊สไนโตรเจน (N_2) เข้าไปในระหว่างเกิดปฏิกิริยาเพื่อสังเกตอนุภาคทองระดับนาโนที่สังเคราะห์ขึ้น

จากการศึกษาในการพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้เครื่อง UV-vis พบว่าในการให้รังสีแกมมาเข้าไป ยิ่งความเข้มข้นของรังสีมีมากขึ้นจะทำให้เกิดเซอร์เฟสพลาสมอนเรโซแนนซ์ โดยถ้าเป็นสารละลายที่เติมแก๊สไนโตรเจนลงไปจะเกิดการเลื่อนของช่วงความยาวคลื่นจาก 511 นาโนเมตร ไปเป็น 517 นาโนเมตร ส่วนถ้าเป็นสารละลายที่เติมอากาศทั่วไปลงไปจะเกิดการเลื่อนของช่วงความยาวคลื่นจาก 520 นาโนเมตร ไปเป็น 524 นาโนเมตร และเมื่อนำไปทำการศึกษาในการพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) โดยแสดงให้เห็นอนุภาคของทองนาโนที่สังเคราะห์ในอากาศทั่วไปลงไปนั้นขนาดของอนุภาคมีขนาดใกล้เคียงกันในทุกความเข้มข้นของรังสีแกมมาและในงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าจะสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคทองในระดับนาโนได้โดยการควบคุมแก๊สที่ให้เข้าไปโดยถ้าให้แก๊สออกซิเจนเข้าไปจะได้ขนาดอนุภาคประมาณ 10 นาโนเมตร แต่ถ้าให้แก๊สไนโตรเจนเข้าไปจะได้ขนาดอนุภาคประมาณ 5 นาโนเมตร

2.8.4 การสังเคราะห์ อธิบายลักษณะ และคุณสมบัติทางแสง ของโครงสร้างอนุภาคเงินกับกราฟีน

(Ag/GrapheneHeterostructures : Synthesis, Characterization and Optical Propoties)

jing Li และคณะ [66] ได้ทำการสังเคราะห์โครงสร้างของอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรกับ กราฟีน และทำการศึกษาลักษณะ และคุณสมบัติทางแสง โดยทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีการ 4 ขั้นตอนได้แก่ขั้นตอนแรกจะเป็นการเกิดออกซิเดชันของกราฟไฟต์ไปเป็นกราฟไฟต์ออกไซด์โดยใช้การประยุกต์วิธีจาก Hummers เพื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างชั้นกราฟไฟต์ ขั้นตอนที่สองจะเป็นการทำการโซนิเคชัน (Sonication) โดยนำกราฟไฟต์ออกไซด์ 50 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 50 กรัม ทำการโซนิเคชันนาน 1 ชั่วโมง ได้กราฟีนออกไซด์ ขั้นตอนที่สามจะทำการสะสม (Deposition) โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรท ($AgNO_3$) 2 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลายกราฟีนออกไซด์ 20 มิลลิลิตร ทำการปั่นกวนนาน 30 นาที แล้วใส่โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) 10 มิลลิลิตร แล้วทำการปั่นกวนต่ออีก 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จะได้สารละลายสีน้ำตาล และขั้นตอนที่สี่จะเป็นการทำการรีดักชัน (Reduction) โดยใส่โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) 20 มิลลิลิตร ใส่ลงในสารละลายที่เตรียมขึ้นจากในขั้นตอนที่สาม และทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศแก๊สไนโตรเจนสีของสารละลายจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลเป็นสีดำ ซึ่งได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีอนุภาคเงินเกาะอยู่ จากนั้นนำไปทำการพิสูจน์เอกลักษณ์โดยใช้เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านชนิดแยกชัดสูง (HRTEM), เทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD), เทคนิครามาน สเปกโตรสโคปี, เทคนิคการวิเคราะห์ผิววัสดุ (XPS) และ เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโคปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาลักษณะด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านชนิดแยกชัดสูง พิสูจน์ได้ว่าโครงสร้างของรีดิวซ์กราฟีนกับอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะเป็นแผ่นบาง และมีขนาดใหญ่ซึ่งมีการยึดเกาะของอนุภาคของเงินในระดับนาโนอยู่ โดยมีอนุภาคเงินระดับนาโนมีขนาดที่พบมากที่สุดคือ 8.95 นาโนเมตรและจากการศึกษาด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน พบว่าอนุภาคเงินระดับนาโนขึ้นพีคที่ระนาบ {200} และ {111} จากการศึกษาดูด้วยเทคนิครามาน สเปคโตรสโคปี พีคที่เกิดขึ้นมี 2 พีค คือพีค D band ($1,335\text{ cm}^{-1}$) และที่ G band ($1,600\text{ cm}^{-1}$) และจากการศึกษาดูด้วยเทคนิค เทคนิคการวิเคราะห์ผิววัสดุ (XPS) เพื่อยืนยันว่าเมื่อทำการรีดักชันจะทำให้หมู่ออกไซด์ลดลง และจากการศึกษาดูด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรสโคปี โดยอธิบายการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ขึ้นพีคที่ความยาวคลื่น 2 คือ 230 นาโนเมตร และ 303 นาโนเมตร และการดูดกลืนแสงของกราฟีนกับอนุภาคเงินในระดับนาโน จะขึ้นพีคที่ความยาวคลื่น 2 คือ 262 นาโนเมตร และ 422 นาโนเมตร

2.8.5 การสังเคราะห์วัสดุแต่งประกอบอนุภาคทองระดับนาโนกับกราฟีนออกไซด์ที่มีความจำเพาะเจาะจงและความไวทางเคมีไฟฟ้าเพื่อตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก (Synthesis of Au/Graphene Oxide Composites for Selective and Sensitive Electrochemical Detection of Ascorbic Acid)

Jian Song และคณะ [67] ได้ทำการประยุกต์สร้างขั้วไฟฟ้าจากวัสดุแต่งประกอบของอนุภาคทองในระดับนาโนและกราฟีนออกไซด์เพื่อการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid) ในผู้ป่วยและยา โดยทำการสังเคราะห์วัสดุแต่งประกอบอนุภาคทองระดับนาโนกับกราฟีนออกไซด์จากการใส่กราฟีนออกไซด์ 4 มิลลิกรัม ลงในน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ทำการปั่นจนภายใต้อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง จากนั้นใส่ HAuCl_4 5, 10, 15, และ 20 มิลลิกรัม และปั่นจนต่ออีก 30 นาที จากนั้นใส่โซเดียมซิเตรต และปั่นจนต่ออีก 30 นาที จากนั้นทำการให้ความร้อนแก่สารละลายที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส พร้อมทำการปั่นจนนาน 1 ชั่วโมง จะได้อนุภาคทองในระดับนาโนทำการล้างด้วยน้ำกลั่น และเข้าเครื่องปั่นเหวี่ยงเพื่อกำจัดอนุภาคทองระดับนาโนที่ไม่ได้ทำการยึดเกาะ จากนั้นอบสารที่ได้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง จากนั้นทำการสร้างอิเล็กโทรดจากวัสดุแต่งประกอบที่สังเคราะห์ขึ้นโดยนำอนุภาคทองระดับนาโนและกราฟีนที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองข้างต้น 5 มิลลิกรัม ใส่ลงในสารละลายเอทานอล 1 มิลลิลิตร จากนั้นทำการโซนิเคชัน นาน 1 ชั่วโมง นำขั้วไฟฟ้าคาร์บอน (Glass carbon electrodes) จุ่มลงในสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนและกราฟีนออกไซด์ จากนั้นนำขั้วไฟฟ้าที่สังเคราะห์ขึ้น มาทำการวัดกรดแอสคอร์บิก

จากการศึกษาลักษณะอนุภาคทองในระดับนาโนและกราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่าอนุภาคทองระดับนาโนมีการกระจายอยู่บน แผ่นกราฟีนออกไซด์ และจากการศึกษาลักษณะด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) พบว่าขึ้นพีคที่ระนาบ {111} และ {200} ดังนั้นโครงสร้างอนุภาคทองระดับนาโนที่ยึดเกาะบนกราฟีนออกไซด์มีลักษณะแบบ Face centered cubic และจากการศึกษาลักษณะด้วยเทคนิครามาน สเปคโตรสโคปี พบว่าขึ้นพีคที่ D band และ G band ซึ่งเป็นพีคเฉพาะของกราฟีนออกไซด์ และจากการศึกษาลักษณะด้วยเทคนิค เทคนิควิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของวัสดุ (TGA) พบว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส จะเกิดการระเหยออกของน้ำที่หุ้มมวลของน้ำหายไป และจากอุณหภูมิระหว่าง 200-

เซลเซียส คือกราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองระดับนาโน โดยการตรวจวัดกรดแอสคอร์บิก (Ascorbic Acid) ของขั้วไฟฟ้าอนุภาคทองระดับนาโนและกราฟีนออกไซด์พบว่าสามารถทำการตรวจวัดความเข้มข้นของกรดแอสคอร์บิก ได้ในช่วง 100 นาโนโมลาร์ถึง 1 มิลลิโมลาร์ โดยให้ค่าความเป็นเส้นตรงที่ 0.9886 โดยขั้วไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนี้มีการตอบสนองที่ไว สามารถตรวจวัดกรดแอสคอร์บิกที่ความเข้มข้นต่ำได้ดี มีจำเพาะเจาะจงในการตรวจวัดสูง และให้ความถูกต้องในการตรวจวัดที่ดี

2.8.6 การสร้างหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลที่เกาะกับอนุภาคทองระดับนาโนที่เกาะบนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์สำหรับการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย (Carboxyl functionalized Gold Nanoparticles in situ grown on Reduced Graphene Oxide for Micro-Gravimetric Ammonia Sensing)

Xiaoyuan Xia และคณะ [68] นำเสนอการตรวจวัดแอมโมเนียโดยอาศัยหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิล(COOH)บนแผ่นฟิล์มที่สร้างขึ้นจากอนุภาคทองระดับนาโนกับรีดิวซ์กราฟีน โดยทำการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์ด้วยการประยุกต์จากวิธีของ Hummers ซึ่งทำการออกซิเดชันกราฟีน โดยเติมสารละลายกรดผสมระหว่างกรดซัลฟิวริก 85 % และกรดไนตริก 68 % ในอัตราส่วน 3:1 จำนวน 80 มิลลิลิตร จากนั้นทำการปั่นจนต่อ 10 นาที ได้สารละลายกราฟีนออกไซด์ นำสารไปทำการปั่นเหวี่ยง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นปริมาณมาก จากนั้นนำตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 900 องศาเซลเซียส เพื่อระเหยโมเลกุลของกรดออกเกิดกราฟีนออกไซด์ และนอกจากนี้ที่อุณหภูมิสูงยังทำให้เกิดการหลุดออกของหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนบางหมู่เช่น อีพอกไซด์ คาร์บอกซิล และไฮดรอกซิล ได้รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และสังเคราะห์วัสดุแต่งประกอบของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองระดับนาโนโดยนำผงรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 10 มิลลิกรัม ใส่ลงในสารละลาย Oleylamine 10 มิลลิลิตร ปั่นจนภายใต้อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นใส่ HAuCl₄ 42 มิลลิกรัม ให้อุณหภูมิต่อจนสูงถึง 180 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้จนสารละลายเย็นตัวลง แล้วไปทำการปั่นเหวี่ยง จากนั้นทำการล้างด้วยเฮกเซน และเอทานอล อบให้แห้ง จากนั้นทำการสังเคราะห์หมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลให้เกาะกับอนุภาคทองระดับนาโนโดยใช้ Mercaptosuccinicacide (MSA) ซึ่ง 1 โมเลกุลมี 2 หมู่คาร์บอกซิล โดยนำ MSA มา 100 มิลลิกรัม ใส่ลงในเอทานอล 10 มิลลิลิตร จากนั้นใส่รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองนาโน 0.001 กรัม ทิ้งไว้ นาน 8 ชั่วโมง ทำการกรอง ล้าง แล้วอบ จากนั้นนำสารที่สังเคราะห์ได้มา 5 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่นปราศจากไอออน 1 มิลลิลิตร แล้วทำการโซนิเคต จากนั้นนำสารมา 0.1 ไมโครลิตร หยดลงบน Microcantilever จากนั้นนำมาอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง

ผลการศึกษาด้วยเทคนิครามาน สเปกโตรสโคปี พบว่าพีคของกราฟีนออกไซด์จะขึ้น 2 พีค คือ 1,353 cm⁻¹ (D peak) และ 1,577 cm⁻¹ (G peak) ส่วนรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จะขึ้น 3 พีค คือ 1,353 cm⁻¹ (D peak), 1,577 cm⁻¹ (G peak) และ 2,711 cm⁻¹ (2D peak) และจากการศึกษาด้วยเทคนิคเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (XRD) พบว่าโครงสร้างของอนุภาคทองระดับนาโนยึดเกาะกับแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ในรูปแบบ Face centered cubic และการศึกษาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) พบว่าอนุภาคทองระดับนาโนมีการกระจายตัวและยึดเกาะบนแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และการศึกษาด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (DSC) พบว่าที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสเป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากโมเลกุลของหมู่ออกซิเจนของหมู่กรดหลุดออกไป และจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เพื่อให้เห็นลักษณะของรีดิวซ์

กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองคำนาโนบน microcantilever และจากการศึกษาการตรวจวัดแอมโมเนีย ที่ความเข้มข้น 10-300 ppm ให้ค่าความเป็นเส้นตรงที่ 0.99 โดยเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นนี้มีความจำ เพราะเจาะจงกับแอมโมเนียสูง สามารถตรวจวัดแอมโมเนียที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 10 ppm ได้ เซนเซอร์มีความเสถียร และให้ผลการตรวจวัดซ้ำที่ดี

2.8.7 พฤติกรรมการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียบนพื้นผิวของกราฟีนที่มีอนุภาคทองในระดับนาโน (Ammonia gas sensing behavior of Graphene Surface decorated with Gold Nanoparticles)

Madhav Gautam และคณะ [69] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียของวัสดุแต่งประกอบที่สร้างขึ้นจากกราฟีนและอนุภาคทองในระดับนาโน โดยการสังเคราะห์กราฟีนขึ้นจากเทคนิค Chemical vapor deposition (CVD) ลงบนซับสเตรตที่ทำจากคอปเปอร์ โดยใช้แก๊สผสมระหว่างแก๊สมีเทนและแก๊สไฮโดรเจนผ่านเข้าไปภายในระบบและทำการตรวจสอบด้วยเทคนิค Raman spectroscopy โดยสร้างแผ่นฟิล์มกราฟีนลงบนซับสเตรต SiO₂/Si และทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน จาก HAuCl₄ และใช้โพแทสเซียมโบโรไฮไดรด์ (KBH₄) เป็นสารรีดิวซ์อนุภาคทองไปเป็นอนุภาคทองในระดับนาโน และทำให้อนุภาคทองระดับนาโนไปยึดเกาะบนแผ่นของกราฟีนโดยนำอนุภาคทองระดับนาโนกับแผ่นกราฟีนไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะแก๊สไฮโดรเจน นาน 1 ชั่วโมง โดยที่อุณหภูมิดังกล่าว อนุภาคทองจะเกิดการรวมตัวขึ้นบนพื้นผิวของแผ่นกราฟีน และในขั้นตอนการตรวจแก๊ส ใช้ภาชนะ (Chamber) ที่สร้างจากควอตซ์ (Quartz) โดยเซนเซอร์จะถูกหมุนจนแห้งและอบที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ให้กระแสไฟฟ้าตรง และใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด Ni-Cr เชื่อมต่อกับแผ่นฟิล์ม และใช้วาล์วในการควบคุมอัตราการไหลของแก๊สแล้ววัดการตอบสนองของแผ่นฟิล์มเซนเซอร์จากค่าความเปลี่ยนแปลงความต้านทานบนแผ่นฟิล์มบนหน้าจอของเครื่องมัลติมิเตอร์ (Multimeter) ซึ่งใช้หน่วยแสดงผลเป็นเมกาโอห์ม การศึกษาเอกลักษณ์ด้วยเทคนิครามาน สเปกโตรสโคปี พบว่าอนุภาคทองระดับนาโนไปบนแผ่นกราฟีนจะขึ้น 3 พีคได้แก่ 1,330 cm⁻¹ (D band), 1,580 cm⁻¹ (G band) และ 2,660 cm⁻¹ (2D band) จากอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นเพื่อตรวจวัดแอมโมเนียนี้ พบว่าการตรวจวัดอุปกรณ์ให้ผลการตรวจวัดซ้ำได้ดี เมื่อทำการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 15-58 ppm ได้ที่อุณหภูมิห้องให้ความจำเพราะเจาะจงที่มากและให้สัญญาณที่สูง

2.8.8 การตรวจวัดกรดอะมิโนที่ไม่ใช้สารติดฉลากบนวัสดุแต่งประกอบระดับนาโนของกราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองคำในระดับนาโน (Label-free Amino Acid detection based on Nanocomposites of Graphene Oxide hybridized with Gold Nanoparticles)

Qian Zhang และคณะ [70] ได้นำเสนอการตรวจวัดกรดอะมิโนที่ไม่ใช้สารติดฉลากบนวัสดุแต่งประกอบระดับนาโนระหว่างกราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองคำในระดับนาโน โดยมีขั้นตอนการสังเคราะห์สารสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจะเป็นการสังเคราะห์วัสดุแต่งประกอบโดยการเกิดรีดักชันของสารละลายโกลด์ (III) คลอไรด์ (HAuCl₄) ซึ่งจะใช้โซเดียมซิติเรทเป็นตัวรีดิวซ์และรักษา

เอกสารนี้เผยแพร่โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อให้นักศึกษา อาจารย์ และบุคลากรในมหาวิทยาลัยได้ใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 80 องศาเซลเซียส พร้อมกับการปั่นกวนสารตลอดการทดลอง โดยสีของสาร จะเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีไวน์แดง จากนั้นวางทิ้งไว้ในที่มีดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และส่วนชั้นที่สองจะนำกรดอะมิโนมา 4 ชนิด ได้แก่ ซีสเทอีน (Cys) , กรดแอสพาร์ติก (Aps), กรดกลูตามิก (Glu) และ วาลีน (Val) โดยในขั้นตอนนี้จะทำการเติมกรดอะมิโนแต่ละชนิดลงในสารที่สังเคราะห์ที่ได้ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษการเปรียบเทียบการตรวจติดตามกรดอะมิโนที่อยู่ในวัสดุแต่งประกอบที่สังเคราะห์ขึ้น นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการตรวจวัดของวัสดุแต่งประกอบเมื่อเทียบกับกราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองระดับนาโน และจากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี พบว่าวัสดุแต่งประกอบระดับนาโนจะให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด และเมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงมาสร้างกราฟมาตรฐาน วัสดุแต่งประกอบจะมีช่วงความเป็นเส้นตรงมากกว่ากราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองคำระดับนาโน และเมื่อตรวจสอบการมองด้วยตาเปล่าจะโดยจะทำการเปรียบเทียบสีของวัสดุแต่งประกอบที่ทำการเติมกรดอะมิโนลงไปกับกราฟีนออกไซด์ และอนุภาคทองระดับนาโน จะพบว่ากราฟีนออกไซด์ เมื่อเติมกรดอะมิโนในแต่ละชนิดลงไป จะไม่มีเปลี่ยนสีเกิดขึ้น ในขณะที่สารละลายอนุภาคทองคำในระดับนาโนและวัสดุแต่งประกอบระดับนาโนจะมีสีที่คล้ายกันคือสีแดงเมื่อทำการเติมกรดอะมิโนในแต่ละชนิดลงไปจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสีขึ้นคือสารละลายอนุภาคทองคำในระดับนาโนเมื่อเติม Cys, Aps และGlu ลงไปในแต่ละชนิดจะเปลี่ยนสีจากสีแดงไปเป็นสีฟ้า แต่จะไม่เปลี่ยนสีของ Val

2.8.9 การสังเคราะห์แผ่นกราฟีนหลายชั้นด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-Layer Assembly for Graphene-Based Multilayer Nanocomposites: Synthesis and Applications)

Taemin Lee และคณะ [71] ได้ทำสร้างแผ่นฟิล์มวัสดุนาโนของคาร์บอนได้แก่ ท่อคาร์บอนนาโน, กราฟีนและวัสดุแต่งประกอบระดับนาโนของกราฟีนด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น ซึ่งเทคนิคนี้เป็นการอาศัยประจุต่างชนิดของสารในการสร้างฟิล์ม โดยการสร้างแผ่นฟิล์มจะแบ่งเป็นสองขั้นตอน ได้แก่ขั้นตอนแรกจะเป็นการนำท่อคาร์บอนนาโนกราฟีนและวัสดุแต่งประกอบระดับนาโน ของกราฟีนมาทำการปรับปรุงพื้นผิวให้มีคุณสมบัติที่มีความชอบน้ำ ส่วนขั้นตอนที่สองจะทำการสร้างแผ่นฟิล์มของวัสดุนาโนต่างๆด้วยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น โดยเทคนิคนี้จะใช้สารให้ประจุลบเป็นกรดคาร์บอกซิลิก และสารให้ประจุบวกเป็นสารประกอบของแอมโมเนียมซึ่งประจุที่ต่างชนิดกันนี้จะเกิดการยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงไฟฟ้าสถิตเกิดเป็นแผ่นฟิล์มขึ้น โดยจุ่มท่อนาโนคาร์บอนกราฟีนและวัสดุแต่งประกอบระดับนาโนของกราฟีนลงในเอทิลีนไดเอมีน จากนั้นทำการชะล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนแล้วจุ่มต่อด้วยโพลิสไตรีน ซัลโฟนิคแอซิด (PSS) จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนอีกครั้งทำการจุ่มสารทั้งสองสลับกันจนได้ชั้นฟิล์ม นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี

จากการศึกษาค่าการดูดกลืนแสงด้วยยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตเมทรี พบว่าท่อนาโนคาร์บอน และกราฟีนเมื่อทำการเพิ่มจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มให้มีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงขึ้นและเช่นเดียวกันเมื่อนำวัสดุแต่งประกอบระดับนาโนของกราฟีนมาทำการเพิ่มจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มจะพบว่าค่าการดูดกลืนแสงจะสูงขึ้นเมื่อจำนวนชั้นเพิ่มขึ้นและนำท่อนาโนคาร์บอน กราฟีน และวัสดุแต่งประกอบระดับนาโนของกราฟีนทำการตรวจวัดด้วยเทคนิคโวลแทมเมทรีโดยสร้างกราฟระหว่าง

จำนวนชั้นของวัสดุนาโนกับค่าการนำไฟฟ้าจะพบว่าวัสดุนาโนทั้งสามชนิดเมื่อทำการเพิ่มจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ค่าการนำไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

2.8.10 การสังเคราะห์วัสดุแต่งประกอบของกราฟีนออกไซด์กับโพลีอิมิดีเล็กโทรไลต์ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ในการใช้เป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจหาความชื้น (Ultrahigh performance humidity sensor based on layer-by-layer self-assembly of graphene oxide/polyelectrolyte nanocomposite film)

Dongzhi Zhang และคณะ [72] ได้ทำการสังเคราะห์วัสดุแต่งประกอบของกราฟีนออกไซด์กับโพลีอิมิดีเล็กโทรไลต์ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ในการใช้เป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจหาความชื้น โดยการสังเคราะห์จะใช้เทคนิคการสร้างฟิล์มแบบการเคลือบผิวด้วยไอเคมี โดยทำการสร้างชั้นฟิล์มระหว่างกราฟีนออกไซด์กับโพลีอิมิดีเล็กโทรไลต์ซึ่งจะใช้เป็น Poly(diallyl dimethyl ammonium chloride) หรือ PDAD และ Poly(styrene sulfonic acid) หรือ PSS โดยจะใช้ Polyimide (PI) เป็นชั้นสเตรททำการเคลือบ PDAD ลงบนชั้นสเตรทจากนั้นใส่ PSS ลงไปแล้วตามด้วย PDAD อีกครั้งจากนั้นใส่ กราฟีนออกไซด์ลงไปเคลือบบนผิวของชั้นสเตรท โดยงานวิจัยนี้จะใช้นิกเกิลกับคอปเปอร์เป็นอิเล็กโทรด ภายใต้บรรยากาศของแก๊สไนโตรเจน จากนั้นจะนำฟิล์มที่สังเคราะห์ได้มาทำการตรวจวัดกับสารละลายอิมิตัวที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 11-85 เปอร์เซ็นต์โดยทำการต่อเข้ากับเครื่อง LCR แล้วต่อกับคอมพิวเตอร์ และตรวจดูโครงสร้างฟิล์มด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD)

จากการศึกษาโครงสร้างของแผ่นฟิล์มด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (XRD) จะพบระยะห่างของชั้นของ GO/PDAD คือ 8.27 อังสตรอม ซึ่งจะใหญ่กว่าฟิล์มของ GO คือ 7.76 อังสตรอม และเมื่อนำเซนเซอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นมาตรวจวัดกับสารละลายอิมิตัวที่มีความชื้นอยู่ในช่วง 11-85 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการสแกนความถี่ในช่วง 2500 Hz - 1 MHz จะพบว่าค่าความสามารถในการตรวจวัดลดลงเมื่อเพิ่มความถี่และเมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นเพิ่มขึ้นความสามารถในการตรวจวัดของเซนเซอร์ก็เพิ่มขึ้นด้วยเมื่อทำการควบคุมความถี่คือที่ 10 kHz และจากการทดสอบระยะเวลาในการกลับคืนของเซนเซอร์เมื่อทำการตรวจวัดโดยใช้ลมหายใจเป่าผ่านเซนเซอร์ที่สังเคราะห์ขึ้นแล้วมีการตอบสนองที่เร็วและมีระยะเวลาในการกลับคืนสั้น จึงสามารถใช้เซนเซอร์นี้วัดความชื้นในลมหายใจของมนุษย์ได้และมีช่วงระยะเวลาในการทำงานที่ยาวนาน เนื่องจากเมื่อทำการวัดความชื้นเป็นเวลา 60 วัน เซนเซอร์ที่สังเคราะห์ยังคงสามารถให้ค่าการตรวจวัดที่คงที่

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้ ขั้นตอนที่หนึ่งคือ สังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical reduction method) โดยใช้ไฮดราซีนเป็นตัวรีดิวซ์ ขั้นตอนที่สองคือ การสังเคราะห์อนุภาคของระดับนาโน ด้วยวิธีการทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ขั้นตอนที่สามคือ การทำวัสดุแต่งประกอบ และในขั้นตอนสุดท้ายคือ การศึกษาความสามารถในการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย

3.1 วิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical reduction method)

3.1.1 วิธีการสังเคราะห์กราฟีนไฟต์ออกไซด์

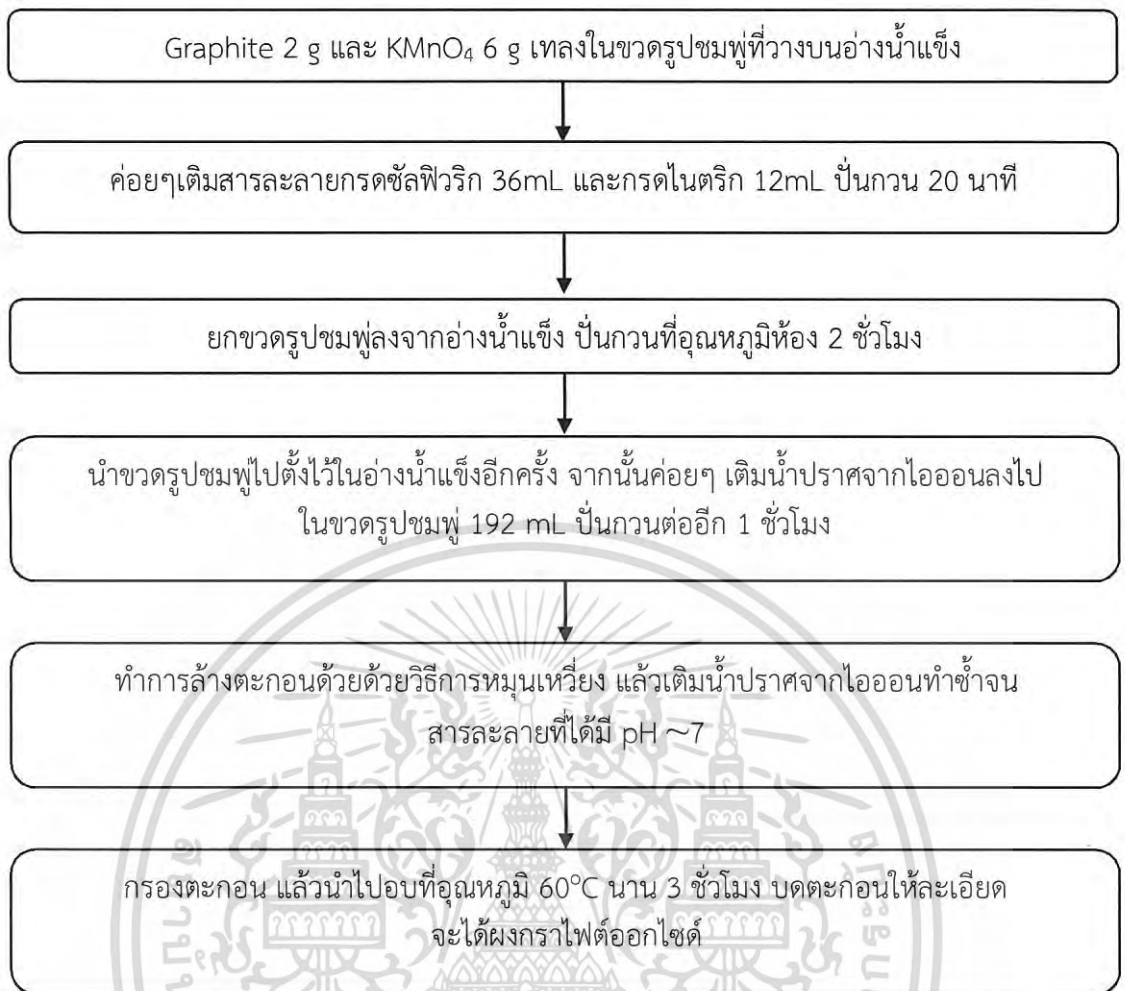
3.1.1.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.1 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	ชื่อย่อ/สูตรโมเลกุล	บริษัทที่ผลิต
ผงกราไฟต์, Graphite powder <20 μ m	-	Sigma-Aldrich, USA
โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนท, Potassium permanganate	KMnO ₄	-
กรดซัลฟิวริก, 96% Sulphuric acid	H ₂ SO ₄	Carlo Erba, USA
กรดไนตริก, Nitric acid 65%	HNO ₃	Carlo Erba, USA
น้ำปราศจากไอออน, Deionized Water	DI water	RHK Group, Thailand

3.1.1.2 วิธีการสังเคราะห์กราฟีนไฟต์ออกไซด์ด้วยวิธีการปรับปรุงวิธีของ Hummers

ซึ่งผงกราไฟต์มา 2 กรัม และโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนท 6 กรัม เทลงในขวดรูปชมพู่ พร้อมกับทำการปั่นจนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำขวดรูปชมพู่ไปวางในอ่างน้ำแข็งที่มีอุณหภูมิ 0-3 องศาเซลเซียส ค่อยๆเติมสารละลายกรดผสม (ซัลฟิวริก:ไนตริก 3:1) ปริมาตร 48 มิลลิลิตร ภายใต้การปั่นกวนนาน 20 นาที ยกขวดรูปชมพู่ลงจากอ่างน้ำแข็ง จากนั้นทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้องนาน 2 ชั่วโมง นำขวดรูปชมพู่ไปตั้งไว้ในอ่างน้ำแข็งอีกครั้ง จากนั้นค่อยๆ เติมน้ำปราศจากไอออนลงไป ในขวดรูปชมพู่ 192 มิลลิลิตร แล้วทำการปั่นกวนนาน 1 ชั่วโมง ทำการล้างตะกอนด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยง ทั้งสารละลาย แล้วเติมน้ำปราศจากไอออนทำซ้ำจนสารละลายที่ได้มี pH เท่ากับ 7 กรองตะกอน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง บดตะกอนให้ละเอียด จะได้ผงกราไฟต์ออกไซด์ ซึ่งสามารถเตรียมการทดลองได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังวิธีการสังเคราะห์กราไฟต์ออกไซด์ด้วยวิธีการปรับปรุงวิธีของ Hummers

3.1.2 วิธีการเตรียมกราฟีนออกไซด์

3.1.2.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.2 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	ชื่อย่อ/สูตรโมเลกุล	บริษัทที่ผลิต
ผงกราไฟต์ออกไซด์, Graphite oxide	-	-
น้ำปราศจากไอออน, Deionized Water	DI water	RHK Group, Thailand

3.1.2.2 วิธีการเตรียมกราฟีนออกไซด์ด้วยวิธีการใช้คลื่นความถี่สูง(Ultrasonic)

ซึ่งผงกราไฟต์ออกไซด์ (จากข้อ 3.1.2) มา 1 กรัม ใส่บีกเกอร์ เติมน้ำปราศจากไอออน 100 มิลลิลิตร จากนั้นทำการโซนิเคต เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไปทำการหมุนเหวี่ยงนาน 30 นาที เพื่อแยกกราไฟต์ที่ยังเหลืออยู่ออกไปเป็นตะกอน เก็บส่วนที่เป็นสารละลาย จะได้สารละลายกราฟีนออกไซด์ ซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยทำการสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 นาโนเมตร และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปศึกษาลักษณะและรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy, TEM)

3.1.3 วิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

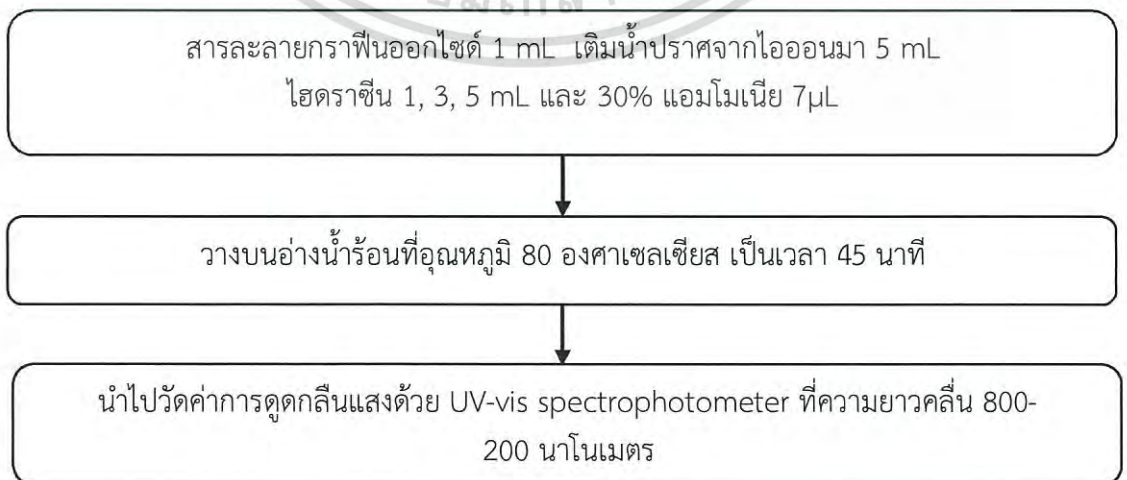
3.1.3.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.3 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	ชื่อย่อ/สูตรโมเลกุล	บริษัทที่ผลิต
กราฟีนออกไซด์, Graphene oxide	-	-
ไฮดราซีนไฮเดรต, 50-60% Hydrazine hydrate	$N_2H_4 \cdot H_2O$	Sigma-Aldrich, USA
แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์, 30% Ammonium hydroxide	NH_4OH	Carlo Erba, USA
ปราศจากไอออน, Deionized Water	DI water	RHK Group, Thailand

3.1.3.2 วิธีการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

ปีเปตสารละลายกราฟีนออกไซด์ความเข้มข้น 2.9 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มา 1 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ เติมน้ำปราศจากไอออนมา 5 มิลลิลิตร ปีเปตไฮดราซีนที่ความเข้มข้น 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์ และปีเปตแอมโมเนียมเข้มข้น 30% ปริมาตร 7 ไมโครลิตร ใส่ลงไป จากนั้นปิดปากด้วยแผ่นพาราฟิล์มแล้วนำไปต้มบนอ่างน้ำร้อนให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 45 นาที เมื่อครบตามเวลายกขวดรูปชมพู่ที่ใส่สารละลายลง จะได้สารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีสีดำ นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยทำการสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 นาโนเมตร และนำไปศึกษาลักษณะและรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy, TEM) ซึ่งสามารถเตรียมการทดลองได้ดังรูปที่ 3.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศึกษาลักษณะและรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

รูปที่ 3.2 แผนผังวิธีการสังเคราะห์รีติวซ์กราฟีนออกไซด์

3.2 วิธีการปรับสภาพพื้นผิวของ Substrate ให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ

3.2.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.4 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	ชื่อย่อ/สูตรโมเลกุล	บริษัทที่ผลิต
โพลีไดอัลไคมีทิลแอมโมเนียมคลอไรด์, Polydiallyldimethylammonium chloride	PDADMAC	Sigma-Aldrich, USA
โพลีสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิด, Polystyrene sulfonate	PSS	Sigma-Aldrich, USA
แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์, 30% Ammonium hydroxide	NH ₄ OH	Carlo Erba, USA
น้ำปราศจากไอออน, Deionized Water	DI water	RHK Group, Thailand

3.2.2 วิธีการปรับสภาพพื้นผิวของ Substrate ให้มีคุณสมบัติชอบน้ำ

นำสารละลาย PDADMAC (Polydiallyl dimethylammonium chloride) ที่ 10 มิลลิโมลาร์ ที่มีเกลือผสมอยู่ด้วย มาเทลงในบีกเกอร์ ใส่แท่งกวน แล้วนำไปวางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก และนำสารละลาย PSS (Polystyrene sulfonate) 10 มิลลิโมลาร์ ที่มีเกลือผสมอยู่ด้วย เทลงในบีกเกอร์ ใส่แท่งกวน แล้วนำไปวางบนเครื่องกวนแม่เหล็ก จากนั้นนำแผ่นกระจกจุ่มลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลาย PDADMAC 10 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 5 นาที (นับเป็นขั้นที่ 1) จากนั้นล้างด้วยน้ำเปล่า แล้วทำให้แห้ง จากนั้นนำแผ่นกระจกจุ่มลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลาย PSS 10 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 5 นาที (นับเป็นขั้นที่ 2) ล้างด้วยน้ำเปล่า แล้วทำให้แห้ง ทำซ้ำจนครบ 5 ชั้น จะได้แผ่นกระจกที่เคลือบด้วยชั้นไพเมอร์ซึ่งปรับสภาพพื้นผิวที่เหมาะสมในการสร้างแผ่นฟิล์มต่อไป

3.3 วิธีการเตรียมชั้นแผ่นฟิล์มรีติวซ์กราฟีนออกไซด์

3.3.1 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำชั้นฟิล์มรีติวซ์กราฟีนออกไซด์

เทสารละลายรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีเฮตราซินที่ความเข้มข้น 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์ (จากข้อ 3.1.5) ใส่บีกเกอร์นำแท่งกวนแม่เหล็กใส่ลงไป นำไปวางบนเครื่องปั่นกวน จากนั้นนำแผ่นกระจกที่ปรับปรุงสภาพแล้ว (จากข้อ 3.2.3) มา 3 แผ่น จุ่มแผ่นกระจกลงในบีกเกอร์ สารละลายรีติวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใส่เฮตราซินที่ความเข้มข้น 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์ อย่างละ 1 แผ่น เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นยกแผ่นกระจกขึ้น ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วเป่าให้แห้ง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยทำการสแกนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 นาโนเมตร ทำซ้ำทุก 5 นาที จนครบ 30 นาที ซึ่งสามารถเตรียมการทดลองได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนผังวิธีการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการทำชั้นของรีดิวซ์กราฟีน

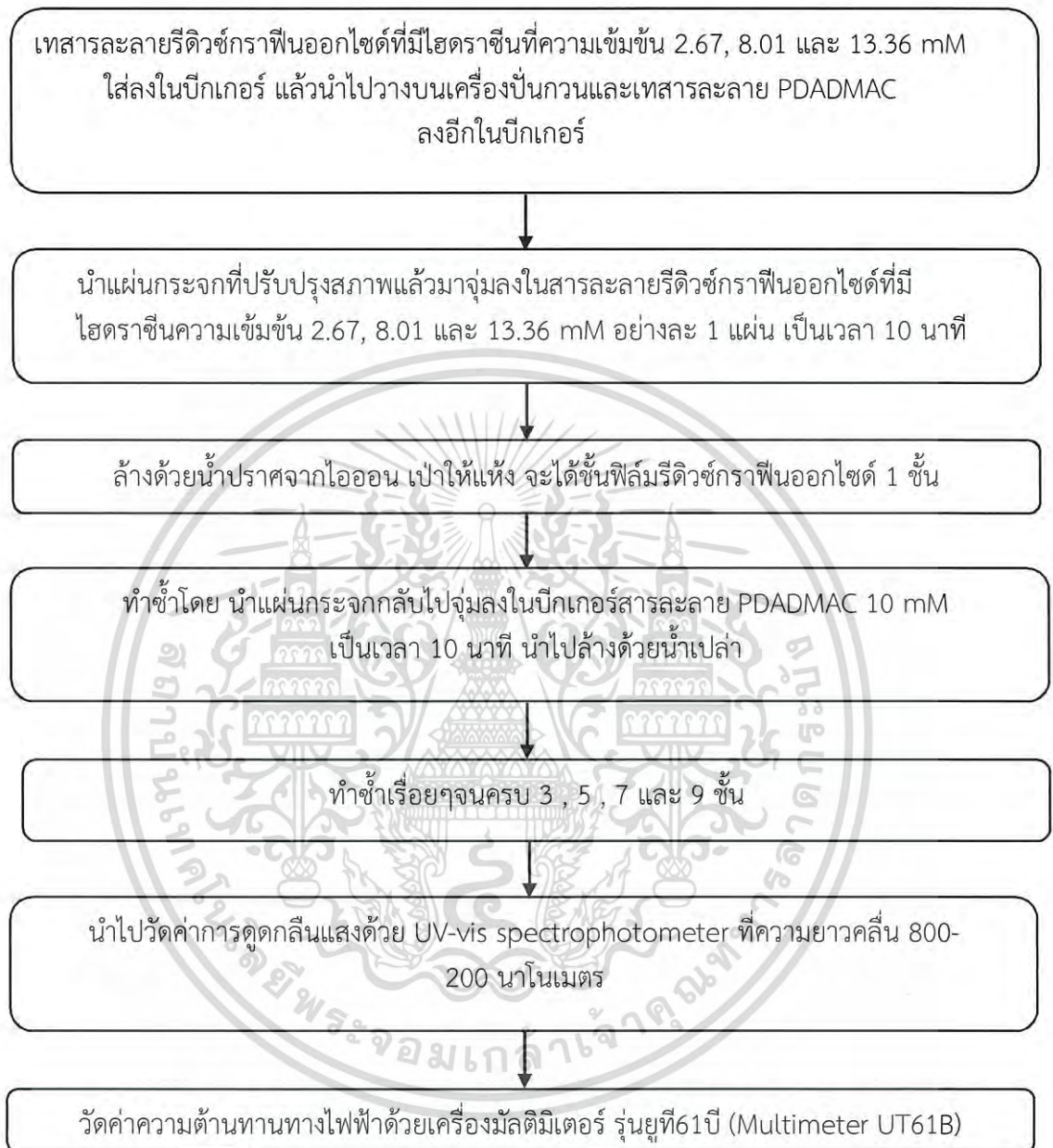
3.3.2 การศึกษาหาจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการทำฟิล์มของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ โดยการเตรียม 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 ชั้น

เทสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ใส่ไฮดราซีนที่ความเข้มข้น 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์ ใส่บีกเกอร์ ใส่แท่งกวนแม่เหล็กแล้วนำไปวางบนเครื่องปั่นกวน จากนั้นเทสารละลาย PDADMAC 10 มิลลิโมลาร์ ใส่ลงบีกเกอร์ ใส่แท่งกวนแม่เหล็กแล้วนำไปวางบนเครื่องปั่นกวน จากนั้นนำแผ่นกระจกที่ปรับปรุงสภาพแล้วมา 3 แผ่น จุ่มลงไปบีกเกอร์ที่มีสารละลายรีดิวซ์กราฟีนที่ใส่ไฮดราซีนที่ความเข้มข้น 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์ อย่างละ 1 แผ่น เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นยกแผ่นกระจกขึ้น ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน เป่าให้แห้ง จะได้ชั้นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีน 1 ชั้น จากนั้นทำซ้ำโดยนำแผ่นกระจกกลับไปจุ่มลงในบีกเกอร์สารละลาย PDADMAC 10 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 10 นาที นำไปล้างด้วยน้ำเปล่า ทำให้แห้งจะได้ฟิล์มชั้นที่ 2 แล้วจึงนำไปจุ่มลงไปในบีกเกอร์ที่มีสารละลายรีดิวซ์กราฟีนที่ใส่ไฮดราซีน ทำซ้ำเรื่อยๆจนครบ 3, 5, 7 และ 9 ชั้น นำไป

วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยทำการสแกนสเปกตรัมใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือนำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงความยาวคลื่น 800-200 นาโนเมตร และวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์ รุ่นยูที61บี (Multimeter UT61B) ซึ่งสามารถเตรียมการทดลองได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนผังวิธีการศึกษาหาจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการทำฟิล์มของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

3.4 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน (Gold Nanoparticles, AuNPs) ด้วยวิธีการทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน

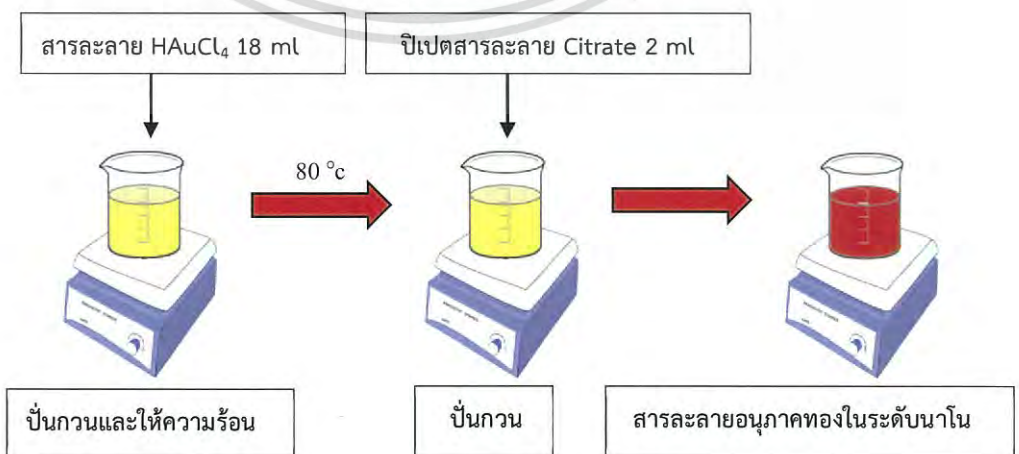
3.4.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.5 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	ชื่อย่อ/สูตรโมเลกุล	บริษัทที่ผลิต
เตตระคลอโรอโรอริกแอซิด , Gold (III) chloride trihydrate	$\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Sigma-Aldrich, USA
โซเดียมซิเตรทไตรไบเซอไดไฮเดรต, Sodium citrate tribasic dihydrate	$\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Sigma-Aldrich, USA
น้ำปราศจากไอออน, Deionized Water	DI water	RHK Group, Thailand

3.4.2 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน (AuNPs)

ชั่งเตตระคลอโรอโรอริกแอซิด มา 0.1969 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร จะได้สารละลายทองความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ บีเบตสารละลายทองความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์ มา 18 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 25 มิลลิลิตร ใส่แท่งแม่เหล็ก แล้วนำไปวางบนเครื่องปั่นกวนพร้อมให้ความร้อน จนอุณหภูมิสารละลายถึง 80 องศาเซลเซียส จากนั้นบีเบตสารละลาย 20 มิลลิโมลาร์ Sodium citrate tribasic dihydrate 2 มิลลิลิตร ใส่ลงไปในสารละลายทองทันที รอจนสารละลายเปลี่ยนสีจากเหลืองไปเป็นสีแดง จึงยกลงจากเครื่องปั่นกวน และทำการศึกษาความเข้มข้นของ Sodium citrate tribasic dihydrate ที่เหมาะสมโดยเปลี่ยนความเข้มข้น Sodium citrate tribasic dihydrate เป็น 30 และ 40 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยทำการสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 นาโนเมตร และวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์ รุ่นยูที61บี (Multimeter UT61B) ซึ่งสามารถเตรียมการทดลองได้ดังรูปที่ 3.5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.5 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วิธีการเตรียมแผ่นของชั้นฟิล์มอนุภาคทองในระดับนาโน(AuNPs)

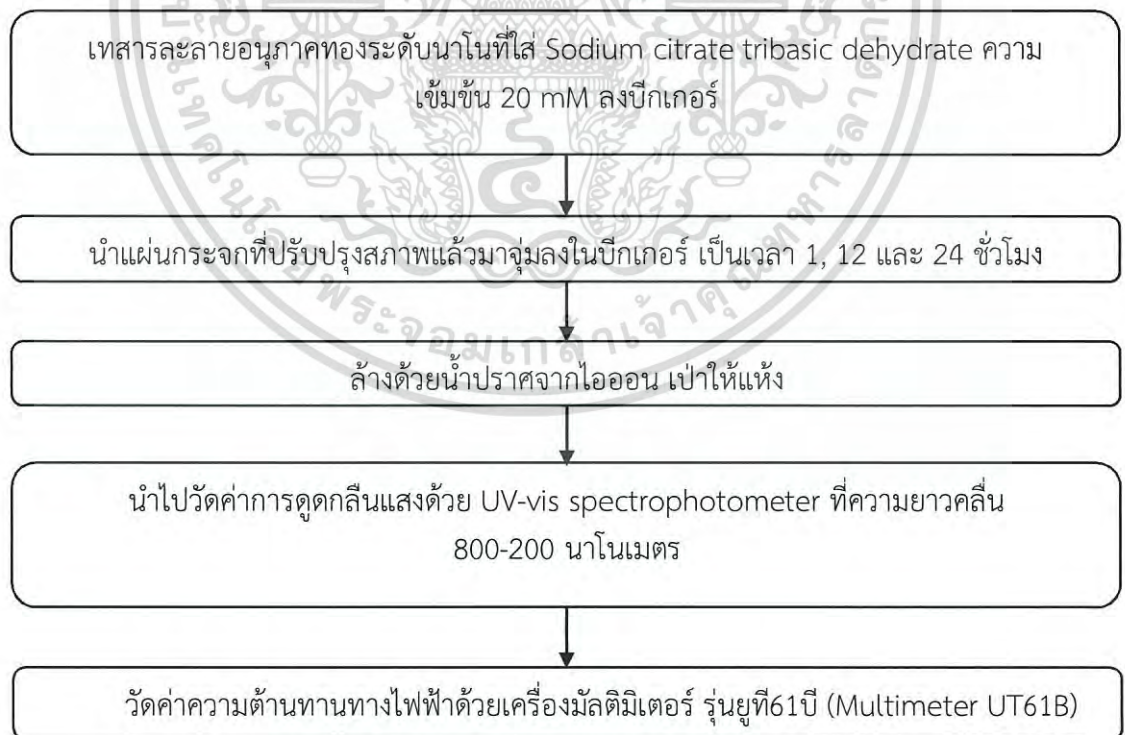
3.5.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.6 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	ชื่อย่อ/สูตรโมเลกุล	บริษัทที่ผลิต
สารละลายอนุภาคทองระดับนาโน, Gold Nanoparticles	AuNPs	-
น้ำปราศจากไอออน, Deionized Water	DI water	RHK Group, Thailand

3.5.2 การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการทำฟิล์มของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน (AuNPs)

เทสารละลายอนุภาคทองระดับนาโน (จากข้อ 3.4.2.2) ที่ใส่ Sodium citrate tribasic dihydrate 20 มิลลิโมลาร์ ลงบีกเกอร์ นำแผ่นกระจกที่ทำไพเมอร์แล้วมาจุ่มลงในบีกเกอร์เป็นเวลา 1, 12 และ 24 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน เป่าให้แห้ง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยทำการสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 นาโนเมตร และวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้าด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ รุ่นยูที61บี (Multimeter UT61B) ซึ่งสามารถเตรียมการทดลองได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนผังศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมในการทำฟิล์มของสารละลายอนุภาคทองในระดับนาโน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 การทำวัสดุแต่งประกอบ (Composite) ระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองระดับนาโน (AuNPs)

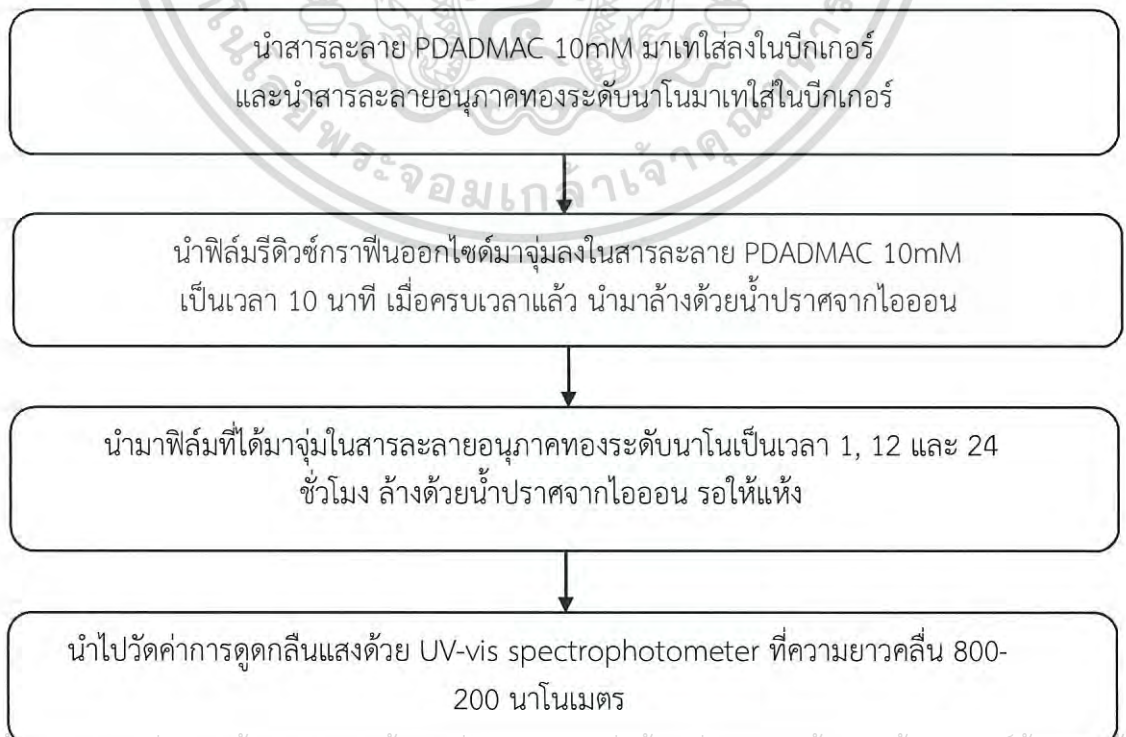
3.6.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.7 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	ชื่อย่อ/สูตรโมเลกุล	บริษัทที่ผลิต
สารละลายอนุภาคทองระดับนาโน, Gold Nanoparticles	AuNPs	-
น้ำปราศจากไอออน, Deionized Water	DI water	RHK Group, Thailand

3.6.2 วิธีการทำแผ่นฟิล์มวัสดุแต่งประกอบ (Composite) ระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองในระดับนาโน (AuNPs)

นำสารละลาย PDADMAC 10 มิลลิโมลาร์ มาเทใส่ลงในบีกเกอร์ ใส่แท่งแม่เหล็ก และนำบีกเกอร์ไปวางบนเครื่องปั่นกวน และนำสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนมาเทใส่ในบีกเกอร์ ใส่แท่งแม่เหล็ก และนำบีกเกอร์ไปวางบนเครื่องปั่นกวน นำแผ่นกระจกที่มีฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (จากข้อ 3.3.3) มาจุ่มลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลาย PDADMAC 10 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 10 นาที เมื่อครบเวลาแล้ว นำมาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน จากนั้นนำมาจุ่มในบีกเกอร์ที่มีสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนเป็นเวลา 1, 12 และ 24 ชั่วโมง ล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน รอให้แห้ง นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer โดยทำการสแกนสเปกตรัมในช่วงความยาวคลื่น 800-200 นาโนเมตร และวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้าด้วยเครื่องมือวัดมัลติมิเตอร์ รุ่นยี่ห้อ 61บี (Multimeter UT61B) ซึ่งสามารถเตรียมการทดลองได้ดังรูปที่ 3.7



วัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้าด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ รุ่นยูที61บี (Multimeter UT61B)

รูปที่ 3.7 แผนผังวิธีการทำแผ่นฟิล์มวัสดุแต่งประกอบระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองในระดับนาโน

3.7 การสร้างเซนเซอร์สำหรับตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย (Ammonia gas sensing)

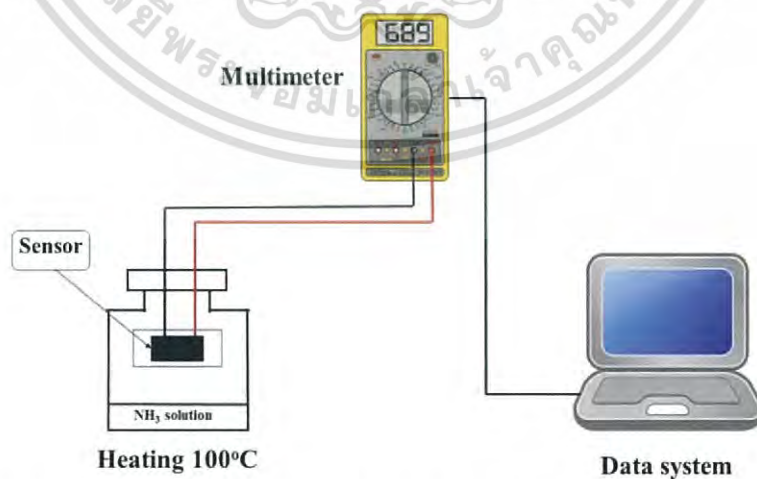
3.7.1 สารเคมี

ตารางที่ 3.8 สารเคมี

ชื่อสารเคมี	ชื่อย่อ/สูตรโมเลกุล	บริษัทที่ผลิต
แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์, 30% Ammonium hydroxide	NH ₄ OH	Carlo Erba, USA
น้ำปราศจากไอออน, Deionized Water	DI water	RHK Group, Thailand

3.7.2 การศึกษาความสามารถในการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย (Ammonia gas sensing) ด้วยเซนเซอร์จากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ อนุภาคทองในระดับนาโน (AuNPs) และวัสดุประกอบ (Composite)

นำสารละลายแอมโมเนียที่มีความเข้มข้น 0.001, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 5 และ 10 มิลลิโมลาร์ มาให้ความร้อนที่ 100°C โดยมีเซนเซอร์ที่ทำจากแผ่นฟิล์มของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (จากข้อ 3.3.2) มาต่อเข้ากับเครื่องมัลติมิเตอร์ (Multimeter) ดังรูปที่ 3.8 ตรวจวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้าด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ รุ่นยูที61บี (Multimeter UT61B) ทำซ้ำโดยเปลี่ยนเป็นเซนเซอร์ที่ทำจากแผ่นฟิล์มอนุภาคทองในระดับนาโน (AuNPs) และแผ่นฟิล์มวัสดุแต่งประกอบ (Composite)



รูปที่ 3.8 การศึกษาความสามารถในการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียด้วยเซนเซอร์จากแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์, แผ่นฟิล์มอนุภาคทองในระดับนาโน (AuNPs) และแผ่นฟิล์มวัสดุประกอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

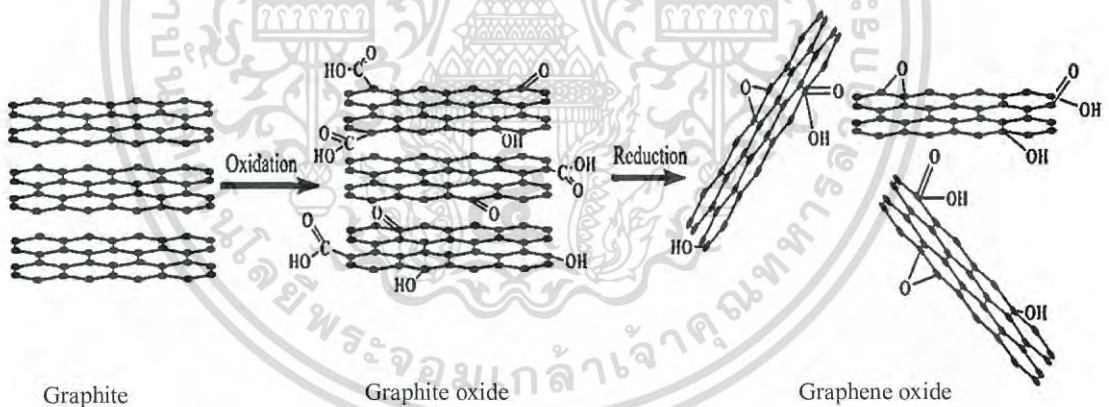
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ทำการสร้างวัสดุแต่งประกอบขึ้นจากรีดิวิซ์กราไฟน์ออกไซด์กับอนุภาคทองระดับนาโน เพื่อใช้ในการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย สามารถแบ่งผลการวิจัยและอภิปรายผลการทดลองออกเป็น 4 ส่วน ดังต่อไปนี้ ส่วนที่หนึ่งผลการวิจัยและอภิปรายผลการศึกษาการสังเคราะห์รีดิวิซ์กราไฟน์ออกไซด์ ส่วนที่สองผลการวิจัยและอภิปรายผลการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโน ส่วนที่สามผลการวิจัยและอภิปรายผลการศึกษาการสร้างวัสดุแต่งประกอบของรีดิวิซ์กราไฟน์ออกไซด์และอนุภาคทองระดับนาโน โดยทำการศึกษาจำนวนชั้นของรีดิวิซ์กราไฟน์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการสร้างวัสดุแต่งประกอบกับอนุภาคทองในระดับนาโน ส่วนที่สี่ผลการวิจัยและอภิปรายผลการศึกษาการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย

4.1 การศึกษาการสังเคราะห์รีดิวิซ์กราไฟน์ออกไซด์

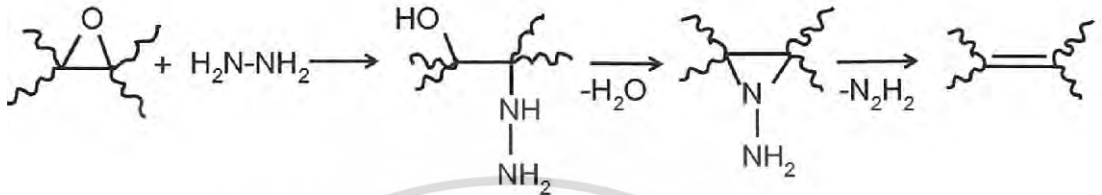
งานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์รีดิวิซ์กราไฟน์ออกไซด์ โดยเริ่มจากการสังเคราะห์กราไฟต์ออกไซด์ ด้วยการประยุกต์มาจากวิธีของ Hummers และสังเคราะห์กราไฟน์ออกไซด์จากการโซนิเคชัน จากนั้นทำการรีดิวิซ์กราไฟน์ออกไซด์โดยใช้ไฮดราซีน สามารถอธิบายขั้นตอนในการสังเคราะห์รีดิวิซ์กราไฟน์ออกไซด์จากปฏิกิริยาแสดงดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 การสังเคราะห์กราไฟน์ออกไซด์โดยเกิดผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และการโซนิเคชัน

จากรูปที่ 4.1 แสดงการสังเคราะห์กราไฟน์ออกไซด์ โดยนำกราไฟต์ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนท สารละลายกรดซัลฟูริก และสารละลายกรดไนตริก ซึ่งสารออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) ทั้ง 3 ชนิดนี้ จะเข้าไปเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ตำแหน่งอะโรมาติกคาร์บอน ทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันออกไซด์ เช่น หมู่คาร์บอกซิล, หมู่ไฮดรอกซิล และหมู่อีพอกซี บนแผ่นภายในแต่ละชั้นของกราไฟต์ ทำให้ระยะห่างภายในชั้นของกราไฟต์เพิ่มขึ้น เรียกสารที่เกิดขึ้นนี้ว่ากราไฟต์ออกไซด์ จากนั้นนำกราไฟต์ออกไซด์มาทำการโซนิเคชัน ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้คลื่นความถี่สูง (Ultrasonic) เข้าไปทำลายแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) ภายในชั้นของกราไฟต์ออกไซด์ ทำให้ชั้นแต่ละของกราไฟต์ออกไซด์หลุดออกจากกันเรียกสารที่เกิดขึ้นนี้ว่ากราไฟน์ออกไซด์ โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Jianchang Li และคณะ [73] ทำได้การสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์โดยเกิดผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน กราไฟต์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนท สารละลายกรดซัลฟิวริก และสารละลายกรดไนตริก ทำให้เกิด หมู่ฟังก์ชันออกไซด์ภายในชั้นกราฟาไฟต์ เรียกสารที่เกิดขึ้นนี้ว่ากราฟาไฟต์ออกไซด์ จากนั้นนำกราฟาไฟต์ออกไซด์ มาทำการโซนิเคต ซึ่งทำให้ชั้นแต่ละของกราฟาไฟต์ออกไซด์หลุดออกจากกัน ได้กราฟีนออกไซด์ จากนั้นนำ กราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มาทำการลดหมู่ฟังก์ชันออกไซด์ โดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชันกับไฮดราซีน โดยแสดงการเกิดปฏิกิริยาดังรูปที่ 4.2

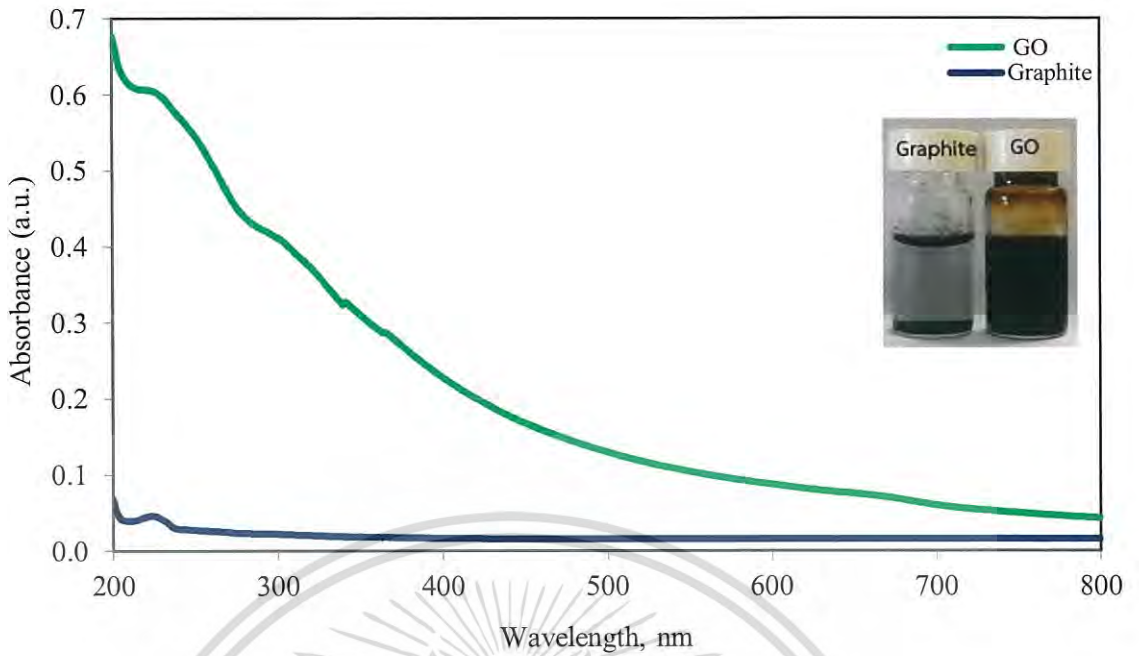


รูปที่ 4.2 การสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ผ่านกระบวนการปฏิกิริยารีดักชัน

จากรูปที่ 4.2 แสดงการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ผ่านกระบวนการปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่ง เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างกราฟีนออกไซด์กับไฮดราซีน โดยไฮดราซีนจะเข้าไปเปิดวงของอีพอกไซด์ โดยให้อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (Lone pair electrons) ของไนโตรเจนเข้าไปสร้างพันธะกับอะตอม คาร์บอนทั้งสองอะตอม ทำให้ออกซิเจนของหมู่อีพอกไซด์หลุดออกไปในรูปของน้ำ จากนั้นไนโตรเจนอีก ด้านให้อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (Lone pair electrons) กับไนโตรเจนที่สร้างพันธะกับคาร์บอนอะตอม ทำให้เกิดพันธะคู่ระหว่างไนโตรเจนกับไนโตรเจน จึงทำให้ไฮดราซีนหลุดออกจากโครงสร้างของแผ่นกราฟีน และเกิดพันธะคู่ (Double bond) ภายในวงอะโรมาติกของกราฟีนชั้น เรียกสารที่เกิดขึ้นนี้ว่ารีดิวซ์ กราฟีนออกไซด์ โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Sasha Stankovich และคณะ [74] ได้ทำการสังเคราะห์ รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ผ่านปฏิกิริยารีดักชัน โดยอาศัยไฮดราซีน ในการกำจัดหมู่ฟังก์ชันออกไซด์ โดย ไนโตรเจนของไฮดราซีน จะเข้าไปเปิดวงของอีพอกไซด์ โดยให้อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (Lone pair electrons) ไปสร้างพันธะกับอะตอมคาร์บอนทั้งสองอะตอม ทำให้ออกซิเจนของหมู่อีพอกไซด์ จากนั้น ไนโตรเจนอีกด้านให้อิเล็กตรอนมาสร้างพันธะกับไนโตรเจนที่สร้างพันธะกับคาร์บอนอะตอม ทำให้ไฮดราซีนหลุดออกจากโครงสร้างของแผ่นกราฟีน เรียกสารที่เกิดขึ้นนี้ว่ารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.1.1 การศึกษาการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์

ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองโดยการนำสารละลายกราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ และ สารละลายกราฟาไฟต์ที่เตรียมขึ้นจากการนำผงกราฟาไฟต์ ใส่ลงในน้ำกลั่น จากนั้นนำไปทำการโซนิเคชัน เป็น เวลา 5 นาที เมื่อนำสารละลายกราฟีนออกไซด์และสารละลายกราฟาไฟต์ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย เทคนิค UV-vis spectrophotometry ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การดูดกลืนแสงของกราไฟต์ (Graphite) และกราฟีนออกไซด์ (Graphene oxide)

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นสารละลายกราไฟต์ที่มีการกระจายตัวในน้ำได้ไม่ดี ไม่รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ ดังนั้นจึงทำให้สารละลายที่เกิดขึ้นมีลักษณะใสและเกิดการตกตะกอนของอนุภาคกราไฟต์ และสารละลายกราฟีนออกไซด์เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันออกไซด์ จนทำให้สามารถกระจายตัวในน้ำได้ดี ดังนั้นสารละลายที่เกิดขึ้นมีสีของกราฟีนออกไซด์คือสีน้ำตาลเข้ม เมื่อนำสารละลายทั้งสองชนิดไปวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่า สารละลายกราไฟต์มีการดูดกลืนแสงน้อยมาก เมื่อเทียบกับการดูดกลืนแสงของสารละลายกราฟีนออกไซด์ที่ ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 2 ความยาวคลื่น ได้แก่ ที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของพันธะคอนจูเกต C=C ในโครงสร้างของกราฟีน และ 300 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการดูดกลืนแสงของ C=O ในหมู่ฟังก์ชันคาร์บอกซิลิก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Iván Gómez และคณะ [75] ซึ่งได้ทำการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์และทำการวัดด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometry พบว่าการดูดกลืนแสงของกราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 2 ความยาวคลื่น ได้แก่ ที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าดูดกลืนแสง $\pi \rightarrow \pi^*$ ของพันธะคอนจูเกต C=C ในโครงสร้างของกราฟีน และที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร ซึ่งเป็นการดูดกลืนแสง $\pi \rightarrow \pi^*$ ของ C=O ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าสารที่ทำการสังเคราะห์ได้นั้นเป็นกราฟีนออกไซด์

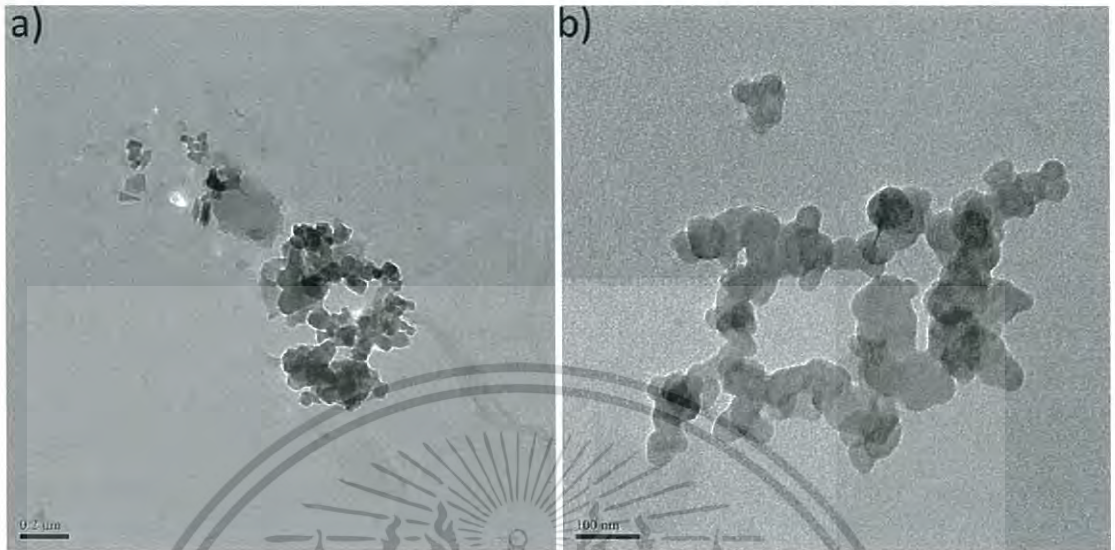
4.1.2 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของกราไฟต์ กราฟีนออกไซด์ และรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์

4.1.2.1 ผลการศึกษาลักษณะและรูปร่างของกราไฟต์

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาลักษณะของกราไฟต์ ซึ่งเตรียมกราไฟต์โดยนำผงกราไฟต์ใส่ลงในน้ำกลั่นปราศจากไอออน จากนั้นนำไปทำการโซนิกเดทนาน 5 นาที จากนั้นนำสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ได้ หยดลงบนกริดทองแดง วางทิ้งไว้จนกริดแห้งสนิทแล้ว นำไปศึกษาลักษณะรูปร่างด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy (TEM) ซึ่งได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4



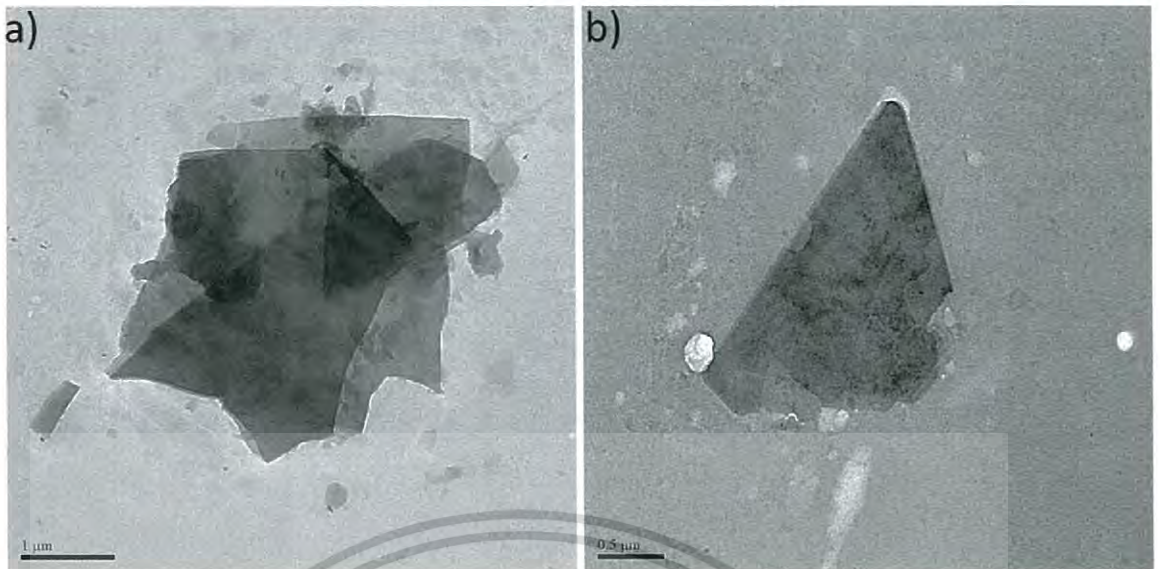
รูปที่ 4.4 ลักษณะรูปร่างของกราฟิตด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy โดยภาพ (a) กราไฟต์ที่กำลังขยาย 0.2 ไมโครเมตร และภาพ (b) กราไฟต์ที่กำลังขยาย 100 นาโนเมตร

จากรูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของกราฟิตที่ผ่านการโซนิเคชัน ในน้ำกลั่นปราศจากไอออน โดยภาพ (a.) แสดงภาพกราฟิตที่กำลังขยาย 0.2 ไมโครเมตร และภาพ (b.) แสดงภาพกราฟิตที่กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ซึ่งลักษณะของกราฟิตที่พบ จะมีลักษณะเป็นผลึกอนุภาคขนาดเล็กซึ่งมีการเกาะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Alireza Hadi และคณะ [76] ได้ทำการศึกษา ลักษณะของกราฟิตโดยนำผงกราฟิตมาทำการโซนิเคชันในสารละลายเอทานอล และนำไปศึกษา ลักษณะของกราฟิตด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy พบว่ามีลักษณะคล้ายเกล็ด ผลึกเกาะรวมกลุ่มกันเป็นกลุ่ม ซึ่งในส่วนที่สีทึบ บ่งชี้ให้เห็นว่าในโครงสร้างกราฟิตมีชั้นของกราฟีนอัดแน่นอยู่เป็นจำนวนมาก

4.1.2.2 การศึกษาลักษณะรูปร่าง ของกราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

การทดลองนี้เป็นการศึกษาลักษณะของกราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการ ปรับปรุงวิธีของ Hummers หยดลงบนกริดทองแดง วางทิ้งไว้จนกริดแห้งสนิท เมื่อนำไปศึกษาลักษณะ ด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy (TEM) แสดงผลการทดลองที่ดังรูปที่ 4.5 (a.) และ (b.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

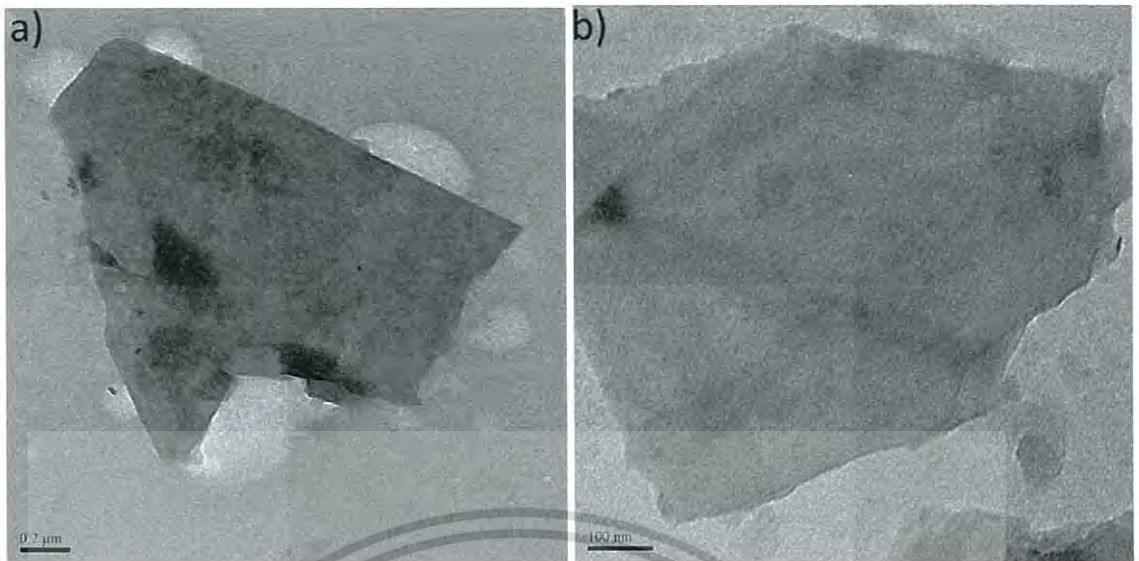


รูปที่ 4.5 ลักษณะรูปร่างของกราฟีนออกไซด์ที่ด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy โดยภาพ (a) กำลังขยาย 1 ไมโครเมตร และภาพ (b) กำลังขยาย 0.5 ไมโครเมตร

จากรูปที่ 4.5 แสดงลักษณะกราฟีนออกไซด์ โดยจากภาพ (a.) คือภาพกราฟีนออกไซด์ที่กำลังขยาย 1 ไมโครเมตร และ (b.) คือภาพของกราฟีนออกไซด์ที่กำลังขยาย 0.5 ไมโครเมตร ซึ่งลักษณะของกราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบาง โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ L.Stobinski และคณะ [77] ซึ่งได้ทำการสังเคราะห์กราฟีนออกไซด์ขึ้นจากการปรับปรุงวิธีของ Hummers จากนั้นนำมาศึกษาลักษณะของกราฟีนออกไซด์ด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy พบว่ากราฟีนออกไซด์มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง มีการซ้อนทับกันของแผ่นกราฟีนออกไซด์อยู่มากในบริเวณของภาพที่มีสีเข้ม และมีขนาดของแผ่นเท่ากับ 2×2 ไมโครเมตร

4.1.2.3 การศึกษาลักษณะรูปร่าง ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาลักษณะของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการปรับปรุงวิธีของ Hummers และทำการรีดิวซ์ด้วยไฮดราซีน ได้สารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ จากนั้นทำการหยดสารละลายลงบนกริดทองแดง วางทิ้งไว้จนกริดแห้งสนิท เมื่อนำไปศึกษาลักษณะด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy (TEM) แสดงผลการทดลองที่ดังรูปที่ 4.6 (a.) และ (b.)



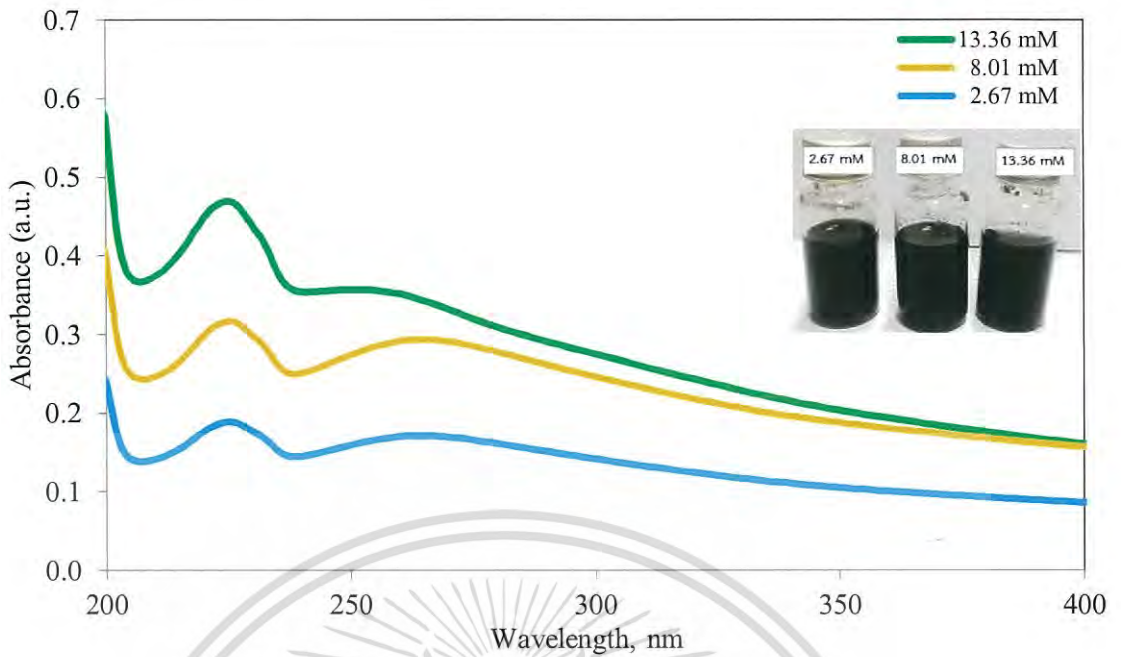
รูปที่ 4.6 ลักษณะรูปร่างของรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy โดยภาพ (a) ที่กำลังขยาย 0.2 ไมโครเมตร และภาพ (b) ที่กำลังขยาย 100 นาโนเมตร

จากรูปที่ 4.6 แสดงการศึกษาลักษณะรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ ที่กำลังขยาย 0.2 ไมโครเมตร และที่กำลังขยาย 100 ไมโครเมตร ซึ่งลักษณะของกราไฟท์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จะมีลักษณะเป็นแผ่นบาง โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ L.Stobinski และคณะ [77] ซึ่งได้ทำการสังเคราะห์รีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์จากกราไฟท์ออกไซด์ซึ่งจากการเตรียมขึ้นจากการปรับปรุงวิธีของ Hummers และใช้ไฮดราซีนในการลดหมู่ฟังก์ชันออกไซด์บนแผ่นกราไฟท์ออกไซด์ จากนั้นศึกษาลักษณะของรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy พบว่ารีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์มีลักษณะเป็นแผ่นฟิล์มบาง ค่าการทะลุผ่านของแสงสูงกว่ากราไฟท์ออกไซด์ แสดงให้เห็นได้ว่าแผ่นรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์มีการซ้อนทับของแผ่นกราฟีนน้อยกว่า ดังนั้นความหนาในการซ้อนทับกันของแผ่นรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์จึงน้อยกว่าความหนาของแผ่นกราไฟท์ออกไซด์ ซึ่งขนาดความหนาของแผ่นรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์เท่ากับ 1×1 ไมโครเมตร

4.1.3 การศึกษาความเข้มข้นของไฮดราซีนที่เหมาะสมในสารละลายรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์

ในการทดลองนี้ ศึกษาโดยการกำหนดความเข้มข้นของไฮดราซีนที่เหมาะสม ได้แก่ 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์ โดยปิเปตสารละลายกราไฟท์ออกไซด์ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำปราศจากไอออน 5 มิลลิลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 7 ไมโครลิตร เติมสารละลายไฮดราซีน 1, 3 และ 5 ไมโครลิตร ได้สารละลายรีดิวซ์กราไฟท์ออกไซด์ที่มีไฮดราซีนความเข้มข้น 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์ เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometry ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8

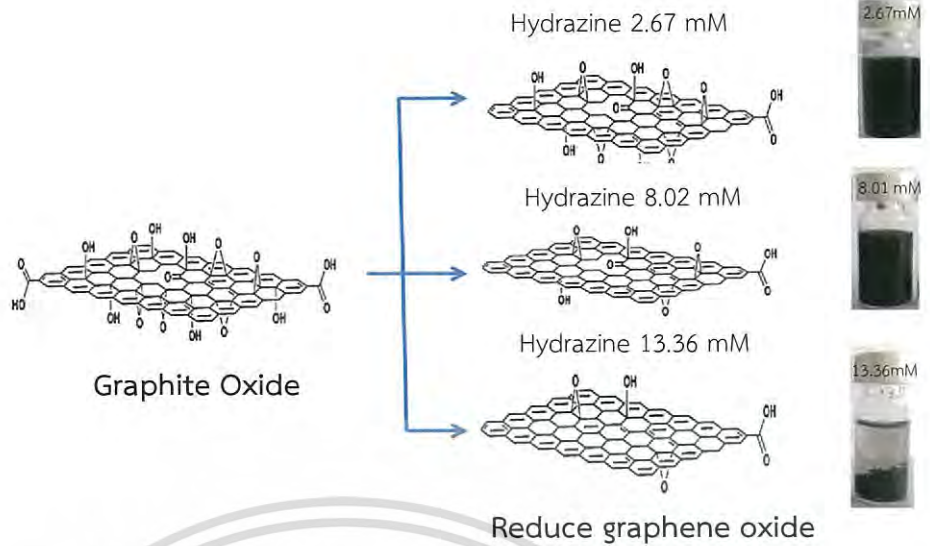
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



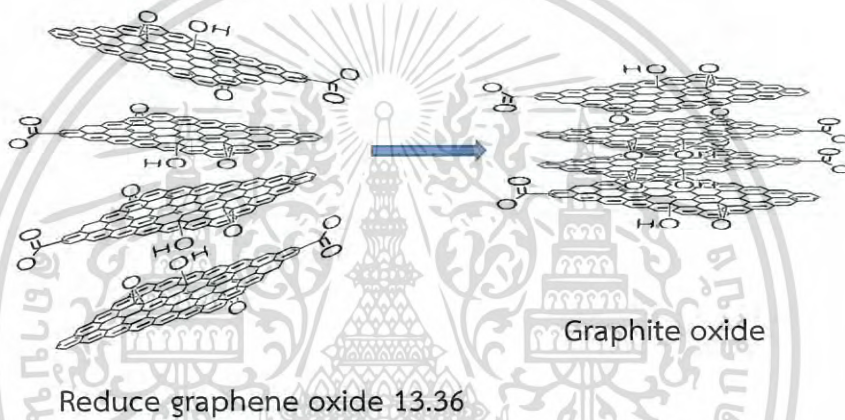
รูปที่ 4.7 การดูดกลืนแสงของสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์ มีการดูดกลืนแสงที่ 2 ความยาวคลื่น ได้แก่ ที่ความยาวคลื่น 230 นาโนเมตรและที่ความยาวคลื่น 265 นาโนเมตร และจะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของไฮดราซีนเพิ่มขึ้น พีคทั้งสองความยาวคลื่นก็เพิ่มขึ้น โดยสอดคล้องจากงานวิจัยของ Iván Gómez และคณะ [78] ได้ทำการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนจากวิธีทางเคมี โดยอาศัยไฮโดรซีลามีนในการลดหมู่ฟังก์ชันออกไซด์บนแผ่นกราฟีนออกไซด์ จากนั้นวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometry พบว่ารีดิวซ์กราฟีนมีการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 2 ความยาวคลื่น ได้แก่ 230 นาโนเมตร ซึ่งเป็นพีคการดูดกลืนแสง $n \rightarrow \pi^*$ ของไฮโดรซีลามีน (NH_2OH) และที่ความยาวคลื่น 265 นาโนเมตร ซึ่งเป็นพีคการดูดกลืนแสง $\pi \rightarrow \pi^*$ ของพันธะคอนจูเกต $\text{C}=\text{C}$ ในโครงสร้างของกราฟีน ดังนั้นจากผลการทดลองสรุปได้ว่าเมื่อความเข้มข้นไฮดราซีนเพิ่มขึ้น การหลุดออกของหมู่ฟังก์ชันบนแผ่นกราฟีนออกไซด์จะมากขึ้น และทำให้พันธะคอนจูเกตในโครงสร้างกราฟีนจะเพิ่มขึ้น

a.)



b.)



รูปที่ 4.8 (a.) รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เมื่อใช้ความเข้มข้นไฮดราซีน 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์ และ (b.) กลไกการตกตะกอนของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 13.36 มิลลิโมลาร์

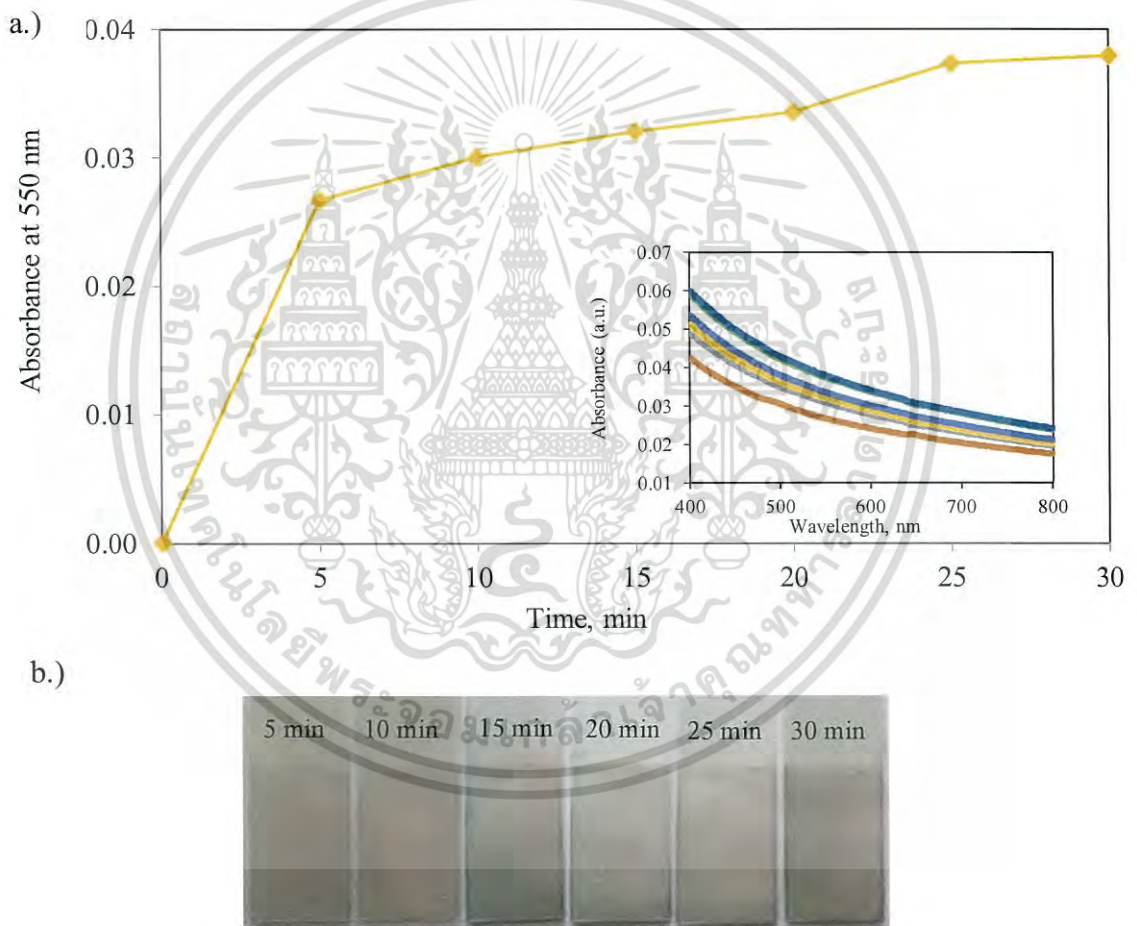
จากรูปที่ 4.8 (a.) แสดงการเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ของกราฟีนออกไซด์กับไฮดราซีน ที่ความเข้มข้น 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์ ซึ่งไฮดราซีนจะมีผลต่อหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนบนแผ่นกราฟีนออกไซด์ โดยไฮดราซีนจะมีผลทำให้หมู่ฟังก์ชันออกไซด์บนแผ่นกราฟีนมีหลุดออก ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่า ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 13.36 มิลลิโมลาร์ มีหมู่ฟังก์ชันของออกไซด์บนแผ่นกราฟีนน้อยที่สุด และเมื่อวางสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 7 วัน พบว่ารีดิวซ์กราฟีนที่ความเข้มข้นของไฮดราซีน 13.36 มิลลิโมลาร์ เกิดการตกตะกอน สามารถอธิบายกลไกการตกตะกอนได้ดังรูปที่ 4.8 (b.) จากการที่สารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 13.36 มิลลิโมลาร์ เกิดการตกตะกอน เนื่องจากถูกลดหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนบนแผ่นกราฟีนออกไซด์ออกมาก ส่งผลให้แผ่นกราฟีนออกไซด์สามารถกลับมาใกล้ชิดกันและเกิดเป็นกราฟีนไฟออกไซด์ขึ้น จึงทำให้สารละลายเกิดการตกตะกอนจึงสามารถสรุปได้ว่ารีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 13.36 มิลลิโมลาร์ มีความเสถียรน้อยที่สุด โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Mujeeb Khan และคณะ [79] ซึ่งได้ทำการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

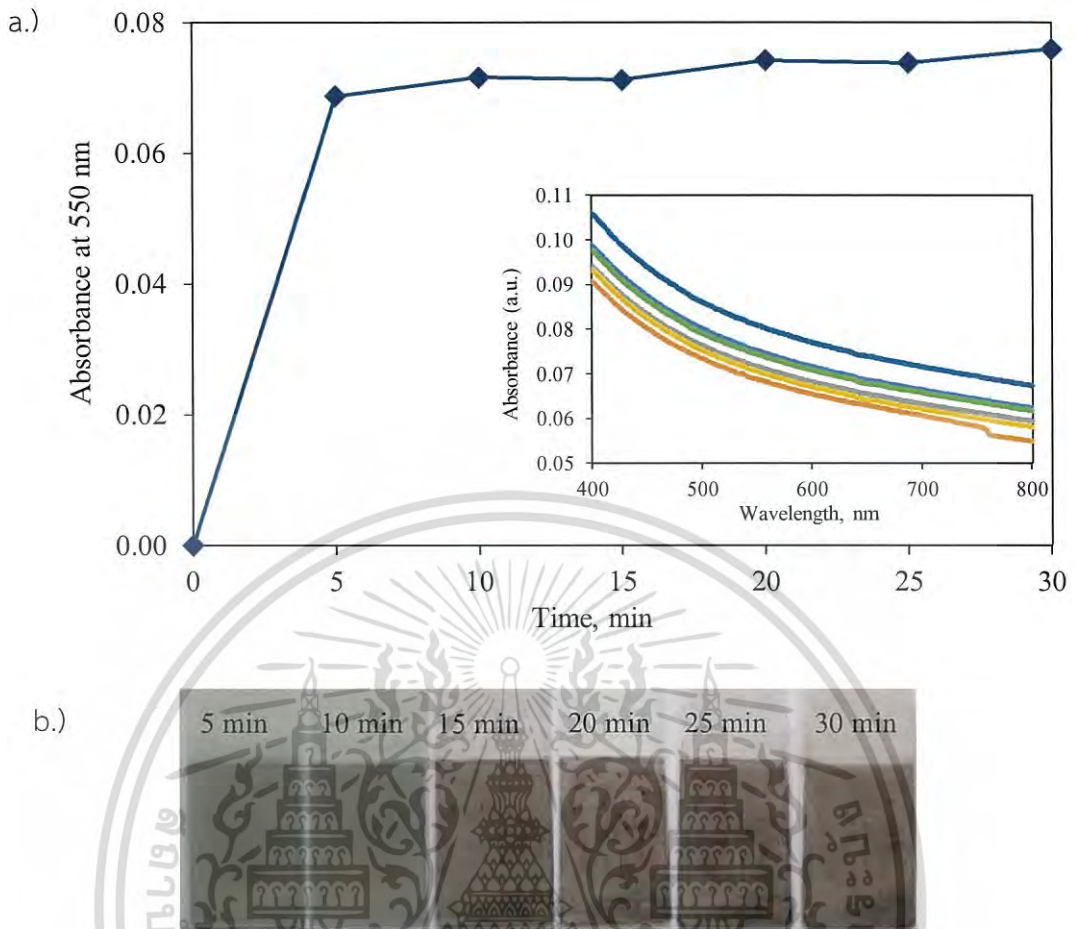
ออกไซด์ชั้นจากปฏิกิริยาทางเคมี และจากนั้นทำการวางสารละลายนี้ไว้นาน 2 อาทิตย์ พบว่าสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เกิดการตกตะกอน

4.1.5 การศึกษาการยึดเกาะ และเวลาที่เหมาะสมในการยึดติดของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 2.67, 8.01 และ 13.36 มิลลิโมลาร์ บนแผ่นฟิล์มบาง

ในการทดลองนี้ทำการศึกษาการยึดเกาะ และเวลาที่เหมาะสมในการจุ่มแผ่นฟิล์ม โดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (LBL) ระหว่างแผ่นกระจกที่เตรียมขึ้น กับสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีความเข้มข้นของไฮดราซีน 2.67 และ 8.01 มิลลิโมลาร์ โดยทำการจุ่มแผ่นกระจกลงในสารละลายรีดิวซ์กราฟีนนาน 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที เมื่อทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometry ได้ผลการทดลองแสดงผลดังรูปที่ 4.9, 4.10, 4.11 ตามลำดับ

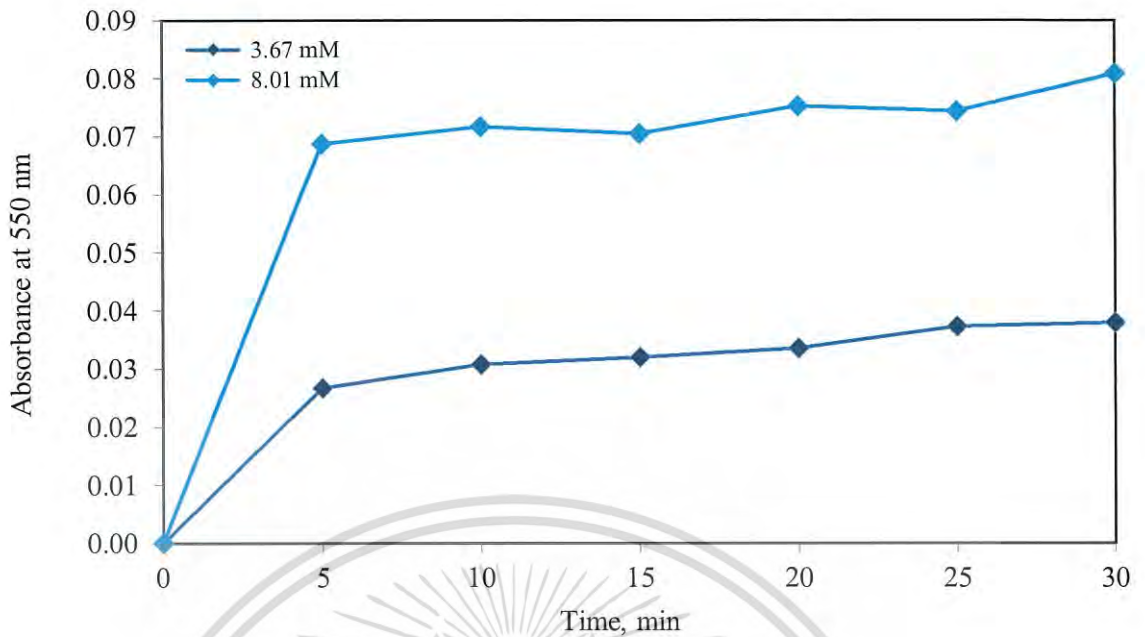


รูปที่ 4.9 (a.) การดูดกลืนแสงของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 2.67 มิลลิโมลาร์ ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที และ (b.) แผ่นฟิล์มที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที



รูปที่ 4.10 (a.) การดูดกลืนแสงของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนที่มีความเข้มข้นไฮดราซีน 8.01 มิลลิโมลาร์ ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที และ (b.) แผ่นฟิล์มที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการจุ่มแผ่นกระจกที่เตรียมขึ้นลงในสารละลายรีดิวซ์กราฟีนที่มีความเข้มข้นไฮดราซีน 2.67 มิลลิโมลาร์ และ 8.01 มิลลิโมลาร์ ที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้น ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นกระจกที่เตรียมขึ้นมีประจุบวกของ PDADMAC ซึ่งสามารถช่วยในการยึดจับรีดิวซ์กราฟีนที่มีประจุลบได้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการจุ่มแผ่นกระจกให้นานขึ้น จึงทำให้รีดิวซ์กราฟีนยึดจับบนแผ่นกระจกได้มากขึ้น จึงทำให้สีแผ่นฟิล์มดำขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (b.) เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงจึงทำให้มีการดูดกลืนแสงที่มากขึ้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเมื่อทำการจุ่มแผ่นฟิล์มให้นานมากขึ้น จะส่งผลทำให้มีการยึดเกาะของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่แผ่นกระจกมากยิ่งขึ้น

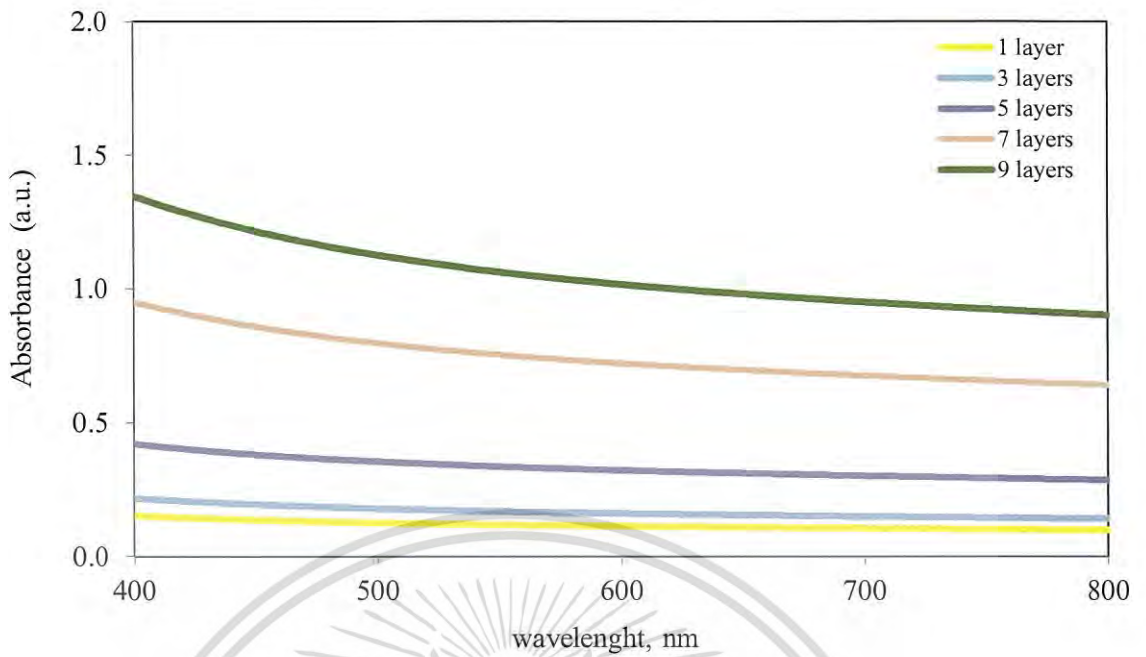


รูปที่ 4.11 การดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตรของแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนที่ความเข้มข้นไฮโดรเจน ซีน 2.67 และ 8.01 มิลลิโมลาร์ ที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่า การดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนซีน 2.67 มิลลิโมลาร์ จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการจุ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น แล้วเริ่มมีการคงที่ ที่เวลา 5 นาที ซึ่งมิต่ำค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.0267 และการดูดกลืนแสงของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นของไฮโดรเจนซีน 8.01 มิลลิโมลาร์ จะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการจุ่มแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น และเริ่มมีการคงที่ ที่เวลา 5 นาที ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงเท่ากับ 0.0716 จะเห็นได้ว่าค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่สร้างขึ้นจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนซีน 8.01 มิลลิโมลาร์ ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่สูงกว่าแผ่นฟิล์มที่สร้างขึ้นจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนซีน 2.67 มิลลิโมลาร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนซีน 8.01 มิลลิโมลาร์ ในการนำมาใช้สร้างแผ่นฟิล์ม และเลือกเวลาในการจุ่มแผ่นฟิล์มที่เวลา 10 นาที ในการสร้างเซนเซอร์

4.1.6 การศึกษาจำนวนชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่เหมาะสมในการสร้างเซนเซอร์

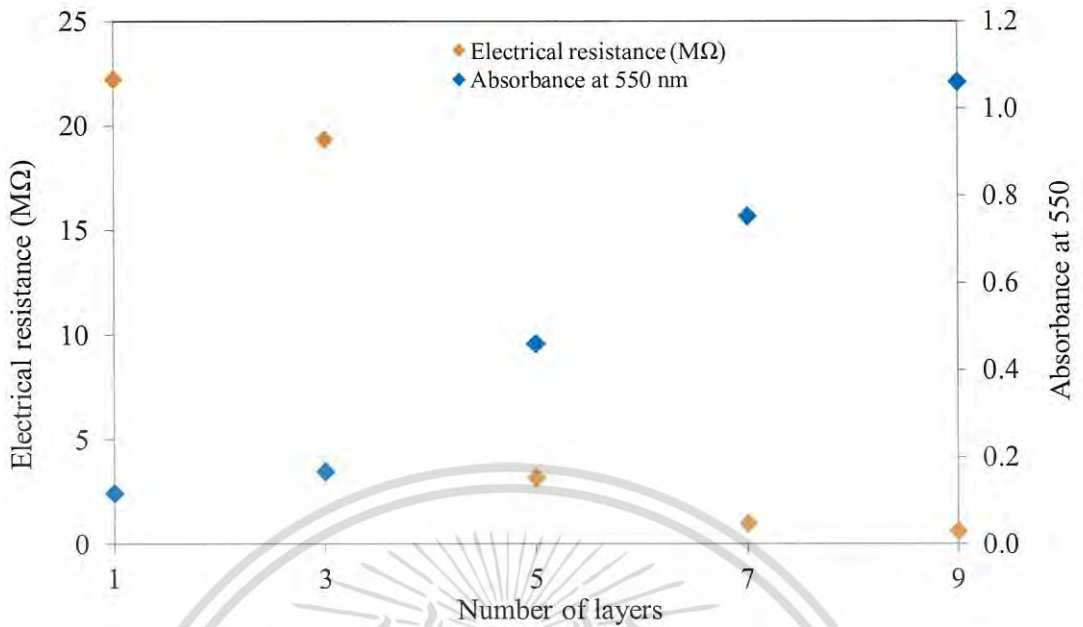
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างแผ่นฟิล์มบางด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนซีน 8.01 มิลลิโมลาร์กับ PDADMAC โดยทำการศึกษาที่จำนวนชั้นดังนี้ คือ 1, 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ เมื่อนำแต่ละชั้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.12 และเมื่อนำไปวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 การดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่สร้างขึ้นจากรีดิวิชันกราฟีนออกไซด์ที่มีความเข้มข้นไฮดราซีน 8.01 มิลลิโมลาร์ ที่จำนวนชั้น 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้น

จากรูปที่ 4.12 เมื่อทำการจุ่มแผ่นกระจกประจุกวลงในสารละลายรีดิวิชันกราฟีนที่มีประจุเป็นลบ จะเกิดขึ้นของการยึดเกาะรีดิวิชันกราฟีนชั้นที่หนึ่ง และเมื่อการล้างประจุกวของรีดิวิชันกราฟีนส่วนเกินออกและทำการจุ่มลงในสารละลาย PDADMAC ทำให้เกิดขึ้นประจุกวบนแผ่นฟิล์ม เมื่อนำแผ่นฟิล์มจุ่มลงในสารละลายรีดิวิชันกราฟีนที่มีประจุเป็นลบ จึงทำให้รีดิวิชันกราฟีนสามารถยึดเกาะบนแผ่นฟิล์มได้อีก ทำให้เกิดเป็นชั้นที่สามของรีดิวิชันกราฟีนทำให้ฟิล์มมีสีที่เข้มขึ้นเพราะจำนวนการยึดเกาะของรีดิวิชันกราฟีนบนแผ่นฟิล์มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อแผ่นฟิล์มที่จำนวนชั้น 1, 3, 5, 7, 9 ชั้น ไปวัดค่าดูดกลืนแสง จึงทำให้มีค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้น ตามลำดับ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เมื่อทำการสร้างจำนวนชั้นบนแผ่นฟิล์มให้มากขึ้น การยึดเกาะของรีดิวิชันกราฟีนบนแผ่นฟิล์มจะมีมากขึ้น ทำให้การดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น และจากผลการทดลองจะเห็นว่าแผ่นฟิล์มรีดิวิชันกราฟีนจำนวน 9 ชั้น มีการยึดเกาะของแผ่นรีดิวิชันกราฟีนเยอะที่สุด โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ankush A. Gokhale และคณะ [80] ได้ทำการสร้างแผ่นฟิล์มขึ้นจากราฟีนโดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (LBL) ด้วย Polyethylenimine ซึ่งเป็นสารที่มีประจุกวและ Polyacrylic acid ซึ่งเป็นสารที่มีประจูลบ โดยทำการสร้างจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มที่ 4, 10 และ 20 ชั้น และศึกษาความหนาของชั้นบนแผ่นฟิล์มจากค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของออกซิเจน (Oxygen permeability coefficient) ทำให้ทราบความหนาของแผ่นฟิล์มที่ 4, 10 และ 20 ชั้น ได้ว่าเมื่อจำนวนชั้นเพิ่มขึ้นความหนาของแผ่นฟิล์มจะเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นได้ว่าเมื่อจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มมากขึ้น การยึดเกาะของกราฟีนจะมีเยอะขึ้น ทำให้แผ่นฟิล์มที่ได้มีความหนาเพิ่มขึ้นตามลำดับ และเมื่อนำแผ่นฟิล์มที่รีดิวิชันกราฟีนออกไซด์ ที่จำนวนชั้น 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้น ไปวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า จากนั้นนำผลการทดลองมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง ค่าความต้านทานไฟฟ้า เทียบกับจำนวนชั้นของรีดิวิชันกราฟีน แสดงผลดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าและการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ของแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนที่จำนวน 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้น

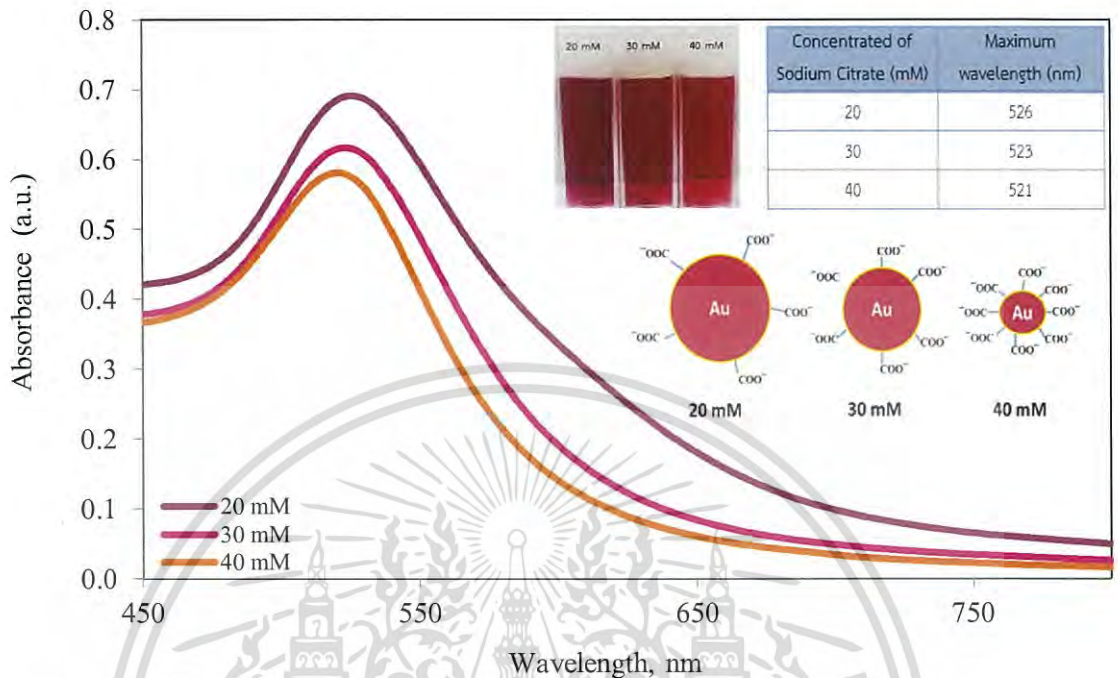
จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าที่จำนวนชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้น มีค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ และมีค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มลดลงตามลำดับหรือมีการนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ankush A. Gokhale และคณะ [81] ได้ทำการสร้างแผ่นฟิล์มจากกราฟีนโดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (LBL) ด้วย Polyethylenimine ซึ่งเป็นสารที่มีประจุบวกและ Polyacrylic acid ซึ่งเป็นสารที่มีประจุลบ โดยทำการสร้างจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มที่ 4, 10 และ 20 ชั้น และศึกษาความหนาของชั้นบนแผ่นฟิล์มพบว่าเมื่อจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มมากขึ้น การยึดเกาะของกราฟีนจะมีเยอะ และทำการศึกษาการนำไฟฟ้าของแผ่นฟิล์ม พบว่าเมื่อจำนวนชั้นของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานไฟฟ้าจะลดลงหรือมีการนำไฟฟ้าบนแผ่นฟิล์มดีขึ้น

4.2 การศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคทองในระดับนาโน

4.2.1 การศึกษาความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมไซเตรตที่เหมาะสมในการรีดิวซ์อนุภาคระดับทองระดับนาโน (AuNPs)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนด้วยวิธีของ Turkevich ซึ่งใช้โซเดียมไซเตรตเป็นสารรีดิวซ์ โดยใช้ความเข้มข้นของโซเดียมไซเตรต ได้แก่ 20, 30 และ 40 มิลลิโมลาร์ ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองระดับนาโนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometry ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.14 จากนั้นทำการจุ่มแผ่นกระจกประจุบวกลงในสารละลายอนุภาคทองในระดับนาโนที่ความเข้มข้นของโซเดียมไซเตรต 20, 30 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 40 มิลลิโมลาร์ จากนั้นรอกจนแห้ง เมื่อนำไปวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าบนแผ่นฟิล์มได้ผลการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.14 การดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนที่เติมโซเดียมซิเตรต 20, 30 และ 40 มิลลิโมลาร์

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่เติมโซเดียมซิเตรต 20, 30 และ 40 มิลลิโมลาร์ มีการเคลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่สั้นลง (Blue shift) เมื่อความเข้มข้นของโซเดียมซิเตรตเพิ่มขึ้น โดยมีการดูดกลืนแสงสูงสุดขึ้นที่ความยาวคลื่น 526, 523 และ 521 แสดงให้เห็นได้ว่าปริมาณความเข้มข้นของโซเดียมซิเตรตมีผลต่อการที่รีดิวซ์อนุภาคทองประจุสามบวก (Au^{3+}) ไปเป็นอนุภาคทองมีประจุเป็นศูนย์ (Au^0) ซึ่งทำให้อนุภาคทองมีขนาดที่เล็กลงอยู่ในระดับนาโนเมตร ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงเปลี่ยนแปลงไป ทั้งนี้เมื่อขนาดอนุภาคทองระดับนาโนมีขนาดเล็กลง การดูดกลืนแสงของอนุภาคทองในระดับนาโนจะดูดกลืนความยาวคลื่นแสงที่สั้นลง (Blue shift) ตามลำดับ ซึ่งสามารถอธิบายการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนด้วยปรากฏการณ์ Surface plasmon resonance และนอกจากนี้โซเดียมซิเตรตยังเป็นสารที่ช่วยรักษาเสถียรภาพของอนุภาคทองในระดับนาโนด้วย โดยโซเดียมซิเตรตมีประจุเป็นลบจะไปยึดเกาะบนอนุภาคทองระดับนาโน ดังนั้นทำให้อนุภาคทองระดับนาโนถูกล้อมรอบด้วยประจุลบของโซเดียมซิเตรต ดังนั้นจึงช่วยป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคทองในระดับนาโนได้ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเมื่อใส่ความเข้มข้นของโซเดียมซิเตรตมาก ทำให้อนุภาคทองมีขนาดเล็กมากขึ้น เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงจะเกิด (Blue shift) และทำให้มีประจุลบบนอนุภาคทองมากขึ้น โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Roshdi Seoudi และคณะ [82] ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคทองในระดับนาโน โดยใช้โซเดียมซิเตรตเป็นสารรีดิวซ์และสารรักษาเสถียรภาพ โดยทำการศึกษาสารละลายทองและโซเดียมซิเตรตที่อัตราส่วน 10:5, 10:10, 10:20 เมื่อนำสารละลายอนุภาคทองในระดับนาโนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometry เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่า การดูดกลืนแสงของสารละลายอนุภาคทองในระดับนาโนจะเกิดที่ความยาวคลื่น 514 นาโนเมตร และเมื่อใส่ปริมาตรของโซเดียมซิเตรตมากขึ้น อนุภาคทองระดับนาโนจะดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่นสั้นลง (Blue shift) ซึ่งเมื่ออัตราส่วนของสารเปลี่ยนจะส่งผลทำให้ขนาดอนุภาคทองในระดับนาโนมีการเปลี่ยนแปลง จากนั้นทำการจุ่มแผ่นกระจกประจุบวกลงในสารละลายอนุภาคทองในระดับนาโนที่ความเข้มข้นของโซเดียมซิเตรต 20, 30 และ 40 มิลลิโมลาร์ จากนั้นรอรจนแห้ง เมื่อนำไปวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าบนแผ่นฟิล์มได้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

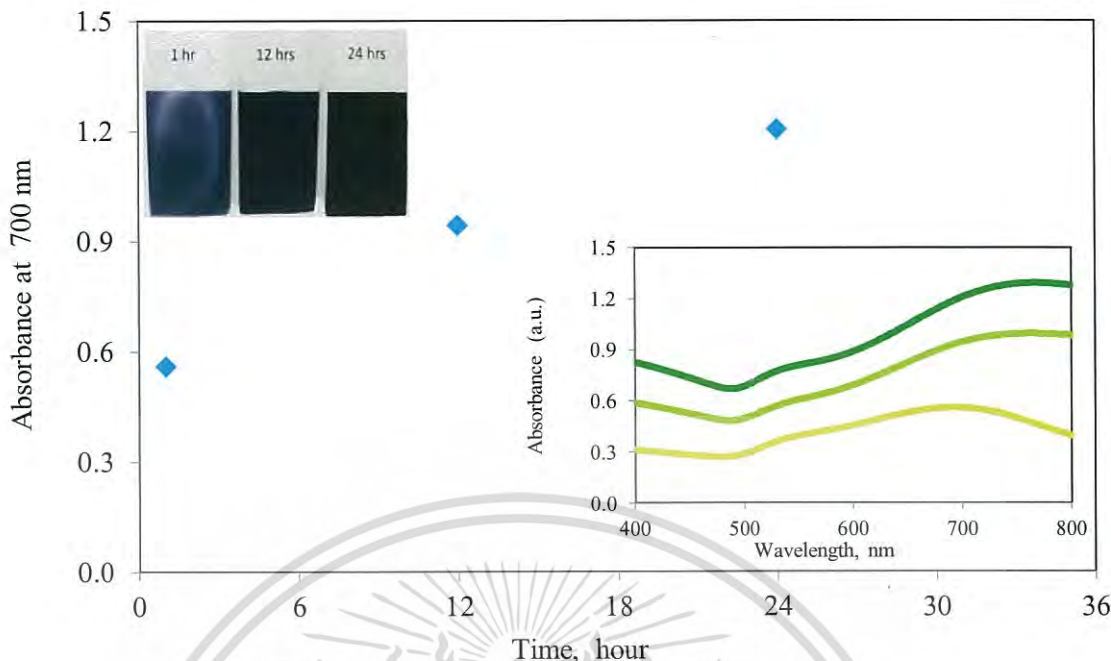
ตารางที่ 4.1 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมซิเตรต 20 , 30 และ 40 มิลลิโมลาร์

Concentration of Sodium citrate (mM)	Electrical resistance (M Ω)
20	5.09
30	7.512
40	9.804

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อความเข้มข้นของโซเดียมซิเตรตมากขึ้น ค่าความต้านทานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นหรือการนำไฟฟ้าต่ำลง เนื่องจากเมื่อใส่ความเข้มข้นของโซเดียมซิเตรตมาก นอกจากจะส่งผลทำให้อนุภาคทองระดับนาโนที่ได้มีขนาดที่เล็กมาก แล้วยังส่งผลทำให้เกิดประจุลบของหมู่ (COO) บนอนุภาคทองนาโนมาก ซึ่งหมู่ (COO) มีผลทำให้การขนส่งอิเล็กตรอนแย่ง ดังนั้นจึงทำให้การนำไฟฟ้าต่ำลง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ในการศึกษาความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรตที่เหมาะสม ในการรีดิวซ์อนุภาคทองระดับนาโน คือ 20 มิลลิโมลาร์ เนื่องจากได้อนุภาคทองระดับนาโนที่ให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด ซึ่งเหมาะแก่การนำไปสร้างเซนเซอร์ในงานวิจัยนี้

4.2.2 การศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการยิดเกาะอนุภาคทองในระดับนาโนบนแผ่นฟิล์มบาง

ในการทดลองนี้ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการยิดเกาะอนุภาคทองในระดับนาโนกับ PDADMAC โดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (LBL) โดยทำการจุ่มแผ่นกระจกที่เตรียมขึ้น ลงในสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่เติมความเข้มข้นของโซเดียมเตรต 20 มิลลิโมลาร์ ที่เวลา 1, 12 และ 24 ชั่วโมง เมื่อนำแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่ได้ไปทำการวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometry แสดงผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 4.15 และวัดค่าความต้านทานของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโนที่เวลา 1, 12 และ 24 ชั่วโมง แสดงผลการทดลองที่ได้ดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.15 การดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโน ที่เวลาจุ่มแผ่นฟิล์ม 1, 12, 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.15 เมื่อจุ่มแผ่นกระจกที่เตรียมขึ้นซึ่งมีประจุบวก ลงในการละลายอนุภาคทองระดับนาโน ซึ่งมีประจุเป็นลบของไซเตรต จึงทำให้อนุภาคทองสามารถยึดเกาะบนกระจกได้ ดังนั้นเมื่อเพิ่มเวลาในการจุ่มแผ่นกระจกลงในสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนให้นานขึ้น ทำให้อนุภาคทองยึดเกาะบนพื้นผิวของกระจกได้มากขึ้น ทำให้ได้แผ่นฟิล์มสีเข้มขึ้น เมื่อนำไปว่าค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometry ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มจึงเพิ่มขึ้น ซึ่งในการทดลองนี้เวลาการจุ่มแผ่นฟิล์มที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงสุด ดังนั้นจึงมีการยึดเกาะของอนุภาคทองในระดับนาโนบนแผ่นฟิล์มมากที่สุด

ตารางที่ 4.2 การวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองนาโน ที่เวลา 1, 12 และ 24 ชั่วโมง

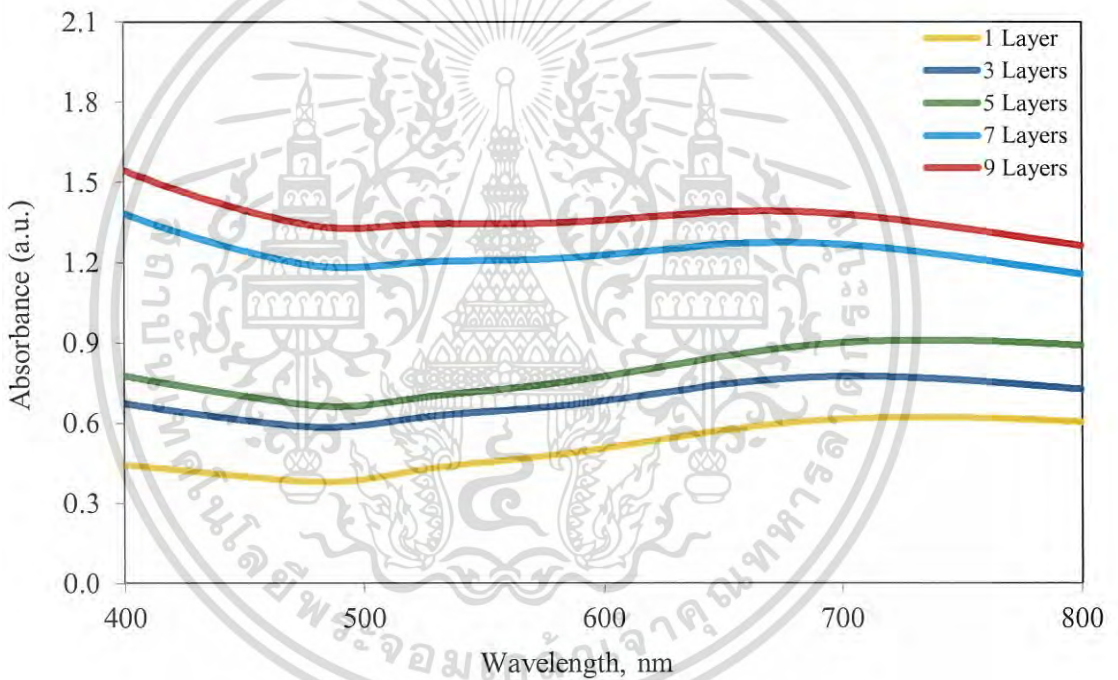
Time (hour)	Electrical resistance (MΩ)
1	9.05
12	4.76
24	2.897

จากตารางที่ 4.2 เมื่อทำการจุ่มแผ่นกระจกที่เตรียมขึ้นซึ่งมีประจุเป็นบวก ลงในสารละลายอนุภาคทองในระดับนาโนซึ่งมีประจุลบ ทำให้อนุภาคทองในระดับนาโนสามารถยึดจับบนแผ่นฟิล์มได้ ดังนั้นจากข้อมูลในตารางข้างต้นทำให้อนุภาคทองระดับนาโนยึดเกาะบนแผ่นกระจกมากขึ้น ทำให้เมื่อนำแผ่นฟิล์มมาวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า ทำให้มีค่าความต้านทานที่ลดน้อยลง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเวลาที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมในการจุ่มแผ่นฟิล์มลงในสารละลายอนุภาคทองคำนาโนเท่ากับ 24 ชั่วโมง เนื่องจากมีการนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด

4.3 การศึกษาแผ่นฟิล์มจากวัสดุแต่งประกอบของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองในระดับนาโน

ในงานวิจัยนี้ต้องการสร้างแผ่นฟิล์มวัสดุแต่งประกอบของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และอนุภาคทองในระดับนาโน โดยศึกษาจากการนำแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่จำนวนชั้น ได้แก่ 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้น จุ่มลงในสารละลายอนุภาคทองในระดับนาโน เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometry แสดงผลการทดลองดังรูปที่ 4.16 และเมื่อนำแผ่นฟิล์มแผ่นฟิล์มอนุภาคทองในระดับนาโนกับรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่จำนวนชั้น 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้น ไปวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า แสดงผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.17

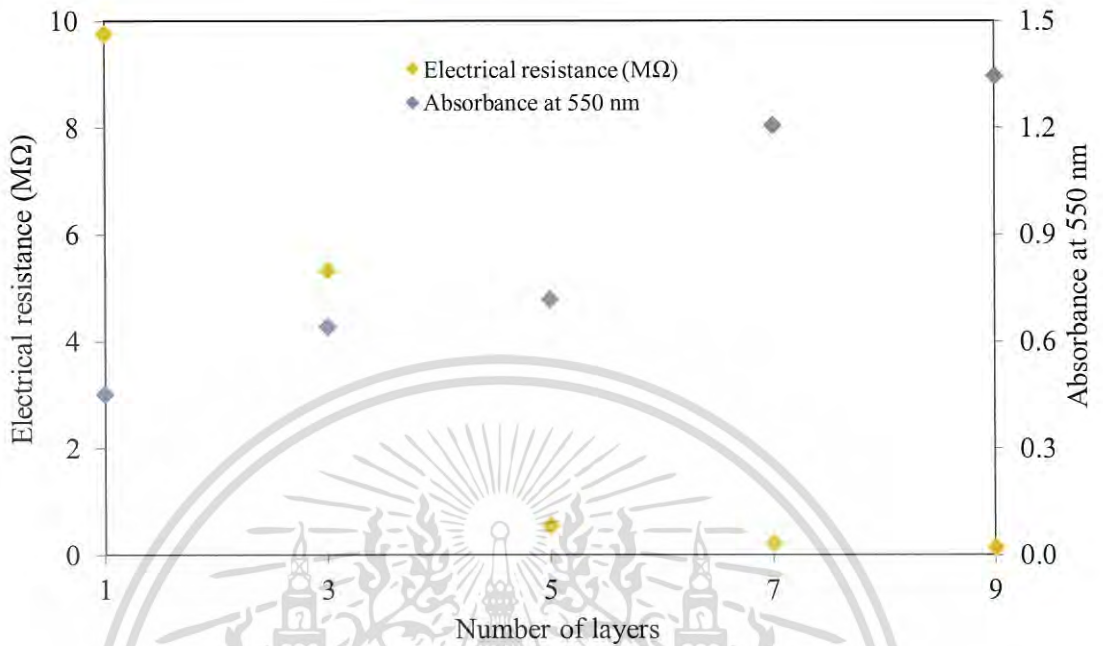


รูปที่ 4.16 กราฟการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่จำนวน 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้น กับอนุภาคทองระดับนาโน

จากรูปที่ 4.16 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มที่สร้างจากวัสดุแต่งประกอบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่มีจำนวน 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้น กับอนุภาคทองระดับนาโน โดยค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มจะเพิ่มขึ้น ตามจำนวนชั้นของรีดิวซ์กราฟีนที่เพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่าแผ่นฟิล์มมีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคทองระดับนาโนบนแผ่นฟิล์ม ทั้งนี้แผ่นฟิล์มที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด คือแผ่นฟิล์มของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 9 ชั้นกับอนุภาคทองคำนาโน จากนั้นนำแผ่นฟิล์มที่สร้างจากวัสดุแต่งประกอบรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ ที่มีจำนวน 1,

3, 5, 7 และ 9 ชั้น กับอนุภาคทองระดับนาโนมาวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า จากนั้นนำผลการทดลองมา
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ในที่เห็นเป็นประโยชน์ในการศึกษา
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง ค่าความต้านทานไฟฟ้า เทียบกับจำนวนชั้นของรีดิวซ์กราฟีน ในแผ่นฟิล์มที่สร้างจากวัสดุแต่งประกอบแสดงผลดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้า และการดูดกลืนที่ความยาวคลื่น 550 นาโนเมตร ของแผ่นฟิล์มแต่งประกอบกราฟีนที่จำนวนชั้นต่างๆ กับอนุภาคทองนาโน

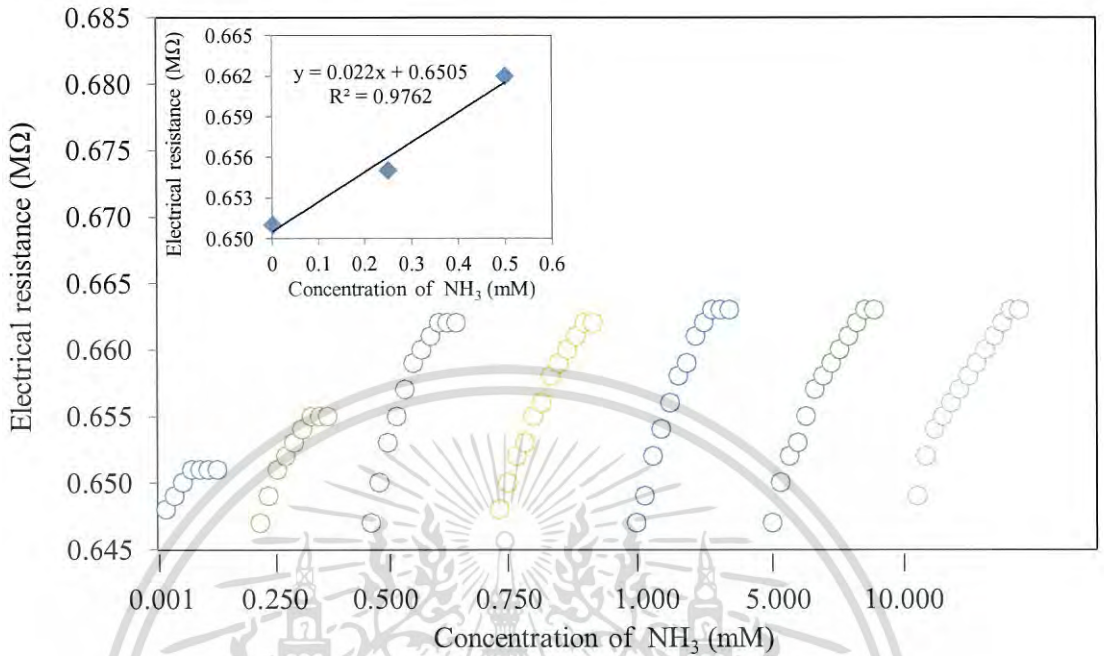
จากรูปที่ 4.17 เนื่องจากจำนวนชั้นรีดิวซ์กราฟีนที่จำนวนชั้น 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้น จะมีการสะสมของรีดิวซ์กราฟีนมากขึ้นเมื่อนำจุ่มลงในสารละลาย PDADMAC เพื่อให้ชั้นประจุบวกขึ้น จากนั้นจึงนำแผ่นฟิล์มประจุบวก จุ่มในสารละลายอนุภาคทองระดับนาโนที่มีประจุลบ ทำให้เกิดการยึดเกาะของอนุภาคทองระดับนาโนที่แผ่นฟิล์ม จึงทำให้ค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มเพิ่มขึ้น ตามลำดับ และในขณะเดียวกันค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มจะลดลง หรือมีการนำไฟฟ้าดีขึ้น ดังนั้นแผ่นฟิล์มที่สร้างขึ้นจากวัสดุแต่งประกอบของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 9 ชั้น กับอนุภาคทองระดับนาโน มีการนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด จึงเหมาะสมในการนำมาเซนเซอร์มากที่สุดในงานวิจัยนี้

4.4 การศึกษาการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย

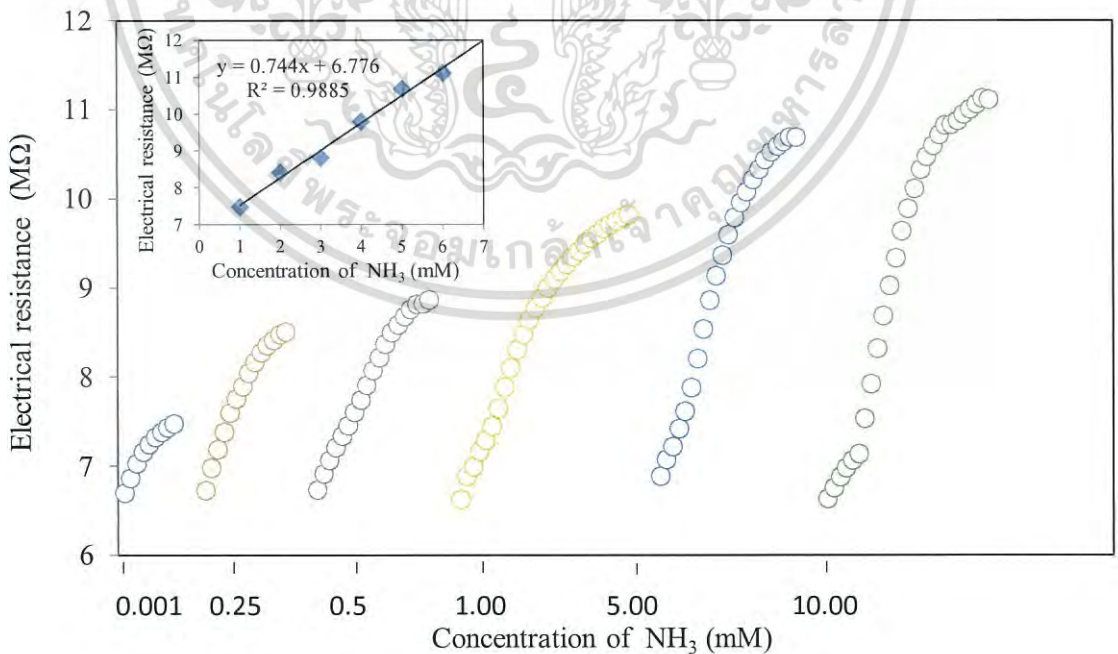
4.4.1 การตรวจวัดของแก๊สเซนเซอร์ที่สร้างจากวัสดุเซนเซอร์ชนิดต่างๆ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียจากวัสดุเซนเซอร์ 3 ชนิดได้แก่ แผ่นฟิล์มเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์จำนวน 9 ชั้น แผ่นฟิล์มอนุภาคทองในระดับนาโน และแผ่นฟิล์มเซนเซอร์ที่สร้างขึ้นจากวัสดุแต่งประกอบรีดิวซ์กราฟีนจำนวน 9 ชั้น กับอนุภาคทองระดับนาโน โดยใช้น้ำปราศจากไอออน เป็นบัลลงค์และทำการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียที่ 7 ความเข้มข้น ดังนี้ 0.001, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 5 และ 10 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำปราศจากไอออน ในการเจือจาง และให้อุณหภูมิแก่สารละลายที่ 100 องศาเซลเซียส จากนั้นเมื่อทำการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียที่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นต่างๆ และนำสัญญาณของแอมโมเนียที่เกิดขึ้นหักลบกับสัญญาณของน้ำปราศจากหรือ
แปลงก็ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20

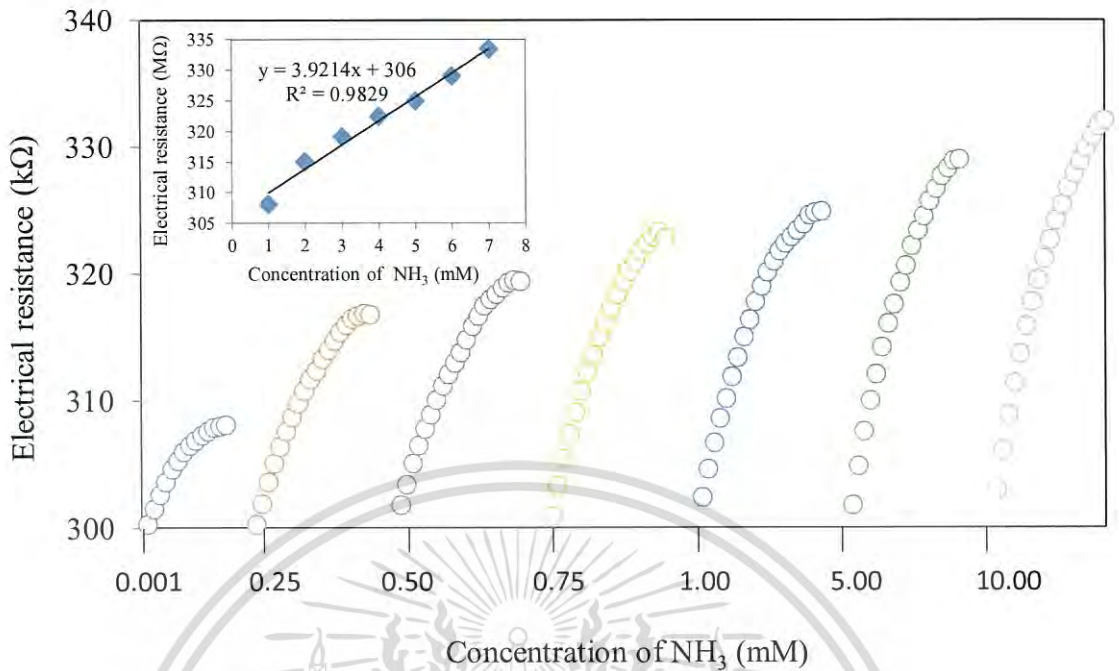


รูปที่ 4.18 การตรวจวัดของแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 9 ชั้น กับแอมโมเนียความเข้มข้น 0.001, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 5 และ 10 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 4.19 การตรวจวัดของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองนาโน กับแอมโมเนียความเข้มข้น 0.001, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 5 และ 10 มิลลิโมลาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 การตรวจวัดของแผ่นฟิล์มแต่งประกอบระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 9 ชั้น และอนุภาคทองในระดับนาโนกับแอมโมเนียความเข้มข้น 0.001, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 5 และ 10 มิลลิโมลาร์

จากรูปที่ 4.18, 4.19 และ 4.20 ทำให้เห็นได้ว่า เมื่อทำการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียที่ความเข้มข้นมากขึ้น ค่าความต้านไฟฟ้าบนแผ่นฟิล์มจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากแอมโมเนียมีผลต่อพอลิเมอร์ PDADMAC ที่อยู่ในระหว่างชั้นของรีดิวซ์กราฟีน โดยทำให้พอลิเมอร์ชนิดนี้บวมมากขึ้นส่งผลให้การนำไฟฟ้าลดลงหรือค่าความต้านทานสูงขึ้น และจากจากรูปที่ 4.18 ผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่าแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 9 ชั้น สามารถทำการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียได้ที่ช่วงความเข้มข้น 0.001-0.5 มิลลิโมลาร์ และที่การตรวจวัดแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.75-10 มิลลิโมลาร์ จะเห็นว่าการตรวจวัดแอมโมเนียของแผ่นฟิล์มให้ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ไม่แตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มชนิดนี้ไม่สามารถทำการตรวจวัดแอมโมเนียในช่วงดังกล่าวได้ โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dinesh Chandra Tiwari และคณะ [83] ได้ทำการสร้างแผ่นฟิล์มแต่งประกอบขึ้นจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์และพอลิไพร์โรล (Polypyrrole) และทำการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 3-50 ppm และ 125-500 ppm พบว่าเมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียเพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานไฟฟ้าจะมากขึ้น และจากรูปที่ 4.19 แสดงการตรวจวัดของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองระดับนาโน ซึ่งจะเห็นได้ว่าแผ่นฟิล์มชนิดนี้สามารถทำการตรวจวัดแอมโมเนียได้ที่ช่วงความเข้มข้น 0.001-10 มิลลิโมลาร์ และจากรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าแผ่นฟิล์มแผ่นฟิล์มแต่งประกอบระหว่างรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 9 ชั้น และอนุภาคทองนาโนสามารถทำการตรวจวัดแอมโมเนียได้ที่ช่วงความเข้มข้น 0.001-10 มิลลิโมลาร์ โดยสามารถสรุปผลการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียที่ของวัสดุเซนเซอร์ 3 ชนิด ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 5 แสดงการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียที่ของวัสดุเซนเซอร์ 3 ชนิด

ชนิดวัสดุเซนเซอร์	ช่วงการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย (mM)	หน่วยการวัด	สมการเส้นตรง	(R ²)
รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 9 ชั้น	0.001-0.5	(MΩ)	$y = 0.022x + 0.6505$	0.9762
อนุภาคทองระดับนาโน	0.001-10	(MΩ)	$y = 0.744x + 6.776$	0.9885
วัสดุแต่งประกอบรีดิวซ์กราฟีน 9 ชั้น กับอนุภาคทองระดับนาโน	0.001-10	(kΩ)	$y = 3.9214x + 306$	0.9829

จากตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าการตรวจวัดของแก๊สเซนเซอร์ที่สร้างจากวัสดุเซนเซอร์ 3 ชนิด สามารถทำการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเซนเซอร์ที่สร้างจากอนุภาคทองระดับนาโน และวัสดุแต่งประกอบรีดิวซ์กราฟีน 9 ชั้น กับอนุภาคทองระดับนาโนให้ผลการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียที่ดีกว่าเซนเซอร์ที่สร้างจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ 9 ชั้น และหน่วยในการตรวจวัดของวัสดุเซนเซอร์ที่สร้างจากวัสดุแต่งประกอบรีดิวซ์กราฟีน 9 ชั้น กับอนุภาคทองระดับนาโนให้หน่วยความต้านทานที่ต่ำกว่าหรือให้การนำไฟฟ้าที่สูงกว่าวัสดุเซนเซอร์ที่สร้างจากอนุภาคทองระดับนาโน

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์รีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ (rGO) สังเคราะห์อนุภาคทองนาโน (AuNPs) และทำการสร้างวัสดุแต่งประกอบจากแผ่นฟิล์มบางรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ กับอนุภาคทองนาโน โดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแผ่นฟิล์มแบบชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer) เพื่อนำไปตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย โดยเริ่มจากการปรับปรุงพื้นผิวของกราฟีนออกไซด์ด้วยการหาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์รวมถึงการศึกษาความเสถียร และการยึดเกาะของรีดิวซ์กราฟีนที่เติมไฮดราซีนที่ความเข้มข้นต่างๆ สรุปผลได้ดังนี้ ความเข้มข้นของไฮดราซีนที่เหมาะสมในการรีดิวซ์หมู่ฟังก์ชันของกราฟีนออกไซด์คือ 8.01 มิลลิโมลาร์ พิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่อง TEM และศึกษาจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการสร้างแผ่นฟิล์มบางรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่จำนวน 1, 3, 5, 7 และ 9 ชั้น แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสง และศึกษาความต้านทานทางไฟฟ้าพบว่าจำนวนชั้นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์เพิ่มขึ้น การนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นจำนวนชั้นที่เหมาะสมในการสร้างแผ่นฟิล์มบางคือ 9 ชั้น เพราะมีการนำไฟฟ้าที่ดีที่สุด การสังเคราะห์อนุภาคทองในระดับนาโนโดยอาศัยการรีดักชัน (Reduction) ของโซเดียมซิเตรต ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นทั้งตัวรีดิวซ์และสารรักษาความเสถียรภาพ โดยความเข้มข้นโซเดียมซิเตรตมีผลต่อขนาดและการนำไฟฟ้าของอนุภาคทองนาโน ดังนั้นจึงมีการศึกษาความเข้มข้นที่เหมาะสมในการรีดิวซ์อนุภาคทองนาโนที่ความเข้มข้น 20, 30 และ 40 มิลลิโมลาร์ ด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometry พบว่า อนุภาคทองที่สังเคราะห์ได้มีขนาดแตกต่างกันและวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าบนแผ่นฟิล์มที่มีอนุภาคทองระดับนาโนที่ความเข้มข้นโซเดียมซิเตรตต่างๆ พบว่าความเข้มข้นโซเดียมซิเตรต 20 มิลลิโมลาร์ มีการนำไฟฟ้าที่ดี จากนั้นศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการยึดเกาะอนุภาคทองนาโนลงบนแผ่นฟิล์มบางโดยทำการศึกษาที่เวลา 1, 12 และ 24 ชั่วโมง และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง UV-Vis แล้ววัดค่าความต้านทานไฟฟ้า พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของแผ่นฟิล์มอนุภาคทองที่เวลา 24 ชั่วโมง มีค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด แสดงว่ามีอนุภาคทองนาโนยึดเกาะบนแผ่นฟิล์มมากที่สุด และจากการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของแผ่นฟิล์ม พบว่าแผ่นฟิล์มที่มีการจุ่มนาน 24 ชั่วโมง มีค่าความต้านทานไฟฟ้าน้อยที่สุด ดังนั้นสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการยึดเกาะของอนุภาคทองนาโนคือ 24 ชั่วโมง มีการศึกษาการการสังเคราะห์วัสดุแต่งประกอบระหว่างรีดิวซ์กราฟีนและอนุภาคทองนาโนโดยนำแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนที่ชั้นต่างมาจุ่มทองนาโน วิเคราะห์ด้วยการหาค่าดูดกลืนแสงและค่าความต้านทานไฟฟ้า สรุปได้ว่าเมื่อนำแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนกับอนุภาคทองระดับนาโน พบว่าแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีน 9 ชั้น กับอนุภาคทองระดับนาโน ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้น และมีการนำไฟฟ้าที่ดีขึ้น ศึกษาการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนีย โดยนำแผ่นฟิล์มบางรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ แผ่นฟิล์มอนุภาคทองนาโน และแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองนาโน ไปทำการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.001-10 มิลลิโมลาร์ พบว่าแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองนาโนสามารถตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.001-10 มิลลิโมลาร์ และให้ค่าสัญญาณที่สูง เมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มชนิดอื่นๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า วิธีที่พัฒนาขึ้นมานี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และมีข้อดีกว่าเทคนิคอื่นๆที่ใช้ในการตรวจวัดแก๊สแอมโมเนียเช่นเดียวกัน คือ เป็นวิธีที่ใช้งานง่าย สะดวก รวดเร็ว ค่าใช้จ่ายไม่สูง อีกทั้งยังไม่ต้องใช้ความชำนาญทางเครื่องมือเป็นพิเศษเหมือนกันวิธีอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการนำอนุภาคทองนาโนที่สังเคราะห์ได้ ไปทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy
2. ควรมีการพิสูจน์เอกลักษณ์วัสดุแต่งประกอบของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์กับอนุภาคทองในระดับนาโน ด้วยเทคนิค Transmission electron microscopy, Raman spectroscopy, X-ray Diffractometer (XRD) เป็น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] แอมโมเนีย. [Online]. Available : <http://www.siamchemi.com>.
- [2] William K. Fowler. 1991. "Response of the flame-photometric detector to ammonia." Anal. Chem. 63(1991) 63 : 2798–2800.
- [3] Almeida, M.G.S., Estela, J.M., Segundo, M.A. & Cerdà, V. 2011. "A Membraneless gas-diffusion unitmultisyringe flow injection spectrophotometric method for ammonium determination in untreated environmental samples." Talanta. 84(2011) : 1244-1252.
- [4] 2016. นาโนเทคโนโลยีคืออะไร. [Online]. Available : <http://www.nano.kmitl.ac.th/index.php>.
- [5] นาโนเทคโนโลยีคืออะไร. [Online]. Available : <https://th.wikipedia.org/wiki/นาโนเทคโนโลยี>.
- [6] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน. 2558. ประวัติความเป็นมาของนาโนเทคโนโลยี. [Online]. Available : <http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=32&chap=8&page=t32-8-infodetail02.html>.
- [7] สวทช. นาโนเทคโนโลยี. [Online]. Available : <http://nstda.or.th/rural/public/100%20articles-stkc/33.pdf>.
- [8] กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2009. บทสรุปนาโนเทคโนโลยี. [Online]. Available : <http://library.dip.go.th/Industrial%20Innovation/www/inno2-08.html>.
- [9] Elliott AM, Shetty AM, Wang J, Hazle JD and Jason Stafford R. 2010. "Use of gold nanoshells to constrain and enhance laser thermal therapy of metastatic liver tumours." Int J Hyperthermia. 26(2010) : 34-40.
- [10] ฐาปนี อินทรทัต. ผลิตภัณฑ์จากวัสดุนาโนในอนาคต. [Online]. Available : <https://www.mtec.or.th/academic-services/mtec-knowledge/121->
- [11] อนุรักษ์ ศุภกา. นาโนคอมพิวเตอร์เชิงชีวเคมีหรือเคมี. [Online]. Available : http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/TN217B_p32-37.pdf.
- [12] 2008. นาโนเทคโนโลยี. [Online]. Available : <http://bourpram-nano.blogspot.com/2008/02/3.html>.
- [13] เรื่องนารัฐสารไทเทเนียมไดออกไซด์. [Online]. Available : <https://www.rsu.ac.th//engineer/enginee/che/news/News%20Data/เรื่องนารัฐสารไทเทเนียมไดออกไซด์.pdf>.
- [14] ศิระ ศิลานนท์. "จอแสดงผล OLED" ก้าวที่กำลังมาแรงของนาโนเทคโนโลยี. [Online]. Available : <http://www.tistr.or.th/tistrblog/?p=446>.
- [15] A. K. Geim , K. S. Novoselov. 2007. "The rise of grapheme." Nature Materials.6(2007) : 183 – 191.
- [16] สวทช. 2010. แกรฟีนวัสดุแห่งโลกอนาคต. [Online]. Available : <http://www.nstda.or.th/news/2398-2010-11-01-02-36-30>.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [17] กราฟีน. [Online]. Available : <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Graphen.jpg>
- [18] Orlita M, Faugeras C, Plochocka P, Neugebauer P, Martinez G, Maude DK, et al. 2008. "Approaching the Dirac Point in High-Mobility Multilayer Epitaxial Graphene." *Physical Review Letters*. 101(2008) : 1-4.
- [19] Iyechika Y. 2010. "Application of Graphene to High-Speed Transistors: Expectations and Challenges." *Science and Technology Trends Quarterly Review*. 37(2010) : 76-92.
- [20] Lee C, Wei X, Kysar JW and Hone J. 2008. "Measurement of the Elastic Properties and Intrinsic Strength of Monolayer Graphene." *Science*. 18(2008) : 385-388.
- [21] Nair RR, Blake P, Grigorenko AN, Novoselov KS, Booth TJ, Stauber T, et al. 2008. "Fine Structure Constant Defines Visual Transparency of Graphene." *Science*. 1308.
- [22] สำนักงานกลางศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. การสังเคราะห์กราฟีน. [Online]. Available : http://thep-center.org/src/article_edu_t.php?article_edu_id=57.
- [23] Angela Jones and Nathaniel Safron. Mechanical Exfoliation to Make Graphene and Visualization. [Online]. Available : <http://carbon.chem.wisc.edu/Files/MechanicalExfoliation.pdf>.
- [24] Hummers, W.S., Jr. and Offeman, R.E. 1958. "Preparation of graphitic oxide." *Journal of the American Chemical Society*, 80(1985) : 1339.
- [25] S. Park and R.S. Ruoff. 2009. "chemical methods for the production of graphenes," *Nature Nanotechnology*. 4 (2009) : 217-224.
- [26] Shin, S.Bae, C. Yan, J. Kang, J. Ryu, J.-H.Ahn, and B.H. Hong, 2012. "Synthesis and applications of graphene electrodes," *Carbon Letters*. 13(2012) : 1-16.
- [27] Pei, S. and Hui-Ming Cheng. 2012. "The reduction of graphene oxide." *Carbon*. 50(2012) : 3210-3228.
- [28] Ji Chen, Bowen Yao, Chun Li and Gaoquan Shi. 2013. "An improved Hummers method for eco-friendly synthesis of graphene oxide." *Carbon*. 64(2013) : 225-229.
- [29] Vorrada Loryuenyong, Krit Totepvimarn, Passakorn Eimburanapravat, Wanchai Boonchompoo, and Achanai Buasri. 2013. "Preparation and Characterization of Reduced Graphene Oxide Sheets via Water-Based Exfoliation and Reduction Methods." *Hindawi Publishing Corporation*. 1-5.
- [30] Leila Shahriary and Anjali A. Athawale. 2014. "Graphene Oxide Synthesized by using Modified Hummers Approach." *Renewable Energy and Environmental Engineering*. 1(2014) : 58-63.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] กระบวนการเคลือบผิว. 2008. [Online]. Available : http://engineeringman.blogspot.com/2008/07/blog-post_16.html
- [32] Y. Zhang, L. Zhang, and C. Zhou. 2013. "Review of Chemical Vapor Deposition of Graphene and Related Applications." *Accounts of Chemical Research*. 46(2013) : 2329–2339.
- [33] Dhiman, P., Yavari, F., Mi, X., Gullapalli, H., Shi, Y., Ajayan, P. M., et al. (2011). "Harvesting Energy from Water Flow over Graphene." *Nano Letters*. 11(2011) : 3123–3127.
- [34] ลีถิ่นอันแปลกประหลาด. [Online]. Available : http://www.neutron.rmutphysics.com/sciencenews/index.php?option=com_content&task=view&id=470&Itemid=0&limit=1&limitstart=7.
- [35] ญัฐพันธ์ ศุภกา. 2006. ไซปรีศานาโนเทคโนโลยี. [Online]. Available : <http://www.vcharkam.com/varticle/324>.
- [36] Greg Emmerich. 2012. *Surface Plasmon Resonance: Technology Overview and Practical Applications*. [Online]. Available : <https://gregemmerich.wordpress.com/2012/11/16/surface-plasmon-resonance-technology-overview-and-practical-applications/>.
- [37] Harihar Nath Verma , Praveen Singh and R. M. Chavan. 2014. *Gold nanoparticle: synthesis and characterization*. [Online]. Available : <http://www.veterinaryworld.org/Vol.7/Feb-2014/6.pdf>.
- [38] Uppal MA, Kafizas A, Ewing MB and Parkin IP. 2010. "The effect of initiation method on the size, monodispersity and shape of gold nanoparticles formed by the Turkevich method." *New J Chem*. 34(2010) : 2906-2914.
- [39] Rosy Sharma and Rajendra N Goyal. 2015. "Gold nanoparticles decorated poly-melamine modified glassy carbon sensor for the voltammetric estimation of domperidone in pharmaceuticals and biological fluids." *Talanta*. 141(2015): 53–59
- [40] Khalida S. Merza , Hadi D. Al-Attabi , Zaid M. Abbas and Hashim A. Yusr 2012. "Comparative Study on Methods for Preparation of Gold Nanoparticles." *Green and Sustainable Chemistry*. 2(2012) : 26-28.
- [41] Wei-Chieh Huang and Yu-Chie Chen. 2008. "Photochemical synthesis of polygonal gold nanoparticles." *J Nanopart Res*. 10(2008) : 697–702.
- [42] Tapan K. Sau, Anjali Pal, N.R. Jana, Z.L. Wang⁴ and Tarasankar Pal. 2001. "Size controlled synthesis of gold nanoparticles using photochemically prepared seed particles." *Journal of Nanoparticle*. 3(2001) : 257–261.
- [43] P.M. Ajayan, L.S. Schadler and P.V. Braun. 2003. "Wiley Nanocomposite science and technology." *materials today*. 11(2003) : 239.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [44] Wiwat Keyoonwong, Yi Guo, Masatoshi Kubouchi, Saiko Aoki, and Tetsuya Sakai. 2012. "Corrosion Behavior of Three Nanoclay Dispersion Methods of Epoxy/Organoclay Nanocomposite." *International Journal of Corrosion*. 1-10.
- [45] วัสดุผสมระดับนาโน. [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit3-11.html>.
- [46] Xiao-Yan Zhang,a Hao-Peng Li,a Xiao-Li Cui and Yuehe Lin. 2010. "Graphene/TiO₂ nanocomposites: synthesis, characterization and application in hydrogen evolution from water photocatalytic splitting." *Materials Chemistry*. 20(2010) : 2801–2806.
- [47] Xiaoming Yang , Liang Li , Songmin Shang and Xiao-ming Tao. 2010. "Synthesis and characterization of layer-aligned poly(vinyl alcohol)/graphene nanocomposites." *Polymer*. 51(2010) : 3431-3435.
- [48] Langmuir, I. and Blodgett, K.B. 1935. "Über einige neue methoden zur untersuchung von monomolekularen Filmen." *Kolloid-Z.* 73(1935) : 257–263.
- [49] Kuhn, H. and Mobius D. 1971. "Systems of Monomolecular Layers-Assembling and Physico-Chemical Behavior." *Angew. Chem. Int. Ed.* 10(1971): 920–637.
- [50] Gero Decher. 2012. Layer-by-Layer Assembly. [Online]. Available : http://www.wiley-vch.de/books/sample/3527316485_c01.pdf.
- [51] Decher, G. and Hong and J.-D. 1991. "Buildup of ultrathin multilayer films by a self-assembly process: I. Consecutive adsorption of anionic and cationic bipolar amphiphiles." *Makromol. Chem.* 46(1991) : 321–327.
- [52] Lankalapalli S and Kolapali VRM. 2009. "Polyelectrolyte complexes: A review of their applicability in drug delivery technology." *Indian J Pharm Sci* 2009. 71(2009) : 481-487.
- [53] ศูนย์ข้อมูลพิษวิทยา. แอมโมเนีย. [Online]. Available : http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_21_002c.asp?info_id=196.
- [54] Krupa, S.V. 2003. "Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation:a review." *Environmental Pollution*. 124(2003) : 179–221.
- [55] Eutrophication. [Online]. Available : <https://en.wikipedia.org/wiki/Eutrophication>.
- [56] ยุทธศรี หล้ามณี. คุณสมบัติของแอมโมเนียและการรั่วซึม. [Online]. Available : http://www.thairefrig.or.th/download/thairefrig_or_th/ammonia.pdf.
- [57] Dinesh Chandra Tiwari, Priyanka Atri and Rishi Sharma. 2015. "Sensitive detection of ammonia by reduced graphene oxide/polypyrrole nanocomposites." *Synthetic Metals*. 203 (2015) : 228–234.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [58] Yong Zhou, Yadong Jiang, Tao Xie, Huiling Tai and Guangzhong Xie. 2014. "A novel sensing mechanism for resistive gas sensors based on layered reduced graphene oxide thin films at room temperature." *Sensors and Actuators B*. 203 (2014) : 135–142.
- [59] Madhav Gautam and Ahalapitiya H. Jayatissa. 2011. "Gas sensing properties of grapheme synthesized by chemical vapor deposition." *Materials Science and Engineering C*. 31(2011) : 1405-1411.
- [60] แม้น อมรสิทธิ์ และคณะ. 2554. *หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เครื่องมือ*. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์.
- [61] เครื่องยวรี-วิลิเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์. [Online]. Available : http://www.sci.nu.ac.th/chemistry/directionlab/media_doc/256254/pdf.
- [62] กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน. [Online]. Available : <http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/nano/Page/Unit4-5.html>.
- [63] Sungjin Parka, Jinho Ana, Jeffrey R. Potts, Aruna Velamakannia, Shanthi Muralia and Rodney S. Ruoffa. 2011. "Hydrazine-reduction of graphite and graphene oxide." *Carbon*. 49(2011) : 3019–3023.
- [64] Sasha Stankovicha, Dmitriy A. Dikina, Richard D. Pinera, Kevin A. Kohlhaasa, Alfred Kleinhammesc, Yuanyuan Ji, Yue Wuc and SonBinh T. Nguyen. 2007. "Synthesis of graphene-based nanosheets via chemical reduction of exfoliated graphite oxide." *Carbon*. 45(2007) :1558–1565.
- [65] Nikolina Hanžič, Tanja Jurkin, Aleksandar Maksimović and Marijan Gotić. 2015. "The synthesis of gold nanoparticles by a citrate-radiolytical method." *Radiation Physics and Chemistry*. 106(2015) : 77–82.
- [66] Jing Li and Chun-yan Liu. 2010. "Ag/Graphene Heterostructures: Synthesis, Characterization and Optical Properties." *European Journal of Inorganic Chemistry*. 8(2010) : 1244-1248.
- [67] J Song, L Xu, R Xing, Q Li, C Zhou, D Liu and H Song . 2014. " Synthesis of Au/graphene oxide composites for selective and sensitive electrochemical detection of ascorbic acid." *scientific report nature journal*. 1-7.
- [68] Xiaoyuan Xia, Shuanbao Guo, Wei Zhao, Pengcheng Xu, , Haitao Yu, Tiegang Xu and Xinxin Li. 2014. "Carboxyl functionalized gold nanoparticles in situ grown on reduced graphene oxide for micro-gravimetric ammonia sensing." *Sensors and Actuators B*. Volume 202(2014) : 846–853.
- [69] Madhav Gautam, Ahalapitiya H. Jayatissa. 2012. "Ammonia gas sensing behavior of graphene surface decorated with gold nanoparticles" *Sensors and Actuators B*. 78(2012) : 159–165.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [70] Qian Zhang, Diming Zhang, Yanli Lu, Gang Xu, Yao Yao, Shuang Li and Qingjun Liu. 2015. "Label-free amino acid detection based on nanocomposites of graphene oxide hybridized with gold nanoparticles." *Biosensors and Bioelectronics*. 77(2015) : 963–970.
- [71] Taemin Lee, Sa Hoon Min, Minsu Gu, Yun Kyung Jung, Wonoh Lee, Jea Uk Lee, Dong Gi Seong and Byeong-Su Kim. 2015. "Layer-by-Layer Assembly for Graphene-Based Multilayer Nanocomposites: Synthesis and Applications." *Chemistry of Materials*. 27(2015) : 3785-3796.
- [72] Dongzhi Zhanga, Jun Tonga, Bokai Xiaa and Qingzhong Xue. 2014. "Ultrahigh performance humidity sensor based on layer-by-layer self-assembly of graphene oxide/polyelectrolyte nanocomposite film." *Sensors and Actuators B*. 203(2014) : 263–270.
- [73] Jianchang Li, Xiangqiong Zeng, Tianhui Ren and Emile van der Heide. 2014. "The Preparation of Graphene Oxide and Its Derivatives and Their Application in Bio-Tribological Systems." *Lubricants*. 2(2014) : 137-161.
- [74] Iván Gómez, Enrique Mejía and Rafael Cabanzo. 2014. "Synthesis of graphene oxide and chemically reduced graphene nanosheet." *Revista Colombiana de Materiales*. 5(2014) : 177-184.
- [75] Alireza Hadia, Javad Karimi-Sabetb, Seyed Mohammad Ali Moosaviana and Sohrabali Ghorbanian. 2016. "Optimization of graphene production by exfoliation of graphite insupercritical ethanol: A response surface methodology approach." *The Journal of Supercritical Fluids*. 107 (2016) : 92–105.
- [76] L. Stobinska, B. Lesiaka, A. Malolepszc, M. Mazurkiewicz, B. Mierzwa, J. Zemekd, P. Jiricekd and I. Bieloshapka. 2014. "Graphene oxide and reduced graphene oxide studied by the XRD, TEM and electron spectroscopy methods." *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena*. 195(2014) : 145–154.
- [77] Mujeeb Khan, Abdulhadi H Al-Marri, Merajuddin Khan, Mohammed Rafi Shaik, Nils Mohri, Syed Farooq Adil, Mufsir Kuniyil, Hamad Z Alkhatlan, Abdulrahman Al-Warthan, Wolfgang Tremel, Muhammad Nawaz Tahir and Mohammed Rafiq H Siddiqui. 2015. "Green Approach for the Effective Reduction of Graphene Oxide Using *Salvadora persica* L. Root (Miswak) Extract." *Nanoscale Research Letters*. 10(2015) :281.
- [78] Ankush A. Gokhale, Jue Lu, Nathan J. Parker, Andrew P. Izbicki, Oishi Sanyal and Ilsoon Lee. 2013. "Conductive oxygen barrier films using supramolecular assembly of graphene embedded polyelectrolyte multilayers." *Journal of Colloid and Interface Science*. 409(2013) : 219–226.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [79] Roshdi Seoudi and Doaa A. Said. 2011. "Studies on the Effect of the Capping Materials on the Spherical Gold Nanoparticles Catalytic Activity." World Journal of Nano Science and Engineering. 1(2011) : 51-61.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การหาความเข้มข้นของสารละลายกราฟีนออกไซด์และการเตรียมสารละลายต่างๆ

1. การหาความเข้มข้นของสารละลายกราฟีนออกไซด์

- 1.1 เตรียมแผ่นกระจกเปล่า 10 แผ่น ชั่งน้ำหนัก
- 1.2 ปิเปตสารละลายกราฟีนออกไซด์มา 0.1 ml หยดลงบนกระจกแต่ละแผ่น
- 1.3 อบแผ่นกระจกจนสารละลายแห้งสนิท
- 1.4 น้ำออกจากตู้อบ ทิ้งให้เย็น
- 1.5 นำแผ่นกระจกไปชั่ง นำค่าลบน้ำหนักกระจกเปล่า ได้ผลต่างมา 10 ค่า จากนั้นนำมาหาความเข้มข้นจาก

$$\text{ความเข้มข้น} = (\Sigma n) / n_1 \times 10$$

2. การเตรียมสารละลายต่างๆ

สารเคมี

ชื่อสารเคมี	ชื่อย่อ	บริษัทที่ผลิต
โพลีไดแอลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์, Polydiallyldimethylammonium chloride	PDADMAC	Sigma- Aldrich, USA
โพลีสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิด, Polystyrene sulfonate	PSS	Sigma- Aldrich, USA
โซเดียมซิเตรทไตรเบสิกไดไฮเดรต, Sodium citrate tribasic dihydrate	$C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$	Sigma- Aldrich, USA
แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์, 30% Ammonium hydroxide	NH_4OH	Carlo Erba, USA
น้ำปราศจากไอออน, Deionized Water	DI water	RHK Group, Thailand

2.1 การเตรียมโพลีไดแอลลิลไดเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ 10 มิลลิโมลาร์ ที่มีโซเดียมคลอไรด์ 1 มิลลิโมลาร์

1. ปิเปต PDADMAC มา 7.75 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
2. ชั่งโซเดียมคลอไรด์ 58.4512 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
3. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกริมาตร
โดยการเตรียมสารจะใช้สูตรการคำนวณดังนี้ $g/M = CV/1000$

2.2 การเตรียมโพลีสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดโคมาเลอิกแอซิด 10 มิลลิโมลาร์ ที่มีโซเดียมคลอไรด์ 1 มิลลิโมลาร์

- 2.2.1 ชั่ง PSS มา 2.06 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร
- 2.2.2 ชั่งโซเดียมคลอไรด์ 58.4512 กรัม ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

2.3 การเตรียมสารละลาย 20, 30 และ 40 มิลลิโมลาร์ โซเดียมซัลเฟตไตรไฮเดรต

2.3.1 การเตรียมสารละลายโซเดียมซัลเฟตไตรไฮเดรต ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์

ชั่งโซเดียมซัลเฟต มา 1.1764 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรจนถึงขีดบอกปริมาณ จะได้สารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์

2.3.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมซัลเฟตไตรไฮเดรต ความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์

ปิเปตสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ มา 18.75 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรจนถึงขีดบอกปริมาณ จะได้สารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์

2.3.3 การเตรียมสารละลายโซเดียมซัลเฟตไตรไฮเดรต ความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์

ปิเปตสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ มา 12.50 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรจนถึงขีดบอกปริมาณ จะได้สารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์

2.4 การเตรียมสารละลายเตตระคลอโรอริกแอซิด (H₄OCl₄) ที่ความเข้มข้น 1 มิลลิโมลาร์

ชั่งสาร H₄OCl₄ มา 0.03938 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

2.5 การเตรียมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

เตรียมสารละลาย stock ของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40 มิลลิโมลาร์ โดยปิเปตสารละลาย 30% แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์มา 0.16 มิลลิลิตร ละลายด้วยน้ำกลั่นปราศจากไอออนลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตรจนถึงขีดบอกปริมาตรจะได้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์

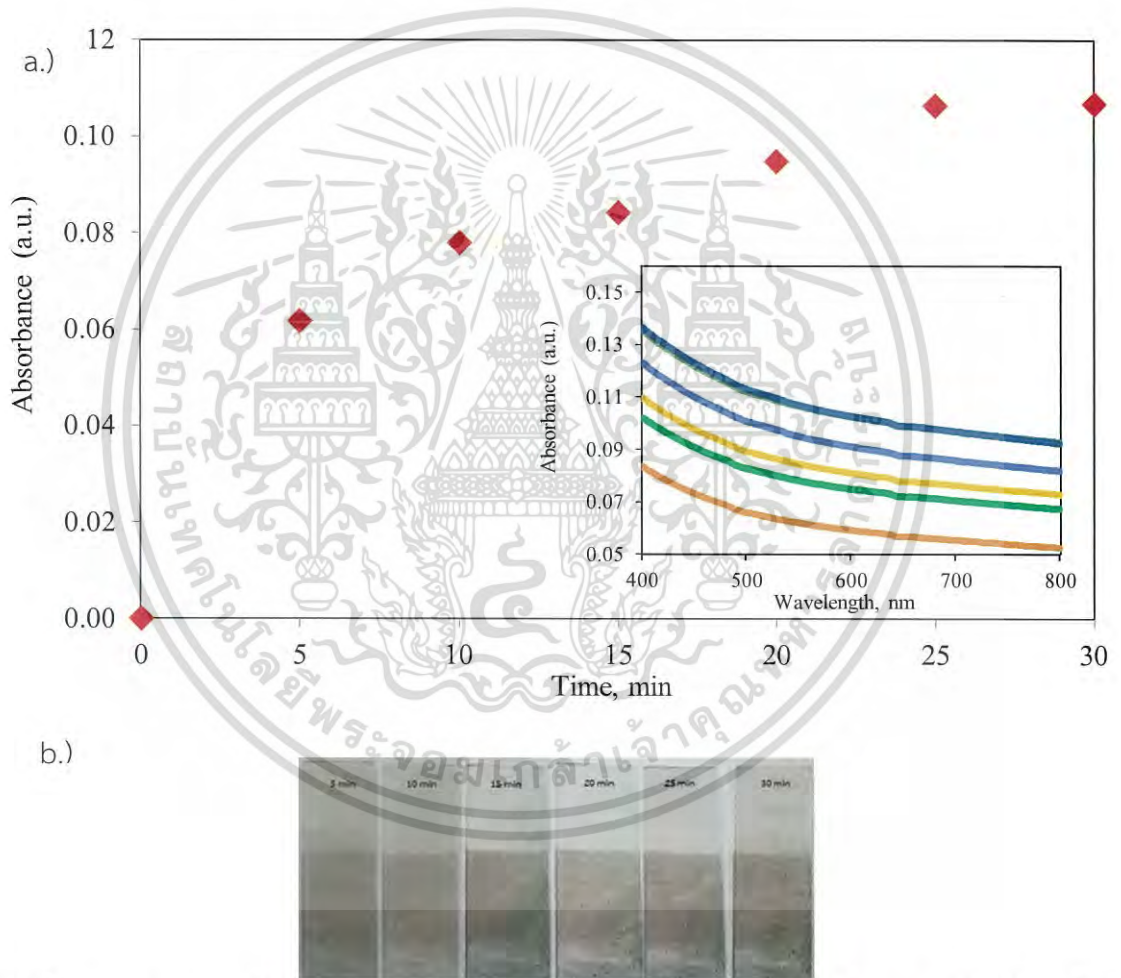
เตรียมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.001, 0.25, 0.5, 0.75, 1 และ 5 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยใช้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 10 มิลลิโมลาร์ โดยปิเปตมาดังตารางต่อไปนี้ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถึงขีดบอกปริมาตร

ความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์, mM	ปริมาตรที่ใช้, ml
0.001	0.4
0.25	2.5
0.5	5
0.75	7.5
1.0	10
5.0	50

ภาคผนวก ข

การศึกษาการยิดเกาะ และเวลาที่เหมาะสมในการยิดติดของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 13.36 มิลลิโมลาร์ บนแผ่นฟิล์มบาง

ในการทดลองนี้ทำการศึกษาการยิดเกาะ และเวลาที่เหมาะสมในการจุ่มแผ่นฟิล์ม โดยอาศัยเทคนิคการขึ้นรูปแบบชั้นต่อชั้น (LBL) ระหว่างแผ่นกระจกที่เตรียมขึ้น กับสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีความเข้มข้นของไฮดราซีน 13.36 มิลลิโมลาร์ โดยทำการจุ่มแผ่นกระจกลงในสารละลายรีดิวซ์กราฟีนนาน 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที เมื่อทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเทคนิค UV-vis spectrophotometry ได้ผลการทดลองแสดงผลดังรูป



รูปที่ 1. แสดงการดูดกลืนแสง ของแผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 13.36 มิลลิโมลาร์ ที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที และ (b.) แผ่นฟิล์มรีดิวซ์กราฟีนที่เวลา 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที

จากรูป 1.(a.) จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการจุ่มแผ่นกระจกที่เตรียมขึ้น ในสารละลายรีดิวซ์กราฟีนที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 13.36 มิลลิโมลาร์ ที่เวลา 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 นาที มีผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้น ตามลำดับ เนื่องจากแผ่นกระจกที่เตรียมขึ้นมีประจุบวกบวกของ PDADMAC ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถยึดจับรีดิวซ์กราฟีนที่มีประจุลบได้ ดังนั้นเมื่อเวลาในการจุ่มแผ่นกระจกนานขึ้นจึงทำให้รีดิวซ์กราฟีนยึดจับบนแผ่นกระจกได้มากขึ้น จึงทำให้แผ่นฟิล์มมีดำสีที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ (b.) เมื่อนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงจึงทำให้มีการดูดกลืนแสงที่มากขึ้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าเมื่อทำการจุ่มแผ่นฟิล์มนานมากขึ้น จะส่งผลทำให้มีการยึดเกาะของแผ่นรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่แผ่นกระจกมากยิ่งขึ้น

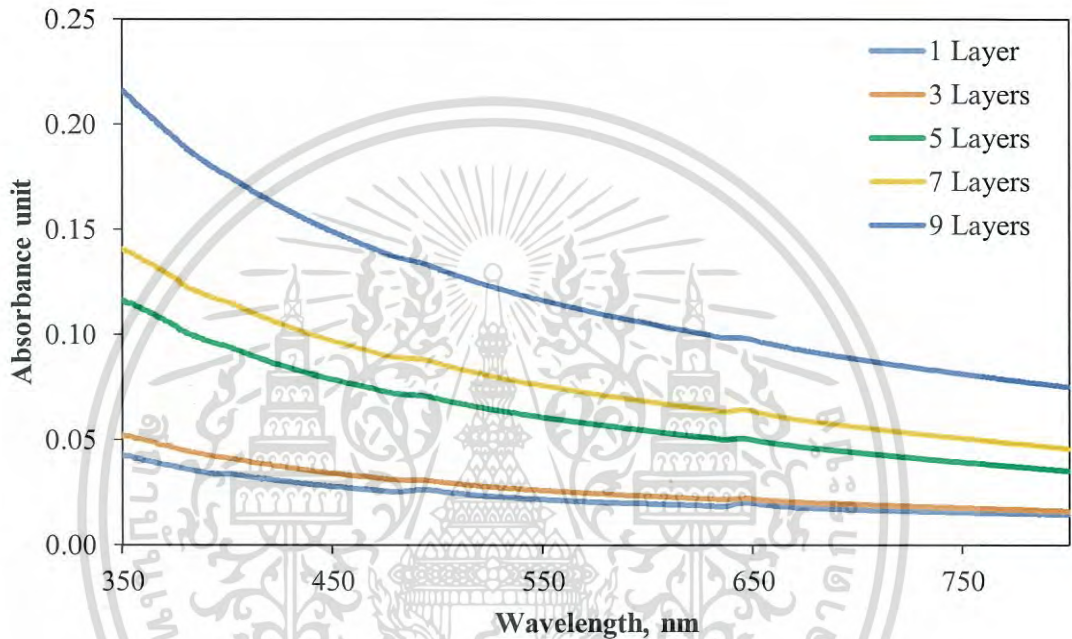


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

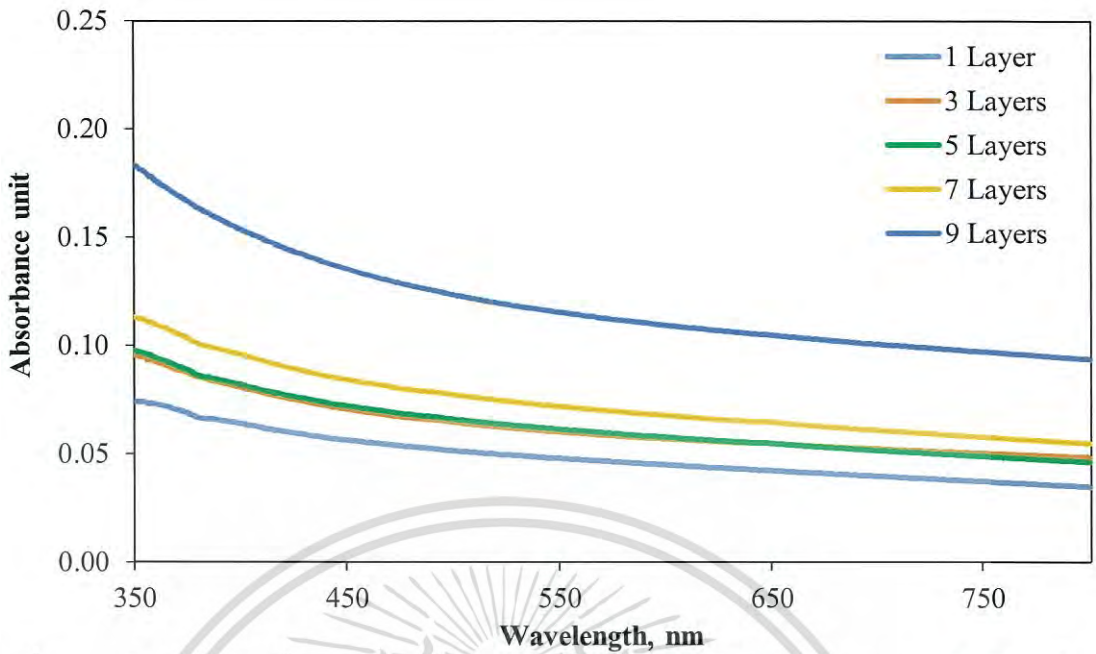
ภาคผนวก ค

การศึกษาจำนวนชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นของไฮดราซีน 2.67 และ 13.36 มิลลิโมลาร์

การสร้างแผ่นฟิล์มบางด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 2.67 และ 13.36 มิลลิโมลาร์กับ PDADMAC โดยทำการศึกษาที่จำนวนชั้นดังนี้ คือ 1, 3, 5, 7 และ 9 ตามลำดับ เมื่อนำแต่ละชั้นไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 การศึกษาจำนวนชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 3.67 มิลลิโมลาร์



รูปที่ 2 การศึกษาจำนวนชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 13.36 มิลลิโมลาร์

จากรูปที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อจำนวนชั้นของรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน ทั้ง 3.67 และ 13.36 มิลลิโมลาร์เพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ตรวจวัดได้เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากแผ่นฟิล์มที่สร้างจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีนทั้ง 3.67 และ 13.36 มิลลิโมลาร์มีค่าการดูดกลืนแสงที่น้อยเมื่อเทียบกับแผ่นฟิล์มที่สร้างจากรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่ความเข้มข้นไฮดราซีน 8.02 มิลลิโมลาร์ และสารละลายรีดิวซ์กราฟีนออกไซด์ที่มีไฮดราซีนความเข้มข้น 13.36 มิลลิโมลาร์ สามารถเกิดการตกตะกอนกลับไปเป็นกราฟไฟต์ได้ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสำหรับการใช้ในงานวิจัยนี้เนื่องจากต้องเตรียมสารละลายใหม่ทุกครั้งเพื่อใช้ในงานวิจัย

ภาคผนวก ง

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ - สกุล นายจิโรตม์ พงษ์ศักดิ์
 วัน เดือน ปีเกิด 09 พฤศจิกายน 2536
 ประวัติการศึกษา
 ระดับมัธยมศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนท่ามะกาวิทยาคม
 ปีการศึกษา 2554
 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง



ชื่อ - สกุล นางสาวจุชาทิพย์ โสมกীর
 วัน เดือน ปีเกิด 19 ธันวาคม 2537
 ประวัติการศึกษา
 ระดับมัธยมศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนพรตพิทยพยัต
 ปีการศึกษา 2554
 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง



ชื่อ - สกุล นางสาวดารารพร คงต๊ะ
 วัน เดือน ปีเกิด 16 กุมภาพันธ์ 2537
 ประวัติการศึกษา
 ระดับมัธยมศึกษา จบชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
 จากโรงเรียนธัญบุรี
 ปีการศึกษา 2554
 ระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้