

**โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยความร้อนจากสาร**

**CaMnO<sub>3</sub> คอมโพสิต GO**

**Thermoelectric properties and power generation of**

**CaMnO<sub>3</sub> module composite GO**



**โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร**

**ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)**

**ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์**

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**ปีการศึกษา 2561**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Thermoelectric properties and power generation  
of  $\text{CaMnO}_3$  module composite GO**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENT FOR**

**THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)**

**DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**ACADEMIC YEAR 2018**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงการพิเศษ**

โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยความร้อนจาก  
สาร  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิต GO  
Thermoelectric properties and power generation  
of  $\text{CaMnO}_3$  module composite GO

**ชื่อนักศึกษา**

นางสาวศิริพร ทิมแท้ รหัสนักศึกษา 58051149

**ปริญญา**

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)

**ภาควิชา**

ฟิสิกส์

**ปีการศึกษา**

2561

**อาจารย์ที่ปรึกษา**

รศ.ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)  
ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ กรรมการ	
ผศ.ดร.รัชนก สมพรเสน่ห์ กรรมการ	
รศ.ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อโครงการพิเศษ** โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยความร้อนจาก  
สาร  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิต GO  
Thermoelectric properties and power generation  
of  $\text{CaMnO}_3$  module composite GO

**ชื่อนักศึกษา** นางสาวศิริพร ทิมแท้ รหัสนักศึกษา 58051149  
**ปริญญา** วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)  
**ภาควิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์  
**คณะ** วิทยาศาสตร์  
**มหาวิทยาลัย** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)  
**ปีการศึกษา** 2561  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** รศ.ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์

#### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดสารประกอบแคลเซียมแมงกานีสออกไซด์  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิต GO 0.5% 1% 3% และ 5% วัดคุณสมบัติโครงสร้างของ  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิต GO เตรียมมอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารประกอบ  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิต GO และวัดคุณสมบัติไฟฟ้าเบื้องต้น จากผลที่ได้จาก XRD พบว่า GO 0.5% 1% 3% และ 5% เป็นโครงสร้างของสารแคลเซียมแมงกานีสออกไซด์ซึ่งเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

**คำสำคัญ** : วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก , สภาพการนำไฟฟ้า

<b>Title</b>	Thermoelectric properties and power generation of $\text{CaMnO}_3$ module composite GO
<b>Student</b>	Miss Siriphon Timtae      Student ID 58051149
<b>Degree</b>	Bachelor of Science (Applied Physics)
<b>Department</b>	Applied Physics
<b>Faculty</b>	Science
<b>University</b>	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
<b>Academic Year</b>	2018
<b>Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Chesta Ruttanapun

### Abstract

This research project is designed to study the synthesis of thermoelectric materials, Calcium manganese oxide ( $\text{CaMnO}_3$ ) Composites GO 0.5% 1% 3% and 5% . Measure the structural properties of  $\text{CaMnO}_3$  composite GO, Preparation of thermoelectric modules from  $\text{CaMnO}_3$  Composites GO and basic electrical properties, Based on the results from XRD, GO 0.5% 1% 3% and 5% are the structure of calcium manganese oxide which is a thermoelectric material.

**Index Terms:** Thermoelectric material , Electrical conductivity

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์ ที่ให้ความรู้ และการสนับสนุน ตลอดจนปลูกฝังคุณธรรม จริยธรรม และคอยให้คำปรึกษาในทางวิชาการและคอยช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านตลอดจนสำเร็จลุล่วงไปได้อย่างสมบูรณ์

ขอขอบคุณพี่นักศึกษาปริญญาเอก ปริญญาโท และเพื่อน ๆ นักศึกษาในห้องปฏิบัติการ สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำ และให้การช่วยเหลือในการทำงานจนสำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่เมตตาและประสาทวิชาตั้งแต่การศึกษาในภาคบังคับจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนกราบขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้การอุปการะทุนในการศึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอดและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการพิเศษเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจบ้างไม่มากก็น้อย

ศิริพร ทิมแท้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญรูปภาพ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	ญ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 แหล่งความร้อนที่เหลือทิ้ง	4
2.2 แคลเซียมแมงกานีสออกไซด์	4
2.3 กระบวนการเตรียมผลละเอียดด้วยการสังเคราะห์เฟสของแข็ง	7
2.4 หลักการเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric)	8
2.5 หลักการวิเคราะห์ XRD (X-Ray Diffraction)	12
2.6 FTIR Imaging	16
2.7 เทคนิคทางรามาน	18
2.8 เทคนิคSEM	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	21
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	22
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	22
3.3 กระบวนการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก $\text{CaMnO}_3$	22
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	23
	36

	หน้า
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	70
<b>5.1 สรุปผลการวิจัย</b>	70
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	72
<b>ภาคผนวก</b>	74
<b>ภาคผนวก ก</b>	75
<b>ภาคผนวก ข</b>	77
<b>ภาคผนวก ค</b>	79
<b>ภาคผนวก ง</b>	81
<b>ภาคผนวก จ</b>	84
<b>ภาคผนวก ฉ</b>	87
<b>ภาคผนวก ช</b>	90



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 ความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้พลังงานแหล่งต่าง ๆ	5
รูปที่ 2.2 แสดงชนิดของแรงเชิงกลแบบต่างๆ แรงกระแทก แรงบิดเคี้ยว แรงเฉือน และแรงบีบอัด ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชิงกล	8
รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการบดหยาบแบบต่างๆ	10
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะความหลากหลายของลูกบอลลบที่ใช้ในกระบวนการบดย่อย	11
รูปที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการบรรจุของเหลว ลูกบอลลบ และอนุภาคผงที่ต้องการบดในการบดแบบเปียกและแบบแห้ง	12
รูปที่ 2.6 หลักการของ Bragg's law ในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์	17
รูปที่ 2.7 เครื่อง Spectrum Spotlight 300 FTIR Imaging System	19
รูปที่ 2.8 เครื่อง Image Max IR Imaging System	20
รูปที่ 2.9 การเกิดลำแสงรามานโดยที่แสงสีส้มเป็นแสงเลเซอร์ สีน้ำเงินเป็นแสงรามาน	20
รูปที่ 2.10 เครื่องจุลทรรศน์แบบส่องกราด SEM	21
<b>4.2 ผลการวัด XRD</b>	47
รูปที่ 4.1 XRD Pattern ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆกัน	47
รูปที่ 4.2 XRD Pattern ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 0.5%	48
รูปที่ 4.3 XRD Pattern ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 1%	49
รูปที่ 4.4 XRD Pattern ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 3%	50
รูปที่ 4.5 XRD Pattern ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 5%	51
<b>4.3 ผลการวัด FTIR</b>	52
รูปที่ 4.6 FTIR Pattern ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆกัน	52
รูปที่ 4.7 FTIR ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$	53
รูปที่ 4.8 FTIR ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 0.5 %	54
รูปที่ 4.9 FTIR ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 1 %	55
รูปที่ 4.10 FTIR ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 3 %	56

	ช
<b>รูปที่</b>	<b>หน้า</b>
รูปที่ 4.11 FTIRของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 5 %	57
<b>4.4 ผลการวัด Raman</b>	
รูปที่ 4.12 Raman Pattern ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO ที่เปอร์เซ็นต์ ต่าง ๆ กัน	58 58
รูปที่ 4.13 Raman ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$	
รูปที่ 4.14 Raman ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 0.5 %	59
รูปที่ 4.15 Raman ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 1 %	60
รูปที่ 4.16 Raman ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 3 %	61
รูปที่ 4.17 Raman ของโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 5 %	62
<b>4.5 ผลการวัด SEM</b>	63
รูปที่ 4.5.1 ลักษณะโครงสร้างของ $\text{CaMnO}_3$ เเผที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสที่	64
(a) กำลังขยาย 500 เท่า	64
(b) กำลังขยาย 1000 เท่า	64
(c) กำลังขยาย 2000 เท่า	64
(d) กำลังขยาย 4000 เท่า	64
(e) กำลังขยาย 6000 เท่า	64
รูปที่ 4.5.2 ลักษณะโครงสร้างของ $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 0.5 % เเผที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสที่	64 65
(a) กำลังขยาย 500 เท่า	
(b) กำลังขยาย 1000 เท่า	65
(c) กำลังขยาย 2000 เท่า	65
(d) กำลังขยาย 4000 เท่า	65
(e) กำลังขยาย 6000 เท่า	65
รูปที่ 4.5.3 ลักษณะโครงสร้างของ $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 1% เเผที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสที่	65 66
(a) กำลังขยาย 500 เท่า	
(b) กำลังขยาย 1000 เท่า	66
(c) กำลังขยาย 2000 เท่า	66
(d) กำลังขยาย 4000 เท่า	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	ช	หน้า
(e) กำลังขยาย 6000 เท่า		66
รูปที่ 4.5.4 ลักษณะโครงสร้างของ $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 3% เเผาะที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสที่		67
(a) กำลังขยาย 500 เท่า		67
(b) กำลังขยาย 1000 เท่า		67
(c) กำลังขยาย 2000 เท่า		67
(d) กำลังขยาย 4000 เท่า		67
(e) กำลังขยาย 6000 เท่า		67
รูปที่ 4.5.5 ลักษณะโครงสร้างของ $\text{CaMnO}_3$ โดยคอมโพสิต GO 5% เเผาะที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสที่		67
(a) กำลังขยาย 500 เท่า		68
(b) กำลังขยาย 1000 เท่า		68
(c) กำลังขยาย 2000 เท่า		68
(d) กำลังขยาย 4000 เท่า		68
(e) กำลังขยาย 6000 เท่า		68

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่	3
ตารางที่1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน	6
ตารางที่2.1 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดสูง	6
ตารางที่2.2 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดปานกลาง	7
ตารางที่2.3 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดต่ำ	36
4.1 ตารางแสดงค่าR ,ค่า $\rho$ , ค่าL ของแต่ละโมดูล	37
4.2 ตารางแสดงค่าไฟเบื้องต้น ค่าศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า และกราฟที่ได้	37
CaMnO <sub>3</sub> ไม่มีนวน	38
CaMnO <sub>3</sub> มีนวน	39
4.3 ตารางแสดงค่าไฟเบื้องต้น ค่าศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า และกราฟที่ได้	39
CaMnO <sub>3</sub> คอมโพสิต GO 0.5% ไม่มีนวน	40
CaMnO <sub>3</sub> คอมโพสิต GO 0.5% มีนวน	41
4.4 ตารางแสดงค่าไฟเบื้องต้น ค่าศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า และกราฟที่ได้	41
CaMnO <sub>3</sub> คอมโพสิต GO 1% ไม่มีนวน	42
CaMnO <sub>3</sub> คอมโพสิต GO 1% มีนวน	43
4.5 ตารางแสดงค่าไฟเบื้องต้น ค่าศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า และกราฟที่ได้	43
CaMnO <sub>3</sub> คอมโพสิตGO 3% ไม่มีนวน	44
CaMnO <sub>3</sub> คอมโพสิตGO 3% มีนวน	45
4.6 ตารางแสดงค่าไฟเบื้องต้น ค่าศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า และกราฟที่ได้	45
CaMnO <sub>3</sub> คอมโพสิตGO 5% ไม่มีนวน	46
CaMnO <sub>3</sub> คอมโพสิตGO 5% มีนวน	46

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นโดยที่พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดลดลงอย่างรวดเร็ว พลังงานความร้อนที่เหลือทิ้งในอุตสาหกรรมที่สูญเสียไป ( อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 300-600 °C เป็นย่านอุณหภูมิปานกลาง ) ซึ่งมีศักยภาพสูงที่สามารถนำมาผันเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงโดยปรากฏการณ์ซีเบค สารประกอบ  $\text{CaMnO}_3$  เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่เหมาะสมกับการใช้งานในย่านอุณหภูมินี้ เพื่อสามารถผันพลังงานความร้อนที่สูญเสียไปมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ จากการศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อนหน้าที่ทราบว่า  $\text{CaMnO}_3$  มีคุณสมบัติโครงสร้างทางไฟฟ้าซึ่งสามารถนำไปทำเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งได้พัฒนาต่อโดยการคอมโพสิต GO เพื่อศึกษาสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกว่าสามารถนำไฟฟ้าได้มากขึ้นหรือไม่ โดยที่วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกคือวัสดุที่สามารถผันพลังงานความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในวัสดุที่เกิดขึ้นระหว่างด้านหนึ่งกับอีกด้านหนึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าและสามารถสร้างปรากฏการณ์ผันกลับจากปรากฏการณ์นี้ จึงทราบได้ว่าเราสามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวทำความเย็นได้ วัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการประดิษฐ์โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นต้องสามารถเตรียมได้ง่ายในห้องปฏิบัติการและต้นทุนราคาถูกแล้วไม่เป็นอันตรายเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมดังนั้นโครงงานพิเศษสนใจศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบ  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิต GO เพื่อสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสาร  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิตกับ GO วัตถุประสงค์โครงสร้างของ  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิตกับ GO และเตรียมมอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกสาร  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิตกับ GO และวัดคุณสมบัติไฟฟ้าเบื้องต้น ดังนั้นสามารถนำไปเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ผันความร้อนในย่านอุณหภูมิดังกล่าวข้างต้นเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นพลังงานทดแทนและนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเพื่อเป็นพลังงานทดแทนต่อไปในอนาคต

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. สังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารประกอบ  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิต GO
2. วัดคุณสมบัติโครงสร้างของ  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิต GO

3. เตรียมมอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารประกอบ $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิส GO และวัดคุณสมบัติไฟฟ้าเบื้องต้น

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการคอมโพสิสสารประกอบ $\text{CaMnO}_3$ กับGO
2. สังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารประกอบ $\text{CaMnO}_3$ คอมโพสิสกับ GO วิเคราะห์ผล
3. วัดคุณสมบัติไฟฟ้าเบื้องต้นและสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของ $\text{CaMnO}_3$

### 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินการ

- ขั้นตอนที่1 ศึกษาเงื่อนไขของสารประกอบ $\text{CaMnO}_3$ คอมโพสิสGO
- ขั้นตอนที่2 สังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสารประกอบ $\text{CaMnO}_3$
- ขั้นตอนที่3 เตรียมมอดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารประกอบ $\text{CaMnO}_3$
- ขั้นตอนที่4 ตรวจสอบโครงสร้างผลึก $\text{CaMnO}_3$
- ขั้นตอนที่5 วัดคุณสมบัติไฟฟ้าเบื้องต้น
- ขั้นตอนที่6 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลา				
	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม
ขั้นตอนที่ 1					
ขั้นตอนที่ 2					
ขั้นตอนที่ 3					
ขั้นตอนที่ 4					
ขั้นตอนที่ 5					
ขั้นตอนที่ 6					

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสาร  $\text{CaMnO}_3$
2. เป็นแนวทางเริ่มต้นในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิท  $\text{GO}$
3. นำเอาความรู้และเทคนิคที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยและงานด้านอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจศึกษาต่อในอนาคต

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

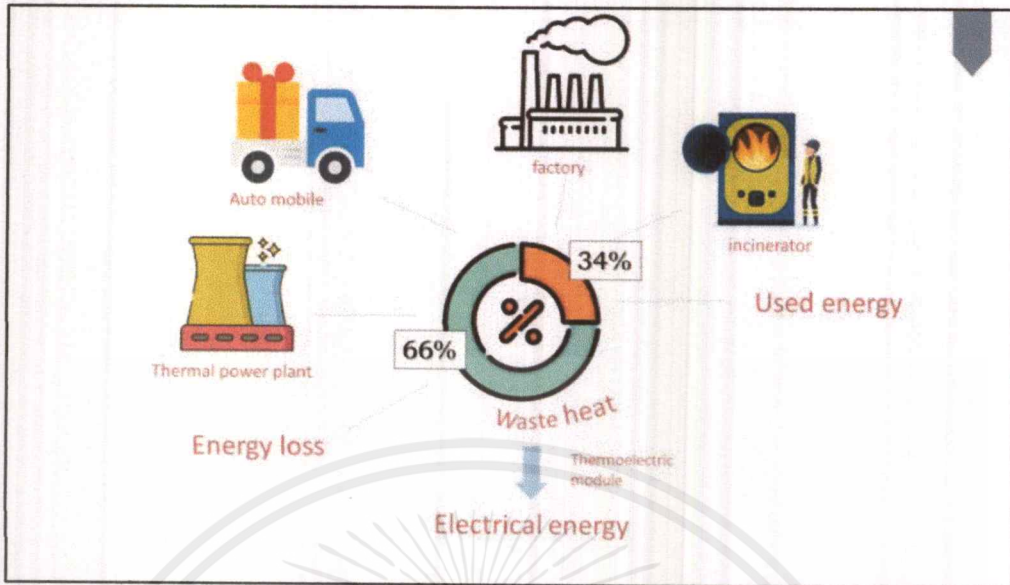
ซึ่งบทนี้จะประกอบไปด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 แหล่งความร้อนที่เหลือทิ้ง
- 2.2 แคลเซียมแมงกานีสออกไซด์
- 2.3 กระบวนการเตรียมผลึกเอียงด้วยการสังเคราะห์เฟสของแข็ง
- 2.4 หลักการเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric)
- 2.5 หลักการวิเคราะห์ XRD (X-Ray Diffraction)
- 2.6 FTIR Imaging
- 2.7 เทคนิคทางรามาน
- 2.8 เทคนิคSEM

### 2.1 แหล่งความร้อนเหลือทิ้ง

- ที่มาของความร้อนเหลือทิ้ง

การเปลี่ยนรูปพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ ได้แก่ เชื้อเพลิง ฟอสซิล เชื้อเพลิงชีวมวล หรือ ปฏิกิริยานิวเคลียร์ เป็นต้น ไปเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและงานด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่นการใช้ความร้อนสำหรับจักรกลไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้ความร้อนเพื่อแปรรูปโลหะ การสันดาปเครื่องยนต์ การเผาขยะใน ระบบปิด และการทำความเย็นแบบ absorption เป็นต้น พบว่า ประสิทธิภาพของการนำความร้อน จากแหล่งพลังงานดังกล่าวไปใช้ประโยชน์นั้นทำได้เพียง 30%-40% เท่านั้นความร้อนส่วนเกินต้อง ทิ้งไปกับระบบระบายความร้อนในระบบแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระบายความร้อน ซึ่งต้อง สูญเสียพลังงานไป 60%-70% เนื่องจากข้อจำกัดของประสิทธิภาพคาร์โนต์ในการแปรผันพลังงาน ตามวัฏจักรคาร์โนต์ เรียกความร้อนที่ไม่ก่อประโยชน์นี้ว่า ความร้อนเหลือทิ้ง กระบวนการแปรรูป พลังงานความร้อนและเกิดความร้อนเหลือทิ้งแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้พลังงานแหล่งต่าง ๆ

- ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้ง

ความร้อนเหลือทิ้งจากแหล่งกำเนิดความร้อนขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรม โลหะและโรงเผาขยะ นับเป็นแหล่งความร้อนเกรดสูง (high grade source) มีอุณหภูมิมากกว่า  $650^{\circ}\text{C}$  ส่วนโรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้า และความร้อนจากปล่องไอเสียเครื่องยนต์จะมีอุณหภูมิ ปานกลางประมาณ  $120^{\circ}\text{C}$ - $650^{\circ}\text{C}$  ขณะที่ความร้อนจากการหุงต้มหรือกระบวนการทางอุตสาหกรรม ที่ใช้ไอน้ำแรงดันต่ำจะเป็นความร้อนเกรดต่ำ (low grade source) มีอุณหภูมิสูงในช่วง  $60^{\circ}\text{C}$ - $120^{\circ}\text{C}$  โดยประมาณ ดังแสดงข้อมูลเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งประเภทต่าง ๆ ในตารางที่ 2.1, 2.2 และ 2.3 ซึ่งความร้อนจากแหล่งความร้อนเหลือทิ้งดังกล่าวสามารถนำกลับมา คืนใช้ได้แทนที่จะทิ้งไปกับระบบระบายความร้อนสู่บรรยากาศโดยเปล่าประโยชน์ อีกประการ หนึ่งลักษณะของความร้อนเป็นแหล่งพลังงานที่ให้ความร้อนต่อเนื่องและมีอุณหภูมิที่ไม่ เปลี่ยนแปลงมาก จึงสามารถนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์ความร้อน เพื่อคืนกลับพลังงาน เหลือทิ้งมาเป็นพลังงานไฟฟ้า อันจะช่วยให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าเสริมตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ 2.1 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดสูง

Type of device	Temperature, °C	Temperature, °F
Nickel refining furnace	1371 – 1649	2500 - 3000
Aluminum refining furnace	649 – 760	1200 - 1400
Zinc refining furnace	760 – 1093	1400 - 2000
Copper refining furnace	760 – 816	1400 - 1500
Steel heating furnace	927 – 1038	1700 - 1900
Glass melting furnace	982 – 1538	1800 - 2800
Solid waste incinerators	649 – 982	1200 - 1800

ตารางที่ 2.2 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดปานกลาง

Type of device	Temperature, °C	Temperature, °F
Steam boiler exhausts	123 – 482	450 – 900
Gas turbine exhausts	371 – 538	700 – 1000
Reciprocating engine exhausts	316 – 593	600 - 1100
Heat treating furnace	427 – 649	800 – 1200
Drying and backing ovens	232 – 593	450 – 1100

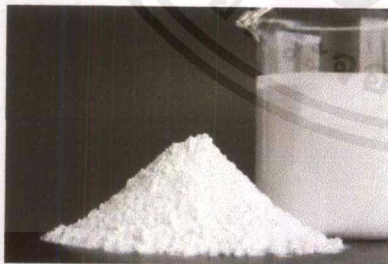
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดต่ำ

Type of device	Temperature, °C	Temperature, °F
Process steam condensate	54 – 88	130 – 190
Cooling water from :		
Furnace	32 -55	90 – 130
Bearing	32 – 88	90 – 190
Welding machines	32 – 88	90 – 190
Injection molding machines	32 – 88	90 – 190
Air compressor	27 – 49	80 – 120
Internal combustion engines	66 – 121	150 – 250
Air-cond. and refrig. condensers	62 – 43	90 – 110

## 2.2 แคลเซียมแมงกานีสออกไซด์

แคลเซียมแมงกานีสออกไซด์มีค่า ZT ที่สูงสุดในช่วงความร้อนระหว่าง 300-1000 องศาเซลเซียส โดยมีค่า ZT อยู่ประมาณ 0.3 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส สามารถสังเคราะห์ได้ด้วยวิธีปฏิกิริยาของแข็งจากสารตั้งต้น  $\text{CaCO}_3$  และ  $\text{MnO}_2$  เมื่อพิจารณาสารตั้งต้น  $\text{CaCO}_3$  แล้วพบว่าสังเคราะห์ได้จากวัสดุตามธรรมชาติ เช่น เปลือกไข่ เป็นต้น ซึ่งเปลือกไข่มีเหลือทิ้งมากมายจากอุตสาหกรรมอาหารหรือร้านเบเกอรี่ขนาดใหญ่ จึงทำให้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกแคลเซียมแมงกานีสออกไซด์ เป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการนำมาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์เครื่องผลิตไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกผันไฟฟ้าโดยตรงจากความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 300 ถึง 1000 องศาเซลเซียส เพราะ เป็นวัสดุที่เตรียมได้ง่ายและใช้วัตถุดิบภายในประเทศ



Calcium Carbonate Powder



Manganese Dioxide Powder



การสังเคราะห์ของแข็ง  $\text{CaMnO}_3$

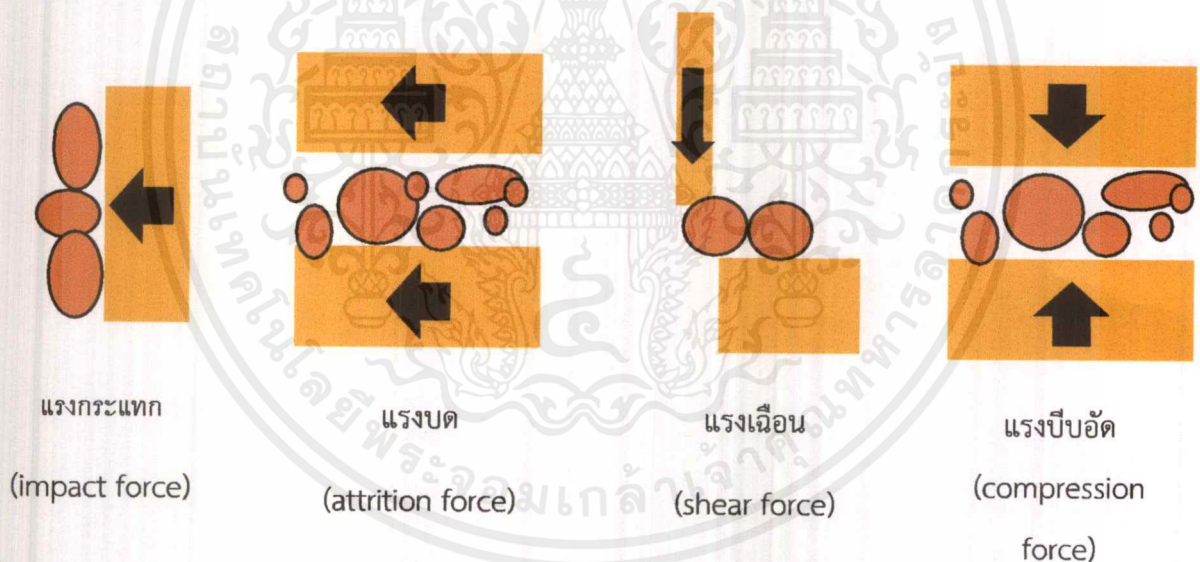
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกแคลเซียมแมงกานีสออกไซด์แสดงความเป็นสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริก ที่มีค่า ZT ประมาณ 0.3 ที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส มีช่วงอุณหภูมิทำงานอยู่ระหว่าง 300 ถึง 1000 องศาเซลเซียส แสดงวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด-เอ็น ดังนั้นจึงเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่น่าสนใจมาก

## 2.3 กระบวนการเตรียมผงละเอียดด้วยการสังเคราะห์เฟสของแข็ง

### 2.3.1 กระบวนการลดขนาดเชิงกล

กระบวนการลดขนาดเชิงกลเป็นกระบวนการเบื้องต้นที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุเริ่มต้น กระบวนการนี้อาศัยแรงเชิงกล (Mechanical forces) ที่เกี่ยวกับกระบวนการ ประกอบด้วยแรงกระแทก (impact force) แรงบด (attrition force) แรงเฉือน (shear force) แรงบีบอัด (compression force) โดยแรงต่างๆที่เกิดขึ้นสามารถเกิดขึ้นจากตัวอนุภาคด้วยตัวเอง รวมถึงอนุภาคเริ่มต้นกับอุปกรณ์ที่ใช้บด เช่น ลูกบอลบด กระบวนการนี้เป็นกระบวนการแบบ top-down process



รูปที่ 2.2 แสดงชนิดของแรงเชิงกลแบบต่างๆ แรงกระแทก แรงบดเคี้ยว แรงเฉือน และแรงบีบอัด ที่เกิดขึ้นในกระบวนการเชิงกล

### จุดประสงค์ของกระบวนการคือ

1. การลดขนาดอนุภาคขนาดใหญ่ระดับเมตรสู่ระดับไมโครเมตร หรือนาโนเมตร การลดขนาดจะส่งผลโดยตรงต่อพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุที่จะเพิ่มขึ้นตามขนาดที่ลดลง
2. ทำลายรูพรุนภายในอนุภาค และปรับปรุงรูปร่างของอนุภาคให้มีรูปร่างสม่ำเสมอมากขึ้น
3. กำจัดสิ่งแปลกปลอมหรือสิ่งเจือปนที่แทรกตัวอยู่ในอนุภาคใหญ่ โดยกระบวนการประกอบด้วย แรงกดอัด บดเคี้ยว แรงกระแทก แรงเฉือน ดังรูป 2.3

### 2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการลดขนาด

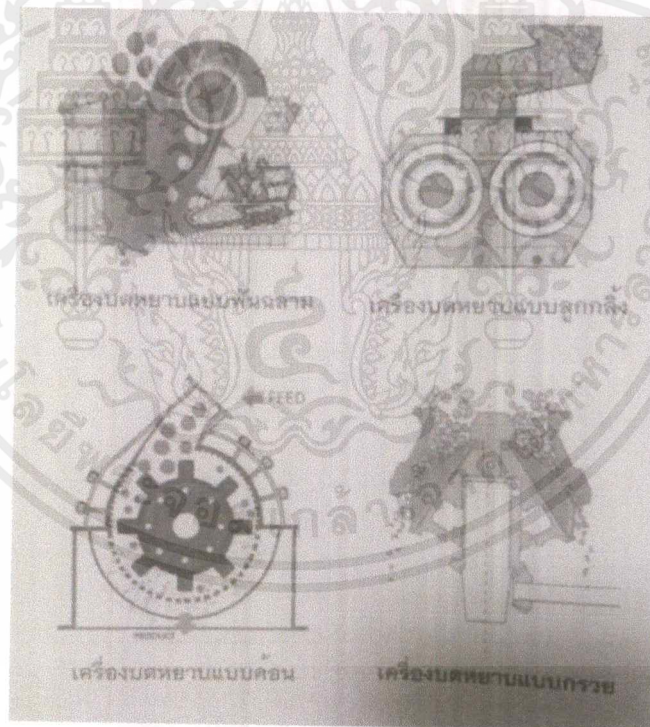
กระบวนการลดขนาดจะมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในกระบวนการที่นักวัสดุต้องคำนึงถึงอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน ประกอบด้วย

1. ความแข็ง เป็นสมบัติพื้นฐานของวัสดุ บ่งบอกความสามารถในการทนทานหรือต้านทานการเสีयरูปแบบพลาสติก อาจหมายถึงความสามารถในการต้านทานต่อการขีดข่วน การตัด ขัดด้วย
2. ความเหนียว ค่าความสามารถของวัสดุที่จะดูดซับพลังงานไว้ได้โดยไม่เกิดการแตกหัก มีความสัมพันธ์กับความยืดตัวของวัสดุ
3. การต้านทานขีดฉีก ในกระบวนการบดลูกบอลที่ทำจากวัสดุที่ต้านทานการขีดได้ต่ำ ระหว่างกระบวนการอาจเกิดการปนเปื้อนมากกว่า 0.1% จากวัสดุที่ใช้ทำการบด
4. ความเหนียวเหนียว ปัจจัยสำคัญที่ขัดขวางกระบวนการลดขนาด หากในกระบวนการบดบางประเภทมีความร้อนเกิดขึ้นซึ่งอาจส่งผลให้อนุภาคเริ่มต้นบางประเภทเกิดการอ่อนตัวจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการลดขนาดได้
5. อุณหภูมิอ่อนตัว การลดขนาดบางครั้งจะมีความร้อนเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการลดขนาดซึ่งอาจส่งผลให้อนุภาคเริ่มเกิดการอ่อนตัว จึงต้องคำนึงถึงเรื่องนี้
6. ปริมาณความชื้น ปริมาณความชื้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดขนาด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบดหยาบ และการบดแห้ง โดยทั่วไปอนุภาคผลเริ่มต้นควรแห้ง มีค่าความชื้นน้อยกว่า 5% สำหรับการบดย่อยแบบแห้ง และควรมีค่ามากกว่า 50% สำหรับการบดย่อยแบบเปียก ในการบดแบบแห้ง อนุภาคเริ่มต้นเมื่อมีขนาดลดลงในบางครั้งอาจจะมีโมเลกุลน้ำแทรกอยู่ในโครงสร้าง หรือโครงสร้างดูดความชื้นสูง ในกระบวนการบดที่ใช้เวลานานอาจทำให้มีปริมาณความชื้นเกิดขึ้นได้

7. โครงสร้างของวัสดุ ในกระบวนการลดขนาดอาจเปลี่ยนโครงสร้างหรือเกิดปฏิกิริยาเคมี เกิดของเหลือของผลิตภัณฑ์ขึ้น สิ่งเหล่านี้ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการลดขนาดทั้งสิ้น
8. ความบริสุทธิ์ การลดขนาดจะต้องไม่เกิดการปนเปื้อน
9. อัตราส่วนของปริมาณอนุภาคเริ่มต้น/ปริมาณอนุภาคสุดท้าย ต้องคำนึงถึงความสัมพันธ์นี้
10. ความหนาแน่น ลูกบดที่มีความหนาแน่นสูงจะให้ประสิทธิภาพในการบดดีกว่าลูกบดที่มีความหนาแน่นต่ำในเวลากการบดเท่ากัน

### 2.3.3 การบดหยาบ

สำหรับผงละเอียดในอุตสาหกรรมเซรามิกดั้งเดิมนิยมใช้เทคนิคการบดหยาบในการบดเบื้องต้น ในขณะที่สำหรับอุตสาหกรรมเซรามิกขั้นสูงเทคนิคนี้ไม่ได้ได้ถูกประยุกต์ใช้เนื่องจากนักวัสดุมักเลือกใช้ผลละเอียดที่มีขนาดเล็ก จึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้การบดหยาบ เครื่องมือที่ใช้ในการบดหยาบมีหลายแบบด้วยกันได้แก่ แบบฟันฉลาม แบบลูกกลิ้ง แบบหมุนหรือแบบกรวย แบบค้อน



รูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการบดหยาบแบบต่างๆ

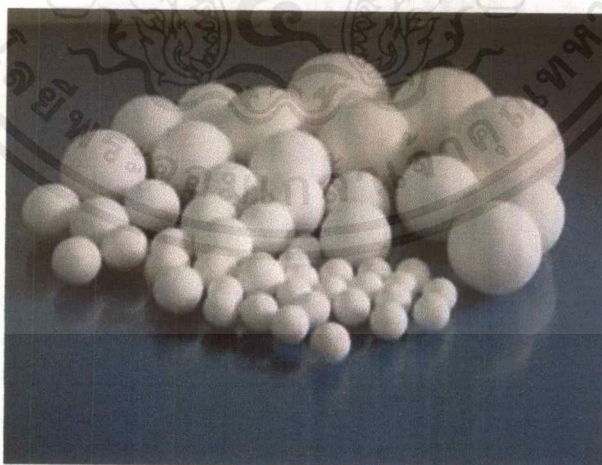
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 การบดแบบย่อย

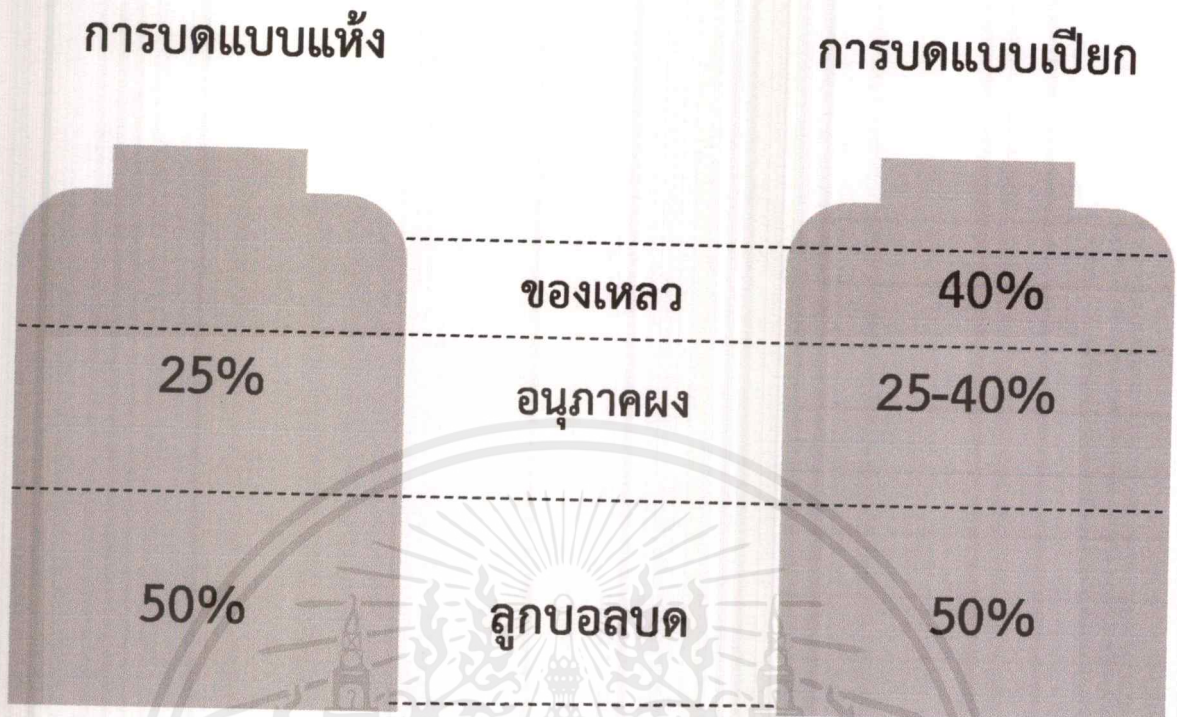
เมื่ออนุภาคผงผ่านกระบวนการบดหยาบมาจนมีขนาดเล็กระดับหนึ่งแล้ว เพื่อให้ได้อนุภาคขนาดละเอียดสูงพอที่จะนำไปใช้เตรียมขึ้นรูปเป็นชิ้นงานเซรามิกขั้นสูงต่อไปได้จำเป็นต้องผ่านกระบวนการบดย่อยในระบบปิดอีกขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งกระบวนการบดย่อยมีเทคนิคในการบดหลายเทคนิค เช่น การบดย่อยด้วยลูกบอล (ball mill) การบดย่อยแบบลูกกลิ้งแรงอัดสูง (high compression roller mill) การบดย่อยแบบสั่นกระแทก (vibratory ball mill หรือ vibro mill) หรือการบดย่อยแบบพลังงานจากลมไอพ่นหรือขอเหลว (jet mill or fluid energy mill) เทคนิคการบดย่อยลูกบดนั้นจะเป็นเทคนิคที่นิยมใช้มากที่สุด \*\*ในที่นี้จะอธิบายถึงการบดย่อยด้วยลูกบอลเท่านั้น

### 2.3.5 การบดย่อยด้วยลูกบอล

กระบวนการบดย่อยด้วยลูกบอลเป็นกระบวนการบดย่อยที่นิยมมากที่สุดในอุตสาหกรรมเซรามิก กระบวนการนี้อาศัยการแรงเชิงกลไม่ว่าจะเป็นแรงกดอัด แรงกระแทก และแรงเฉือน ที่เกิดขึ้นระหว่างลูกบอลและอนุภาคผงที่ต้องการบดทำให้อนุภาคแตกออก ซึ่งเป็นกระบวนการแบบบน - ล่าง ประเภทหนึ่ง หม้อบดจะมีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีฝาเปิด - ปิด หม้อบดสามารถทำได้จากวัสดุที่หลากหลาย ในห้องปฏิบัติการวัสดุทั่วไปที่เตรียมเซรามิกขั้นสูงนิยมใช้พลาสติกที่ทนเปื้อนในกระบวนการบดย่อยได้โดยการเผาที่อุณหภูมิต่ำ ในขณะที่หม้อบดขนาดใหญ่ที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมมักจะทำด้วยเหล็กกล้าที่มีการบุผนังด้วยวัสดุทนสึกกร่อน การเลือกใช้หม้อบดต้องคำนึงถึงอนุภาคผลที่ต้องการเป็นหลัก



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะความหลากหลายของลูกบอลบดที่ใช้ในกระบวนการบดย่อย



รูปที่ 2.5 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการบรรจุของเหลว ลูกบอลบด และอนุภาคผงที่ต้องการบดในการบดแบบเปียกและแบบแห้ง

## 2.4 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect)

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect) เป็นปรากฏการณ์การเปลี่ยนรูประหว่างพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไปปรากฏการณ์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนรูปพลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงาน ความร้อน มี 3 ปรากฏการณ์ ได้แก่

### 1. ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)

“เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิดจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิด”

### 2. ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier effect)

“เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำ ความร้อนจะเพิ่มขึ้น หรือ ลดลงขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า”

### 3. ปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“เมื่อมีกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำไฟฟ้าสองจุดที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ทิศทางความร้อนขึ้นอยู่กับ การไหลของกระแสไฟฟ้าจากจุดเย็นไปจุดร้อน หรือจากจุดร้อนไปจุดเย็น”

### ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

เทอร์โมอิเล็กทริกได้มีการประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่เนื่องจากประสิทธิภาพการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีในปัจจุบัน โดยเฉพาะการทำความเย็นด้วยระบบอัดไอ และดูดซับ ทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกไม่เป็นที่นิยมในระบบทำความเย็นขนาดใหญ่ แต่มีข้อดีที่ว่า มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ทำความเย็นได้ต่ำ ทำงานเงียบ ไม่ใช้สารทำความเย็น ทำให้เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นที่นิยมในระบบทำความเย็นขนาดเล็ก

จากผลการวิจัยและพัฒนาด้านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารกึ่งตัวนำมีการพบว่า ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

- สามารถให้สภาพนำไฟฟ้าสูงแต่ เกิดความร้อนเพียงเล็กน้อย (ความร้อนเกิดจากความต้านทานการ ไหลของกระแสไฟฟ้า)
- สามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นความเย็นได้มาก
- มีสภาพนำความร้อน ต่ำเพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุ คุณสมบัติทั้ง 3 ประการ มีความสัมพันธ์กันด้วยหลักการทางฟิสิกส์ตามสมการ 2.1 สำหรับใช้บ่งชี้คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ (Z)

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\gamma}$$

สมการ 2.1

โดยที่ $\alpha$	คือสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (Volt/Kelvin)
$\sigma$	คือสภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ (Ampere/Volt*meter)
และ $\gamma$	คือสภาพนำความร้อนของวัสดุ (Watt/meter*Kelvin)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก  $Z$  มีหน่วยต่ออุณหภูมิ แต่ในทางปฏิบัติค่าบังชี้ที่เปรียบเทียบกันได้ง่ายควรจะมีหน่วย เรียกว่าค่า figure-of-merit ดังนั้นจึงมีการคุณสมบัติการ 2.1 ด้วย  $T$  ได้สมการใหม่เป็น  $ZT$  โดยที่  $T$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยขณะทำงาน ค่า  $ZT$  จึงเป็นค่า figure-of-merit ที่ใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติการ เปลี่ยนความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุด และคุณสมบัติการทำความเย็นสูงสุดของวัสดุที่ใช้ผลิต ชิ้นส่วนองค์ประกอบ (Thermo- element) ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ในยุคแรกช่วงปี ค.ศ. 1950 ถึง 1960 งานวิจัยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมุ่งไปที่โลหะผสมกลุ่ม bismuth telluride ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ), leadtelluride ( $\text{PbTe}$ ) และ silicongeranium ( $\text{SiGe}$ ) ซึ่งเป็นวัสดุกึ่งตัวนำที่ให้ค่า figure-of-merit ดีที่สุดขณะนั้นอย่างเด่นชัดในช่วงอุณหภูมิใช้งาน 3 ช่วง โดยโลหะ ผสม  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  เหมาะกับการนำมาใช้ในระบบทำความเย็นและระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีช่วง อุณหภูมิใช้งานระหว่าง 180K (-93°C) ถึง 450 K (177°C) ส่วนวัสดุ  $\text{PbTe}$  และ  $\text{SiGe}$  เหมาะกับการนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อน อุณหภูมิสูง โดยเฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดสูงและในยานอวกาศซึ่งมีช่วงอุณหภูมิใช้งานตั้งแต่ 500 K (227°C) ถึง 900 K (627°C) และตั้งแต่ 800 K (527°C) ถึง 1300 K (1027°C) ตามลำดับในรูปที่ 2.5.6 เป็นเส้นกราฟ เปรียบเทียบค่า power factor และสัมประสิทธิ์ซีเบคระหว่างโลหะกับสารกึ่งตัวนำจะเห็นว่าสารกึ่งตัวนำให้ค่า power factor สูงกว่าโลหะ (metal) โดยสารกึ่งตัวนำส่วนใหญ่ที่ใช้ได้แก่ Bi-Te, Bi-Sb, Pb-Te และ Si-Ge เป็นต้น ค่า power factor จะสูงที่สุดถ้าวัสดุเป็น Semimetal (Metal alloys) หรือ Heavily doped semiconductor

### การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก

ปัจจุบันวิวัฒนาการของปรากฏการณ์ Seebeck effect และ Peltier effect ได้รับการ พัฒนาเป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ทำงานตามกระบวนการอุณหพลศาสตร์ใน 2 รูปแบบ คือ จักรกลความร้อน (Heat engine) และจักรกลสูบความร้อน (Heat pump) โดยมีการออกแบบ โครงสร้างของอุปกรณ์แยกชนิดตามหน้าที่ในการทำงานดังนี้

ก. อุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากความร้อน (ตามปรากฏการณ์ Seebeck effect) เรียกว่า Thermoelectric Generator (TEG)

ข. อุปกรณ์ทำความเย็น (ตามปรากฏการณ์ Peltier effect) เรียกว่า Thermoelectric-Cooler (TEC) หรือ Peltier cooler

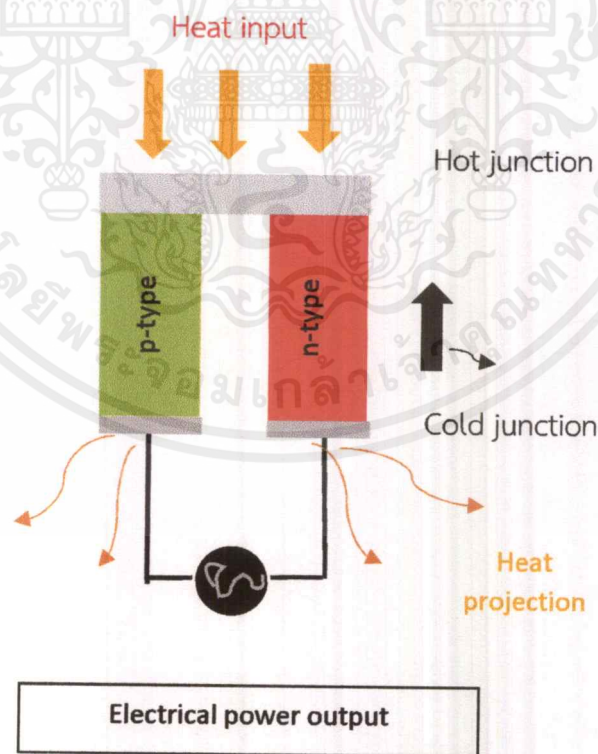
### 1. เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการประยุกต์ใช้ปรากฏการณ์ซีเบค โดยสามารถใช้อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตพลังงานไฟฟ้าจาก พลังงานความร้อนได้ เป็นการนำพลังงานความร้อนที่เหลือจากกระบวนการต่างๆ มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น ความร้อนจากท่อไอเสียรถยนต์ ความร้อนจากหม้อต้มน้ำ ความร้อนสูง ความร้อนจากแสงแดด ความร้อนที่เกิดจาก สภาวะโลกร้อน หรือความร้อนจากร่างกายมนุษย์ เป็นต้น

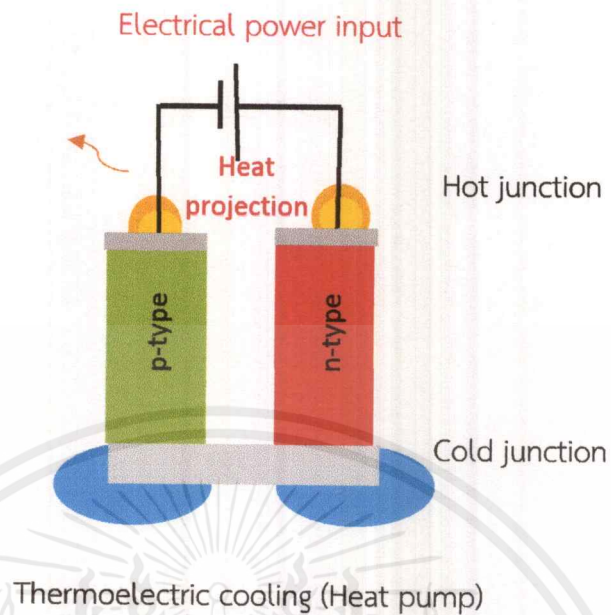
## 2. เทอร์โมอิเล็กทริกคูลลิ่ง

การทำความเย็นด้วยกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านบริเวณรอยต่ออโฮล์มิกของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก คูลเลอร์ (TEC) อาศัยผลการดูตกของความร้อนของกลุ่มอิเล็กตรอนซึ่งเคลื่อนที่จากรอยต่อด้านเย็นผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกและนำไปปลดปล่อยที่รอยต่อด้านร้อน ทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิ โดยมีผลให้รอยต่อด้านเย็นมีอุณหภูมิต่ำลง ขึ้นกับปริมาณกระแสไฟฟ้าและการระบายความร้อนที่ รอยต่อด้านร้อนออก ดังแสดงในรูปที่ 2.5.8 อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเจเนอเรเตอร์และ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกคูลเลอร์นั้นมีลักษณะของโครงสร้างคล้ายคลึงกัน จึงสามารถทำงานย้อนกระบวนการกันได้แต่สภาวะการทนอุณหภูมิของอุปกรณ์และค่า ZT ของเทอร์โมอิเล็กทริกที่เลือกใช้จะแตกต่างกันขึ้นกับความต้องการประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์



Thermoelectric generation (Heat engine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 2.5 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์ เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชั่น (X-ray DiffractionหรือXRD)

เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (x-ray diffractometer : XRD) เป็นเครื่องวิเคราะห์วัสดุขั้นพื้นฐาน ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายตัวอย่าง non-destructive analysis เพื่อศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างผลึก การจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุลของการประกอบต่างๆ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ และความรู้เกี่ยวกับวิชาการระบบโครงสร้างผลึก เครื่องมือชนิดนี้มีความสำคัญมากในกระบวนการควบคุมคุณภาพการผลิต ใช้สำหรับตรวจสอบสมบัติของวัสดุดิบและผลิตร่วมกันในกระบวนการผลิตตามขั้นตอนต่างๆ

### ทฤษฎีพื้นฐานของXRD

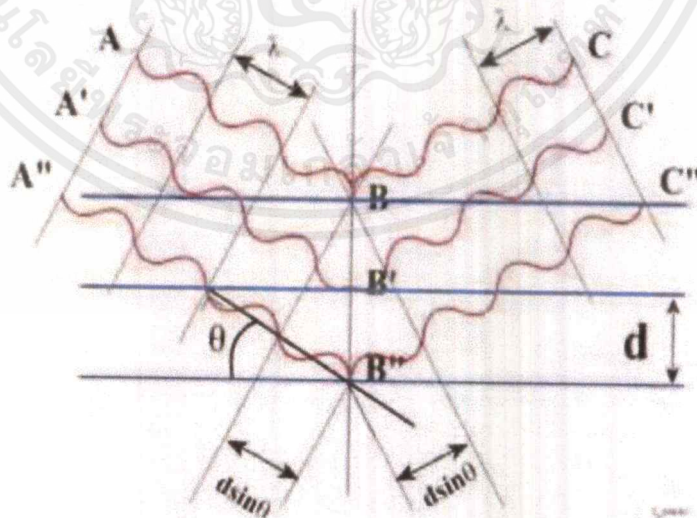
อาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ เมื่อลำแสงเอ็กซ์เรย์ตกกระทบวัตถุหรืออนุภาคจะเกิดการหักเหของลำรังสีที่สะท้อนทำมุมกับระนาบของอนุภาคเท่ากับมุมลำรังสีตกกระทบ ในปี ค.ศ.1912 W.L. Bragg ได้นำทฤษฎีดังกล่าวมาศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึกของแร่ต่างๆ ต่อมาได้มีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ในปี 1948และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งสามารถนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการทำงานและวิเคราะห์ประมวลผลเพื่อให้เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XRD เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ ธรณีวิทยา โลหะวิทยา เพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบและแร่ ผลการวิเคราะห์จาก XRD ทำให้สามารถแยกแยะประเภทและชนิดของวัสดุที่พบในธรรมชาติว่ามีรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบใด หรือจำแนกได้ว่าวัสดุที่พบเห็นนั้นเป็นแร่ชนิดใด โดยทำการวัดค่าความเข้มของรังสีที่สะท้อนออกมาที่มุมต่างๆ เปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่ทำการตรวจวัดโดยองค์กร JCPDs (Joint Committee on Powder Diffraction Standard) เนื่องจากสารประกอบแต่ละชนิด มีรูปแบบโครงสร้างผลึกแตกต่างกันและระยะห่างระหว่างระนาบของอะตอมที่จัดเรียงอย่างเป็นระเบียบก็แตกต่างกันไปด้วย โดยที่ขนาดและประจุของอะตอมของสารประกอบแต่ละชนิดจะมีรูปแบบ (XRD pattern) เฉพาะตัวเปรียบได้กับลายนิ้วมือของคนที่แตกต่างกัน

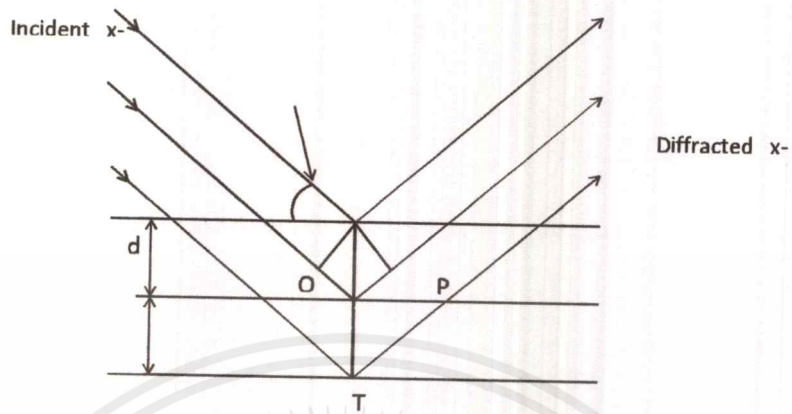
นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์ของ XRD จะสามารถหองค์ประกอบของตัวอย่างได้แล้วนั้น ยังสามารถคำนวณหาขนาดอนุภาคของแต่ละ Unit cell, ความเครียดของตัวอย่าง, ค่าความเป็นผลึก ของตัวอย่างได้อีกด้วย นอกจากนี้ ยังสามารถทำการวิเคราะห์ องค์ประกอบของฟิล์มบาง และ คำนวณค่าความหนาของชั้นฟิล์มบาง ได้อีกด้วย

หลักการทางฟิสิกส์โดยการเลี้ยวเบนโดยใช้รังสีเอกซ์ XRD เพื่อใช้อธิบายโครงสร้างของผลึก เมื่อตกกระทบเข้ากับรังสีเอกซ์ ด้วยมุมตกกระทบที่แตกต่างกัน โดยระยะห่างและความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.6 หลักการของ Bragg's law ในการคำนวณค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



$$\sin \theta = \frac{QS}{d} = \frac{SP}{d}$$

$$d \sin \theta = QS = SP$$

$$QS + SP = 2d \sin \theta$$

$$n\lambda = QS + SP$$

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

โดยกำหนดให้ ดังนี้

$\lambda$  = ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์

$\theta$  = มุมตกกระทบระหว่างรังสีเอกซ์กับระนาบในผลึก

$d$  = ระยะห่างระหว่างระนาบในผลึก

$n$  = ลำดับการเลี้ยวเบนโดยเป็นเลขจำนวนเต็ม

## 2.6 FTIR Imaging

FTIR เป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุล โดยข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างทางโมเลกุลที่ได้เป็นได้ทั้งเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ นิยมใช้วิเคราะห์ทดสอบสารอินทรีย์ ใช้ได้ดีกับสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่มีความบริสุทธิ์สูงทั้งที่อยู่ในรูปของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยเทคนิคการกระกระตุ่นสารด้วยพลังงานแสง เมื่อแสงอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นต่างๆผ่านสู่สารอินทรีย์ พันธะเคมีในโมเลกุลของสารจะดูดกลืนพลังงานที่ค่าความยาวคลื่นหนึ่งข้อมูลนี้จะถูกประมวลโดยคอมพิวเตอร์โดยการใช้สมการเชิงอนุพันธ์ที่เรียกว่าฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม (Fouyier Transform) ซึ่งจะคำนวณพลังงานของแต่ละความยาวคลื่นและแปรผลออกมาเป็นสเปกตรัม เนื่องจากสารแต่ละชนิดให้สเปกตรัมที่มีลักษณะ สามารถนำมาเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของสารที่มีอยู่ในฐานข้อมูลเพื่อใช้พิสูจน์และบ่งชี้ชนิดของสารตัวอย่างได้

เนื่องจากการใช้งานFTIR.นปัจจุบันมีข้อจำกัดหลายด้านโดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้เทคนิคนี้ในการวิเคราะห์หาชนิดของสารปนเป็นขนาดเล็กในวัสดุ อุปกรณ์ต่างๆ ที่ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตพลาสติก และอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดในการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบ เนื่องจากในบางครั้งสิ่งปนเปื้อนเหล่านี้มีขนาดเล็กมาก หรือมีลักษณะและมีสีเหมือนตัวอย่าง จึงยากที่จะเห็นได้ด้วยตาเปล่า

FTIR Imaging จึงได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อจำกัดต่างๆที่กล่าวไว้ข้างต้น ตัวอย่างเช่น เครื่อง Spectrum Spotlight 300 FTIR Imaging System ของบริษัท Perkin Elmer ภาพที่1 และเครื่อง Image Max IR Imaging System ของบริษัทThermo Nicolet ภาพที่2



รูปที่2.7 เครื่อง Spectrum Spotlight 300 FTIR Imaging System

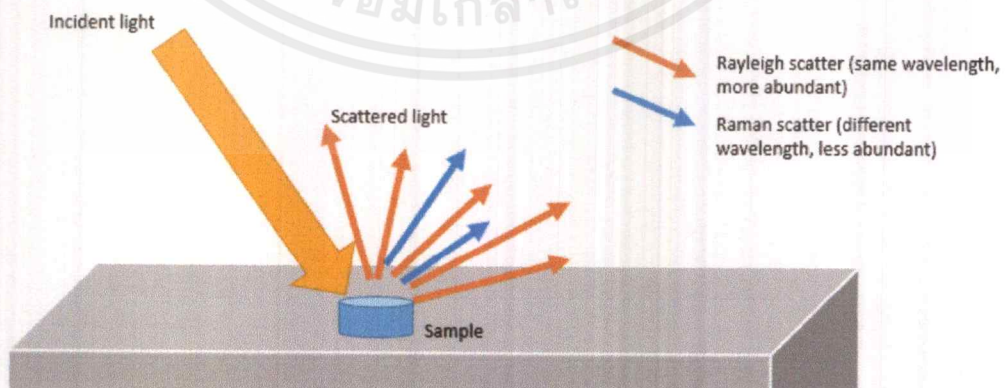
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 เครื่อง Image Max IR Imaging System

## 2.7 เทคนิคทางรามาน (Raman Spectroscopy)

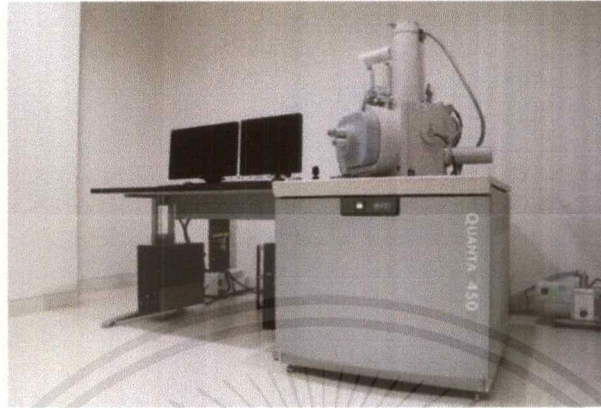
ปรากฏการณ์รามานเกิดจากการที่เมื่อเรายิงแสงเลเซอร์ความเข้มสูงเข้าสู่วัสดุ โมเลกุลในวัสดุจะถูกกระตุ้นแล้วทำให้เกิดการกระเจิงของแสงออกมา ซึ่งเป็นเหตุการณ์ปกติของวัสดุทั่วไป โดยแสงที่กระเจิงออกมานี้จะมีค่าความยาวคลื่นเดียวกันกับลำแสงของเลเซอร์ที่มากระตุ้น ในที่นี้จะเรียกแสงนี้ว่า แสงเลย์โร (Rayleigh scatter) ส่วนลำแสงอีกส่วนที่มีปริมาณน้อยมาก จะมีการกระเจิงแสงที่ความยาวคลื่นต่างออกไป ซึ่งเราจะเรียกลำแสงส่วนนี้ว่า รามาน (Raman scatter)



รูปที่ 2.9 การเกิดลำแสงรามานโดยที่แสงสีส้มเป็นแสงเลย์โร สีน้ำเงินเป็นแสงรามาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด Scanning Electron Microscope(SEM)



รูปที่ 2.10 เครื่องจุลทรรศน์แบบส่องกราด SEM

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยาย 6 -1,000,000 เท่า ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตรสามารถถ่ายภาพตัวอย่างได้หลากหลายโดยไม่มีความจำเป็นต้องเคลือบผิวด้วยสารตัวนำไฟฟ้าก่อนการถ่ายภาพโดยเลือกระบบสุญญากาศในห้องใส่ตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างแต่ละประเภท ได้แก่

1. ระบบสุญญากาศระดับสูง(High Vacuum) สำหรับตัวอย่างประเภทเป็นของแข็ง แข็ง และนำไฟฟ้า เช่น โลหะ เป็นต้น
2. ระบบสุญญากาศระดับต่ำ(Low Vacuum) สำหรับตัวอย่างประเภทเป็นของแข็ง แข็ง และไม่นำไฟฟ้าเช่น พอลิเมอร์ ยาง เป็นต้น
3. ระบบสุญญากาศระดับสภาวะแวดล้อม(Environmental SEM) ที่สามารถทำงานที่ความดัน 10 ถึง 2600 Pa เหมาะกับตัวอย่างที่มีความชื้น มีน้ำเป็นองค์ประกอบ สามารถปรับระดับความชื้นในห้องใส่ตัวอย่างได้ตามความต้องการและสามารถวัดตัวอย่างที่มีอุณหภูมิต่ำได้ เช่น ไอศกรีม ตัวอย่างแข็ง ตัวอย่างทางชีวภาพ ทางการแพทย์ เป็นต้น

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในตอนแรกของบทนี้เป็นการนำผงแคลเซียมคาร์บอเนต ( $\text{CaCO}_3$ ) ทำปฏิกิริยากับแมงกานีสออกไซด์ ( $\text{MnO}_2$ ) ที่เตรียมในบรรยากาศปกติ เพื่อให้เห็นถึงการเกิดเฟสของสารประกอบแคลเซียมแมงกานีสออกไซด์ ( $\text{CaCO}_3$ ) รวมถึงตรวจวัดคุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก หลังจากนั้นนำมาเผาอุณหภูมิประมาณ 1200 องศา นำมาบดที่ได้มาคอมโพสิทกับ GO ที่ 0.5% 1% 3% และ 5% แล้วตรวจสอบคุณสมบัติต่อไป

#### 3.1 วัสดุุดิบและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

- ผง แคลเซียมคาร์บอเนต :  $\text{CaCO}_3$  (puriss., meet analytical specification of Ph.Eur., BPUSP, FCC, E170, precipitated, 98.5-100.5%) ผลิตโดยบริษัท sigma Aldrich ประเทศสหรัฐอเมริกา
- ผงแมงกานีสออกไซด์ :  $\text{MnO}_2$  (Manganese dioxide, Hi-AR) ผลิตโดย HiMedia Laboratories Pvt.Ltd. ประเทศอินเดีย

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- ภาชนะสำหรับเผาสาร (Crucible)
- เครื่องชั่งดิจิทัลความละเอียด 0.0001 กรัม รุ่น Pioneer ผลิตโดยบริษัท OHAUS
- เตาเผาอุณหภูมิสูง (High Temperature Furnance) ผลิตโดยบริษัท VESSTAR ประเทศอังกฤษ
- ระบบเตาเผาให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction Furnance) รุ่น M-Series ผลิตโดยบริษัท CEP ประเทศไทย
- เครื่องอัดไฮดรอลิกขนาด 30 ตัน ผลิตโดยบริษัท KC HYDRAURIC ประเทศไทย
- เครื่องดูดควัน (Fume hood) ผลิตโดยบริษัท design-alternative ประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ครกบดสาร

- กระดาษลิตมัส ผลิตโดยบริษัท Precision Laboratories ประเทศสหรัฐอเมริกา

### 3.3 กระบวนการสังเคราะห์วัสดุเทอร์อิเล็กทริก $\text{CaMnO}_3$

#### 3.3.1 สมการสำหรับปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารประกอบ



คำนวณการสังเคราะห์สารจากสมการ (1) ปริมาณสาร 40 กรัม จากการ

คำนวณสมการดังกล่าวนี้ได้ปริมาณของสารประกอบ  $\text{CaCO}_3, \text{MnO}_2$  ดังนี้

มวลโมเลกุลของ  $\text{CaCO}_3$

Ca มวลโมเลกุลเท่ากับ 40.078 g/mol

C มวลโมเลกุลเท่ากับ 12.011 g/mol

O มวลโมเลกุลเท่ากับ 15.994 g/mol

มวลโมเลกุลของ  $\text{CaCO}_3$  เท่ากับ  $40.078 + 12.011 + 3(15.994) = 100.071$  g/mol

มวลโมเลกุลของ  $\text{MnO}_2$

Mn มวลโมเลกุลเท่ากับ 54.938 g/mol

O มวลโมเลกุลเท่ากับ 15.994 g/mol

มวลโมเลกุลของ  $\text{MnO}_2$  เท่ากับ  $54.938 + 2(15.994) = 86.926$  g/mol

ถ้าต้องการ  $\text{CaMnO}_3$  ทั้งหมด 40 กรัม

จากสูตร  $n = g/m$

ปริมาณ  $\text{CaCO}_3$

จะได้  $g/m(\text{CaCO}_3) = g/m(\text{CaMnO}_3)$

$$g(\text{CaCO}_3)/(100.071) = 40/142.998$$

$$g(\text{CaCO}_3) = (40 \times 100.071)/142.998$$

$$g(\text{CaCO}_3) = 27.9923 \text{ กรัม}$$

ปริมาณ  $\text{MnO}_2$

จะได้  $g/m(\text{MnO}_2) = g/m(\text{CaMnO}_3)$

$$g(\text{MnO}_2)/(86.926) = 40/142.998$$

$$g(\text{MnO}_2) = (40 \times 86.926)/142.998$$

$$g(\text{MnO}_2) = 24.3153 \text{ กรัม}$$



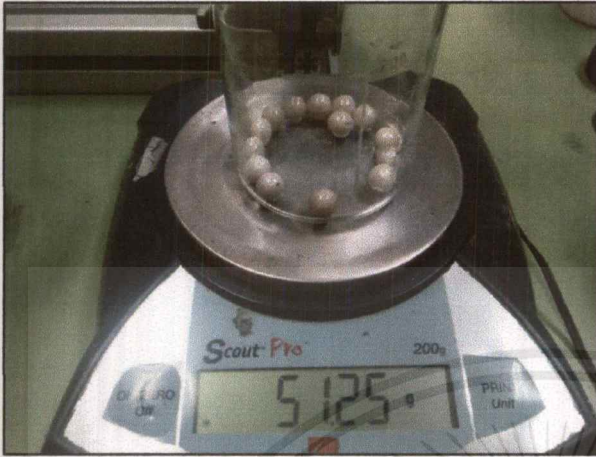
สารประกอบ  $\text{MnO}_2$



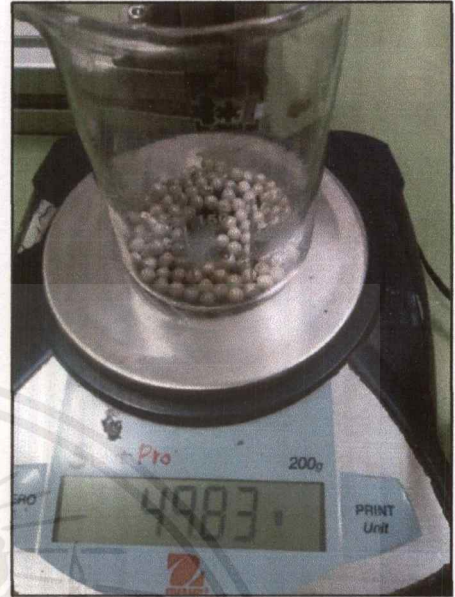
สารประกอบ  $\text{CaCO}_3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

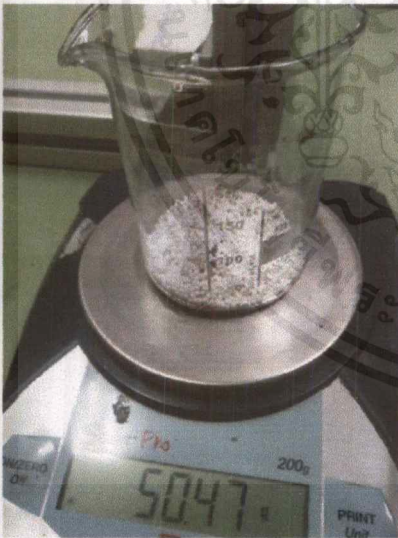
### 3.3.2 ชั่งเม็ดเซอร์คูเนียร์อัตราส่วนขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ 1:2:2



เม็ดเซอร์คูเนียร์ขนาดใหญ่100กรัม



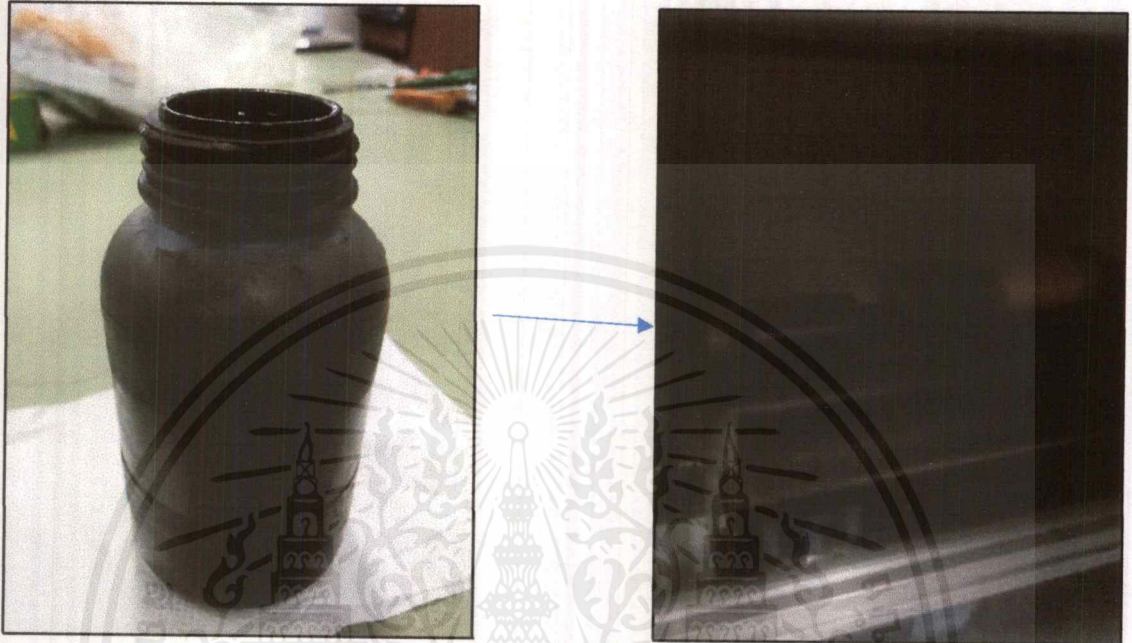
เม็ดเซอร์คูเนียร์ขนาดกลาง200กรัม



เม็ดเซอร์คูเนียร์ขนาดเล็ก200กรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 นำเม็ดเซอร์คิวเนียร์แล้วสารประกอบ $\text{CaCO}_3$ และ $\text{MnO}_2$ มาผสมกันในขวดballmillและนำไปใส่เครื่องballmillเพื่อทำให้ขนาดของสารละเอียดและมีขนาดเล็กลงเป็นเวลา24ชั่วโมง



3.3.4 เมื่อได้สารประกอบที่ผ่านการballmillแล้วก็นำเข้าเครื่องอบที่อุณหภูมิ100องศาเซลเซียสเป็นเวลา24ชั่วโมง



3.3.5 เมื่อได้ผงที่ไล่ความชื้นเสร็จแล้ว นำมาบดละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

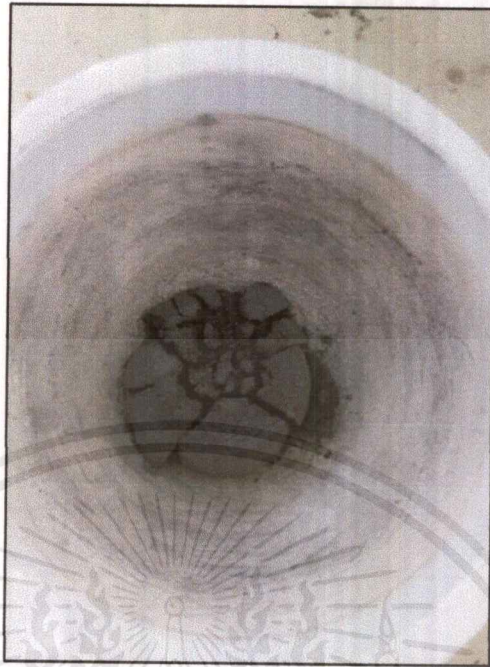


3.3.6 นำไปเผา sinter ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12 องศาเซลเซียส

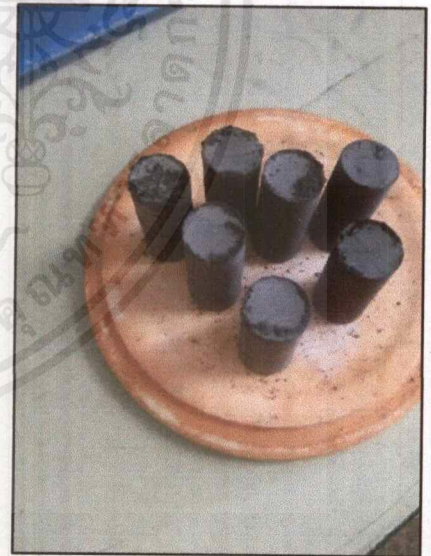
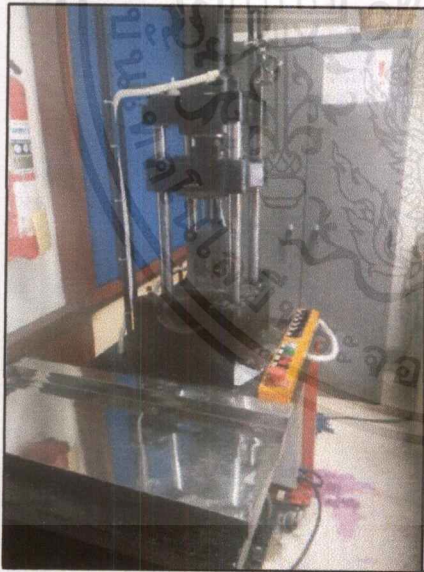


3.3.7 นำมาบดละเอียดอีกครั้งเพื่อนำไปขึ้นเฟสและอีกส่วนจะนำไปผสมกับ GO เพื่อดูความประสิทธิภาพการนำไฟฟ้ามากขึ้นไหม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.3.8 นำบางส่วนมาอัดขึ้นเฟสด้วยเครื่องอัดไฮดรอลิก

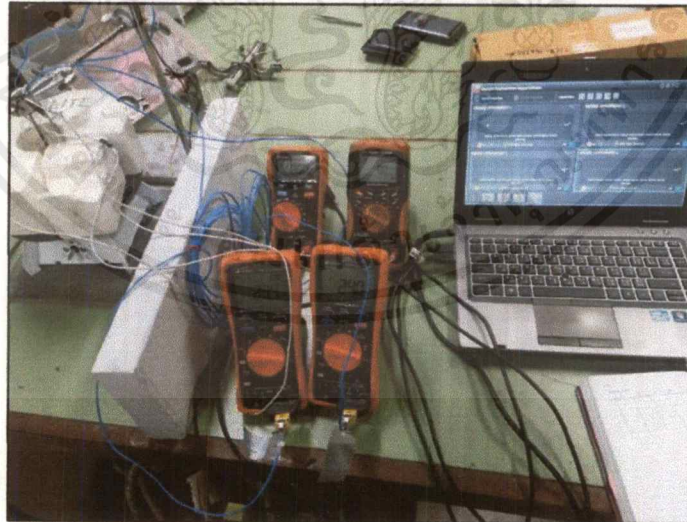


3.3.9 นำไปเผาในเครื่องsinterอีกครั้งที่อุณหภูมิ1200องศาเซลเซียสเป็นเวลา12ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.3.10 นำมอดูลที่ได้ไปวัดค่าไฟฟ้าเบื้องต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.3.11 คำนวณการคอมโพสิต GO ที่ 0.5% 1% 3% 5%

-  $\text{CaMnO}_3$  + GO(0.5%)

$$99.5 + 0.5\% = 1000\text{mg}$$

1กรัม=1000มิลลิกรัม

$$\text{CaMnO}_3 \quad 1000 \times 99.5 / 100 = 9950 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{CaMnO}_3 \quad 9.95 \text{ mg} = 9.95 \text{ กรัม}$$

$$\text{GO} \quad 10000 - 9950 = 50 \text{ mg}$$

GO 1.4 mg/ml

$$1.4 \text{ mg} \longrightarrow 1 \text{ ml}$$

$$50 \text{ mg} \longrightarrow 35.71 \text{ ml}$$

-  $\text{CaMnO}_3$  + GO(1%)

$$99 + 1\% = 1000\text{mg}$$

1กรัม=1000มิลลิกรัม

$$\text{CaMnO}_3 \quad 1000 \times 99 / 100 = 9900 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{CaMnO}_3 \quad 9900 \text{ mg} = 9.9 \text{ กรัม}$$

$$\text{GO} \quad 10000 - 9900 = 100 \text{ mg}$$

GO 1.4 mg/ml

$$1.4 \text{ mg} \longrightarrow 1 \text{ ml}$$

$$100 \text{ mg} \longrightarrow 71.42 \text{ ml}$$

-  $\text{CaMnO}_3$  + GO(3%)

$$97 + 3\% = 1000\text{mg}$$

1กรัม=1000มิลลิกรัม

$$\text{CaMnO}_3 \quad 1000 \times 97/100 = 9700 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{CaMnO}_3 \quad 9700 \text{ mg} = 9.7\text{กรัม}$$

$$\text{GO} \quad 10000 - 9700 = 300\text{mg}$$

GO 1.4 mg/ml

1.4 mg

1 ml

300mg

214.28 ml

- $\text{CaMnO}_3$  + GO(5%)

$$95\% + 5\% = 1000\text{mg}$$

1กรัม=1000มิลลิกรัม

$$\text{CaMnO}_3 \quad 1000 \times 95/100 = 9500 \text{ มิลลิกรัม}$$

$$\text{CaMnO}_3 \quad 9500 \text{ mg} = 9.5 \text{ กรัม}$$

$$\text{GO} \quad 10000 - 9500 = 500 \text{ mg}$$

GO 1.4 mg/ml

1.4 mg

1 ml

500mg

357.14 ml

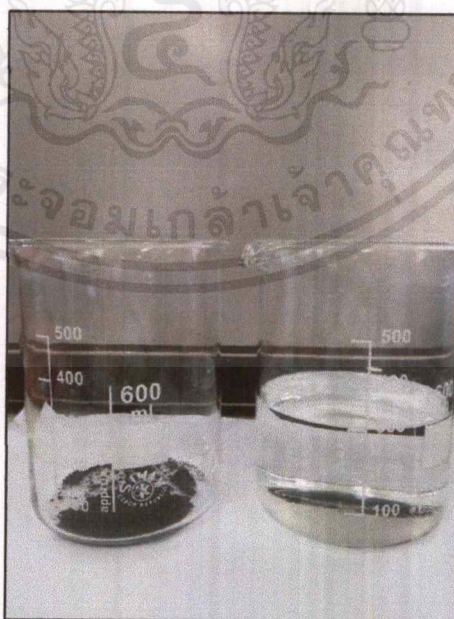
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.12 นำ $\text{CaMnO}_3$ คอมโพซิส GO ตาม% ที่เราคำนวณไว้

- ชั่ง  $\text{CaMnO}_3$  ตามอัตราส่วนที่เราได้คำนวณไว้

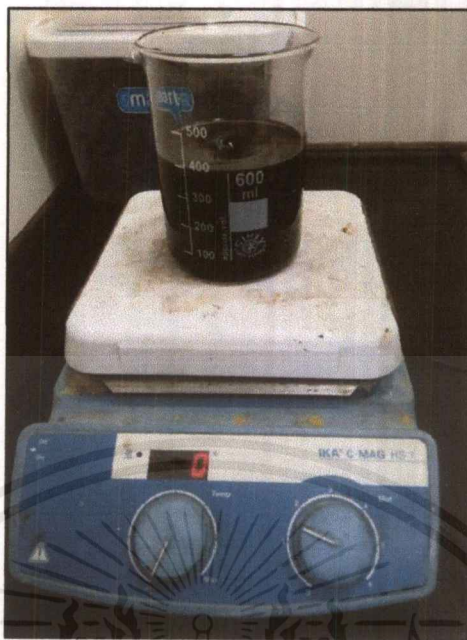


- ใช้บีกเกอร์ขนาด 500ml ในการคอมโพซิสสาร โดยเราจะให้ปริมาณของเหลวทั้งหมดอยู่ที่ 400ml นำ 400-ปริมาณ GO ที่เราคำนวณ = ปริมาณแอลกอฮอล์ที่เราใช้ แล้วจึงเติมปริมาณ GO ตามไป



- นำไปทำการคอมโพซิสให้เข้ากันโดนการใช้สเตรียในการหมุนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



-เมื่อได้สารละลาย รอให้ตะกอนแล้วกรองออกให้เหลือแต่ผงสีดำเท่านั้น



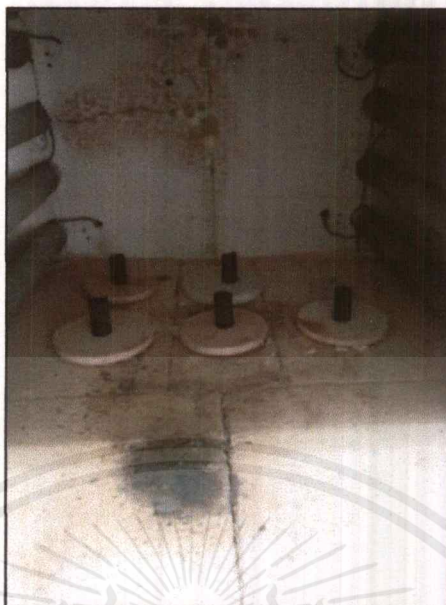
-เมื่อได้ผง นำเข้าตูบเพื่อไล่ความชื้น ในเวลา24ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

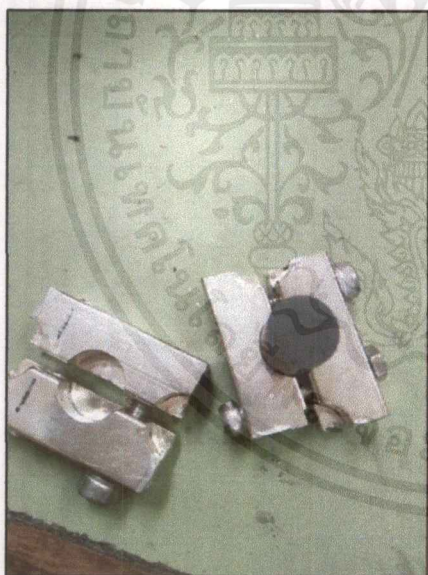


- นำไปเผาที่อุณหภูมิที่1200องศาเซลเซียสอีกครั้ง
- นำมาบดอีกครั้งด้วยครกบดสารแล้วจึงนำเข้าเครื่องอัดไฮดรอลิก%ของGOละ1-2ตัว เพื่อทำการวัดไฟต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- นำโมดูลที่ได้มาต่อขั้วไฟฟ้าและวัดไฟต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

4.1 ตารางแสดงค่า R ,ค่า  $\rho$  , ค่า L ของแต่ละโมดูล โดยที่มีค่ารัศมี 0.5 มิลลิเมตร A = 0.786

mm

ซึ่งจะคำนวณหาค่า  $\rho$  ได้จากสมการดังนี้

$$\rho = \frac{RA}{L}$$

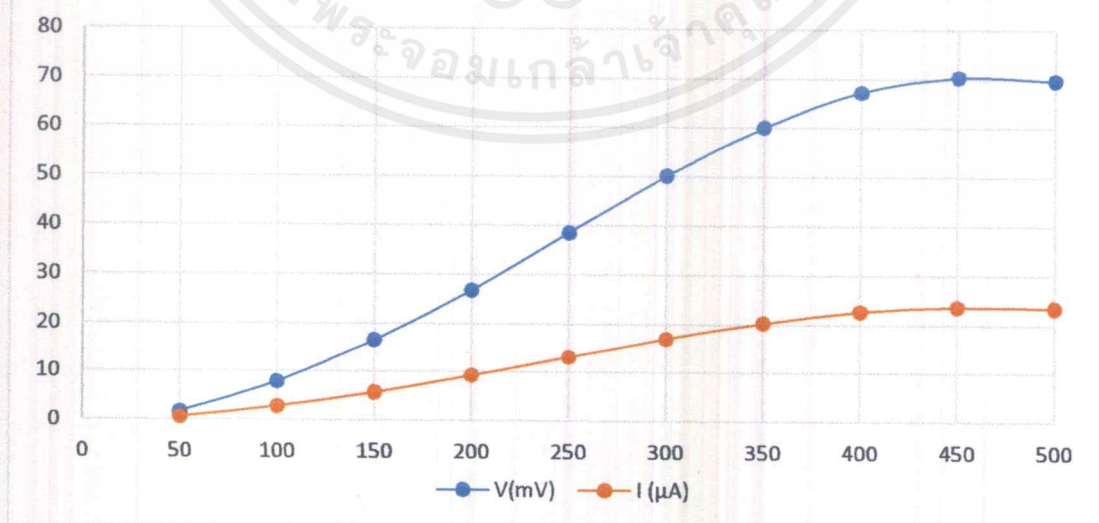
โมดูล	ค่า R(k $\Omega$ )	ค่า L(mm)	ค่า $\rho$
CaMnO <sub>3</sub>	3.019	17.594	0.1348
CaMnO <sub>3</sub> คอมโพสิตGO 0.5%	1.634	16.891	0.0760
CaMnO <sub>3</sub> คอมโพสิตGO 1%	1.043	15.506	0.0528
CaMnO <sub>3</sub> คอมโพสิตGO 3%	7.66	15.500	0.3884
CaMnO <sub>3</sub> คอมโพสิตGO 5%	5.089	17.420	0.2773

## 4.2 ตารางแสดงค่าไฟเบื้องตัน ค่าศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า และกราฟที่ได้

.CaMnO<sub>3</sub> ไม่มีฉนวน

อุณหภูมิด้านร้อน (Th)	อุณหภูมิด้านเย็น (Tc)	ผลต่างของ อุณหภูมิ (Th-Tc)	ค่าศักย์ไฟฟ้า V(mV)	กระแสไฟฟ้า I (μA)
50	31.4	18.6	1.7	0.59
100	51.5	49.5	7.8	2.82
150	77.8	72.2	16.6	5.69
200	109.4	90.6	26.8	9.26
250	146.6	103.4	38.5	13.09
300	192.0	108.0	50.2	17.07
350	236.9	113.1	60.0	20.32
400	279.0	121.0	67.3	22.68
450	321.8	128.2	70.4	23.73
500	368.2	131.8	69.7	23.50

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสารCaMnO<sub>3</sub>แบบไม่มีฉนวนระหว่าง  
อุณหภูมิด้านร้อนกับศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

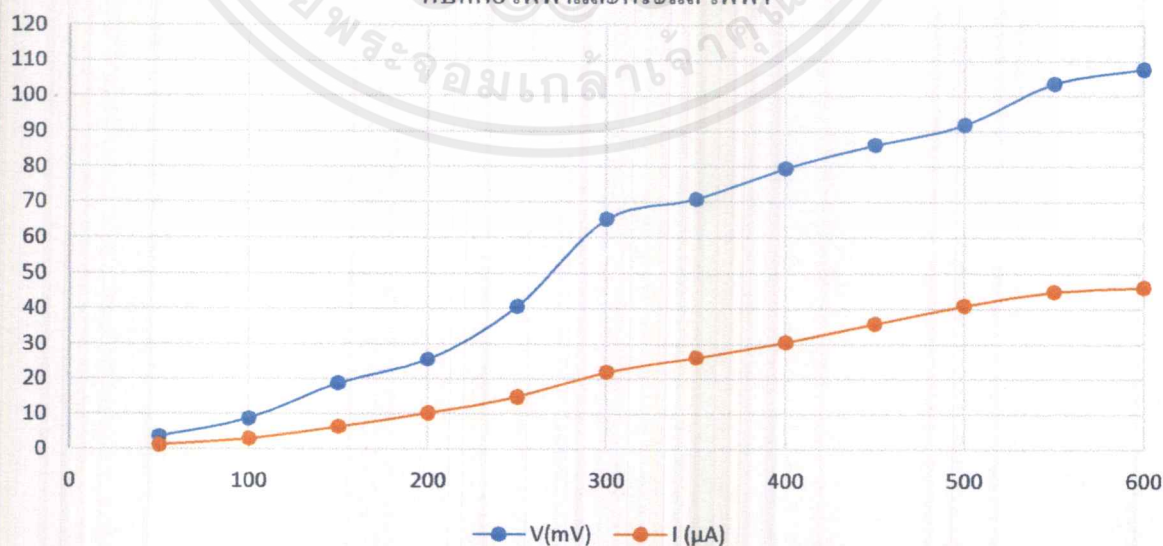


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.CaMnO<sub>3</sub> มีฉนวน

อุณหภูมิด้านร้อน (Th)	อุณหภูมิด้านเย็น (Tc)	ผลต่างของ อุณหภูมิ (Th-Tc)	ค่าศักย์ไฟฟ้า V(mV)	กระแสไฟฟ้า I (μA)
50	31.0	19.0	3.6	1.22
100	39.2	60.8	8.8	2.94
150	41.2	108.8	18.7	6.36
200	44.2	155.8	25.6	10.28
250	47.5	202.5	40.6	14.89
300	53.1	246.9	65.2	21.98
350	60.7	289.3	70.8	26.18
400	70.4	329.6	79.6	30.64
450	87.5	362.5	86.2	35.79
500	112.6	387.4	91.8	40.99
550	154.6	395.4	103.5	44.95
600	223.1	376.9	107.6	46.16

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสารCaMnO<sub>3</sub>แบบมีฉนวนระหว่างอุณหภูมิด้านร้อน  
กับศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า

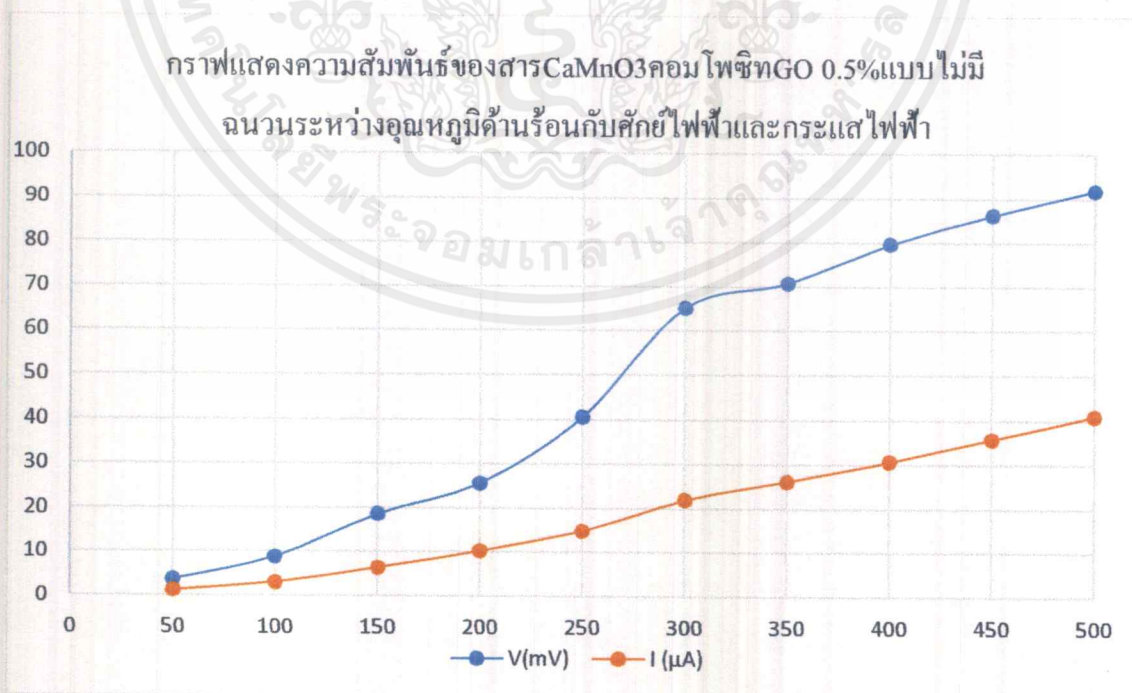


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 ตารางแสดงค่าไฟเบื้องตัน ค่าศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า และกราฟที่ได้

.CaMnO<sub>3</sub> คอมโพสิตGO 0.5% ไม่มีฉนวน

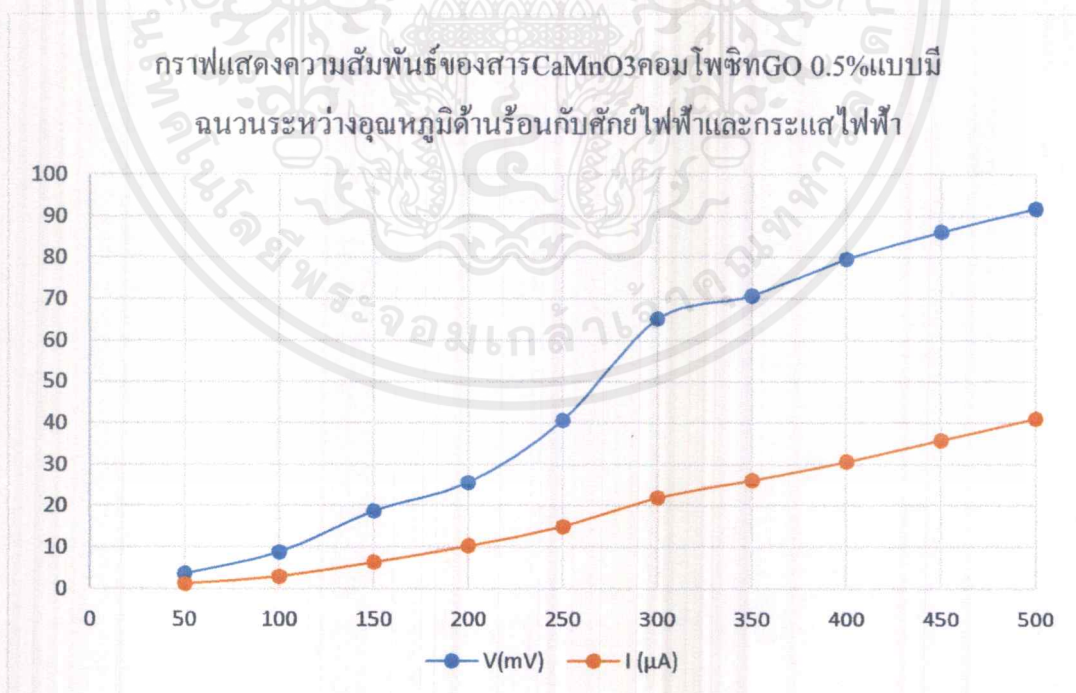
อุณหภูมิด้านร้อน (Th)	อุณหภูมิด้านเย็น (Tc)	ผลต่างของอุณหภูมิ (Th-Tc)	ค่าศักย์ไฟฟ้า V(mV)	กระแสไฟฟ้า I (μA)
50	41.1	8.9	1.7	0.73
100	73.5	26.5	11.6	3.94
150	105.4	44.6	20.3	6.85
200	130.3	56.7	28.0	9.34
250	147.8	102.2	28.2	9.61
300	163.4	136.6	36.4	12.28
350	175.1	174.9	42.8	14.72
400	194.7	205.3	55.4	19.12
450	227.2	222.8	67.6	23.13
500	276.3	223.7	74.3	25.16



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.CaMnO<sub>3</sub> คอมโพสิตGO 0.5% มีฉนวน

อุณหภูมิด้านร้อน (Th)	อุณหภูมิด้านเย็น (Tc)	ผลต่างของ อุณหภูมิ (Th-Tc)	ค่าศักย์ไฟฟ้า V(mV)	กระแสไฟฟ้า I (μA)
50	27.7	22.3	3.6	1.24
100	30.4	69.6	12.3	4.72
150	34.0	116.0	24.9	8.66
200	41.5	158.5	28.2	12.84
250	53.9	196.1	35.6	15.39
300	72.4	227.6	46.4	18.91
350	97.8	252.2	60.2	23.77
400	135.5	264.5	73.6	28.19
450	198.9	251.1	90.4	30.41
500	275.0	225.0	108.6	39.89

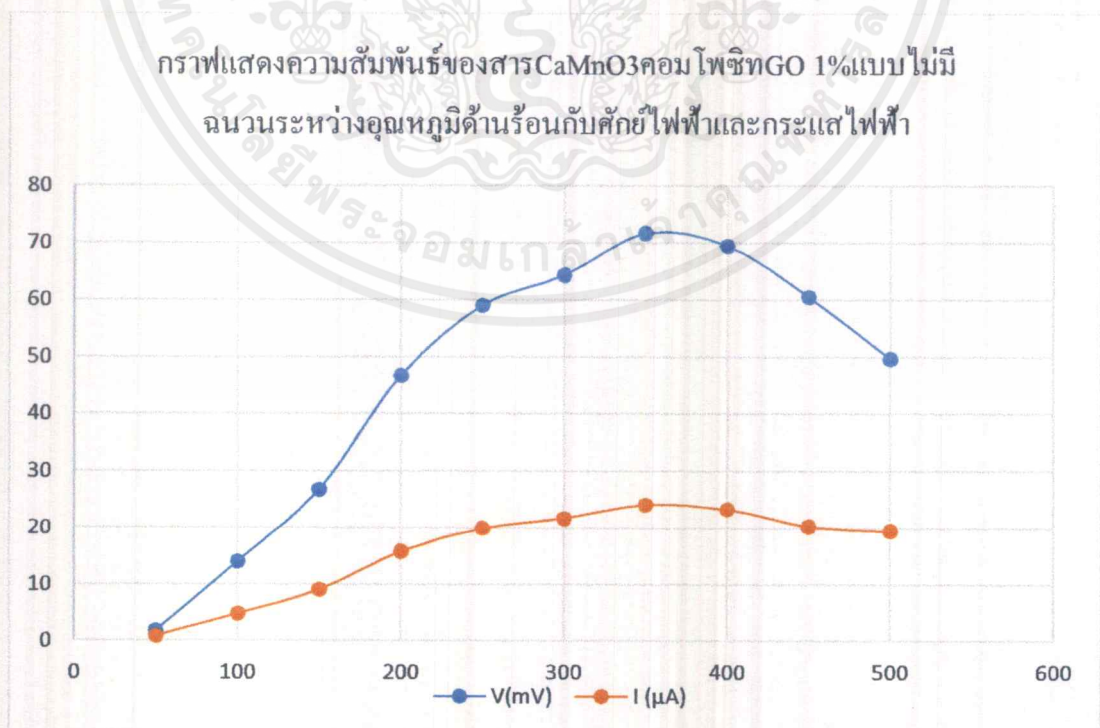


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ตารางแสดงค่าไฟเบื้องต้น ค่าศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า และกราฟที่ได้

.CaMnO<sub>3</sub> คอมโพสิตGO 1% ไม่มีฉนวน

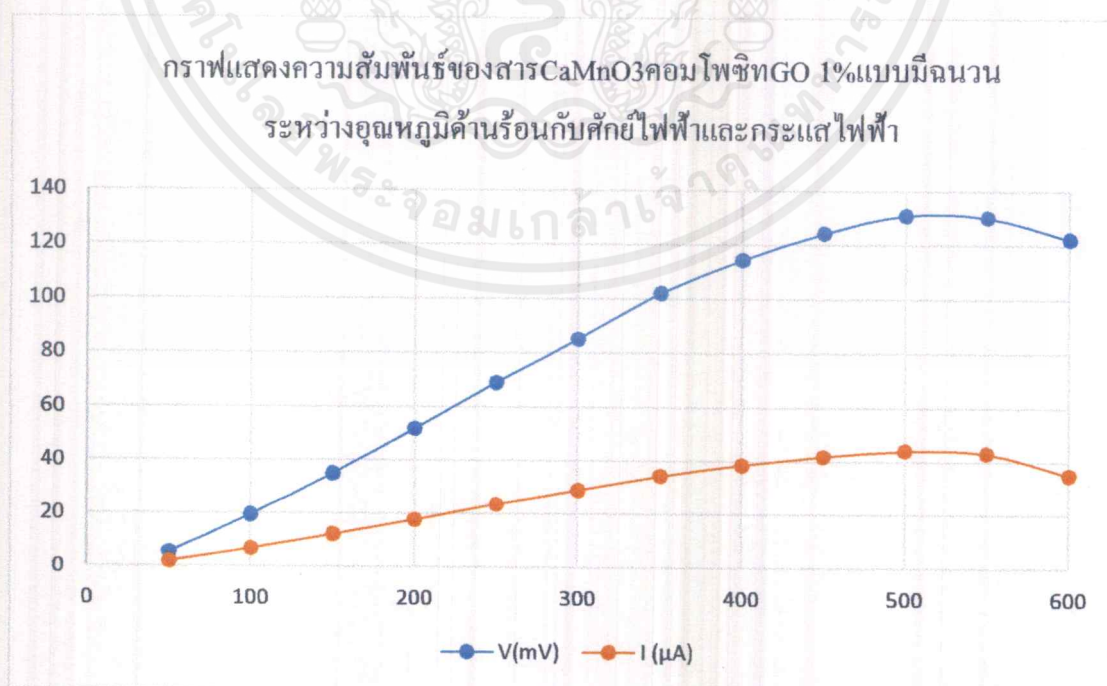
อุณหภูมิด้านร้อน (Th)	อุณหภูมิด้านเย็น (Tc)	ผลต่างของอุณหภูมิ (Th-Tc)	ค่าศักย์ไฟฟ้า V(mV)	กระแสไฟฟ้า I (μA)
50	42.7	7.3	1.8	0.86
100	57.9	42.1	14.0	4.81
150	91.2	58.8	26.8	9.08
200	149.8	50.2	46.7	15.85
250	188.5	61.5	59.0	19.91
300	209.5	90.5	64.3	21.68
350	272.2	77.8	71.7	24.13
400	344.0	56.0	69.5	23.33
450	360.5	89.5	60.5	20.31
500	380.7	119.3	49.7	19.51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.CaMnO<sub>3</sub> คอมโพสิตGO 1% มีฉนวน

อุณหภูมิด้านร้อน (Th)	อุณหภูมิด้านเย็น (Tc)	ผลต่างของ อุณหภูมิ (Th-Tc)	ค่าศักย์ไฟฟ้า V(mV)	กระแสไฟฟ้า I (μA)
50	28.3	21.7	3.4	1.27
100	31.4	68.4	16.7	5.41
150	34.0	116.0	31.0	14.12
200	36.6	163.4	49.3	20.09
250	42.1	207.9	61.3	23.93
300	52.6	247.4	70.8	25.67
350	69.4	280.6	81.2	27.69
400	85.4	314.6	94.8	31.96
450	113.4	336.6	109.1	36.78
500	152.6	347.4	119.2	40.06
550	204.5	345.5	122.4	41.14
600	277.8	322.2	109.3	39.43



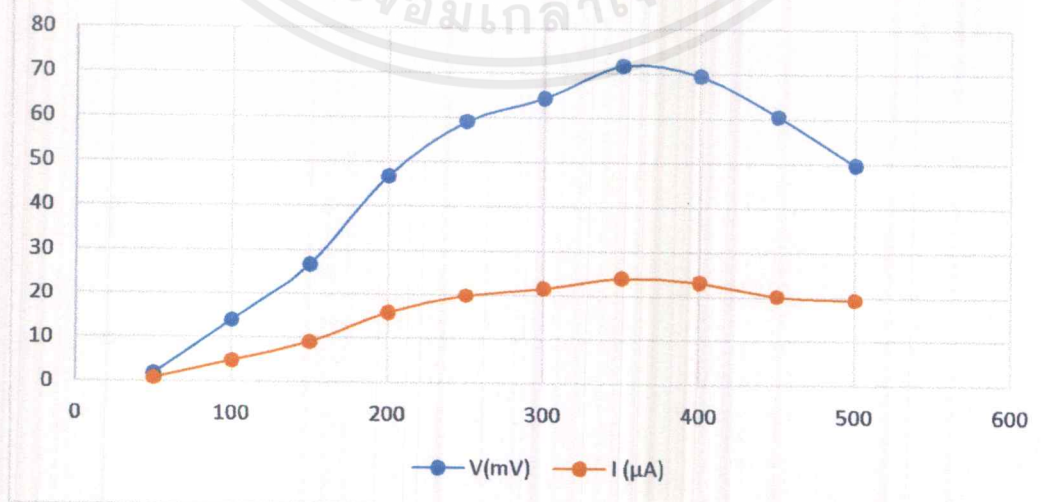
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.5 ตารางแสดงค่าไฟเบื้องตัน ค่าศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า และกราฟที่ได้

.CaMnO<sub>3</sub> คอมโพสิตGO 3% ไม่มีฉนวน

อุณหภูมิด้านร้อน (Th)	อุณหภูมิด้านเย็น (Tc)	ผลต่างของ อุณหภูมิ (Th-Tc)	ค่าศักย์ไฟฟ้า V(mV)	กระแสไฟฟ้า I (μA)
50	34.4	15.6	0.3	0.18
100	35.2	64.8	0.7	0.28
150	35.5	114.5	1.9	0.72
200	36.1	163.9	3.6	1.34
250	38.1	211.9	6.9	2.34
300	41.8	258.2	11.8	4.23
350	46.7	303.3	17.9	6.19
400	54.5	245.5	25.6	8.73
450	65.9	384.1	36.0	12.32
500	83.3	416.7	48.2	16.65
550	108.0	442.0	63.6	21.60
600	143.3	456.7	77.2	26.09

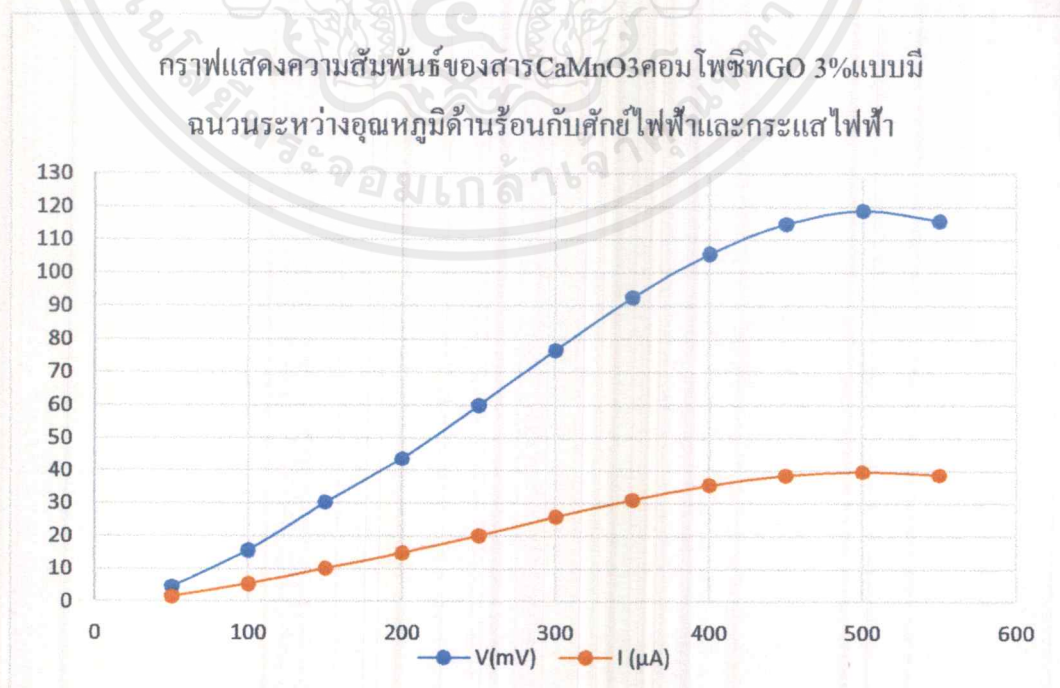
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสารCaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิตGO 3%แบบไม่มีฉนวนระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนกับศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.CaMnO<sub>3</sub> คอมโพสิตGO 3% มีฉนวน

อุณหภูมิด้านร้อน (Th)	อุณหภูมิด้านเย็น (Tc)	ผลต่างของ อุณหภูมิ (Th-Tc)	ค่าศักย์ไฟฟ้า V(mV)	กระแสไฟฟ้า I (μA)
50	24.3	25.7	4.5	1.53
100	26.4	73.6	15.6	5.39
150	31.2	118.8	30.2	10.12
200	37.2	162.8	43.8	14.89
250	47.5	202.7	60.0	20.14
300	61.4	238.6	76.7	25.82
350	78.4	271.6	92.6	31.07
400	101.9	298.1	105.8	35.58
450	133.3	316.7	114.9	38.62
500	169.4	330.6	118.9	39.86
550	217.9	332.1	115.8	38.87
600	269.7	330.3	90.1	30.32



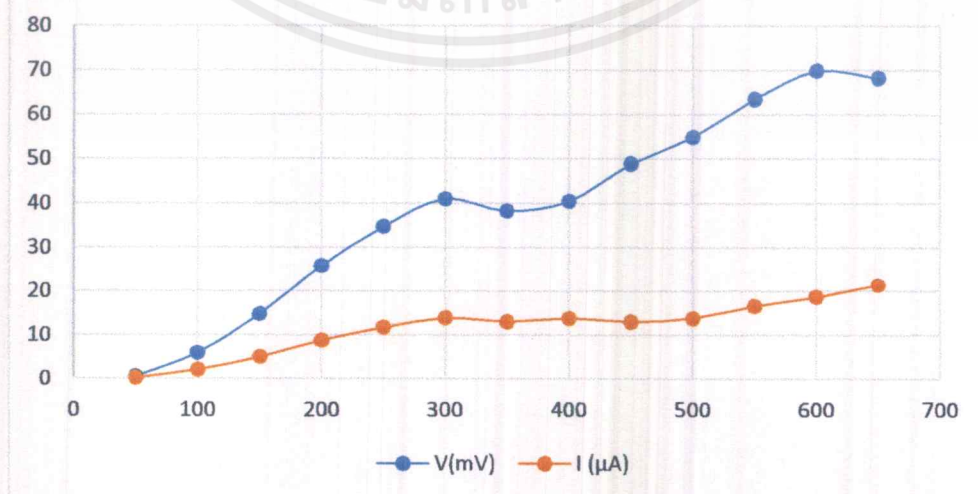
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 ตารางแสดงค่าไฟเบื้องต้น ค่าศักย์ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า และกราฟที่ได้

.CaMnO<sub>3</sub> คอมโพสิตGO 5% ไม่มีฉนวน

อุณหภูมิด้านร้อน (Th)	อุณหภูมิด้านเย็น (Tc)	ผลต่างของ อุณหภูมิ (Th-Tc)	ค่าศักย์ไฟฟ้า V(mV)	กระแสไฟฟ้า I (μA)
50	26.8	23.2	0.5	0.19
100	29.6	70.4	5.9	2.02
150	37.1	112.9	14.7	5.01
200	52.5	147.5	25.8	8.74
250	82.1	167.9	34.7	11.71
300	128.1	171.9	41.0	13.87
350	189.1	160.9	38.3	12.98
400	192.5	207.5	40.5	13.82
450	199.7	250.3	48.8	12.98
500	214.3	285.7	54.8	13.82
550	239.4	310.6	63.5	16.59
600	277.2	322.8	69.8	18.68
650	341.1	308.9	68.2	21.48

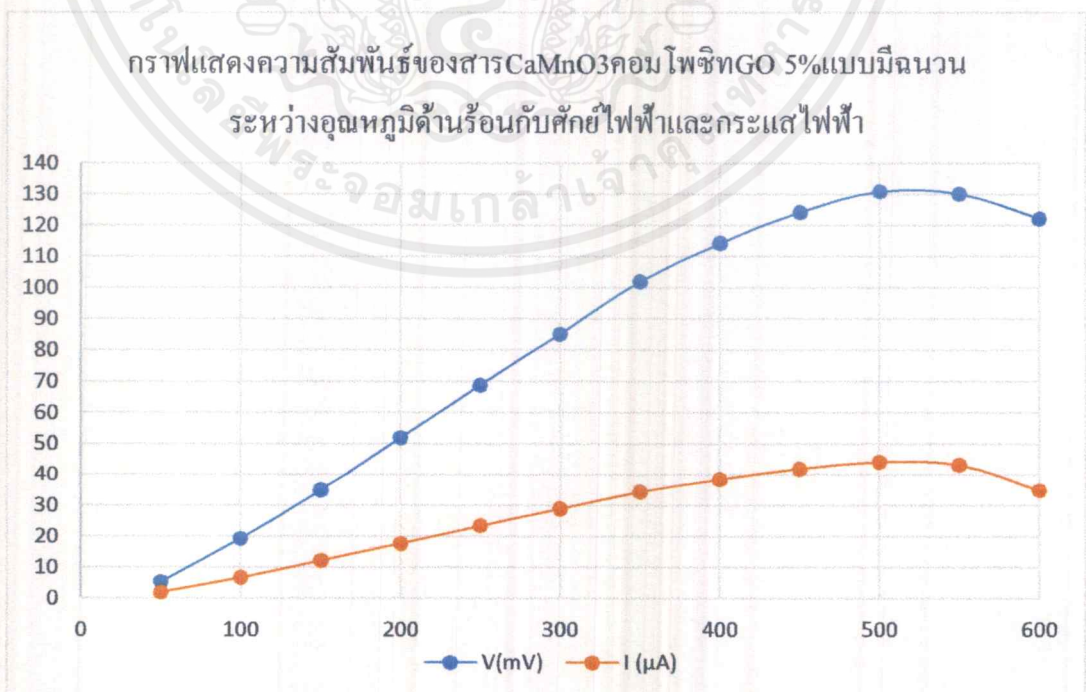
กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสารCaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิตGO 5%แบบ  
ไม่มีฉนวนระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนกับศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.CaMnO<sub>3</sub> คอมโพสิตGO 5% มีฉนวน

อุณหภูมิด้านร้อน (Th)	อุณหภูมิด้านเย็น (Tc)	ผลต่างของ อุณหภูมิ (Th-Tc)	ค่าศักย์ไฟฟ้า V(mV)	กระแสไฟฟ้า I (μA)
50	26.3	23.7	5.3	1.97
100	29.3	70.7	19.3	6.68
150	34.2	115.8	34.9	12.19
200	41.8	158.2	51.9	17.71
250	52.7	197.3	68.9	23.48
300	66.9	233.1	85.1	28.98
350	85.5	264.5	102.1	34.41
400	109.1	290.9	114.3	38.59
450	140.3	309.7	124.2	41.90
500	179.1	320.9	130.9	44.12
550	228.7	321.3	130.2	43.23
600	291.7	308.3	122.1	35.02

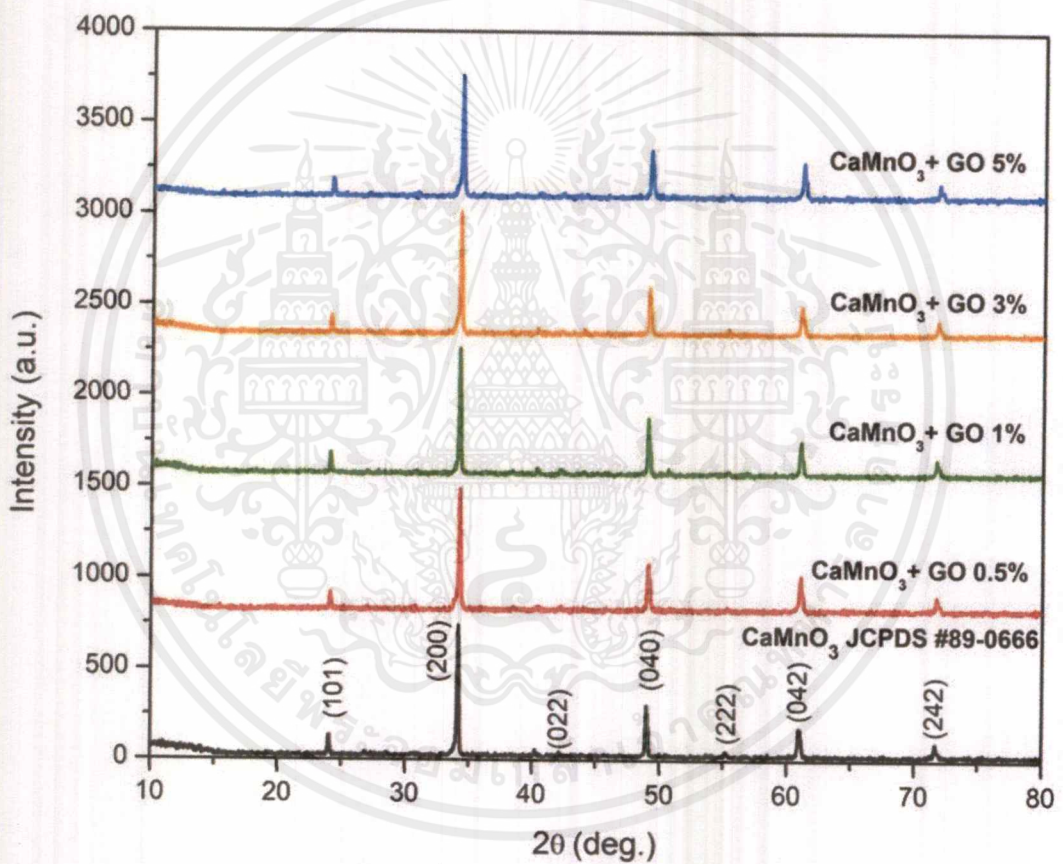


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 ผลการวัดX-RAY Diffraction

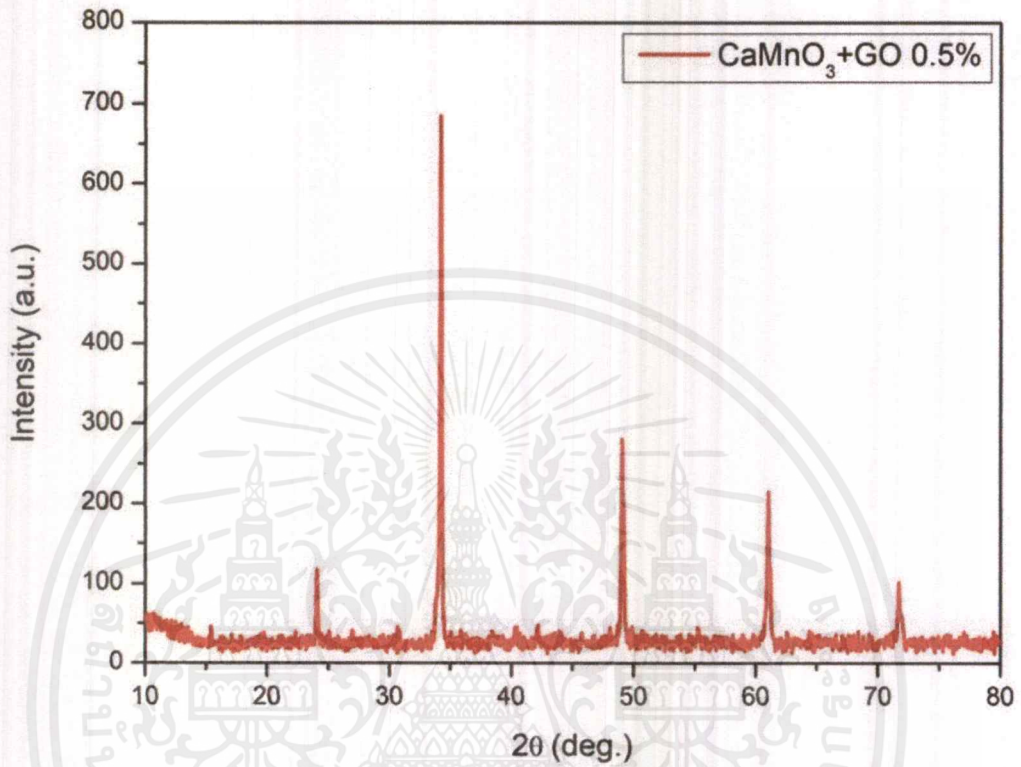
เป็นเทคนิคหนึ่งที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกที่ไม่ทำลายตัวอย่างโดยใช้ในการตรวจวัดโครงสร้างของโมเลกุลต่างๆ

กราฟที่ 4.2.1 ผลXRD  $\text{CaMnO}_3$



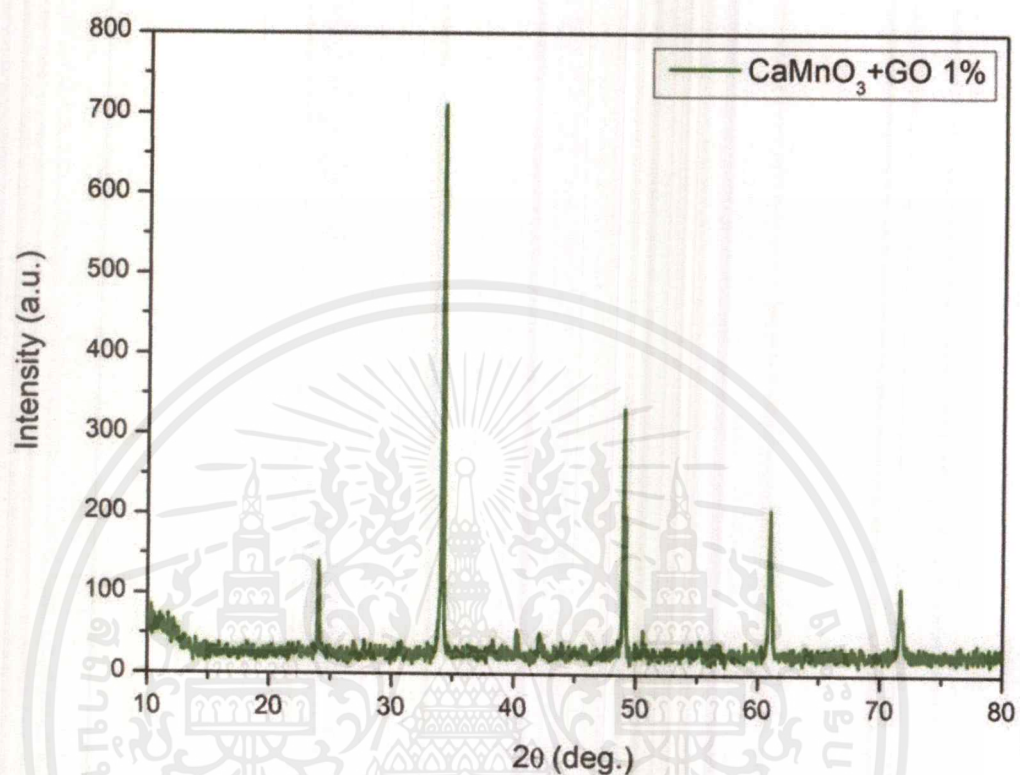
รูปที่ 4.1 XRD Pattern ของโครงสร้างผลึก  $\text{CaMnO}_3$  โดยคอมโพสิต GO ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆกัน

กราฟที่ 4.2.2 ผล XRD CaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิต GO 0.5%



รูปที่ 4.2 XRD Pattern ของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO0.5%

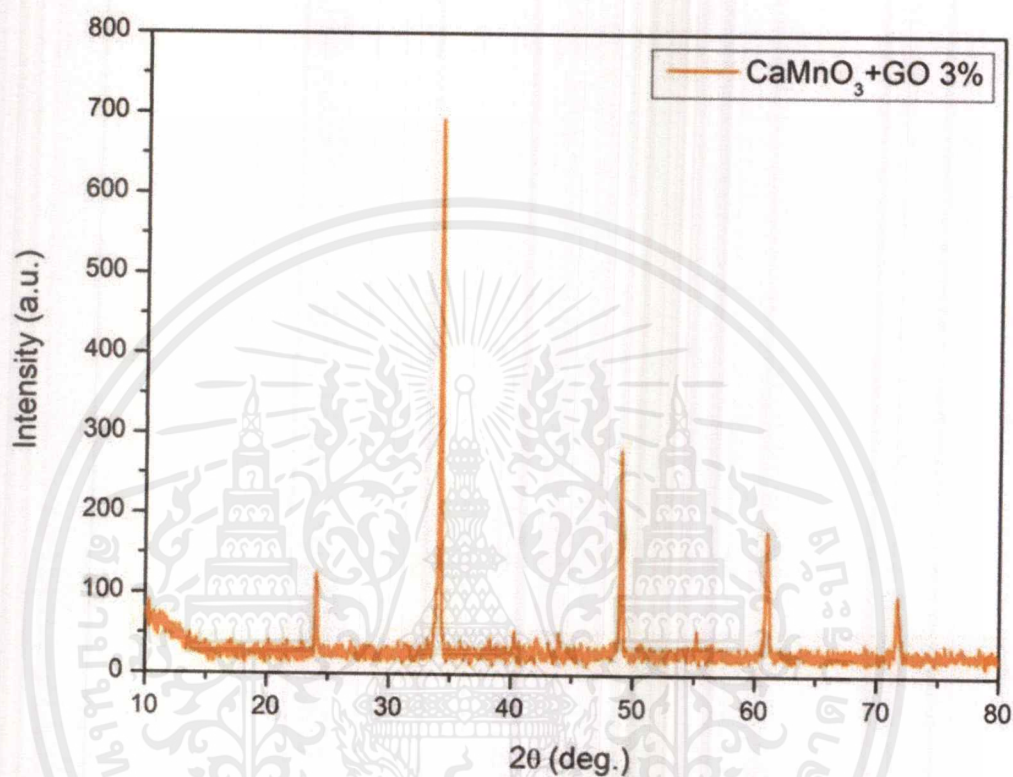
กราฟที่ 4.2.3 ผล XRD  $\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิต GO 1%



รูปที่ 4.3 XRD Pattern ของโครงสร้างผลึก  $\text{CaMnO}_3$  โดยคอมโพสิต GO 1%

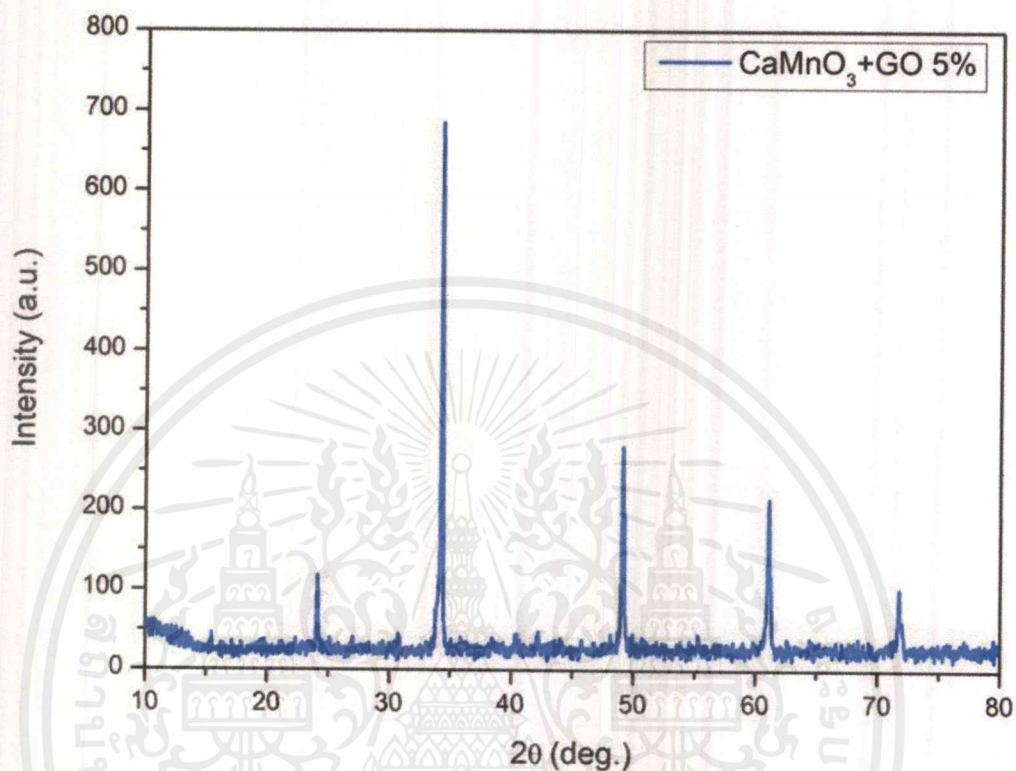
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟที่ 4.2.4 ผล XRD CaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิต GO 3%



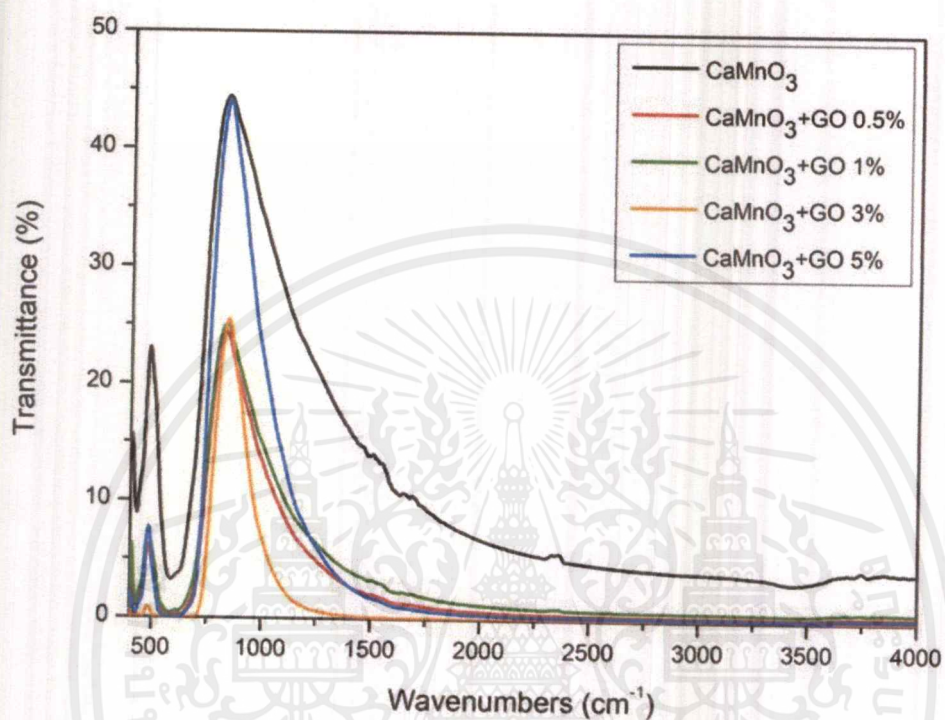
รูปที่ 4.4 XRD Pattern ของโครงสร้างผลึก CaMnO<sub>3</sub> โดยคอมโพสิต GO 3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

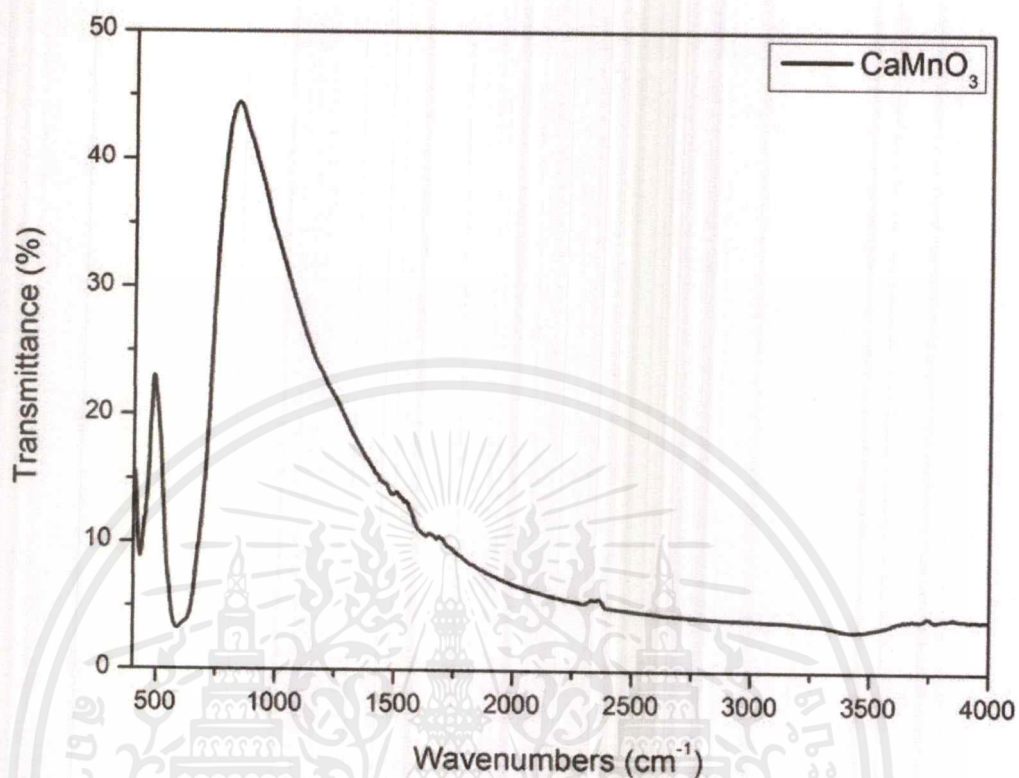
กราฟที่ 4.2.5 ผล XRD CaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิต GO 5%รูปที่ 4.5 XRD Pattern ของโครงสร้างผลึก CaMnO<sub>3</sub> โดยคอมโพสิต GO 5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.3 ผลการวัดFTIR

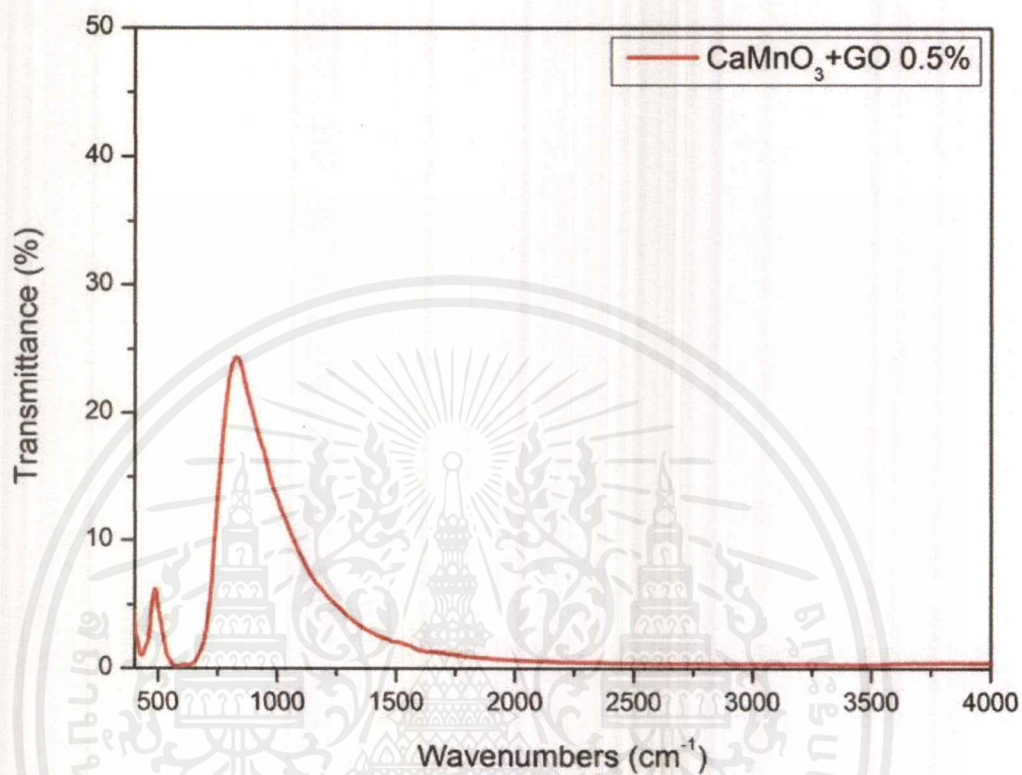
4.6 FTIR Pattern ของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGOที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆกัน.CaMnO<sub>3</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 FTIR ของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>

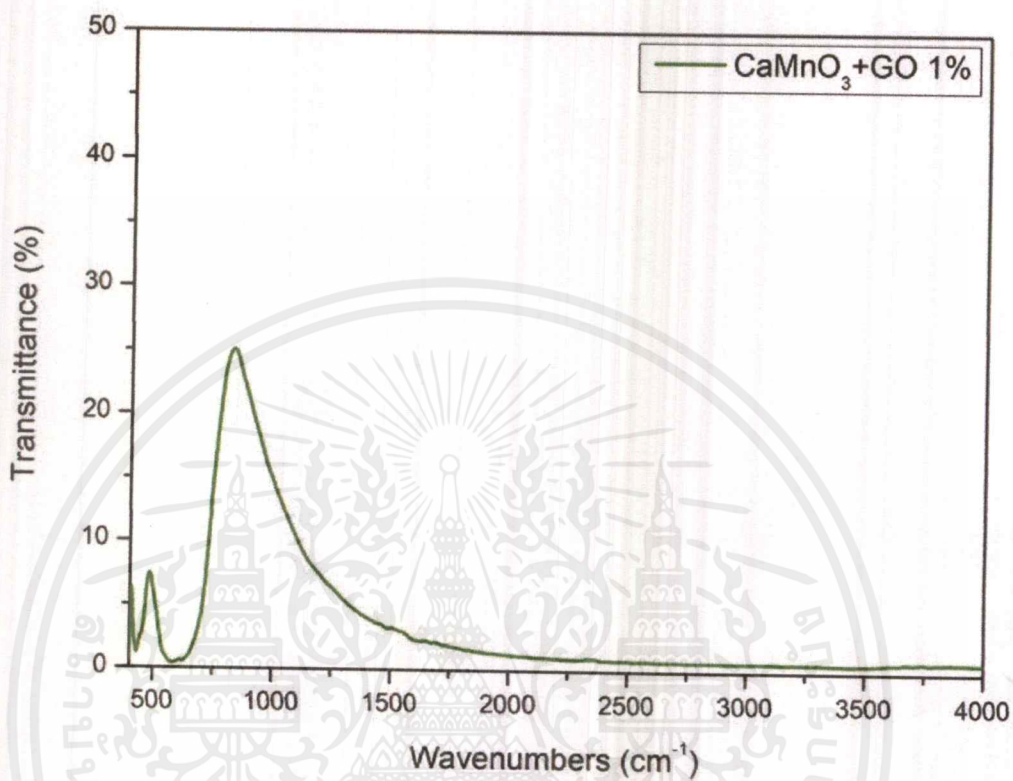
.CaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิตGO 0.5%



รูปที่ 4.8 FTIR ของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO0.5%

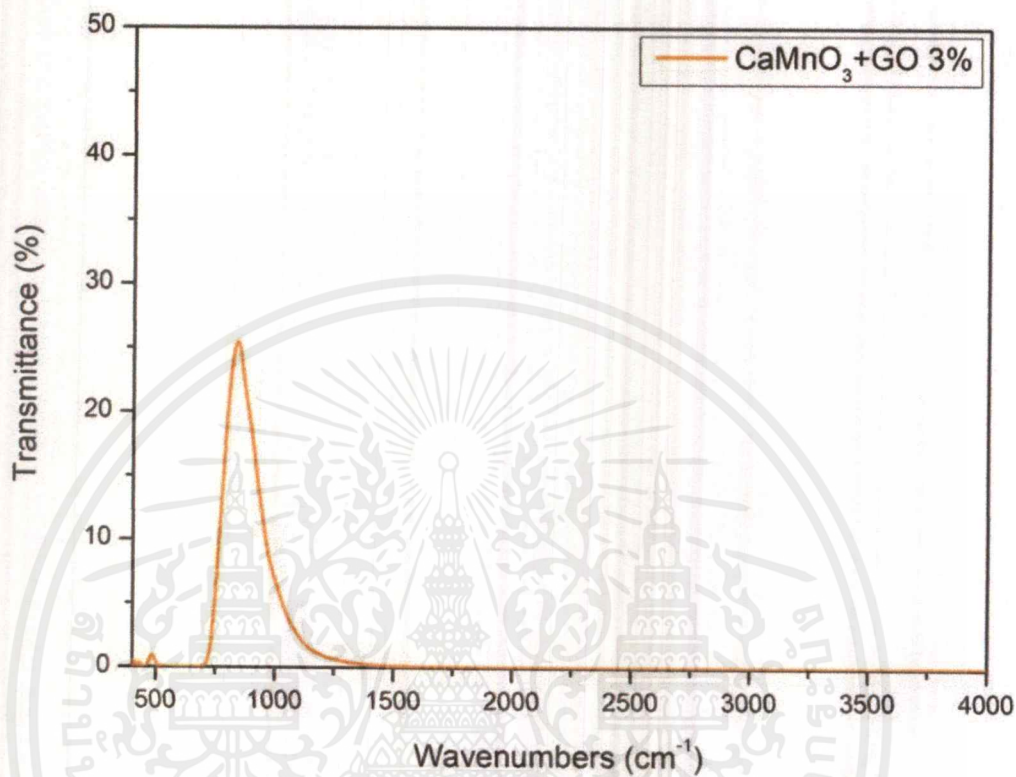
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.CaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิตGO 1%



รูปที่ 4.9 FTIR ของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO1%

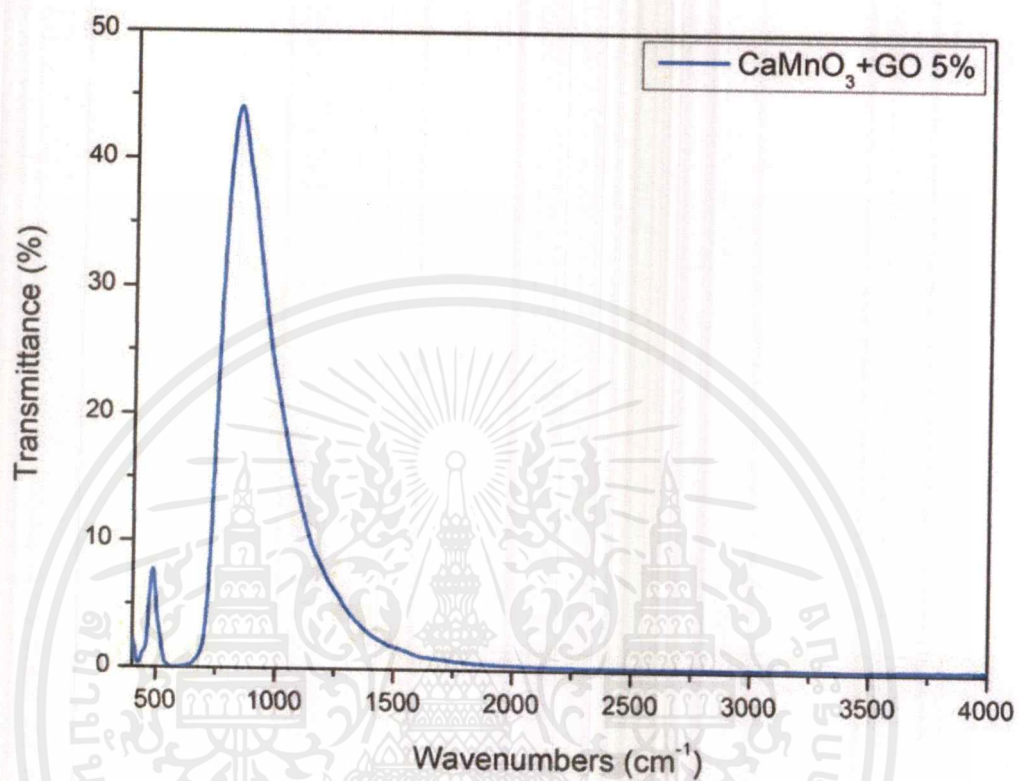
.CaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิตGO 3%



รูปที่ 4.10 FTIR ของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

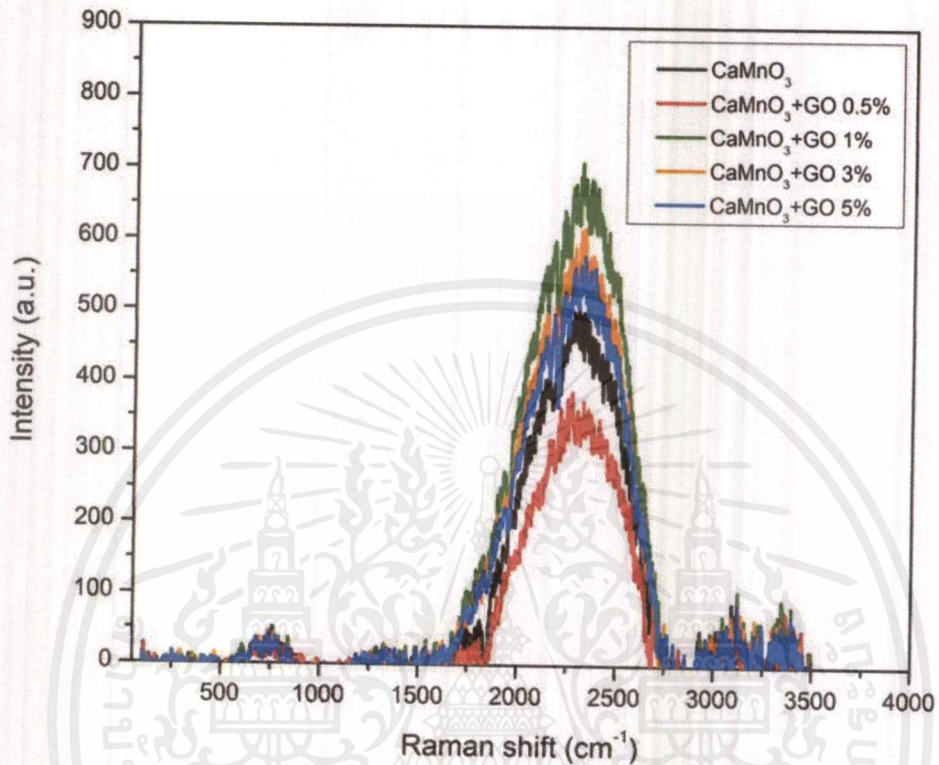
.CaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิตGO 5%



รูปที่ 4.11 FTIRของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO5%

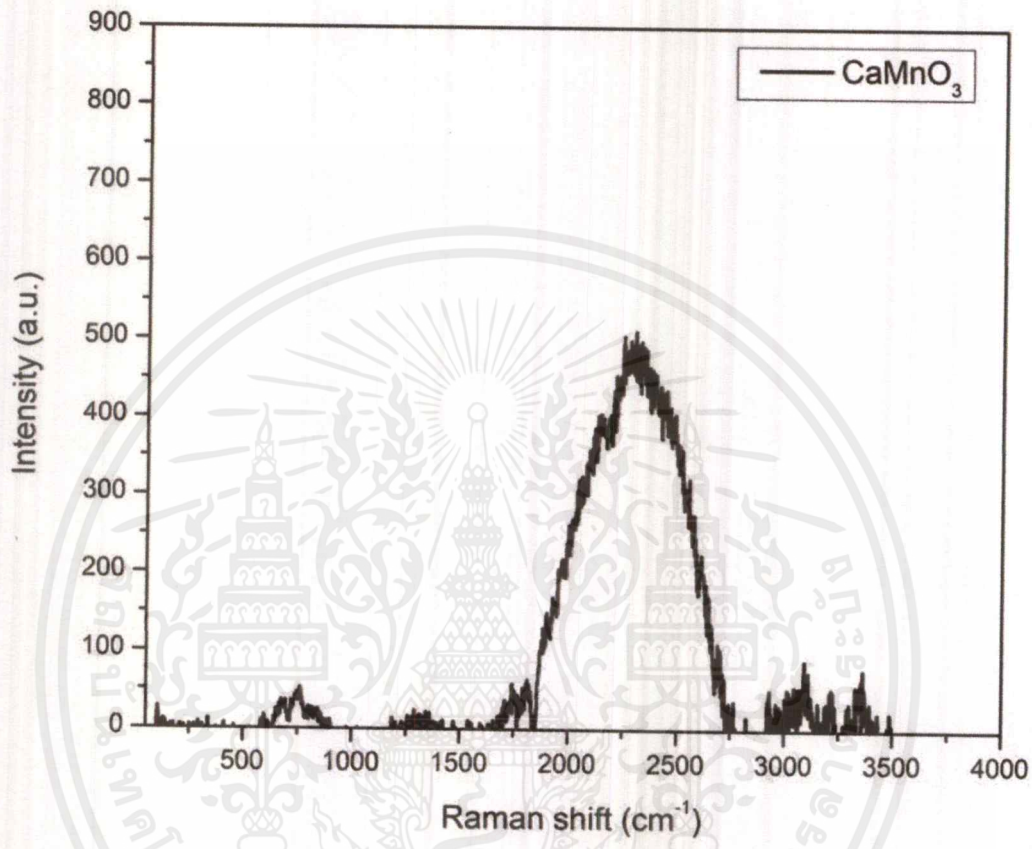
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ผลการวัดรามาน



รูปที่ 4.12 Raman Pattern ของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGOที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆกัน

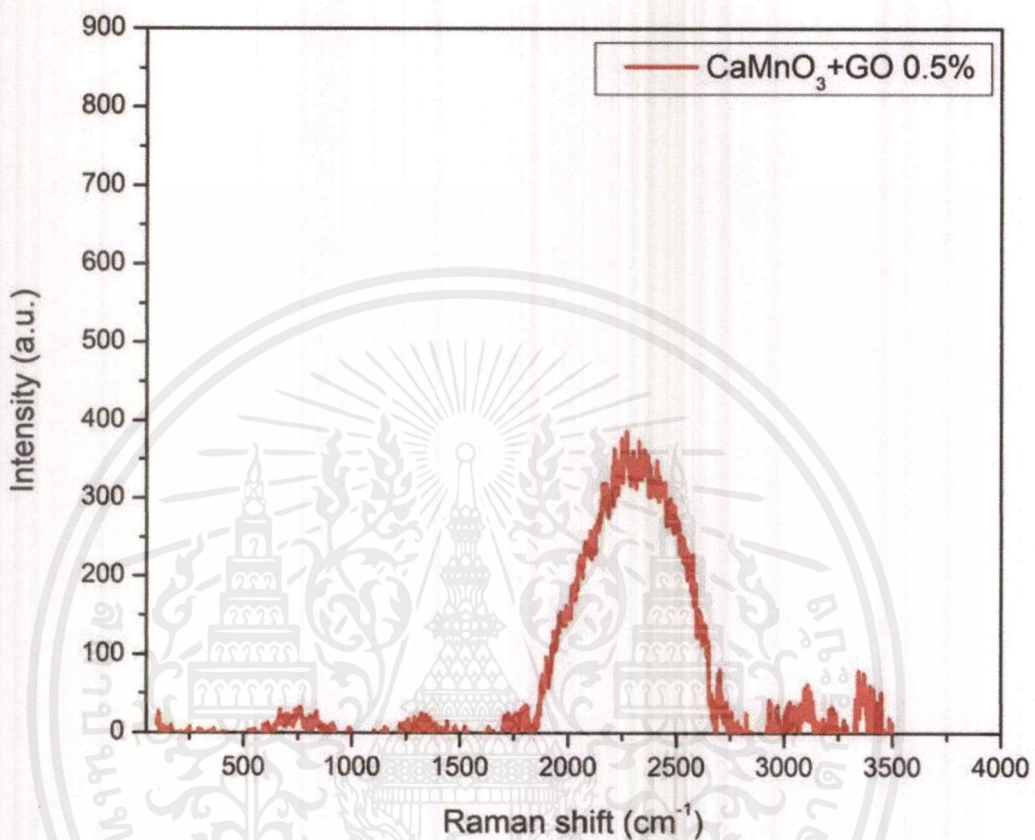
.CaMnO<sub>3</sub>



รูปที่ 4.13 Raman ของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

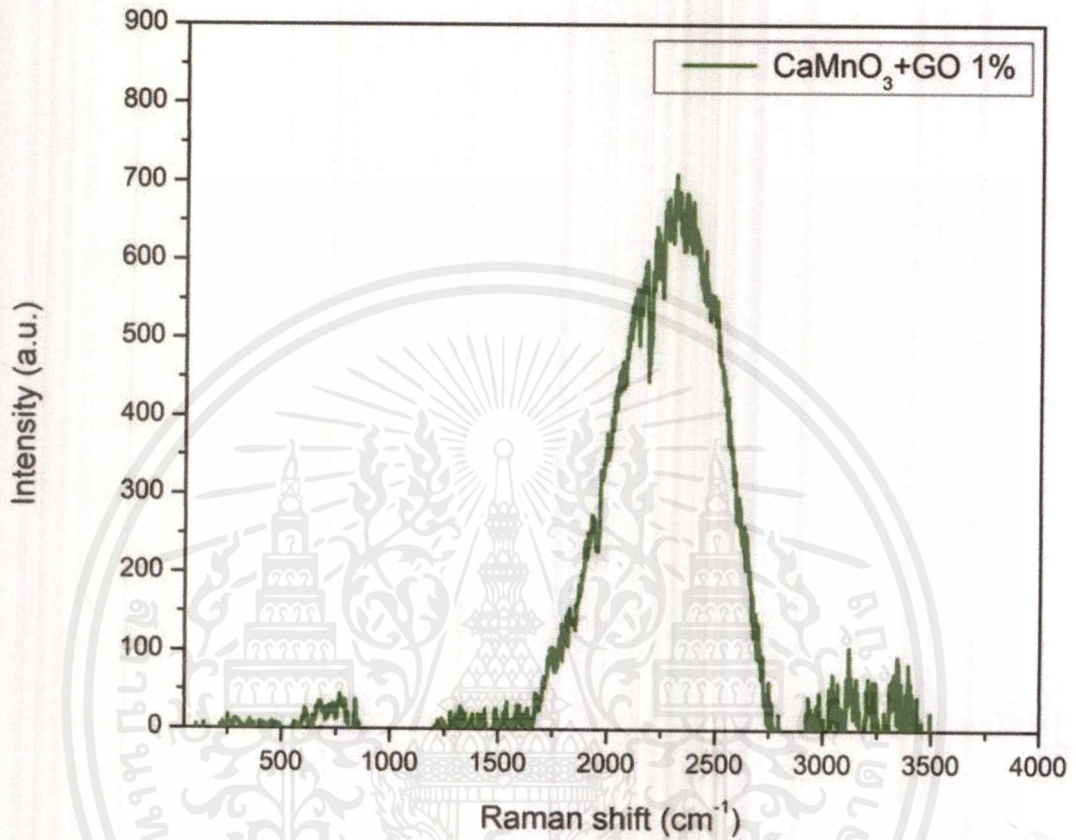
.CaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิตGO 0.5%



รูปที่ 4.14 Raman ของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO0.5%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

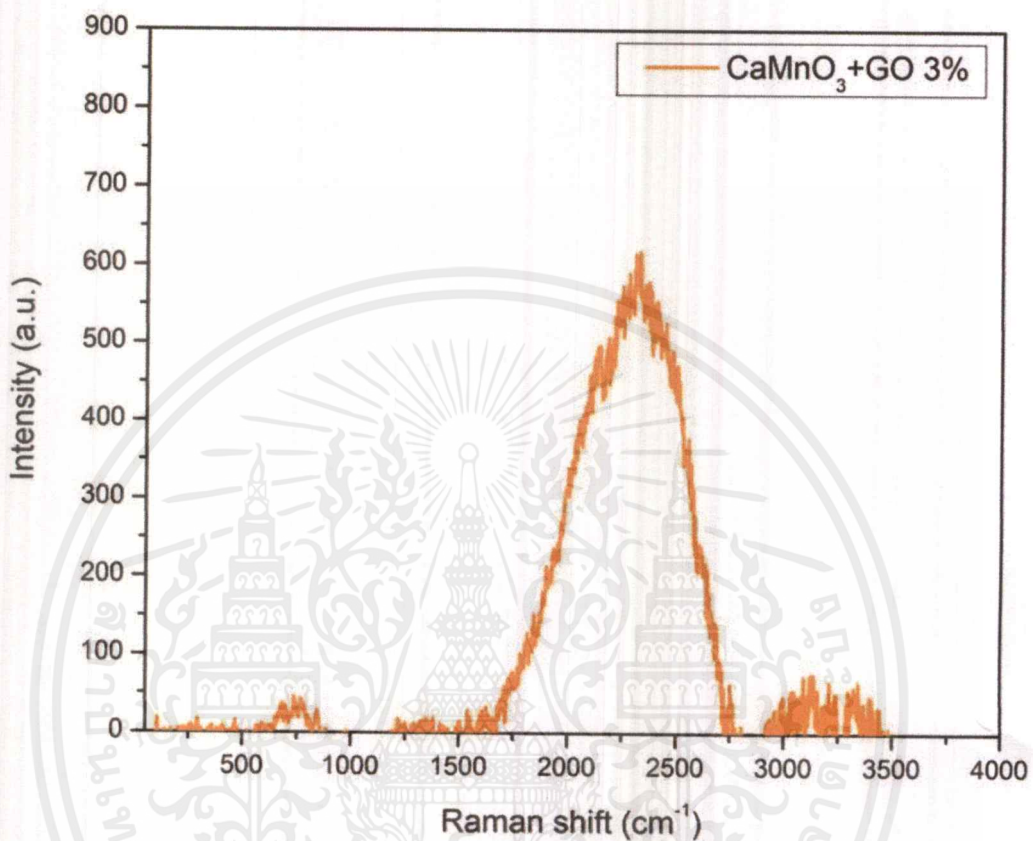
.CaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิตสGO 1%



รูปที่ 4.15 Raman ของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO1%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

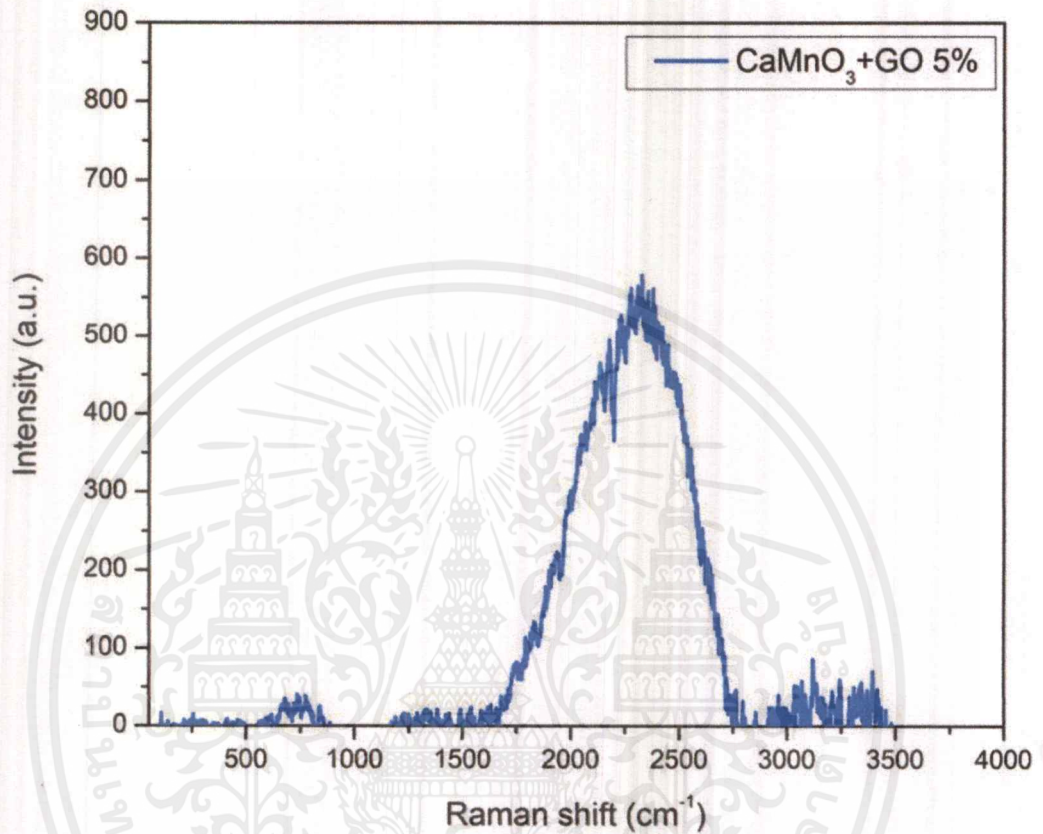
.CaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิตสGO 3%



รูปที่ 4.16 Raman ของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตสGO3%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.CaMnO<sub>3</sub>คอมโพสิตGO 5%

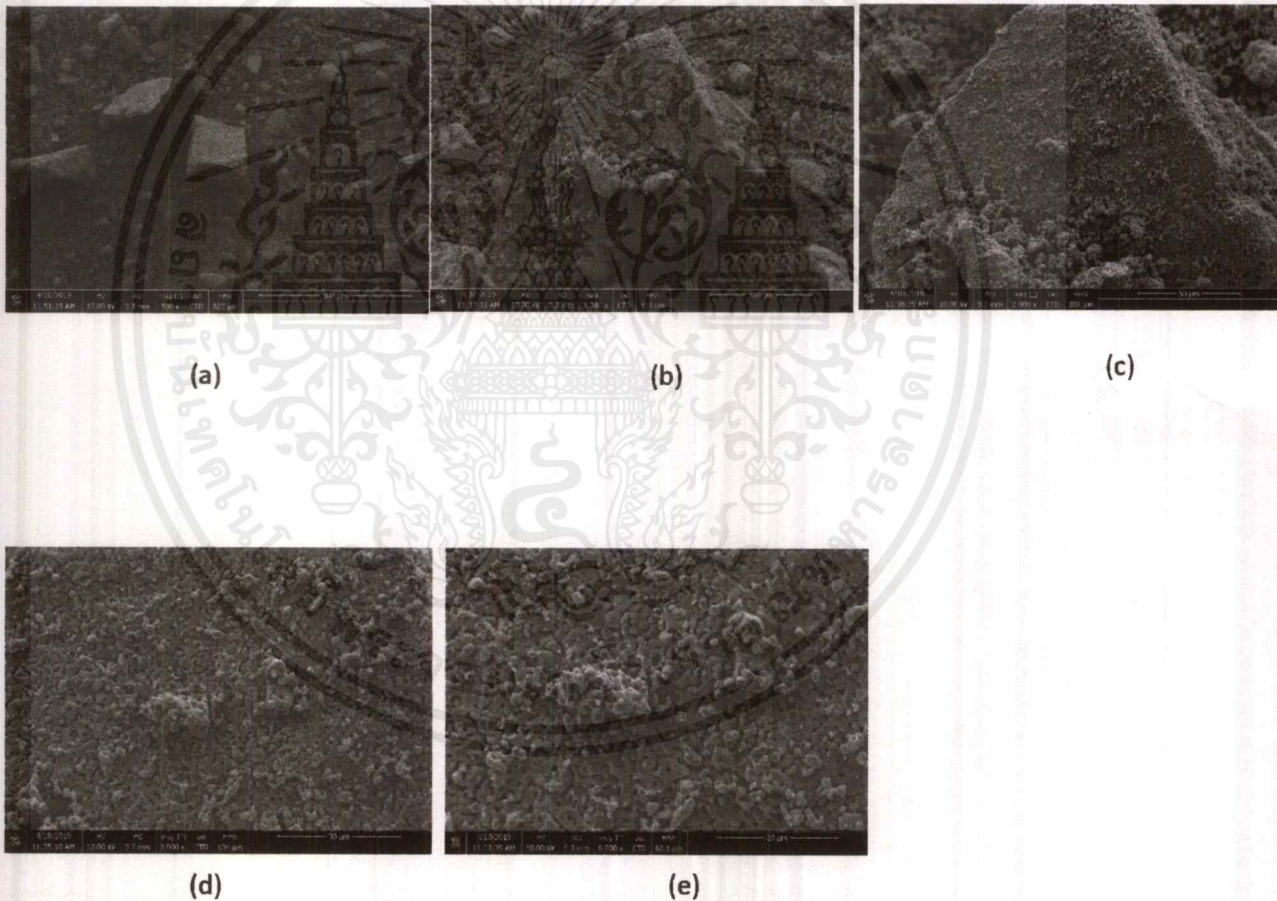


รูปที่ 4.17 Raman ของโครงสร้างผลึกCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO5%

#### 4.5 ผลการวัดSEM

จากการวิเคราะห์โครงสร้างของ $\text{CaMnO}_3$ และ $\text{CaMnO}_3$ ที่ผ่านการคอมโพสิตกับGO ที่0.5% 1% 3%และ5% ซึ่งผ่านการเผาที่อุณหภูมิ1200องศาเซลเซียสเป็นเวลา12ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศปกติ แล้วนำตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้นำไปศึกษาลักษณะโครงสร้างในระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning Electron Microscope : SEM)

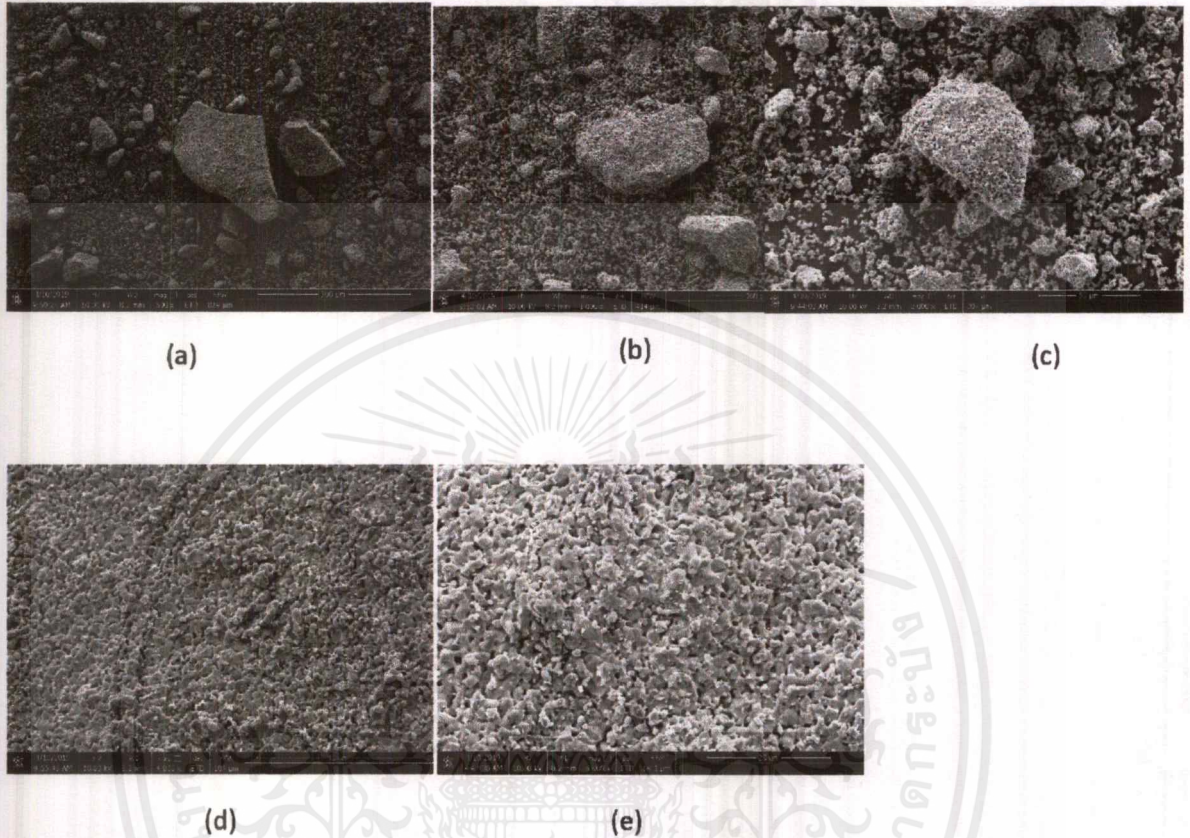
4.5.1 ผลการศึกษาโครงสร้างของ $\text{CaMnO}_3$ จากการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ โดย SEM



รูปที่ 4.5.1 ลักษณะโครงสร้างของ $\text{CaMnO}_3$ เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสที่  
กำลังขยาย 500เท่า (a) กำลังขยาย1000เท่า (b) กำลังขยาย2000เท่า(c) กำลังขยาย4000เท่า(d)  
กำลังขยาย6000เท่า(e)

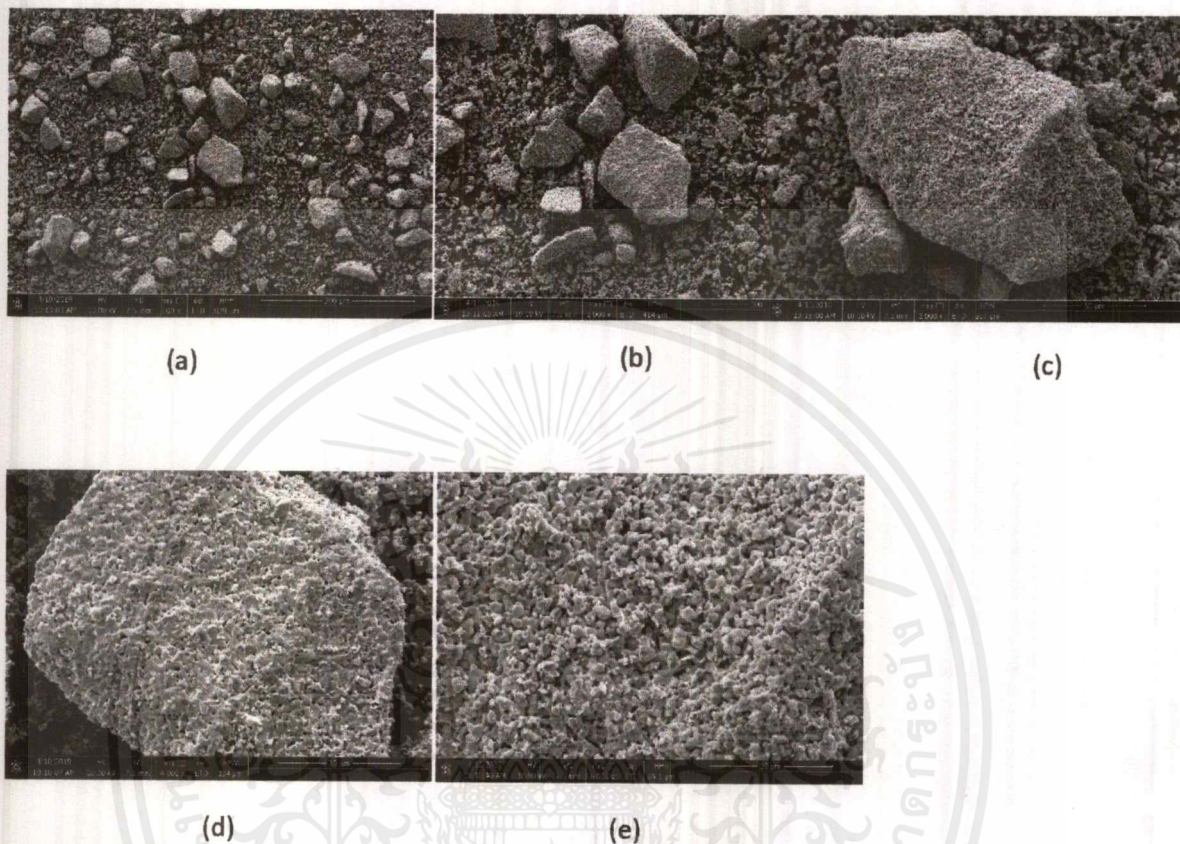
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ผลการศึกษาโครงสร้างของCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO 0.5% จากการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ โดย SEM



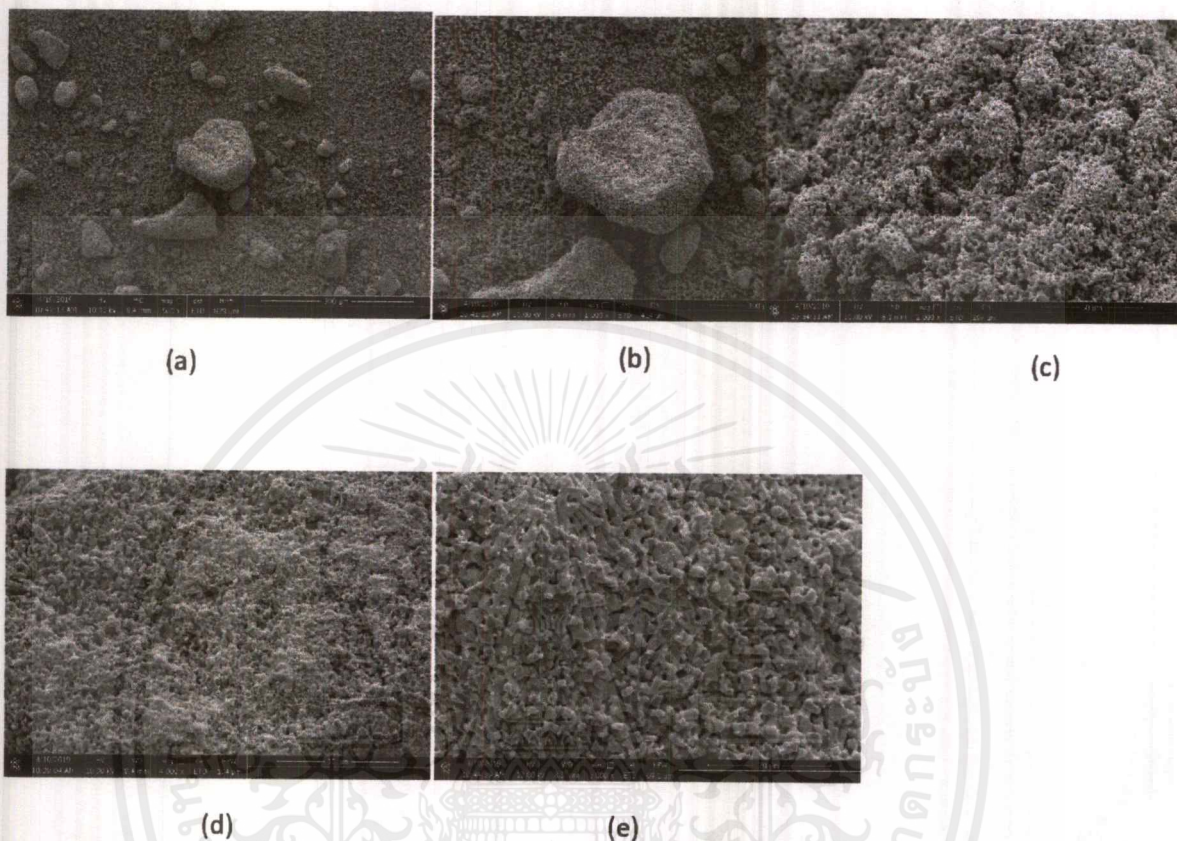
รูปที่ 4.5.2 ลักษณะโครงสร้างของCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO 0.5% เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสที่กำลังขยาย 500เท่า (a) กำลังขยาย1000เท่า (b) กำลังขยาย2000เท่า(c) กำลังขยาย 4000เท่า(d) กำลังขยาย6000เท่า(e)

4.5.3 ผลการศึกษาโครงสร้างของCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO 1% จากการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ โดย SEM



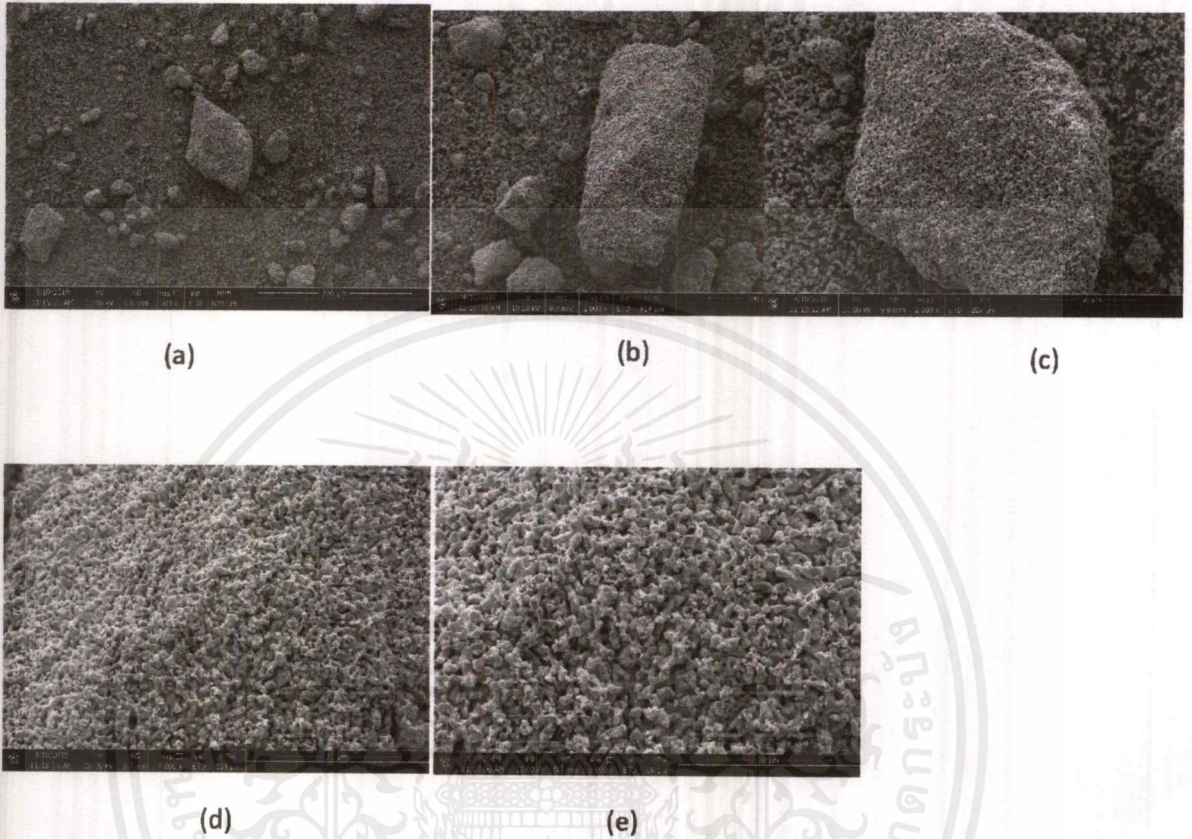
รูปที่ 4.5.3 ลักษณะโครงสร้างของCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO 1% เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสที่กำลังขยาย 500เท่า (a) กำลังขยาย1000เท่า (b) กำลังขยาย2000เท่า(c) กำลังขยาย 4000เท่า(d) กำลังขยาย6000เท่า(e)

4.5.4 ผลการศึกษาโครงสร้างของCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO 3% จากการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ โดย SEM



รูปที่ 4.5.4 ลักษณะโครงสร้างของCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO 3% เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสที่กำลังขยาย 500เท่า (a) กำลังขยาย1000เท่า (b) กำลังขยาย2000เท่า(c) กำลังขยาย 4000เท่า(d) กำลังขยาย6000เท่า(e)

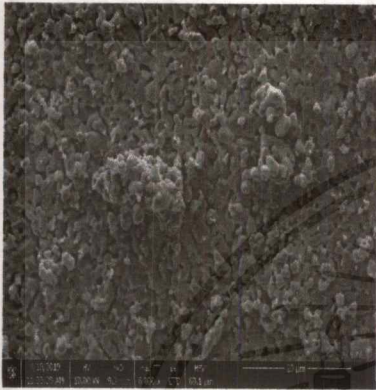
4.5.5 ผลการศึกษาโครงสร้างของCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO 5% จากการเผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ โดย SEM



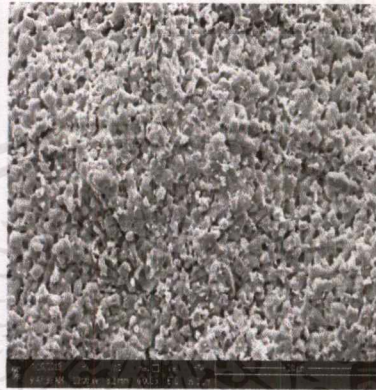
รูปที่ 4.5.5 ลักษณะโครงสร้างของCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO 5% เผาที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสที่กำลังขยาย 500เท่า (a) กำลังขยาย1000เท่า (b) กำลังขยาย2000เท่า(c) กำลังขยาย 4000เท่า(d) กำลังขยาย6000เท่า(e)

ผลการศึกษาโครงสร้างของCaMnO<sub>3</sub>โดยคอมโพสิตGO แต่ละเปอร์เซ็นต์จากการเผา

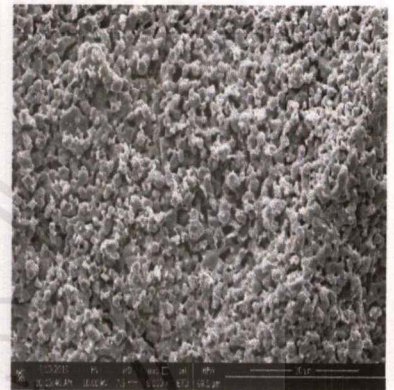
ที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ภายใต้ความดันบรรยากาศปกติ โดย SEM  
กำลังขยาย6000เท่า



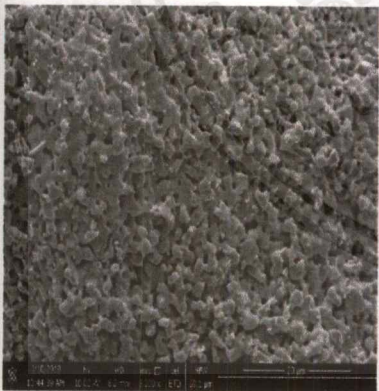
CaMnO<sub>3</sub>  
อนุภาค1.4-2.3



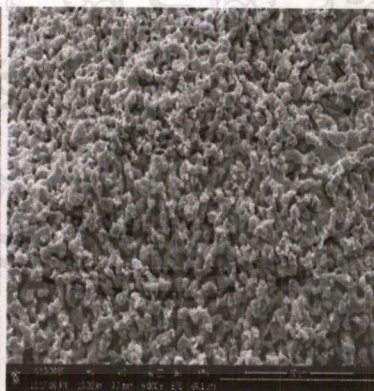
GO0.5%  
อนุภาค1.5-5.7  
ไมโครเมตร



GO1%  
อนุภาค1.2-4.6  
ไมโครเมตร



GO3%  
อนุภาค1.5-3.8  
ไมโครเมตร



GO5%  
อนุภาค0.8-3.8  
ไมโครเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและอภิปรายผลการทดลอง

#### 5.1 สรุปผลและอภิปรายผล

##### 5.1.1 ชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ทำขึ้นมาจะมีลักษณะเป็นรูปแท่งเพื่อนต้องการให้อุณหภูมิจากด้านร้อนไหลไปด้านเย็นได้ช้าที่สุด ดังนั้นความสูงจึงมีผลต่อค่าการนำไฟฟ้า ซึ่งความสูงที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 15-17 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความสูงที่เหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปโมดูล ดังนั้นสิ่งที่เป็นตัวแปรควบคุมคือปริมาณสารที่ตวงเพิ่มอัด ซึ่งจะกำหนดอยู่ที่ 4.3 กรัมต่อโมดูล

##### 5.1.2 XRD

จากผลการวิเคราะห์พบว่าคอมโพสิต GO แต่ละเปอร์เซ็นต์จะได้ดังนี้

$\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิต GO 0.5% มีเฟสเป็นไปตาม  $\text{CaMnO}_3$

$\text{CaMnO}_3$  โพสิต GO 1% มีเฟสเป็นไปตาม  $\text{CaMnO}_3$

$\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิต GO 3% มีเฟสเป็นไปตาม  $\text{CaMnO}_3$

$\text{CaMnO}_3$  คอมโพสิต GO 5% มีเฟสเป็นไปตาม  $\text{CaMnO}_3$

หมายความว่าเมื่อคอมโพสิต GO เข้าไปใน  $\text{CaMnO}_3$  ไม่ทำให้สารตัวใดตัวหนึ่งในสารประกอบเปลี่ยนแปลงไป

##### 5.1.3 รามาน

จากวัตถุประสงค์เราต้องการดูว่าเมื่อเราคอมโพสิต GO ไปแล้วหลังจากที่เราให้ความร้อนไปในอุณหภูมิที่สูงประมาณ 1200 องศาเซลเซียสแล้วนั้นกลายเป็น rGO หรือไม่ พบว่าไม่พบพีคของ rGO ที่เป็นไปตามรูปที่กำหนด ซึ่งคาดกว่าปริมาณของ rGO อาจจะน้อยเกินไปจนทำให้เครื่องไม่สามารถวัดเจอได้

### 5.1.5 SEM

SEMเป็นการวัดพื้นผิวว่าเมื่อเราทำการผสมสารตัวอย่างระหว่าง $\text{CaMnO}_3$ เข้ากับGOแล้วเกิดการเข้ากันดีไหม สรุปลักษณะทั้ง2ตัวผสมกันได้ดี ซึ่งตัวที่ผสมกันแล้วอนุภาคใกล้เคียงกันที่สุดคือ $\text{CaMnO}_3$  อนุภาคอยู่ที่ประมาณ1.4-2.3 ไมโครเมตร ไม่ห่างกันมาก ซึ่งส่งผลดี

### 5.1.6 ค่าไฟฟ้าเบื้องต้น

ผลของการวัดไฟพบว่าเมื่อมีการคอมโพสิตGOเกิดขึ้นค่าไฟฟ้าดีขึ้นตามเปอร์เซ็นต์คอมโพสิต และเปอร์เซ็นต์ที่ดีที่สุดคือ1% 3%จะมีค่าไฟน้อยลงมา 5%ก็จะน้อยลงมามาก และพบว่ากราฟที่ได้ไม่ค่อยเสถียรมากนัก



## เอกสารอ้างอิง

- [1] siamchemi. 2562. แคลเซียมแมงกานีสออกไซด์ [Online]. Available : <https://www.siamchemi.com/แคลเซียมคาร์บอเนต/>.
- [2] ยุทธนา กอสัมพันธ์,อมรเทพ แก้วไทย,จิโรจ ซาครวงศ์ไพสิฐและอุกฤษ ชูดวง. 2554 . “การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรม-ศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยสยาม.
- [3] Wikipedia. 2562. Thomas Johann Seebeck. [Online]. Available : [https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas\\_Johann\\_Seebeck](https://en.wikipedia.org/wiki/Thomas_Johann_Seebeck).
- [4] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และนวกัฑรา หนูนาถ. 2555. ปรากฏการณ์ซีเบค. [Online]. Available. : <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/6808/seebeck-effect-ปรากฏการณ์ซีเบค>.
- [5] เชรชฐา รัตนพันธ์. 2562. เทอร์โมอิเล็กทริกส์. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด มีนเซอร์วิส ซัพพลาย.
- [6] บริษัท เคลฟเวอร์ริช จำกัด. 2562. หลักการของ Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence (ED-XRF). [Online]. Available : [http://cleverich.com/xrf\\_work.html](http://cleverich.com/xrf_work.html).
- [7] ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. 2562. X-ray Diffraction XRD. [Online]. Available : <https://stic.mfu.ac.th/stic-analysis-tools/stic-tool-detail/17.html>.
- [8] ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2562. Scanning Electron Microscopy (SEM). [Online]. Available : [http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id\\_sub=42&id=39](http://mic.eng.ku.ac.th/facilities-detail.php?id_sub=42&id=39).
- [9] ห้องปฏิบัติการสเปคโตรสโคปี. 2562. เทคนิคทางรามาน. [Online]. Available : [https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/279\\_60.pdf](https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/279_60.pdf) .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

[10] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2562. FTIR Imaging. [Online]. Available : [https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/212\\_67-70.pdf](https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/212_67-70.pdf) .

[11] การวัดและเครื่องมือวัด ประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร (นวกัฑรา และ ทวีพล, 2555). ปราบกฎการณชีเบค (Seebeck effect). [Online]. Available : [http://wwwx.dtu.dk/Sites/OTE\\_POWER/English/Introduction.aspx](http://wwwx.dtu.dk/Sites/OTE_POWER/English/Introduction.aspx).



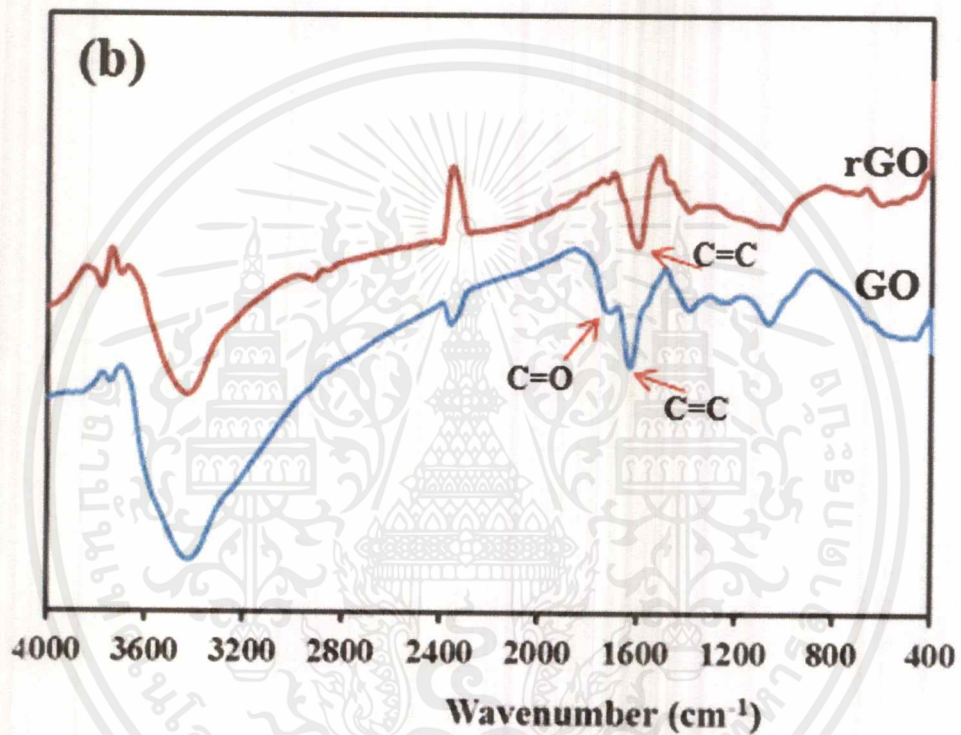
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

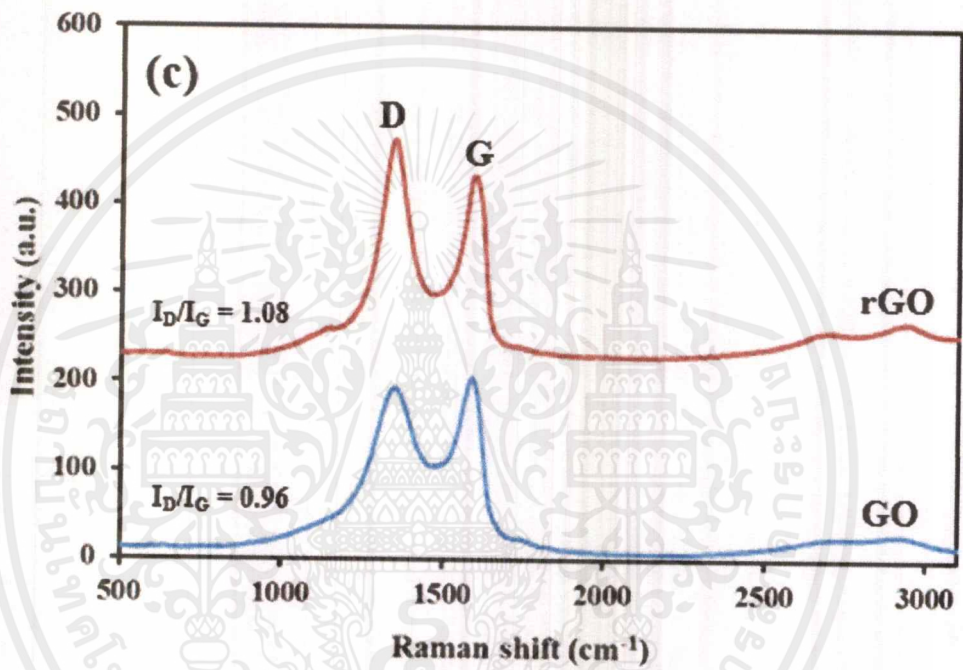


ภาพแสดงพีคFTIRของrGO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

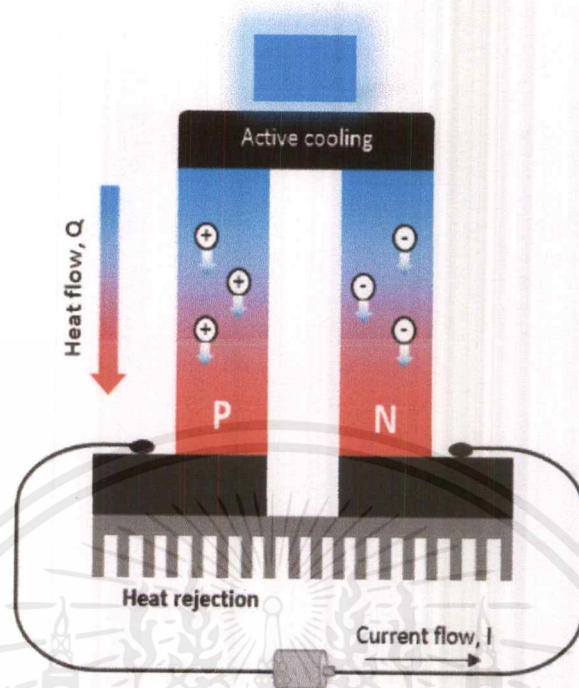


ภาพแสดงพีครามานของrGO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect)

ในปีค.ศ.1834 ฌอง ชาร์ลส อะธานเนส เพลเทียร์ (Jean Charles Athanase Peltier) นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ได้กล่าวว่า “เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลจะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยต่อของตัวนำ ความร้อนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้า”

ได้ทำการทดลองโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในโลหะทองแดงและบิสมัทที่เชื่อมต่อกัน ผลที่เกิดขึ้น คือ รอยต่อระหว่างทองแดงและบิสมัทข้างหนึ่งจะร้อนขึ้น ส่วนอีกข้างหนึ่งจะเย็นลง อันเป็นผลจากคุณสมบัติของโลหะแต่ละชนิดกลุ่มอิเล็กตรอน เคลื่อนผ่านโลหะด้านหนึ่งจะปลดปล่อยความร้อน (Heat evolved) แต่อีกด้านหนึ่งจะดูดกลืนความร้อน (Heat absorbed) ทำให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิ โดยเกิดขึ้นสอดคล้องกับทิศทางไหลของกระแสไฟฟ้า เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้ว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) เมื่อมีกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในวงจร จะทำให้จุดต่อ  $T_1$  มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดต่อ  $T_3$  ดังรูป (ก) และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายภายนอกไหลผ่านเข้าไปในวงจร จะทำให้จุดต่อ  $T_3$  มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดต่อ  $T_1$  ดังรูป (ข) จากปรากฏการณ์นี้จึงถูกนำมาใช้เป็นตัวทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric cooler : TEC) และตัวทำความร้อนเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric heater : TEH)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## X-Ray Diffractometer (XRD)

เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์.



ประเภทเครื่องมือ : เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบ

ยี่ห้อ/รุ่น : Rigaku รุ่น SmartLab

ข้อมูลทางเทคนิค :

เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน หรือ เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์(XRD)เป็นเทคนิคที่นำรังสีเอ็กซ์(X-ray)มาใช้วิเคราะห์และระบุชนิดสารประกอบ โครงสร้างผลึกของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ทั้งในเชิงคุณภาพ (Qualitative)และเชิงปริมาณ (Quantitative)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์อาศัยหลักการของการยิงรังสีเอ็กซ์ไปกระทบที่ชิ้นงาน ทำให้เกิดการเลี้ยวเบน และสะท้อนออกมาที่มุมต่างๆกันโดยมีหัววัดสัญญาณ (Detector) เป็นตัวรับข้อมูล องค์ประกอบและโครงสร้างของสารจะมีองค์ประกอบในการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ ในมุมที่แตกต่างกันออกไปขึ้นกับองค์ประกอบ รูปร่าง และลักษณะผลึกซึ่งผลที่ได้จึงสามารถบ่งชี้ชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างและสามารถนำมาใช้ใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างของผลึกของสารตัวอย่างนั้นๆได้นอกจากนั้นแล้วยังสามารถศึกษาและวิเคราะห์ ปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึก ความสมบูรณ์ของผลึก และความเค้นของสารประกอบในสารตัวอย่าง และเมื่อวิเคราะห์กับอุปกรณ์เสริม เช่น อุปกรณ์ให้ความเย็น-ร้อน ก็จะสามารถศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกในขณะสภาวะทดสอบเปลี่ยนไป

### คุณลักษณะของเครื่อง

Max Power : 9 kW,

X-Ray generator : Cu anode,  $K\alpha 1-1,544 \text{ \AA}$

Detector : 0D, 1D, 2D

### การประยุกต์ใช้งาน

1. Small angle x-ray scattering (SAXS) สำหรับการวิเคราะห์ Particle/Pore size distribution ของวัสดุระดับนาโนเมตร
2. วิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative analysis) และเชิงปริมาณ (Quantitative analysis)
3. วิเคราะห์ตัวอย่างแบบฟิล์มบาง (X-ray reflectivity) ที่ใช้ในการวิเคราะห์หาค่า thickness, density, surface roughness และ interface roughness ด้วยโปรแกรมคำนวณ
4. วิเคราะห์แบบ Rietveld refinement
5. เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวอย่างเชิงคุณภาพกับฐานข้อมูลอ้างอิง
7. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสาร ตั้งแต่อุณหภูมิห้อง จนถึง 1500 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## FT-Raman Spectrometer

### เครื่องฟลูอริเยร์ทรานส์ฟอร์ม รามาน สเปกโตรมิเตอร์



ประเภทเครื่องมือ : เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบ

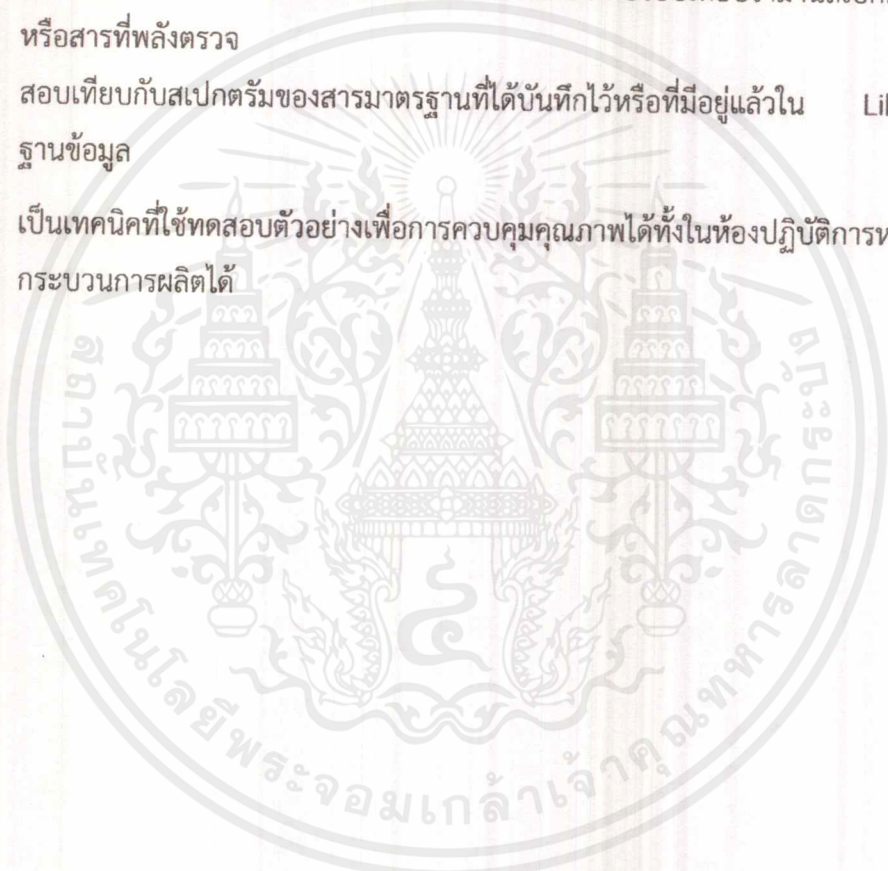
ยี่ห้อ/รุ่น : Bruker รุ่น MultiRAM

ข้อมูลทางเทคนิค :

1. สำหรับ ศึกษาโครงสร้างโมเลกุลของสาร วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน การกระจายตัวของฟังก์ชันในตัวอย่าง ด้วยการวัดค่าพลังงานที่กระเจิงออกอันเกิดจากการสั่นของโมเลกุล ด้วยการวัดค่าพลังงานที่กระเจิงออกอันเกิดจากการสั่นของโมเลกุล
2. ความยาวคลื่นเลเซอร์ 1064 nm
3. สามารถตรวจสอบตัวอย่างได้ทั้งชนิด ของแข็ง ของเหลว และผง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เป็นเทคนิคที่ไม่ต้องเตรียมตัวอย่างและไม่ทำลายตัวอย่าง (nondestructive) คือไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติ
5. ทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างหลังการวัด
6. สามารถตรวจวัดในโหมดติดตามการเปลี่ยนแปลงตามเวลาทดสอบได้แบบต่อเนื่อง (Real time On-line) จึงประยุกต์  
ใช้เพื่อการศึกษาลักษณะการเกิดปฏิกิริยาทางเคมีของปฏิกิริยาต่างๆ ได้
7. สามารถตรวจวิเคราะห์หาองค์ประกอบของสารโดยวัดเปรียบเทียบกับสเปกตรัมของวัสดุหรือสารที่คลังตรวจ  
สอบเทียบกับสเปกตรัมของสารมาตรฐานที่ได้บันทึกไว้หรือที่มีอยู่แล้วใน Library ของ  
ฐานข้อมูล
8. เป็นเทคนิคที่ใช้ทดสอบตัวอย่างเพื่อการควบคุมคุณภาพได้ทั้งในห้องปฏิบัติการหรือใน  
กระบวนการผลิตได้



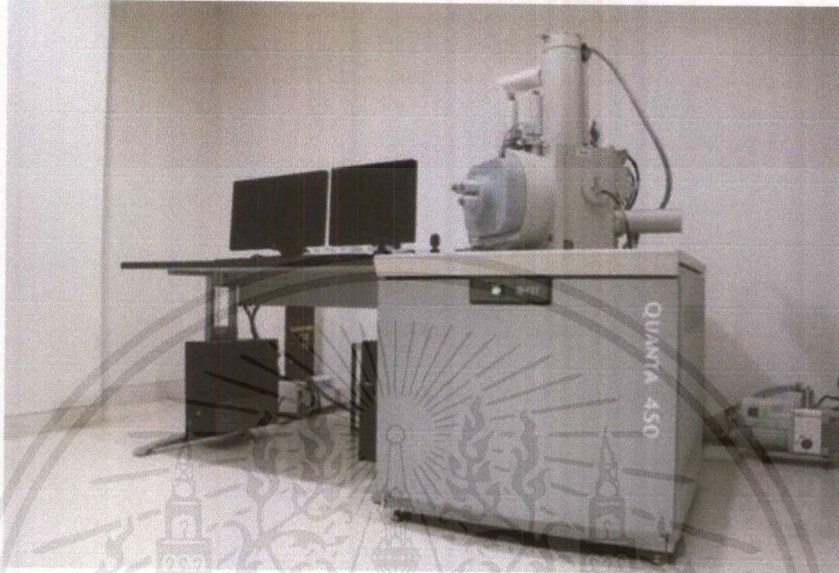
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Scanning Electron Microscope(SEM)

### กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



ประเภทเครื่องมือ : เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบ

ยี่ห้อ/รุ่น : FEI รุ่น QUANTA 450

ข้อมูลทางเทคนิค :

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยาย 6 -1,000,000 เท่า ทำให้สามารถศึกษาโครงสร้างขนาดเล็กระดับนาโนเมตรถึงไมโครเมตร สามารถถ่ายภาพตัวอย่างได้หลากหลายโดยไม่มีความจำเป็นต้องเคลือบผิวด้วยสารตัวนำไฟฟ้าก่อนการถ่ายภาพ โดยเลือกระบบสุญญากาศในห้องใส่ตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างแต่ละประเภท ได้แก่

1. ระบบสุญญากาศระดับสูง(High Vacuum) สำหรับตัวอย่างประเภทเป็นของแข็ง แห้ง และนำไฟฟ้า เช่น โลหะ เป็นต้น
2. ระบบสุญญากาศระดับต่ำ(Low Vacuum) สำหรับตัวอย่างประเภทเป็นของแข็ง แห้ง และไม่นำไฟฟ้าเช่น พอลิเมอร์ ยาง เป็นต้น
3. ระบบสุญญากาศระดับสภาวะแวดล้อม(Environmental SEM) ที่สามารถทำงานที่ความดัน 10 ถึง 2600 Pa เหมาะกับตัวอย่างที่มีความชื้น มีน้ำเป็นองค์ประกอบ สามารถปรับระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นในห้องใส่ตัวอย่างได้ตามความต้องการและสามารถวัดตัวอย่างที่มีอุณหภูมิต่ำได้ เช่น ไอศกรีม ตัวอย่างแช่แข็ง ตัวอย่างทางชีวภาพ ทางการแพทย์ เป็นต้น

### โหมตการวัดเพิ่มเติม

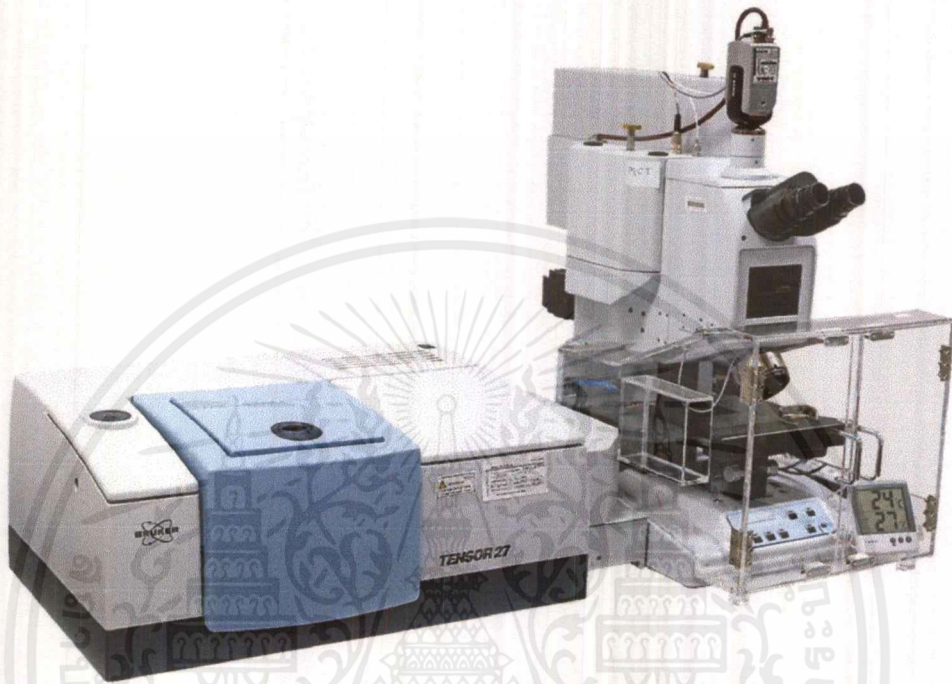
1. การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-Ray Spectrometer: EDS) เป็นการวิเคราะห์ธาตุในตัวอย่าง ตั้งแต่ธาตุ B โบรอน ถึง U ยูเรเนียม วิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ และสามารถวิเคราะห์การกระจายตัวของธาตุบนพื้นผิวตัวอย่างที่ศึกษาได้
2. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่าง ขณะปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ :มีแท่นวางตัวอย่างชนิดควบคุมอุณหภูมิสูง ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 1,400 องศาเซลเซียส และแท่นวางตัวอย่างชนิดควบคุมอุณหภูมิต่ำ ควบคุมได้ในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส จึงสามารถถ่าย VDO เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างขณะปรับอุณหภูมิที่ต้องการได้
3. การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่าง ขณะปรับแรงดึง : มีชุดแท่นวิเคราะห์ทางกลของตัวอย่างด้วยเทคนิคแรงดึงขนาด 450 นิวตัน รองรับตัวอย่างได้สูงสุดที่ 1x12x65 mm มีระยะ Max Strain Travel 31 mm จึงสามารถถ่าย VDO เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงตัวอย่างขณะใส่แรงดึงได้
4. การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านและส่องกราด (Scanning transmission electron microscopy (STEM))เป็นการวัดตัวอย่างที่เตรียมให้บาง เพื่อให้เห็นโครงสร้างที่ส่องผ่าน เพื่อให้วัดผลได้คล้ายกับ TEM สามารถประยุกต์ใช้งานได้อย่างหลากหลาย เช่นการศึกษาเฟสที่ผสมรูปการกระจายตัวของโลหะในพอลิเมอร์ตัวอย่างทางชีวภาพ เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## FTIR Micro-Spectrometer

### เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรไมโครสโคป



**ประเภทเครื่องมือ :** เครื่องมือวิเคราะห์ทดสอบ

**ยี่ห้อ/รุ่น :** Bruker, Spectrometer รุ่น Tensor27, Microscope รุ่น Hyperion 3000

**ข้อมูลทางเทคนิค :**

เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโคปี (Fourier transform Infrared (FTIR) Spectroscopy) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ จำแนกประเภทของสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์และพันธะเคมีหรือหมู่ฟังก์ชันในโมเลกุล ซึ่งสามารถ วิเคราะห์ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ทำให้เกิดช่วงกลาง (Middle infrared region) ช่วงความยาวคลื่น (l) 2.5 - 50 mm, ช่วงเลขคลื่น 4000 - 400  $\text{cm}^{-1}$  เป็นเทคนิคที่ไม่ทำลายตัวอย่าง (nondestructive) คือไม่มีการเปลี่ยนแปลง คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของตัวอย่างหลังการวัด นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่สะดวก ไม่ยุ่งยาก ใช้เวลาในการวัดสั้น และมีความปลอดภัยสูงสามารถวัดตัวอย่างได้ทั้งในรูปของแข็งและของเหลว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล้องจุลทรรศน์อินฟราเรด FTIR-Microspectroscope สามารถวัดได้ทั้งแบบการส่องผ่าน (Transmission) และการสะท้อน (Reflection) มีตัวตรวจวัดรังสีอินฟราเรด 2 ชนิด คือ

- 1) MCT detector วัดตัวอย่างได้ครั้งละ 1 สเปกตรัม และ
- 2) Focal Plane Array (FPA) detectors สามารถวัดสเปกตรัมสูงสุดได้ครั้งละ 4,069 สเปกตรัม จึงทำให้การสร้างแผนภาพการกระจายตัวของหมู่ฟังก์ชันได้รวดเร็วกว่า MCT detector.

#### อุปกรณ์เสริมได้แก่

1. อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบสัมผัสตัวอย่าง (Single Reflection ATR) สามารถปรับเปลี่ยนและควบคุมอุณหภูมิได้ถึง 80 องศาเซลเซียส.
2. เลนส์ FTIR-ATR Microscope (20x ATR objective) สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่าง ทึบแสงขนาดเล็ก สามารถใช้ ATR objective กดไปที่ตัวอย่างได้โดยตรง
3. อุปกรณ์ Micro Compression Cell ชนิด Diamond window
4. อุปกรณ์ Grazing incidence reflection ที่มีมุมตกกระทบของแสง 80 องศา
5. polarizer แบบหมุนอัตโนมัติ