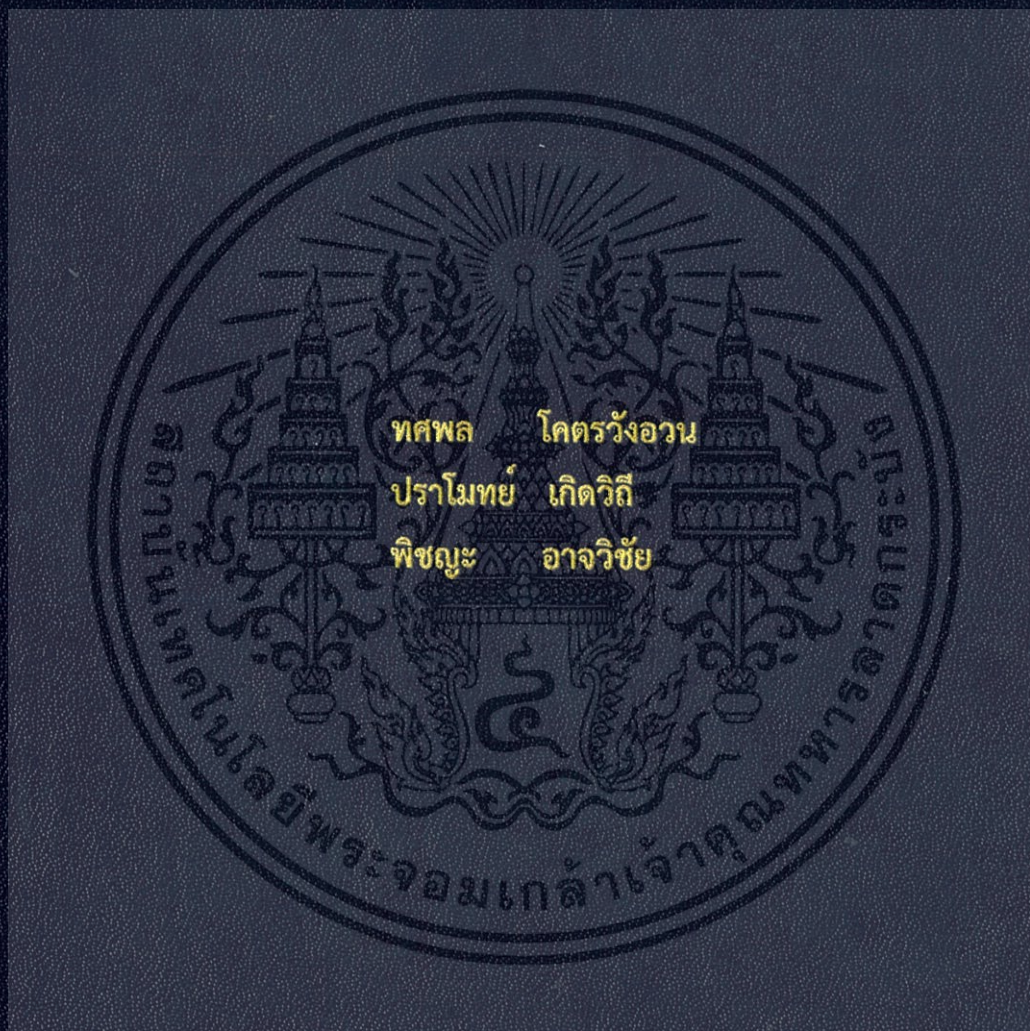


การสังเคราะห์และสร้างเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจากสารประกอบ
คอปเปอร์โคเมียมไดออกไซด์เจือไอรอน0.5 ($\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$)
FABRICATION OF $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ THERMOELECTRIC MODULE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การสังเคราะห์และสร้างเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจากสารประกอบ
คอปเปอร์โครเมียมไดออกไซด์เจือไอออน0.5 ($\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$)
FABRICATION OF $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ THERMOELECTRIC MODULE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FABRICATION OF $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ THERMOELECTRIC MODULE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN APPLIED PHYSICS DEPARTMENT OF PHYSICS

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสังเคราะห์และสร้างเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจากสารประกอบคอปเปอร์โคเมียมไดออกไซด์เจือไอรอน 0.5 ($\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$)
ชื่อนักศึกษา	นายทศพล โคตรวังอวน รหัสนักศึกษา 54050527
	นายปราโมทย์ เกิดวิถี รหัสนักศึกษา 54050550
	นายพิชญะ อัจฉวิชัย รหัสนักศึกษา 54050561
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์
ภาควิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2557
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.เชษฐา รัตนพันธ์

บทคัดย่อ

เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลที่ได้จากสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ มีความเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกสูง จึงได้นำสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ มาใช้ในการทดลอง โดยได้ทำการนำสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ผ่านกระบวนการขึ้นรูป ด้วยการนำมาบดเป็นเม็ดละเอียดเผาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วมาบดอีกครั้งพร้อมนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยวิธีการ XRD (X-ray Diffractometer) และเข้าสู่ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปเป็นเม็ดสาร โดยใช้แรงดัน 250 kg.cm^2 นำไปเผาอีกครั้งที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เพื่อให้เม็ดสารขึ้นรูปและจับตัวเป็นแท่งสารที่แข็งแรง (Solid State Reaction) ส่วนประกอบสำคัญของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลประกอบด้วยแผ่นซิลิกอนคาไบต์ (SiC), สารผสมสำเร็จ Fiber Adhesive, แผ่นสแตนเลส และเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ซึ่งลักษณะในการประกอบจะนำเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ มาเชื่อมต่อกันแบบอนุกรมด้วยแผ่นสแตนเลสเป็นตัวเชื่อมทางไฟฟ้า และนำแผ่นซิลิกอนคาไบต์ (SiC) มาประกอบเข้ากับแผ่นสแตนเลสทั้งด้านบนและด้านล่างด้วยสารผสมสำเร็จ Fiber Adhesive เป็นตัวยึดติด เมื่อประกอบเป็นโมดูลแล้วนำไปวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก จะพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, และกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก 1, 9, และ 20 ตัว ตามลำดับ จะแปรผันตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิ และค่าของเทอร์โมอิเล็กทริก 9 ตัว จะมีค่ากำลังทางไฟฟ้าน้อยกว่าเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 ตัว เนื่องจากเกิดช่องว่างระหว่างรอยต่อของเม็ดสารกับสแตนเลส จึงทำให้ค่าความต้านทานมีค่าสูงมากกว่าปกติ ประจุไฟฟ้าจึงถ่ายเทได้น้อย

คำสำคัญ : คอปเปอร์โคเมียมไดออกไซด์เจือไอรอน 0.5, ซิลิกอนคาไบต์

Title	FABRICATION OF $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ THERMOELECTRIC MODULE
Students	Mr. THODSAPOL KOTWANGOUN Student ID. 54050527 Mr. PRAMOTH KERDVITHI Student ID. 54050550 Mr. PHITCHAYA ARTWICHAI Student ID. 54050561
Degree	Bachelor of Science in Applied Physics
Major Program	Physics
Academic Year	2014
Advisor	Dr. CHESTA RATTANAPAN

ABSTRACT

Because thermoelectric module synthesized from $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ compounds have high thermoelectric properties. Therefore we have used this compounds. By bring it into forming process. Then, the sample was crushed and combusted at temperature 1050°C for 5 hours. The sample was crushed again, it was analyzed crystal structure by XRD method. After that forming compound into pellet with pressure 250 kg.cm^2 , combusted again at temperature 1050°C for 5 hours to forming and strength of material. The important compound of thermoelectric module were SiC sheet, Fiber Adhesive, stainless sheet and $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ thermoelectric which connected in series. Stainless sheet was electrical connector and SiC sheet attributed to top and bottom by silicone. Fiber Adhesive was mount. From measuring thermoelectric properties of thermoelectric module found that voltage, electric current, and electric power were 1, 9 and 20 respectively which is proportional to different of temperature. The value of 9 thermoelectric modules have electrical power less than 1 thermoelectric module due to gap between boundaries pellet and stainless makes high resistance more than normally and electric change was less transfer.

Keywords : Copper Chromium Dioxide dope iron 0.5, Silicon carbide

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่นนี้จะไม่สามารเกิดขึ้นได้และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากไม่ได้รับความช่วยเหลือที่ดีจากหลายบุคคลและหลายๆฝ่าย ทางคณะผู้จัดทำงานวิจัยนี้จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่ได้คอยให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขด้านปัญหาต่างๆและให้คำปรึกษาในทุกขั้นตอนการทำงานจนทำให้โครงการพิเศษสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษใคร่ขอกราบขอบพระคุณ ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ซึ่งผู้ที่มีบทบาทสำคัญที่ได้ช่วยแนะนำ สั่งสอน และให้ความรู้ที่เป็นประโยชน์ช่วยหาทางออกในแก้ไขปัญหาคอขวดต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างสม่าเสมอจนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำงานวิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำโครงการพิเศษนี้ขอขอบพระคุณ ดร.ประธาน บุรณศิริ, ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข และ อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ ที่ได้ให้ความกรุณาเสียสละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบโครงการพิเศษนี้ อีกทั้งยังได้ให้ความรู้คำแนะนำและข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อคณะผู้จัดทำในการนำไปปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

ขอขอบพระคุณสมาชิกในหน่วยวิจัยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ผู้ซึ่งมีส่วนช่วยเหลือ ทั้งคอยให้คำแนะนำในเรื่องการทำงาน ให้คำปรึกษาในงานวิจัย และคอยช่วยเหลือในเรื่องต่างๆในงานวิจัย

ตลอดระยะเวลาในการจัดทำงานวิจัยเล่นนี้ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมทั้งครอบครัวผู้ซึ่งได้คอยห่วงใย พร้อมผลักดัน และสนับสนุนด้วยรักและเมตตา และขอขอบพระคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่ให้กำลังใจตลอดมา ทำให้งานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณอย่างสูง

นายทศพล โคตรวังอวน
นายปราโมทย์ เกิดวิถึ
นายพิชญะ อัจฉวิชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ปรัชญาการเทอร์โมอิเล็กทริก	3
2.1.1 ปรัชญาการซีเบค (Seebeck Effect)	3
2.1.2 ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก	5
2.2 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	6
2.3 แหล่งความร้อนเหลือทิ้ง	8
2.4 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray Diffraction)	11
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย	14
3.1.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	14
3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	15
3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	20
3.2.1 กระบวนการสังเคราะห์สารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$	20
3.2.2 กระบวนการขึ้นรูปสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$	23
3.2.3 กระบวนการสร้างเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจาก $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	
4.1 ผลจากการวิเคราะห์สารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ปริสุทธิ์ด้วย เครื่อง X-ray diffractometer (XRD)	30
4.2 ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck)	31
4.3 ผลการวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	44



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดสูง	10
2.2 แสดงระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดปานกลาง	10
2.3 แสดงระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดต่ำ	10
3.1 วัตถุประสงค์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	14
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	15
4.1 แสดงค่าต่างๆที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น	31
4.2 แสดงค่าการวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 ตัว	34
4.3 แสดงค่าการวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 9 ตัว	36
4.4 แสดงค่าการวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 20 ตัว	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบค	3
2.2 แสดงการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำที่มีอุณหภูมิสองด้านไม่เท่ากัน	4
2.3 แสดงการเชื่อมต่อของวัสดุกึ่งตัวนำชนิดเอ็น(N-Type)ต่อขนานกัน	7
2.4 แสดงการเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นต่ออนุกรมกัน	7
2.5 ลักษณะการเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นและชนิดพีของชุดเทอร์โมอิเล็กทริก	8
2.6 ความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้พลังงานแหล่งต่าง ๆ	9
2.7 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในผลึก	12
2.8 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง X-ray Diffractometer	13
3.1 ชั่งสารเคมีตั้งต้นที่ได้จากการคำนวณ	20
3.2 นำสารตั้งต้นทั้งหมดใส่ลงในขวดพลาสติก	21
3.3 ทำการบดละเอียดสารด้วยวิธีการบอลมิลล์	21
3.4 นำสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ เเทลงบีกเกอร์แยกกับเม็ดเซอร์โคเนีย	21
3.5 นำบีกเกอร์เข้าเตาอบเพื่อให้แอลกอฮอล์ระเหย	22
3.6 นำสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ มาบดเป็นเม็ดละเอียด	22
3.7 นำสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ไปเผาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา	22
3.8 นำสารใส่ลงในบล็อกอัดสารทรงกระบอก	23
3.9 นำบล็อกไปอัดด้วยเครื่องอัดสาร (Hydraulic)	24
3.10 เม็ดสารที่อัดขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกขนาด $3.14 \times (5.5)^2 \times 11$ มิลลิเมตร	24
3.11 นำแท่งเม็ดสารเผาในเตาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส	24
3.12 นำสารใส่ลงในบล็อกอัดสารทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า	25
3.13 นำบล็อกไปอัดด้วยเครื่องอัดสาร (Hydraulic)	25
3.14 เม็ดสารที่อัดขึ้นรูปเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $4 \times 4 \times 10$ มิลลิเมตร	26
3.15 นำแท่งเม็ดสารทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเผาในเตาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส	26
3.16 นำส่งตรวจวัดประสิทธิภาพซีเบคด้วยเครื่อง TRC-ZTM2	26
3.17 ตัดสแตนเลสและตัดเป็นแบบที่ต้องการ	27
3.18 ประกอบแผ่นสแตนเลสเข้ากับแท่งสารในแบบที่วางไว้	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.19	เชื่อมแผ่นสแตนเลสกับแท่งสารด้วยเครื่องเชื่อมสแตนเลส	28
3.20	เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลขนาด 1, 9 และ 20 ตัว	28
3.21	ประกบแผ่นซิลิกอนคาไบด์ (SiC) ตามขนาดของโมดูล	29
3.22	วัดประสิทธิภาพทางเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยชุดอุปกรณ์วัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก	29
4.1	โครงสร้างผลึก XRD ของสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$	30
4.2	กราฟของสัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K) ที่แปรผันตามอุณหภูมิ	32
4.3	กราฟสภาพต้านทานไฟฟ้า ($\Omega\cdot\text{m}$) ที่แปรผันตามอุณหภูมิ	32
4.4	กราฟสภาพนำไฟฟ้า ($\Omega\cdot\text{m}$) ⁻¹ ที่แปรผันตามอุณหภูมิ	33
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) กับแรงดัน (V) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 ตัว	34
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) กับ กระแส (mA) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 ตัว	35
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) กับ กำลัง (μW) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 ตัว	36
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) กับ แรงดัน (V) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 9 ตัว	37
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) กับ กระแส (μA) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 9 ตัว	38
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) กับ กำลัง (μW) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 20 ตัว	38
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) กับ แรงดัน (V) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 20 ตัว	40
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) กับ ความต้านทาน (μA) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 20 ตัว	40
4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) กับ กำลัง (μW) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 20 ตัว	41

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

เนื่องจากปัจจุบันได้มีการนำทรัพยากรจากธรรมชาติโดยเฉพาะเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมมาใช้อย่างมากมาย ซึ่งทรัพยากรเหล่านี้ในวันข้างหน้าจะหายากและมีราคาสูงขึ้นทุกขณะ มีงานวิจัยพบว่าถ้าเรายังใช้พลังงานจากปิโตรเลียมแบบในปัจจุบันพลังงานนี้จะเหลือให้เราใช้อีกประมาณไม่เกิน 100 ปี ซึ่งสามารถที่จะหมดไปได้เราจึงคิดแหล่งพลังงานทดแทนใหม่ๆ เพื่อที่จะนำมาใช้ทดแทนแหล่งเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม ซึ่งในปัจจุบันมีแหล่งพลังงานงานทดแทนมากมาย อาทิเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานชีวภาพ และจากพลังงานความร้อน ซึ่งพลังงานความร้อนในปัจจุบันมีความน่าสนใจเนื่องจากมันเป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ทั่วไป เช่น รถยนต์จะมีการปล่อยความร้อนเหลือทิ้งประมาณ 70% (โดย 30% นำมาใช้เป็นพลังงานขับเคลื่อนเครื่องยนต์) จึงมีความน่าสนใจเป็นอย่างมากที่จะนำพลังงานความร้อนเหลือทิ้งนี้มาทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่าเทอร์โมอิเล็กทริก และแหล่งพลังงานความร้อนอีกแหล่งก็คือ แหล่งพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ซึ่งจากงานวิจัยอื่นๆพบว่าพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่มีประมาณถึง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร แหล่งพลังงานเหล่านี้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงสนใจที่จะสร้างเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลโดยใช้สารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อที่สามารถผันเอาความร้อนมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยแหล่งความร้อนสามารถเอามาได้จากแสงอาทิตย์หรือจากท่อไอเสียรถยนต์ โดยเหตุผลที่เลือกสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ นั้นเพราะมีความยืดหยุ่นในการเลือกใช้งานและสารประกอบของเราสามารถทนต่ออุณหภูมิสูง ทำให้เราสามารถที่จะนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจากสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ไปใช้กับแหล่งความร้อนจากดวงอาทิตย์หรือจากท่อไอเสียก็ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์สารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ได้
2. เพื่อสร้างเป็นต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการสังเคราะห์สารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$
2. สร้างเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจากสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$
3. ตรวจสอบความแข็งแรงของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลและสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษาการใช้สมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$
2. ได้วิธีในการสร้างต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

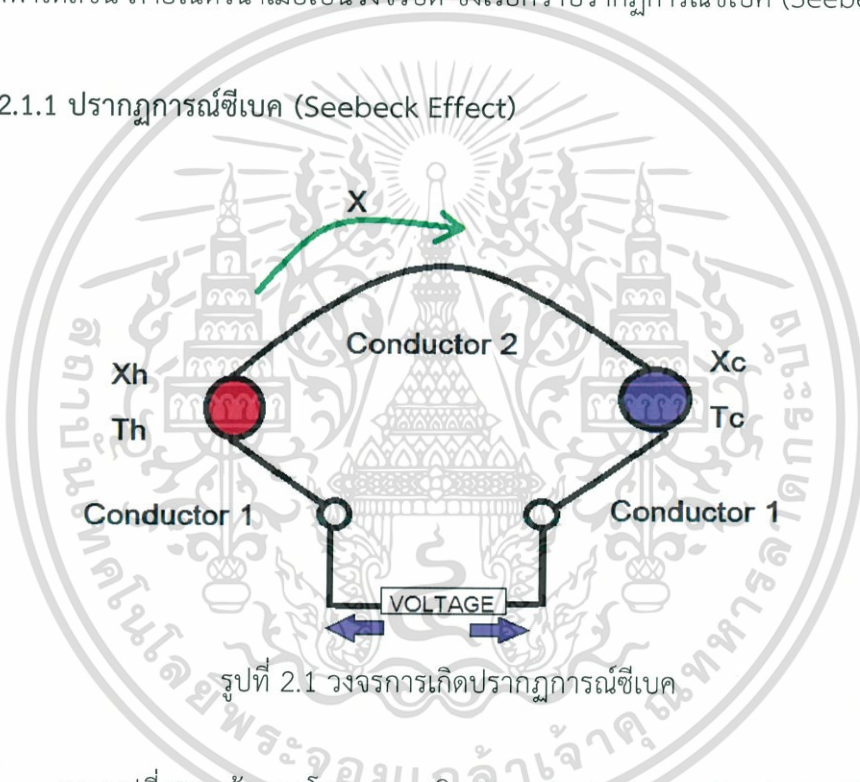
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect) [2]

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric effect) เป็นปรากฏการณ์การเปลี่ยนรูประหว่างพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเริ่มต้นขึ้นในปีค.ศ.1821 โดย Thomas Johann Seebeck นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันค้นพบว่า เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณรอยต่อของตัวนำ (Conductor) สองชนิด จะเกิดแรงดันและเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้น ภายในตัวนำเมื่อเป็นวงจรปิด ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect)

2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect)



รูปที่ 2.1 วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบค

จากรูปที่ 2.1 เส้นสวดโลหะสองชนิด (Conductor1 และ Conductor2) ถูกเชื่อมต่อโดยจุดเชื่อมต่อ X_h ซึ่งมีอุณหภูมิสูง (T_h) และจุด X_c ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ (T_c) พาหะไฟฟ้า (Carrier) ในตัวนำจะมีทิศทางการแพร่ (diffusion) ไปในทิศทางเดียวกันกับการถ่ายเทอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ตามทิศทาง x ที่บริเวณฝั่งด้านร้อนพาหะจะมีพลังงานสูงจึงพยายามแพร่ไปหาด้านที่เย็นกว่าเพื่อลดพลังงานลงทำให้พาหะไฟฟ้าอยู่ในภาวะสมดุล เนื่องจากลวดตัวนำทั้งสองเป็นโลหะต่างชนิดกัน จึงมีค่าสัมประสิทธิ์การเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ (S) ไม่เท่ากันและทำให้เกิดแรงดันคร่อมจุดเชื่อมต่อทั้งสอง สมการ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ต่างกันของจุดต่อทั้งสองกับแรงดันที่เกิดขึ้น

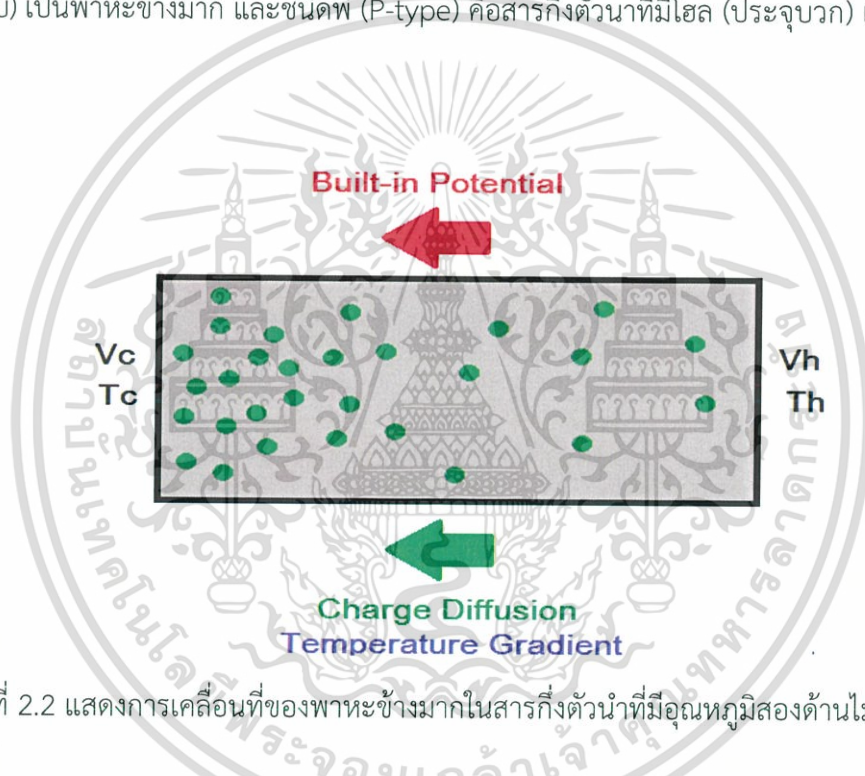
$$V = (S_2 - S_1)\Delta T \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $V =$ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างจุดต่อทั้งสองมี หน่วย V
 $S =$ สัมประสิทธิ์ซีเบคหรือค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของโลหะชนิดต่างๆ
 หน่วย V/K
 $\Delta T =$ คือผลต่างของอุณหภูมิที่จุดต่อทั้งสอง หน่วย K

ค่า S จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ อุณหภูมิ โครงสร้างอะตอมและชนิดของตัวนำ ซึ่งหากใช้ตัวนำต่างชนิดจะได้ค่า S ไม่เท่ากันทำให้ V ที่ได้จะมีค่าไม่เป็นศูนย์

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในยุคปัจจุบันจะใช้สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) มาผ่านกระบวนการโดป (Doping) เพื่อให้ได้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) คือสารกึ่งตัวนำที่มีอิเล็กตรอน (ประจุลบ) เป็นพาหะข้างมาก และชนิดพี (P-type) คือสารกึ่งตัวนำที่มีโฮล (ประจุบวก) เป็นพาหะข้างมาก



รูปที่ 2.2 แสดงการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำที่มีอุณหภูมิสองด้านไม่เท่ากัน

พาหะข้างมากของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดจะมีทิศทางการแพร่ (diffusion) เป็นไปตาม รูปที่ 2.2 คือพาหะมีการไหลตามทิศทางการถ่ายเทอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ การแพร่ของพาหะข้างมาก ก็จะเกิดการไหลของกระแสกรณีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอนกระแสก็จะไหลในทิศสวนทางกับการแพร่ ในรูปที่ 2.2 ไหลจากซ้ายไปขวา และถ้าหากพาหะข้างมากเป็นโฮลกระแสที่เกิดขึ้น จะไหลทิศทางเดียวกันกับการแพร่ ในรูปที่ 2.2 จะไหลจากขวาไปซ้าย และแรงดัน (Built-in potential) ที่เกิดขึ้นระหว่างด้านทั้งสองที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันสามารถอธิบายเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$S = -\Delta V / \Delta T = -(V_h - V_c) / (T_h - T_c) \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ V_h = แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากด้านร้อน หน่วย V
 V_c = แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากด้านร้อน หน่วย V
 T_h = อุณหภูมิด้านร้อน หน่วย K
 T_c = อุณหภูมิด้านเย็น หน่วย K
 S = Seebeck Coefficient หน่วย V/K

2.1.2 ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

จากผลการวิจัยและพัฒนาด้านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารกึ่งตัวนำ มีการพบว่า ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1. สามารถให้สภาพนำไฟฟ้าสูงแต่เกิดความร้อนเพียงเล็กน้อย (ความร้อนเกิดจากความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า)
 2. สามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นความเย็นได้มาก
 3. มีสภาพนำความร้อนต่ำ เพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุ
- คุณสมบัติทั้ง 3 ประการ มีความสัมพันธ์กันด้วยหลักการทางฟิสิกส์ตามสมการที่ 2.3 สำหรับใช้บ่งชี้คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ (Z)

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{\gamma} \quad (2.3)$$

โดยที่ α คือสัมประสิทธิ์ซีเบค (Volt/Kelvin)
 σ คือสภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ (Ampere/Volt*meter)
 γ คือสภาพนำความร้อนของวัสดุ (Watt/meter*Kelvin)

เนื่องจาก Z มีหน่วยต่ออุณหภูมิแต่ในทางปฏิบัติค่าบ่งชี้ที่เปรียบเทียบกันได้ง่ายควรจะไม่มีหน่วยเรียกว่าค่า figure-of-merit ดังนั้นจึงมีการคูณด้วย T ได้สมการใหม่เป็น ZT โดยที่ T คืออุณหภูมิเฉลี่ยขณะทำงานค่า ZT จึงเป็นค่า figure-of-merit ที่ใช้บ่งบอกถึงคุณสมบัติการเปลี่ยนความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและคุณสมบัติการทำความเย็นสูงสุดของวัสดุที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนองค์ประกอบ (Thermo- element) ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

2.2 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric Module) [9]

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจัดเป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกซึ่งถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ทำความเย็น (Thermoelectric Cooler) หรืออาจถูกนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า (Thermoelectric Generator) ซึ่งวัสดุที่จะนำมาใช้ทำเป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ได้นั้น ตามหลักควรจะเป็นวัสดุที่มีค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิที่สูงหรือมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาก ซึ่งคือวัสดุประเภทโลหะกับสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากมีประจุไฟฟ้าอิสระมาก มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำเป็นสื่อนำที่ดีได้เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียพลังงานโดยการเปลี่ยนคืนเป็นความร้อน ปัจจุบันเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นยังถือว่ามีประสิทธิภาพ (efficiency) ที่ต่ำมาก และถือว่าต่ำที่สุดในบรรดาวิธีการเปลี่ยนรูปพลังงานจากความร้อนทั้งหมด แต่เนื่องจากมีข้อเด่นในเรื่องของขนาดที่เล็กมากและไม่มีชิ้นส่วนขยับทำให้ปราศจากมลพิษทางเสียง จึงได้มีกลุ่มวิจัยส่วนหนึ่งยังคงศึกษาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้ดียิ่งขึ้น

การหาค่ากำลังทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลสามารถหาได้จากสมการที่ (2.4)

$$P = IV$$

(2.4)

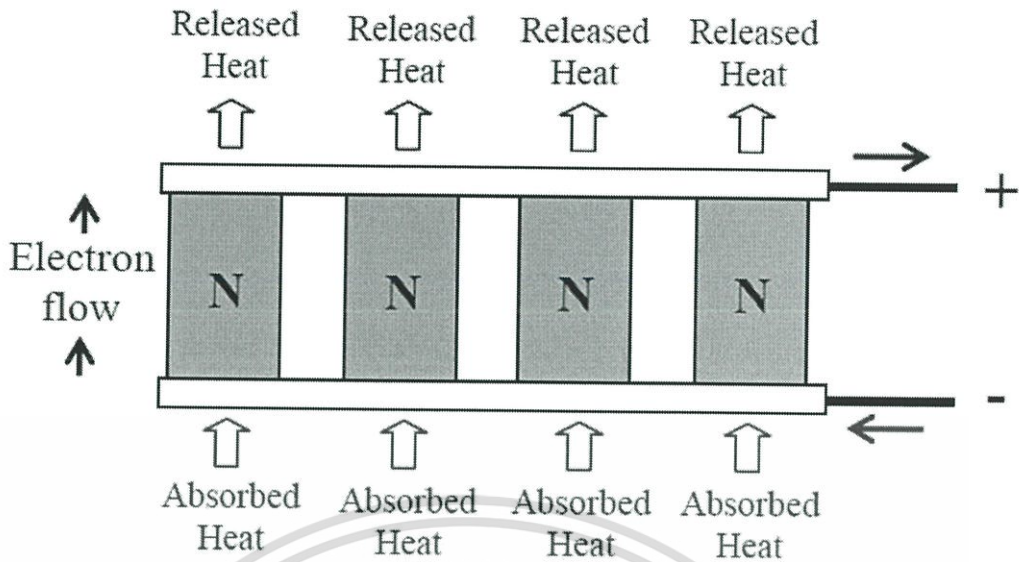
โดย P = กำลังไฟฟ้า หน่วยวัตต์ (W)

I = กระแส หน่วยแอมแปร์ (I)

V = แรงดัน หน่วยโวลต์ (V)

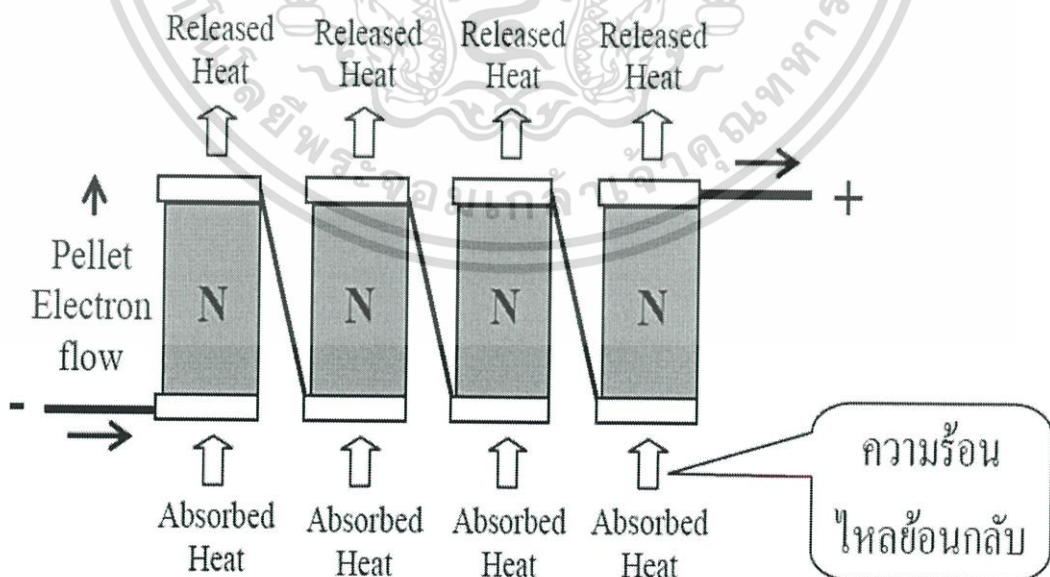
2.2.1 โครงสร้างของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

ลักษณะการเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำหากต้องการนำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลมาใช้ในการทำความเย็นหรือความร้อน การนำสารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นหลายตัวมาต่อขนานกันนั้นก็ทำได้ง่ายมาก ดังรูปที่ 2.3 การไหลและทิศทางของด้านร้อนและด้านเย็นก็สามารถที่จะควบคุมได้ง่าย แต่ด้วยข้อจำกัดที่ว่า สารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นนั้นมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าค่อนข้างต่ำประมาณ 10 มิลลิโวลต์ต่อหนึ่งชุด



รูปที่ 2.3 แสดงการเชื่อมต่อของวัสดุกึ่งตัวนำชนิดเอ็น(N-Type)ต่อขานานกันสามารถควบคุมทิศทางของด้านความเย็นและความร้อนได้แต่แรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ

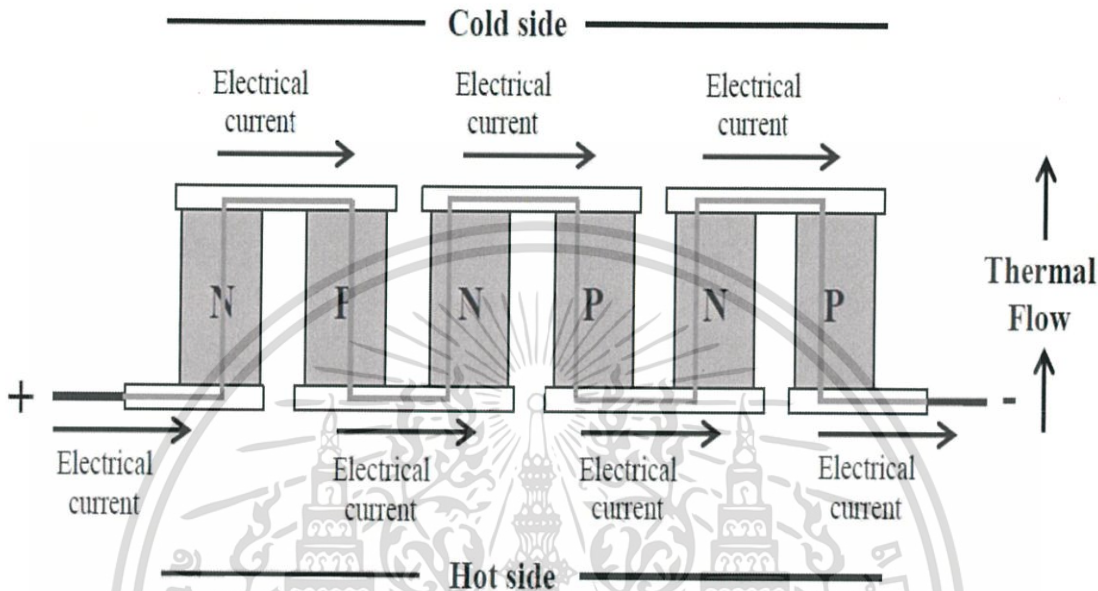
ดังนั้นหากต้องการให้ได้แรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ตามต้องการ จึงต้องมีการนำวัสดุกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นหลายๆ ชุดมาต่ออนุกรมกัน ดังรูปที่ 2.4 แต่ข้อเสียของการนำวัสดุกึ่งตัวนำชนิดเอ็นหลายๆ ตัวมาต่อกันนั้นจะยากในการควบคุมทิศทางของด้านร้อนและด้านเย็น ความร้อนส่วนหนึ่งจะไหลย้อนกลับมาทางด้านเย็นตามสายต่อระหว่างประจุบวกและประจุลบของวัสดุกึ่งตัวนำหรือเรียกว่าการลัดวงจรของความร้อนซึ่งเป็นการยากที่จะป้องกันการไหลย้อนกลับของความร้อน



รูปที่ 2.4 แสดงการเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นต่ออนุกรมกันสามารถเพิ่มแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้ตามต้องการแต่ความร้อนจากด้านร้อนจะไหลย้อนกลับมาด้านความเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

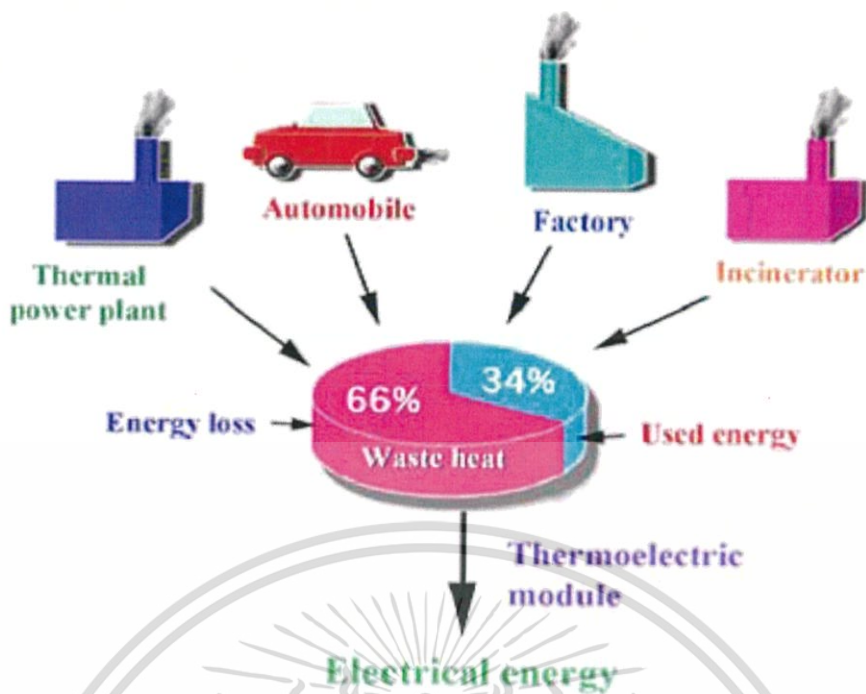
แบบชนิดเอ็นต้องเป็นการต่อของการเชื่อมต่อสารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นและแบบชนิดพี จะมีลักษณะการต่อเป็นคู่ๆ แบบอนุกรมและแบบขนาน โดยทางด้านไฟฟ้าเป็นการต่อแบบอนุกรม เพื่อให้ได้ขนาดของพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมกับความต้องการ ส่วนการทำความเย็นและความร้อน เป็นการเชื่อมต่อแบบขนานเพื่อเพิ่มความสามารถในการทำความเย็นให้ดีขึ้น ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะการต่อเชื่อมของสารกึ่งตัวนำแบบชนิดเอ็นและชนิดพีของชุดเทอร์โมอิเล็กทริก

2.3 แหล่งความร้อนเหลือทิ้ง [10]

การเปลี่ยนรูปพลังงานจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ ได้แก่ เชื้อเพลิงฟอสซิลเชื้อเพลิงชีวมวลหรือปฏิกิริยานิวเคลียร์เป็นต้นไปเป็นพลังงานความร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันและงานด้านอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น การใช้ความร้อนสำหรับจักรกลไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าการใช้ความร้อนเพื่อแปรรูปโลหะการสันดาปเครื่องยนต์การเผาขยะในระบบปิดและการทำความเย็นแบบ absorption เป็นต้นพบว่าประสิทธิภาพของการนำความร้อนจากแหล่งพลังงานดังกล่าวไปใช้ประโยชน์นั้นทำได้เพียง 30%-40% เท่านั้นความร้อนส่วนเกินต้องทิ้งไปกับระบบระบายความร้อนในระบบแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องระบายความร้อนซึ่งต้องสูญเสียพลังงานไป 60%-70% เนื่องจากข้อจำกัดของประสิทธิภาพคาร์โนต์ในการแปรผันพลังงานตามวัฏจักรคาร์โนต์ เรียกความร้อนที่ไม่ก่อประโยชน์นี้ว่าความร้อนเหลือทิ้งกระบวนการแปรรูปพลังงานความร้อน และเกิดความร้อนเหลือทิ้งแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ความร้อนเหลือทิ้งจากการใช้พลังงานแหล่งต่างๆ

2.3.1 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้ง

ความร้อนเหลือทิ้งจากแหล่งกำเนิดความร้อนขนาดใหญ่ในโรงงานอุตสาหกรรมโลหะ และโรงเผาขยะนับเป็นแหล่งความร้อนเกรดสูง (high grade source) มีอุณหภูมิมากกว่า 650°C ส่วนโรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้า และความร้อนจากปล่องไอเสียเครื่องยนต์จะมีอุณหภูมิต่ำกว่า ประมาณ $120^{\circ}\text{--}650^{\circ}\text{C}$ ขณะที่ความร้อนจากการหุงต้มหรือกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่ใช้ไอน้ำ แรงดันต่ำจะเป็นความร้อนเกรดต่ำ (low grade source) มีอุณหภูมิสูงในช่วง $60^{\circ}\text{--}120^{\circ}\text{C}$ โดยประมาณดังแสดงข้อมูลเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งประเภทต่างๆ ในตารางที่ 2.1 ,2.2 และ 2.3 ซึ่งความร้อนจากแหล่งความร้อนเหลือทิ้งดังกล่าวสามารถนำกลับมาคืนใช้ได้แทนที่จะทิ้งไปกับระบบระบายความร้อนสู่บรรยากาศโดยเปล่าประโยชน์อีกประการหนึ่ง ลักษณะของความร้อนเป็นแหล่งพลังงานที่ให้ความร้อนต่อเนื่องและมีอุณหภูมิที่ไม่เปลี่ยนแปลงมาก จึงสามารถนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์ความร้อนเพื่อคืนกลับพลังงานเหลือทิ้งมาเป็นพลังงานไฟฟ้าอันจะช่วยให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าเสริมตามหลักการอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดสูง

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 แสดงระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดปานกลาง

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

ตารางที่ 2.3 แสดงระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนเหลือทิ้งเกรดต่ำ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ทฤษฎีและหลักการวิเคราะห์เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคชั่น X-ray Diffraction : XRD [7]

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เป็นเทคนิคการวิเคราะห์แบบไม่ทำลายสารตัวอย่าง (non-destructive analysis) ซึ่งนำมาใช้ในการตรวจวิเคราะห์ชนิดของเฟสที่ปรากฏในวัสดุเบื้องต้นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์จะประกอบด้วย ข้อมูลของชุดค่า d-spacing และความเข้มของรังสีที่ตรวจจับได้ซึ่งสามารถนำไปใช้การคำนวณหา ค่าแลตทิซพารามิเตอร์ (Lattice Parameters) โครงสร้างผลึก (Crystal Structure) อย่างคร่าวๆ ชนิดของเฟสที่ปรากฏ ขนาดของเกรน (Grain Size) และในบางกรณียังสามารถใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการจัดเรียงของส่วนประกอบของโครงสร้าง (Texture Analysis) ได้อีกด้วย รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 10 นาโนเมตร เมื่อรังสีเอกซ์เกิดอันตรกิริยากับสสารจะทำให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ เช่นการเปล่งแสงการดูดกลืน การกระเจิงแสงหรือการเลี้ยวเบนซึ่งปรากฏเหล่านี้จะมีลักษณะเฉพาะที่ขึ้นอยู่กับการจัดเรียงตัวของสสารตัวอย่างแต่ละชนิดเนื่องจากของแข็งที่เป็นผลึกจะมีการจัดเรียงอะตอมอย่างเป็นระเบียบในสามมิติและมีหลายชุดระนาบเมื่อรังสีเอกซ์มาตกกระทบบนผิวของชุดระนาบต่างๆ ด้วยมุมที่เหมาะสมจะทำให้เกิดพฤติกรรมการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ขึ้น ความเข้ม (Intensity, I) ของรังสีเอกซ์ขึ้นกับกระแสไฟที่ใช้ (Current, i) ความต่างศักย์ (Voltage, V) และเลขอะตอมของธาตุที่เป็นเป้า (Z) ตัวแปรทั้งหมดมีความสัมพันธ์ตามสมการ

$$I = kiZV^2 \quad (2.5)$$

ส่วนความถี่ของรังสีเอกซ์แบบเฉพาะจะเป็นฟังก์ชันกับเลขอะตอมตามกฎของมอสลีย์ (Moseley 's Law)

$$V = k(z-1) \quad (2.6)$$

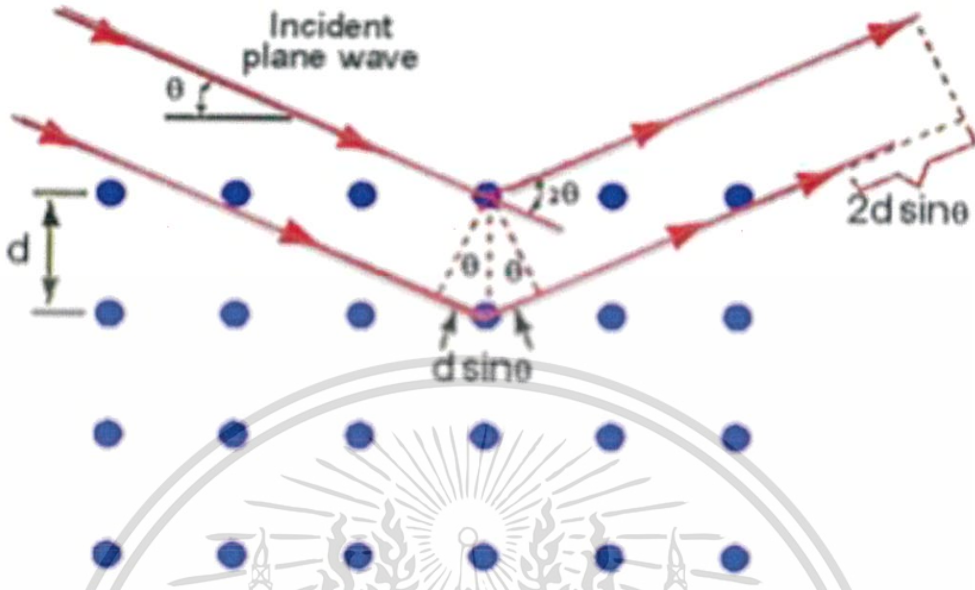
การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แบ่งออกเป็นสองชนิดคือสำหรับตัวอย่างที่เป็นผง (Powder X-ray Diffraction) และสำหรับตัวอย่างที่เป็นผลึกเดี่ยว (Single -Crystal X-ray Diffraction)

1. Powder X-ray Diffraction ซึ่งสามารถวิเคราะห์ชนิดของวัสดุได้เนื่องจากการเกิด รังสีเอกซ์ Diffraction จะให้สเปกตรัมที่เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละธาตุสามารถบอกวิถุภาคเชิงผลึกของวัสดุได้ว่าเป็นผลึกหรืออสัณฐานเทคนิคนี้มีประโยชน์ในการวิเคราะห์ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์ เพราะสามารถบอกชนิดของสารที่อยู่ในตัวเร่งปฏิกิริยารวมทั้งวิถุภาคของวัสดุได้

2. Single-Crystal X-ray Diffraction หรือ X-ray Crystallography สามารถหาโครงสร้างของโมเลกุลได้ คือสามารถบอกการจัดเรียงตัวของอะตอมความยาวพันธะมุมระหว่างอะตอมในโมเลกุลได้ คือสามารถบอกการจัดเรียงตัวของอะตอมความยาวพันธะมุมระหว่าง 2 อะตอมในโมเลกุลได้เนื่องจากวัสดุตัวอย่างสำหรับเทคนิคนี้ต้องเป็นผลึกเดี่ยว ดังนั้นขั้นตอนการตกผลึกจึงมีความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากในการศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยาวิวิธพันธุ์นั้นขนาดความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์อยู่ในช่วงเดียวกับระยะห่างระหว่างอะตอมในผลึกของของแข็ง ซึ่งทำให้รังสีเอกซ์สามารถเกิดการเลี้ยวเบนได้ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ในผลึก

การเลี้ยวเบนประกอบด้วย 2 ขั้นตอนขั้นตอนแรกคือการกระเจิง (scattering) ของรังสีตกกระทบซึ่งทำมุม θ กับผิวหน้าของของแข็งมุมของรังสีกระเจิงจะเท่ากับมุมของรังสีตกกระทบซึ่งในแต่ละระนาบของโครงสร้างผลึกจะมีการกระเจิงของรังสีเอกซ์ขั้นตอนที่สองคือการเกิดการแทรกสอด (interference) ของรังสีกระเจิงที่เกิดขึ้นจากระนาบต่างๆ ถ้าการแทรกสอดเป็นแบบเสริม (Constructive interference) เนื่องจากตำแหน่งของคลื่นจากต่างระนาบตรงกันจะทำให้รังสีกระเจิงมีค่าสูงของคลื่นเพิ่มขึ้นซึ่งเมื่อนำฟิล์มมารองรับจะเห็นเป็นจุดสว่างใหญ่ขึ้นถ้าการแทรกสอดเป็นแบบหักล้าง (destructive interference) เนื่องจากตำแหน่งของคลื่นต่างเฟสกันรังสีกระเจิงจะมีค่าแอมพลิจูดลดลงถ้าฟิล์มมารองรับจะเห็นเป็นจุดที่เล็กกว่าหรือไม่เห็นเลยถ้าเกิดการหักล้างอย่างสมบูรณ์ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์กับระยะห่างระหว่างระนาบผลึกและมุมตกกระทบสามารถอธิบายโดยใช้กฎของแบรกก์ (Bragg 'law) ดังสมการ

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (2.7)$$

โดย n คือจำนวนเต็มที่เราเรียกว่าอันดับของการสะท้อน

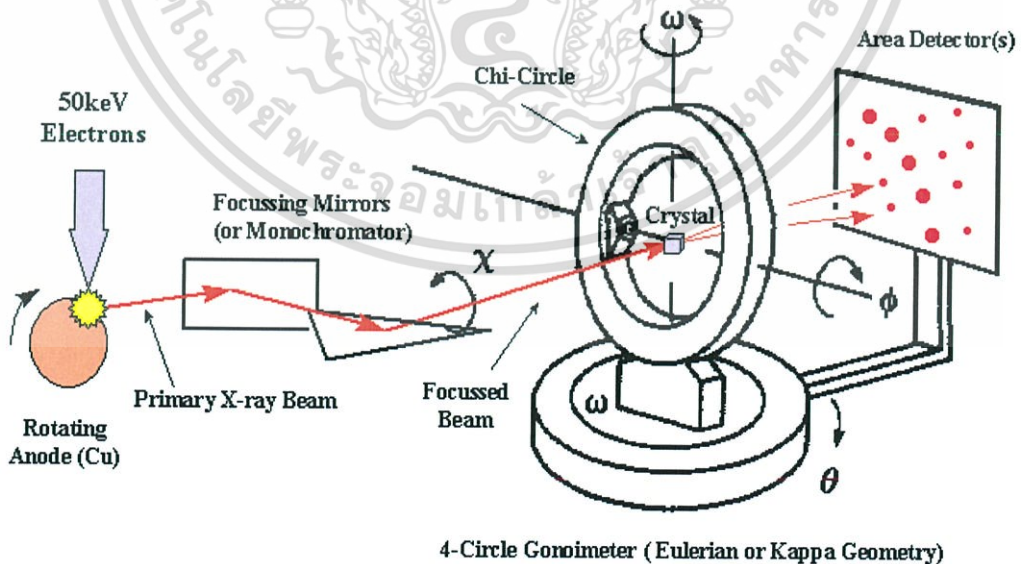
λ คือความยาวคลื่นของรังสีที่ใช้

d คือระยะห่างระหว่างระนาบผลึก

θ คือมุมระหว่างรังสีตกกระทบกับระนาบผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือที่วัดการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์คือเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer) โดยมีหลักการทำงานคือเมื่อปล่อยกระแสเข้าไปยังขั้วแคโทดซึ่งเป็นเส้นลวดให้ความร้อนเพื่อให้ไส้หลอดร้อนขึ้นหรือมีพลังงานสูงพอทำให้อิเล็กตรอนพลังงานสูงหลุดออกมาจากขั้วแคโทดและพุ่งเข้าชนแอนโนดซึ่งเป็นโลหะที่นำความร้อนได้ดี (โลหะที่นิยมใช้เป็นขั้วแอนโนดคือทองแดงและโมลิบดีนัมโดยหลอดที่ใช้ทองแดงจะเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมกับผลึกขนาดเล็กหรือมีขนาดหน่วยเซลล์ใหญ่ ส่วนโมลิบดีนัมเหมาะสำหรับผลึกขนาดใหญ่หรือผลึกที่มีการดูดกลืนรังสีเอกซ์ได้ดี) จึงทำให้อิเล็กตรอนวงในหลุดออกมาเมื่ออิเล็กตรอนชั้นอื่นเข้าไปแทนที่ออร์บิทัลที่ว่างแอนโนดจะคายพลังงานออกมาในรูปรังสีเอกซ์และความร้อนจะต้องมีน้ำหล่อเย็นโดยทั่วไปรังสีเอกซ์จะเกิดขึ้นโดยปริมาณ 1% ของพลังงานที่คายออกมาทั้งหมดรังสีเอกซ์ที่คายออกมามีทั้งรังสีเอกซ์แบบเฉพาะตัว (Characteristic) ที่เป็น $K\alpha$ และ $K\beta$ จากนั้นจึงใช้แผ่นกรองแสงซึ่งเป็นตัวดูดกลืนความยาวคลื่นที่ไม่ต้องการกำจัดเอาพีคของ $K\beta$ ออกไปเพื่อให้เหลือรังสีเอกซ์ที่มีการเลี้ยวเบนจะถูกตรวจวัดโดยดีเทกเตอร์ (Detector) ซึ่งสามารถวัดรังสีกระเจิงได้ ณ มุมต่างๆ ทำให้หาค่า 2θ ได้ข้อมูลที่บันทึกผลออกมาแสดงในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้ม (Intensity) และค่ามุม 2θ โดยสารแต่ละชนิดจะให้รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่แตกต่างกันไปโดยสามารถทำการตรวจสอบรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้โดยการนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลมาตรฐานที่อยู่ในแฟ้มข้อมูล Joint Committee on Powder Diffraction Standard (JCPDS) ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง (X-ray Diffractometer) แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่อง (X-ray Diffractometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3




วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการทดลองจะเป็นศึกษาการสังเคราะห์และสร้างวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่เกิดจากสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ เพื่อนำมาสร้างเป็นต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยใช้อุปกรณ์ดังนี้

3.1.1 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.1 แสดงวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้


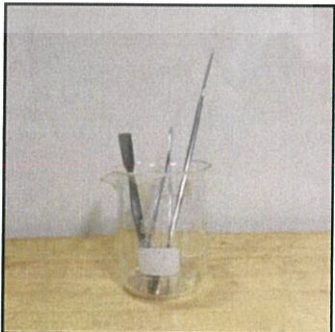
ลำดับ	ชื่อวัตถุดิบและสารเคมี	รูปภาพประกอบ
3.1.1	Copper Oxide ECO-500 (CuO)	
3.1.2	Chorm Oxide Green (Cr ₂ O ₃)	
3.1.3	Iron(III) Oxide (Fe ₂ O ₃)	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้






ลำดับ	ชื่อวัตถุดิบและสารเคมี	รูปภาพประกอบ
3.1.4	พอลิไวนิลแอลซีเตต (PVA) 5%	
3.1.5	แอลกอฮอล์	

3.1.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง






ตารางที่ 3.2 แสดงอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	รูปภาพประกอบ
3.2.1	เครื่องชั่งสารดิจิตอลความละเอียด 0.0001 กรัม	
3.2.2	ช้อนตักสาร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	รูปภาพประกอบ
3.2.3	อลูมิเนียมฟอยล์	
3.2.4	กระบอกพลาสติก	
3.2.5	เม็ดเซอร์โคเนีย	
3.2.6	เครื่องบดละเอียด	
3.2.7	ปีกเกอร์	

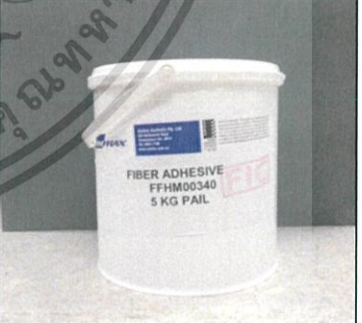
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในห้องเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	รูปภาพประกอบ
3.2.8	กรวยกรองสาร	
3.2.9	ตู้อบให้ความร้อน	
3.2.10	ครกบดสาร	
3.2.11	ถ้วยอะลูมินา	
3.2.12	เตาเผาสาร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	รูปภาพประกอบ
3.2.13	บล็อกอัดสารขึ้นรูปทรงกระบอก	
3.2.14	บล็อกอัดสารขึ้นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า	
3.2.15	เครื่องอัดสาร Hydraulic	
3.2.16	แผ่นสแตนเลส	
3.2.17	กรรไกรตัดและตัดสแตนเลส	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

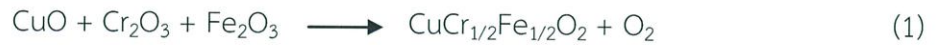
ลำดับ	ชื่ออุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	รูปภาพประกอบ
3.2.18	เครื่องเชื่อมสแตนเลส	
3.2.19	แผ่นซิลิกอนคาร์ไบด์(SiC)	
3.2.20	ชุดอุปกรณ์วัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก	
3.2.21	Fiber Adhesive	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.2.1 กระบวนการสังเคราะห์สารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$

เตรียมสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ จากสารตั้งต้น CuO , Cr_2O_3 และ Fe_2O_3 สมการสำหรับปฏิกิริยาเป็นดังนี้



คำนวณปริมาณสารตั้งต้นที่ต้องใช้จากสมการ (1) โดยให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ 44 กรัม จากการคำนวณจะได้ปริมาณของสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ดังนี้

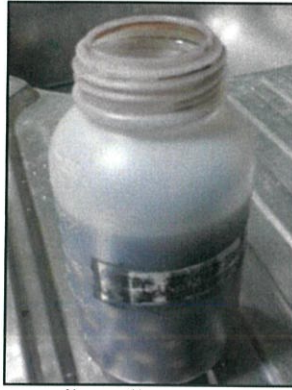
$\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$	149.8657 g/mol	ต้องการ	44	กรัม
CuO	79.5454 g/mol	ใช้	23.4167	กรัม
Cr_2O_3	151.9904 g/mol	ใช้	11.1858	กรัม
Fe_2O_3	159.6896 g/mol	ใช้	11.7524	กรัม

นำลูนีเนียมฟอสไฟไปวางบนเครื่องชั่งดิจิตอลเพื่อทำการชั่งสารเคมีตั้งต้นที่ได้จากการคำนวณ ดังรูปที่ 3.1 และนำสารตั้งต้นที่ชั่งเสร็จแล้ว ใส่ลงในขวดพลาสติกที่มีเม็ดเซอร์โคเนียอยู่ในขวด ดังรูปที่ 3.2 ใส่แอลกอฮอล์จนท่วมเม็ดเซอร์โคเนียพอประมาณ



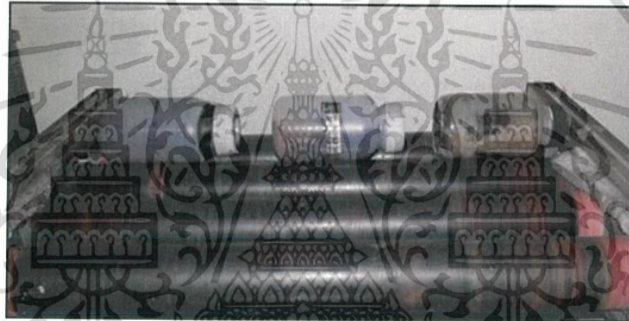
รูปที่ 3.1 ชั่งสารเคมีตั้งต้นที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 นำสารตั้งต้นทั้งหมดใส่ลงในขวดพลาสติก

ทำการผสมสารด้วยวิธีการผสมสารให้เป็นเนื้อเดียวกัน เรียกว่า การบอลมิลล์ ในเครื่องบดละเอียดเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ทำการบดละเอียดสารด้วยวิธีการบอลมิลล์

หลังจากบอลมิลล์เสร็จ นำสารประกอบที่ได้มาเทลงในบีกเกอร์ โดยใช้ตะแกรงกรองสารแยกกับเม็ดเซอร์โคเนีย โดยนำเม็ดเซอร์โคเนียล้างด้วยแอลกอฮอล์ ดังรูปที่ 3.4 เนื่องจากมีสารบางส่วนติดอยู่ และนำบีกเกอร์ห่อด้วยอลูมิเนียมฟอยล์นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้แอลกอฮอล์ระเหยออกจนหมดเหลือเพียงสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ เท่านั้น



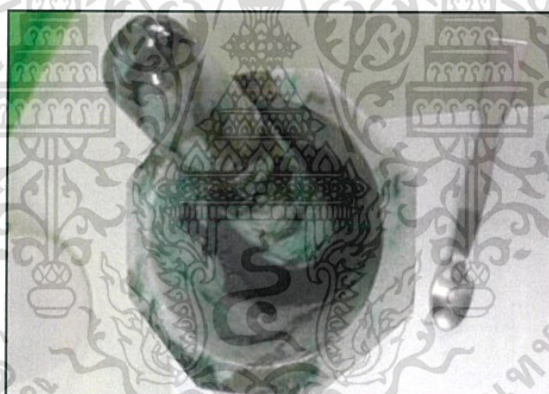
รูปที่ 3.4 นำสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ เทลงในบีกเกอร์แยกกับเม็ดเซอร์โคเนีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

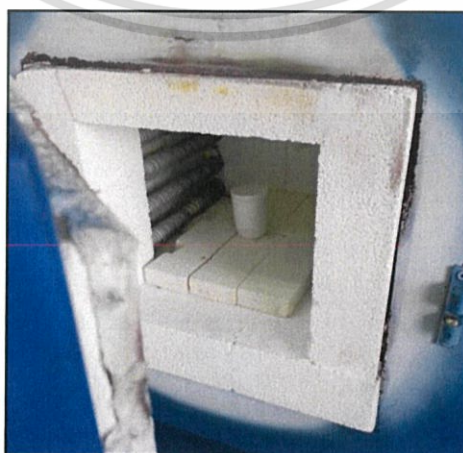


รูปที่ 3.5 นำปิกเกอร์เข้าเตาอบเพื่อให้แอลกอฮอล์ระเหยออกจนหมด

นำสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ที่แอลกอฮอล์ระเหยออกหมดแล้วมาบดเป็นเม็ดละเอียดด้วยครกบดแล้วใส่ลงในถ้วยอะลูมินา เพื่อนำถ้วยอะลูมินาที่มีสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ เข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.7 เพื่อให้เกิดปฏิกิริยายึดเหนี่ยวระหว่างสารตั้งต้น หรือ เรียกว่า Solid State Reaction



รูปที่ 3.6 นำสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ มาบดเป็นเม็ดละเอียด



รูปที่ 3.7 นำสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ไปเผาเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสร็จสิ้นกระบวนการสังเคราะห์สารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ นำสารประกอบประมาณ 1 กรัม บดละเอียดด้วยครกบดแล้วนำไปส่งตรวจวัดวิเคราะห์เชิงโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD (X-ray Diffraction : XRD)

3.2.2 กระบวนการขึ้นรูปสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$

นำสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ มาบดเป็นเม็ดละเอียดผสม PVA ความเข้มข้น 5% ด้วยอัตราส่วน 1 กรัมต่อ 1 หยด แล้วนำสารประกอบข้างต้น จำนวน 5 กรัม มาขึ้นรูปโดยนำสารประกอบข้างต้นเทใส่ลงในบล็อกอัดขึ้นรูปทรงกระบอก แล้วอัดด้วยเครื่องอัดสาร (Hydraulic) ที่แรงดัน 250 kg/cm^2 เป็นเวลา 5 นาที เมื่ออัดสารเสร็จจะได้เป็นแท่งเม็ดทรงกระบอกขนาด $3.14 \times (5.5)^2 \times 11$ มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.10 โดยจำนวนเม็ดสารในการอัดขึ้นอยู่กับจำนวนโมดูลตามที่ต้องการ ซึ่งจำนวนโมดูลมีทั้งหมด 1, 9 และ 20 ตัว ตามลำดับ หลังจากทำการขึ้นรูปเป็นแท่งเม็ดสารทรงกระบอกแล้ว นำแท่งเม็ดสารเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 3.11 ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้เม็ดสารขึ้นรูปและจับตัวเป็นแท่งสารที่แข็งแรง ก็จะเสร็จสิ้นกระบวนการขึ้นรูปสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ เป็นแท่งเม็ดสารทรงกระบอก เพื่อนำแท่งเม็ดสารที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปนั้นนำไปทำเป็นโมดูลต่อไป

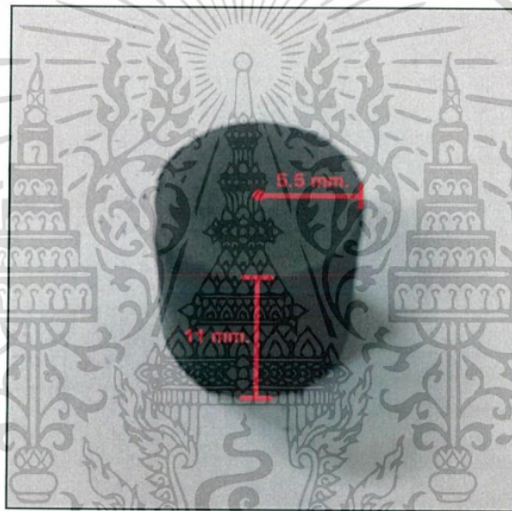


รูปที่ 3.8 นำสารใส่ลงในบล็อกอัดสารทรงกระบอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 นำบล็อกไปอัดด้วยเครื่องอัดสาร (Hydraulic)



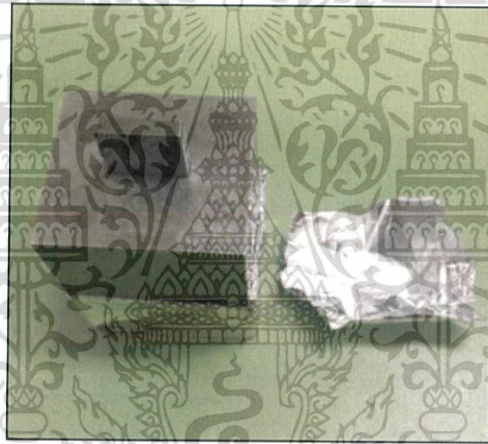
รูปที่ 3.10 เม็ดสารที่อัดขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกขนาด $3.14 \times (5.5)^2 \times 11$ มิลลิเมตร



รูปที่ 3.11 นำแท่งเม็ดสารเผาในเตาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นนำสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ มาบดเป็นเม็ดละเอียดผสม PVA ความเข้มข้น 5% ด้วยอัตราส่วน 1 กรัมต่อ 1 หยด แล้วนำสารประกอบข้างต้น จำนวน 2 กรัม มาขึ้นรูปโดยนำสารประกอบข้างต้นเทใส่ลงในบล็อกอัดสารขึ้นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วนำสารอัดด้วยเครื่องอัดสาร (Hydraulic) ที่แรงดัน 250 kg/cm^2 เป็นเวลา 5 นาที เมื่ออัดสารเสร็จจะได้เป็นแท่งเม็ดทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด $4 \times 4 \times 10$ มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.14 หลังจากทำการขึ้นรูปเป็นแท่งเม็ดสารทรงสี่เหลี่ยมแล้ว นำแท่งเม็ดสารเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 3.15 ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้เม็ดสารขึ้นรูปและจับตัวเป็นแท่งสารที่แข็งแรง ก็จะเสร็จสิ้นกระบวนการขึ้นรูปสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ เป็นแท่งเม็ดสารทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า แล้วนำส่งตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคด้วยเครื่อง TRC-ZTM2 แสดงดังรูปที่ 3.16 ที่ศูนย์วิจัยเทอร์โมอิเล็กทริก สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี

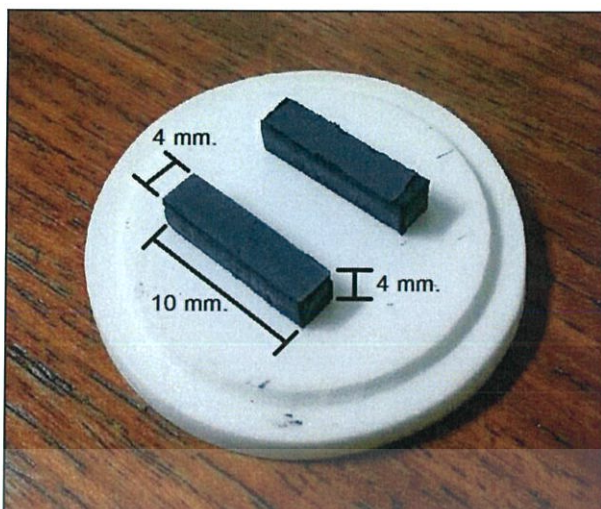


รูปที่ 3.12 นำสารใส่ลงในบล็อกอัดสารทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า

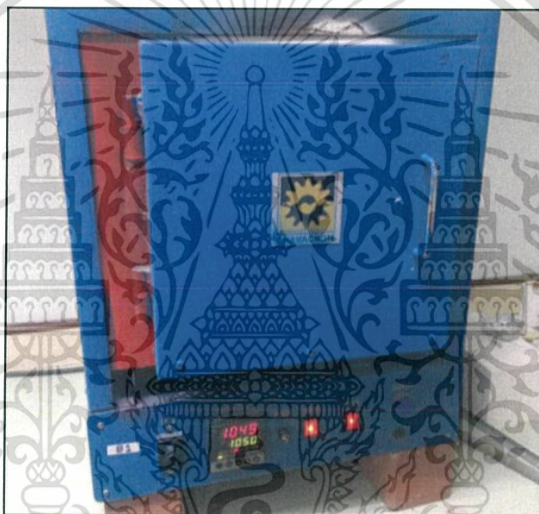


รูปที่ 3.13 นำบล็อกไปอัดด้วยเครื่องอัดสาร (Hydraulic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 เม็ดสารที่อัดขึ้นรูปเป็นทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 4 x 4 x 10 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.15 นำแท่งเม็ดสารทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าเผาในเตาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส



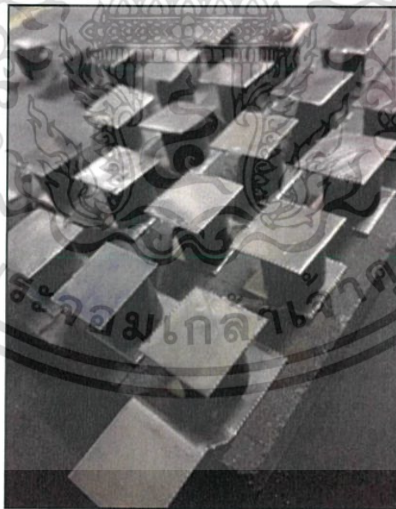
รูปที่ 3.16 นำส่งตรวจวัดประสิทธิภาพซีเบคด้วยเครื่อง TRC-ZTM2
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 กระบวนการสร้างเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจากแท่งสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$

เมื่อได้เม็ดสารทรงกระบอกจากสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปเม็ดสารตามที่ต้องการแล้ว นำแผ่นสแตนเลสมาทำการตัดและตัดให้ได้ขนาดที่ต้องการ แสดงดังรูปที่ 3.17 เพื่อนำแผ่นสแตนเลสมาประกอบเข้ากับเม็ดสาร แสดงดังรูปที่ 3.18 โดยทำการประกอบด้วยการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมสแตนเลส แสดงดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.17 ตัดสแตนเลสและตัดเป็นแบบที่ต้องการ



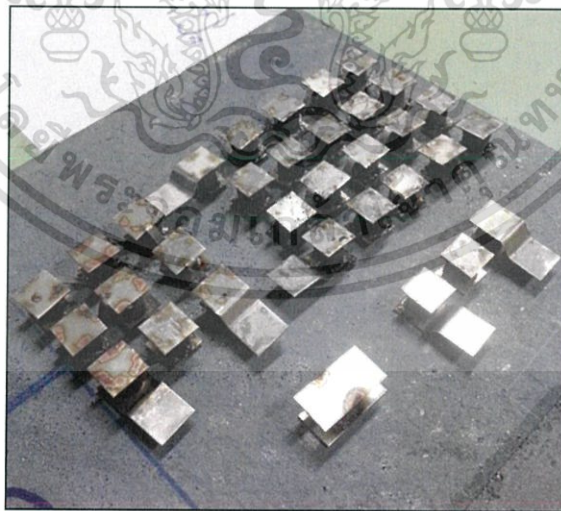
รูปที่ 3.18 ประกอบแผ่นสแตนเลสเข้ากับแท่งสารในแบบที่วางไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



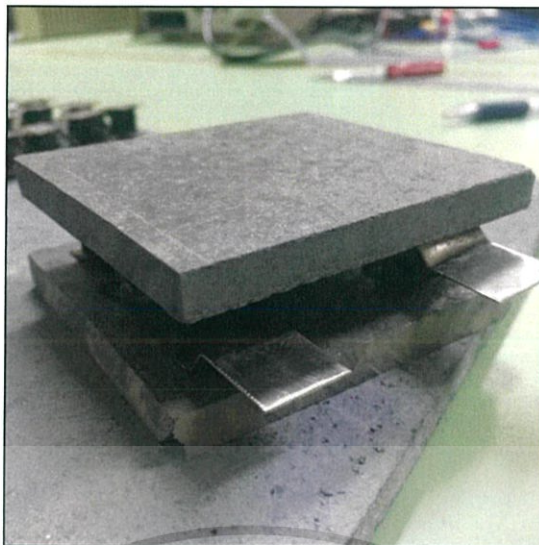
รูปที่ 3.19 เชื่อมแผ่นสแตนเลสกับแท่งสารด้วยเครื่องเชื่อมสแตนเลส

เมื่อทำการเชื่อมจนได้เป็นโมดูลขนาด 1, 9 และ 20 ตัว แสดงดังรูปที่ 3.20 นำโมดูลมาประกบเข้ากับแผ่นซิลิกอนคาไบด์ (SiC) ทั้งด้านบนและด้านล่างของโมดูล ที่ได้ทำการตัดให้พอดีกับขนาดของตัวโมดูลที่มีทั้งหมด 1, 9 และ 20 ตัว ตามลำดับ โดยใช้กาว Fiber Adhesive ในการประกบโมดูลเข้ากับแผ่นซิลิกอนคาไบด์ (SiC) แสดงดังรูปที่ 3.21 เมื่อได้โมดูลขนาด 1, 9 และ 20 ตัว ตามลำดับแล้วนำมาทำการวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก โดยใช้ชุดอุปกรณ์วัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก ดังรูปที่ 3.22 และทำการบันทึกผล

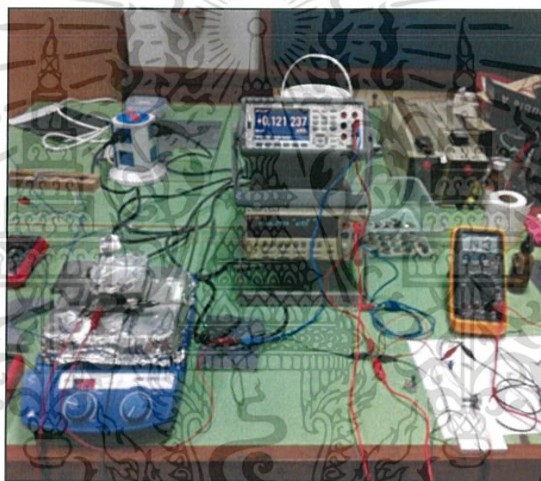


รูปที่ 3.20 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลขนาด 1, 9 และ 20 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 ประกอบแผ่นซิลิกอนคาไบด์ (SiC) ตามขนาดของโมดูล



รูปที่ 3.22 วัดประสิทธิภาพทางเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยชุดอุปกรณ์วัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

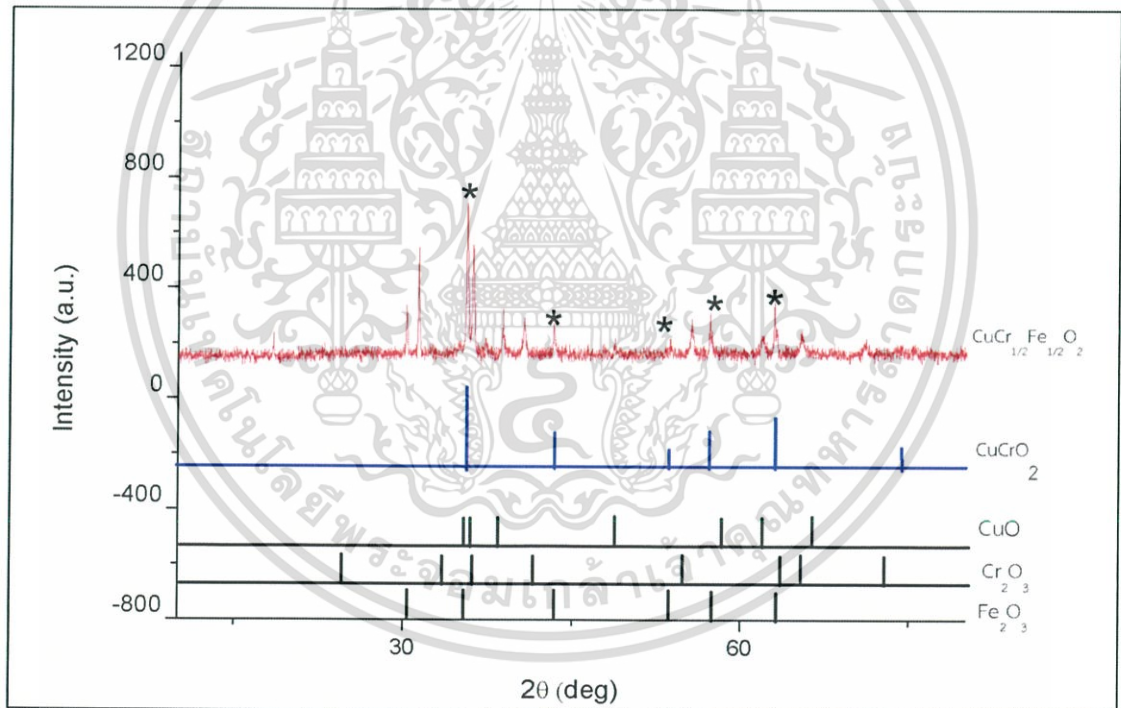
บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์เชิงโครงสร้างด้วยเทคนิค XRD ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค Seebeck และวัดสมบัติประสิทธิภาพทางเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยจะแบ่งผลการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน ตามขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 ผลจากการวิเคราะห์สารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ บริสุทธิ์ด้วยเครื่อง X-ray diffractometer (XRD)

จากการทำปฏิกิริยาเคมีตามขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและทำการส่งวัด XRD เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ มีผลดังกราฟต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างผลึก XRD ของสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$

จากการเตรียมผลึกคอปเปอร์โครเมียมไดออกไซด์เจือไอออน 0.5 ($\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$) ด้วยวิธีปฏิกิริยาของแข็ง (solid state reaction method) ที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส และนำไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกจากเครื่อง XRD พบว่า ผลึกที่ผ่านการทำปฏิกิริยาของแข็งที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส มีลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนที่สอดคล้องกับ CuCrO_2 ปรากฏขึ้นที่มุมเลี้ยวเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$2\theta = 18.4, 30.4, 35.6, 37.3, 43.5, 53.9, 57.6, 63.2$ และ 74.3 องศา โดยพีคการเลี้ยวเบนทั้งหมดตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ในชุดข้อมูลมาตรฐาน JCPDX หมายเลข 26-0509

ซึ่งจากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเจือ Fe_2O_3 เข้าไปทำให้เกิดพีค ที่มีลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนที่สอดคล้องกับ Fe_2O_3 ปรากฏขึ้นที่มุมเลี้ยวเบน $2\theta = 30.3, 35.7, 43.3, 53.7, 57.3$ และ 62.9 องศา โดยพีคการเลี้ยวเบนทั้งหมด ตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ในชุดข้อมูลมาตรฐาน JCPDX หมายเลข 39-1346

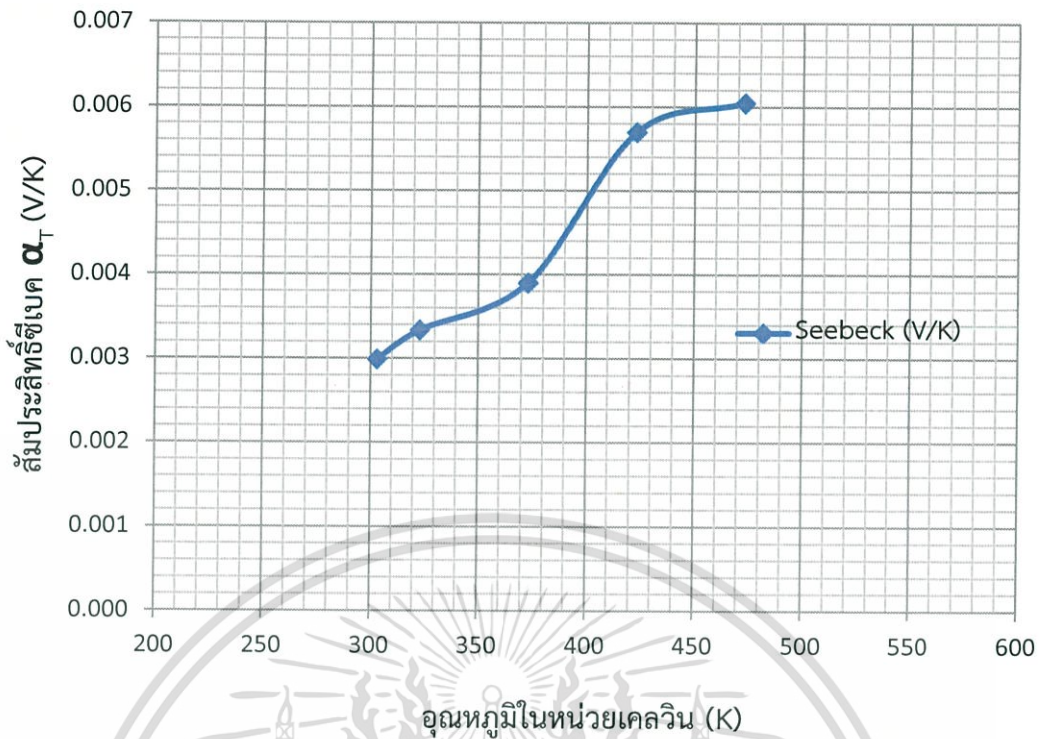
4.2 ผลการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck)

จากการส่งวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่อุณหภูมิ (T) ต่างๆ ได้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคในหน่วยโวลต์ต่อเคลวิน (V/K), สภาพต้านทานไฟฟ้าในหน่วยโอห์มเมตร ($\Omega\cdot\text{m}$), และสภาพนำไฟฟ้าที่เป็นส่วนกลับของสภาพต้านทานไฟฟ้าในหน่วย 1 ต่อโอห์มเมตร ($\Omega\cdot\text{m}$)⁻¹ ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 4.1

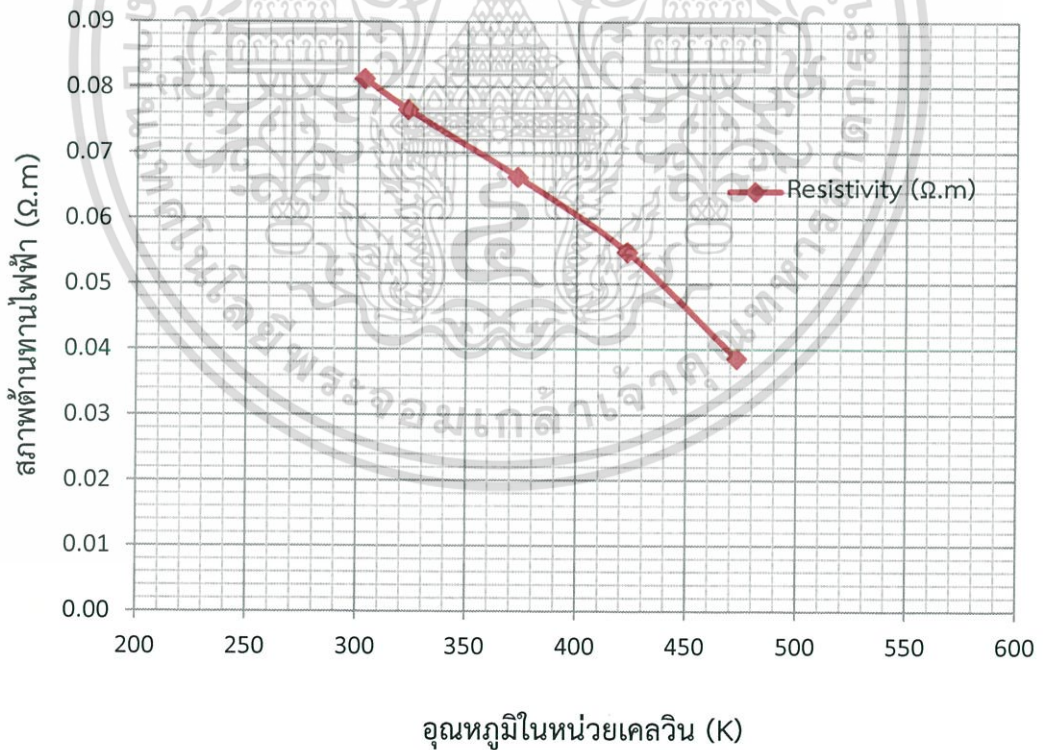
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าต่างๆที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น

Temp(°K)	Seebeck (V/K)	Resistivity ($\Omega\cdot\text{m}$)	Conductivity ($\Omega\cdot\text{m}$) ⁻¹
303	0.002989	0.081246	12.308239
323	0.003337	0.076567	13.060401
373	0.003899	0.066312	15.080303
423	0.005697	0.054858	18.228716
473	0.006046	0.038621	25.892339

เมื่อ T เป็นอุณหภูมิในหน่วยเคลวิน ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่อยู่ในหน่วยโวลต์ต่อเคลวิน (V/K) จะแปรผันตามอุณหภูมิที่สูงขึ้นแสดงดังรูปที่ 4.2, ค่าสภาพต้านทานทางไฟฟ้าที่อยู่ในหน่วยโอห์มเมตร และค่าสภาพนำทางไฟฟ้าที่เป็นส่วนกลับของค่าสภาพต้านทานทางไฟฟ้าในหน่วย 1 ต่อโอห์มเมตร ซึ่งทั้งสองค่าจะแปรผันตามอุณหภูมิ ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 4.3 และ รูปที่ 4.4 ตามลำดับ

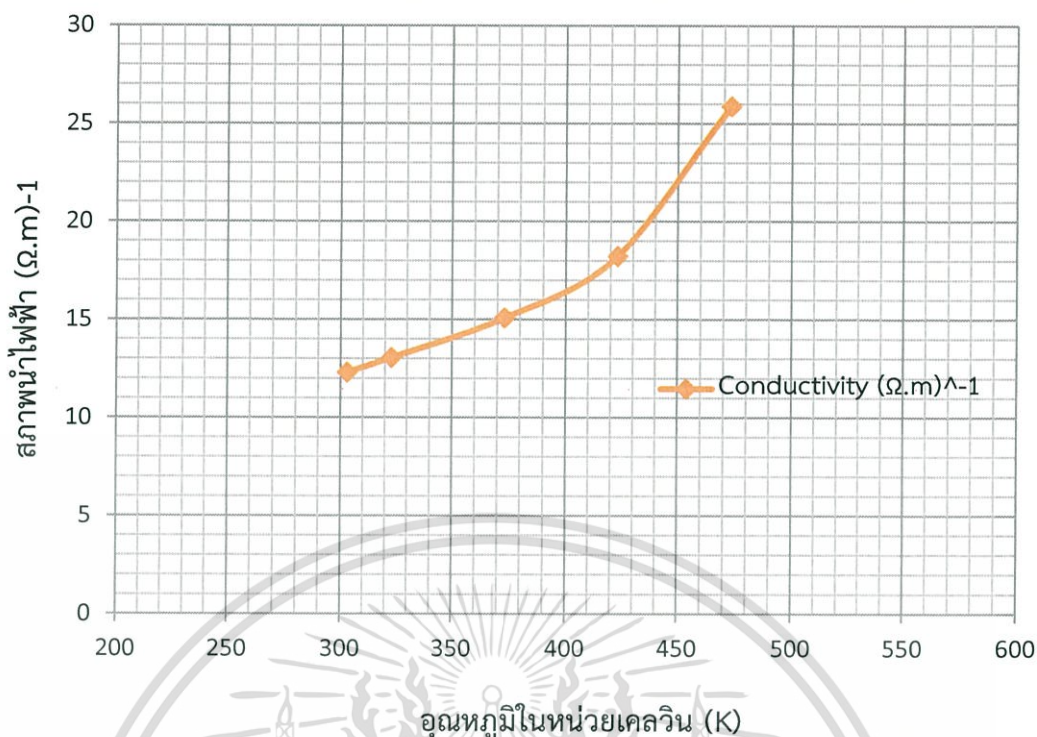


รูปที่ 4.2 กราฟของสัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K) ที่แปรผันตามอุณหภูมิ



รูปที่ 4.3 กราฟสภาพต้านทานไฟฟ้า (Ω.m) ที่แปรผันตามอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟสภาพนำไฟฟ้า (Ω.m)⁻¹ ที่แปรผันตามอุณหภูมิ

จากผลการทดลองจะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคจะเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นั่นหมายความว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ (T) สูงมากขึ้น ค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ จะเพิ่มมากขึ้นตามกันในหน่วยโวลต์ต่อเคลวิน (V/K) และแสดงให้เห็นว่าสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี (P-Type), ค่าของสภาพต้านทานไฟฟ้าจะมีค่าลดลงในหน่วยโอห์มเมตร เมื่ออุณหภูมิ (T) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่กลับกันกับค่าสภาพนำไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นมากเมื่ออุณหภูมิ (T) มีค่าเพิ่มขึ้น นั่นหมายถึงสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ นั้นสามารถนำไฟฟ้าได้ดีมากเมื่ออุณหภูมิสูงมากขึ้น เนื่องจากสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ลดลง สารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ จึงยินยอมให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ง่าย

4.3 ผลการวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

จากการทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า (V), ค่าความต้านทาน (Ω) และค่ากระแส (I) ตามผลต่างอุณหภูมิที่กำหนดของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1, 9 และ 20 ตัว ตามลำดับ แล้วทำการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้า (P) จากความสัมพันธ์ $P = IV$ ตามทฤษฎี ดังแสดงตามตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ และนำค่าในตารางพร้อมกราฟเพื่อวิเคราะห์ผล แสดงอยู่ในรูปที่ 4.5, 4.6, 4.7, ..., 4.13 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 ตัว

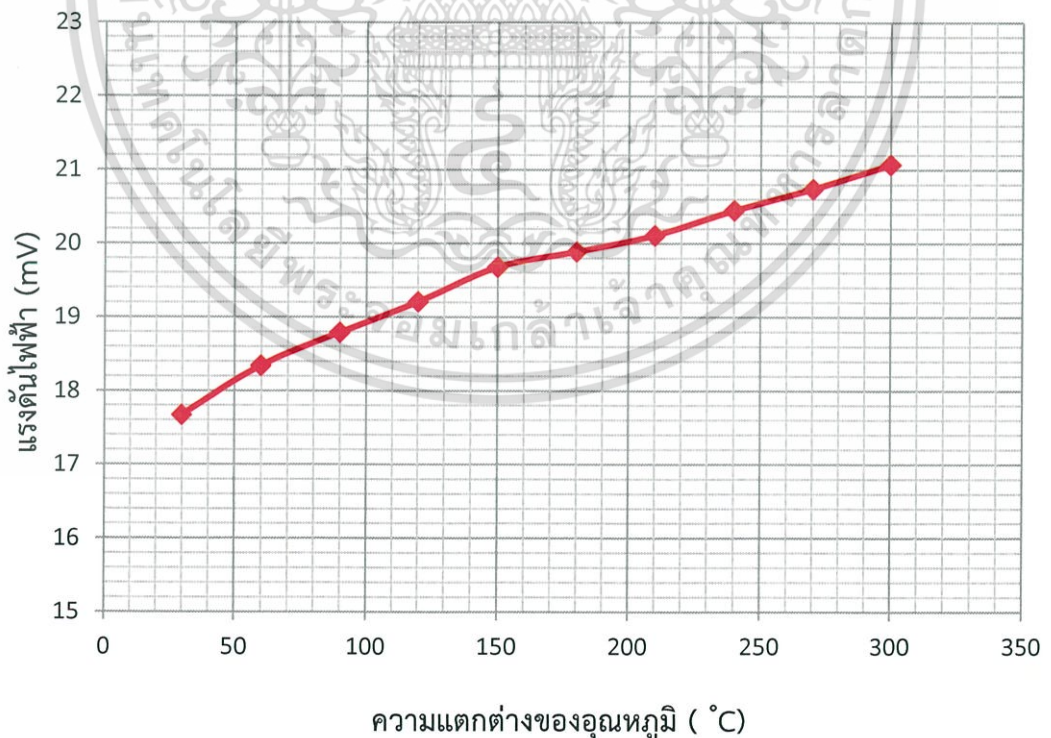
* ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	*T(Hot) ($^{\circ}\text{C}$)	*T(Cold) ($^{\circ}\text{C}$)	แรงดัน (mV)	ความต้านทาน (Ω)	กระแส (mA)	กำลัง (μW)
30	49	19	17.67	97.40	0.212	3.7460
60	84	24	18.34	100.00	0.217	3.9798
90	114	24	18.79	102.00	0.223	4.1902
120	146	26	19.21	103.70	0.225	4.3223
150	177	27	19.68	106.20	0.230	4.5264
180	195	15	19.89	108.00	0.234	4.6543
210	227	17	20.11	111.30	0.240	4.8264
240	257	17	20.45	112.60	0.255	5.2148
270	293	23	20.74	118.20	0.258	5.3509
300	325	25	21.07	119.30	0.262	5.5203

*หมายเหตุ

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างฝั่งร้อนกับฝั่งเย็น

T(Hot) = อุณหภูมิฝั่งร้อน

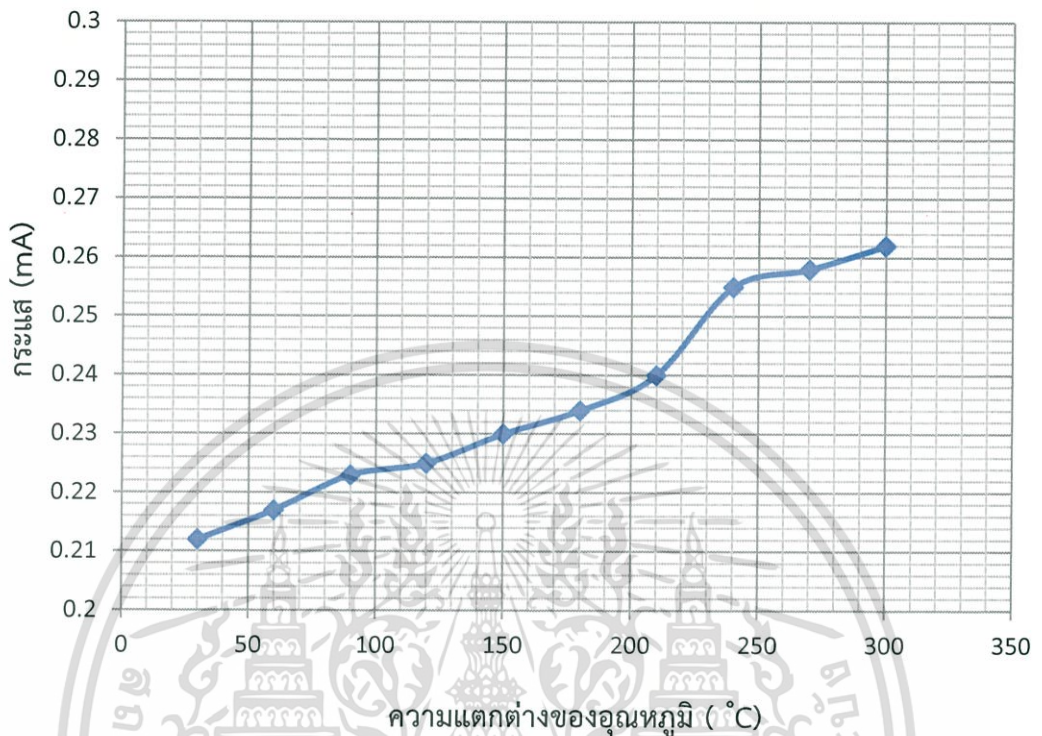
T(Cold) = อุณหภูมิฝั่งเย็น



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) กับ แรงดัน (V) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 ตัว

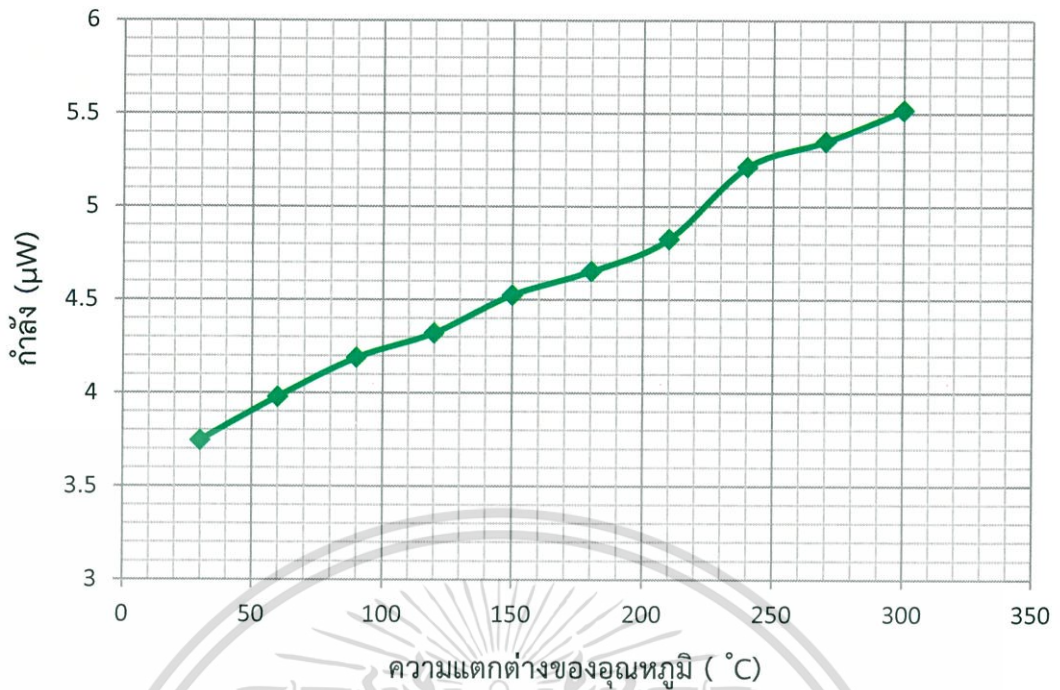
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิจะแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้า เขียนแทนด้วย $\Delta T \propto \Delta V$



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ (°C) กับ กระแส (mA) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 ตัว

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้า เขียนแทนด้วย $\Delta T \propto A$



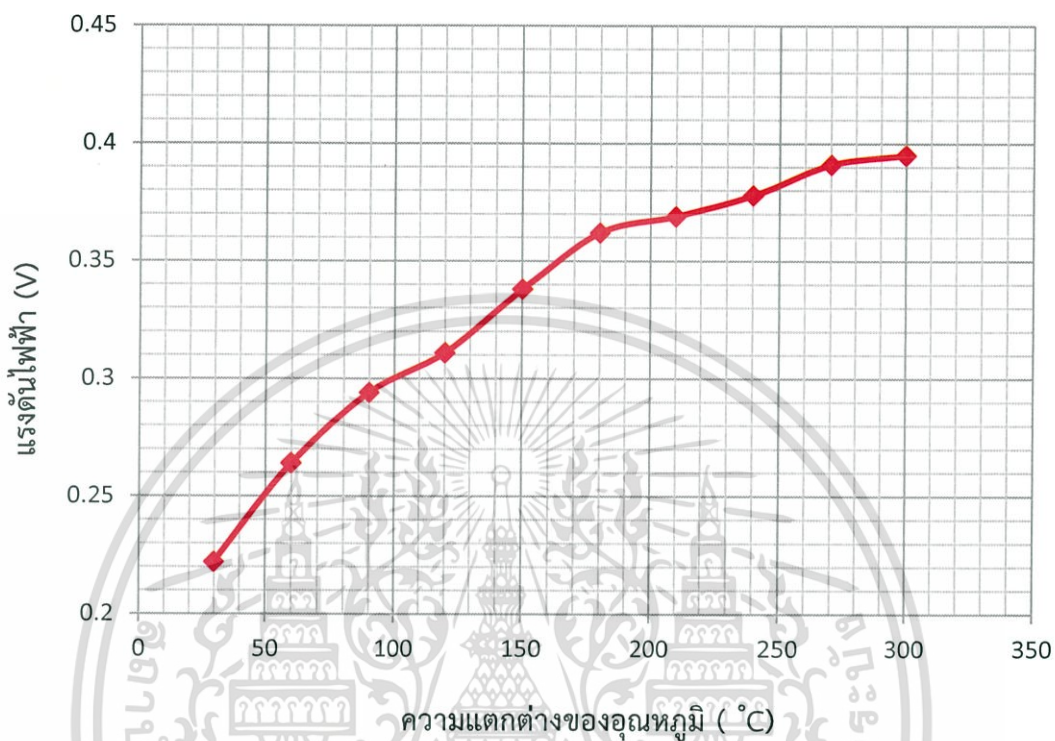
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ (°C) กับ กำลัง (μW) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 ตัว

จากรูปที่ 4.7 พบว่าจากความสัมพันธ์ $P = IV$ เมื่อแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เขียนแทนด้วย $\Delta T \propto P$

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 9 ตัว

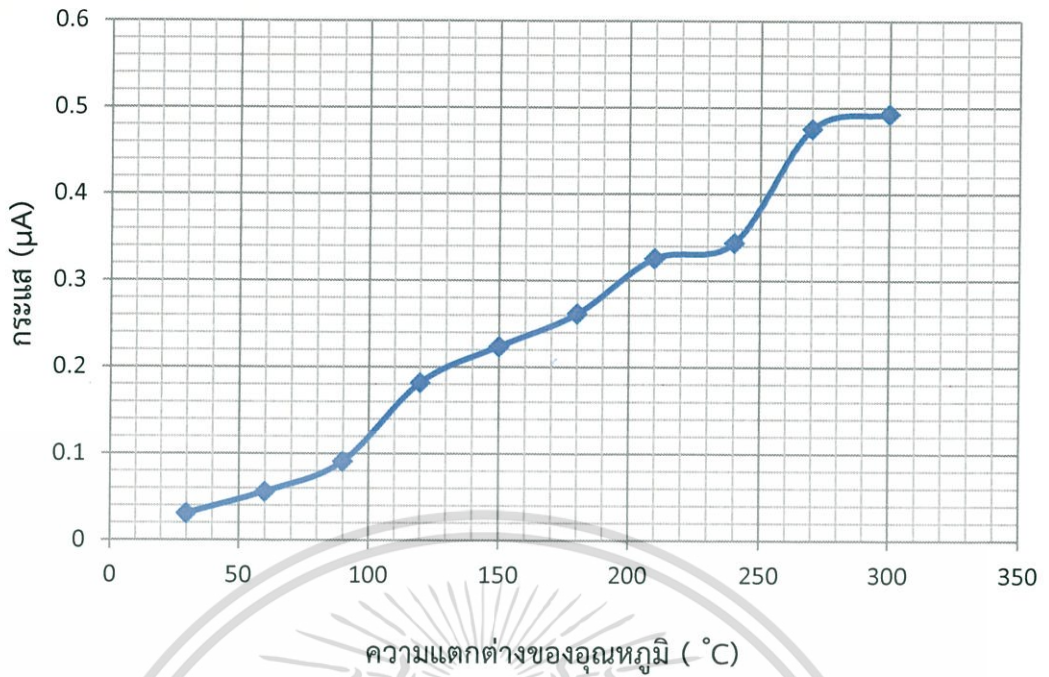
* ΔT (°C)	*T(Hot) (°C)	*T(Cold) (°C)	แรงดัน (V)	ความต้านทาน (M Ω)	กระแส (μA)	กำลัง (μW)
30	45	15	0.222	7.1	0.031	0.0069
60	76	16	0.264	8.43	0.056	0.0148
90	103	13	0.294	8.94	0.091	0.0268
120	133	13	0.311	10.66	0.182	0.0566
150	164	14	0.338	11.81	0.224	0.0757
180	194	14	0.362	12.04	0.262	0.0948
210	222	12	0.369	12.84	0.326	0.1203
240	256	16	0.378	12.93	0.344	0.1300
270	283	13	0.391	13.17	0.476	0.1861
300	318	18	0.395	13.28	0.493	0.1947

*หมายเหตุ ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างฝั่งร้อนกับฝั่งเย็น
 $T(\text{Hot})$ = อุณหภูมิฝั่งร้อน
 $T(\text{Cold})$ = อุณหภูมิฝั่งเย็น



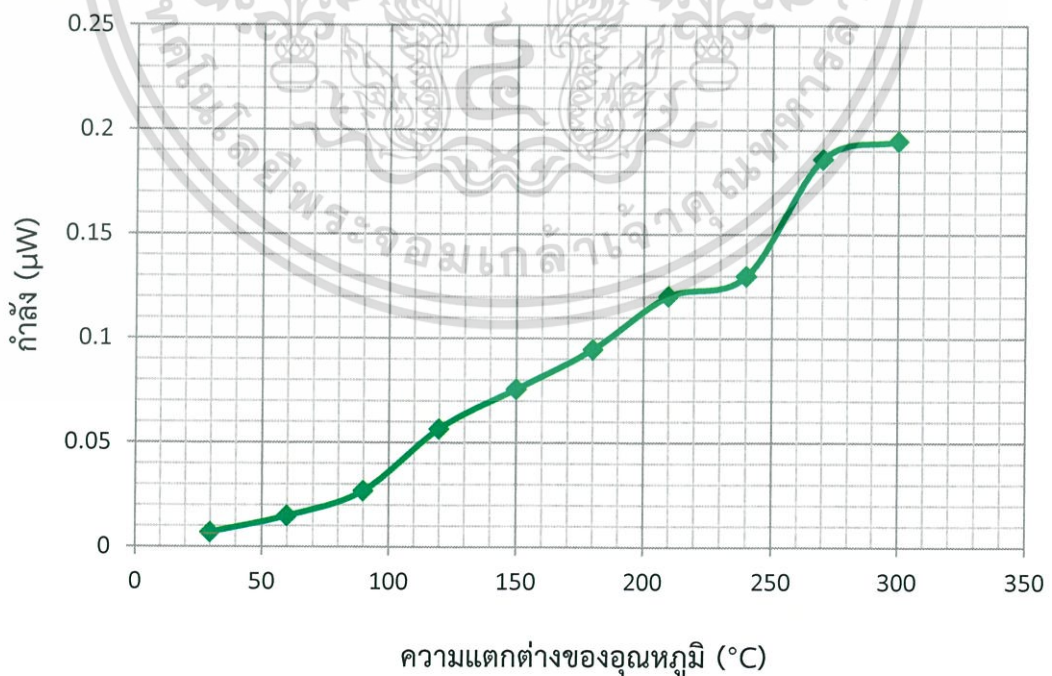
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) กับ แรงดัน (V) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 9 ตัว

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิจะแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้า เขียนแทนด้วย $\Delta T \propto \Delta V$



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ (°C) กับ กระแส (μA) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 9 ตัว

จากรูปที่ 4.9 พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้า เขียนแทนด้วย $\Delta T \propto A$



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ (°C) กับ กำลัง(μW) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 20 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 พบว่าจากความสัมพันธ์ $P = IV$ เมื่อแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เขียนแทนด้วย $\Delta T \propto P$

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 20 ตัว

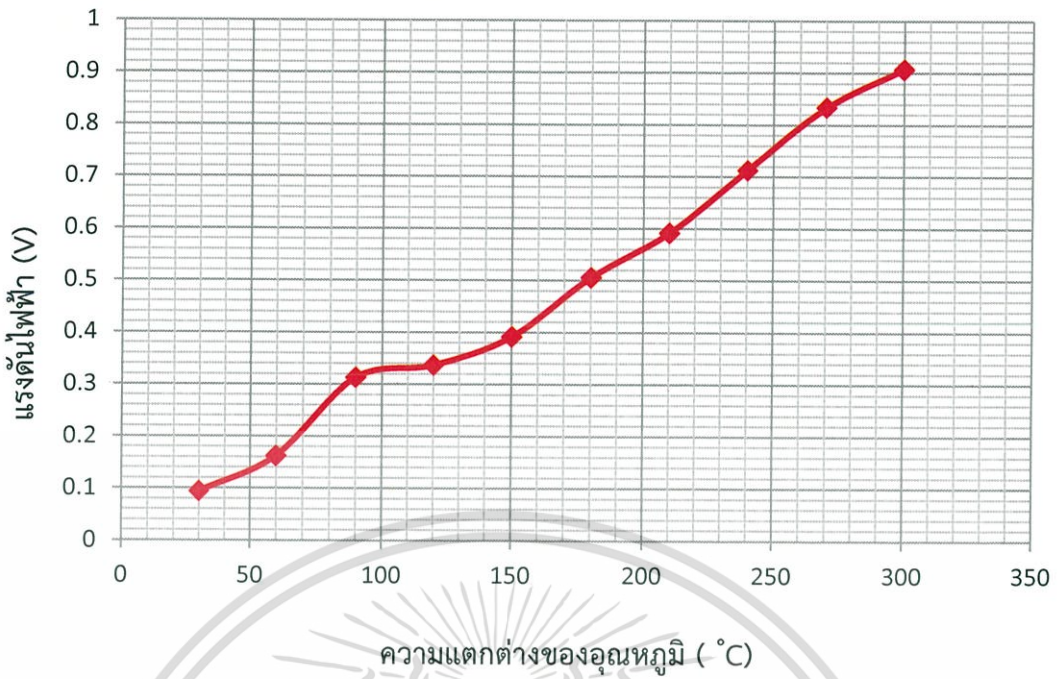
* ΔT (°C)	*T(Hot) (°C)	*T(Cold) (°C)	แรงดัน (V)	ความต้านทาน (k Ω)	กระแส (μA)	กำลัง (μW)
30	47	17	0.094	23	6.021	0.5660
60	74	14	0.162	47	10.85	1.7577
90	107	17	0.313	150	9.473	2.9650
120	135	15	0.337	182	21.611	7.2829
150	165	15	0.392	193	26.615	10.4331
180	196	16	0.506	223	34.098	17.2536
210	223	13	0.592	235	39.61	23.4491
240	257	17	0.713	241	40.78	29.0761
270	290	20	0.834	243	42.31	35.2865
300	321	21	0.907	257	43.84	39.7629

*หมายเหตุ ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิตั้งระหว่างฝั่งร้อนกับฝั่งเย็น

T(Hot) = อุณหภูมิฝั่งร้อน

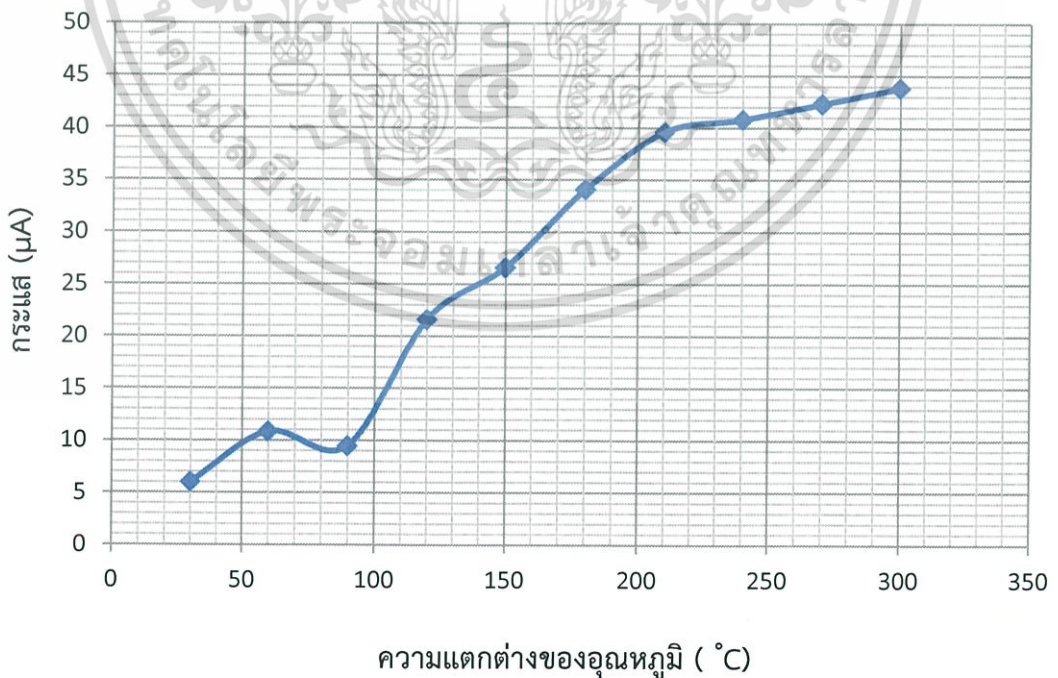
T(Cold) = อุณหภูมิฝั่งเย็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ (°C) กับ แรงดัน (V) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 20 คู่

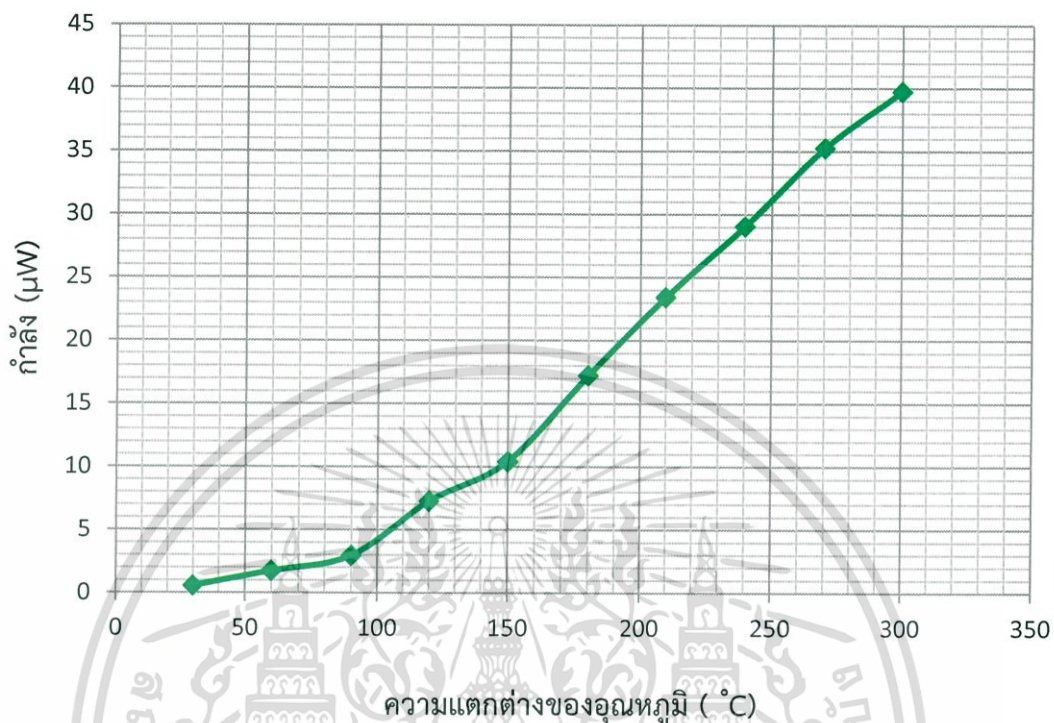
จากรูปที่ 4.11 พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิจะแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้า เขียนแทนด้วย $\Delta T \propto \Delta V$



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ (°C) กับ ความต้านทาน (μA) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 20 คู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.12 พบว่า ความแตกต่างของอุณหภูมิจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้า เขียนแทนด้วย $\Delta T \propto A$



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของอุณหภูมิ (°C) กับ กำลัง(μW) ของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 20 ตัว

จากรูปที่ 4.13 พบว่าจากความสัมพันธ์ $P = IV$ เมื่อแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความแตกต่างของอุณหภูมิ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้นด้วย เขียนแทนด้วย $\Delta T \propto P$

จากเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1, 9 และ 20 ตัว ตามลำดับ เมื่อดูแนวโน้มในรูปที่ 4.7, 4.10, และ 4.13 เกี่ยวกับกำลังทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล จะพบว่าเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 9 ตัว จะมีค่ากำลังทางไฟฟ้าน้อยกว่าเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 ตัว เนื่องมาจากค่าความต้านทานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 9 ตัว นั้นมีค่าสูงมาก เพราะเกิดจากการช่องว่างในการเชื่อมต่อระหว่างเม็ดสารกับสแตนด์เลสดังรูปที่ 4.14 จึงทำให้การถ่ายเทประจุได้น้อยมาก เมื่อเทียบกับเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 ตัว

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบคอปเปอร์โคเมียมไดออกไซด์เจือไอรอน 0.5 ($\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$) เพื่อนำมาสร้างเป็นต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยในงานวิจัยพิเศษนี้จะเริ่มจากการสังเคราะห์สารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างของผลึกด้วยเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) พบว่าผลึก $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ที่ผ่านการทำปฏิกิริยาของแข็ง (solid state reaction method) ที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส มีลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนที่สอดคล้องกับคอปเปอร์โคเมียมไดออกไซด์ (CuCrO_2) ปรากฏขึ้นที่มุมเลี้ยวเบน $2\theta = 18.4, 30.4, 35.6, 37.3, 43.5, 53.9, 57.6, 63.2$ และ 74.3 องศา ดังกราฟ โดยพีคการเลี้ยวเบนทั้งหมดตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ในชุดข้อมูลมาตรฐาน JCPDX หมายเลข 26-0509 และเมื่อดูจากกราฟจะเห็นได้ว่า เมื่อทำการเจือไอรอนไดรอกไซด์ (Fe_2O_3) เข้าไปทำให้เกิดพีค ที่มีลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนที่สอดคล้องกับ Fe_2O_3 ปรากฏขึ้นที่มุมเลี้ยวเบน $2\theta = 30.3, 35.7, 43.3, 53.7, 57.3$ และ 62.9 องศา โดยพีคการเลี้ยวเบนทั้งหมดตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ในชุดข้อมูลมาตรฐาน JCPDX หมายเลข 26-0509 หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคจากแท่งสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ได้ผลสรุปว่า ค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าหรือค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของแท่งสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิที่เพิ่มมากขึ้น และเมื่อดูจากกราฟจะเห็นว่าสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด P (P-Type) ที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ, ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และค่าสภาพนำไฟฟ้าเป็นส่วนกลับของสภาพต้านทานไฟฟ้าจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ได้รับอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้สภาพต้านทานไฟฟ้าลดลง ประจุไฟฟ้าจึงเคลื่อนที่ได้ง่าย และในขั้นตอนการวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบ $\text{CuCr}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก 1, 9 และ 20 ตัว ตามลำดับ จะแปรผันตรงกับความแตกต่างของอุณหภูมิ เขียนแทนด้วย $V, I, P \propto \Delta T$ และค่าของเทอร์โมอิเล็กทริก 9 ตัว จะมีค่ากำลังทางไฟฟ้าน้อยกว่าเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล 1 ตัว เพราะเกิดช่องว่างระหว่างรอยต่อของเม็ดสารกับสแตนเลส จึงทำให้ค่าความต้านทานมีค่าสูงมากกว่าปกติ ประจุไฟฟ้าจึงถ่ายเทได้น้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การเชื่อมต่อระหว่างเม็ดสารประกอบเทอร์โมอิเล็กทริกกับแผ่นสแตนเลส ควรให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการเชื่อมเป็นคนปฏิบัติและมีผู้วิจัยคอยควบคุมการเชื่อมต่อ เพื่อให้โมดูลเป็นไปตามแบบที่ผู้วิจัยต้องการ

2. การควบคุมผลต่างของอุณหภูมิจะได้ผลดีนั้นควรทำระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling Water) เพื่อให้ได้อุณหภูมิฝั่งเย็นมีความคงที่ในช่วงที่มีการบันทึกผล

3. ทุกกระบวนการควรระมัดระวังและสวมเครื่องป้องกัน เพื่อความปลอดภัย เช่น ถุงมือ ,ผ้าปิดจมูก เป็นต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยธวัช ชูชัย และสรอรรถ ธนูศิลป์, 2555, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 12-21
- [2] ทศวรรษ สีตะวัน. 2556. เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก. พิมพ์ครั้งที่ 2. สกลนคร : คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
- [3] นัฐพงษ์ แกมทับทิม, 2550, การศึกษาแนวทางการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำน้ำร้อนและผลิตไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริก, วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, 115 หน้า
- [4] วีระชัย เลิศสถาพรสุข, 2543, การศึกษาความเป็นไปได้ของการนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาใช้สำหรับระบบตู้วัดขึ้นพลังงานแสงอาทิตย์, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 108 หน้า
- [5] สุวัฒน์ กุลธนปริดา. 2552, วิศวกรรม การควบคุมอัตโนมัติ ส.ส.ท. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทยญี่ปุ่น).
- [6] Ander Killander, John C. Bass, 1996, "A Stove-Top Generator For Cold Areas", IEEE 15th International Conference on Thermoelectric, pp.390-393
- [7] F.A. Benko, F.P. Koffyberg, Mater. Res. Bull. 21 (1986) 753.
- [8] Rida Y.Nuwayhid, Alan Shinhadeh, Nesreen Ghaddar. "Devellopment and testing of a domestics woodstove thermoelectric Generator with natural convection cooling", Energy Conversion & Management, Vol. xx, No. x, pp. xxx-xxx., 2004.
- [9] http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2555/mat30355np_ch2.pdf
- [10] <http://km.signalschool.net/wp-content/uploads/2015/01/ch2.pdf>

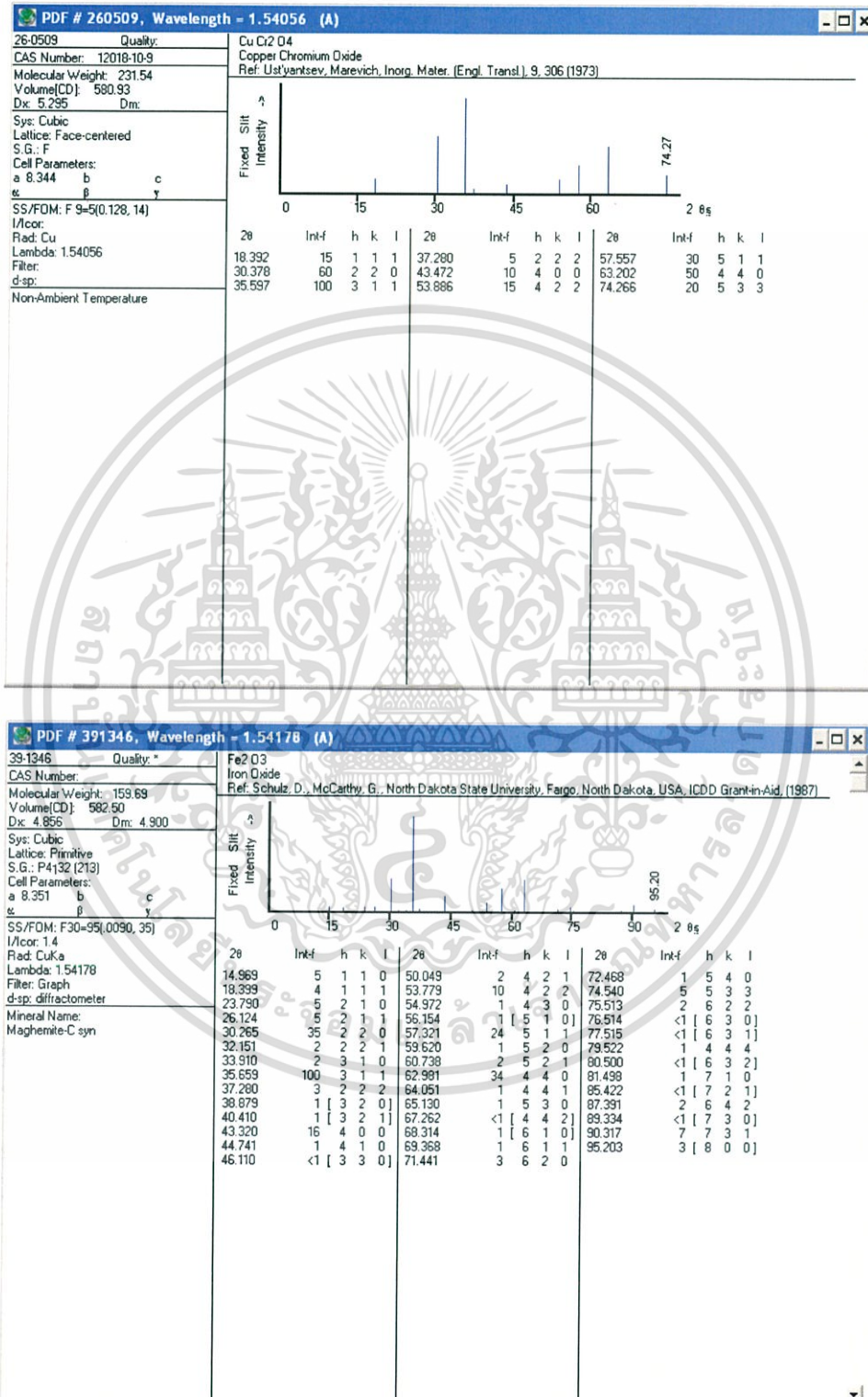
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้