

การสร้างเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เทคนิคโพรบร้อน
THE CONSTRUCTION OF SEEBECK COEFFICIENT MEASUREMENT
AT ROOM TEMPERATURE BY HOT-PROBE TECHNIQUE



นายกิตติภักษ์ ทองปอน
นางสาวเกศรินทร์ พวงแก้ว

วิชาโครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

การสร้างเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เทคนิคโพรบร้อน
THE CONSTRUCTION OF SEEBECK COEFFICIENT MEASUREMENT
AT ROOM TEMPERATURE BY HOT-PROBE TECHNIQUE



วิชาโครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

THE CONSTRUCTION OF SEEBECK COEFFICIENT MEASUREMENT
AT ROOM TEMPERATURE BY HOT-PROBE TECHNIQUE



Mr. KITTIPAT THONGPON
Ms. KEDSARIN PUANGKAEW

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภา **DEPARTMENT OF PHYSICS** อนุญาตให้นำไปใช้ประ โยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT' S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

หัวข้อโครงการพิเศษ การสร้างเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เทคนิค
โพรบร้อน

THE CONSTRUCTION OF SEEBECK COEFFICIENT MEASUREMENT
AT ROOM TEMPERATURE BY HOT-PROBE TECHNIQUE

ชื่อนักศึกษา นาย กิตติภักษ์ ทองปอน รหัสนักศึกษา 54050484
นางสาว เกศรินทร์ พวงแก้ว รหัสนักศึกษา 54050487

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์

ภาควิชา ฟิสิกส์

ปีการศึกษา 2557

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร. อาภาภรณ์ สุกุลการะเวก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ฟิสิกส์
ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2557

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์	ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์
ดร.กฤษกร ไส้เจริญรัตน์	กฤษกร ไส้เจริญรัตน์
ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข	วิฑูรย์ ยินดีสุข
ดร.อาภาภรณ์ สุกุลการะเวก	อาภาภรณ์ สุกุลการะเวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำสิ่งพิมพ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสร้างเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เทคนิคโพรบร้อน		
ชื่อนักศึกษา	นาย กิตติภักษ์	ทองปอน	รหัสนักศึกษา 54050484
	นางสาว เกศรินทร์	พวงแก้ว	รหัสนักศึกษา 54050487
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต ฟิสิกส์ประยุกต์		
ภาควิชา	ฟิสิกส์		
ปีการศึกษา	2557		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก		

บทคัดย่อ

ในโครงการพิเศษนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้การประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูลผ่านโปรแกรมมาตรฐาน LabVIEW ในการวัดค่าใช้สารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1100 °C และ 1150 °C ตามลำดับ ทำการวัดและเก็บข้อมูลจำนวน 30 ค่าต่อสาร 1 ชิ้น จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลทางสถิติผ่านโปรแกรม SPSS ผลที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐาน (ZEM-3) พบว่าค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดมีความสอดคล้องกัน ซึ่งค่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1100 °C มีค่าเท่ากับ 463 $\mu\text{V/K}$ และค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1150 °C มีค่าเท่ากับ 513 $\mu\text{V/K}$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคของเรานั้นเป็นที่เชื่อถือได้

คำสำคัญ : สัมประสิทธิ์ซีเบค , เทอร์โมอิเล็กทริก , $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	THE CONSTRUCTION OF SEEBECK COEFFICIENT MEASUREMENT AT ROOM TEMPERATURE BY HOT-PROBE TECHNIQUE		
Students	Mr. KITTIPAT	THONGPON	Student ID 54050484
	Ms. KEDSARIN	PUANGKAEW	Student ID 54050487
Degree	Bachelor of Science in Applied Physics		
Department	Physics		
Academic Year	2014		
Advisor	Dr. Apaporn	Sakulkalavek	

ABSTRACT

This special project studied designed and construction of Seebeck coefficient measurement at room temperature. The processing and storage of data via standard LabVIEW. To measure the sample $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ sintered at 1100 °C and 1150 °C respectively. Measure and record the total 30 values of each piece. Then put all the information into a statistical analysis program SPSS. The results of the analysis when compared with values obtained from ZEM-3 found that the values obtained by measuring are consistency. The average value of the measurement of the sample $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ sintered at 1100 °C is equal to 463 $\mu\text{V}/\text{K}$ and The average value of the measurement of the sample $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ sintered at 1150 °C is equal to 513 $\mu\text{V}/\text{K}$, which shows that our Seebeck coefficient measurement are reliable.

Keywords : Seebeck coefficient , thermoelectric , $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

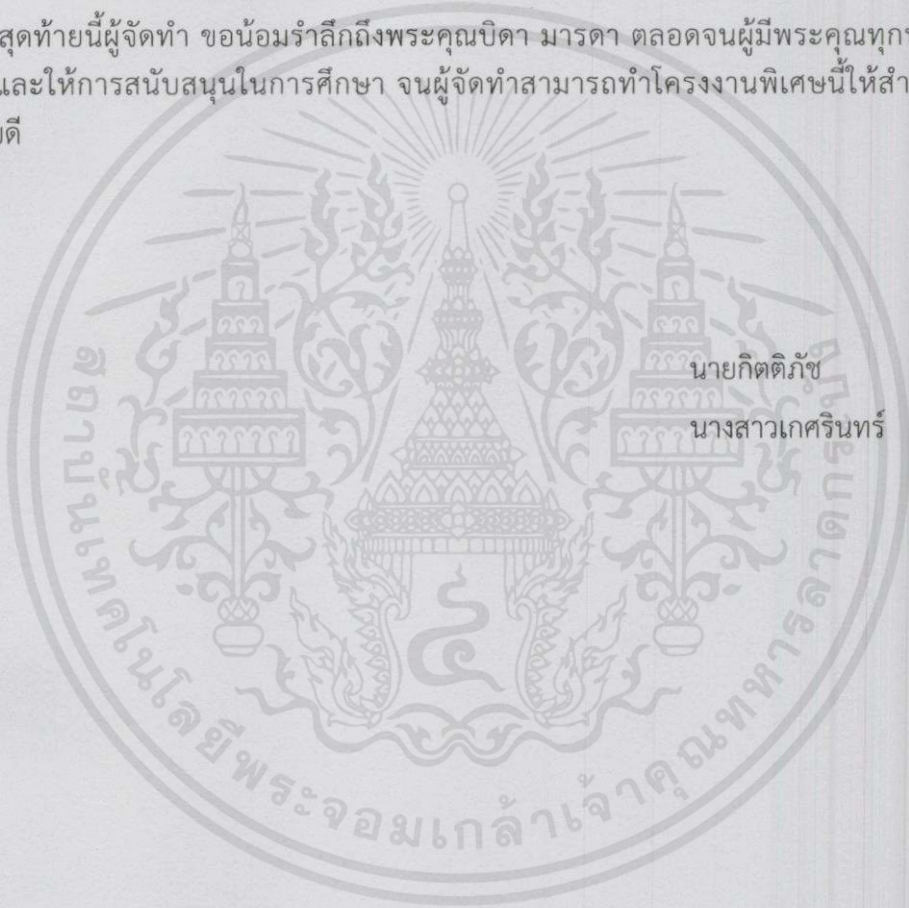
กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.อาภาภรณ์ สกุกการะเวก อาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษฉบับนี้ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด รวมไปถึงเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา และตรวจแก้โครงการพิเศษฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตนักศึกษาสาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือผู้ศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในการศึกษา จนผู้จัดทำสามารถทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



นายกิตติภักษ์

ทองปอน

นางสาวเกศรินทร์

พวงแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.4 ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก	4
2.2 ปรากฏการณ์ซีเบค	4
2.3 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	6
2.3.1 โครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	6
2.3.2 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	7
2.3.3 ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	8
2.4 วิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค	9
2.5 เทอร์โมคัปเปิล	11
2.5.1 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	13
2.5.2 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน	14
2.6 เครื่อง DMM	16
2.7 โปรแกรม LabVIEW	17
2.7.1 Front Panel	19
2.7.2 Block Diagram	20
2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อการศึกษานี้	21
2.8.1 ประเภทของสมมติฐานและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป	21
2.8.2 วิธีการทดสอบสมมติฐาน	22

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8.3 แหล่งของสมมติฐาน	24
2.8.4 ลักษณะของสมมติฐานที่ดี	24
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	26
3.1.1 อุปกรณ์สำหรับวางชิ้นงาน	26
3.1.2 การประกอบอุปกรณ์สำหรับวางชิ้นงาน	27
3.1.3 เครื่องมือวัดความต่างศักย์ และอุณหภูมิ	27
3.1.4 โปรแกรม LabView	28
3.1.5 โปรแกรม SPSS	32
3.2 ขั้นตอนการทดสอบ	35
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล	
4.1 สารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ที่ใช้ในการทดลอง	38
4.2 วิธีการใช้โปรแกรม และการอ่านค่าต่างๆของโปรแกรม LabVIEW	39
4.3 ผลของการศึกษาหาค่ากระแสและค่าความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง	42
4.4 ผลของการศึกษาการบอกชนิดของสารกึ่งตัวนำและการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดงจากเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบค	44
4.5 ผลของการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1100 °C และ $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1150 °C	46
4.5.1 $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1100 °C	47
4.5.2 $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1150 °C	48
4.6 การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ได้จากสารตัวอย่าง	49
4.6.1 $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1100 °C	49
4.6.2 $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1150 °C	50
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลวิจัย	52
5.2 ข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน	3
4.1 แสดงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1100 °C	47
4.2 แสดงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1150 °C	48



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ปრაกฏการณ์ซีเบค	1
2.1 วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบค	4
2.2 ภาพการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำที่มีอุณหภูมิสองด้านไม่เท่ากัน	5
2.3 โครงสร้างภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล	6
2.4 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEC	7
2.5 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEG	8
2.6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกกับการประยุกต์ใช้งาน	9
2.7 เครื่อง ZEM-3	10
2.8 ไดอะแกรมหลักการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค	11
2.9 วงจรของเทอร์โมคัปเปิล	12
2.10 แสดงผลของซีเบค (ก) กระแสในวงจรเปิด (ข) แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมวงจรเปิด	12
2.11 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล	13
2.12 เครื่อง DMM 2100	16
2.13 แสดงการเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW 2011	18
2.14 ตัวอย่าง Front Panel ของ LabVIEW	20
2.15 ตัวอย่าง Block Diagram	21
3.1 อุปกรณ์สำหรับวางชิ้นงาน	26
3.2 การประกอบอุปกรณ์สำหรับวางชิ้นงาน	27
3.3 เครื่องมือวัดความต่างศักย์ และอุณหภูมิ	28
3.4 โปรแกรม LabView	28
3.5 การเขียนโปรแกรม LABVIEW ควบคุมการวัดค่าความต่างศักย์และอุณหภูมิ	29
3.6 การสร้างและตั้งชื่อตาราง	29
3.7 การวัดและอ่านค่าความต่างศักย์ (Volt)	30
3.8 การวัดและอ่านค่าอุณหภูมิ แล้วแสดงผลบนกราฟ	30
3.9 การนำค่าอุณหภูมิด้านร้อนลบค่าอุณหภูมิด้านเย็น (Delta Temp)	30
3.10 การนำค่าความต่างศักย์และอุณหภูมิแสดงบนตาราง	31
3.11 การสั่งโปรแกรมให้ทำงานเป็นรูป	31
3.12 การตั้งเวลาในการอ่านและวัดค่า	31
3.13 การนำข้อมูลที่วัดและอ่านค่าได้บันทึกไว้ในรูปแบบ Text file	32
3.14 การปรับค่าความถี่ในการวัดและบันทึกข้อมูล	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทางสนธิสัญญาฉบับนี้ให้คิดเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และห้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 โปรแกรม SPSS	32
3.16 การกำหนด Variable view	33
3.17 การกรอกข้อมูลใน Data View	33
3.18 การเลือกใช้คำสั่ง One - samples T Test	34
3.19 การใส่ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ต้องการทดสอบ	34
3.20 ตัวอย่างการแปลผล	35
3.21 แผนผังของระบบการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค	36
3.22 แผนผังการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	37
4.1 สารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ที่ใช้ในการทดลอง	38
4.2 โปรแกรม LABVIEW สำหรับการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค	39
4.3 การเทียบสายวัดความต่างศักย์เข้ากับ DMM	40
4.4 การเทียบสายวัดความต่างศักย์เข้ากับ DMM	40
4.5 การวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคบนสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$	41
4.6 ตารางแสดงค่าทั้งหมดที่วัดได้ในโปรแกรม Microsoft Office Excel	42
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเมื่อมีการจ่ายกระแสค่าต่างๆกับเวลา	43
4.8 กราฟแสดงผลการหาค่าความถี่ที่เหมาะสมต่อการทดลองที่ความถี่ (a) 4 Hz (b) 2 Hz	43
4.9 กราฟแสดงผลการหาค่าความถี่ที่เหมาะสมต่อการทดลองที่ความถี่ 1 Hz	44
4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบสารกึ่งตัวนำ Bi_2Te_3 เพื่อบอกชนิด	45
4.11 สัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดง	45
4.12 ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติของสารตัวอย่าง เมาที่อุณหภูมิ 1100 °C	49
4.13 ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติของสารตัวอย่าง เมาที่อุณหภูมิ 1150 °C	50

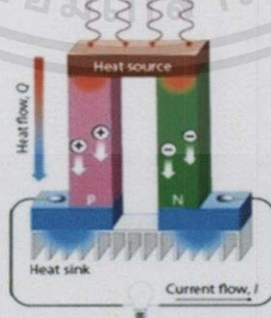
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของการวิจัย

ปัจจุบันพลังงานเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นสำหรับมนุษย์ในการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันและการพัฒนาอุตสาหกรรมของประเทศ พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยได้มาจากการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติเป็นหลัก และเสริมด้วยการเผาไหม้ถ่านหินและน้ำมัน มาใช้เป็นพลังงานในการดำรงชีวิตอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลานานจนถึงปัจจุบัน โดยที่แหล่งพลังงานเหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานสิ้นเปลืองและทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโลกอย่างมากมาย ทั้งด้านปัญหามลภาวะและการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ในยุควิกฤตพลังงานและสภาวะโลกร้อนนี้จึงได้มีการตื่นตัวในการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล การลดก๊าซเรือนกระจก และให้ความสำคัญในด้านการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency) ดังนั้น จึงมีการแก้ปัญหาด้วยการแสวงหาและพัฒนาแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ที่สะอาด ปลอดภัย ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานชีวมวล เป็นต้น โดยพลังงานความร้อนได้ถูกนำมาใช้เกือบทุกกิจกรรมของมนุษย์ เช่น กระบวนการผลิตในโรงงาน อุตสาหกรรม ในเครื่องยนต์รถยนต์ การขนส่ง และอื่นๆ หลังจากความร้อนถูกนำมาใช้ในกระบวนการต่างๆ แล้ว ความร้อนบางส่วนที่เหลือหรือพลังงานความร้อนสูญเสียเปล่าจะถูกปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์โลกร้อน ซึ่งถ้าเราสามารถนำความร้อนเหลือทิ้งเหล่านี้มาใช้ได้ อีก เราก็จะสามารถประหยัดเชื้อเพลิงหลักที่ใช้อยู่ลงได้อีกไม่น้อย แม้ไม่สามารถกู้พลังงานที่สูญเสียไปในก๊าซเหลือทิ้งนี้กลับคืนมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตาม ก็สามารถนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้มากมายทีเดียว เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) จึงถูกใช้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพราะสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ปล่อยทิ้งสู่สิ่งแวดล้อมมาเป็นไฟฟ้าได้โดยอาศัยปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) ถูกค้นพบโดย โทมัส โจแฮนน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมัน



Seebeck effect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่เอกรังศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงรูปที่ 1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค

ที่พบว่า เมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างรอยต่อของตัวนำสองชนิดจะทำให้เกิดไฟฟ้าไหลในวงจร

ในการแปรผันพลังงานความร้อนมาเป็นพลังงานไฟฟ้าที่จะให้ประสิทธิภาพสูงๆนั้นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจะต้องมีค่า ZT (Dimensionless figure of merits) ที่สูง ซึ่งต้องมีคุณสมบัติ 3 ประการ

1. พลังงานความร้อนของวัสดุนั้นต้องถูกขนย้ายด้วยประจุไฟฟ้าให้มากที่สุด ซึ่งก็ต้องมีค่าซีเบ็คที่สูงนั่นเอง
2. วัสดุนั้นต้องมีแรงต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำ ซึ่งก็คือเป็นสื่อนำไฟฟ้าที่ดี มิเช่นนั้นพลังงานกระแสไฟฟ้าก็จะสูญเสียและเปลี่ยนกลับเป็นความร้อน
3. วัสดุนั้นต้องเป็นสื่อนำความร้อนที่ไม่ดี

โดยถ้าเราพิจารณาจากความสัมพันธ์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์พื้นฐานหลักของวัสดุคือ

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{K} \dots\dots\dots (1)$$

เมื่อ S, σ , K และ T คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค สภาพนำไฟฟ้า สภาพนำความร้อน และอุณหภูมิสัมบูรณ์ ตามลำดับ จากสมการ (1) จะเห็นว่าในบรรดาตัวแปรเหล่านี้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค (S) คือตัวแปรสำคัญโดยที่ S ขึ้นกับอุณหภูมิ ดังนั้นสัมประสิทธิ์ซีเบ็คจึงมักถูกนำมาใช้ในการเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานด้านเทอร์โมอิเล็กทริก และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารกึ่งตัวนำที่จะนำมาใช้สร้างเทอร์โมอิเล็กทริก โดยทั่วไปจะวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คโดยใช้เครื่องมือ ZEM-3 เป็นเครื่องวัดมาตรฐาน แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายด้วยเครื่องมือดังกล่าวมีราคาแพงในงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คเบื้องต้นเพื่อใช้ในห้องปฏิบัติการ ซึ่งสามารถวัดค่าได้ตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิห้อง เพื่อความสะดวก รวดเร็ว ประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายก่อนที่นำชิ้นงานไปวัดที่เครื่อง ZEM-3 ที่อุณหภูมิสูงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีและหลักการของการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวัสดุของเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อใช้ในการสร้างอุปกรณ์วัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค
3. เพื่อออกแบบระบบเครื่องวัดคุณสมบัติของชิ้นงานสำหรับการตรวจวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้

4. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างโปรแกรม LabVIEW สำหรับใช้ในการวัดค่าอุณหภูมิและ

ไม่อาจนำแรงดันไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาหลักการวิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคและคุณสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก
2. ออกแบบและสร้างระบบเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเบื้องต้นของชิ้นงาน

1.4 ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและขั้นตอนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินการ	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูล											
2. ศึกษาและเขียนโปรแกรม LabVIEW											
3. การวัดสมบัติทางโครงสร้างและสมบัติทางค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเบื้องต้น											
4. การวิเคราะห์ผล											
5. สรุป											

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจทฤษฎี ความเป็นมาและหลักการของการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค
2. เข้าใจทฤษฎีหลักการของเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก และวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก
3. สามารถออกแบบเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคพื้นฐานที่มีการวัดค่าได้อย่างถูกต้อง
4. สามารถออกแบบและเขียนโปรแกรม LabVIEW สำหรับควบคุมระบบการวัดอุณหภูมิและความต่างศักย์ไฟฟ้าได้

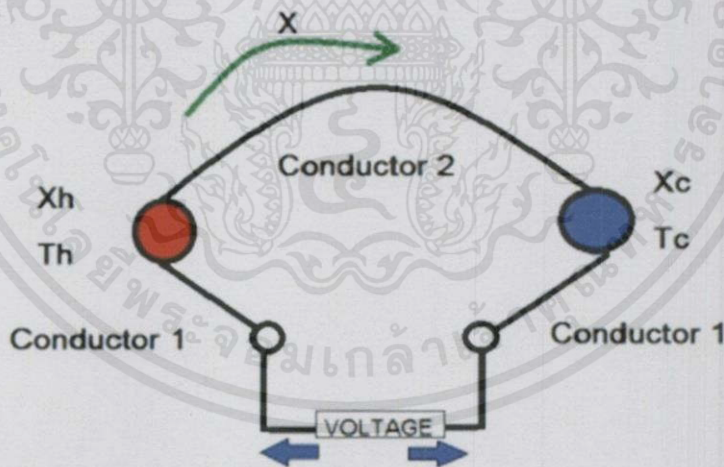
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect)

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric effect) เป็นปรากฏการณ์การเปลี่ยนรูประหว่างพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกเริ่มต้นขึ้นในปี ค.ศ.1821 โดย Thomas Johann Seebeck นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันค้นพบว่า เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณรอยต่อของตัวนำ (Conductor) สองชนิด จะเกิดแรงดันและเกิดกระแสไฟฟ้าไหลภายในตัวนำเมื่อเป็นวงจรปิด ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) ต่อมาในปี ค.ศ. 1834 Jean Chales Athanase Peltier นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสค้นพบว่า เมื่อนำตัวนำสองชนิดมาต่อกันแล้วทำการจ่ายกระแสให้ไหลผ่านตัวนำ ที่รอยต่อระหว่างตัวนำทั้งสองจะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเกิดขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)

2.2 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect)



รูปที่ 2.1 วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบค

จากรูปที่ 2.1 เส้นลวดโลหะสองชนิด (Conductor 1 และ Conductor 2) ถูกเชื่อมต่อโดยจุดเชื่อมต่อ X_h ซึ่งมีอุณหภูมิสูง (T_h) และจุด X_c ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ (T_c) พาหะไฟฟ้า (Carrier) ในตัวนำจะมีทิศทางการแพร่ (diffusion) ไปในทิศทางเดียวกันกับการถ่ายเทอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ตามทิศทาง x ที่บริเวณฝั่งด้านร้อนพาหะจะมีพลังงานสูง จึงพยายามแพร่ไปหาด้านที่เย็นกว่าเพื่อลดพลังงานลงทำให้พาหะไฟฟ้าอยู่ในภาวะสมดุล เนื่องจากลวดตัวนำ

ทั้งสองเป็นโลหะต่างชนิดกันจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ (S) ไม่เท่ากัน และทำให้เกิดแรงดันคร่อมจุดเชื่อมต่อทั้งสอง สมการ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ต่างกันของจุดต่อทั้งสองกับแรงดันที่เกิดขึ้น

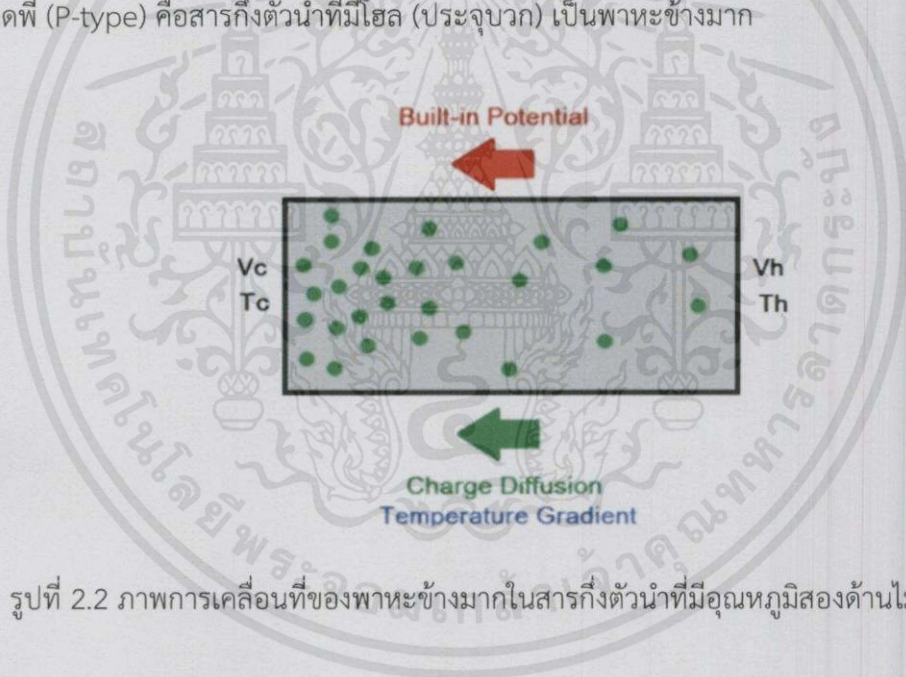
$$V = (S_1 - S_2)\Delta T \quad (2.1)$$

V = แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างจุดต่อทั้งสอง (V)

S = สัมประสิทธิ์ซีเบคหรือค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของโลหะชนิดต่างๆ (V/K)

ΔT = คือผลต่างของอุณหภูมิที่จุดต่อทั้งสอง (K)

ค่า S จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ อุณหภูมิ โครงสร้างอะตอม และชนิดของตัวนำ ซึ่งหากใช้ตัวนำต่างชนิดจะได้ค่า S ไม่เท่ากันทำให้ V ที่ได้จะมีค่าไม่เป็นศูนย์ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ในยุคปัจจุบันจะใช้สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ที่ผ่านกระบวนการเจือ (Doping) เพื่อให้ได้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) คือสารกึ่งตัวนำที่มีอิเล็กตรอน (ประจุลบ) เป็นพาหะข้างมาก และชนิดพี (P-type) คือสารกึ่งตัวนำที่มีโฮล (ประจุบวก) เป็นพาหะข้างมาก



รูปที่ 2.2 ภาพการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำที่มีอุณหภูมิสองด้านไม่เท่ากัน

พาหะข้างมากของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดจะมีทิศทางการแพร่ (diffusion) เป็นไปตามรูปที่ 2.2 คือพาหะมีการไหลตามทิศทางการถ่ายเทอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ การแพร่ของพาหะข้างมากก็จะเกิดการไหลของกระแส กรณีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอน กระแสก็จะไหลในทิศสวนทางกับการแพร่ในรูปที่ 2.2 ไหลจากซ้ายไปขวา และถ้าหากพาหะข้างมากเป็นโฮล กระแสที่เกิดขึ้นจะไหลทิศทางเดียวกันกับทางแพร่ ในรูปที่ 2.2 จะไหลจากขวาไปซ้าย และแรงดัน (Built-in potential) ที่เกิดขึ้นระหว่างด้านทั้งสองที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันสามารถอธิบายเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

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

V_h = แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากด้านร้อน (V)

V_c = แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากด้านเย็น (V)

T_h = อุณหภูมิด้านร้อน (K)

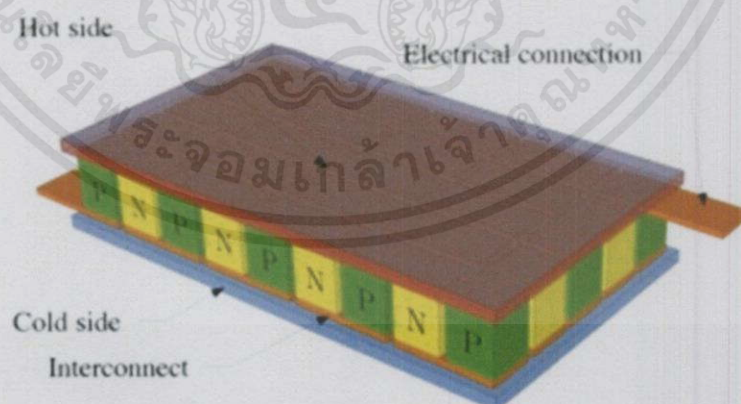
T_c = อุณหภูมิด้านเย็น หน่วย K

S = Seebeck Coefficient (V/K)

2.3 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล (Thermoelectric Module)

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลจัดเป็นอุปกรณ์ที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ทำความเย็น (thermoelectric cooler) หรือถูกนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า (thermoelectric generator) วัสดุที่จะนำมาใช้เป็นอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ตื้นนั้น ตามหลักควรจะเป็นวัสดุที่มีค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิที่สูง หรือมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาก ซึ่งเป็นวัสดุประเภทโลหะกับสารกึ่งตัวนำเนื่องจากมีประจุไฟฟ้าอิสระมาก ปัจจุบันเทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นยังถือว่ามีประสิทธิภาพ (efficiency) ที่ต่ำมาก และถือว่าต่ำที่สุดในบรรดาวิธีการเปลี่ยนรูปพลังงานจากความร้อนทั้งหมด แต่เนื่องจากมีข้อเด่นในเรื่องของขนาดที่เล็กมากและไม่มีชิ้นส่วนขยับทำให้ปราศจากมลพิษทางเสียง จึงได้มีกลุ่มวิจัยส่วนหนึ่งยังคงศึกษาเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้ดียิ่งขึ้น

2.3.1 โครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล



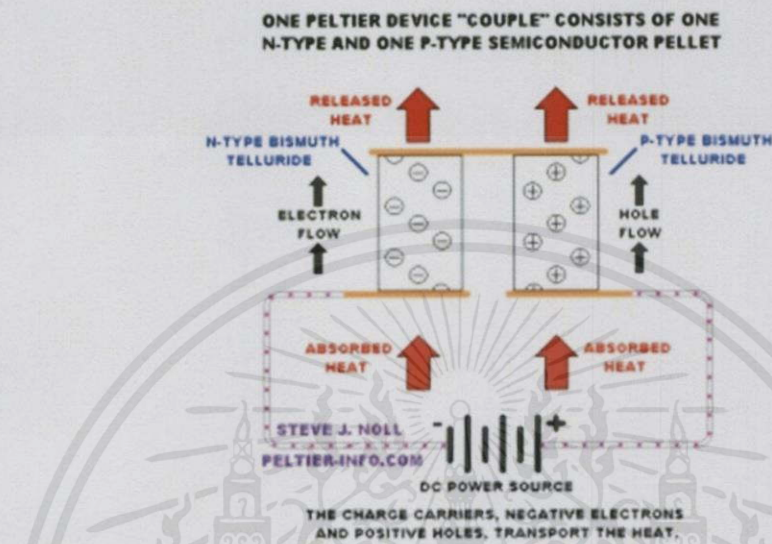
รูปที่ 2.3 โครงสร้างภายในของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีจะอยู่แบบเรียงกันเป็นคู่ มีโลหะนำไฟฟ้าเป็นจุดเชื่อม (Interconnect) ระหว่างสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิด

2.3.2 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนั้นสามารถทำงานได้สองแบบดังนี้

- Thermoelectric cooler (TEC)

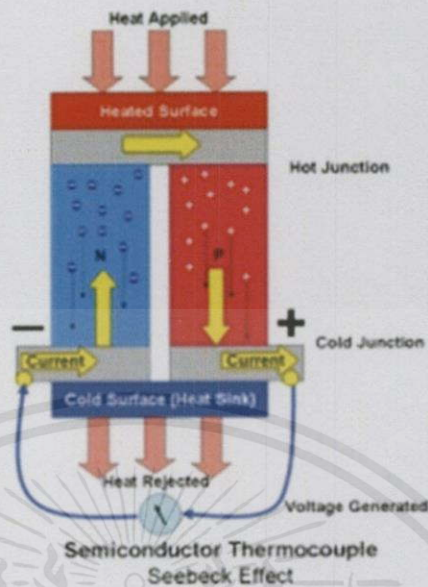


รูปที่ 2.4 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEC

การทำงานของโมดูลนี้พัฒนามาจากปรากฏการณ์เพลเทียร์ จากรูปที่ 2.4 เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโมดูลซึ่งยกมาอธิบายเพียงหนึ่งคู่พี-เอ็นในลักษณะนี้จะเป็นการลดพลังงานของพาหะข้างมากของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิด กล่าวคือพาหะข้างมากของทั้งชนิดเอ็นและพีจะแพร่จากด้านล่าง (Cool Junction) พร้อมกับดูดความร้อนขึ้นมาด้านบน (Hot Junction) ทำให้ด้านล่างจะมีอุณหภูมิต่ำ และด้านบนจะมีอุณหภูมิสูง โดยที่กระแสจะไหลออกจากขั้วบวกของแหล่งจ่าย ไหลทิศทางเดียวกันกับพาหะข้างมากในชนิดพีหรือโฮล ผ่านโลหะตัวนำเข้าไปไหลสวนทางกับทิศทางกับพาหะข้างมากในชนิดเอ็นหรืออิเล็กตรอน แล้วเข้าขั้วลบของแหล่งจ่ายในลักษณะทิศทวนเข็มนาฬิกา หากกลับข้างแหล่งจ่ายทิศของกระแสจะกลับข้าง ด้านร้อนจะอยู่ด้านล่าง และด้านเย็นก็จะอยู่ด้านบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Thermoelectric generator (TEG)



รูปที่ 2.5 การทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลในรูปแบบ TEG

โหมตผลิตไฟฟ้าจะเป็นโหมตที่ใช้ความร้อนไปผลิตกระแสไฟฟ้าจากหลักของปรากฏการณ์ซีเบค โหมตนี้จะทำงานเมื่ออุณหภูมิของทั้งสองข้างของโมดูลเกิดความแตกต่างกัน ยกตัวอย่างการทำงาน จากภาพที่ 2.5 จะให้ความร้อนที่ด้านบน และระบายความร้อนออกที่ด้านล่าง ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิโดยที่ด้านบนมีอุณหภูมิสูงกว่าจะทำให้พาหะข้างมากบริเวณนั้นมีพลังงานสูงตามไปด้วย พาหะข้างมากจะแพร่ลงมาด้านล่างที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยพาหะข้างมากอิเล็กตรอนของชนิดเอ็นจะทำให้เกิดกระแสในทิศสวนทางขึ้นด้านบน และพาหะโฮลของชนิดพีจะทำให้เกิดกระแสทิศเดียวกันลงด้านล่าง เมื่อสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและพีมีโลหะที่นำไฟฟ้ามาเชื่อมเป็นจุดต่อและทำให้เป็นวงจรปิดกระแสจะไหลได้ครบวงจรในทิศตามเข็มนาฬิกา

หากทำการสลับข้างด้านที่ให้ความร้อนเป็นด้านล่างและด้านระบายความร้อนเป็นด้านบนจะทำให้กระแสไหลกลับทิศทวนเข็มนาฬิกา

2.3.3 ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

ซึ่งประสิทธิภาพของวัสดุพิจารณาจากค่า Figure of merit (Z) โดยมีนิยามคือ

$$Z = \frac{S^2 \sigma}{k} \quad (2.3)$$

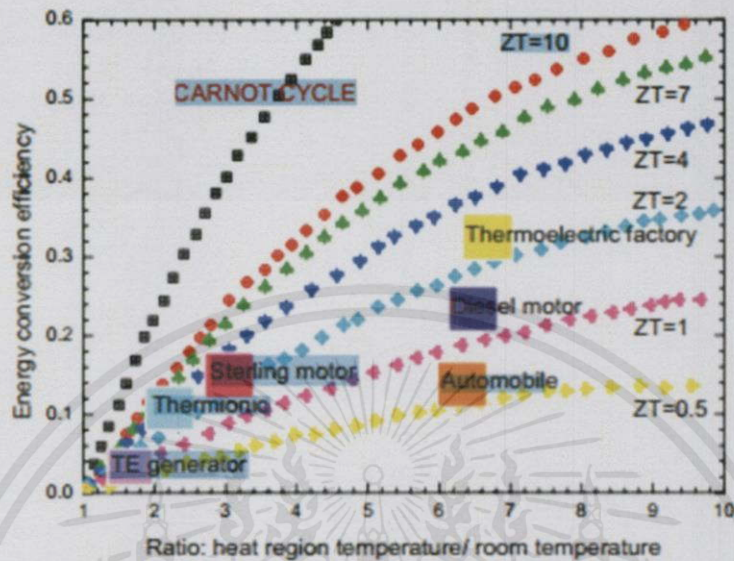
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยที่ S คือสัมประสิทธิ์ของซีเบค (Seebeck coefficient)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

σ คือสภาพนำไฟฟ้า (electrical conductivity) และ

k คือสภาพนำความร้อน (Thermal conductivity)

หรือพิจารณาได้จากผลคูณของค่า Z กับค่าอุณหภูมิเฉลี่ย (T) ขณะทำงาน คือ ZT เรียกว่า “Dimensionless figure of merit” ซึ่งเราสามารถนำค่า ZT ระดับค่าต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้ได้ ดังรูป



รูปที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกกับการประยุกต์ใช้งาน

2.4 วิธีการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

เทคนิคการตรวจวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ใช้กันอยู่ทั่วไปคือวิธีแบบ Differential และแบบ Integral ในวิธีแบบ Differential ได้จากการวัด dT หลายๆค่า และได้ dV ที่สอดคล้องที่อุณหภูมินั้นๆ ความชันของเส้นตรง $dT-dV$ ถูกกำหนดให้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่อุณหภูมินั้นๆ วิธีแบบ Differential ตั้งเดิมนั้นมีการดำเนินการภายใต้เงื่อนไขสภาวะคงตัวซึ่งมีการใช้เวลาเป็นอย่างมากเนื่องจากการปรับค่า dT ทีละขั้นตอน วิธีการสภาวะกึ่งคงตัวจึงได้ถูกพัฒนาขึ้น และมีความรวดเร็วกว่าวิธีการสภาวะคงตัวเนื่องจากการกำจัดกระบวนการ dT คงที่ออกไป เมื่อไม่นานมานี้ Ponnambalam et al. ได้มีการใช้วิธีการทดสอบใหม่ในการ realization วิธีการสภาวะกึ่งคงตัว และมีการตรวจวัดสภาพต้านทานร่วมกับสัมประสิทธิ์ซีเบค อัตราการให้ความร้อนที่ $2.5-3^{\circ}\text{C}$ ถูกเลือกใช้ในวิธีการนี้เพื่อคงค่าคลาดเคลื่อนเนื่องจากการเบี่ยงเบนของอุณหภูมิในระหว่างที่ทำการเก็บข้อมูลที่อุณหภูมิการตรวจวัดใดๆ ให้มีค่าเล็กน้อย อย่างไรก็ตามกระบวนการคงอุณหภูมิในการตรวจวัดของวิธีการสภาวะกึ่งคงตัวนั้นยังคงมีการใช้เวลานาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีความจำเป็นต้องตรวจวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคที่อุณหภูมิต่างๆ ในวิธีการ Integral ที่ปลายด้านหนึ่งของตัวอย่างถูกกำหนดไว้ที่อุณหภูมิคงที่ และปลายอีกด้านหนึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงที่สนใจอย่างต่อเนื่อง สัมประสิทธิ์ซีเบคที่อุณหภูมิที่เลือกได้จากความชันของกราฟความต่างศักย์ซีเบคเทียบ

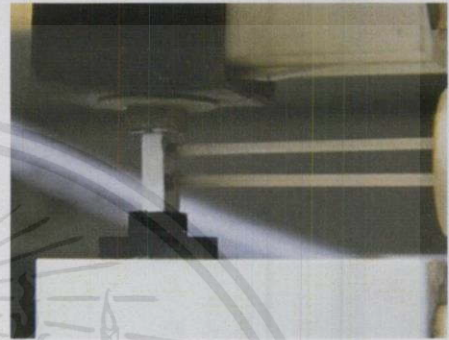
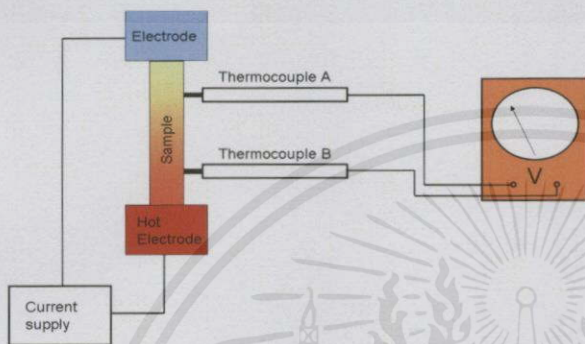
กับอุณหภูมิ และ Wood et al. ได้ทำการตรวจวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคจนถึงอุณหภูมิ 1200 K ด้วยวิธีการนี้ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดอิทธิพลของแรงดันลอคภายในวงจร



รูปที่ 2.7 เครื่อง ZEM-3

เครื่อง ZEM-3 เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดค่าอัตราการผลิตไฟฟ้าด้วยอุณหภูมิของวัสดุแต่ละชนิด (Seebeck Coefficient) และค่าความต้านทานทางไฟฟ้า (Electric Resistance, Resistivity) ควบคุมการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์ โดยมีหลักในการวัดคือ จะทำให้ปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างมีอุณหภูมิแตกต่างกันไม่มาก จากนั้นจะใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดความต่างศักย์ โดยหลักการของเทอร์โมคัปเปิลก็คือ จะวัดผลต่างอุณหภูมิออกมาเป็นผลต่างความต่างศักย์ เมื่อเราได้ผลต่างของความต่างศักย์ ก็จะสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคได้ ซึ่งก็คือ $\frac{\Delta V}{\Delta T}$ เมื่อ ΔT คือความแตกต่างของอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองของตัวอย่าง ในการตรวจวัดด้วยเครื่อง ZEM-3 ใช้เวลาค่อนข้างนาน เนื่องจากจะทำการตรวจวัดได้นั้น ระบบจะต้องอยู่ในสภาวะ steady state คืออุณหภูมิคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

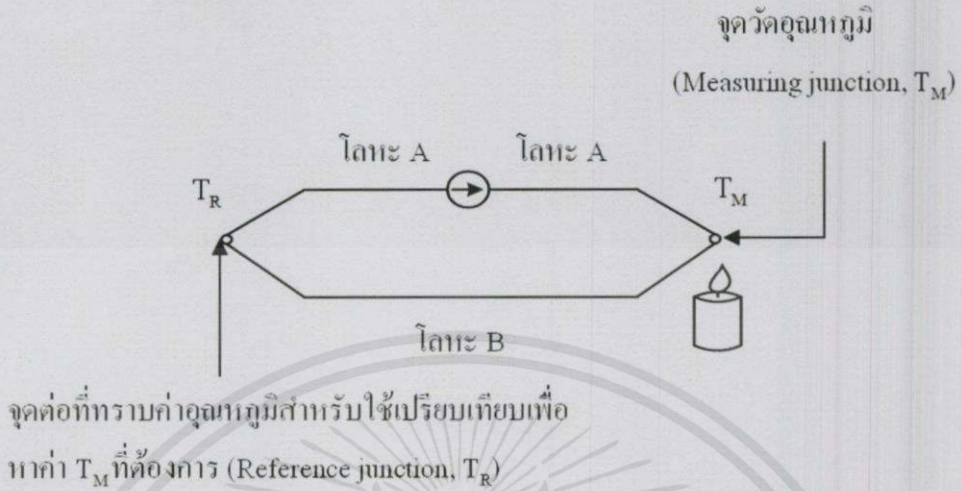


รูปที่ 2.8 โดอะแกรมหลักการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

2.5 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

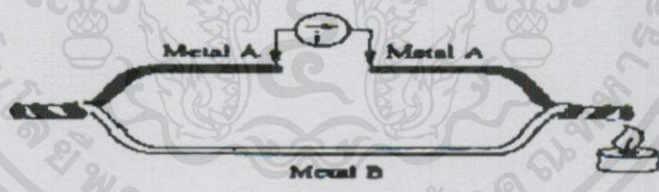
เทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) เป็นทรานสดิวเซอร์ (transducer) หรือ เซนเซอร์ (sensor) วัดอุณหภูมิ (temperature) ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางไฟฟ้าในรูปของแรงดันไฟฟ้า จัดเป็นทรานสดิวเซอร์ประเภทแอคทีฟ (active transducer) สามารถกำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้เองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างจุดสองจุด โดยไม่จำเป็นต้องกระตุ้นด้วยแหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอก เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิสูง สามารถใช้งานได้โดยตรงในรูปของเครื่องมือวัด (instrument) หรือการส่งสัญญาณทางด้านเอาต์พุตให้กับระบบควบคุม ซึ่งปรากฏการณ์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมคัปเปิล คือ ปรากฏการณ์ซีเบค (seebeck effect) เทอร์โมคัปเปิลประกอบด้วยเส้นลวดโลหะตัวนำต่างชนิดสองเส้นต่อเข้าด้วยกัน (การเชื่อมต่อจุดวัดนี้จะส่งผลต่อช่วงเวลาการตอบสนอง (response time) ของการอ่านค่า) ปลายข้างหนึ่งใช้เป็นจุดวัดอุณหภูมิหรือรอยต่อร้อน (measuring junction หรือ hot junction) ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งนำไปต่อกับมิเตอร์หรือวงจรอื่นๆ เพื่อแสดงผล เรียก รอยต่อเย็น (cold junction) ใช้สำหรับเป็นจุดอ้างอิง (reference junction) ที่จุดนี้ต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ โดยเมื่อบริเวณจุดวัดอุณหภูมิได้รับความร้อนในขณะที่รอยต่อเย็นมีอุณหภูมิคงที่ ความต่างศักย์ระหว่างรอยต่อร้อนและรอยต่อเย็นที่เกิดขึ้น จะทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้น ค่ากระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถวัดค่าและปรับให้อยู่ในหน่วยของอุณหภูมิได้ โดย

การเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะตัวนำของเทอร์โมคัปเปิล และอุณหภูมิที่จุดวัด ลักษณะวงจรของเทอร์โมคัปเปิลแสดงดังรูป

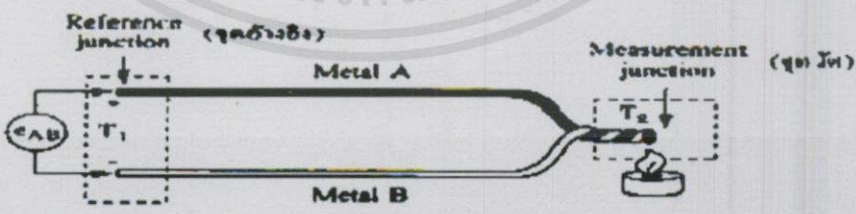


รูปที่ 2.9 วงจรของเทอร์โมคัปเปิล

ในรูปที่ 2.9 เป็นวงจรที่ใช้อธิบายผลของซีเบค ดังนั้นสิ่งที่ Thermocouple วัดได้จึงเป็น ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ 2 จุด



(ก) กระแสในวงจรปิด



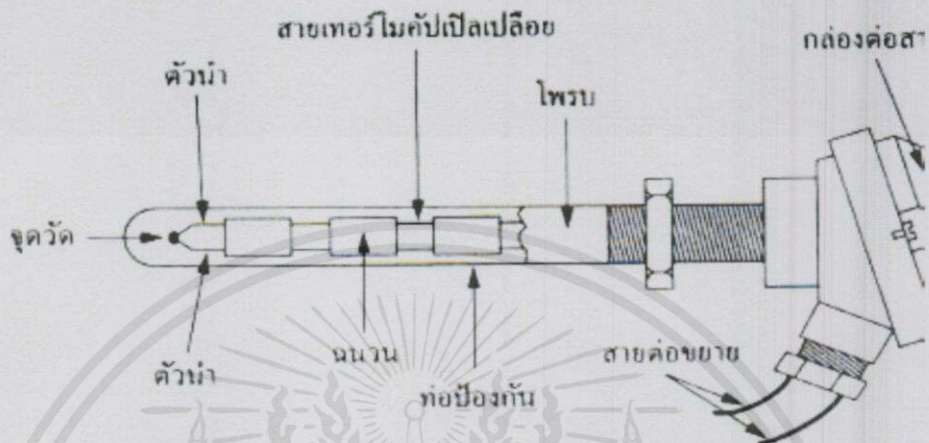
(ข) แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมวงจรเปิด

รูปที่ 2.10 แสดงผลของซีเบค (ก) กระแสในวงจรเปิด (ข) แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมวงจรเปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน

1. ความไว (Sensitivity) ย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้วงจรปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง



รูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

2. โครงสร้าง (Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 2.11 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ: มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริกจึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ

ขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก #10 ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด # 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในโรงงานทางชีววิทยา

3. ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิล แต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

4. เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารร่างที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิลเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

2.5.2 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่หลายชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทแต่ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K

เทอร์โมคัปเปิลแบบ K มาตรฐานหนึ่งที่เป็นฐานสำหรับการสร้างคือ นิกเกิล เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เริ่มผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิต ขั้วหนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียม ส่วนอีกด้านที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะในปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้างนิกเกิลบริสุทธิ์ได้จึงได้เติมสารไม่บริสุทธิ์ต่าง ๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ในปัจจุบันได้มีการระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าวเพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษาและสอบเทียบ ด้วยเหตุนี้ เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นค่ามาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสม แต่โดยทั่วไปจะผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน/อุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้ ข้อควรระวังในการใช้งานของชนิด K มีดังนี้

1. ขั้วลบของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก (เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็ก) ที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่จุดคิวรีของมัน (curie point คืออุณหภูมิที่มันเปลี่ยนจากคุณสมบัติเหล็กไปเป็นแม่เหล็ก) อยู่ในช่วงที่ใช้งานพอดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาต์พุตอย่างทันทีทันใด ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าจุดคิวรีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะผสม จุดคิวรีนี้จะเปลี่ยนคุณสมบัติจากเทอร์โมคัปเปิลตัวหนึ่งให้เป็นเทอร์โมคัปเปิลอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องทดลองหาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่ไม่ทราบค่า ณ อุณหภูมิที่เราไม่ทราบค่านี้

2. ที่อุณหภูมิสูง ๆ (ช่วง 200°C ถึง 600°C) เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีผลของฮิสเตอร์รีซิสเกิดขึ้นขณะที่มันอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในช่วงที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่สามารถจะคาดเดาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนได้

3. ที่อุณหภูมิ 1000°C ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะเกิดออกไซด์ เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน

4. การใช้โคบอลต์เป็นโลหะผสมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ หรือในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีฟลักซ์นิวตรอนสูง ๆ ธาตุบางตัวจะรับเอาการปลดปล่อยนิวเคลียร์ จึงทำให้เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุต

ย่านการทำงานและความแน่นอนของเทอร์โมคัปเปิลในงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (รหัสสำหรับการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล) ช่วงการวัดอุณหภูมิต่อเนื่องของเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะเป็น -270°C ถึง $+1,370^{\circ}\text{C}$

โดยมีระดับความแน่นอนซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (ตารางอ้างอิงสำหรับเทอร์โมคัปเปิลนานาชาติ เป็นดังนี้

1. Class 1 = -40°C ถึง $+1,000^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.004 \times t$ หรือ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$
2. Class 2 = -40°C ถึง $+1,200^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.0075 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$
3. Class 1 = -200°C ถึง $+40^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.015 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$

เมื่อ t คืออุณหภูมิจริงที่ทำการวัด

รหัสสีสำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดโดยมาตรฐาน BS 4937 part 30 ,1993 (รหัสสีตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับสายขดเซยแบบคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) สำหรับชนิด K ขั้วบวกจะเป็นสีเขียว ขั้วลบจะเป็นสีขาว ถ้าตลอดทั้งตัวจะเป็นสีเขียว ส่วนสายขดเซยสัญญาณ (ชนิด vx) ก็เหมือนกับสีด้านบนที่กล่าวมา โดยสรุป

ข้อดีของแบบ K

1. เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุดสำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จาก -180°C ถึงประมาณ $1,350^{\circ}\text{C}$
2. สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิกิริยาออกซิไดซิง หรือสภาวะแบบเฉื่อย (inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ
3. สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
4. ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิตีกว่าแบบอื่น (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

ข้อเสียของแบบ K

1. ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิกิริยารีดิวซิงและออกซิไดซิงโดยตรง
2. ไม่เหมาะกับการวัดที่มีไอของซิลเฟอร์
3. ไม่เหมาะกับการวัดที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในระยะเวลาสั้นๆ)

หลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เครื่อง DMM



รูปที่ 2.12 เครื่อง DMM 2100

เครื่อง DMM 2100 USB ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ เป็นรุ่นใหม่ล่าสุดของ Keithley DMMs ประสิทธิภาพสูง ความถูกต้องแม่นยำสูง (38ppm), ความละเอียด 6½ รุ่น 2100 มี 11 ฟังก์ชันการวัดและ 8 ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ รองรับพารามิเตอร์ที่วัดมากที่สุด อุปกรณ์ทั้งหมดเช่นสาย USB, โพรบวัด, และซอฟต์แวร์ที่มีอยู่ในรุ่น 2100 รวมกันเป็นเอกลักษณ์ที่ทำให้มีความแม่นยำสูง และมีต้นทุนต่ำ รุ่น 2100 มีความเหมาะสมสำหรับการทดสอบค่า R & D ของ วิศวกร, นักวิทยาศาสตร์และนักศึกษา การวัดความแม่นยำขั้นพื้นฐาน และการประยุกต์ใช้ในระบบ

รุ่น 2100 มีเสถียรภาพ ความถูกต้องและความเร็ว ในราคาที่ย่อมเยา พื้นฐานความถูกต้องของแรงดัน DC ในช่วง 10V ความถูกต้องด้านทานพื้นฐานคือ 10 kW รุ่น 2100 ให้ 50 ทริกเกอร์ rdgs / s ผ่านทางอินเทอร์เฟซ USB ระยะเวลา

รุ่น 2100 มีจำนวนกว้างของช่วงการวัดและฟังก์ชันดังนี้

1. แรงดัน DC: 0.1V, 1V, 10V, 100V และ 1000V
2. แรงดันไฟฟ้า: 0.1V, 1V, 10V, 100V และ 750V
3. กระแส DC: 10mA, 100mA, 1A และ 3A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้ง

4. กระแส AC: 1A และ 3A เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
5. มีความต้านทาน: 100W, 1kW, 10kW, 100kW, 1MW, 10MW และ 100MW

6. ความถี่: จาก 3 Hz ถึง 300 kHz
7. การวัดระยะเวลา
8. การวัดไดโอด
9. แปลง AD และตัวกรองการตั้งค่าโปรแกรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณเสียง

นอกจากนี้ การดำเนินการทางคณิตศาสตร์ทั้ง 8 ตำแหน่งอาจจะดำเนินการอ่านค่าการวัด: RATIO, %Min/Max, NULL, Limits โดยที่ Microsoft Office, Word และ Excel เป็นเครื่องมือ ที่ช่วยในการจัดเก็บข้อมูลและการเรียกคืนค่าที่วัดได้จากการใช้งานเหล่านี้ โดย graphing utility จะช่วยในการสร้างแผนภูมิของการวัดค่าเทียบกับระยะเวลาของแนวโน้ม และการตรวจสอบสัญญาณรบกวน

2.7 โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยใช้ LABVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument หรือจะเรียกย่อๆว่า VI ซึ่งหมายถึงเครื่องมือวัดเสมือน

LabVIEW มีจุดกำเนิดขึ้นในปี 1983 โดยทางบริษัท National Instrument ได้เริ่มการค้นคว้าเพื่อจะหาวิธีการที่จะลดเวลาในการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในงานด้านระบบเครื่องมือวัด ซึ่งเป็นจุดเริ่มของแนวความคิดการสร้าง LabVIEW หลังจากการใช้เวลาวิจัยอยู่ 3 ปี ในปี 1986 บริษัทได้ปล่อย LabVIEW Version 1 สู่ตลาดเพื่อใช้กับคอมพิวเตอร์ Macintosh เท่านั้น เพราะแม้ว่าเครื่อง Macintosh จะไม่เป็นที่ใช้อย่างกว้างขวางในงานด้านวิศวกรรม แต่ด้วยลักษณะการแสดงผลแบบกราฟิกของเครื่อง Macintosh ทำให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้กับ LabVIEW สำหรับระบบปฏิบัติการอื่นที่ไม่ใช่ GUI นั้นยังไม่มีความเหมาะสมที่จะใช้กับ LabVIEW ดังนั้นสำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ทาง NI ต้องรอนจนกระทั่งระบบปฏิบัติการ Windows เกิดขึ้นเสียก่อน

ในปี 1990 ทาง NI ได้ประสบผลสำเร็จในการนำ LabVIEW version 2 ออกสู่ตลาด โดยได้ปรับแก้และเขียนระบบควบคุมใหม่ทั้งหมด โดยเฉพาะการเขียน Compiler ที่ทำให้เวลาการทำงานของโปรแกรมรวดเร็วขึ้น ทัดเทียมกับการเขียนด้วยภาษาขั้นพื้นฐาน เช่น C และต่อมาเมื่อเทคโนโลยีด้านระบบปฏิบัติการของ PC มีความพร้อมที่จะใช้งานกับ GUI ทางบริษัทจึงได้ผลิต LabVIEW for Windows และ LabVIEW for SUN เข้าสู่ตลาดในปี 19924 หลังจากนั้น บริษัทก็ได้พัฒนาโปรแกรมให้เหมาะสมกับเทคโนโลยียิ่งขึ้น ตามรูปแบบปฏิบัติการที่เปลี่ยนแปลงไปเช่น LABVIEW สำหรับ Windows NT, Windows 95 รวมถึงการสร้าง Version ใหม่ เพื่อจัดระบบและการเขียนโปรแกรมให้สะดวกมากขึ้น ตลอดจนสามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ มากขึ้น พร้อมทั้งสร้าง

ฟังก์ชันต่างๆ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานมากขึ้นนอกจากนี้ยังสร้างโปรแกรมที่สามารถทำงานบนระบบปฏิบัติการอื่นที่ไม่ได้เขียนบนระบบปฏิบัติการนั้นได้โดยเริ่มจาก LABVIEW 3 ในปี ค.ศ. 1993, LABVIEW 4 ในปี ค.ศ. 1996 และล่าสุด LABVIEW 2011 ในปี ค.ศ. 2011 ซึ่งเป็นโปรแกรมล่าสุด



รูปที่ 2.13 แสดงการเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW 2011

โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม LabVIEW เป็นโปรแกรมที่สร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการในด้านการวัดและเครื่องมือวัดอย่างมีประสิทธิภาพ และในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ช่วยในการวัดมากมายและแน่นอนที่สุด โปรแกรมนี้จะมีประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ สิ่งที่ LabVIEW แตกต่างจากโปรแกรมอื่นอย่างเห็นได้ชัดที่สุดก็คือ LabVIEW นี้เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใดๆ ทั้งสิ้น และที่สำคัญลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เราจะเรียกว่าเป็นภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัดอย่างที่เรารู้คุ้นเคยกับภาษาพื้นฐาน เช่น C, BASIC หรือ FORTRAN ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ทั้งหมด ซึ่งแม้ว่าในเบื้องต้นอาจจะสับสนอยู่บ้าง แต่เมื่อคุ้นเคยกับการใช้โปรแกรมนี้แล้วเราจะพบว่า LabVIEW นี้มีความสะดวกและสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรม

คอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม สำหรับผู้ที่ต้องการจะใช้ประโยชน์สูงสุดจากโปรแกรม LabVIEW คือผู้ที่ต้องการจะนำข้อมูลจากภายนอกเครื่องคอมพิวเตอร์เข้ามาในเครื่องเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูล ประมวลผลค่า แสดงผลและในหลายกรณีใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ ข้อได้เปรียบสูงสุดของ LabVIEW คือการพยายามทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ของเราเมื่อรวมกับ LabVIEW และ อุปกรณ์เชื่อมต่อเพื่อการเก็บข้อมูล (Data Acquisition Card) แล้วสามารถเปลี่ยนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลของเราให้กลายเป็นเครื่องมือวัดในหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็น Oscilloscope, Multi-meter, Function Generator, Strain meter Thermometer หรือเครื่องมือวัดอื่นๆ ตามที่เราต้องการ ทำให้สามารถใช้คอมพิวเตอร์ในการทำการวัดและเครื่องมือวัดได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งจุดนี้เองที่เป็นที่มาของชื่อ เครื่องมือวัดเสมือนจริง (Virtual Instrument) และข้อได้เปรียบเหนือการใช้อุปกรณ์จริงเหล่านั้นคือ Virtual Instrument สามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการใช้งานของผู้ใช้แต่ละกลุ่มได้ โดยการเปลี่ยน VI ให้เป็นไปตามต้องการเป็นเรื่องที่ไม่ยุ่งยากนัก

ส่วนประกอบต่างๆ ใน LabVIEW

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย LabVIEW เราจะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะเดียวกันหลังจากของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของ ฟังก์ชัน, Subroutines และโปรแกรมหลักเหมือนกับภาษาทั่วไป สำหรับ VI หนึ่งๆ จะประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วนหลักๆ คือ

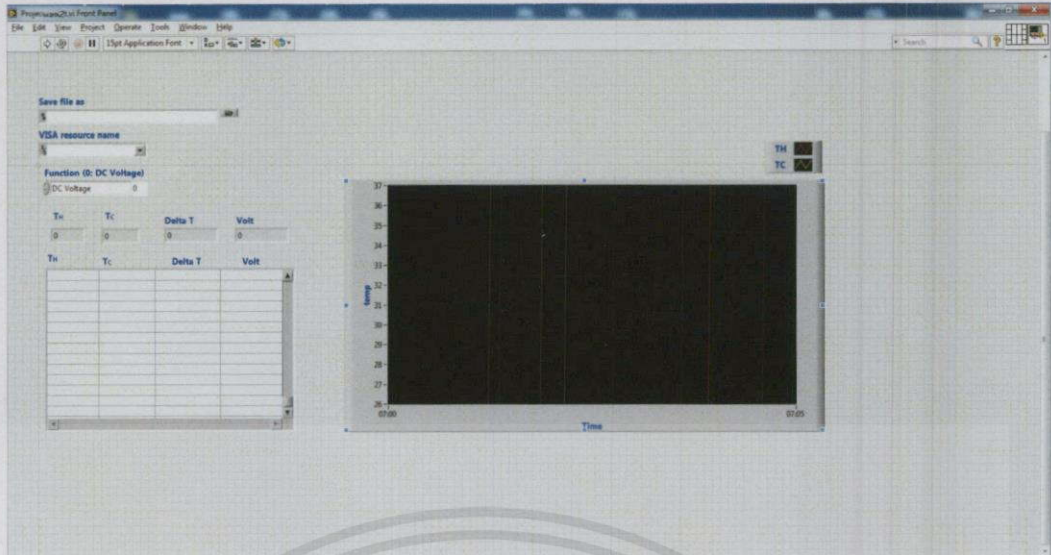
2.7.1 Front Panel

2.7.2 Block Diagram

ทั้งสองส่วนนี้จะประกอบกันขึ้นมาเป็นอุปกรณ์เสมือนจริง ลักษณะและหน้าที่ของส่วนประกอบทั้งสองมีดังต่อไปนี้

2.7.1 Front Panel หรือหน้าปัทม์ จะเป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก User Interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านการวัดต่างๆ ไป โดยทั่วไปจะประกอบด้วย สวิตช์ปิดเปิด, ปุ่มบิด, ปุ่มกด จอแสดงผลหรือแม้แต่ค่าที่ผู้ใช้สามารถกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



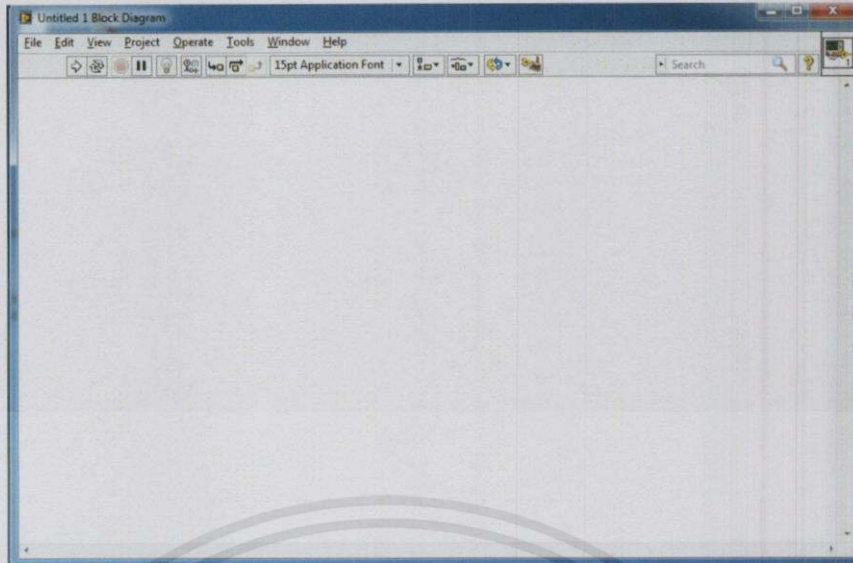
รูปที่ 2.14 ตัวอย่าง Front Panel ของ LabVIEW

Object ที่อยู่บน Front Panel จะมีอยู่สามประเภท คือ

- 1) Control คือประเภทที่รับค่าจากผู้ใช้ (Input) ซึ่งผู้ใช้สามารถพิมพ์ค่าลงไป หรือใช้เมาส์คลิกเพื่อเปลี่ยนแปลงค่าได้ เช่น ปุ่มหมุน ปุ่มเลื่อน สวิตช์ เป็นต้น
- 2) Indicators คือประเภทที่ใช้แสดงค่าต่างๆเท่านั้น (Output) ผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขได้ เช่น กราฟ มิเตอร์ LED
- 3) Decorations เป็น Object ที่ไม่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมและ code บน Block Diagram เลยแต่มักไว้เพื่อความสวยงามเป็นระเบียบของ Front panel เท่านั้นนั่นเอง

2.7.2 Block Diagram เพื่อให้เกิดความเข้าใจง่ายขึ้น เราอาจมอง Block Diagram นี้เป็นเสมือนกับ Source Code หรือโปรแกรมของ LabVIEW ซึ่งปรากฏว่าอยู่ในรูปของภาษา G ซึ่ง Block Diagram นี้ ถือว่าเป็น Executable Program คือสามารถที่จะทำงานได้ทันที และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ LabVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของโปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้นโดยผู้ใช้สามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลาทำให้การเขียนโปรแกรมนั้นง่ายขึ้นมาก

ส่วนประกอบภายใน Block Diagram นี้จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นในแต่ละส่วนเหล่านี้ ซึ่งจะปรากฏในรูปของ Block เราจะได้รับการต่อสาย (Wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง Block เหล่านี้ ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการและแสดงผลออกมาให้แก่ผู้ใช้ต่อไป



รูปที่ 2.15 ตัวอย่าง Block Diagram

2.8 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

ในการดำเนินการวิจัย “สมมติฐาน” (hypothesis) เป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากเนื่องจากการวิจัยเป็นกระบวนการแก้ปัญหาหรือค้นหาคำตอบด้วยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะเริ่มต้นโดยการกำหนดปัญหา จากนั้นจะพยายามคาดคะเนคำตอบของปัญหานั้น การคาดคะเนคำตอบก็คือสมมติฐาน ดังนั้นสมมติฐานการวิจัย คือ คำตอบหรือข้อสรุปของผลการวิจัยที่ผู้วิจัยคาดการณ์หรือคาดคะเนไว้ล่วงหน้าอย่างมีเหตุและผล โดยอาศัยรากฐานของแนวคิดทฤษฎี ผลการศึกษาค้นคว้า ผลการวิจัยรวมถึงประสบการณ์ของผู้วิจัยเอง ซึ่งสมมติฐานนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการค้นคว้า ตลอดจนเป็นแนวทางในการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลว่าสิ่งที่ผู้วิจัยศึกษาอยู่นั้นเป็นไปตามที่คาดการณ์ไว้หรือไม่ ทั้งนี้สมมติฐานที่ตั้งไว้อาจเป็นจริงหรือไม่เป็นจริงตามที่ผู้วิจัยคาดคะเนก็ได้ ขึ้นอยู่กับการทดสอบสมมติฐานโดยอาศัยข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้และวิธีการทางสถิติ

2.8.1 ประเภทของสมมติฐาน

สมมติฐานแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. สมมติฐานการวิจัย (research hypothesis) เป็นสมมติฐานที่เขียนอยู่ในรูปของข้อความที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษากับคำตอบที่ผู้วิจัยคาดคะเนโดยใช้ภาษาที่เข้าใจง่ายสามารถสื่อความหมายได้โดยตรง

2. สมมติฐานทางสถิติ (statistical hypothesis) เป็นสมมติฐานที่เปลี่ยนรูปมาจากสมมติฐานการวิจัย โดยใช้สัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ที่แทนคุณลักษณะเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของ

ประชากร (population parameter) มาเขียนอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปร สมมติฐานทางสถิติ จะประกอบด้วย 2 ลักษณะ ควบคู่ไปเสมอ คือ

2.1 สมมติฐานว่าง หรือสมมติฐานหลัก (null hypothesis) แทนสัญลักษณ์ด้วย H_0 เป็นสมมติฐานแสดงข้อความที่เป็นกลาง โดยระบุถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรว่าเท่ากัน ไม่แตกต่างกันหรือไม่มีความสัมพันธ์กัน

2.2 สมมติฐานทางเลือกหรือสมมติฐานรอง (alternative hypothesis) แทนสัญลักษณ์ด้วย H_1 หรือ H_a เป็นสมมติฐานแตกต่างหรือตรงข้ามกับสมมติฐานหลัก โดยระบุถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรว่าไม่เท่ากัน แตกต่างกัน มากกว่า น้อยกว่า หรือมีความสัมพันธ์กันการทดสอบสมมติฐาน

2.8.2 วิธีการทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐาน ใช้ในการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของประชากรที่เราต้องการทราบว่า เป็นไปตามความเชื่อที่คิดไว้หรือไม่ ซึ่งสมมติฐานในที่นี้จะหมายถึงสมมติฐานทางสถิติ (Statistical hypothesis) ดังนั้น สมมติฐานทางสถิติคือ ข้อความที่เกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของประชากร ซึ่งอาจจะเป็นจริงหรือไม่จริงก็ได้ จึงทำการทดสอบสมมติฐานโดยอาศัยกลุ่มตัวอย่าง เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าจะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานที่เราตั้งไว้หรือไม่

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยประชากรกลุ่มเดียว (μ)

ขั้นที่ 1 ตั้งสมมติฐาน

$$\text{แบบ A } H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_a : \mu \neq \mu_0$$

$$\text{แบบ B } H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_a : \mu < \mu_0$$

$$\text{แบบ C } H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_a : \mu > \mu_0$$

ขั้นที่ 2 กำหนดค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานภายใต้ H_0 ดังนี้

กรณีที่ 1 ถ้าประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ จะได้ $\bar{x} \sim \text{Normal}(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$ และทราบค่า σ^2 จะได้

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sigma/\sqrt{n}}$$

กรณีที่ 2 ถ้าประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ จะได้ $\bar{x} \sim \text{Normal}(\mu, \frac{\sigma^2}{n})$ แต่ไม่ทราบค่า σ^2 จึงประมาณค่าด้วย S^2 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 3 ถ้าไม่ทราบการแจกแจงของประชากร แต่ขนาดของ n มีค่ามาก ($n \geq 30$)
จะได้

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu_0}{S/\sqrt{n}}$$

ขั้นที่ 3 กำหนดระดับนัยสำคัญ (α)

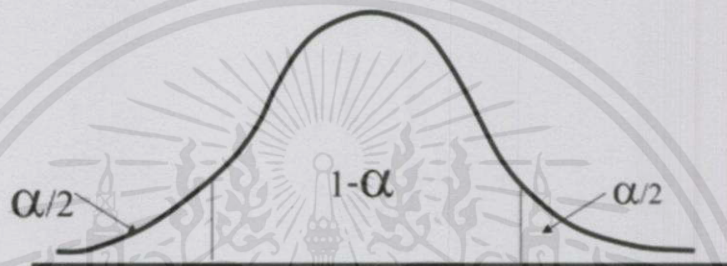
ขั้นที่ 4 หาเขตวิกฤตขึ้นอยู่กับสมมติฐานที่ตั้งไว้

กรณีที่ใช้ค่าสถิติ Z

สมมติฐานแบบ A

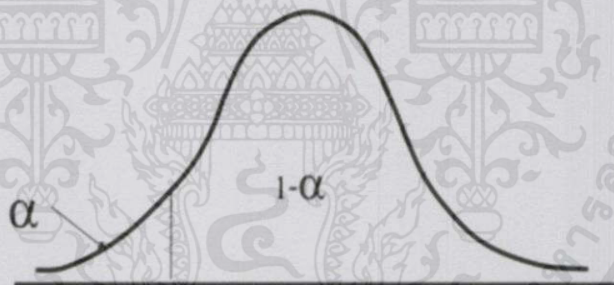
$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_a : \mu \neq \mu_0$$



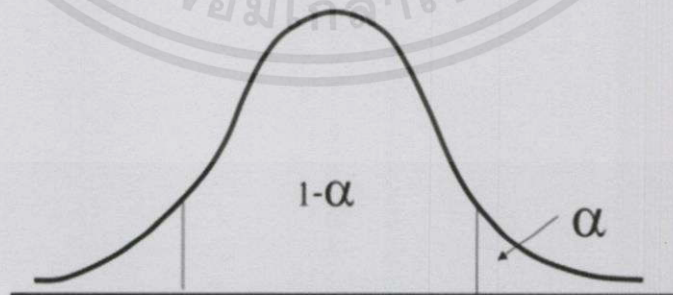
สมมติฐานแบบ B $H_0 : \mu = \mu_0$

$$H_a : \mu < \mu_0$$



สมมติฐานแบบ C $H_0 : \mu = \mu_0$

$$H_a : \mu > \mu_0$$



ขั้นที่ 5 สรุปผลการทดสอบ จะทำการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 ที่ตั้งไว้ ก็ต่อเมื่อ ค่าสถิติที่
คำนวณได้ตกอยู่ในขอบเขตของการปฏิเสธหรือเขตวิกฤต นอกจากนี้จะยอมรับสมมติฐาน H_0
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.3 แหล่งของสมมติฐาน

การตั้งสมมติฐานจะต้องตั้งอย่างสมเหตุสมผล ซึ่งผู้วิจัยจะต้องอาศัยที่มาของสมมติฐานจากหลายทางดังนี้

1. ทฤษฎีต่างๆ ซึ่งเป็นเนื้อหาของแขนงวิชานั้นๆ ผู้วิจัยจะต้องทำการศึกษาและทำความเข้าใจในทฤษฎีและเนื้อหาเหล่านั้น ในอันที่จะช่วยให้การกำหนดปัญหาและการตั้งสมมติฐานได้เป็นอย่างดี และทำให้การวิจัยมีหลัก ได้ข้อค้นพบที่มีน้ำหนักน่าเชื่อถือ
2. ข้อค้นพบจากการวิจัยที่มีผู้ทำมาแล้ว ซึ่งข้อค้นพบต่างๆ จะช่วยให้ผู้วิจัยสามารถนำไปใช้ในการตั้งสมมติฐานได้
3. ความเชื่อต่างๆ ไป ของสังคมและหลักความจริงที่เป็นที่ยอมรับของคนทั่วไป
4. ประสบการณ์ตรงของผู้วิจัยเอง ซึ่งผู้วิจัยเองอาจเป็นผู้มีความรู้ ความชำนาญ ในเรื่องนั้นเป็นอย่างดี อีกทั้งอาจจะเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยได้ทำงานคลุกคลีกับเรื่องนั้นมาตลอด
5. ผู้รู้หรือผู้ที่เชี่ยวชาญในเรื่องนั้นๆ โดยเฉพาะ ซึ่งคำกล่าวหรือข้อคิดเห็นของบุคคลเหล่านั้น สามารถนำมาใช้ในการตั้งสมมติฐานได้
6. การสังเกตพฤติกรรมหรือเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้น รวมถึงการได้มีการวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ และแนวโน้มของพฤติกรรมหรือเหตุการณ์นั้นๆ ก็จะสามารถใช้เป็นแนวทางในการตั้งสมมติฐานได้

2.8.4 ลักษณะของสมมติฐานที่ดี

สมมติฐานที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

1. สอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของการวิจัย จุดมุ่งหมายต้องการศึกษาอะไร สมมติฐานก็ควรตั้งให้อยู่ในลักษณะแนวทางเดียวกัน
2. ต้องตอบคำถามได้ครอบคลุมปัญหาทุกๆ ด้านที่ศึกษา โดยระบุความสัมพันธ์ของตัวแปรที่สนใจในรูปของความแตกต่าง มากกว่า น้อยกว่าหรือสัมพันธ์กัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเป็นจริงหรือไม่
3. สามารถทดสอบได้ด้วยข้อมูลและวิธีการทางสถิติ
4. ใช้ภาษาที่ชัดเจน เข้าใจง่าย รัดกุม
5. สมมติฐานแต่ละข้อควรตอบคำถามเพียงข้อเดียวหรือประเด็นเดียว หากมีตัวแปรที่จะต้องศึกษาหลายตัว ควรแยกเป็นสมมติฐานย่อยแต่ละข้อ เพราะจะสามารถสรุปการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานได้ชัดเจน

6. สมเหตุสมผลตามทฤษฎี หลักการและเหตุผล สภาพที่เป็นจริงที่ยอมรับกันทั่วไป

สำหรับในโครงการพิเศษนี้เราได้นำหลักการทางสถิติซึ่งก็คือหลักการสมมติฐานมาใช้ในการสรุปอ้างอิง โดยการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของตัวอย่างจากเครื่องมือที่สร้างขึ้นเอง เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ให้ได้จำนวนมากพอ จากนั้นคำนวณค่าเชิงสถิติของค่าที่ได้จากการทดสอบในลักษณะของการแจกแจงข้อมูล และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับมีความเป็นไปได้ตามค่าที่ได้จากเครื่อง ZEM-3 หรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ จะเป็นการออกแบบเครื่องมือสำหรับวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคโดยแบ่งการดำเนินงานวิจัยเป็น 2 ช่วง ในช่วงแรกเป็นการสร้างเครื่องมือเพื่อใช้วัดสัมประสิทธิ์ซีเบค ในช่วงที่ 2 จะเป็นการทดสอบโดยทำการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคของตัวอย่าง แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่อง ZEM-3 โดยใช้การทดสอบเชิงสถิติ ซึ่งรายละเอียดในการเตรียมวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบและทดสอบ วิธีดำเนินการ แสดงดังต่อไปนี้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 อุปกรณ์สำหรับวางชิ้นงาน

เนื่องจากทองแดงเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเด่นมากมายโดยเฉพาะการนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความต้านทานต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก สามารถแปรรูปด้วยวิธีต่างๆ ได้ง่าย ดังนั้นโลหะทองแดงจึงมีการนำไปใช้เป็นแหล่งระบายความร้อนให้กับชิ้นงานที่จะวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค โดยขนาดของก้อนทองแดงที่ทำเป็นฐานที่ใช้ในโครงการพิเศษนี้คือ $10 \times 10 \times 4$ cm (รูป a) นำมาเจาะรู 2 รู ที่ด้านข้าง เพื่อสำหรับใช้วัดความต่างศักย์และอุณหภูมิด้านเย็น นอกจากนี้ยังมีแท่งทองแดง (รูป b) ที่ทำการเจาะรูที่หัวเพื่อสำหรับใช้วัดอุณหภูมิ และเจาะรูที่ปลายอีกด้านสำหรับใช้วัดความต่างศักย์ด้านร้อน ต่อมาเป็นตัวเลื่อนขึ้น-ลง (รูป c) ใช้สำหรับปรับเลื่อนแท่งทองแดงให้สัมผัสกับผิวหน้าของชิ้นงาน



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 3.1 อุปกรณ์สำหรับวางชิ้นงาน

(a) ก้อนทองแดง

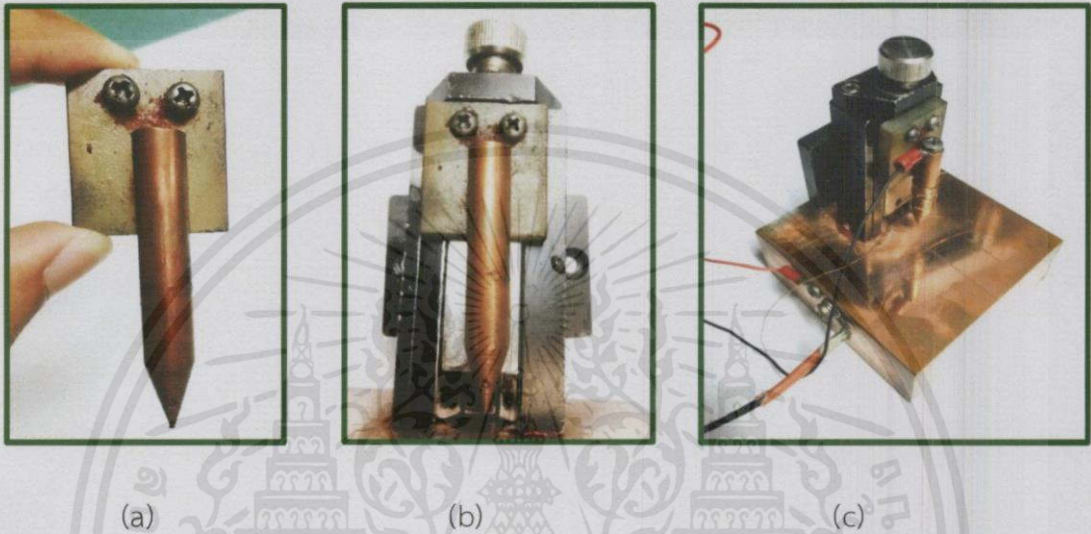
(b) แท่งทองแดง

(c) ตัวเลื่อนขึ้น-ลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การประกอบอุปกรณ์สำหรับวางชิ้นงาน

จะมีวิธีการในการประกอบอุปกรณ์สำหรับวางชิ้นงาน คือ นำแท่งทองแดงมาติดเข้ากับแผ่นฉนวน (รูป a) และเจาะรูตีฟเกลียวที่แผ่นฉนวนเพื่อติดกับตัวเลื่อนขึ้น-ลง (รูป b) และสุดท้ายทำการพันสายเส้นลวดทองแดงแบบหุ้มฉนวนเข้ากับแท่งทองแดง จากนั้นนำตัวเลื่อนปรับขึ้น-ลงมาติดลงบนฐานก้อนทองแดง (รูป c)



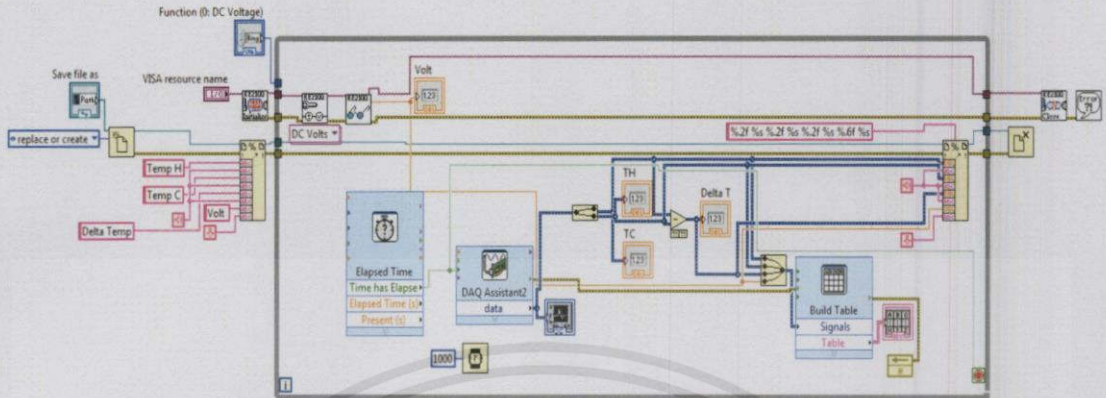
รูปที่ 3.2 การประกอบอุปกรณ์สำหรับวางชิ้นงาน
(a) ติดกับแผ่นฉนวน (b) ติดกับตัวเลื่อนขึ้น-ลง (c) ติดเข้ากับฐานก้อนทองแดง

3.1.3 เครื่องมือวัดความต่างศักย์ และอุณหภูมิ

ในระหว่างกระบวนการการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคนั้นจะมีตัวแปรต่างๆที่ต้องศึกษา คือ อุณหภูมิด้านร้อน (T_H), อุณหภูมิด้านเย็น (T_C), ค่าความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) รวมถึงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) โดยค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างความแตกต่างของความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิของชิ้นงานสองตำแหน่ง โดยค่าความต่างศักย์ในระบบวัดจากเครื่อง DMM รุ่น 2100 ของบริษัท Keithley (รูป a) และการวัดอุณหภูมิจะใช้สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K (รูป b) ต่อกับ DAQ รุ่น NI 9211 (รูป c) โดยมีความถูกต้องเท่ากับ ± 0.025 องศาเซลเซียส ดังนั้น ในโครงการนี้จึงต้องออกแบบและสร้างระบบจัดเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติ เริ่มต้นจากการนำสัญญาณในระหว่างการทำงานของระบบ คือ สัญญาณอุณหภูมิและสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าจากทั้งด้านร้อนและด้านเย็น โดยจะถูกแปลงผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า Data Acquisition (DAQ) ซึ่งมีความเร็วในการเก็บข้อมูลในระดับมิลลิวินาที (ms) ก่อนที่จะจัดเก็บในเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่าน USB port

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

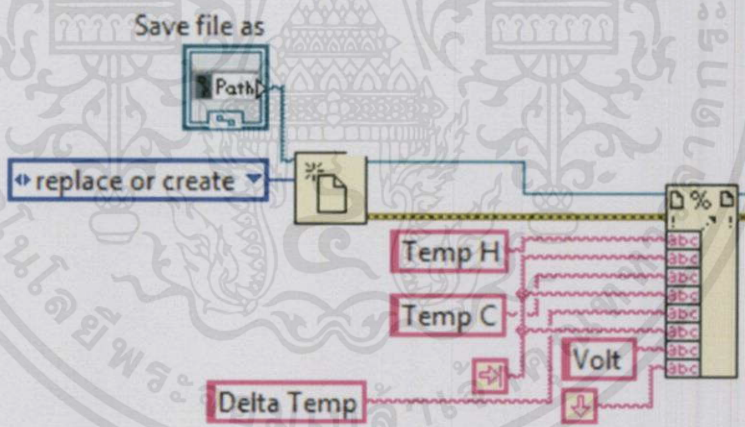
การเขียนโปรแกรม LABVIEW ควบคุมการวัดค่าความต่างศักย์และอุณหภูมิ



รูปที่ 3.5 การเขียนโปรแกรม LABVIEW ควบคุมการวัดค่าความต่างศักย์และอุณหภูมิ

ประกอบไปด้วย

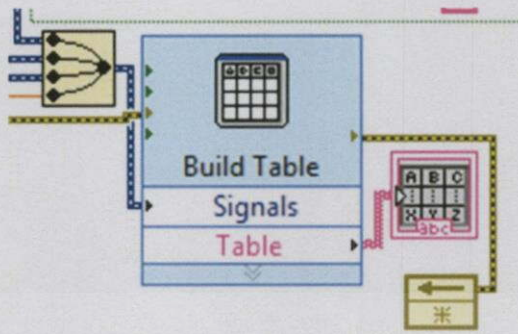
ส่วนที่ 1 การสร้างและตั้งชื่อตารางเพื่อเก็บค่าตัวแปรจำนวน 4 คอลัมน์ คือ Temp H , Temp C , Delta Temp และ Volt



รูปที่ 3.6 การสร้างและตั้งชื่อตาราง

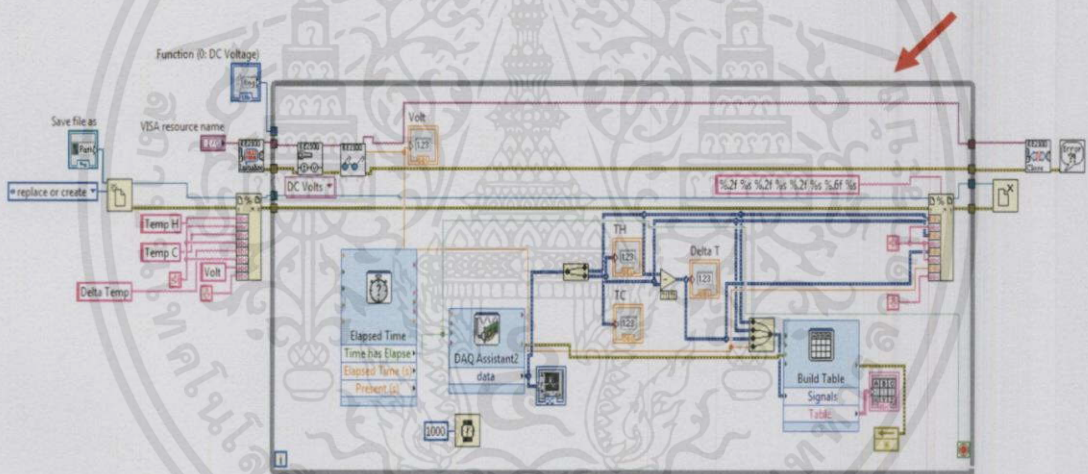
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 5 การนำค่าความต่างศักย์และอุณหภูมิที่วัดได้ แสดงบนตารางของโปรแกรม



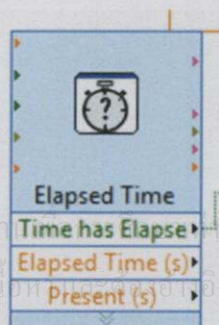
รูปที่ 3.10 การนำค่าความต่างศักย์และอุณหภูมิแสดงบนตาราง

ส่วนที่ 6 การสั่งโปรแกรมให้ทำงานเป็นลูป โดยเครื่องมือจะทำการอ่านและวัดค่าอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 3.11 การสั่งโปรแกรมให้ทำงานเป็นลูป

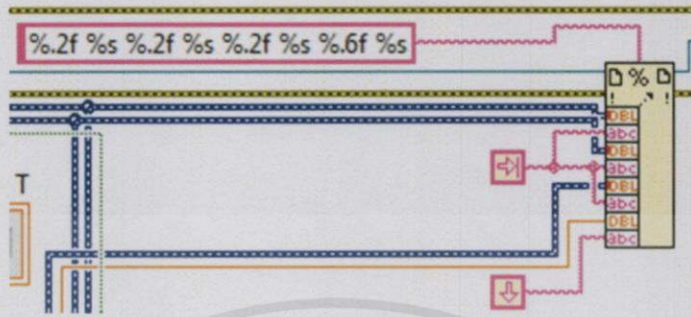
ส่วนที่ 7 การตั้งเวลาในการอ่านและวัดค่า โดยสามารถกำหนดให้โปรแกรมหยุดทำงานเมื่อเวลาผ่านไปเท่าใด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

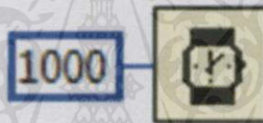
รูปที่ 3.12 การตั้งเวลาในการอ่านและวัดค่า

ส่วนที่ 8 การนำข้อมูลที่วัดและอ่านค่าได้ทั้งหมดบันทึกไว้ในรูปแบบ Text file ซึ่งโปรแกรมที่ทำการบันทึกคือ Microsoft office excel



รูปที่ 3.13 การนำข้อมูลที่วัดและอ่านค่าได้บันทึกไว้ในรูปแบบ Text file

ส่วนที่ 9 การห้วงเวลา หรือการปรับค่าความถี่ในการวัดและบันทึกข้อมูล (ms)



รูปที่ 3.14 การปรับค่าความถี่ในการวัดและบันทึกข้อมูล

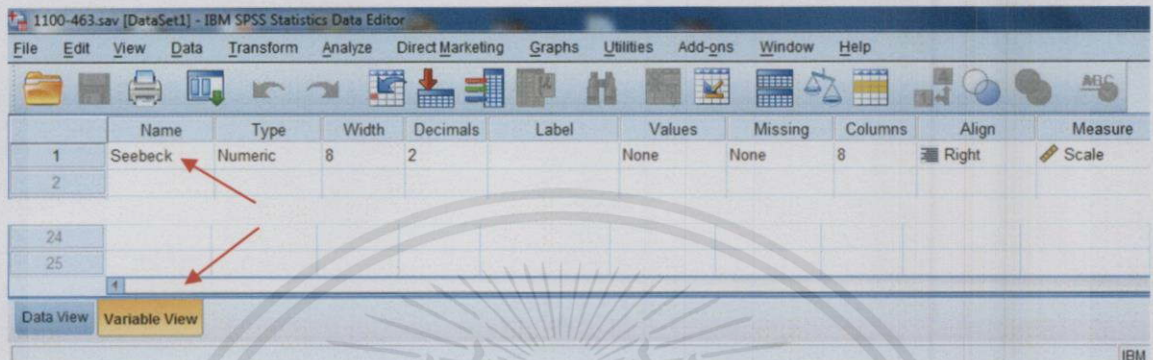
3.1.5 โปรแกรม SPSS (Statistics Package for the Social Sciences)



รูปที่ 3.15 โปรแกรม SPSS

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วย โปรแกรม SPSS (Statistics Package for the Social Sciences) ประกอบไปด้วย

ส่วนที่ 1 การกรอกข้อมูล โดยการกำหนด Variable view (ในที่นี้กำหนดให้ในช่อง Name คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค) และการกรอกข้อมูลใน Data View



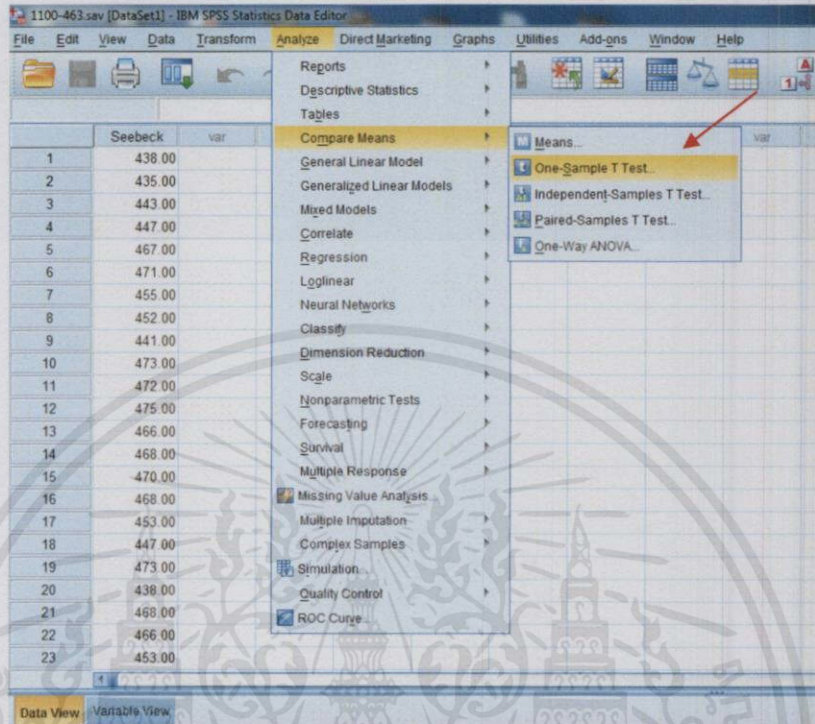
รูปที่ 3.16 การกำหนด Variable view

	Seebeck	var	var	var	var	var	var	var	var	var
1	438.00									
2	435.00									
3	443.00									
4	447.00									
5	467.00									
6	471.00									
7	455.00									
8	452.00									
9	441.00									
10	473.00									
11	472.00									
12	475.00									
13	466.00									
14	468.00									
15	470.00									
16	468.00									
17	453.00									
18	447.00									
19	473.00									
20	438.00									
21	468.00									
22	466.00									
23	453.00									

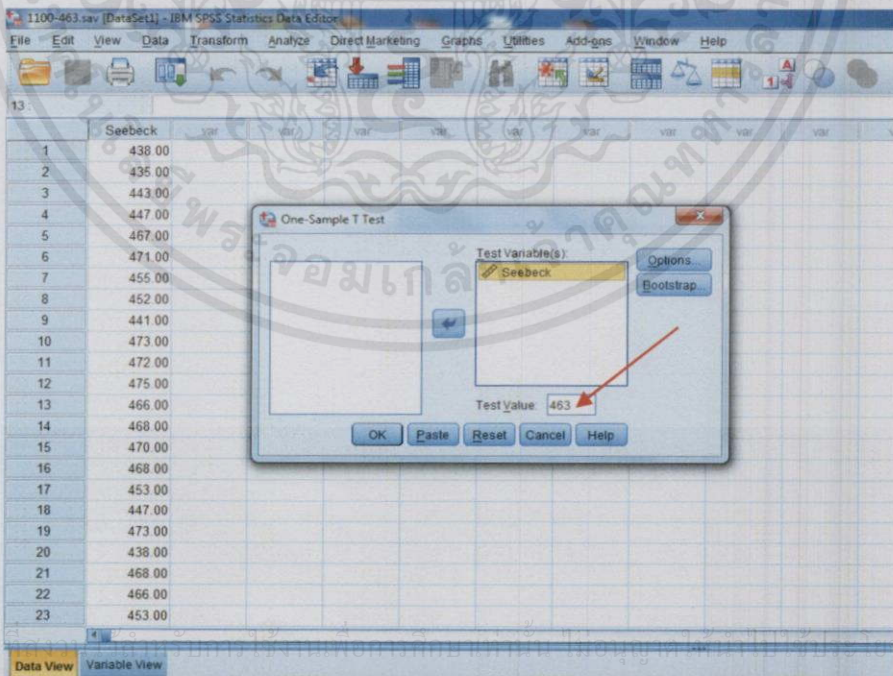
รูปที่ 3.17 การกรอกข้อมูลใน Data View

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้วิธี One - samples T Test และใส่ค่าสัมประสิทธิ์
ซีเบคที่ต้องการทดสอบ ในช่อง Test Value

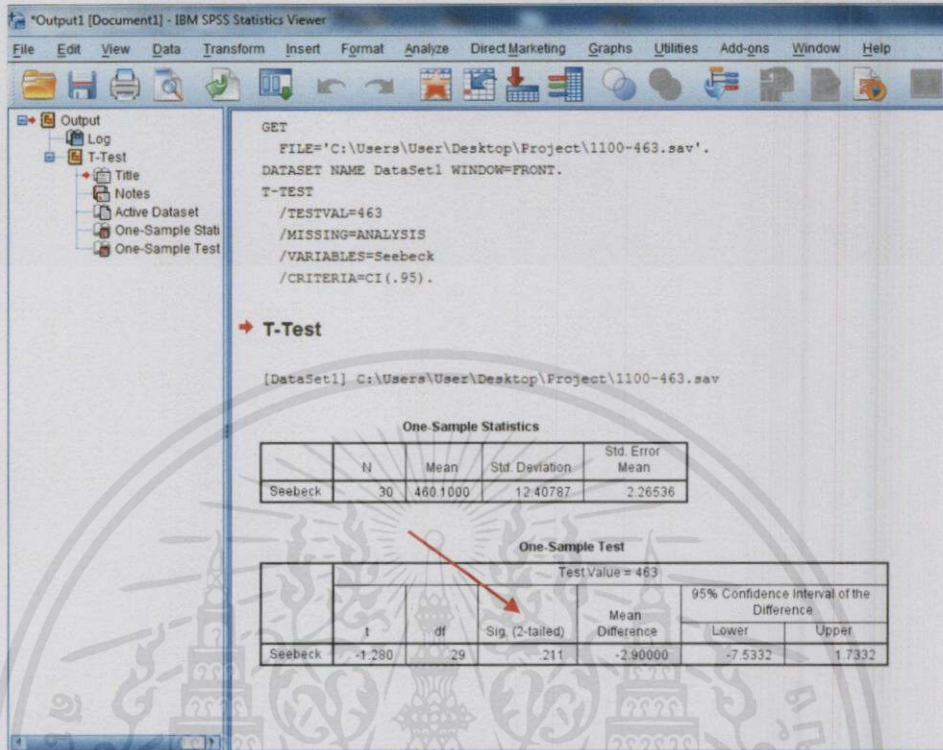


รูปที่ 3.18 การเลือกใช้คำสั่ง One - samples T Test



รูปที่ 3.19 การใส่ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ต้องการทดสอบ

ส่วนที่ 3 การแปลผล



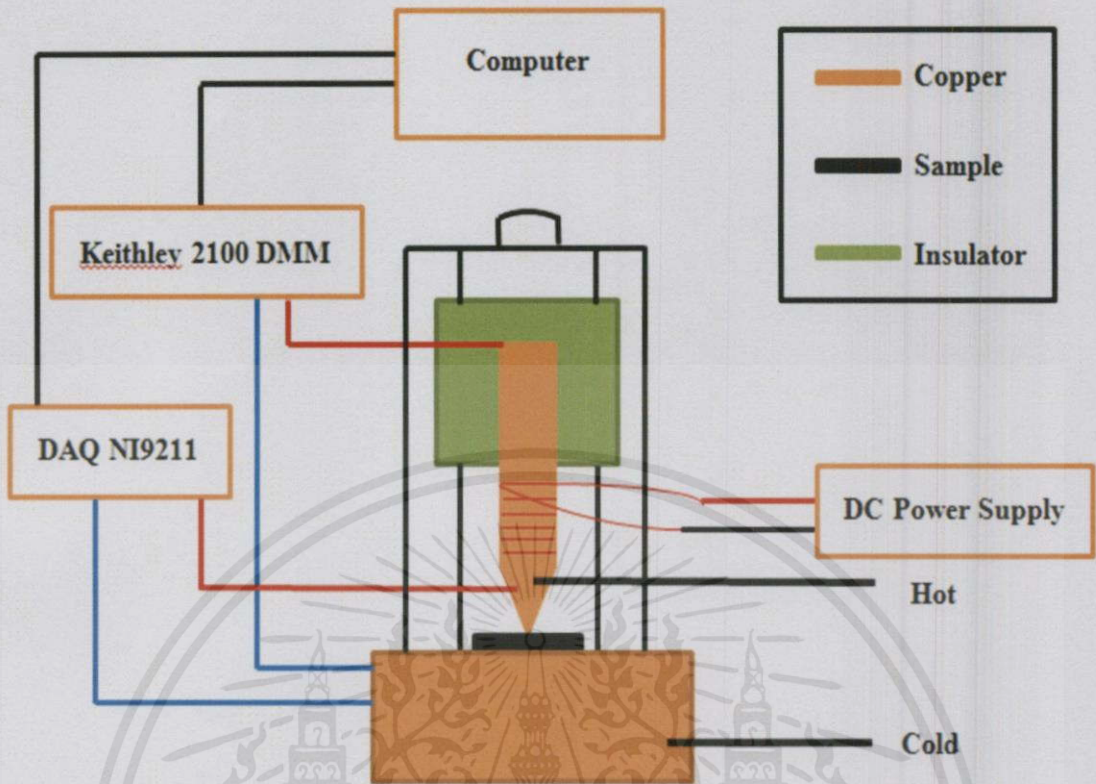
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างการแปลผล

3.2. ขั้นตอนการทดสอบ

วิธีการวัดสัมประสิทธิ์ซีเบ็ค

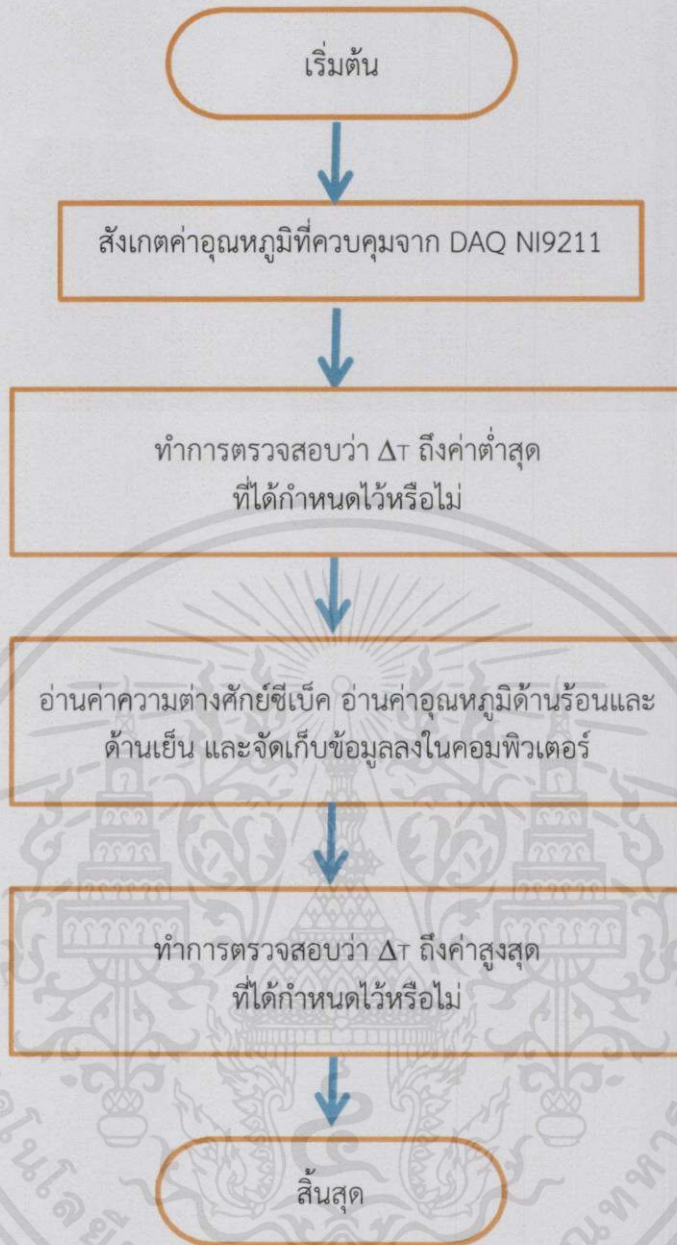
ก่อนจะเริ่มทำการวัดจะต้องวางตัวอย่างให้เรียบร้อยบนก้อนทองแดง แล้วทำการหมุนปรับตัวเลื่อนขึ้น-ลงให้ปลายแท่งทองแดงมาสัมผัสสนิทกับชิ้นงาน หลังจากนั้นจึงเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่าน power supply ให้กับขดลวดทองแดง ปรับให้ได้ค่ากระแสที่เหมาะสม (ในที่นี้คือ 2.5 A) แล้วจึงสั่งให้โปรแกรมทำงาน เมื่อความแตกต่างอุณหภูมิ ΔT ถึงค่าสูงสุดที่ได้ตั้งไว้จึงหยุดโปรแกรมและหยุดการจ่ายกระแสไฟให้กับขั้วร้อน จนอุณหภูมิลดลงมาถึงอุณหภูมิห้อง (โดยทั่วไปปรับเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส) ทำการเก็บข้อมูล 30 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง โดยเก็บค่าจากทั้งหมด 2 ตัวอย่าง ได้แก่ CuAlFeO_2 ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 1100 °C และ 1150 °C ตามลำดับ แล้วนำมาทดสอบค่าด้วยวิธีทางสถิติ ซึ่งก็คือ หลักการสมมติฐาน มาใช้ในการสรุปอ้างอิง จากการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบ็คของตัวอย่างจากเครื่องมือที่สร้างขึ้นเอง เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลไว้ให้ได้จำนวนมากพอ จากนั้นคำนวณค่าเชิงสถิติของค่าที่ได้จากการทดสอบในลักษณะของการแจกแจงข้อมูล และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับความเป็นไปได้ตามค่าที่ได้จากเครื่อง ZEM-3 หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายานาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 แผนผังของระบบการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 แผนผังการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล โดยแบ่งออกเป็น 6 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 สารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนที่ 2 วิธีการใช้โปรแกรม และการอ่านค่าต่างๆของโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ควบคุมระบบ

ส่วนที่ 3 ผลของการศึกษาหาค่ากระแสและค่าความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการทดลองและการเก็บข้อมูล

ส่วนที่ 4 ผลของการศึกษาการบอขนิตของสารกึ่งตัวนำและการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดงจากเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบค

ส่วนที่ 5 ผลของการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เผาที่อุณหภูมิ $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ และ $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เผาที่อุณหภูมิ $1150\text{ }^{\circ}\text{C}$

ส่วนที่ 6 การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ได้จากสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐาน (ZEM-3)

4.1 สารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ที่ใช้ในการทดลอง



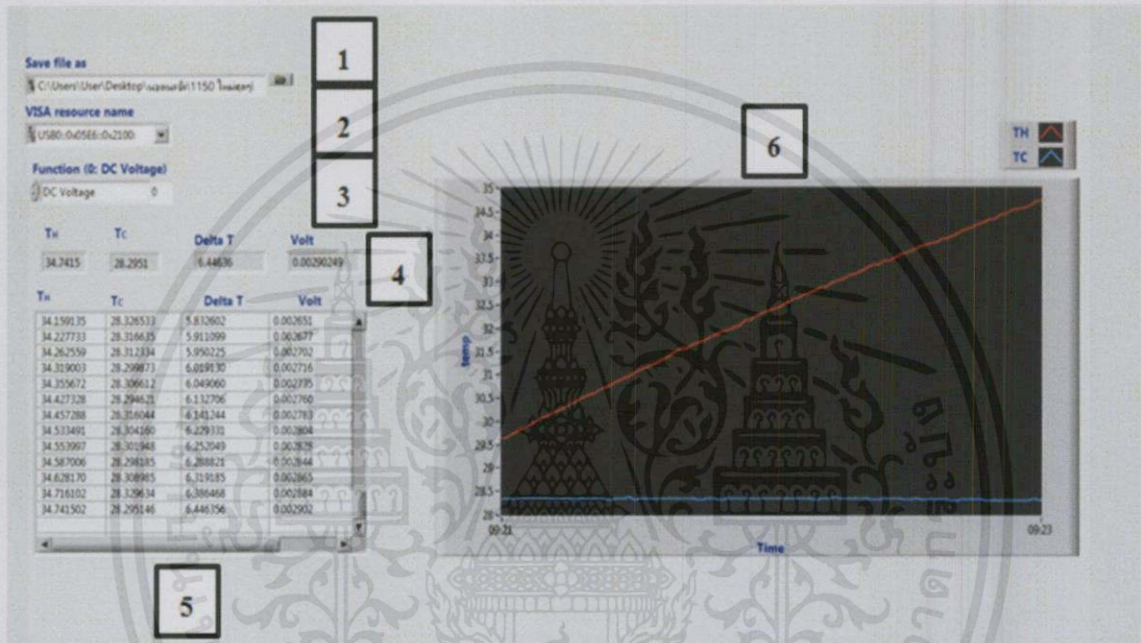
รูปที่ 4.1 สารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 4.1 เป็นรูปของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ที่ใช้ในการทดลอง โดยวิธีในการเตรียมสาร คือ ผสมผง Cu_2O ความบริสุทธิ์ 99.99 % ผง Al_2O_3 ความบริสุทธิ์ 99.99 % และผง Fe_2O_3 ความบริสุทธิ์ 99.99 % ให้ได้อัตราส่วน $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ นำไปบดด้วยมือเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปอัดเป็นแท่ง มีพื้นที่หน้าตัด $4.90\text{ mm} \times 3.20\text{ mm}$ และความยาว 19.60 mm จากนั้น

นำชิ้นงานที่ได้ไปเผาที่อุณหภูมิ 1100 °C และ 1150 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในอากาศ และจากนั้นทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (quenching)

4.2 วิธีการใช้โปรแกรม และการอ่านค่าต่างๆของโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ควบคุมระบบ

ส่วนการแสดงผล (Block Diagram) ของโปรแกรม LABVIEW สำหรับการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค แสดงดังรูปที่ 4.2 ประกอบด้วย 6 ส่วนสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 4.2 โปรแกรม LABVIEW สำหรับการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

ส่วนที่ 1 ตำแหน่งเก็บไฟล์ข้อมูลผลการทดลอง

ส่วนที่ 2 การเลือกพอร์ตเชื่อมต่อ USB

ส่วนที่ 3 เลือกชนิดกระแสที่เราต้องการวัด (ในโครงการพิเศษนี้ ใช้ไฟกระแสตรง (DC))

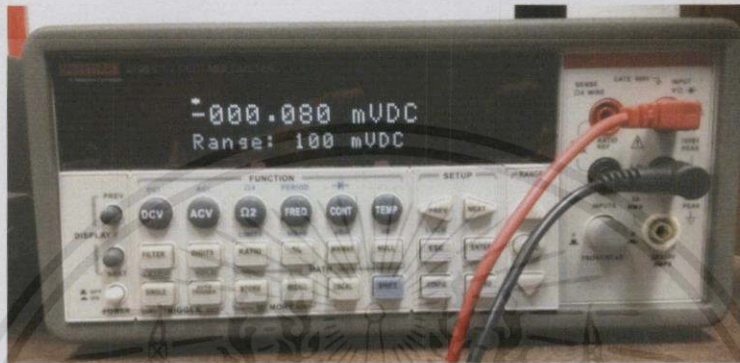
ส่วนที่ 4 ค่าปัจจุบันของอุณหภูมิด้านร้อน (T_H), อุณหภูมิด้านเย็น (T_C), ค่าความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

ส่วนที่ 5 ค่าที่อ่านได้ทั้งหมดของอุณหภูมิด้านร้อน (T_H), อุณหภูมิด้านเย็น (T_C), ค่าความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ทำการ ส่วนที่ 6 กราฟของอุณหภูมิด้านร้อน (T_H), อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) กับเวลาที่วัดได้ในขณะนั้น ไปใช้

การใช้โปรแกรม LabVIEW

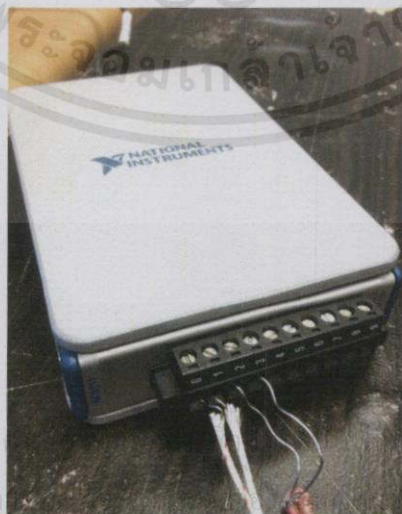
1. เปิดเครื่อง DMM เสียบสายวัดความต่างศักย์เข้ากับ DMM ตามข้อให้ถูกต้อง ดังรูปที่ 4.3 และเชื่อมต่อ DMM เข้ากับคอมพิวเตอร์โดยใช้ USB จากนั้นเลือกการเชื่อมต่อข้อมูลที่ VISA resource name เลือก USB0::0x05E6::0x2100::1420944::INSTR และ Function เลือก DC Voltage



รูปที่ 4.3 การเสียบสายวัดความต่างศักย์เข้ากับ DMM


2. เลือก Save file as บันทึกข้อมูลจากการวัด หากต้องการบันทึกข้อมูลลงใน Microsoft excel ให้บันทึกชื่อ file ตามด้วย .xls


3. ต่อสายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K เพื่อใช้วัดอุณหภูมิทั้งจากด้านร้อนและด้านเย็นเข้ากับ DAQ NI 9211 ดังรูปที่ 4.4 และเชื่อมต่อ DAQ NI 9211 เข้ากับคอมพิวเตอร์โดยใช้ USB เพื่อใช้เก็บข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์

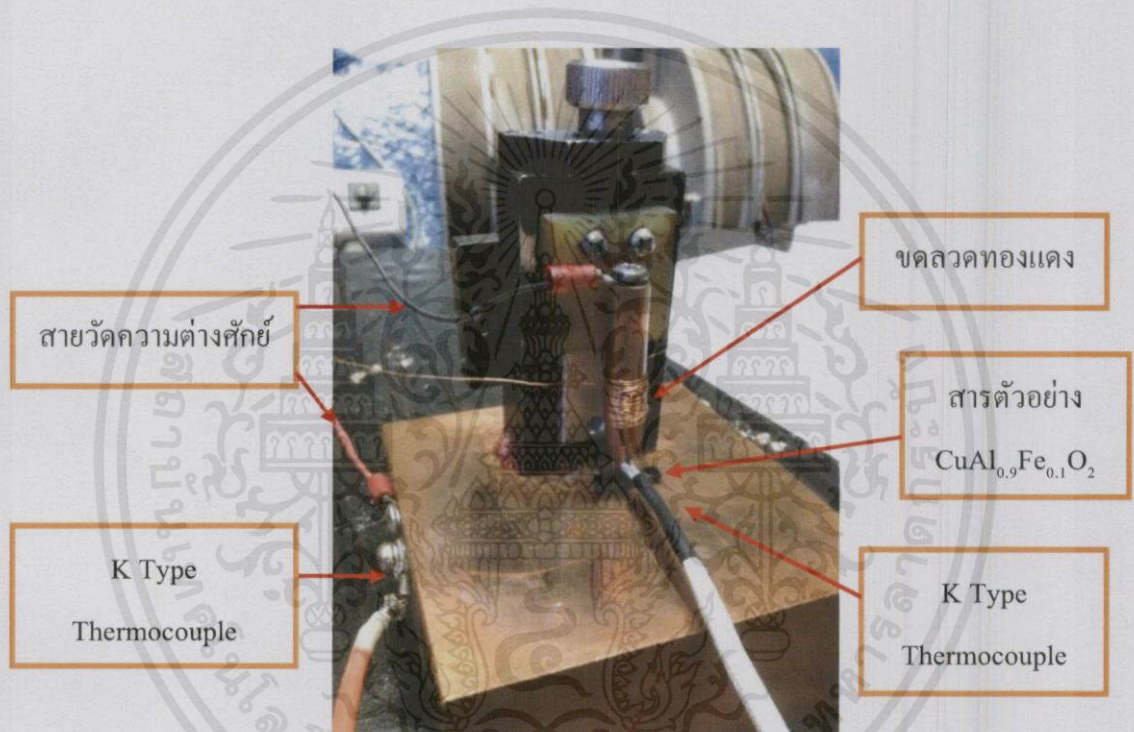


รูปที่ 4.4 การเสียบสายวัดความต่างศักย์เข้ากับ DMM

4. วางสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ที่เราต้องการจะวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคลงบนก้อนทองแดง และหมุนปรับตัวเลื่อนให้หัววัดลงมาสัมผัสแนบสนิทกับชิ้นงาน

5. จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดทองแดงโดยปรับให้ DC Power Supply จ่ายกระแสที่ 2.5 A แล้วจึงกด  (Run) สั่งให้โปรแกรมทำงาน

6. โปรแกรมจะเริ่มทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค เมื่อความแตกต่างอุณหภูมิ ΔT ถึงค่าสูงสุดที่ได้ตั้งไว้คือประมาณ 10 จึงกด  (Abort Execution) สั่งหยุดโปรแกรม และปรับกระแสจาก DC Power Supply ให้เป็น 0 เป็นการหยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดทองแดง



รูปที่ 4.5 การวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคบนสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$

เมื่อโปรแกรม LABVIEW หยุดการวัดค่าแล้ว (โดยอาจกดหยุดเองหรือโปรแกรมทำงานครบตามเวลาที่กำหนด) ค่าที่วัดได้ทั้งหมดจะถูกบันทึกไว้ในไฟล์ของโปรแกรม Microsoft Office Excel ที่เลือกไว้ก่อนทำการวัด เมื่อเปิดขึ้นมาจะแสดงค่าออกมาในตารางดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Temp H	Temp C	Delta T	Volt					
2	27.67	25.65	2.02	0.000791					
3	27.7	25.64	2.06	0.000871					
4	27.76	25.66	2.1	0.000868					
5	27.81	25.65	2.16	0.000889					
6	27.88	25.65	2.23	0.000919					
7	27.92	25.65	2.28	0.000944					
8	27.98	25.64	2.34	0.000948					
9	28.04	25.63	2.41	0.000987					
10	28.08	25.64	2.44	0.00101					
11	28.15	25.66	2.49	0.001037					
12	28.23	25.66	2.57	0.00107					
13	28.3	25.66	2.64	0.001099					
14	28.3	25.67	2.63	0.001123					
15	28.36	25.65	2.71	0.001158					
16	28.44	25.65	2.8	0.00118					
17	28.5	25.65	2.85	0.001213					

รูปที่ 4.6 ตารางแสดงค่าทั้งหมดที่วัดได้ในโปรแกรม Microsoft Office Excel

โดยที่

คอลัมน์ A บันทึกค่าอุณหภูมิด้านร้อน (T_H)

คอลัมน์ B บันทึกค่าอุณหภูมิด้านเย็น (T_C)

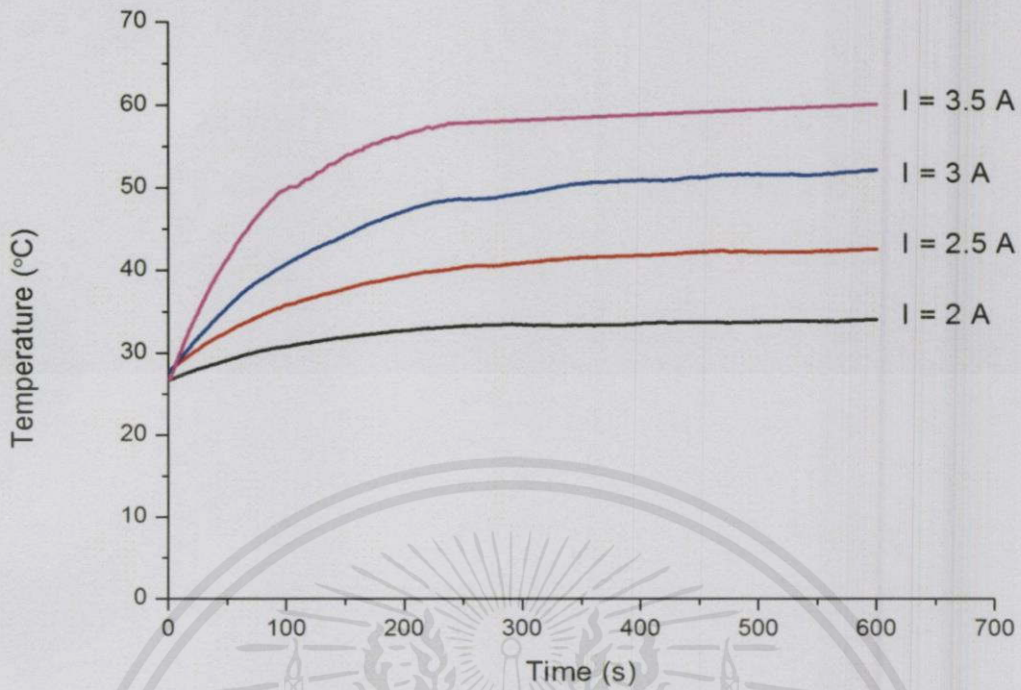
คอลัมน์ C บันทึกค่าความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT)

คอลัมน์ D บันทึกค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (ΔV)

4.3 ผลของการศึกษาหาค่ากระแสและค่าความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง

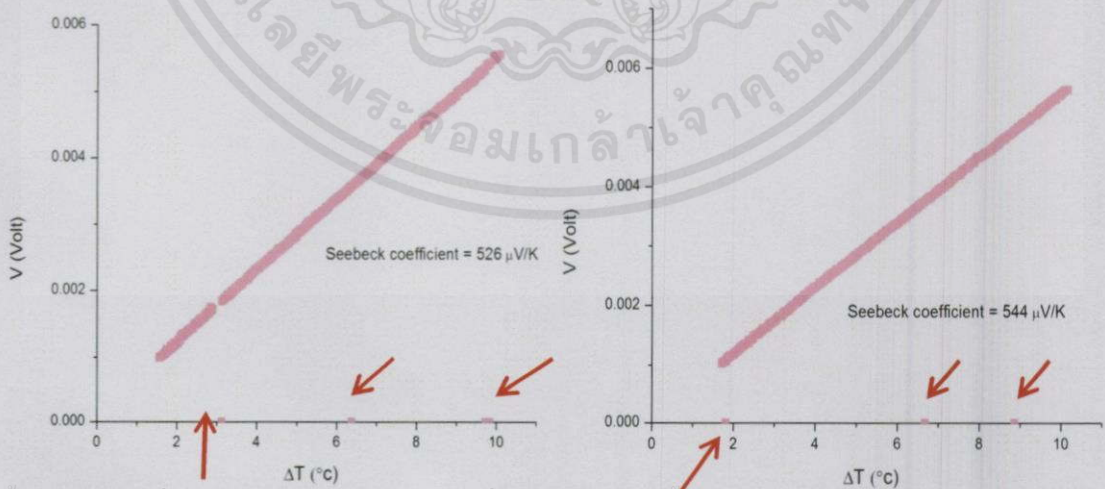
ในโครงงานพิเศษนี้ เราได้ทำการทดลองจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดทองแดงที่พันอยู่รอบๆ ปลายแท่งทองแดงเป็นเวลา 10 นาที โดยได้กำหนดให้มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 2.0-3.5 A เพื่อหาค่ากระแสที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง จากนั้นนำมาเขียนกราฟแสดงสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของปลายแท่งทองแดงเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ค่าต่างๆกับเวลา ดังรูปที่ 4.7 โดยช่วงอุณหภูมิในการทดลองที่เราสนใจ คือ 27-37 °C ซึ่งจากรูปที่ 4.7 จะพบว่า การจ่ายกระแสไฟฟ้าทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่ที่เวลาประมาณ 5 นาที โดยที่กระแสไฟฟ้า 2 A จะทำให้ได้อุณหภูมิ 34 °C ที่กระแสไฟฟ้า 2.5 A จะทำให้ได้อุณหภูมิ 42 °C ที่กระแสไฟฟ้า 3 A จะทำให้ได้อุณหภูมิ 52 °C และที่กระแสไฟฟ้า 3.5 A จะทำให้ได้อุณหภูมิ 60 °C ดังนั้นจะพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าที่มีความเหมาะสมกับช่วงอุณหภูมิที่เราสนใจคือ 2.5 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเมื่อมีการจ่ายกระแสค่าต่างๆกับเวลา

จากนั้นจะเป็นการหาค่าความถี่ที่เหมาะสมต่อการทดลอง โดยเราได้เริ่มทำการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ที่ความถี่ 4 Hz และ 2 Hz ตามลำดับ ซึ่งจากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่าในการทดลองทั้งสองช่วงความถี่นั้นยังมีข้อมูลบางค่าที่แสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการกำหนดช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลที่เร็วเกินไป อาจจะทำให้มีบางค่าที่เครื่องไม่สามารถเก็บได้ทัน

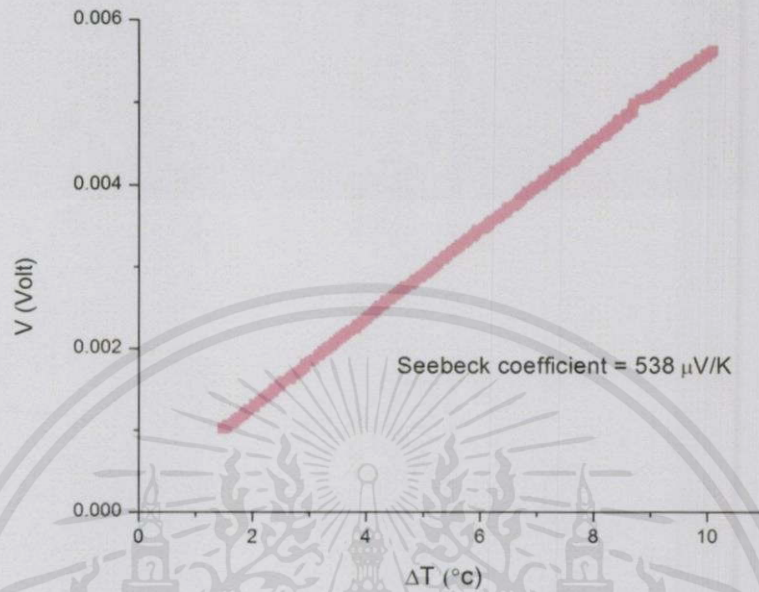


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการหาค่าความถี่ที่เหมาะสมต่อการทดลองที่ความถี่ (a) 4 Hz (b) 2 Hz

ดังนั้นเราจึงได้ลดความถี่ลงเป็น 1 Hz โดยจากรูปที่ 4.9 จะแสดงให้เห็นว่ากราฟที่ได้ที่ความถี่ 1 Hz ไม่มีข้อมูลที่แสดงถึงค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ดังนั้นความถี่ที่ 1 Hz จึงเป็นความถี่ที่เหมาะสมต่อการทดลอง

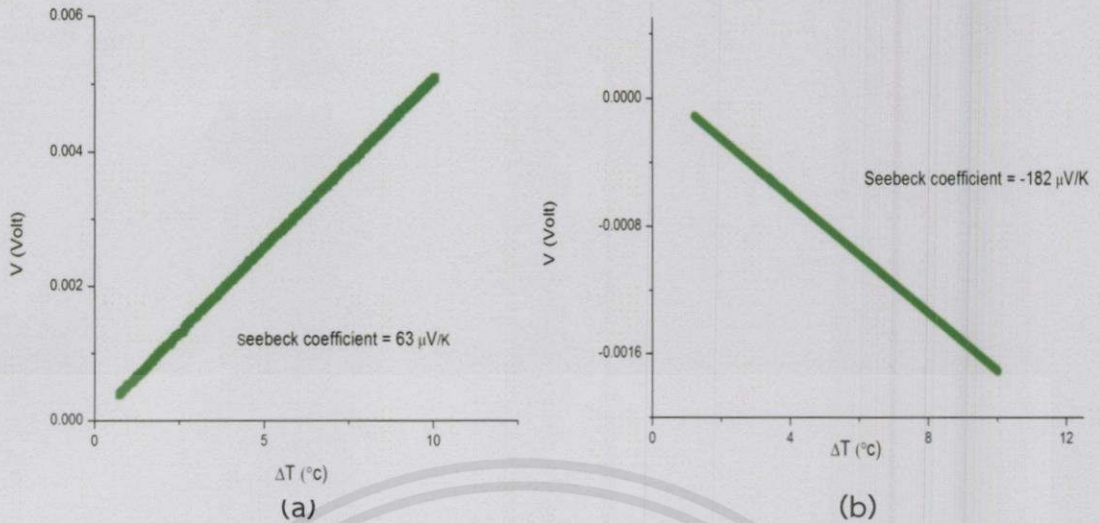


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการหาค่าความถี่ที่เหมาะสมต่อการทดลองที่ความถี่ 1 Hz

4.4 ผลของการศึกษาการบอกชนิดของสารกึ่งตัวนำและการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดงจากเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบค

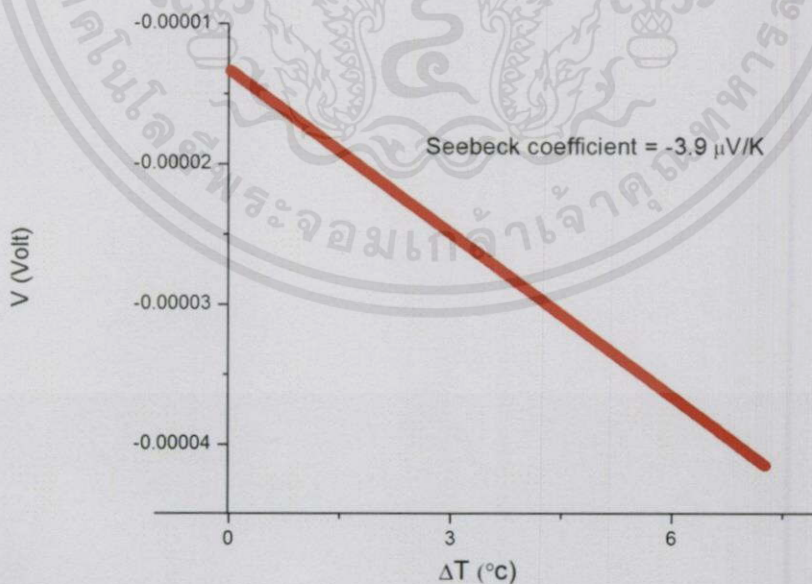
ในการทดลองในโครงงานพิเศษนี้ เราได้มีการทดสอบขั้นต้นก่อนว่าเครื่องมือที่เราสร้างขึ้นนั้นจะสามารถบอกชนิดของสารกึ่งตัวนำที่นำมาวัดได้ถูกต้องหรือไม่ จึงทำการทดลองหาชนิดของสารกึ่งตัวนำ โดยใช้สารกึ่งตัวนำ Bi_2Te_3 มาทดสอบ โดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.10 รูป (a) จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p เพราะค่าที่ได้จากกราฟมีค่าเป็นบวก รูป (b) จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด n เพราะค่าที่ได้จากกราฟเป็นลบ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองมีค่าสอดคล้องกับค่าของสารกึ่งตัวนำที่เรานำมาทดลองวัด แสดงว่าการบอกชนิดของสารกึ่งตัวนำจากเครื่องมือที่เราสร้างขึ้นนั้นเป็นที่เชื่อถือได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบสารกึ่งตัวนำ Bi_2Te_3 เพื่อบอกชนิด (a) p type และ (b) n type

เนื่องจากการทดลองในโครงงานพิเศษนี้ ไม่ได้ทำการวัดค่าความต่างศักย์และอุณหภูมิที่ตัวชิ้นงานโดยตรง แต่ทำการวัดจากผิวสัมผัสด้านบนของชิ้นงานผ่านหัววัดของแท่งทองแดง และจากผิวสัมผัสด้านล่างของชิ้นงานผ่านก้อนทองแดง เราจึงได้ทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดงก่อน เพื่อนำมาใช้หักออกจากค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ได้มาจากการวัดโดยใช้ชิ้นงาน จึงทำให้เราทราบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของชิ้นงานที่แท้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยที่ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.11 สัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากรูปที่ 4.11 จะแสดงผลค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดงที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเท่ากับ $-3.9 \mu\text{V/K}$ เมื่อนำไปเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาตรฐานของทองแดงซึ่ง

มีค่าเท่ากับ $-3.0 \mu\text{V/K}$ แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดงที่วัดได้มีค่าสอดคล้องกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาตรฐานของทองแดง

4.5 ผลของการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ และ $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ $1150 \text{ }^\circ\text{C}$

เราได้ทำการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ที่ทราบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่แน่นอนจากการวัดด้วยเครื่อง ZEM-3 เพื่อทดสอบว่าเครื่องมือวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของเรานั้นมีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด

โดยในการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ นั้นเราจะทำการทดลองวัดค่าและเก็บข้อมูลจำนวน 30 ครั้งต่อสารตัวอย่าง 1 ชิ้น โดยในแต่ละครั้งของการวัดจะเปลี่ยนตำแหน่งของจุดวัดบนสารตัวอย่างเพื่อความแม่นยำของข้อมูลที่ได้ จากนั้นนำข้อมูลทั้ง 30 ค่ามาวิเคราะห์เชิงสถิติด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อตรวจสอบว่าค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดนั้นมีความสอดคล้องเป็นไปตามค่าที่ได้จากเครื่อง ZEM-3 หรือไม่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1 $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1100 °C

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1100°C

ครั้งที่	ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ($\mu\text{V/K}$)	ครั้งที่	ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ($\mu\text{V/K}$)
1	438.00	16	468.00
2	435.00	17	453.00
3	443.00	18	447.00
4	447.00	19	473.00
5	467.00	20	438.00
6	471.00	21	468.00
7	455.00	22	466.00
8	452.00	23	453.00
9	441.00	24	467.00
10	473.00	25	468.00
11	472.00	26	466.00
12	475.00	27	467.00
13	466.00	28	473.00
14	468.00	29	455.00
15	470.00	30	468.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1150 °C

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1150°C

ครั้งที่	ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ($\mu\text{V}/\text{K}$)	ครั้งที่	ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ($\mu\text{V}/\text{K}$)
1	500.00	16	501.00
2	504.00	17	500.00
3	510.00	18	504.00
4	512.00	19	510.00
5	516.00	20	512.00
6	491.00	21	516.00
7	477.00	22	491.00
8	509.00	23	477.00
9	499.00	24	509.00
10	514.00	25	499.00
11	505.00	26	514.00
12	538.00	27	505.00
13	534.00	28	538.00
14	483.00	29	534.00
15	488.00	30	483.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ได้จากสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ด้วยโปรแกรม SPSS เปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐาน (ZEM-3)

4.6.1 $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เผาที่อุณหภูมิ 1100 °C

การทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

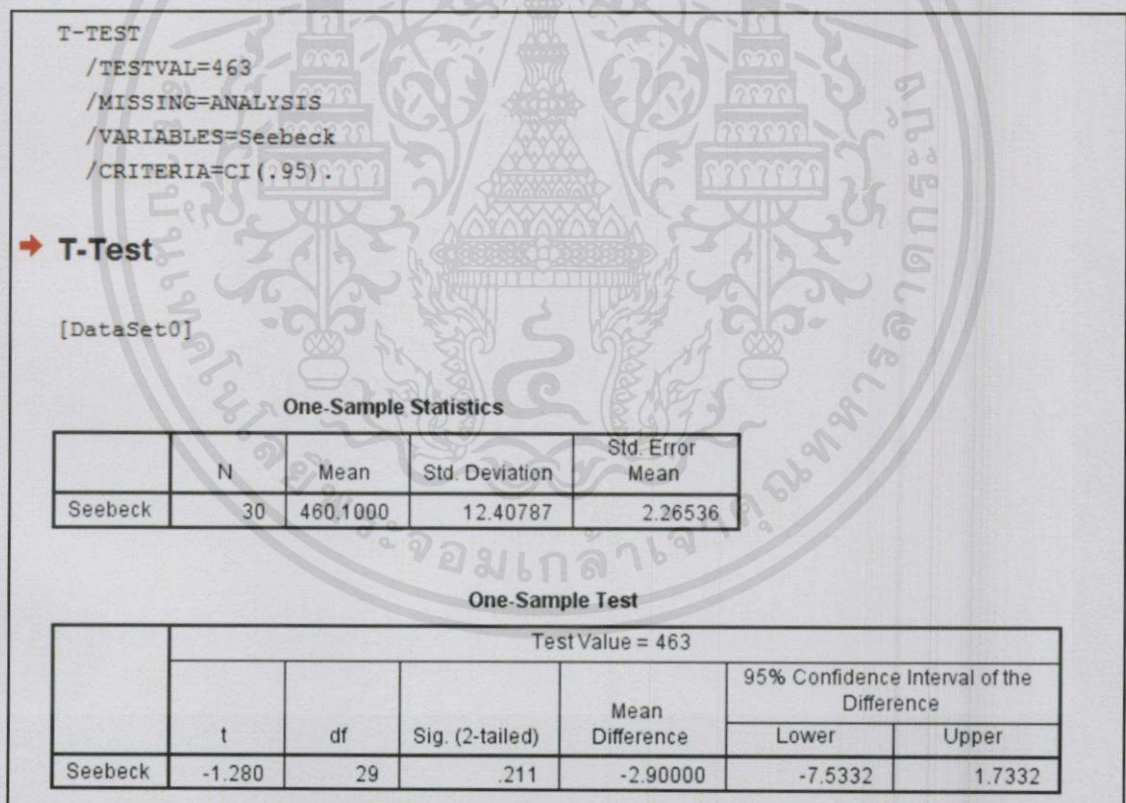
$$H_0 : \mu = 463$$

$$H_1 : \mu \neq 463$$

H_0 เป็นสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยจากการวัด 30 ค่า มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยเท่ากับ 463 $\mu\text{V/K}$

H_1 เป็นสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยจากการวัด 30 ค่า มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยไม่เท่ากับ 463 $\mu\text{V/K}$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เผาที่อุณหภูมิ 1100 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคจากการวัดด้วยเครื่องมือของเราจะมีค่าเป็น $460.10 \pm 2.26 \mu\text{V/K}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และจะเห็นว่า ค่า $t = -1.280$ ถูก

เปลี่ยนเป็นค่าความน่าจะเป็นหรือที่เรียกว่า ค่า P (P-Value) ในที่นี้อยู่ในรูปค่า Sig. (2-tailed) = 0.211 มีค่ามากกว่าค่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่ายอมรับสมมติฐาน H_0 นั่นคือสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยเท่ากับ $463 \mu\text{V/K}$ ตรงกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาตรฐานของ $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ $463 \mu\text{V/K}$

4.6.2 $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เผาที่อุณหภูมิ $1100 \text{ }^\circ\text{C}$

การทดสอบสมมติฐาน

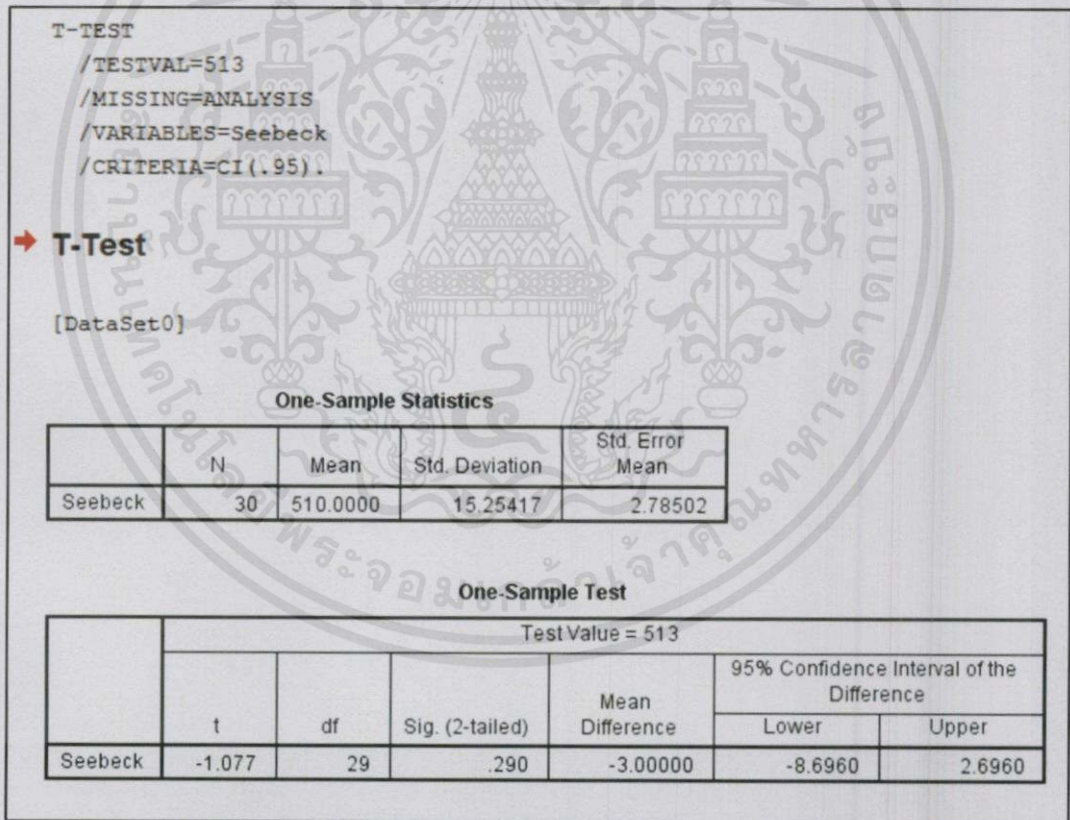
สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบ

$$H_0 : \mu = 513$$

$$H_1 : \mu \neq 513$$

H_0 เป็นสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยจากการวัด 30 ค่า มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยเท่ากับ $513 \mu\text{V/K}$

H_1 เป็นสมมติฐานว่าค่าเฉลี่ยจากการวัด 30 ค่า มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเฉลี่ยไม่เท่ากับ $513 \mu\text{V/K}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เผาที่อุณหภูมิ $1150 \text{ }^\circ\text{C}$

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคจากการวัดด้วยเครื่องมือของเราจะมีค่าเป็น $510.00 \pm 2.78 \mu\text{V/K}$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และจะเห็นว่า ค่า $t = 0.206$ ไม่่ากรณีใดทางอื่นให้ข้อผิดพลาด และต้องอ้างอิงถึงข้อมูลสารที่ครั้งก่อนมาในเชิงถูกเปลี่ยนเป็นค่าความน่าจะเป็นหรือที่เรียกว่า ค่า P (P-Value) ในที่นี้อยู่ในรูปค่า Sig. (2-tailed)

= 0.838 มีค่ามากกว่าค่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่ายอมรับสมมติฐาน H_0 นั่นคือสรุปได้ว่า ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 513 $\mu\text{V/K}$ ตรงกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาตรฐานของ $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิ 1150 $^{\circ}\text{C}$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 513 $\mu\text{V/K}$ แสดงว่าข้อมูลที่วัดได้จากเครื่องมือที่เราสร้างขึ้นนั้นมีประสิทธิภาพเป็นที่เชื่อถือได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้ได้ศึกษา การสร้างเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคที่อุณหภูมิห้องโดยใช้เทคนิคไพโรรอน โดยใช้การประมวลผลและการจัดเก็บข้อมูลผ่านโปรแกรมมาตรฐาน LabVIEW จากผลการทดลองได้มีการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1100 °C และเเผที่อุณหภูมิ 1150 °C ตามลำดับ ทำการทดลองวัดค่าและเก็บข้อมูลจำนวน 30 ค่าต่อสารตัวอย่าง 1 ชิ้น จากนั้นนำข้อมูลทั้ง 30 ค่า มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม SPSS ผลจากการวิเคราะห์ที่ได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือมาตรฐานพบว่าค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดนั้นมีความสอดคล้องเป็นไปตามค่าที่ได้จากเครื่อง ZEM-3 คือ ค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1100 °C มีค่าเท่ากับ 463 $\mu\text{V/K}$ และค่าเฉลี่ยที่ได้จากเครื่องมือวัดของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1150 °C มีค่าเท่ากับ 513 $\mu\text{V/K}$

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ในการวัดชิ้นงานทุกครั้งจะต้องให้ไพโรบวัดสัมผัสกับผิวชิ้นงานได้สนิทพอดี จะทำให้ได้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) ที่ถูกต้องมีความคลาดเคลื่อนน้อย
- หากจะใช้วัดสัมประสิทธิ์ซีเบคที่อุณหภูมิสูง จะต้องมีการพัฒนาเพิ่มระบบหล่อเย็นเข้ามาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

ดร.สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์. ธันวาคม 2010 - มกราคม 2011. เทอร์โมอิเล็กทริก เทคโนโลยีแห่ง
วันวานที่กำลังถูกจับตา. หน่วยวิจัยพลังงานสะอาด ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
เผ่าเทพ พิษณุซากร. เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก. ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคล.

อาจารย์สาธิต ปิยนลินมาศ. เทอร์โมอิเล็กทริกส์: วัสดุผลิตไฟฟ้าจากความร้อนเหลือทิ้งอุตสาหกรรม.
ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อุดมศักดิ์ บุญประเสริฐ. การใช้งานเทอร์โมคัปเปิล. กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์ โรงเรียนนายเรือ.

Novela Auparay. June 11, 2013. Room Temperature Seebeck Coefficient
Measurement of Metals and Semiconductors. Bachelor Science in Physics,
Oregon State University.

Clemens J. M. Lasance. November 1, 2006. The Seebeck Coefficient.

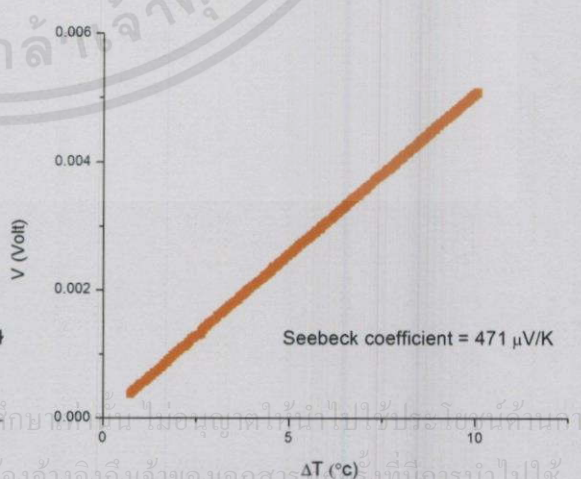
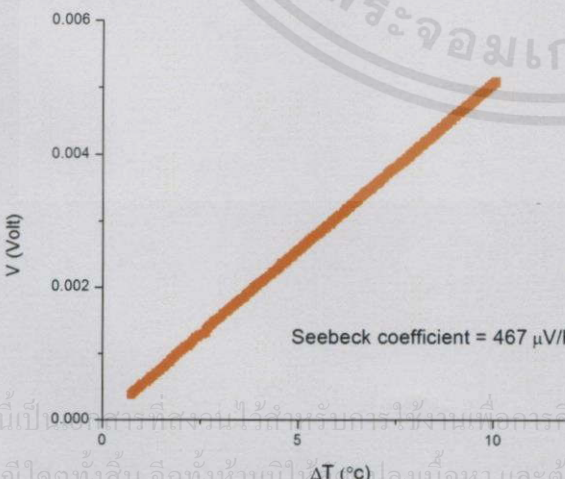
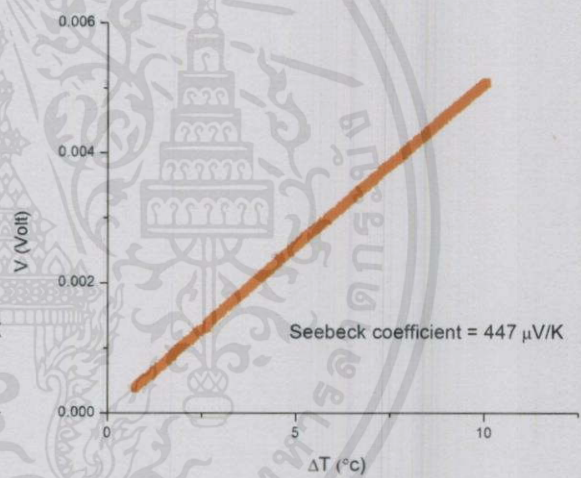
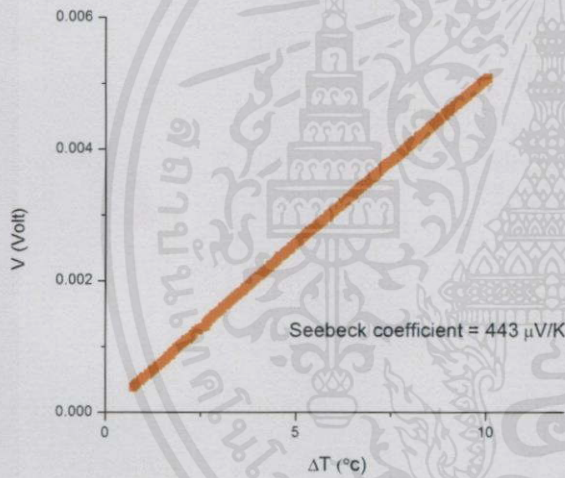
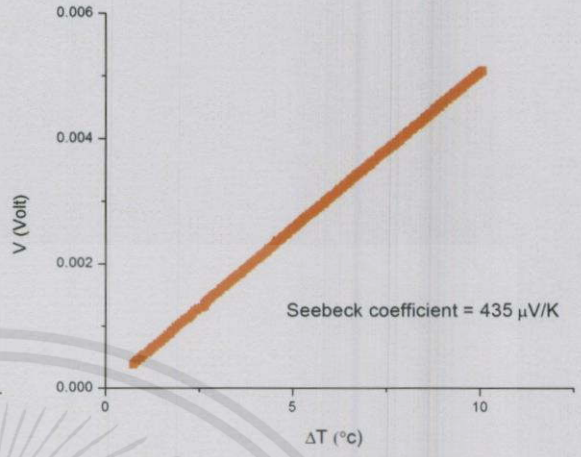
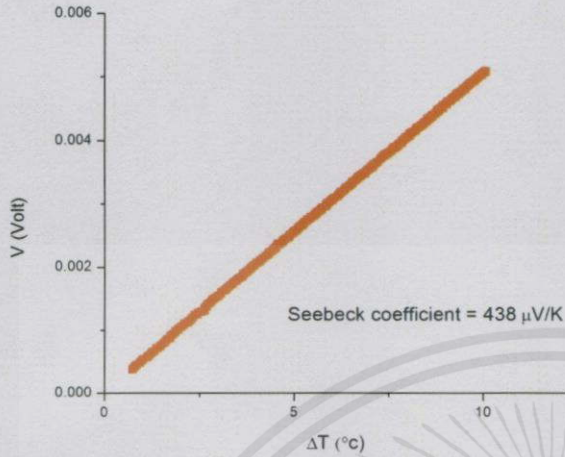


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

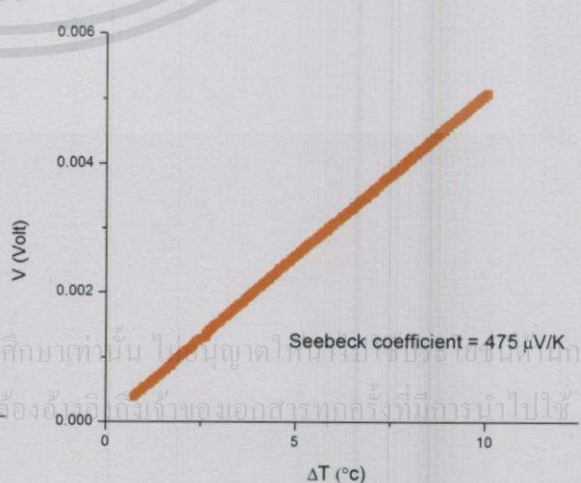
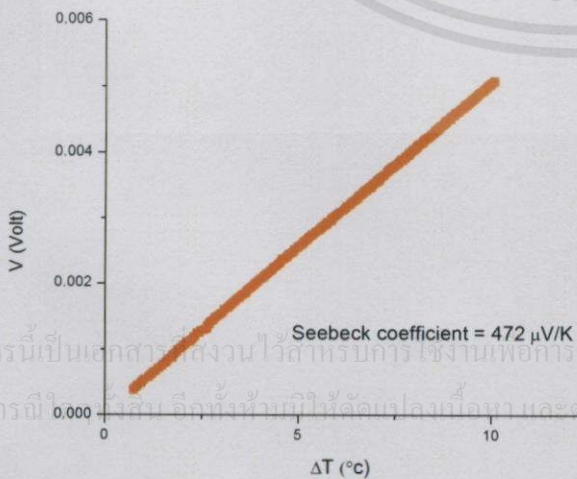
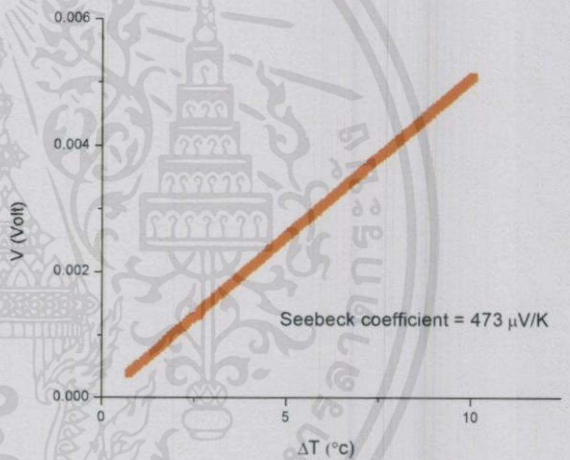
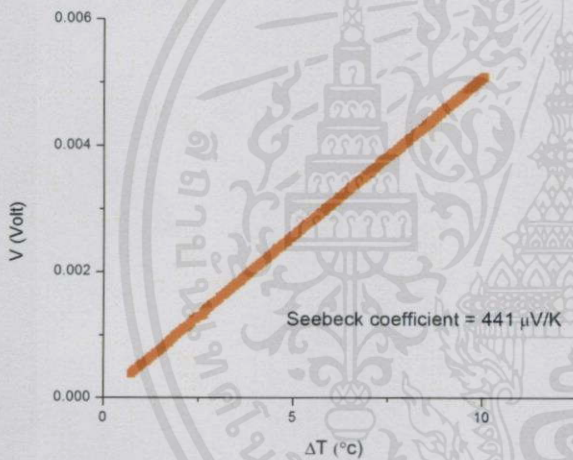
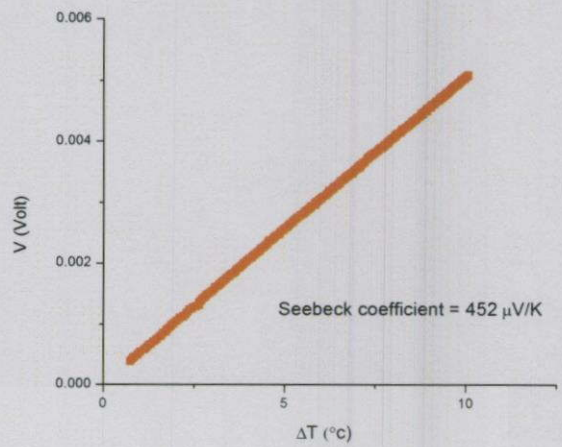
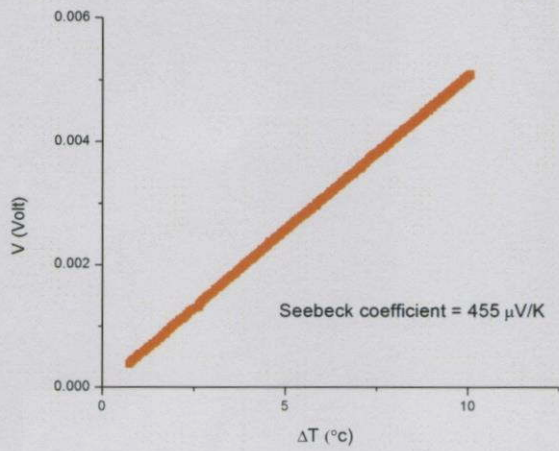


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

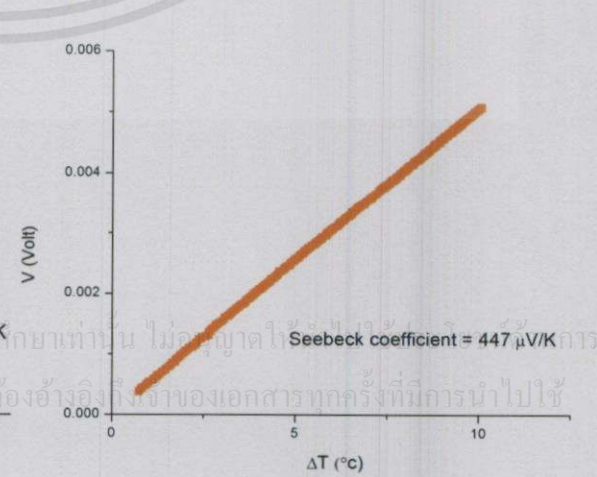
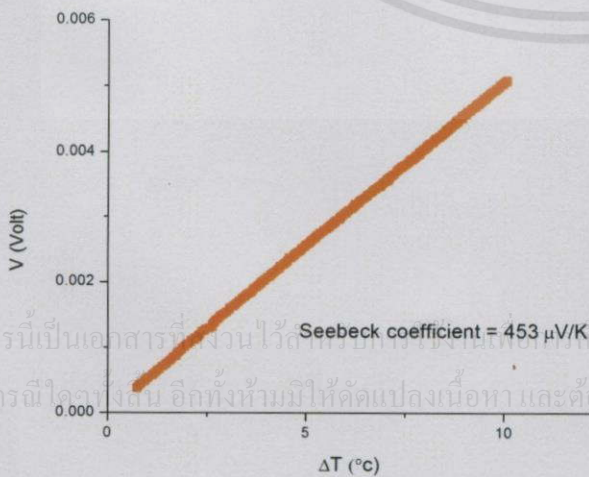
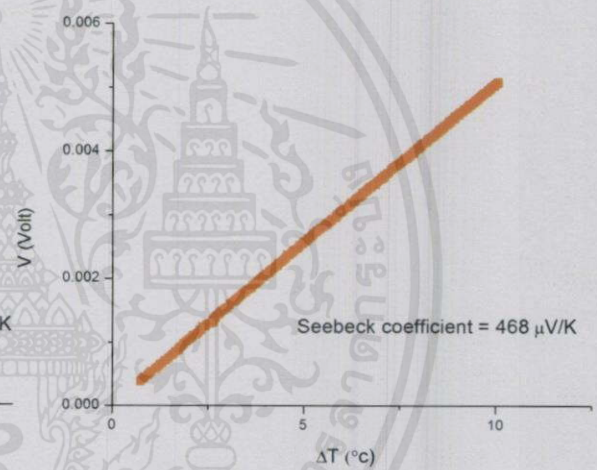
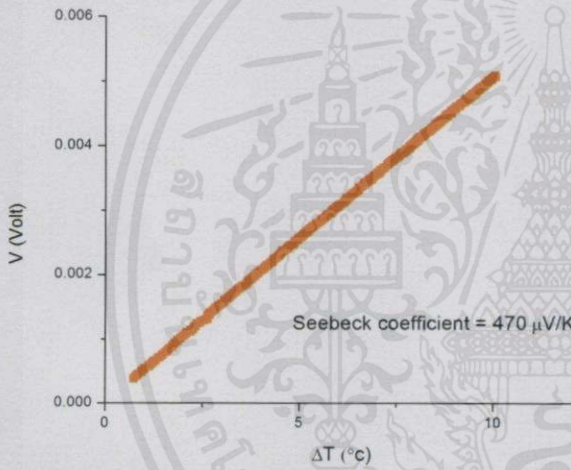
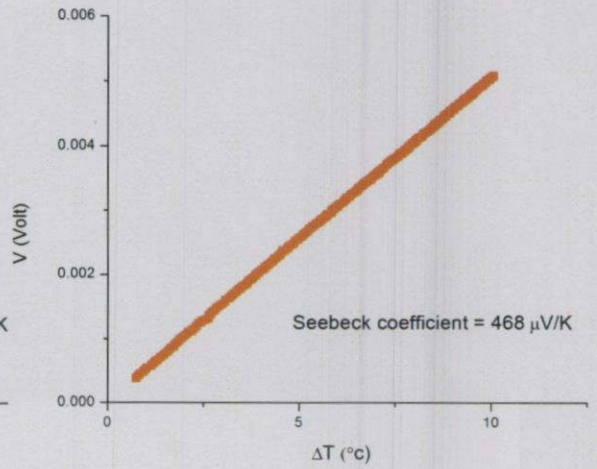
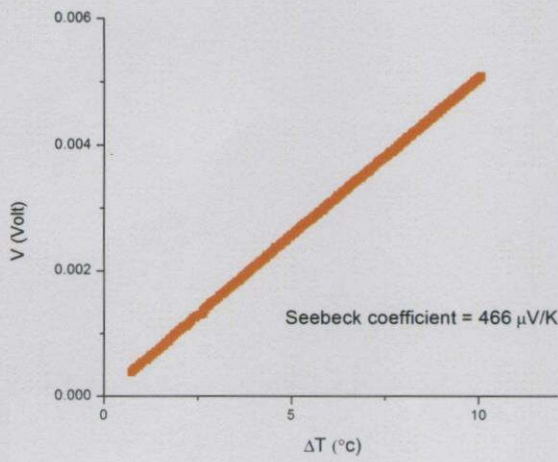
กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) ของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เเผที่อุณหภูมิ 1100 °C ทั้ง 30 ค่า



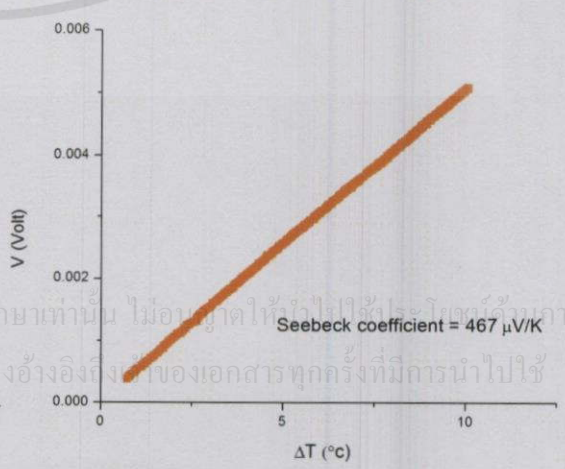
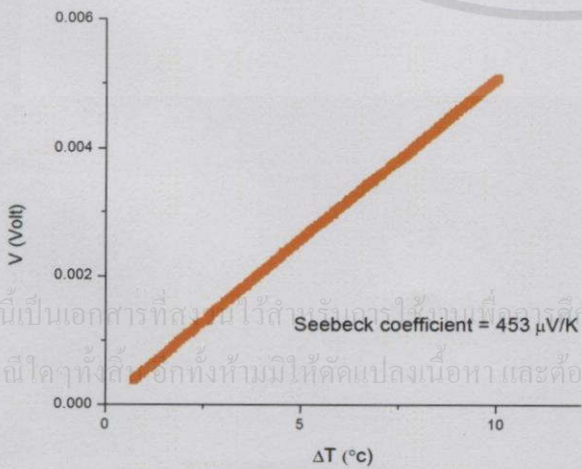
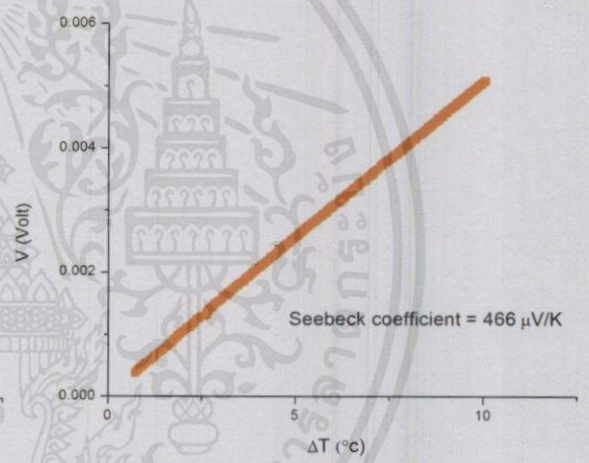
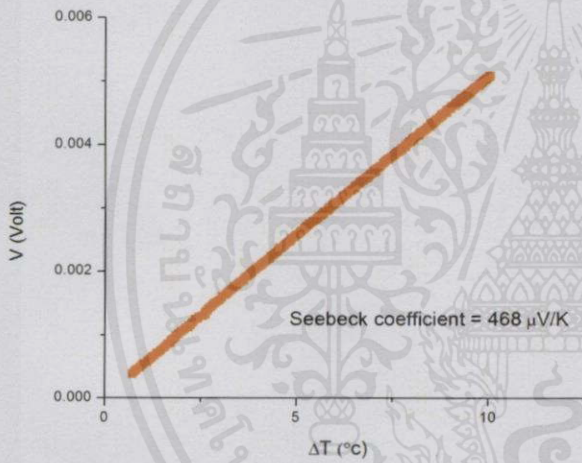
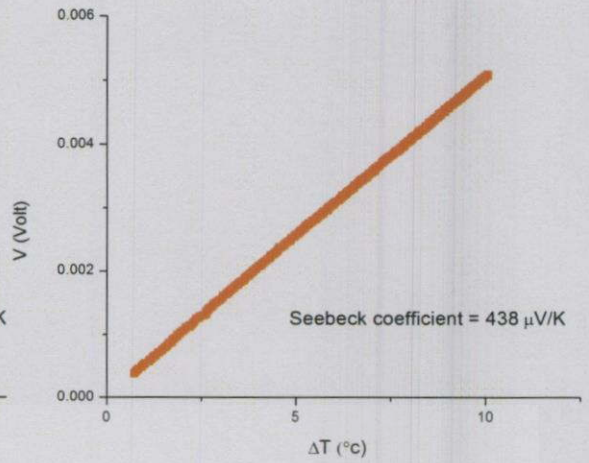
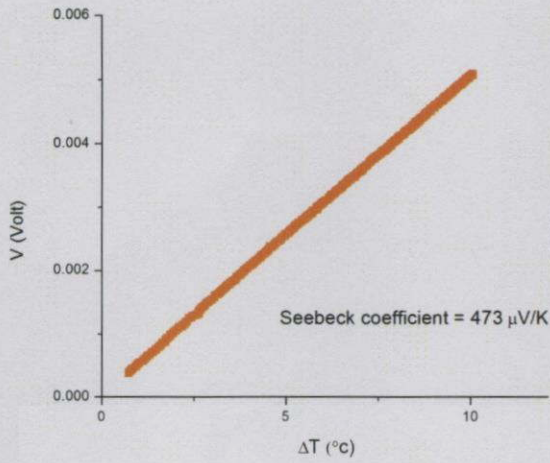
เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ ΔT (°C) ปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



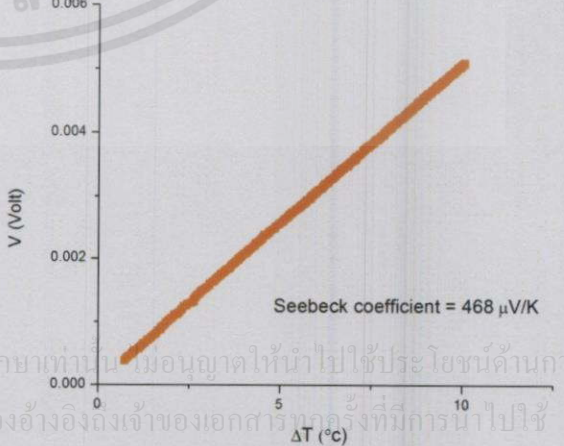
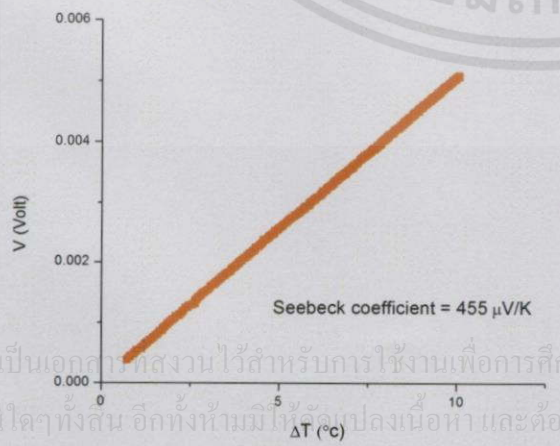
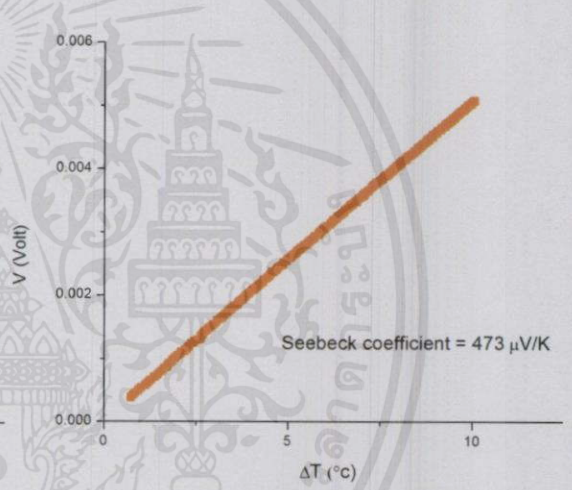
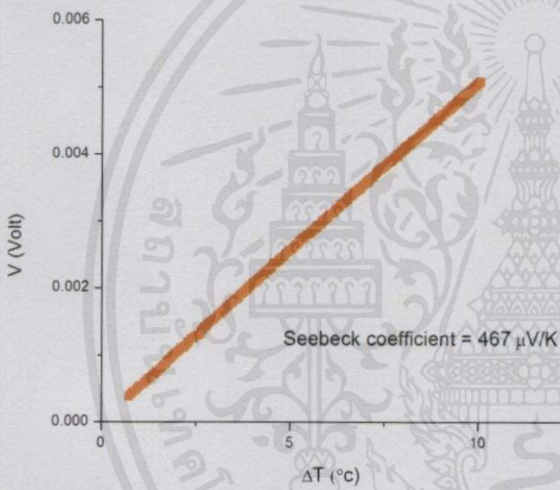
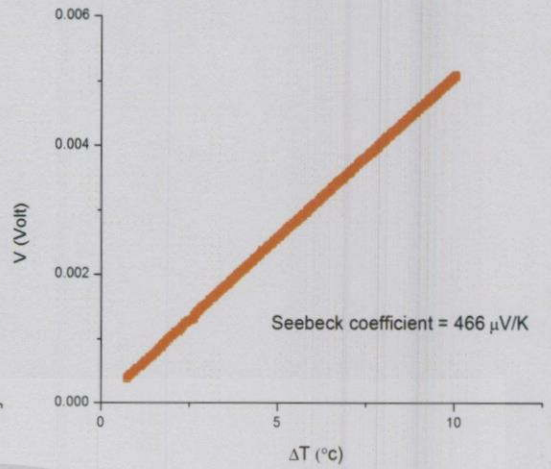
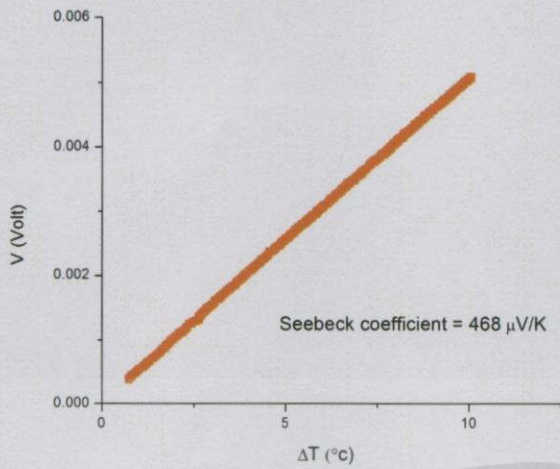
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าการนี้ให้ข้อมูลเชิงลึกที่ช่วยให้ได้ประโยชน์และต้องปฏิบัติตามเงื่อนไขการใช้งานเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปภายนอก การค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

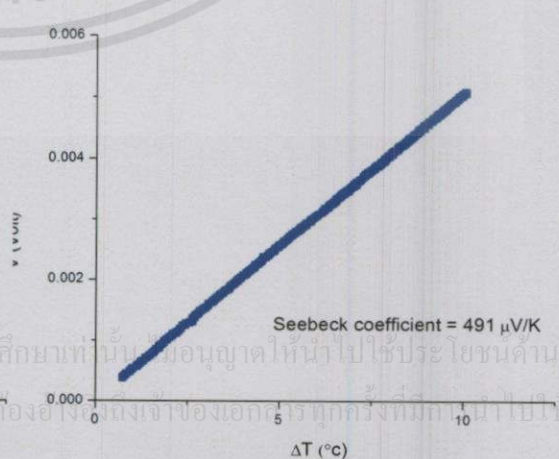
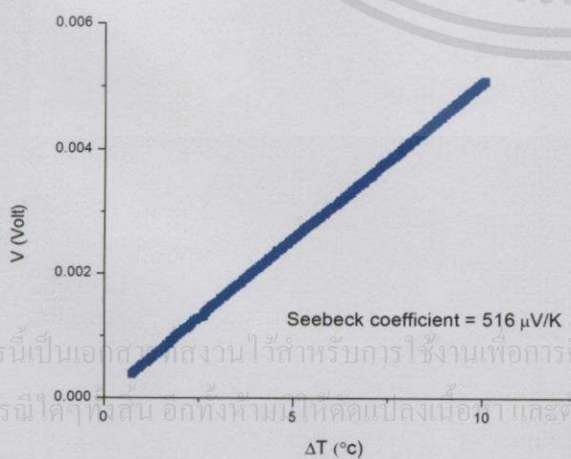
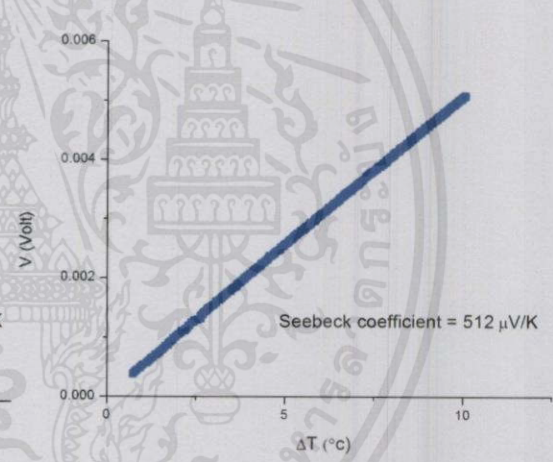
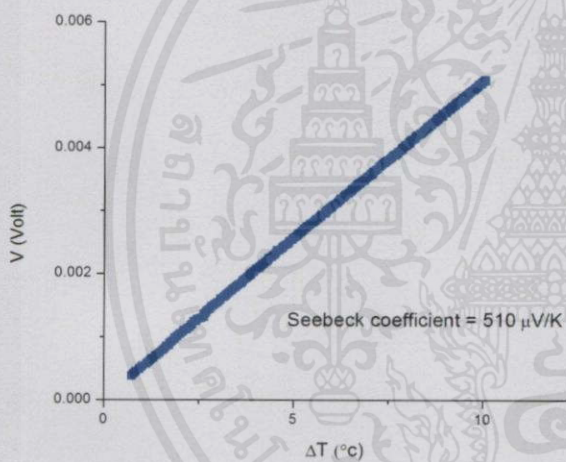
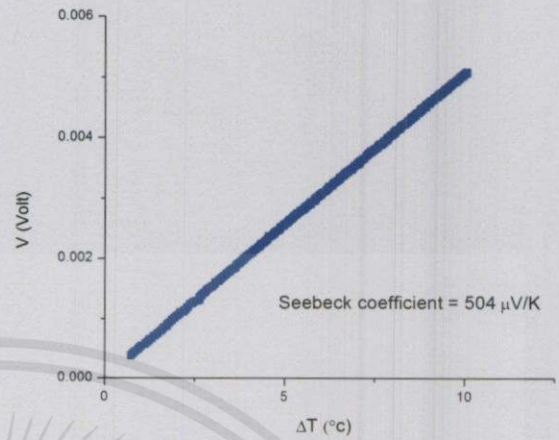
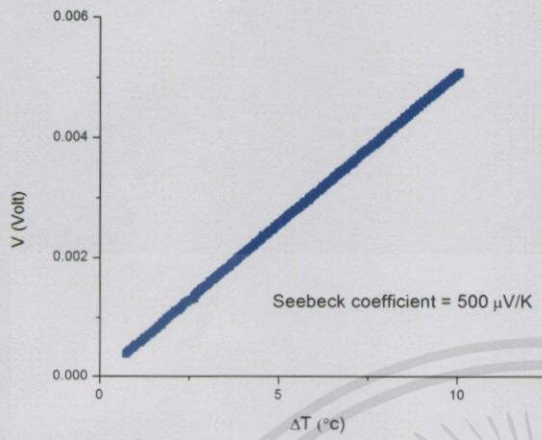


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูไปงานที่ครูศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ในงานอื่น การค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

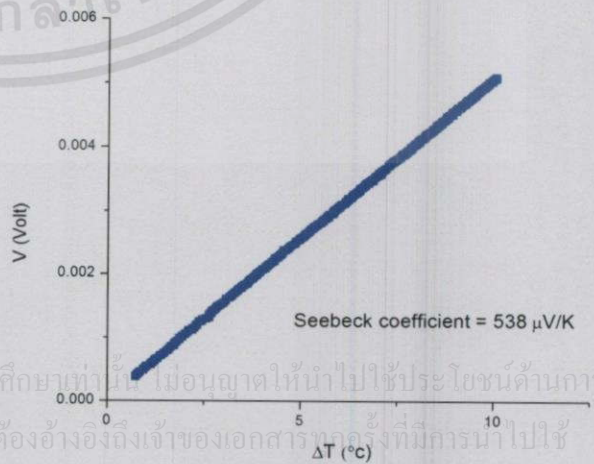
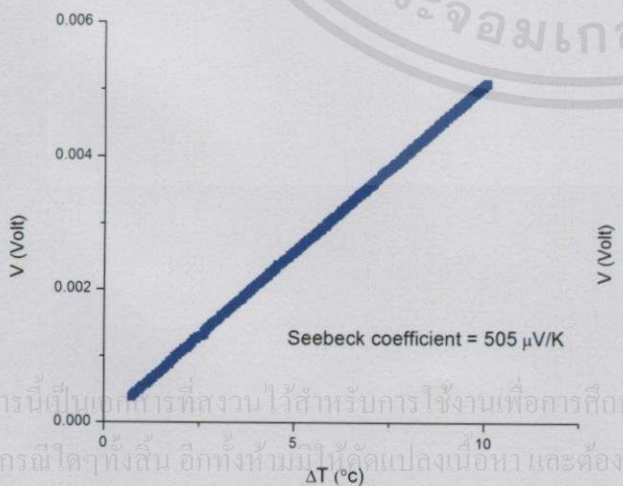
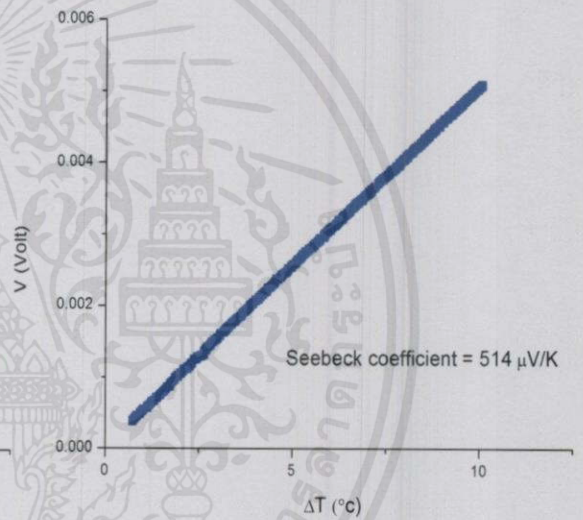
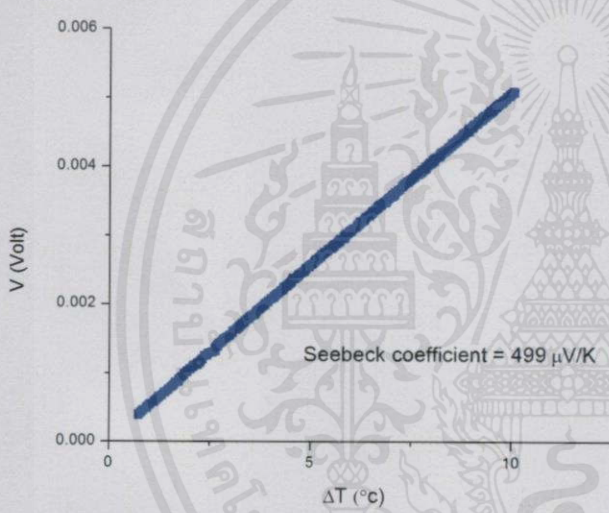
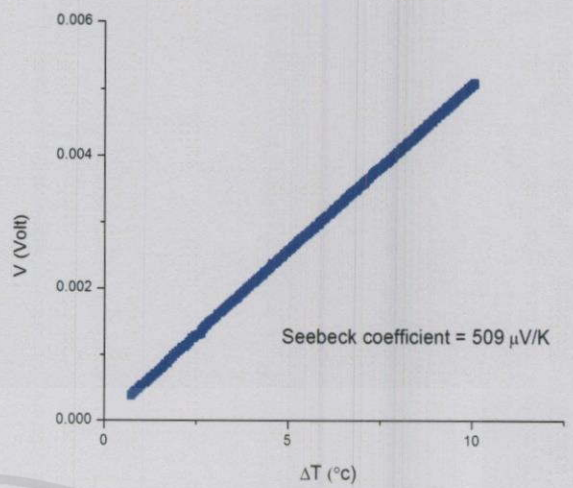
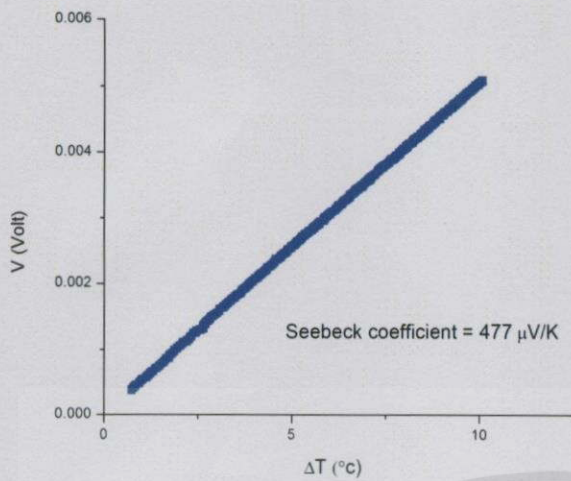


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

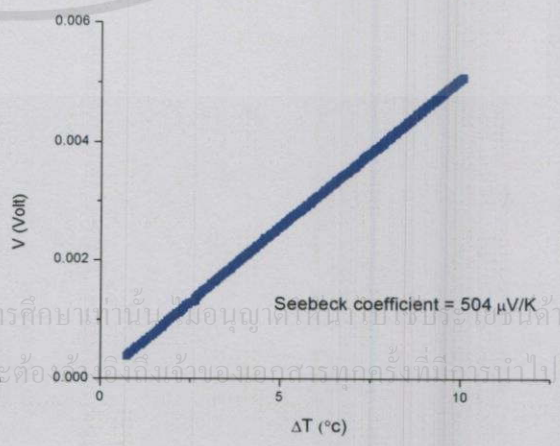
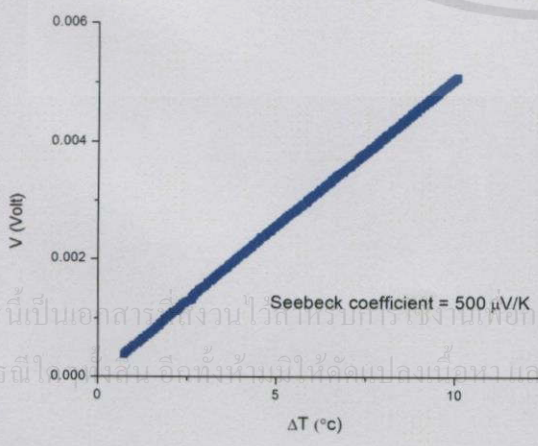
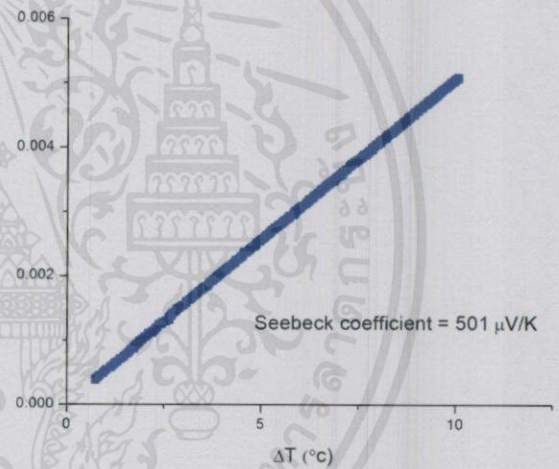
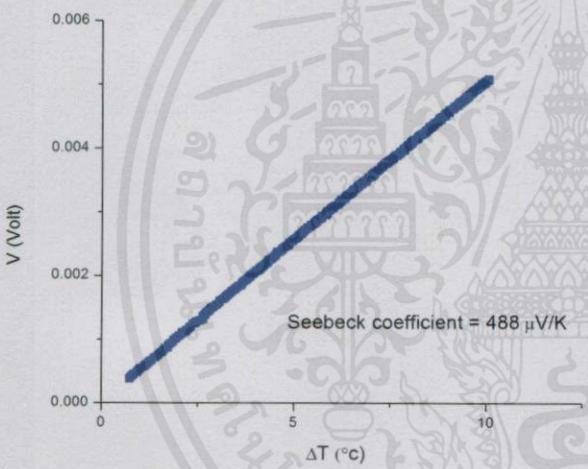
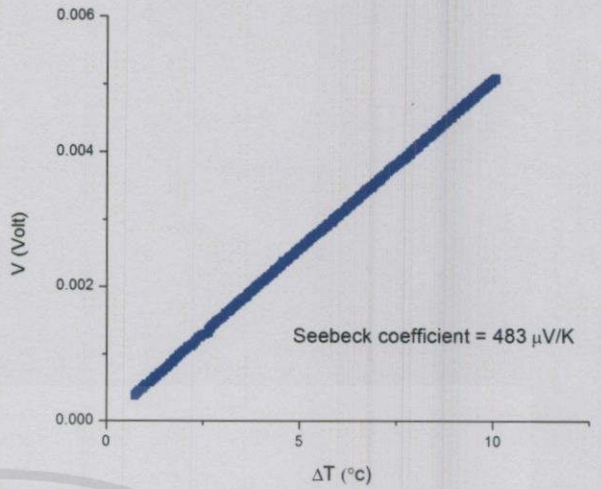
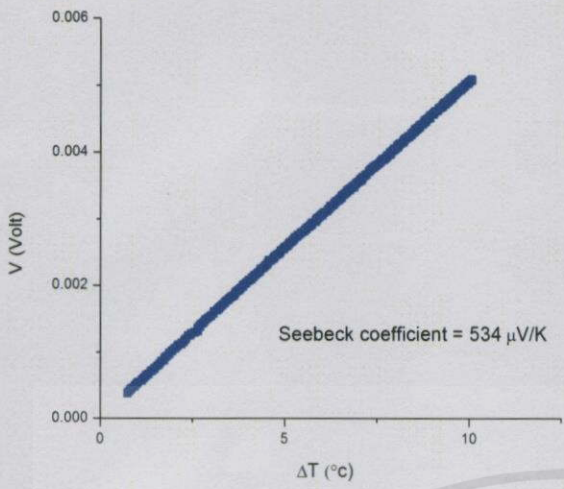
กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) ของสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ เหนืออุณหภูมิ 1150 °C ทั้ง 30 ค่า



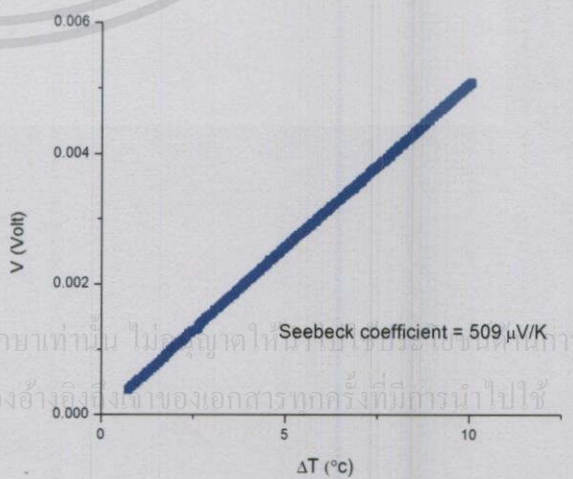
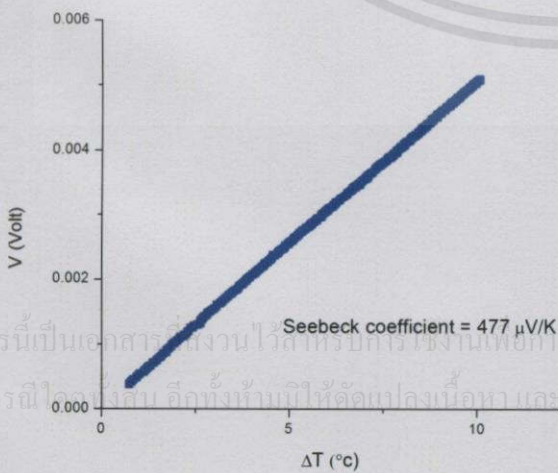
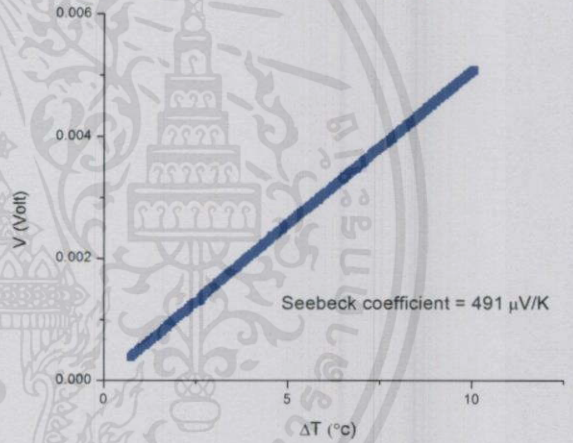
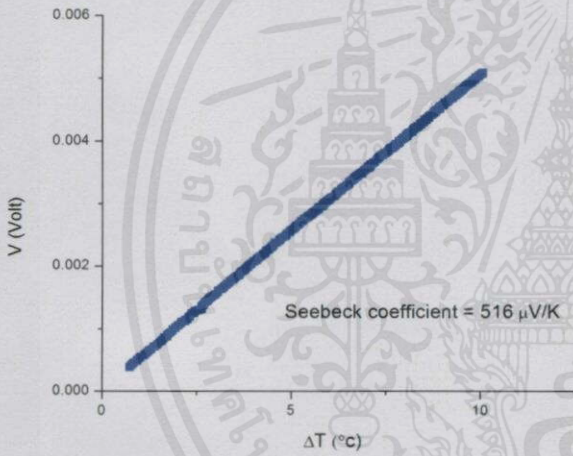
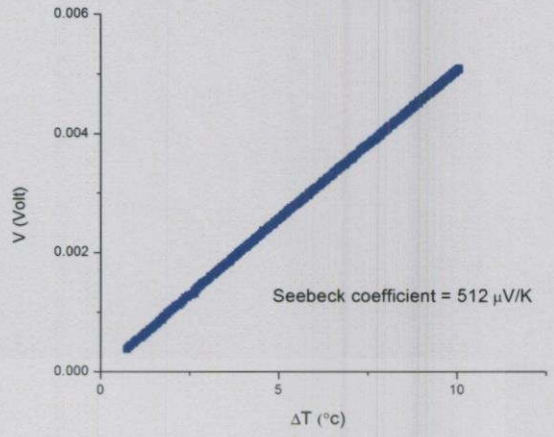
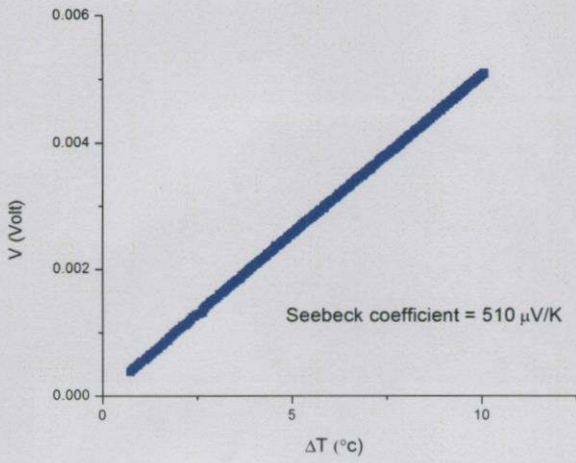
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ เว้นแต่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีค่าใช้จ่าย



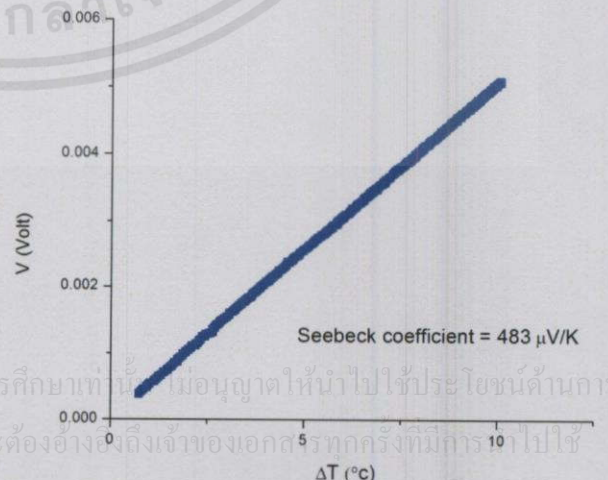
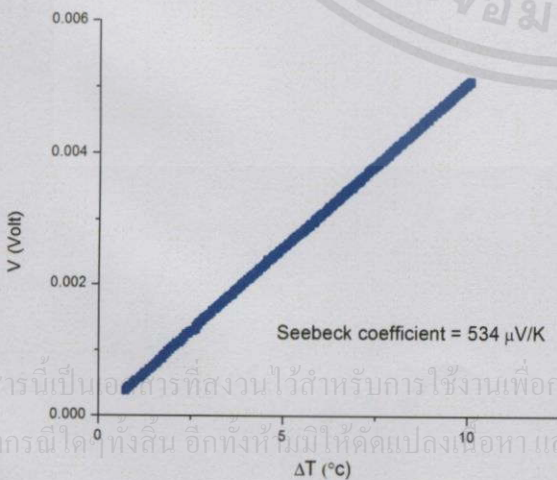
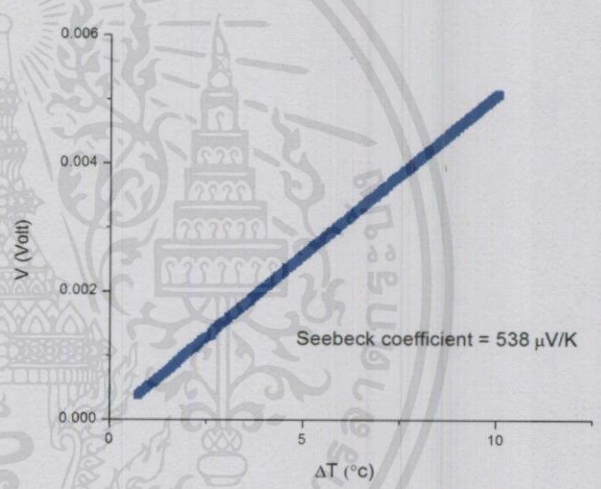
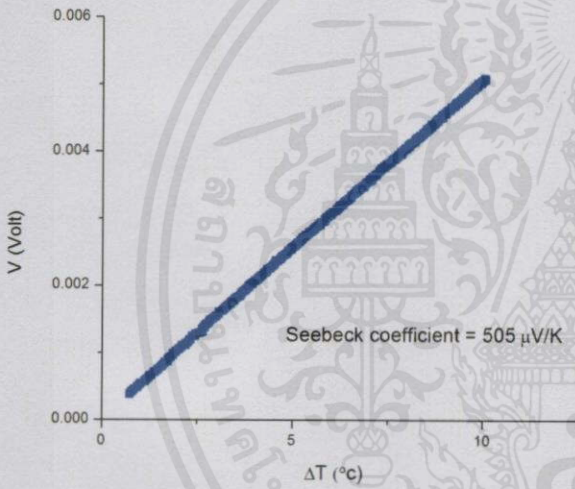
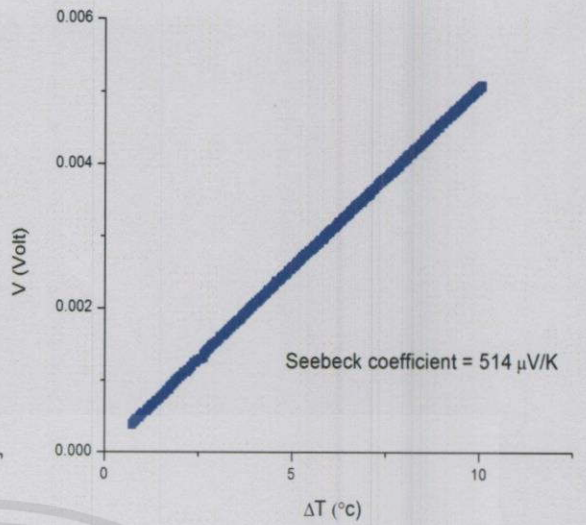
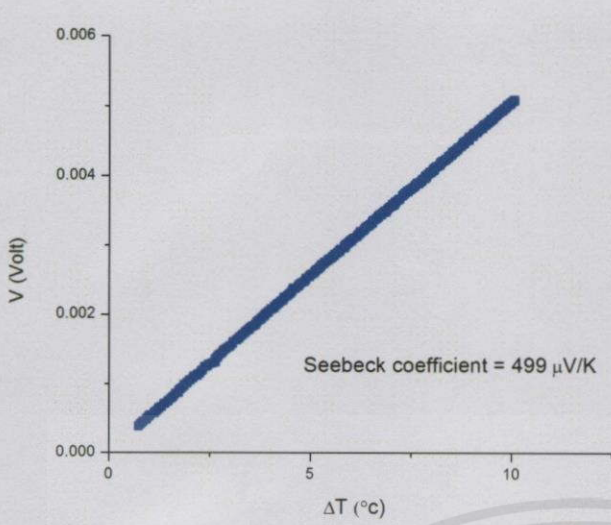
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในห้องปฏิบัติการศึกษาเท่านั้น มิใช่เอกสารที่เผยแพร่สู่สาธารณะโดยไม่ผ่านการคัดค้านการคัดค้าน
 ไม่ว่ากรณีใด ๆ ก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องขออภัยล่วงหน้าแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่กรุณาช่วยแก้ไข



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งงานไว้สำหรับกิจกรรมงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำเอาไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ทางการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ดิฉันขอร้องให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้