

การศึกษาเกจวัดความดันสุญญากาศชนิด เทอร์โมคัปเปิล



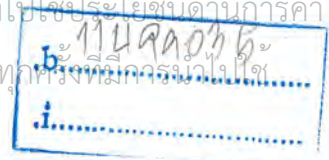
นางสาวตรีณช เหลี่ยมมุกดา
นางสาวมณฑิชา แก้วขมิ้น
นางสาวสุทธิดา บุญทวี

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

24/11/2547
31/10/2547
0547

คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น. **58678**
วันที่ **31 ส.ค. 2549**
i.
b.



Study of Thermocouple Gauge for Vacuum Measurement



A Special Project Submitted in Partial of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การศึกษาเกจวัดความดันสัญญาณาศชนิด เทอร์โมคัปเปิล
นักศึกษา นางสาวตรีนุช เหลี่ยมมุกดา
 นางสาวมณฑิชา แก้วขมื่น
 นางสาวสุทธิดา บุญทวี
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
สาขาวิชา เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
 วิทยาศาสตร์บัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ.ดร.ปรีชา เทียนสมประสงค์	
กรรมการ	รศ.วิชาญ เดชดีธีระ	
กรรมการ	อาจารย์สุชาติ ภูมิติลก	
กรรมการที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา	



 (รศ.วิชาญ เดชดีธีระ)
 หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ เรื่อง	การศึกษาเกี่ยวกับความดันสุญญากาศชนิด เทอร์โมคัปเปิล
นักศึกษา	นางสาวตรีณัฐ เหลี่ยมมุกดา นางสาวมณฑิชา แก้วขมิ้น นางสาวสุทธิดา บุญทวี
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาวัลดีดา

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้เป็นการพัฒนาการสร้างเกี่ยวกับความดันสุญญากาศชนิดเทอร์โมคัปเปิลมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่สองส่วน คือ หัววัดความดันสุญญากาศและส่วนแสดงผล หัววัดความดันสุญญากาศประกอบด้วย เทอร์โมคัปเปิลชนิดเค 2 คู่ โดยนำปลายทั้งสองมาเชื่อมติดกันและทำการป้อนกระแสให้กับเทอร์โมคัปเปิลคู่หนึ่ง ส่วนอีกคู่หนึ่งมีไว้สำหรับวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป หัววัดดังกล่าวจะถูกติดตั้งไว้ในระบบสุญญากาศ สำหรับส่วนแสดงผล จะใช้ตัวแสดงผล 7 ส่วนชนิดคอมมอนแอนโอด แสดงผลของความดันที่วัดได้

จากการศึกษาพบว่าระดับกระแสที่ป้อนให้กับเทอร์โมคัปเปิลที่เหมาะสม คือ 2 แอมแปร์ และเมื่อนำผลการวัดไปเปรียบเทียบกับเกจวัดความดันชนิดพิรานีเกจ พบว่าผลการวัดจะมีความถูกต้องเมื่อใช้ความดันในช่วง 10^{-2} ถึง 10^{-1} มิลลิบาร์

Special Project Title	Study of Thermocouple Gauge for vacuum measurement
Name	Miss Treenuch Leammookda Miss Monthicha Keawkamin Miss Sutthida Boontawee
Department	Applied Physics
Program	Applied Physics – Science and Industry Instrumentation
Academic Year	2004
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Warawoot Thowladda

ABSTRACT

In this project, we have developed a thermocouple-based pressure gauge. Two main parts of this system are pressure sensor and display device. The pressure sensor has two pairs of type-K thermocouple. Both ends of these thermocouples are connected. One connected end is biased while the other is used for measuring the change in temperature. The sensor head is installed in vacuum system. A common anode 7-segment is used as the display unit.

From the experiment, suitable bias current for this system is 2A. Comparing to results from pirani gauge, this system shows good accuracy in the pressure range of 10^{-2} to 10^{-1} mbar

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่านด้วยกันดังต่อไปนี้

1. ผศ.ดร. วราวุฒิ เถาลัดดา ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ผู้ที่ช่วยแนะแนวทางในการปฏิบัติงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
2. พี่สอ ผู้ช่วยที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ซึ่งทำหน้าที่ดูแลการปฏิบัติงานตลอดโครงการแทนอาจารย์ที่ปรึกษาในขณะที่พักรักษาตัวอยู่ที่โรงพยาบาล พร้อมทั้งอนุเคราะห์ในส่วนค่าใช้จ่ายตลอดโครงการ
3. อาจารย์ สุรศักดิ์ พิพัฒน์ศาสตร์ ผู้เสนอแนะแนวทางในการทำโครงการพิเศษ
4. พี่แหลม ที่ปรึกษาด้านควมเขียนโปรแกรม ผู้ที่มีบทบาทสำคัญในการทำโครงการนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง
5. พี่เดี่ยว ที่ช่วยเป็นที่ปรึกษาในการเขียน Schematic
6. พี่ๆทุกคนในห้อง Surface Physics and Laser Research Laboratory ที่ให้ความสะดวกในการทดลองโครงการ โดยเฉพาะพี่ตรีณี ที่กรุณาอยู่ห้องวิจัยในตอนกลางคืน ทำให้พวกเราได้ทำการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวเหลียมมุกดา, ครอบครัวแก้วขมิ้นและครอบครัวบุญทวี ที่คอยเป็นกำลังใจและกำลังทรัพย์ให้แก่พวกเราทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

นางสาวตรีณัฐ เหลียมมุกดา

นางสาวมณฑิชา แก้วขมิ้น

นางสาวสุทธิดา บุญทวี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษนี้	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	23
3.1 วิธีดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการศึกษา	23
3.2 วิธีดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการทดลอง	23
3.3 วิธีดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	33
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลการทดลอง	58
5.2 ข้อเสนอแนะ	59
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	8
ตารางที่ 2.2 แสดงความเหมาะสมในการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่างๆ	9
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าความผิดพลาดในพิกัดของเทอร์โมคัปเปิลในแบบต่างๆ	10
ตารางที่ 2.4 แสดงขนาดสายของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ	12
ตารางที่ 2.5 แสดงพิกัดของค่าผิดพลาดของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่างๆ	13
ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล	13
ตารางที่ 2.7 แสดงการแปลงค่าหน่วย	16
ตารางที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์วัดความดันและช่วงการใช้งาน	20
ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 0.5 A	35
ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 1.0 A	37
ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 1.5 A	39
ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 2.0 A	41
ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 0.5 A	43
ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 1.0 A	45
ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 1.5 A	47
ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 2.0 A	49
ตารางที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับค่า digital ฐาน 10	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงวงจรการทดลองของซีเบค	4
รูปที่ 2.2 แสดงโลหะแทรก	5
รูปที่ 2.3 แสดงกฎของอุณหภูมิแทรก	5
รูปที่ 2.4 แสดงอุณหภูมิช่วงกลางสายจะไม่มีผลต่อการเกิดแรงดันไฟฟ้า	5
รูปที่ 2.5 แสดงการขนานเทอร์โมคัปเปิลเป็นการหาอุณหภูมิเฉลี่ย	6
รูปที่ 2.6 การต่อเทอร์โมคัปเปิลเพิ่มไม่มีผลต่อแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น	6
รูปที่ 2.7 การต่ออนุกรมเทอร์โมคัปเปิล	6
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K	7
รูปที่ 2.9 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากผลต่างของอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิล	8
รูปที่ 2.10 แสดงค่าความผิดพลาดที่วัดได้และการจัดเตรียมเครื่องมือวัด	11
รูปที่ 2.11 ค่าผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิห้อง	12
รูปที่ 2.12 การพาความร้อน	14
รูปที่ 2.13 แสดงการเคลื่อนที่ของโมเลกุล	17
รูปที่ 2.14 แสดงการเปรียบเทียบความดันทั้ง 4 รูปแบบ	19
รูปที่ 2.15 วงจรอย่างง่ายของเกจเทอร์โมคัปเปิล	21
รูปที่ 3.1 Thermocouple type K	23
รูปที่ 3.2 Pirani Gauge	24
รูปที่ 3.3 Rotary pump	24
รูปที่ 3.4 Dual-Tracking DC Power Supply	25
รูปที่ 3.5 Data Acquisition/Switch unit	25
รูปที่ 3.6 Display for vacuum (Balzers TPG 300)	26
รูปที่ 3.7 Multimeter	26
รูปที่ 3.8 ไดอะแกรมการจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	27
รูปที่ 3.9 ชุดการทดลอง	27
รูปที่ 3.10 CP-AVR	28
รูปที่ 3.11 E12-AD16	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.12 AD595	29
รูปที่ 3.13 Transformer	29
รูปที่ 3.14 แสดงไดอะแกรมเครื่องมือวัดความดันอุณหภูมิอากาศชนิด Thermocouple gauge	29
รูปที่ 3.15 แสดงการจัด measurement System	30
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 C	33
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 80 C	34
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 0.5 A	36
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 1.0 A	38
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 1.5 A	40
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 2.0 A	42
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 0.5 A	44
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 1.0 A	46
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 1.5 A	48
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 2.0 A	50
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแสต่างๆ	51
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแสต่างๆ	52
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับค่าดิจิตอลและสมการช่วง 10^3 mbar	55
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับค่าดิจิตอลและสมการช่วง 10^2 mbar	55
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับค่าดิจิตอลและสมการช่วง 10^1 mbar	56
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับค่าดิจิตอลและสมการช่วง 1 mbar	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในปัจจุบันวิทยาการทางวิทยาศาสตร์หลายๆ แขนงได้รับการประยุกต์เพื่อใช้เป็นหลักการวัด เช่น หลักการทางแม่เหล็กไฟฟ้า อัลตราโซนิก การแผ่รังสีของสารกัมมันตภาพ ดังนั้นเครื่องมือวัดจึงเป็นส่วนแรกของงานด้านระบบควบคุม (Process Control) ที่ผู้ศึกษาหรือปฏิบัติงานด้านนี้จะต้องศึกษาให้เข้าใจหลักการทำงานและแนวทางปฏิบัติเพื่อเป็นพื้นฐาน

ระบบสุญญากาศ (Vacuum Systems) เป็นเทคนิคที่จำเป็นและสำคัญอย่างหนึ่งในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและงานด้านอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ เช่น การผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า จะใช้ระบบสุญญากาศในการทำงานแห้งหม้อแปลงเพื่อบรรจุน้ำมัน ดังนั้นการศึกษาฟิสิกส์พื้นฐานและเทคนิคทางระบบสุญญากาศจึงเป็นสิ่งสำคัญ

อุปกรณ์วัดความดันอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การขยายตัว หดตัวของก๊าซเมื่อความกดดันเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนค่าการนำความร้อนของโลหะภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เป็นก๊าซต่างๆ หรืออาศัยหลักการแตกต่างของก๊าซชนิดต่างๆ กันที่ความดันต่างกัน

ความดันในระบบสุญญากาศมีช่วงความดันที่กว้างมากตั้งแต่ความดันบรรยากาศ (760 torr หรือ 1000 mbar) ไปจนถึง 10^{-12} torr เพราะเหตุนี้จึงไม่มีเกจหรืออุปกรณ์วัดความดันเพียงชนิดเดียว ตัวเดียววัดความดันได้ตลอดช่วง จึงต้องใช้อุปกรณ์ซึ่งต้องอาศัยหลักการทางฟิสิกส์หลายอย่างด้วยกัน จึงเป็นที่มาของการศึกษาการวัดความดันในระบบสุญญากาศด้วยอุปกรณ์วัดความดันชนิด Thermocouple เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่ออุณหภูมิมากและทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (thermoelectric force) ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจึงใช้วัดอุณหภูมิของลวดร้อน ซึ่งเปลี่ยนแปลงเมื่อค่าความดันก๊าซเปลี่ยนแปลงโดยการพาความร้อน (Thermal convection) การพาความร้อนของก๊าซทำให้อุณหภูมิของลวดร้อนเปลี่ยนแปลง เนื่องจากความร้อนถูกพาไปโดยโมเลกุลของก๊าซที่มาปะทะอย่างต่อเนื่อง จึงมีการสูญเสียความร้อนมากที่ความดันสูง และที่ความดันต่ำอุณหภูมิของลวดจะสูงขึ้น จากหลักการข้างต้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาและการสร้างอุปกรณ์วัดความดันแบบ Thermocouple gauge ชนิด Type K (Chromel - Alumel) ที่สามารถสร้างได้เองและราคาถูกกว่าท้องตลาด รวมถึง Display แสดงอุณหภูมิอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาหลักการการทำงานของ Thermocouple เพื่อใช้ในการสร้างอุปกรณ์วัดความดันชนิด Thermocouple gauge
2. ศึกษาการสร้างวงจรวัดอุณหภูมิและแสดงผลค่าอุณหภูมิ
3. ศึกษาการสร้างวงจรขยาย (Amplifier) ของแรงเคลื่อนไฟฟ้า
4. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความดันและอุณหภูมิของ Thermocouple
5. สร้างหัววัด Thermocouple gauge ชนิด Type K (Chromel – Alumel)
6. ศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษา C เพื่อสร้าง Display ของการวัดอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยนี้เราจะทำการสร้าง Thermocouple gauge เพื่อใช้เป็นอุปกรณ์วัดความดัน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาการค้นคว้าทฤษฎีและหลักการของ Thermocouple gauge
2. สร้าง Thermocouple gauge โดยอาศัยทฤษฎีหลักการที่ศึกษามา
3. ทำการวัดค่าหาความสัมพันธ์ของอุณหภูมิและความดันที่ค่ากระแสต่างๆ กันโดยใช้แหล่งจ่ายไฟและวงจรแสดงค่าอุณหภูมิที่มีอยู่แล้ว
4. ทำการศึกษาทฤษฎีและหลักการทำงานของวงจรขยายแรงเคลื่อนไฟฟ้าและวงจรแสดงผลการวัดอุณหภูมิ
5. ทำการวัดค่าความสัมพันธ์ของความดันและความต่างศักย์โดยใช้อุปกรณ์ที่สร้างขึ้นในข้อที่ 4
6. เปรียบเทียบผลที่ได้จากข้อ 3 และ 5
7. ทำการสอบเทียบความต่างศักย์ของ Thermocouple ให้เป็นหน่วยของความดัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการพิเศษนี้ คือ

1. ทำให้ทราบถึงหลักการและวิธีสร้าง Thermocouple gauge
2. ทำให้ทราบถึงหลักการของวงจรขยาย (Amplifier) วงจรแสดงค่าความต่างศักย์ วงจรแสดง Display และชนิดของ Microcontroller, A/D
3. ทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงความดันที่มีผลต่อค่าอุณหภูมิและแรงเคลื่อนไฟฟ้าของ Thermocouple
4. เป็นพื้นฐานในการศึกษาและพัฒนาเครื่องมือในระบบ Vacuum Measurement ของผู้ที่สนใจในอนาคตต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ประวัติการค้นพบเทอร์โมคัปเปิล

ความเป็นมา ในปีพ.ศ. 1821 นักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน โทมัส ซีเบ็ค (Thomas Seebeck) พบว่าเมื่อนำลวดโลหะ 2 เส้นที่ทำด้วยโลหะต่างชนิดกัน มาเชื่อมต่อปลายทั้งสองข้างเข้าด้วยกัน ถ้าปลายจุดทั้งสองมีอุณหภูมิต่างกัน จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรของเส้นลวดทั้งสองนี้ตามรูปที่ 2.1 ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้านี้จะเปลี่ยนแปลงตามผลต่างของอุณหภูมิที่จุดปลายทั้งสอง และถ้าเปิดปลายจุดต่อด้านหนึ่งออก จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ปลายด้านเปิด แรงเคลื่อนไฟฟ้านี้เรียกว่า "ซีเบ็ค โวลเตจ"

$$e_{AB} = \alpha \Delta T$$

เมื่อ α คือค่าสัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค (Seebeck Coefficient) เป็นค่าคงที่มีหน่วยเป็น Volt/K , ΔT คือผลต่างของอุณหภูมิ e_{AB} คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้



เมื่อเป็นวงจรมัดกระแสจะเกิดกระแสไหลวน เปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง

เมื่อเป็นวงจรมัดแรงเคลื่อนจะเกิดโวลเตจ เปลี่ยนแปลงไปตามผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง

รูปที่ 2.1 แสดงวงจรมัดกระแสและแรงเคลื่อนของซีเบ็ค

กฎการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric Laws)

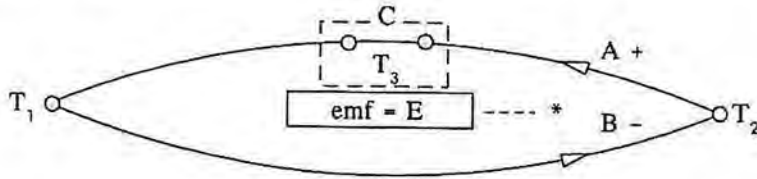
1. กฎของวงจรมัดโลหะเดียว (Law of the Homogeneous Circuit) ในวงจรมัดที่ประกอบขึ้นด้วยโลหะชนิดเดียวกัน จะไม่เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรมัดเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิ ณ ปลายจุดต่อทั้งสอง

กระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นในกรณีที่ลวดทั้งสองเป็นโลหะต่างชนิดกันเท่านั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของอุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสอง

2. กฎของโลหะแทรก (Law of Intermediate Metals) ในวงจรมัดเทอร์โมคัปเปิล ถ้ามีโลหะแทรกอยู่ส่วนใดส่วนหนึ่งของวงจรมัด หากจุดต่อของปลายโลหะแทรกทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากันแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

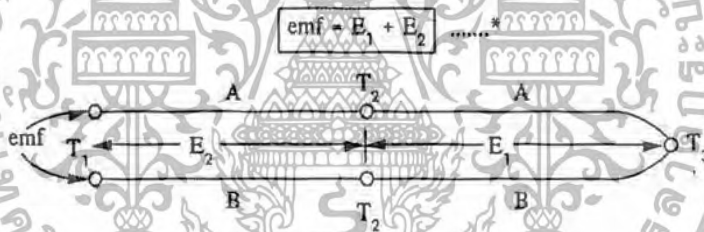
โลหะแทรกนี้จะไม่มีผลกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในทางปฏิบัติมีอยู่เสมอ เช่น ข้อต่อหรือสายทองแดงที่ใช้ต่อเข้ามิเตอร์



โลหะ C ที่ต่อแทรกอยู่ในวงจรจะไม่มีผลต่อการวัดค่าอุณหภูมิที่ปลายทั้งสองเท่ากัน

รูปที่ 2.2 แสดงโลหะแทรก

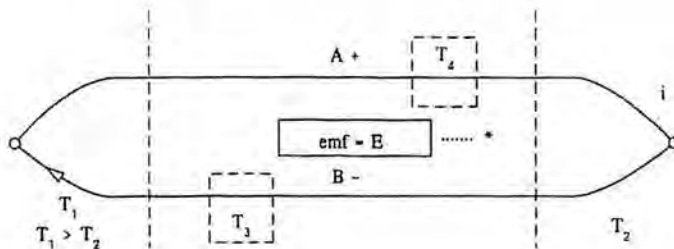
3. กฎของอุณหภูมิแทรก (Law of Intermediate Temperature) แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นโดยเทอร์โมคัปเปิลชุดใด ๆ ที่มีอุณหภูมิจุดต่อต่างกัน จะมีค่าเท่ากับผลบวกทางพีชคณิตของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลชุดนั้น ๆ ตามรูปที่ 2.3 คือ ผลรวมของแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะมีค่าเท่ากับผลรวมของเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองชุด



รูปที่ 2.3 แสดงกฎของอุณหภูมิแทรก

ปรากฏการณ์ของเทอร์โมคัปเปิล (Phenomena) ที่ควรทราบ

1. ในเทอร์โมคัปเปิลคู่เดียวกัน อุณหภูมิที่มีผลคือ อุณหภูมิที่ปลายจุดต่อทั้งสองเท่านั้น อุณหภูมิบนจุดต่างๆตามสายจะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

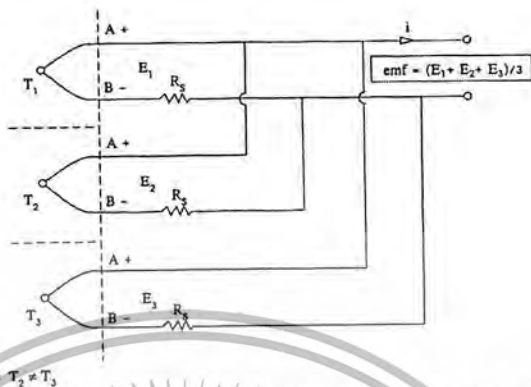


รูปที่ 2.4 อุณหภูมิขงกลางสายจะไม่มีผลต่อการเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การต่อขนานเทอร์โมคัปเปิลเข้าด้วยกัน ผลที่ได้คือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่แสดงค่าอุณหภูมิ

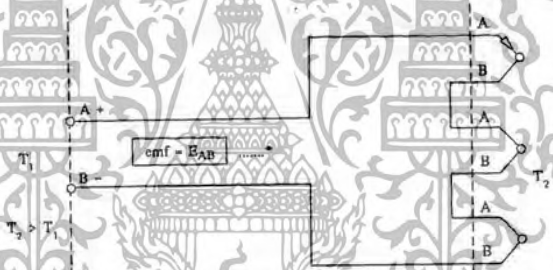
เฉลี่ย



รูปที่ 2.5 แสดงการขนานเทอร์โมคัปเปิลเป็นการหาอุณหภูมิเฉลี่ย

3. การต่อเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองชุดกลับหัวกันเป็นการวัดผลต่างของอุณหภูมิ

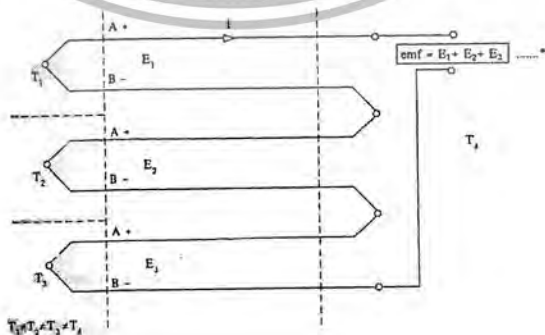
4. การเพิ่มเทอร์โมคัปเปิลที่ T_1 หรือ T_2 ตามรูปจะไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.6 การต่อเทอร์โมคัปเปิลเพิ่มไม่มีผลต่อแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้น

5. การต่ออนุกรมเทอร์โมคัปเปิล แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จะเป็นผลของเทอร์โมคัปเปิลแต่ละ

ชุด

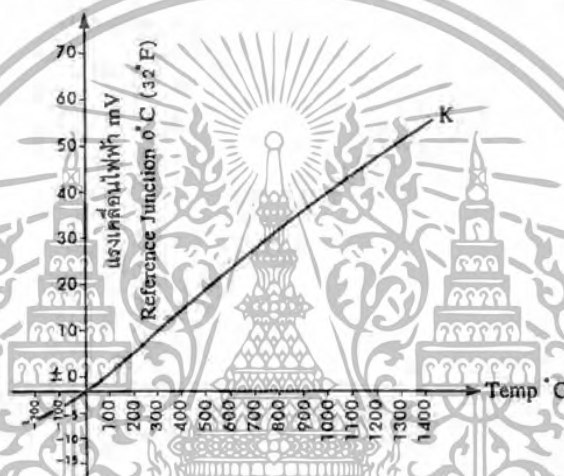


รูปที่ 2.7 การต่ออนุกรมเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมคัปเปิลแบบ K (Type K Chromel V.S Alumel)

เพื่อที่จะทำให้เทอร์โมคัปเปิลสามารถวัดอุณหภูมิได้สูงกว่าแบบ J และมีราคาถูกกว่า จึงได้มีการประดิษฐ์เทอร์โมคัปเปิลแบบใหม่ที่สายบวกทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 90% + โครเมียม 10% และสายลบทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 95% + 5% ของส่วนผสมระหว่างอะลูมิเนียม แมงกานีสและซิลิคอน ซึ่งต่อมาได้กลายมาเป็นแบบมาตรฐานแบบ K เป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายมากที่สุดสามารถใช้งานได้กับงานที่เป็นสภาวะ oxidizing หรือ inert ได้ดีกว่าแบบอื่น สามารถทนอุณหภูมิได้ถึง $1260^{\circ}\text{C} - 2300^{\circ}\text{C}$ และที่อุณหภูมิต่ำถึง $-250^{\circ}\text{C} - 420^{\circ}\text{C}$ ในสภาพงานที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อน แบบ K ก็สามารถใช้งานได้ดีเช่นกัน



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K

คุณสมบัติที่เด่นมากสำหรับเทอร์โมคัปเปิลแบบ K คือให้แรงเคลื่อนเอาต์พุตสูง

ข้อควรระวัง ไม่ควรใช้เทอร์โมคัปเปิลสัมผัสโดยตรงกับ

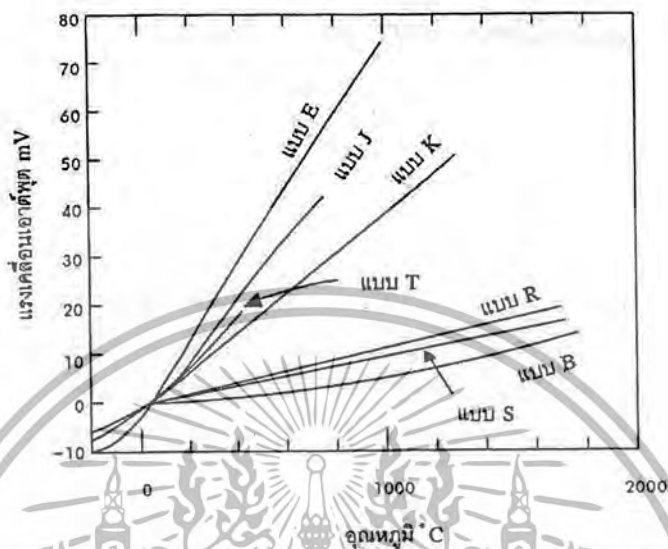
1. ในสภาวะงานที่เป็น Reducing หรือเป็นการใช้งานสลับกันระหว่าง Oxidizing และ Reducing
2. สภาวะงานที่มีไอของซัลเฟอร์ เพราะซัลเฟอร์จะทำลายโลหะทั้งคู่ของเทอร์โมคัปเปิล โดยเฉพาะสายลบจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว
3. สภาวะงานที่เป็นแบบ Vacuum ยกเว้นในช่วงระยะเวลาดสั้นๆ

ถ้าจำเป็นต้องใช้งานเทอร์โมคัปเปิลกับสภาพดังกล่าวนี้จะต้องใช้ Protecting Tube ป้องกันเสียก่อน อายุใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลแบบ K นี้ประมาณ 20 ปี เพราะหลังจากนั้นส่วนผสมจะเปลี่ยนไปโดยจะมีเหล็กเพิ่มขึ้นประมาณ 2% และส่วนผสมบางอย่างเช่น แมงกานีส จะลดปริมาณลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลสรุปแสดงการเปรียบเทียบ
โมดูลเปิดแบบมาตรฐาน

ส่วนผสม, ย่านอุณหภูมิและแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเทอร์



รูปที่ 2.9 แสดงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากผลต่างของอุณหภูมิของเทอร์โมดิวซ์เปิด

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติเปรียบเทียบของเทอร์โมดิวซ์เปิดแบบมาตรฐาน

แบบ	ส่วนผสม	ย่านอุณหภูมิที่ใช้งาน		แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ ได้ mV
		°C	°F	
B	แพลทินัม - 30% โรเดียม แพลทินัม - 6% โรเดียม	0 ถึง 1820	32 ถึง 3310	0 ถึง 13.814
R	แพลทินัม - 13% โรเดียม แพลทินัม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.26 ถึง 21.08
S	แพลทินัม - 10% โรเดียม แพลทินัม	-50 ถึง 1768	-60 ถึง 3210	-0.236 ถึง 18.698
J	เหล็ก/คอนสแตนแตน	-210 ถึง 760	-350 ถึง 1400	-8.096 ถึง 42.922
K	โครเมล/อลูเมล	-270 ถึง 1372	-450 ถึง 2500	-6.458 ถึง 54.875
T	ทองแดง/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 400	-450 ถึง 750	-6.258 ถึง 20.869
E	โครเมล/คอนสแตนแตน	-270 ถึง 1000	-450 ถึง 1830	-9.835 ถึง 76.358

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงความเหมาะสมในการใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่างๆ

ความเหมาะสมในการใช้งาน							
TC แบบ	บรรยากาศ Oxidizing	บรรยากาศ Reducing	บรรยากาศ Inert	Vacuum	บรรยากาศ Sulferous	อุณหภูมิ น้อยกว่า 0 °C	มีไอของ โลหะ
B	ได้	ไม่ได้	ได้	ช่วงสั้นๆ	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
S	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
R	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ไม่ได้
J	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้ถ้า มากกว่า 500 °C	ไม่ได้	ได้
K	ได้*	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
T	ได้	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
E	ได้	ไม่ได้	ได้	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้	ได้
*ใช้งานได้ดีกว่าแบบ E, J และ T เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 550 °C + โดยเพราะกับอุณหภูมิที่ น้อยกว่า 0 °C							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าความผิดพลาดในพิกัดของเทอร์โมคัปเปิลในแบบต่างๆ

เทอร์โมคัปเปิลแบบ	ย่านอุณหภูมิ °C	ค่าผิดพลาดในพิกัด		ขนาดสายที่เล็กที่สุด (AWG)
		แบบมาตรฐาน (เอาค่าที่มากกว่า)	แบบพิเศษ (เอาค่าที่มากกว่า)	
B	570 ถึง 1700	± 5%	-	24
R&S	0 ถึง 1450	± 2.2 °C หรือ ± 0.75 °C	± 0.6 °C หรือ ± 0.1 °C	24
J	0 ถึง 750	± 2.2 °C หรือ ± 0.75 °C	± 1.1 °C หรือ ± 0.4 °C	8
K	0 ถึง 1250	± 1.0 °C หรือ ± 0.75 °C	± 1.1 °C หรือ ± 0.4 °C	8
T	0 ถึง 3500	± 1.7 °C หรือ ± 0.5 °C	± 0.5 °C หรือ ± 0.4 °C	14
E	ถึง 900 ย่าน < °C	± 2.2 °C หรือ ± 2.0 °C	± 1.0 °C หรือ ± 0.4 °C	8
K	-200 ถึง 0	± 1.0 °C หรือ ± 1.5 °C	-	-
T	-200 ถึง 0	± 1.7 °C หรือ ± 1.0 °C	-	-
E	-200 ถึง 0	± 1.5 °C หรือ ± 0.25 °C	-	-

ความหมายของ Reference Junction

การใช้งานของเทอร์โมคัปเปิลเป็นการวัดอุณหภูมิเทียบกับจุดต่อจุดต่อหนึ่ง ซึ่งทราบค่าของเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้งานอยู่ตัวนั้น วิธีการรักษาอุณหภูมิ ณ จุด Reference Junction ที่จะเสนอในที่นี้มี 2 แบบคือ

- ใช้น้ำแข็งบริสุทธิ์ รักษาอุณหภูมิ ณ จุด Reference ที่ 0 °C
- ใช้เทคโนโลยีสร้างจุด 0 °C สำหรับเครื่องมือวัดทั่วไป

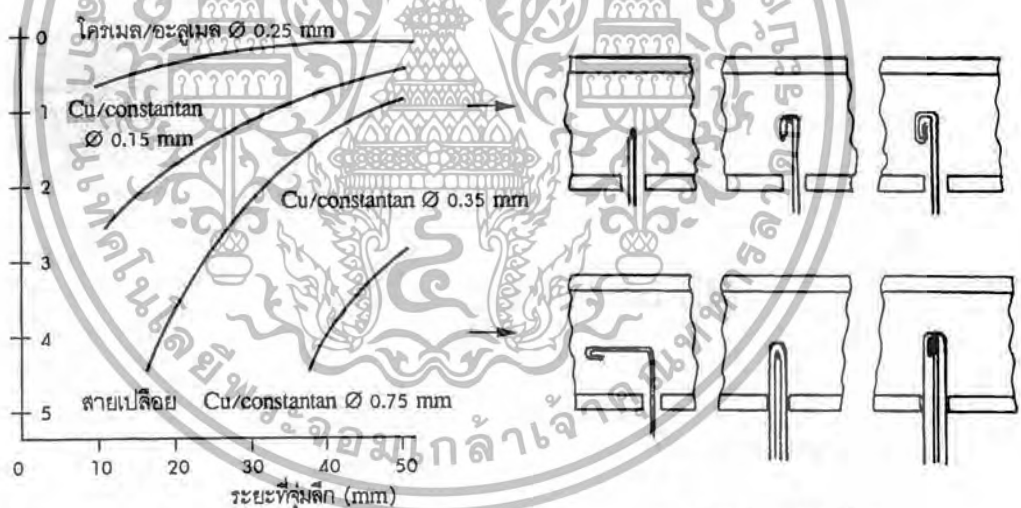
เทอร์โมคัปเปิลเป็นเครื่องมือใช้วัดผลต่างของอุณหภูมิสองค่า (Difference Temperature) ค่ามิลลิโวลต์ที่วัดได้ เกิดจากอุณหภูมิ T_1 มากกว่าหรือน้อยกว่า T_2 ในทางปฏิบัติ T_2 จะเป็นอุณหภูมิของบรรยากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงได้จากจุดที่ต่ำกว่า 50 °C ดังนั้นอุณหภูมิที่อ่านได้คือค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าบรรยากาศขึ้นไป แต่อุณหภูมิที่ทุกคนเข้าใจ ค่าที่บอกต้องเป็นค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำ ดังนั้น การที่จะให้เทอร์โมคัปเปิลบอกค่าของอุณหภูมิตามความเข้าใจของคนทั่วไป จะต้องรักษาอุณหภูมิ T_2 ให้คงที่อยู่ ณ จุดเยือกแข็งของน้ำตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดพลาดของการวัดอุณหภูมิ

1. ความผิดพลาดเนื่องจากการวัดความร้อน (Conduction Errors)

ในการใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิต่ำกว่า 0°C ถึง 150°C จำเป็นต้องสอดใส่เทอร์โมคัปเปิลเข้าไปสัมผัสกับ Fluid นั้นลึกพอสมควร เพราะถ้าไม่ลึกพอ จะได้ค่าอุณหภูมิต่ำกว่าความเป็นจริงเนื่องจากการนำความร้อนออกสู่ภายนอกของตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง จากการทดลองวัดอุณหภูมิของอากาศในช่วง 60°C ถึง 150°C (อุณหภูมิในช่วงนี้มีการสูญเสียความร้อนของตัวเทอร์โมคัปเปิลเนื่องจากการแผ่รังสีน้อยมาก) ที่ไหลในท่อด้วยความเร็วประมาณ 2.5 เมตรต่อวินาที และ 10 เมตรต่อวินาที ด้วยเทอร์โมคัปเปิลแบบ K และแบบ T ผลที่ได้ตามกราฟรูปที่ 2.11 สายเทอร์โมคัปเปิลขนาดเล็กจะให้ผลที่ถูกต้องกว่ามากกว่า เพราะมีค่าความร้อนออกน้อยกว่าสายใหญ่ เทอร์โมคัปเปิลแบบ K จะเกิดค่าผิดพลาดเนื่องจากความร้อนออกน้อยกว่าแบบ T ที่ขนาดสายเท่ากัน ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการนำความร้อนออกของตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง ควรใช้สายขนาดเล็กและสอดใส่ตัวเทอร์โมคัปเปิลเข้าไปให้ลึกเกิน 50mm ขึ้นไป



ค่าผิดพลาดที่ความเร็วของอากาศไหลผ่าน $\sim 10 \text{ m/s}$

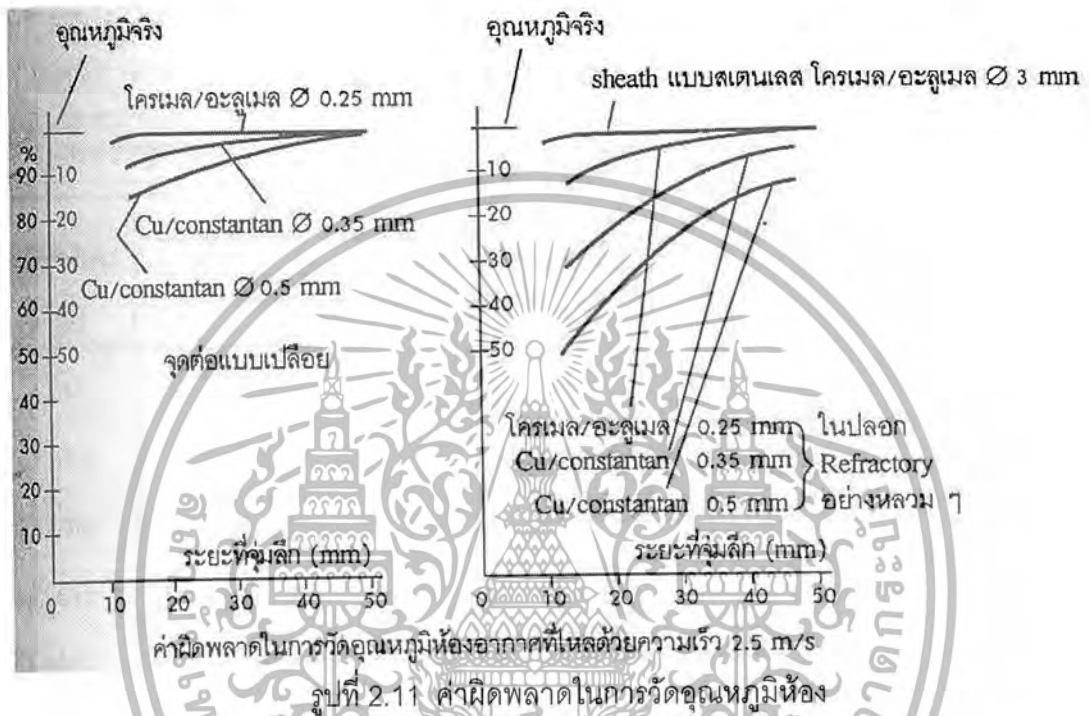
การจัดเตรียมเครื่องมือวัด

รูปที่ 2.10 แสดงค่าความผิดพลาดที่วัดได้และการจัดเตรียมเครื่องมือวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ค่าผิดพลาดของเทอร์โมคัปเปิลตามพิกัด ISA

เพื่อให้ผลการวัดอุณหภูมิถูกต้องควรเลือกชนิด ขนาด และย่านการใช้งานให้เหมาะสมกับสภาพของงาน ต่อไปนี้เป็นข้อแนะนำขนาดสาย และพิกัดค่าผิดพลาดของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่างๆ ตามมาตรฐาน ISA



ตารางที่ 2.4 แสดงขนาดสายของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่างๆ

ขนาดสายเทอร์โมคัปเปิลและช่วงอุณหภูมิใช้งาน					
T/C แบบ	AWG # 8 gauge	14 gauge	20 gauge	24 gauge	28 gauge
T	-	370 °C	260 °C	200 °C	200 °C
J	760 °C	590 °C	480 °C	370 °C	370 °C
E	870 °C	650 °C	540 °C	430 °C	430 °C
K	1260 °C	1090 °C	980 °C	870 °C	870 °C
R&S	-	-	-	1480 °C	-
B	-	-	-	1700 °C	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงพิสัยของค่าผิดพลาดของเทอร์โมคัปเปิลแบบต่างๆ

T/C แบบ	ย่านอุณหภูมิ	พิสัยของค่าผิดพลาด	
		แบบมาตรฐาน (ใช้ค่าที่สูงกว่า)	แบบพิเศษ (ใช้ค่าที่สูงกว่า)
T	0 – 350 °C	±1 หรือ ±0.75%	±0.5 หรือ ±0.4%
J	0 – 750 °C	±2.2 หรือ ±0.75%	±1.1 หรือ ±0.4%
E	0 – 900 °C	±1.7 หรือ ±0.5%	±1 หรือ ±0.4%
K	0 – 1250 °C	±2.2 หรือ ±0.75%	±1.1 หรือ ±0.4%
R หรือ S	0 – 1450 °C	±1.5 หรือ ±0.25%	±0.6 หรือ ±0.1%
B	800 – 1700 °C	±0.5%	-
T	-200 °C – 0 °C	±1 หรือ ±1.5%	-
E	-200 °C – 0 °C	±1.7 หรือ ±1%	-
K	-200 °C – 0 °C	±2.2 หรือ ±2%	-

ค่าอุณหภูมิผิดพลาดตามตารางดังกล่าว กำหนดค่า 100% จากอุณหภูมิที่กำลังวัดอยู่ เช่น พิสัยค่าผิดพลาดของเทอร์โมคัปเปิลแบบ J ในช่วงอุณหภูมิ 0-750°C = ±3/4% ถ้าค่าอุณหภูมิที่กำลังวัดเป็น 538°C ดังนั้น ค่าที่อ่านได้จะต้องอยู่ในช่วง 538°C ± ¼°C แต่ถ้าอุณหภูมิผิดพลาด ± ¼% น้อยกว่า ± 2.2°C เช่นที่อุณหภูมิที่วัดเป็น 250°C ซึ่ง ± ¼% เท่ากับ 1.825°C ผ่านพิสัยค่าผิดพลาดก็จะเป็น 250°C ± 2.2°C

ตารางที่ 2.6 แสดงค่าความผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิล

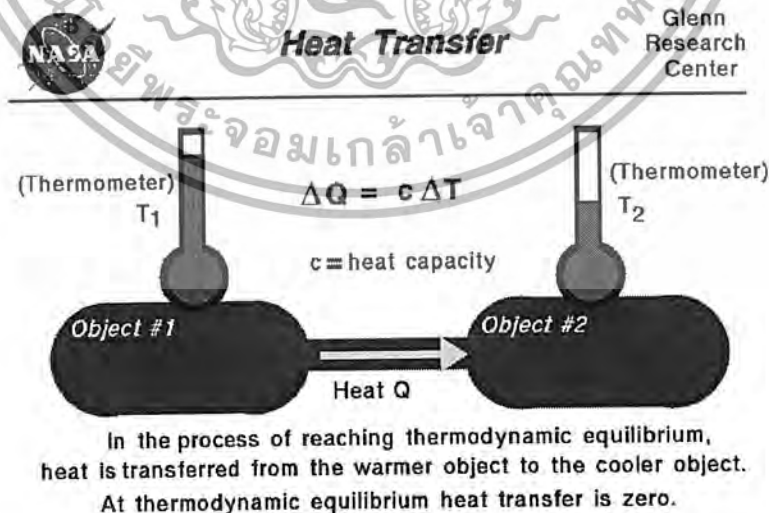
Extension Wire แบบ	ย่านอุณหภูมิ	พิสัยค่าผิดพลาด	
		แบบมาตรฐาน	แบบพิเศษ
K	0 ถึง 200 °C	± 2.2 °C	-
J	0 ถึง 200 °C	± 2.2 °C	± 1.1 °C
E	0 ถึง 200 °C	± 1.7 °C	-
T	-60 ถึง +100 °C	± 2.0 °C	± 0.5 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดพลาดในการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมคัปเปิลอาจเกิดขึ้นได้หลายแห่ง เช่น Extension Wires จุดต่อต่างๆในการต่อคู่สาย Extension Wire จะต้องระมัดระวังมิให้ผิดพลาดโดยการสลับสายทั้งที่ตัวเทอร์โมคัปเปิลและอุปกรณ์อ่านค่ามิลลิโวลต์ หรือตัวทรานสมิตเตอร์ สาย Shield รอบ Extension Wire ก็จะต้องได้รับการต่อลงกราวด์อย่างถูกวิธี เพราะค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดจากเทอร์โมคัปเปิลมีค่าน้อยอยู่ในย่านมิลลิโวลต์เท่านั้น และถ้าลากสาย Extension Wire ยาวขึ้น โอกาสที่จะได้รับการเหนี่ยวนำจากสายไฟฟ้าอื่นๆที่มีกระแสสลับไหลอยู่ก็จะยิ่งมากขึ้น จะทำให้เกิดค่าผิดพลาดขึ้นได้ ตามจุดต่อต่างๆต้องให้น้อยจุดที่สุดและเป็นวัสดุที่เลือกตามข้อแนะนำของบริษัทที่ผลิต ถ้าจุดต่อยาว อุณหภูมิของจุดต่อไม่เท่ากัน ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นเพราะขัดกับกฎของไฟฟ้าที่เกิดจากความร้อน (Thermoelectric Law) ชื่อ "โลหะเทรก"

การพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนในของเหลว หรือสิ่งที่ไหลได้ ได้แก่ ของเหลวและก๊าซ เช่นการนำของเหลวที่อุณหภูมิต่างกันมาผสมกับโมเลกุลของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงกว่าย่อมมีพลังงานจลน์ หรือพลังงานอันเกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลมากกว่าโมเลกุลของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เมื่อโมเลกุลเคลื่อนที่มาชนกันก็จะถ่ายเทพลังงานให้แก่กัน โดยโมเลกุลที่มีพลังงานสูงจะถ่ายเทพลังงานให้แก่กันโดยโมเลกุลที่มีพลังงานสูงจะถ่ายเทพลังงานให้แก่โมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำ จนในที่สุดโมเลกุลต่างๆมีพลังงานโดยเฉลี่ยเท่ากัน



รูปที่ 2.12 การพาความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันและหน่วยวัดความดัน (Pressure and its Measuring Units)

ความดัน หมายถึง แรงที่กระทำลงอย่างสม่ำเสมอในแนวตั้งจากบนพื้นที่ที่กำหนด ถ้ากำหนดให้ F คือ แรงที่กระทำ, A คือ พื้นที่ที่ถูกกระทำ, P คือ ความดันที่เกิดขึ้น จะได้

$$P = F/A$$

แรงที่กระทำอาจเกิดจากของเหลว (Liquids) ก๊าซ หรือของแข็ง (Solids) ก็ได้

หน่วยมาตรฐานสากลของความดัน (S.I. Units)

แรงที่กระทำมีหน่วยเป็นนิวตัน (Newton) $1 \text{ N} = 1 \text{ kgm/s}^2$ กระทำลงบนพื้นที่ 1 ตารางเมตร จะได้ความดัน = 1 ปาสคาล (Pa)

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

ผู้ที่กำหนดหน่วยความดันนี้คือ Blaise Pascal แต่ปาสคาลเป็นหน่วยเล็ก ต่อมา Bar จึงได้กำหนดหน่วยในทางปฏิบัติขึ้น (Pascal และ Bar เป็นนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส)

$$1 \text{ bar} = 100000 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa}$$

ค่าความดัน 1 bar นี้ มีค่าใกล้เคียงกับค่าความดัน 1 บรรยากาศ และ 1 kg/cm^2 มาก หน่วยความดัน "Bar" นี้ต่อไปจะเป็นหน่วยมาตรฐานสากลของทุกประเทศ

ค่าเปรียบเทียบกับหน่วยที่มีอยู่เดิม

ค่าความดันบรรยากาศโดยประมาณ (Technical Atmosphere)

$$1 \text{ kg/cm}^2 = 0.981 \text{ bar}$$

ค่าความดันบรรยากาศทางฟิสิกส์ (Physical Atmosphere)

$$1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar}$$

หน่วยอังกฤษ

$$1 \text{ psi} = 0.068947 \text{ bar}$$

ในรูปความสูงของน้ำและปรอท

$$1 \text{ mH}_2\text{O} = 0.09806 \text{ bar}$$

$$1 \text{ inH}_2\text{O} = 0.00249089 \text{ bar}$$

$$1 \text{ inHg} = 0.034531 \text{ bar}$$

โดยกำหนดให้ 1 บรรยากาศ = 760 mmHg ที่ 0°C และมีความเร่งอันเกิดจากแรงโน้มถ่วง = 9.80665 m/s^2

$1 \text{ mmHg} =$ ความดันอันเกิดจากความสูงของปรอท 1 mm ที่ปรอท 0°C มีค่าความหนาแน่น = 13.5951 g/cm^3 และมีค่าความเร่งอันเกิดจากแรงโน้มถ่วง 9.80665 m/s^2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 mH₂O = ความดันอันเกิดจากความสูงของน้ำ 1 เมตร มีค่าความหนาแน่นคงที่ 1 g/cm³ และมีค่าความเร่งอันเกิดจากแรงโน้มถ่วง = 9.80665 m/s²

ตารางที่ 2.7 แสดงการแปลงค่าหน่วย

	torr	Mbar	Bar	Pascal	Atm
1 torr =	1	1.333	1.33x10 ⁻³	133.3	1.316x10 ⁻²
1 mbar =	0.75	1	0.001	100	9.87x10 ⁻⁴
1 bar =	750	1000	1	1x10 ⁵	9.87x10 ⁻¹
1 pascal =	0.0075	0.01	1x10 ⁻⁵	1	9.87x10 ⁻⁵
1 atm =	760	1013	1013	101325	1

ความดันที่เกิดจากก๊าซ (Pressure of Gases)

โมเลกุลของก๊าซแต่ละตัวเปรียบเสมือนลูกบอลเล็กๆ ที่เคลื่อนไหวยุติตลอดเวลาในภาชนะปิดระหว่างที่มันเคลื่อนที่อยู่ มันจะชนกันเองและชนกับพื้นที่ผิวภายในของภาชนะ เกิดการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา เกิดการปะทะกันเอง และปะทะกับพื้นที่ผิวภายในของภาชนะเช่นนี้ จะเกิดความดันขึ้น ถ้ากำหนดให้

m เป็นมวลของโมเลกุลก๊าซ มีหน่วยเป็น kg

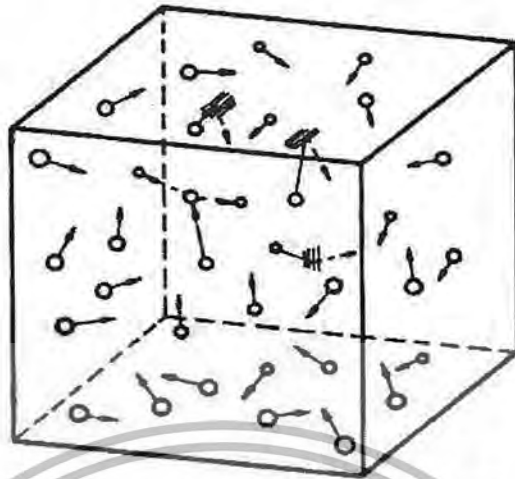
v เป็นความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซ มีหน่วยเป็น m/s

n เป็นจำนวนของโมเลกุลก๊าซ ที่บรรจุอยู่ในภาชนะปริมาตร 1 m³

จะได้
$$P = \frac{1}{3} n \cdot m \cdot v^2$$

เมื่อก๊าซได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซสูงขึ้น หรือเมื่อก๊าซถูกอัดตัวให้มีปริมาตรเล็กลง ทำให้มีจำนวนโมเลกุลของก๊าซต่อ 1 m³ สูงขึ้น ผลที่ได้คือ จะทำให้ความดันสูงขึ้น

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.13 แสดงการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก๊าซ

รูปแบบของความดัน (Types of Pressure)

รูปแบบของความดันแตกต่างกันไปตามจุดอ้างอิง (Reference) ที่มีค่าเป็นศูนย์ ในทางปฏิบัติ จะมี 4 รูปแบบคือ

1. ความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure)
2. ความดันเกจ (Gauge Pressure)
3. ความดันดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Pressure)
4. Vacuum (ความดันในช่วงต่ำกว่าบรรยากาศ)

1. ค่าความดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure) ค่าความดันสัมบูรณ์มีจุดศูนย์อยู่ที่จุดสุญญากาศ (Absolute Vacuum) ค่าที่กำหนดเป็นความดันสัมบูรณ์ จะมีตัวย่อต่อท้ายเป็น "abs" หรือ "a" เช่น bar_{abs} , Psi_a หรือ kg/cm^2 ค่าความดันสัมบูรณ์นี้เป็นค่าที่ใช้สำหรับการคำนวณทางเทอร์โมไดนามิกส์ เช่น การหาประสิทธิภาพของหม้อไอน้ำ

2. ความดันเกจ (Gauge Pressure) ค่าความดันเกจจะอ้างอิงค่าศูนย์ (Zero Reference) ที่ความดันบรรยากาศ โดยค่าที่บอกจะเป็นค่าที่สูงกว่าความดันบรรยากาศขึ้นไป ซึ่งค่าความดันบรรยากาศนี้จะถือที่ระดับน้ำทะเลเฉลี่ย (Mean Sea Level) มีค่าเท่ากับ $1.01325 \text{ bar}_{\text{abs}}$ ถ้าวัด ณ จุดใดๆ บนพื้นโลกจะมีค่าแตกต่างกันประมาณ 5% ในทางปฏิบัติจะถือโดยประมาณว่าเท่ากัน งานส่วนใหญ่ในอุตสาหกรรมจะบอกเป็นความดันเกจแทบทั้งสิ้น ค่าที่กำหนดเป็นความดันเกจนี้ จะมีตัวย่อต่อท้ายเป็น g หรือ G เช่น bar_g , kg/cm^2 หรือ Psi_g

ถ้าเปรียบเทียบค่าความดันสัมบูรณ์กับความดันเกจแล้ว ความดันสัมบูรณ์จะมีค่ามากกว่า 1.01325 bar หรือ 14.696 Psi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 58678 ส่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{\text{abs}} = P_g + \text{Atmosphere}$$

3. ความดันดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Pressure) เป็นการบอกค่าความแตกต่างของความดันระหว่างจุด 2 จุด ความดันดิฟเฟอเรนเชียลจะมีค่าเป็นศูนย์ที่ความดันทั้งสองจุดที่วัดมีค่าเท่ากัน

ค่าที่กำหนดเป็นความดันแตกต่างจะมีตัวย่อต่อท้ายว่า d หรือ D เช่น kg/cm^2 , Psi_d หรือ bar_d บางครั้งอาจเขียนย่อว่า ΔP ซึ่งหมายถึงค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลเช่นเดียวกัน ในการใช้งานตัวกรองน้ำมัน (Strainer) เราสามารถกำหนดเวลาทำความสะอาดของตัวกรองนี้ได้โดยดูค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลที่หน้าและหลังตัวกรอง ถ้าค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลน้อยแสดงว่าตัวกรองยังสะอาด แต่ถ้าค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียลสูงขึ้นแสดงว่ามีสิ่งสกปรกติดขึ้นมากแล้ว จะชี้บอกว่าถึงเวลาเปลี่ยนตัวกรองได้หรือยัง

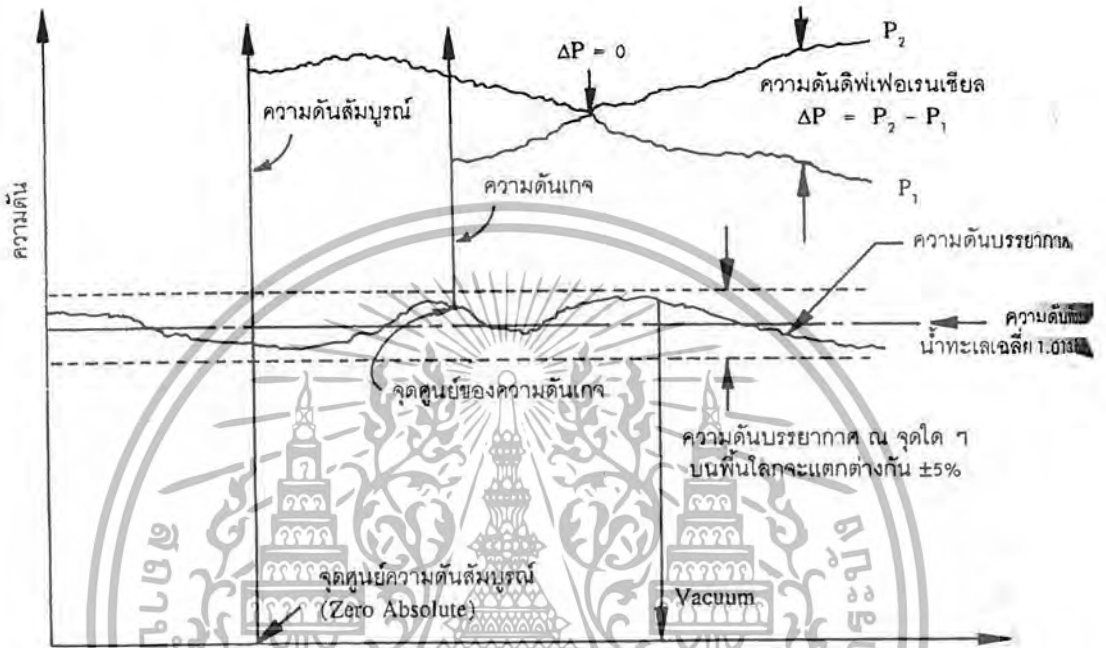
4. Vacuum จะอ้างอิงจุดศูนย์ที่ความดันบรรยากาศและค่าจะมากขึ้นเมื่อความดันลดลง ค่าจะได้สูงสุดที่จุดศูนย์ของความดันสัมบูรณ์ (Zero Absolute) Vacuum นี้ บางทีจะเรียกว่าความดันลบ (Negative Pressure) นิยมกำหนดหน่วยเป็นค่าความสูงของของเหลว เช่น mmHg, inHg หรือถ้ามีค่าน้อยๆ อาจกำหนดเป็น mmH_2O , inH_2O และจะมีตัวย่อต่อท้ายด้วย Vac เช่น $758 \text{ mmHg}_{\text{vac}}$ ซึ่งหมายถึงมีค่าความดันต่ำกว่าบรรยากาศลงไป 758 mmHg

โดยปกติช่วงการวัดระดับ Vacuum แบ่งเป็น 4 ระดับคือ

1. ระดับกลาง (Medium) ตั้งแต่ $25 \text{ mmHg}_{\text{vac}}$ ถึง $736 \text{ mmHg}_{\text{vac}}$
2. ระดับค่อนข้างสูง (Medium High) ตั้งแต่ 1 ถึง 10^3 torr
3. ระดับสูง (High) 10^3 ถึง 10^7 torr
4. ระดับสูงสุด (Ultrahigh) น้อยกว่า 10^7 torr

ในช่วงที่เป็น Vacuum สูง หน่วยที่ใช้จะเรียกเป็น torr "1 torr หมายถึง 1 mmHg" จุดศูนย์อยู่ที่จุดความดันศูนย์สัมบูรณ์ ซึ่งหน่วยนี้ตั้งขึ้นเพื่อเป็นเกียรติแก่ "torricelli" นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลี ที่เป็นผู้ค้นพบว่าความดัน 1 บรรยากาศมีค่า 760 mmHg

ถ้าพิจารณาอย่างละเอียดแล้วจะเห็นว่า จุดศูนย์ของค่าความดันเกจและค่า Vacuum เป็นจุดเดียวกันมีค่าไม่แน่นอนแล้วแต่การเปลี่ยนแปลงของบรรยากาศ แต่ศูนย์ของความดันสัมบูรณ์จะมีค่าแน่นอน



รูปที่ 2.14 แสดงการเปรียบเทียบความดันทั้ง 4 รูปแบบ

อุปกรณ์วัดความดัน

อุปกรณ์วัดความดันอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การขยายตัว หดตัวของก๊าซ เมื่อความกดดันเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนค่าการนำความร้อนของโลหะภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เป็นก๊าซ ชนิดต่างๆ หรืออาศัยหลักการแตกตัวของก๊าซชนิดต่างๆ กันที่ความดันต่างกัน

ตารางที่ 2.8 แสดงอุปกรณ์วัดความดันและช่วงใช้งาน

ชนิดหรือแบบ	ช่วงความดันที่วัดได้	หลักการ
มาโนมิเตอร์ปรอท	760 -1 torr	การเปลี่ยนแปลงระดับปรอทเนื่องจากความดัน
เกจบัวดอง	760 -10 torr	การเปลี่ยนแปลงขนาดของภาชนะปิดภายใต้ความดัน
เกจแอนีรอยด์	760 - 20 torr	การเปลี่ยนแปลงขนาดของภาชนะปิดภายใต้ความดัน
หลอดดิซชาร์จ	5 -0.01 torr	การเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะดิซชาร์จไฟฟ้าเมื่อความดันเปลี่ยนแปลง
เกจแม็คคลาวด์	$10 -10^{-6}$ torr	การเปลี่ยนแปลงระดับปรอท
เกจพิรานี	$760 -10^{-3}$ torr	ความต้านทานขดลวดเปลี่ยนตามการนำความร้อนของก๊าซ
เกจเทอร์โมคัปเปิล	$760 -10^{-3}$ torr	การนำความร้อนของก๊าซ
เกจเพินนิง	$10^{-2} -10^{-6}$ torr	การไอออไนเซชันของก๊าซภายใต้สนามแม่เหล็กและไฟฟ้า
เกจไอออนไนเซชัน ข้าวคาโทดร้อน	$10^{-3} -10^{-11}$ torr	การไอออไนเซชันของก๊าซ
เกจแอลฟาครอน	$760 -10^{-3}$ torr	การไอออไนเซชันของก๊าซเมื่อรับรังสี
เกจบาราทรอน	$760 -10^{-4}$ torr	การเปลี่ยนค่าคาพาซิแตนซ์

อุปกรณ์วัดความดันประเภทไฟฟ้าจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัววัดซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนค่าทางกายภาพ (transducer) และส่วนวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานและแปรค่าสัญญาณเป็นค่าความดันที่อ่านได้ (control unit) หน่วยควบคุมแบบทันสมัยจะมีระบบป้องกันวงจรในกรณีที่สัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้สูงเกินไป หรือสามารถใช้หน่วยควบคุมในการควบคุมความดันของระบบสุญญากาศได้ดังเช่นในงานผลิต ถ้าความดันในภาชนะสุญญากาศสูงหรือต่ำเกินระดับที่ตั้งไว้ หน่วยควบคุมสามารถสั่งให้ปั๊มสุญญากาศหยุดหรือเริ่มทำงานได้

ในการเลือกใช้อุปกรณ์วัดความดัน ควรพิจารณาองค์ประกอบหรือข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์วัดดังนี้

- (1) ช่วงความดันที่วัดได้ ควรจะครอบคลุมความดันสุญญากาศที่ต้องการวัด หัววัดบางหัวจะทำงานที่ความดันต่ำมาก เช่น หัววัดเกจไอออนไนเซชัน ถ้าใช้วัดความดันสูงกว่า 10^{-3}

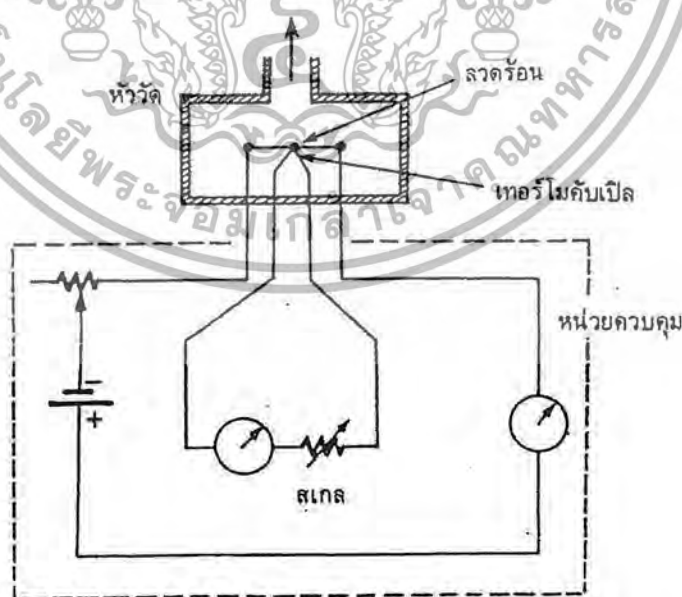
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

torr หัววัดจะชำรุด ระบบสุญญากาศจึงมักใช้หัววัด 2 แบบ คือ วัดความดันในช่วง $760 - 10^{-3}$ torr อีกช่วงหนึ่ง

- (2) ความละเอียดของสเกลวัด อุปกรณ์วัดความดันหลายแบบจะวัดความดันที่อ่านในสเกล log และอ่านสเกลเชิงเส้นตรงได้ในบางช่วง อุปกรณ์บางแบบจึงใช้อ่านความดันได้อย่างหายบายๆ เกจไอออนไนเซชัน สามารถอ่านในสเกลเชิงเส้นตรงได้
- (3) ความไวต่อก๊าซปัม อุปกรณ์วัดความดันหลายแบบอาศัยหลักการนำความร้อนของก๊าซ หรือการแตกตัวของก๊าซ ดังนั้นเมื่อใช้กับก๊าซต่างชนิดกันจะให้ความไวต่างกัน จึงต้องทราบค่าแก้หรือค่าเปรียบเทียบของก๊าซต่างๆ อุปกรณ์ประเภทนี้มักจะใช้ในโตรเจนหรืออากาศแห้งเป็นมาตรฐาน
- (4) ข้อมูลจำเพาะเกี่ยวกับอุปกรณ์ ควรทราบว่าหัววัดความดันสามารถแสดงค่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนค่าความดันได้เร็วช้าเพียงใด ผลของอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ ความแม่นยำ ตลอดจนความละเอียดเกี่ยวกับขนาดของกระแสไฟฟ้าที่ใช้อะไหล่ การติดตั้ง ข้อควรระวังต่างๆ

เกจเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple gauge)

หลักการ ใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิของลวดร้อน ซึ่งเปลี่ยนแปลงเมื่อความดันก๊าซเปลี่ยนแปลงโดยการพาความร้อน



รูปที่ 2.15 วงจรอย่างง่ายของเกจเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้เป็นแบบชนิดใดก็ได้ เมื่อลวดถูกเผาด้วยกำลังไฟฟ้าจนถึงอุณหภูมิช่วง 100 - 200°C ปลายจุดเชื่อมโลหะของเทอร์โมคัปเปิลด้านหนึ่งจะติดกับลวดร้อนนี้ ดังรูป 2.15 ผลต่างของอุณหภูมิทั้งสอง ปลายจุดเชื่อมจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (thermoelectro motive for) ในวงจร กระแสวงจรถูกเปลี่ยนเป็นค่าความดันที่อ่านได้บนสเกลของหน่วยควบคุม

ช่วงความดันที่วัดได้มีค่า $760 - 10^{-3}$ torr ความแม่นยำ 10% ควรสอบเทียบมาตรฐานเกจ เทอร์โมคัปเปิลเสมอเพราะอาจสกริปได้ง่าย ทำให้อ่านค่าความดันผิดพลาดได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในโครงการพิเศษนี้ ได้ทำการแบ่งวิธีดำเนินการวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้คือ

3.1 วิธีดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการศึกษา

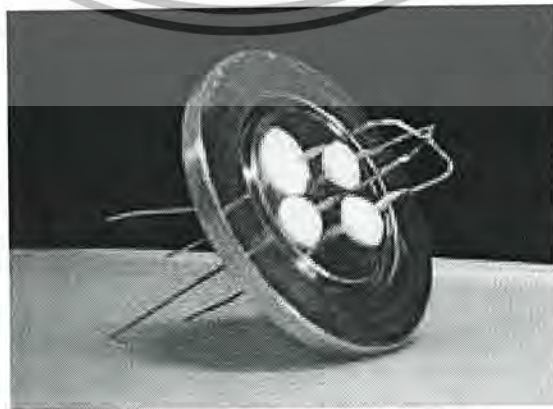
ทำการศึกษาค้นคว้า และรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเกจวัดความดันสัญญาณภาคชนิด Thermocouple gauge ต่าง ๆ เช่น ความเป็นมาและลักษณะของ thermocouple ในโครงการพิเศษนี้จะสนใจ thermocouple Type-K (chromel-alumel) ความดันสัญญาณภาค การนำความร้อน การพาความร้อน รวมทั้ง gauge ที่ใช้วัดความดันสัญญาณภาคแบบต่าง ๆ ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เพื่อที่จะนำมาใช้เป็นแนวทางและข้อมูลในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการทดลอง

เป็นการรวบรวมข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าจากขั้นตอนแรกมาทดลอง แล้วนำข้อมูลที่ทดลองได้ไปวิเคราะห์ผล เพื่อเป็นการยืนยันถึงข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้ามา ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาค่าของกระแสที่ทำให้อุณหภูมิและแรงดัน Thermocouple วัดได้ ณ ความดันต่าง ๆ นั้นเสถียรที่สุด รวมทั้งการกำหนดอุณหภูมิไว้ที่ค่า ๆ หนึ่งแล้วทำการปรับค่ากระแสในช่วงความดันต่าง ๆ ให้ได้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่กำหนดไว้ในตอนแรก เมื่อเราได้ค่าต่าง ๆ แล้วก็จะทำการสร้างเกจวัดความดัน

3.2.1 การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของความต่างศักย์และอุณหภูมิที่ความดันต่าง ๆ ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ คือ

1. Thermocouple type K ใช้เป็นหัวเกจวัดความดันสัญญาณภาค



รูปที่ 3.1 Thermocouple type K

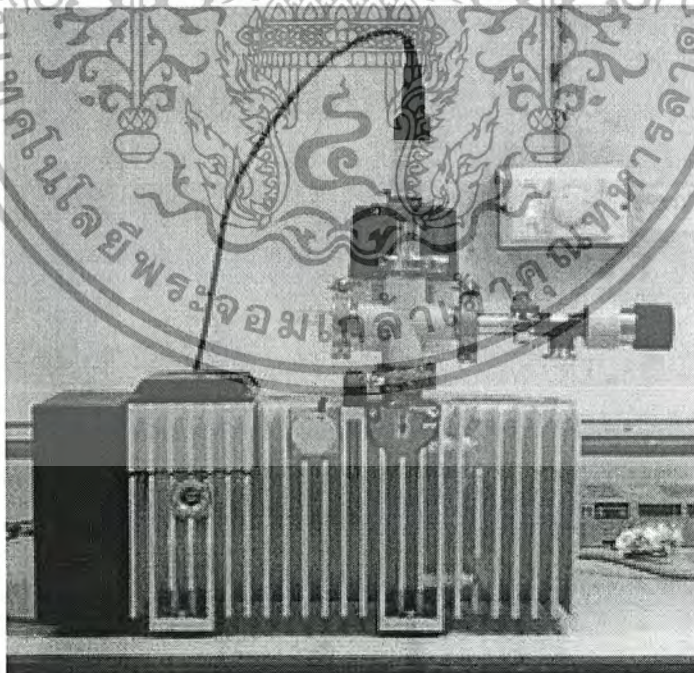
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Pirani Gauge ใช้เป็นหัววัดความดันเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.2 Pirani Gauge

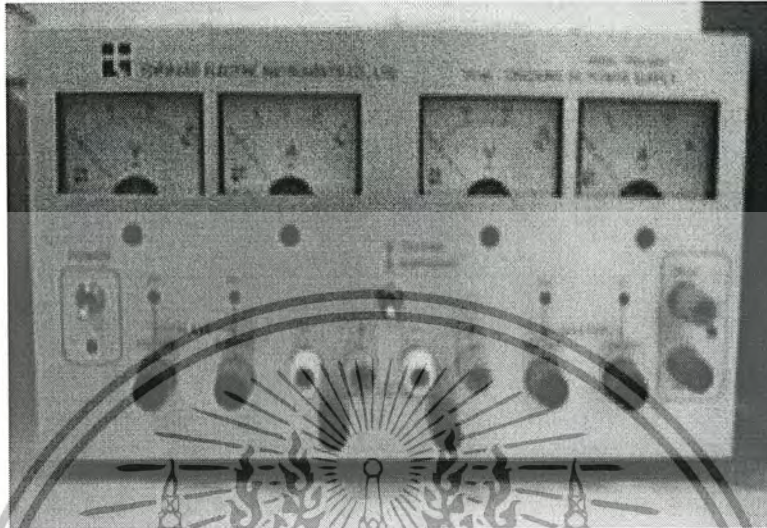
3. Rotary pump ใช้สร้างความดันสุญญากาศและความดันที่ต้องการวัดในช่วงต่างๆ



รูปที่ 3.3 Rotary pump

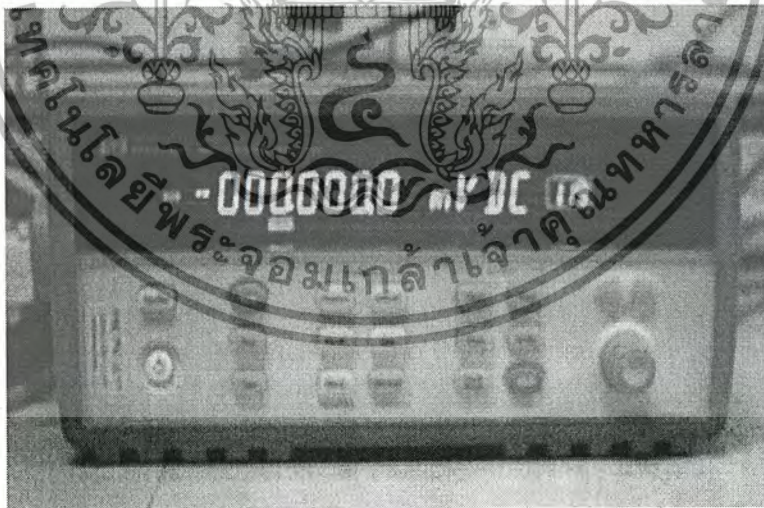
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. Dual-Tracking DC Power supply ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่ Thermocouple



รูปที่ 3.4 Dual-Tracking DC Power supply

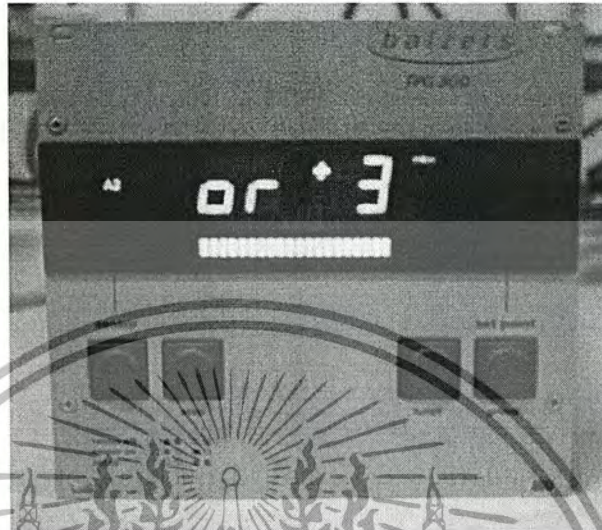
5. Multimeter 20 channel multiplexer ใช้วัดอุณหภูมิและความต่างศักย์จาก Thermocouple



รูปที่ 3.5 Data Acquisition/Switch unit

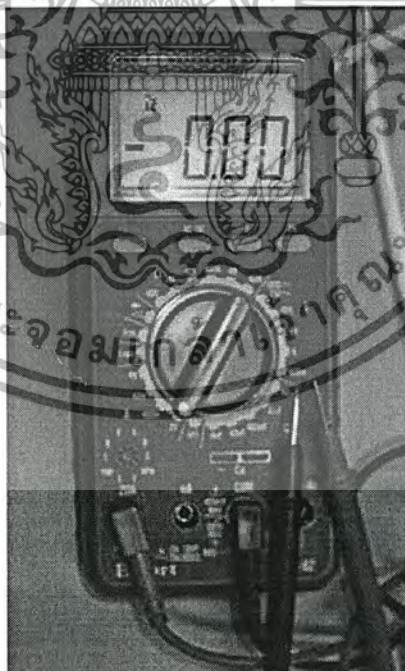
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Display for vacuum (Balzers TPG 300) แสดงค่าความดันที่วัดได้จาก pirani gauge



รูปที่ 3.6 Display for vacuum (Balzers TPG 300)

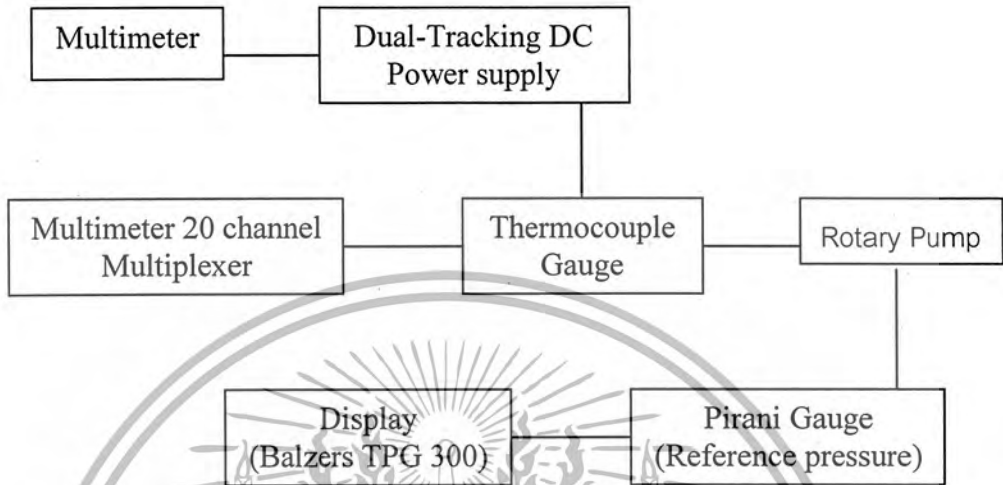
7. Multimeter ใช้วัดค่ากระแสที่จ่ายให้กับ Thermocouple



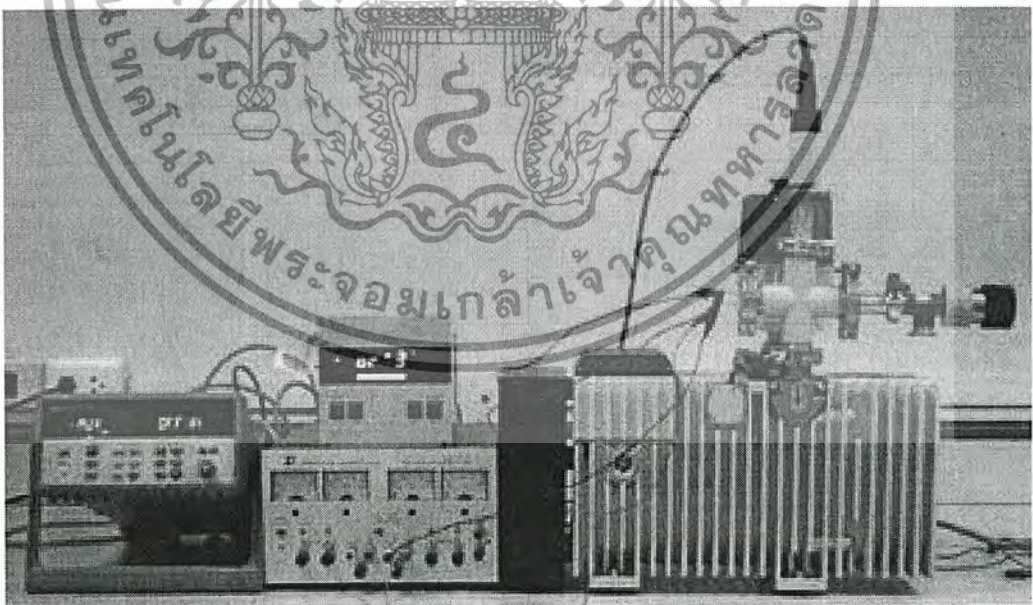
รูปที่ 3.7 Multimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ไตอะแกรมการจัตุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และการจัตุวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปต่อไปนี



รูปที่ 3.8 ไตอะแกรมการจัตุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

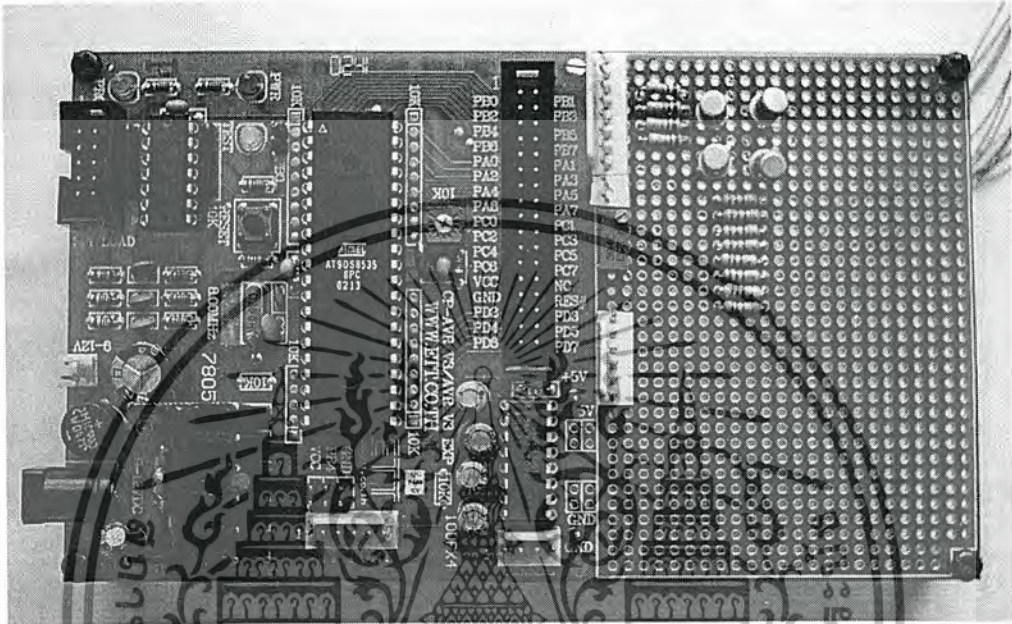


รูปที่ 3.9 ชุดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

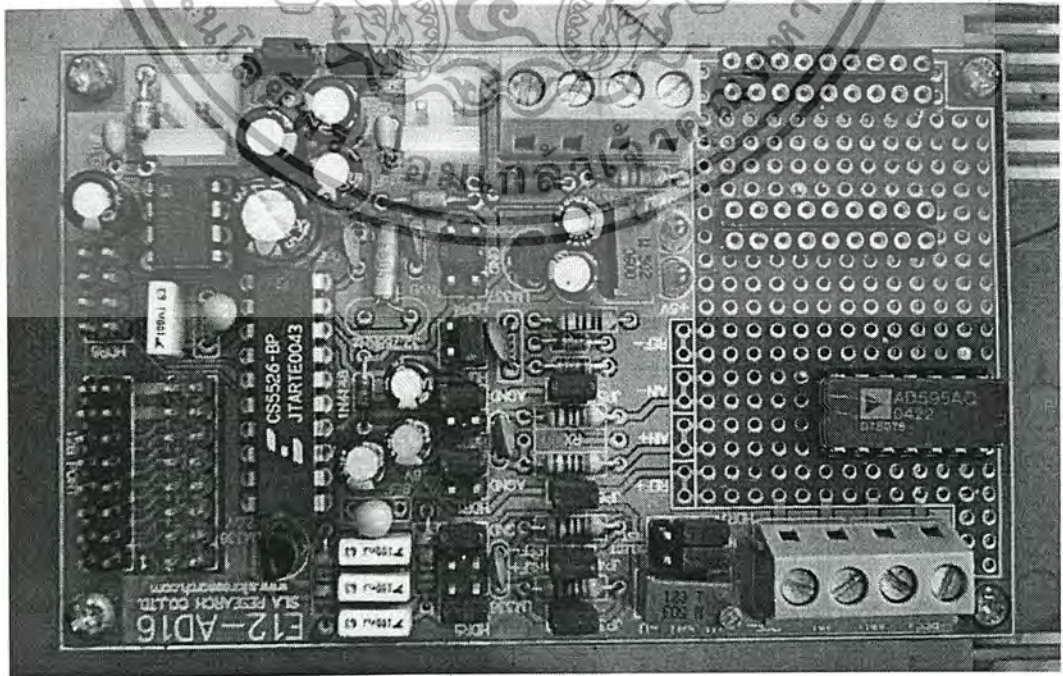
3.2.3 การเตรียมชุดอุปกรณ์เพื่อนำค่า parameter ที่วัดได้มาเขียนโปรแกรม ประกอบด้วย อุปกรณ์ดังรูปต่อไปนี้

1. CP-AVR V.3 Microcontroller Board ใช้เป็นตัว controller เวลาเขียนโปรแกรม comply และ burn



รูปที่ 3.10 CP-AVR

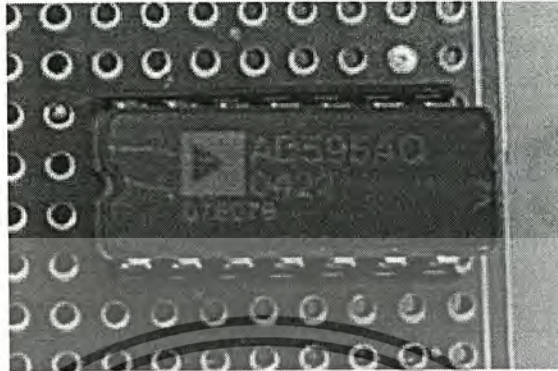
2. E12-AD16 AD CS5526 Board เป็น A/D ขนาด 20 bit



รูปที่ 3.11 E12-AD16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Monolithic T/C Amplifiers with cold junction compensation (AD595) ใช้ในการชดเชยความต่างศักย์พร้อมกับขยายความต่างศักย์ด้วย



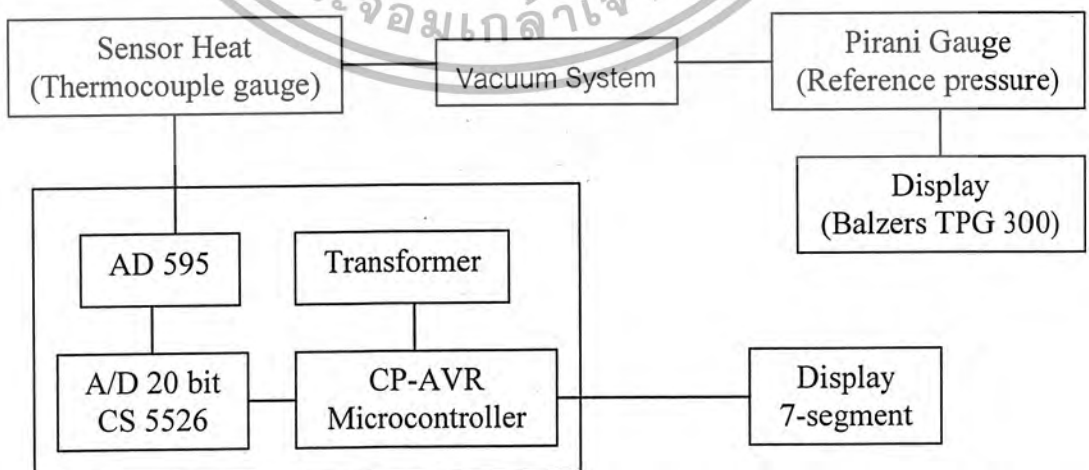
รูปที่ 3.12 AD595

4. Transformer ใช้ในการแปลงไฟบ้าน 220V ให้เป็น 9V เพื่อเข้าบอร์ด CP-AVR



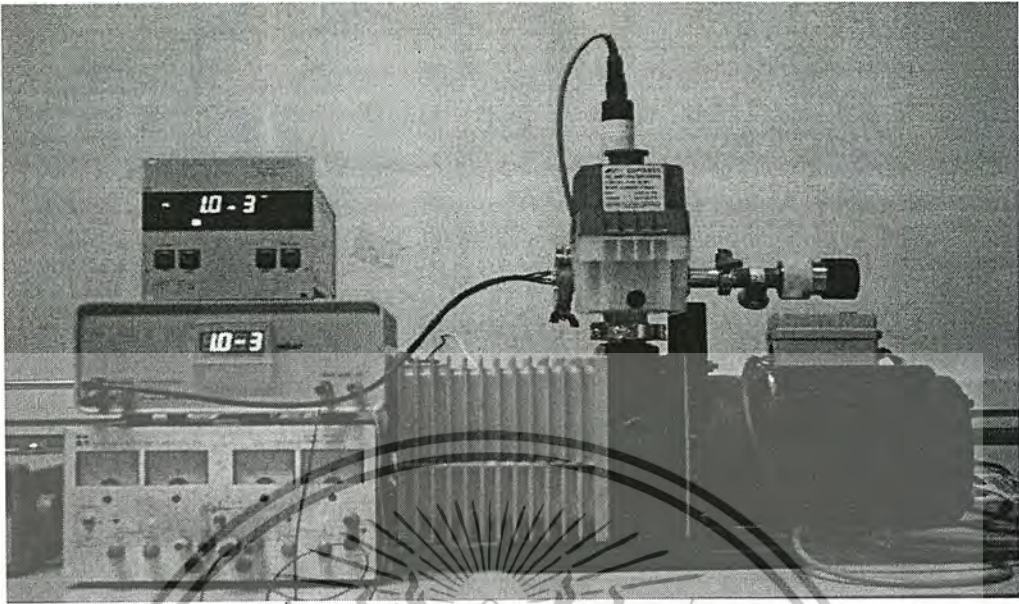
รูปที่ 3.13 Transformer

3.2.4 ไดอะแกรมชุดอุปกรณ์ Thermocouple gauge และการจัดระบบการวัด



รูปที่ 3.14 แสดงไดอะแกรมเครื่องมือวัดความดันสุญญากาศชนิด Thermocouple gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงการจัด measurement System

3.2.4 วิธีการทดลอง

ในการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.2.4.1 ทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความดัน

1. จัดชุดทดลองดังไดอะแกรมรูปที่ 3.8
2. ตั้งค่ากระแสของ Power supply ไว้ที่ 0.5 A
3. เปิด Pump rotary แล้วทิ้งไว้สักครู่จน pump รักษาสภาพความเป็นสุญญากาศคงที่ (สังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่วัดจากเครื่องไม่เปลี่ยนแปลง)
4. หมุนจาลิวเพื่อปรับความดันสุญญากาศให้มีค่าต่ำสุด แล้วบันทึกค่าอุณหภูมิ
5. ปรับความดันเพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 mbar พร้อมทั้งบันทึกค่าอุณหภูมิจนไม่สามารถเพิ่มความดันได้อีก
6. ทำซ้ำข้อ 5 จำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย
7. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 3-5 แต่เปลี่ยนค่ากระแสเป็น 1.0 และ 1.5 ตามลำดับ
8. นำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างความดัน (mbar) กับอุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$)

9. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ได้

3.2.4.2 ทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์กับความดัน

1. จัดชุดทดลองดังไดอะแกรมรูปที่ 3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ตั้งค่ากระแสของ Power supply ไว้ที่ 0.5 A
 3. เปิด Pump rotary แล้วทิ้งไว้สักครู่จน pumpรักษาสภาพความเป็นสุญญากาศคงที่ (สังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่วัดจากเครื่องไม่เปลี่ยนแปลง)
 4. หมุนวาล์วเพื่อปรับความดันสุญญากาศให้มีค่าต่ำสุด แล้วบันทึกค่าความต่างศักย์
 5. ปรับความดันเพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 mbar พร้อมทั้งบันทึกค่าความต่างศักย์จนไม่สามารถเพิ่มความดันได้อีก
 6. ทำซ้ำข้อ 5 จำนวน 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย
 7. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 3-5 แต่เปลี่ยนค่ากระแสเป็น 1.0 และ 1.5 ตามลำดับ
 8. นำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(mbar) กับความต่างศักย์ (v)
 9. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ได้
- 3.2.4.3 ทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับกระแสที่อุณหภูมิที่ 60°C และ 80°C
1. จัดชุดการทดลองดังไดอะแกรมดังรูปที่ 3.8
 2. เปิด Pump rotary แล้วทิ้งไว้สักครู่จน pumpรักษาสภาพความเป็นสุญญากาศคงที่ (สังเกตได้ว่าอุณหภูมิที่วัดจากเครื่องไม่เปลี่ยนแปลง)
 3. หมุนวาล์วเพื่อปรับความดันให้เท่ากับความดันบรรยากาศ
 4. ปรับค่ากระแสให้มีค่ามากที่สุด พร้อมทั้งบันทึกค่าอุณหภูมิและกระแส ณ ขณะนั้น
 5. ใช้ค่าอุณหภูมิที่บันทึกได้เป็น Reference temperature
 6. ปรับความดันให้ลดลง ทุก ๆ 1 mbar และปรับค่ากระแสจนทำให้อุณหภูมิ ณ จุดนั้น เท่ากับ reference temperature พร้อมทั้งบันทึกค่ากระแส
 7. ทำซ้ำข้อ 3-6 จำนวน 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย
 8. นำค่าที่ได้มาPlotกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างความดัน(mbar)กับกระแส (A)
 9. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองที่ได้
- 3.2.5 เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา C อ่านค่าที่วัดได้หลังจากผ่าน A/D ลงใน Microcontroller Broad เพื่อบันทึกค่าออกทางจอ monitor ระหว่างค่า digital ที่เป็นเลขฐานสิบกับค่าความต่างศักย์ที่ระดับความดันต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 ทำการ Repeat ผลการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่แน่นอนแล้วเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขฐานสิบกับความดันเพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ที่วัดได้เมื่อผ่าน A/D แล้วเข้า Microcontroller แปลงค่าออกมาเป็นเลขฐานสิบโดยเทียบกับความดันที่ระดับต่างๆ และหาความสัมพันธ์ออกมาในรูปสมการจากกราฟ

3.2.7 เขียนโปรแกรมเพื่อแสดงค่าความดันที่วัดได้ออกทาง 7-Segment

3.3 วิธีดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลและผลการทดลองที่ศึกษาได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลและแก้ไขปรับปรุงต่อไป

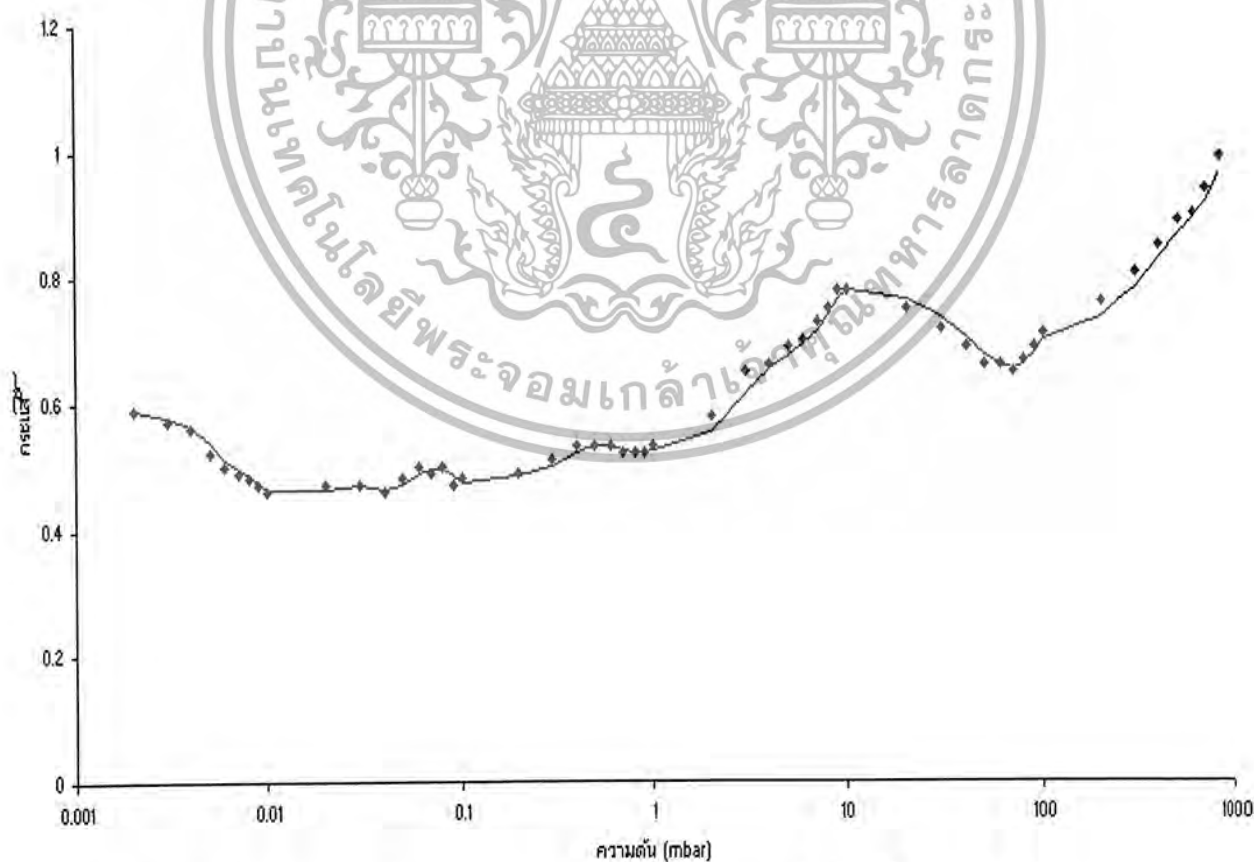


บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

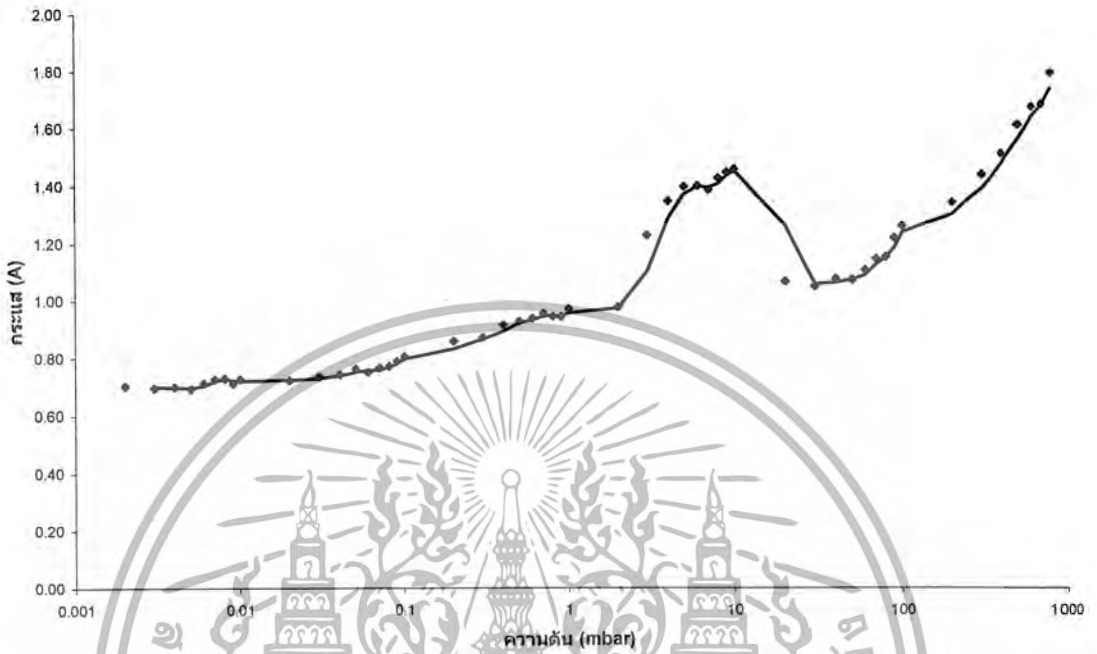
ในโครงการพิเศษฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการสรางเกจวัดความดันสูญญากาศชนิด เทอร์โมคัปเปิล ซึ่งแบ่งการศึกษาออกเป็นขั้นตอนต่างๆ โดยสิ่งแรกจะทำการหาชนิดของเกจเทอร์โมคัปเปิล ที่จะเป็นเทอร์โมคัปเปิลแบบกระแสคงที่หรือเปลี่ยนแปลงกระแส ผลที่ได้คือ ควรเป็นกระแสคงที่ เพราะจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิและความดันกับความต่างศักย์คงที่กว่าหรือมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเชิงเส้น แต่ถ้าเป็น การเปลี่ยนแปลงกระแส จะมีความสัมพันธ์ของความดันกับอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลาเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแส ดังตารางบันทึกผลและกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆ ข้างล่างนี้

4.1 ทดลองหาชนิดของเกจเทอร์โมคัปเปิลแบบกระแสคงที่หรือเปลี่ยนแปลงกระแส หาความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิคงที่ที่ 60°C และ 80°C



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



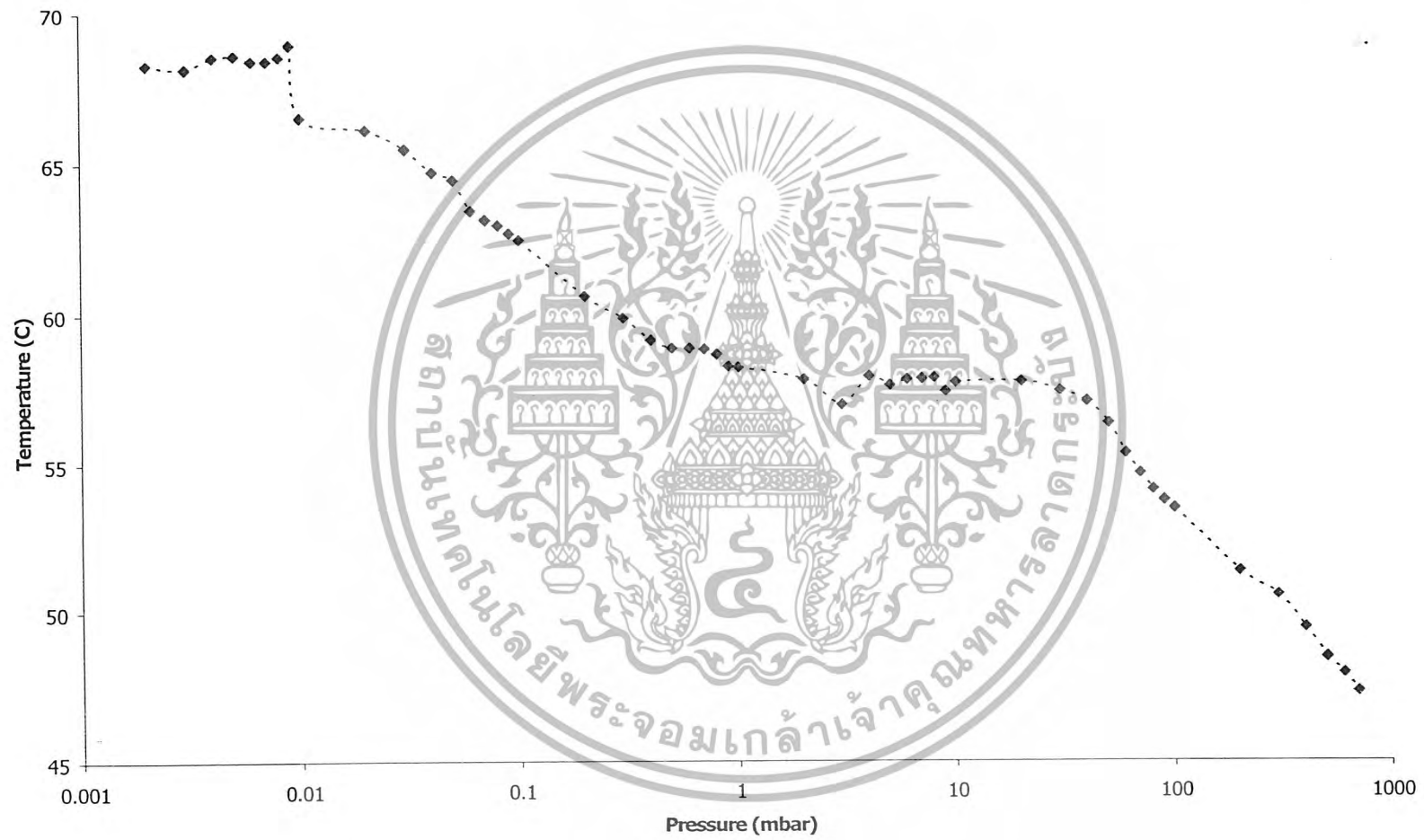
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 80 C

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าถ้าใช้ เทอร์โมคัปเปิล แบบการเปลี่ยนแปลงกระแส จะให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับกระแสไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาไม่เป็นเชิงเส้น ไม่ว่าจะเป็นที่อุณหภูมิคงที่ที่เท่าไรก็ตาม ดังนั้นจึงทำการศึกษาหาชนิดของเทอร์โมคัปเปิล แบบกระแสคงที่

4.2 หาความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 0.5,1.0,1.5 และ 2.0 A

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 0.5 A

Pressure (mbar)	Temperature (°C)				Pressure (mbar)	Temperature (°C)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
2×10^{-3}	68.7	68.0	68.1	68.27	1×10^0	56.4	58.6	59.8	58.27
3×10^{-3}	68.7	67.1	68.6	68.13	2×10^0	56.2	58.0	59.7	57.87
4×10^{-3}	68.7	68.0	68.9	68.53	3×10^0	56.6	58.7	59.3	57.03
5×10^{-3}	68.7	68.3	68.8	68.60	4×10^0	55.1	58.7	58.8	57.97
6×10^{-3}	68.3	68.3	68.6	68.40	5×10^0	55.5	58.8	58.7	57.67
7×10^{-3}	68.0	68.5	68.7	68.40	6×10^0	55.7	59.1	58.8	57.87
8×10^{-3}	68.2	68.4	68.7	68.55	7×10^0	56.1	58.9	58.7	57.90
9×10^{-3}	68.6	67.4	68.15	68.95	8×10^0	56.2	58.8	58.8	57.93
1×10^{-2}	68.7	67.5	68.4	66.53	9×10^0	55.3	58.6	58.5	57.47
2×10^{-2}	68.0	67.2	67.9	66.13	1×10^1	55.8	58.5	59.0	57.77
3×10^{-2}	67.6	66.6	67.3	65.50	2×10^1	56.1	58.7	58.6	57.80
4×10^{-2}	64.9	66.1	66.5	64.73	3×10^1	56.1	58.0	58.4	57.50
5×10^{-2}	64.3	66.0	66.1	64.47	4×10^1	56.1	57.4	57.9	57.13
6×10^{-2}	63.4	64.6	65.0	63.47	5×10^1	55.3	56.9	57.0	56.40
7×10^{-2}	62.2	64.2	64.7	63.17	6×10^1	54.4	55.7	56.1	55.40
8×10^{-2}	62.0	64.0	64.4	63.00	7×10^1	53.4	55.3	55.5	54.73
9×10^{-2}	60.5	63.7	64.0	62.73	8×10^1	52.9	54.7	54.9	54.17
1×10^{-1}	60.4	63.5	63.6	62.50	9×10^1	52.3	54.4	54.7	53.8
2×10^{-1}	58.1	61.8	62.0	60.63	1×10^2	52.0	54.0	54.6	53.53
3×10^{-1}	57.6	60.9	61.2	59.90	2×10^2	49.9	52.2	52.0	51.37
4×10^{-1}	57.0	59.9	60.6	59.17	3×10^2	49.5	51.4	50.8	50.57
5×10^{-1}	56.8	59.7	60.2	58.90	4×10^2	48.6	49.8	50.0	49.47
6×10^{-1}	56.2	59.6	60.2	58.90	5×10^2	47.6	48.9	48.9	48.47
7×10^{-1}	56.9	59.5	60.2	58.87	6×10^2	47.0	48.4	48.4	47.93
8×10^{-1}	56.2	59.3	60.0	58.70	7×10^2	46.7	47.3	48.0	47.33
9×10^{-1}	56.1	58.8	60.0	58.30					

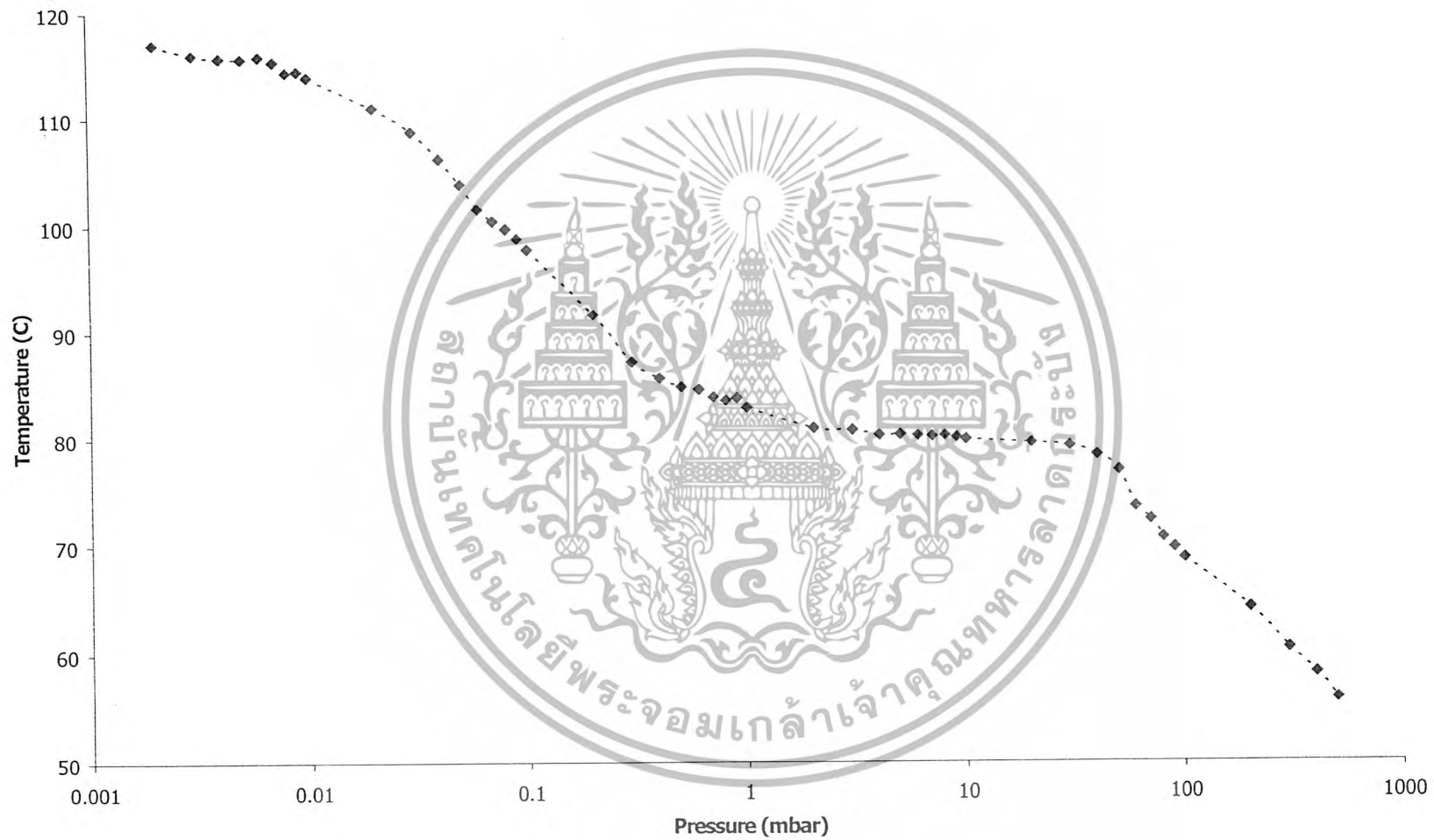


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 0.5 A

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 1.0 A

Pressure (mbar)	Temperature (°C)				Pressure (mbar)	Temperature (°C)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
2×10^{-3}	111.0	122.8	117.2	117.0	1×10^0	81.2	86.4	80.8	82.8
3×10^{-3}	109.0	122.1	116.8	115.97	2×10^0	79.6	83.3	79.7	80.87
4×10^{-3}	110.2	121.1	115.9	115.73	3×10^0	79.5	83.1	79.4	80.67
5×10^{-3}	110.7	120.0	116.2	115.63	4×10^0	79.2	82.2	79.1	80.17
6×10^{-3}	111.0	120.4	116.0	115.80	5×10^0	79.4	82.2	78.8	80.23
7×10^{-3}	110.8	119.8	115.4	115.33	6×10^0	79.5	82.0	78.9	80.13
8×10^{-3}	110.0	117.8	115.2	114.33	7×10^0	79.6	82.1	78.4	80.03
9×10^{-3}	110.3	117.6	115.4	114.43	8×10^0	79.5	81.9	79.0	80.13
1×10^{-2}	110.9	117.2	113.4	113.83	9×10^0	79.4	81.6	78.9	79.97
2×10^{-2}	108.0	114.1	110.8	110.97	1×10^1	79.2	81.4	78.7	79.77
3×10^{-2}	104.4	112.8	108.9	108.70	2×10^1	78.8	81.3	78.2	79.43
4×10^{-2}	102.4	109.6	106.6	106.20	3×10^1	78.8	80.6	78.1	79.17
5×10^{-2}	100.8	107.5	103.1	103.80	4×10^1	78.1	79.8	76.9	78.27
6×10^{-2}	99.0	105.6	99.9	101.50	5×10^1	77.2	78.7	74.6	76.83
7×10^{-2}	98.0	104.5	98.5	100.33	6×10^1	74.9	74.6	70.8	73.43
8×10^{-2}	97.2	104.3	97.4	99.63	7×10^1	73.4	73.5	70.0	72.30
9×10^{-2}	95.8	103.8	96.6	98.73	8×10^1	71.2	71.6	69.0	70.60
1×10^{-1}	95.7	100.9	94.98	97.71	9×10^1	70.1	70.1	68.8	69.67
2×10^{-1}	90.0	94.6	90.2	91.60	1×10^2	69.1	69.2	67.8	68.70
3×10^{-1}	85.3	90.6	87.2	87.10	2×10^2	63.9	65.2	63.1	64.07
4×10^{-1}	84.1	87.3	85.4	85.60	3×10^2	59.6	60.2	61.3	60.37
5×10^{-1}	83.3	86.8	84.2	84.77	4×10^2	56.6	59.3	58.5	58.13
6×10^{-1}	83.4	87.8	82.3	84.50	5×10^2	55.1	55.6	56.7	55.80
7×10^{-1}	82.5	87.7	81.2	83.80					
8×10^{-1}	82.8	86.7	80.9	83.47					
9×10^{-1}	82.9	88.1	80.1	83.70					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

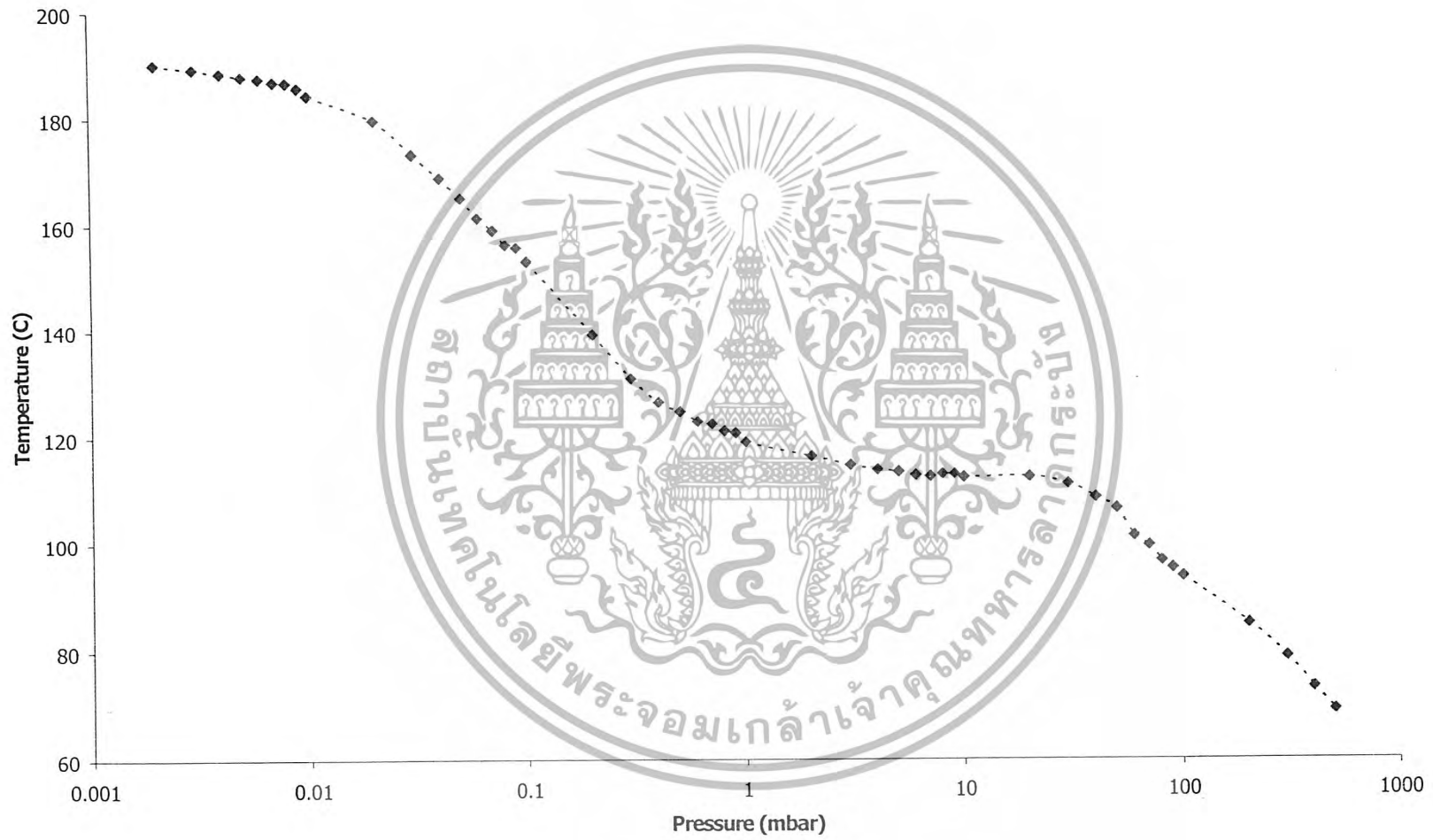


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 1.0 A

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 1.5 A

Pressure (mbar)	Temperature (°C)				Pressure (mbar)	Temperature (°C)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
2×10^{-3}	185.0	190.5	194.5	190.10	1×10^0	118.3	119.4	119.1	118.93
3×10^{-3}	184.1	190.1	193.5	189.23	2×10^0	115.9	116.8	116.1	116.27
4×10^{-3}	183.8	188.6	192.8	188.40	3×10^0	114.3	114.7	114.7	114.57
5×10^{-3}	183.5	188.5	191.4	187.80	4×10^0	114.1	112.2	114.7	113.67
6×10^{-3}	182.9	188.2	191.1	187.40	5×10^0	113.4	111.8	114.7	113.30
7×10^{-3}	182.5	187.1	190.8	186.80	6×10^0	113.3	111.5	113.3	112.70
8×10^{-3}	182.2	186.8	190.8	186.60	7×10^0	112.8	111.6	112.8	112.40
9×10^{-3}	181.9	185.6	189.4	185.63	8×10^0	114.0	111.7	113.0	112.90
1×10^{-2}	181.4	185.0	186.2	184.20	9×10^0	113.9	111.7	113.0	112.87
2×10^{-2}	176.9	181.5	180.1	179.50	1×10^1	113.1	111.2	112.4	112.23
3×10^{-2}	170.5	176.3	172.7	173.17	2×10^1	112.0	112.8	112.1	112.30
4×10^{-2}	167.3	169.5	169.3	168.70	3×10^1	110.9	111.5	110.7	111.03
5×10^{-2}	163.7	166.3	165.1	165.03	4×10^1	107.8	109.1	108.3	108.40
6×10^{-2}	159.6	162.2	161.5	161.10	5×10^1	106.6	106.2	106.4	106.40
7×10^{-2}	157.8	158.9	159.9	158.87	6×10^1	102.0	101.6	100.2	101.27
8×10^{-2}	154.6	156.3	157.5	156.13	7×10^1	99.5	100.7	98.2	99.47
9×10^{-2}	154.8	155.3	156.6	155.57	8×10^1	96.6	98.8	94.4	96.60
1×10^{-1}	151.1	153.3	154.8	153.07	9×10^1	95.0	96.6	94.0	95.20
2×10^{-1}	137.5	140.9	138.9	139.10	1×10^2	91.1	95.8	93.2	93.63
3×10^{-1}	130.1	131.1	131.3	130.83	2×10^2	82.4	87.1	85.4	84.97
4×10^{-1}	125.2	137.4	126.8	126.47	3×10^2	76.3	81.4	78.7	78.80
5×10^{-1}	123.8	126.2	124.0	124.67	4×10^2	71.6	74.0	73.8	73.13
6×10^{-1}	121.2	124.6	122.6	122.80	5×10^2	68.3	68.9	69.8	69.00
7×10^{-1}	120.4	124.3	122.2	122.30					
8×10^{-1}	118.8	123.3	120.8	120.97					
9×10^{-1}	118.5	123.0	120.3	120.60					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

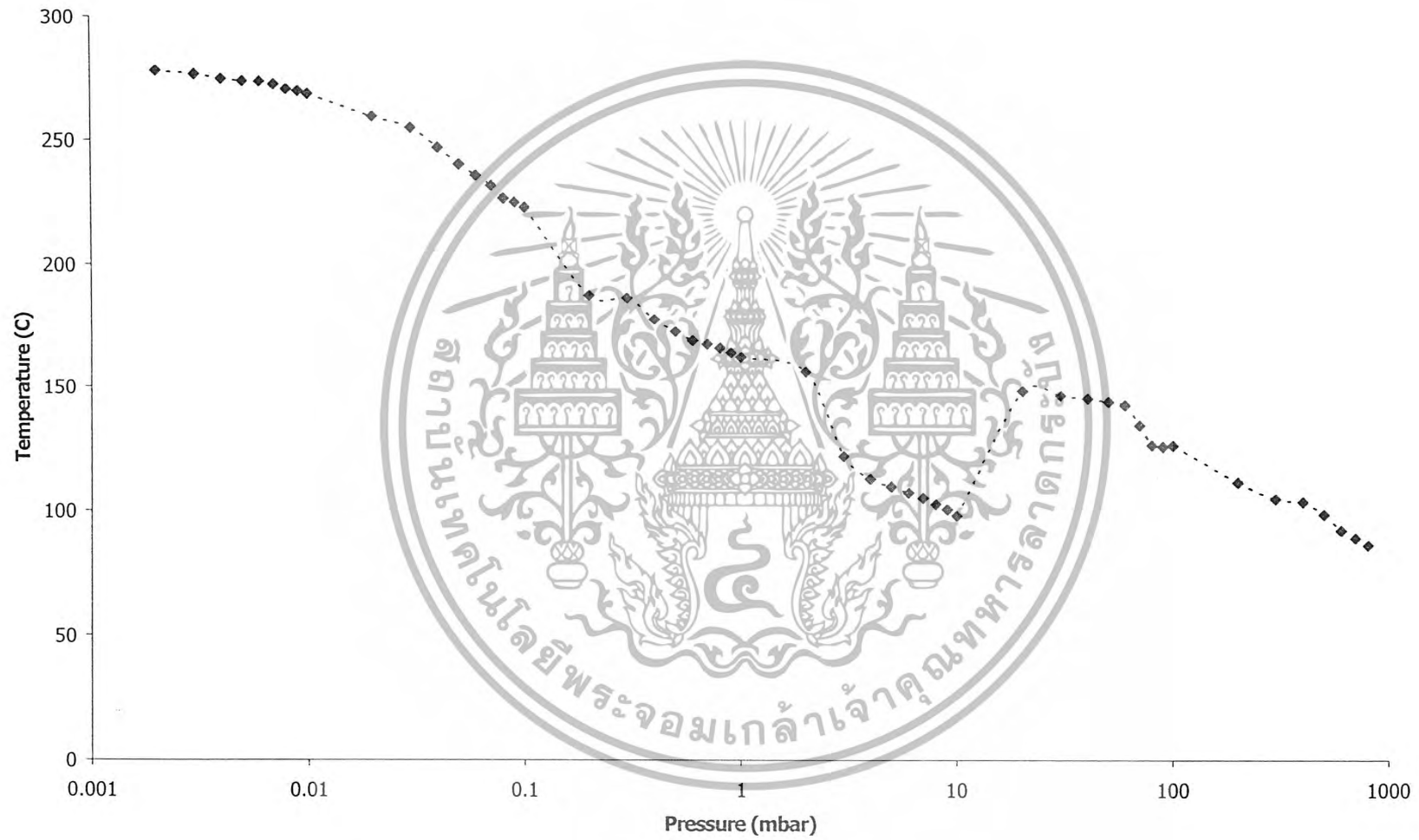


รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 1.5A

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 2.0 A

Pressure (mbar)	Temperature (°C)				Pressure (mbar)	Temperature (°C)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
2×10^{-3}	269.6	281.1	282.7	277.80	1×10^0	157.8	164.6	162.1	161.50
3×10^{-3}	267.9	281.2	280.6	276.57	2×10^0	152.4	159.0	155.3	155.57
4×10^{-3}	267.1	280.1	276.3	274.50	3×10^0	119.8	124.1	120.9	121.60
5×10^{-3}	266.8	278.3	275.8	273.63	4×10^0	110.4	114.4	112.1	112.30
6×10^{-3}	266.6	278.1	275.6	273.43	5×10^0	105.6	112.5	109.7	109.27
7×10^{-3}	266.2	276.2	274.3	272.23	6×10^0	103.8	110.0	106.8	106.87
8×10^{-3}	265.1	275.5	269.9	270.17	7×10^0	101.6	108.2	104.3	104.70
9×10^{-3}	264.3	274.5	269.4	269.40	8×10^0	99.2	105.7	101.6	102.17
1×10^{-2}	263.4	273.1	268.3	268.27	9×10^0	95.6	104.5	100.1	100.07
2×10^{-2}	255.8	263.8	257.8	259.13	1×10^1	92.4	102.5	97.8	97.57
3×10^{-2}	248.2	263.8	251.3	254.43	2×10^1	145.3	149.4	148.2	147.63
4×10^{-2}	242.4	250.1	247.5	246.67	3×10^1	143.7	148.1	145.8	145.87
5×10^{-2}	235.8	245.2	238.7	239.90	4×10^1	142.6	146.7	144.4	144.57
6×10^{-2}	231.3	240.0	235.1	235.47	5×10^1	141.2	145.1	143.7	143.33
7×10^{-2}	227.0	235.9	231.2	231.37	6×10^1	140.8	143.6	141.6	142.00
8×10^{-2}	222.8	233.1	222.9	226.27	7×10^1	132.5	135.7	133.2	133.80
9×10^{-2}	220.1	229.4	224.4	224.63	8×10^1	125.6	125.3	126.1	125.67
1×10^{-1}	218.3	226.6	222.9	222.60	9×10^1	124.8	124.9	125.8	125.17
2×10^{-1}	159.5	203.2	198.7	187.13	1×10^2	124.6	126.2	125.7	125.50
3×10^{-1}	182.2	188.8	186.5	185.83	2×10^2	110.1	111.5	110.9	110.83
4×10^{-1}	173.3	180.4	178.2	177.30	3×10^2	102.2	104.9	105.1	104.07
5×10^{-1}	169.2	175.4	171.1	171.90	4×10^2	101.3	103.6	103.9	102.93
6×10^{-1}	165.6	170.9	168.3	168.27	5×10^2	96.2	98.0	99.9	98.03
7×10^{-1}	162.6	169.8	167.9	166.77	6×10^2	90.2	92.2	92.8	91.73
8×10^{-1}	160.6	168.9	166.4	165.30	7×10^2	88.3	88.6	88.8	88.57
9×10^{-1}	159.0	167.8	163.2	163.33	8×10^2	85.8	85.5	86.1	85.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

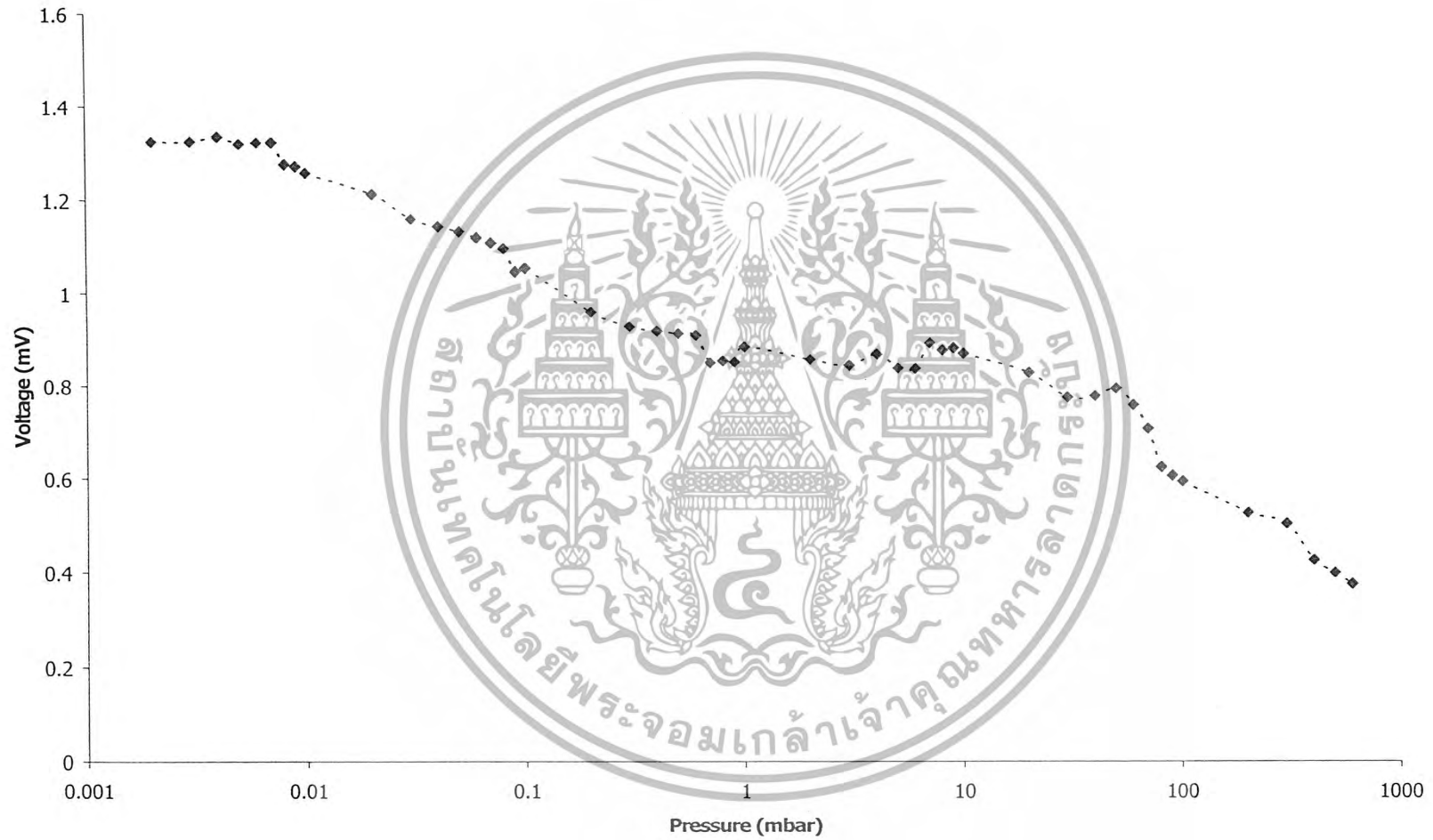


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแส 2.0 A

4.3 หาความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 A
 ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 0.5 A

Pressure (mbar)	Voltage (mV)				Pressure (mbar)	Voltage (mV)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
2×10^{-3}	1.188	1.417	1.368	1.324	1×10^0	0.717	0.924	1.007	0.883
3×10^{-3}	1.152	1.408	1.412	1.324	2×10^0	0.722	0.862	0.980	0.855
4×10^{-3}	1.135	1.444	1.423	1.334	3×10^0	0.707	0.866	0.954	0.842
5×10^{-3}	1.129	1.429	1.400	1.319	4×10^0	0.758	0.893	0.947	0.866
6×10^{-3}	1.116	1.502	1.349	1.322	5×10^0	0.760	0.816	0.932	0.836
7×10^{-3}	1.109	1.481	1.377	1.322	6×10^0	0.742	0.864	0.899	0.835
8×10^{-3}	1.030	1.421	1.374	1.275	7×10^0	0.751	0.919	0.999	0.890
9×10^{-3}	1.034	1.405	1.375	1.271	8×10^0	0.783	0.887	0.953	0.874
1×10^{-2}	1.032	1.357	1.383	1.257	9×10^0	0.760	0.888	0.989	0.879
2×10^{-2}	0.988	1.299	1.347	1.211	1×10^1	0.792	0.834	0.976	0.867
3×10^{-2}	0.941	1.181	1.352	1.158	2×10^1	0.814	0.775	0.887	0.825
4×10^{-2}	0.936	1.191	1.297	1.141	3×10^1	0.710	0.787	0.818	0.772
5×10^{-2}	0.917	1.200	1.274	1.130	4×10^1	0.750	0.769	0.810	0.776
6×10^{-2}	0.900	1.196	1.257	1.118	5×10^1	0.776	0.796	0.804	0.792
7×10^{-2}	0.898	1.187	1.235	1.107	6×10^1	0.734	0.746	0.789	0.756
8×10^{-2}	0.986	1.200	1.190	1.095	7×10^1	0.709	0.661	0.746	0.705
9×10^{-2}	0.882	1.069	1.186	1.046	8×10^1	0.663	0.509	0.696	0.623
1×10^{-1}	0.867	1.097	1.196	1.053	9×10^1	0.613	0.524	0.674	0.604
2×10^{-1}	0.796	0.981	1.094	0.959	1×10^2	0.580	0.560	0.635	0.592
3×10^{-1}	0.774	0.963	1.041	0.926	2×10^2	0.491	0.559	0.524	0.525
4×10^{-1}	0.732	0.967	1.050	0.916	3×10^2	0.474	0.510	0.522	0.502
5×10^{-1}	0.755	0.947	1.017	0.911	4×10^2	0.344	0.485	0.447	0.425
6×10^{-1}	0.735	0.962	1.025	0.907	5×10^2	0.380	0.415	0.398	0.397
7×10^{-1}	0.710	0.872	0.963	0.848	6×10^2	0.345	0.388	0.388	0.374
8×10^{-1}	0.700	0.908	0.948	0.852					
9×10^{-1}	0.711	0.906	0.932	0.850					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

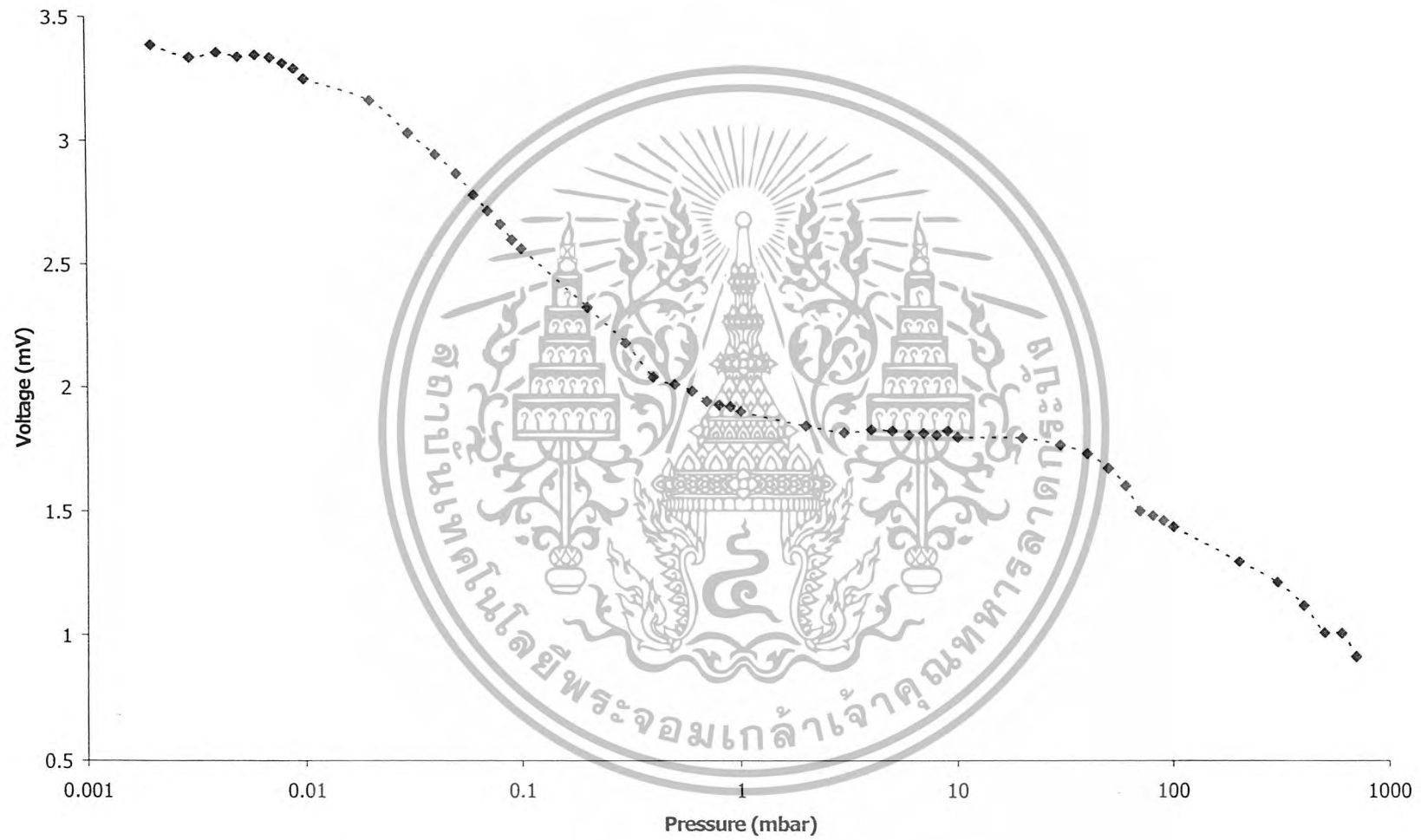


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 0.5 A

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 1.0 A

Pressure (mbar)	Voltage (mV)				Pressure (mbar)	Voltage (mV)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
2×10^{-3}	3.209	3.472	3.474	3.385	1×10^0	1.806	1.920	1.972	1.899
3×10^{-3}	3.191	3.459	3.352	3.334	2×10^0	1.750	1.850	1.916	1.839
4×10^{-3}	3.170	3.420	3.471	3.354	3×10^0	1.715	1.811	1.909	1.812
5×10^{-3}	3.168	3.393	3.443	3.335	4×10^0	1.712	1.849	1.910	1.824
6×10^{-3}	3.155	3.389	3.485	3.343	5×10^0	1.730	1.832	1.896	1.819
7×10^{-3}	3.143	3.399	3.452	3.331	6×10^0	1.728	1.793	1.881	1.801
8×10^{-3}	3.131	3.388	3.407	3.309	7×10^0	1.740	1.805	1.879	1.808
9×10^{-3}	3.119	3.338	3.408	3.288	8×10^0	1.740	1.823	1.840	1.801
1×10^{-2}	3.106	3.234	3.394	3.245	9×10^0	1.748	1.792	1.914	1.818
2×10^{-2}	2.991	3.177	3.307	3.158	1×10^1	1.745	1.773	1.860	1.793
3×10^{-2}	2.856	3.009	3.216	3.027	2×10^1	1.755	1.735	1.859	1.789
4×10^{-2}	2.773	2.947	3.101	2.940	3×10^1	1.724	1.736	1.827	1.762
5×10^{-2}	2.681	2.889	3.032	2.864	4×10^1	1.721	1.707	1.749	1.726
6×10^{-2}	2.615	2.766	2.954	2.778	5×10^1	1.672	1.630	1.702	1.668
7×10^{-2}	2.554	2.714	2.870	2.712	6×10^1	1.615	1.566	1.606	1.596
8×10^{-2}	2.513	2.633	2.774	2.660	7×10^1	1.483	1.470	1.531	1.495
9×10^{-2}	2.459	2.600	2.723	2.594	8×10^1	1.472	1.444	1.511	1.476
1×10^{-1}	2.437	2.531	2.708	2.559	9×10^1	1.446	1.367	1.558	1.457
2×10^{-1}	2.185	2.300	2.480	2.322	1×10^2	1.400	1.347	1.553	1.433
3×10^{-1}	2.029	2.183	2.311	2.174	2×10^2	1.313	1.290	1.270	1.291
4×10^{-1}	1.928	2.038	2.142	2.036	3×10^2	1.251	1.125	1.249	1.208
5×10^{-1}	1.888	2.028	2.108	2.008	4×10^2	1.088	1.143	1.113	1.115
6×10^{-1}	1.860	2.003	2.079	1.981	5×10^2	1.085	0.954	1.984	1.008
7×10^{-1}	1.842	1.952	2.019	1.938	6×10^2	1.067	1.038	1.917	1.007
8×10^{-1}	1.836	1.911	2.021	1.923	7×10^2	0.918	0.936	1.885	0.913
9×10^{-1}	1.823	1.910	2.020	1.918					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

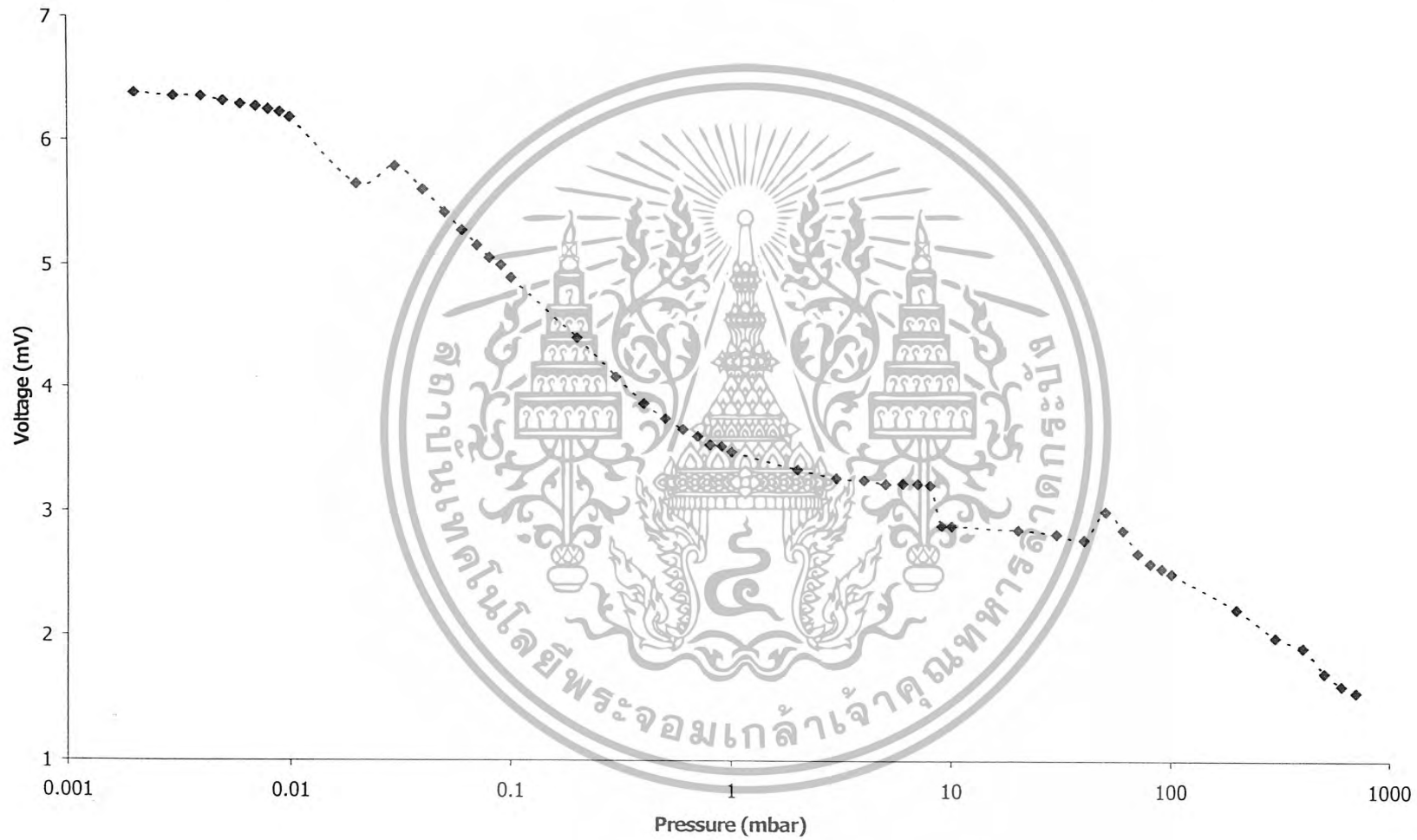


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างควสดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 1.0 A

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 1.5 A

Pressure (mbar)	Voltage (mV)				Pressure (mbar)	Voltage (mV)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
2×10^{-3}	6.348	6.410	6.381	6.380	1×10^0	3.331	3.432	3.652	3.472
3×10^{-3}	6.284	6.379	6.400	6.354	2×10^0	3.233	3.320	3.446	3.333
4×10^{-3}	6.253	6.416	6.381	6.350	3×10^0	3.152	3.264	3.375	3.264
5×10^{-3}	6.229	6.352	6.361	6.314	4×10^0	3.108	3.261	3.369	3.246
6×10^{-3}	6.194	6.328	6.340	6.287	5×10^0	3.066	3.256	3.325	3.216
7×10^{-3}	6.164	6.326	6.311	6.267	6×10^0	3.073	3.280	3.312	3.222
8×10^{-3}	6.141	6.306	6.288	6.245	7×10^0	3.066	3.259	3.326	3.217
9×10^{-3}	6.108	6.296	6.255	6.220	8×10^0	3.048	3.238	3.327	3.204
1×10^{-2}	6.096	6.198	6.241	6.178	9×10^0	3.051	2.279	3.309	2.880
2×10^{-2}	5.930	5.946	5.067	5.648	1×10^1	3.064	2.296	3.270	2.877
3×10^{-2}	5.703	5.780	5.872	5.785	2×10^1	3.052	2.228	3.259	2.846
4×10^{-2}	5.510	5.608	5.671	5.596	3×10^1	3.026	2.173	3.232	2.810
5×10^{-2}	5.326	5.456	5.471	5.418	4×10^1	2.975	2.068	3.253	2.765
6×10^{-2}	5.196	5.266	5.370	5.277	5×10^1	2.893	2.948	3.145	2.995
7×10^{-2}	5.082	5.158	5.223	5.154	6×10^1	2.788	2.840	2.896	2.841
8×10^{-2}	4.986	5.047	5.126	5.053	7×10^1	2.590	2.640	2.751	2.660
9×10^{-2}	4.947	4.951	5.082	4.993	8×10^1	2.492	2.569	2.662	2.574
1×10^{-1}	4.885	4.784	5.010	4.893	9×10^1	2.472	2.552	2.588	2.537
2×10^{-1}	4.346	4.332	4.506	4.395	1×10^2	2.489	2.445	2.548	2.494
3×10^{-1}	3.983	4.024	4.218	4.075	2×10^2	2.273	2.278	2.071	2.207
4×10^{-1}	3.731	3.822	4.032	3.862	3×10^2	2.100	1.936	1.912	1.983
5×10^{-1}	3.611	3.714	3.901	3.742	4×10^2	1.978	1.883	1.847	1.903
6×10^{-1}	3.518	3.638	3.802	3.653	5×10^2	1.693	1.786	1.614	1.698
7×10^{-1}	3.462	3.593	3.739	3.598	6×10^2	1.649	1.636	1.513	1.599
8×10^{-1}	3.403	3.534	3.650	3.529	7×10^2	1.587	1.571	1.477	1.545
9×10^{-1}	3.358	3.504	3.688	3.517					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

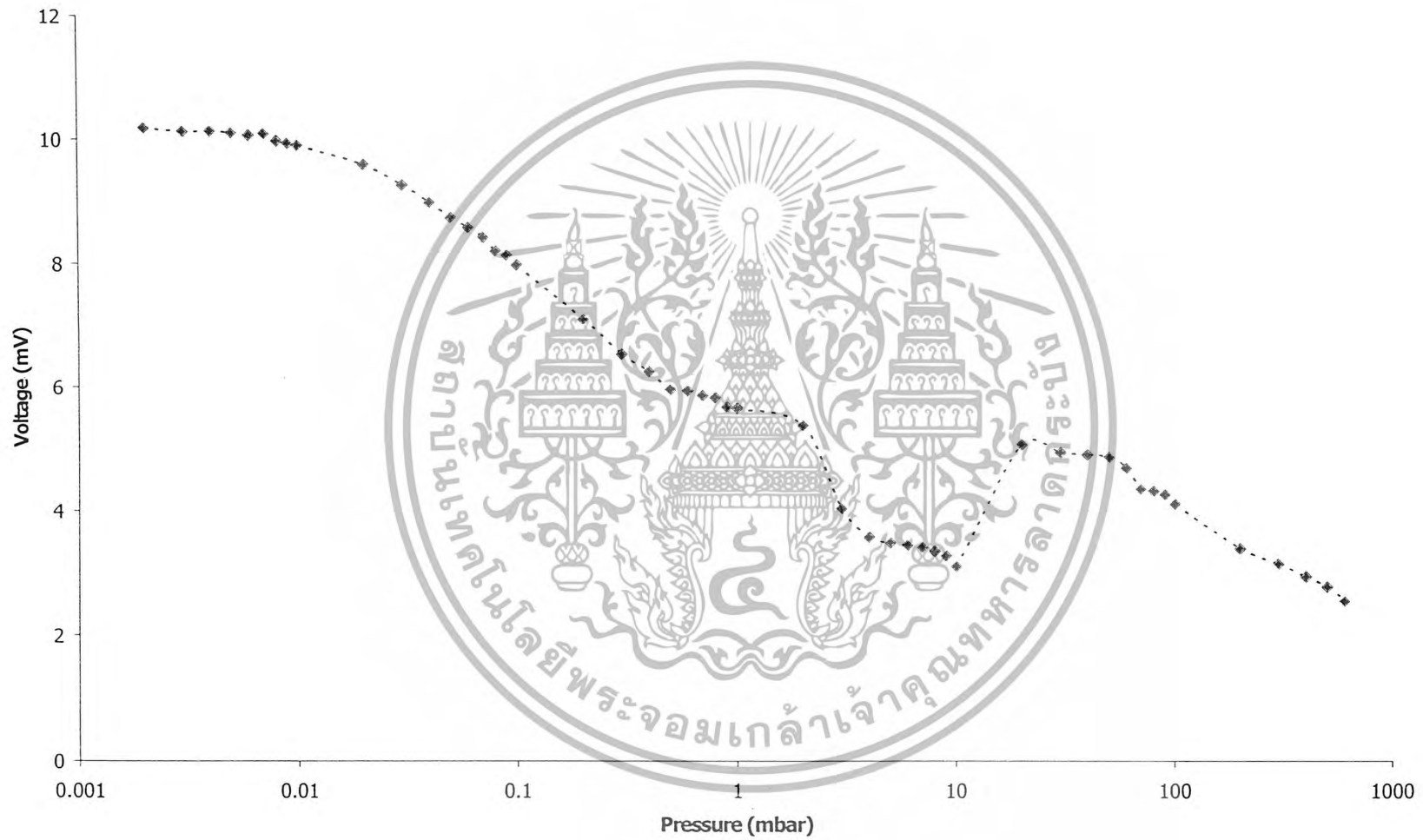


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 1.5 A

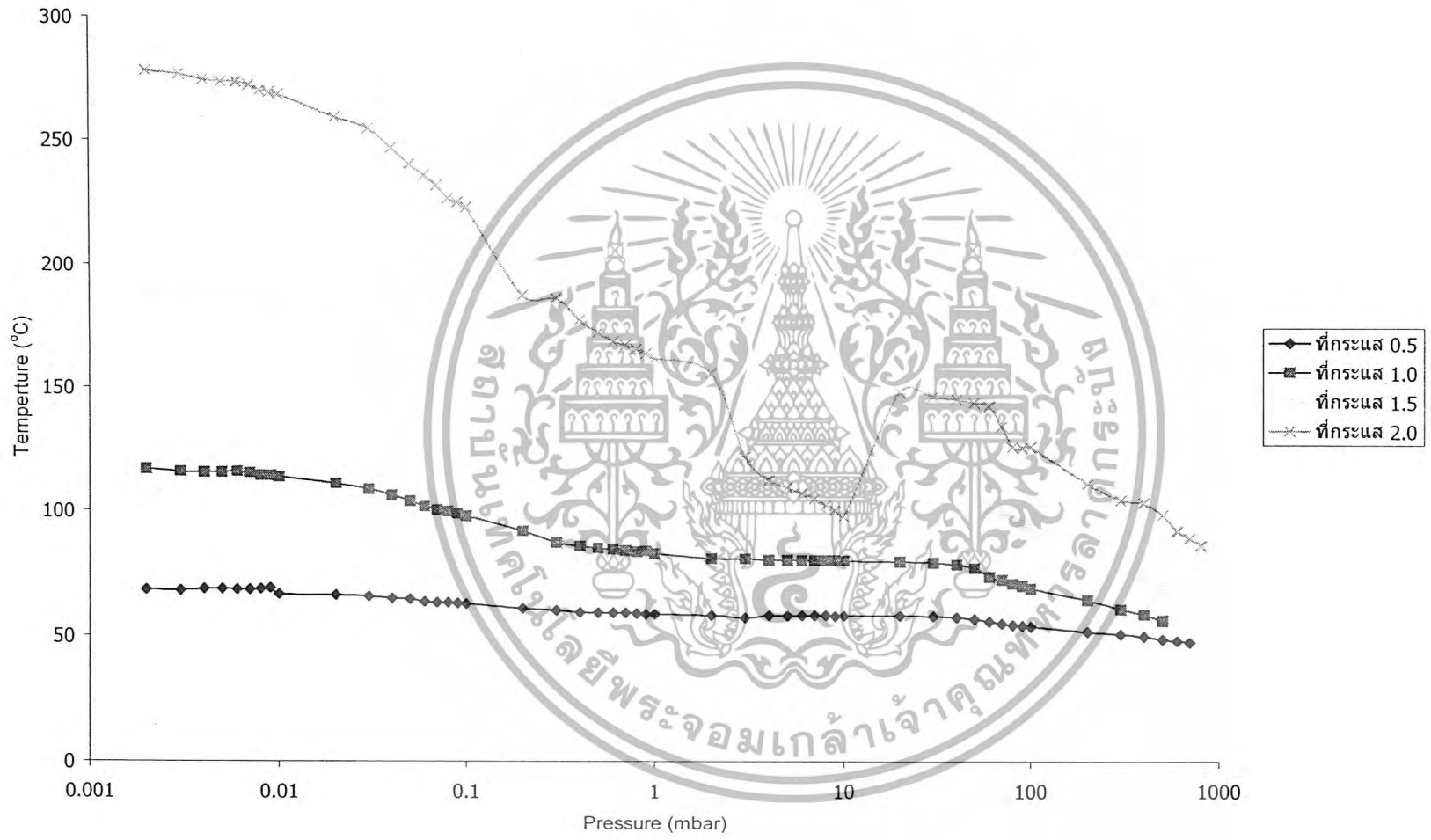
ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 2.0 A

Pressure (mbar)	Voltage (mV)				Pressure (mbar)	Voltage (mV)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
2×10^{-3}	10.228	10.153	10.144	10.175	1×10^0	5.681	5.623	5.653	5.652
3×10^{-3}	10.116	10.115	10.120	10.117	2×10^0	5.404	5.323	5.378	5.368
4×10^{-3}	10.129	10.109	10.111	10.116	3×10^0	4.039	4.002	4.011	4.017
5×10^{-3}	10.086	10.099	10.094	10.093	4×10^0	3.603	3.514	3.573	3.563
6×10^{-3}	10.071	10.011	10.085	10.056	5×10^0	3.480	3.457	3.463	3.467
7×10^{-3}	10.064	10.103	10.071	10.079	6×10^0	3.465	3.409	3.429	3.434
8×10^{-3}	9.957	9.978	9.961	9.965	7×10^0	3.414	3.389	3.399	3.401
9×10^{-3}	9.970	9.871	9.950	9.930	8×10^0	3.332	3.350	3.342	3.341
1×10^{-2}	9.928	9.856	9.901	9.895	9×10^0	3.266	3.228	3.306	3.267
2×10^{-2}	9.637	9.543	9.574	9.585	1×10^1	3.141	3.026	3.102	3.090
3×10^{-2}	9.264	9.244	9.256	9.255	2×10^1	5.137	5.012	5.001	5.050
4×10^{-2}	8.984	8.971	8.973	8.976	3×10^1	5.017	4.889	4.856	4.921
5×10^{-2}	8.731	8.739	8.741	8.737	4×10^1	4.963	4.851	4.831	4.882
6×10^{-2}	8.606	8.529	8.573	8.569	5×10^1	4.921	4.826	4.798	4.848
7×10^{-2}	8.412	8.418	8.420	8.417	6×10^1	4.718	4.632	4.659	4.670
8×10^{-2}	8.291	8.155	8.168	8.205	7×10^1	4.347	4.431	4.225	4.334
9×10^{-2}	8.221	8.051	8.117	8.130	8×10^1	4.243	4.446	4.213	4.301
1×10^{-1}	8.107	7.996	7.810	7.971	9×10^1	4.221	4.250	4.248	4.240
2×10^{-1}	7.145	7.047	7.112	7.101	1×10^2	3.954	4.163	4.149	4.089
3×10^{-1}	6.587	6.477	6.497	6.520	2×10^2	3.455	3.339	3.330	3.375
4×10^{-1}	6.293	6.189	6.224	6.235	3×10^2	3.082	3.151	3.156	3.130
5×10^{-1}	6.080	5.991	5.763	5.945	4×10^2	2.917	2.932	2.941	2.930
6×10^{-1}	5.923	5.944	5.913	5.927	5×10^2	2.773	2.761	2.770	2.768
7×10^{-1}	5.889	5.808	5.858	5.852	6×10^2	2.543	2.539	2.535	2.539
8×10^{-1}	5.779	5.699	5.971	5.816					
9×10^{-1}	5.684	5.661	5.672	5.672					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

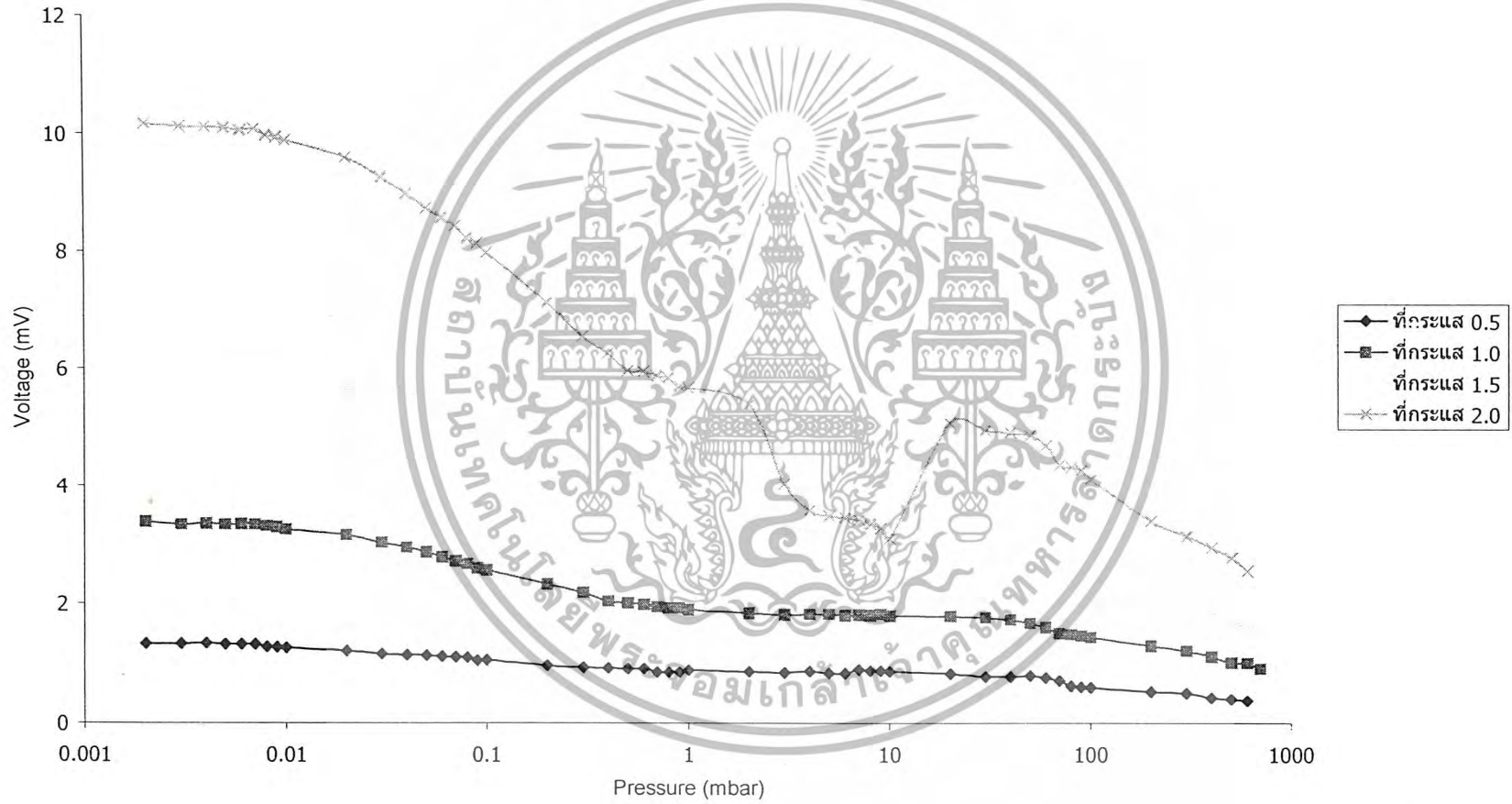


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแส 2.0 A



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิที่กระแสต่างๆ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่กระแสต่างๆ

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าควรวัดกระแสคงที่ที่ 2.0 แอมแปร์ เพราะมีเสถียรภาพสูงที่สุดและให้ค่าอุณหภูมิกับค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงในลักษณะเชิงเส้นกับความดัน

4.4 ทำการทดลองวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่กระแส 2 A ที่ความดันระดับต่างๆผ่าน IC ad595 ที่ทำหน้าที่ชดเชยโวลต์หรือขยายโวลต์ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่ออกมามีค่าน้อยมากเป็นมิลลิโวลต์ จำเป็นต้องทำการขยายแรงดันไฟฟ้าก่อนเพื่อสะดวกแก่การนำไปเขียนโปรแกรมและใช้ประโยชน์ต่อไป

4.5 นำสัญญาณที่ออกจาก ad595 ผ่าน A/D คือ CS5526 ของบอร์ด E12-AD16 ขนาด 20 bit แล้วทำการเขียนโปรแกรม นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกทางหน้าจอ Monitor และ 7-Segment โดยผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ของบอร์ด AVR V.3 ที่ทำการต่อ 7-Segment ไว้แล้ว

4.6 ทำการทดลองหลายๆครั้งเพื่อทดสอบความแม่นยำของเครื่องมือ แล้วนำค่าที่ได้ซึ่งเป็นเลขฐาน 10 ที่ออกบนจอ Monitor มา Plot กราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างเลขฐาน 10 กับความดัน ซึ่งสัญญาณที่เป็นเลขฐาน 10 นั้นเป็นสัญญาณที่วัดได้จาก เทอร์โมคัปเปิลเกจ หลังผ่าน A/D แล้ว ดังตารางข้างล่างนี้

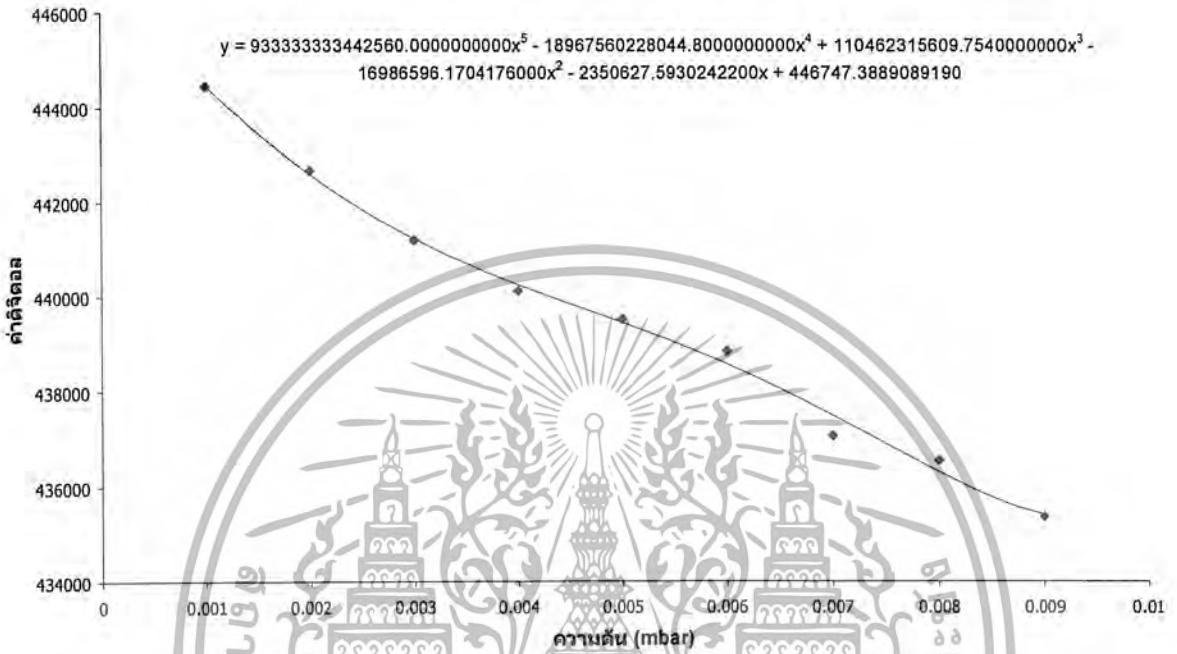


ตารางที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันกับความดันกับค่า digital ส่วน 10

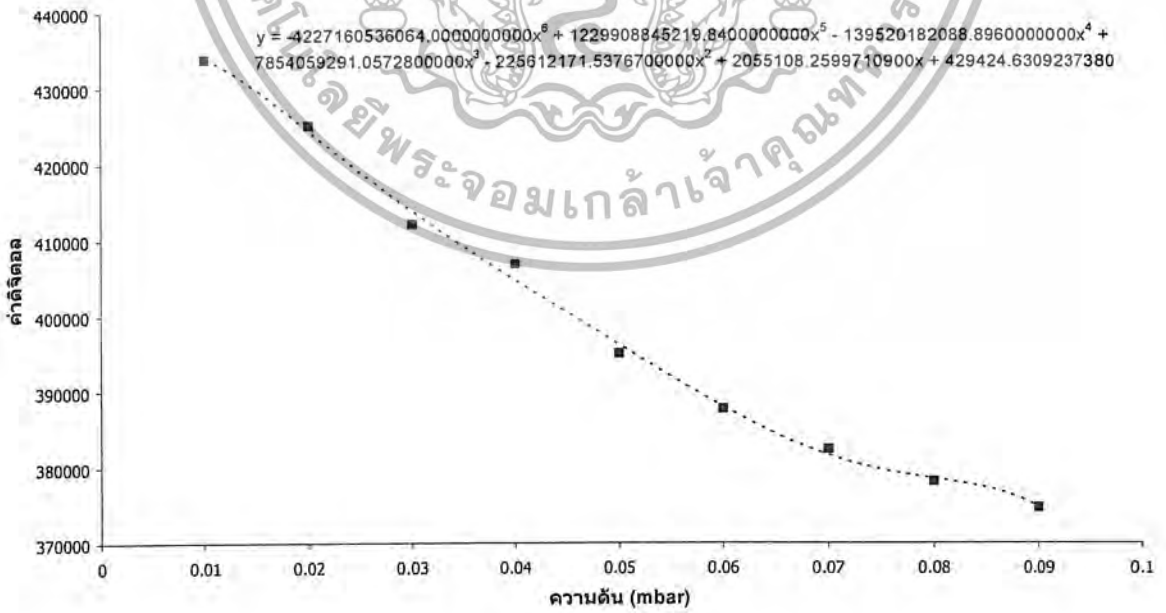
Pressure	Digital			
	1	2	3	เฉลี่ย
0.001	444440	444402	444512	444451
0.002	442249	442219	443503	442657
0.003	439534	441900	442141	441192
0.004	438553	440676	441105	440111
0.005	437720	439752	441057	439510
0.006	437077	439146	440299	438841
0.007	435553	438321	437325	437066
0.008	434996	437623	437020	436546
0.009	433852	436752	435474	435359
0.01	433147	434195	434324	433889
0.02	423702	425514	426116	425111
0.03	411174	413030	412386	412197
0.04	405432	407748	407581	406920
0.05	393440	395128	396510	395026
0.06	386381	387580	389157	387706
0.07	380514	381624	384984	382374
0.08	376386	377689	380232	378102
0.09	372779	375028	376257	374688
0.1	369379	371357	371901	370879
0.2	342166	342017	342979	342387
0.3	330774	330159	328561	329831
0.4	311512	312609	316878	313666
0.5	306088	306289	306713	306363
0.6	298213	297971	301340	299175
0.7	296952	295465	295863	296093
0.8	292772	292623	293629	293008
0.9	290146	291369	292584	291366
1	290878	288579	285503	288320
2	228220	231917	231114	230417
3	193993	195765	193959	194572
4	193471	193774	193705	193650

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 หาสมการจากความสัมพันธ์ของกราฟ เพื่อเขียนโปรแกรมเทียบค่า ประกอบด้วยกัน 4 ช่วงและแต่ละช่วงจะมีสมการของตัวเองดังรูปข้างล่างนี้

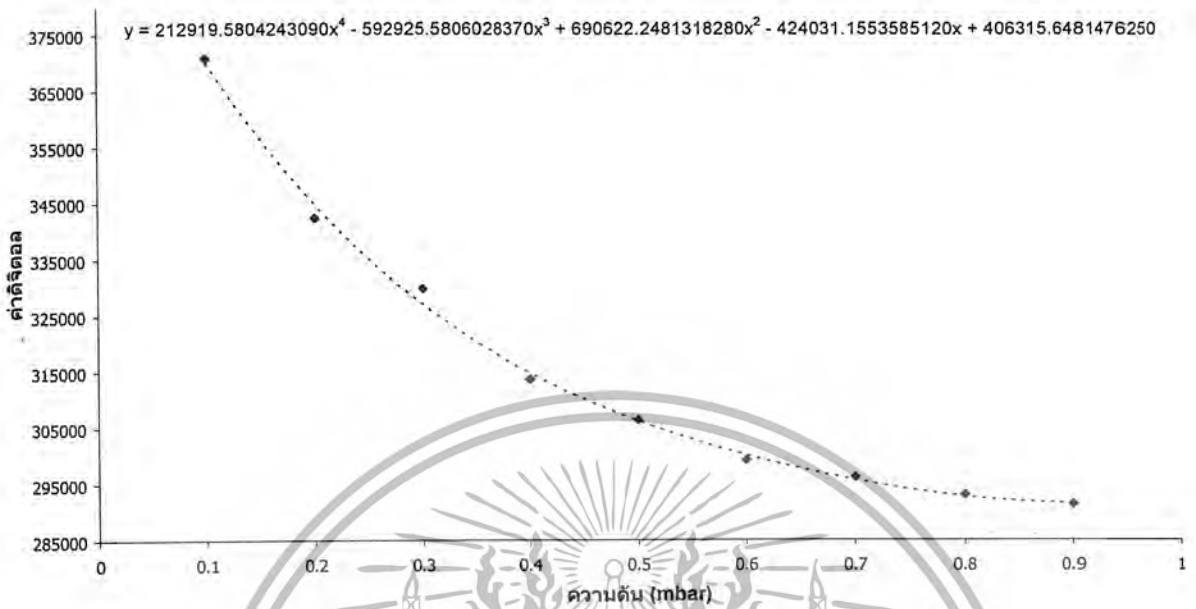


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความดีจิตอลและสมการช่วง 10^{-3} mbar

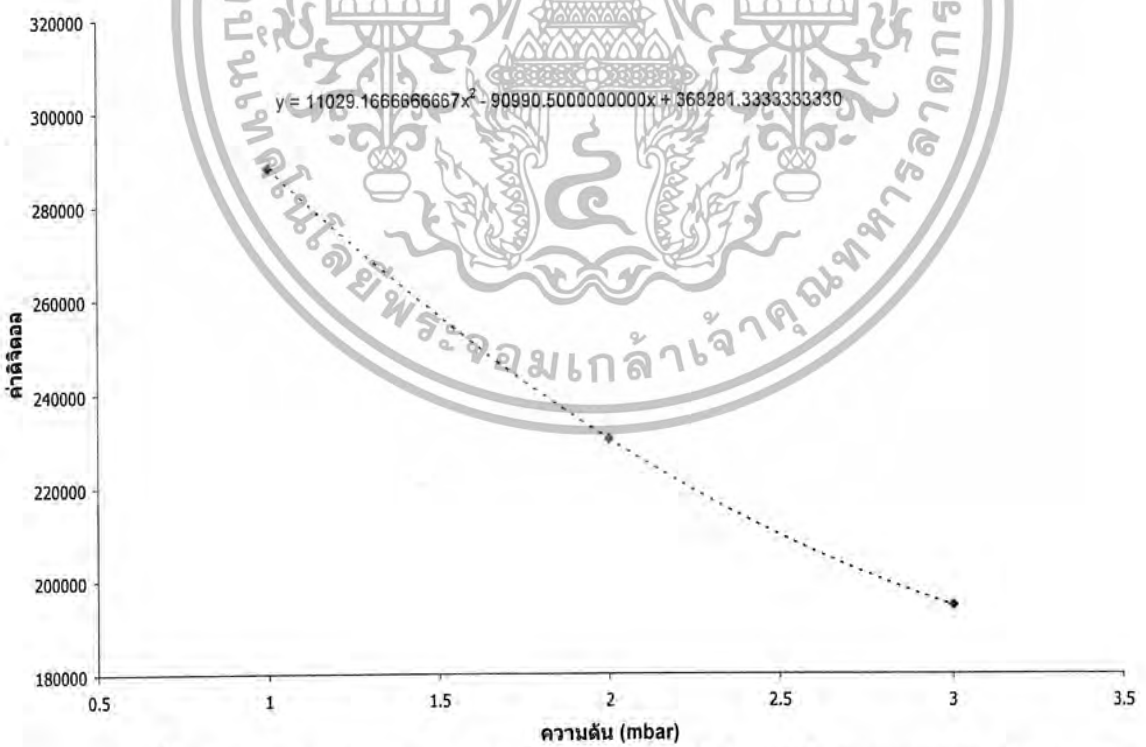


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความดีจิตอลและสมการช่วง 10^{-2} mbar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับค่าดิจิทัลและสมการช่วง 10^{-1} mbar



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับค่าดิจิทัลและสมการช่วง 1 mbar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 นำชุดเครื่องมือวัดความดันชนิด Thermocouple Gauge ที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว พร้อมวัดไปวัดความดันสุญญากาศในที่ต่างๆ แล้วจะได้ output เป็นความต่างศักย์ เมื่อเทียบกับสมการในแต่ละช่วงที่ได้เขียนโปรแกรมไว้แล้วก็สามารถบอกได้ว่าที่นั้นๆมีความดันอยู่ที่ mbar โดยแสดงออกทาง 7-Segment

4.9 นำค่าที่ได้จากการวัดด้วย Thermocouple gauge มาหาค่าความแตกต่างของเครื่องมือที่สร้างขึ้น จากสมการ

$$\%diff = \frac{2\sum(x_1 - x_2)}{\sum(x_1 + x_2)} \times 100\%$$

ซึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

ค่าความแตกต่างของ Thermocouple gauge = 25.48%

ค่าความแตกต่างช่วง 10^{-3} mbar = 20.30%

ค่าความแตกต่างช่วง 10^{-2} mbar = 6.50%

ค่าความแตกต่างช่วง 10^{-1} mbar = 25.53%

ค่าความแตกต่างช่วง 1 mbar = 16.41%

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

โครงการพิเศษนี้เป็นการสร้างระบบเครื่องมือวัดความดันสุญญากาศชนิด เกจเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งมีคุณลักษณะเฉพาะของมันเป็นดังนี้

1. เกจเทอร์โมคัปเปิล ที่สร้างขึ้นนี้ สามารถวัดความดันได้ในช่วง Medium High Vacuum คือตั้งแต่ 1 ถึง 10^{-3} torr หรือ 1 ถึง 10^{-3} mbar และมีค่าความผิดพลาดของเครื่องมือ 25.48%

2. จากผลการทดลองที่ได้จะเห็นว่ากรวัดความดันในช่วง 10^{-2} mbar มีความเสถียรที่สุด

3. เป็น Thermocouple Gauge ชนิดกระแสคงที่ 2 A

4. ต้องมี IC ad595 เพื่อทำหน้าที่เป็น cold junction compensate เนื่องจาก เกจเทอร์โมคัปเปิล ที่สร้างขึ้นจะได้ สัญญาณขาออกคือค่าแรงดันไฟฟ้า จึงต้องหา cold junction ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าเหมือนกัน (หรือทำหน้าที่ชดเชยโวลต์) พร้อมกันนั้นจะทำการขยายแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากหัววัด เกจเทอร์โมคัปเปิล จากมิลลิโวลต์เป็นโวลต์ อีกด้วย เพื่อสะดวกในการนำไปใช้เขียนโปรแกรมและใช้ประโยชน์ต่อไป

5. ใช้ A/D ขนาด 20 bit (CS5526) เพื่อเพิ่มความละเอียดในการเขียนโปรแกรมให้ เกจเทอร์โมคัปเปิล สามารถอ่านค่าได้ละเอียดและวัดความดันได้แม่นยำยิ่งขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรปรับปรุงความสามารถในการวัดความดันช่วง 10^{-3} มิลลิบาร์ – 10^{-2} มิลลิบาร์ และช่วง 0.5 มิลลิบาร์ขึ้นไป ให้มีความแม่นยำในการวัดยิ่งขึ้น เนื่องจากทั้งสองช่วง เกจเทอร์โมคัปเปิลที่สร้างขึ้น ยังมีความสามารถในการวัดที่ไม่เพียงพอ

2. เนื่องจากในช่วงความดัน 1 มิลลิบาร์ขึ้นไปเกจเทอร์โมคัปเปิล จะไม่สามารถวัดได้หรือถ้าวัดก็เกิดความผิดพลาด จึงควรมีการปรับปรุงความสามารถของเกจเทอร์โมคัปเปิล ในส่วนประกอบต่างๆ เช่น Microcontroller Board, A/D, IC ต่างๆหรือ Source Code เพื่อให้สามารถวัดความดันได้อย่างแม่นยำ

3. การทดลองวัดความดัน ถ้าเป็นไปได้ควรทดลองในห้องที่ไม่มีสัญญาณอย่างอื่นมารบกวน และมีระบบของห้องทดลองควรมีสภาพที่ใกล้เคียงกันเพราะสัญญาณรบกวนและระบบของห้องทดลองมีผลกับค่าความดันที่ออกมาอย่างมาก อาจทำให้เกิดค่าที่ผิดพลาดได้

4. การสูญเสียของสัญญาณเนื่องจากความยาวของสายที่ใช้ต่อก็มีผลกับค่าของความดันที่ออกมาเช่นกันดังนั้นเพื่อป้องกันการผิดพลาดของการอ่านค่าความดันจึงควรจะลดความยาวของสายที่ใช้ต่อให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้



เอกสารอ้างอิง

ดร. ชัยวิทย์ ศิลาว์ชนาไ নয়. 2526. พิมพ์ครั้งที่ 1. ฟิสิกส์และเทคโนโลยีของระบบสุญญากาศ.

กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).

นางสาวทิฆัมพร ทองสุวรรณ , นางสาวภัทริยา ธีรภัทรไพบูรณ์. 2544. การพัฒนาระบบ

คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเซลิคสเตท

อิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นายปิติ สืบวิเศษ , นายศรณรินทร์ เจริญมิตร. 2543. ระบบตรวจหาสารพิษอะฟลาทอก

ซินด้วยแสง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเซลิคสเตทอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

มนตรี พิรุณเกษตร. 2541. การถ่ายเทความร้อนฉบับเตรียมสอบและเสริมประสบการณ์.

กรุงเทพฯ : บริษัทวิทยุพัฒนา จำกัด.

มนตรี อึ้งเจริญ. 2532. การนำความร้อน (Heat conduction). กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซนเซอร์

การพิมพ์.

สมศักดิ์ กิรติภูมิเศรษฐ์. 2542. พิมพ์ครั้งที่ 14. หลักการและการใช้เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม.

กรุงเทพฯ : บริษัท ส. เอเชียเนต จำกัด.

สุนันท์ ศรีนยนิตย์. 2535. การถ่ายเทความร้อน (Heat transfer). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Berman , A. 1985. Total pressure measurements in vacuum technology. By Academic

Press, INC.

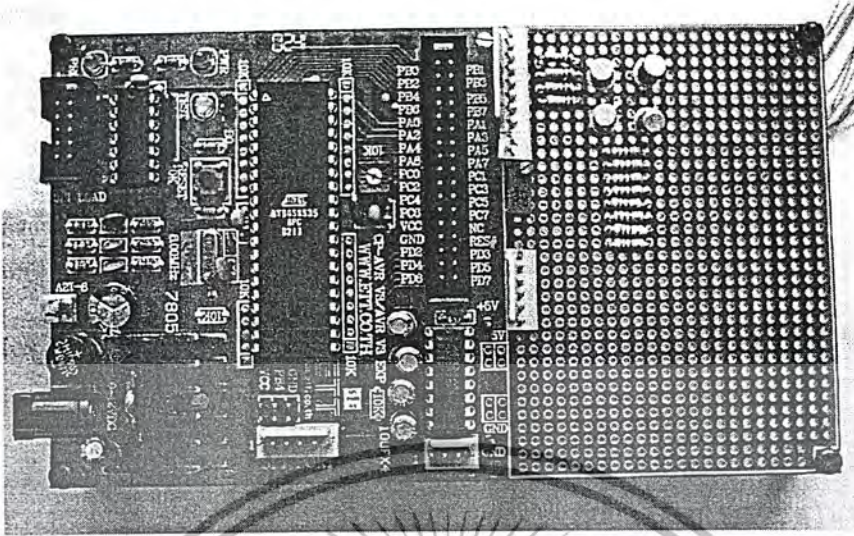




ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บอร์ดควบคุมตระกูล AVR เบอร์ AT90S8535 และ ATMEGA163



รูปแบบบอร์ด AVR

บอร์ด CP-AVR V3,V3 EXP,V4 โดยในรุ่น V3,V3 EXP,V4 จะใช้ CPU หลักเป็น AVR เบอร์ AT90S8535 โดย CPU ทั้งนี้ มีโครงสร้างเป็นแบบ RISC ทำงานที่ 1 CLOCK ต่อ 1

รายละเอียดของ CPU AT90S8535 (ใช้ในรุ่น V3,V3 EXP,V4)	รายละเอียดของ CPU ATMEGA163 คุณสมบัตินี้เพิ่มขึ้นกว่าใน CPU AT90S8535 (ใช้ในรุ่น V3 PLUS,V3 PLUS EXP,V4 PLUS)
<ul style="list-style-type: none"> • หน่วยความจำ PROGRAME 8K BYTE แบบ FLASH ลบได้เขียนใหม่ได้นับพันครั้ง • 512 BYTE แบบ EEPROM • SERIAL UART, SPI RS232 PORT ได้สูงมาก 2400 ถึง 115200 Baud Rate • 512 BYTE RAM • A TO D ขนาด 10 BIT จำนวน 8 ช่อง • POWER ON RESET , WATCH DOG • PWM จำนวน 3 ช่อง เหมาะกับงานควบคุมต่างๆ • 32 BIT I/O ใช้งาน ขับกระแส SINK ได้ 20 m 	<ul style="list-style-type: none"> • หน่วยความจำ PROGRAME 16K BYTE แบบ FLASH • 1024 BYTE RAM ติดต่อแบบ 12C ได้โดยตรง • MASTER/SLAVE SPI • คำสั่งใช้งาน 130 คำสั่ง

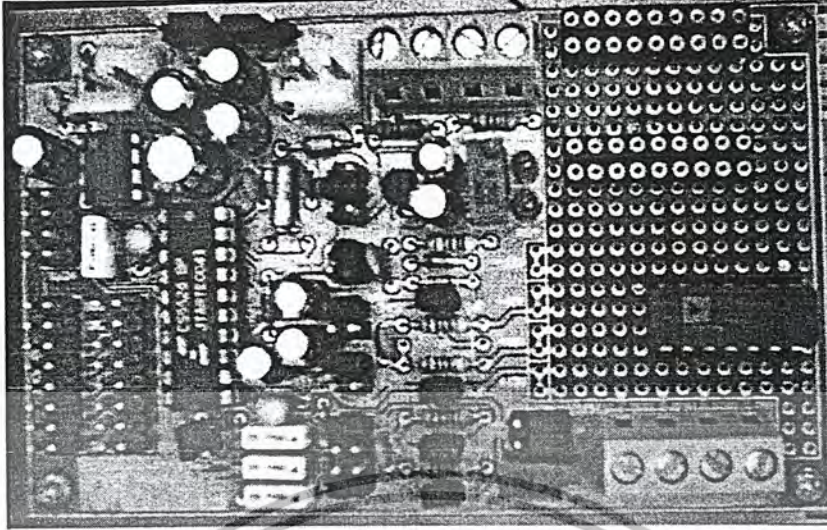
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CP-AVR V3,V3 PLUS..... เป็นบอร์ดควบคุม AVR ที่ ออกแบบวงจรในเฉพาะส่วนที่จำเป็น เช่น ภาถจ่ายไฟ,RS232,วงจร DOWNLOAD เหมาะสำหรับผู้ใช้งานที่ต้องการนำบอร์ดไปพัฒนาเอง พร้อม PCB เอนกประสงค์ ตัวบอร์ดสามารถพัฒนา LOAD โปรแกรมได้ด้วยตนเอง ไม่ต้องใช้บอร์ดอื่น ๆ อีก

1. CP-AVR V3 ...ใช้ CPU AT90S8535 RAN ความถี่ 8MHz เขียนโปรแกรมได้ 8 BYTE แบบ FLASH,EEPROM 512 BYTE, RAM 512 BYTE
2. CP-AVR V3 PLUS... ใช้ CPU ATMEGA163 RAN ความถี่ 8MHz เขียนโปรแกรมได้ 16 BYTE แบบ FLASH,EEPROM 512 BYTE, RAM 1024 BYTE
3. A TO D ขนาด 10 BIT จำนวน 8 ช่อง .34 PIN I/O ET BUS .4 PIN RS232 (MAX232 ON BORAD)
4. 7805 POWER SUPPLY ON BOARD .PCB พื้นที่เอนกประสงค์ 8.5 x 6 CM . ขนาด PCB บอร์ด 15.3 x 9 CM
5. สามารถ DOWN LOAD โปรแกรมที่เขียนขึ้นบนเครื่องคอมพิวเตอร์ PC ที่เป็น HEX FILES เข้ายังบอร์ดได้โดยตรงผ่านทาง PRINTER PORT ของคอมพิวเตอร์ที่ทำงานบนระบบ OS WINDOWS 95/98/ME/NT/XP/2000
6. ชุด CP-AVR V3,V3 PLUS ประกอบด้วย....ตัวบอร์ด, คู่มือการใช้งาน, CD-ROM AVR โปรแกรมใช้งาน และตัวอย่างโปรแกรม, สาย ET-PSPI ใช้ DOWN LOAD โปรแกรมเข้า....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คู่มือบอร์ด E12-AD16



รูปบอร์ด E12- AD16

บอร์ด E12-AD16 เป็นบอร์ดในกลุ่มของการเชื่อมต่อผ่าน 12B-PORT เพื่อขยายการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล ในบอร์ดนี้จะใช้ชิพ DC5526 ยี่ห้อ Crystal ที่ให้ประสิทธิภาพการทำงานที่ดี สัญญาณรบกวนต่ำขนาด 20 บิตสามารถเลือกต่ออินพุตใช้งานได้ทั้ง Common Mode คือวัดสัญญาณเทียบกราวด์หรือ Difference Mode โดยการวัดระดับแรงดันที่ขั้ว AIN+ กับ AIN- อีกทั้งยังมี Instrument Amp ที่สามารถโปรแกรมเกณฑ์การขยายได้ (PGA) จึงเหมาะนำไปประยุกต์ในงาน เครื่องชั่งน้ำหนัก, เครื่องวัดอุณหภูมิสูงๆ เป็นต้น

คุณสมบัติ

1. แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล A/D ขนาด 20 บิต (ใช้กับเบอร์ CS55256) ของยี่ห้อ Crystal ที่มีความเที่ยงตรงในการทำงานสูง ความละเอียดระดับ 65535 ระดับ และ 1048575 ระดับ
2. ภายในตั้งชิพ A/D มี Instrument Amp ให้ที่สามารถโปรแกรม GAIN (PGA) ได้
3. ฟังก์ชันการแปลงสัญญาณ ADC ที่ใช้การแปลงแบบอินทิเกรตในระดับสูงแบบ เกล็ดต้า-ซิกมา ให้ความผิดพลาดเชิงเส้นต่ำเพียง 0.0015% FS โดยปราศจากสัญญาณรบกวน
4. มีขั้วอินพุต AIN+, AIN-, REF+, REF- ที่สามารถต่อใช้งานได้ทั้ง Common Mode และ Difference Mode บอร์ดออกแบบให้มีกราวด์เพลนจึงทำให้มีเสถียรภาพการทำงานที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ย่านการวัดแรงดันอินพุทเลือกได้ตั้งแต่สูงสุดที่ 25mV, 55mV, 100mV, 1V, 2.5V และ 5V
6. บนบอร์ดมีวงจรสร้างแรงดันไฟลบ ทำให้สามารถรับสัญญาณเข้าเป็นแรงดันไฟลบได้
7. อินเทอร์เฟซเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านสาย 3 เส้นแบบ SPI ด้วยสัญญาณ SCLK, SDI และ SDO
8. อีกทั้งยังสามารถควบคุมขา CS ได้ต่างหากอีกด้วย
9. เชื่อมต่อผ่านพอร์ท 12 Bit Port ได้ทุกบอร์ด พร้อมทั้งมีพื้นที่ Working Area ให้ขยายวงจรใช้งานได้อีก
10. มี VR เพื่อปรับสร้างแรงดันทดสอบทางดาร์อินพุทเพื่อสะดวกในการทดสอบการทำงานที่ Range +5V ถึง -5V เลือกการทดสอบนี้ด้วย JUMPER (HDR 7)

รายละเอียดขาต่างๆของ CS5526

ANALOG GROUND	AGND	1	20	VREF+	VOLTAGE REFERENCE INPUT
POSITIVE ANALOG POWER	VA+	2	19	VREF-	VOLTAGE REFERENCE INPUT
DIFFERENTIAL ANALOG INPUT	AIN+	3	18	CS	CHIP SELECT
DIFFERENTIAL ANALOG INPUT	AIN-	4	17	SDI	SERIAL DATA INPUT
NEGATIVE BIAS VOLTAGE	NB+	5	16	A3	LOGIC OUTPUT
LOGIC OUTPUT	AO	6	15	A2	LOGIC OUTPUT
LOGIC OUTPUT	A1	7	14	SDO	SERIAL DATA OUTPUT
CHARGE PUMP DRIVE	CPD	8	13	VD+	POSITIVE DIGITAL POWER
CRYSTAL IN	XIN	9	12	DGND	DIGITAL GROUND
CRYSTAL OUT	XOUT	10	11	SCLK	SERIAL CLOCK INPUT

Datasheet A/D595

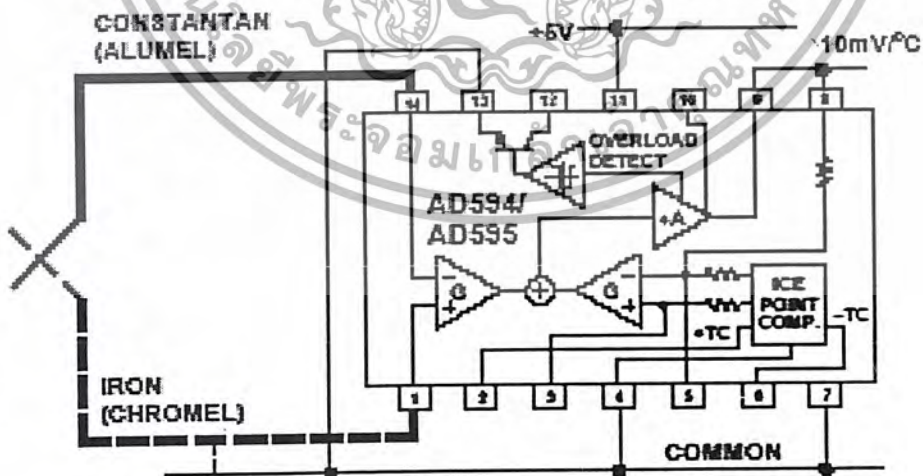
คุณสมบัติของ A/D595

- Low impedance Voltage Output $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$
- มีการชดเชยอุณหภูมิที่ 0°C ในตัว
- สามารถใช้ช่วงของแรงดันที่กว้าง : $+5\text{V}-615\text{V}$
- ให้พลังงานต่ำ $< 1 \text{ mW}$
- ได้รับการ calibrate โดย Laser wafer Trimmer อย่างถูกต้อง
- High Impedance Differential Input

ลักษณะการทำงานของ A/D595

1. A/D595 จะมี ตัวชดเชย Cold junction, Amplifier และ Output buffer ภายในตัว
2. การชดเชยอุณหภูมิที่ 0°C ได้รับการ calibrate โดย Laser wafer trimming (LWT) ใน IC แต่ละตัว
3. Output ที่ได้จะอยู่ในหน่วยขององศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ $10 \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$
4. สามารถควบคุมการทำงานได้ง่ายด้วยการปรับค่ากระแสที่ตัวและคงที่นอกจากนั้นช่วงแรงดันที่ใช้จะอยู่ในช่วง $+5\text{V}-30\text{V}$
5. Input ที่ป้อนให้กับวงจรจะได้จาก Thermocouple แล้วจะเปลี่ยนเป็นค่า Volt

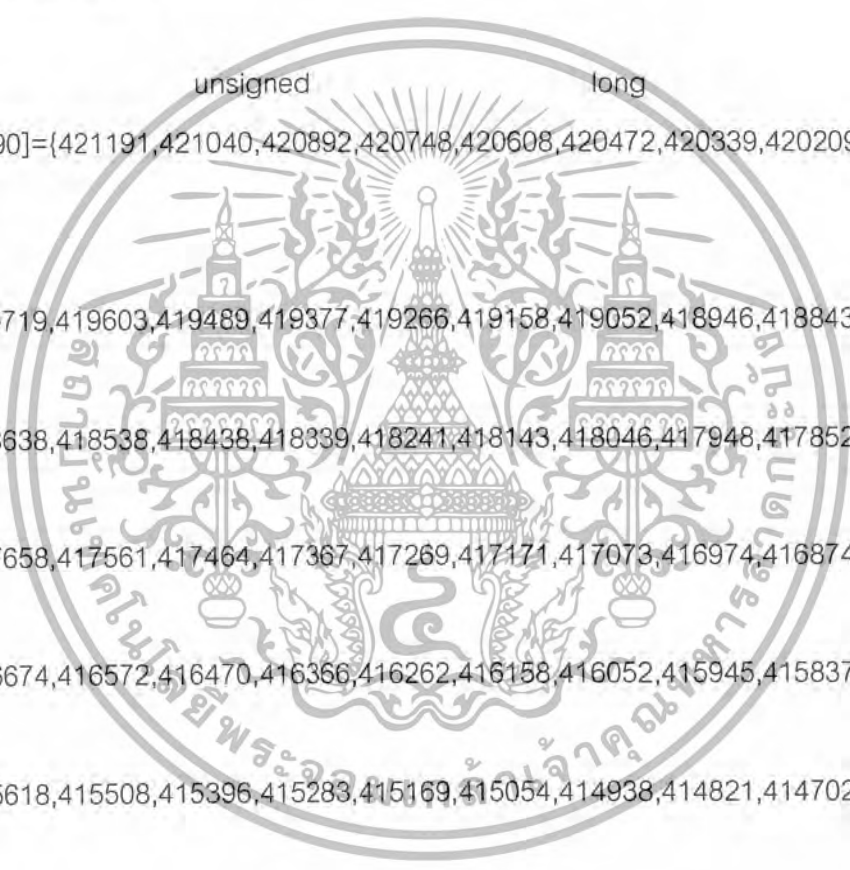
รูปแบบของ A/D595 ที่ใช้ในการต่อกับ Thermocouple และวงจรการทำงานภายในตัวของ A/D595



โปรแกรมแสดงค่าทาง 7-segment

```
#define seg_ment PORTC
#define common PORTB
flash unsigned char disp[14]={0x3f,0x06,0x5b,0x4f,0x66,0x6d,0x7d,0x07,0x7f,0x6f
    ,0x00,0x40,0x79,0x50};
    // - E r
unsigned char buffer[4];

flash          unsigned          long          int
    P3[90]={421191,421040,420892,420748,420608,420472,420339,420209,420082
,419959,
419837,419719,419603,419489,419377,419266,419158,419052,418946,418843,
418740,418638,418538,418438,418339,418241,418143,418046,417948,417852,
417755,417658,417561,417464,417367,417269,417171,417073,416974,416874,
416774,416674,416572,416470,416366,416262,416158,416052,415945,415837,
415728,415618,415508,415396,415283,415169,415054,414938,414821,414702,
414583,414463,414342,414220,414097,413973,413849,413723,413597,413470,
413343,413215,413086,412957,412828,412698,412568,412438,412308,412178,
412048,411918,411789,411660,411531,411403,411276,411149,411024,411000};
```



flash unsigned long int

P2[90]={410928,409908,408883,407855,406823,405789,404754,403718,402683,
,401648,

400616,399585,398558,397534,396515,395501,394492,393490,392494,391505,

390524,389552,388588,387633,386687,385752,384827,383913,383009,382117,

381237,380368,379512,378668,377836,377018,376212,375419,374639,373872,

373119,372379,371653,370940,370240,369554,368881,368221,367574,366941,

366320,365711,365116,364532,363961,363401,362853,362316,361790,361274,

360769,360273,359787,359310,358841,358381,357928,357482,357042,356609,

356180,355757,355338,354922,354509,354098,353688,353280,352871,352461,

352050,351636,351219,350798,350371,349939,349500,349053,348597,348132};

flash unsigned long int

P1[90]={347655,343877,340257,336791,333474,330302,327268,324369,321601,
,318957,

316435,314030,311737,309553,307472,305492,303608,301817,300114,298495,

296959,295499,294114,292800,291554,290371,289250,288187,287180,286224,

285318,284459,283644,282870,282136,281438,280774,280143,279541,278967,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

278419,277895,277393,276911,276448,276002,275571,275154,274751,274358,

273976,273603,273238,272881,272529,272184,271843,271506,271173,270843,

270516,270192,269870,269550,269232,268916,268603,268292,267983,267678,

267377,267079,266786,266498,266216,265942,265674,265416,265168,264931,

264706,264494,264298,264118,263956,263814,263693,263596,263524,263479};

flash unsigned long int

P0[25]={263270,255051,247165,239614,232397,225515,218967,212752,206873,
,201327,

196115,191238,186695,182486,178612,175071,171865,168993,166456,164252,

162383,160848,159647,158781,158248};

void presure2_buffer(void)

```
{  
    buffer[0]=disp[p/10]|0x80;  
    buffer[1]=disp[p%10];  
    buffer[3]=disp[u];  
    if(u!=0)  
        buffer[2]=disp[11]; // -  
    else  
        buffer[2]=disp[10]; // null  
}
```

void segment_disp(void)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
int i;
char digit=0x01;
for(i=0;i<4;i++){
    common = ~digit;
    seg_ment = ~buffer[i];
    delay_ms(1);
    common =0xff;
    digit <<=1;
}
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*****
```

```
Chip type      : AT90S8535  
Clock frequency : 8.000000 MHz  
Memory model   : Small  
External SRAM size : 0  
Data Stack size : 128
```

```
*****
```

```
#include <90s8535.h>  
#include <delay.h>  
#include <stdio.h>  
//#include <string.h>
```

```
// Declare your global variables here  
unsigned long int f;  
unsigned int i,p,u;
```

```
#include <_7segment.c>  
#include <cs5526_avr.c>
```

```
void main(void)  
{
```

```
// Input/Output Ports initialization  
// Port A initialization  
// Func0=In Func1=In Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In Func6=In Func7=In  
// State0=T State1=T State2=T State3=T State4=T State5=T State6=T State7=T  
PORTA=0xff;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DDRA=0x00;

// Port B initialization
// Func0=Out Func1=Out Func2=Out Func3=Out Func4=Out Func5=Out Func6=Out
Func7=Out
// State0=1 State1=1 State2=1 State3=1 State4=1 State5=1 State6=1 State7=1
PORTB=0xFF;
DDRB=0xFF;

// Port C initialization
// Func0=In Func1=In Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In Func6=In Func7=In
// State0=T State1=T State2=T State3=T State4=T State5=T State6=T State7=T
PORTC=0xFF;
DDRC=0xFF;

// Port D initialization
// Func0=In Func1=In Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In Func6=In Func7=In
// State0=T State1=T State2=T State3=T State4=T State5=T State6=T State7=T
PORTD=0x00;
DDRD=0x00;

// Timer/Counter 0 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 0 Stopped
TCCR0=0x00;
TCNT0=0x00;

// Timer/Counter 1 initialization
// Clock source: System Clock
// Clock value: Timer 1 Stopped

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// Mode: Normal top=FFFFh
// OC1A output: Discon.
// OC1B output: Discon.
// Noise Canceler: Off
// Input Capture on Falling Edge
```

```
TCCR1A=0x00;
```

```
TCCR1B=0x00;
```

```
TCNT1H=0x00;
```

```
TCNT1L=0x00;
```

```
OCR1AH=0x00;
```

```
OCR1AL=0x00;
```

```
OCR1BH=0x00;
```

```
OCR1BL=0x00;
```

```
// Timer/Counter 2 initialization
```

```
// Clock source: System Clock
```

```
// Clock value: Timer 2 Stopped
```

```
// Mode: Normal top=FFh
```

```
// OC2 output: Disconnected
```

```
ASSR=0x00;
```

```
TCCR2=0x00;
```

```
TCNT2=0x00;
```

```
OCR2=0x00;
```

```
// External Interrupt(s) initialization
```

```
// INT0: Off
```

```
// INT1: Off
```

```
GIMSK=0x00;
```

```
MCUCR=0x00;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
TIMSK=0x01;

// UART initialization
// Communication Parameters: 8 Data, 1 Stop, No Parity
// UART Receiver: On
// UART Transmitter: On
// UART Baud rate: 9600
UCR=0x18;
UBRR=0x33;

// Analog Comparator initialization
// Analog Comparator: Off
// Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
// Analog Comparator Output: Off
ACSR=0x80;

delay_ms(200);
initialize();
delay_ms(200);

buffer[0]=disp[11];
buffer[1]=disp[11];
buffer[2]=disp[11];
buffer[3]=disp[11];

while(1) {
    for(i=0;i<100;i++)
        segment_disp();
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

}
printf("\n\n%d p= %d e-1",l,p);
pressure2_buffer();
}else if((l>156300)&&(l<=263270)){ //e 0
for(i=0;i<31;i++){
u=0;
if (P0[i]>=l)
p=i+1;
}
printf("\n\n%d p= %d e0",l,p);
pressure2_buffer();
}else{
printf("\n\nERROR!");
buffer[0]=disp[10];
buffer[1]=disp[12];
buffer[2]=disp[13];
buffer[3]=disp[13];
}
};
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม A/D (CS5526)

```
#define OSET_RD    0x90  /* Offset read command */
#define GAIN_RD    0x92  /* Gain  read command */
#define CONF_RD    0x94  /* Config read command */
#define CONV_RD    0x96  /* Data  read command */
#define SETU_RD    0x98  /* Setup read command */

#define OSET_WR    0x80  /* Offset Write command */
#define GAIN_WR    0x82  /* Gain  Write command */
#define CONF_WR    0x84  /* Config Write command */
#define CONV_WR    0x86  /* Data  Write command */
#define SETU_WR    0x88  /* Setup Write command */

sfrb PORTA=0x1b;
//sfrb DDRA=0x18;
sfrb PINA=0x19;

#define CS5526_CS   PORTA.0
#define CS5526_SDI PORTA.1
#define CS5526_SDO PINA.2
#define CS5526_SCLK PORTA.3
```

```
//-----
unsigned long int read_conversion(void);
void read_config(void);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void read_register(unsigned char command);
void write_register(unsigned char command, unsigned char high, unsigned char mid,
unsigned char low);
unsigned char receive_byte(void);
void transfer_byte(unsigned char data_byte);
void initialize(void);
float VoltageAdd(unsigned long int sn);
//-----

```

```

unsigned char command ;
unsigned char high_byte;
unsigned char mid_byte;
unsigned char low_byte;
unsigned char temp;

void initialize(void)
{
int counter;

DDRA.0 = 1;//set as output
    DDRA.1 = 1; //set as output
    DDRA.2 = 0; //set as input
    DDRA.3 = 1; //set as output

CS5526_CS = 0;
CS5526_SDI = 0;
//CS5526_SDO = 1;
CS5526_SCLK =0;

for(counter=0;counter<2047;counter++){

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CS5526_SCLK =1;
CS5526_SCLK =0;
}
CS5526_SDI = 1;

for(counter=0;counter<255;counter++){
    CS5526_SCLK =1;
    CS5526_SCLK =0;
}
CS5526_SDI = 0;
CS5526_SCLK =1;
CS5526_SCLK =0;

write_register(CONF_WR,0x00,0x00,0x80); /* Reset */
write_register(CONF_WR,0x00,0x08,0x00); /* Initialize configuration */
read_config();
}

void transfer_byte(unsigned char data_byte)
{
    char i;

    for(i=0; i<8; ++i) {
        CS5526_SDI = data_byte & 0x80;
        data_byte <<= 1;
        CS5526_SCLK =1;
        CS5526_SCLK =0;
    }
    CS5526_SDI = 0;
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unsigned char receive_byte(void)
```

```
{  
    unsigned char i, data_byte;
```

```
    data_byte = 0;
```

```
    for(i=0; i<8; ++i) {
```

```
        data_byte <<= 1;
```

```
        data_byte |= CS5526_SDO;
```

```
        CS5526_SCLK =1;
```

```
        CS5526_SCLK =0;
```

```
    }
```

```
    return(data_byte);
```

```
}
```

```
void write_register(unsigned char command, unsigned char high, unsigned char mid,  
unsigned char low)
```

```
{
```

```
    CS5526_CS = 0;
```

```
    transfer_byte(command);
```

```
    transfer_byte(high);
```

```
    transfer_byte(mid);
```

```
    transfer_byte(low);
```

```
    CS5526_CS = 1;
```

```
}
```

```
void read_register(unsigned char command)
```

```
{
```

```
    CS5526_CS = 0;
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

transfer_byte(command);
high_byte=receive_byte();
mid_byte=receive_byte();
low_byte=receive_byte();
CS5526_CS = 1;
}

```

```

void read_config(void)
{
    read_register(CONF_RD);    /* Read configuration reg */
    putchar('\n');
    printf("CONF=%2x%2x%2x",high_byte,mid_byte,low_byte); /* Print */

    read_register(OSET_RD);    /* Read offset reg */
    printf(" OFFS=%2x%2x%2x",high_byte,mid_byte,low_byte); /* Print */

    read_register(GAIN_RD);    /* Read gain reg */
    printf(" GAIN=%2x%2x%2x",high_byte,mid_byte,low_byte); /* Print */
}

```

```

unsigned long int read_conversion(void)

```

```

{
    unsigned long int l;

    write_register(CONF_WR,0x00,0xc8,0x00);
    //transfer_byte(0xc0);
    read_register(0xc0);

    do {
        read_register(CONF_RD);    /* Read Configuration Register */

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    segment_disp();
}while(!(low_byte & 0x08));
read_register(CONV_RD);
l = high_byte;
l <<= 8;
l |= mid_byte;
l <<= 8;
l |= low_byte;
l >>= 4;
//printf("\r\nata=%2x%2x%2x",high_byte,mid_byte,low_byte);
//if(low_byte & 0x01) { /* Test OF Flag */
// beeph();
// beeph();
//}
//if(low_byte & 0x02) { /* Test OD Flag */
// beeph();
// beeph();
//}
return(l);
}

```

```
float VoltageAdd(unsigned long int sn)
```

```

{
    float y,c,mm;
    if(sn <= 524287) { /* y = mx + c ; mm = y2 - y1 / x2 - x1 */
        mm = 7.8392028808e-6; /* mm = ( 3.8660 -4.7mV) / 524288 */
        c = 0.007; /* mm = 7.364845276e-6 */
        y = (mm*sn) + c;
        return(y);
    }
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
else {  
    sn = 1048576 - sn;  
    mm = -7.364845276e-6;  
    c = 0.002;  
    y = (mm*sn) + c;  
    return(y);  
}  
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้