

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาเกจวัดความดันสูญญากาศชนิดพีรานี



นางสาวชนิการ์  
นายศรายุทธ  
นางสาวสุจิตรา  
เอี่ยมสุจริต  
อัคราพันธ์  
หน่อสุวรรณ

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้... ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น... ให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
เลขที่... 58672  
วันที่... 31 ส.ค. 2549



# Study of Pirani Gauge for Vacuum Measurement



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment 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. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**โครงการพิเศษเรื่อง** การศึกษาเกจวัดความดันสัญญาณกาศชนิดพีรานี  
**นักศึกษา** นางสาวชนิการ์ เอี่ยมสุจริต  
 นายศรายุทธ อัครวาณิชย์  
 นางสาวสุจิตรา หน่อสุวรรณ  
**ภาควิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
**สาขาวิชา** ฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม  
**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.ดร.ปรีชา เทียนสมประสงค์	
กรรมการ รศ.วิชาญ เตชิตธีระ	
กรรมการ อ.สุรชาติ กมลดีลก	
กรรมการที่ปรึกษา ผศ.ดร.วราวุฒิ เถาลัดดา	

(รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การศึกษาเกจวัดความดันสุญญากาศชนิดพีรานี
นักศึกษา	นางสาวชณิการ์ เขี่ยมสุจจริต นายศรายุทธ อัครวราชันย์ นางสาวสุจิตรา หน่อสุวรรณ
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ – เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2547
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วราวุฒิ เกาลัดดา

### บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาและสร้างเครื่องวัดความดันสุญญากาศชนิดพีรานีเกจ มีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ หัววัดความดันสุญญากาศ และส่วนแสดงผล หัววัดความดันสุญญากาศประกอบด้วยไส้หลอดไพรมัลติเพลกซ์ 2 หลอด โดยหลอดหนึ่งจะติดตั้งไว้ในระบบสุญญากาศและตัวต้านทานอีก 2 ตัว ซึ่งตัวหนึ่งสามารถปรับค่าได้ นำมาต่อกันเป็นวงจรวีตสโตนบริดจ์ จากการศึกษพบว่า ความต้านทานของหลอดไพรมัลติเพลกซ์ที่เหมาะสมคือ 29 โอห์ม โดยป้อนแรงดันให้กับวงจรวีตสโตนบริดจ์ คือ 3 โวลต์ สำหรับในส่วนแสดงผลในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบ PIC 16F877 ในการประมวลผล และแสดงผลทาง 7-segment เมื่อเปรียบเทียบกับพีรานีเกจในทางอุตสาหกรรม พบว่าพีรานีเกจที่ได้ทำการสร้างขึ้นสามารถวัดได้ถูกต้องอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1 มิลลิบาร์

Special Project Title	Study of Pirani Gauge for Vacuum Measurement	
Name	Miss Chanika	Eamsujarit
	Mr. Sarayut	Assawarachan
	Miss Sujittra	Nhosuwan
Department	Applied Physics Faculty of Science	
Program	Applied Physics-Science and Industry Instrumentation	
Academic	2004	
Special Project Advisor	Asst.Prof.Dr. Warawoot Thowladda	

### ABSTRACT

This special project has been studied and built a device used for measuring high vacuum type pirani gauge. The instrument consist of sensor head and display. The component of sensor head are multiplex tube, first tube is installed in vacuum, and two resisters which one of resister can adjust. This component use in bridge circuit. From study it was found resistant 29 ohm is suitable. And value of volt to distribute bridge circuit are 3 volts. In this studied use microcontroller type PIC 16F877 for a part of control and display by 7-segment. When it was compared with the Pirani gauge reference. It was found studied Pirani gauge can measuring range 0.1 mbar to 1 mbar.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงมาได้ ไซ้ว่าจะไม่มีปัญหาเกิดขึ้นเลย ก็อยากจะกล่าวขอบคุณบุคคลที่มีพระคุณต่อเรา

บิดามารดา	ผู้ให้กำเนิดเรามาบนโลกนี้ เลี้ยงดู และให้การศึกษาจนสำเร็จ ปริญญาตรี
ผศ.ดร.วราวุฒิ-เถาวัลด์ดา	อ.ที่ปรึกษา ที่ให้ทั้งความรู้ ความเมตตา กับพวกเรา เหมือนพ่อ คนที่สอง
อ.ศ.ทิพวรรณ (พีศ)	พี่สาวที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และอุปกรณ์ต่างๆ
คุณชัยสุริยา (พีแหลม)	พี่ชายที่ให้ความรู้( ไม่ใคร่คอนโทรลเลอร์, การเขียนโปรแกรมและ ทุกๆเรื่อง) และอุปกรณ์ต่างๆ
พี่ๆทุกคนในห้อง lab	คำแนะนำ อุปกรณ์ และรอยยิ้ม
เพื่อนๆทุกคน	ความห่วงใย เสียงหัวเราะ และทุกอย่างอย่าง "เพื่อน"
	นางสาวชณิการ์ เอี่ยมสุจริต
	นายศรายุทธ อัครวราชันย์
	นางสาวสุจิตรา หน่อสุวรรณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 การวัดความดันสูงและสุญญากาศ	3
2.2 การวัดความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ	3
2.3 การวัดความดันสุญญากาศ	4
2.4 การประยุกต์การใช้งาน	6
2.5 เกจวัดความดันแบบพีรานี (Pirani)	7
2.6 วงจรบริดจ์ (Bridge Circuit)	10
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์	13
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	17
3.1 ขั้นตอนศึกษาเกจวัดความดันสุญญากาศชนิดพีรานีเกจ	17
3.2 ขั้นตอนการสร้างส่วนประกอบของวงจรวัดสโตนบริดจ์	17
3.3 อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง	19
3.4 ขั้นตอนการวิจัย	22
3.5 วิธีดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	27
4.1 ผลการทดลองขั้นตอนดำเนินการวิจัยเพื่อหาค่าความต้านทานของไส้หลอด multiplex ค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับวงจรที่เหมาะสม	27
4.2 ผลจากการดำเนินการวิจัยเพื่อหาค่าดิจิตอลไปใช้ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการประมวลผลเป็นค่าความดันออกมาทาง 7-segment	39
4.3 ผลจากการดำเนินการวิจัยทั้งหมดมาประกอบเป็นเครื่องมือ	43
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	45
5.1 สรุปผลการวิจัย	45
5.2 เสนอแนะ	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก	48



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC	14
ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท ที่แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ (ความต้านทาน 13.4 โอห์ม)	28
ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท ที่แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ (ความต้านทาน 13.4 โอห์ม)	29
ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท ที่แรงดันไฟฟ้า 7 โวลต์ (ความต้านทาน 13.4 โอห์ม)	30
ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท ที่แรงดันไฟฟ้า 1.5 โวลต์ (ความต้านทาน 29 โอห์ม)	32
ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท ที่แรงดันไฟฟ้า 2 โวลต์ (ความต้านทาน 29 โอห์ม)	33
ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท ที่แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ (ความต้านทาน 29 โอห์ม)	34
ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท ที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ (ความต้านทาน 29 โอห์ม)	35
ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท ที่แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ (ความต้านทาน 29 โอห์ม)	36
ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท ที่แรงดันไฟฟ้า 7 โวลต์ (ความต้านทาน 29 โอห์ม)	37
ตารางที่ 4.10 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับค่าดิจิตอลเอาท์พุท ที่มาจากวงจร	40
ตารางที่ 4.11 ผลการวิจัยเปรียบเทียบระหว่างความดันจากพีรานีเกจที่สร้างขึ้นกับ พีรานีเกจอ้างอิง	43

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การทำงานของบาริโรมิเตอร์	4
รูปที่ 2.2 ตารางเกจวัดความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศ	6
รูปที่ 2.3 Heat transfers regimes for a thermal conductivity gauge	9
รูปที่ 2.4 Section through a Pirani a Pirani gauge head. and Basic Pirani gauge control circuit	10
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของวงจรบริดจ์	11
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของ IC TC3400	15
รูปที่ 2.7 แสดงรูป 7-segment ที่ใช้ Display	16
รูปที่ 2.8 แสดงวงจร Regulators	16
รูปที่ 3.1 รูปวงจรวัดสโตมบริดจ์	18
รูปที่ 3.2 รูปวงจรบริดจ์ที่ใช้ในการทดลอง	18
รูปที่ 3.3 หัววัดความดันของพีรานีเกจ	19
รูปที่ 3.4 เกจพีรานีที่ใช้เปรียบเทียบ	19
รูปที่ 3.5 ปั๊มกลโรตารี (Rotary pump)	20
รูปที่ 3.6 Power supply	20
รูปที่ 3.7 โวลต์มิเตอร์	21
รูปที่ 3.8 Display for vacuum	21
รูปที่ 3.9 โอห์มมิเตอร์	22
รูปที่ 3.11 รูปแสดงการจัดวางอุปกรณ์	23
รูปที่ 3.12 รูปแสดงการจัดอุปกรณ์ในการทดลอง	23
รูปที่ 3.13 แสดงวงจรทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.14 พีรานีที่ประกอบส่วนต่างๆ	26
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความตึงเครียด ที่ความต้านทาน 13.4 โอห์ม	31
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความตึงเครียด ที่ความต้านทาน 29 โอห์ม	38
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับค่าดิจิตอลเอาต์พุต ที่ได้จากวงจร	42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันสัญญาณกาศนั้นมีความหลากหลายชนิด โดยอุปกรณ์วัดความดันอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การขยายตัว การหดตัวของก๊าซเมื่อความดันเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนค่าการนำความร้อนของโลหะภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เป็นก๊าซชนิดต่างๆ หรืออาศัยหลักการแตกตัวของก๊าซชนิดต่างๆกันที่ความดันต่างกัน

อุปกรณ์วัดความดันประเภทไฟฟ้าจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนหัววัดซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนค่าทางกายภาพ (transducer) และส่วนวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงานและแปรค่าสัญญาณเป็นค่าความดันที่อ่านได้ (control unit) หน่วยควบคุมแบบทันสมัยจะมีระบบป้องกันวงจร ในกรณีที่สัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้สูงเกินไป หรือสามารถให้หน่วยควบคุมในการควบคุมความดันของระบบสัญญาณกาศได้ดังเช่นในงานผลิตถ้าความดันในภาชนะสัญญาณกาศสูงหรือต่ำเกินระดับที่ตั้งไว้หน่วยควบคุมสามารถสั่งให้ปั๊มสัญญาณกาศหยุดหรือเริ่มทำงานได้

เกจพีรานีเป็นเกจวัดความดันสัญญาณกาศ ที่อาศัยหลักการนำความร้อนของก๊าซที่ทำให้อุณหภูมิของลวดร้อนเปลี่ยนแปลง มีผลยังให้ความต้านทานของลวดเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งทำให้ค่าความดันที่เปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซ ซึ่งจะใช้วงจรวีตสโตนบริดจ์ (Wheatstone bridge)

#### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์วัดความดันชนิด พีรานีเกจ
2. เพื่อศึกษาหลักการนำความร้อนของก๊าซที่ทำให้อุณหภูมิของลวดร้อนเปลี่ยนแปลง
3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์วงจรวีตสโตนบริดจ์ (Wheatstone bridge) ที่ใช้กับพีรานีเกจ
4. เพื่อสร้างอุปกรณ์วัดความดันสัญญาณกาศชนิดพีรานีเกจ
5. เพื่อศึกษาช่วงความดันที่ พีรานีเกจสามารถวัดได้

#### 1.3 ขอบเขตการวิจัย

ในการวิจัยนี้เราจะทำการสร้างเกจวัดความดันสัญญาณกาศชนิดพีรานี และเทียบกับพีรานีเกจที่ใช้กันทั่วไป ดูความเที่ยงตรงและความเป็นเชิงเส้นในการวัดเพราะพีรานีเกจที่เราวิจัยจะมีต้นทุนที่ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานมีดังนี้

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและหลักการของเกจพีรานี (Pirani gauge)
2. ศึกษาการทำงานของวงจรวีตสโตนบริดจ์
3. เตรียมค่าความต้านทานที่เหมาะสมมาใช้ในวงจรวีตสโตนบริดจ์ เพื่อให้ค่าความดันที่วัดออกมามีค่าเป็นจริงมากที่สุด
4. ทำการวัดและศึกษาความเป็นเชิงเส้นของค่าความดันที่วัดได้จากเกจพีรานีที่สร้างขึ้น

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบหลักการวัดความดันสัญญาณของพีรานีเกจ
2. เราสามารถสร้างเกจพีรานีขึ้นใช้เองได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 การวัดความดันสูงและสูญญากาศ

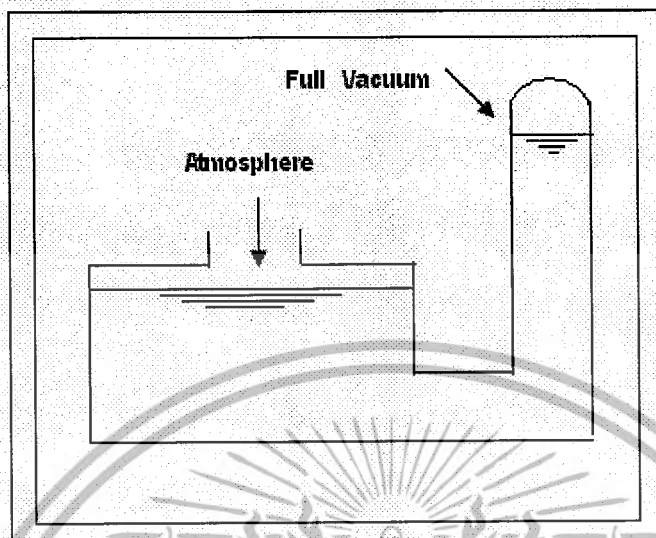
ความดันสูงเป็นปริมาณเชิงเปรียบเทียบซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่นำไปใช้ เช่นในงานผลิตเครื่องเพชร ความดันจะอยู่ที่ประมาณ 1,000,000 ปอนด์/ตารางนิ้วความดันเกจ (6,900 บาร์) หรือมากกว่านี้ ในขณะที่งานขึ้นรูปพลาสติกจะใช้ความดันประมาณ 10,000 ปอนด์/ตารางนิ้วความดันเกจ (690 บาร์) โดยทั่วไปแล้วความดันที่เกิน 1,000 ปอนด์/ตารางนิ้วความดันเกจ (69 บาร์) จัดว่าเป็นความดันสูง

#### 2.2 การวัดความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ

วิศวกรได้เริ่มสนใจการวัดความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1600 เมื่อพวกเขาสังเกตเห็นว่าไม่สามารถปั้มน้ำขึ้นไปในระดับความสูงกว่า 30 ฟุตได้ ยุคแห่งแคว้นทัสคานีในอิตาลีได้สั่งการให้กาลิเลโอ (Galileo) ตรวจสอบปัญหาดังกล่าวกาลิเลโอและคนอื่นๆ ในสมัยนั้นได้สร้างอุปกรณ์ทดลองเพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของอากาศขึ้น เครื่องมือชนิดหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบคือ ชุดอุปกรณ์ลูกสูบที่ใช้วัดแรงและระดับน้ำบาริโรมิเตอร์ซึ่งสูงประมาณ 34 ฟุต เพื่อใช้วัดความดันสูญญากาศ

หลังจากที่กาลิเลโอได้เสียชีวิตไปในปี ค.ศ. 1642 เอเวิงเจลิस्ता ทอริริเซลลี (Evangelista Torricelli) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับความดันสูญญากาศต่อและได้สร้างบาริโรมิเตอร์แบบปรอทขึ้น เขาได้ค้นพบว่าอากาศในชั้นบรรยากาศมีแรงกระทำ 14.7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และในท่อที่ไม่มีอากาศความดันนี้สามารถดันปรอทภายในท่อให้ขึ้นสูงถึง 29.9 นิ้ว (760 มม.) ดังนั้นความสูงของปรอทจึงเป็นการวัดค่าความดันของชั้นบรรยากาศโดยตรงนั่นเอง ในปีค.ศ. 1644 เบลสิส ปาสกาล (Blaise Pascal) ซึ่งเป็นนักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสได้ขอให้กลุ่มของเขานำบาริโรมิเตอร์ขึ้นไปบนเทือกเขาแอลป์และได้พิสูจน์ว่าความดันของบรรยากาศลดลงเมื่อความสูงจากระดับน้ำทะเลเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยความดันของบาริโรมิเตอร์ที่ระดับน้ำทะเล น้ำหนักของลำปรอทที่มีความสูง 760 มม. และความดันนี้ได้ถูกนิยามให้เป็นความดันบรรยากาศมาตรฐาน ค่าอัตราส่วนของ 1/760 ของความดันบรรยากาศได้ถูกเรียกว่า ทอร์ (Torr) เพื่อเป็นเกียรติแก่ ทอริริเซลลี (Torricelli) ผู้ค้นพบนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การทำงานของบาริโรมิเตอร์

ในปี ค.ศ. 1872 แมคเคลอยด์ (McLeod) ได้สร้างอุปกรณ์วัดความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศขึ้น เรียกว่าเกจวัดความดันแบบแมคเคลอยด์ อุปกรณ์ดังกล่าวใช้หลักการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซที่วัดได้ โดยต้องมีการวัดปริมาณก๊าซ 2 ครั้ง ครั้งแรกวัดปริมาณที่ความดันต่ำที่ต้องการทราบค่า และครั้งที่ 2 วัดปริมาณที่ความดันอ้างอิงซึ่งมีค่าสูงกว่าในครั้งแรก ค่าปริมาณของก๊าซที่วัดได้ครั้งหลังจะเป็นการบ่งบอกความดันสัมบูรณ์ของความดันที่ต้องการทราบค่านั้นเอง เกจวัดความดันแบบแมคเคลอยด์ได้ถูกใช้มาอย่างต่อเนื่องและใช้เป็นอุปกรณ์มาตรฐานในการเปรียบเทียบเกจวัดความดันต่ำกว่าบรรยากาศของอุปกรณ์ตัวอื่นจนกระทั่งปัจจุบัน

### 2.3 การวัดความดันสุญญากาศ

#### หน่วยวัดความดัน

ความดันในระบบสุญญากาศมีช่วงกว้างมากตั้งแต่ความดันบรรยากาศ (760 ทอร์ หรือ 1000 มิลลิบาร์) ไปจนถึง  $10^{-12}$  ทอร์ ช่วงความดันอาจแบ่งเป็น

ความดันสุญญากาศหยาบ (rough vacuum) 760-1 ทอร์

ความดันสุญญากาศปานกลาง (medium vacuum)  $1-10^{-3}$  ทอร์

ความดันสุญญากาศต่ำ (high vacuum)  $10^{-3} - 10^{-8}$  ทอร์

ความดันสุญญากาศต่ำมาก (ultrahigh vacuum, UHV)  $< 10^{-8}$  ทอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่มีอุปกรณ์หรือเกจวัดความดันเพียงชนิดเดียวตัวเดียววัดความดันได้ตลอดช่วง จึงต้องใช้อุปกรณ์ซึ่งอาศัยหลักการทางฟิสิกส์มากแบบเดียวกัน

หน่วยวัดความดันนิยมใช้หน่วย torr (mmHg) ในระบบ S.I. จะใช้หน่วย pascal (P) ซึ่ง 1P มีค่าเท่ากับ  $1 \times 10^5 \text{ N.m}^{-2}$  หรือใช้ มิลลิบาร์ (mbar) และ  $1 \text{ บาร์} = 10^6 \text{ dyne.cm}^{-2}$

### อุปกรณ์วัดความดัน

อุปกรณ์วัดความดันอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เช่น การขยายตัว หดตัวของก๊าซเมื่อความกดดันเปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนค่าการนำความร้อนของโลหะภายใต้สิ่งแวดล้อมที่เป็นก๊าซชนิดต่างๆหรืออาศัยหลักการแตกตัวของก๊าซชนิดต่างๆกันที่ความดันต่างกัน รายละเอียดของอุปกรณ์จะได้กล่าวในลำดับต่อไป

อุปกรณ์วัดความดันประเภทไฟฟ้าจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือส่วนหัววัดซึ่งเป็นตัวเปลี่ยนค่าทางกายภาพ (transducer) และส่วนวงจรไฟฟ้าควบคุมการทำงาน และแปรค่าสัญญาณเป็นค่าความดันที่อ่านได้ (control unit) หน่วยควบคุมแบบทันสมัยจะมีระบบป้องกันวงจรในกรณีที่สัญญาณไฟฟ้าที่วัดได้สูงเกินไป หรือสามารถให้หน่วยควบคุมในการควบคุมความดันของระบบสุญญากาศได้ดังเช่น ในงานผลิต ถ้าความดันในภาชนะสุญญากาศสูงหรือต่ำเกินระดับทั้งไว้หน่วยควบคุมสามารถสั่งให้ปั๊มสุญญากาศหยุดหรือเริ่มทำงานได้

ในการเลือกใช้อุปกรณ์วัดความดัน ควรพิจารณาองค์ประกอบหรือข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์วัด ดังนี้

(1) ช่วงความดันที่วัดได้ ควรจะครอบคลุมความดันสุญญากาศที่ต้องการวัด หัววัดบางหัวจะทำงานที่ความดันต่ำมาก เช่น หัววัดเกจไอออไนเซชัน ถ้าใช้วัดความดันสูงกว่า  $10^{-3}$  ทอร์ หัววัดจะชำรุด ระบบสุญญากาศจึงมักใช้หัววัด 2 แบบ คือวัดความดันในช่วง  $760 - 10^{-3}$  ทอร์ ช่วงหนึ่ง และต่ำกว่า  $10^{-3}$  ทอร์ อีกช่วงหนึ่ง

(2) ความละเอียดของสเกลวัด อุปกรณ์วัดความดันหลายแบบจะวัดความดันที่อ่านในสเกลลอจ (log) และอ่านสเกลเชิงเส้นตรงได้ในบางช่วง อุปกรณ์บางแบบจึงใช้อ่านความดันได้อย่างหายาบ เกจไอออไนเซชันสามารถอ่านในสเกลเชิงเส้นตรงได้

(3) ความไวต่อก๊าซปัม อุปกรณ์วัดความดันหลายแบบอาศัยหลักการนำความร้อนของก๊าซ หรือการแตกตัวของก๊าซ ดังนั้นเมื่อใช้กับก๊าซต่างชนิดกันจะให้ความไวต่างกัน จึงต้องทราบค่าแก้หรือค่าเปรียบเทียบของก๊าซต่างๆ อุปกรณ์ประเภทนี้มักจะใช้ในโตรเจนหรืออากาศแห้งเป็น

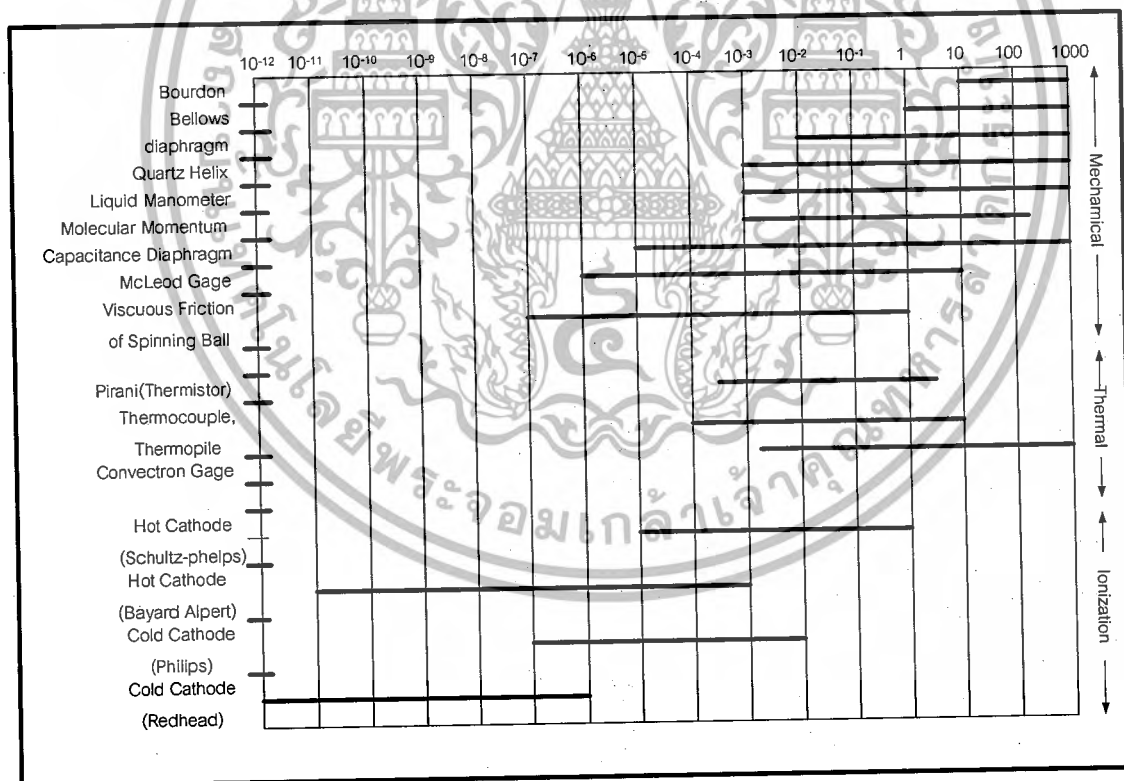
มาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(4) ข้อมูลจำเพาะเกี่ยวกับอุปกรณ์ ควรทราบว่าห้วงวัดความดันสามารถแสดงค่าตอบสนองต่อการเปลี่ยนความดันได้เร็วช้าเพียงใด ผลของอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ ความแม่นยำ ตลอดจนรายละเอียดเกี่ยวกับขนาดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ อะไหล่ การติดตั้ง ข้อความระวังต่างๆ

## 2.4 การประยุกต์การใช้งาน

เกจวัดความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศที่ใช้ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ แบบใช้ระบบทางกล แบบใช้ระบบทางความร้อนและแบบประจุที่จับตัวไฟฟ้า ช่วงการวัดความดันแต่ละประเภทได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.2 โดยทั่วไปแล้วสำหรับการวัดความดันแบบที่ต่ำกว่าบรรยากาศมากคือประมาณ  $10^{-6}$  ทอร์ นั้นเราสามารถเลือกใช้เซ็นเซอร์แบบท่อเบิร์ดอง เบลโลอิด สเตรอนเกจ และเซ็นเซอร์แบบประจุไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.2 ตารางเกจวัดความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบทางกล

เกจวัดทางกลหรือเกจที่ใช้ระบบทางกล สามารถวัดความดันหรือความดันที่ต่ำกว่าบรรยากาศโดยใช้การยืดหรือหดตัวของแกนท่อหรือไดอะแฟรม เมื่อเกิดผลต่างของความดันที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปแล้วด้านหนึ่งของแกนท่อหรือไดอะแฟรมจะสัมผัสกับความดันสุญญากาศอ้างอิง และอีกด้านหนึ่งจะวัดความดันที่ต้องการโดยการวัดการยืดหรือหดตัวของแกนท่อหรือไดอะแฟรม ซึ่งเกิดผลต่างของความดันขึ้นทั้ง 2 ด้าน

### 2.5 เกจวัดความดันแบบพีรานี (Pirani)

ก๊าซจะมีความดันต่ำ และการนำอุณหภูมิจะลดลงตามความดัน ดังนั้นเกจตัวนี้จะวัดโดยใช้เป็น sensing ความร้อนของแหล่งกำเนิดที่ร้อนโดยอยู่ในสิ่งแวดล้อม และความร้อนของก๊าซจะถูกวัดด้วยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการทำให้ลวดมีอุณหภูมิคงที่ เนื่องจากค่าการนำความร้อนของก๊าซแต่ละชนิดแตกต่างกัน ดังนั้นจะต้องมีการปรับเทียบสำหรับก๊าซแต่ละชนิดอื่นๆ เกจวัดแบบพีรานี (Pirani) ไม่สามารถใช้วัดความดันที่มีค่ามากกว่า 1.0 ทอร์ เนื่องจากที่ค่าความดันสูงกว่านี้ค่าการนำความร้อนของก๊าซจะไม่เปลี่ยนแปลง เกจวัดความดันแบบพีรานีให้ค่าเชิงเส้นในช่วง  $10^2$ - $10^4$  ทอร์ และมีความสัมพันธ์เป็นแบบลอการิทึมที่ความดันมากขึ้น และพีรานีเกจตัวแรกที่ผลิตขึ้นในปี 1906 โดยใช้ลวดบางมีเส้นผ่านศูนย์กลาง(d) และที่แกนของหลอดจะเป็นเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้ D แล้วหลอดนี้จะเชื่อมต่อไปในระบบที่มีแรงดัน T เมื่อต้องการวัด เส้นลวดจะมีความร้อน  $200^\circ\text{C}$  โดยการผ่านกระแสไฟฟ้า เมื่อความดันก๊าซรอบๆลวดมีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิของลวดก็จะเปลี่ยนแปลง นั่นคือเมื่ออุณหภูมิของลวดเพิ่มขึ้น ความดันจะลดลง และเมื่ออุณหภูมิของลวดลดลงความดันจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของลวดมีผลมาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป นั่นคือความต้านทานจะเปลี่ยนแปลงตามความดัน ด้วยเหตุนี้ความดันที่วัดได้จะเกิดจากตัวเกจและวงจรวีตสโตนบริดจ์ ทฤษฎีพื้นฐานของพีรานีเกจเป็นทฤษฎีที่ง่าย ๆ โดยคิดว่าตรงกลางของลวดมีความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าเป็นอุณหภูมิ  $T(^{\circ}\text{K})$  และด้านในของผิวของหลอดซึ่งที่บริเวณนี้จะกำหนดเป็น  $T_A(^{\circ}\text{K})$  ,  $T > T_A$  เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดจะมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของหลอด เหมือนกับ 0.005-0.1 mm เทียบกับ 10mm

โมเลกุลของก๊าซในหลอด(gauge tube)จะเคลื่อนที่มาชนกับหลอดที่มีลวดอยู่ ด้วยเหตุนี้พวกเราก็สามารถประมาณได้ว่าโมเลกุลของก๊าซมีอุณหภูมิเป็น  $T_A$  โดยอุณหภูมิจะสูงขึ้นเมื่อโมเลกุลของก๊าซมากระทบกับเส้นลวด และเราสามารถประมาณได้ว่าหลังจากที่โมเลกุลของก๊าซมาชนแล้วโมเลกุลจะมีพลังงานเท่ากับอุณหภูมิ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของพลังงานความร้อน  $E$  จากความร้อนของลวดที่เปลี่ยนไปเพราะ  
ก๊าซเป็นดังสมการ

$$E = vk(T - T_A)$$

เมื่อ  $E$  คือความถี่ของโมเลกุลที่มาชนกับผิวที่มีอุณหภูมิ  $T_A$

$K$  คือ ค่าคงที่ chosen to suit a given gas and wire

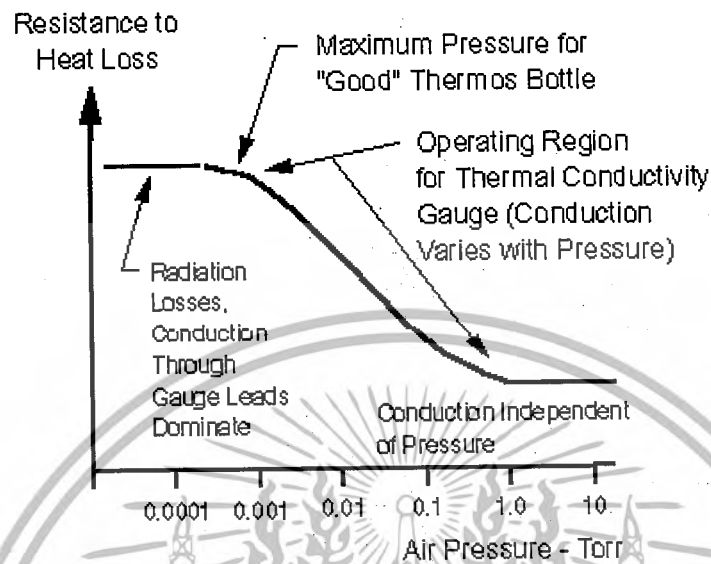
ถ้าระยะห่างของการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ยของโมเลกุลมีค่าน้อยกว่า ความยาวคลื่น the mean  
free path เราสามารถแทนได้ด้วย  $v$   
ดังนั้นจะได้สมการ

$$E = \frac{kPA(T - T_A)}{(2\pi mk_B T_A)^{1/2}} \quad \text{เมื่อ } A \text{ คือพื้นที่ผิวของลวด}$$

จากสมการบอกได้ว่าโมเลกุลที่มาชนทั้งหมดที่ผนังจะมีอุณหภูมิ  $T_A$  ขณะที่ความดันรอบๆ  
ของลวดนั้นมีค่าเพิ่มขึ้น ระยะ (mean free path) จะลดลงจนกระทั่งมีค่าน้อยกว่าเส้นผ่านศูนย์กลาง  
ของลวด  $d$  ภายใต้เงื่อนไขนี้โมเลกุลมากมายจะวิ่งกลับไปทีลวดอย่างรวดเร็วหลังจากที่มันออกไปดังนั้น  
จึงใช้สมการข้างบนนี้ไม่ได้ โดยการส่งผ่านความร้อนต่อหน่วยเวลานี้จะไม่ขึ้นกับความดันโดยดั่ง  
สมการข้างบนนี้เป็นการประมาณความถูกต้องภายใต้เงื่อนไข ความยาวคลื่น  $> d$  ดังนั้น สำหรับ  
ก๊าซไนโตรเจนกับลวดชนิดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง  $0.01 \text{ mm}$  ความดันจะมีขีดจำกัดที่  $0.7$  มิลลิบาร์

จากสมการข้างบนจะเห็นว่าการถ่ายเทความร้อนของลวดที่มาจากความดันจะแปรผกผัน  
กับ square root ของมวลโมเลกุล ( $m$ ) ซึ่งมันจะขึ้นอยู่กับ  $k$  ซึ่งมันจะเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ  
ของก๊าซและการนำที่ผิวของลวด

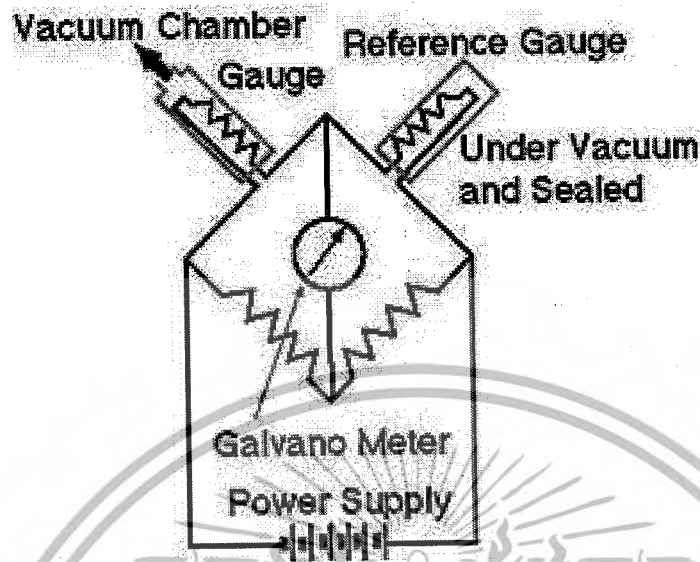
ขณะที่เกิดการส่งผ่านความร้อนโดยก๊าซจะมีค่าเฉลี่ยของความดันที่ได้จากการวัดโดย  
พีรานีเกจ ซึ่งมีสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนของลวด 3 อย่าง คือ การแผ่รังสีความร้อน  
(radiation) การพาความร้อน (convection) และ การนำความร้อน (conduction) ส่งผ่านตลอด  
โลหะ (lead) จนถึงปลายของลวด อย่างไรก็ตาม การการแผ่รังสีความร้อน และการนำความร้อน  
ที่ส่งผ่านในโลหะนั้นจะไม่ขึ้นกับความดัน โดยการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากการการแผ่รังสีความร้อน  
เป็นส่วนสำคัญอีกประการหนึ่งที่ทำให้วัดความดันได้  $10^{-5}$  มิลลิบาร์ การนำความร้อนจะมีค่า  
น้อยมากเมื่อลวดมีขนาดเล็กมาก อีกอย่างหนึ่งเมื่อลวดมีขนาดเล็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงก็คือมัน  
จะไม่คงที่ ซึ่งเกิดจากการสั่นสะเทือนที่เพิ่มขึ้นจากการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างก๊าซและขดลวด  
ซึ่งปัจจัยทั้ง 2 ส่งผลให้พีรานีเกจสามารถความดันได้แค่  $10^{-4}$  มิลลิบาร์



รูปที่ 2.3 Heat transfers regimes for a thermal conductivity gauge

ขีดจำกัดในการวัดอีกอย่างหนึ่ง คือความแน่นอนของความดันอิมิตัวของการนำความร้อน สิ่งที่น่าทึ่งขึ้นของ knudsen number ที่  $10^2$  ในรูป 2.3 เป็นผลมาจากการนำความร้อนจึงทำให้มีขีดจำกัดในการวัดแค่  $10^2$  มิลลิบาร์ อย่างไรก็ตามการออกแบบแก้ไขจะทำให้สามารถวัดได้สูงขึ้นไปถึง  $10^3$  mbar โดยเกจตัวแรกเป็นความคิดของ Granville-Phillips ในปี 1977 และมีการแก้ไขต่อมาจากความประสบความสำเร็จในการสร้างพีรานีเกจซึ่งมีรูปร่างเป็นหลอดแก้วเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm มี ยาง(O-ring) หรือ greased cone ในการเชื่อมต่อกับระบบสุญญากาศ โดยหลอดขนาดเล็กสร้างมาจาก ทังสเตน(tungsten) ,นิเกิล(nickel) หรือ แพลทินัม(platinum) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.05-0.1 mm เป็นเกลียวในแกนยาว 8-10 mm และแกนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-2 mm ความยาวรวมของหลอดประมาณ 10-30 เซนติเมตร หลอดจะอยู่ในส่วนปิดที่ต่อเข้ากับสุญญากาศ หลอดจะทำปฏิกิริยากับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงและจะถูกเชื่อมต่อกับวงจรวีตสโตนบริดจ์ บริดจ์ที่ใช้จะมีความต่างศักย์จากแหล่งกำเนิดที่คงที่ และบริดจ์จะสมดุลเมื่อปรับความต้านทานปรับค่าได้ ค่า M ที่อ่านได้เป็น 0 เมื่อความดันเพิ่มขึ้นบริดจ์ก็จะไม่สมดุลสัญญาณที่ออกมาจะสัมพันธ์กับความดัน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของเกจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 Section through a Pirani a Pirani gauge head and Basic Pirani gauge control circuit

ประโยชน์ที่ได้จากจากพิรานีเกจ หัวจะเกิดการสูญเสียเมื่อสกปรกจากไอน้ำและน้ำมัน จึงไม่ควรเปิดพิรานีเกจออกมาจากระบบสุญญากาศและควรจะมีการป้องกันเมื่อเปิดออก พิรานีเกจ จะทำปฏิกิริยากับความดันที่เปลี่ยนแปลง พิรานีเกจจะไม่เหมาะสมกับการวัดความดันในช่วงกว้าง เกจวัดความดันแบบพิรานีนี้นั้นมีราคาไม่แพงมากนัก และมีความแม่นยำในการวัดประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ที่จุดปรับเทียบและประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ในช่วงการทำงาน

## 2.6 วงจรบริดจ์ (Bridge Circuit)

วงจรบริดจ์ทำหน้าที่แปลงค่าความต้านทานให้อยู่ในรูปของแรงเคลื่อนไฟฟ้าโดยคุณสมบัติของวงจรบริดจ์มีดังนี้ คือ

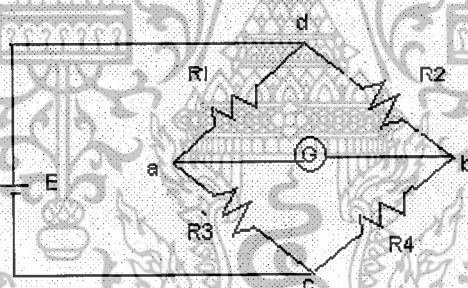
1. ให้แรงเคลื่อนทางด้านเอาต์พุตเป็นเชิงเส้น
2. สามารถปรับแรงเคลื่อนสมดุลได้
3. สามารถกำหนดความละเอียดของสัญญาณเอาต์พุตได้จากการใช้ตัวต้านทานที่มีความละเอียดได้โดยตรง
4. จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าของอิมพีแดนซ์ทางเอาต์พุต
5. นิยมใช้กับการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ที่มีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรวัดค่าทำงานบนหลักการในการชี้ค่าศูนย์ (null-indicator) กล่าวคือหากวงจรมอดูลการชี้ค่าก็จะเป็นอิสระต่อการปรับแต่งอุปกรณ์ชี้ค่า หรือคุณสมบัติใดๆของมัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีความแม่นยำ (accuracy) ที่สูงมาก ข้อได้เปรียบของวงจรวัดค่าอยู่ที่สามารถออกแบบให้มีการผลิตค่าแรงเคลื่อนเปลี่ยนแปลงรอบๆค่าศูนย์ได้ หมายถึงทำให้เราสามารถเพิ่มแรงเคลื่อน เพื่อเพิ่มความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์

โดยปกติเราจะใช้วงจรวัดค่าเป็นวงจรรวม โดยให้แขนหนึ่งของวงจรวัดค่าให้เป็นจุดติดตั้งเซ็นเซอร์ ซึ่งมีคุณสมบัติในการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ตัวเซ็นเซอร์ที่ใส่เข้าไปจะนำไปใช้ในการวัดตัวแปรทางกายภาพ เช่น อุณหภูมิ ความดันทางกล เป็นต้น

วงจรวัดค่าเป็นวงจรที่ประกอบด้วยด้าน 4 ด้านของความต้านทานที่ต่อถึงกัน ซึ่งจัดเป็นวงจรวัดค่า (network) ประเภทหนึ่งโดยมี 2 ขั้วสำหรับต่อกับส่วนประกอบที่วัด และมีอีก 2 ขั้วสำหรับต่อกับตัวตรวจวัด (detector) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะของวงจรวัดค่า

การตั้งเครื่องจะใช้การปรับเทียบเพื่อให้เกิดความสมดุลก่อน เพื่อวัดปริมาณที่ไม่ทราบค่า โดยการเปรียบเทียบกับปริมาณอ้างอิงที่ทราบค่าเป็นมาตรฐาน การแสดงค่าความสมดุลจะแสดงโดยเข็มชี้ของเครื่องมือวัดที่ชี้ค่าที่ตำแหน่งศูนย์พอดี ค่าที่อ่านได้จะอยู่ในรูปปริมาณอ้างอิงที่ทราบค่า

### วงจรวัดค่าโตนบรีดจ์ (Wheatstone Bridge)

วงจรวัดค่าที่ใช้งานกันมากคือวงจรวัดค่าโตนบรีดจ์แบบกระแสดวงจรวัดค่ารูปที่ 2.5 ในวงจรมี

แหล่งจ่ายแรงเคลื่อนกระแสตรงคร่อมตัวต้านทานในวงจรเพื่อให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน เราจึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถจะตรวจจับความสมดุล (null detector) ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าที่จุด a และ b นั้นเอง ในระบบสมัยใหม่ตัวตรวจจับจะมีค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านอินพุตที่สูงมาก

ความต่างศักย์ไฟฟ้า  $\Delta V$  ระหว่าง a และ b จะมีค่าเป็น

$$\Delta V = V_a - V_b \quad (1)$$

เมื่อ  $V_a$  = ศักย์ไฟฟ้าที่จุด a เมื่อเทียบกับ c

$V_b$  = ศักย์ไฟฟ้าที่จุด b เมื่อเทียบกับ c

ค่าของ  $V_a$  และ  $V_b$  สามารถหาได้โดยคิดว่า  $V_a$  เป็นตัวที่สามารถปรับได้โดยค่า E ซึ่งถูกแบ่งระหว่าง  $R_1$  และ  $R_3$

$$V_a = \frac{ER_3}{R_1 + R_3} \quad (2)$$

ในลักษณะเดียวกันนี้  $V_b$  ก็จะถูกแบ่งแรงเคลื่อนออกเป็น

$$V_b = \frac{ER_4}{R_2 + R_4} \quad (3)$$

เมื่อ E เป็นแหล่งจ่ายแรงเคลื่อน

ในขณะนี้ หากเรารวมสมการที่ (1) (2) (3) แรงเคลื่อนแตกต่างหรือ (voltage offset) ก็สามารถเขียนได้เป็น

$$V_a - V_b = \frac{ER_3}{R_1 + R_3} - \frac{ER_4}{R_2 + R_4} \quad (4)$$

โดยใช้หลักการทางพีชคณิต เราสามารถลดสมการลงเหลือเป็น

$$\Delta V = E \frac{R_3 R_2 - R_1 R_4}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} \quad (5)$$

ในสมการที่ (5) แสดงให้เห็นว่าความแตกต่างของศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเซ็นเซอร์เป็นฟังก์ชันของแรงเคลื่อนที่จ่ายและตัวต้านทาน ค่าสมดุลสุดท้ายที่สรุปได้จากสมการที่ (5) จึงเป็น

$$R_3 R_2 = R_1 R_4$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์

### 2.7.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Unit) เรียกสั้นๆว่า MCU คืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กประเภทวงจรรวม (IC: Intergrated Circuit) ภายในบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ คือได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำและพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักที่สำคัญของคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ถูกคิดค้นและพัฒนาขึ้นโดยบริษัทไมโครชิป เป็น MCU ที่มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard Architecture) คือมีการแยกส่วนของหน่วยความจำ ข้อมูลและรีจิสเตอร์ออกจากหน่วยความจำโปรแกรม ทำให้ไซเคิลการทำงานลดลง เนื่องจากสามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ส่วนการกระทำคำสั่งจะใช้แบบ ไปป์ไลน์ (Pipeline) คือขณะที่กำลัง Execute คำสั่งปัจจุบันก็สามารถ Fetch คำสั่งถัดไปได้ด้วย โครงสร้างภายใน

PIC คือ microcontroller อีกตระกูลหนึ่ง ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่ง concept ของเจ้า microcontroller ตระกูลนี้ก็คือ พยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของมันไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMROY, RAM, EEPROM, SERIAL, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผลรวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้มันเหมือนกัน CPU ตัวหนึ่งเลยทีเดียว

#### PIC16F877 (FLASH MCUs)

เป็น PIC ที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้โดยมีลักษณะต่างๆดังนี้

- มีคำสั่งในภาษา assembly 35 คำสั่ง
- มี I/O, มี Timer มากกว่า 1 ตัว, Watch dog, I2C, USART, SPI, PWM
- มี A/D ขนาด 10 bits
- มี Program memroy เป็นแบบ Flash ทำให้สามารถโปรแกรมใหม่ได้หลายครั้ง
- มี EEPROM ภายใน

### 2.7.2 บอร์ด CP-PIC ที่ใช้ในงานวิจัย

#### ลักษณะโดยทั่วไป

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ เป็นบอร์ดที่ออกแบบไว้ใช้งานกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC โดยจะสามารถใช้ได้กับเบอร์ 16F877-20P, 18F442 และ 18F458 หรือเบอร์อื่นๆที่มีโครงสร้างและตำแหน่งขาสัญญาณเหมือนกันโดย CPU แต่ละเบอร์ก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

ซึ่งสามารถสรุปคุณสมบัติของ CPU แต่ละเบอร์อย่างคร่าวๆดังตารางข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC

DEVICE	Program Memory	Data Memory		CAN Module	I/O (Bit)	OSC max (MHz)	Timers	PLL
	Flash	RAM (Byte)	EEPROM (Byte)					
PIC 16F877	8K(14-Bit	368	256	NO	33	20MHz	3	NO
PIC 18F442	Words)	768	256	NO	34	40MHz	4	YES
PIC 18F458	16 Kbyte 32 Kbyte	1536	256	YES	34	40MHz	4	YES

### การจัดสรร I/O ของบอร์ด CP-PIC V3.0

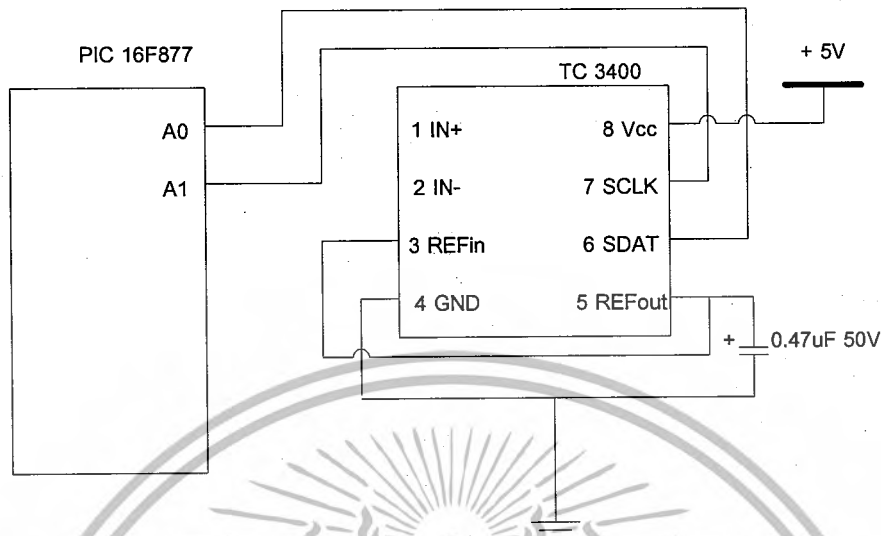
RA0 และ RA1 ขาสัญญาณเหล่านี้นอกจากจะใช้งานเป็น I/O ปกติได้แล้วยังทำหน้าที่เป็นขาอินพุตของสัญญาณอนาล็อกอีกด้วย ดังนั้นเราจึงต่อสายสัญญาณเหล่านี้เข้ากับขั้วต่อของ TC3400 เพื่อใช้ในการรับสัญญาณดิจิตอล

RB0-RB7 สำหรับขาสัญญาณเหล่านี้จะสามารถใช้งานเป็น I/O ได้ปกติ แต่จะมีคุณสมบัติพิเศษคือจะมีวงจรมีวจรพูลอัพ (Pull-UP) ภายในและได้ต่อกับ 7-segment

RD0-RD3 สำหรับขาสัญญาณเหล่านี้จะต่อเข้ากับ common ของ 7-segment 4 หลัก ทำหน้าที่เป็นการสั่งงานให้ 7-segment แสดงหลักต่างๆ

### 2.7.3 A/D Converter

Analogue to Digital Converter (A/D Converter) เครื่องมือสำหรับแปลงสัญญาณแบบอนาล็อก ให้เป็นแบบดิจิตอล : ตัวย่อ A/D Converter หรือ ADC ในการทำงานเราใช้ IC TC3400 เป็น ADC ขนาด 16 บิต



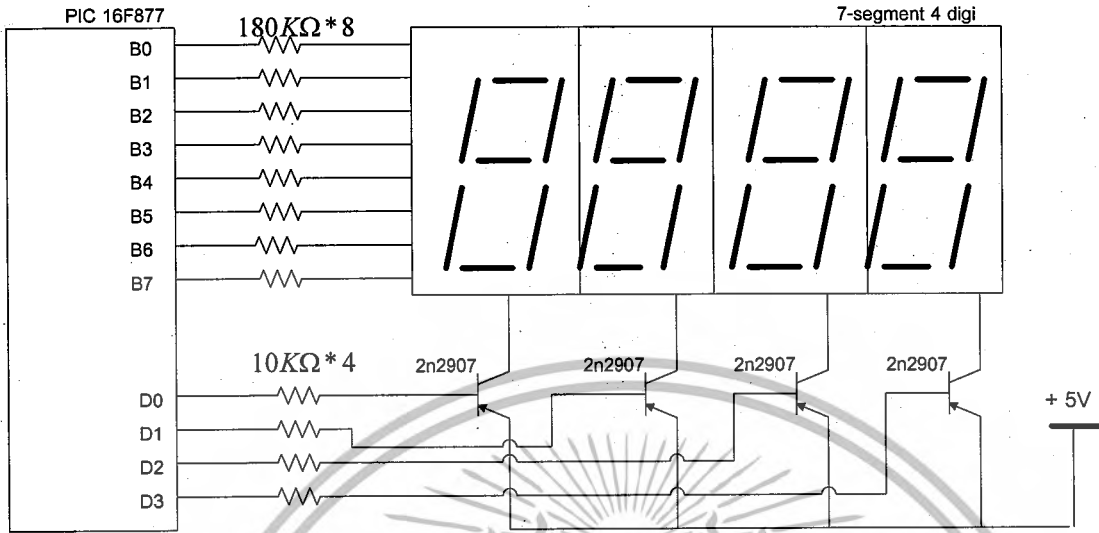
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของ IC TC3400

#### คุณสมบัติ

1. มีความละเอียดสูงสุด 16 บิต ต่อวินาที และ ปรับได้ถึง 10 บิต ต่อวินาที
2. ใช้แรงดันไฟฟ้าทำงานที่ 1.8 -5.5 V และทำงานที่พลังงานต่ำเพียง 260 mA และขณะไม่ใช้งาน 0.75 uA
3. ใช้การส่งข้อมูล แบบ microPort™ Serial Bus Requires only two interface Lines
4. ใช้ความต่างศักย์เปรียบเทียบ ได้ทั้งภายในและภายนอก
5. มีระบบอัตโนมัติเพื่อเข้าโหมดไม่ใช้งาน

#### 2.7.4 7-Segment

7-Segment ขนาด 4 digit ขับกระแสโดยตรง แบบอาโนดร่วม(common Anode) ใช้ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 ใช้ข้อมูลขนาด 8 บิต ผ่านทาง port b และ ใช้ port d ในการเลือก digit ต่างๆ

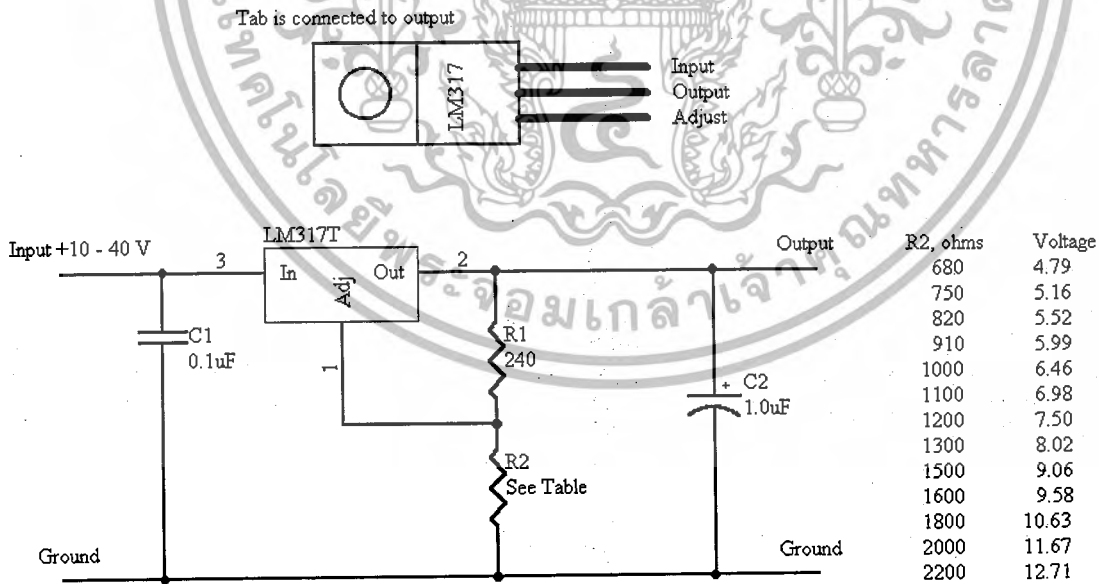


รูปที่ 2.7 แสดงรูป 7-segment ที่ใช้ Display

2.7.5 วงจร Regulators

ใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้า 16 โวลต์ เป็น 3 โวลต์ เพื่อนำใช้งานในวงจร

วัดสโตนปริดจ์



รูปที่ 2.12 แสดงวงจร Regulators

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและสร้างเกจวัดความดันสัญญาณภาคชนิดพีรานีเกจ เกิดจากการสังเกตว่าในประเทศไทยไม่มีการสร้างเกจวัดความดันสัญญาณภาคชนิดพีรานีเกจขึ้นมาใช้ทั้งๆที่หลักการในการทำและการตรวจวัดของเกจชนิดนี้ค่อนข้างง่าย จึงทำการวิจัยนี้เพื่อหาวัสดุอุปกรณ์เพื่อนำมาสร้างเกจชนิดนี้ได้ง่ายและทำการตรวจดูความแม่นยำในกรณีวัดของเกจพีรานีที่ได้สร้างขึ้น ซึ่งจะได้แบ่งรายละเอียดการออกแบบและทำการวิจัยเป็นส่วนต่างๆดังต่อไปนี้

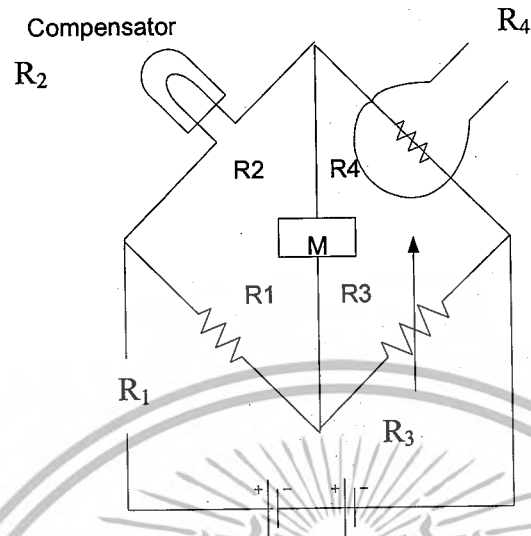
#### 3.1 ขั้นตอนศึกษาเกจวัดความดันสัญญาณภาคชนิดพีรานีเกจ

ทำการศึกษาค้นคว้าและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเกจวัดความดันสัญญาณภาคชนิดพีรานีเกจความเป็นมาและลักษณะของพีรานีเกจความดันสัญญาณวงจรวีตสโตนบริดจ์ การนำความร้อน การพาความร้อน รวมทั้งเกจที่ใช้วัดความดันสัญญาณแบบต่างๆ ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน เพื่อที่จะนำมาใช้เป็นแนวทางและข้อมูลในการศึกษาในขั้นตอนต่อไป

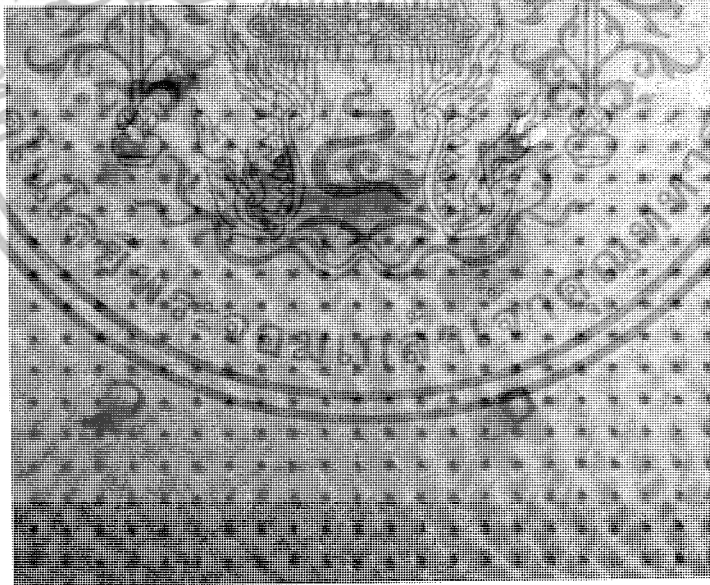
#### 3.2 ขั้นตอนการสร้างส่วนประกอบของวงจรวีตสโตนบริดจ์

ในการวิจัยนี้ได้ใช้การวัดความดันสัญญาณภาคชนิดพีรานีเกจซึ่งต้องอาศัยหลักการของวงจรวีตสโตนบริดจ์แบบกระแสตรงในการวัดความดันโดยวงจรจะมีแหล่งจ่ายแรงเคลื่อนกระแสตรงคร่อมตัวต้านทานในวงจรเพื่อให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน เราจึงสามารถจะตรวจจับความสมดุลได้โดยการตรวจจับแรงเคลื่อน ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบศักย์ไฟฟ้าที่จุด a และ b โดยในการวิจัยนี้จะใช้หลักการนี้มาวัดความต่างศักย์ที่เปลี่ยนไป เมื่อเรานำความต้านทานด้านหนึ่งของวงจรบริดจ์เข้าไปในระบบสัญญาณ ดังรูป เราใช้

- $R_1$  เป็นความต้านทาน 100 โอห์ม 1%
- $R_3$  เป็นความต้านทานปรับค่าได้ 100 โอห์ม
- $R_2$  เป็นหลอดไฟ (multiplex) ที่มีความต้านทาน 13.4 โอห์ม และ 29 โอห์ม 12 โวลต์
- $R_4$  เป็นหลอดไฟ (multiplex) ที่มีความต้านทาน 13.4 โอห์ม และ 29 โอห์ม 12 โวลต์ ที่หุบให้กระแสที่ครอบแตก เหลือแต่หลอดที่เป็นไส้หลอด โดยจะนำส่วนนี้เข้าไปในระบบสัญญาณ



รูปที่ 3.1 รูปวงจรวัดสโตนบริดจ์



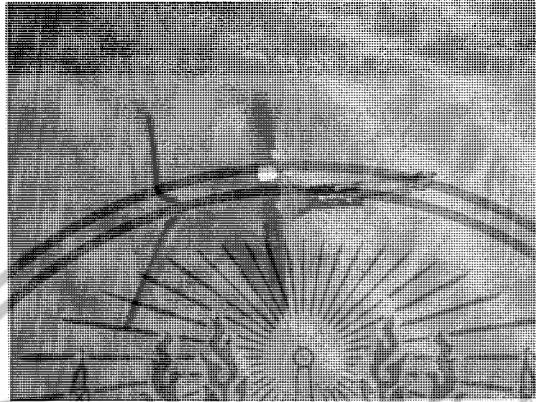
รูปที่ 3.2 รูปวงจรวัดสโตนบริดจ์ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ คือ

1. ไม้หลอด (multiplex) ที่ทุบกระเปาะครอบออกแล้ว ใช้เป็นหัวแก้ววัดความดันสุญญากาศ



รูปที่ 3.3 หัววัดความดันของพีรานีเกจ

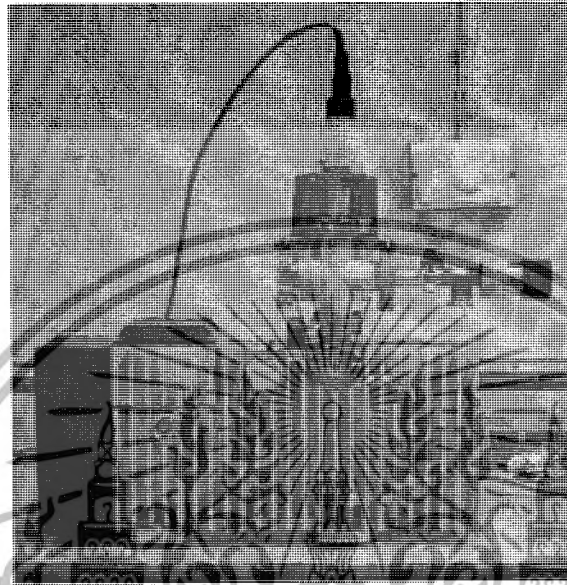
2. เกจพีรานี ใช้เป็นหัววัดความดันเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.4 เกจพีรานีที่ใช้เปรียบเทียบ

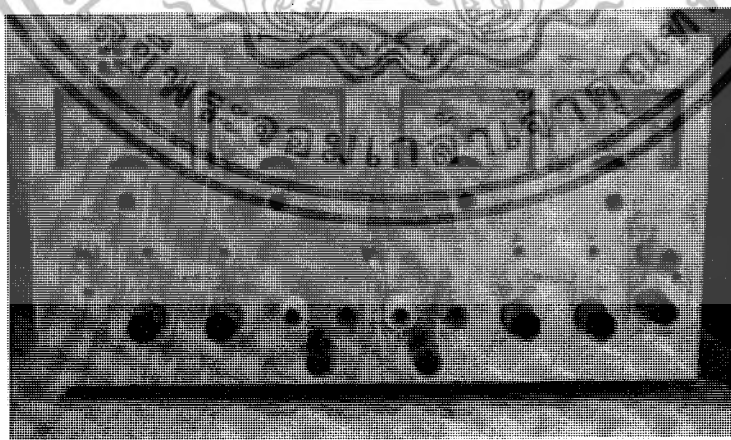
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปั๊มกลโรตารี (Rotary pump) ใช้สร้างความดันสุญญากาศและความดันที่ต้องการวัดในช่วงต่างๆ



รูปที่ 3.5 ปั๊มกลโรตารี (Rotary pump)

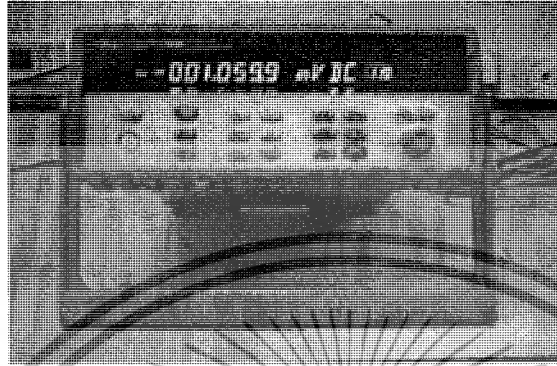
4. Power supply ให้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่ วงจรบริดจ์



รูปที่ 3.6 Power supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โวลต์มิเตอร์ ใช้วัดความต่างศักย์จากวงจรวีตสโตนบริดจ์



รูปที่ 3.7 โวลต์มิเตอร์

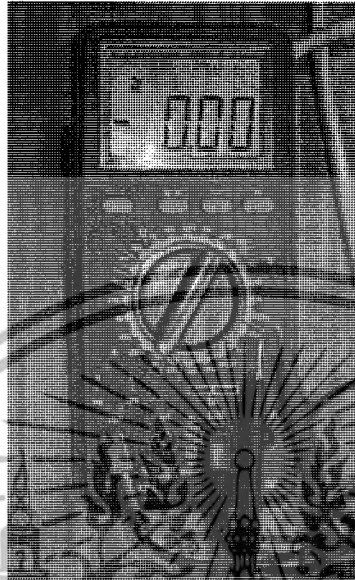
6. Display for vacuum (Balzers TPG 300) แสดงค่าความดันที่วัดได้จากเกจพิรานีอ้างอิง (Pirani Gauge Reference)



รูปที่ 3.8 Display for vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. โห้หมีเตอรื ใช้วัดค่าความต้านทานที่ของหลอด multiplex และความต้านทานของตัวต้านทาน



รูปที่ 3.9 โห้หมีเตอรื

### 3.4 ขั้นตอนการวิจัย

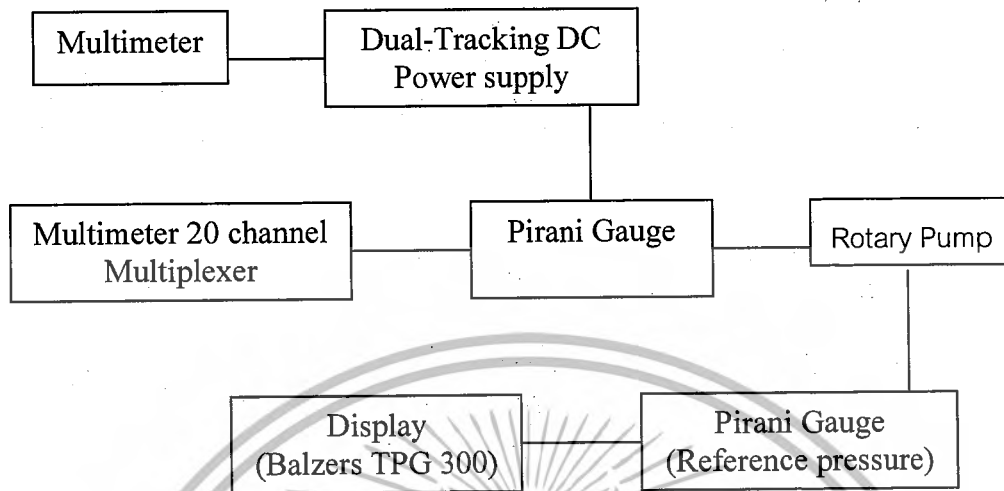
เป็นการนำข้อมูลที่ได้ศึกษามาทดลอง และนำผลที่ได้จากการทดลองนี้ไปวิเคราะห์ เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้ศึกษามาว่ามีความถูกต้องหรือไม่ โดยในขั้นตอนนี้เราจะทำการทดลองเพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรและความต้านทานของหลอด (multiplex) ที่ทำให้ค่าความต่างศักย์ที่ออกมาจากวงจรวิตสโตนบริดจ์ที่ค่าความดันต่างๆมีความเสถียรและถูกต้องที่สุดและเพื่อหาค่าดิฟเฟอเรนเชียลและค่าความต่างศักย์ที่ได้จากการประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้เปรียบเทียบหาค่าความดันต่อไป โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

#### 3.4.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัยเพื่อหาค่าความต้านทานของไส้หลอด multiplex และค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรที่เหมาะสม

โดยในขั้นตอนนี้เราจะทำการทดลองเพื่อหาค่าความต้านทานของหลอด multiplex ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรที่ทำให้ค่าความต่างศักย์ออกมาจากวงจรวิตสโตนบริดจ์ที่ค่าความดันต่างๆมีความเสถียรและถูกต้องที่สุดโดยมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

##### 3.4.1.1 การจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง จะจัดวางอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 รูปแสดงการจัดวางอุปกรณ์



รูปที่ 3.12 รูปแสดงการจัดอุปกรณ์ในการทดลอง

3.4.1.2 ตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าไว้ที่ 3 โวลต์ และจ่ายให้กับวงจรวีตสโตนบริดจ์ ใช้ความต้านทานไล่หลอด 13.4 โอห์ม

3.4.1.3 ปรับความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ที่วงจรวีตสโตนบริดจ์จนความต่างศักย์ที่วัดจากวงจรมีค่าเป็น 0 โวลต์ (บริดจ์สมดุล) ที่ความดันบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

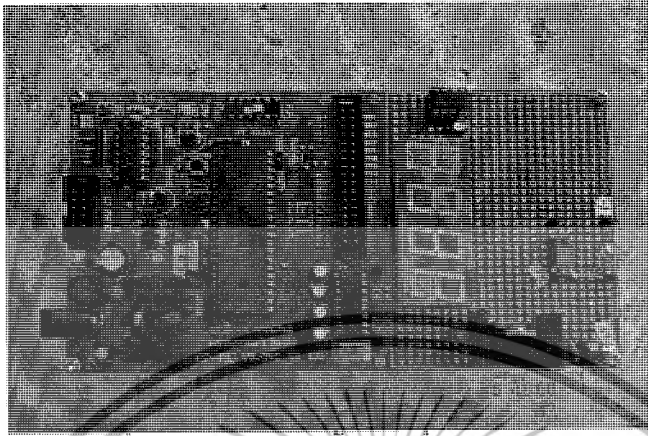
- 3.4.1.4 เปิดปุ่มกลโรตารีแล้วทิ้งไว้สักครู่จนปุ่มรักษาสภาพความเป็นสุญญากาศคงที่
- 3.4.1.5 หมุนวาล์วจนทำให้ความดันมีค่าน้อยที่สุด แล้วทำการวัดค่าความต่างศักย์ของ วงจร บันทึกลง
- 3.4.1.6 ปรับความดันเพิ่มขึ้นทุกๆ 1 mbar พร้อมทั้งบันทึกค่าความต่างศักย์จนไม่สามารถ เพิ่มความดันได้อีก
- 3.4.1.7 ทำซ้ำข้อ 3.4.5-3.4.6 อีก 3 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย
- 3.4.1.8 ทำซ้ำขั้นตอนทั้งหมดแต่เปลี่ยนค่าความต้านทานของไส้หลอด (multiplex) เป็น 29 โอห์ม
- 3.4.1.9 ทำซ้ำขั้นตอนทั้งอีกครั้งหมดจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจร เป็น 5 โวลต์ และ 7 โวลต์ตามลำดับ
- 3.4.1.10 นำค่าที่ได้จากการทดลองไปพล็อตกราฟ ระหว่างความดันสุญญากาศกับความ ต่างศักย์ที่วัดได้จากวงจร
- 3.4.1.11 วิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้
- 3.4.1.12 เมื่อได้ค่าความต้านทานของไส้หลอด multiplex แล้วก็นำไส้หลอดนั้นมาเป็น หัววัดก็ทำการทดลองซ้ำข้อ 3.4.1.1-3.4.1.7 แต่ใช้แรงดันไฟฟ้า เป็น 1.5, 2, 3, 4, 5 และ 7 โวลต์ ตามลำดับ
- 3.4.2 **วิธีดำเนินการวิจัยเพื่อหาค่าดิจิตอลไปใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ในการ ประมวลผลเป็นค่าความดันออกมาทาง 7-segment**

หลังจากการดำเนินการวิจัยที่ 3.4.1 เสร็จแล้วเราก็จะทำการพิจารณาค่าความต้านทาน ของหลอดไฟ (multiplex) ที่จะใช้และก็เลือกความต้านทานและแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมจากผลการ ดำเนินการวิจัยที่ 3.4.1 แล้วมาดำเนินการวิจัยเพื่อนำผลจากการดำเนินการวิจัยในส่วนนี้เพื่อหาค่า ดิจิตอล ไปใส่ในโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลและแสดงค่าออกมาเป็นความดันที่ 7-segment ต่อไป ซึ่งขั้นตอนการวิจัยมีดังนี้

- 3.4.2.1 นำไส้หลอด (multiplex) ที่มีค่าความต้านทานที่เหมาะสมมาใช้เป็นหัววัด
- 3.4.2.2 เมื่อได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมที่จ่ายให้กับวงจรบริดจ์แล้วก็สร้างวงจร แปลงแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้แปลงแรงดันไฟฟ้า 16 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ
- 3.4.2.3 ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC 16F877) เพื่อใช้ในการประมวลผล และแสดงผล
- 3.4.2.4 ศึกษาการแปลงค่าอนาลอกเป็นดิจิตอลเพื่อใช้ในการแปลงค่าความต่างศักย์

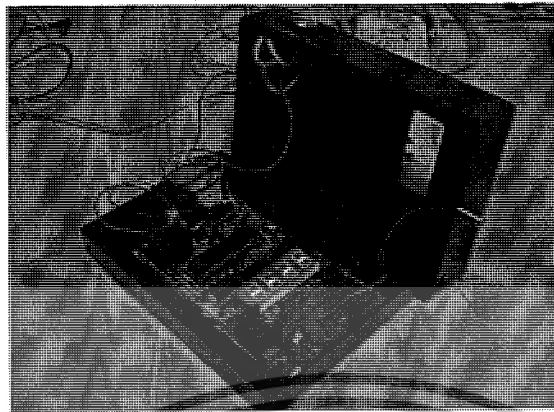
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทน เมื่อมีผู้ยืมให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.2.5 ต่อดวงจรทั้งหมดรวมกัน



รูปที่ 3.13 แสดงวงจรทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัย

- 3.4.2.6 เปิดปั๊มกลโรตารีแล้วทิ้งไว้สักครู่จนปั๊มรักษาสภาพความเป็นสุญญากาศคงที่
- 3.4.2.7 หมุนวาล์วจนทำให้ความดันมีค่าน้อยที่สุดแล้วทำการวัดค่าความต่างศักย์และค่าดิจิตอลของวงจร บันทึกผล
- 3.4.2.8 ปรับความดันเพิ่มขึ้นทุก ๆ 1 mbar พร้อมทั้งบันทึกค่าความต่างศักย์และค่าดิจิตอลที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์
- 3.4.2.9 ทำซ้ำจากข้อ 3.5.6-3.5.8 อีก 10 ครั้งแล้วเฉลี่ย
- 3.4.2.10 นำค่าที่ได้จากการทดลองไปลงในโปรแกรมเพื่อประมวลผลแล้วแสดงค่าความดันที่ประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ออกทาง 7-segment
- 3.4.2.11 ประกอบส่วนต่างๆของเครื่องวัดความดันสุญญากาศชนิดพีรานีเกจออกมาเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ได้



รูปที่ 3.14 พีรานีที่ประกอบส่วนต่างๆ

3.4.2.12 เปรียบค่าที่ได้จากการวัดด้วยเครื่องมือที่ประกอบขึ้นกับพีรานีเกจที่ใช้อ้างอิง เพื่อดูค่าความผิดพลาดของเครื่องมือ

### 3.5 วิธีดำเนินการวิจัยในขั้นตอนการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำข้อมูลและผลการทดลองที่ศึกษาได้ทั้งหมดมาวิเคราะห์ผลแล้ว สร้างเครื่องมือและแก้ไขปรับปรุงต่อไป

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและอภิปรายผล

จากที่กล่าวในตอนต้นแล้วว่าในการศึกษาเกจวัดความดันสุญญากาศชนิดพีรานีเกจ จะแบ่งส่วนการศึกษาโดยส่วนแรกเราจะทำการศึกษาค่าความต้านทานของหีววัดและแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรที่เหมาะสม ในส่วนที่สองเราจะใช้ผลจากการศึกษาส่วนแรกมาทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์และค่าดิจิตอลที่ได้จากการแปลงค่าอนาลอกเป็นดิจิตอล(ADC) เอาท์พุทจากวงจร เมื่อเราเปลี่ยนค่าความดันสุญญากาศ จากนั้นนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับความดันสุญญากาศที่ปรับค่าไป เพื่อให้ได้ช่วงของค่าดิจิตอลและค่าความดันสุญญากาศที่เหมาะสม เพื่อนำไปใช้ในโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการวัดความดันสุญญากาศ และโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เปรียบเทียบค่าที่ได้และแสดงความดันออกมาทาง 7-segment หลังจากนั้นก็เปรียบเทียบค่าที่ได้จากพีรานีที่เราศึกษาและสร้างขึ้นกับพีรานีเกจที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งผลการทดลองมีดังต่อไปนี้

4.1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัยเพื่อหาค่าความต้านทานของไส้หลอด multiplex และค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรที่เหมาะสม

#### ผลการทดลอง

จากการดำเนินการวิจัยได้ผลการวิจัยดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอพท์พุท

Pressure (mbar)	Voltage(V)				Pressure (mbar)	Voltage(V)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
0.002	0.7	0.7	0.693	0.697667	1	0.158	0.169	0.156	0.161
0.003	0.701	0.7	0.692	0.697667	2	0.08	0.085	0.08	0.081667
0.004	0.701	0.699	0.693	0.697667	3	0.046	0.052	0.046	0.048
0.005	0.7	0.698	0.689	0.695667	4	0.028	0.036	0.029	0.031
0.006	0.699	0.697	0.689	0.695	5	0.031	0.035	0.033	0.033
0.007	0.698	0.698	0.688	0.694667	6	0.037	0.039	0.038	0.038
0.008	0.697	0.697	0.687	0.693667	7	0.044	0.045	0.045	0.044667
0.009	0.696	0.695	0.689	0.693333	8	0.047	0.048	0.048	0.047667
0.01	0.696	0.694	0.688	0.692667	9	0.046	0.048	0.047	0.047
0.02	0.686	0.685	0.679	0.683333	10	0.045	0.047	0.04	0.044
0.03	0.672	0.672	0.663	0.669	20	0.038	0.041	0.031	0.036667
0.04	0.661	0.661	0.648	0.656667	30	0.03	0.033	0.028	0.030333
0.05	0.648	0.648	0.637	0.644333	40	0.027	0.029	0.025	0.027
0.06	0.636	0.638	0.622	0.632	50	0.023	0.027	0.025	0.025
0.07	0.627	0.623	0.609	0.619667	60	0.022	0.025	0.02	0.022333
0.08	0.618	0.618	0.604	0.613333	70	0.019	0.022	0.018	0.019667
0.09	0.609	0.608	0.594	0.603667	80	0.018	0.02	0.016	0.018
0.1	0.594	0.598	0.583	0.591667	90	0.017	0.019	0.014	0.016667
0.2	0.504	0.502	0.493	0.499667	100	0.016	0.02	0.012	0.016
0.3	0.403	0.405	0.397	0.401667	200	0.013	0.014	0.009	0.012
0.4	0.329	0.337	0.324	0.33	300	0.01	0.011	0.006	0.009
0.5	0.276	0.284	0.274	0.278	400	0.007	0.008	0.004	0.006333
0.6	0.242	0.248	0.237	0.245	500	0.003	0.005	0.003	0.003667
0.7	0.216	0.218	0.209	0.214333	600	0.002	0.002	0.002	0.002
0.8	0.194	0.2	0.189	0.194333	700	0.002	0.002	0.002	0.002
0.9	0.178	0.183	0.175	0.178667					

ที่แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์ (ความต้านทาน 13.4 โอห์ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท  
ที่แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ (ความต้านทาน 13.4 โอห์ม)

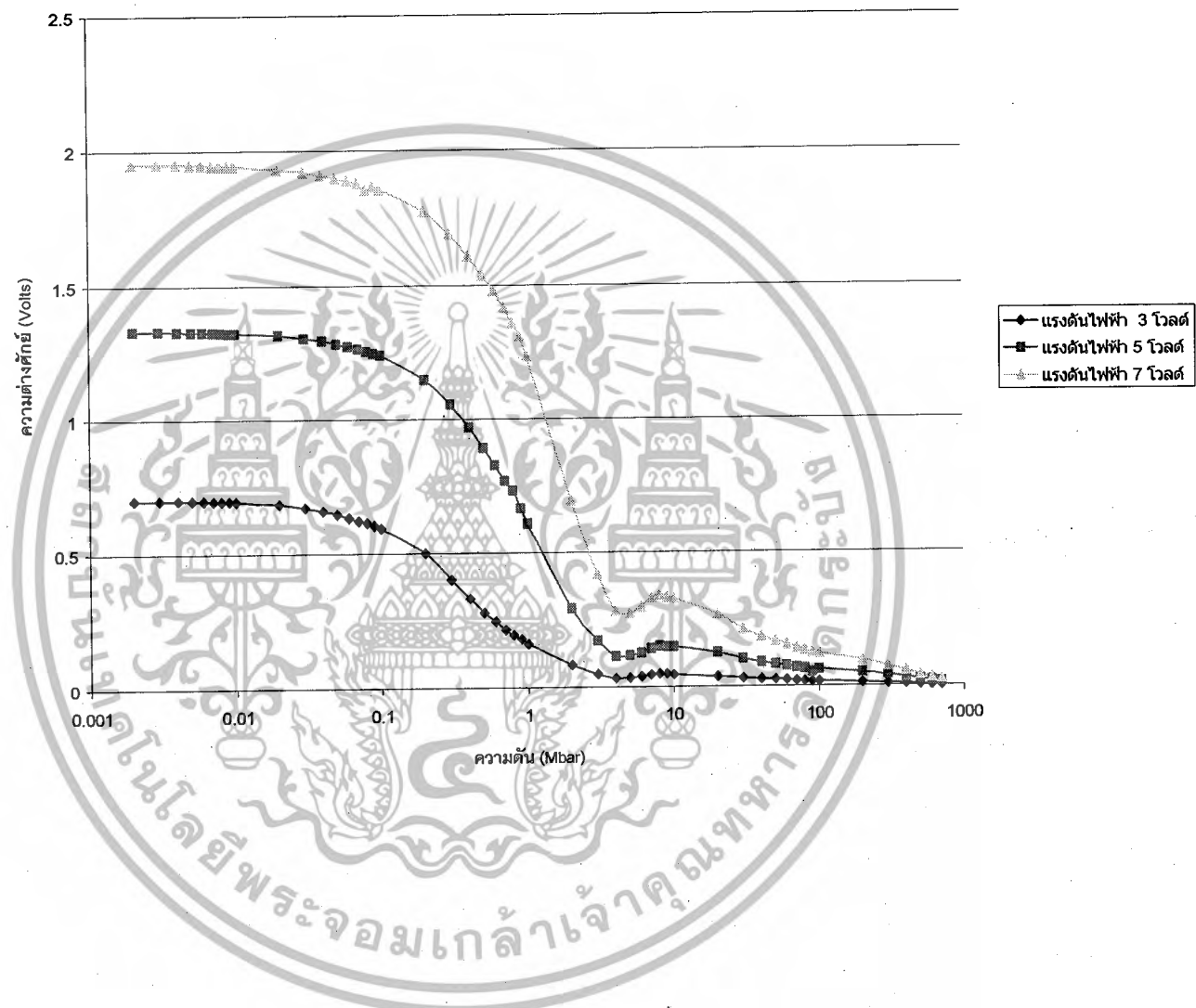
Pressure (mbar)	Voltage(V)				Pressure (mbar)	Voltage(V)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
0.002	1.331	1.333	1.334	1.332667	1	0.621	0.581	0.62	0.607333
0.003	1.331	1.334	1.333	1.332667	2	0.302	0.277	0.295	0.291333
0.004	1.33	1.332	1.332	1.331333	3	0.176	0.161	0.178	0.171667
0.005	1.329	1.328	1.331	1.329333	4	0.123	0.099	0.12	0.114
0.006	1.32	1.337	1.331	1.329333	5	0.116	0.11	0.122	0.116
0.007	1.319	1.335	1.329	1.327667	6	0.122	0.124	0.13	0.125333
0.008	1.318	1.332	1.328	1.326	7	0.136	0.144	0.144	0.141333
0.009	1.317	1.329	1.327	1.324333	8	0.146	0.152	0.152	0.15
0.01	1.316	1.329	1.326	1.323667	9	0.145	0.15	0.15	0.148333
0.02	1.305	1.318	1.327	1.316667	10	0.145	0.147	0.15	0.147333
0.03	1.292	1.308	1.314	1.304667	20	0.124	0.122	0.13	0.125333
0.04	1.282	1.3	1.304	1.295333	30	0.1	0.098	0.106	0.101333
0.05	1.27	1.287	1.292	1.283	40	0.089	0.086	0.093	0.089333
0.06	1.259	1.277	1.282	1.272667	50	0.079	0.078	0.086	0.081
0.07	1.25	1.269	1.272	1.263667	60	0.076	0.073	0.079	0.076
0.08	1.241	1.262	1.263	1.255333	70	0.068	0.066	0.071	0.068333
0.09	1.232	1.255	1.255	1.247333	80	0.063	0.064	0.066	0.064333
0.1	1.224	1.246	1.248	1.239333	90	0.031	0.058	0.063	0.050667
0.2	1.134	1.156	1.156	1.148667	100	0.058	0.059	0.064	0.060333
0.3	1.041	1.06	1.063	1.054667	200	0.049	0.046	0.052	0.049
0.4	0.95	0.973	0.976	0.966333	300	0.041	0.038	0.039	0.039333
0.5	0.882	0.897	0.892	0.890333	400	0.032	0.031	0.033	0.032
0.6	0.828	0.823	0.821	0.824	500	0.024	0.023	0.024	0.023667
0.7	0.767	0.761	0.767	0.765	600	0.017	0.017	0.018	0.017333
0.8	0.771	0.704	0.711	0.728667	700	0.013	0.013	0.014	0.013333
0.9	0.668	0.655	0.666	0.663					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท  
ที่แรงดันไฟฟ้า 7 โวลต์(ความต้านทาน13.4โอห์ม)

Pressure (mbar)	Voltage(V)				Pressure (mbar)	Voltage(V)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
0.002	1.951	1.952	1.945	1.949333	1	1.239	1.238	1.226	1.234333
0.003	1.952	1.952	1.944	1.949333	2	0.685	0.705	0.683	0.691
0.004	1.95	1.952	1.943	1.948333	3	0.397	0.451	0.407	0.418333
0.005	1.95	1.95	1.942	1.947333	4	0.244	0.334	0.268	0.282
0.006	1.948	1.95	1.942	1.946667	5	0.261	0.289	0.27	0.273333
0.007	1.947	1.945	1.94	1.944	6	0.285	0.299	0.303	0.295667
0.008	1.945	1.945	1.939	1.943	7	0.328	0.325	0.332	0.328333
0.009	1.945	1.944	1.938	1.942333	8	0.337	0.336	0.343	0.338667
0.01	1.943	1.943	1.936	1.940667	9	0.332	0.331	0.334	0.332333
0.02	1.932	1.933	1.925	1.93	10	0.323	0.331	0.329	0.327667
0.03	1.921	1.921	1.914	1.918667	20	0.261	0.276	0.264	0.267
0.04	1.911	1.91	1.903	1.908	30	0.204	0.22	0.213	0.212333
0.05	1.901	1.9	1.893	1.898	40	0.178	0.191	0.186	0.185
0.06	1.892	1.889	1.883	1.888	50	0.158	0.175	0.163	0.165333
0.07	1.882	1.881	1.874	1.879	60	0.15	0.157	0.157	0.154667
0.08	1.876	1.82	1.866	1.854	70	0.136	0.148	0.141	0.141667
0.09	1.869	1.864	1.86	1.864333	80	0.123	0.139	0.143	0.135
0.1	1.86	1.856	1.851	1.855667	90	0.126	0.127	0.119	0.124
0.2	1.781	1.77	1.768	1.773	100	0.117	0.131	0.11	0.119333
0.3	1.707	1.684	1.675	1.688667	200	0.091	0.099	0.096	0.095333
0.4	1.624	1.601	1.596	1.607	300	0.068	0.075	0.074	0.072333
0.5	1.552	1.532	1.526	1.536667	400	0.049	0.06	0.058	0.055667
0.6	1.491	1.47	1.468	1.476333	500	0.034	0.04	0.042	0.038667
0.7	1.43	1.411	1.409	1.416667	600	0.027	0.028	0.032	0.029
0.8	1.377	1.358	1.347	1.360667	700	0.02	0.029	0.025	0.024667
0.9	1.32	1.304	1.297	1.307					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่ความต้านทาน 13.4 โอห์ม

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท  
ที่แรงดันไฟฟ้า 1.5 โวลต์ (ความต้านทาน 29 โอห์ม)

Pressure (mbar)	Voltage(V)				Pressure (mbar)	Voltage(V)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
0.002	0.231	0.23	0.2278	0.2296	1	0.0317	0.0323	0.0431	0.0357
0.003	0.231	0.2299	0.2262	0.229033	2	0.0183	0.0189	0.0333	0.0235
0.004	0.231	0.2294	0.2249	0.228433	3	0.0096	0.0103	0.0267	0.015533
0.005	0.231	0.2282	0.2245	0.2279	4	0.005	0.0052	0.0205	0.010233
0.006	0.231	0.2275	0.2238	0.227433	5	0.0039	0.0048	0.0038	0.004167
0.007	0.231	0.2271	0.2222	0.226767	6	0.0062	0.0066	0.0061	0.0063
0.008	0.231	0.2258	0.2215	0.2261	7	0.009	0.0088	0.0088	0.008867
0.009	0.231	0.2254	0.2208	0.225733	8	0.0103	0.01	0.0098	0.010033
0.01	0.231	0.2244	0.22	0.225133	9	0.01011	0.01	0.0097	0.009937
0.02	0.231	0.2157	0.2113	0.219333	10	0.0103	0.0102	0.0095	0.01
0.03	0.231	0.2055	0.2007	0.2124	20	0.0083	0.0086	0.0077	0.0082
0.04	0.231	0.1977	0.1929	0.2072	30	0.0063	0.0066	0.0059	0.006267
0.05	0.231	0.1883	0.1818	0.200367	40	0.0054	0.0058	0.0048	0.005333
0.06	0.231	0.1802	0.1746	0.195267	50	0.004	0.0052	0.004	0.0044
0.07	0.231	0.173	0.1665	0.190167	60	0.004	0.0045	0.0034	0.003967
0.08	0.231	0.1663	0.1603	0.185867	70	0.003	0.0035	0.0029	0.003133
0.09	0.231	0.1605	0.1446	0.1787	80	0.003	0.0031	0.0022	0.002767
0.1	0.231	0.1553	0.139	0.1751	90	0.003	0.0025	0.0019	0.002467
0.2	0.231	0.1055	0.0981	0.144867	100	0.003	0.0031	0.002	0.0027
0.3	0.231	0.0766	0.0731	0.1269	200	0.001	0.0014	0.001	0.001133
0.4	0.231	0.06	0.0633	0.1181	300	0.001	0.0036	0.0001	0.001567
0.5	0.231	0.0508	0.0571	0.112967	400	0	0	0	0
0.6	0.231	0.0454	0.0529	0.109767	500	0	-0.0012	-0.0011	-0.00077
0.7	0.231	0.04093	0.0497	0.10721	600	0	-0.0019	-0.002	-0.0013
0.8	0.231	0.0368	0.0475	0.1051	700	0	-0.0025	-0.0025	-0.00167
0.9	0.231	0.0345	0.0453	0.1036					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท  
ที่แรงดันไฟฟ้า 2 โวลต์(ความต้านทาน 29 โอห์ม)

Pressure (mbar)	Voltage(V)				Pressure (mbar)	Voltage(V)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
0.002	0.587	0.5825	0.57753	0.582343	1	0.0818	0.08251	0.07465	0.079653
0.003	0.586	0.5807	0.5763	0.581	2	0.044	0.04559	0.04098	0.043523
0.004	0.586	0.5799	0.57544	0.580447	3	0.026	0.02833	0.02369	0.026007
0.005	0.585	0.57918	0.57469	0.579623	4	0.016	0.01915	0.01596	0.017037
0.006	0.585	0.57826	0.57407	0.57911	5	0.016	0.0208	0.017	0.017933
0.007	0.584	0.57715	0.57293	0.578027	6	0.018	0.0219	0.0198	0.0199
0.008	0.584	0.57576	0.57189	0.577217	7	0.022	0.02443	0.02256	0.022997
0.009	0.584	0.5747	0.57073	0.576477	8	0.024	0.02631	0.02367	0.02466
0.01	0.584	0.57366	0.56949	0.575717	9	0.023	0.02608	0.02346	0.02418
0.02	0.573	0.56168	0.55791	0.564197	10	0.023	0.02647	0.02297	0.024147
0.03	0.559	0.54711	0.54314	0.54975	20	0.02	0.02401	0.02246	0.022157
0.04	0.547	0.53346	0.53063	0.53703	30	0.017	0.0198	0.0185	0.018433
0.05	0.533	0.51795	0.516	0.525475	40	0.014	0.0177	0.01645	0.01605
0.06	0.52	0.50582	0.50169	0.50917	50	0.012	0.01605	0.01489	0.014313
0.07	0.509	0.49284	0.48909	0.496977	60	0.012	0.01554	0.014	0.013847
0.08	0.497	0.48122	0.47731	0.485177	70	0.01	0.01403	0.01222	0.012083
0.09	0.486	0.47214	0.46658	0.474907	80	0.011	0.01328	0.01294	0.012407
0.1	0.468	0.46	0.44868	0.458893	90	0.01	0.012	0.01198	0.011327
0.2	0.371	0.34108	0.32759	0.346557	100	0.009	0.01119	0.01112	0.010437
0.3	0.2508	0.23897	0.22569	0.238487	200	0.008	0.01002	0.00928	0.0091
0.4	0.1843	0.1754	0.1672	0.175633	300	0.007	0.00849	0.00801	0.007833
0.5	0.1463	0.14312	0.137	0.14214	400	0.005	0.00698	0.00597	0.005983
0.6	0.1247	0.12174	0.11757	0.121337	500	0.004	0.00504	0.00448	0.004507
0.7	0.1087	0.1078	0.10152	0.106007	600	0.003	0.00432	0.00389	0.003737
0.8	0.0974	0.09594	0.09237	0.095237	700	0.002	0.00323	0.00315	0.002793
0.9	0.0877	0.08888	0.08458	0.087053					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท  
ที่แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์(ความต้านทาน 29 โอห์ม)

Pressure (mbar)	Voltage(V)				Pressure (mbar)	Voltage(V)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
0.002	0.756	0.762	0.761	0.7596667	1	0.146	0.141	0.139	0.142
0.003	0.756	0.762	0.76	0.7593333	2	0.075	0.074	0.08	0.0763333
0.004	0.755	0.76	0.76	0.7583333	3	0.037	0.037	0.04	0.038
0.005	0.753	0.76	0.758	0.757	4	0.024	0.025	0.03	0.0263333
0.006	0.753	0.76	0.758	0.757	5	0.025	0.027	0.032	0.028
0.007	0.752	0.757	0.757	0.7553333	6	0.024	0.028	0.034	0.0286667
0.008	0.751	0.755	0.756	0.754	7	0.033	0.036	0.04	0.0363333
0.009	0.749	0.755	0.755	0.753	8	0.037	0.04	0.043	0.04
0.01	0.751	0.755	0.754	0.7533333	9	0.036	0.039	0.043	0.0393333
0.02	0.741	0.74	0.74	0.7403333	10	0.035	0.038	0.042	0.0383333
0.03	0.726	0.729	0.725	0.7266667	20	0.029	0.032	0.037	0.0326667
0.04	0.713	0.717	0.711	0.7136667	30	0.025	0.028	0.032	0.0283333
0.05	0.7	0.7	0.694	0.698	40	0.022	0.025	0.029	0.0253333
0.06	0.686	0.687	0.682	0.685	50	0.019	0.023	0.027	0.023
0.07	0.674	0.678	0.67	0.674	60	0.018	0.021	0.026	0.0216667
0.08	0.666	0.699	0.659	0.6746667	70	0.017	0.02	0.023	0.02
0.09	0.65	0.686	0.647	0.661	80	0.016	0.017	0.021	0.018
0.1	0.639	0.675	0.633	0.649	90	0.015	0.016	0.02	0.017
0.2	0.514	0.546	0.521	0.527	100	0.014	0.015	0.019	0.016
0.3	0.526	0.421	0.402	0.4496667	200	0.011	0.01	0.014	0.0116667
0.4	0.378	0.328	0.317	0.341	300	0.009	0.008	0.01	0.009
0.5	0.298	0.266	0.263	0.2756667	400	0.006	0.006	0.008	0.0066667
0.6	0.25	0.227	0.229	0.2353333	500	0.004	0.005	0.007	0.0053333
0.7	0.213	0.198	0.199	0.2033333	600	0	0.003	0.004	0.0023333
0.8	0.187	0.177	0.176	0.18	700	0	0.001	0.002	0.001
0.9	0.168	0.161	0.162	0.1636667					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอทโทพ  
ที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์(ความต้านทาน 29 โอห์ม)

Pressure (mbar)	Voltage(V)				Pressure (mbar)	Voltage(V)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
0.002	0.992	0.99	0.995	0.992333	1	0.337	0.337	0.3303	0.334767
0.003	0.991	0.991	0.996	0.992667	2	0.143	0.161	0.16335	0.155783
0.004	0.991	0.991	0.993	0.991667	3	0.07391	0.08271	0.08544	0.080687
0.005	0.993	0.987	0.994	0.991333	4	0.04513	0.05676	0.05855	0.05348
0.006	0.99	0.989	0.993	0.990667	5	0.03468	0.04937	0.05231	0.045453
0.007	0.99	0.987	0.993	0.99	6	0.04942	0.063471	0.07015	0.061014
0.008	0.99	0.986	0.995	0.990333	7	0.0719	0.08129	0.09015	0.081113
0.009	0.986	0.988	0.993	0.989	8	0.08014	0.09251	0.0981	0.09025
0.01	0.986	0.985	0.992	0.987667	9	0.07975	0.0992	0.09605	0.091667
0.02	0.977	0.975	0.984	0.978667	10	0.08153	0.09337	0.09775	0.090883
0.03	0.968	0.963	0.97	0.967	20	0.06674	0.08057	0.08	0.07577
0.04	0.955	0.95	0.958	0.954333	30	0.05321	0.06626	0.06834	0.062603
0.05	0.944	0.938	0.946	0.942667	40	0.04447	0.05854	0.0594	0.054137
0.06	0.932	0.928	0.935	0.931667	50	0.03968	0.05315	0.05393	0.04892
0.07	0.928	0.915	0.924	0.922333	60	0.03592	0.0514	0.05083	0.04605
0.08	0.919	0.906	0.915	0.913333	70	0.03344	0.04729	0.04754	0.042757
0.09	0.91	0.895	0.908	0.904333	80	0.03283	0.04454	0.04358	0.040317
0.1	0.901	0.887	0.897	0.895	90	0.0287	0.04338	0.03972	0.037267
0.2	0.813	0.79	0.798	0.800333	100	0.02478	0.03864	0.03778	0.033733
0.3	0.708	0.692	0.701	0.700333	200	0.02629	0.03608	0.03676	0.033043
0.4	0.616	0.61	0.618	0.614667	300	0.02229	0.02954	0.03045	0.027427
0.5	0.544	0.545	0.546	0.545	400	0.01736	0.02494	0.02438	0.022227
0.6	0.48	0.49	0.492	0.487333	500	0.01361	0.01964	0.01974	0.017663
0.7	0.438	0.444	0.444	0.442	600	0.01042	0.01479	0.01628	0.01383
0.8	0.401	0.402	0.405	0.402667	700	0.00752	0.01426	0.01416	0.01198
0.9	0.368	0.372	0.3788	0.372933					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์โพลีเอทพีทู  
ที่แรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์(ความต้านทาน 29 โอห์ม)

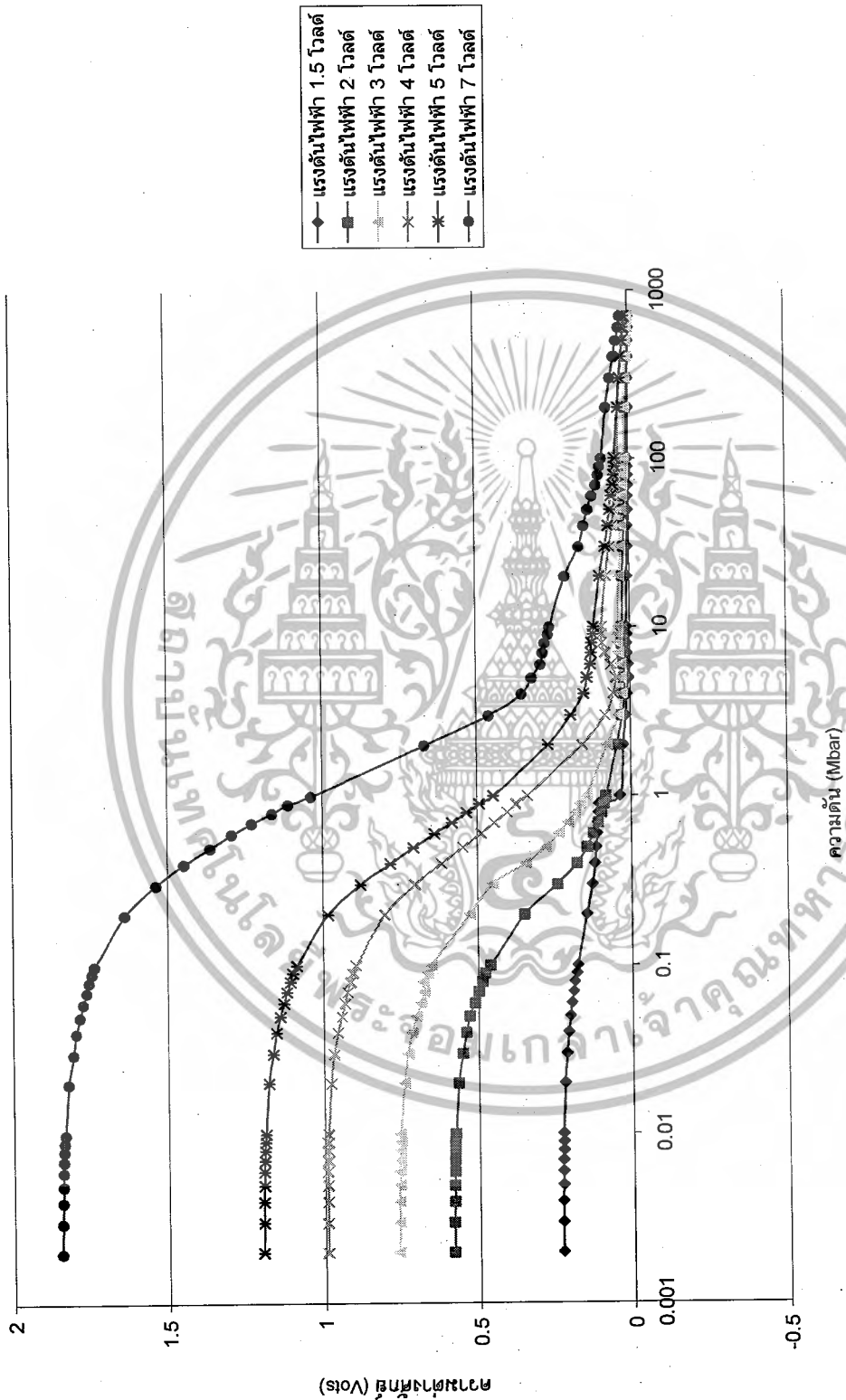
Pressure (mbar)	Voltage(V)				Pressure (mbar)	Voltage(V)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
0.002	1.199	1.2	1.196	1.198333	1	0.422	0.464	0.449	0.445
0.003	1.198	1.199	1.194	1.197	2	0.263	0.28	0.259	0.267333
0.004	1.197	1.198	1.194	1.196333	3	0.186	0.203	0.187	0.192
0.005	1.196	1.197	1.193	1.195333	4	0.147	0.154	0.148	0.149667
0.006	1.195	1.197	1.192	1.194667	5	0.136	0.142	0.137	0.138333
0.007	1.194	1.195	1.191	1.193333	6	0.125	0.128	0.128	0.127
0.008	1.192	1.195	1.19	1.192333	7	0.124	0.125	0.126	0.125
0.009	1.191	1.194	1.188	1.191	8	0.123	0.123	0.124	0.123333
0.01	1.189	1.192	1.187	1.189333	9	0.118	0.119	0.12	0.119
0.02	1.178	1.181	1.175	1.178	10	0.116	0.118	0.118	0.117333
0.03	1.164	1.166	1.161	1.163667	20	0.095	0.096	0.096	0.095667
0.04	1.152	1.154	1.15	1.152	30	0.076	0.077	0.077	0.076667
0.05	1.139	1.142	1.137	1.139333	40	0.066	0.069	0.068	0.067667
0.06	1.128	1.129	1.126	1.127667	50	0.059	0.062	0.061	0.060667
0.07	1.117	1.119	1.115	1.117	60	0.055	0.057	0.056	0.056
0.08	1.108	1.108	1.105	1.107	70	0.048	0.051	0.051	0.05
0.09	1.099	1.099	1.097	1.098333	80	0.044	0.049	0.049	0.047333
0.1	1.087	1.089	1.084	1.086667	90	0.044	0.043	0.047	0.044667
0.2	0.985	0.987	0.983	0.985	100	0.043	0.044	0.044	0.043667
0.3	0.873	0.884	0.88	0.879	200	0.032	0.034	0.034	0.033333
0.4	0.773	0.788	0.782	0.781	300	0.026	0.026	0.027	0.026333
0.5	0.698	0.715	0.7	0.704333	400	0.02	0.022	0.022	0.021333
0.6	0.63	0.646	0.631	0.635667	500	0.016	0.019	0.018	0.017667
0.7	0.574	0.587	0.58	0.580333	600	0.013	0.015	0.014	0.014
0.8	0.526	0.536	0.536	0.532667	700	0.012	0.012	0.012	0.012
0.9	0.484	0.503	0.489	0.492					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับความต่างศักย์เอาท์พุท  
ที่แรงดันไฟฟ้า 7 โวลต์(ความต้านทาน 29 โอห์ม)

Pressure (mbar)	Voltage(V)				Pressure (mbar)	Voltage(V)			
	1	2	3	เฉลี่ย		1	2	3	เฉลี่ย
0.002	1.84	1.84	1.853	1.844333	1	1.012	1.043	1.057	1.037333
0.003	1.839	1.84	1.852	1.843667	2	0.638	0.684	0.68	0.667333
0.004	1.837	1.838	1.851	1.842	3	0.431	0.482	0.464	0.459
0.005	1.835	1.838	1.85	1.841	4	0.33	0.364	0.358	0.350667
0.006	1.834	1.837	1.849	1.84	5	0.3	0.328	0.323	0.317
0.007	1.832	1.835	1.848	1.838333	6	0.273	0.297	0.296	0.288667
0.008	1.83	1.834	1.847	1.837	7	0.267	0.288	0.289	0.281333
0.009	1.828	1.833	1.846	1.835667	8	0.261	0.28	0.284	0.275
0.01	1.822	1.832	1.844	1.832667	9	0.25	0.268	0.273	0.263667
0.02	1.809	1.822	1.833	1.821333	10	0.242	0.267	0.268	0.259
0.03	1.794	1.805	1.819	1.806	20	0.192	0.217	0.214	0.207667
0.04	1.783	1.795	1.809	1.795667	30	0.15	0.169	0.17	0.163
0.05	1.772	1.783	1.795	1.783333	40	0.131	0.152	0.152	0.145
0.06	1.761	1.772	1.784	1.772333	50	0.115	0.145	0.139	0.133
0.07	1.752	1.759	1.775	1.762	60	0.105	0.125	0.125	0.118333
0.08	1.743	1.749	1.766	1.752667	70	0.093	0.113	0.112	0.106
0.09	1.736	1.74	1.757	1.744333	80	0.083	0.1	0.109	0.097333
0.1	1.729	1.732	1.745	1.735333	90	0.081	0.098	0.1	0.093
0.2	1.626	1.633	1.652	1.637	100	0.073	0.09	0.099	0.087333
0.3	1.529	1.532	1.544	1.535	200	0.059	0.078	0.077	0.071333
0.4	1.441	1.44	1.452	1.444333	300	0.044	0.062	0.063	0.056333
0.5	1.356	1.354	1.373	1.361	400	0.034	0.05	0.051	0.045
0.6	1.286	1.287	1.304	1.292333	500	0.025	0.041	0.043	0.036333
0.7	1.219	1.222	1.238	1.226333	600	0.016	0.034	0.034	0.028
0.8	1.156	1.155	1.176	1.162333	700	0.012	0.028	0.03	0.023333
0.9	1.096	1.11	1.122	1.109333					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับความต่างศักย์ที่ความดันตามฐาน 29 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจากตารางที่ 4.1 -4.3 และ ตารางที่ 4.4 – 4.9 จะพบว่าค่าความต้านทานของหลอด multiplex ที่เหมาะสมคือ ค่าความต้านทาน 29 โอห์ม เนื่องจากเมื่อใช้แล้ว จะทำให้ได้ค่าความต่างศักย์ในช่วงที่กว้างกว่าที่หลอด (multiplex) ค่าความต้านทาน 13.4 โอห์ม และตารางที่ 4.1 – 4.9 จากกราฟรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้วงจรที่ความต้านทาน 29 โอห์ม จะเห็นว่าที่แรงดันไฟฟ้าที่ให้กับวงจรเท่าใดก็ตาม ค่าความต่างศักย์เอาต์พุตที่ได้ก็มีแนวโน้มคล้ายๆกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 3 โวลต์ เพราะมีความเสถียร และ ไม่สูญเสียความร้อนไปเหมือนที่แรงดันไฟฟ้าที่ค่าสูงๆ และถ้าหัววัดมีความร้อนสูงการระบายความร้อนจะไม่ดีทำให้ ค่าที่วัดได้ในครั้งต่อไป อาจมีค่าผิดพลาดได้

เพราะฉะนั้นจากการดำเนินการวิจัยนี้ เราจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรและความต้านทานของหลอด multiplex ที่ใช้เป็นหัววัด คือ 3 โวลต์ และ 29 โอห์ม ตามลำดับ

#### 4.2 ผลจากการดำเนินการวิจัยเพื่อหาค่าดิจิทัลไปใช้ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลเป็นค่าความดันออกมาทาง 7-segment

นำผลการวิจัยขั้นที่ได้จากส่วนที่แล้วมาใช้ คือใช้หัววัดที่มีความต้านทาน 29 โอห์ม และจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจร 3 โวลต์ แล้วทำการทดลองบันทึกค่าความต่างศักย์และค่า ADC ที่ได้เพื่อใช้ในโปรแกรมและแสดงค่า ต่อไป

#### ผลการทดลอง

จากการดำเนินการวิจัยได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.10 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับค่าดิจิตอลเอาท์พุทที่มาจากวงจร

ความดัน	ค่า ADC จากวงจร										เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	
0.002	8698	8698	8662	8611	8582	8591	8550	8615	8649	8615	8627.10
0.003	8681	8681	8644	8595	8564	8571	8533	8599	8631	8603	8610.20
0.004	8666	8668	8632	8583	8550	8559	8521	8586	8613	8592	8597.00
0.005	8653	8657	8623	8571	8540	8548	8511	8574	8604	8585	8586.60
0.006	8640	8645	8613	8556	8526	8537	8499	8562	8589	8572	8573.90
0.007	8619	8623	8591	8535	8506	8517	8483	8543	8570	8554	8554.10
0.008	8601	8609	8575	8517	8488	8498	8466	8523	8553	8536	8536.60
0.009	8582	8592	8560	8500	8471	8482	8449	8507	8535	8521	8519.30
0.01	8565	8572	8546	8485	8456	8462	8433	8491	8517	8503	8503.00
0.02	8380	8392	8374	8317	8276	8278	8247	8312	8336	8321	8323.30
0.03	8157	8171	8153	8093	8056	8048	8034	8076	8116	8111	8101.50
0.04	7966	7983	7970	7896	7858	7848	7845	7895	7919	7924	7910.40
0.05	7768	7783	7768	7703	7660	7664	7637	7691	7715	7728	7711.70
0.06	7562	7581	7568	7511	7463	7470	7451	7499	7523	7527	7515.50
0.07	7397	7420	7408	7321	7295	7311	7287	7327	7350	7367	7348.30
0.8	1892	1981	1894	1857	1825	1920	1852	1868	1918	1808	1881.50
0.9	1761	1836	1742	1712	1687	1782	1715	1740	1792	1677	1744.40
1	1583	1710	1635	1588	1548	1661	1596	1622	1638	1543	1612.40
2	855	949	876	804	810	840	896	854	891	837	861.20
3	525	603	512	487	481	517	526	533	556	537	527.70
4	395	478	365	347	334	403	313	405	424	407	387.10
5	347	481	396	337	366	414	422	423	441	381	400.80
6	387	506	407	368	383	452	428	426	462	338	415.70
7	477	574	456	431	418	507	468	466	513	365	467.50
8	497	600	489	460	443	523	482	500	539	379	491.20
9	482	586	481	451	434	505	463	490	523	354	476.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปโดยไม่ขออนุญาต

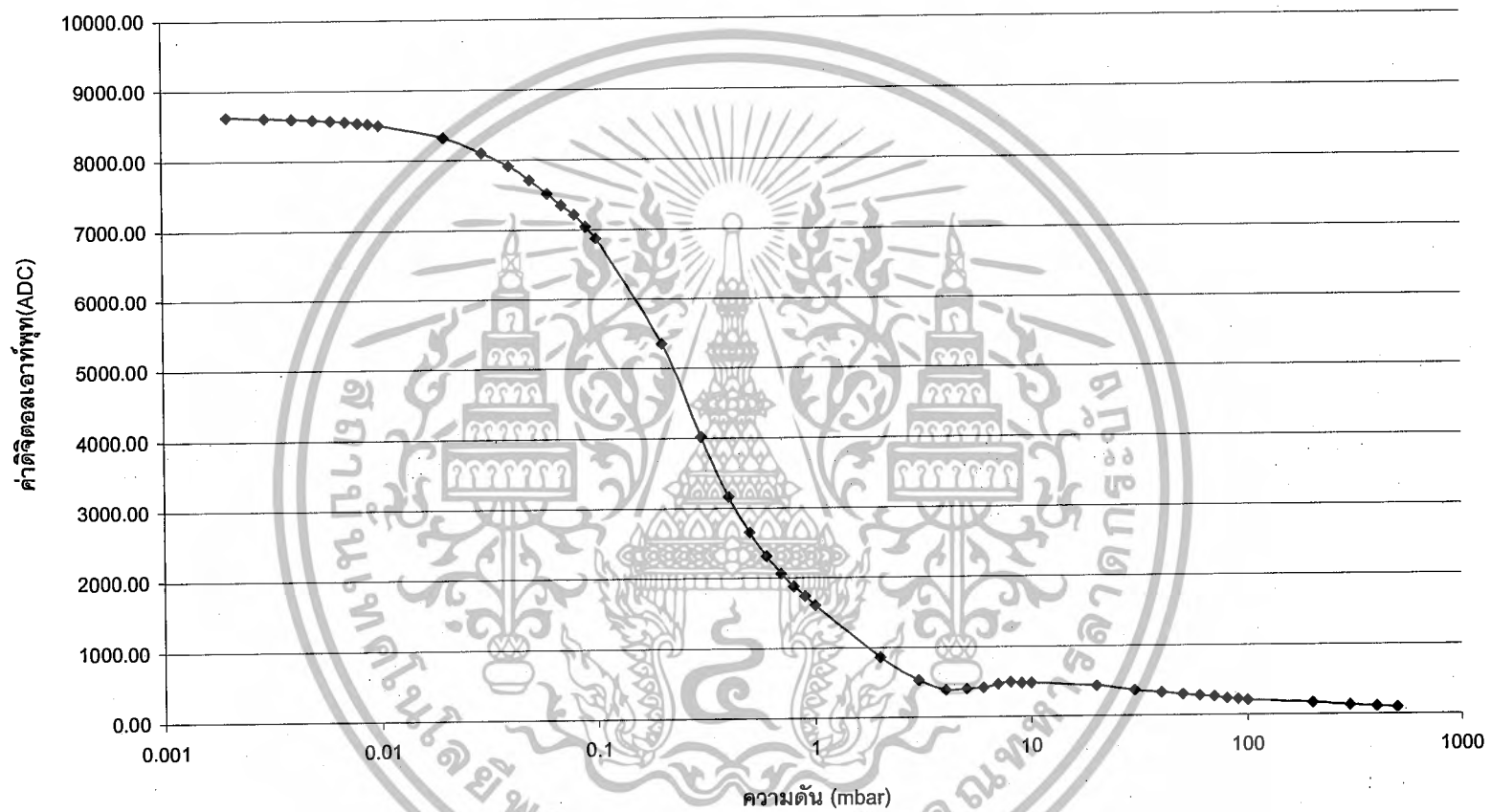
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.10 ตารางบันทึกผลการทดลองระหว่างความดันกับค่าดิจิตอลเอาต์พุตที่มาจากวงจร

(ต่อ)

ความดัน	ค่า ADC จากวงจร										
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ครั้งที่ 9	ครั้งที่ 10	เฉลี่ย
20	408	533	431	395	387	423	418	445	471	377	428.80
30	340	459	369	318	329	363	352	387	401	258	357.60
40	310	424	334	284	297	326	325	357	366	224	324.70
50	279	398	310	266	269	300	299	339	344	201	300.50
60	254	363	290	227	255	281	280	310	321	182	276.30
70	262	348	270	235	226	256	284	324	296	163	266.40
80	203	306	255	191	242	234	235	279	270	126	234.10
90	192	284	234	179	201	226	210	273	252	145	219.60
100	183	272	219	174	194	213	198	258	256	116	208.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับค่าดิจิตอลเอาต์พุตที่ได้จากวงจร

### 4.3 ผลจากการดำเนินการวิจัยทั้งหมดมาประกอบเป็นเครื่องมือ

เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับพีรานีเกจอ้างอิง ได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.11 ผลการวิจัยเปรียบเทียบระหว่างความดันจากพีรานีเกจที่สร้างขึ้นกับพีรานีเกจอ้างอิง

ความดัน	ความดันสูญญากาศ						
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	% ผิดพลาด
0.009	0.003	0.002	error	0.003	0.004	0.003	100.00
0.01	0.008	0.002	error	0.007	0.005	0.0055	58.06
0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.018	10.53
0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.028	6.90
0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.038	5.13
0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05	0.052	3.92
0.06	0.06	0.06	0.05	0.06	0.06	0.058	3.39
0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.068	2.90
0.08	0.08	0.08	0.07	0.08	0.08	0.078	2.53
0.09	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09	0.088	2.25
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.00
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.00
0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.00
0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.38	5.13
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.00
0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.00
0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.00
0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.00
0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.00
1	1	1	1	1	1	1	0.00
2	2	2	1	2	2	1.8	10.53
3	3	3	3	3	2	2.8	6.90
4	4	4	4	4	3	3.8	5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 4 วนไว้สำหรับการใช้งาน 4 เพื่อการศึกษาเท่านั้น 3 เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจากตารางที่ 4.11 จะพบว่าที่ความดันสูญญากาศต่ำๆ(0.004-0.01 mbar )ค่าที่ความดันที่วัดได้จะไม่คงที่ส่วนที่ค่าความดันสูงขึ้น( 0.02-3 mbar)นั้นจะมีค่าแม่นยำขึ้น แต่ถ้าค่าความดันที่สูงเกิน ( 3 mbar ขึ้นไป ) พีรานีเกจที่สร้างขึ้นจะไม่สามารถวัดได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

บทนี้จะสรุปผลการทดลองที่ต้องการหาความต้านทานของไส้หลอด (multiplex) และ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับวงจรวิตสโตนบริดจ์ที่เหมาะสม รวมถึงสรุปผลการทดลองเกี่ยวกับการศึกษาเครื่องมือวัดความดันสุญญากาศชนิดพีรานีเกจ ปัญหาต่างๆที่พบขณะทำงานวิจัย และ ข้อเสนอแนะที่ควรปรับปรุงแก้ไข

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการสร้างเกจวัดความดันชนิด พีรานี ซึ่งใช้วัดความดันสุญญากาศปานกลาง (medium vacuum)  $1-10^{-3}$  ทอร์ โดยใช้ปั๊มสุญญากาศแบบโรตารีปั๊ม โดยที่มีหัววัดความดันเป็นไส้หลอด multiplex มีความต้านทาน 29 โอห์ม และต่อเข้ากับวงจรวิตสโตนบริดจ์ ซึ่งในวงจรมีหลอด multiplex ที่ใช้เป็นตัวอ้างอิง ตัวต้านทานปรับค่าได้ 100 โอห์ม และตัวต้านทานขนาด 100 โอห์ม  $\pm 1\%$  วงจรวิตสโตนบริดจ์จะต่อเข้ากับ IC TC3400 เพื่อแปลงสัญญาณแบบอนาลอก ให้เป็นดิจิตอลขนาด 16 บิต และต่อเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการแสดงค่าออกทาง 7-segment 4 หลัก

1. จากการทดลองทำให้ทราบว่าเมื่อความดันต่ำลง จะทำให้โมเลกุลของอากาศน้อยลง จึงทำให้อัตราการชนของโมเลกุลกับขดลวดมีค่าน้อยลง มีผลให้การแผ่ความร้อนของขดลวดน้อยลง ความร้อนของขดลวดจึงสูงขึ้น ความต้านทานของขดลวดสูงขึ้น เมื่อความต้านทานมากขึ้นความต่างศักย์ของวงจรวิตสโตนบริดจ์จะสูงขึ้นด้วยเช่นกัน จึงทำให้ทราบว่าความดันจะแปรผกผันกับความต่างศักย์ของวงจรวิตสโตนบริดจ์

2. จากการทดลองโดยใช้หลอด multiplex 2 ความต้านทาน คือ 13.4 และ 29 โอห์ม จะพบว่าเมื่อค่าความต้านทานของไส้หลอดมีค่ามาก ค่าความต้านทานเอาท์พุทก็มีช่วงกว้างขึ้น ดังนั้นจึงเลือกใช้หลอด multiplex ขนาด 29 โอห์ม ซึ่งจะง่ายต่อการศึกษา

3. จากผลการทดลองข้อที่ 2 นำมาทดลองหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่ใช้กับวงจรวิตสโตนบริดจ์ ซึ่งเราได้ใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 1.5, 2, 3, 4, 5, 7 โวลต์ และเราได้เลือกใช้ที่ค่าแรงดันไฟฟ้า อินพุท 3 โวลต์ เพราะว่า ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยเกินไป ก็จะทำให้เห็นความแตกต่างของความต่างศักย์เอาท์พุทที่ความดันต่างๆน้อยและเมื่อมีค่าเอาท์พุทน้อย ก็จะมีผลให้มีสัญญาณมารบกวนง่าย และถ้าค่าสูงเกินไปก็จะสูญเสียไปเป็นความร้อนที่ไม่จำเป็นหมด จึงได้เลือกใช้ที่แรงดันไฟฟ้า 3 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หลังจากได้ค่าความต้านทานและค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมแล้ว ก็ทำการทดลองเก็บค่าเฉลี่ยดิจิตอลเอาท์พุท เพื่อใช้อ้างอิงในการเขียนโปรแกรมแสดงผล พีรานีเกจที่ได้ศึกษาสามารถวัดความดันสุญญากาศ ได้ที่ 0.01 mbar – 4 mbar เพราะว่าค่าที่น้อยกว่า 0.01 mbar และค่าที่มากกว่า 4 mbar พีรานีเกจที่สร้างขึ้นจะไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากการค่าที่น้อยและค่าที่มากเกินไปนั้นขดลวดจะมีการสูญเสียความร้อนไปกับอย่างอื่นที่ไม่ใช่การชนของโมเลกุลของก๊าซ และแผ่ความร้อนของไส้หลอดจะเข้าที่ความดันต่ำๆ เพราะเมื่อความดันสุญญากาศต่ำๆจะเกิดความร้อนที่สูงมาก และเมื่อทิ้งไว้เวลานานๆ จะทำให้ไส้หลอดร้อนเกินไป ไม่สามารถวัดค่าต่อไปได้ เพราะการแผ่ความร้อนของไส้หลอดนี้จะเข้ามา

5. จากการทดลองเปรียบเทียบ ค่าความดันสุญญากาศจากพีรานีเกจที่ได้ศึกษา กับพีรานีเกจอ้างอิงเราพบว่าค่าที่พีรานีเกจที่ศึกษาวัดความดันสุญญากาศได้ช่วงที่แคบกว่า และยังไม่ค่อยมีความแม่นยำ ค่าความดันที่วัดได้จะแม่นยำที่สุดในช่วง 0.02 mbar ถึง 3 mbar

## 5.2 เสนอแนะ

1. ควรจะมีการศึกษาเกี่ยวกับตัวขดลวดโดยตรง ทั้งคุณสมบัติของวัสดุของขดลวด ขนาดของขดลวดในการนำความร้อน และคุณสมบัติต่างๆ เพื่อที่จะได้วัดช่วงความดันได้มากขึ้นและละเอียดขึ้น
2. หรือทำการศึกษาวัดสุญญากาศที่เหมาะสมเพื่อมาใช้เป็นหัววัดที่ทำให้ค่าที่ได้มีความถูกต้องและแม่นยำ
3. อุณหภูมิในห้องทดลองมีผลต่อความดันสุญญากาศที่วัด เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจะทำให้ความดันไม่คงที่ ดังนั้นควรวัดความดันสุญญากาศที่ระบบที่มีอุณหภูมิกิ่งที่

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะยังไม่สามารถสร้างเครื่องวัดความดันสุญญากาศให้มีเสถียรภาพและแม่นยำเทียบเท่ากับพีรานีเกจจากต่างประเทศ แต่ผู้ทำการวิจัยหวังว่า งานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจทางด้านระบบสุญญากาศ และเครื่องวัดความดันสุญญากาศทุกท่าน

## เอกสารอ้างอิง

- อนุชิต ยั่งสืบตระกูล, ผศ. ดร. จรัลพร ทรรษมนตร์ และ ดร. เพ็ญศิริ ทองผดุงโรจน์. 2547. การวัดความดันสูงและสุญญากาศ. *Industrial Technology Reviel.* ฉบับที่ 126: 95-102.
- ดร. ชัยวิทย์ ศิลาวัชชาโนย. 2526. *ฟิสิกส์และเทคโนโลยีของระบบสุญญากาศ.* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- ประจัน พลังสันติกุล. 2546. *เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์เขียนโปรแกรมภาษา C ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์.* พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด
- T.A. Delchar. 1993. *Vacuum Physics and Techniques.* Printed in Great Britain by St Edmundsbury Press, Suffolk: Expo Holding, Malaysia



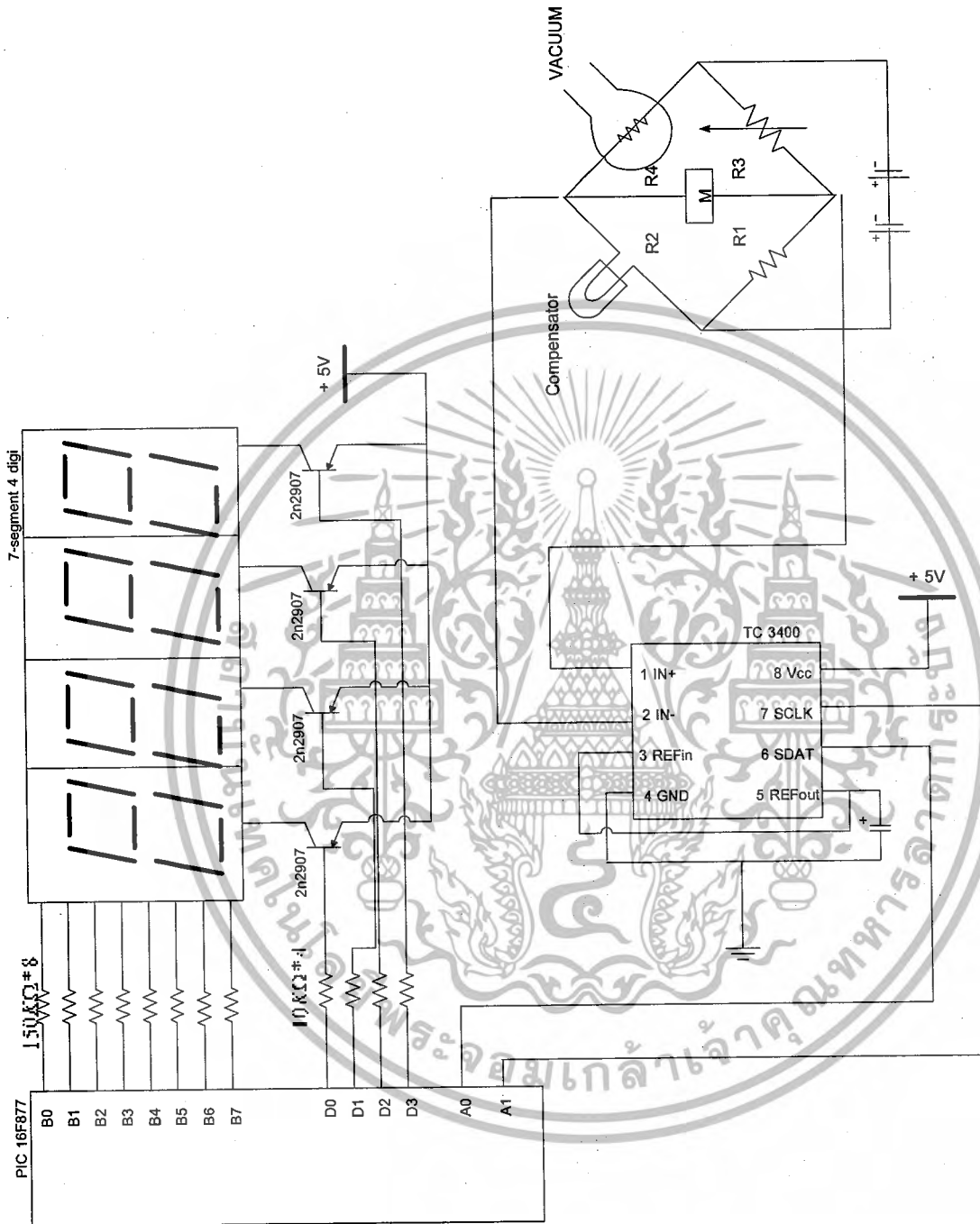
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรวมทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

# PIC16F87X

## 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

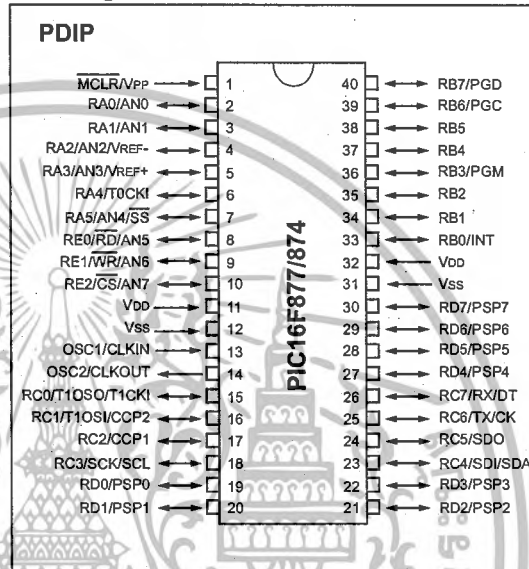
### Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873
- PIC16F876
- PIC16F874
- PIC16F877

### Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input  
DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,  
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)  
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and  
Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC  
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM  
technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two  
pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature  
ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

### Pin Diagram



### Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,  
can be incremented during SLEEP via external  
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period  
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master  
mode) and I<sup>2</sup>C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver  
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address  
detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with  
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for  
Brown-out Reset (BOR)



# TC3400

## +1.8V, Low Power, 16-Bit Sigma-Delta A/D Converter

### Features

- 16-bit Resolution at Eight Conversions Per Second, Adjustable Down to 10-bit Resolution at 512 Conversions Per Second
- 1.8V – 5.5V Operation, Low Power Operating 260 $\mu$ A; Sleep: 0.75 $\mu$ A
- microPort™ Serial Bus Requires only two Interface Lines
- Uses Internal or External Reference
- Automatically Enters Sleep Mode when not in use

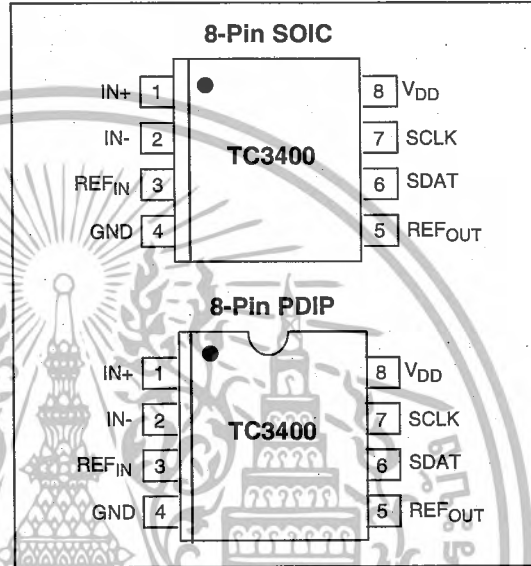
### Applications

- Consumer Electronics, Thermostats, CO Monitors, Humidity Meters, Security Sensors
- Embedded Systems, Data Loggers, Portable Equipment
- Medical Instruments

### Device Selection Table

Part Number	Package	Temperature Range
TC3400VPA	8-Pin PDIP (Narrow)	0°C to +85°C
TC3400VOA	8-Pin SOIC (Narrow)	0°C to +85°C

### Package Type



### General Description

The TC3400 is a low cost, low power analog-to-digital converter based on Microchip's Sigma-Delta technology. It will perform 16-bit conversions (15-bit plus sign) at up to eight per second. The TC3400 is optimized for use as a microcontroller peripheral in low cost, battery operated systems. A voltage reference is included, or an external reference can be used.

The TC3400's 2-wire microPort™ digital interface is used for starting conversions and for reading out the data. Driving the SCLK line low starts a conversion. After the conversion starts, each additional falling edge (up to six) detected on SCLK for  $t_d$  seconds reduces the A/D resolution by one bit and cuts conversion time in half. After a conversion is completed, clocking the SCLK line puts the MSB through LSB of the resulting data word onto the SDAT line, much like a shift register. The part automatically sleeps when not performing a data conversion.

The TC3400 is available in a 8-Pin PDIP and a 8-Pin SOIC package.

## โปรแกรมประมวลผลเป็นค่าความดันสัญญาณทาง 7-segment

```
*****  
#include <16F877.h>  
#org 0x1F00, 0x1FFF void loader16F877(void) {}  
#use delay(clock=10000000)  
#fuses NOWDT,HS, NOPUT, NOPROTECT, NOBROWNOUT, NOLVP, NOCPD  
#use rs232(baud=9600,parity=N,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,bits=8)  
##use fast_io(A) // programming of the direction register.  
#byte segment=6 //port b  
#byte comm = 8 //port d  
#bit dot=6.7  
void DspLED7Seg(void);  
#include <tc3400.c>  
//-----  
int16 cpu_tick;  
int8 c[4];  
const int8 digit[4]={1,2,4,8};  
signed int32 adc, y;  
int16 p, t, j;  
//int16 adc_val;  
//table-----  
const int16 digi1[7]= //10^0  
{1680,1270,1010,856,768,703,620};  
const int16 digi2[18]= //10^-1  
{7098,6359,5608,4907,4291,3775,3362,3042,2797,2610,2460,2331,2212,2096,1987,  
1898,1852,1850};  
const int16 digi3[18]= //10^-2  
{8640,8608,8528,8415,8303,8200,8105,8014,7923,7828,7730,7632,7539,7455,7380,  
7304,7199,7150};  
const int16 digi4[18]= //10^-3
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{8730,8720,8710,8700,8698,8697,8696,8692,8689,8685,8681,8677,8674,8671,8669,  
8667,8665,8663};
```

```
//-----
```

```
const char num_led[19] = { 0xC0,0xF9,0xA4,0xB0,0x99,0x92,0x82,0xF8,0x80,0x90,  
    // 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9  
    0x88,0x83,0xC6,0xA1,0x86,0x8E,0x7F,0xbf, 0xff};  
    // A b C d E H . -
```

```
//-----
```

```
#int_RTCC
```

```
RTCC_isr() {
```

```
    cpu_tick++;
```

```
}
```

```
//-----
```

```
//************************************************************************
```

```
void DspLED7Seg(void) {
```

```
    int8 i;
```

```
    for(i=0;i<4;i++){
```

```
        comm = ~digit[i];
```

```
        segment = num_led[c[i]];
```

```
        if (i==0)
```

```
            dot=0;
```

```
        delay_ms(1);
```

```
        comm = ~0;
```

```
    }
```

```
}
```

```
//************************************************************************
```

```
void main()
```

```
{
```

```
    port_B_pullups(TRUE);
```

```
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_8);    // Overflow very 1 ms
```

```
    //setup_timer_1(T1_INTERNAL|T1_DIV_BY_2);    // Count very 1 us
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
//setup_ccp1(CCP_CAPTURE_RE);
//enable_interrupts(INT_CCP1);
enable_interrupts(INT_RTCC);
enable_interrupts(GLOBAL);
set_tris_b(0x00);
    set_tris_d(0x00);
//printf("\n\nHello World!");
c[0]=17;
c[1]=17;
c[2]=17;
c[3]=17;
cpu_tick=0;
while(true){
    while(cpu_tick<1000)
        DspLED7Seg();
    cpu_tick=0;
    adc =read_adc_tc3400();    //read_adc16bit
    //printf("\n\nADC = %ld",adc); //show rs232
    //delay_ms(500);
    t=0;
    p=1;
    c[1]=18;//blank
    if(adc<=1680){
        while(t < 7){
            if(adc<=digi1[t])
                p= 5*t+10;
            t++;
        }//printf("\n\n P = %ld * 10^0" , p);
        c[0]=(int8)p/10;
            c[1]=(int8)p%10;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

c[2]=18;
c[3]=0;
}else if(adc>1680 && adc<=7098){
while(t<18){
if(adc<=digi2[t])
p=5*t+10;
t++;
};//printf("\n\r P = %ld * 10^-1" , p);
c[0]=(int8)p/10;
c[1]=(int8)p%10;
c[2]=17;
c[3]=1;
}else if(adc>7098 && adc<=8640){
while(t<18)
{if(adc<=digi3[t])
p=5*t+10;
t++;
};//printf("\n\r P = %ld * 10^-2" , p);
c[0]=(int8)p/10;
c[1]=(int8)p%10;
c[2]=17;
c[3]=2;
}else if(adc>8640 && adc<=8730){
while(t<18)
{if(adc<=digi4[t])
p=5*t+10;
t++;
};//printf("\n\r P = %ld * 10^-3" , p);
c[0]=(int8)p/10;
c[1]=(int8)p%10;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
c[2]=17;
c[3]=3;
}else
{printf("\nr P = error");
c[0]=17;
c[1]=17;
c[2]=17;
c[3]=17;
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรมแปลงค่าจากอนาลอกเป็นดิจิตอล

```
/******  
  
#define TC3400_SCLK PIN_A1  
#define TC3400_SDAT PIN_A0  
void tc3400_init(void)  
{  
    set_tris_A(0xfe);      // Pin b0 output , pin b1 input  
    output_high(TC3400_SCLK); //high clock  
}  
signed int16 read_adc_tc3400(void)  
{  
    int8 i;  
    int16 Mask = 0x8000;  
    int16 Result = 0x0000;  
    output_high(TC3400_SCLK);  
    while(!input(TC3400_SDAT));  
    output_low(TC3400_SCLK);  
    delay_us(2);  
    output_high(TC3400_SCLK);  
    while(input(TC3400_SDAT));  
    while(!input(TC3400_SDAT))  
        DspLED7Seg();  
    //delay_ms(125);  
    delay_us(2);  
    for(i=0;i<16;++i){  
        output_low(TC3400_SCLK);  
        delay_us(1);  
        if(input(TC3400_SDAT))  
            Result |= Mask;  
  
        output_high(TC3400_SCLK);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
mask >= 1;
}
return(Result);
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้