

เครื่องมือวัดความดัน  
PRESSURE SENSOR GAGE



นางสาวพัชราภรณ์ ชวนนอก  
นางสาวภัทรานิษฐ์ ราตรี

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๕๖

เครื่องมือวัดความดัน  
PRESSURE SENSOR GAGE



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ขอสงวนสิทธิ์ในการนำไปใช้

ปีการศึกษา ๒๕๕๖

# PRESSURE SENSOR GAGE



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

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

**ACADEMIC YEAR 2013**

หัวข้อโครงการพิเศษ เครื่องมือวัดความดัน  
**PRESSURE SENSOR GAGE**  
 ชื่อนักศึกษา นางสาวพัชราภรณ์ ชวนนอก  
 นางสาวภัทรานิษฐ์ ราศรี  
 ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต  
 สาขาวิชา ฟิสิกส์  
 อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้  
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์  
 ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.ประธาน บุรณศิริ	
ดร.ณัฐพร พรหมรส	
ดร.ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี	ศ.ทิพวรรณ คล้ายบุญมี
รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	เครื่องมือวัดความดัน
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพัชราภรณ์ ชวนนอก นางสาวภัทรานิษฐ์ ราศรี
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชา	ฟิสิกส์
ปีการศึกษา	2556
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.สาหร่าย เล็กชะอุ่ม

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบวัดความดันโดยใช้เซ็นเซอร์ความดันเป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัด โดยใช้เซ็นเซอร์เบอร์ MPX2202A สามารถวัดค่าได้ตั้งแต่ 0 - 200 กิโลปาสคาล หรือประมาณ 0 - 28 แรงปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งผลตอบสนองของแรงดันมีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์ จึงได้ทำการออกแบบวงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนต์ที่เสถียร แอมพลิไฟเออร์ โดยใช้ไอซีเบอร์ INA122P เพื่อทำการขยายสัญญาณเอาท์พุท มีอัตราขยายประมาณ 105 เท่า แล้วประมวลผลส่งผ่านทางไมโครคอนโทรเลอร์รุ่น ETT-BASE-PIC8628 แล้วส่งค่าที่ได้ไปแสดงผลที่จอแอลวีดีในแบบดิจิทัล ทั้งในหน่วย แรงปอนด์ต่อตารางนิ้ว และ กิโลปาสคาล ในการทดสอบใช้ปั๊มลมเป็นแหล่งกำเนิดลมต่อเข้ากับสายลมขนาด 6 มิลลิเมตรไปยังวาล์วควบคุมความดันซึ่งเป็นตัวอ้างอิง จากการทดลองได้ทำการปรับความดันตั้งแต่ 0 - 25 แรงปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากนั้นทำการบันทึกผลที่ได้และทำการวิเคราะห์ผล ซึ่งมีค่าผิดพลาดเฉลี่ย 2 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
คำสำคัญ : เซนเซอร์ความดัน, ไมโครคอนโทรเลอร์, วาล์วควบคุมความดัน

<b>Title</b>	Pressure Sensor Gage
<b>Students</b>	Miss Phatcharaphon Chuannok Miss Phattranit Rasri
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major Program</b>	Physics
<b>Academic Year</b>	2013
<b>Advisor</b>	Assoc. Prof. Sarai Lekchaum

## ABSTRACT

This project study and design pressure gage system by using a Pressure Sensor which is a device for measuring. MPX2202A was used for sensor measurements, this sensor can measure in range 0 - 200 *kPa* or 0 - 28 *psi*. The response voltage is in millivolts unit. So amplifier circuit was designed in Instrumentation Amplifier type. INA122P was used to gain output, this IC can gain around 105 from input. Then this IC will send signal to a microcontroller, ETT-BASE-PIC8628. Microcontroller will process send result to LCD display with digital system in both *psi* and *kPa* units. For this evaluation, air pump is pressure source which is connected by wind breeze size 6 *mm* with Pressure Regulator Valve which is a reference. Experiments have raised the pressure from 0 - 25 *psi* in step then saving the result. After analysis data, the result show average error of 2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณี **Key words:** Pressure Sensor, Microcontroller, Pressure Regulator Valve ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนความอนุเคราะห์เป็นอย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์สาทร่าย เล็กชะอุม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่ให้คำปรึกษาคำนำ รวมถึงเทคนิคต่างๆ ตลอดจนช่วยเหลือแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นของโครงการพิเศษนี้มาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ต่างๆ และตลอดจนทุนสนับสนุนในการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้ คำแนะนำ และชี้แนะปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างการทำโครงการพิเศษ

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคนที่คอยให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำโครงการพิเศษมาโดยตลอด

ท้ายที่สุดขอกราบพระคุณบิดา มารดา รวมทั้งคนนครอบครัว ที่คอยสนับสนุนทางการศึกษาโดยตลอด ทั้งการให้คำปรึกษา และเป็นกำลังสำคัญที่ช่วยผลักดันในการศึกษาและการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้จนสำเร็จ

นางสาวพัชราภรณ์ ชวนนอก

นางสาวภัทรานิษฐ์ ราศรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VII
คำย่อและสัญลักษณ์	XI
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	3
2.1 ความดัน (Pressure)	3
2.2 ความดันที่เกิดจากของเหลว (Liquid Pressure)	4
2.3 ความดันที่เกิดจากก๊าซ (Pressure of Gases)	6
2.4 ชนิดของความดัน	6
2.5 ประเภทของเครื่องมือวัดความดัน	8
2.5.1. หลักการทางเชิงกล	8
2.5.2 หลักการทางไฟฟ้า	13
2.6 การแบ่งประเภทของ pressure gauge ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน	22
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	27
3.1 การออกแบบระบบการทำงานเครื่องมือวัดความดัน	27
3.2 การเขียนโปรแกรมประมวลผล	29

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การทดสอบและการวิเคราะห์ผลของการวัดความดัน	37
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล</b>	42
4.1 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์	42
-การออกแบบวงจรขยายแรงดันเพื่อใช้ขยายสัญญาณ	45
4.2 การเขียนโปรแกรมประมวลผล	49
-การเขียนโปรแกรมให้รับค่าจากสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรถ่าย	49
-การเขียนโปรแกรมคำสั่งประมวลผล	51
<b>บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	54
5.1 สรุปผลวิจัย	54
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง	55
5.3 ข้อเสนอแนะ	55
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน	2
4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันจากเกจวัดความดันกับแรงดันเอาต์พุตบวกของเซนเซอร์ที่ขา 2	44
4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันจากเกจวัดความดันกับแรงดันเอาต์พุตลบของเซนเซอร์ที่ขา 4	45
4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาขึ้น โดยใช้วงจรถ่ายสัญญาณแบบ Instrumentation Amplifier (INA122P)	46
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาลง โดยใช้วงจรถ่ายสัญญาณแบบ Instrumentation Amplifier (INA122P)	47
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาขึ้น โดยผ่านโปรแกรม	49
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาลง โดยผ่านโปรแกรม	50
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการวัดค่าความดันที่เกจวัดความดัน และเครื่องมือวัดความดัน โดยแสดงออกสองค่าทั้งในหน่วย <i>psi</i> และ <i>kPa</i> (ขอบขาขึ้น)	51
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการวัดค่าความดันที่เกจวัดความดัน และเครื่องมือวัดความดัน โดยแสดงออกสองค่าทั้งในหน่วย <i>psi</i> และ <i>kPa</i> (ขอบขาลง)	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงแรงดันของน้ำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของขวด	4
2.2	แสดงทิศต่างๆของแรงที่ของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะ	4
2.3	ความดันในของของเหลวและแรงที่ของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะ	5
2.4	ประเภทของความดัน	7
2.5	โครงสร้างของมาโนมิเตอร์รูปแบบต่าง ๆ	9
2.6	ลักษณะของมาโนมิเตอร์รูปแบบต่างๆ	9
2.7	โครงสร้างบารอมิเตอร์	11
2.8	ลักษณะของหลอดบัวร์ดอง	12
2.9	หลักการทำงานของบัวร์ดอง	12
2.10	รูปแบบของบัวร์ดอง	12
2.11	โครงสร้างของไดอะแฟรม	13
2.12	โครงสร้างทรานสดิวเซอร์วัดความดันชนิดเปลี่ยนความจุ	14
2.13	โครงสร้างของสเตรนเกจ	14
2.14	หลักการทำงานของหลอดแก้วโฟโตมัลติไฟเออร์	15
2.15	แสดงโฟโตคอนดักทีฟเซลล์ (a) โครงสร้าง (b) กราฟความสัมพันธ์	16
2.16	แสดงการประยุกต์ใช้งานโฟโตคอนดักทีฟเซลล์	16
2.17	แสดงแวลวีดีที่ (a) โครงสร้าง (b) วงจรการทำงานเทียบเท่า	17
2.18	แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันทางเอาต์พุตกับ (a) ทิศทาง (b) ระยะทาง	17
2.19	แสดงโครงสร้างของทรานสดิวเซอร์แบบรีซิสทีฟโพซิชั่น	18
2.20	เพียโซอิเล็กทริกเปลี่ยนแรงกดเป็นพลังงานไฟฟ้า	19
2.21	รูปร่างลักษณะของเซนเซอร์เพียโซ	19
2.22	ตัวรับสัญญาณของเครื่องอัลตราซาวด์	20
2.23	ที่รับสัญญาณการเคาะ (Knock Screen)	21
2.24	การติดตั้งตัว Piezo - Electric Sensor	22
2.25	Blood pressure sensor	22
2.26	Pressure gauge	23
2.27	Vacuum gauge	23
2.28	Compound gauges	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า	
2.29	Duplex gauge or dual gauge	24
2.30	Differential pressure gauge	25
2.31	Dual scale gauge	25
2.32	Retard scale	26
3.1	แผนการทำงานของเครื่องมือ	27
3.2	แผนการทำงานทั้งหมด	28
3.3	ปั๊มลม	38
3.4	Flow control valve	38
3.5	สายลมขนาด 6 mm.	38
3.6	Pressure regulator valve	39
3.7	Pressure sensor	39
3.8	บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ETT-BASE-PIC8628	40
3.9	LCD ขนาด 20 x 2	40
4.1	ต่อปั๊มลมเข้ากับวาล์วปรับแรงดัน	42
4.2	ต่อสายลมจากวาล์วปรับแรงดันไปยัง regulator valve	42
4.3	จ่าย Supply ให้เซนเซอร์	43
4.4	ชุดตรวจเช็คการทำงานของเซนเซอร์	43
4.5	ตรวจจับสัญญาณเอาต์พุตของเซนเซอร์ด้วยออสซิลโลสโคป	44
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันไฟฟ้า	45
4.7	รูปวงจรโดยใช้วงจรมายขยายสัญญาณแบบ Instrumentation Amplifier	46
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาขึ้น	47
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาล่าง	48
4.10	การต่ออุปกรณ์ในการทดสอบการแสดงค่าสัญญาณเอาต์พุต	49
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาขึ้น	50
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาล่าง	50
4.13	การแสดงผลของเครื่องมือ	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูไปงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# คำย่อและสัญลักษณ์

## คำย่อ/สัญลักษณ์

A to D

G

kPa

LCD

mm

mV

P

PIC

psi

V

## ความหมาย/คำเต็ม

Analog to Digital

อัตราการขยาย

กิโลปาสกาล

Liquid Crystal Display

มิลลิเมตร

มิลลิโวลต์

ความดัน

Peripheral Interface Controller

ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

แรงดันไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การวัดความดันเป็นเรื่องหนึ่งที่อยู่ในกลศาสตร์ของไหล ซึ่งกลศาสตร์ของไหลเป็นสาขาหนึ่งของวิชาฟิสิกส์ การศึกษาทางด้านนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องมือวัดความดัน ซึ่งระบบเครื่องมือการวัดความดันในหลักทั่วไปจะประกอบไปด้วยตัวตรวจวัดความดัน และในปัจจุบันระบบนิวเมติกเป็นระบบที่สำคัญในอุตสาหกรรม เพราะมีโครงสร้างอุปกรณ์ที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ และสะดวกในการบำรุงรักษา ระบบนิวเมติกคือการนำอากาศอัดมาประยุกต์ใช้งานเพื่อก่อให้เกิดการทำงานอย่างอัตโนมัติ โดยในระบบนิวเมติกมีอุปกรณ์ที่จำเป็นหลายอย่าง แต่ที่สำคัญที่สุดคือระบบควบคุมและอุปกรณ์ตรวจวัด ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดทำหน้าที่วัดความดันอากาศแล้วส่งสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าให้กับระบบควบคุม

ด้วยเหตุผลที่กล่าวข้างต้นคณะผู้จัดทำจึงได้มีการศึกษาและออกแบบระบบวัดความดันโดยใช้เซ็นเซอร์แรงดันเป็นอุปกรณ์ในการตรวจวัด แล้วประมวลผลส่งผ่านทางไมโครคอนโทรลเลอร์ และแสดงผลแบบดิจิตอล

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาถึงหลักการวัดความดันของเซนเซอร์
2. เพื่อศึกษาระบบการทำงานของเครื่องมือวัดความดัน
3. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลที่ได้จากการออกแบบเครื่องมือวัดความดัน

### 1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเครื่องมือวัดความดัน
2. ศึกษาทฤษฎีและหลักการการทำงานของเซนเซอร์
3. ศึกษาทฤษฎีและหลักการเกี่ยวกับการออกแบบระบบเพื่อวัดความดัน

### 1.4 ขั้นตอนในการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

ขั้นตอนการวิจัยจะสามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและหลักการการทำงานของเครื่องมือวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ซึ่งลิขสิทธิ์และสงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากท่านมีข้อสงสัย กรุณาติดต่อฝ่ายวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขั้นตอนที่ 2 ทดสอบตัวเซนเซอร์เพื่อหาเซนเซอร์ที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาและออกแบบวงจรเครื่องวัดความดัน

ขั้นตอนที่ 4 สร้างและทดสอบ เครื่องวัดแรงดัน

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผล

ขั้นตอนที่ 6 จัดทำรูปเล่มและเผยแพร่

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน

เดือนที่	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ขั้นตอนที่ 1										
ขั้นตอนที่ 2										
ขั้นตอนที่ 3										
ขั้นตอนที่ 4										
ขั้นตอนที่ 5										
ขั้นตอนที่ 6										

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบการวัดความดัน
2. ทำให้ทราบถึงการเลือกใช้เซนเซอร์ที่เหมาะสม
3. สามารถนำความรู้เพิ่มเติมในการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะความดัน ความดันบรรยากาศ การวิเคราะห์ระบบการวัด การแบ่งประเภทของ pressure gauge ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน และหลักการทำงานของวงจร

### 2.1 ความดัน (Pressure)

ความดันเป็นปริมาณทางกายภาพที่มีการใช้งานกันมาก ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมทั้งในระบบที่เป็นค่าความดันก๊าซ ระบบไอน้ำและของเหลว ซึ่งการวัดความดันนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการควบคุม แสดงผล เก็บข้อมูลความดันในระบบ เพื่อให้ระบบการทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นการวัดค่า

ความดัน (Pressure) หมายถึง แรงที่กระทำบนพื้นที่หนึ่งตารางหน่วยในแนวตั้งฉากกับพื้นที่นั้น หรือ แรงดันในหนึ่งหน่วยพื้นที่ ในระบบ SI ความดัน มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร ( $N/m^2$ ) ซึ่งมีชื่อเรียกว่า “ปาสคาล” (Pascal) นั่นคือ  $1 \text{ Pascal} = 1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/m^2$  (บางครั้งเราอาจพบหน่วย ปอนด์ต่อตารางนิ้ว :  $lb/in^2$ ) แต่  $1 \text{ Pa}$  เป็นขนาดที่เล็กมาก โดยทั่วไปเรามักพบขนาด  $10^5 \text{ Pa}$  ซึ่งเรียกว่า  $1 \text{ bar}$  ดังนั้น  $100 \text{ Pa}$  คือ  $1 \text{ mill bar}$

$$P = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

เมื่อ	F =	แรงดันบนพื้นที่ทั้งหมด	หน่วย (N)
	A =	พื้นที่ที่รองรับแรงดัน	หน่วย ( $m^2$ )
	P =	ความดัน	หน่วย ( $N/m^2, Pa$ )

หน่วยอื่น ๆ ของความดัน

$$1 \text{ ปาสคัล (Pa)} = 1 \text{ นิวตัน/ ตารางเมตร (N}/m^2)$$

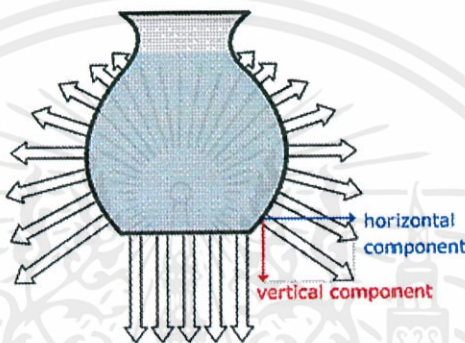
$$1 \text{ บาร์ (Bar)} = 1.0 \times 10^5 \text{ N}/m^2 \text{ (นิยมใช้ในทางอุตุนิยมวิทยา)}$$

$$1 \text{ บรรยากาศ} = 1.013 \times 10^5 \text{ N}/m^2 = 760 \text{ มม. ของปรอท}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ความดันที่เกิดจากของเหลว (Liquid Pressure)

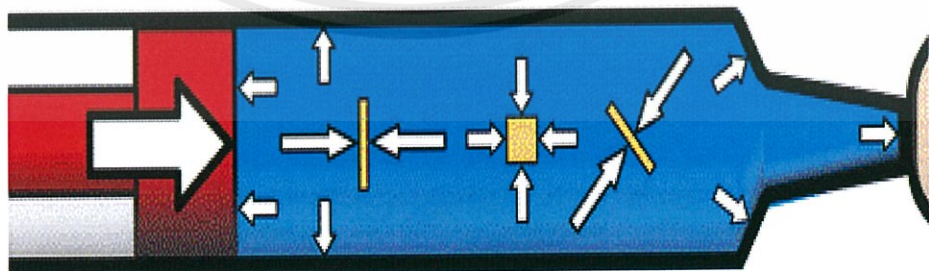
ในการศึกษาความดันในของเหลว พบว่า เมื่อนำขวดน้ำพลาสติกมาใส่น้ำถ้าเจาะรูที่ผนังขวดน้ำจะพุ่งออกมาตามทิศทางที่แสดงด้วยลูกศร ดังรูปที่ 1 แสดงว่ามีแรงกระทำต่อน้ำในภาชนะ แรงนี้จะดันน้ำให้พุ่งออกมาในทิศทางที่ตั้งฉากกับผนังภาชนะทุกตำแหน่ง ไม่ว่าจะผนังจะอยู่ในแนวใด อาจจะเรียกขนาดของแรงในของเหลวที่กระทำตั้งฉากต่อพื้นที่หนึ่งหน่วยของผนังภาชนะว่า “ความดันในของเหลว”



รูปที่ 2.1 แสดงแรงดันของน้ำ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ของขวด

สรุปลักษณะความดันในของเหลว ได้ดังนี้

1. ของเหลวที่บรรจุอยู่ในภาชนะ จะออกแรงดันต่อผนังภาชนะที่สัมผัสกับของเหลวในทุกทิศทาง โดยจะตั้งฉากกับผนังภาชนะเสมอ
2. ทุก ๆ จุดในของเหลว จะมีแรงดันกระทำต่อจุดนั้นทุกทิศทุกทาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 แสดงทิศต่าง ๆ ของแรงที่ของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะและต่อวัตถุที่จมอยู่ในของเหลว

3. สำหรับของเหลวชนิดเดียวกันความดันของของเหลวจะเพิ่มขึ้นตามความลึกและที่ระดับความลึกเท่ากันความดันของเหลวจะเท่ากัน
4. ในของเหลวต่างชนิดกัน ณ ความลึกเท่ากัน ความดันของของเหลวจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของของเหลวนั้น

จากการทดลองตามข้อ 3 และ ข้อ 4 สามารถสรุปเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

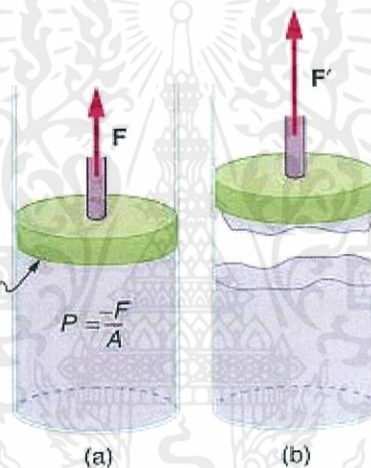
$$P \propto h$$

$$P \propto \rho$$

$$P \propto \rho h$$

$$P = k\rho h \quad (2.2)$$

เมื่อ  $k$  เป็นค่าคงตัวของการแปรผัน และเมื่อพิจารณาหน่วยของ  $k$  พบว่ามีหน่วยเป็น  $\text{m/s}^2$  ซึ่งเป็นหน่วยของความเร่ง ดังจะได้ศึกษาต่อไป



รูปที่ 2.3 ความดันในของของเหลวและแรงที่ของเหลวกระทำต่อผนังภาชนะ

เมื่อพิจารณาแรงกระทำของของเหลว ที่กระทำต่อกันภาชนะดังรูปที่ 3a หรือที่กระทำต่อพื้นที่สมมุติ A ดังรูปที่ 3b แรงกระทำก็คือน้ำหนักของลำของเหลวที่อยู่เหนือพื้นที่ A นั่นเอง ถ้าให้น้ำหนักของเหลวเหนือพื้นที่ A เท่ากับแรงดัน ความดันอันเนื่องมาจากน้ำหนักของของเหลว สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

$$\text{จากนิยาม} \quad P = \frac{F}{A}$$

$$\text{ดังนั้นจะได้ว่า} \quad P = \rho gh \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตามผู้จัดทำขอสงวนลิขสิทธิ์และขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาเอกสารฉบับนี้ไว้  
และจากการทดลอง  $P = k\rho h$  จะได้ว่า  $k$  ก็คือ  $g$  นั่นเอง ซึ่งสอดคล้องกัน ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า “สำหรับของเหลวที่อยู่นิ่ง ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ ความดันของของเหลวจะแปรผันตรงกับความลึก

และความหนาแน่นของของเหลวเสมอ” (ไม่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของภาชนะหรือปริมาตรของของเหลว)

### 2.3 ความดันที่เกิดจากก๊าซ (Pressure of Gases)

เมื่อนำก๊าซบรรจุลงไปในภาชนะปิดที่มีปริมาตรคงที่ การเปลี่ยนแปลงความดันของก๊าซภายในภาชนะสามารถเกิดขึ้นได้ 2 กรณีคือ แรงจากภายนอกที่มากระทำกับภาชนะและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปโดยรอบภาชนะ ซึ่งถ้าบริเวณรอบๆภาชนะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นความดันของก๊าซภายในภาชนะก็จะเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โมเลกุลของก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในภาชนะจะเกิดการเคลื่อนที่อย่างไม่สมมาตรกัน จึงทำให้เกิดการชนกันของโมเลกุลด้วยตัวเองและชนกับผนังของภาชนะ โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของก๊าซจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นได้จากสมการที่ 2.4

$$P = \frac{1}{3} n \times m \times v^2 \quad (2.4)$$

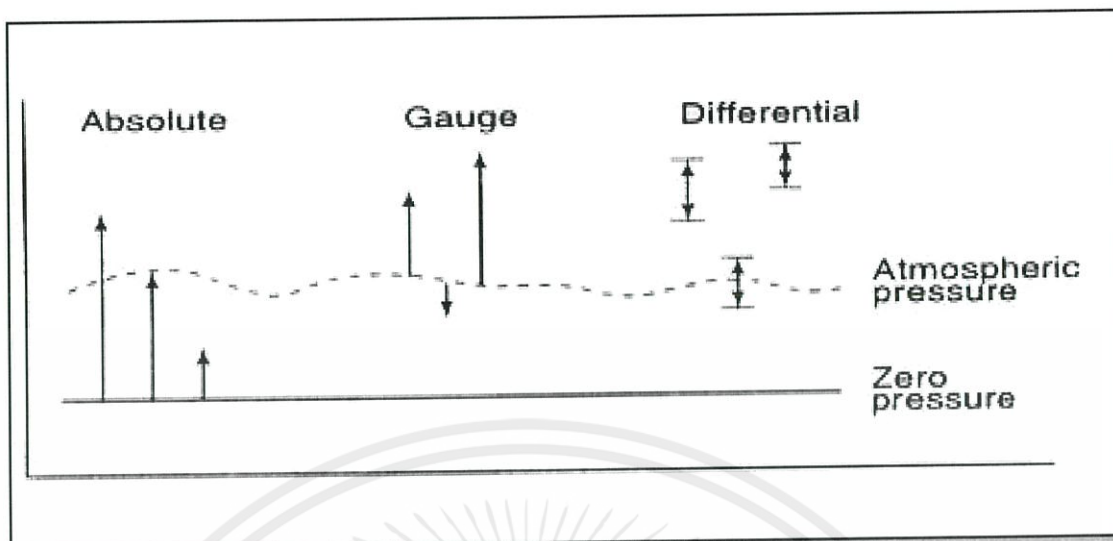
เมื่อ  $n$  คือจำนวน โมเลกุลของก๊าซ ( $m^3$ )  
 $m$  คือมวลของ โมเลกุลก๊าซ (kg)  
 $v$  คือความเร็วในการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลก๊าซ (m/sec)

### 2.4 ชนิดของความดัน (Type of Pressure) มี 4 ชนิด

ก่อนที่จะกล่าวถึงวิธีการวัดความดันควรที่จะต้องศึกษาและทำความเข้าใจถึงรูปแบบของความดันเพื่อใช้เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งในกาพิจารณาเลือกเครื่องมือหรืออุปกรณ์ให้เหมาะสมกับความดันที่ต้องการตรวจวัด ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะดังนี้

- ความดันเกจ (Gauge Pressure)
- ความดันสมบูรณ์ (Absolute Pressure)
- ความดันแตกต่าง (Differential Pressure)
- สภาวะสุญญากาศ (Vacuum Pressure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.4.1 ความดันเกจ  $P_{gauge}$  (gauge pressure) คือ ความดันที่อ่านได้จากเกจวัดความดัน ซึ่งมีความดันมากกว่าความดันบรรยากาศโดยให้ความดันบรรยากาศเป็นความดันเริ่มต้นศูนย์ของความดันเกจ เท่ากับ  $P_{gauge} = P_{abs} - P_{atm}$

2.4.2 ความดันสัมบูรณ์  $P_{abs}$  (absolute pressure) คือ ความดันจริงซึ่งอาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่าความดันบรรยากาศ ขึ้นอยู่กับความดันที่เกจวัดได้ ความดันเกจมีค่าเป็นบวก (+) หากความดันขณะนั้นมากกว่าความดันบรรยากาศ และความดันเกจมีค่าเป็นลบ (-) หากความดันขณะนั้นน้อยกว่าความดันบรรยากาศ จะได้ว่า ความดันสัมบูรณ์  $P_{abs} = P_{atm} + P_{gauge}$

2.4.3 ความดันแตกต่าง (Differential Pressure) คือ ความดันที่เป็นความแตกต่างหรือผลต่างของความดัน 2 ค่าซึ่งเรียกอีกอย่างว่า  $\Delta P$  โดยปกติแล้วจะนำไปใช้สำหรับตรวจวัดอัตราการไหล (Flow Rate) ของของไหล ร่วมกับเครื่องมือวัดอัตราการไหลบางชนิด

2.4.4 ความดันสุญญากาศ  $P_{vac}$  (vacuum pressure) คือ ความดันที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศ (เกจวัดมีค่าเป็นลบ) แต่มากกว่าความดันศูนย์สัมบูรณ์  
หมายเหตุ: จุดศูนย์ของความดันเกจหรือสภาวะบรรยากาศ จะมีค่าแตกต่างประมาณ 5% แต่ในทางปฏิบัติถือว่ามีความเท่ากัน (average atmospheric pressure)

ระดับของสภาวะสุญญากาศ

- ระดับต่ำ (Low level) คือ อยู่ในช่วง -25 จนถึง -736 mmHg

- ระดับกลาง (Medium Level) อยู่ในช่วง 1 จนถึง  $-10^{-3}$  torr หรือ -759 mmHg จนถึง

759.999 mmHg

- ระดับสูง (High Level) อยู่ในช่วง  $10^{-3}$  จนถึง  $10^{-7}$  torr หรือ -759.999 mmHg จนถึง 759.999999 mmHg
- ระดับสูงพิเศษ (Extreme high Level) อยู่ในช่วง  $10^{-7}$  torr ลงไป

หมายเหตุ: 1 torr มีค่าเท่ากับ 1 mmHg ส่วนมากใช้กับระบบที่เป็นสุญญากาศ 1 บรรยากาศ (1atm) = 760 torr

## 2.5 ประเภทของเครื่องมือวัดความดัน

ประเภทของเครื่องมือวัดความดัน แบ่งได้ 2 หลักการ

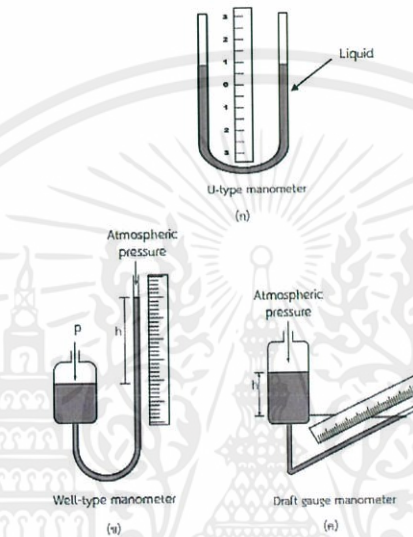
1. หลักการทางเชิงกล
2. หลักการทางไฟฟ้า

### 2.5.1 หลักการทางเชิงกล แบ่งเป็น 5 ชนิด

2.5.1.1 มาโนมิเตอร์ (manometer) เป็นเครื่องมือวัดความดันชนิดอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางกล มีโครงสร้างเป็นหลอดใสภายในบรรจุของเหลว ทำงานโดยอาศัยการเปรียบเทียบกับความดันที่รู้ค่าเช่นเดียวกับบารอมิเตอร์ มาโนมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดความดันในรูปแบบของความดันแตกต่าง โดยพิจารณาจากความแตกต่างของระดับความสูงของของเหลวภายในหลอดแก้วสองข้าง มีหลายรูปแบบ ได้แก่ มาโนมิเตอร์รูปตัวยู (u-type manometer) มาโนมิเตอร์แบบหลอดเดี่ยวหรือแบบ (well-type manometer) และมาโนมิเตอร์แบบหลอดเอียงหรือแบบ (incline manometer) โครงสร้างของมาโนมิเตอร์ทั้ง 3 รูปแบบ (ดังรูป) โดยชนิดที่นิยมใช้ คือ มาโนมิเตอร์แบบหลอดเดี่ยว (รูป ก) ซึ่งดัดแปลงมาจากมาโนมิเตอร์รูปตัวยูเพื่อให้ง่ายต่อการอ่านค่า และสะดวกในการติดตั้งภายในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด โดยทั่วไปมาโนมิเตอร์เหมาะสำหรับวัดค่าความดันระดับต่ำๆ ประมาณ 1 บาร์ สำหรับการใช้งานในย่านความดันสูงในทางปฏิบัติไม่เหมาะสม เนื่องจากมีข้อจำกัดในเรื่องความสูงของหลอดบรรจุของเหลว หรืออาจนำไปใช้สำหรับวัดค่าความดันแตกต่าง ที่มีค่าความแตกต่างไม่สูงมากนัก เช่น การวัดค่าความดันแตกต่างเพื่อนำไปคำนวณหาค่าอัตราการไหลของของไหล เป็นต้น

คุณลักษณะสำคัญของของเหลวที่บรรจุภายในหลอดมาโนมิเตอร์มีดังนี้ ของเหลวที่ใช้ควรเคลื่อนที่ภายในหลอดได้อย่างอิสระไม่ยึดเกาะติดที่ผนังหลอด ต้องไม่กัดกร่อน ไม่ทำปฏิกิริยาหรือรวมตัวกับตัวกลางส่งผ่านความดันในระบบ ในสถานะใช้งานต้องไม่เปลี่ยนสถานะ เช่น การแข็งตัวหรือการเดือดเป็นไอ ค่าความหนาแน่นของของเหลวต้องเหมาะสมกับย่านความดันใช้งานและ

ระดับความสูงของหลอดคาโนมิเตอร์ ของเหลวที่ใช้มีหลายชนิด ได้แก่ ปรอท น้ำมัน หรือของเหลวชนิดอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของปรอทกับน้ำหรือน้ำมัน พบว่าปรอทมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าน้ำหรือน้ำมันมาก โดยปรอทมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าน้ำมากถึง 13.6 เท่า จึงนิยมใช้ปรอทบรรจุในหลอดคาโนมิเตอร์สำหรับการใช้งานในย่านการวัดความดันสูง และใช้น้ำหรือน้ำมันสำหรับการใช้งานในย่านความดันต่ำ นอกจากนี้ ค่าความไวของคาโนมิเตอร์ยังขึ้นอยู่กับชนิดของเหลวที่บรรจุภายในหลอดคาโนมิเตอร์



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของคาโนมิเตอร์รูปแบบต่างๆ

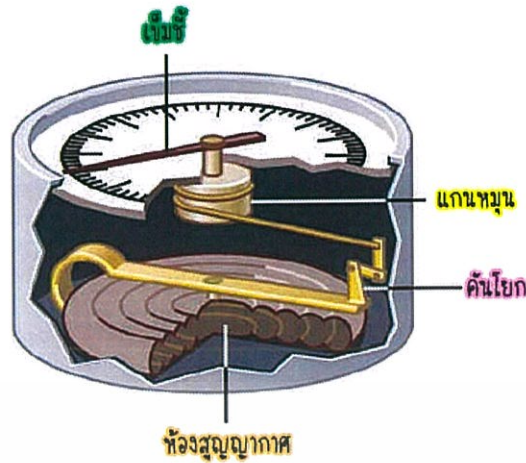


รูปที่ 2.6 ลักษณะของคาโนมิเตอร์รูปแบบต่างๆ

2.5.1.2 บารอมิเตอร์ (Barometer) เมื่อมีแรงจากอากาศมากกดทับโลหะจะทำให้ตลับโลหะมีการเคลื่อนไหว ทำให้ เข็มที่ติดไว้กับตัวตลับชี้บอก ความกดดันของอากาศ โดยทำสเกลบอกระดับความดัน ของอากาศไว้ วัดค่า ความกดดันที่เกิดจากแรงดันของ อากาศโดยใช้ของเหลว หรือ วัสดุแข็ง ที่สัมผัสโดยตรงกับอากาศ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความกดดัน สามารถนำไปทำนายการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศในช่วงเวลาสั้นๆ การวัดความกด ดัน อากาศหลายจุดนำมา ประมวลผลภายใน การวิเคราะห์อากาศพื้นผิว (surface weather analysis) เพื่อช่วยค้นหาร่องความกดอากาศ (surface troughs),ระบบ ความกดอากาศสูง (high pressure systems), และ เส้นความกดอากาศเท่า (frontal boundaries)

บารอมิเตอร์แบบอย่างของเหลว หรือ บารอมิเตอร์อย่างง่าย มีหลักการคือ

1. อากาศมีแรงดันทุกทิศทาง(ซึ่งถ้าอากาศมีความดันมากก็จะมีแรงดันมาก) และแรงดันของอากาศจะกดลงบนผิวหน้าของของเหลว เช่น น้ำ หรือ ปรอท
2. ปกติถ้ามีท่อบรรจุของเหลวโดยปลายท่อทั้งสองข้างเป็นปลายเปิดเนื่อง จากอากาศที่สัมผัสผิวของ เหลวในท่อทั้งสองข้างมาจากแหล่งเดียวกันมีแรงดัน(และความดัน)เท่ากัน จึงทำให้ระดับของเหลว ทั้งสองข้างเท่ากันเสมอไม่ว่าจะเอียงท่ออย่างไรก็ตาม (หลักการนี้นำไปใช้กับการคำนวณระดับสำหรับวัดระดับสิ่งก่อสร้างให้สูงเท่ากัน)
3. ถ้าปลายท่อข้างหนึ่งเป็นสุญญากาศ (ไม่มีแรงดันจากอากาศ) ขณะที่ปลาย ท่ออีกข้างหนึ่งสัมผัส อากาศ (สัมผัสแรงดันจากอากาศภายนอก)
4. เมื่อยกปลายท่อข้างปิดให้สูงขึ้น (หรือเมื่อยกหลอดสูงขึ้น) แรงดันจากอากาศ จะดันระดับของเหลวใน ปลายข้างเปิดลงไปซึ่งส่งผลให้ยกกระดับของเหลวในปลายข้างปิดให้สูงขึ้นเป็นการพิสูจน์ว่า อากาศมี แรงกดดัน(แต่กรณีตรงข้าม ถ้าเลื่อนปลายท่อข้างปิดให้ต่ำลง แล้วระดับของเหลวในปลายข้างเปิดกลับ สูงขึ้นขึ้นตอนนี้เป็นแรงดันจากแรงดันของของเหลวที่กระทำกับวัสดุที่อุด ท่อ)
5. ถ้ายกปลายท่อให้สูงขึ้นไปอีกถึงระดับความสูงหนึ่งแม้ว่าอากาศมีแรงดัน แต่แรงดัน (ความดัน)ของอากาศมีขีดจำกัด
6. เมื่อถึงระดับความสูงหนึ่งแรงดันจากอากาศภายนอกไม่สามารถชนะแรงดันจากความดันของเหลวไม่ว่า จะยกปลายท่อสูงเพียงใด(หรือไม่ว่าโยกหลอด สูบเพียงใด)
7. โดยพบว่า ที่ระดับพื้นผิวโลก (ระดับน้ำทะเล)อากาศจะดันของเหลวขึ้นไปใน ท่อได้เต็มที่เพียงประมาณ 76 เซนติเมตร (เท่ากับ 760 มิลลิเมตร หรือ 0.76 เมตร) กรณีที่ของเหลวในท่อเป็นปรอท(หรือ 9 เมตร ถ้าของเหลวใน ท่อเป็น น้ำ หรือแล้วแต่ชนิดของเหลว)



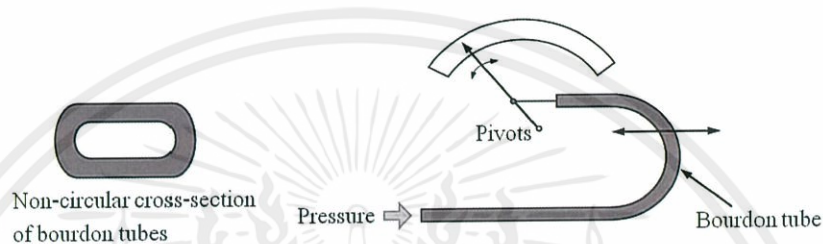
รูปที่ 2.7 โครงสร้างบารอมิเตอร์

2.5.1.3 บัวร์ดอง (bourdon Gauge) เป็นเครื่องมือวัดความดันชนิดอาศัยการเปลี่ยนแปลงทางกลด้วยหลักการยืดตัว/โก่งตัวของวัสดุที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นหรือเรียกว่า “เครื่องมือวัดความดันแบบอิลาสติก” ทำงานโดยอาศัยการแปลงความดันที่อุปกรณ์ได้รับให้อยู่ในรูปของการเคลื่อนที่ บัวร์ดองนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีย่านการวัดที่กว้าง (1 บาร์ - 6800 บาร์) โดยทั่วไปแล้วเหมาะสำหรับการใช้งานในย่านความดันสูง สามารถวัดความดันได้ทั้งความดันเกจและความดันสุญญากาศอย่างมีประสิทธิภาพและมีความน่าเชื่อถือสูง แข็งแรงทนทาน ราคาถูกเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการใช้งาน ตัวอย่างการใช้งาน ได้แก่ การวัดความดันในถังเก็บลมเติมยางรถยนต์หรือถังแก๊สต่าง ๆ เป็นต้น

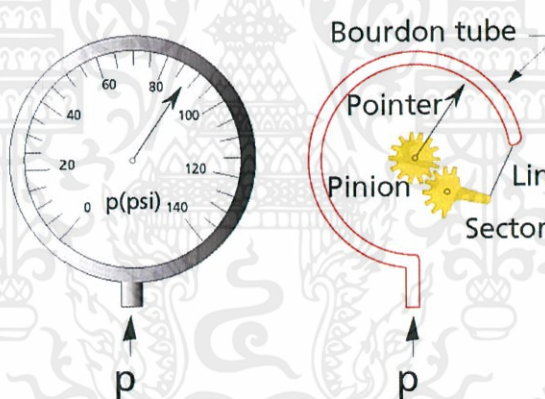
หลอดบัวร์ดอง เป็นหลอดที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นวงรีและงอเป็นส่วนโค้งของวงกลม โดยปลายด้านหนึ่งของหลอดเป็นปลายปิดต่อเข้ากับเข็มตรวจวัดตำแหน่งและระยะการเคลื่อนที่ ปลายอีกด้านหนึ่งเป็นปลายเปิดต่อเข้ากับสิ่งที่ต้องการวัดความดัน เมื่อหลอดได้รับความดันหรือความดันภายในหลอดมากกว่าความดันภายนอก หลอดจะเกิดความเครียดขึ้นและพยายามยืดตัวออกให้ตรงทำให้ปลายข้างที่ปิดเคลื่อนที่ โดยการเคลื่อนที่นี้เปลี่ยนแปลงตามความดันที่ได้รับ และเมื่อความดันลดลง หลอดจะเคลื่อนที่กลับเข้าสู่ตำแหน่งเดิม ลักษณะการทำงานของบัวร์ดองมีหลักการเดียวกับของเด็กเล่นที่มีลักษณะเป็นขดกระดาษม้วน โดยเมื่อเป่าลมเข้า ขดกระดาษม้วนจะคลายตัวออก และเมื่อปล่อยลมออก ขดกระดาษจะม้วนตัวกลับเข้าสู่สภาพเดิม

บัวร์ดองเป็นเครื่องมือวัดความดันที่นิยมใช้วัดความดันในย่านความดันสูงตั้งแต่ 1 บาร์ ถึง 6800 บาร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของบัวร์ดอง ไม่นิยมใช้ในย่านความดันต่ำ มีราคาค่อนข้างถูก มีโครงสร้างง่าย มีย่านการใช้งานให้เลือกมาก อย่างไรก็ตาม บัวร์ดองมีฮิสเตอร์ซิสค่อนข้างกว้าง และไม่ควรติดตั้งเข็มชี้วัดระยะการเคลื่อนที่โดยตรงกับตัวบัวร์ดองสำหรับการใช้งานในจุดที่มีความสั่นสะเทือน

โดยทั่วไปวัสดุที่นิยมนำมาทำบัวร์ดอง ได้แก่ วัสดุจำพวกเบอริลเลียม-ทองแดง (Beryllium Copper) ฟอสเฟอ์บรอนซ์ (Phosphor Bronze) และสแตนเลส (Stainless steel) การเลือกใช้วัสดุทำตัวบัวร์ดองขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิด ได้แก่ ชนิดและสภาพการกัดกร่อนของของไหลในระบบ ย่านความดันใช้งาน และอุณหภูมิใช้งาน เป็นต้น โดยถ้าย่านการใช้งานอยู่ในช่วงความดันต่ำและไม่กัดกร่อนนิยมใช้ฟอสเฟอ์บรอนซ์ ถ้าย่านการใช้งานอยู่ในช่วงความดันค่อนข้างสูงและของไหลเป็นสารกัดกร่อนควรใช้สแตนเลส ในสภาพการใช้งานที่อาจมีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้องกับตัวอาจต้องใช้ระบบเคมีคอลลซีล (Chemical seal) เข้ามาช่วย



รูปที่ 2.8 ลักษณะของหลอดบัวร์ดอง



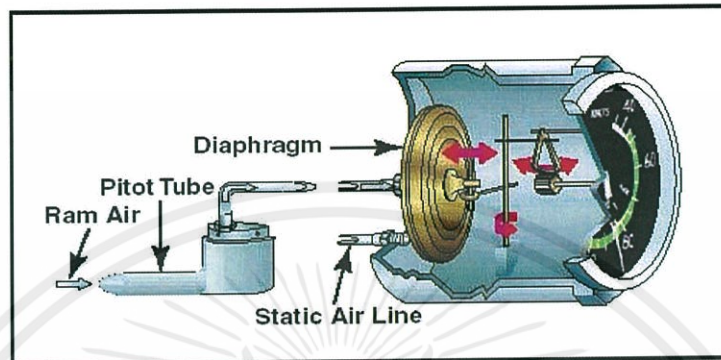
รูปที่ 2.9 หลักการทำงานของบัวร์ดอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 รูปแบบของบัวร์ดอง

2.5.1.4 ไดอะแฟรม เป็นวัสดุที่ทำจากแผ่นโลหะหรือ สารสังเคราะห์ แผ่นพลาสติกบางทรงกลม ใช้การโก่งตัวของแผ่นตอบสนองต่อแรงความดันกระทำ ใช้วัดทั้งความดันสัมบูรณ์ ความดันเกจ หรือ สุญญากาศมีย่านการวัดตั้งแต่ 0.001 mbar ถึง 20 bar เหมาะในการใช้วัดความดันของสารกัดกร่อน ของไหลที่ความหนืดสูง หรือเกิดการแข็งตัวได้ง่าย เนื่องจากสามารถทำเคมีคอนซิลได้ง่าย



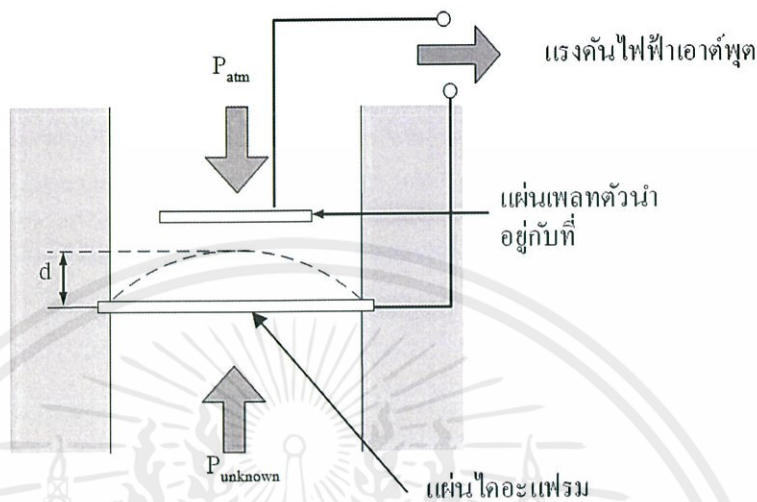
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของไดอะแฟรม

## 2.5.2 หลักการทางไฟฟ้า

### 2.5.2.1 ทรานสดิวเซอร์ความดันชนิดเปลี่ยนความจุไฟฟ้า (capacitive pressure transducer)

เป็นทรานสดิวเซอร์ประเภทพาสซีฟ ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนค่าความจุไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง และระยะการเคลื่อนที่ของไดอะแฟรม ลักษณะโครงสร้างประกอบด้วยแผ่นโลหะไดอะแฟรมบางยึดติดไว้กับท่อทรงกระบอก เมื่อได้รับความดันไดอะแฟรมจะโก่งตัวไปตามทิศทางของความดัน โดยระยะการโก่งตัวของไดอะแฟรม (d) แปรผันตรงกับขนาดของความดันที่มากระทำ ซึ่งสามารถวัดระยะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ โดยติดตั้งแผ่นเพลทตัวนำที่มีฉนวนหุ้มในแนวขนานประกอบแผ่นไดอะแฟรมและให้แผ่นทั้งสองเป็นขั้วไฟฟ้า (Electrodes) เมื่อแผ่น ไดอะแฟรมได้รับความดันจะเกิดการสั้นหรือการโก่งตัวเป็นระยะ d ทำให้เกิด

การเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าระหว่างแผ่นไดอะแฟรมกับขั้วไฟฟ้า ดังสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่าความจุไฟฟ้ากับระยะห่างระหว่างแผ่นตัวนำ  $C \propto 1/d$

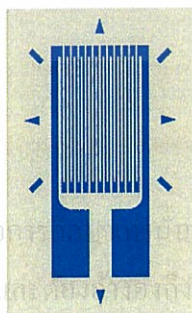


รูปที่ 2.12 โครงสร้างทรานสดิวเซอร์วัดความดันชนิดเปลี่ยนความจุ

2.5.2. 2 สเตรนเกจ (Strain Gauge)

สเตรนเกจ (Strain Gauge) คือเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดแรงดึงเครียด (Strain) ของวัสดุ คิดค้นโดย เอ็ดเวิร์ด อี ซิมมอนส์ และ อาร์เทอร์ ซี รูค ในปี ค.ศ. 1938 เป็นส่วนประกอบสำคัญของ load cell ในเครื่องชั่งน้ำหนัก (weigher) เครื่องวัดเนื้อสัมผัสของอาหารสเตรนเกจ จะทำจากเส้นลวดโลหะขนาดเล็กขดเป็นรูปร่างต่างๆ อยู่บนแผ่นฉนวน หรือ แบบอุปกรณ์กึ่งตัวนำด้วย ซึ่งมีความไวสูงกว่าและขนาดเล็กกว่าแบบลวดโลหะ

หลักการของเตจเกจ คือ เมื่อสเตรนเกจถูกแรงกระทำ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป (ยืด หด บิด งอ) ทำให้ความต้านทานของวัตถุนั้นเปลี่ยนไปตามแรงที่กระทำ การนำไปใช้จะใช้วิธีการต่อวงจร Wheatstone bridge เพื่อหาความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าเมื่อความต้านทานเปลี่ยนแปลงไป



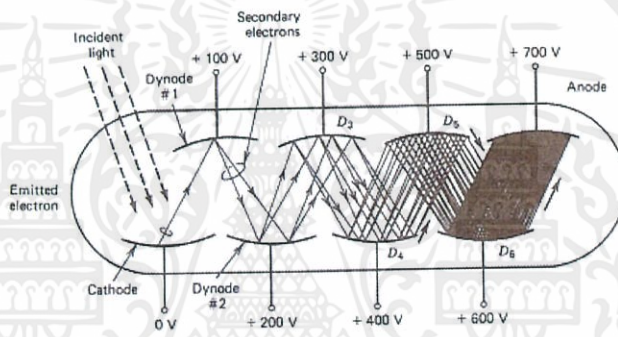
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และเผยแพร่ซ้ำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 โครงสร้างของสเตรนเกจ

### 2.5.2.3 โฟโตอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ (photoelectric transducer)

โฟโตอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์(photoelectric transducer) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่ตอบสนองตามความเข้มของแสง สามารถจำแนกได้ตามลักษณะการทำงาน 3 แบบ ดังนี้

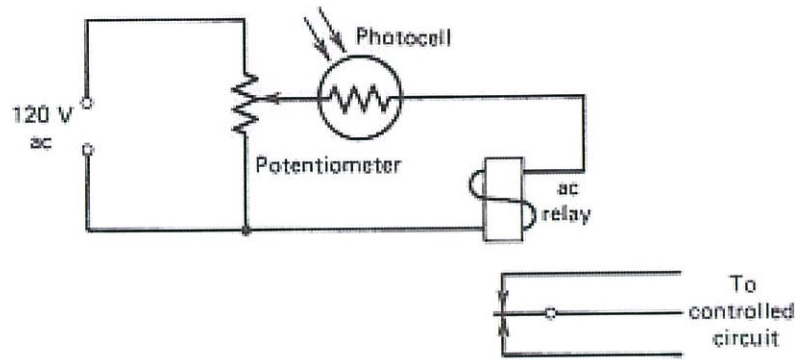
1. โฟโตมิสซีฟ(photoemissive) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่จะทำงานเมื่อมีแสงตกกระทบบคาโทดจะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกจากพื้นผิวของคาโทดจากหลอดแก้วโฟโตมัลติไฟเออร์ (photomultiplier tube) เป็นหลอดแก้วสูญญากาศที่ภายในบรรจุประกอบด้วยขั้วโฟโตแคโทด (photocathode) ขั้วแอนโนด(anode) และขั้วอิเล็กโทด(electrode) หลายอันที่เรียกว่า ไดโนดส์ (dynodes)และมีไฟแรงดันสูงป้อนให้การทำงานจะเริ่มต้นจากอิเล็กตรอนที่ส่งออกไปจากคาโทดไปยังแอนโนดอันแรกจะมีความเร็วสูงมากจนกระทั่งเมื่อเกิดการชนจะทำให้อิเล็กตรอนที่ไดโนดอันแรกหลุดออกมามากขึ้นกว่าจำนวนอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าชน 232 อิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเร่งความเร็วเพื่อให้กระทบบไดโนดอันต่อไป การชนแต่ละครั้งจะทำให้จำนวนอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ดังรูป



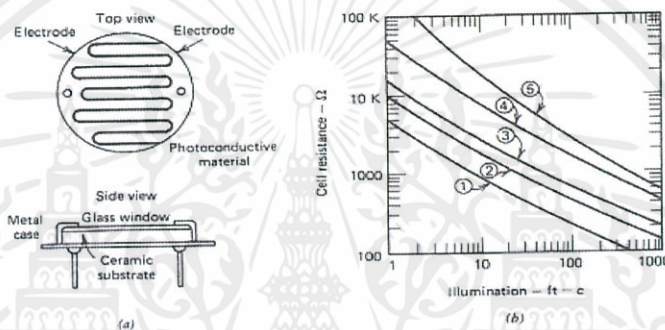
รูปที่ 2.14 หลักการทำงานของหลอดแก้วโฟโตมัลติไฟเออร์

2. โฟโตคอนดักทีฟเซลล์(photoconductive cell) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่จะทำงานเมื่อมีแสงมากระทบจะเป็นผลทำให้ค่าความต้านทานของตัวมันเปลี่ยนแปลงไป โครงสร้างของโฟโตคอนดักทีฟเซลล์ หรือบางครั้งเรียกว่า โฟโตเซลล์ (photocells) แสดงดังรูปที่ 14 วัสดุที่นำมาใช้สร้างโดยทั่วไป ได้แก่ แคดเมียมซัลไฟด์(cadmium sulfide) หรือแคดเมียมเซเลไนด์(cadmium selenide) เป็นต้น การจัดวางโครงสร้างวัสดุจะเป็นลักษณะซิกแซก เนื่องจากผลทางฟิสิกส์กำลังไฟฟ้าและปิดปกคลุมด้วยอิเล็กโทดที่มีฐานทำด้วยฉนวนเซรามิก ส่วนหน้าจะมีช่องสำหรับการรับแสงที่กระทบลงมาได้จะเล็กหรือใหญ่แล้วแต่การออกแบบซึ่งมีหลายขนาดให้เลือก สำหรับการทำงานนั้นสามารถต่อวงจรใช้งานพื้นฐานดังรูปที่ 15 และจากวงจรการทำงานจะเริ่มขึ้นเมื่อมีแสงมาตกกระทบบโฟโตคอนดักทีฟเซลล์ จะทำให้รีเลย์ทำงานและถ้าไม่มีแสงมาตกกระทบบรีเลย์จะหยุดทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงโฟโตคอนดักทีฟเซลล์ (a) โครงสร้าง (b) กราฟความสัมพันธ์



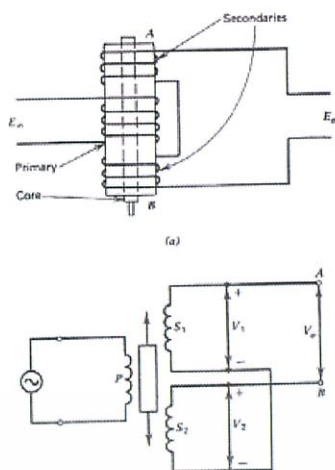
รูปที่ 2.16 แสดงการประยุกต์ใช้งานโฟโตคอนดักทีฟเซลล์

3. โฟโตโวลตาอิก (photovoltaic) บางที่เรียกว่า โซลาร์เซลล์ (solar cell) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่ทำงานเมื่อมีแสงมาตกกระทบมันจะสามารถสร้างขนาดของแรงดันที่ให้ออกมาแปรตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบและเมื่อต่อโหลดจะสามารถจ่ายกระแสทางไฟฟ้าออกมาได้

#### 2.5.2.4 ทรานสดิวเซอร์แบบวาริเอเบิลอินดักแตนซ์ (variable inductance transducer)

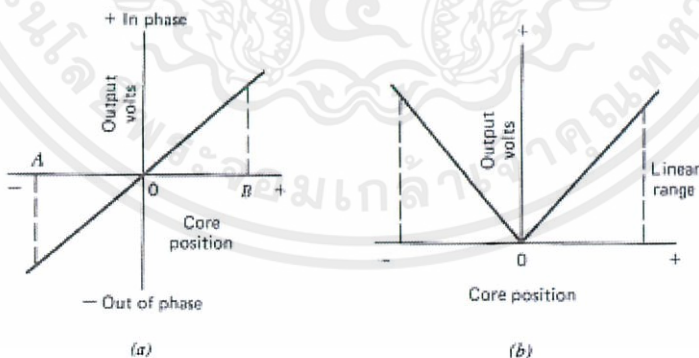
ทรานสดิวเซอร์แบบวาริเอเบิลอินดักแตนซ์ (variable inductance transducer) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่ตอบสนองต่อระยะทาง โดยจะอาศัยการคล่องเกี่ยวสนามแม่เหล็ก (coupling magnetic flux) มักมีลักษณะการทำงานคล้ายกับหม้อแปลงไฟฟ้า เราอาจรู้จักในชื่อ แอลวีดีที (linear variable differential transformer; LVDT) โครงสร้างจะประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิพันล้อมรอบแกนที่มีลักษณะกลวงและยาว ภายในแกนกลางจะมีแท่งโลหะ (core) ที่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้แสดงดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงแวลวีคิตี (a) โครงสร้าง (b) วงจรการทำงานเทียบเท่า

จากรูป ขดลวดทางด้านทุติยภูมิจะพันอนุกรมแบบสวนทางกัน จึงทำให้ทิศทางของแรงดัน  $V_1$  และ  $V_2$  ตรงข้ามกัน ถ้าแท่งโลหะเคลื่อนอยู่ตรงกลางพอดีจะทำให้แรงดัน  $V_1 = V_2$  หรือแรงดัน  $V_0 = V_1 - V_2 = 0$  และเมื่อมีการเคลื่อนที่ออกจากจุดกึ่งกลางไปทางด้านขดทุติยภูมิ  $S_1$  จะทำให้แรงดัน  $V_1 > V_2$  ดังนั้นแรงดัน  $V_0$  จะมีทิศทางตามแรงดัน  $V_1$  ในทางกลับกันถ้ามีการเคลื่อนที่ออกจากจุดกึ่งกลางไปทางด้านขดทุติยภูมิ  $S_2$  จะทำให้แรงดัน  $V_2 > V_1$  ดังนั้นแรงดัน  $V_0$  จะมีทิศทางตามแรงดัน  $V_2$  และจะเห็นว่าขนาดของแรงดัน  $V_0$  จะเป็นสัมพันธ์กับระยะของแท่งโลหะที่เคลื่อนที่ไป ส่วนเครื่องหมายที่ได้จะแสดงถึงทิศทางที่มันเคลื่อนที่ไป แสดงได้ดังรูป



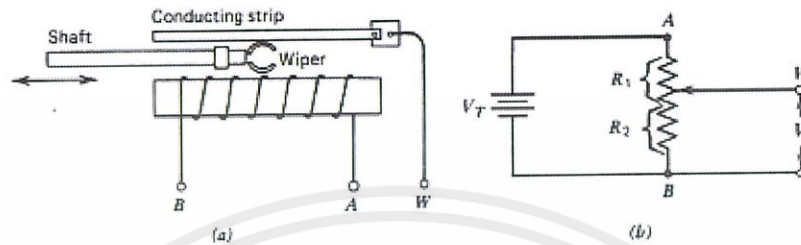
รูปที่ 2.18 แสดงความสัมพันธ์ของแรงดันทางเอาต์พุตกับ (a) ทิศทาง (b) ระยะทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

### 2.5.2.5 ทรานสดิวเซอร์แบบรีซิสทีฟโพซิชั่น

ทรานสดิวเซอร์แบบรีซิสทีฟโพซิชั่น (resistive position transducer) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่

ตอบสนองต่อระยะทาง ดังนั้นจึงถูกนำไปใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของวัตถุหรือระยะทางที่วัตถุเคลื่อนที่ไปได้โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพในขณะที่ทำการวัด ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานของทรานสดิวเซอร์เปลี่ยนแปลงไป ลักษณะโครงสร้างของทรานสดิวเซอร์แบบรีซิสทีฟโพซิชั่นแสดงดังรูป



รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างของทรานสดิวเซอร์แบบรีซิสทีฟโพซิชั่น

เมื่อกำหนดให้ลวดความต้านทานมีขั้วเป็น A และ B ระหว่างลวดความต้านทานจะมีส่วนปลายก้านสัมผัส (wiper) ของแกน (shaft) ทำหน้าที่เชื่อมต่อลวดความต้านทานเข้ากับแถบตัวนำ (conducting strip) และสามารถเคลื่อนที่ไปในลักษณะที่เป็นเชิงเส้น (linear) ดังนั้นความต้านทานระหว่าง BW และ WA จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งของแกนที่เคลื่อนที่ไป เมื่อกำหนดให้ เป็นค่าแรงดันที่แปรตามตำแหน่งของแกนที่เคลื่อนที่ไป สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

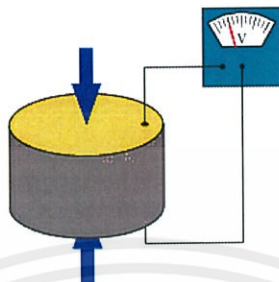
$$\frac{v_0}{v_T} = \frac{R_0}{R_1 + R_2}$$

#### 2.5.2.6 เซนเซอร์เพียโซ (Piezoelectric sensor)

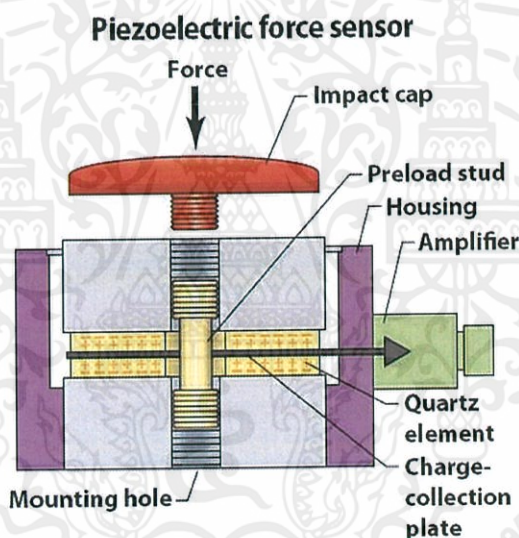
Piezoelectric (เพียโซอิเล็กทริก) คือ อุปกรณ์ตรวจวัดแรงกลต่างๆ เช่น แรงดัน ความเร่ง การสั่น แรงเครียด หรือแรงกระทำอื่นๆ โดยเปลี่ยนพลังงานกลต่างๆเหล่านี้ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าในทางกลับกันเมื่อให้พลังงานไฟฟ้าแก่วัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นเพียโซอิเล็กทริก วัสดุนั้นก็จะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลได้เช่นกัน

วัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric material) เป็นเซรามิกประเภทหนึ่งที่มีสมบัติพิเศษ กล่าวคือ เมื่อได้รับแรงกล (mechanical force) จะให้แรงดันไฟฟ้า (voltage) ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric effect) ในทางกลับกันเมื่อวัสดุได้รับแรงดันไฟฟ้าจะทำให้มีการเปลี่ยนรูปร่าง (deformation) เกิดแรงกลซึ่งเรียกว่า ปรากฏการณ์อินเวอร์สเพียโซอิเล็กทริก (inverse piezoelectric effect) การเปลี่ยนไปมา ระหว่างพลังงานกล และพลังงานไฟฟ้า สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

สมบัติเพียโซอิเล็กทริก จะเกิดขึ้นในวัสดุที่มีสภาพเป็นฉนวนไฟฟ้าเท่านั้น วัสดุเพียโซอิเล็กทริก มีทั้งที่พบในธรรมชาติและจากการสังเคราะห์ เช่น คริสตอล(gallium phosphate, quartz, tourmaline) เซรามิก โพลีเมอร์ เป็นต้น



รูปที่ 2.20 เพียโซอิเล็กทริกเปลี่ยนแรงกดเป็นพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 2.21 รูปร่างลักษณะของเซนเซอร์เพียโซ

### ข้อดีของเซนเซอร์เพียโซ

เซนเซอร์เพียโซสามารถนำไปใช้วัดการบิดตัว วัดการสั่นผัด วัดแรงสั่นสะเทือน วันแรงดัน และวัดแรงกระแทก เนื่องจาก มีความสามารถพิเศษคือสามารถเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ และในทางกลับกันก็สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลได้ด้วยเช่นกัน

เพราะฉะนั้น เซนเซอร์ตัวนี้เลยถูกนำไปใช้ในวงการต่างๆมากมาย เช่นในด้านวงการแพทย์ได้นำไปใช้ผลิตเป็นเครื่องวัดความดันโลหิต (IOP) ด้วย Sensor Piezoelectric ใช้ในการตรวจวัดความดันโลหิต (IOP) ความดันโลหิตที่เปลี่ยนแปลงตามความดันเลือด (OPA) และอัตราการเต้นของ

หัวใจ (H) โดยบอกคุณภาพการวัดเป็น Q1-Q5 ทำการวัดแบบไม่ต้องข้อมสึ และสามารถวัดความดันโลหิตได้ทุกสภาพดวงตา โดยการสัมผัสในส่วนพื้นผิวของกระจกตาส่วนใดก็ได้

### ข้อเสียของเซนเซอร์เพียโซ

เซนเซอร์เพียโซ ที่ผลิตขึ้นมา ใช้ตะกั่วเป็นตัวประกอบ ซึ่งตะกั่ว นั้นเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ตัวอย่างการนำเซนเซอร์เพียโซมาเชื่อมต่อกับวงจร ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์กำลังศึกษาหาวิธีผลิตเพียโซอิเล็กทรอนิกส์ไร้สารตะกั่วขึ้น แม้จะทำสำเร็จได้บ้างแล้ว แต่คุณภาพยังไม่สามารถเทียบเท่าเพียโซอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ตะกั่วได้

### ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานในด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์

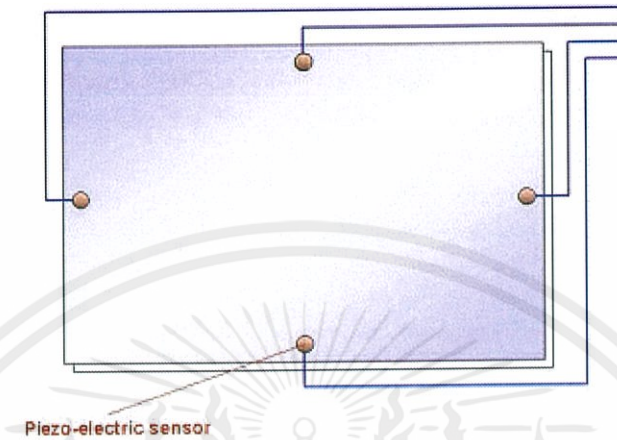
การนำเซนเซอร์เพียโซ ไปใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมชีวการแพทย์ เช่น ตัววัดคลื่นเสียงของหัวใจ(ไมโครโฟน), ตัวรับสัญญาณของเครื่องอัลตราซาวด์, Quartz crystal microbalance (QCM) ที่มีการประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดสารชีวโมเลกุลจำนวนมาก, ตัวตรวจวัดแรง, เครื่องวัดความดันโลหิต (IOP), ทำกางเกงไฮเทค แข็งเตือนการหกล้ม, (Knock Screen) ตามห้างสรรพสินค้า, โซว์รูมต่างๆ, ร้านค้า, ร้านอาหาร และอื่นๆ แล้วแต่จะนำไปประยุกต์ เป็นต้น



รูปที่ 2.22 ตัวรับสัญญาณของเครื่องอัลตราซาวด์

หลักการของอัลตราซาวด์ก็คือ เมื่อให้ประจุไฟฟ้าเป็นระยะ ติดๆกัน ไปยังผลึกที่มีคุณสมบัติPiezoelectric effect ซึ่งบรรจุอยู่ในหัวตรวจ (Transducer or Probe) จะทำให้ได้อัลตราซาวด์ออกมาเป็นช่วงๆ (ultrasonic pulses) เข้าสู่ส่วนที่เรานำสัมผัส เมื่อพบรอยต่อของตัวกลาง (Interface) 2 ชนิด ทำให้เกิดการสะท้อน และการหักเห ตลอดแนวทางที่เสียงเดินทาง ใน

ตัวกลางต่างชนิดกัน การเกิดการสะท้อนกลับมาจากหัวตรวจ จะเกิดในเปอร์เซ็นต์และองศาที่แตกต่างกัน ฉะนั้นภาพที่ได้จึงปรากฏบนจอภาพให้เห็น ความแตกต่างของเนื้อเยื่อ ซึ่งเป็นตัวกลางที่เสียงเดินทาง จึงทำให้บอกความผิดปกติ เพื่อตรวจวินิจฉัยโรคได้



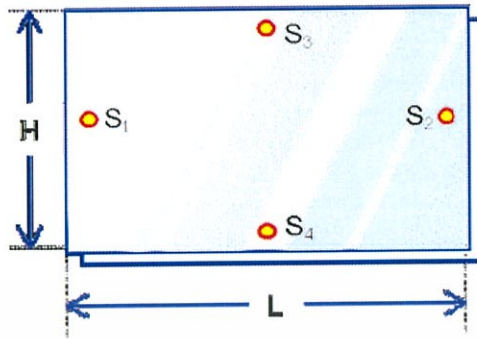
รูปที่ 2.23 ที่รับสัญญาณการเคาะ (Knock Screen)

ในการเพิ่มประสิทธิภาพกระจกหน้าร้านธรรมดาให้เป็นจอ Interactive ที่รับสัญญาณจากการเคาะ (Knock Screen) ทำให้ความสามารถในการประชาสัมพันธ์สินค้าดีขึ้น เมื่อลูกค้าต้องการทราบรายละเอียดของสินค้าตัวใดก็เพียงแต่ใช้โลหะ เช่น ลูกกอล์ฟ หรือเหรียญ เคาะกระจกตรงบริเวณสินค้าที่ต้องการทราบข้อมูล เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ตั้งอยู่หลังกระจกก็จะแสดงรายละเอียดของสินค้าขึ้นมา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานด้านต่างๆ ได้ เช่น ห้างสรรพสินค้า, โชว์รูมต่างๆ, ร้านค้า, ร้านอาหาร และอื่นๆ แล้วแต่จะนำไปประยุกต์

การทำงานโดยจะคอยตรวจการเคาะกระจกโดยใช้ Piezo - Electric Sensor 4 ตัวติดไว้ตรงขอบของกระจกทั้ง 4 ด้าน เพื่อคอยตรวจวัดแรงสั่นสะเทือนและส่งข้อมูลแรงสั่นสะเทือนที่จับได้นี้ผ่านทาง RS232 ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อให้คำนวณตำแหน่ง (Coordinate) บนกระจกออกมา และติดต่อกับฐานข้อมูล (Database) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อจะแสดงรายละเอียดของสินค้านี้คือ ภาพ, ราคา, รหัสสินค้า, ข้อความบรรยายรายละเอียดสินค้าออกทางจอภาพและเสียงบรรยายออกทางลำโพง

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของสถาบันวิจัยและพัฒนาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ นำ Sensor มาติดบนกระจกโดยติดด้านในร้านที่ด้านทั้ง 4 ด้าน โดยเมื่อมองจากด้านนอกร้านแล้ว  
Sensor ทางด้านซ้ายมือจะเป็นตัวที่ 1 , ตัวทางขวาจะเป็นตัวที่ 2 , ตัวด้านบนจะเป็นตัวที่ 3 , และตัว

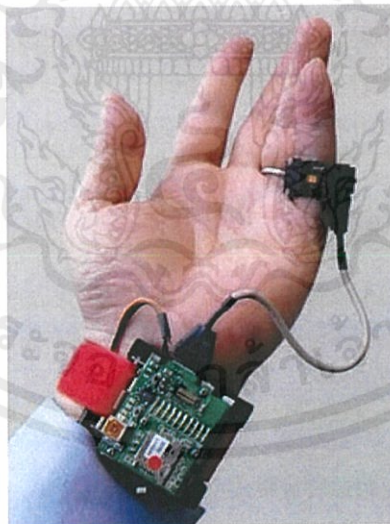
ด้านล่างจะเป็นตัวที่ 4



รูปที่ 2.24 การติดตั้งตัว Piezo - Electric Sensor

จากนั้นให้ต่อ Sensor ทั้ง 4 ตัว เข้ากับ Board โดยเรียงตามลำดับตัวที่ 1 ถึง 4 โดยตัวที่ 1 จะเสียบด้านบนของ Board จากนั้นก็เรียงต่อลงมาเรื่อยๆ จนครบ สุดท้ายให้นำสาย Serial มาเสียบเข้ากับ Board ตรงบริเวณด้านล่างขวา และหัวอีกด้านก็ไปต่อกับ Comm-port ของ PC ก็เป็นอันเสร็จสิ้นการติดตั้ง

Blood pressure sensor คือแผ่น piezoelectric จะรับสัญญาณของความดันโลหิตแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟฟ้า

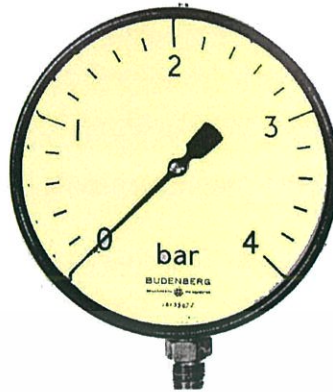


รูปที่ 2.25 Blood pressure sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**2.6 การแบ่งประเภทของ pressure gauge ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน**  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.1 Pressure gauge

ใช้วัด positive gauge pressure จะมี 0 อยู่ซ้ายสุดของ scale เสมอ



รูปที่ 2.26 Pressure gauge

### 2.6.2 Vacuum gauge

ใช้วัด negative gauge pressure maximum range จะอยู่ที่ -30 inHg หรือ -100 kPa คือประมาณ 1 บรรยากาศ (1 atm) จุดความดัน 0 อยู่ขวาสุดของ scale มักมีคำว่า vacuum หรือ เครื่องหมาย (-) กำกับอยู่ด้วย บางกรณี 0 จะอยู่ซ้ายสุดของ scale และมีคำว่า vacuum ระบุไว้ให้ทราบด้วย

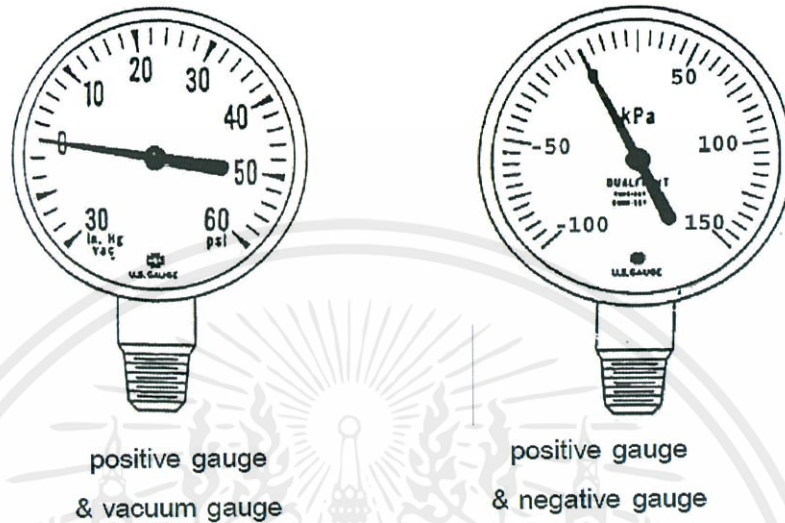


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.27 Vacuum gauge

### 2.6.3 Compound gauge

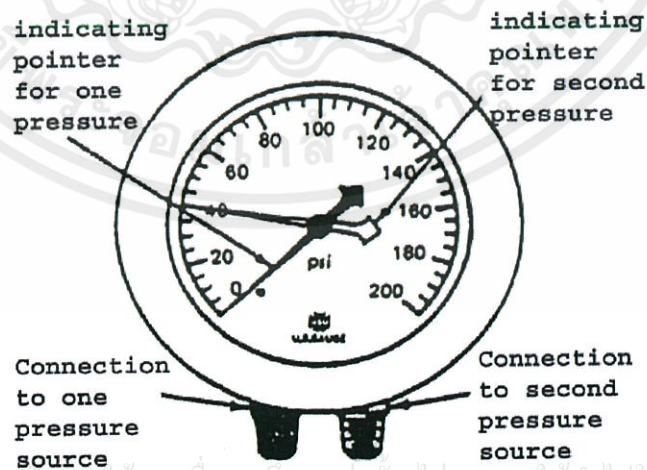
สามารถวัดได้ทั้งความดันที่สูงและต่ำกว่า ambient pressure



รูปที่ 2.28 Compound gauges

### 2.6.4 Duplex gauge or dual gauge

สามารถวัดความดันจากสองแหล่งจ่ายได้ในเวลาเดียวกัน pressure inlet 2 จุดแยกอิสระต่อกัน



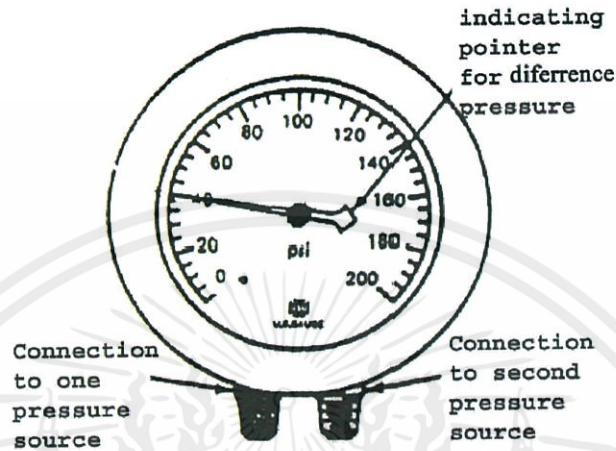
Duplex or dual gauge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน Duplex or dual gauge ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.29 Duplex gauge or dual gauge

### 2.6.5 Differential pressure gauge

มี 2 inlet แต่มีเข็มแสดงค่าความดันเพียง 1 เดียว ใช้วัดค่าความแตกต่างของความดันจาก 2 แหล่งจ่าย



รูปที่ 2.30 Differential pressure gauge

### 2.6.6 Dual scale gauge

มี 2 scale ของ 2 หน่วยความดันซ้อนกันอยู่ และ scale ทั้งสองต้องมีความสัมพันธ์กัน

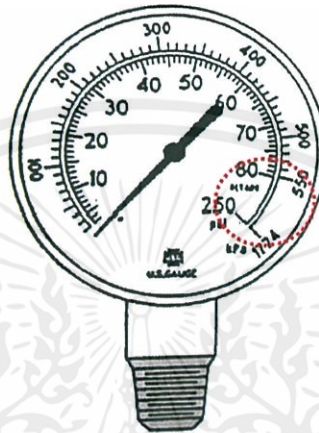


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.31 Dual scale gauge

### 2.6.7 Retard scale

มี scale และระบบการวัดความดันที่ linear ไม่ตลอด scale (อาจเป็น 0-80% ของช่วง scale) ส่วนที่เหลือจะเป็น scale แบบ nonlinear จนถึง full scale gauge ชนิดนี้จะใช้วัดได้แม่นยำเฉพาะช่วง linear scale เท่านั้น maximum range ที่สูงกว่าปกติเพื่อป้องกัน gauge เสียหายเนื่องจาก surge pressure ที่ในระบบ



รูปที่ 2.32 Retard scale

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานในการทดลองระบบการวัดความดัน สามารถศึกษากระบวนการของการทำงาน การออกแบบระบบการวัดความดัน การทดสอบและวิธีการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

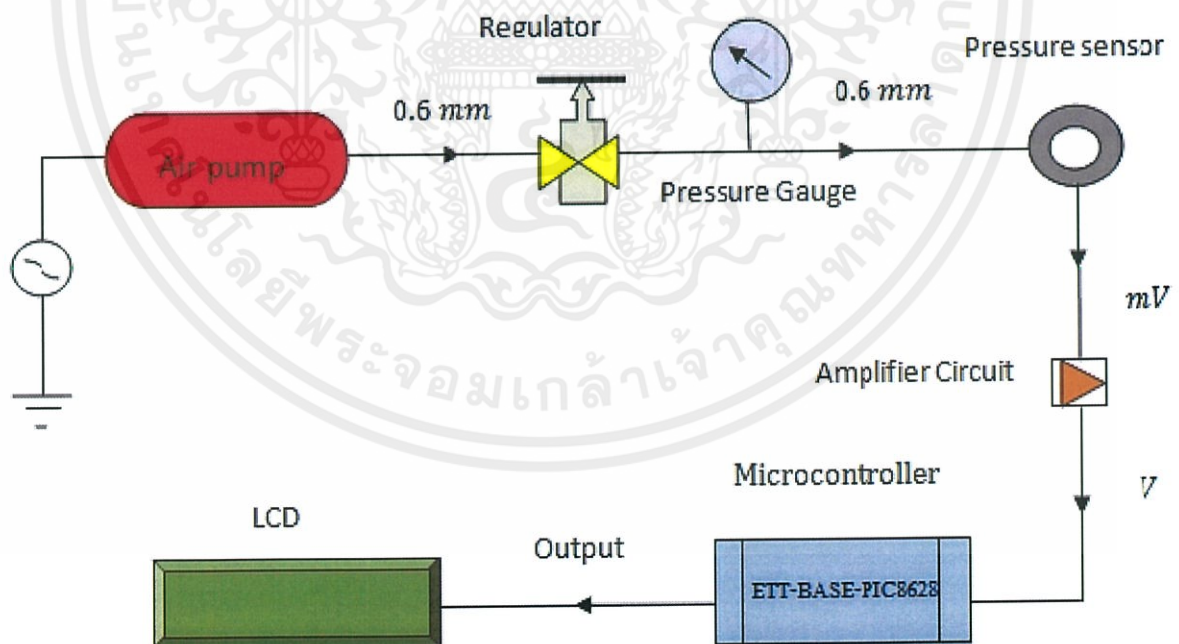
ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบระบบการทำงานของเครื่องมือวัดความดัน

ขั้นตอนที่ 2 การเขียนโปรแกรมประมวลผล

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบและการวิเคราะห์ผลของการวัดความดัน

#### 3.1 การออกแบบระบบการทำงานของเครื่องมือวัดความดัน

ในระบบของการวัดความดันได้ใช้เซนเซอร์ในการวัดความดันซึ่งต่อเข้าแก๊ววัดเพื่ออ่านค่าความดัน โดยการวัดจะเป็นการวัดโดยใช้ความดันแตกต่าง สามารถวัดความดันโดยการปล่อยลมจากที่ปัมลมผ่านตัวแก๊ววัดความดันเข้าเซนเซอร์ ค่าที่ได้ออกมาจะเป็นแรงดันไฟฟ้า

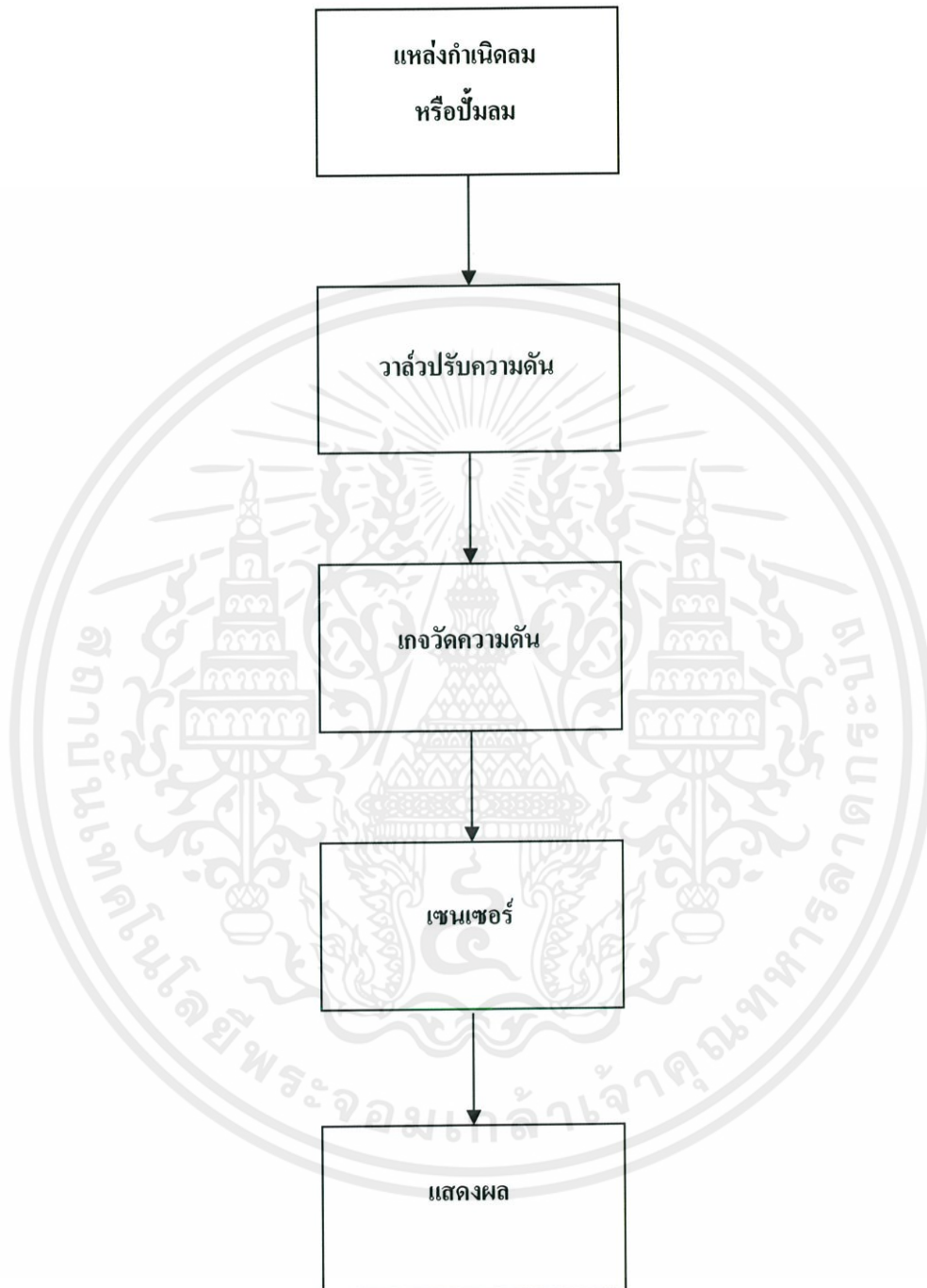


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แผนการทำงานของเครื่องมือวัดความดัน

### 3.1.1 การออกแบบระบบการวัดความดันด้วยเซนเซอร์

แบ่งการออกแบบเป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ตามบล็อกไดอะแกรม



รูปที่ 3.2 แผนการทำงานทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดูแปลงเนื้อหา และอื่น ๆ ซึ่งอิงถึงเป็นเอกสารที่สงวนไว้เป็นความลับไป

โดยทั้ง 5 ส่วนนี้ จะทำงานสัมพันธ์กันทั้งระบบ เพื่อให้การควบคุมและแสดงค่าออกมา

ให้มีความเที่ยงตรงและแม่นยำมากที่สุด

### 3.2 การเขียนโปรแกรมประมวลผล

ในการเขียนโปรแกรมประมวลผลจะใช้โปรแกรม CCS C Compiler เขียนคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากสัญญาณเอาต์พุตของวงจรถ่ายมาเก็บค่าไว้แล้วทำการประมวลผลซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้จะใช้เป็น PIC18F8722 จากนั้นจึงส่งค่าที่ทำการประมวลผลแล้วไปแสดงค่าที่จอ LCD

#### 3.2.1 การเขียนโปรแกรมให้รับค่าจากสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรถ่าย

```
#include <LCD.h>

//LCD Connection Pin

//E(6)   RB0
//RS(4)  RB1
//R/W(5) GND
//D0-D7(7-14) RB0-RB7

//Define LCD I/O PIN

//LCD Control

#define LCD_RS      PIN_H1
#define LCD_RW      PIN_H2
#define LCD_E       PIN_H3

/*----- LCD Data -----*/
#define LCD_D4      PIN_H4
#define LCD_D5      PIN_H5
#define LCD_D6      PIN_H6
#define LCD_D7      PIN_H7

#define LCD_ROW1    0x00
#define LCD_ROW2    0x40
#define LCD_ROW3    0x14
#define LCD_ROW4    0x54

#define LCD_EPLUSE_TM 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแบบลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*----- START LCD Command -----*/
#define LCD_CLEAR_SCREEN 0B00000001
#define LCD_RETURN_HOME 0B00000010
```

```

/*----- Entry mode set (BIT2=1) -----*/
#define LCD_ENTRY_MODE    0B00000100
#define INCREMENTS_LCD    0B00000010
#define DECREMENTS_LCD    0B00000000
#define NO_SCROLL_LCD     0B00000000
#define SCROLL_LCD        0B00000001

/*----- Display ON/OFF (BIT3=1) -----*/
#define DISPLAY_LCD       0B00001000
#define LCD_ON             0B00000100
#define LCD_OFF            0B00000000
#define LCD_CURSOR_ON     0B00000010
#define LCD_CURSOR_OFF    0B00000000
#define LCD_BLINK_ON      0B00000001
#define LCD_BLINK_OFF     0B00000000

/*- Scroll Display/Shift Cursor (BIT4=1) -*/
#define LCD_SCROLL_SHIFT  0B00010000
#define LCD_SHIFT_CURSOR  0B00000000
#define LCD_SHIFT_DISPLAY 0B00001000
#define LCD_SHIFT_LEFT    0B00000000
#define LCD_SHIFT_RIGHT   0B00000100

/*----- Function set (BIT5=1) -----*/
#define LCD_FUNCTION_SET  0B00100000
#define LCD4BIT_MODE      0B00000000
#define LCD8BIT_MODE      0B00010000
#define LCD_LINE1         0B00000000
#define LCD_LINE2         0B00001000
#define LCD_FONT_5X7      0B00000000
#define LCD_FONT_5X10     0B00000100

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

/*---- Move To CGRAM Address (BIT6=1) ---*/
#define LCD_CGRAM_ADDRESS 0B01000000

```

```

/*---- Move To DDRAM Address (BIT7=1) ---*/
#define LCD_DDRAM_ADDRESS 0B10000000

```

```

/*----- END LCD Command -----*/

```

```

void InitialChip(void)

```

```

{

```

```

    set_tris_h(0B00000000);

```

```

    /*

```

```

    output_a(0);

```

```

    output_b(0);

```

```

    output_c(0);

```

```

    output_d(0);

```

```

    output_e(0);

```

```

    output_f(0);

```

```

    output_g(0);

```

```

    // output_h(0);

```

```

    output_j(0);

```

```

    */

```

```

}

```

```

void LCD_Epluse()

```

```

{

```

```

    output_bit(LCD_E,1);

```

```

    delay_ms(LCD_EPLUSE_TM);

```

```

    output_bit(LCD_E,0);

```

```

    delay_ms(5);

```

```

}

```

```

void WriteLCD4Bit(BYTE DAT)

```

```

{

```

```

    output_bit(LCD_D4,bit_test(DAT,4));

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

output_bit(LCD_D5,bit_test(DAT,5));
output_bit(LCD_D6,bit_test(DAT,6));
output_bit(LCD_D7,bit_test(DAT,7));

LCD_Epluse();
}

/*----- Write 4 bit Data twice -----*/
void WriteLCDData(BYTE DAT)
{
    output_bit(LCD_RS,1);    //Data Mode
    WriteLCD4Bit(DAT);
    swap(DAT);
    WriteLCD4Bit(DAT);
}

/*----- Write 4 bit Command twice -----*/
void WriteLCDCmd(BYTE CMD)
{
    output_bit(LCD_RS,0);    //Command Mode
    WriteLCD4Bit(CMD);
    swap(CMD);
    WriteLCD4Bit(CMD);
}

void InitialLCD(void)
{
    //BYTE BITS;
    //Prepare LCD Control Logic

    output_bit(LCD_E,0);

    output_bit(LCD_RS,0);    //Command Mode

    //Initial LCD send Initial Code 0B00110000 3 time
    WriteLCD4Bit(0B00110000);
    LCD_Epluse();
    WriteLCD4Bit(0B00110000);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCD_Epluse();
WriteLCD4Bit(0B00110000);
LCD_Epluse();
//Set as 4 bit
WriteLCD4Bit(LCD_FUNCTION_SET|LCD4BIT_MODE);
}

/*----- DD-RAM command -----*/
void LCDGotoXY(BYTE X,BYTE Y)
{
    X--; //Adjust to Count number 1...n
    switch(Y)
    {
        case 1:
            WriteLDCmd(LCD_ROW1|LCD_DDRAM_ADDRESS|X); //00-19
            break;
        case 2:
            WriteLDCmd(LCD_ROW2|LCD_DDRAM_ADDRESS|X); //64-83
            break;
        case 3:
            WriteLDCmd(LCD_ROW3|LCD_DDRAM_ADDRESS|X); //20-39
            break;
        case 4:
            WriteLDCmd(LCD_ROW4|LCD_DDRAM_ADDRESS|X); //84-103
            break;
    }
}

unsigned int32 a,x1,x2,x3,x4,x5,x6,x7,x8,x9,x10;
void SHOW_ADC()
{
    set_adc_channel(0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay_ms(1);
a = Read_ADC();
delay_ms(100);
}

unsigned int32 move_averaging(unsigned int32 temp)
{

```

```

    x10= x9;
    x9 = x8;
    x8 = x7;
    x7 = x6;
    x6 = x5;
    x5 = x4;
    x4 = x3;
    x3 = x2;
    x2 = x1;
    x1 = temp;
    return (x1+x2+x3+x4+x5+x6+x7+x8+x9+x10)/10;
}

```

```

void main()
{
    setup_adc_ports(AN0);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_2);
    setup_timer_3(T3_DISABLED | T3_DIV_BY_1);
    setup_timer_4(T4_DISABLED,0,1);
    setup_low_volt_detect(FALSE);

    output_low(LED);

    delay_ms(DELAY);

    output_high(LED);
    delay_ms(DELAY);
    output_low(LCD_RW);

```

```

{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

InitialChip();
delay_ms(1000);
InitialLCD();
WriteLDCmd(LCD_FUNCTION_SET|LCD4BIT_MODE|LCD_LINE2|
LCD_FONT_5X7);
WriteLDCmd(DISPLAY_LCD|LCD_ON|LCD_CURSOR_OFF);
WriteLDCmd(LCD_ENTRY_MODE|INCREMENTS_LCD|NO_SCROLL_LCD);
WriteLDCmd(LCD_CLEAR_SCREEN);
LCDGotoXY(1,1);
printf(WriteLCDData,"<<<<<<<<>>>>>>>>>>");
LCDGotoXY(1,2);
printf(WriteLCDData,"<<<<<<<>>>>>>>>>>");
LCDGotoXY(1,3);
printf(WriteLCDData,"12345678901234567890");
LCDGotoXY(1,4);
printf(WriteLCDData,"12345678901234567890");
delay_ms(1000);
WriteLDCmd(LCD_CLEAR_SCREEN);
LCDGotoXY(1,1);
printf(WriteLCDData," TEST ADC VOLTS ");
    while(true)
    {
        SHOW_ADC();
        LCDGotoXY(1,2)
        printf(WriteLCDData,"Volt          =          %.3f          V
",move_averaging(a)*0.00076312576312576312576312576312576);
        delay_ms(100);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่เอื้ออำนวยให้ไปแก้ไขหรือดัดแปลงค่า  
 จากโค้ดโปรแกรมข้างต้น บันทึกเป็น Hex File หลังจากนั้นทำการเขียน Hex File ลงไปใน  
 หน่วยความจำของ PIC Micro แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ 4.8 และ 4.9 และสามารถแสดงกราฟ  
 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันไฟฟ้าดังรูปที่ 4.14 และ 4.15



```

printf(WriteLCDData,"12345678901234567890");
delay_ms(2000);
WriteLDCmd(LCD_CLEAR_SCREEN);
LCDGotoXY(1,1);
printf(WriteLCDData,"          ");
LCDGotoXY(1,2);
printf(WriteLCDData,"          ");
delay_ms(2000);

while(true)
{
    SHOW_ADC();
    LCDGotoXY(1,1);
    printf(WriteLCDData,"P          =          %.3 f          psi
",((move_averaging(a)*0.000076312576312576312576312576312576)-
1.120)/0.07518);
    LCDGotoXY(1,2);
    printf(WriteLCDData,"P          =          %.3 f          kPa
",(((move_averaging(a)*0.000076312576312576312576312576312576)-
1.120)/0.07518)*6.89475729);
    delay_ms(200);
}
}
}

```

จากโค้ดโปรแกรมข้างต้น เป็นคำสั่งที่ใช้ประมวลผลสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรขยาย แล้วให้ค่าที่ได้แสดงบนจอ LCD โดยแสดงค่าความดันในหน่วย *psi* และ *kPa* ดังรูป 4.14 และแสดงค่าความดันที่วัดเทียบจากวาล์วปรับแรงดันตามตารางที่ 4.9 และ 4.10

### 3.3 การทดสอบและการวิเคราะห์ผลของการวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ การทดสอบและวิเคราะห์ระบบเครื่องวัดความดันจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ตอน รค่า  
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม การทดสอบและวิเคราะห์อุปกรณ์ของระบบและการทดสอบและวิเคราะห์ระบบเครื่องวัดความ  
ดัน ดังมีรายละเอียดดังนี้

### 3.3.1 การทดสอบและวิเคราะห์อุปกรณ์ของระบบ

#### 3.3.1.1 แหล่งกำเนิดลม หรือ ปัมลม

ในส่วนของปั้มลม ผู้ทำการทดลองจะตั้งความดันลมในถังลมไว้ที่ประมาณ 6-7 bar เนื่องจากว่าปั้มลมตัวนี้ไม่สามารถเปิดในเวลาต่างๆ ได้ เพราะจะทำให้เกิดความร้อนสะสม และขณะนำลมไปใช้ในการทดสอบจะเกิดการรั่วไหลตามข้อต่างๆ จึงต้องตั้งไว้ที่ประมาณ 6-7 bar โดยใช้สายลมต่อไปยังวาล์วปรับความดันอีกที



รูปที่ 3.3 ปั้มลม

#### 3.3.1.2 ส่วนควบคุมอัตราการไหล

จากความดันลมที่มาตามสาย จะมาต่อเข้ากับ Flow control valve เพื่อควบคุมอัตราการไหล ไม่ให้สูงเกินไป แล้วจากตัว Flow control valve (3.4) จะต่อเข้ากับสายลม (3.5) ขนาด 6 mm (สีดำ) ไปยังส่วนต่อไป



รูปที่ 3.4 Flow control valve



รูปที่ 3.5 สายลมขนาด 6 mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.3 ชุดควบคุมแรงดัน

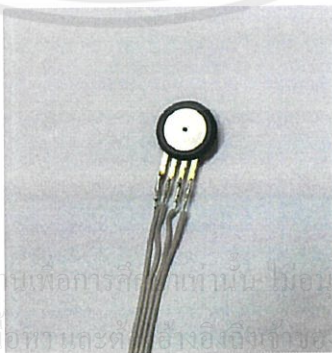
จากส่วนควบคุมอัตราการไหลที่ผ่านตัว Flow control valve (3.4) มาตามสาย ก่อนจะไปยังเซนเซอร์จะต้องทำการควบคุมความดันในสายให้ได้ค่าที่ไม่เกินเซนเซอร์สามารถรับได้ เพราะความดันลมในท่อลมที่ส่งมาจากปั๊ม มีความดันที่สูงมาก (6-7 bar) และไม่สามารถกำหนดค่าของความดันที่จะใช้ในการทดสอบได้ เพราะฉะนั้นจึงใช้ Pressure regulator valve (3.6) ในการควบคุมความดันในสายโดยค่อยๆปรับ Pressure regulator valve เพิ่มขึ้นหรือลดลงเพื่อทดสอบเซนเซอร์



รูปที่ 3.6 Pressure regulator valve

### 3.3.1.4 เซนเซอร์

จากส่วนชุดควบคุมแรงดัน ที่ผ่าน Pressure regulator valve ก็จะได้แรงดันลมที่ควบคุมได้เข้ามายังเซนเซอร์ เซนเซอร์เป็นเซ็นเซอร์รุ่น MPX2202(3.7) เป็นไดอะแฟรมซิลิกอนแบบเดี่ยวที่มีมาตรวัดความเครียดและตัวต้านทานชนิดฟิล์มบางบนชิป สามารถวัดช่วงความดันได้ตั้งแต่ 0 – 200 kPa ใช้ Supply Voltage 10 – 16 V<sub>dc</sub>, Supply Current 6.0 mA<sub>dc</sub>, Full Scale Span ( $V_{fss}$ ) 36.5 – 41.5 mV, Sensitivity 0.2 mV/kPa



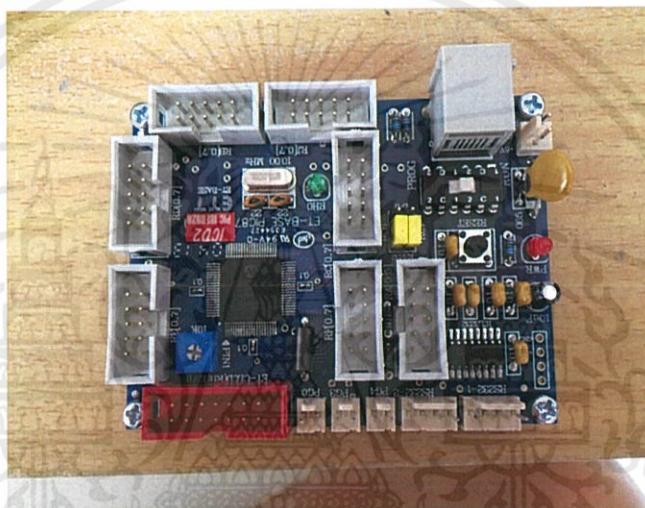
รูปที่ 3.7 Pressure sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาก่อนที่จะนำส่งไปยังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1.5 ส่วนประมวลผล

จากเซนเซอร์จะได้สัญญาณออกมาเป็น Analog นำสัญญาณที่ได้ไปต่อเข้ากับบอร์ด ไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้เป็นรุ่น ETT-BASE-PIC8628(3.8) เป็นบอร์ด PIC รุ่นใหม่ที่ใช้กับเครื่องโปรแกรม ET-PGM PIC USB V1 หรือ V1 PLUS ที่ต่อกับ PORT USB ของเครื่องคอมพิวเตอร์

- ใช้ MCU เบอร์ PIC18F8722-I/P, ขนาด 80 PIN TQFP TYPE
- หน่วยความจำแบบ FLASH 96 KBYTE; RAM 3936 BYTE, EEPROM 1024BYTE
- A TO D ขนาด 12 BIT 16 CH
- Supply Voltage 5 V



รูปที่ 3.8 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ETT-BASE-PIC8628

### 3.3.1.6 ส่วนแสดงผล

เมื่อสัญญาณถูกประมวลผลเสร็จแล้ว ก็จะถูกส่งออกมายัง LCD เพื่อแสดงผลตามที่ได้เขียนโปรแกรมป้อนเข้าไปใน บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ LCD ก็จะแสดงค่าความดันที่เซนเซอร์ตรวจจับได้ออกมา LCD ที่ใช้ขนาด 20 x 2 ใช้ Supply Voltage 5 V



รูปที่ 3.9 LCD ขนาด 20 x 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูช่างเพื่อการฝึกอบรมเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่และต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การทดสอบและวิเคราะห์ระบบเครื่องวัดความดัน

#### 3.3.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์

ขั้นตอนนี้จะทำการวัดการทำงานของเซนเซอร์โดยจ่ายไฟเลี้ยงให้เซนเซอร์ ที่แรงดัน 5 V และ 10 V และบันทึกค่าแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์ที่ขา 2 ( $V_{out}^+$ ) และขา 4 ( $V_{out}^-$ ) เมื่อได้สัญญาณเอาต์พุตจากเซนเซอร์ที่ขา 2 และขา 4 แล้ว ขั้นตอนนี้จะออกแบบวงจรขยายแรงดันของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากตัวเซนเซอร์ ให้สัญญาณแรงดันของเอาต์พุตเพิ่มมากขึ้นเพื่อเห็นการเปลี่ยนแปลงของแรงดันได้ชัดขึ้น

#### 3.3.2.2 ขั้นตอนที่ 2 การเขียนโปรแกรมประมวลผล

เมื่อได้แรงดันที่สามารถนำมาใช้ได้แล้ว นำสัญญาณอนาล็อกจากเซนเซอร์เข้าไปประมวลผลภายใน PIC แล้วเขียนโปรแกรมคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลค่าที่ได้ให้แสดงผลทาง LCD

#### 3.3.2.4 ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบและการวิเคราะห์ผลของการวัดความดัน

เมื่อเขียนโปรแกรมประมวลผลเสร็จแล้ว ก็ทำการทดลองของเครื่องมือ โดยจะกำหนดความดันที่ปล่อยออกจากปั๊มลมที่ 0 – 25 psi โดยเพิ่มขึ้นทีละ 5.25 psi แล้วสังเกตผลจาก LCD แล้วนำค่าที่ได้เทียบกับเกจวัดแรงดันที่ต่อกับปั๊มลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดสอบเครื่องวัดความดัน โดยจะทำการเปรียบเทียบเครื่องมือ ทดสอบการวัดความดันของเครื่องวัดความดัน ทดสอบระบบการทำงานของเครื่องมือ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

### 4.1 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์

#### วัสดุอุปกรณ์

1. แหล่งกำเนิดลมหรือปั๊มลม ขนาด 6 bar
2. วาล์วปรับแรงดัน
3. แหล่งจ่ายไฟฟ้า 5 Volt
4. Pressure Sensor 0 – 200 kPa
5. สายลม ขนาด 6 mm
6. เครื่อง Digital – Multi Meter
7. เครื่อง Oscilloscope

#### 4.1.1 ขั้นตอนการทดสอบของเซนเซอร์

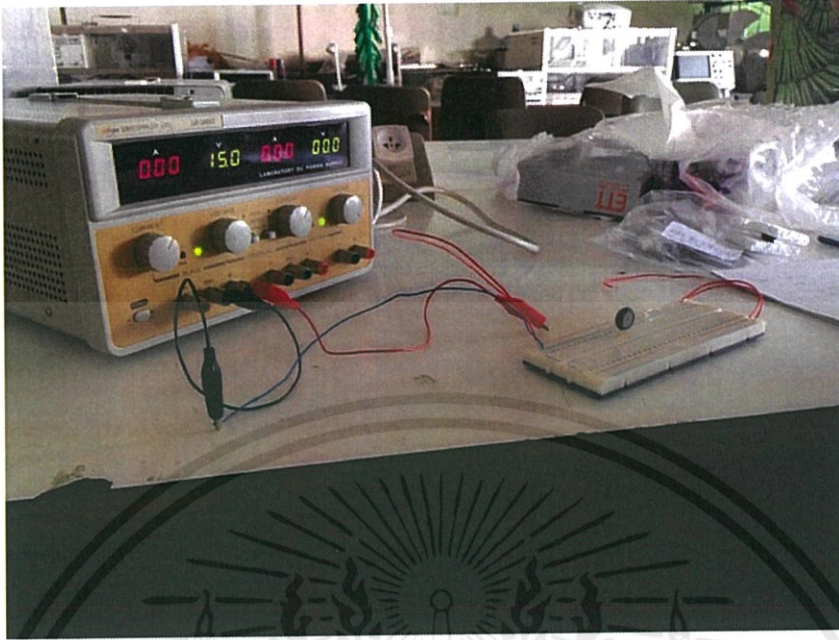
- 1) ต่อปั๊มลมเข้ากับวาล์วปรับความดัน และนำสายลมสีดำ ขนาด 6 mm ต่อจากวาล์วไปยัง Pressure regulator valve ดังรูป 4.1 และ รูป 4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ

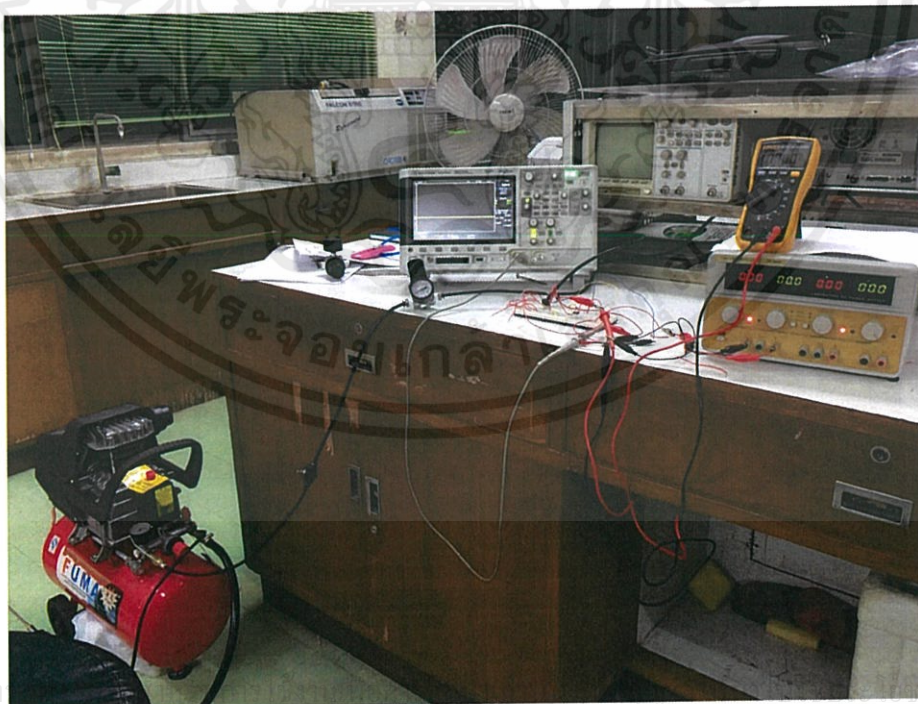
รูปที่ 4.1 ต่อปั๊มลมเข้ากับวาล์วปรับแรงดัน และต้องอ้างอิงถึงรูป 4.2 ต่อสายลมจากวาล์วปรับแรงดันไปยัง regulator valve

## 2. จ่ายแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับเซนเซอร์ 5 โวลต์



รูปที่ 4.3 จ่ายแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้เซนเซอร์

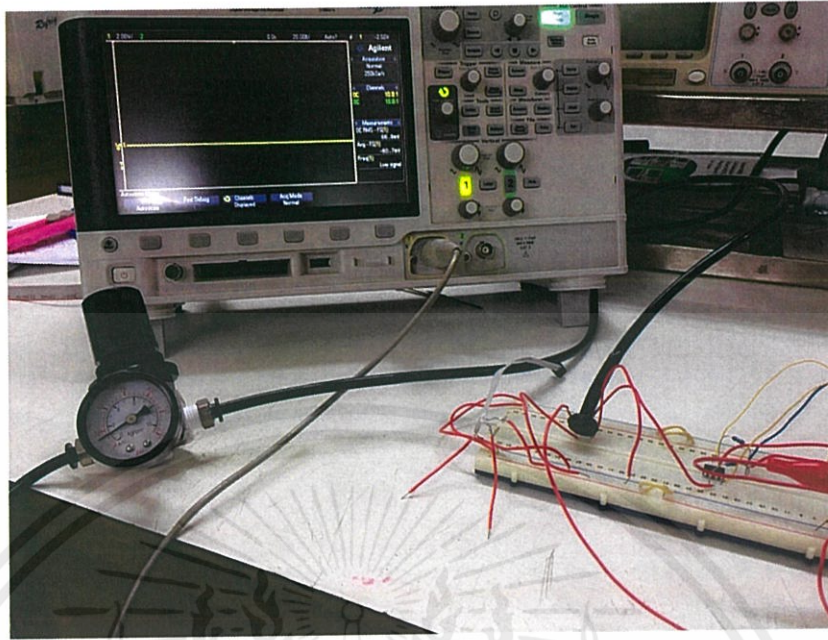
## 3. การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ในความดันตั้งแต่ 0 – 25 psi



เอกสารนี้เป็นเอกสาร  
ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 อุปกรณ์การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์



รูปที่ 4.5 แสดงรูปสัญญาณที่ตรวจจับด้วยออสซิลโลสโคป

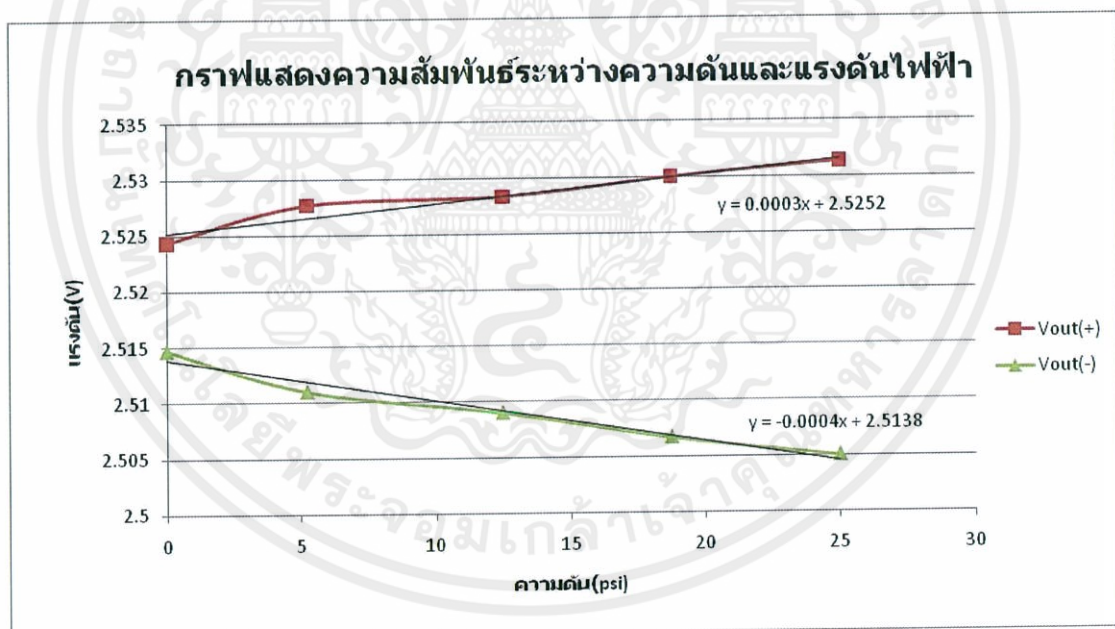
4) บันทึกผลการทดสอบลงในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ที่เซนเซอร์ขา 2 และขา 4 ตามลำดับ แล้วนำผลวิเคราะห์มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตดังแสดงรูป 4.6

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันจากเกจวัดความดันกับแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์ที่ขา 2 (แหล่งจ่ายไฟฟ้า 5 โวลต์)

ความดัน(psi)	$V_{out}(V)$			$V_{out}(V)$ เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.00	2.524	2.524	2.525	2.524
5.25	2.526	2.528	2.529	2.527
12.50	2.528	2.529	2.528	2.528
18.75	2.530	2.530	2.530	2.530
25.00	2.532	2.531	2.531	2.531

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันจากเกจวัดความดันกับแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์ที่ขา 4 (แหล่งจ่ายไฟฟ้า เป็น 5 โวลต์)

ความดัน( psi )	V <sub>out</sub> (V)			V <sub>out</sub> (V) เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
0.00	2.515	2.514	2.515	2.514
5.25	2.511	2.511	2.511	2.511
12.50	2.509	2.509	2.509	2.509
18.75	2.507	2.506	2.507	2.506
25.00	2.505	2.505	2.505	2.505

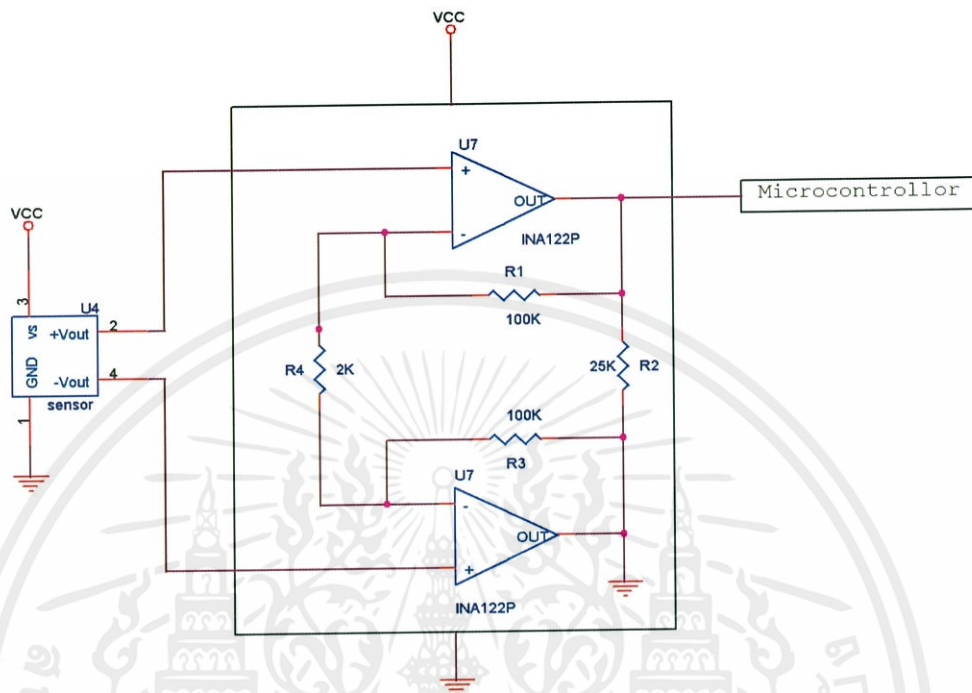


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันไฟฟ้า (แหล่งจ่ายไฟฟ้า 5 โวลต์)

#### 4.1.2 การออกแบบวงจรขยายแรงดันเพื่อขยายสัญญาณ

เนื่องจากเอาต์พุตของเซนเซอร์ที่ออกมา มีทั้งค่าบวก และค่าลบ มีค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความดัน เพียง  $0.2 \text{ mV/kPa}$  ซึ่งถือเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงน้อยมาก จะยากต่อการเห็นการเปลี่ยนแปลงและแสดงผล จึงต้องใช้วงจรขยายเข้ามาขยายสัญญาณ โดยจะเลือกใช้

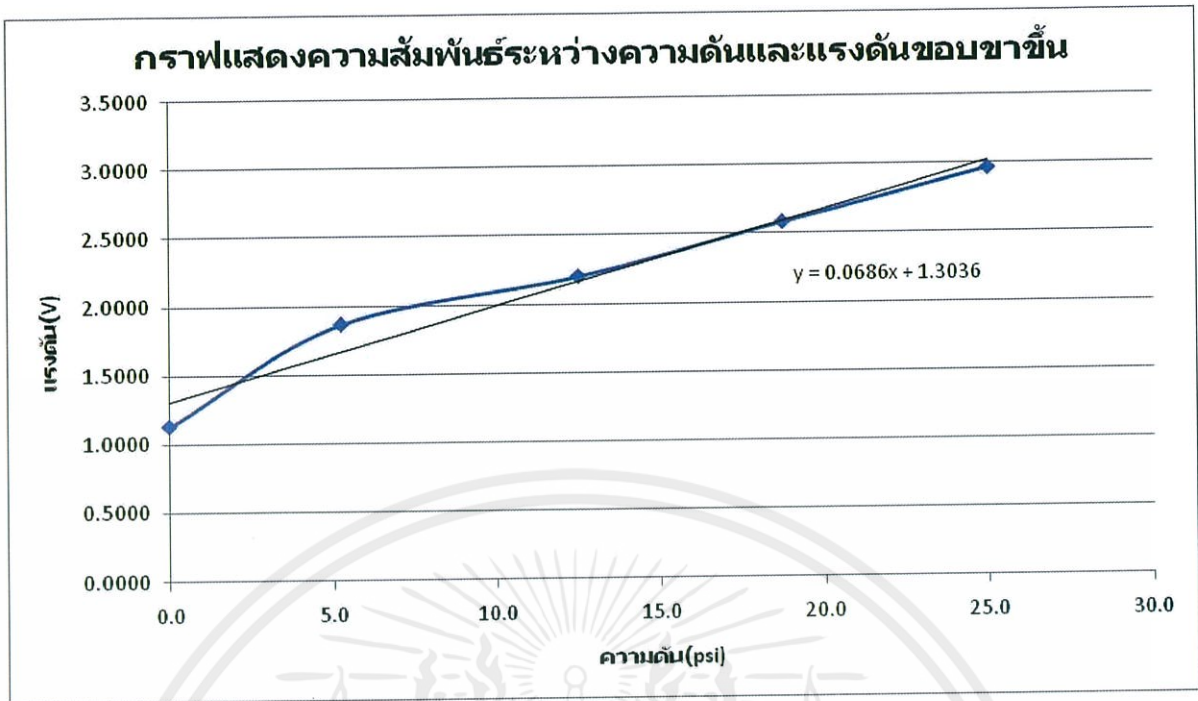
วงจรขยายแบบ Instrumentation Amplifier ได้ทำการทดลองตามวงจรดังรูป 4.8 ซึ่งจะได้ผลการทดลองตามตารางที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.7 รูปวงจร โดยใช้วงจขยายสัญญาณแบบ Instrumentation Amplifier (INA122P)

ตารางที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาขึ้น โดยใช้วงจขยายสัญญาณแบบ Instrumentation Amplifier (INA122P)

ความดัน (psi)	$V_{out}$ (V)			$V_{out}$ (V) เฉลี่ย	ค่าผิดพลาด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0.00	1.128	1.128	1.128	1.128	11.90%
5.25	1.840	1.893	1.862	1.865	6.35%
12.50	2.206	2.189	2.200	2.198	8.47%
18.75	2.586	2.554	2.609	2.583	5.57%
25.00	2.975	2.947	2.970	2.964	7.33%

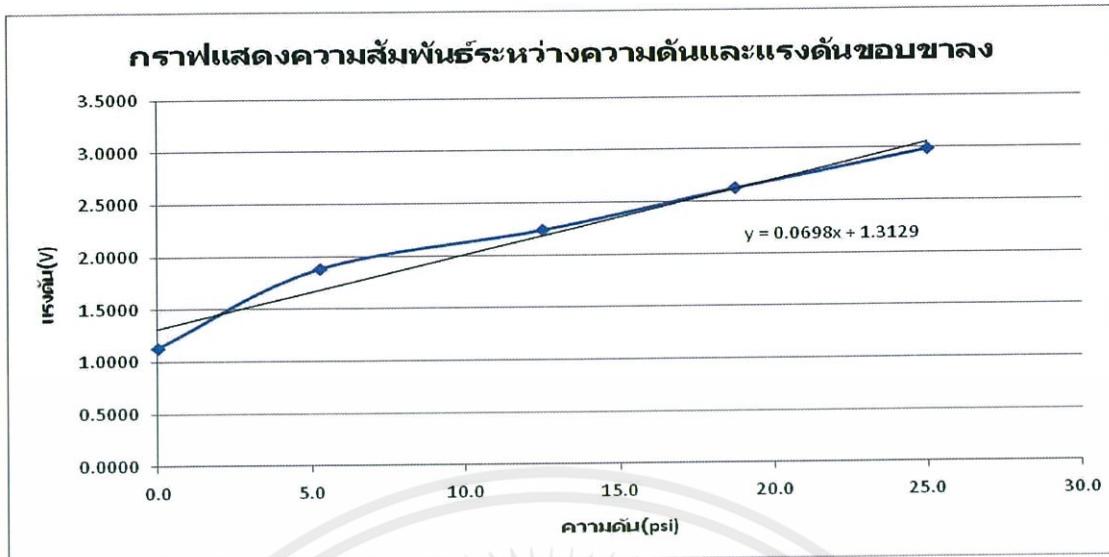


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาขึ้น โดยใช้วงจรถ่ายยสัญญาณแบบ Instrumentation Amplifier (INA122P)

ตารางที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาลง โดยใช้วงจรถ่ายยสัญญาณแบบ Instrumentation Amplifier (INA122P)

ความดัน(psi)	$V_{out}$ (V)			$V_{out}$ (V) เฉลี่ย	ค่าผิดพลาด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
0.00	1.128	1.128	1.128	1.128	11.90%
5.25	1.876	1.882	1.877	1.878	7.11%
12.50	2.238	2.231	2.246	2.238	10.45%
18.75	2.629	2.618	2.629	2.625	7.30%
25.00	2.902	3.006	3.049	2.985	8.11%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบข้างโดยใช้วงจรขยายสัญญาณแบบ Instrumentation Amplifier (INA122P)

#### 4.1.2.1 วิธีการคำนวณหาค่า $V_{out}$ ของวงจรขยายสัญญาณแบบ Instrumentation Amplifier (INA122P)

จากสมการ

$$v_0 = (v^+ - v^-)G \quad (4.1)$$

หาค่า G

$$G = 5 + \frac{200 \text{ k}\Omega}{R_G} \quad (4.2)$$

เมื่อ  $R_G = 2 \text{ k}\Omega$  จะได้

$$G = 5 + \frac{200 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega}$$

$$= 105$$

นำค่า G แทนในสมการที่ (4.1) ใช้  $v^+$  และ  $v^-$  ที่เซนเซอร์ ณ จุดความดันที่  $0 \text{ psi}$  จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่ข้อมูลใดๆของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v_0 = (2.524 - 2.514)105$$

$$= 1.008 \text{ v}$$

$v_0$  จากการคำนวณจะเป็นค่าจริงของการทดลอง จากนั้นนำไปหาค่าผิดพลาดของระบบจากสมการ

$$\text{ค่าผิดพลาด} = \frac{|\text{ค่าจริง} - \text{ค่าจากการทดลอง}|}{\text{ค่าจริง}} \times 100\% \quad (4.3)$$

จะได้

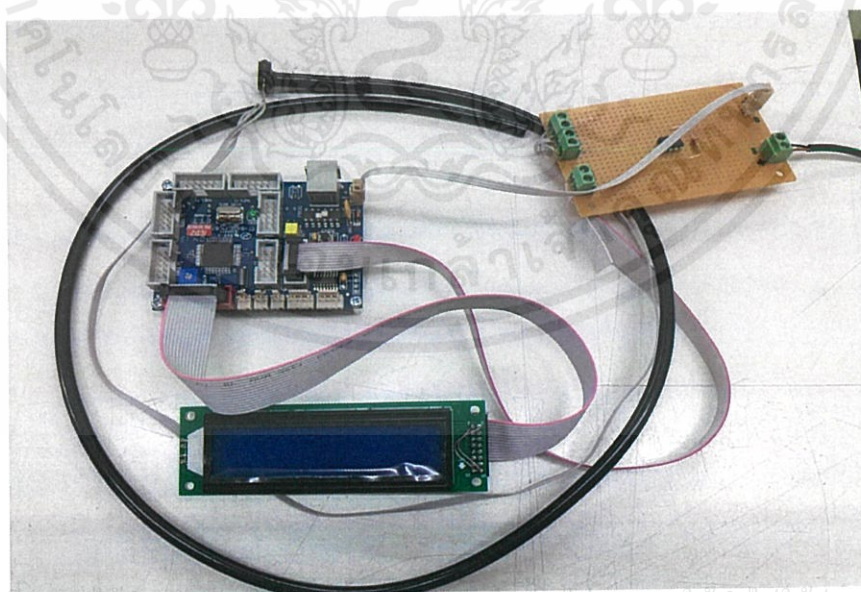
$$\begin{aligned} \text{ค่าผิดพลาด} &= \frac{|1.008 - 1.128|}{1.008} \times 100\% \\ &= 11.90\% \end{aligned}$$

## 4.2 การเขียนโปรแกรมประมวลผล

ในการเขียนโปรแกรมประมวลผลจะใช้โปรแกรม CCS C Compiler เขียนคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าจากสัญญาณเอาต์พุตของวงจรถายมาเก็บค่าไว้แล้วทำการประมวลผลซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้จะใช้เป็น PIC18f8722 จากนั้นจึงส่งค่าที่ทำการประมวลผลแล้วไปแสดงค่าที่จอ LCD

### 4.2.1 การเขียนโปรแกรมให้รับค่าจากสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรถาย

จากโค้ดโปรแกรมในบทที่ 3 บันทึกเป็น Hex File หลังจากนั้นทำการเขียน Hex File ลงไปในหน่วยความจำของ PIC Micro แล้วนำไปทดสอบดังรูปที่ 4.11 บันทึกค่าลงในตารางที่ 4.8 และ 4.9 และสามารถแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันดังรูป 4.14 และ 4.15

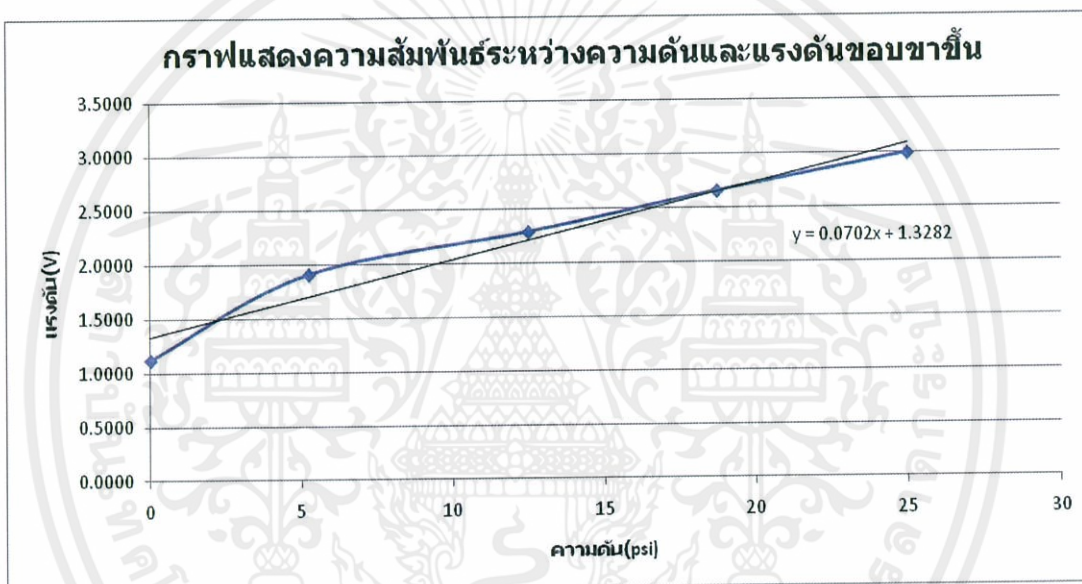


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.10 การต่ออุปกรณ์ในการทดสอบการแสดงผลค่าสัญญาณเอาต์พุต

ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาขึ้น โดยผ่านโปรแกรม

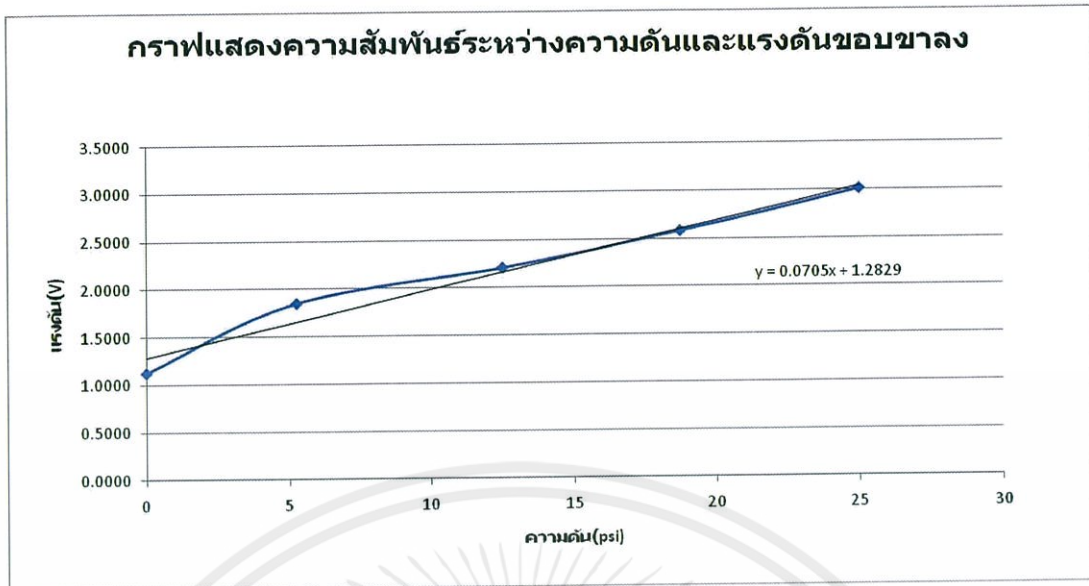
ความดัน (psi)	$V_{out}$ (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0.00	1.12	1.12	1.12	1.120
5.25	1.92	1.90	1.90	1.906
12.50	2.28	2.30	2.28	2.286
18.75	2.68	2.63	2.65	2.653
25.00	3.00	2.98	3.00	2.993



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาขึ้น

ตารางที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาลง โดยผ่าน โปรแกรม

ความดัน (psi)	$V_{out}$ (V)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0.00	1.12	1.12	1.12	1.120
5.25	1.85	1.85	1.83	1.843
12.50	2.22	2.21	2.18	2.203
18.75	2.58	2.57	2.58	2.576
25.00	3.03	2.99	3.00	3.006



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันและแรงดันขอบขาลง

#### 4.2.1.1 การเขียน โปรแกรมคำสั่งประมวลผล

จากโค้ดโปรแกรมข้างต้น เป็นคำสั่งที่ใช้ประมวลผลสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรขยาย แล้วให้ค่าที่ได้แสดงบนจอ LCD โดยแสดงค่าความดันในหน่วย *psi* และ *kPa* ดังรูป 4.16 และแสดงค่าความดันที่วัดเทียบจากวาล์วปรับแรงดันตามตารางที่ 4.10 และ 4.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.13 การแสดงผลของเครื่องมือ

ตารางที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการวัดค่าความดันที่เกจวัดความดันและเครื่องมือวัดความดัน โดยแสดงออกสองค่าทั้งในหน่วย *psi* และ *kPa* (ขอบขาขึ้น)

ความดัน (psi)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย		ค่าความผิดพลาด	
	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa
0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	0.01	0.03	0.00	0.03	0%	0%
5.25	5.04	33.08	5.26	35.73	5.06	35.97	5.12	34.93	2.34%	3.49%
12.50	12.56	85.87	12.26	85.51	12.08	81.37	12.31	84.25	1.52%	2.23%
18.75	18.68	128.40	18.48	126.74	18.37	128.56	18.52	127.90	1.22%	1.06%
25.00	25.25	173.21	25.12	173.19	25.42	174.15	25.27	173.52	1.08%	0.67%

ตารางที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการวัดค่าความดันที่เกจวัดความดันและเครื่องมือวัดความดัน โดยแสดงออกสองค่าทั้งในหน่วย *psi* และ *kPa* (ขอบขาลง)

ความดัน (psi)	ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 3		เฉลี่ย		ค่าความผิดพลาด	
	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa	psi	kPa
0.00	0.02	0.09	0.00	0.01	0.00	0.05	0.01	0.05	0%	0%
5.25	7.10	48.96	5.68	39.98	5.07	36.98	5.95	41.98	13.42%	15.97%
12.50	12.46	86.10	12.40	85.78	12.53	86.56	12.47	86.15	0.24%	0.03%
18.75	18.81	129.75	18.72	129.07	18.79	129.30	18.78	129.37	0.16%	0.07%
25.00	25.03	172.79	25.00	172.38	25.17	174.26	25.07	173.14	0.28%	0.45%

#### 4.2.1.2 การวิเคราะห์ในการเขียนโปรแกรม

จาก A to D จะมีบิตอยู่ 16 บิต ซึ่งสามารถรับค่าได้  $2^{16} = 65536$  หน่วย แต่รับค่าได้สูงสุด 65472 หน่วย เพราะฉะนั้นแต่ละหน่วยจะมีค่าโวลต์เท่ากับ

$$\frac{5}{65472} = 0.00008 \text{ Volt}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ค่าสัญญาณจากเอาต์พุตของวงจรขยายสัญญาณ คือ x จะได้

$$x \times \frac{5}{65472} = \text{ค่าโวลต์แต่ละจุด}$$

ให้ จากกราฟรูปที่ 15 ได้ค่า Sensitivity จากวงจรขยายสัญญาณ (INA122P) มีค่า  $0.0705 \text{ V/psi}$

$$V_0 = V_{real} - V_{min} \quad (4.1)$$

ดังนั้นค่าความดันที่คำนวณจะมีค่า ดังนี้

$$\frac{V_0}{\left(\frac{\Delta V}{\Delta P}\right)} = \text{จะแสดงค่า } \textit{psi} \text{ ของแต่ละจุด} \quad (4.2)$$

ตัวอย่าง ที่ความดัน 25 *psi* มีค่า Volt = 2.999 V,  $V_{min} = 1.120 \text{ V}$

วิธีคิด จาก 
$$\begin{aligned} V_0 &= V_{real} - V_{min} \\ &= 2.999 - 1.120 \\ &= 1.879 \text{ V} \end{aligned}$$

นำค่า  $V_0$  แทนในสมการ (4.2)

$$\frac{1.879}{0.075} = 25 \textit{ psi}$$

เปลี่ยนเป็นหน่วย *kPa*

$$1 \textit{ psi} = 6.895 \textit{ kPa}$$

จะได้

$$25 \times 6.895 = 172.369 \textit{ kPa}$$

หาค่าผิดพลาดของระบบ

$$\begin{aligned} \text{ค่าผิดพลาด} &= \frac{|\text{ค่าจริง} - \text{ค่าการทดลอง}|}{\text{ค่าจริง}} \times 100\% \\ &= \frac{|25 - 25.27|}{25} \times 100\% \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับค = 1.08 % เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

# สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลวิจัย

ในการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความดันโดยใช้เซนเซอร์ ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ การเขียนโปรแกรมประมวลผล และการทดสอบ วิเคราะห์ ผลของการวัดความดัน

ในการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ เนื่องจากเอาต์พุตของเซนเซอร์ที่ออกมา มีทั้งค่าบวก และค่าลบ มีช่วงค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างแรงดันไฟฟ้าและความดัน เพียง  $0.2 \text{ mV/kPa}$  ซึ่งถือเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงน้อยมาก ยากต่อการเห็นการเปลี่ยนแปลงและแสดงผล จึงต้องใช้ วงจรขยายเข้ามาขยายสัญญาณ โดยเลือกใช้วงจรขยายแบบ Instrumentation Amplifier โดยจากการ ทดลองจะเห็นได้ว่าวงจรขยายแบบ Instrumentation Amplifier มีอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันของ แต่ละช่วงเฉลี่ยแล้วประมาณ  $450 \text{ mV}$  ฉะนั้นวงจรขยายแบบ Instrumentation Amplifier จึงเหมาะ กับการใช้งานในส่วนของวงจรขยายสัญญาณ เพราะสามารถเห็นถึงการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนและ ง่ายต่อการแสดงผล จากนั้นได้ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบกับเกจความดันในหน่วย  $\text{psi}$  โดยการปล่อยแรงลมออกมาทางปั๊มลม ที่ระดับแรงลมต่างๆตั้งแต่  $0 - 25 \text{ psi}$  ก็จะได้ค่า แรงดันไฟฟ้าในแต่ละระดับที่แตกต่างกัน จากนั้นก็เก็บค่าที่วัดได้ไว้เพื่อมาทำการประมวลผลและ แสดงผล โดยในส่วนนี้จะเป็นส่วนของการเขียน โปรแกรมประมวลผล โดยจะเลือกใช้โปรแกรม CCS C Compiler เขียนคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้เป็น PIC18F722 โดยจะเขียนว่าให้รับ ค่าเอาต์พุตที่ออกจากวงจรเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าแล้วไปประมวลผลแสดงออกมาเป็นค่าความดันใน หน่วย  $\text{psi}$  และ ในหน่วย  $\text{kPa}$  จากนั้นจึงส่งค่าที่ทำการประมวลผลแล้วไปแสดงค่าที่จอแบบ ดิจิตอล ต่อมาในส่วนของการทดสอบและการวิเคราะห์ของการวัดความดัน ในส่วนแรกได้ทำการ ทดสอบวงจรขยาย หากค่าผิดพลาดจากสมการ ค่าผิดพลาด =  $\frac{|\text{ค่าจริง} - \text{ค่าจากการทดลอง}|}{\text{ค่าจริง}} \times 100\%$  ได้ ค่าออกมาเป็น 11.90, 6.35, 8.47, 5.57 และ 7.33 เฉลี่ยค่าผิดพลาด คือ 7.92% ส่วนต่อมาคือการ ประมวลผลของเครื่องมือ โดยวัดค่าความดันตั้งแต่  $0 - 25 \text{ psi}$  เมื่อนำมาค่ามาเปรียบเทียบกับค่าจริง มีค่าผิดพลาดออกมาเป็น 0, 8.81, 1.01, 1 และ 0.62 เฉลี่ยค่าผิดพลาด คือ 2%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองอาจจะเกิดค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น เนื่องจากการป้อนความดันจากตัวปั๊มลมได้ไม่ค่อยคงที่ และการปรับวาล์วไปที่ระดับความดันต่างๆ บางครั้งสายตาของคณะผู้จัดทำไม่เที่ยงตรง จึงทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนในการวัดค่าได้ และอาจเกิดจากสภาพแวดล้อมรอบข้างซึ่งมีผลทำให้เซนเซอร์ส่งค่าออกมาผิดพลาดบ้างเล็กน้อย จึงทำส่งผลกระทบต่อส่วนประมวลผลทำให้ค่าที่ได้ออกมาคลาดเคลื่อน

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

เซนเซอร์ชนิดนี้สามารถรับความดันสูงสุดได้  $200\text{ kPa}$  หรือ ประมาณ  $28\text{ psi}$  เวลาปล่อยแรงดันเข้าไป ควรเริ่มจากแรงดันลมต่ำก่อน แล้วค่อยปรับเพิ่มขึ้น แต่ห้ามเกิน  $200\text{ kPa}$  เพราะฉะนั้นตัวเซนเซอร์อาจจะเสียได้ และในวงจรเครื่องมือวัดความดันควรจะมีวงจรบัฟเฟอร์ เพราะเมื่อเชื่อมต่อกับวงจรอื่นแล้วจะไม่ทำให้วงจรอื่นมีผลแตกต่างกันไปจากเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

พรจิต ประทุมสุวรรณ 2541 เครื่องมืออุตสาหกรรมเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์

พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วพิมพ์

ชาญณรงค์ น้อยบางยาง. ปรัชญาการณเพียโซอิเล็กทริกและการประยุกต์ใช้งาน.

พิมพ์ครั้งที่ 1. วารสารวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ปีที่ 8

น.ต. สมมาตร คุบกระปี่. 2557. เครื่องมือวัดความดันและเครื่องมือวัดอัตราการไหล. (ออนไลน์).

แหล่งที่มา : [http://library.rtna.ac.th/web/RTNA\\_Journal/y.2c.1/05.pdf](http://library.rtna.ac.th/web/RTNA_Journal/y.2c.1/05.pdf). 12 มกราคม 2557

[Online]. Available :

<http://www.biomed.in.th/strain-gauge-piezoelectric-accelerometer-in-medical-engineering/>

[Online]. Available :

[http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/ceramic\\_sensor/piezo.htm](http://www.mne.eng.psu.ac.th/knowledge/student/ceramic_sensor/piezo.htm)

[Online]. Available :

[http://www.extremecircuits.net/2010/06/simple-knock-alarm-with-piezo-sensor\\_13.html](http://www.extremecircuits.net/2010/06/simple-knock-alarm-with-piezo-sensor_13.html)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้