

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**การพัฒนาระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ**

4



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... **81585**  
วัน,เดือน,ปี..... **19 ส.ย. 2551**

b. 11931931  
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์  
คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2550

# Development of Air Flow Speed Measurement System



Mr. Piyanung Kittipanichayakul

Miss Maneerat Eiamsumarng

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of Requirement for the Degree of Bachelor  
of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

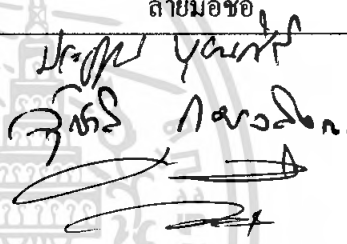
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

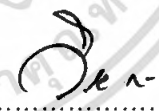
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
Academic Year 2007

โครงการพิเศษเรื่อง การพัฒนาระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ

นักศึกษา นายปิยหนึ่ง กิตติพานิชกุล  
นางสาวมณิรัตน์ เอี่ยมสำอางค์  
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม  
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.ประธาน บุรณะศิริ	
กรรมการ	อ.สุรชาติ กมลดีลิก	
กรรมการ	อ.ชนกรณ์ ลีตาพัฒนานนท์	
กรรมการที่ปรึกษา	รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา	

  
.....  
(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)  
หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การพัฒนาระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ	
นักศึกษา	นายปิยหนึ่ง	กิตติพานิชกุล
	นางสาวมณิรัตน์	เอี่ยมสำอางค์
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์-เครื่องมือวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.วิญญู เพชรภา	

### บทคัดย่อ

ระบบการวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ เป็นการพัฒนาจากความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วการไหลและความดันของของไหล จากสมการของแบร์นูลลี ระบบวัดชุดนี้ประกอบด้วย ตัวตรวจวัดความดัน รุ่น MPXV5004G7U CASE 482B-03 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์และจอแสดงผล ระบบการวัดนี้นำมาประยุกต์ใช้ในการวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ ในระหว่างการทดสอบ เมื่ออากาศไหลมาปะทะกับตัวตรวจวัดความดัน จะทำให้เกิดผลต่างของความดันและทำให้ตัวตรวจวัดสร้างแรงดันไฟฟ้าออกมา โดยมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตาม เมื่ออากาศไหลเร็วมากขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นด้วย ผลจากการสอบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้า ผลต่างความดันและอัตราเร็วการไหล ได้แสดงผลอยู่บนหน้าจอแสดงผล

<b>Special Project Title</b>	Development of Air Flow Speed Measurement System
<b>Name</b>	MR. Piyantung Kittipanichayakul Miss Maneerat Eiamsumarng
<b>Department</b>	Applied Physics <b>Faculty of science</b>
<b>Program</b>	Applied Physics-Science and Industry Instrumentation
<b>Academic Year</b>	2007
<b>Special Project Advisor</b>	Assoc. Prof. Dr. Wisanu Pecharapa

### ABSTRACT

The air flow speed measurement system is developed employing the relationship between the air flow speed and air pressure by mean of Bernoulli's equation. The completed measurement set includes a pressure sensor model MPXV5004G7U CASE 482B-03, supported circuit and display unit. The system was applied to measure the air flow speed. During test, air flow is directed to impinge on the pressure sensor causing the pressure difference and the sensor consequently generates the electrical voltage. The faster of air flow causes the increment of output voltage. The calibration between output voltage, pressure difference and air flow speed was done and the output data is displayed on the display unit.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากหลายฝ่ายด้วยกันดังนี้

บิดามารดา และผู้ปกครอง

ผู้เปิดโอกาสให้ลูกได้เรียนหนึ่งในศาสตร์ที่ลึก  
ล้ำและงดงามที่สุดในโลก

รศ. ดร.วิษณุ เพชรภา

ผู้ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และแนะนำตลอดมา

เรืองวุฒิ อิศระมงคลการ และ

สองเพื่อนผู้ให้ความช่วยเหลือด้านการเขียน

จักรพันธ์ การุณกิตติสาร

โปรแกรม

บรรพต แซ่ไคว่

เพื่อนผู้ให้ฮัมบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

อัลเบิร์ต ไลน์สไตน์

ผู้ให้ทำให้สนใจในการศึกษาวิชาฟิสิกส์

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณ ฟิสิกส์วิชาที่ยิ่งใหญ่ที่ทำให้ล่วงรู้ถึงความลึกซึ้งและความจริงที่  
เป็นไปในเอกภพนี้ และทำให้โลกใบนี้หมุน

นายปียหนึ่ง

กิตติพาณิชกุล

นางสาวมณิรัตน์

เอี่ยมสำอางค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 กลศาสตร์ของไหล	3
2.2 ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ	3
2.3 ความดันในของไหล	4
2.4 เครื่องมือวัดความดัน	6
2.5 สมการความต่อเนื่อง (Equation of Continuity)	7
2.6 สมการแบร์นูลี (Bernoulli's Equation)	8
2.7 การประยุกต์สมการของแบร์นูลี	9
2.7.1 มาตรเวนจูรี (Venturi meter)	9
2.7.2 แรงยกได้ปีกเครื่องบิน	10
2.8 อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน (Pressure sensor)	11
2.9 เทคนิคการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดความดัน	12
2.10 หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดความดันชนิดเปียโซรีซิสทีฟ	13
2.11 สัมประสิทธิ์เปียโซรีซิสทีฟตามยาวและสัมประสิทธิ์เปียโซรีซิสทีฟตามขวาง	13
2.12 ความเค้นและสัมประสิทธิ์เปียโซรีซิสทีฟในตัวต้านทาน	15

เอกสารนี้เป็น 2.13 วงจรวิทล โคนบริดจ์ ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ 16ราคา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินการ</b>	18
3.1 การทดลอง	18
3.1.1 การทดสอบตัวตรวจวัดความดัน	18
3.1.2 การทดสอบหลักการมาตรเวินจูรี	21
3.2 การวัดค่าอัตราเร็วการไหลของอากาศบนรถยนต์	23
3.3 การเชื่อมต่อชุดวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศเข้ากับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	24
3.4 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ	25
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	27
4.1 ผลการทดสอบตัวตรวจวัดความดัน	27
4.2 ผลการวัดค่าอัตราเร็วการไหลของอากาศบนรถยนต์	37
4.3 ผลการเชื่อมต่อชุดวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศเข้ากับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	39
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	40
5.1 สรุปผลการทดลองตัวตรวจวัดความดัน	40
5.2 สรุปผลการทดสอบหลักการมาตรเวินจูรี	41
5.3 สรุปผลการวัดค่าอัตราเร็วการไหลของอากาศบนรถยนต์	41
5.4 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ	41
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	42
<b>ภาคผนวก</b>	

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงความหนาแน่นของสารบางชนิดที่อุณหภูมิ 0 °C และความดัน 1 บรรยากาศ	4
ตารางที่ 4.1	แสดงผลต่างความดันกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของตัวตรวจวัดความดัน เมื่อใช้ท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว	27
ตารางที่ 4.2	แสดงผลต่างความดันกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของตัวตรวจวัดความดัน เมื่อใช้ท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว	29
ตารางที่ 4.3	แสดงผลต่างความดันกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของตัวตรวจวัดความดัน เมื่อใช้ท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 นิ้ว	30
ตารางที่ 4.4	แสดงผลต่างความดันกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุทของตัวตรวจวัดความดัน เมื่อใช้ท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว	32
ตารางที่ 4.5	แสดงผลต่างความดันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อพีวีซีขนาดต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุท 105 V	33
ตารางที่ 4.6	แสดงผลต่างความดันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อพีวีซีขนาดต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุท 125 V	34
ตารางที่ 4.7	แสดงผลต่างความดันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อพีวีซีขนาดต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุท 145 V	35
ตารางที่ 4.8	แสดงผลการวัดค่าอัตราเร็วการไหลของอากาศบนรถยนต์	37

## สารบัญรูป

	หน้า	
รูปที่ 2.1	แสดงความดัน ณ จุดต่าง ๆ ในของไหลที่หยุดนิ่ง	5
รูปที่ 2.2	แสดงความดันที่ภาชนะบรรจุที่มีรูปร่างต่างกัน	6
รูปที่ 2.3	มานอมิเตอร์ชนิดปลายเปิด	6
รูปที่ 2.4	บารอมิเตอร์แบบปรอท	7
รูปที่ 2.5	แสดงการไหลของของไหล	7
รูปที่ 2.6	แสดงการไหลของของไหลในช่วงเวลาใดๆ	8
รูปที่ 2.7	มาตรเวนจูรี	9
รูปที่ 2.8	แสดงการไหลของอากาศบริเวณปีกเครื่องบิน	10
รูปที่ 2.9	(ก) อุปกรณ์ตรวจวัดความดันชนิดเบี่ยงโซริซีฟทีป (Piezoresistive Pressure Sensor)	11
	(ข) อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบคาปาซิทีป (Capacitive Pressure Sensor)	11
รูปที่ 2.10	(ก) อุปกรณ์ตรวจวัดความดันชนิดเบี่ยงโซริซีฟทีปขนาดจุลภาคแบบบัลก์	12
	(ข) อุปกรณ์ตรวจวัดความดันชนิดเบี่ยงโซริซีฟทีปขนาดจุลภาคแบบเชิงผิว	12
รูปที่ 2.11	ทิศทางของแรงที่มากกระทำกับวัสดุที่ประกอบด้วย	15
	(ก) แรงดึงตามยาว (ข) แรงดึงตามขวาง	
รูปที่ 2.12	ลักษณะการวางตัวด้านทานบนไดอะแฟรม	15
รูปที่ 2.13	วงจรวีทสโตนบริคซ์	16
รูปที่ 3.1	(ก) ตัวตรวจวัดรุ่น MPXV5004G7U CASE 482B-03	18
	(ข) วงจรสำหรับตัวตรวจวัดความดัน	18
	(ค) กราฟแสดงความไว (Sensitivity) ของตัวตรวจวัดความดัน	18
รูปที่ 3.2	เครื่องเป่าลมและตัวด้านทานปรับค่าได้	19
รูปที่ 3.3	(ก) ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว	20
	(ข) ตัวตรวจวัดที่อยู่ภายในท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว	20
รูปที่ 3.4	ชุดทดลองตัวตรวจวัดที่ต่อเข้ากับท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว	20
รูปที่ 3.5	มาตรเวนจูรี	21
รูปที่ 3.6	(ก) ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 นิ้วที่ต่อกับข้อต่อลดขนาด	22
	(ข) ภาพด้านหน้าของตัวตรวจวัดที่อยู่ภายในท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 นิ้ว	22

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
(ค) ภาพด้านหลังของตัวตรวจวัดที่อยู่ภายในท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 นิ้ว	22
รูปที่ 3.7 ชุดทดลองตัวตรวจวัด แบบมาตรฐานจูนรี	22
รูปที่ 3.8 วงจรที่ติดตั้งภายในกล่อง	23
รูปที่ 3.9 ติดตั้งตัวตรวจวัด บนหลังการถยนต์	23
รูปที่ 3.10 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราเร็วการไหลของอากาศบนหลังการถยนต์	24
รูปที่ 3.11 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	24
รูปที่ 3.12 ระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศเชื่อมต่อกับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	24
รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ	25
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุท อัตราเร็วการไหลของอากาศและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท ของท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว	28
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุท อัตราเร็วการไหลของอากาศและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท ของท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว	29
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุท อัตราเร็วการไหลของอากาศและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท ของท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 นิ้ว	31
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุท อัตราเร็วการไหลของอากาศและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท ของท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว	32
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท อัตราเร็วการไหล ของอากาศและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อพีวีซี ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุท 105 V	33
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท อัตราเร็วการไหล ของอากาศและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อพีวีซี ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุท 125 V	34
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท อัตราเร็วการไหล ของอากาศและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อพีวีซี ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุท 145 V	35

## สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต กับอัตราเร็วการไหลของอากาศในหน่วย m/s	38
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต กับอัตราเร็วการไหลของอากาศในหน่วย km/hr	38
รูปที่ 4.10 หน้าจอแสดงของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องมือวัดอัตราเร็วการไหลในอุตสาหกรรมหลายประเภท อาทิเช่น ในอุตสาหกรรมผลิตคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมการบิน อุตสาหกรรมเกี่ยวกับก๊าซ เป็นต้น จึงทำให้มีการพัฒนาระบบการวัดอัตราเร็วการไหลเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพสูงสุด

ดังนั้น ผู้จัดทำโครงการพิเศษจึงมีแนวคิดในการนำหลักการของอัตราเร็วการไหล ประดิษฐ์เป็นชุดพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ โดยสามารถนำไปใช้งานได้จริง ง่ายต่อการใช้งานและมีประสิทธิภาพที่ดีต่อไป

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีอัตราเร็วการไหลที่สามารถประยุกต์ในการพัฒนาเครื่องวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศได้
2. เพื่อเรียนรู้หลักการในการออกแบบระบบให้ใช้งานได้ง่าย ได้จริงและมีประสิทธิภาพที่ดี
3. เพื่อเรียนรู้ลักษณะงานที่เป็นระบบและรู้จักวิเคราะห์ปัญหา
4. เพื่อพัฒนาและนำเครื่องมือที่ประดิษฐ์ ไปใช้งานได้จริง
5. เพื่อนำความรู้ที่ได้จากโครงการพิเศษไปประยุกต์ใช้ในการทำงานในอนาคต

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ในโครงการนี้จะทำการศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับอัตราเร็วการไหล โดยใช้ Pressure Sensor เป็นตัวตรวจวัดความดัน เพื่อที่จะนำไปสู่การวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศต่อไป
2. นำทฤษฎีที่ศึกษา ไปประดิษฐ์เป็นเครื่องวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศได้จริง

### 1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและหลักการของอัตราเร็วการไหลที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาและค้นคว้าเครื่องมือวัดอัตราเร็วการไหลต่างๆที่จะนำมาใช้
3. ศึกษาค้นคว้าตัวตรวจวัดที่ใช้ในการวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ
5. สรุปผลการทดลอง

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. รู้จักค้นคว้าหาข้อมูล ทราบหลักการต่างๆและวิเคราะห์ผลอัตราเร็วการไหล
2. สามารถสร้างเครื่องมือและพัฒนาเครื่องวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ เพื่อนำมาใช้งานได้จริง
3. รู้จักการทำงานอย่างมีระบบและสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีหลักการและเหตุผล
4. สามารถนำความรู้ที่ได้จากโครงการพิเศษ ไปประยุกต์ใช้ในการทำงานในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 กลศาสตร์ของไหล

ของไหล คือ การรวมตัวของโมเลกุลที่มีการเรียงตัวแบบสุ่มและมีแรงอ่อนระหว่างโมเลกุลด้วยกันหรือระหว่างโมเลกุลกับพื้นผิวภาชนะบรรจุ เช่นของเหลวและก๊าซ การศึกษาของไหลที่อยู่นิ่งเรียกว่า สถิตศาสตร์ของของไหล (Fluid statics) การศึกษาที่มีการเคลื่อนที่ เรียกว่า พลศาสตร์ของของไหล (Fluid dynamics)

#### 2.2 ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ

ความหนาแน่นของวัตถุหมายถึง มวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของวัตถุ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

ความถ่วงจำเพาะของวัตถุหมายถึง อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของวัตถุ  $\rho$  ต่อความหนาแน่นของน้ำ  $\rho_w$

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_w} \quad (2.2)$$

ตารางที่ 2.1 แสดงความหนาแน่นของสารบางชนิดที่อุณหภูมิ 0 °C และความดัน 1 บรรยากาศ

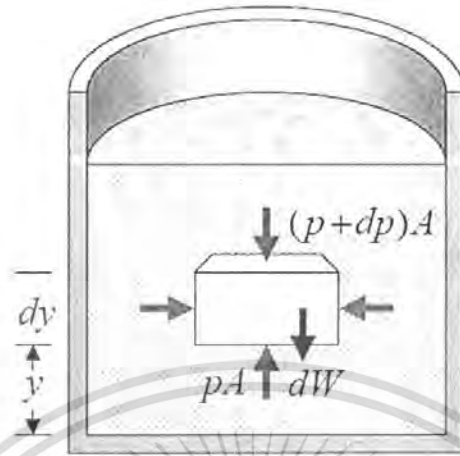
สาร	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	สาร	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )
ของแข็ง		ของเหลว	
ทอง	$19.3 \times 10^3$	ปรอท	$13.6 \times 10^3$
ตะกั่ว	$11.3 \times 10^3$	น้ำทะเล	$1.024 \times 10^3$
เหล็ก	$7.8 \times 10^3$	น้ำ (4°C)	$1.000 \times 10^3$
อะลูมิเนียม	$2.7 \times 10^3$	เอทิลอัลกอฮอล์	$0.79 \times 10^3$
แก้ว	$2.4 - 2.8 \times 10^3$	น้ำมันเบนซิน	$0.68 \times 10^3$
คอนกรีต	$2.3 \times 10^3$	แก๊ส	
น้ำแข็ง	$0.917 \times 10^3$	อากาศ	1.21
ไม้	$0.3 - 0.9 \times 10^3$	ฮีเลียม	0.179
โฟม	$0.10 \times 10^3$	คาร์บอนไดออกไซด์	1.98

### 2.3 ความดันในของไหล

ความดัน ณ จุดต่างๆ ในของไหลที่หยุดนิ่ง หาได้จากอัตราส่วนระหว่างแรงดันกับพื้นที่ตั้งฉากกับแรงดันนั้น

$$P = \frac{dF}{dA} \quad (2.3)$$

ความดันมีหน่วยเป็น นิวตัน/เมตร<sup>2</sup> หรือปาสคาล ( $1\text{N/m}^2 = 1\text{Pa}$ )



รูปที่ 2.1 แสดงความดัน ณ จุดต่างๆ ในของไหลที่หยุดนิ่ง

จากรูปกำหนดให้กันภาชนะเป็นระดับอ้างอิง เนื่องจากสถานะสมดุล  $\sum F_y = 0$  ได้

สมการว่า

$$\begin{aligned} PA - (P + dP)A - mg &= 0 \\ PA - (P + dP)A - \rho(A dy)g &= 0 \\ dP &= -(\rho g)dy \\ P_2 - P_1 &= -\rho g(y_2 - y_1) \end{aligned} \quad (2.4)$$

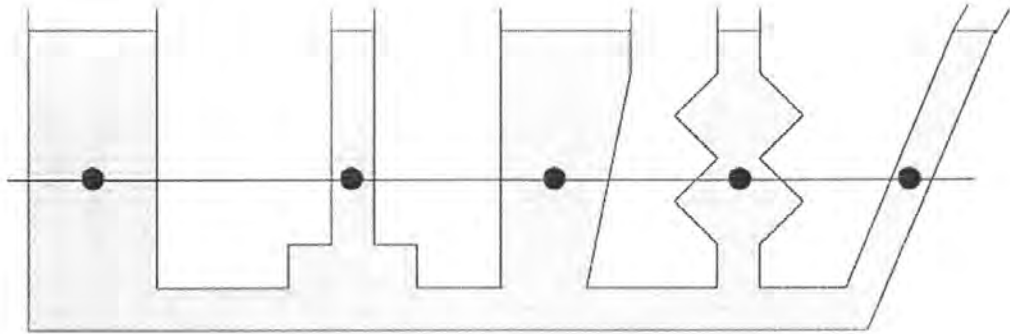
กรณีภาชนะเปิด  $P_2 = P_a$  และ  $y_2 - y_1 = h$  ได้สมการว่า

$$\begin{aligned} P_a - P_1 &= -\rho gh \\ P_1 &= \rho gh + P_a \end{aligned} \quad (2.5)$$

ดังนั้น ความดันจะขึ้นกับความลึกเท่านั้น ไม่ขึ้นกับรูปร่างภาชนะบรรจุ ที่ความลึกเดียวกัน ความดันมีค่าเท่ากัน

โดยที่ $P$	คือ ความดัน
$P_a$	คือ ความดันบรรยากาศ
$A$	คือ พื้นที่หน้าตัด
$g$	คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีค่าเท่ากับ $9.87 \text{ m/s}^2$

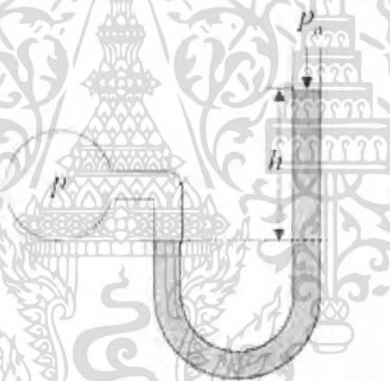
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงความดันที่ภาชนะบรรจุที่มีรูปร่างต่างกัน

#### 2.4 เครื่องมือวัดความดัน

เครื่องมือวัดความดันที่ง่ายที่สุด คือ มานอมิเตอร์ชนิดปลายเปิด (Open-tube manometer)



รูปที่ 2.3 มานอมิเตอร์ชนิดปลายเปิด

จากรูป ความดันที่ระดับต่ำสุดของหลอดทั้งสองเท่ากัน นั่นคือ

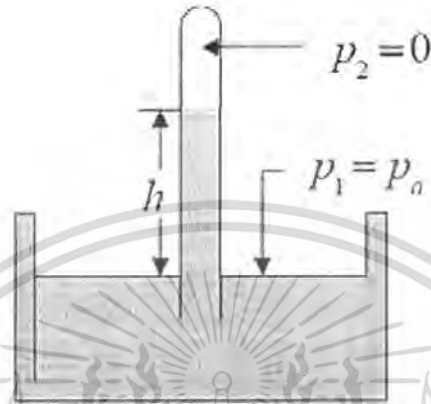
$$\begin{aligned} P + \rho g y_1 &= P_a + \rho g y_2 \\ P - P_a &= \rho g (y_2 - y_1) = \rho g h \end{aligned} \quad (2.6)$$

โดยที่  $P$  เรียกว่า ความดันสัมบูรณ์ (absolute pressure)

$P - P_a$  เรียกว่า ความดันเกจ (gauge pressure)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือวัดความดันบรรยากาศ เรียกว่า บารอมิเตอร์ (Barometer) มีหลายแบบ บารอมิเตอร์แบบปรอท ตามรูป



รูปที่ 2.4 บารอมิเตอร์แบบปรอท

จากรูปจะได้ว่า

$$\begin{aligned} P_a + \rho g y_1 &= \rho g y_2 \\ P_a &= \rho g (y_2 - y_1) = \rho g h \end{aligned} \quad (2.7)$$

โดยที่  $h$  คือ ความสูงของปรอทในบารอมิเตอร์

โดยปกติ ความดันเนื่องจากลำปรอทสูง 1 มิลลิเมตร เรียกว่า ความดัน 1 ทอร์ ความดัน 1 บรรยากาศ มีค่าเท่ากับความสูง 76 มิลลิเมตรปรอท หรือเท่ากับ  $1.013 \times 10^5$  ปาสคาล

## 2.5 สมการความต่อเนื่อง

ของไหลอุดมคติ ซึ่งถือว่าเป็นของไหลที่อัดตัวไม่ได้และไม่มีความหนืด การไหลอย่างสม่ำเสมอจะมีเส้นทางการไหลที่แน่นอนไม่ปะปนกัน ที่จุด ๆ หนึ่ง ในเส้นทางการไหลความเร็วของอนุภาคที่ผ่านจุดนี้จะต้องเท่ากันเสมอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรในหน่วยงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.5 แสดงการไหลของของไหล

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

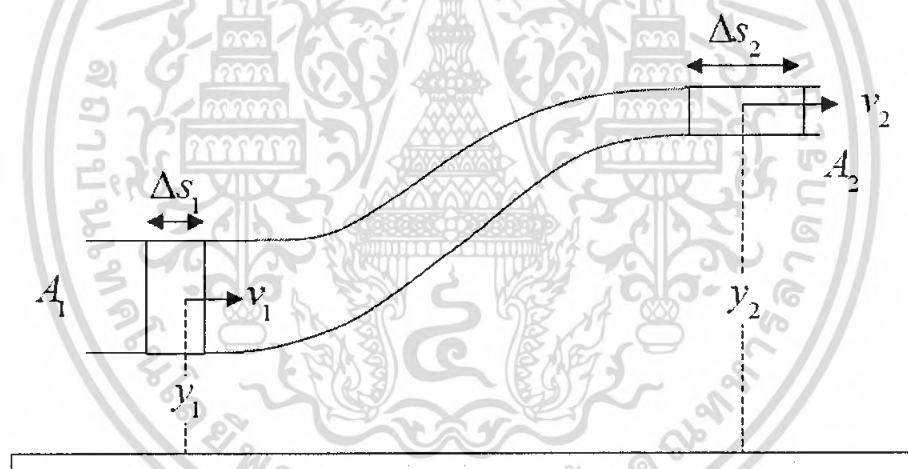
จากรูปที่ 2.5 ถ้าเป็นการไหลอย่างสม่ำเสมอ ในช่วงเวลา  $\Delta t$  เท่ากัน มวลของของไหลที่ไหลเข้าพื้นที่  $A_1$  จะเท่ากับมวลของของไหลที่ไหลออกจากพื้นที่  $A_2$  กล่าวคือ

$$\begin{aligned}\rho A_1 v_1 \Delta t &= \rho A_2 v_2 \Delta t \\ A_1 v_1 &= A_2 v_2 \\ A v &= \text{constant}\end{aligned}\quad (2.8)$$

สมการที่ (2.8) เรียกว่า สมการความต่อเนื่อง (Equation of continuity)

## 2.6 สมการเบอร์นูลลี

พิจารณาการไหลเคลื่อนที่จากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 ในช่วงเวลา  $\Delta t$  เท่ากัน ปริมาตรของไหลที่เคลื่อนที่จากจุดที่ 1 ไปยังจุดที่ 2 มีค่าเท่ากัน



รูปที่ 2.6 แสดงการไหลของของไหลในช่วงเวลา  $\Delta t$

$$\text{Volume} = A_1 \Delta s_1 = A_2 \Delta s_2 \quad (2.9)$$

งานสุทธิบนของไหลที่พิจารณา คือ

$$\text{Work} = p_1 A_1 \Delta s_1 - p_2 A_2 \Delta s_2 = (p_1 - p_2) V \quad (2.10)$$

เมื่อ  $\Delta s$  คือ ระยะที่ของไหลเคลื่อนที่ได้ในช่วงเวลา  $\Delta t$   
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหลักของงานและพลังงาน

$$Work = \Delta E_k + \Delta E_p \quad (2.11)$$

ดังนั้น สามารถกล่าวได้ว่า

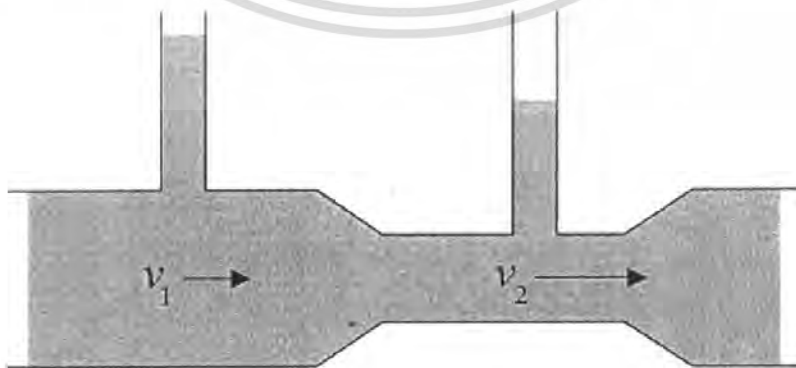
$$\begin{aligned} (P_1 - P_2)V &= \Delta E_k + \Delta E_p \\ (P_1 - P_2)V &= \frac{1}{2} \rho V (v_2^2 - v_1^2) + \rho V g (y_2 - y_1) \\ (P_1 - P_2) &= \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (y_2 - y_1) \\ P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 &= P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 \\ P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y &= \text{constant} \end{aligned} \quad (2.12)$$

สมการที่ (2.12) เรียกว่า สมการแบร์นูลลี (Bernoulli's Equation)

## 2.7 การประยุกต์สมการของแบร์นูลลี

### 2.7.1 มาตรฐานจอร์รี่ (Venturi meter)

มาตรฐานจอร์รี่ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราการไหลของของไหลในท่อ เนื่องจากท่ออยู่ในแนวระดับ  $y_1 = y_2$  สมการของแบร์นูลลี สามารถเขียนได้ว่า



รูปที่ 2.7 มาตรฐานจอร์รี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

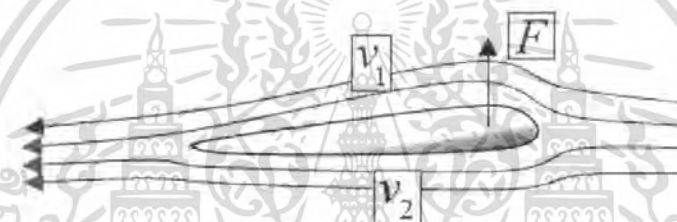
$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 \quad (2.13)$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

จากสมการที่ (2.13) สามารถสรุปได้ว่า  $v_2$  จะมากกว่า  $v_1$  และ  $P_2$  น้อยกว่า  $P_1$

### 2.7.2 แรงยกได้ปีกเครื่องบิน

พิจารณา ปีกเครื่องบินมีความหนาไม่มาก ดังนั้นระดับความสูงของปีกเครื่องบินมีค่าใกล้เคียงกันดังสมการ  $y_1 \approx y_2$  ดังนั้นสมการสามารถเขียนได้ว่า



รูปที่ 2.8 แสดงการไหลของอากาศบริเวณปีกเครื่องบิน

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 \quad (2.14)$$

$$P_2 - P_1 = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2)$$

เนื่องจาก พื้นที่ส่วนโค้งบนปีกมีระยะโค้งมากกว่าส่วนโค้งใต้ปีก ดังนั้นในระยะเวลาที่เท่ากัน มวลของของไหล(ลม) เคลื่อนตัวเข้ามามีความเร็วมากกว่า มวลที่ไหลไปยังด้านล่างของปีก ทำให้ จะมากกว่า ได้แรงยกขึ้นมากกว่าน้ำหนักของเครื่องบิน ทำให้เครื่องบินลอยขึ้นได้ ดังสมการ

$$F = (P_2 - P_1)A = \frac{1}{2} \rho A (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.15)$$

โดยที่  $F$  คือ แรงสุทธิที่เกิดจากผลต่างของความดันระหว่างจุดที่ 1 และจุดที่ 2

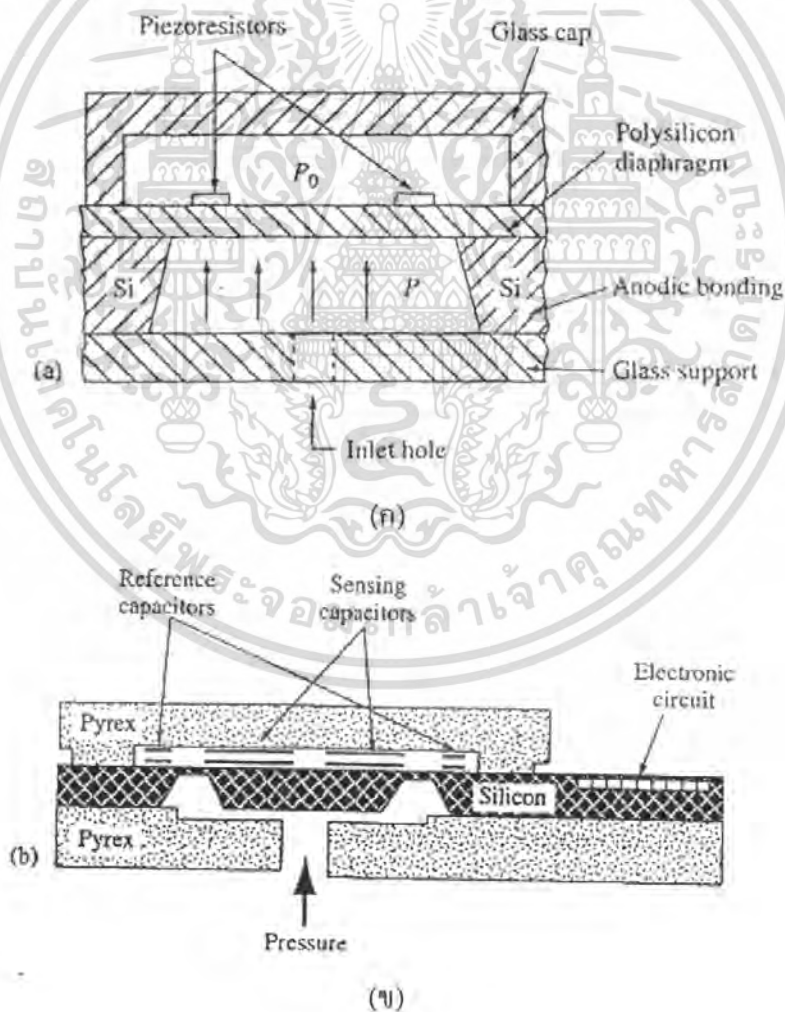
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน (Pressure sensor)

โดยทั่วไปอุปกรณ์ตรวจวัดความดันมีหลายประเภท แต่ในที่นี้จะขอกกล่าวถึงเพียง 2 ชนิด คือ

1. อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบเพียโซรีซิสทีฟ (Piezoresistive Pressure Sensor) จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงของตัวต้านทานขณะเกิดการขยุตัวของไดอะแฟรม เมื่อให้ความดัน ซึ่งในที่นี้จะได้อธิบายหัวข้อนี้ในเรื่องหลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดความดัน

2. อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive Pressure Sensor) จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงของตัวเก็บประจุขณะเกิดการขยุตัวของไดอะแฟรม เมื่อให้ความดัน



รูปที่ 2.9 (ก) อุปกรณ์ตรวจวัดความดันชนิดเพียโซรีซิสทีฟ (Piezoresistive Pressure Sensor)

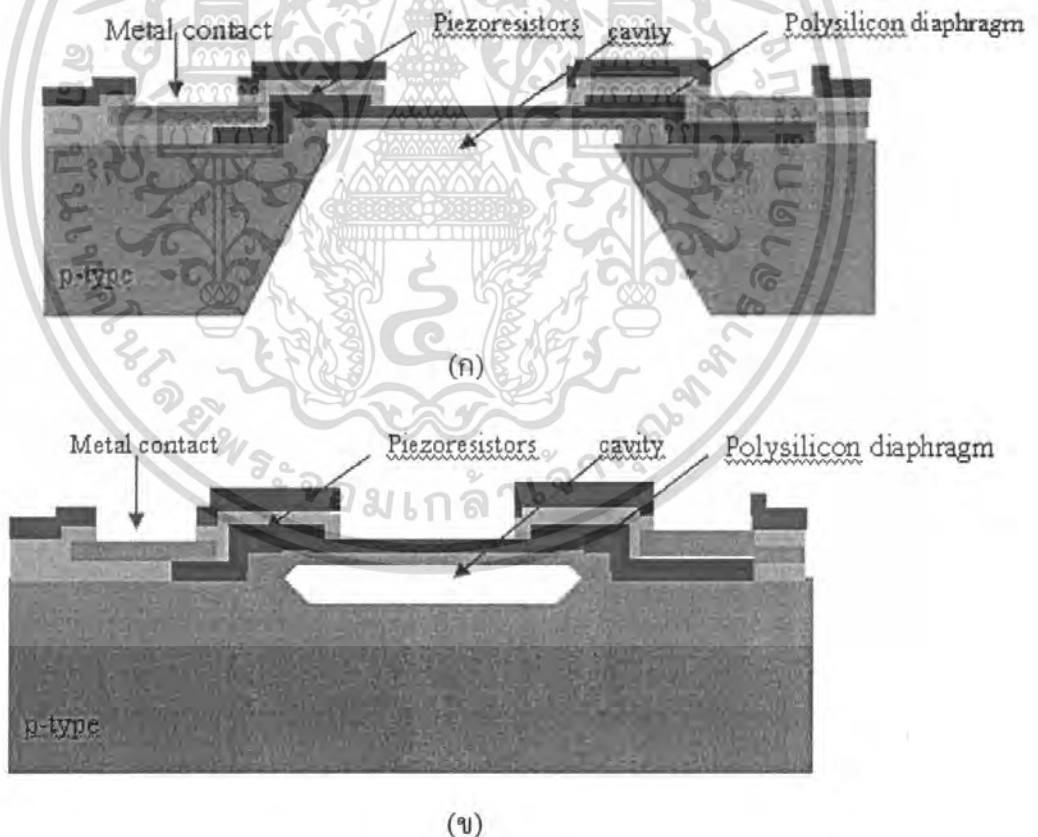
เอกสารนี้เป็นเอกสารของ (ข) อุปกรณ์ตรวจวัดความดันแบบคาปาซิทีฟ (Capacitive Pressure Sensor) ระเบียบข้อดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 เทคนิคการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดความดัน

จะประกอบด้วย 2 แบบ คือ

1. Bulk micromachining จะเป็นการสร้างแผ่นฟิล์มโดยอาศัยการกัดเปิดช่องว่าง (cavity) ด้านหลังแผ่นของฐานรอง ซึ่งจะเป็นการกัดแบบเปียก (Wet etching) การกัดวิธีนี้จะใช้สารละลายอัลคาไลน์ (alkaline) เช่น potassium hydroxide (KOH) หรือ tetramethylammonium hydroxide (TMAH) วิธีนี้จะใช้ substrate ที่เป็นแผ่นเวเฟอร์ซิลิกอน (silicon wafer) ข้อดีของวิธีนี้จะใช้ต้นทุนต่ำ แต่ตัวอุปกรณ์จะมีขนาดใหญ่

2. Surface micromachining จะเป็นการสร้างแผ่นฟิล์มโดยอาศัยการกัดเปิดช่องที่ด้านหน้าแผ่น โดยจะใช้ได้ทั้งการกัดแบบเปียกและแบบแห้ง ซึ่งอาศัยการเปิดรูแล้วทำการกัดด้วยวิธีการใช้สารเคมี จากนั้นสร้างชั้นต่างๆ ที่ต้องการทำแผ่นฟิล์มบนผิวหน้า โดยวิธีนี้สามารถใช้ substrate ที่เป็นแก้วหรือพลาสติก แทนแผ่นเวเฟอร์ซิลิกอนได้



รูปที่ 2.10 (ก) อุปกรณ์ตรวจวัดความดันชนิดเพียโซรีซิสทีฟที่ขนาดจุลภาคแบบบัลก์

(ข) อุปกรณ์ตรวจวัดความดันชนิดเพียโซรีซิสทีฟที่ขนาดจุลภาคแบบเชิงผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 หลักการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดความดันชนิดเพียโซรีซีฟทิป

การเปลี่ยนแปลงความดันสามารถวัดได้ด้วยการวัดตัวต้านทานหรือเพียโซรีซีฟทิป สเตรน เกจ (piezoresistive strain gauge) ที่วางบนตำแหน่งด้านบนแผ่นไดอะแฟรม โดยที่ตัวต้านทานนี้ทำจากการเจือสารด้วยซิลิกอน และได้รับการออกแบบให้มีการอ่านค่าออกมาทางวงจร เช่น วิทสโตน บริดจ์ (Wheatstone Bridge)

เมื่อมีความดันเข้ามาในตัวอุปกรณ์แผ่นไดอะแฟรมจะมีการโก่งตัวเคลื่อนที่ขึ้นหรือลง เพื่อบ่งบอกว่ามีแรงมากระทำต่อเพียโซรีซีฟทิปจะทำให้ความเค้นเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงความเค้นของเพียโซรีซีฟทิปสัมพันธ์กับแรงดัน ( $P-P_0$ ) ค่าความเที่ยงตรงจะแปรผันขึ้นตรงกับสัมประสิทธิ์เพียโซรีซีฟทิป (piezoresistive coefficient :  $\pi$ ) ของวัสดุของแผ่นไดอะแฟรม โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการ (2.16)

$$V_{out} \propto \Delta R \propto \pi(P - P_0) \quad (2.16)$$

## 2.11 สัมประสิทธิ์เพียโซรีซีฟทิปตามยาวและสัมประสิทธิ์เพียโซรีซีฟทิปตามขวาง

เมื่อมีแรงใดๆมากระทำกับวัสดุแล้วทำให้วัสดุนั้นมีความเค้นเกิดขึ้น พบว่าสนามไฟฟ้า ( $\vec{E}$ ) จะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นกระแส ( $J$ ) และความเค้น ( $\sigma$ ) ดังสมการที่ (2.17)

$$\vec{E} = \rho J + \pi J \sigma \quad (2.17)$$

เมื่อ  $\rho$  คือ สภาพความต้านทาน

$\pi$  คือ สัมประสิทธิ์เพียโซรีซีฟทิปเทินเซอร์

สำหรับสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในทิศทางใดๆในโครงผลึก เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (2.17) จะสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\vec{E} = \rho_0 J_1 + \pi_l \rho_0 J_1 \sigma_1 \quad (2.18)$$

เมื่อ  $\rho_1$  คือ สภาพความต้านทานเริ่มต้น

$\pi_l$  คือ สัมประสิทธิ์เพียโซรีซีฟทิปตามยาว (longitudinal piezoresistive coefficient)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎของโอห์ม สนามไฟฟ้าจะมีความสัมพันธ์กับสภาพความต้านทานและความหนาแน่นกระแสดังสมการที่ (2.19)

$$\vec{E} = \rho \mathbf{J} \quad (2.19)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ (2.18) ลงในสมการที่ (2.19) จะได้ว่า

$$\rho_1 \mathbf{J}_1 = \rho_0 \mathbf{J}_1 + \pi_l \rho_0 \mathbf{J}_1 \sigma_1 \quad (2.20)$$

หรือ

$$\rho_1 = \rho_0 + \pi_l \rho_0 \sigma_1 \quad (2.21)$$

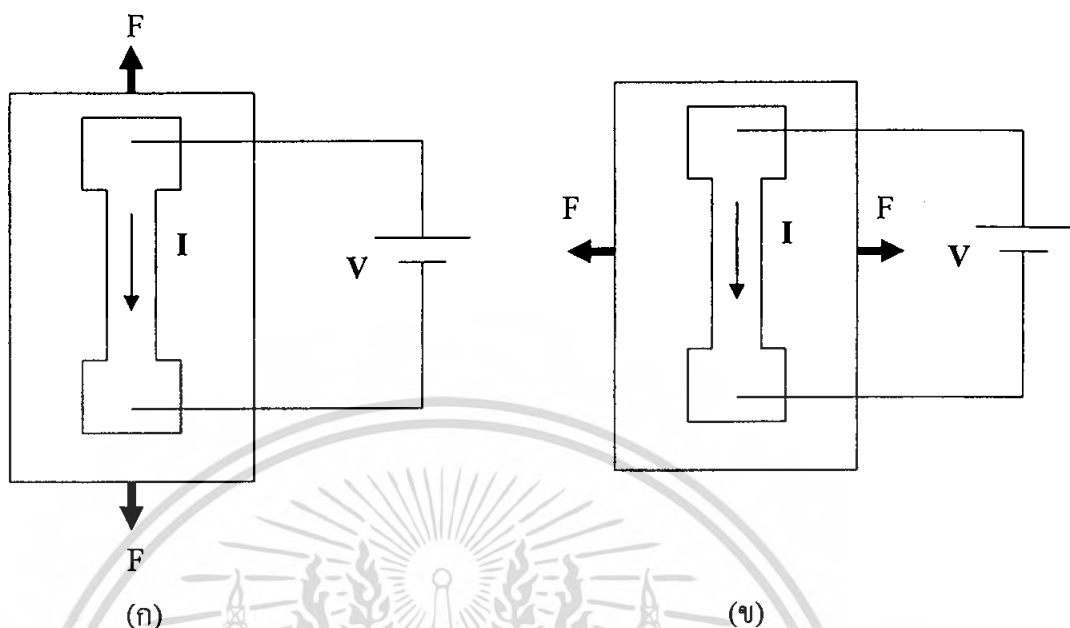
$$\frac{\rho_1 - \rho_0}{\rho_0} = \pi_l \sigma_1 \quad (2.22)$$

$$\frac{\Delta \rho}{\rho_0} = \pi_l \sigma_1 \quad (2.23)$$

ทำนองเดียวกันเมื่อกำหนดให้  $\pi_t$  คือ สัมประสิทธิ์เพียโซรีซิสทีฟที่ปตามขวาง (transverse piezoresistive coefficient) ดังนั้นจากสมการที่ (2.18) ถึง (2.23) จะได้ว่า

$$\frac{\Delta \rho}{\rho_0} = \pi_t \sigma_1 \quad (2.24)$$

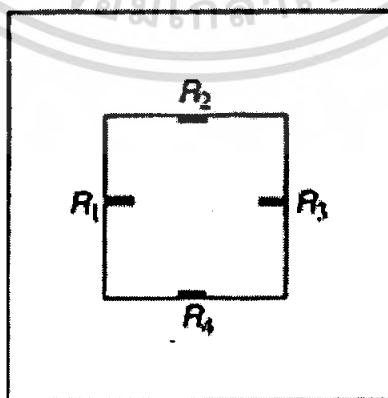
จากสมการที่ (2.23) และ (2.24) พบว่าทั้งสัมประสิทธิ์เพียโซรีซิสทีฟที่ปตามยาวและสัมประสิทธิ์เพียโซรีซิสทีฟที่ปตามขวาง เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำกับวัสดุแล้วทำให้เกิดความเค้นขึ้นโดยสัมพันธ์กับอัตราเปลี่ยนแปลงของสภาพความต้านทานในวัสดุ ซึ่งขึ้นอยู่กับทิศทางของแรง (F) ที่มากระทำโดยสัมประสิทธิ์เพียโซรีซิสทีฟที่ปตามยาวนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำกับวัสดุตั้งรูปที่ 2.11(ก) ส่วนสัมประสิทธิ์เพียโซรีซิสทีฟที่ปตามขวางจะเกิดเมื่อมีแรงตามขวางมากระทำกับวัสดุตั้งรูปที่ 2.11(ข)



รูปที่ 2.11 ทิศทางของแรงที่กระทำกับวัสดุที่ประกอบด้วย(ก) แรงดึงตามยาว (ข) แรงดึงตามขวาง

## 2.12 ความเค้นและสัมประสิทธิ์เพียโซรีซีฟทีปในตัวต้านทาน

การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทั้ง 4 ตัวบน ไดอะแฟรมรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะประกอบไปด้วยตัวต้านทานแนวขนานขอบ ไดอะแฟรม 2 ตัว  $R_2$ ,  $R_4$  และตัวต้านทานในแนวตั้งฉาก 2 ตัว  $R_1$ ,  $R_3$  ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทั้งในแนวตั้งและแนวตั้งฉากขณะให้ความดันกับไดอะแฟรมนี้ จะมีความสัมพันธ์กับความเค้นที่เกิดขึ้น และสัมประสิทธิ์เพียโซรีซีฟทีป ดังสมการที่ (2.25)



รูปที่ 2.12 ลักษณะการวางตัวต้านทานบน ไดอะแฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

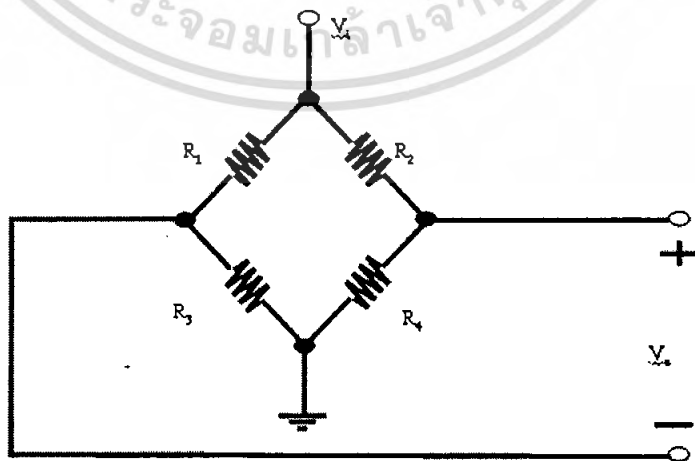
$$\left[ \frac{\Delta R}{R} \right] = \pi_l \sigma_l + \pi_t \sigma_t \quad (2.25)$$

เมื่อ $\left[ \frac{\Delta R}{R} \right]$	คือ	อัตราส่วนของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน
$\pi_l$	คือ	สัมประสิทธิ์เพียโซรีซิสทีฟที่ไปตามยาว
$\pi_t$	คือ	สัมประสิทธิ์เพียโซรีซิสทีฟที่ไปตามขวาง
$\sigma_l$	คือ	ความเค้นตามยาว
$\sigma_t$	คือ	ความเค้นตามขวาง

### 2.13 วงจรวีทสโตนบริดจ์

วงจรวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge circuit) จะถูกนำมาใช้เป็นทรานสดิวเซอร์ วัดความดันเพื่อใช้ในการแปรค่าจากความดันไปสู่สัญญาณแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะทำให้สามารถทราบถึงปริมาณความดันที่เปลี่ยนแปลงไปโดยพิจารณาได้จากปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้น วงจรวีทสโตนบริดจ์ชนิดพาสซีฟเป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน 4 ตัวต่อกันเป็นรูปดังรูปที่ 2.13 ซึ่งเมื่อวงจรบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุลแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต  $V_0$  จะมีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ และจะทำให้อัตราส่วนค่าความต้านทาน ดังสมการที่ (2.26)

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad (2.26)$$



รูปที่ 2.13 วงจรวีทสโตนบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความต้านทานในวงจรบริดจ์เกิดการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลง วงจรบริดจ์จะอยู่ในสถานะไม่สมดุลทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมเอาพุท  $V_o$  ขึ้น ซึ่งสามารถคำนวณหา  $V_o$  ได้ดังสมการที่ (2.27)

$$V_o = V_i \times \frac{\Delta R}{R} \quad (2.27)$$



**81585**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

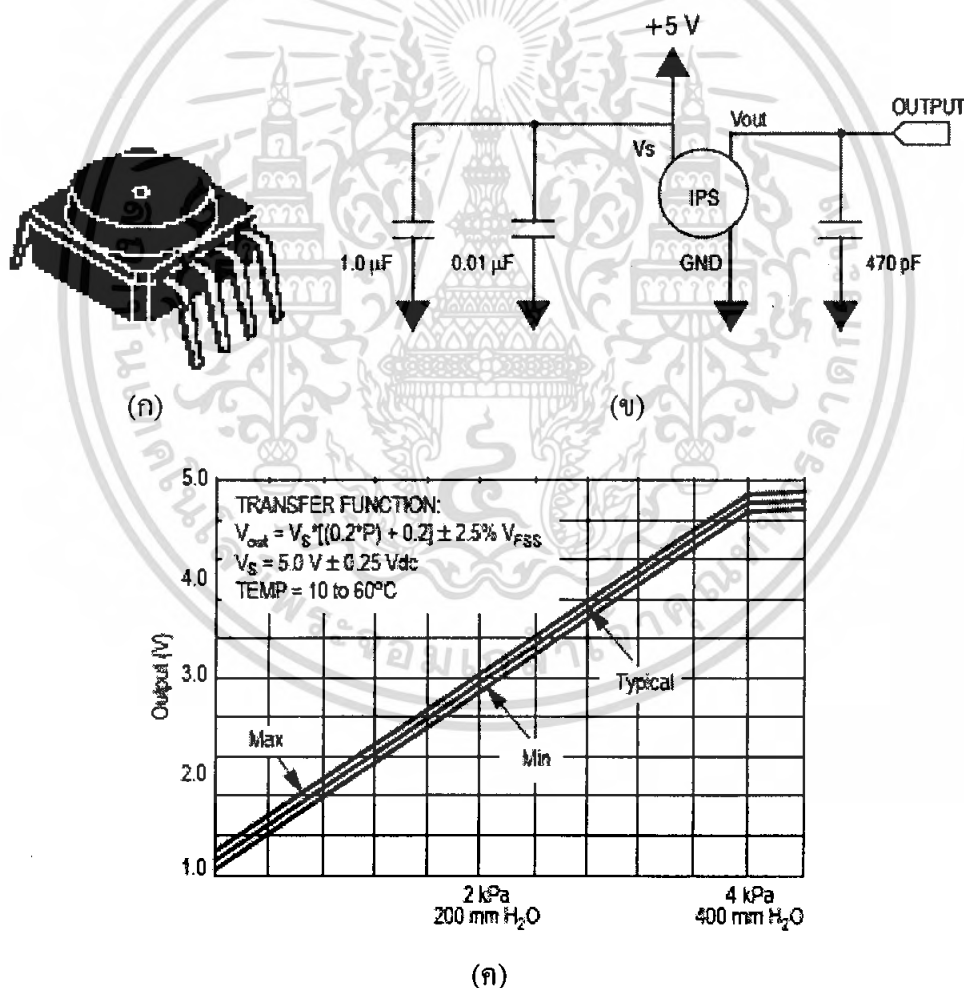
## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการ

#### 3.1 การทดลอง

##### 3.1.1 การทดสอบตัวตรวจวัดความดัน

ทดสอบตัวตรวจวัดความดัน โดยต่อวงจรดังรูปที่ 3.1 และต่อเข้ากับเครื่องเป่าลมดังรูปที่ 3.2 เพื่อวัดความดันในรูปของแรงดันไฟฟ้า ผ่านท่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 2.5 3.0 และ 4.0 นิ้ว



รูปที่ 3.1 (ก) ตัวตรวจวัดรุ่น MPXV5004G7U CASE 482B-03

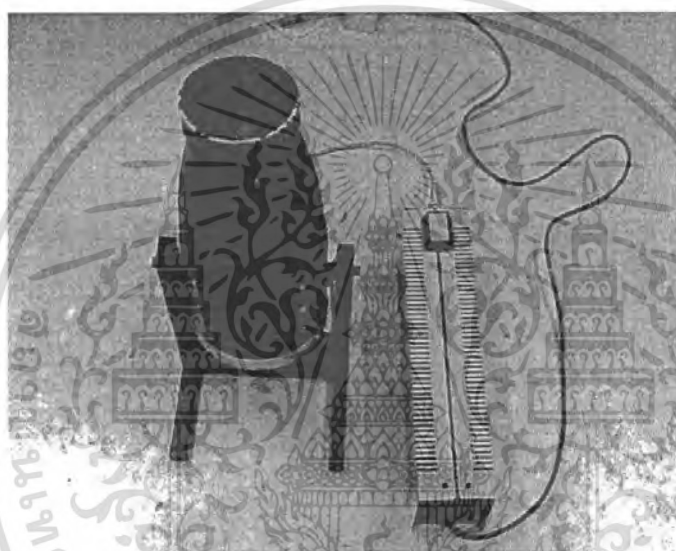
(ข) วงจรสำหรับตัวตรวจวัดความดัน

(ค) กราฟแสดงความไว (Sensitivity) ของตัวตรวจวัดความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

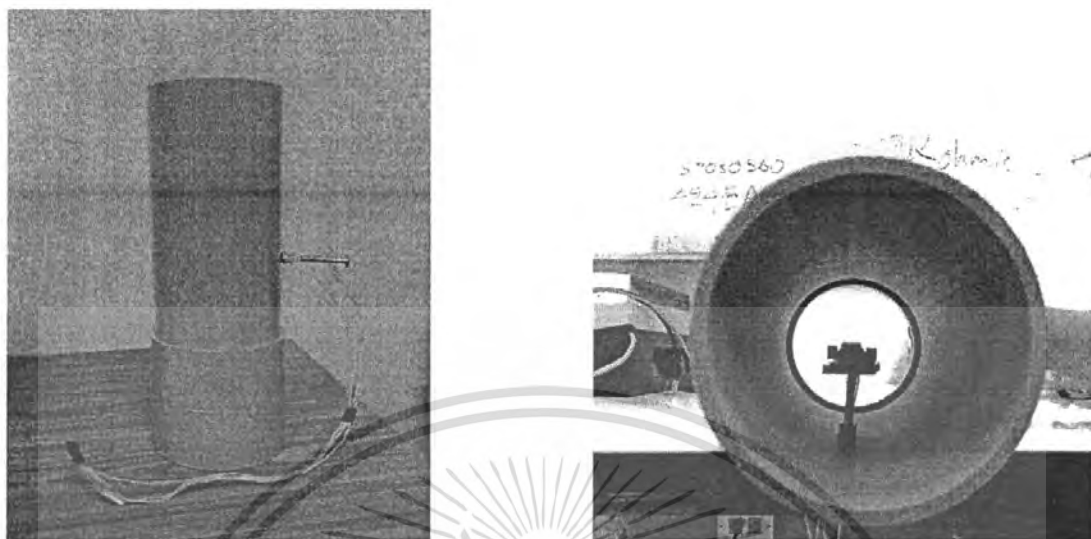
รูปที่ 3.1 (ก) และ (ข) แสดงรูปตัวตรวจวัดและวงจรสำหรับตัวตรวจวัดความดันชนิด Integrated Pressure Sensor (IPS) รุ่น MPXV5004G7U CASE 482B-03 ของบริษัท Freescale Semiconductor มีช่วงการวัดตั้งแต่ 0-3.92 KPa และรูปที่ 3.1 (ค) เป็นกราฟแสดงความไว (Sensitivity) ของตัวตรวจวัด และบอกสมการสำหรับการแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตไปเป็นผลต่างความดัน

ซึ่งรายละเอียดของตัวตรวจวัดที่ใช้ที่นี่ สามารถดูเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก



รูปที่ 3.2 เครื่องเป่าลมและตัวต้านทานปรับค่าได้

รูปที่ 3.2 แสดงรูปเครื่องเป่าลมที่ปรับความเร็วลมได้ โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ (Variat) ที่เชื่อมต่อกันอยู่ ของบริษัท PHYWE



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.3 (ก) ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว

(ข) ตัวตรวจวัดที่อยู่ภายในท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว



รูปที่ 3.4 ชุดทดลองตัวตรวจวัดที่ต่อเข้ากับท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงการวางตัวตรวจวัดที่อยู่ภายในท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว และรูปที่ 3.4 แสดงการต่อท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้วเข้ากับชุดทดลองตัวตรวจวัด ซึ่งประกอบด้วยเครื่องเป่าลม วงจรสำหรับตัวตรวจวัด แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (Power Supply) และโวลต์มิเตอร์ (Voltmeter) เพื่อใช้วัดแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้จากตัวตรวจวัด

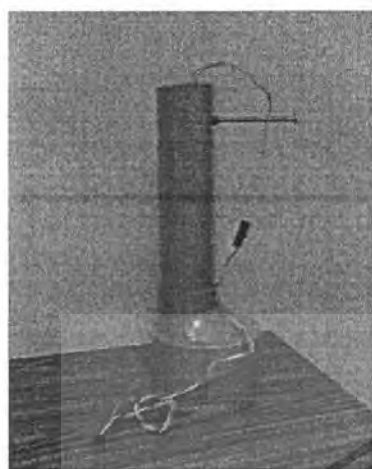
### 3.1.2 การทดสอบหลักการมาตรเวนจูรี

ทดสอบหลักการมาตรเวนจูรี โดยการลดพื้นที่หน้าตัดที่ของไหลไหลผ่าน จากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้วเป็นท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 นิ้ว โดยใช้ข้อต่อลดขนาดเพื่อวัดความดันที่จุด  $v_1$  และ  $v_2$  ตามแบบมาตรเวนจูรี

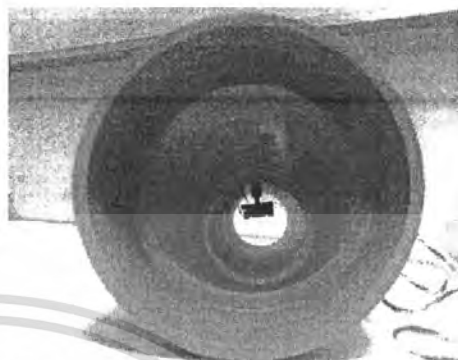


รูปที่ 3.5 มาตรเวนจูรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

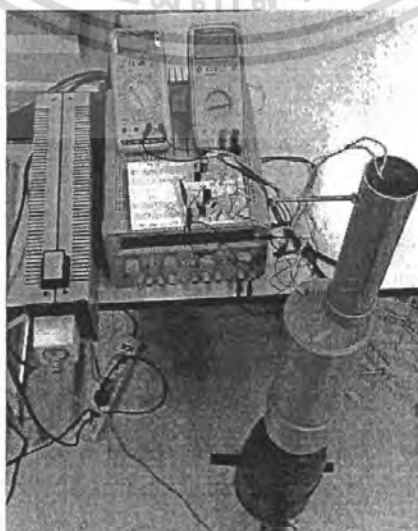


(ค)

รูปที่ 3.6 (ก) ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 นิ้วที่ต่อกับข้อต่อลดขนาด

(ข) ภาพด้านหน้าของตัวตรวจวัดที่อยู่ภายในท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 นิ้ว

(ค) ภาพด้านหลังของตัวตรวจวัดที่อยู่ภายในท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 นิ้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูปที่ 3.7 ชุดทดลองตัวตรวจวัด แบบมาตรฐานจิวรี**  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.7 แสดงชุดทดลองตัวตรวจวัดแบบมาตรเวนจูรี ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องเป่าลม วงจรสำหรับตัวตรวจวัด 2 ชุด แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าและโวลต์มิเตอร์ 2 เครื่อง เพื่อใช้วัดความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้จากตัวตรวจวัดทั้ง 2 ตัวที่อยู่ภายในท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 และ 2.0 นิ้ว

### 3.2 การวัดค่าอัตราเร็วการไหลของอากาศบนรถยนต์

วัดค่าอัตราเร็วการไหลของอากาศบนรถยนต์ โดยการต่อวงจรตามรูปที่ 3.1 แล้วติดตั้งในกล่องตามรูปที่ 3.8 แล้วนำไปติดตั้งบนหลังคาของรถยนต์ เพื่อวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ ตามรูปที่ 3.9

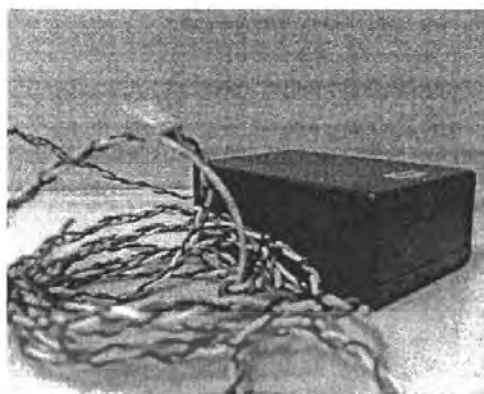


รูปที่ 3.8 วงจรที่ติดตั้งภายในกล่อง



รูปที่ 3.9 ติดตั้งตัวตรวจวัดบนหลังการยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



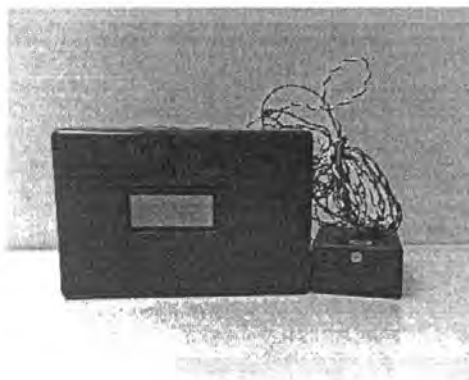
รูปที่ 3.10 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้วัดอัตราเร็วการไหลของอากาศบนหลังคารถยนต์

### 3.3 การเชื่อมต่อระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศเข้ากับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

นำระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศในรูปที่ 3.10 เชื่อมต่อเข้ากับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่เขียนโปรแกรมภาษาซี เพื่อประมวลผลและแสดงผลออกทางหน้าจอแสดงผล ดังรูปที่ 3.12

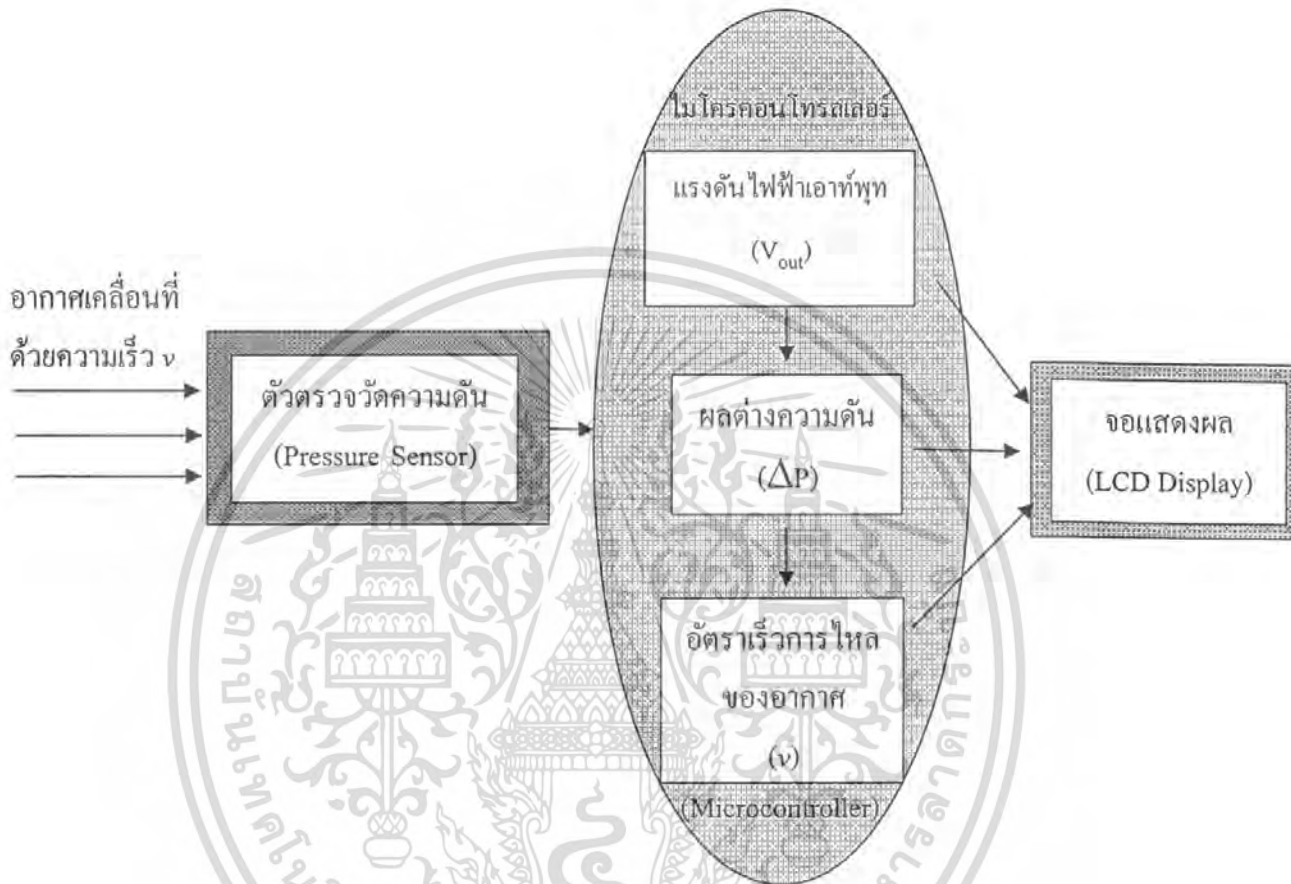


รูปที่ 3.11 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.12 ระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศเชื่อมต่อกับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ



รูปที่ 3.13 แผนภาพแสดงการทำงานของระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ

รูปที่ 3.13 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ โดยเริ่มจากเมื่อมีอากาศที่มีอัตราเร็วการไหลผ่านมายังตัวตรวจวัดความดัน ตัวตรวจวัดจะวัดค่าความดันและแสดงค่าออกมาในรูปของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ซึ่งส่งค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตไปยังส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการแปลงค่าจากแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตไปเป็นผลต่างความดันได้จากกราฟแสดงความไวของตัวตรวจวัด จากนั้นจะทำการแปลงค่าจากผลต่างความดันไปเป็นอัตราเร็วการไหลของอากาศโดยการคำนวณจากสมการที่ (2.12) หรือสมการแบร์นูลี คือ

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ความสูงระดับเดียวกันทำให้  $\rho gy_1$  และ  $\rho gy_2$  มีค่าเท่ากัน ทำให้สมการข้างต้นจะได้ว่า

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \quad (3.1)$$

โดยที่จุดที่ 2 จะมีอัตราเร็วการไหลเป็นศูนย์ ทำให้  $\frac{1}{2} \rho v_2^2$  มีค่าเท่ากับศูนย์ด้วย จะได้

$$\begin{aligned} P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 &= P_2 \\ \frac{1}{2} \rho v_1^2 &= P_2 - P_1 \\ \frac{1}{2} \rho v_1^2 &= \Delta P \end{aligned} \quad (3.2)$$

สมการ จากสมการที่ (3.2) จะพบว่า  $\Delta P$  นี้ ได้จากตัวตรวจวัด ทำให้สามารถหาค่า  $v_1$  ได้จาก

$$v_1 = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (3.3)$$

โดยในการทดลองนี้ได้ใช้ค่าความหนาแน่น ( $\rho$ ) ของอากาศมีค่าเท่ากับ  $1.2 \text{ (kg/m}^3\text{)}$

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

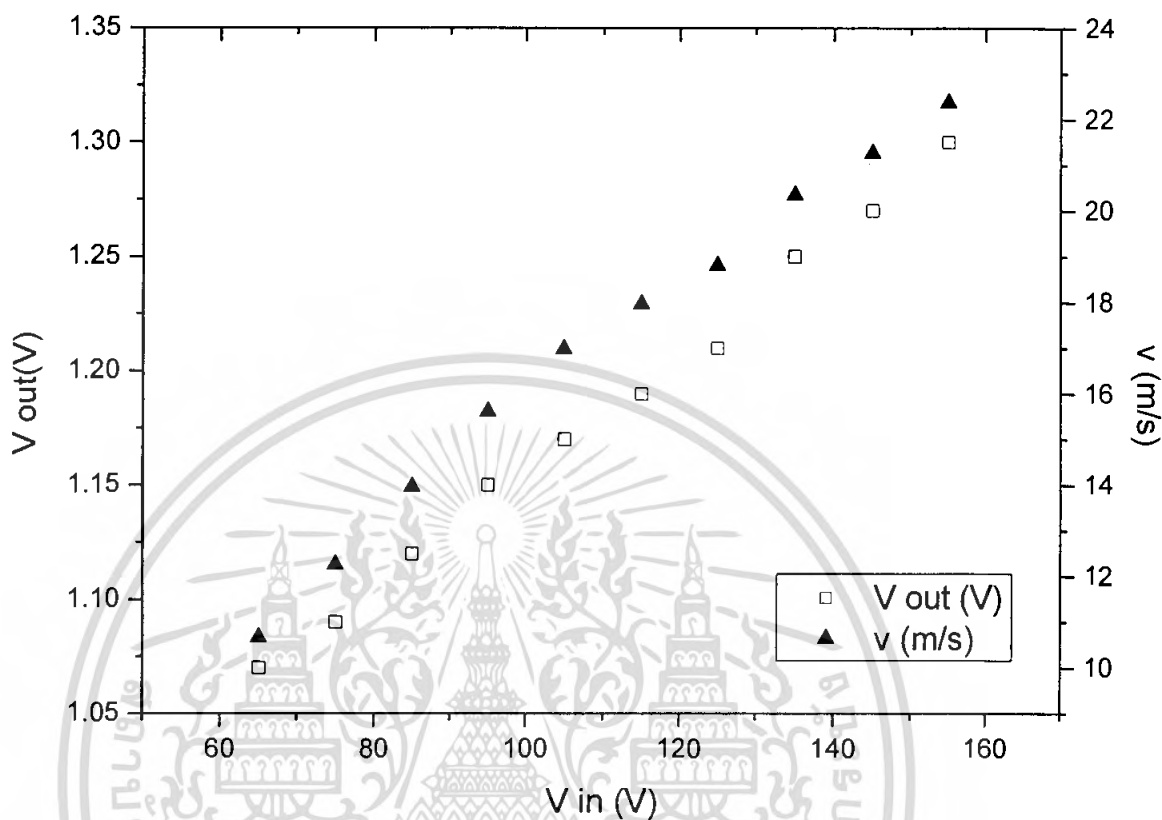
#### 4.1 ผลการทดสอบตัวตรวจวัดความดัน

ผลการทดสอบตัวตรวจวัดความดัน ที่ต่อเข้ากับเครื่องเป่าลม เพื่อวัดผลต่างความดันในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 2.5 3.0 และ 4.0 นิ้ว เมื่อปรับให้เครื่องเป่าลมแรงขึ้น ( $V_{in}$ )

ตารางที่ 4.1 แสดงผลต่างความดันกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของตัวตรวจวัดความดันเมื่อใช้ท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว

ท่อ 1.5 นิ้ว				
$V_{in}$ (V)	$V_{out}$ (V)	$\Delta P$ (Pa)	$v$ (m/s)	$v$ (km/hr)
65.00	1.07	68.00	10.65	38.32
75.00	1.09	90.00	12.25	44.09
85.00	1.12	117.00	13.96	50.27
95.00	1.15	146.00	15.60	56.16
105.00	1.17	173.00	16.98	61.13
115.00	1.19	193.00	17.94	64.57
125.00	1.21	212.00	18.80	67.67
135.00	1.25	248.00	20.33	73.19
145.00	1.27	271.00	21.25	76.51
155.00	1.30	300.00	22.36	80.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

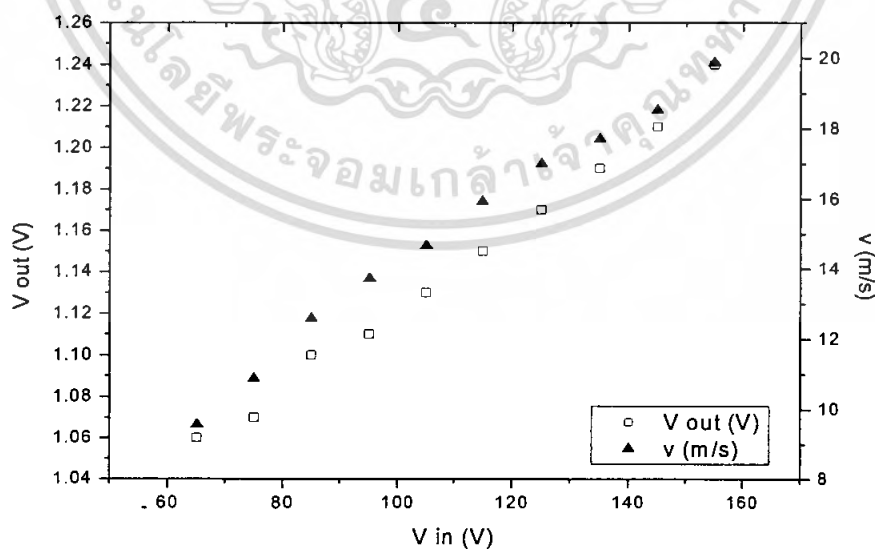


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุต อัตราเร็วการไหลของอากาศและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว

จากรูปที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.1 ท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุดคือ 1.5 นิ้ว นั้น จะได้ ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ผลต่างความดัน และอัตราเร็วการไหลของอากาศมากที่สุด และเพิ่มตามแรงดันไฟฟ้าอินพุต จากกราฟแสดงให้เห็นว่าตัวแปรข้างต้นมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตามแบบเชิงเส้น

ตารางที่ 4.2 แสดงผลต่างความดันกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของตัวตรวจวัดความดันเมื่อใช้ท่อพีวีซี ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว

ท่อ 2.5 นิ้ว				
$V_{in}$ (V)	$V_{out}$ (V)	$\Delta P$ (Pa)	$v$ (m/s)	$v$ (km/hr)
65.00	1.06	55.00	9.57	34.47
75.00	1.07	71.00	10.88	39.16
85.00	1.10	95.00	12.58	45.30
95.00	1.11	113.00	13.72	49.40
105.00	1.13	129.00	14.66	52.79
115.00	1.15	152.00	15.92	57.30
125.00	1.17	173.00	16.98	61.13
135.00	1.19	188.00	17.70	63.72
145.00	1.21	206.00	18.53	66.71
155.00	1.24	237.00	19.87	71.55



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุต อัตราเร็วการไหลของอากาศและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว

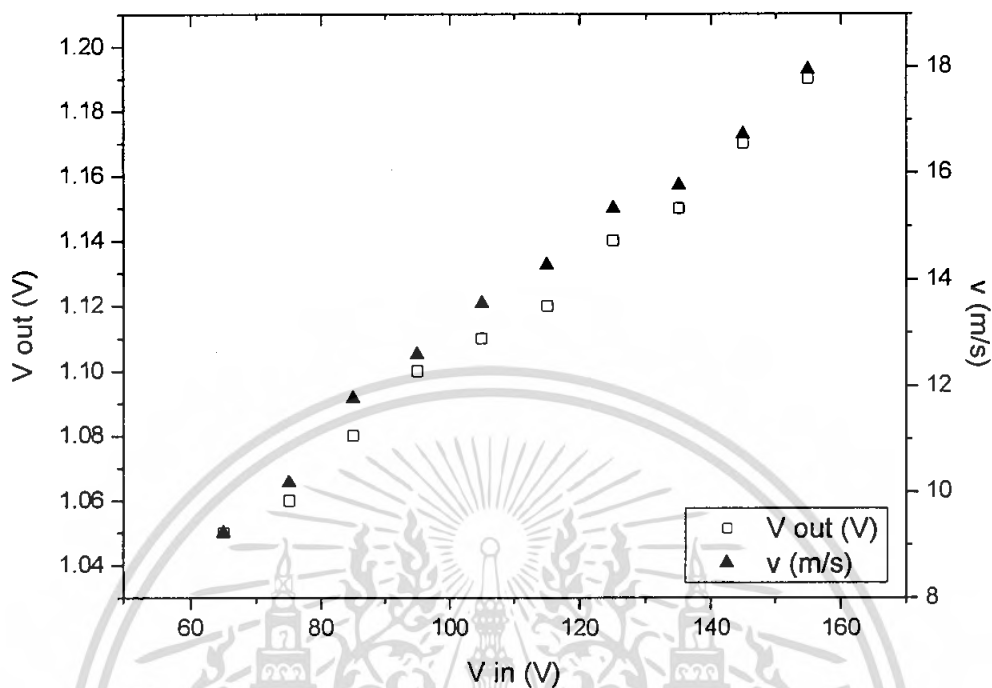
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 และ ตารางที่ 4.2 ท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว นั้นจะได้ ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ผลต่างความดัน และ อัตราเร็วการไหลของอากาศ น้อยกว่าท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว เพราะท่อนั้น มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดใหญ่กว่า ตามหลักของสมการความต่อเนื่อง และกราฟมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามแบบเชิงเส้น

**ตารางที่ 4.3** แสดงผลต่างความดันกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของตัวตรวจวัดความดันเมื่อใช้ท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 นิ้ว

ท่อ 3.0 นิ้ว				
$V_{in}$ (V)	$V_{out}$ (V)	$\Delta P$ (Pa)	$v$ (m/s)	$v$ (km/hr)
65.00	1.05	51.00	9.22	33.19
75.00	1.06	62.00	10.17	36.60
85.00	1.08	83.00	11.76	42.34
95.00	1.10	95.00	12.58	45.30
105.00	1.11	110.00	13.54	48.74
115.00	1.12	122.00	14.26	51.33
125.00	1.14	141.00	15.33	55.19
135.00	1.15	149.00	15.76	56.73
145.00	1.17	168.00	16.73	60.24
155.00	1.19	193.00	17.94	64.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

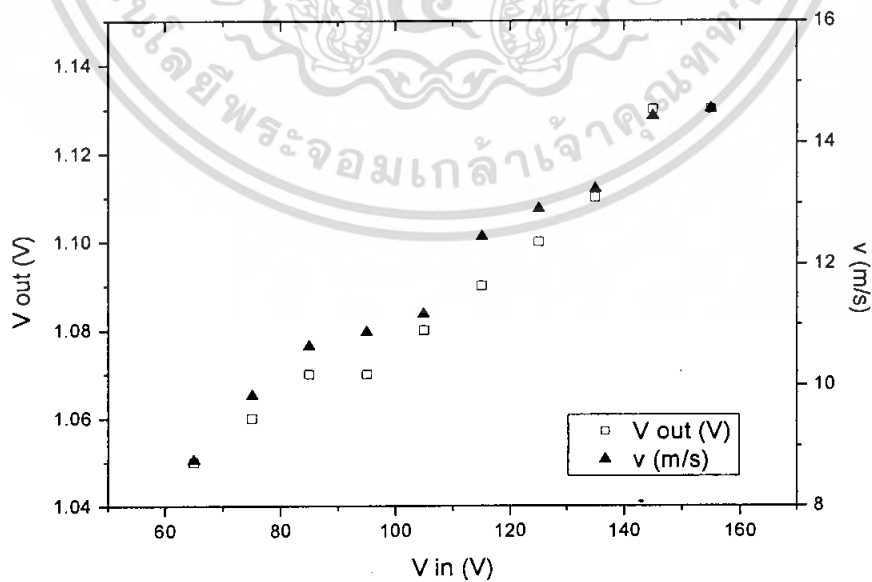


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุต อัตราเร็วการไหลของอากาศและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 นิ้ว

จากรูปที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.3 ท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.0 นิ้ว นั้นจะได้ ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ผลต่างความดัน และอัตราเร็วการไหลของอากาศ ต่ำกว่าท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 และ 2.5 นิ้ว เพราะมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดใหญ่กว่า ตามหลักของสมการความต่อเนื่อง และกราฟมีความสัมพันธ์แบบแปรผันตามแบบเชิงเส้น

ตารางที่ 4.4 แสดงผลต่างความดันกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของตัวตรวจวัดความดันเมื่อใช้ท่อพีวีซี ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว

ท่อ 4.0 นิ้ว				
$V_{in}$ (V)	$V_{out}$ (V)	$\Delta P$ (Pa)	$v$ (m/s)	$v$ (km/hr)
65.00	1.05	46.00	8.76	31.52
75.00	1.06	58.00	9.83	35.39
85.00	1.07	68.00	10.65	38.32
95.00	1.07	71.00	10.88	39.16
105.00	1.08	75.00	11.18	40.25
115.00	1.09	93.00	12.45	44.82
125.00	1.10	100.00	12.91	46.48
135.00	1.11	105.00	13.23	47.62
145.00	1.13	125.00	14.43	51.96
155.00	1.13	127.00	14.55	52.38



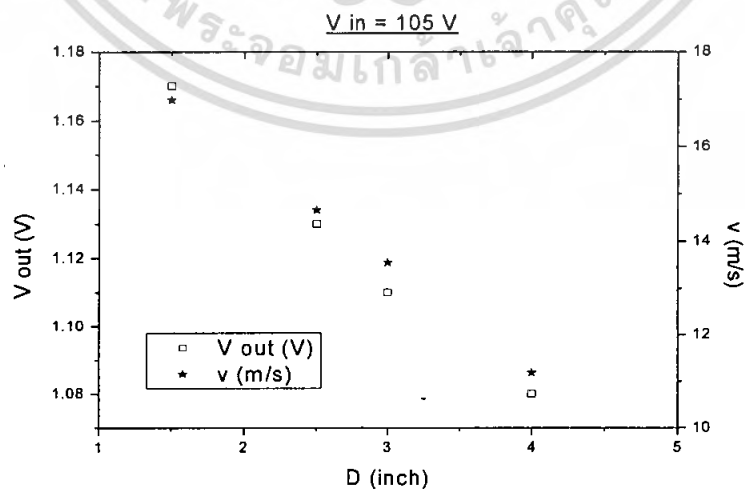
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุต อัตราเร็วการไหลของอากาศและ  
 เอกส แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว ภาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.4 ท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว นั้นจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ผลต่างความดัน และ อัตราเร็วการไหลของอากาศต่ำที่สุด เพราะท่อพีวีซีมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ที่สุด ตามหลักของสมการความต่อเนื่องและกราฟมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันตามแบบเชิงเส้น

จากตารางที่ 4.1 ถึงตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.1 ถึงรูปที่ 4.4. จะเห็นได้ชัดว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนั้นเป็นตัวแปรต้นตัวสำคัญตัวหนึ่งที่มีผลต่ออัตราเร็วการไหลของอากาศและความดันของอากาศภายในท่อ หรือเขียนเป็นตารางและกราฟ ที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตคงที่ 3 ค่า ป้อนให้กับเครื่องเป่าลม ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลต่างความดันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อพีวีซีขนาดต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 105 V

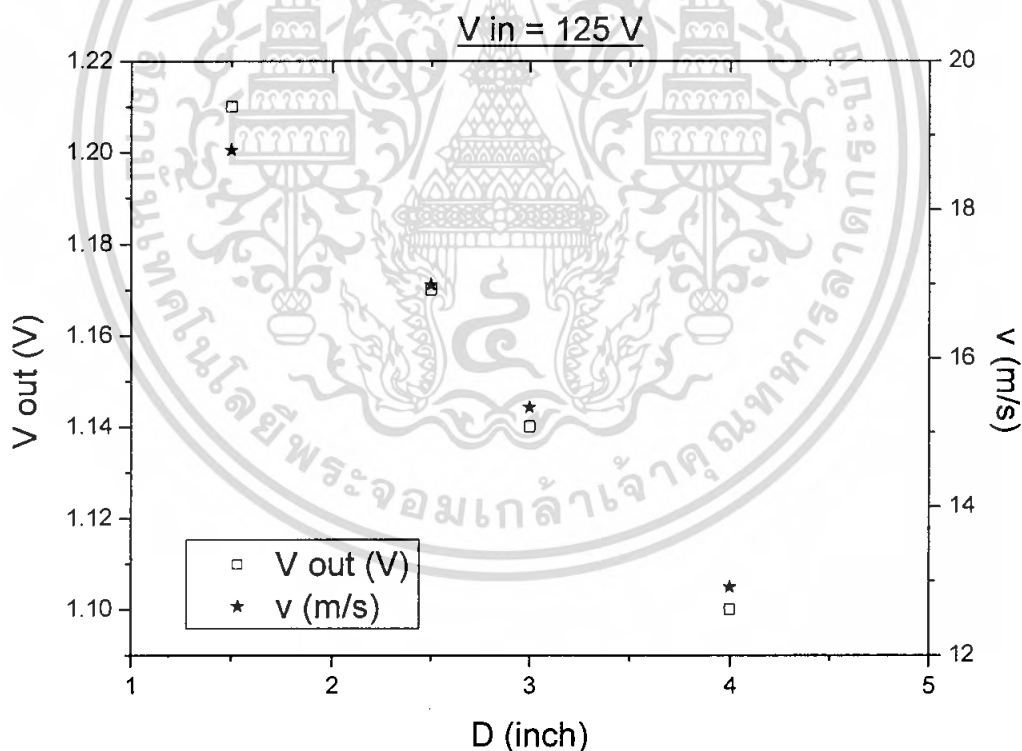
$V_{in} = 105 \text{ V}$				
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (inch)	$V_{out} \text{ (V)}$	$\Delta P \text{ (Pa)}$	$v \text{ (m/s)}$	$v \text{ (km/hr)}$
1.50	1.17	173.00	16.98	61.13
2.50	1.13	129.00	14.66	52.79
3.00	1.11	110.00	13.54	48.74
4.00	1.08	75.00	11.18	40.25



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต อัตราเร็วการไหลของอากาศ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อพีวีซี ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 105 V ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลต่างความดันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อพีวีซีขนาดต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 125 V

$V_{in} = 125 \text{ V}$				
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (inch)	$V_{out} \text{ (V)}$	$\Delta P \text{ (Pa)}$	$v \text{ (m/s)}$	$v \text{ (km/hr)}$
1.50	1.21	212.00	18.80	67.67
2.50	1.17	173.00	16.98	61.13
3.00	1.14	141.00	15.33	55.19
4.00	1.10	100.00	12.91	46.48

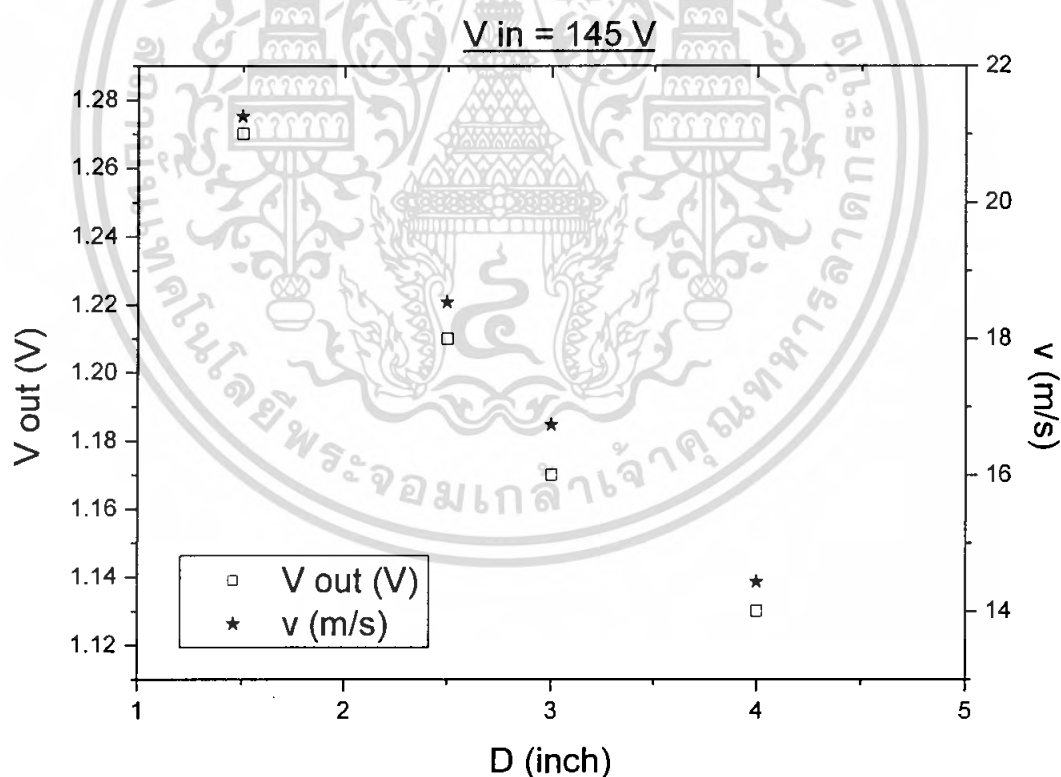


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต อัตราเร็วการไหลของอากาศ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อพีวีซี ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 105 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 แสดงผลต่างความดันกับเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อพีวีซีขนาดต่างๆ ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุท 145 V

$V_{in} = 145 \text{ V}$				
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (inch)	$V_{out} \text{ (V)}$	$\Delta P \text{ (Pa)}$	$v \text{ (m/s)}$	$v \text{ (km/hr)}$
1.50	1.27	271.00	21.25	76.51
2.50	1.21	206.00	18.53	66.71
3.00	1.17	168.00	16.73	60.24
4.00	1.13	125.00	14.43	51.96



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุท อัตราเร็วการไหลของอากาศ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อพีวีซี ที่แรงดันไฟฟ้าอินพุท 105 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 ถึงตารางที่ 4.7 และ รูปที่ 4.5 ถึงรูปที่ 4.7 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อนั้นมีผลต่อ แรงดัน ไฟฟ้าเอาท์พุทและอัตราเร็วการไหลของอากาศภายในท่อ โดยมีความสัมพันธ์ คือ ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกำสูง แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทและอัตราเร็วการไหลของอากาศจะมีค่าต่ำ แต่ถ้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อกำต่ำ แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทและอัตราเร็วการไหลของอากาศจะมีค่าสูง

จากผลการทดสอบหลักการมาตรเวเนจูรี จะสังเกตได้ว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เป็นไปตามหลักการของมาตรเวเนจูรีจริง คือเมื่ออัตราเร็วการไหลมีค่าสูง ค่าความดันจะต่ำ และที่อัตราเร็วการไหลมีค่าต่ำ ค่าความดันจะสูง หรืออาจกล่าวได้ว่าความดันแปรผกผันกับอัตราเร็วการไหลนั่นเอง ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.13) แต่เนื่องจากข้อมูลในตารางข้างต้นค่าความดันนั้นได้แสดงในรูปของผลต่างความดัน ดังนั้นค่าที่ได้ออกมา จึงดูเหมือนแปรผันตามกับอัตราเร็วการไหล

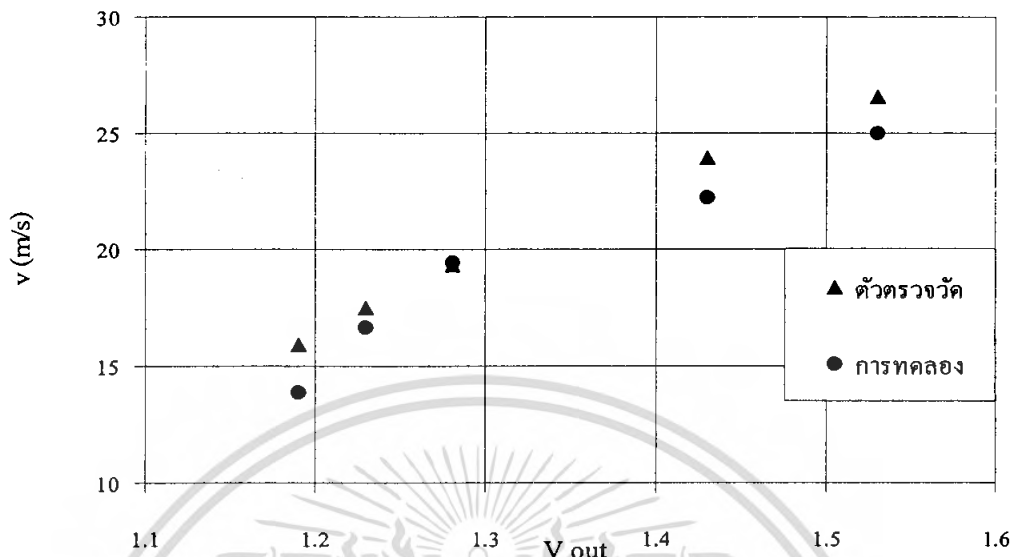


#### 4.2 ผลการวัดค่าอัตราเร็วการไหลของอากาศบนรถยนต์

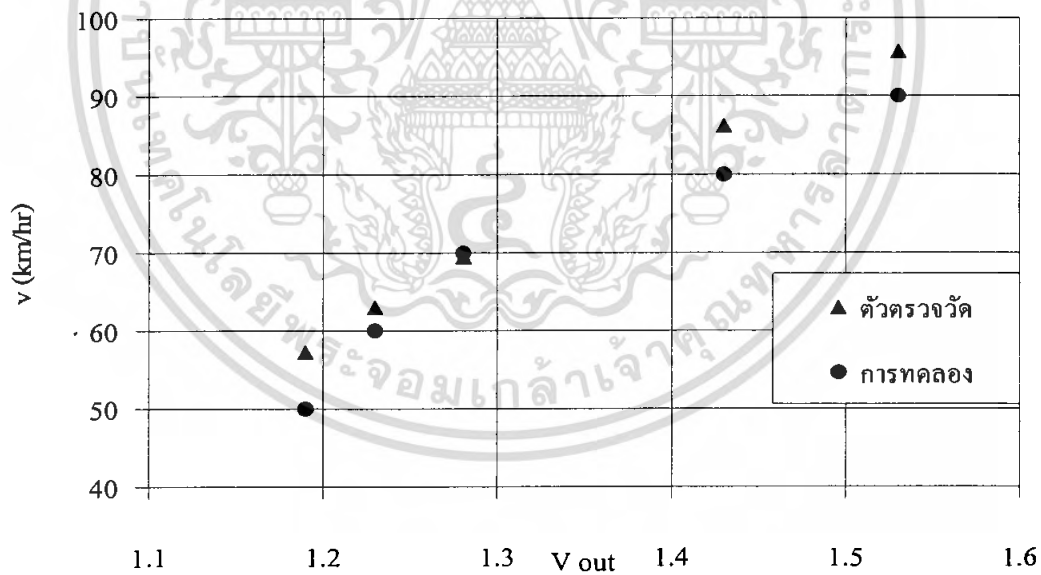
เมื่อมีอากาศที่มีอัตราเร็วการไหลผ่านมายังตัวตรวจวัดความดัน ตัวตรวจวัดจะวัดค่าความดันและแสดงค่าออกมาในรูปของแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุท จากนั้นทำการแปลงค่าจากแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทไปเป็นผลต่างความดันได้จากกราฟแสดงความไวของตัวตรวจวัด แล้วทำการแปลงค่าจากผลต่างความดันไปเป็นอัตราเร็วการไหลของอากาศในหน่วย m/s และ km/hr จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับอัตราเร็วของรถยนต์ เพื่อดูความคลาดเคลื่อน ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการวัดค่าอัตราเร็วการไหลของอากาศบนรถยนต์

$V_{out}$ (V)	$\Delta P$ (Pa)	$v$ (m/s)	$v$ (km/hr)	อัตราเร็ว ของรถยนต์ (m/s)	อัตราเร็ว ของรถยนต์ (km/hr)	ความคลาดเคลื่อน (%)
1.17	170.00	15.06	54.20	11.11	40.00	35.50
1.19	190.00	15.92	57.30	13.89	50.00	14.60
1.23	230.00	17.51	63.04	16.67	60.00	5.07
1.28	280.00	19.32	69.56	19.44	70.00	0.63
1.43	430.00	23.94	86.20	22.22	80.00	7.75
1.53	530.00	26.58	95.70	25.00	90.00	6.33
1.55	550.00	27.08	97.49	27.78	100.00	2.51
1.51	510.00	26.08	93.88	30.56	110.00	14.66
1.56	560.00	27.33	98.37	33.33	120.00	18.02



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับอัตราเร็วการไหลของอากาศในหน่วย m/s



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับอัตราเร็วการไหลของอากาศในหน่วย km/hr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 รูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.8 จะสังเกตได้ว่าอัตราเร็วของรถยนต์ในช่วง 60-100 km/hr นั้นมีความคลาดเคลื่อนจากชุดวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศน้อยมาก เนื่องจากในช่วงที่มีความเร็วต่ำกว่า 60 km/hr ตัวตรวจวัดความดันยังไม่ถึงจุดทำงาน หรือที่เรียกว่า ค่าความละเอียด (Resolution) ยังสูงไม่พอ ส่วนในช่วงที่มีความเร็วสูงกว่า 100 km/hr นั้นการไหลของอากาศ อาจไม่ เป็นไปตามในอุดมคติ คือ ไม่เกิดการไหลแบบคงตัว (Steady flow) จะเกิดการไหลแบบหมุนขึ้น (Irrotational flow) ทั้งนี้ยังอาจเกิดจากปัจจัยอื่นอีก เช่น ระหว่างทำการทดลองนั้นมียานต์วิ่งสวน ทางมา เป็นต้น และจากกราฟจะสังเกตได้ว่าเส้นกราฟนั้นมีลักษณะใกล้เคียงและมีแนวโน้มไป ในทางเดียวกัน

#### 4.3 ผลการเชื่อมต่อระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศเข้ากับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

แสดงผลการเชื่อมต่อ ได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 หน้าจอแสดงของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

จากรูปที่ 4.10 หน้าจอแสดงผล แสดงค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ความดัน และอัตราเร็วการ ไหลของอากาศ ในหน่วย m/s และ km/hr โดยสามารถเลือกเปิด-ปิดไฟที่หน้าจอได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการทดลอง ที่ทำการพัฒนาระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศที่ประยุกต์มาจากตัวตรวจวัดความดัน โดยใช้หลักการและสมการของแบร์นูลีเข้ามาช่วย ระบบจะถูกควบคุม คำนวณและแสดงผลด้วยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

#### 5.1 สรุปผลการทดสอบตัวตรวจวัดความดัน

จากผลการทดสอบตัวตรวจวัดความดันที่ต่อเข้ากับเครื่องเป่าลม เพื่อวัดความดันในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 2.5 3.0 และ 4.0 นิ้วนั้น จะพบว่าอัตราเร็วการไหลของอากาศกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้วจะมีค่ามากที่สุด สูงสุดถึง 22.36 เมตรต่อวินาทีและ 1.30 โวลต์ ในขณะที่ผลของอัตราเร็วการไหลของอากาศกับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้วจะมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งมีค่าอัตราเร็วการไหลสูงสุดเพียง 14.55 เมตรต่อวินาที และ 1.13 โวลต์ เท่านั้น ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2.8) หรือสมการความต่อเนื่อง นั่นคือ

$$Av = \text{constant}$$

เมื่อ A คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ ( $\text{m}^2$ )

v คือ อัตราเร็วการไหล ( $\text{m/s}$ )

เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าที่พื้นที่หน้าตัดน้อย อัตราเร็วการไหลจะมีค่ามาก ส่วนที่พื้นที่หน้าตัดมาก อัตราเร็วการไหลจะมีค่าน้อย หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราเร็วการไหลแปรผกผันกับพื้นที่หน้าตัด

## 5.2 สรุปผลการทดสอบหลักการมาตรเวทจูรี

จากผลการทดสอบตามหลักการมาตรเวทจูรี โดยการลดพื้นที่หน้าตัดที่ของไหลไหลผ่าน จากท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว เป็นท่อพีวีซีที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 นิ้ว โดยใช้ข้อต่อลดขนาด เพื่อวัดความดันที่จุด  $v_1$  และ  $v_2$  ตามแบบมาตรเวทจูรีนั้น ได้ผลการทดลองว่าเป็นไปตามหลักการของมาตรเวทจูรีจริง คือเมื่อความดันต่ำ อัตราเร็วการไหลจะมีค่ามาก ส่วนที่ความดันสูง อัตราเร็วการไหลจะมีค่าน้อย หรืออาจกล่าวได้ว่าอัตราเร็วการไหลแปรผกผันกับความดันนั่นเอง เป็นไปตามสมการที่ (2.13)

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

## 5.3 สรุปผลการวัดค่าอัตราเร็วการไหลของอากาศบนรถยนต์

จากตารางที่ 4.8 แสดงผลการวัดค่าอัตราเร็วการไหลของอากาศบนรถยนต์และจากการคำนวณอัตราเร็วการไหลของอากาศแล้ว จะพบว่าอัตราเร็วการไหลของอากาศมีค่าใกล้เคียงกับอัตราเร็วของรถยนต์ ทั้งในหน่วย m/s และหน่วย km/hr ดังแสดงในรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 35.50%

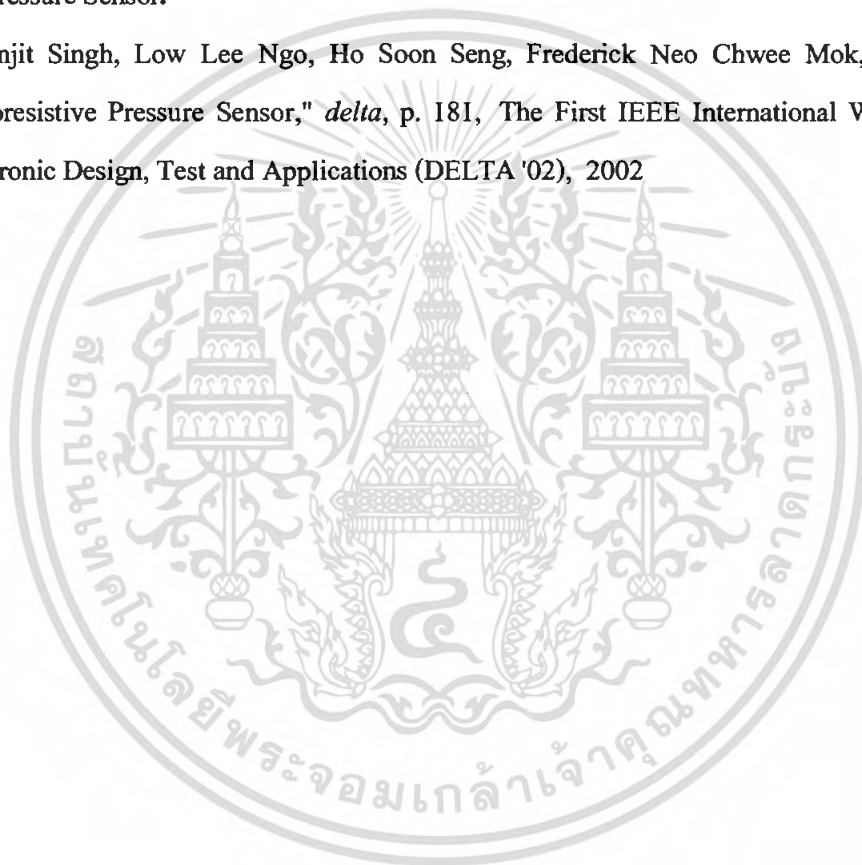
## 5.4 ปัญหาที่พบและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า การประดิษฐ์เครื่องมือการพัฒนาระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศนี้มีความน่าเชื่อถือได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งยังมีปัญหาและข้อเสนอแนะที่ควรแก้ไข ดังนี้

1. ระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศที่พัฒนาขึ้นมาี้ ยังมีข้อจำกัดในชนิดของของไหลที่จะทำการวัด หากของไหลมีสถานะเป็นของเหลวจะทำการวัดไม่ได้ เนื่องจากตัวตรวจวัดที่ใช้ นั้นไม่ครอบคลุมถึงของไหลที่เป็นของเหลว
2. ความคลาดเคลื่อนในการวัดมีผลมาจากแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวตรวจวัด นั่นคือ ในกรณีที่ใช้แบตเตอรี่ หากแบตเตอรี่อ่อนจะทำให้การวัดเกิดการคลาดเคลื่อนไป
3. เพื่อความแม่นยำของระบบวัดอัตราเร็วการไหลของอากาศ ควรทำการสอบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน

## เอกสารอ้างอิง

- [www.rmutphysics.com](http://www.rmutphysics.com)
- [www.kmitl.ac.th/~kswichit](http://www.kmitl.ac.th/~kswichit)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Bulk\\_micromachining](http://en.wikipedia.org/wiki/Bulk_micromachining)
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Surface\\_micromachining](http://en.wikipedia.org/wiki/Surface_micromachining)
- Karoon Saejok. 2007. Study of Poly-Si and a-Si Film Resistance after Implantation Process for Pressure Sensor.
- Ranjit Singh, Low Lee Ngo, Ho Soon Seng, Frederick Neo Chwee Mok, "A Silicon Piezoresistive Pressure Sensor," *delta*, p. 181, The First IEEE International Workshop on Electronic Design, Test and Applications (DELTA '02), 2002



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Integrated Silicon Pressure Sensor On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

The MPXV5004G series piezoresistive transducer is a state-of-the-art monolithic silicon pressure sensor designed for a wide range of applications, but particularly those employing a microcontroller or microprocessor with A/D inputs. This sensor combines a highly sensitive implanted strain gauge with advanced micromachining techniques, thin-film metallization, and bipolar processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to the applied pressure.

## Features

- Temperature Compensated over 10° to 60°C
- Available in Gauge Surface Mount (SMT) or Through-Hole (DIP) Configurations
- Durable Thermoplastic (PPS) Package

## Typical Applications

- Washing Machine Water Level
- Ideally Suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems

### ORDERING INFORMATION<sup>(1)</sup>

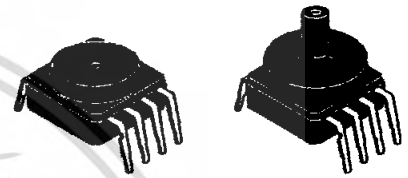
Device Type	Case No.	MPXV Series Order No.	Packing Options	Device Marking
Through-Hole	482B	MPXV5004G7U	Rails	MPXV5004G
	482C	MPXV5004GC7U	Rails	MPXV5004G
Surface Mount	482	MPXV5004G6U	Rails	MPXV5004G
	482	MPXV5004G6T1	Tape & Reel	MPXV5004G
	482A	MPXV5004GC6U	Rails	MPXV5004G
	482A	MPXV5004GC6T1	Tape & Reel	MPXV5004G
	1351	MPXV5004DP	Trays	MPXV5004G
	1368	MPXV5004GVP	Trays	MPXV5004G
	1369	MPXV5004GP	Trays	MPXV5004G

1. MPXV5004G series pressure sensors are available in the basic element package or with a pressure port. Two packing options are offered for the surface mount configuration.

## MPXV5004G SERIES

INTEGRATED  
 PRESSURE SENSOR  
 0 TO 3.92 kPa  
 (0 TO 400 mm H<sub>2</sub>O)  
 1.0 TO 4.9 V OUTPUT

### SMALL OUTLINE PACKAGES THROUGH-HOLE



MPXV5004G7U  
 CASE 482B-03

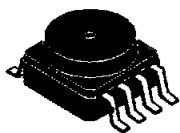
MPXV5004GC7U  
 CASE 482C-03

### PIN NUMBERS<sup>(1)</sup>

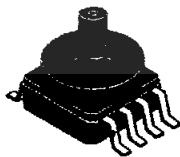
1	N/C	5	N/C
2	V <sub>S</sub>	6	N/C
3	GND	7	N/C
4	V <sub>OUT</sub>	8	N/C

1. Pins 1, 5, 6, 7, and 8 are internal device connections. Do not connect to external circuitry or ground. Pin 1 is noted by the notch in the lead.

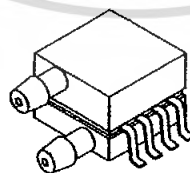
### SMALL OUTLINE PACKAGES SURFACE MOUNT



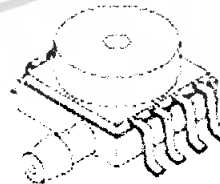
MPXV5004G6U  
 CASE 482-01



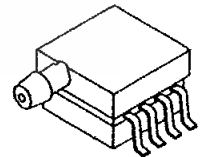
MPXV5004GC6U  
 CASE 482A-01



MPXV5004DP  
 CASE 1351-01



MPXV5004GVP  
 CASE 1368-01



MPXV5004GP  
 CASE 1369-01

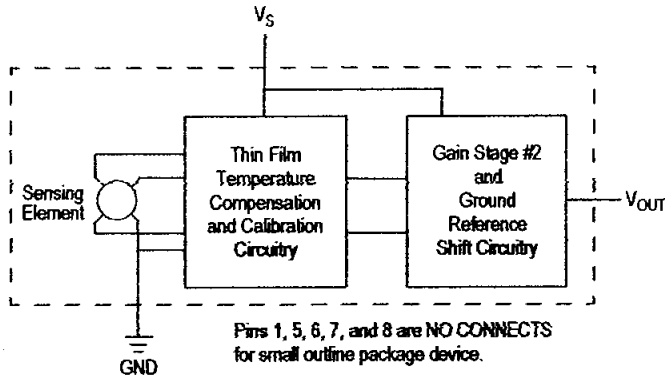


Figure 1. Fully Integrated Pressure Sensor Schematic

Table 1. Maximum Ratings<sup>(1)</sup>

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Pressure (P1 > P2)	$P_{MAX}$	16	kPa
Storage Temperature	$T_{STG}$	-30 to +100	°C
Operating Temperature	$T_A$	0 to +85	°C

1. Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

Table 2. Operating Characteristics ( $V_S = 5.0 V_{DC}$ ,  $T_A = 25^\circ C$  unless otherwise noted, P1 > P2)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
Pressure Range	$P_{OP}$	0	—	3.92 400	kPa mm H <sub>2</sub> O
Supply Voltage <sup>(1)</sup>	$V_S$	4.75	5.0	5.25	$V_{DC}$
Supply Current	$I_S$	—	—	10	mAdc
Span at 306 mm H <sub>2</sub> O (3 kPa) <sup>(2)</sup>	$V_{FSS}$	—	3.0	—	V
Offset <sup>(3) (4)</sup>	$V_{OFF}$	0.75	1.0	1.25	V
Sensitivity	$V/P$	—	1.0 9.8	—	V/kPa mV/mm H <sub>2</sub> O
Accuracy <sup>(4) (5)</sup>					
	0 to 100 mm H <sub>2</sub> O (10 to 60°C)	—	—	±1.5	% $V_{FSS}$
	100 to 400 mm H <sub>2</sub> O (10 to 60°C)	—	—	±2.5	% $V_{FSS}$

- Device is ratiometric within this specified excitation range.
- Span is defined as the algebraic difference between the output voltage at specified pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Offset ( $V_{OFF}$ ) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy (error budget) consists of the following:
  - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
  - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
  - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at 25°C.
  - Offset Stability: Output deviation, after 1000 temperature cycles, -30 to 100°C, and 1.5 million pressure cycles, with minimum rated pressure applied.
  - TcSpan: Output deviation over the temperature range of 10 to 60°C, relative to 25°C.
  - TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of 10 to 60°C, relative to 25°C.
  - Variation from Nominal: The variation from nominal values, for Offset or Full Scale Span, as a percent of  $V_{FSS}$ , at 25°C.
- Auto Zero at Factory Installation: Due to the sensitivity of the MPXV5004G, external mechanical stresses and mounting position can affect the zero pressure output reading. Autozeroing is defined as storing the zero pressure output reading and subtracting this from the device's output during normal operations. Reference AN1636 for specific information. The specified accuracy assumes a maximum temperature change of ±5°C between autozero and measurement.

MPXV5004G

Sensors  
Freescale Semiconductor

2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ON-CHIP TEMPERATURE COMPENSATION, CALIBRATION AND SIGNAL CONDITIONING

The performance over temperature is achieved by integrating the shear-stress strain gauge, temperature compensation, calibration and signal conditioning circuitry onto a single monolithic chip.

Figure 2 illustrates the gauge configuration in the basic chip carrier (Case 482). A fluorosilicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm.

The MPXV5004G series sensor operating characteristics are based on use of dry air as pressure media. Media, other than dry air, may have adverse effects on sensor performance and long-term reliability. Internal reliability and qualification test for dry air, and other media, are available

from the factory. Contact the factory for information regarding media tolerance in your application.

Figure 3 shows the recommended decoupling circuit for interfacing the output of the MPXV5004G to the A/D input of the microprocessor or microcontroller. Proper decoupling of the power supply is recommended.

Figure 4 shows the sensor output signal relative to pressure input. Typical, minimum and maximum output curves are shown for operation over a temperature range of 10°C to 60°C using the decoupling circuit shown in Figure 3. The output will saturate outside of the specified pressure range.

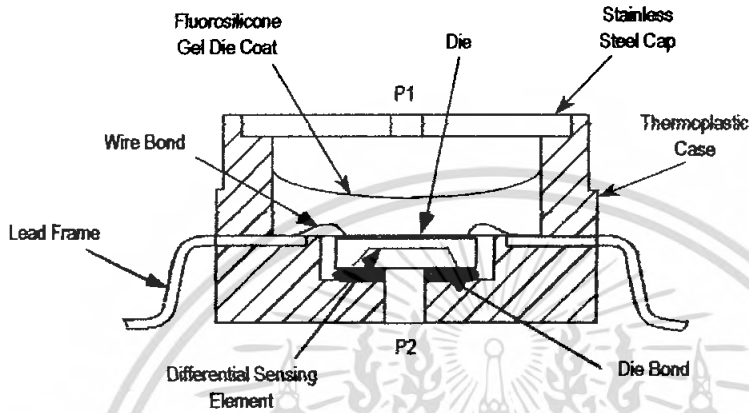


Figure 2. Cross-Sectional Diagram (Not to Scale)

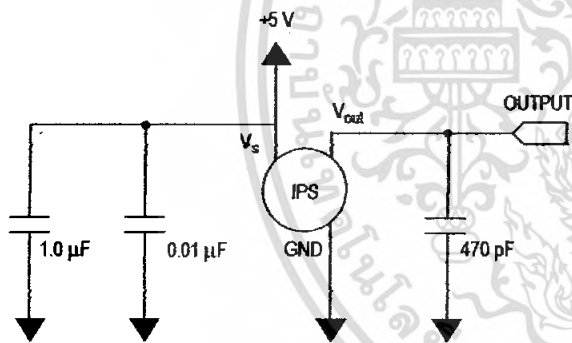


Figure 3. Recommended Power Supply Decoupling and Output Filtering.  
(For additional output filtering, please refer to Application Note AN1646.)

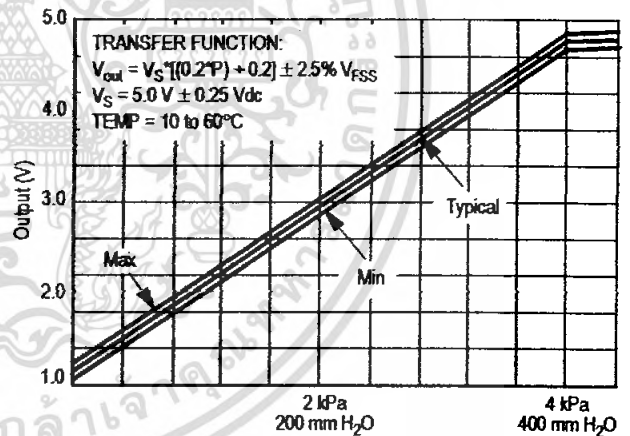


Figure 4. Output versus Pressure Differential at  $\pm 2.5\% V_{FSS}$   
(See Note 5 in Operating Characteristics)

MPXV5004G

## PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE

Freescale Semiconductor designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing the silicone gel which isolates the die from the environment. The

Freescale Semiconductor pressure sensor is designed to operate with positive differential pressure applied,  $P1 > P2$ .

The Pressure (P1) side may be identified by using the table below.

Part Number	Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPXV5004GC6U/T1	482A	Side with Port Attached
MPXV5004G6U/T1	482	Stainless Steel Cap
MPXV5004GC7U	482C	Side with Port Attached
MPXV5004G7U	482B	Stainless Steel Cap
MPXV5004GP	1369	Side with Port Attached
MPXV5004DP	1351	Side with Port Marking
MPXV5004GVP	1368	Stainless Steel Cap

### INFORMATION FOR USING THE SMALL OUTLINE PACKAGE (CASE 482)

#### MINIMUM RECOMMENDED FOOTPRINT FOR SURFACE MOUNTED APPLICATIONS

Surface mount board layout is a critical portion of the total design. The footprint for the surface mount packages must be the correct size to ensure proper solder connection interface

between the board and the package. With the correct footprint, the packages will self align when subjected to a solder reflow process. It is always recommended to design boards with a solder mask layer to avoid bridging and shorting between solder pads.

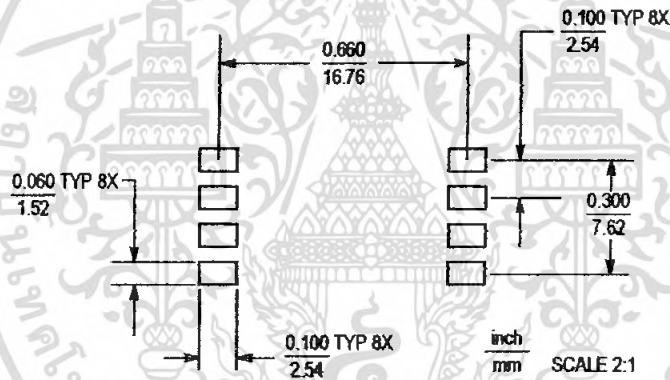
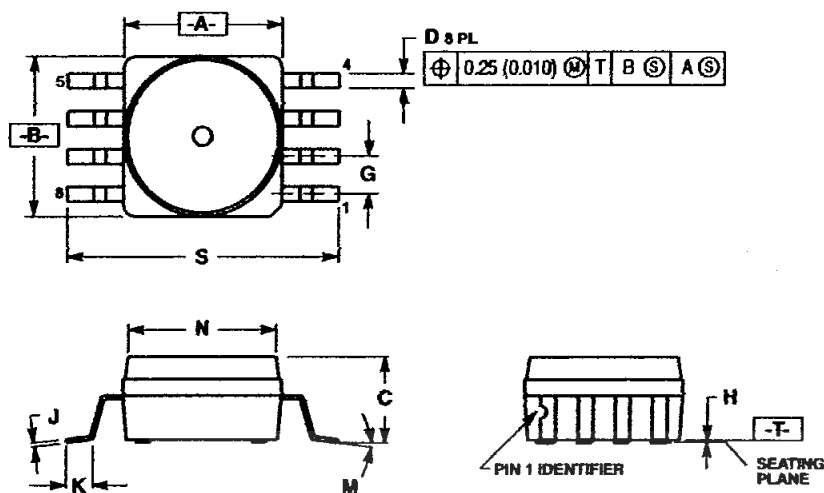


Figure 5. SOP Footprint (Case 482)

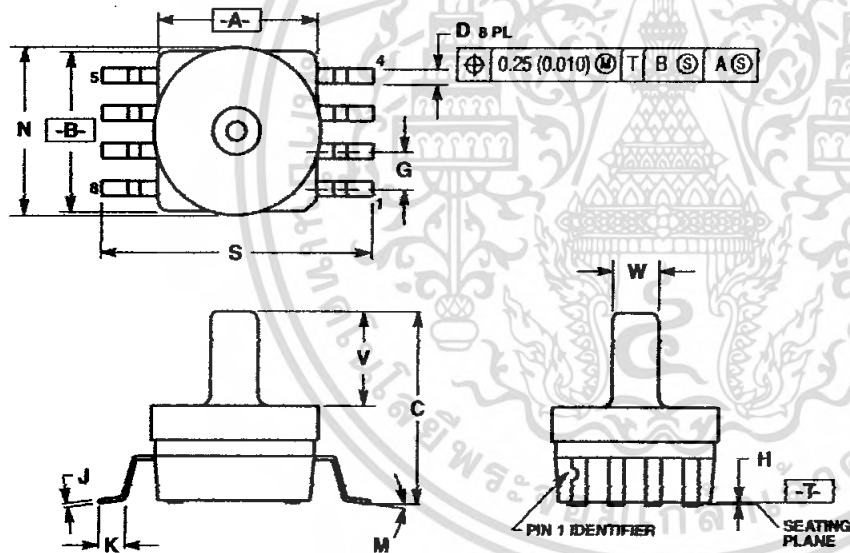
## PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
  3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
  4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006).
  5. ALL VERTICAL SURFACES 5° TYPICAL DRAFT.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.415	0.425	10.54	10.79
B	0.415	0.425	10.54	10.79
C	0.212	0.230	5.38	5.84
D	0.038	0.042	0.96	1.07
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.002	0.010	0.05	0.25
J	0.009	0.011	0.23	0.28
K	0.061	0.071	1.55	1.80
M	0°	7°	0°	7°
N	0.405	0.415	10.29	10.54
S	0.709	0.725	18.01	18.41

### CASE 482-01 ISSUE O SMALL OUTLINE PACKAGE SURFACE MOUNT

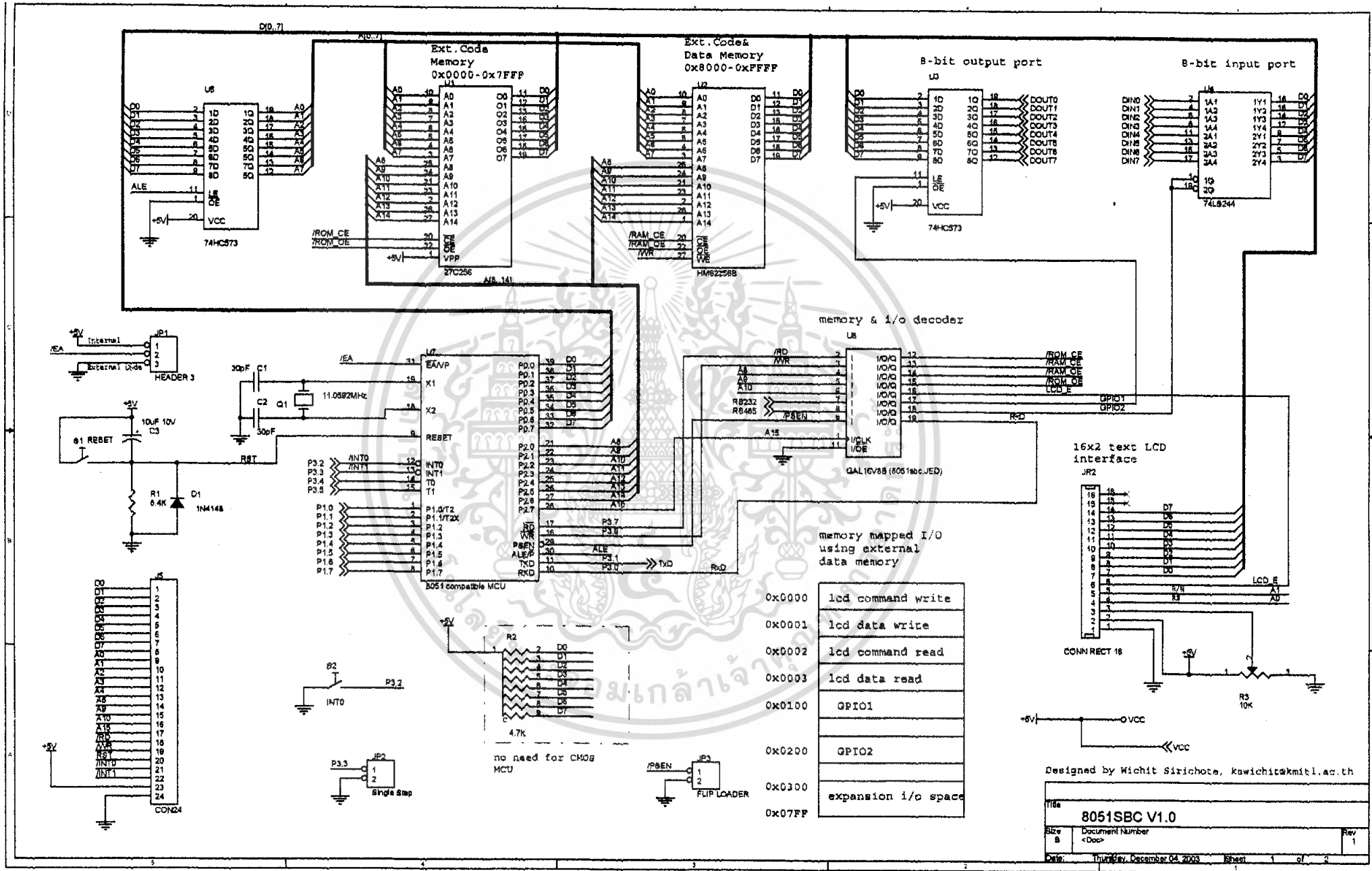


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
  3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
  4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006).
  5. ALL VERTICAL SURFACES 5° TYPICAL DRAFT.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.415	0.425	10.54	10.79
B	0.415	0.425	10.54	10.79
C	0.500	0.520	12.70	13.21
D	0.038	0.042	0.96	1.07
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.002	0.010	0.05	0.25
J	0.009	0.011	0.23	0.28
K	0.061	0.071	1.55	1.80
M	0°	7°	0°	7°
N	0.444	0.448	11.28	11.38
S	0.709	0.725	18.01	18.41
V	0.245	0.255	6.22	6.48
W	0.115	0.125	2.92	3.17

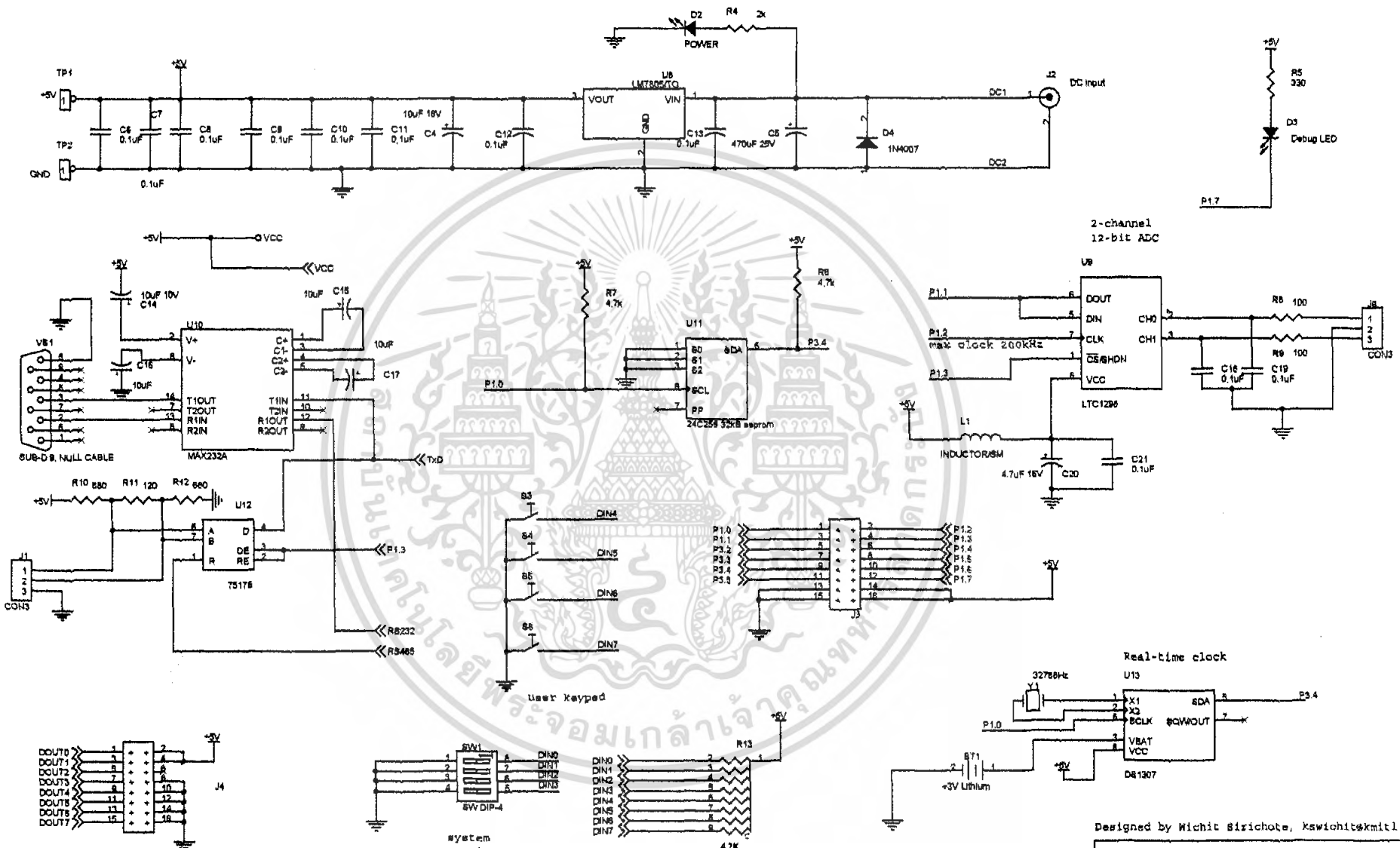
### CASE 482A-01 ISSUE A SMALL OUTLINE PACKAGE SURFACE MOUNT

MPXV5004G



memory mapped I/O using external data memory

0x0000	lcd command write
0x0001	lcd data write
0x0002	lcd command read
0x0003	lcd data read
0x0100	GPIO1
0x0200	GPIO2
0x0300	expansion i/o space
0x07FF	



Designed by Wicht Sirichote, kswicht@kmitl.ac.th

Title		
8051SBC V1.0		
Site	Document Number	Rev
B	<Doc>	2
Date:	Thursday, December 04, 2003	Sheet 2 of 2

## Features

- Compatible with MCS-51® Products
- 4K Bytes of In-System Programmable (ISP) Flash Memory
  - Endurance: 1000 Write/Erase Cycles
- 4.0V to 5.5V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 33 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Full Duplex UART Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Interrupt Recovery from Power-down Mode
- Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power-off Flag
- Fast Programming Time
- Flexible ISP Programming (Byte and Page Mode)

## Description

The AT89S51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcontroller with 4K bytes of in-system programmable Flash memory. The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with in-system programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S51 is a powerful microcontroller which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89S51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, Watchdog timer, two data pointers, two 16-bit timer/counters, a five-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next external interrupt or hardware reset.



## 8-bit Microcontroller with 4K Bytes In-System Programmable Flash

### AT89S51

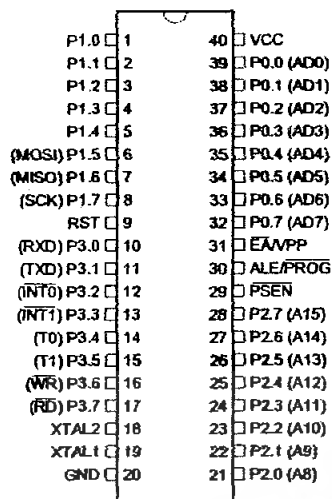
Rev. 2487A-10/01



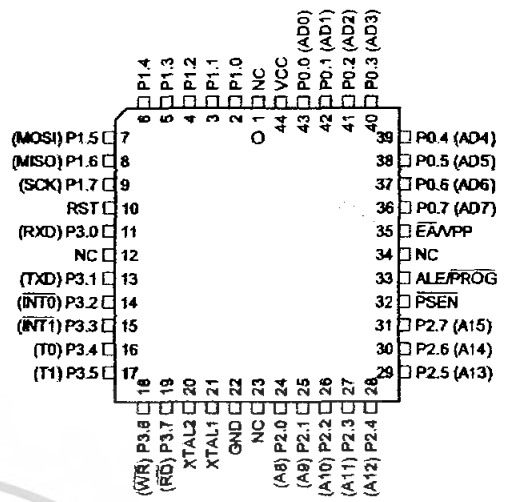
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Pin Configurations

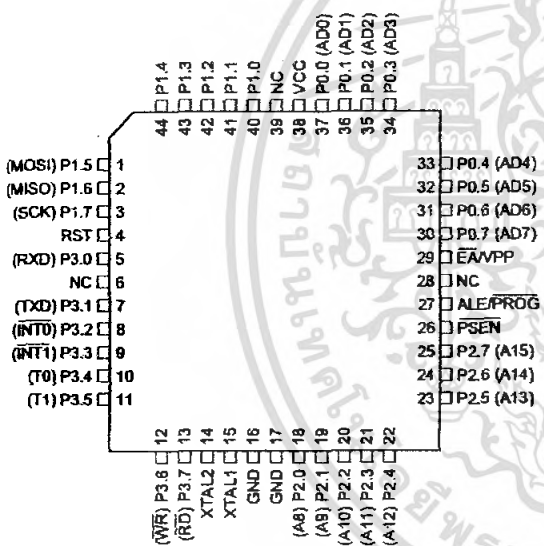
**PDIP**



**PLCC**

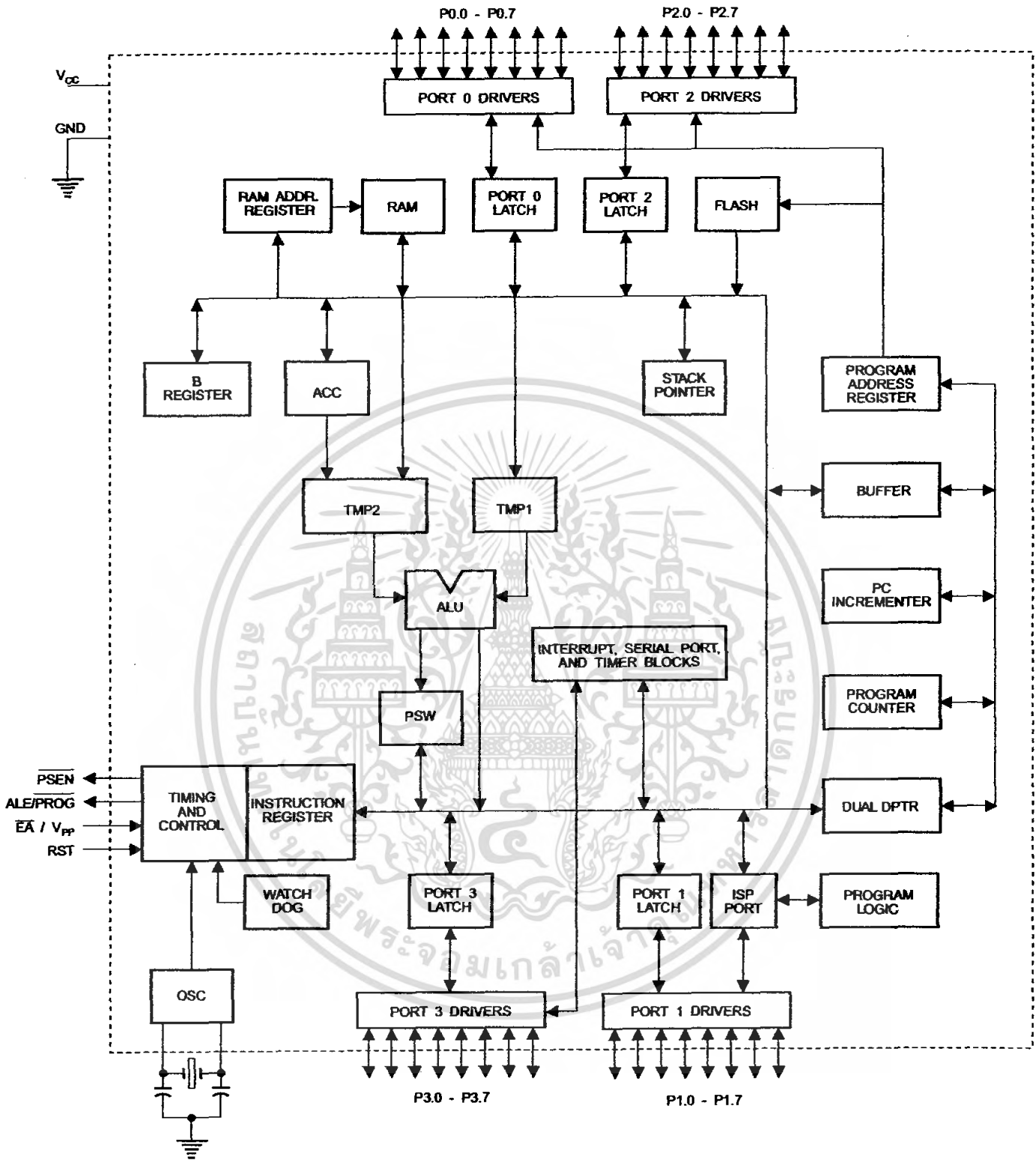


**TQFP**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Pin Description

**VCC** Supply voltage.

**GND** Ground.

**Port 0** Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pull-ups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. **External pull-ups are required during program verification.**

**Port 1** Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pull-ups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P1.5	MOSI (used for In-System Programming)
P1.6	MISO (used for In-System Programming)
P1.7	SCK (used for In-System Programming)

**Port 2** Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pull-ups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pull-ups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

**Port 3** Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the pull-ups.

Port 3 receives some control signals for Flash programming and verification.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89S51, as shown in the following table.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{\text{WR}}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{\text{RD}}$ (external data memory read strobe)

**RST**

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. This pin drives High for 98 oscillator periods after the Watchdog times out. The DISRTO bit in SFR AUXR (address 8EH) can be used to disable this feature. In the default state of bit DISRTO, the RESET HIGH out feature is enabled.

**ALE/PROG**

Address Latch Enable (ALE) is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ( $\overline{\text{PROG}}$ ) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

 **$\overline{\text{PSEN}}$** 

Program Store Enable ( $\overline{\text{PSEN}}$ ) is the read strobe to external program memory.

When the AT89S51 is executing code from external program memory,  $\overline{\text{PSEN}}$  is activated twice each machine cycle, except that two  $\overline{\text{PSEN}}$  activations are skipped during each access to external data memory.

 **$\overline{\text{EA/VPP}}$** 

External Access Enable.  $\overline{\text{EA}}$  must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed,  $\overline{\text{EA}}$  will be internally latched on reset.

$\overline{\text{EA}}$  should be strapped to  $V_{CC}$  for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage ( $V_{PP}$ ) during Flash programming.

**XTAL1**

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

**XTAL2**

Output from the inverting oscillator amplifier



```

#define BUSY 0x80

xdata char LCD_command_write_at_ 0x0000;
xdata char LCD_data_write_at_ 0x0001;
xdata char LCD_command_read_at_ 0x0002;
xdata char LCD_data_read_at_ 0x0003;

LcdReady()
{
while(LCD_command_read&BUSY)
continue; // wait until busy flag =0
}void clr_screen(void)
{
LcdReady();
LCD_command_write=0x01;
}
goto_xy(char x,char y)
{
LcdReady();
switch(y){
case 0 : LCD_command_write=0x80+x; break;
case 1 : LCD_command_write=0xC0+x; break;
case 2 : LCD_command_write=0x94+x; break;
case 3 : LCD_command_write=0xd4+x; break;
}
}

InitLcd(void)
{
LcdReady();
LCD_command_write=0x38;
LcdReady();
LCD_command_write=0x0c;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clr_screen();
goto_xy(0,0);
}
char *Puts(char *str)
{
unsigned char i;
for (i=0; str[i] != '\0'; i++){
LcdReady();
LCD_data_write=str[i];
}
return str;
}
void putch_lcd(char ch)
{
LcdReady();
LCD_data_write=ch;
}

```

```
#include <reg52.h>
```

```
#include <stdio.h>
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <math.h>

// function prototype declaration
InitLcd(void);
void goto_xy(char x,char y);
char *Puts(char* str);

```

```

float read_volt_out(void);
float read_volt_vcc(void);
float read_pressure(void);
float read_velocity(void);

```

```

// global variables

```

```

sbit Data = P1^1;

```

```

sbit CLK = P1^2;

```

```

sbit CS = P1^3;

```

```

float xyz;

```

```

int timer3;

```

```

char cputick;

```

```

char buffer[20];

```

```

float read_ADC(char n)

```

```

{

```

```

    int k;

```

```

    char i,channel;

```

```

    k=0;

```

```

        CS=0;

```

```

        if(n==0) channel= 0x0d;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else channel= 0x0f;

/* send config nibble dummy read NULL bit after config
nibble */
for(i=0; i<4; i++)
{
    CLK = 0;
    if(channel&8) Data = 1;
    else Data = 0;
    CLK = 1;
    channel <<=1;
}

Data = 1; // enable internal pullup
CLK = 0;

// now read 12-bit data
for(i=0; i<12; i++)
{
    k<<=1;
    CLK = 1;
    CLK = 0;
    if(Data) k |=1;
    else k &= ~1;
}

CS = 1; // shutdown ADC
return k&=0xffff;
}

```

```
void timer0int (void) interrupt 1 using 1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    TH0 |= 0xdc; // reload timer 0 with 0DC00H
    cputick++;
}

void print_ADC0
{
    if(++timer3>100) // print ADC every 100ms
    {
        timer3 = 0;
        /*
        sprintf(buffer,"%0f%0f",read_ADC(0),read_ADC(1));
        goto_xy(0,1);
        Puts(buffer);
        printf("\n%s",buffer); // debug on screen */

        sprintf(buffer," Vout  Vcc ");
        goto_xy(0,0);
        Puts(buffer);
        //printf("\n%s",buffer); // debug on screen

        sprintf(buffer,"%0.3fV %0.2f ",read_volt_out(),read_volt_vcc());
        goto_xy(0,1);
        Puts(buffer);
        printf("\n%s",buffer); // debug on screen

        sprintf(buffer," Pres Speed ");
        goto_xy(-4,2);
        Puts(buffer);
        printf("\n%s",buffer); // debug on screen

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

sprintf(buffer,"%0.2f Pa %0.2fm/s ",read_pressure(),read_velocity());
goto_xy(-4,3);
Puts(buffer);
printf("\n%s",buffer); // debug on screen

}

```

```

}

```

```

float read_volt_out(void)
{
    return(((xyz*5)/4096)-.23);
}

float read_volt_vcc(void)
{
    return((4096*5)/4096);
}

float read_pressure(void)
{
    return(((read_volt_out()-1)*1000));
}

float read_velocity(void)
{
    return(sqrt(read_pressure()*(2/1.2)));
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void main()
{
    InitLcd();
    EA = 1;
    ET0 = 1; // set bit EA and Timer0 enable
    TMOD |= 0x01; // timer0 16 bit counter
    TR0 = 1; // run timer0
    cputick = 0;

    while(1)
    {
        while(!cputick)
            continue;
        cputick = 0;
        xyz=read_ADC(0);
        // following tasks will be executed every 10ms
        print_ADC0;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้