

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องเติมลมยางรถยนต์อัตโนมัติ

**AUTOMATIC TIRE PRESSURE CHARGE SYSTEM**



โดย  
นายมานิช สวนสวรรค์  
นายสุวัฒน์ชัย ยี่นนาน

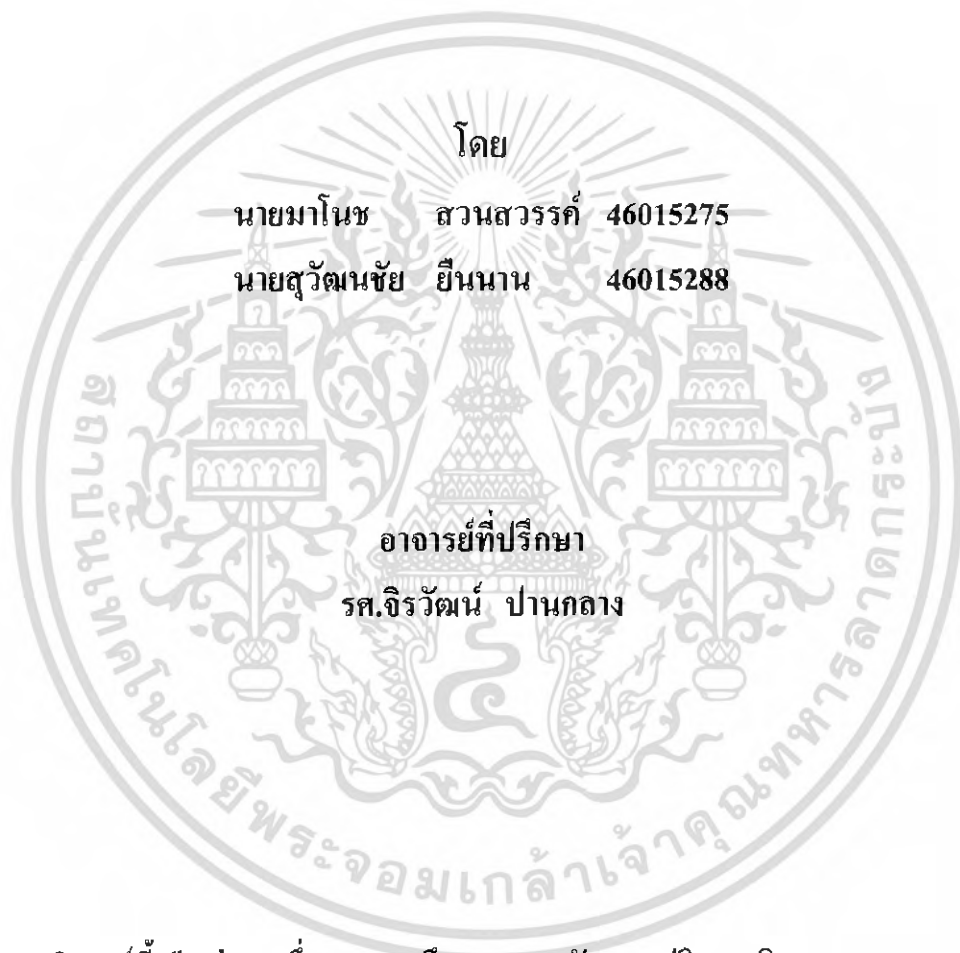
เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 62751  
วัน,เดือน,ปี. 21 ส.ค. 2549

b..... 11620406  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเติมลมยางรถยนต์อัตโนมัติ  
AUTOMATIC TIRE PRESSURE CHARGE SYSTEM



โดย

นายมาโนช สวนสวรรค์ 46015275

นายสุวัฒน์ชัย ยืนนาน 46015288

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2548

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์.

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องเติมลมยางรถยนต์อัตโนมัติ

AUTOMATIC TIRE PRESSURE CHARGE SYSTEM

ผู้จัดทำ 1. นายมาโนช สวนสวรรค์

2. นายสุวัฒน์ชัย ยืนนาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องเติมลมยางรถยนต์อัตโนมัติ

Automatic Tire Pressure Charge System

1. นายมาโนช สวนสวรรค์ รหัส 46015275
2. นายสุวัฒน์ชัย ยืนนาน รหัส 46015288

โครงการนี้ได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะทำการสอบได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องเติมลมยางรถยนต์อัตโนมัติ

นายมานิช สวณสวรรค์

นายสุวัฒน์ชัย ยืนนาน

รศ.จิรวัดณ์ ปานกลาง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

### บทคัดย่อ

เครื่องเติมลมยางรถยนต์อัตโนมัติในปริญญาโทฉบับนี้ ได้แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนของระบบนิวแมติก โดยส่วนของวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ มีวงจรหลัก ได้แก่ ส่วนของวงจรตรวจสอบความดัน ประกอบด้วย วงจรขยายอินพุต ทรานซิสเตอร์ วงจรคอมพาราเตอร์ และวงจรมีลดีไวเซอร์ ซึ่งทำหน้าที่ตรวจสอบความดันจากปีมัลติมให้มากกว่าความดันจากยางรถยนต์อยู่เสมอ วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาล็อกที่รับอินพุตมาจากเซ็นเซอร์ความดันซึ่งให้อาห์พุทในรูปแบบของแรงดันค่าต่ำ และจะทำการขยายโดยวงจรรีเลย์อินพุตอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้เป็นระดับแรงดันที่สามารถควบคุมได้ง่าย และในส่วนของระบบนิวแมติกซึ่งประกอบด้วย โซลินอยด์วาล์วที่มีหน้าที่ในการตัดต่อระบบลมในเครื่อง และอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ ที่ส่งเสริมระบบการทำงานและป้องกันความเสียหายต่ออุปกรณ์หลัก วงจรอิเล็กทรอนิกส์และระบบนิวแมติกจะทำงานเชื่อมต่อกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นศูนย์กลางของการควบคุมระบบการทำงานทั้งหมด โดย ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจจับความดันซึ่งผ่านการแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล และจะประมวลผลเปรียบเทียบกับค่าความดันที่ป้อนเข้ามาทางแป้นพิมพ์ขนาด 4x4 ควบคุมการเปิด-ปิดของ โซลินอยด์วาล์วเพื่อให้ได้ค่าความดันตามต้องการ โดยเครื่องเติมลมยางรถยนต์อัตโนมัติสามารถเติมลมได้ไม่เกิน 60 ปอนด์/ตารางนิ้ว และมีค่าความผิดพลาด  $\pm 1$  ปอนด์/ตารางนิ้ว

## AUTOMATIC TIRE PRESSURE CHARGE SYSTEM

Manoch Suensawan

Suwattanachai Yeunnan

Assoc.Prof.Jirawat Pankrang Advisor

Educational Year 2005

### ABSTRACT

The automatic tire pressure charge system consists of two main part, the electronic control unit and the nuematic system. The instrument amplifier, the comparator and the multivibrator are constructed to be the pressure sensor system for checking the air compressor and the tire pressure. Then the suitable pressure signals are convert to be the digital signal by 8 bit A/D integrated circuit. The 8 bit data of the pressure is sent to the microcontroller and compute to the set point which come form the user form the  $4 \times 4$  keys switchs. The error signal is sent to controlled the 220 V magnetic valve to charge or discharge the tire. The maximum tire pressure that can charge form 0 psi to 60 psi with 1 psi precision.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญ	III
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของงาน	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความดันสัมบูรณ์และความดันเกจ	2
2.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และกฎต่างๆของอากาศ	2
2.3 ผลของความร้อนและความดันที่มีต่ออากาศ	3
2.4 ผลของความเร็วในการไหลและความดันของอากาศ	4
2.5 หน่วยของความดัน	5
2.6 กฎเบื้องต้นของลมอัด	6
2.6.1 กฎของปาสกาล(กฎส่งผ่านความดัน)	6
2.6.2 กฎของบอยล์	6
2.6.3 กฎของชาร์ล	7
2.7 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางรถยนต์	7
2.7.1 ตัวเลขและตัวอักษรบนแก้มยาง	7
2.7.2 การสูบลมยางและการสัมผัสถนน	8
2.7.3 การสูบลมยางที่ถูกต้อง	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ความรู้พื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	
3.1 พื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์	11
3.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	13
3.3 การจัดตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	14
3.4 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51และหน้าที่การทำงาน	14
3.5 โครงสร้างหน่วยความจำ	16
3.5.1 หน่วยความจำโปรแกรม	16
3.5.2 หน่วยความจำข้อมูล	17
3.5.3 หน่วยความจำรีจิสเตอร์	18
3.5.4 หน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์	19
3.6 ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	24
3.6.1 รูปแบบการเขียนคำสั่ง	24
3.6.2 ค่าตัวแปรที่กำหนดให้คำสั่ง	25
3.6.3 กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ ( Arithmetic Instruction )	26
3.6.4 กลุ่มคำสั่งการกระทำลอจิก ( Logical Instruction )	28
3.6.5 กลุ่มคำสั่งการเคลื่อนย้ายข้อมูล( Data Transfer Instruction )	29
3.6.6 กลุ่มคำสั่งการจัดการข้อมูลระดับบิต ( Bit Manipulated Instruction )	31
3.6.7 กลุ่มคำสั่งการกระโดด ( Branch Instruction )	32
บทที่ 4 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	
4.1 พื้นฐานของสัญญาณไฟฟ้า	34
4.2 กระบวนการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล	34
4.2.1 Counting Converter	34
4.2.2 Successive Approximation	36
4.2.3 Dual-Slope ADC	38
4.2.4 Flash Converter	38
4.3 ADC0804	39
4.3.1 ลักษณะหน้าที่ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.2 การทำงานแบบอนาล็อก	40
4.3.3 ตัวเก็บประจุบายพาสอินพุตและความต้านทานแหล่งจ่าย	40
4.3.4 อินพุตแรงดันผลต่างอนาล็อกและการตัดทิ้งแบบคอมมอนโหมด	41
4.3.5 การจับสัญญาณเสียงรบกวนและสัญญาณแอมแปง	42
4.3.6 แรงดันอ้างอิง	42
4.3.7 โหมดการทำงาน	43
4.3.8 ความผิดพลาดและช่วงการปรับช่วงขยายอินพุต	44
4.3.9 การเลือกใช้สัญญาณนาฬิกา	45
4.3.10 การสแตนท์ใหม่ระหว่างการแปลงผัน	46
4.3.11 การแปลงผันต่อเนื่อง	46
4.3.12 การจ่ายกำลัง	47
<b>บทที่ 5 รายละเอียดในการออกแบบและการสร้าง</b>	
5.1 ระบบการทำงานโดยรวม	48
5.2 รายละเอียดการออกแบบและหลักการทํางาน	53
5.2.1 คุณสมบัติเซ็นเซอร์ความดัน	53
5.2.2 วงจรตรวจเช็คความดันอินพุต	58
5.2.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	63
5.2.4 วงจรส่วนควบคุมระบบ	66
5.2.5 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า	67
5.2.6 วาล์วควบคุมทิศทางลม	69
5.2.7 โครงสร้างภายนอกของระบบ	71
<b>บทที่ 6 การทดสอบและผลการทดสอบระบบ</b>	
6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	72
6.2 การทดสอบการเติมลมยาง	72
6.3 การทดสอบการปล่อยลมยาง	75
6.4 ฮิสเตอร์รีซิส (hysteresis) ทางด้านอินพุต	77
6.5 คุณสมบัติของระบบ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ภาคผนวก ก.

ภาคผนวก ข.

บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ผลของความร้อนและความดันที่มีต่ออากาศ	3
รูปที่ 2.2 ผลของความเร็วในการไหลและความดันของอากาศ	4
รูปที่ 2.3 กฎของปาสกาล	6
รูปที่ 2.4 ปริมาตรและความดันตามกฎของบอยล์	6
รูปที่ 2.5 กฎของชาร์ล	7
รูปที่ 2.6 การสุบลมของการสัมผัสพื้นถนนของยาง	8
รูปที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์	12
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	14
รูปที่ 3.3 แสดงการจัดพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมสำหรับ MCS-51	16
รูปที่ 3.4 แสดงการจัดพื้นที่หน่วยความจำสำหรับ MCS-51	17
รูปที่ 3.5 รีจิสเตอร์ PSW (Program Status Word)	20
รูปที่ 3.6 รูปแบบการเขียนภาษาแอสเซมบลี	24
รูปที่ 4.1 โครงสร้างการทำงานของ Counting Converter	35
รูปที่ 4.2 Binary search	36
รูปที่ 4.3 โครงสร้างการทำงานของ Dual-Slope ADC	38
รูปที่ 4.4 แผนภาพชุด ADC0804	40
รูปที่ 4.5 การออกแบบการอ้างอิงภายใน	42
รูปที่ 4.6 โหมคการทำงานแบบสัมบูรณ์	43
รูปที่ 4.7 โหมคการทำงานแบบอัตราส่วนเมตริกที่ใช้การปรับเต็มสเกลแบบหนึ่ง	44
รูปที่ 4.8 สัญญาณนาฬิกาในตัวของวงจรแปลงผัน	45
รูปที่ 4.9 การต่อวงจรแปลงผันแบบต่อเนื่อง	46
รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรม การทำงานโดยรวมของระบบ	48
รูปที่ 5.2 Flow chart แสดงการทำงานของระบบ	50
รูปที่ 5.3 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยอ่านค่าจากคีย์แพด	51
รูปที่ 5.4 วงจรส่วนประมวลผลกลาง	52
รูปที่ 5.5 บอร์ดวงจรส่วนประมวลผลกลาง	52
รูปที่ 5.6 โครงสร้างภายในของเซ็นเซอร์ความดันเบอร์ SPD100G	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงคุณสมบัติ Pressure sensor ตัวที่ 1	55
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงคุณสมบัติ Pressure sensor ตัวที่ 2	56
รูปที่ 5.9 วงจรพื้นฐานของวงจรมัลติไวเบรเตอร์ซึ่งทำจากไอซี CMOS	60
รูปที่ 5.10 วงจรตรวจเช็คความดันอินพุท	62
รูปที่ 5.11 บอร์ดวงจรตรวจเช็คความดันอินพุท	62
รูปที่ 5.12 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	65
รูปที่ 5.13 บอร์ดวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	65
รูปที่ 5.14 วงจรส่วนควบคุมระบบ	66
รูปที่ 5.15 บอร์ดวงจรควบคุมระบบ	67
รูปที่ 5.16 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า	68
รูปที่ 5.17 บอร์ดวงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า	68
รูปที่ 5.18 สัญลักษณ์ของ โซลินอยด์วาล์ว 5/2	69
รูปที่ 5.19 ตำแหน่งและทิศทางการไหลของ โซลินอยด์วาล์ว 5/2 เมื่อป้อนไฟที่ขดลวด	69
รูปที่ 5.20 การต่อใช้งานและทิศทางการไหลของโซลินอยด์	70
รูปที่ 5.21 โครงสร้างภายนอกของระบบ	71
รูปที่ 6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	72
รูปที่ 6.2 ลำดับขั้นตอนการทำงานและลำดับการแสดงผลของระบบเมื่อเติมลม 20-30 lb/in <sup>2</sup>	73
รูปที่ 6.3 ลำดับขั้นตอนการทำงานและลำดับการแสดงผลของระบบเมื่อปล่อยลม 30-20 lb/in <sup>2</sup>	75
รูปที่ 6.4 กราฟคุณสมบัติของฮิสเตอร์รีซิส	77

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ที่ผลิตโดยบริษัท ATMEL	13
ตารางที่ 3.2 ชื่อและตำแหน่งรีจิสเตอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	18
ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งรีจิสเตอร์ R0-R7	20
ตารางที่ 3.4 ค่ารีจิสเตอร์ต่างๆ เมื่อเริ่มต้นทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS51	23
ตารางที่ 3.5 ค่าตัวแปรที่กำหนดในคำสั่ง	25
ตารางที่ 3.6 กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์	26
ตารางที่ 3.7 กลุ่มคำสั่งการกระทำลอจิก	28
ตารางที่ 3.8 กลุ่มคำสั่งการเคลื่อนย้ายข้อมูล	29
ตารางที่ 3.9 กลุ่มคำสั่งการจัดการข้อมูลระดับบิต	31
ตารางที่ 3.10 กลุ่มคำสั่งการกระโดด	33
ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติ ของ Pressure sensor ที่ VCC = 5V	54
ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติ Pressure sensor ตัวที่ 1	55
ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติ Pressure sensor ตัวที่ 2	56
ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองการเติมลมยาง	74
ตารางที่ 6.2 ผลการทดลองการปล่อยลมยาง	76
ตารางที่ 6.3 คุณสมบัติของระบบ	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของโครงการ

ระบบการเติมลมยางทั่วไปอาจจะสร้างความเสียหายให้กับผู้ใช้งานทั่วไปที่ขาดความชำนาญในการเติมลมและการวัด ด้วยระบบการเติมลมที่ต้องมาคอยเติมลมและวัดความดันเองซึ่งทำให้ความดันที่วัดได้นั้น ไม่ตรงมาตรฐานของลมยาง ทำให้เกิดความล่าช้า ในระบบงาน และอาจเกิดความผิดพลาดในการวัดความดันทำให้มีผลเสียอื่น ๆ ตามมาอีก ระบบเติมลมยางอัตโนมัติได้มีแนวคิดเพื่อปรับปรุงข้อด้อยของการเติมลมยางทั่วไปให้ง่ายสะดวกและรวดเร็วแม่นยำขึ้น โดยการนำอุปกรณ์ตรวจสอบที่ทันสมัยและเทคโนโลยีของไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมระบบการทำงานทั้งหมด ทำให้ระบบการเติมลมนี้ทำงานอัตโนมัติและมีความแม่นยำอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ดีกว่าระบบการเติมลมทั่วไป และยังเป็นการประหยัดระยะเวลาในการเติมลม เนื่องจากระบบเติมลมอัตโนมัติจะทำการเติมลมพร้อมทั้งทำการวัดความดันและจะตัดการจ่ายลมอัตโนมัติเมื่อความดันที่ล้อยมีค่าตามที่ป้อนพร้อมทั้งส่งสัญญาณให้ทราบ ทำให้ผู้ใช้งานไม่ต้องมาคอยทำการวัดลมบ่อย ๆ ในขณะที่ทำการเติมลมเหมือนระบบเติมลมแบบเดิม

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดปัญหาความยุ่งยากในขั้นตอนการเติมลมแบบเดิม
2. เพื่อให้เกิดความรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น
3. เพื่อสร้างมาตรฐานการเติมลมให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ถึงความเที่ยงตรง
4. เพื่อให้ง่ายต่อการใช้งานสำหรับบุคคลทั่วไปที่ขาดความชำนาญ

### 1.3 ขอบเขตของงาน

1. ตรวจสอบระบบวิธีการเติมลมเดิมและหาแนวทางพัฒนาข้อเสีย
2. ศึกษามาตรฐานของการเติมลมในยางรถแต่ละประเภท
3. ศึกษาหาข้อมูลและเทคโนโลยีเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาข้อเสีย

### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ขั้นตอนในระบบการเติมลมสำหรับผู้ใช้งานลดลงสะดวกและง่ายขึ้นผู้ใช้งานทั่วไปสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพ
2. มีความรวดเร็วในระยะเวลาการเติมและมีความแม่นยำในการวัดความดันมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ความดันสัมบูรณ์และความดันเกจ

ความดันอากาศที่วัดเทียบกับสุญญากาศสัมบูรณ์(perfect vacuum) เรียกว่า “ความดันสัมบูรณ์” (absolute pressure) ส่วนความดันอากาศที่วัดเทียบกับความดันบรรยากาศ เรียกว่า “ความดันเกจ” (gauge pressure) โดยทั่วไปจะใช้ความดันสัมบูรณ์เมื่อใช้สมการด้านทฤษฎีนิวเมติก ในขณะที่โดยปกติจะใช้ความดันเกจแสดงค่าความดันอากาศ ดังนั้นเกจวัดความดันจะแสดงค่าความดันที่เทียบกับความดันบรรยากาศ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

ถ้ากล่าวอย่างละเอียดแล้ว ความดันเกจจะขึ้นกับความดันบรรยากาศในขณะนั้น อย่างไรก็ตาม ไม่จำเป็นต้องมีการแก้ไขใดๆในเรื่องนี้ เนื่องจากความผิดพลาดมีเพียงเล็กน้อย

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์และความดันเกจสามารถแสดงได้โดยสมการต่อไปนี้ (โดยที่ความดันบรรยากาศปกติเท่ากับ 1.033 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

$$\text{ความดันสัมบูรณ์} = \text{ความดันเกจ} + 1.033 \text{ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร(kgf/cm}^2\text{)}$$

การแสดงระดับสุญญากาศอาจต้องใช้ทั้งความดันสัมบูรณ์และความดันเกจ ถ้าระดับสุญญากาศไม่สูงมาก (เช่น -500 mmHg) จะใช้ความดันเกจ อนึ่ง ระดับสุญญากาศที่สูงใกล้เคียงกับสุญญากาศสัมบูรณ์ จะไม่สามารถแสดงได้ด้วยความดันเกจ ถ้าความดันบรรยากาศอยู่ที่ระดับปกติ สุญญากาศสัมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับ “-760 mmHg” แต่ความดันบรรยากาศจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงไม่สามารถแสดงสุญญากาศสัมบูรณ์ให้มีค่าคงที่ด้วยความดันเกจ นั่นคือ ระดับสุญญากาศที่สูงจะถูกแสดงด้วยความดันสัมบูรณ์ (เช่น  $5 \times 10^{-4}$  mmHg) หรือโดย “torr” ซึ่งเป็นหน่วยวัดสุญญากาศ

#### 2.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และกฎต่างๆของอากาศ

แก๊สบนพื้นผิวโลกซึ่งผสมกันอยู่ ซึ่งรู้จักกันดีว่า อากาศ ส่วนประกอบของแก๊ส ส่วนใหญ่คือไนโตรเจน( $N_2$ ) ประมาณ 78% โดยปริมาตร และออกซิเจน( $O_2$ ) ประมาณ 21% โดยปริมาตร นอกจากนั้นอากาศยังประกอบไปด้วยคาร์บอนไดออกไซด์ อาร์กอน ไฮโดรเจน นีออน ฮีเลียม ไครย์ตัน และซีนอน และยังมีเปอร์เซ็นต์ของละอองน้ำ(ความชื้น) ที่แปรเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา อากาศจะประกอบไปด้วยโมเลกุลของแก๊สซึ่งจับกันอยู่เป็นอะตอมคู่ สามารถเปรียบเทียบโมเลกุล

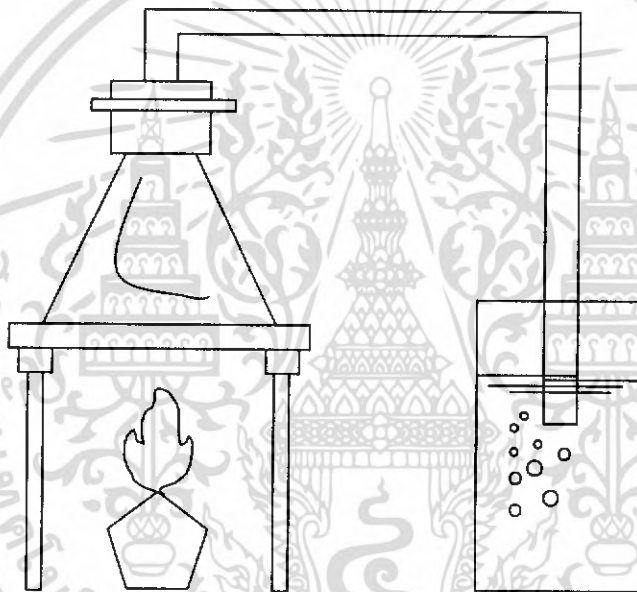
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแก๊สเหมือนกันลูกบอลลูกเล็กๆที่ยึดหยุ่นได้ ในหนึ่งหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตรจะประกอบไปด้วยโมเลกุลดังกล่าวที่เราไม่สามารถมองเห็นถึง  $27 \times 10^{18}$

โมเลกุลของแก๊สไม่สามารถอยู่นิ่งๆได้ แต่จะเคลื่อนไหวไปมาอย่างรวดเร็วและมีการชนกันตลอดเวลาจึงทำให้แก๊สเข้าไปอยู่ในทุกอณูของที่ว่าง

โมเลกุลของแก๊สที่ถูกบรรจุภายในภาชนะปิดมิดชิดใดๆจะมีแรงคงที่ค่าหนึ่งกระทำต่อผิวผนังของภาชนะนั้น แรงคั้นนั้นคือความคั้นนั่นเอง

### 2.3 ผลของความร้อนและความคั้นที่มีต่ออากาศ



รูปที่ 2.1 ผลของความร้อนและความคั้นที่มีต่ออากาศ

อากาศจะขยายตัวภายใต้ผลของความร้อน จากรูปที่ 2.1 การทดลองเผาอากาศที่อยู่ภายในภาชนะทนไฟ มีท่อหลอดแก้วต่อจากภาชนะทนไฟนี้ไปยังแก้วน้ำ เมื่ออากาศในภาชนะทนไฟร้อนขึ้นจะขยายตัวและหนีออกมาทางท่อหลอดแก้ว เกิดเป็นฟองอากาศให้เห็นในน้ำ และเมื่อเอาไฟออกแล้วปล่อยให้ภาชนะเย็นตัวลง จะเห็นน้ำในท่อหลอดแก้วสูงขึ้น เพราะว่าในขณะที่ภาชนะร้อนขึ้นนั้น อากาศบางส่วนจะหนีออกมาทางภาชนะ ทำให้ภาชนะมีความคั้นต่ำกว่าความคั้นบรรยากาศ เมื่อเย็นตัวลงทำให้ความคั้นบรรยากาศ เข้าไปแทนที่ จึงดันน้ำให้สูงขึ้นเรื่อยๆและจะหยุดนิ่งเมื่อความคั้นในภาชนะนั้นมีค่าเท่ากับความคั้นบรรยากาศ

เมื่ออากาศที่ถูกอัดไว้ขยายตัวออก ไม่ว่าจะป็นงานทางกล (ยกลูกสูบ) หรือกระจายไปในอากาศ อากาศจะเย็นลง ซึ่งตรงข้ามกับการอัดอากาศจะทำให้เกิดความร้อน ถ้าอากาศมีการขยายตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากเพียงพอ จะทำให้อุณหภูมิลดลงมากจนสามารถเกิดเป็นน้ำแข็งที่บริเวณชิ้นส่วนของเครื่อง ทดลองได้

ทำไมการอัดอากาศทำให้อากาศร้อนขึ้น อากาศที่ถูกอัดตัวจะร้อนขึ้นโดยพลังงานกลที่ได้มาจากเครื่องอัดลม อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้ก็เนื่องมาจากการที่โมเลกุลของอากาศมีการเคลื่อนที่ชนกันมากขึ้น และการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในถึงเก็บอัดลมชนกันน้อยลง เมื่อโมเลกุลของอากาศถ่ายเทพลังงานจลน์ให้กับผนังของถังเก็บอัด ทำให้ถังเก็บอัดร้อนขึ้นและถ่ายเทความร้อนสู่บรรยากาศรอบๆถัง

ถ้าเปิดวาล์วของถังเก็บลม ทำให้โมเลกุลของอากาศสามารถเคลื่อนไหวได้มากขึ้น จำนวนครั้งของการชนกันระหว่างโมเลกุลกับผนัง หรือโมเลกุลกับโมเลกุลก็จะลดลง ระยะทางที่แต่ละโมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่ชนกันก็มีความยาวมากขึ้น เมื่อมีการชนกันน้อยก็มีผลทำให้ อุณหภูมิลดลง

## 2.4 ผลของความเร็วในการไหลและความดันของอากาศ



รูปที่ 2.2 ผลของความเร็วในการไหลและความดันของอากาศ

จากรูปที่ 2.2 สามารถวัดความดันของลมอัดได้ว่าจุดที่แคบที่สุดของท่อ จะมีความดันต่ำสุด เหตุที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าจุดเริ่มต้นและจุดปลายของท่ออากาศไหลผ่านมีพลังงานเท่ากัน(ไม่คำนึงถึงความเสียดทาน) พลังงานนี้ประกอบด้วยพลังงานความดันซึ่งขึ้นอยู่กับความดัน และพลังงานจลน์ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหลของอากาศ (V) ถ้ารวมกันจะได้เท่ากับค่าคงที่ ดังสมการ

$$\text{พลังงานความดัน} + \text{พลังงานจลน์} = \text{ค่าคงที่}$$

ถ้าเป็นเช่นนี้ เมื่อพลังงานของการไหลหมายถึง ความเร็วของการไหลเพิ่มขึ้น ทำให้พลังงานจลน์เพิ่มมากขึ้นบริเวณคอคอด เนื่องจากผลรวมพลังงานในแต่ละส่วนของหน้าตัดท่อ จะต้องคงที่ ดังนั้นบริเวณความดันคอคอดจึงลดลงอย่างไรก็ตามเนื่องมาจากการเสียดสีของอากาศที่ถูกอัดตัว และส่วนผนังของคอคอดซึ่งอากาศไหลผ่าน จะทำให้มีค่าสูญเสียความดันคงที่

## 2.5 หน่วยของความดัน

ระบบหน่วยสากลหรือระบบ SI นี้มีรากฐานมาจากหน่วยแรงนิวตัน (N) ซึ่งคิดค้นโดย S.I Newton (วิศวกรชาวอังกฤษ ผู้มีชื่อเสียงในด้านกลศาสตร์เกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงของโลกระหว่างปี ค.ศ. 1642-1727) ต่อมาความดันในระบบ SI ได้ถูกเรียกเรียกว่า ปาสกาล ตามชื่อ B. Pascal ผู้ค้นพบกฎการส่งผ่านความดัน

1 ปาสกาล เท่ากับ ค่าความดันที่กระทำพื้นที่ 1 ตารางเมตร ในทิศทางตั้งฉากด้วยแรง 1 นิวตัน เขียนเป็นสูตรได้ดังต่อไปนี้

$$1 \text{ Pascal} = 1 \text{ newton /square meter}$$

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

$$= 1 \text{ kg-m/s}^2 \cdot \text{m}^2$$

เนื่องจากหน่วยปาสกาลเป็นหน่วยเล็กมากเวลาเขียนต้องใช้เลขหลายหลัก จึงมีหน่วยบาร์ (bar) เพื่อใช้เขียนแทนหน่วยปาสกาล คือ

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

$$= 100,000 \text{ Pa}$$

หน่วยของบาร์เปลี่ยนให้เป็นหน่วยความดัน(kgf/cm<sup>2</sup>) ได้ดังต่อไปนี้

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.980665 \text{ bar}$$

$$= 0.981 \text{ bar}$$

$$1 \text{ bar} = 1.01972 \text{ kgf/cm}^2$$

$$= 1.02 \text{ kgf/cm}^2$$

จะเห็นว่าหน่วย bar และ kgf/cm<sup>2</sup> มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงอนุโลมให้ใช้ในกรณีของระบบนิวแมติกว่า  $1 \text{ bar} = 1 \text{ kgf/cm}^2$

สำหรับหน่วยปอนด์(Pounds) หรือ pounds-force/square inch(psi) เปลี่ยนเป็นหน่วย SI ได้ดังต่อไปนี้

$$1 \text{ bar} = 14.5 \text{ psi}$$

$$1 \text{ psi} = 0.06895 \text{ bar}$$

$$= 0.07 \text{ bar}$$

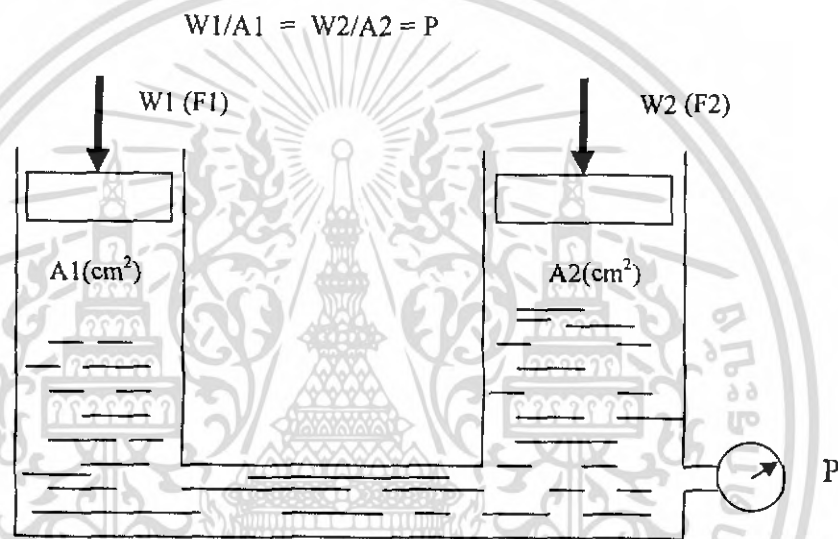
$$= 7000 \text{ Pa}$$

## 2.6 กฎเบื้องต้นของลมอัด

กฎเบื้องต้นของลมอัดได้แก่กฎการส่งผ่านความดันของปาสกาล กฎปริมาตรและความดันของบอยล์

### 2.6.1 กฎของปาสกาล(กฎส่งผ่านความดัน)

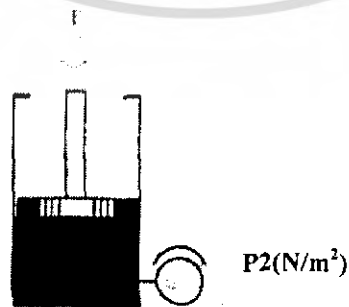
B. Pascal ได้ทำการทดลองพิสูจน์กฎของปาสกาลซึ่งเกี่ยวกับการส่งผ่านความดันสถิตหรือความดันไม่เคลื่อนที่ (static pressure) ซึ่งกฎนี้กล่าวว่า “ความดันที่กระทำต่อส่วนหนึ่งส่วนของไหลที่อยู่นิ่งในภาชนะปิดจะกระทำต่อทุกส่วนของภาชนะในแนวตั้งฉาก” ซึ่งเป็นได้ดังสมการ



รูปที่ 2.3 กฎของปาสกาล

### 2.6.2 กฎของบอยล์

กฎของบอยล์ กฎนี้ได้กล่าวว่า “ณ ที่อุณหภูมิคงที่ ปริมาตรก๊าซจะเปลี่ยนแปลงเป็นอัตราส่วนผกผันกับความดันก๊าซนั้น” ตามรูปที่ 2.4 แสดงถึงการกดลูกสูบของกระบอกสูบ ซึ่งมีก๊าซบรรจุภายใน ปริมาตรก๊าซจะลดลงในขณะที่ความดันก๊าซเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.4 ปริมาตรและความดันตามกฎของบอยล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือจะได้สมการ

$$P_1V_1 = P_2V_2 = \text{ค่าคงที่}$$

โดย  $P_1$  = ความดันสัมบูรณ์เริ่มต้น

$P_2$  = ความดันสัมบูรณ์สุดท้าย

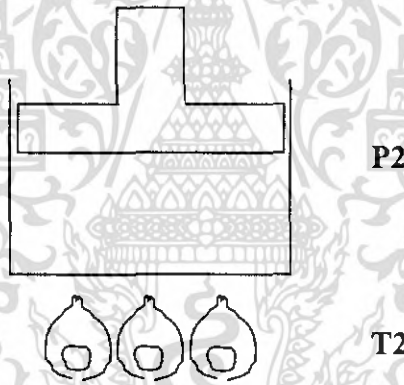
$V_1$  = ปริมาตรเริ่มต้น

$V_2$  = ปริมาตรสุดท้าย

### 2.6.3 กฎของชาร์ล

กฎของชาร์ลกล่าวว่า “เมื่ออากาศจำนวนหนึ่งมีปริมาตร  $V_1$  และอุณหภูมิ  $T_1$  ถูกทำให้ร้อนหรือทำให้เย็นเป็นอุณหภูมิ  $T_2$  ภายใต้ความดันคงที่ จะได้ปริมาตรอากาศใหม่คือ  $V_2$ ” ตามสมการ

$$V_1/T_1 = V_2/T_2 \text{ (ค่าคงที่)}$$



รูปที่ 2.5 กฎของชาร์ล

## 2.7 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับยางรถยนต์

### 2.7.1 ตัวเลขและตัวอักษรบนแก้มยาง

ตัวเลขและตัวอักษรต่าง ๆ ที่ปรากฏอยู่บนแก้มยางรถยนต์นั้น สามารถบ่งบอกถึงคุณสมบัติของยางได้หลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นขนาดของยาง เช่น หน้ากว้าง, ซีรีส์, ขนาดขอบกระทะล้อ และยังบ่งบอกถึงขีดจำกัดความเร็วสูงสุด, ดัชนีในการรับน้ำหนักของยางเส้นนั้น ๆ รวมไปถึงคุณสมบัติอื่น ๆ อีกด้วย ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวถือว่าเป็นข้อมูลทั่ว ๆ ไป เพื่อจะได้เลือกใช้งานได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมกับรถยนต์แต่ละชนิด

#### รถเก๋ง

195 / 60 R 14 85 H โดยมีความหมายดังนี้

เอกสารนี้ 195 กว้าง 60 สูง 14 นิ้ว 85 H โดยมีความหมายดังนี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

60	=	ซีรีส์
R	=	โครงสร้างยางแบบเรเดียล
14	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกระทะลื้อ (นิ้ว)
85	=	ดัชนีในการรับน้ำหนักของยาง / เส้น
H	=	ขีดจำกัดความเร็วสูงสุด

รถกระบะ

195 R 14 C 8PR โดยมีความหมายดังนี้

195	=	ความกว้างยาง (มม.)
R	=	โครงสร้างยางแบบเรเดียล
14	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกระทะลื้อ (นิ้ว)
C	=	เป็นยางที่ใช้ในกิจการขนส่ง (Commercial)
8PR	=	อัตราชั้นผ้าใบเทียบเท่า 8 ชั้น

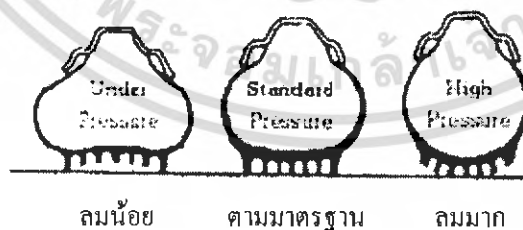
ในส่วนของซีรีส์ถ้าไม่ได้ระบุให้หมายถึง 80 ซีรีส์

รถออฟโรด

31x10.5 R 15 โดยมีความหมายดังนี้

31	=	ความสูงของยาง หรือเส้นผ่าศูนย์กลางยาง (นิ้ว)
10.5	=	ความกว้างยาง (นิ้ว)
R	=	โครงสร้างยางแบบเรเดียล
15	=	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกระทะลื้อ (นิ้ว)

## 2.7.2 การสูบลมยางและการสัมผัสพื้นถนน



รูปที่ 2.6 การสูบลมยางกับการสัมผัสพื้นถนนของยาง

ยางรถยนต์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป เป็นยางรถยนต์ที่ใช้ลมยางสำหรับทรงรูปทรงของยางนั้น ๆ ให้ได้ตามขนาด เพื่อรับน้ำหนักและทำหน้าที่ของยางรถยนต์ตามต้องการ ลมยางยังเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับรถยนต์ เพราะลมยางจะช่วยให้การขับขีรถยนต์มีประสิทธิภาพมากที่สุด หากว่าเติมลมยางได้อย่างเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเติมลมยางของรถยนต์แต่ละคันนั้นไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับยางรถยนต์และรถยนต์แต่ละรุ่น รวมไปถึงการใช้งานของแต่ละบุคคลว่าจะบรรทุกหนักหรือน้อยแค่ไหน แต่ถ้าจะให้ดีควรจะเติมลมยางตามที่ระบุอยู่ในคู่มือที่ติดอยู่ที่ฝาถังน้ำมันหรือขอบประตูของรถยนต์คันนั้น ๆ แต่ยางเส้นนั้นจะต้องเป็นยางขนาดและประเภทเดียวกับยางที่ติดมากับรถด้วย จึงจะเหมาะสมที่สุด

ปกติลมยางที่ใช้เติมยางรถยนต์ ก็คือ อากาศที่มีอยู่ทั่วไป ซึ่งมีส่วนผสมของก๊าซต่างๆ มากมาย โดยเฉพาะก๊าซออกซิเจน และไอน้ำปะปนอยู่ เมื่อขับด้วยความเร็วสูงเป็นระยะทางไกลๆ ยางรถยนต์จะเกิดความร้อนสะสมภายในยางสูง ทำให้อากาศภายในยางขยายตัว ส่งผลให้ความดันลมยางเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ยางเกิดการระเบิดได้ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ลมยางอ่อนกว่ามาตรฐาน จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าเมื่อลมยางอ่อนกว่ามาตรฐาน จะมีส่วนของยางสัมผัสกับพื้นถนนมากกว่า ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ยางเกิดความร้อนได้ ได้แก่ ค่าการเสียดสีภายใน ซึ่งเป็นการเสียดสีเนื่องจากการบิดตัวระหว่างเนื้อยางกับเส้นผ้าใบ ยิ่งถ้าต้องเดินทางเป็นระยะทางไกลๆ จะทำให้ความร้อนสูงเพิ่มขึ้น อีกทั้งการสูบลมโดยทั่วไปนั้นไม่สามารถหลีกเลี่ยงลมผสมไอน้ำได้ เพราะไม่สะดวกที่จะตรวจสอบ เมื่อความชื้นกลั่นกลายเป็นน้ำ แรงดันรวมของยางจะลดลง แต่เมื่อยางร้อน น้ำที่อยู่ภายในก็จะกลายเป็นก๊าซ ทำให้มีแรงดันเพิ่มขึ้น สามารถทำให้เกิดการระเบิดของยางได้

### 2.7.3 การสูบลมยางที่ถูกต้อง

การตรวจเช็คลมยาง เป็นสิ่งสำคัญที่ไม่ควรมองข้าม ผู้ใช้รถยนต์ควรตรวจเช็คว่ายางสึกหรือถึงระดับต้องเปลี่ยนหรือยัง และควรเติมลมยางให้เหมาะสมตามที่กำหนด เพราะหากยางรถยนต์สึก หรือหรือลมยางอ่อน จะทำให้การทรงตัวของรถไม่ดี และสิ้นเปลืองน้ำมันมากขึ้นกว่าเดิม เนื่องจาก หากความดันลมยางต่ำกว่ามาตรฐานทุก 1 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มขึ้น 2 % เช่น ยางขนาด 195 มม. ควรเติมลมยางขณะไม่บรรทุก 26 ปอนด์ และยางขนาด 205-235 มม. ควรเติมลมยางขณะไม่บรรทุก 26-29 ปอนด์ เป็นต้น ดังนั้นการใส่ใจกับการสูบลมยางอย่างถูกวิธี จึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ควรปฏิบัติตาม ซึ่งมีข้อควรปฏิบัติง่าย ๆ ดังนี้

1. ควรตรวจเช็คลมยางให้ถูกต้องตามอัตราที่กำหนดหรือตามคำแนะนำในหนังสือคู่มือของรถยนต์เป็นประจำขณะยางยังเย็นอยู่ทุกๆ สัปดาห์
2. ในกรณีของยางใหม่ ให้เพิ่มความถี่ในการตรวจเช็คลมยางให้มากกว่าปกติ(ในช่วง 3,000 กม.แรก)เนื่องจาก โครงยางในช่วงนี้จะมีการขยายตัว ทำให้ความดันลมยางลดลงจากปกติได้
3. ห้ามปล่อยลมยางออก เมื่อความดันลมยางสูงขึ้นขณะกำลังใช้งาน เพราะความร้อนที่เกิดขึ้นขณะใช้งานเป็นตัวทำให้ความดันลมภายในยางสูงขึ้น เมื่อยางเย็นตัวลง ความดันลมยางก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับสู่สภาวะปกติ

4. เพื่อป้องกันลมรั่วซึมที่วาล์ว ควรเปลี่ยนวาล์วและแกนวาล์วทุกครั้งที่ย้ายยางใหม่ และมีฝาปิดวาล์วตลอดเวลา

5. สำหรับยางใหม่ควรตรวจเช็คลมยางให้ถูกต้องทุกๆเดือน

6. ในกรณีขับรถด้วยความเร็วสูง ให้เติมลมยางให้มากกว่าปกติ 3-5 ปอนด์ / ตารางนิ้ว เพื่อลดการบิดตัวของโครงยางทำให้ความร้อนเกิดขึ้นน้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# ความรู้พื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

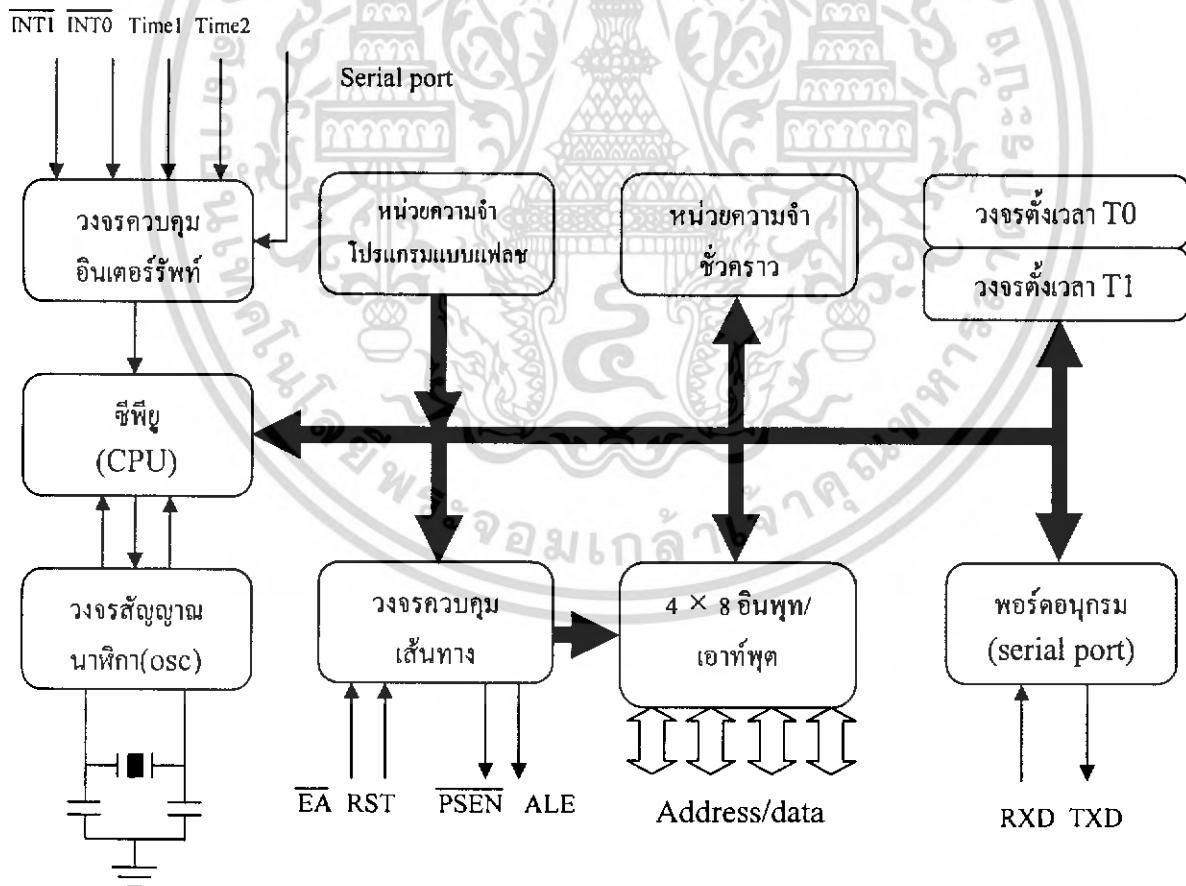
### 3.1 พื้นฐานไมโครคอนโทรลเลอร์

ปัจจุบันการพัฒนาและการแข่งขันทางด้านเทคโนโลยีผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำ ที่นำไปสร้างเป็นไอซีมี ประสิทธิภาพสูงมากขึ้นและมีเทคโนโลยีที่เกิดจากการผลิตของบริษัทต่างๆซึ่งส่งผลให้การผลิตชิปไอซีมีขนาดที่เล็กลง แต่มีประสิทธิภาพและคุณสมบัติต่างๆมากขึ้นไอซีที่ถูกสร้างเป็นแบบ LSI (Large Scale Integrate Circuit) เป็นเทคโนโลยีการสร้างโดยการนำเอาทรานซิสเตอร์จำนวนมากมาสร้างเป็นไอซีดิจิทัลที่ซับซ้อน โดยทำขึ้นเพื่อหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลข้อมูลหรือ เรียกว่าไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor) ที่มีคุณสมบัติหลัก คือการประมวลผลข้อมูลการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และลอจิก ถ้าหากมีการติดต่อกับหน่วยความจำที่เป็นแบบแรมแบบรอม หรืออุปกรณ์ภายนอกที่เป็นอินพุต-เอาต์พุตต้องมีการต่ออุปกรณ์อื่น ๆ ร่วมด้วย เพื่อทำหน้าที่เลือกอุปกรณ์ในการติดต่อหรือวงจรถอดรหัส (Decoder) และ ในการที่เรานำไมโครโพรเซสเซอร์มาเป็นตัวประมวลผลกลาง มีหน่วยความจำแบบแรมพอร์ตอินพุตและเอาต์พุต เราเรียกว่า ไมโครคอมพิวเตอร์ เป็นสิ่งไม่คุ้มกับการลงทุนหากนำมาใช้ในงานควบคุมขนาดเล็ก และอาจต้องใช้เนื้อที่มาก ในการออกแบบ ดังนั้นการพัฒนาด้านเทคโนโลยีในการสร้างชิป จึงมีการรวบรวมคุณสมบัติที่ต้องการใช้งานมาอยู่ในตัวเดียวกันคือมีองค์ประกอบเกือบทุกอย่างของคอมพิวเตอร์อยู่ในตัวไอซี ที่เราเรียกว่า ไมโครคอมพิวเตอร์แบบชิปเดี่ยวประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐานเหมือนไมโครคอมพิวเตอร์ เช่นหน่วยประมวลผลกลางขนาดเล็ก (8บิต -16 บิต) และหน่วยประมวลผลที่สามารถเข้าข้อมูลแบบบิตหน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานแบบแรมขนาด 128 ไบต์ และบรรจุหน่วยความจำโปรแกรมประเภทรอม สามารถใช้งานได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตมีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ ฟูลดูเพล็กซ์ วงจร Counter/Timer ที่อยู่ภายใน สามารถต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างวงจรถ่ายค่าเนคส์สัญญาณนาฬิกาเช่น คริสตัล(Crystal)และตัวเก็บประจุก็สามารถใช้งานได้เป็นต้น เราเรียกกันทั่วไปว่า ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller ) ดังนั้นเมื่อเราต้องการใช้งานควบคุมขนาดเล็ก เช่น เต้าไมโครเวฟ เครื่องซักผ้า เครื่องเล่นวีดีโอเทปและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ เราจึงนิยมนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งาน เพราะมีทุกอย่างพร้อมในตัวเดียวกัน ประกอบกับมีขนาดที่เล็กอุปกรณ์ที่จะนำมาต่อรวมมีน้อยและเหมาะสำหรับใช้งานในการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนมากนัก ซึ่งในโครงการนี้ก็จะนำเอาความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ควบคุมระบบการเติมลมยางเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยคุณสมบัติที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ประกอบด้วย

1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต
  2. มีหน่วยความจำภายในแบบแฟลชขนาด 4 กิโลไบต์ หรือ 8 กิโลไบต์ ที่โปรแกรมภายในวงจร สามารถเขียนและลบได้ถึงพันครั้ง
  3. มีสายสัญญาณสำหรับต่อกับอินพุต/เอาต์พุตได้ 32 เส้น (แบบ 2 สองทิศทาง)
  4. มีหน่วยความจำชั่วคราว (ROM) ภายในขนาด 128 ไบต์ หรือ 256 กิโลไบต์
  5. ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกาตั้งแต่ 0 Hz จนถึง 24 Hz
  6. มีวงจรตั้งเวลาและนับสัญญาณเวลาขนาด 16 บิต จำนวน 2 หรือ 3 ชุด
  7. มีวงจรรับสัญญาณอินเตอร์รัพต์ได้ไม่ต่ำกว่า 6 ชนิด
  8. สามารถต่อขยายหน่วยความจำภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
  9. มีวงจรสื่อสารแบบสื่อสาร 2 ทางเต็มอัตรา และมีคำสั่งที่ใช้ภาษาแอสเซมบลีทั้งหมด
- 111 คำสั่ง โครงสร้างพื้นฐานของ MCS-51 มีส่วนประกอบต่างๆ ดังในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ที่ผู้ผลิตได้สร้างขึ้นมาหลายรุ่นนั้นก็เพื่อให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานแต่ละประเภท ซึ่งมีหลายบริษัทที่ทำการผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 พร้อมทั้งมีการพัฒนาเพิ่มเติมขึ้น ในส่วนของความเร็วและหน่วยความจำภายในโดยใช้หน่วยความจำแบบแฟลช (Flash Memory) ทำให้ประยุกต์ใช้งานได้ง่ายและเป็นที่ยอมรับกันมากขึ้น ดังเช่น บริษัท ATMAEL แสดงตัวอย่างดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ที่ผลิตโดยบริษัท ATMEL

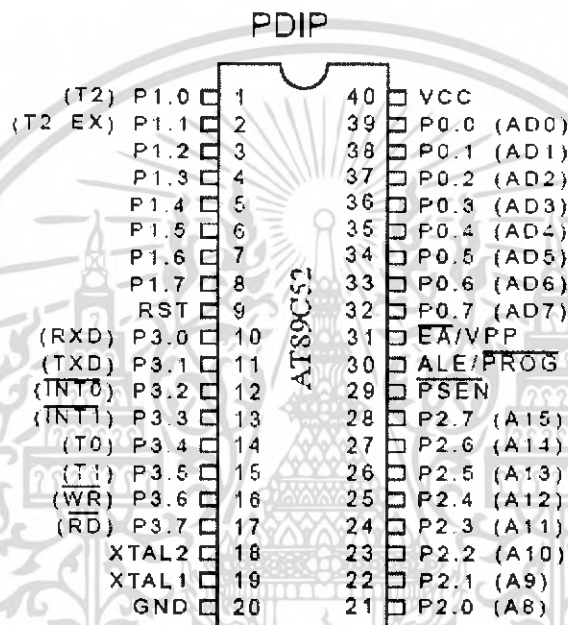
ไมโครคอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำภายใน ( internal memory )		ตั้งเวลา/นับเวลา (time/counter)	สัญญาณอินเทอร์รัพต์จากภายนอก
	หน่วยความจำภายในแบบ EPROM , EEPROM	ข้อมูล RAM		
AT89C1051	1 kb × 8	64 × 8 bit	2 × 16 bit	6
AT89C2051	2 kb × 8	128 × 8 bit	2 × 16 bit	6
AT89C4051	4 kb × 8	128 × 8 bit	2 × 16 bit	6
AT89C51	4 kb × 8	128 × 8 bit	2 × 16 bit	6
AT89C52	8 kb × 8	256 × 8 bit	3 × 16 bit	8
AT89S52	8 kb × 8	256 × 8 bit	3 × 16 bit	8
AT89C55	20 kb × 8	256 × 8 bit	3 × 16 bit	8
AT89S8252	8 KB × 8 ( 2 kb EEPROM )	256 × 8 bit	3 × 16 bit	9
AT89S53	12 kb × 8	256 × 8 bit	3 × 16 bit	9

### 3.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

วงจรภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ประกอบด้วยวงจรอินพุตและเอาต์พุตทั้งหมด 4 พอร์ต แต่ละพอร์ตจะเป็น 8 บิต หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (EPROM, EEPROM และ Flash) หน่วยความจำที่เป็นข้อมูลนั้น (RAM) ซึ่งอยู่จะในวงจรหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ตลอดจนวงจรการคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU) วงจรรีจิสเตอร์ทั่วไป และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันการใช้งานเฉพาะ

### 3.3 การจัดตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์นั้นจะมีโครงสร้างและการใช้งานพื้นฐานเหมือนกันดังตัวอย่างนี้ เช่น แบบคิป (DIP) ซึ่งมีทั้งหมด 40 ขา ได้แบ่งการใช้งานออกเป็นอินพุต/เอาต์พุต (Input/Output Port) ขาสัญญาณควบคุม ขาสัญญาณกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำ และ ขาสัญญาณข้อมูล ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

### 3.4 ตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และหน้าที่การทำงาน

1. P0.0-P0.7 ( ขาที่ 32-39 ) พอร์ต 0 ทำหน้าที่เป็นสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้ 2 ทิศทาง สามารถรับข้อมูลอินพุตและส่งข้อมูลเอาต์พุตได้ มีขนาด 8 บิต การตั้งค่าให้พอร์ต 0 รับข้อมูลอินพุตทำได้โดยการส่งค่าสัญญาณ 1 ไปยังบิตที่ต้องการให้รับข้อมูลอินพุต วงจรภายในจะทำให้บิตนั้นมีค่าความต้านทานสูงและสามารถรับข้อมูลอินพุตได้ และยังใช้เป็นขาสัญญาณกำหนดตำแหน่งหน่วยหน่วยความจำ (A0-A7) และขาสัญญาณข้อมูล (D0-D7) โดยการใช้ตัวแยกสัญญาณ (D-latch 74LS373) ทำหน้าที่เป็นมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) โดยเลือกช่วงเวลาของสัญญาณกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำ และสัญญาณข้อมูลออกจากกัน ในขณะที่ใช้เป็นอินพุตและเอาต์พุต วงจรภายในจะไม่มีวงจรเพิ่มกระแสไฟฟ้า (Pull up) จึงจำเป็นต้องต่อวงจรเพิ่มกระแสไฟฟ้าจากภายนอกเข้าไป
2. P1.0-P1.7 ( ขาที่ 1-8 ) พอร์ต 1 ทำหน้าที่เป็นสัญญาณควบคุมการอุปกรณ์ภายนอกได้ 2 ทิศทาง สามารถปรับได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต มีขนาด 8 บิต สามารถอ้างอิงถึงการทำงานได้ที่ละเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต และวงจรภายในมีตัวต้านทานเพิ่มกระแสไฟฟ้า (Pull up) ในกรณีที่ต้องการให้รับข้อมูลอินพุตก็สามารถทำได้เหมือนพอร์ต 0

3. P2.0-P2.7 ( ขาที่ 21-28 ) พอร์ต 2 ทำหน้าที่เป็นสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้ทั้ง 2 ทิศทาง คือ เป็นได้เป็นทั้งอินพุตและเอาต์พุต มีขนาด 8 บิต สามารถใช้เป็นขาสัญญาณที่กำหนดตำแหน่งหน่วยความจำ (A8-A15) และมีวงจรเพิ่มกระแสไฟฟ้าภายใน การกำหนดให้เป็นขาอินพุตทำได้โดยการส่งข้อมูลสถานะ 1 ไปยังบิตที่ต้องการให้เป็นอินพุต ก็จะสามารถทำการรับค่าข้อมูลอินพุตได้

4. P3.0-P3.7 ( ขาที่ 10-17 ) พอร์ต 3 ทำหน้าที่เป็นสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ภายนอกอินพุตและเอาต์พุต 2 ทิศทาง มีขนาด 8 บิต คุณสมบัติทั่วไปจะเหมือนกับพอร์ตอื่นๆ แต่จะมีคุณสมบัติที่ต่างออกไป คือ ใช้ทำหน้าที่พิเศษเป็นสัญญาณควบคุมการทำงานต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์

5.  $\overline{\text{PSEN}}$  Program Store Store Enable ขาที่ 29) ขาที่ทำงานที่สภาวะลอจิกเป็น “0” ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องอ่านค่าจากหน่วยความจำภายนอกที่เป็นข้อมูล โดยโปรแกรมจะเก็บในหน่วยความจำถาวร (ROM, EPROM, EEPROM) ส่วนมากใช้ต่อเป็นขาเลือกทำงาน (Enable:  $\overline{\text{OE}}$ ) แต่ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้หน่วยความจำภายใน ขานี้ก็จะไม่ได้ใช้งาน และมีค่าลอจิกเป็น “1”

6. ขา ALE (Address Latch Enable ขาที่ 30) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสัญญาณกำหนดตำแหน่งกับสัญญาณข้อมูล โดยใช้การเลือกเส้นทาง (data select หรือ multiplex) โดยปกติเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานจะส่งสัญญาณกำหนดตำแหน่งออกมาก่อน พร้อมกับส่งสัญญาณให้ขา ALE ทำงาน เพื่อเลือกให้สัญญาณกำหนดตำแหน่ง (A0-A7) ผ่าน ไอซี (74LS373) ที่ทำหน้าที่เลือกเส้นทางถ้าส่งสัญญาณข้อมูลออกมา ไอซี (74LS373) จะไม่ทำงาน ข้อมูลก็จะถูกส่งไปที่สายสัญญาณข้อมูล

7. ขา  $\overline{\text{EA}}$  (External Access ขาที่ 31) ทำหน้าที่เลือกการทำงานของหน่วยความจำ ถ้ามีค่าลอจิกเป็น “1” หมายถึง ใช้ข้อมูลจากหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ถ้ามีค่าลอจิกเป็น “0” หมายถึง ใช้ข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก

8. ขา RST (Reset ขาที่ 9) ทำหน้าที่เริ่มต้นการทำงานใหม่ของไมโครคอนโทรลเลอร์ การทำงานที่ค่าลอจิก “1” นี้จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มต้นทำงานที่ตำแหน่ง 0000 เพื่ออ่านข้อมูลโปรแกรมและจัดระบบการทำงาน

9. ขาสัญญาณนาฬิกา ( ขาที่ 18-19 ) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดสัญญาณนาฬิกาให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ใช้เป็นฐานเวลาในการทำงาน โดยจะใช้แผ่นผลึก (crystal) ที่มีความถี่ตั้งแต่ 0-24 เมกกะเฮิร์ตซ์ (MHz) ร่วมกับตัวเก็บประจุขนาด 20-33 pF

10. แหล่งจ่ายไฟ (Power supply) ขาที่ 20 จะเป็นขากราวด์ (Ground) และขาที่ 40 จะเป็นแหล่งจ่ายไฟบวกให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้แหล่งจ่ายไฟขนาดไม่เกิน 5 โวลต์

### 3.5 โครงสร้างหน่วยความจำ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แยกการจัดการหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูล ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้มีหน้าที่แตกต่างกัน และใช้วิธีการอ้างตำแหน่ง สัญญาณการติดต่อแยกจากกัน

#### 3.5.1 หน่วยความจำโปรแกรม

เป็นหน่วยความจำประเภทที่เมื่อตัดการจ่ายไฟฟ้าออก ข้อมูลจะไม่หายไป จึงใช้สำหรับบรรจุกำสั่ง โปรแกรม หรือข้อมูลที่คงที่ต่าง ๆ มี 2 แบบ คือ หน่วยความจำภายในตัว MCS-51 ขนาดความจุจะขึ้นอยู่กับรุ่นที่ใช้ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการผลิตจำนวนมาก หรือต้องการอุปกรณ์ที่กะทัดรัด อีกแบบหนึ่งเป็นการใช้ไอซีภายนอก ซึ่งจะเชื่อมต่อกับพอร์ต 0 และ 2 ในการอ้างอิง แอдресและข้อมูล



รูปที่ 3.3 แสดงการจัดพื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมสำหรับ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5.2 หน่วยความจำข้อมูล

เป็นหน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างการทำงานตามคำสั่ง RAM ภายในของ MCS-51 จะมีขนาด 256 ไบต์ โดย 128 ไบต์สูง 80H-FFH จะเป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (SFR) 20 ตำแหน่ง ส่วนใน 128 ไบต์ล่างผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้โดยตรง แอดเดรส 00H-1FH จำนวน 32 ไบต์ จะถูกใช้งานในฐานะรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป จะเลือกใช้งานได้ครั้งละ 1 กลุ่ม (แบงก์) จำนวน 8 ไบต์ ปกติแล้วจะมีการใช้งานในแบงก์ 0 เท่านั้น แอดเดรส 20H-2FH จำนวน 16 ไบต์ บริเวณนี้สามารถอ้างอิงใช้งานได้ในระดับบิต คือ บิต 00 (LSB ของ 20H) ถึง 7FH (MSB ของ 2FH) = 128 บิต แอดเดรส 30H-7FH จำนวน 80 ไบต์ สามารถใช้งานเป็นไบต์ข้อมูลได้อิสระ การจัดพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลได้แสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการจัดพื้นที่หน่วยความจำสำหรับ MCS-51

### 3.5.3 หน่วยความจำรีจิสเตอร์

หน่วยความจำรีจิสเตอร์ ( 80H-FFH ) ซึ่งเป็นส่วนที่เข้าถึงข้อมูลได้โดยตรง และเป็นส่วนสำคัญเพราะทำหน้าที่เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้งานเฉพาะ เป็นการทำงานหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น การคำนวณการตั้งเวลานับเวลา การอินเทอร์รัพต์ การส่งข้อมูลแบบอนุกรม และรีจิสเตอร์อื่นๆ ที่จำเป็น

การกำหนดพื้นที่หน่วยความจำที่ใช้เป็นตำแหน่งหน่วยความจำและใช้ชื่อของรีจิสเตอร์ ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ( AT89xxx ) ได้ออกแบบค่ารีจิสเตอร์บางตัวให้สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิตและไบต์ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ชื่อและตำแหน่งรีจิสเตอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

สัญลักษณ์	ชื่อ	ตำแหน่ง(address)
*Acc	Accumulator	0E0H
*B	B Register	0F0H
*PSW	Program Status Word	0D0H
SP	Stack Pointer	81H
DPTR	Data Pointer 2 ไบต์ DPH,DPL	
DPL	ไบต์ต่ำ ( Low byte )	82H
DPH	ไบต์ต่ำ ( High byte )	83H
*P0	Port 0	80H
*P1	Port 1	90H
*P2	Port 2	0A0H
*P3	Port 3	0B0H
*IP	Interrupt Priority Control	0B8H
*IE	Interrupt Enable Control	0A8H
TMOD	Timer/Counter Mode Control	89H
*TCON	Timer/Counter Control	88H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*+T2CON	Timer/Counter 2 Control	0C8H
*+T2CON	Timer/Counter 2 Control	0C8H
TH0	Timer/Counter 0 High byte	8CH
TL0	Timer/Counter 0 Low byte	8AH
TH1	Timer/Counter 1 High byte	8DH
TL1	Timer/Counter 1 Low byte	8BH
+TH2	Timer/Counter 2 High byte	0CDH
+TL2	Timer/Counter 2 High byte	0CCH
+RCAP2H	T/C 2 Capture Reg. High byte	0CBH
+RCAP2L	T/C 2 Capture Reg. Low byte	0CAH
*SCON	Serial Control	98H
SBUF	Serial Data Buffer	99H
PCON	Power Control	87H

หมายเหตุ \* เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงระดับบิต

+ มีเฉพาะรุ่น (80xx52) ( AT89xx52 )

### 3.5.4 หน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์

#### รีจิสเตอร์ A ( Accumulator = Acc )

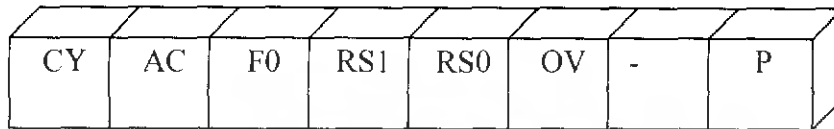
เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต ทำหน้าที่หลักในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก เก็บผลลัพธ์จากการประมวล และสามารถเก็บข้อมูลขนาด 8 บิตได้ อยู่ที่ตำแหน่งหน่วยความจำ E0H

#### รีจิสเตอร์ B ( B Register )

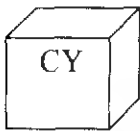
เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป และยังทำหน้าที่พิเศษคือ เก็บข้อมูลตัวกระทำการคูณหรือการหาร เช่น รีจิสเตอร์ A เก็บค่าตัวตั้ง และรีจิสเตอร์ B เป็นตัวคูณหรือหาร สามารถเข้าถึงได้ระดับ อยู่ที่ตำแหน่งหน่วยความจำ 0F0H

### รีจิสเตอร์ PSW ( Program Status Word )

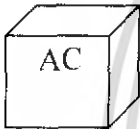
ทำหน้าที่เก็บสถานะการทำงานของคำสั่ง มีขนาด 7 บิต อยู่ที่ตำแหน่งหน่วยความจำ 0D0H ซึ่งมีการเก็บสถานะการทำงานของแต่ละบิตดังต่อไปนี้



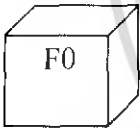
รูปที่ 3.5 รีจิสเตอร์ PSW (Program Status Word)



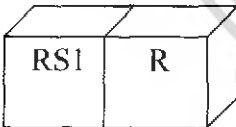
(Carry Flag) ทำหน้าที่เก็บค่าตัวทดเมื่อมีการกระทำทางคณิตศาสตร์และลอจิก ถ้าผลลัพธ์จากการประมวลผลที่ได้มีค่าเกิน 8 บิต ( 0FFH ) บิตที่เกินก็จะเก็บไว้ที่บิต CY ซึ่งเป็นบิตทด



(Auxiliary Carry Flag) เป็นตัวช่วยเมื่อมีการคำนวณ และเกิดการขี้นค่าหรือเกิดทดขึ้นระหว่างบิตที่ 3 กับบิตที่ 4 ของค่ารีจิสเตอร์ บิตนี้จะมีค่าลอจิกเป็น "1" ส่วนมากใช้กับระบบเลขฐานสอง (Binary Code Decimal)



(Flag 0) ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บสถานะทั่วไป ถ้ามีการตั้งค่าสถานะนี้ไว้ เมื่อมีการกระทำตามคำสั่งที่มีผลต่อสถานะ (Flag) ก็จะไม่มีผลกระทบต่อค่าที่กำหนดไว้

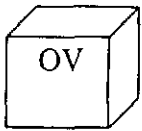


(Register Select I,0) ทำหน้าที่เลือกใช้ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ R0-R7 มีอยู่ 4 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 8 ตัว ( R0-R7 ) สามารถเลือกใช้ได้โดยการตั้งค่าบิตดังตารางที่ 3.3

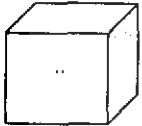
ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งรีจิสเตอร์ R0-R7

RS1	RS0	ตำแหน่ง R0-R7
0	0	Bank 0 ตำแหน่ง 00H-07H
0	1	Bank 1 ตำแหน่ง 08H-0FH
0	0	Bank 2 ตำแหน่ง 10H-17H
0	0	Bank 3 ตำแหน่ง 18H-1FH

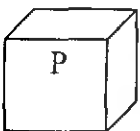
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(Overflow) เป็นค่าแสดงสถานะเมื่อมีการคำนวณหรือการกระทำทางลอจิก ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าเกินกว่าที่ตำแหน่งหน่วยความจำจะรับได้ ทำให้สถานะนี้เป็น “1” และยังสามารถใช้เป็นค่าแสดงผลที่เป็นลบ



บิตนี้ได้ใช้งาน ผู้ใช้สามารถนำไปใช้งานได้



(Parity Flag) ใช้ตรวจสอบค่าที่เก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ A แต่ละบิตมีค่าบิตเป็น 1 รวมกันเป็นจำนวนคู่หรือคี่ ถ้ามีจำนวนเป็นคู่ ค่าสถานะนี้จะเป็น “1” แต่ถ้าเป็นจำนวนคี่จะมีค่าสถานะเป็น “0”

#### รีจิสเตอร์สแตก ( SP = Stack Pointer )

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีตำแหน่งอยู่ที่ 81H ใช้เก็บตำแหน่งตัวชี้ค่าสแตก ( เข้าที่หลังออกก่อน ) และใช้เก็บค่าตำแหน่งของโปรแกรมหลัก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์กระโดดไปทำงานโปรแกรมย่อยเสร็จ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะกลับมาทำงานที่โปรแกรมหลักอีกที ก่อนที่จะกระโดดไป ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเก็บค่าตำแหน่งไว้ที่สแตกก่อน ในกรณีการเขียนโปรแกรมย่อยหลายๆ โปรแกรมค่าสแตกก็จะมีการเก็บค่าตำแหน่งมากขึ้น ที่ต้องใช้งานก็เพิ่มมากขึ้น ค่ารีจิสเตอร์สแตกสามารถกำหนดตำแหน่งใหม่ได้แต่ถ้าไม่กำหนดตำแหน่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 จะกำหนดตำแหน่งไว้ที่ 07H

#### รีจิสเตอร์เป็นตัวนับขั้นตอนในโปรแกรม ( PC = Program Counter )

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต มีหน้าที่บอกตำแหน่งการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละคำสั่งจะมีขนาดความยาวโค้ดคำสั่งต่างกันซึ่งมีความสำคัญมากในการตรวจสอบการเขียนของโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลและปฏิบัติตามลำดับขั้นตอนแผนงานที่ได้วางไว้ รีจิสเตอร์ตัวนับขั้นตอนในโปรแกรมจะเป็นตัวเก็บค่าตำแหน่งทุกตำแหน่งที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานอยู่ปัจจุบัน

#### รีจิสเตอร์ตัวชี้ข้อมูล ( DPTR = Pointer )

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต 2 ชุด ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ไบต์ต่ำ ( DPH ) อยู่ที่ตำแหน่ง 82H และ 83H สามารถใช้ได้ 8 บิต และใช้รวมเป็นขนาด 16 บิต ทำหน้าที่กำหนดตำแหน่งข้อมูลในหน่วยความจำติดต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### รีจิสเตอร์พอร์ต (Port Register)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้กำหนดให้ติดต่อทุกอย่างกระทำผ่านพอร์ต ซึ่งมีอยู่ 4 พอร์ต มีขนาดพอร์ต 8 บิต คือ พอร์ต 0 ( P0 = 80H ) พอร์ต 1 ( P1 = 90H ) พอร์ต 2 ( P2 = A0H ) และพอร์ต 3 ( P3 = B0H ) ทุกพอร์ตสามารถใช้อินพุตและเอาต์พุตที่ควบคุมได้ระดับบิต

### รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (SBUF = Serial Data Buffer)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต อยู่ที่ตำแหน่ง 99H ซึ่งปกติใช้การติดต่อข้อมูลอนุกรม มีบัฟเฟอร์ 2 ชุด คือบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) ผ่านไปยังขาTXDและบัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูล (receive buffer register) ผ่านมายังขา RXD เมื่อต้องการส่งข้อมูลอนุกรมก็สามารถเขียนข้อมูลไปยังรีจิสเตอร์ SBUF และข้อมูลจะถูกส่งไปยังบัฟเฟอร์เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งข้อมูลออกไปภายนอก

### รีจิสเตอร์เกี่ยวกับเวลา (Timer Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต แบ่งเป็น รีจิสเตอร์คู่ คือ ไบต์ต่ำและไบต์สูง ใช้เก็บค่าของตัวนับเวลา ( counter ) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้เป็นฐานเวลา หรือจับเวลานับจำนวนสัญญาณนาฬิกา ( pulse ) ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ประกอบด้วย TH0 TH1 , TL0 TL1 หรือ TL2 TH2

### รีจิสเตอร์แคปเจอร์ (Capture Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต คือ RCAP2L ไบต์ต่ำ และ RCAP2H ไบต์สูง ใช้ร่วมกับ TL2 TH2 ทำหน้าที่ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจจับเวลาการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกที่ขา T2EX เพื่อใช้วัดคาบเวลา ความถี่ และการเปลี่ยนแปลงสัญญาณนาฬิกาที่ขา T2EX

### รีจิสเตอร์ควบคุม (Control Register)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานส่วนต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งประกอบด้วยรีจิสเตอร์ต่อไปนี้

#### รีจิสเตอร์ PCON (Power Control Register)

ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการกำหนดให้สัญญาณนาฬิกาหยุดทำงาน ทำให้ส่วนต่างๆ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์หยุดทำงานด้วย ซึ่งเป็นการลดพลังงานเมื่อไม่ต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน ( sleep mode )

#### รีจิสเตอร์ SCON (Serial Control Register)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ควบคุมวงจรการสื่อสารแบบอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

#### รีจิสเตอร์ TCON , T2CON และ TMOD T2MOD

ใช้ควบคุมการทำงานของวงจรจับเวลา/นับเวลาภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

**รีจิสเตอร์ IE และ IP ( Interrupt Enable Control และ Interrupt Priority Control )**  
เป็นรีจิสเตอร์ที่ควบคุมการอินเทอร์รัพต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ มี IE(Interrupt Enable) เป็นรีจิสเตอร์สนองการทำงานของสัญญาณอินเทอร์รัพต์ และรีจิสเตอร์ IP ( Priority Interrupt ) ทำหน้าที่จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณตอบสนองการอินเทอร์รัพต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในกรณีเริ่มต้นการทำงานใหม่ของไมโครคอนโทรลเลอร์หรือรีเซตเครื่อง ค่ารีจิสเตอร์ต่างๆ ที่อยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะถูกเซตค่าใหม่ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่ารีจิสเตอร์ต่างๆ เมื่อเริ่มต้นทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS51

สัญลักษณ์	ชื่อ	เลขฐานสอง
*Acc	Accumulator	00000000
*B	B Register	00000000
*PSW	Program Status Word	00000000
SP	Stack Pointer	00000111
DPTR	Data Pointer 2 ไบต์(DPH,DPL)	
DPL	ไบต์ต่ำ ( Low byte )	00000000
DPH	ไบต์สูง ( High byte )	00000000
*P0	Port 0	11111111
*P1	Port 1	11111111
*P3	Port 2	11111111
*1P	Port 3	11111111
*IE	Interrupt Priority Control	8051 xxx00000 , 8052 xx00000
TMOD	Interrupt Enable Control	8051 0xx00000 , 8052 xx00000
*TCON	Timer /Counter Mode Control	00000000
*+T2CON	Timer /Counter Control	00000000
TH0	Timer /Counter 2 Control	00000000
TH1	Timer /Counter 1 High byte	00000000
TL	Timer /Counter 1 Low byte	00000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

+TH2	Timer /Counter 2 High byte	00000000
*+T2CON	Timer/Counter 2 Control	0C8H
+TL2	Timer /Counter 2 Low byte	00000000
+RCAP2H	T/C 2 Capture Reg. High byte	00000000
+RCAP2L	T/C 2 Capture Reg. Low byte	00000000
*SCON	Serial Control	00000000
SBUF	Serial Data Buffer	ไม่ได้กำหนด
PCON	Power Control	0xxxxxxx

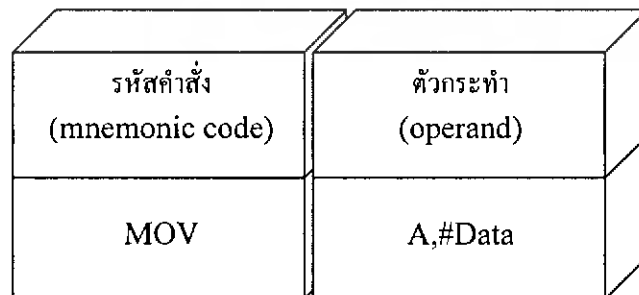
### 3.6 ชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีชุดคำสั่งทั้งหมด 111 คำสั่ง และแบ่งหน้าที่การทำงานออกเป็นกลุ่มตามลักษณะของงานที่ทำเพื่อให้ผู้เรียนสามารถศึกษาได้สะดวกขึ้นซึ่งประกอบด้วยกลุ่มคำสั่งต่อไปนี้

- 1.กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic instruction)
- 2.กลุ่มคำสั่งการกระทำลอจิก (Logical instruction)
- 3.กลุ่มสั่งการเคลื่อนย้ายข้อมูล (data transfer instruction)
- 4.กลุ่มคำสั่งการจัดการข้อมูลระดับบิต (bit manipulated instruction)
- 5.กลุ่มคำสั่งกระโดด (branch instruction)

#### 3.6.1 รูปแบบการเขียนคำสั่ง

ภาษาแอสเซมบลีของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะมีรูปแบบมาตรฐานคล้ายกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ทั่วๆ ไป ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนที่เป็นรหัสคำสั่ง (mnemonic code) ส่วนที่เป็นตัวกระทำ (operand) ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 รูปแบบการเขียนภาษาแอสเซมบลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รหัสคำสั่ง (mnemonic code) คือ MOV เป็นคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รู้หน้าที่การทำงานและการย้ายข้อมูลจากค่าตัวกระทำ (operand) คือ A,#Data และนำเอาข้อมูลจากที่กำหนดโดยตรงมาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A ที่อยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

การคำนวณหาเวลาในการทำงานของแต่ละคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้สามารถทราบถึงเวลาในการทำงานของคำสั่งในโปรแกรมทั้งหมด เพื่อกำหนดและออกแบบวงจรควบคุมอุปกรณ์ภายนอกให้ทำงานสัมพันธ์กัน โดยเฉพาะกำหนดวงเวลาการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งการทำงานในแต่ละคำสั่งจะใช้เวลาประมวลผลที่แตกต่างกัน ทุกคำสั่งจะมีค่าเวลาของรอบการทำงานที่แน่นอน และสามารถคำนวณหาเวลาของรอบการทำงานได้จากวิธีการต่อไปนี้

สูตรที่ใช้คำนวณ

$$\text{Time} = \text{Mc} \times 12 / f_{\text{crystal}} \quad \text{สมการที่ 1.2}$$

Time = เวลาที่ใช้ในการประมวลผลคำสั่งทั้งหมด (s)  
 Mc = เวลาของรอบการทำงานของคำสั่ง  
 $f_{\text{crystal}}$  = ความถี่ของคริสตัลที่ต่อในวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้กับ

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

### 3.6.2 ค่าตัวแปรที่กำหนดให้คำสั่ง

ในชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 จะใช้ค่าตัวแปรหรืออักษรย่อต่างๆ ในการกำหนดตำแหน่งการทำงาน ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ค่าตัวแปรที่กำหนดในคำสั่ง

สัญลักษณ์	รายละเอียดการทำงานของแต่ละตำแหน่ง
Rn	รีจิสเตอร์แบงก์ R0-R7 ในตำแหน่งที่กำหนดปัจจุบัน
direct	ข้อมูล 8 บิต เป็นตำแหน่งหน่วยความจำข้อมูล (RAM) เข้าถึงได้โดยตรง (0-127) หรือ รีจิสเตอร์ SFR (128-256)
@Ri	ข้อมูล 8 บิต เป็นตำแหน่งหน่วยความจำข้อมูล (RAM) ภายใน เข้าถึงได้โดยตรง (0-256) โดยอ้างผ่านรีจิสเตอร์ R0 และ R1
#data	ค่าคงที่ขนาด 8 บิต เป็นการกำหนดข้อมูลโดยตรงในคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#data 16	ค่าคงที่ขนาด 16 บิต เป็นการกำหนดข้อมูลโดยตรงในคำสั่ง
Add 16	ข้อมูล 16 บิต เป็นค่าตำแหน่งการกระโดดไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ในหน่วยความจำโปรแกรม ซึ่งสามารถกระโดดไปที่ระยะทาง 64 กิโลไบต์ ใช้กับคำสั่ง LCALL , LJMP
Add 11	ข้อมูล 11 บิต เป็นค่าตำแหน่งการกระโดดไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ในหน่วยความจำโปรแกรม ซึ่งสามารถกระโดดไปที่ระยะทาง 64 กิโลไบต์ ใช้กับคำสั่ง ACALL , AJMP
rel	ข้อมูล 8 บิต เป็นการอ้างอิงระยะทางของไมโครคอนโทรลเลอร์ และจะกระโดดไปทำงานในระยะทางอ้างอิงตั้งแต่ -128 ถึง + 127 ไบต์
bit	เป็นตำแหน่งบิตที่เข้าถึงได้โดยตรงของหน่วยความจำข้อมูลภายใน หรือรีจิสเตอร์ SFR ( Special Function Register )

### 3.6.3 กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ ( Arithmetic Instruction )

เป็นชุดคำสั่งที่ทำงานเกี่ยวกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ การบวก การลบ การคูณ การหาร การเพิ่มค่าและลดค่า ซึ่งจะใช้รีจิสเตอร์ Acc และ B เป็นตัวทำงานหลัก ส่วนคำสั่งการลดค่าและเพิ่มค่ากระทำได้กับรีจิสเตอร์ทั่วไปและหน่วยความจำ ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์

รหัสคำสั่ง	รายละเอียดของคำสั่ง	รหัสไบต์	จำนวน ควบเวลา
ADD A,Rn	บวกค่าในรีจิสเตอร์ Acc ด้วยรีจิสเตอร์ Rn	1	12
ADD A,direct	บวกค่าในรีจิสเตอร์ Acc ด้วยรีจิสเตอร์ direct	2	12
ADD A,@Ri	บวกค่าในรีจิสเตอร์ Acc ด้วย RAM ภายในผ่านรีจิสเตอร์ Ri	1	12
ADD A,#data	บวกค่าข้อมูลกับรีจิสเตอร์ Acc	2	12
ADDC A,Rn	บวกค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยรีจิสเตอร์ Rn พร้อมบิต ตัวทด	1	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADDC A,Direct	บวกค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่าใน direct พร้อมบิตตัวทศ	2	12
ADD A,@Ri	บวกค่าใน RAM ภายในกับรีจิสเตอร์ Acc พร้อมบิตตัวทศ	1	12
ADDC A,#data	บวกค่าข้อมูลกับรีจิสเตอร์ Acc พร้อมบิตตัวทศ	1	12
SUBB A,Rn	ลบค่าในรีจิสเตอร์ Acc ด้วยรีจิสเตอร์ Rn พร้อมบิตตัวทศ	1	12
SUBB A,Direct	ลบค่าในรีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่าใน direct พร้อมบิตตัวทศ	1	12
SUBB A,@Ri	ลบค่าในรีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่า RAM ภายใน พร้อมบิตตัวทศ	2	12
SUBB A,#data	ลบค่าในรีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่าข้อมูล พร้อมบิตตัวทศ	1	12
INC A	เพิ่มค่าข้อมูลใน Acc ขึ้น 1 ค่า	1	12
INC Rn	เพิ่มค่าข้อมูลใน Rn ขึ้น 1 ค่า	2	12
INC Direct	เพิ่มค่าข้อมูลใน direct ขึ้น 1 ค่า	1	12
INC @Ri	เพิ่มค่าใน direct RAM ผ่านรีจิสเตอร์ Ri ขึ้น 1 ค่า	1	12
DEC A	ลดค่าในรีจิสเตอร์ Acc ลง 1 ค่า	1	12
DEC Rn	ลดค่าใน Rn ลง 1 ค่า	1	12
DEC @Ri	ลดค่าใน direct RAM ผ่านรีจิสเตอร์ Ri ลง 1 ค่า	1	12
INC DPTR	เพิ่มค่าในรีจิสเตอร์ DPTR ขึ้น 1 ค่า	1	24
MUL AB	คูณค่าในรีจิสเตอร์ Acc ด้วยรีจิสเตอร์ B	2	48
DLV AB	หารค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยรีจิสเตอร์ B	2	48
DA A	ปรับค่าในรีจิสเตอร์ Acc ให้เป็นฐาน 10	1	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6.4 กลุ่มคำสั่งการกระทำลอจิก ( Logical Instruction )

กลุ่มคำสั่งที่ทำงานเกี่ยวกับการกระทำทางลอจิกเบื้องต้น ได้แก่ วงจรลอจิก AND , OR , NOT, X-OR การหมุนและเลื่อนค่าในรีจิสเตอร์ การแลกเปลี่ยนของค่าระหว่างรีจิสเตอร์และหน่วยความจำ ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 กลุ่มคำสั่งการกระทำลอจิก

รหัสคำสั่ง	รายละเอียดของคำสั่ง	รหัสไบต์	จำนวนคาบเวลา
ANL A,Rn	AND ค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยรีจิสเตอร์ Rn	1	12
ANL A.direct	AND ค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่าใน direct	2	12
ANL A,@Ri	AND ค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่าในหน่วยความจำผ่านค่ารีจิสเตอร์ Ri ( R0,R1 )	1	12
ANL A,#data	AND ค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่าข้อมูลโดยตรง	2	12
ANL direct,A	AND ค่าใน direct ด้วยค่าในรีจิสเตอร์ Acc	2	12
ANL direct,#data	AND ค่าใน direct ด้วยค่าข้อมูลโดยตรง	3	12
ORL A,Rn	ORL ค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยรีจิสเตอร์ Rn	1	12
ORL A.direct	ORL ค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่าใน direct	2	12
ORL A,@Ri	ORL ค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่าในหน่วยความจำผ่านค่ารีจิสเตอร์ Ri ( R0,R1 )	1	12
ORL A,#data	ORL ค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่าข้อมูลโดยตรง	2	12
ORL direct,A	ORL ค่าใน direct ด้วยค่าในรีจิสเตอร์ Acc	2	12
ORL direct,#data	ORL ค่าใน direct ด้วยค่าข้อมูลโดยตรง	3	12
XRL A,Rn	XRL ค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยรีจิสเตอร์ Rn	1	12
XRL A.direct	XRL ค่ารีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่าใน direct	2	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XRL A,@Ri	XRL คำรีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่าในหน่วยความจำผ่านคำรีจิสเตอร์ Ri ( R0,R1 )	1	12
XRL A,#data	XRL คำรีจิสเตอร์ Acc ด้วยค่าข้อมูลโดยตรง	2	12
XRL direct,A	XRL ค่าใน direct ด้วยค่าในรีจิสเตอร์ Acc	2	12
XRL direct,#data	XRL ค่าใน direct ด้วยค่าข้อมูลโดยตรง	3	24
CLR A	ทำให้คำรีจิสเตอร์ Acc มีค่าเป็น 0 ทุกบิต	1	12
CPL A	กลุ่มค่าในรีจิสเตอร์ Acc ให้มีค่าจาก 0 $\rightarrow$ 1 และจาก 1 $\rightarrow$ 0	1	12
RL A	หมุนค่าในรีจิสเตอร์ Acc จาก 7 ไปบิต 0	1	12
RLC A	หมุนค่าในรีจิสเตอร์ Acc จาก 7 ผ่านบิตตัวทศไปบิต 0	1	12
RR A	หมุนค่าในรีจิสเตอร์ Acc จาก 0 ไปบิต 7	1	12
RRC A	หมุนค่าในรีจิสเตอร์ Acc จาก 0 ผ่านบิตตัวทศไปบิต 7	1	12
SWAP A	สลับค่าบิตภายในรีจิสเตอร์ Acc จาก $(A_{3-0}) \leftrightarrow (A_{7-4})$	1	12

### 3.6.5 กลุ่มคำสั่งการเคลื่อนย้ายข้อมูล (Data Transfer Instruction)

คำสั่งการเคลื่อนย้ายข้อมูลเป็นการคัดลอกข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์กับรีจิสเตอร์ รีจิสเตอร์กับหน่วยความจำทั้งภายในและภายนอก และหน่วยความจำกับหน่วยความจำ ตารางรูปที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 กลุ่มคำสั่งการเคลื่อนย้ายข้อมูล

รหัสคำสั่ง	รายละเอียดของคำสั่ง	รหัสไบต์	จำนวนคาบเวลา
MOV A,Rn	คัดลอกข้อมูลจากรีจิสเตอร์ Rn ไปที่รีจิสเตอร์ Acc	1	12
MOV A,direct	คัดลอกข้อมูลจาก direct ไปที่รีจิสเตอร์ Acc	2	12
MOV A,@Ri	คัดลอกข้อมูลจากหน่วยความจำ RAM ไปที่รีจิสเตอร์ Acc	1	12
MOV A,#data	คัดลอกข้อมูลโดยตรงไปที่รีจิสเตอร์ Acc	2	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOV Rn,A	คัดลอกข้อมูลจากรีจิสเตอร์ Acc ไปที่รีจิสเตอร์ Rn	1	12
MOV Rn,direct	คัดลอกข้อมูลจาก direct ไปที่รีจิสเตอร์ Rn	2	24
MOV Rn,#data	คัดลอกข้อมูลจากข้อมูลโดยตรงไปที่รีจิสเตอร์ Rn	2	12
MOV direct,A	คัดลอกข้อมูลจากรีจิสเตอร์ Acc ไปที่ direct	2	12
MOV direct,Rn	คัดลอกข้อมูลจากรีจิสเตอร์ Rn ไปที่ direct	2	24
MOV direct,direct	คัดลอกข้อมูลจาก direct ไปที่ direct	3	24
MOV direct,@Ri	คัดลอกข้อมูลจากหน่วยความจำ RAM ไปที่ direct	2	24
MOV direct,#data	คัดลอกข้อมูลจากข้อมูลโดยตรงไปที่ direct	3	24
MOV @Ri,A	คัดลอกข้อมูลจากรีจิสเตอร์ Acc ไปที่ หน่วยความจำ RAM	1	12
MOV @Ri,direct	คัดลอกข้อมูลจาก direct ไปที่หน่วยความจำ RAM	2	24
MOV @Ri,#data	คัดลอกข้อมูลจากข้อมูลไปที่หน่วยความจำ RAM	2	24
MOV DPTR,#DATA 16	คัดลอกข้อมูล 16 บิต จากข้อมูล ไปที่รีจิส เตอร์ DPTR	3	24
MOVC A,@A+DPTR	คัดลอกข้อมูลจากตำแหน่ง A+DPTR ไปที่รีจิส เตอร์ Acc	1	24
MOVC A,@A+PC	คัดลอกข้อมูลจากตำแหน่ง A+PC ไปที่รีจิสเตอร์ Acc	1	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOVX @Ri,A	คัดลอกข้อมูลจาก RAM ภายนอกไปที่รีจิสเตอร์ Acc	1	24
MOVX @DPTR,A	คัดลอกข้อมูลจากรีจิสเตอร์ Acc ไปที่รีจิสเตอร์ DPTR กำหนด	1	24
PUSH DIRECT	นำข้อมูล 8 บิต ไปเก็บในสแตค ( SP )	2	24
POP DIRECT	นำข้อมูล 8 บิต ออกเก็บในสแตค ( SP )	2	24
XCH A,Rn	แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์ Acc กับรีจิสเตอร์ Rn	1	12
XCH A,DIRECT	แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์ Acc กับ หน่วยความจำ RAM	2	12
XCH A,@Ri	แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์ Acc กับรีจิสเตอร์ Ri กำหนด ตำแหน่ง	1	12
XCHD A,@Ri	แลกเปลี่ยนบิต 3-0 ระหว่างรีจิสเตอร์ Acc กับ ตำแหน่ง direct	1	12

### 3.6.6 กลุ่มคำสั่งการจัดการข้อมูลระดับบิต ( Bit Manipulated Instruction )

เป็นกลุ่มของคำสั่งที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับหน่วยความจำ ที่เข้าถึงระดับบิตโดยตรง (รีจิสเตอร์ หน่วยความจำภายใน ) โดยการเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูลระดับบิต การทำให้มีค่าสถานะลอจิกเป็น “0” หรือ “1” การกลับค่าบิต ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 กลุ่มคำสั่งการจัดการข้อมูลระดับบิต

รหัสคำสั่ง	รายละเอียดของคำสั่ง	รหัสไบต์	จำนวน คาบเวลา
CLR C	ทำให้บิตตัวทศมีค่าเป็น 0	1	12
CLR bit	ทำให้บิตที่กำหนดมีค่าเป็น 0	2	12
SETB C	กำหนดให้บิตตัวทศมีค่าเป็น 1	1	12
SETB bit	ทำให้บิตที่กำหนดมีค่าเป็น 1	2	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CPL	กลับค่าในบิตตัวทศจาก 0 → 1, 1 → 0	1	12
CPL bit	กลับค่าในบิตที่กำหนดตัวทศจาก 0 → 1, 1 → 0	2	24
ANL C,bit	AND บิตตัวทศด้วยบิตที่กำหนด	2	24
ANL C,/bit	AND บิตตัวทศด้วยบิตที่กำหนดกลับค่า	2	12
ORL C,bit	OR บิตตัวทศด้วยบิตที่กำหนด	2	24
ORL C,/bit	OR บิตตัวทศด้วยบิตที่กำหนดกลับค่า	2	24
MOV C,bit	คัดลอกบิตที่กำหนดไปบิตตัวทศ	2	24
MOV bitj,C	คัดลอกบิตตัวทศไปบิตที่กำหนด	2	24
JC rel	กระโดดไปที่ตำแหน่ง rel เมื่อบิตตัวทศมีค่าเป็น 1	2	24
JNC rel	กระโดดไปที่ตำแหน่ง rel เมื่อบิตตัวทศมีค่าไม่เป็น 1	2	24
JB bit,rel	กระโดดไปเมื่อบิตที่กำหนดมีค่าเป็น 1	3	24
JNB bit,rel	กระโดดไปเมื่อบิตที่กำหนดมีค่าไม่เป็น 1	3	24
JBC bit,rel	กระโดดไปเมื่อบิตกำหนดเป็น 1 และทำให้บิตนั้นเป็น 0	3	24

### 3.6.7 กลุ่มคำสั่งการกระโดด ( Branch Instruction )

เป็นกลุ่มคำสั่งที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับการกระโดดไปที่ตำแหน่งที่โปรแกรมกำหนด โดยมีลักษณะการกระโดดอยู่ 2 แบบ คือ การกระโดดโดยไม่มีเงื่อนไข เมื่อพบคำสั่งก็กระโดดไปตำแหน่งที่กำหนดทันทีและการกระโดดโดยมีเงื่อนไข เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์พบคำสั่งจะต้องตรวจสอบเงื่อนไขก่อนว่าเป็นไปตามที่กำหนดหรือไม่ ถ้าถูกต้องจึงกระโดดไปที่ตำแหน่งที่กำหนด

การกระโดดไปทำงานก็มีรูปแบบคือ กระโดดไปโดยเป็นการเรียกใช้โปรแกรมย่อย โดยจะต้องกลับมาทำงานได้ก็ต่อเมื่อเสร็จจากการทำงานในโปรแกรมย่อย (ACALL, LCALL) และกระโดดไปทำงานโดยไม่กลับมา (SJMP, LJMP) ระยะทางการกระโดดก็มีให้เลือกเป็นระยะแบบสั้น (256 ไบต์ หรือ 2 กิโลไบต์) ระยะ (64 กิโลไบต์) ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 กลุ่มคำสั่งการกระโดด

รหัสคำสั่ง	รายละเอียดของคำสั่ง	รหัสไบต์	จำนวน คาบเวลา
ACALL addr11	เรียกโปรแกรมย่อยที่ addr11	2	24
LCALL addr16	เรียกโปรแกรมย่อยที่ addr16	3	24
RET	กลับจากโปรแกรมย่อยไปโปรแกรมหลัก	1	24
RETI	กลับจากการเรียกใช้อินเตอร์รัปต์	1	24
AJMP addr11	กระโดดทำงานที่กำหนดตำแหน่งด้วย addr11	2	24
LJMP addr16	กระโดดทำงานที่กำหนดตำแหน่งด้วย addr16	3	24
SJMP rel	กระโดดไปทำงานที่กำหนดตำแหน่งด้วย rel	2	24
JMP @A+DPTR	กระโดดไปทำงานที่ตำแหน่ง A+DPTR	1	24
JZ rel	กระโดดไปทำงานที่ rel เมื่อค่าในรีจิสเตอร์ Acc = 00	2	24
JNZ rel	กระโดดไปทำงานที่ rel เมื่อค่าในรีจิสเตอร์ Acc $\neq$ 00	2	24
CJNE A,direct,rel	ถ้า direct $\neq$ Acc กระโดดไปที่ rel	3	24
CJNE A,#data,rel	ถ้า #data $\neq$ Acc กระโดดไปที่ rel	3	24
CJNE Rn,#data,rel	ถ้า direct $\neq$ Rn กระโดดไปที่ rel	3	24
CJNE @Ri,#data,rel	ถ้า direct $\neq$ Ri กระโดดไปที่ rel	3	24
DJNZ Rn,rel	ถ้า Rn-1 $\neq$ 0 กระโดดไปที่ rel	2	24
DJNZ direct,rel	ถ้า direct - 1 $\neq$ 0 กระโดดไปที่ rel	3	24
NOP	เพิ่มค่า PC ขึ้น 1 ค่า (ไม่มีการทำงานอย่างอื่น)	1	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Digital-to-Analog Converters)

### 4.1 พื้นฐานของสัญญาณไฟฟ้า

สัญญาณที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มี 2 ชนิด คือ สัญญาณอนาล็อก และสัญญาณดิจิทัล สัญญาณอนาล็อกจะใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ ไปและใช้ในการควบคุมแบบเก่า

ในปัจจุบันมีไมโครโปรเซสเซอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ เข้ามาช่วยในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ มากมาย ซึ่งทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และรวดเร็วยิ่งขึ้น แต่ในการควบคุมนั้นเราจำเป็นต้องใช้ สัญญาณดิจิทัลในการติดต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ในความเป็นจริงนั้น เราใช้สัญญาณอนาล็อกในการควบคุม ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วจึงนำสัญญาณนั้นเข้ามาสู่ หรือไมโครโปรเซสเซอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อใช้ควบคุมระบบต่อไป

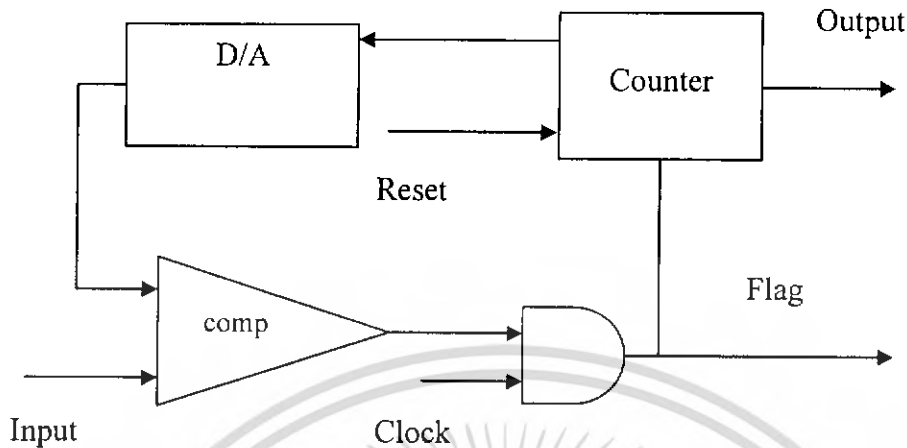
แม้ว่าสัญญาณอนาล็อกนั้นมีความแน่นอน และแม่นยำสูงแต่สัญญาณอนาล็อกนั้นก็ควบคุมได้ยาก เนื่องจากในสภาพแวดล้อม มีสัญญาณรบกวนอยู่มาก และการที่จะทำให้ การควบคุมแบบอนาล็อก มีความสามารถควบคุม เท่ากับการควบคุมแบบดิจิทัลนั้น ทำได้ยาก เนื่องจากวงจรควบคุมแบบอนาล็อกจะต้องมีความซับซ้อนสูง

อย่างไรก็ตาม สัญญาณดิจิทัลก็ไม่สามารถทดแทนความละเอียดของสัญญาณอนาล็อกได้อย่างสมบูรณ์ แต่ทำให้การควบคุมนั้นทำได้ง่าย และสะดวกยิ่งขึ้น

### 4.2 กระบวนการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

#### 4.2.1 Counting Converter

Counting Converter เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดของการแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้อัลกอริทึม การนับค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แล้วนำผลที่ได้จากการนับไปเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการที่ตั้งไว้ ลักษณะการทำงานเป็นดังรูป 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างการทำงานของ Counting Converter

จากวงจร Counter เป็นอุปกรณ์นับค่าที่เพิ่มขึ้นทีละหนึ่ง แล้วส่งค่าที่ได้ให้ D/A มีขา Reset รับสัญญาณ Reset เมื่อต้องการให้เริ่มนับใหม่ D/A เมื่อรับค่าที่นับเพิ่มขึ้นทีละหนึ่งจากตัวนับ ก็แปลงค่าให้เป็นสัญญาณ อนาล็อกที่มีค่าความต่างศักย์ค่าๆ หนึ่ง แล้วส่งต่อเข้าไปที่อุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบ(Comparator)

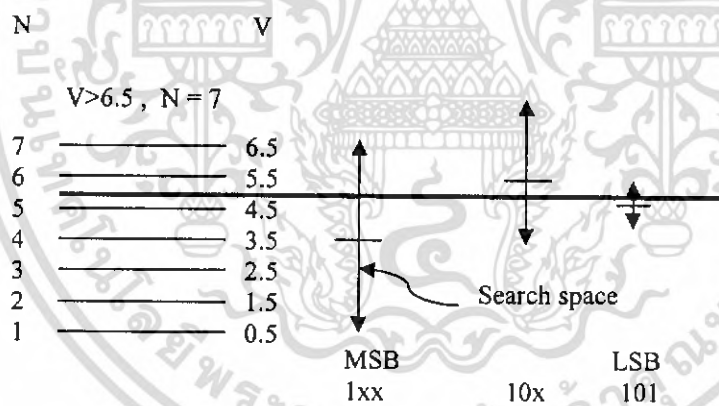
Comparator จะเป็นอุปกรณ์ตัวเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ ของอินพุต และค่าจากที่ตัวนับ ถ้าหากทั้งสองสัญญาณมีค่าเท่ากันส่งค่าความต่างศักย์ 0 โวลต์ออกมา(ลอจิก 0) ถ้าไม่เท่ากันก็จะส่งความต่างศักย์ที่ไม่ใช่ 0 โวลต์ออกมา(ลอจิก 1) ซึ่งค่าความต่างศักย์ที่ออกมา จะนำมาเข้าลอจิกเกต "และ" กับ สัญญาณนาฬิกา จะได้ค่าลอจิกออกมา ถ้าผลลัพธ์ออกมาเป็นสัญญาณนาฬิกาแสดงว่ายังไม่ได้ผลลัพธ์เท่าที่ต้องการ สัญญาณนาฬิกาจะไปทำให้ตัวนับนับเพิ่มขึ้นต่อไป และเมื่อได้ค่าผลลัพธ์ดิจิทัลที่ต้องการแล้ว ค่าที่ได้จาก ตัวเปรียบเทียบจะให้ค่าความต่างศักย์เป็น 0 (ลอจิก 0) ซึ่งเมื่อนำมาเข้าลอจิกเกต "และ" กับสัญญาณนาฬิกาแล้ว ก็จะทำให้ลอจิก 0 ซึ่งทำให้ตัวนับไม่นับเพิ่มอีก ก็จะได้ค่าดิจิทัลจากตัวนับที่ต้องการ

ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การนับต้องเริ่มนับที่ 0 เสมอ และนับเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ช้า เอาท์พุทที่ได้จะมี delay จึงไม่ค่อยนิยมใช้เท่าที่ควร จึงได้เปลี่ยนตัวนับเป็นแบบนับลงได้ด้วย ซึ่งจะอ้างอิงระดับจากระดับเก่า ทำให้ไม่จำเป็นต้องนับ 0 ใหม่ เมื่อมีการเปลี่ยนอินพุตใหม่ แต่ให้อ้างอิงกับผลลัพธ์เดิม ทำให้ได้ผลลัพธ์เร็วขึ้น

### 4.2.2 Successive Approximation

ใช้หลักการของ "binary search" ในการหาคำตอบ โดยนำค่าผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับค่ากึ่งกลางของช่วง เพื่อให้ทราบว่า คำนั้นๆ มากกว่า หรือน้อยกว่า โดยจะปรับช่วงให้แคบลงมาเรื่อยๆ แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับค่ากึ่งกลางของช่วงไปเรื่อยๆ จนได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ เช่น เลขที่เป็นคำตอบคือ 3 จากช่วงของคำตอบที่ 0-7 ครั้งแรกเอาค่า  $(0+7)/2 = 4$  มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่า คำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 2 ก็เลือกค่า  $(0+4)/2 = 2$  มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่มากกว่า 2 แต่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 3 ก็เลือกค่า  $(2+4)/2 = 3$  มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการ ข้อดีของวิธีนี้ คือ เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ n รอบแน่นอน (สำหรับ n bit converter) ซึ่งอ้างอิงได้  $2^n$  ระดับ และระดับ  $V_{in}$  ที่คงที่) ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าแบบ "Counting Algorithm"

แต่มีข้อเสีย คือถ้า  $V_{in}$  เปลี่ยนทันทีทันใด ขณะที่กำลังทำ binary search อยู่ นั่น คำตอบที่ได้จะผิดพลาด ตัวอย่างเช่น เปลี่ยน  $V_{in}$  จาก 5 Volt เป็น 2 Volt ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 binary search

ช่วงของ  $V_{in}$  คือ 1-7 ใช้  $n=3$  (เพราะว่า  $2^3=8$ )

ครั้งแรกใช้ 4 เปรียบเทียบกับ  $V_{in}$  (ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์) พบว่าอยู่ในช่วง lower ได้ 1xx

ครั้งที่ 2 ใช้ 2 เปรียบเทียบกับ  $V_{in}$  (ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์) พบว่าอยู่ในช่วง upper ได้ 10x

ครั้งที่ 3 ใช้ 3 เปรียบเทียบกับ  $V_{in}$  (ซึ่งเท่ากับ 5 โวลต์) พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จะผิดพลาดได้ 100

ADC แบบประมาณค่าสืบเนื่อง เป็น ADC ที่นิยมใช้กันมากที่สุด ส่วนมากเป็นเพราะว่ามี

การชดเชยข้อดีข้อเสีย ในด้านการแยกชุด ความเร็ว ความถูกต้อง และราคา ADC แบบนี้ใช้ลำดับ

ต่อเนื่องในการประมาณค่าเพื่อแสดงค่าดิจิทัลของแรงดันอินพุตอนาล็อก ใช้เวลาแปลงผันน้อยกว่า

เอกซารันเป็นเอกซารันที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้งานทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบวงจรมามาก และมีค่าคงที่อิสระจากค่า  $V_{in}$  แต่อย่างไรก็ตาม ADC แบบนี้ต้องใช้วงจรควบคุมที่ซับซ้อนมากขึ้น

วงจรแบบนี้ใช้รีจิสเตอร์แทนวงจรมามากในการจ่ายอินพุตไปยัง DAC ค่าไบนารีของรีจิสเตอร์ทำงานในลักษณะดังต่อไปนี้

1. ตัวเลขไบนารีถูกป้อนเข้าไปในรีจิสเตอร์ที่ตั้งค่า MSB เท่ากับ 1 และตั้งค่าบิตอื่นทั้งหมดเท่ากับ 0 ซึ่งทำให้ค่าเอาต์พุต DAC เท่ากับน้ำหนักของ MSB ถ้าค่านี้มากกว่า  $V_{in}$  วงจรเปรียบเทียบจะไป Low ซึ่งจะตั้งค่า MSB ให้เท่ากับที่ 0 อีกครั้ง แต่ถ้าน้อยกว่า  $V_{in}$  MSB จะคงที่อยู่ที่ 1

2. บิตนัยสำคัญตัวถัดไปที่ถูกตั้งไว้ที่ 1 และทำการเปรียบเทียบอีกครั้งหนึ่งเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1 ถ้าค่าใหม่มากกว่า  $V_{in}$  บิตนี้จะถูกตั้งค่าใหม่ให้เป็น 0 ไม่เช่นนั้นมันคงจะยังคงอยู่ที่ 1

3. บิตทั้งหมดตามจำนวนไบนารีในรีจิสเตอร์จะดำเนินไปตามลำดับเช่นนี้ กระบวนการนี้ต้องใช้หนึ่งคาบพัลส์นาฬิกาต่อหนึ่งบิต

4. หลังจากนั้นบิตทั้งหมดถูกทดสอบแล้ว เอาต์พุตของวงจรลอจิกจะจ่ายไบนารี 1 ไปที่ขั้วพัลส์นาฬิกาของรีจิสเตอร์ที่บันทึกค่าดิจิทัลของแรงดันอินพุตเอาต์พุต

เมื่อเปรียบเทียบเวลาแปลงผันสูงสุดของ ADC สัญญาณลาดเอียงดิจิทัลแบบ 8 บิตกับ ADC แบบประมาณค่าสี่บิตเนื่อง 8 บิตที่ใช้ความถี่นาฬิกา 1 MHz เหมือนกัน จะเห็นว่า ADC ทั้งสองแบบนี้มีความเร็วต่างกัน แบบสัญญาณลาดเอียงดิจิทัลมีเวลาแปลงผันสูงสุดเท่ากับ

$$2^N - 1 \times 1 \mu\text{s} = 2^8 - 1 \times 1 \mu\text{s} = 255 \mu\text{s}$$

เมื่อ  $N =$  จำนวนบิต

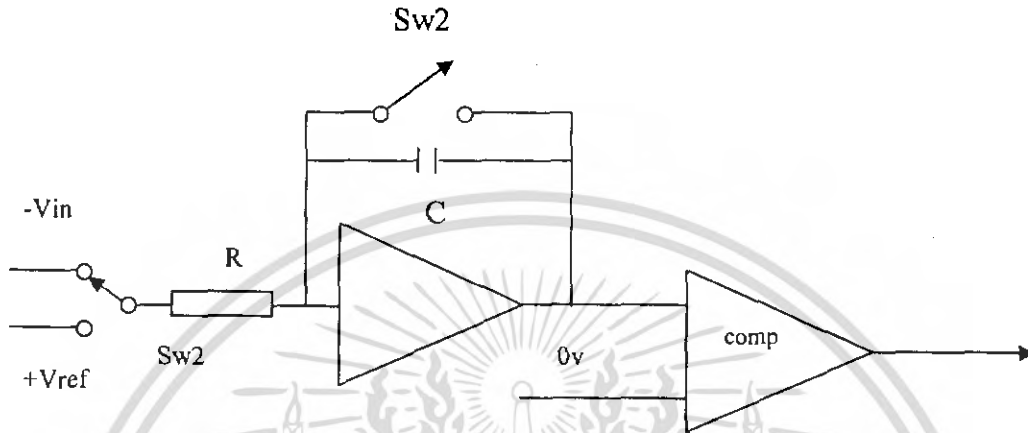
ADC แบบประมาณค่าสี่บิตเนื่องมีความเร็วในการแปลงผันสูงสุดของจำนวนบิตคูณด้วย คาบเวลานาฬิกา หรือ

$$8 \times 1 \mu\text{s} = 8 \mu\text{s}$$

เห็นได้ชัดว่า ADC แบบประมาณค่าสี่บิตเนื่องคือแบบที่นำเลือกใช้เมื่อต้องการความเร็วสูง นอกจากนี้ ยังมีจำนวนบิตมากเท่าไรก็ยิ่งดีกับความเร็วขึ้นเท่านั้น

### 4.2.3 Dual-Slope ADC

ใช้หลักการของวงจร Integrater ทำงานร่วมกับตัว Comparater ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 โครงสร้างการทำงานของ Dual-Slope ADC

Input Voltage มี 2 ตัว คือ ค่าความต่างศักย์อนาล็อกที่ต้องการแปลงเป็นดิจิทัล ( $-V_{in}$ ) และความต่างศักย์ที่คงที่ค่าหนึ่ง ( $V_{ref}$ ) และมีสวิตช์ SW1 ซึ่งทำหน้าที่เลือกค่าสัญญาณจากวงจรตอนเริ่มต้นสวิตช์ SW2 ทำหน้าที่คายประจุของตัวเก็บประจุ C แล้วจึงเปิด SW2 ออก เมื่อสวิตช์ SW1 สับมาที่  $-V_{in}$  ซึ่งเป็นวงจร Integrater ความเหมาะสมสำหรับ  $V_{ref}$  นั้นๆ เหมือนการเทียบค่าในตารางความเร็วของการแปลงสัญญาณแบบนี้ ขึ้นอยู่กับ  $V_{in}$  และ Slope ของวงจร integrater ซึ่งโดยธรรมชาติแล้ว ลักษณะของตัวเปรียบเทียบเองนั้น จะไม่เป็นอุดมคติ ก็จะมีผลต่างของความต่างศักย์อยู่ V โวลต์ แม้ว่าจะต่ออินพุตทั้งสองลงกราวด์แล้วก็ตาม ซึ่งถ้า  $V_{ref}$  ที่ใช้อยู่นั้นมีค่าน้อยกว่าค่าผลต่างของความต่างศักย์ที่เกิดจากตัวเปรียบเทียบ ความชันก็จะน้อย ทำให้เวลา  $t_m$  ใช้เวลานานมากกว่าที่จะฟันค่าความต่างศักย์ที่เกิดจากตัวเปรียบเทียบ เราจึงต้องนำค่าความต่างศักย์มาเพิ่มให้กับ  $V_{ref}$  เพื่อหาผลลัพธ์

### 4.2.4 Flash Converter

หลักการของ Flash Converter คือการใช้การแบ่งแรงดันเป็น Voltage หลายๆ ค่า แล้วเปรียบเทียบกับ  $V_{in}$  เป็นคู่ๆ พร้อมกันแล้วกระทำการทาง logic จากรูปมี Voltage เปรียบเทียบ 8 bit ค่าความต่างศักย์จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากค่าความต้านทานที่ต่อเพิ่มขึ้น ความต่างศักย์ที่ได้นั้น เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับ  $V_{in}$  แล้วมากกว่าก็จะปล่อยลอจิกออกมา ถ้ามากกว่าก็จะให้ลอจิก 1 ถ้า



#### 4.3.1 ลักษณะหน้าที่

ในชุด ADC0804 จะปิดสวิตช์อนาล็อกตามลำดับด้วยลอจิกประมารค่าสืบเนื่องจนกระทั่ง อินพุตไปที่วงจรเปรียบเทียบปรับศูนย์อัตโนมัติ [Vin(+)-Vin(-)] แมตซ์แรงดันจากวงจรถอดรหัส หลังจากบิตทั้งหมดถูกทดสอบและคำนวณค่าแล้ว รหัสไบนารี 8 บิตที่สัมพันธ์กับแรงดันอินพุตจะถูกโอนไปที่แลตช์เอาต์พุต (output latch) ถ้าอินพุต CS ต่ำ การแปลงผันเริ่มต้นเมื่อพัลส์มาถึงที่ อินพุต WR ในการเปลี่ยนสัญญาณจากสูงไปต่ำที่อินพุต WR หรือ CS รีจิสเตอร์ประมารค่า สืบเนื่อง จะเริ่มต้น และรีจิสเตอร์เลื่อนจะถูกตั้งค่าใหม่ และเอาต์พุต INTR จะถูกตั้งไว้สูง ADC จะคงอยู่ที่สถานะที่ตั้งค่าหมดครบเท่าที่อินพุตตัวหนึ่งหรือทั้งคู่เปลี่ยนจากต่ำไปสูง หลังจากเสร็จการแปลงผันแล้ว พิน INTR จะทำให้เปลี่ยนจากสูงไปต่ำ ลักษณะนี้อาจใช้ในการขัดจังหวะ โปรเซสเซอร์หรือสัญญาณอื่น ๆ สำหรับทำให้เกิดผลการแปลงผันใหม่ การแปลงผันที่ดำเนินอยู่ อาจจะถูกขัดจังหวะได้ด้วยการใส่คำสั่งเริ่มต้นอีกอย่างหนึ่ง

#### 4.3.2 การทำงานแบบอนาล็อก

การเปรียบเทียบอนาล็อกทำได้ด้วยการใช้วงจรรวมสัญญาณแบบอัตรัดประจุความจุ ตัวเก็บ ประจุอินพุตถูกสวิตช์ไปมาระหว่าง Vin(+) และ Vin(-) ในขณะที่ตัวเก็บประจุอ้างอิงถูกสวิตช์ไปมาระหว่างข้อต่อแยกในแถววงจรแบ่งแรงดันอ้างอิง การเปลี่ยนแปลงในขั้วสัมพันธ์กับผลต่างถ่วง น้ำหนักระหว่างอินพุตกับค่ารวมใหม่ที่กำหนดจาก SAR

การสวิตช์ภายในทำให้กระแสอินพุตอนาล็อกถูกขับไหล แรงดันบนความจุบนขั้วถูก สวิตช์ผ่านแรงดันอินพุตผลต่างอนาล็อก เป็นผลให้กระแสหนึ่งไหลเข้าอินพุต Vin(+) และไหลออก อินพุต Vin(-) กระแสชั่วคราวเหล่านี้เกิดขึ้นที่ขอบนำ (leading edge) ของพัลส์นาฬิกาภายใน ซึ่งจะ เสื่อมไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงไม่ก่อให้เกิดความผิดพลาดเหมือนกับวงจรเปรียบเทียบบนขั้วที่ถูกส ไตรบตอนท้ายคาบเวลานาฬิกา

#### 4.3.3 ตัวเก็บประจุบายพาสอินพุตและความต้านทานแหล่งจ่าย

##### (Input Bypass Capacitor and Source Resistance)

ตัวเก็บประจุบายพาสที่อินพุตจะเฉลี่ยการอัตรัดประจุที่กล่าวถึงในหัวข้อก่อนหน้านี้ ซึ่งทำให้ กระแส dc และ ac ไหลผ่านความต้านทานเอาต์พุตของแหล่งจ่ายสัญญาณอนาล็อก การสุบประจุนี้ ยิ่งแย่งเมื่อใช้กับการแปลงผันสืบเนื่องที่มีอินพุต Vin(+) ที่สเกลเต็ม กระแสนี้อาจจะมีไม่กี่ ไมโคร แอมป์ ดังนั้นจึงไม่ควรใช้ตัวเก็บประจุบายพาสที่อินพุตอนาล็อกของอินพุต  $V_{ref}/2$  กับแหล่งจ่าย ความต้านทานสูง (>1k $\Omega$ ) ถ้าต้องการใช้ตัวเก็บประจุบายพาสอินพุตเพื่อกรองสัญญาณเสียงและ ต้องการใช้ความต้านทานอินพุตสูงเพื่อลดขนาดตัวเก็บประจุ เราอาจกำจัดผลเสียจากแรงดันตก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คร่อมความต้านทานอินพุตได้ด้วยการปรับสเกลเต็มด้วยการติดตั้งทั้งตัวเก็บประจุต้านทานอินพุต และตัวเก็บประจุบายพาสอินพุต ซึ่งทำได้เพราะขนาดของกระแสอินพุตเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นแบบ เทียงตรงของแรงดันผลต่าง

ค่าจำนวนมากของความต้านทานแหล่งจ่ายที่ไม่ได้ใช้ตัวเก็บประจุบายพาสอินพุตจะไม่ทำให้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากกระแสอินพุตที่ก่อนเวลาเปรียบเทียบ ถ้าในระบบต้องใช้วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำหรือ LP ให้ใช้ตัวต้านทานอนุกรมค่าต่ำ ( $<1k\Omega$ ) ในกลุ่ม RC พาสซีฟ หรือเพิ่มวงจรกรอง LP แยกที่ฟออปแอมป์ เมื่อนำไปใช้ในกรณีที่ความต้านทานแหล่งจ่าย  $1k\Omega$  หรือต่ำกว่านั้น ควรใช้ตัวเก็บประจุบายพาส  $0.1\mu F$  ที่อินพุต เพราะจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการจับสัญญาณเสียงรบกวนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำในสายอนุกรมหรือสายต่อยาว ๆ

ถ้าใช้ออปแอมป์ อาจใช้ตัวต้านทานอนุกรม  $100\Omega$  เพื่อแยกตัวเก็บประจุออกจากอินพุต ออปแอมป์ (ทั้งตัวต้านทานและตัวเก็บประจุควรจัดวางไว้นอกอุปกรณ์ป้อนกลับ)

#### 4.3.4 อินพุตแรงดันผลต่างอนาล็อกและการตัดทิ้งแบบคอมมอนโหมด

(Analog Differential Voltage Input and Common Mode Rejection)

อินพุตแรงดันผลต่างของ ADC เหล่านี้ทำให้เกิดความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น อาจใช้อินพุต  $V_{in}(-)$  (พิน 7) เพื่อลบแรงดันคงที่ที่ออกจากค่าอินพุต เรียกว่าค่าแก้ (*tare correction*) นอกจากนี้การใช้อินพุตผลต่างจะช่วยลดสัญญาณเสียงรบกวนแบบคอมมอนโหมด

ช่วงเวลาระหว่างการชักรหัสอย่าง  $V_{in}(+)$  และ  $V_{in}(-)$  เท่ากับค่าคาบเวลานาฬิกา 4.5 ความผิดพลาดสูงสุดเนื่องจากผลต่างเวลาคำนวณดังนี้

$$V_{max} = (V_p)(2 \times 3.14 f_{CM})(4.5/F_{CLK})$$

เมื่อ  $V$  = แรงดันผิดพลาดเนื่องจากการประวิงการชักรหัสอย่าง

$V_p$  = ค่ายอดของแรงดันคอมมอนโหมด

$f_{CM}$  = ความถี่คอมมอนโหมด

จากการดัดแปลงสมการ ทำให้

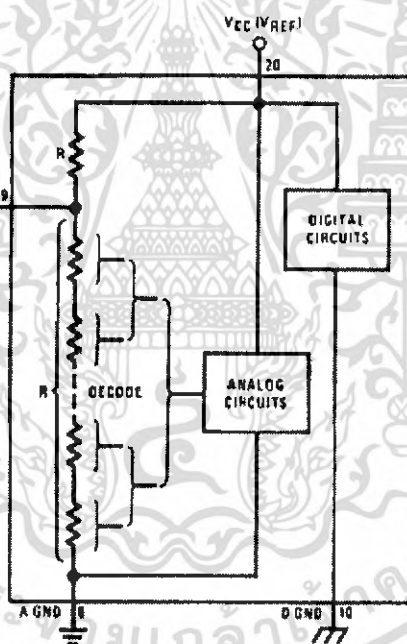
$$V_p = (V_{max})(F_{CLK}) / (2 \times 3.14 f_{CM})(4.5)$$

#### 4.3.5 การจับสัญญาณเสียงรบกวนและสัญญาณแอบแฝง (Noise and Stray Pickup)

การใช้สายต่ออินพุตอนาล็อกให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้จะช่วยลดการคับเปิดสัญญาณเสียงรบกวนอินพุตและสัญญาณเสียงแอบแฝงได้ ความต้านทานแหล่งจ่ายของอินพุตเหล่านี้ควรมุมไว้ที่ระดับต่ำกว่า  $5k\Omega$  เพื่อหลีกเลี่ยงการจับสัญญาณเสียงที่ไม่ต้องการ ตัวเก็บประจุบายพาสอินพุตที่อินพุตอนาล็อกอาจสร้างความผิดพลาดได้ดังเช่นรายละเอียดที่กล่าวมาแล้ว การปรับสเกลเดิมโดยใช้ตัวเก็บประจุบายพาสอินพุตจะช่วยลดความผิดพลาดเหล่านี้ได้

#### 4.3.6 แรงดันอ้างอิง (Reference Voltage)

เพื่อการยืดหยุ่นในการใช้งาน ADC เหล่านี้จึงออกแบบให้เหมาะกับแรงดันคงที่ 5V กับพิน 20 และ 2.5V กับพิน 9 ค่าอ้างอิงคำนวณจากแรงดันแหล่งจ่าย (พิน 20) หรือตั้งค่าไว้ด้วยการคุมค่าไว้ที่อินพุต  $V_{ref}/2$  (พิน9) ดังเช่นในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การออกแบบการอ้างอิงภายใน

จะเห็นว่าแรงดัน  $V_{ref}/2$  เท่ากับแรงดัน  $\frac{1}{2}$  ที่ใช้กับพินจ่าย  $V_{CC}$  หรือเท่ากับแรงดันที่ถูกบิบจากภายนอกที่พิน 9 นอกจากจะทำให้ค่าอ้างอิงยืดหยุ่นได้ และมีแรงดันช่วยขยายเต็มย่านเต็มแล้ว แรงดันในลักษณะนี้ยังทำให้เกิดค่าอ้างอิงแรงดันอัตราส่วนเมตริกอีกด้วย อัตราขยายภายในของอินพุต  $V_{ref}/2$  เท่ากับ 2 ซึ่งทำให้แรงดันอินพุตผลต่างเต็มสเกลมีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันที่พิน 9

ตัวอย่างเช่น ย่านแรงดันไดนามิกของแรงดันอินพุตอนาล็อก ที่ขยายจาก 0 ไปถึง 4V ทำให้เกิดช่วงขยาย 4 V (4-0) ดังนั้นจึงทำแรงดัน  $V_{ref}/2$  ให้เท่ากับ 2 V (ครึ่งหนึ่งของช่วงขยาย 4V ) และเอาที่พุดเต็มสเกลจะสัมพันธ์กับอินพุต 4V เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

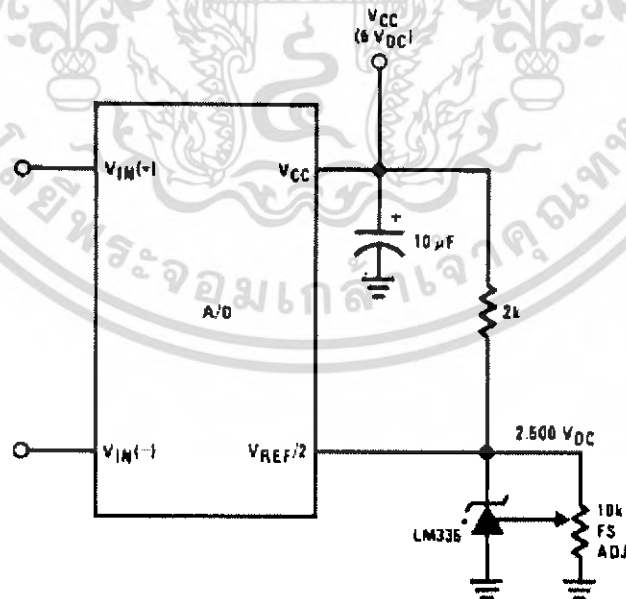
ในอีกทางหนึ่ง ถ้าแรงอินพุตไดนามิกมีย่าน 0.5V ถึง 3.5V ช่วงขยายหรือย่านอินพุต ไดนามิกจะเท่ากับ 3V (3.5-0.5) ในการใส่รหัสช่วงขยาย 3V ด้วย 0.5V เพื่อให้เป็นรหัสศูนย์จะใช้ค่าอินพุตที่คาดไว้ต่ำสุด (ในกรณีนี้คือ 0.5V) ไปที่พิน  $V_{in}(-)$  เพื่อใช้เป็นออฟเซตและตั้งค่าที่พิน  $V_{ref}/2$  ไว้ที่  $\frac{1}{2}$  ของช่วงขยาย 3V คือ 1.5V จากนั้น ADC จะใส่สัญญาณ  $V_{in}(+)$  ระหว่าง 1.5V และ 3.5V ด้วย 0.5V ตรงอินพุตที่สัมพันธ์กับรหัสศูนย์ และ 3.5V ที่อินพุตที่รหัสสร้างเอาท์พุตเต็มสเกล ฉะนั้นจึงใช้การแยกชั๊ดเต็มแปดบิตกับย่านแรงดันอินพุตที่ลดลง

#### 4.3.7 โหมดการทำงาน (Operating Mode)

ชุด ADC0804 ทำงานใน 2 โหมด คือ

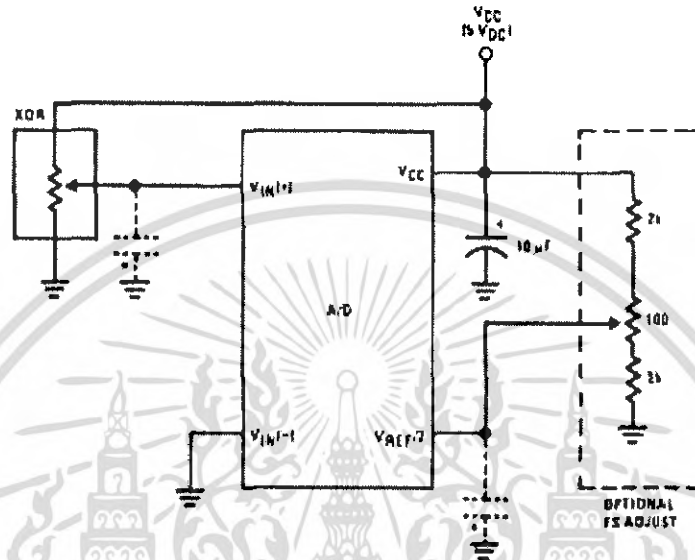
1. โหมดสัมบูรณ์ (absolute mode)
2. โหมดอัตราส่วนเมตริก (ratio metric mode)

รูปที่ 4.6 การใช้โหมดสัมบูรณ์ ซึ่งค่าถูกต้องเริ่มต้นและเสถียรภาพของแรงดันอ้างอิงเป็นองค์ประกอบสำคัญในการแปลงผันในกรณีที่มีแรงดัน  $V_{ref}/2$  เท่ากับ 2.5 V ความผิดพลาดเริ่มต้น (+ -) 10 mV จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการแปลงผัน 1 LSB เนื่องจากอัตราขยายเท่ากับ 2 ที่อินพุต  $V_{ref}/2$  ในการใช้ช่วงขยายที่ลดลง ค่าเริ่มต้นและเสถียรภาพของแรงดันอินพุต  $V_{ref}/2$  จะยิ่งสำคัญมากขึ้นเนื่องจากมีความผิดพลาดเช่นนี้คือเปอร์เซ็นต์ที่มากขึ้นของแรงดันที่ระบุ  $V_{ref}/2$



รูปที่ 4.6 โหมดการทำงานแบบสัมบูรณ์

ในการใช้วงจรแปลงผันโหมคอัตราส่วนเมตริกในรูป 4.10 ขนาดของแรงดันอ้างอิงเป็นองค์ประกอบหนึ่งทั้งในเอาต์พุตของทรานส์ดีวเซอร์แหล่งจ่ายและเอาต์พุตของ ADC ดังนั้น  $V_{ref}/2$  จึงควรหัดจิจิตอลตัวสุดท้ายออกไป



รูปที่ 4.7 โหมคการทำงานแบบอัตราส่วนเมตริกที่ใช้การปรับเต็มสเกลแบบหนึ่ง

ตามปกติต้องทำการเริ่มต้นที่แรงดันอ้างอิง เพราะความผิดพลาดเนื่องจากค่าแรงดันอ้างอิงที่ไม่ถูกต้องเกิดขึ้น ในลักษณะที่มีความผิดพลาดเต็มสเกลในการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

#### 4.3.8 ความผิดพลาดและช่วงการปรับช่วงขยายอินพุต (Error and Input Span Adjustments)

มีแหล่งเกิดความผิดพลาดมากมายในวงจรแปลงผันข้อมูล ซึ่งบางอย่างสามารถปรับแก้ได้ ถึงแม้จะไม่สามารถจำกัดความผิดพลาดตามธรรมชาติบางอย่างเช่นความถูกต้องสัมพัทธ์ได้ก็ตามแต่ความผิดพลาดจำพวกความผิดพลาดออฟเซตเต็มสเกลและศูนย์สามารถแก้ไขได้ง่าย ๆ ดังเช่นที่แสดงในรูปที่ 4.9 เช่นเดียวกันโดยการปรับ Adjust ของ LM336

ความผิดพลาดศูนย์สเกลของ ADC เท่ากับความต่างศักย์ระหว่างค่า LSB  $\frac{1}{2}$  ที่ดีที่สุด (9.5 mV ของ  $V_{ref}/2 = 2.5V$ ) กับแรงดันอินพุตที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนเอาต์พุตจากรหัส 0000 0000 ไปเป็น 0000 0001

ถ้าอินพุตน้อยสุดไม่ใช่ศักย์ดิน จะต้องทำออฟเซตศูนย์ อาจทำให้วงจรแปลงผันสร้างเอาต์พุตที่มีรหัสจิจิตอล 0000 0000 เมื่อมีแรงดันอินพุตที่คาดไว้ต่ำสุดด้วยการไบอัสอินพุต  $V_{in(-)}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้มีค่าต่ำสุดที่คำนวณไว้ที่อินพุต Vin(+) ซึ่งแบบนี้จะใช้วงจรแปลงผัน โหมดผลต่าง ควรปรับออฟเซตก่อนทำการปรับเต็มสเกล

การปรับอัตราขยายเต็มสเกลทำได้ด้วยการใส่แรงดันออฟเซตที่ต้องการที่ Vin(-) จากนั้นจึงใส่อินพุต Vin(+) ด้วยแรงดันที่มี LSB น้อยกว่า 1-1/2 ของย่านแรงดันเต็มสเกลแบบอนาล็อกที่ต้องการ จากนั้นจึงปรับขนาดของแรงดันอินพุต  $V_{in}/2$  เพื่อให้ได้รหัสเอาต์พุตดิจิตอลที่จะเปลี่ยนจาก 1111 1110 ไปเป็น 1111 1111 แรงดัน  $V_{in}(+)$  ที่ดีที่สุดในการปรับเต็มสเกลคำนวณได้ดังนี้

$$V_{in}(+) = V_{in}(-) - 1.5 \times \{(V_{max} - V_{min}) / 255\}$$

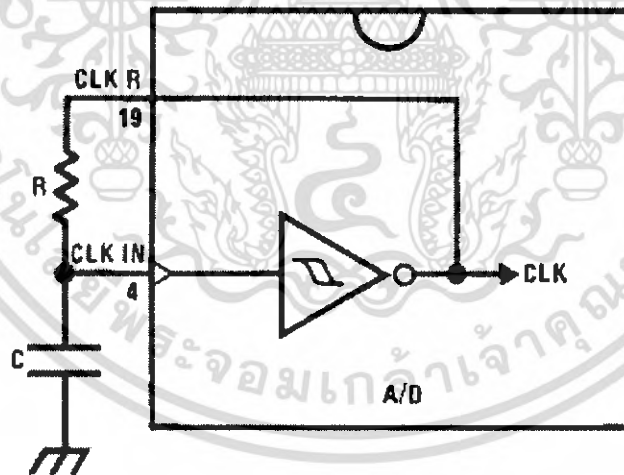
เมื่อ

$V_{max}$  = ปลายด้านสูงของย่านอินพุตอนาล็อก (กราวด์อ้างอิง)

$V_{min}$  = ปลายด้านต่ำ (ออฟเซตศูนย์) ของอินพุตอนาล็อก (กราวด์อ้างอิง)

#### 4.3.9 การเลือกใช้สัญญาณนาฬิกา(Clocking Option)

สัญญาณนาฬิกาสำหรับ ADC ได้มาจากแหล่งจ่ายภายนอก เช่น วงจรนาฬิการะบบ หรือการใช้สัญญาณนาฬิกาในตัวด้วยการต่อควัด้านทานและตัวเก็บประจุจากภายนอกดังเช่นในรูป 4.8



รูปที่ 4.8 สัญญาณนาฬิกาในตัวของวงจรแปลงผัน

จากรูป สามารถคำนวณความถี่  $f_{CLK} = 1/LIRC$

ไม่ควรโหลด DC หรือความจุอย่างหนักที่พิน CLK R เพราะจะรบกวนการทำงานตามปกติของวงจรแปลงผัน ควรใช้โหลดที่น้อยกว่า 50 pF ซึ่งจะจับได้ถึง 7 พิน ADC CLK IN ของรุ่นตั้งแต่ CLK R เดียวของวงจรแปลงผัน หากต้องการโหลดสัญญาณนาฬิกามากขึ้น ควรใช้ CMOS หรือ บัฟเฟอร์(TTL) ลอจิกทรานซิสเตอร์ กับทรานซิสเตอร์แบบก้ำกึ่งค่า หรือใช้ลอจิกอินพุต PNP เพื่อลดการโหลดที่พิน CLK R

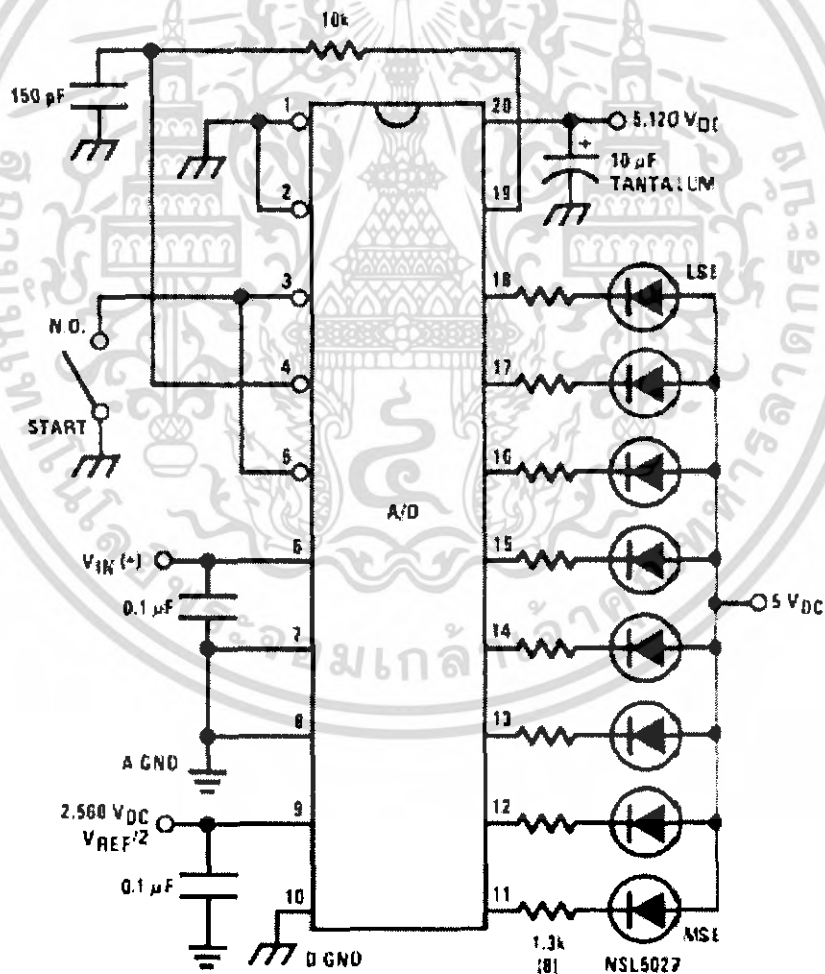
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.10 การสตาท์ใหม่ระหว่างการแปลงผัน (Restart During a Conversion)

กระบวนการแปลงผันจะหยุดชะงักและเริ่มต้นทำการแปลงผันใหม่ด้วยการทำให้อินพุต CS และ WR ลดต่ำ แล้วทำอินพุตอย่างน้อยที่สุดหนึ่งตัวกลับขึ้นสูงอีกครั้งหนึ่ง แลตซ์ข้อมูลเอาต์พุตจะไม่แสดงข้อมูลปัจจุบันถ้ากระบวนการแปลงผันไม่สมบูรณ์ ข้อมูลจากการแปลงผันที่สมบูรณ์ในครั้งก่อนจะยังคงเก็บอยู่ในแลตซ์ข้อมูลเอาต์พุตจนกว่ากระบวนการแปลงผันลำดับต่อไปจนครบสมบูรณ์

#### 4.3.11 การแปลงผันต่อเนื่อง (Continuous Conversion)

ในการแปลงผันข้อมูลอินพุตอย่างต่อเนื่อง จะกราวด์อินพุต CS กับ RD และต่อเอาต์พุต INTR เข้ากับอินพุต WR การต่อ INTR/WR ควรบังคับให้อยู่ที่ลอจิกกำลังต่ำชั่วขณะหนึ่งเพื่อให้มั่นใจว่าวงจรจะทำงานปกติ รูปที่ 4.9 เป็นวิธีหนึ่งในลักษณะนี้



รูปที่ 4.9 การต่อวงจรแปลงผันแบบต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.12 การจ่ายกำลัง (Power Supplies)

สัญญาณรบกวนขดแหลมหรือสไปก์(noise spike) บนสาย Vcc ทำให้เกิดความผิดพลาดการแปลงผันได้เนื่องจากวงจรเปรียบเทียบภายในจะตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนนี้ ควรใช้ตัวเก็บประจุวงจรกรองแบบเหนี่ยวนำต่ำติดไว้ใกล้กับพิน Vcc ของวงจรแปลงผัน และควรใช้ค่า  $1 \mu\text{F}$  ขึ้นไป วงจรควบคุมแบบแยกส่วนขนาด 5 V ของวงจรแปลงผันจะช่วยลดสัญญาณรบกวนคิติดอลจากแหล่งจ่าย Vcc ลงได้มาก



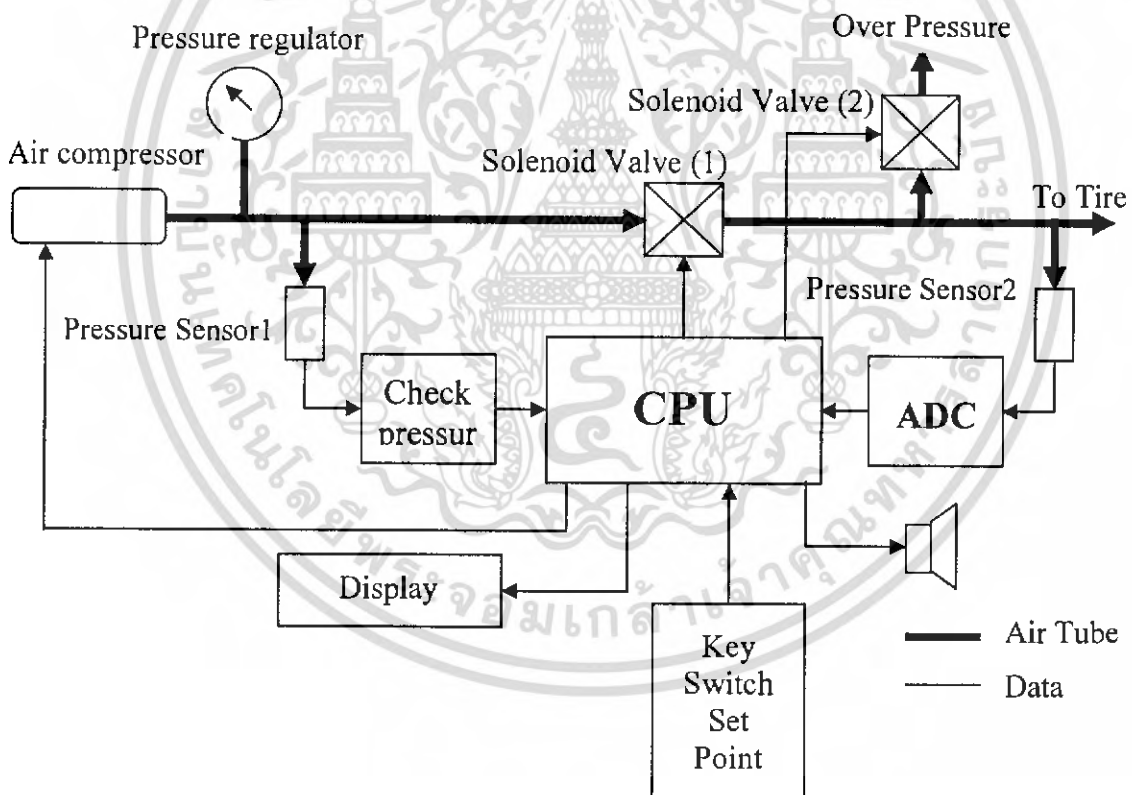
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### รายละเอียดในการออกแบบและการสร้าง

#### 5.1 ระบบการทำงานโดยรวม

ระบบการเติมลมยางนี้จะประกอบไปด้วยส่วนของวงจรต่างๆที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลเข้า-ออก ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะเน้นให้ให้อุปกรณ์ทุกชนิดที่เกี่ยวข้องกับระบบ จะสามารถทำงานได้ ก็ต่อเมื่อ ต้องผ่านการควบคุมและประมวลผลจากไมโครคอนโทรลเลอร์เสียก่อนเพื่อเป็นการ ประหยัดพลังงาน รายละเอียดการทำงานของระบบ

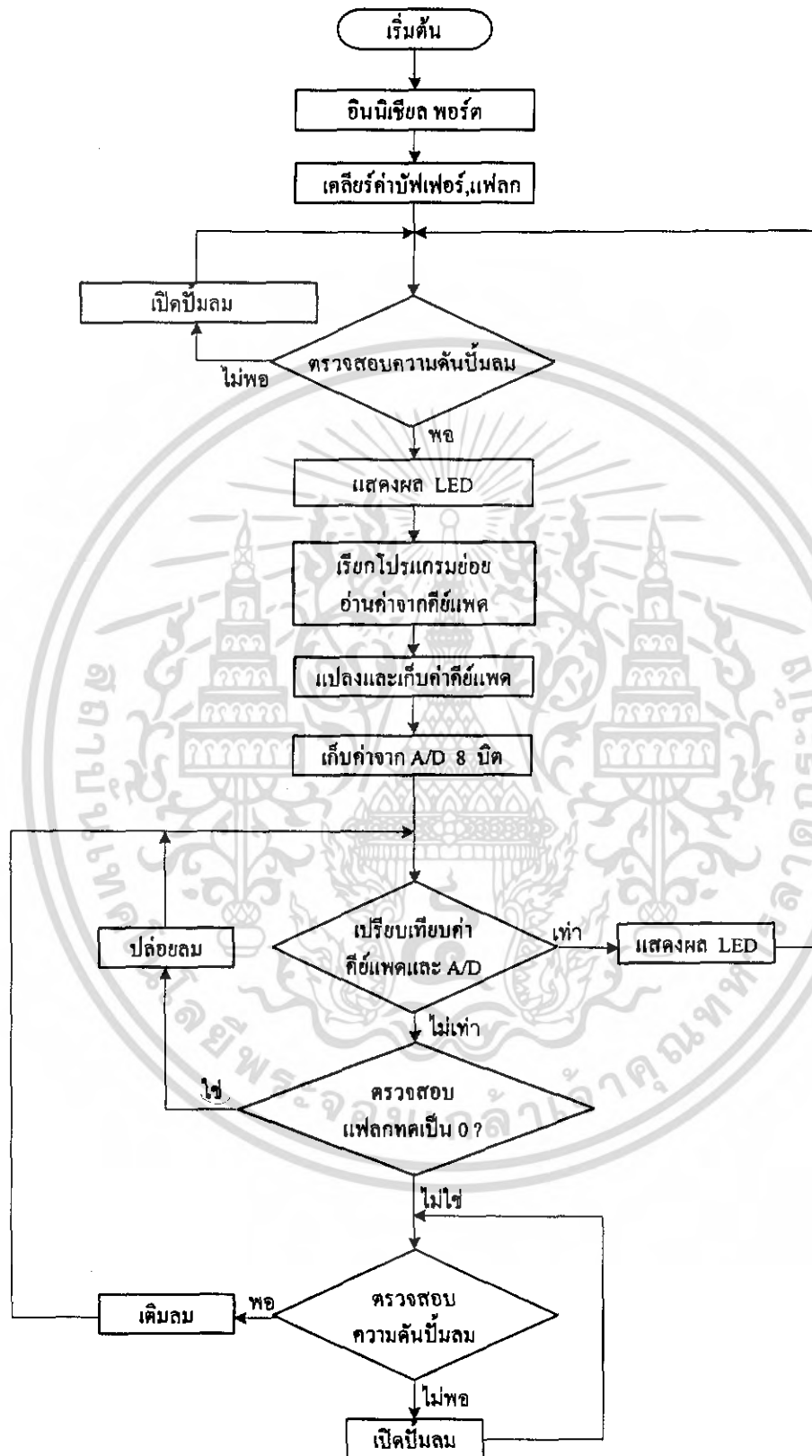


รูปที่ 5.1 บล็อกไดอะแกรม การทำงานโดยรวมของระบบ

### หลักการทำงานโดยรวมของระบบ

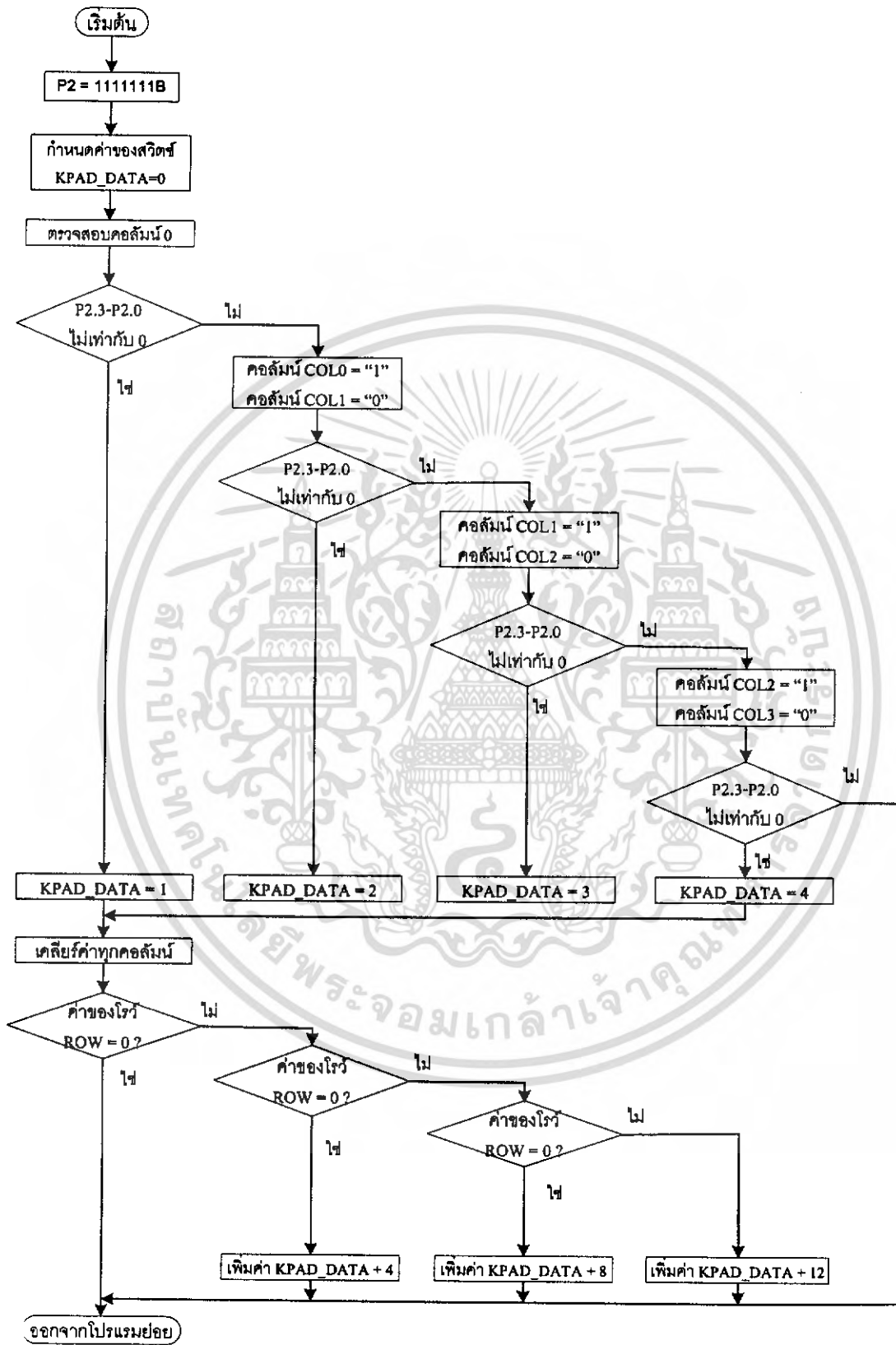
จาก Block diagram รูปที่ 5.1 เมื่อ CPU ทำการ Reset ข้อมูลที่ไปเริ่มการทำงานที่ Address 00H Pressure sensor 1 จะทำการตรวจสอบระดับความดันว่ามีค่าต่ำกว่า  $60 \text{ lb/in}^2$  หรือไม่ (ระบบสามารถเติมลมได้ที่ความดันสูงสุดที่  $60 \text{ lb/in}^2$  จึงต้องกำหนด ความดันที่จะเติมเข้ามามีค่าสูงกว่ายางรถยนต์เสมอ ) ถ้าไม่ถึง CPU จะสั่ง On Air Compressor เพื่อสร้างความดัน โดยอาศัย Pressure Regulator รักษาระดับความดันนี้ไว้ เมื่อได้ความดันมีค่าเพียงพอแล้ว Pressure Sensor 1 จะส่งเอาต์พุตซึ่งถูกขยายด้วยวงจรรีเลย์อินสตรูเมนต์แอมป์ เข้าไปในส่วนของ Check Pressure Circuit เพื่อทำการส่ง Logic “0” ไปยัง CPU เพื่อให้ CPU รับรู้ว่าจะระบบพร้อมที่จะรับข้อมูลเข้ามาได้ โดยจะส่งสัญญาณเสียงให้ผู้ใช้งานได้ทราบว่าจะระบบ พร้อมรับข้อมูลแล้ว

เมื่อผู้ใช้งานทำการป้อนค่าความดัน (ในช่วง  $0 - 60 \text{ lb/in}^2$ ) ผ่าน Key Pad จากนั้น กด Key enter CPU pressure sensor 2 จะรับข้อมูลความดันจากยางรถยนต์ เพื่อนำมาแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลด้วยไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต โดย CPU จะทำการประมวลผล โดยการสั่งเปิด-ปิด โซลินอยด์วาล์ว ให้ความดันที่รับค่ามาจากไอซีแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล กับความดัน จาก Key Pad มีค่าเท่ากัน โดยในระหว่างการประมวลผลนี้ จะทำการตรวจเช็คความดันจากปั๊มลม อยู่ตลอดเวลา ว่าเพียงพอหรือไม่ เมื่อ CPU ทำการประมวลผลเสร็จสิ้น ระบบจะส่งสัญญาณเสียงออกทางลำโพงเพื่อให้ผู้ใช้งานได้ทราบ



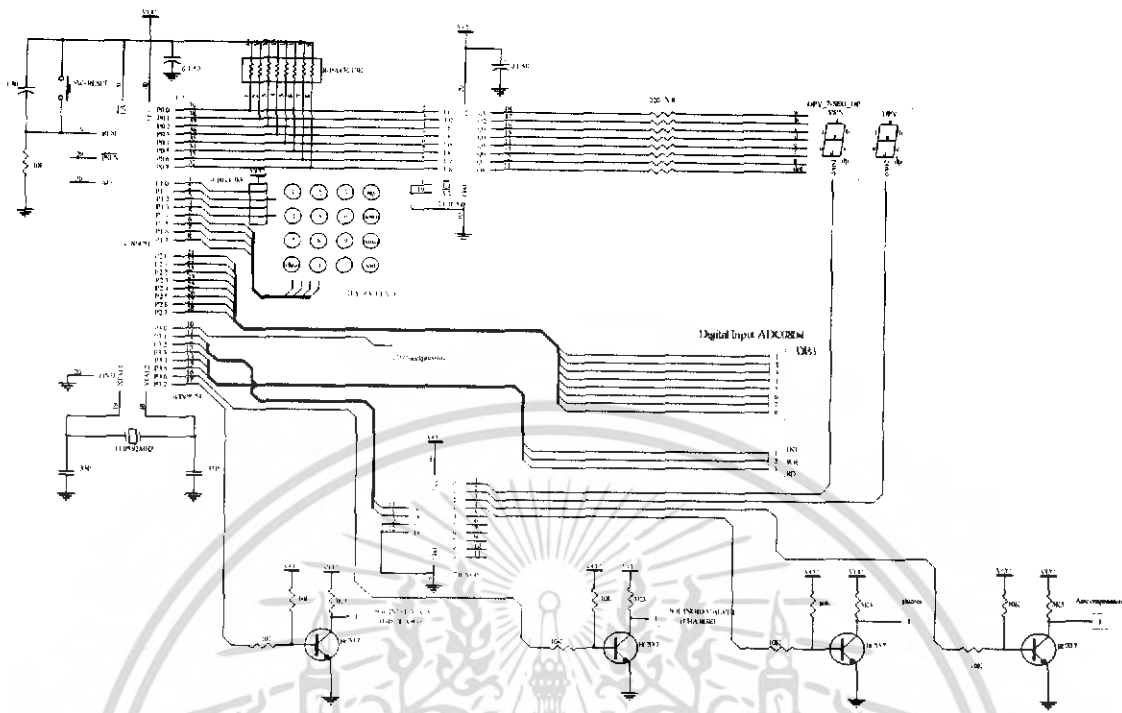
รูปที่ 5.2 Flow chart แสดงการทำงานของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

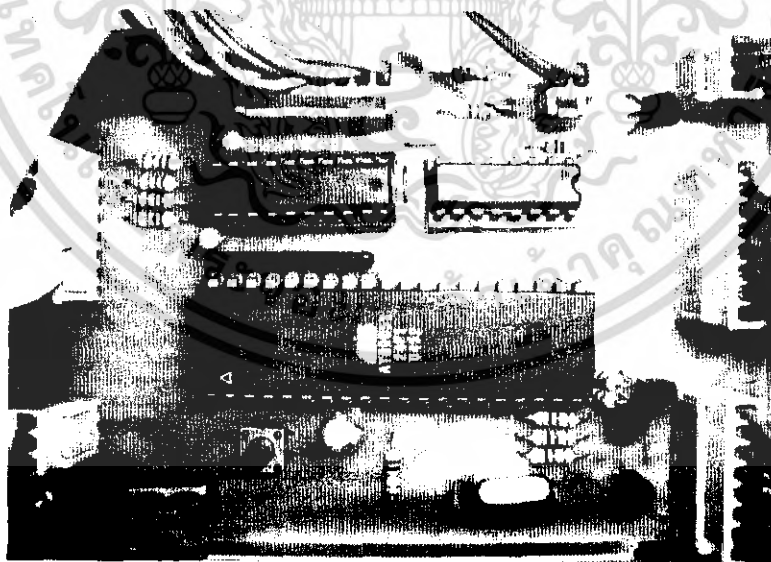


รูปที่ 5.3 Flow chart แสดงการทำงานของโปรแกรมย่อยอ่านค่าจากคีย์แพด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 วงจรส่วนประมวลผลกลาง

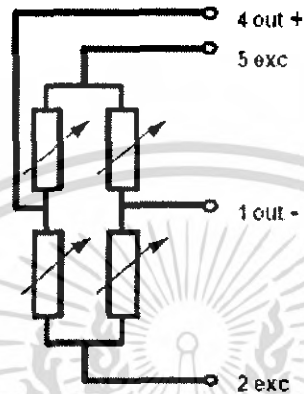


รูปที่ 5.5 บอร์ดวงจรส่วนประมวลผลกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 รายละเอียดการออกแบบและหลักการทำงาน

### 5.2.1 คุณสมบัติเซ็นเซอร์ความดัน



รูปที่ 5.6 โครงสร้างภายในของเซ็นเซอร์ความดันเบอร์ SPD100G

Pressure sensor ทั้ง 2 ตัว จะใช้เบอร์เดียวกัน คือ SPD100G ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ที่สามารถวัดความดันได้ในช่วง 0-6.5 Bar โดยสามารถคำนวณในหน่วย lb/in<sup>2</sup> (หน่วยของความดันยางรถยนต์)

$$1 \text{ Pa(N/m}^2\text{)} = 0.145 \times 10^{-3} \text{ PSI (lb/in}^2\text{)}$$

$$1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

ดังนั้น จะสามารถคำนวณ ในหน่วย lb/in<sup>2</sup> ได้

$$6.5 \text{ Bar} = 6.5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$6.5 \times 10^5 \text{ Pa} = 6.5 \times 10^5 \times 0.145 \times 10^{-3} \text{ lb/in}^2$$

$$\text{อัตราความดันที่อยู่ในช่วงเชิงเส้น} = 94.25 \text{ lb/in}^2$$

คุณสมบัติของ Pressure sensor นี้สามารถดูได้จากตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงคุณสมบัติ ของ Pressure sensor ที่ VCC = 5V

Parameter	Min	Typ	Max	Units.
Excitation Voltage	0	5	10	Volts
Excitation Current	0	1.5	3.0	mA
Offset	-50	0	50	mV
Temp Coeff Span	-27	-22	-17	%FS/100°C
Temp Coeff Offset	-7		+7	%FS/100°C
Temp Coeff Resistance	23	28	33	%FS/100°C
Linearity	-0.3	±0.1	+0.3	%FS
Hysteresis			0.15	% of Range
Repeatability <sup>1)</sup>		±0.2	±0.5	FSO
Response time (10-90%)		1		ms
Bridge resistance	2.7	3.3	4.0	KΩ
Pressure overload			1.35	Bar
Operating temperature	-20		85	°C
Storage temperature	-30		125	°C

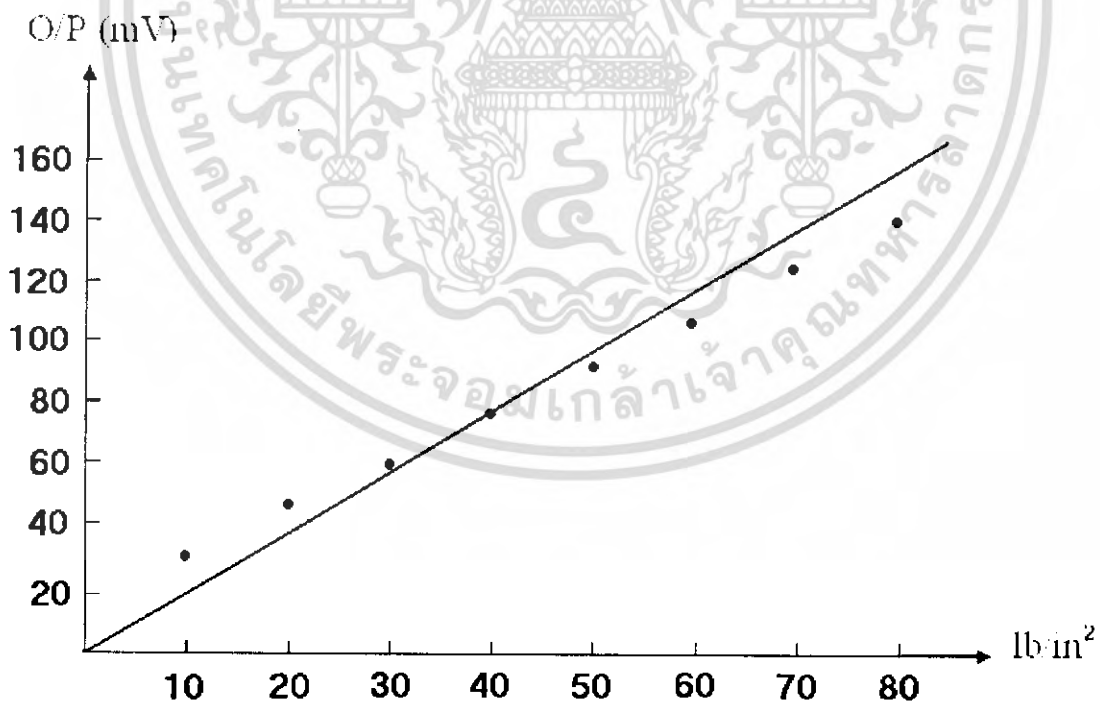
จากคุณสมบัติของ Pressure sensor สามารถ Overload ได้ประมาณ 1.35 Bar หรือประมาณ 19.57 lb/in<sup>2</sup> นั้นหมายความว่าถ้า ถ้าอุปกรณ์เกิดขีดข้องขึ้นมาส่วนหนึ่ง Pressure sensor จะไม่เสียหายในทันที เพราะสามารถรับ Overload ได้ ระบบจะทำการสั่งตัดการทำงานก่อน

Pressure sensor แต่ละตัวนั้นจะมีคุณสมบัติต่างกันอยู่บ้าง อีกทั้งยังมีออฟเซต อยู่ในช่วง -50 mV- 50 mV ที่ แรงดันกระตุ้น = 5 V ซึ่งค่าออฟเซตนี้มีช่วงที่กว้างเกินไป ถ้าไม่ทำการทดสอบ อาจจะทำให้ระบบทำงานผิดพลาดได้ ดังนั้นเพื่อให้การทำงานของระบบถูกต้องแม่นยำมากขึ้นจึงทำการทดสอบคุณสมบัติของ Pressure sensor แต่ละตัว โดยคุณสมบัติสำคัญของ Pressure sensor นี้ ก็คือความเป็นเชิงเส้น ซึ่งเฉลี่ยอยู่ที่ +/- 0.1 % เท่านั้น โดยอาศัยคุณสมบัติข้อนี้จึงทำการทดสอบโดยอาศัยสมการเส้นตรงเพื่อทำการวาดกราฟคุณสมบัตินี้

### ผลการสอบคุณสมบัติ Pressure sensor

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติ Pressure sensor ตัวที่ 1

ความดัน (lb/in <sup>2</sup> )	เอาต์พุต(mV)
10	29.2
20	43.6
30	59.8
40	75.9
50	91.9
60	106.6
70	124.6
80	142.2

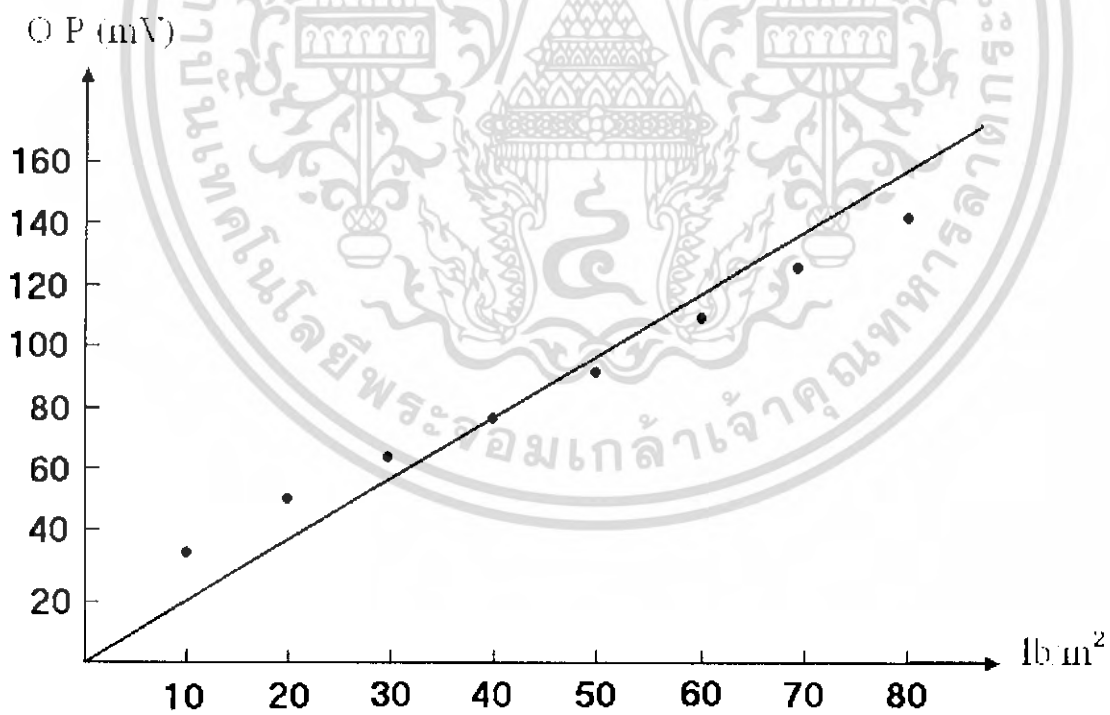


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงคุณสมบัติ Pressure sensor ตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติ Pressure sensor ตัวที่ 2

ความดัน (lb/in <sup>2</sup> )	เอาต์พุต(mV)
10	34.0
20	48.4
30	62.6
40	76.7
50	92.9
60	106.7
70	123.0
80	139.4



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงคุณสมบัติ Pressure sensor ตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างความดันและเอาต์พุตที่ได้ของ pressure sensor ทั้ง 2 ตัว

ความดัน (lb/in <sup>2</sup> )	เอาต์พุต(mV)	ความดัน (lb/in <sup>2</sup> )	เอาต์พุต(mV)
10	29.2	10	34.0
20	43.6	20	48.4
30	59.8	30	62.6
40	75.9	40	76.7
50	91.9	50	92.9
60	106.6	60	106.7
70	124.6	70	123.0
80	142.2	80	139.4

Pressure sensor ตัวที่ 1

Pressure sensor ตัวที่ 2

ความชันกราฟในช่วง 10-40 lb/in<sup>2</sup> (ช่วงความดันมาตรฐานสำหรับรถยนต์ทั่วไป)

Pressure sensor ตัวที่ 1

$$\text{ช่วง } 10-20 \text{ lb/in}^2 \quad m = (43.6-29.2)/(20-10) = 1.44$$

$$\text{ช่วง } 20-30 \text{ lb/in}^2 \quad m = (59.8-43.6)/(30-20) = 1.62$$

$$\text{ช่วง } 30-40 \text{ lb/in}^2 \quad m = (75.9-59.8)/(40-30) = 1.61$$

Pressure sensor ตัวที่ 2

$$\text{ช่วง } 10-20 \text{ lb/in}^2 \quad m = (48.4-34.0)/(20-10) = 1.44$$

$$\text{ช่วง } 20-30 \text{ lb/in}^2 \quad m = (62.6-48.4)/(30-20) = 1.42$$

$$\text{ช่วง } 30-40 \text{ lb/in}^2 \quad m = (76.7-62.2)/(40-30) = 1.45$$

จากความชันที่ได้ จะเห็นได้ว่าในช่วง 10-40 lb/in<sup>2</sup> Pressure sensor ตัวที่ 2 จะมีความเป็นเชิงเส้นมากกว่า ซึ่งถ้านำไปใช้งานจะได้ความแม่นยำจากการวัดความดันมากกว่า จากโครงการที่จำเป็นต้องใช้ Pressure sensor ทั้งหมด 2 ตัว โดยตัวแรกใช้วัดความดันจาก Air compressor ซึ่งเซ็นเซอร์ที่ใช้ ณ จุดนี้ไม่จำเป็นต้องมีความแม่นยำสูงนัก เพราะจากการออกแบบวงจรได้เผื่อค่าความดันไว้แล้ว ซึ่งถึงแม้จะไม่มีความเป็นเชิงเส้นนัก ก็ไม่ทำให้วงจรทำงานผิดพลาด ส่วน Pressure sensor อีกตัวหนึ่งจะใช้วัดจากยางรถยนต์โดยตรง ซึ่งนั่นก็หมายความว่าจะต้องมีความแม่นยำสูง เพื่อที่จะสามารถวัดความดันจากยางรถยนต์ได้ผิดพลาดน้อยที่สุด และเอาต์พุตจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

sensor ตัวนี้จะต้องส่งเอาต์พุตต่อไปยัง ส่วนของวงจร Analog to Digital Converters ที่จะรับแรงดันค่าไปเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าเพียง 1 bit LSB ก็สามารถทำให้ระบบทำงานผิดพลาดได้

### 5.2.2 วงจรตรวจเช็คความดันอินพุท

ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยวงจรหลักๆ 3 ส่วนด้วยกันคือ Instrumentation Amplifiers Comparator และวงจร Astable multivibrator

#### Instrumentation Amplifiers

วงจรขยายอินสตรูเมนต์หรืออาจเรียกย่อๆว่าวงจร IA ซึ่งทำหน้าที่ขยายสัญญาณผลต่างของสัญญาณอินพุททั้งสองของ Pressure sensor 1 โดยจะใช้ วงจร IA แบบออปแอมป์ 3 ตัว โดยเลือกใช้ LM324 ซึ่งเป็น opamp แบบ package 4 ตัวด้วยกัน เพื่อให้คุณสมบัติของ opamp แต่ละตัวไม่ต่างกันมากนัก การคำนวณหาค่า R (RG และ Rpot ) ในวงจรขยายอินสตรูเมนต์ เพื่อปรับความชัน(อัตราขยาย : Gain ) เพื่อให้ได้ แรงดันเอาต์พุตตามต้องการ จากตารางความสัมพันธ์ของ Pressure sensor ตัวที่ 1 ตามตารางที่ 3.1 เลือกเอาความสัมพันธ์ของความดันที่ 60 lb/in<sup>2</sup> และที่ 80 lb/in<sup>2</sup> ซึ่งจะได้แรงดันเอาต์พุท 2 ค่าคือ 106.6 mV และ 142.2 mV ตามลำดับ และในที่นี้เราต้องการแรงดันเอาต์พุทของวงจรขยายอินสตรูเมนต์ ให้ได้ที่ 5 V และ 9.1 V เพื่อป้อนเข้าวงจร Windows comparator (ช่วงระดับแรงดันอินพุทของวงจร Window comparator ที่ให้ เอาต์พุทเป็น Logic Low คือ ช่วง 5- 9.1 V) ตามลำดับ ดังนั้นจะได้ว่า ต้องการแปลงแรงดันจาก

$$106.6 \text{ mV} \text{ ให้ได้ค่า} = 5 \text{ V}$$

$$\text{และ } 142.2 \text{ mV} \text{ ให้ได้ค่า} = 9.1 \text{ V} \text{ นั้นจะได้ว่า}$$

$$\text{ความชัน} = \text{Gain} = \text{Vout}/\text{Vin} = (9.1-5)/(142.2\text{mV}-106.6\text{mV}) = 115.168$$

ซึ่งทั้งสองค่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างเป็นเชิงเส้น

และวงจรขยายอินสตรูเมนต์มี สมการแรงดันเอาต์พุทคือ

$$\text{Vout} = \text{Gain}(\text{V2}-\text{V1}) + \text{Vref}$$

และสมการของ Gain หาได้จาก

$$\text{Vout} = (\text{Rf}/\text{Ri})(\text{V2}-\text{V1}) \quad \text{สมการที่ 5.1}$$

และเนื่องจาก คุณสมบัติของออปแอมป์ทำให้กระแส ไหลผ่าน R1 และ RG มีค่าเท่ากันซึ่งจากกฎของโอห์มจะได้

$$\text{V01} - \text{V02} = (2\text{R1} + \text{RG})\text{I}_{\text{RG}} \quad \text{สมการที่ 5.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $V_{in} = 0$  กระแสที่ไหลผ่าน  $R_G$  จะมีค่า

$$I_{RG} = (V_1 - V_2) / R_G \quad \text{สมการที่ 5.3}$$

ทำการแทนค่าสมการที่ 3 ลงในสมการที่ 2 และสมการที่ 1 จะได้

$$V_{out} = \text{Gain}(V_2 - V_1)$$

$$\text{โดย} \quad \text{Gain} = (1 + (2R_1/R_G))(R_f/R_i)$$

แต่จากวงจร  $R_f = R_i$  ดังนั้น

$$V_{out} = (1 + (2R_1/R_G))(V_2 - V_1) + V_{ref}$$

และจาก Gain ที่คำนวณได้ จะสามารถหา  $R_G$  ได้

$$R_G = 2(100k) / (115.168 - 1) = 1751.804 \, \Omega$$

และจะหา  $V_{ref}$  ได้จาก

$$V_{out} = (1 + (2R_1/R_G))(V_2 - V_1) + V_{ref}$$

$$5 = (115.168)(106.6mV) + V_{ref}$$

$$5 = 14.97 + V_{ref}$$

$$V_{ref} = -7.276$$

เลือกค่า  $V_R$  100 k $\Omega$  และใช้แหล่งจ่ายไฟลบ 15 V ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่าน R ทั้งหมด

$$I_R = |-15| / 100k\Omega = 150\mu A$$

ต้องการแรงดันตกคร่อม -7.267 V ดังนั้นต้องปรับ  $V_R$  ให้ได้ค่า

$$R = V/I = |-7.267| / 150\mu A = 48.466 \, k\Omega$$

### Window comparator

วงจรเปรียบเทียบแรงดันแบบหน้าต่าง ออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจสอบระดับหรือบ่งชี้ค่าแรงดันอินพุต ของวงจรมีขนาดสูงหรือต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยในส่วนนี้จะใช้ไอซีเบอร์ LM311 ซึ่งเป็นไอซีเปรียบเทียบแรงดันที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยจะทำการรับสัญญาณมาและส่งต่อให้ทรานซิสเตอร์ภาคสุดท้าย ซึ่งจะให้อาท์พุทดังนี้

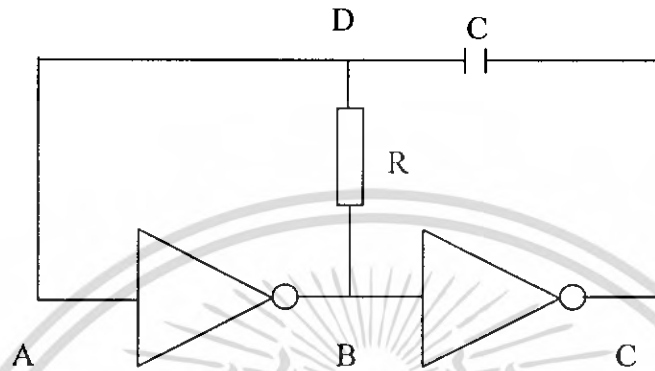
$$Tr_{o/p} = \text{Off} \quad \text{เมื่อ } V^+ > V^-$$

$$Tr_{o/p} = \text{On} \quad \text{เมื่อ } V^+ < V^-$$

ขณะที่  $Tr_{o/p} = \text{On}$  ก็จะได้แรงดัน  $V_{out}$  ประมาณ  $V_{CE(sat)}$  ซึ่งมีค่าน้อยมาก ประมาณ 0.2-0.3 V จะถือว่าเป็นระดับ Logic Low ซึ่งเอาท์พุทของวงจร Comparator นี้จะส่งผ่านไปยัง Astable multivibrator เพื่อทำการสร้างพัลส์ไปควบคุม LED แสดงสถานะของความดันต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Astable multivibrator



รูปที่ 5.9 วงจรพื้นฐานของวงจรมัลติไวเบรเตอร์ซึ่งทำจากไอซี CMOS

จากรูปที่ 4.3 เพื่อความสะดวกในการอธิบายเราจะตั้งชื่อจุดต่างๆ ในวงจรเป็น A,B,C และ D ดังรูปที่ 5.9 ที่จริงจุด A และ D ก็เป็นจุดเดียวกัน แต่เพื่อความสะดวกในการอธิบายจะแยกกัน คุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ก็คืออินพุตและเอาต์พุตจะส่งสัญญาณตรงข้ามกันตลอดเวลา

สมมุติว่าที่จุด C สัญญาณเป็น 1 ดังนั้นที่ B ก็ต้องเป็น 0 ตัวเก็บประจุจะถูกชาร์จจากระดับสูงที่ C ไปหา B อย่างแน่นอน ซึ่งก็จะมีกระแสไหลจาก C ผ่านตัวเก็บประจุผ่านความต้านทานไปยังจุด B เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานก็จะเกิดแรงดันตกคร่อม ทำให้แรงดันที่จุด A หรือ D สูงกว่า B ซึ่งขณะนั้นเป็น 0 โวลต์ แรงดันนี้เป็นบวกจึงมีสถานะเป็น 1 เมื่อ A เป็น 1 B ก็เป็น 0 ด้วย ดังนั้นสถานะนี้จะอยู่ไปชั่วขณะหนึ่ง

การชาร์จตัวเก็บประจุนี้ใช้เวลาไม่มาก ช่วงเวลาในการชาร์จ จะขึ้นอยู่กับค่า R และ C แต่เมื่อชาร์จประจุเต็มแล้ว กระแสจะหยุดไหล ทำให้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน ไม่มีแรงดันที่ D จึงเป็น 0 ตรงนี้เองที่เกิดการเปลี่ยนแปลง คราวนี้ที่ A เป็น 0 B จึงเป็น 1 และ C ก็จะเปลี่ยนเป็น 0 ทุกจุดมีค่าตรงข้ามกับสถานะแรกแล้ว

เมื่อ B เป็น 1 C ก็เปลี่ยนเป็น 0 ก็จะเกิดการชาร์จตัวเก็บประจุอีก แต่คราวนี้กระแสจากจุด B ผ่านตัวต้านทาน ผ่านตัวเก็บประจุไปยังจุด C จึงมีทิศทางไหลตรงข้ามกับการชาร์จในครั้งแรก เมื่อกระแสไหลกลับทิศ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานจะมีทิศทางตรงข้าม ทำให้แรงดันที่ D ต่ำกว่าที่ B คือมีสถานะเป็น 0 นั่นเอง สถานะนี้ยังคงจะอยู่ชั่วคราวย่อไปอีก จนกว่าตัวเก็บประจุจะถูกชาร์จเต็มและกระแสหยุดไหล นั่นคือแรงดันที่ D จะสูงเท่า B เป็น ผลให้ A เปลี่ยนเป็น 1 B จึงต้องเป็น 0 และ C เป็น 1 กลับมาอยู่ในสถานะเริ่มแรกที่อธิบายนั่นเอง การชาร์จตัวเก็บประจุก็จะวนอยู่เช่นนี้ทุกๆรอบการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเราลองเอาลอจิกโพรบมาวัดสัญญาณที่จุด C จะเห็นว่าเป็น 1 หรือเป็น 0 สลับกันเป็นลักษณะของคลื่นพัลส์ โดยจากวงจรสามารถกำหนดความถี่ของการเกิดพัลส์ได้จาก ค่าของ RC Time constant ซึ่งจากโครงการสามารถคำนวณความถี่ได้ดังนี้

$$f = 1/1.4RC$$

$$f = 1/(1.4 \times 2 \times 10^6 \Omega \times 0.047 \mu\text{F}) = 7.59 \text{ Hz}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



### 5.2.3 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลนี้จะใช้ไอซี ADC0804 ซึ่งเป็นไอซีแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 bit ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 4 โดยจะรับอินพุตได้ในช่วง 0-5 V โดยอินพุตส่วนนี้จะรับมาจาก ส่วนของวงจรขยายอินสตรูเมนต์ ซึ่งผ่านการขยายแรงดัน และปรับ Zero และ Span จาก เอาท์พุทของ Pressure sensor ตัวที่ 2 ซึ่งการคำนวณค่า R เพื่อปรับอัตราขยายให้เข้าสามารถส่งเอาท์พุทให้ได้ ในช่วง 0-5 V

Pressure Sensor ตัวที่ 2 จะรับค่าความดันจากยางรถยนต์ซึ่งให้อาท์พุทเป็นแรงดันผ่านวงจรขยายอินสตรูเมนต์เช่นเดียวกับ ส่วนของวงจร Check Pressure Circuit แต่ค่าของการปรับความชันกราฟ จะต่างกัน ซึ่งจะมีข้อกำหนดที่ว่า Pressure Sensor ตัวที่ 2 จะสามารถรับความดันได้เต็มที่ในช่วง 0-60 lb/in<sup>2</sup> ซึ่งเพียงพอสำหรับการเติมลมยางรถยนต์ทั่วไป โดย เอาท์พุทที่ 60 lb/in<sup>2</sup> มีค่าแรงดันเท่ากับ 106.7 mV ส่วนเอาท์พุทที่ความดัน เท่ากับ 0 lb/in<sup>2</sup> สามารถหาได้จากสมการเส้นตรง ที่มีความชันเท่ากับ

$$\begin{aligned} \text{ช่วง } 10\text{-}20 \text{ lb/in}^2 & m = (48.4 - 34.0) / (20 - 10) = 1.44 \text{ m} \\ \text{ช่วง } 20\text{-}30 \text{ lb/in}^2 & m = (62.6 - 48.4) / (30 - 20) = 1.42 \text{ m} \\ \text{ช่วง } 30\text{-}40 \text{ lb/in}^2 & m = (76.7 - 62.2) / (40 - 30) = 1.45 \text{ m} \\ \text{ช่วง } 40\text{-}50 \text{ lb/in}^2 & m = (91.2 - 76.7) / (50 - 40) = 1.45 \text{ m} \\ \text{ช่วง } 50\text{-}60 \text{ lb/in}^2 & m = (106.7 - 91.2) / (60 - 50) = 1.55 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\text{ค่าเฉลี่ย } 1.44 + 1.42 + 1.45 + 1.45 + 1.45 = 1.46 \text{ m}$$

$$\text{ให้ } (x, y) = (30 \text{ lb/in}^2, 62.2 \text{ mV})$$

$$y - y_1 = m(x - x_1)$$

$$y - 62.2 \text{ mV} = 1.46m(x - 30)$$

$$\text{เมื่อ } x = 0 \text{ จะได้ } y = 62.2 \text{ m} - 43.8 \text{ m}$$

$$\text{ค่าแรงดันเอาท์พุทที่ } 0 \text{ lb/in}^2 = y = 18.4 \text{ mV}$$

ค่าของตัวต้านทานในวงจรขยายอินสตรูเมนต์สามารถคำนวณได้ดังนี้

จะได้ว่า ต้องการแปลงแรงดันจาก

$$19.1 \text{ mV} \quad \text{ให้ได้ค่า} = 0 \text{ V}$$

$$\text{และ } 106.7 \text{ mV} \quad \text{ให้ได้ค่า} = 5 \text{ V} \text{ นั้นจะได้ว่า}$$

ความชัน = Gain =  $V_{out}/V_{in} = (5-0)/(62.2\text{mV}-18.4\text{mV}) = 56.625$

ซึ่งทั้งสองค่านี้จะต้องเปลี่ยนแปลงไปอย่างเป็นเชิงเส้น และวงจรขยายอินสตรูเมนต์มี สมการ แรงดันเอาต์พุตคือ

$$V_{out} = \text{Gain}(V_2 - V_1) + V_{ref}$$

และสมการของ Gain หาได้จาก สมการที่ 5.1

$$V_{out} = (R_f/R_i)(V_2 - V_1)$$

และเนื่องจาก คุณสมบัติของออปแอมป์ทำให้กระแส ไหลผ่าน  $R_1$  และ  $R_G$  มีค่าเท่ากันซึ่งจากกฎ ของโอมห้จะได้ จากสมการที่ 5.2

$$V_{01} - V_{02} = (2R_1 + R_G)I_{R_G}$$

เมื่อ  $V_{in} = 0$  กระแสที่ไหลผ่าน  $R_G$  จะมีค่า ตามสมการที่ 5.3

$$I_{R_G} = (V_1 - V_2)/R_G$$

ทำการแทนค่าสมการที่ 5.3 ลงในสมการที่ 5.2 และสมการที่ 5.1 จะได้

$$V_{out} = \text{Gain}(V_2 - V_1)$$

โดย  $\text{Gain} = (1 + (2R_1/R_G))(R_f/R_i)$

แต่จากวงจร  $R_f = R_i$  ดังนั้น

$$V_{out} = (1 + (2R_1/R_G)) (V_2 - V_1) + V_{ref}$$

และจาก Gain ที่คำนวณได้ จะสามารถหา  $R_G$  ได้

$$R_G = 2(100\text{k})/(56.625 - 1) = 3.595 \text{ k}\Omega$$

และจะหา  $V_{ref}$  ได้จาก

$$V_{out} = (1 + (2R_1/R_G)) (V_2 - V_1) + V_{ref}$$

$$5 = (56.625)(62.2\text{mV}) + V_{ref}$$

$$5 = 6.041 + V_{ref}$$

$$V_{ref} = -1.041 \text{ V}$$

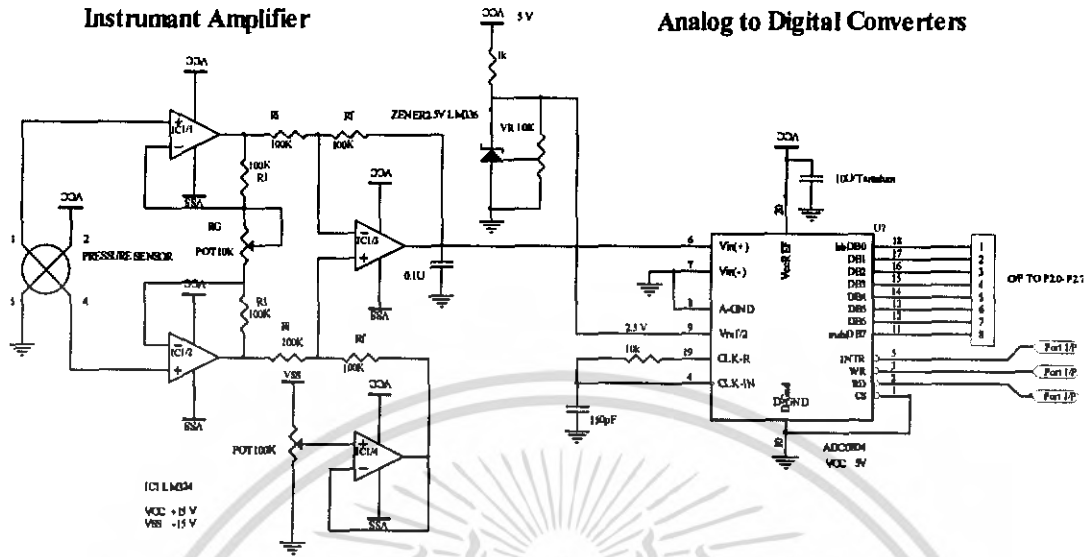
เลือกค่า  $V_R$   $100 \text{ k}\Omega$  และใช้แหล่งจ่ายไฟลบ  $15 \text{ V}$  ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่าน  $R$  ทั้งหมด

$$I_R = |-15|/100\text{k}\Omega = 150\mu\text{A}$$

ต้องการแรงดันตกคร่อม  $-1.09 \text{ V}$  ดังนั้นต้องปรับ  $V_R$  ให้ได้ค่า

$$R = V/I = |-1.041|/150\mu\text{A} = 6.94 \text{ k}\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล



รูปที่ 5.13 บอร์ดวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

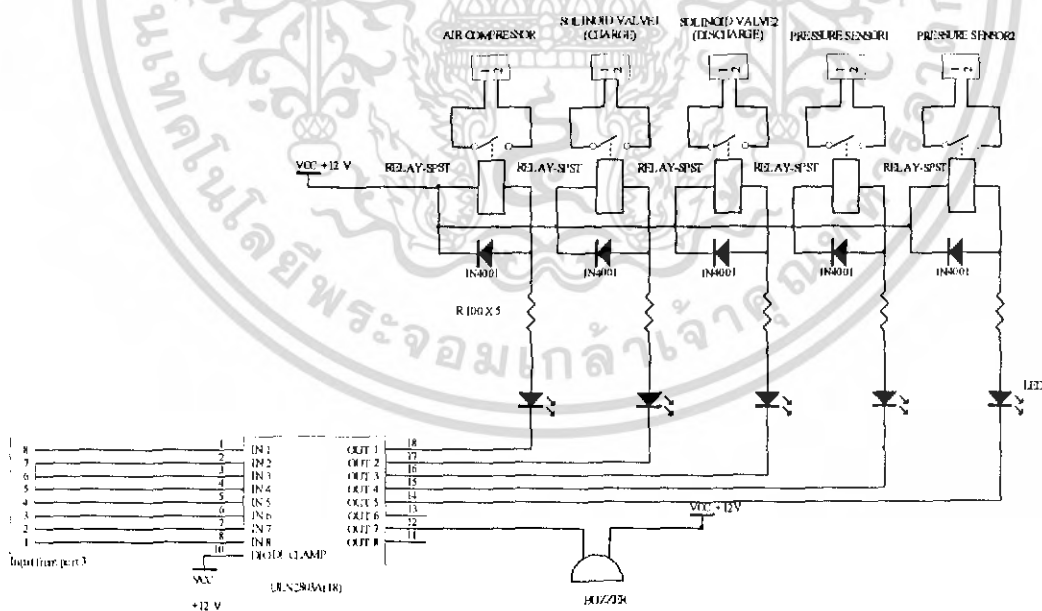
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.4 วงจรส่วนควบคุมระบบ

วงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นสวิทช์ตัดต่อ หรือเปิด-ปิดการทำงานอุปกรณ์ทั้งหมดที่ทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการควบคุมอีกทีหนึ่ง โดยการส่งข้อมูลเป็นลอจิก “0” หรือ “1” เพื่อทำการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์

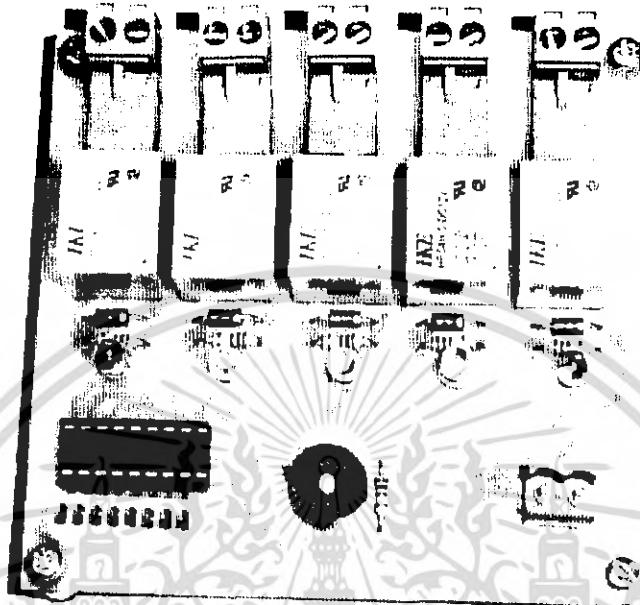
ในส่วนของวงจรมันจะใช้ไอซี ULN2803 ซึ่งเป็นไอซี CMOS ที่สามารถอินเทอร์เฟซได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยตรง วงจรภายในจะประกอบด้วย ทรานซิสเตอร์ที่ต่อเป็นแบบคาร์ลิงตัน สามารถทนแรงดันและกระแสได้สูง ลักษณะการทำงานจะคล้ายกับอินเวอร์เตอร์ 8 channel คือเมื่อได้รับ ลอจิก “1” ทรานซิสเตอร์ก็จะได้รับ ไบอัสเข้าที่ขาเบสเป็นผลให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ซึ่งจะทำให้เอาท์พุทคล้ายกับเป็นลอจิก “0” หรือแรงดันตกคร่อมขา VCE น้อยมากนั่นเอง โดย  $V_{CE_{sat}}$  จะมีค่าประมาณ 0.9 V

ไอซี ULN2803 นี้จะทำงานร่วมกับ Relay ขนาด 12 V เพื่อทำหน้าที่ตัด-ต่ออุปกรณ์ภายในระบบ โดยจะทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมด 4 ตัวด้วยกัน คือ Air compressor , Solenoid Valve1 Solenoid Valve2 และ Buzzer โดยอุปกรณ์แต่ละตัวจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อ ULN2803 ได้รับลอจิก “1” นั่นเอง



รูปที่ 5.14 วงจรส่วนควบคุมระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

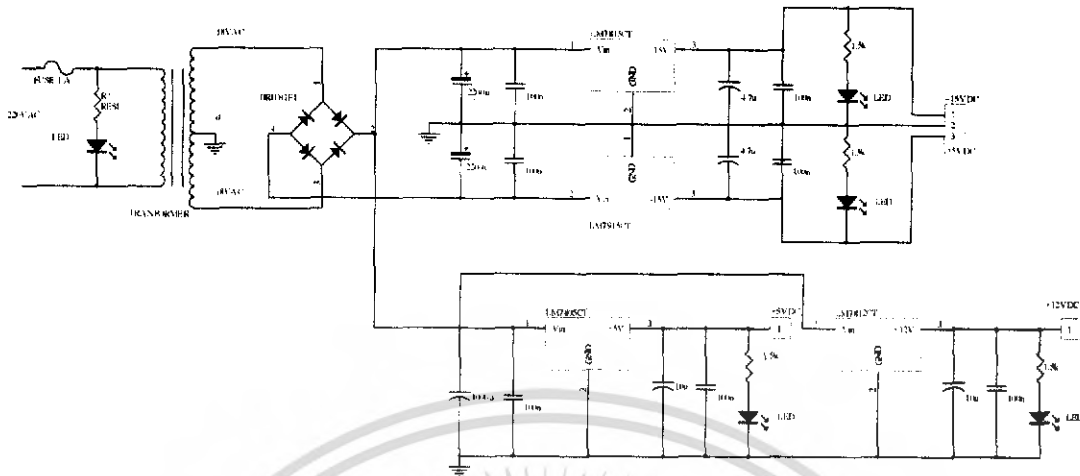


รูปที่ 5.15 บอร์ดวงจรควบคุมระบบ

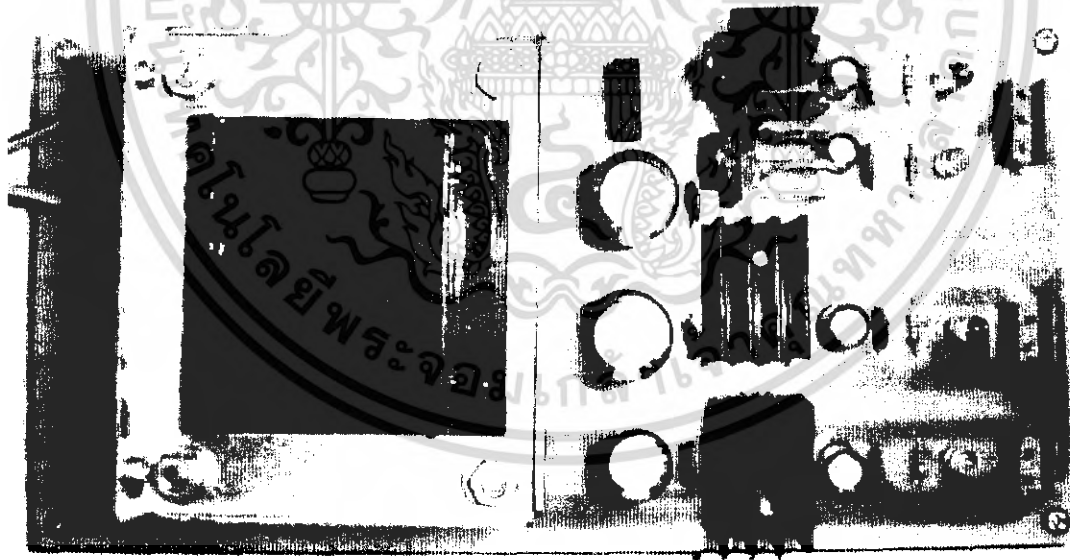
### 5.2.5 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า(Power Supply)

ระบบการเติมลมยางจำเป็นจะต้องใช้แหล่งจ่ายไฟทั้งหมด 4 ชุดด้วยกันคือ 5V , 12V , +15V และ -15V เมื่อพิจารณาจากระบบแล้ว ปริมาณความต้องการกระแสไม่ได้มากนัก สามารถใช้ไอซีเรกูเลเตอร์ได้ แต่จะมีปัญหาในเรื่องของความร้อนบ้างจึงจำเป็นต้องติดแผ่นระบายความร้อนไว้ที่ไอซีทุกตัว ความร้อนที่เกิดขึ้นจึงไม่มีปัญหาเท่าใดนัก และจะเน้นที่แหล่งจ่ายไฟ 5V เป็นหลัก คือจะพยายามหลีกเลี่ยงการใช้กับอุปกรณ์ที่กินกระแสสูงๆ เพราะต้องการให้เกิดความร้อนน้อยที่สุด ซึ่งจะใช้จ่ายเฉพาะไอซี AT89C52 ไอซี ADC0804, CD4011, 74HC541 และ Pressure sensor ซึ่ง Pressure sensor กินกระแสเพียง 1.5 mA เท่านั้น ส่วนที่วงจรกินกระแสมากที่สุด จะเป็นส่วนแสดงผล 7- Segment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 วงจร Power Supply

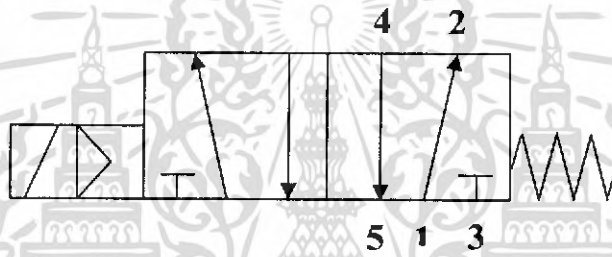


รูปที่ 5.17 บอร์ด Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

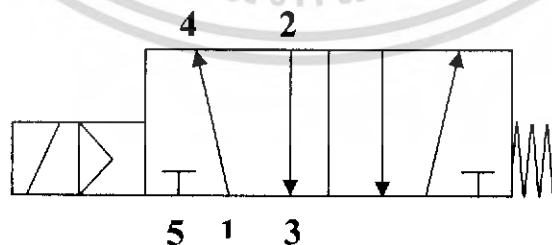
### 5.2.6 วาล์วควบคุมทิศทางลม

วาล์วควบคุมทิศทางพบเห็นได้ในระบบควบคุมนิวเมติก ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนทิศทางการไหลหรือการหยุดการไหลของลมอัด วาล์วควบคุมทิศทางจะติดตั้งในท่อลม จึงเป็นตัวต้านทานกระแสลมอัด แต่เนื่องจากวาล์วชนิดนี้ได้ออกแบบขึ้นเพื่อควบคุมอัตราการไหล ดังนั้นควรมีความต้านทานต่อการไหลน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ด้วยเหตุนี้ขนาดของวาล์วควบคุมทิศทางจึงต้องกำหนดจากเกณฑ์การไหลจริงของลมอัด คือ มีพื้นที่หน้าตัดเชิงประสิทธิผลเพียงพอให้ปริมาตรลมอัดที่ใช้งานไหลผ่าน ขนาดพื้นที่หน้าตัดเชิงประสิทธิผลของท่อและหน้าตัดที่ใช้จึงมีค่าเทียบเท่ากับค่าของวาล์ว ควบคุมทิศทางที่ใช้อยู่ เพื่อไม่ให้เกิดสาเหตุของการไหลที่ไม่เพียงพอ หรือความดันตกมากเกินไปเกินไป



รูปที่ 5.18 สัญลักษณ์ของ โซลินอยด์วาล์ว 5/2

ในกรณีที่ขดลวด โซลินอยด์อยู่ในสภาวะที่ยังไม่จ่ายไฟดังรูปที่ 5.14 ลมจะถูกป้อนเข้าที่ตำแหน่ง 1 ออกที่ตำแหน่ง 2 และลมที่ป้อนผ่านตำแหน่ง 4 จะออกที่ ตำแหน่ง 5 แต่เมื่อทำการจ่ายไฟให้กับขดลวดตำแหน่งต่าง ๆ จะถูกเลื่อนและแสดงดังรูปที่ 5.15 ลมจะป้อนเข้าที่ตำแหน่ง 1 ออกที่ตำแหน่ง 4 และป้อนเข้าที่ตำแหน่ง 2 ออกที่ตำแหน่ง 3

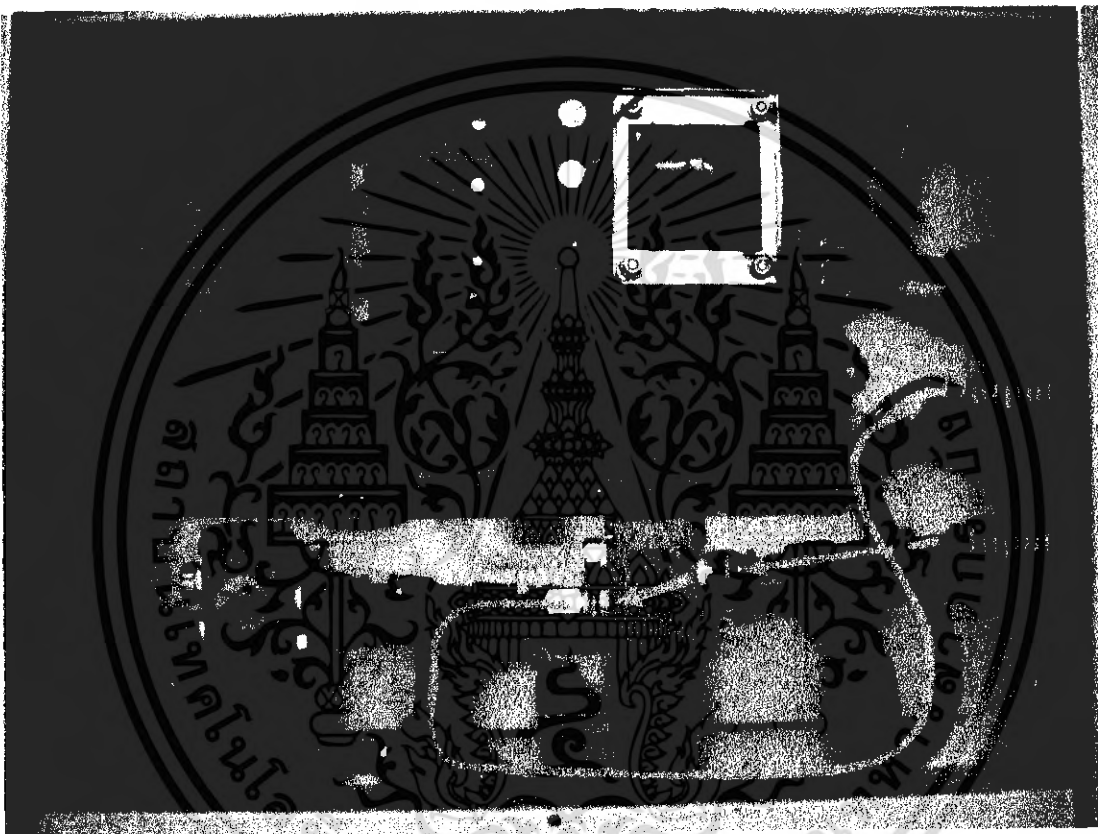


รูปที่ 5.19 ตำแหน่งและทิศทางลมของ โซลินอยด์วาล์ว 5/2 เมื่อป้อนไฟที่ขดลวด

จากหลักการทำงานของโซลินอยด์คังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ได้นำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องเติมลมยางอัตโนมัติ ที่สามารถแสดงและอธิบายการทำงานได้ดังรูปที่ 5.16 ที่แสดงโครงสร้างภายในเครื่อง และการต่อส่วนต่างๆของระบบเข้าด้วยกัน

สีเขียว แสดงทิศทางของลมเมื่อเครื่องทำงานในสถานะเติมลม

สีแดง แสดงทิศทางของลมเมื่อเครื่องทำงานในสถานะปล่อยลม



รูปที่ 5.20 การต่อใช้งานและทิศทางลมของโซลินอยด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.2.7 โครงสร้างภายนอกของระบบ

โครงสร้างภายนอกจะใช้ตู้เมนสวิตช์ทำด้วยโลหะขนาด 32.7cm×42.8cm×12cm (ก×ข×ต) ในขณะที่ใช้งานจริงจะนำตู้นี้ยึดติดกับผนังคั้งนั้นเพื่อการใช้งานให้สะดวก จึงเจาะรูเพื่อใส่ท่อลมในแนวเดียวกันทั้งหมด ซึ่งแสดงรูปไว้ด้านล่าง



รูปที่ 5.21 โครงสร้างภายนอกของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

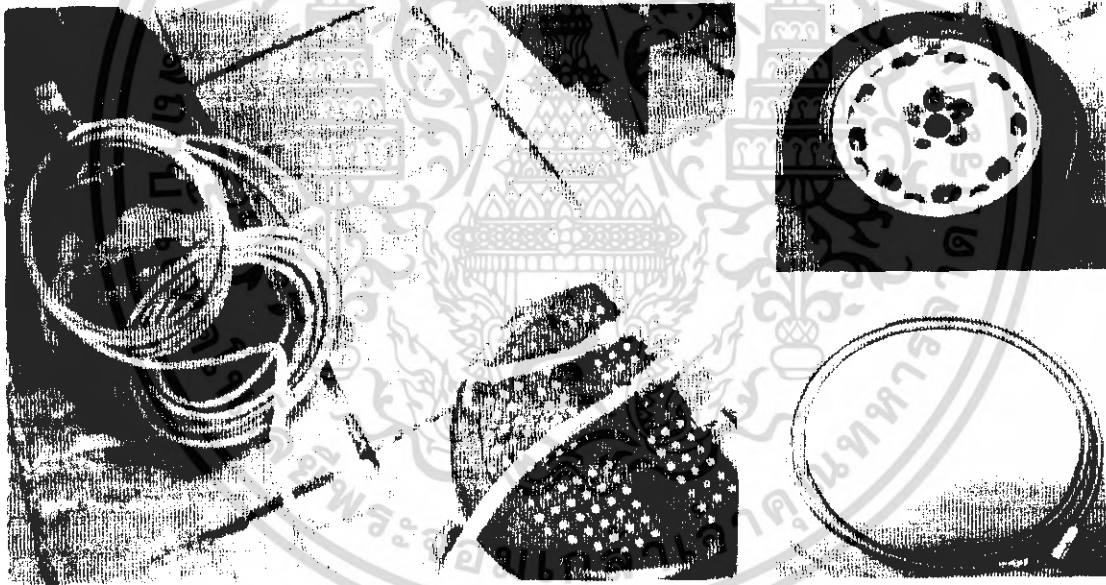
## บทที่ 6

### การทดสอบและผลการทดสอบระบบ

#### 6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ไม้ลมที่สามารถผลิตลมอัดได้มากกว่า  $60 \text{ lb/in}^2$
2. ยางรถยนต์ทดสอบ MICHELIN 185/65 R14 86H 51 psi ( $51 \text{ lb/in}^2$ ) MAX
3. สายลมและหัวจุกสำหรับเติมลมยาง
4. อุปกรณ์วัดความดันด้านแมคคาณิก
5. เครื่องเติมลมยางรถยนต์อัตโนมัติ

#### 6.2 การทดสอบการเติมลมยาง



รูปที่ 6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

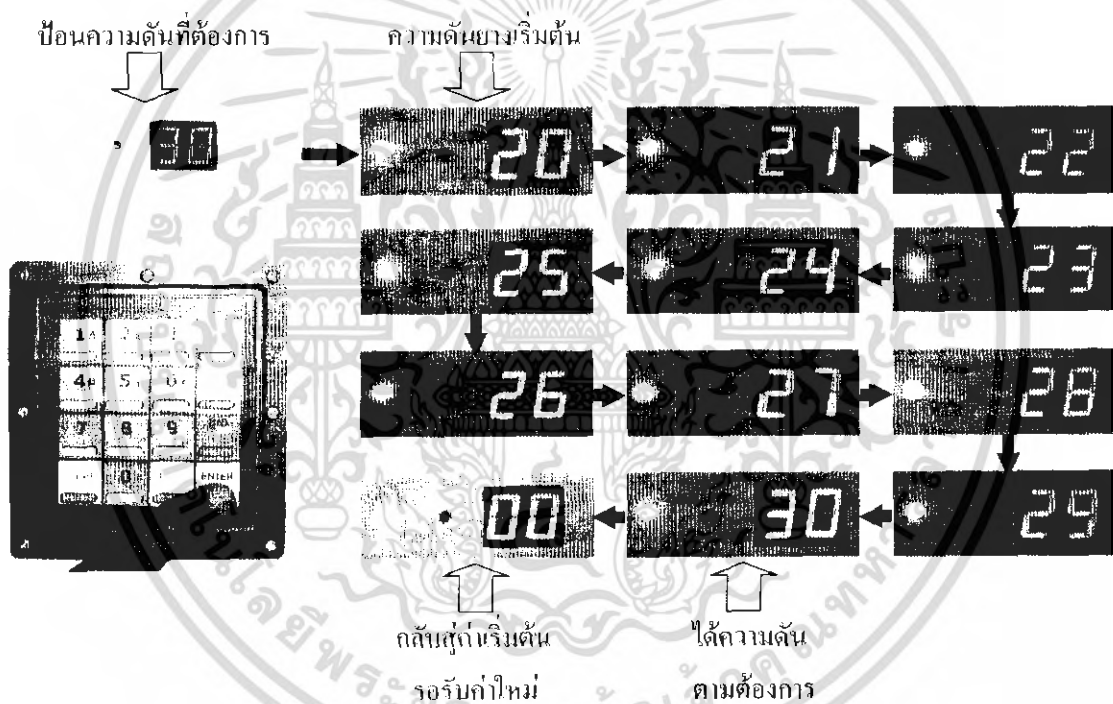
#### ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดความดันยางรถยนต์ด้วยอุปกรณ์ด้านแมคคาณิก
2. ทำการป้อนความดันที่ต้องการเติมผ่านทางกึ่งแปด โดยความดันนี้ต้องมากกว่าความดันที่แมคคาณิกวัดได้ เพราะถ้าไม่เป็นเช่นนั้นระบบจะทำการปล่อยลม เช่น ทำการเติมลมจากความดันที่ทางแมคคาณิกที่วัดได้คือ  $20 \text{ lb/in}^2$  ให้เพิ่มเป็น  $30 \text{ lb/in}^2$  โดยป้อนค่า 30 ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางคีย์แปด

3. กดปุ่ม Enter โดยในขณะนี้ต้องแน่ใจว่า จุกเติมลมได้ต่อกับยางเรียบร้อยแล้ว
4. รรระบบทำการเติมลมอย่างอัตโนมัติ และจับเวลาการทำงานของระบบเมื่อความดันเพิ่มขึ้นทุกๆ 2 lb/in<sup>2</sup> จนถึงค่าสูงสุดที่ลมยางจะสามารถรับได้คือ 50 lb/in<sup>2</sup> บันทึกผลที่ได้ลงในตารางการทดลอง
5. วัดค่าความดันจากยางรถยนต์ด้วยอุปกรณ์แมคคานิคอีกครั้ง จากนั้นเปรียบเทียบค่าความดันของระบบ กับอุปกรณ์แมคคานิค



รูปที่ 6.2 ลำดับขั้นตอนการทำงานและค่าผลการแสดงผลของระบบเมื่อเติมลม 20-30 lb/in<sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.1 ผลการทดลองการเติมลมยาง

Pressure Charge		
System(lb/in <sup>2</sup> )	Mechanic(lb/in <sup>2</sup> )	Time(s)
0	0	0
12	13	41.8
14	15	9.7
16	17	9.5
18	19	9.7
20	21	9.4
22	22	9.9
24	24	10.1
26	26	10.1
28	28	9.6
30	30	9.6
32	32	9.9
34	34	10.0
36	36	9.5
38	38	9.5
40	40	9.7
42	42	9.9
44	44	9.5
46	46	9.6
48	48	9.7
50	50	10.1
ค่าเวลาเฉลี่ย		9.0

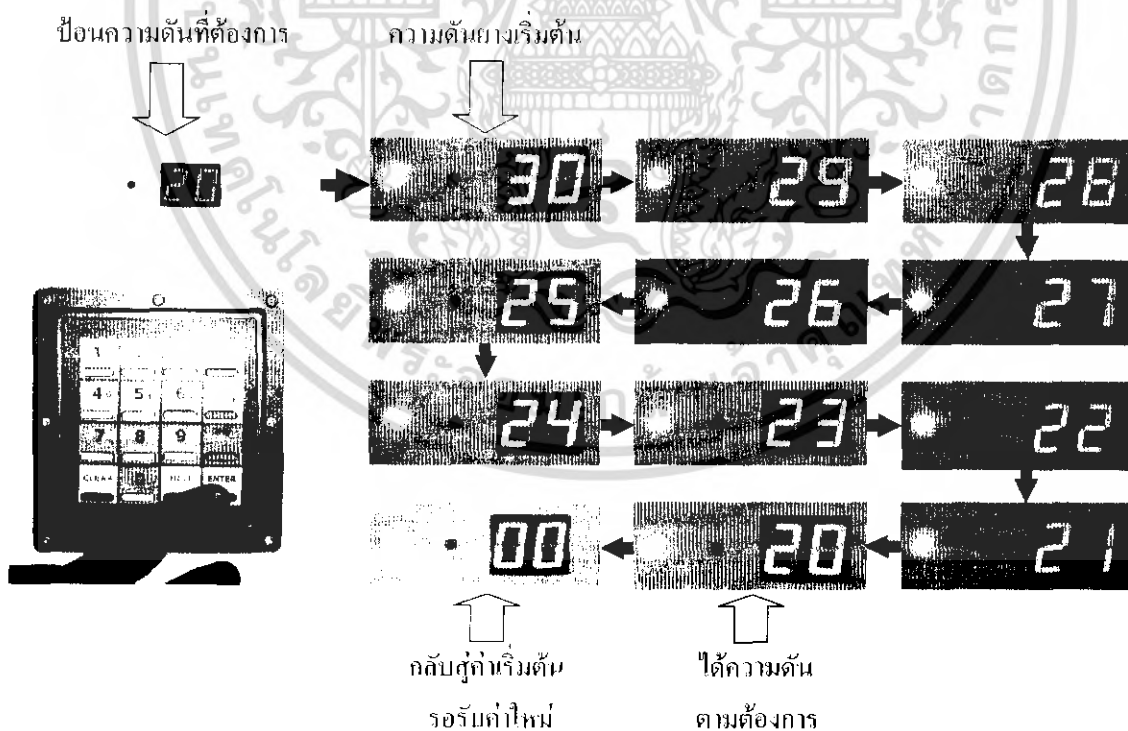
เวลาที่ใช้ในการเติมลมยางอย่างต่อเนื่องจาก 0-50 lb/in<sup>2</sup> = 2.27.18 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.3 การทดสอบการปล่อยลมยาง

ขั้นตอนการทดสอบ

1. วัดความดันยางรถยนต์ด้วยอุปกรณ์ด้านแมคคานิค
2. ทำการป้อนความดันที่ต้องการเติมผ่านทางคีย์แปด โดยความดันนี้ต้องน้อยกว่าความดันที่แมคคานิควัดได้ เพราะถ้าไม่เป็นเช่นนั้นระบบจะทำการเติมลม เช่นต้องการปล่อยลมจากความดันที่ทางแมคคานิคที่วัดได้คือ 30 lb/in<sup>2</sup> ให้ลดลงเป็น 20 lb/in<sup>2</sup> โดยป้อนค่า 20 ผ่านทางคีย์แปด
3. กดปุ่ม Enter โดยในขณะที่ตั้งแนวไว้ว่า ถูกเติมลมได้ต่อกับยางเรียบร้อยแล้ว
4. รอระบบทำการเติมลมอย่างอัตโนมัติ และจับเวลาการทำงานของระบบเมื่อความดันลดลงทุกๆ 2 lb/in<sup>2</sup> จนถึงค่าความดัน 12 lb/in<sup>2</sup> ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำที่สุดที่ระบบสามารถทำการปล่อยลมได้ และบันทึกผลที่ได้ลงในตารางการทดลอง
5. วัดค่าความดันจากยางรถยนต์ด้วยอุปกรณ์แมคคานิคอีกครั้ง จากนั้นเปรียบเทียบค่าความดันของระบบ กับอุปกรณ์แมคคานิค



รูปที่ 6.3 ลำดับขั้นตอนการทำงานและลำดับการแสดงผลของระบบเมื่อปล่อยลม 30-20 lb/in<sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

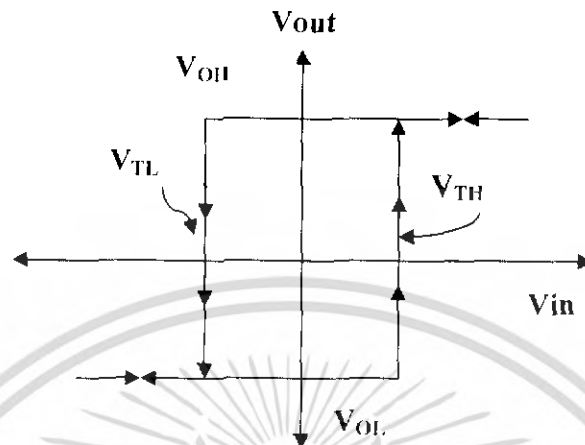
ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบการปล่อยลมยาง

Pressure Discharge		
System(lb/in <sup>2</sup> )	Mechanic(lb/in <sup>2</sup> )	Time(s)
50	50	0
48	48	6.1
46	46	6.3
44	44	6.5
42	42	6.6
40	40	9.7
38	38	9.6
36	36	9.5
34	34	9.6
32	32	9.5
30	30	10.1
28	28	10.1
26	26	10.2
24	24	10.3
22	23	10.3
20	21	11.2
18	19	13.1
16	17	13.7
14	15	20.2
12	13	20.3
ค่าเวลาเฉลี่ย		9.6

เวลาที่ใช้ในการปล่อยลมยางอยู่เฉลี่ยเนื่องจาก 50-0 lb/in<sup>2</sup> = 1.42.48 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.4 ฮิสเตอร์รีซิส (hysteresis) ทางด้านอินพุต



รูปที่ 6.4 กราฟคุณสมบัติของฮิสเตอร์รีซิส

ผลการทดลองผลของฮิสเตอร์รีซิสทางด้านอินพุต

จาก ช่วงระดับความดันอินพุตที่ทำให้เกิด	$V_{OL}$	=	60 - 80 lb/in <sup>2</sup>
นั่นคือ ช่วงระดับความดันอินพุตด้านต่ำที่ยังทำให้เกิด	$V_{OL}$	=	60 lb/in <sup>2</sup>
ช่วงระดับความดันอินพุตด้านสูงที่ยังทำให้เกิด	$V_{OL}$	=	80 lb/in <sup>2</sup>

### 6.4.1 ฮิสเตอร์รีซิสอินพุตด้านต่ำ

$$V_{TL} = V_{OH} \rightarrow V_{OL} = 61 \text{ lb/in}^2$$

$$V_{TH} = V_{OL} \rightarrow V_{OH} = 60 \text{ lb/in}^2$$

### 6.4.2 ฮิสเตอร์รีซิสอินพุตด้านสูง

$$V_{TH} = V_{OH} \rightarrow V_{OL} = 80 \text{ lb/in}^2$$

$$V_{TL} = V_{OL} \rightarrow V_{OH} = 81 \text{ lb/in}^2$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยฮิสเตอร์รีซิส } V_H = V_{TH} - V_{TL} = 1 \text{ lb/in}^2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6.5 คุณสมบัติของระบบ( Specifications of System )

ตารางที่ 6.3 คุณสมบัติของระบบ

Parameter	Min	Typ	Max	Units
Hysterresis Input Pressure		1		lb/in <sup>2</sup>
Input Pressure Overload	61		94.25	lb/in <sup>2</sup>
Peak Time Pressure Charge Continues (from 0 to 50 lb/in <sup>2</sup> )		2.27.18		minute
Peak Time Pressure Discharge Continues (from 50 to 0 lb/in <sup>2</sup> )		1.42.48		minute
Input Pressure Range		0-60		lb/in <sup>2</sup>
Pressure Charge Error			± 1	lb/in <sup>2</sup>
Pressure Discharge Error			± 1	lb/in <sup>2</sup>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบเครื่องเติมลมยางอัตโนมัติในสถานะไม่ได้ใช้งาน ซึ่งจะมีการตรวจสอบค่า ความดันอินพุทจากปั๊มลมให้เพียงพออยู่เสมอ นั้น สามารถวัดช่วงความดันที่พร้อมใช้งานได้คือ 60 - 80 lb/in<sup>2</sup> (ช่วงที่ให้เอาท์พุทออกจิกค่า :  $V_{OL}$ ) ซึ่งตรงกับค่าที่คำนวณได้ แต่มีค่าความผิดพลาดจากความกว้างของฮิสเตอร์รีซิส อยู่ที่ 1 lb/in<sup>2</sup> ทั้ง 2 ช่วง ( ช่วง 60 lb/in<sup>2</sup> และ ช่วง 80 lb/in<sup>2</sup> )

เมื่อทำการทดสอบระบบในสถานะเติมลมยางรถยนต์ ซึ่งทดสอบโดยใช้ ยางรถยนต์ MICHELIN 185/65 R14 86H 51 psi (51 lb/in<sup>2</sup>) MAX ซึ่งสามารถเติมลมยางรถยนต์ได้สูงสุดที่ 51 lb/in<sup>2</sup> จึงทำการทดสอบการเติมได้สูงสุดเพียง 50 lb/in<sup>2</sup> ซึ่งจากการทดสอบสามารถเติมลมได้ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ทางด้านแมคคานิค มีค่าความผิดพลาดมากที่สุดคือ  $\pm 1$  lb/in<sup>2</sup>

เมื่อทำการทดสอบการปล่อยลมยางรถยนต์ชนิดเดียวกัน สามารถปล่อยลมและวัดความดันได้ ผิดพลาด  $\pm 1$  lb/in<sup>2</sup> เช่นเดียวกับการเติมลมยาง

จากการทดสอบระบบ จะมีปัญหาในช่วงความดันต่ำๆ ซึ่งในการเติมลมยางช่วงความดันไม่เกิน 12 lb/in<sup>2</sup> ค่าของความดันจะไม่เพิ่มอย่างเป็นเชิงเส้น(จากกราฟคุณสมบัติของเซนเซอร์) อีกทั้งยังเป็นช่วงความดันต่ำ แต่ลมอัดที่ส่งผ่านเข้ามาจากปั๊มลมนั้นมีค่าสูง และอัตราการไหลค่อนข้างเร็ว ทำให้ความดันในยางนั้น มีการเพิ่มค่าแบบก้าวกระโดด ซึ่งต่างจาก ช่วงความดันยางรถยนต์ที่มีค่ามากกว่า 12 lb/in<sup>2</sup> ซึ่งเมื่อเติมลมยาง จะให้ค่าเพิ่มขึ้น ในอัตราที่เท่ากัน คือเพิ่มทีละ 1 lb/in<sup>2</sup> และเป็นเชิงเส้น ตลอดช่วงการเติม อีกทั้งยังพบว่าในช่วงความดันต่ำๆ นี้ ค่าความผิดพลาดจะเห็นได้ค่อนข้างชัดเจนว่าจะผิดพลาดเกือบทุกค่าความดัน นั่นเป็นเพราะว่าลมอัดที่ส่งผ่านเข้ามามีปริมาณค่อนข้างน้อย อัตราการไหลของลมค่อนข้างช้า ทำให้ลมภายในยางยังไม่นิ่งพอที่ทำการตรวจสอบได้ เมื่อทำการตรวจจับความดันและประมวลผลออกมาได้จึงไม่ใช่ค่าความดันที่แท้จริง ซึ่งสาเหตุนี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการใส่วาล์วเปิดปิดปริมาณการส่งผ่านลมที่อินพุท และใช้การหน่วงเวลา (delay) ช่วงเวลาการตรวจจับความดันของเซนเซอร์เอาไว้ ๕ ระยะเวลาหนึ่ง แล้วจึงทำการตรวจจับ แต่ในลมยางรถยนต์ทั่วไปนั้น ความดันต่ำๆนั้นไม่ได้ใช้งาน จึงไม่เป็นปัญหาสำหรับการเติมลมยางรถยนต์ทั่วไป

ปัญหาที่พบในเรื่องการปล่อยลมยางก็คือ เมื่อทำการปล่อยลมยางจนถึง 12 lb/in<sup>2</sup> แล้วถ้ายังปล่อยลมต่อไปอีก ค่าที่วัดได้จากระบบ จะเห็นค่าเป็น 0 lb/in<sup>2</sup> นั่นก็เป็นเพราะสาเหตุเดียวกับการเติมลมยางคือความดัน มีค่าต่ำเกินไป เซ็นเซอร์ไม่สามารถตรวจจับได้ทัน และก็สามารถแก้ไขได้ด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหน่วงเวลาการตรวจจับเช่นเดียวกับการเติมลมยาง แต่ปัญหาความดันต่ำๆนี้ไม่มีผลอะไรกับลมยางทั่วไปเพราะลมยางรถยนต์ทั่วไปมีค่าความดันของยางเกินกว่า 20 lb/in<sup>2</sup> (ความดันยางรถยนต์แต่ละชนิดแนบไว้ในภาคผนวก ข.)

ค่าเวลาในการเติมลมยางและปล่อยลมยางมีความเร็วค่อนข้างต่ำ เนื่องจากผลของการหน่วงเวลาเพื่อให้ลมที่สูดก่อนการตรวจจับ นั่นคือเมื่อเติมลมหรือปล่อยลมทุก 2 lb/in<sup>2</sup> จะใช้เวลาประมาณ 9-10 วินาที ในกรณีที่ป้อนค่าทุกๆ 2 lb/in<sup>2</sup> โดยที่ความดันต่ำๆเมื่อเติมลมความดันจะเพิ่มขึ้นค่อนข้างรวดเร็ว เพราะความดันย้อนกลับค่อนข้างน้อย และเช่นเดียวกันเมื่อปล่อยลมที่ความดันสูงๆ ก็จะทำงานเร็วกว่าที่ความดันต่ำๆ เพราะอัตราการไหลออกของลมที่ความดันสูงๆมีมากกว่า แต่เมื่อเติมลมยางอย่างต่อเนื่อง ( เติมมากกว่า 2 lb/in<sup>2</sup>) ความเร็วในการเติมและปล่อยลมจะเพิ่มขึ้นซึ่งโดยทั่วไปแล้วถ้ายางรถยนต์ไม่ได้รั่ว ลมยางจะอ่อนหรือแข็งกว่ามาตรฐานไม่มาก คือ ไม่เกิน 10 lb/in<sup>2</sup> ดังนั้นช่วงเวลาทำงานของระบบก็จะไม่เกิน 1 นาที แต่หากยางรั่วจนความดันยางเท่ากับศูนย์ ก็จะใช้เวลาในการเติมเฉลี่ย ไม่เกิน 4 นาที (คิดที่ความดันยางรถยนต์สูงสุดที่ระบบสามารถทำงานได้คือ 60 lb/in<sup>2</sup>) เช่นเดียวกันในกรณีที่ต้องการปล่อยลมยางจากความดันสูงสุดคือ 60 lb/in<sup>2</sup> เป็น 0 lb/in<sup>2</sup> ก็จะใช้เวลาไม่เกิน 3 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

1. ณรงค์ ตัณชีวะวงศ์, “นิวเมติกอุตสาหกรรม”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 380 หน้า, 2545
2. ชีรวัฒน์ ประกอบผล, “ภาษาแอสแซมบลีสำหรับ MCS-51”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย- ญี่ปุ่น), 268 หน้า, 2546
3. วรพงษ์ ตั้งศรีรัตน์, “ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาล็อก”, ว.พีเชรสกุล, 280 หน้า, 2545
4. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล และ ชัยวัฒน์ ลัมพรจิตรวิไล, “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลช”, บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 399 หน้า
5. สมยศ จุณณะปิยะ, “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51”, 466 หน้า, 2546
6. อุทัย สุขสิงห์, “ไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น), 340 หน้า, 2547
7. <http://www.datasheetarchive.com>
8. <http://www.adisak51.com>
9. <http://www.prctechnologies.com>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	KPAD_ROW0	BIT	P1.3	}	อินนิเชียลพอร์ด
	KPAD_ROW1	BIT	P1.2		
	KPAD_ROW2	BIT	P1.1		
	KPAD_ROW3	BIT	P1.0		
	KPAD_COL3	BIT	P1.4		
	KPAD_COL2	BIT	P1.5		
	KPAD_COL1	BIT	P1.6		
	KPAD_COL0	BIT	P1.7		
	FLAG	EQU	02FH		
	KEYPRESSED	BIT	FLAG.0		
	L_SHF	BIT	FLAG.1		
	DSP1_BUFFER	EQU	030H		
	DSP2_BUFFER	EQU	031H		
	KPAD_DATA	EQU	032H		
	ORG		0000H		
	SETB		P3.6	}	ปิดโซลีนอยด์เต็มลม
	SETB		P3.7		
	SETB		P3.1	}	สัญญาณเปิดเครื่อง
	SETB		P3.2		
	LCALL		DELAY_50ms		
	CLR		P3.1		
	CLR		P3.2		
	MOV		P0,#00000000B		
	LCALL		DELAY_1_1s		
CHKAIR:	SETB		P3.0	}	ตรวจสอบปั๊มลม
	SETB		P3.6		
	JNB		P3.0,ON		
	SETB		P3.1	}	สัญญาณเตือนลมไม่พอ
	SETB		P3.2		
	LCALL		DELAY_50ms		
	CLR		P3.1		
	CLR		P3.2		
	LCALL		DELAY_50ms		
	SETB		P3.1	}	เปิดปั๊มลม
	SETB		P3.2		
	LCALL		DELAY_1_1s		
	LCALL		DELAY_1_1s		
	SETB		P3.1	}	ตรวจสอบลมจากปั๊ม
CHKAIR2:	CLR		P3.2		
	SETB		P3.0		
	SETB		P3.6	}	สัญญาณการทำงาน
	JNB		P3.0,ON1		
	SJMP		CHKAIR2	}	เสร็จสมบูรณ์
BAZZER:	SETB		P3.1		
	SETB		P3.2		
	LCALL		DELAY_1_1s		
	LCALL		SCAN_DSP_LOOP		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในพีซีเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	LCALL	DELAY_1s	}	สัญญาณการทำงาน เสร็จสมบูรณ์
	SETB	P3.1		
	SETB	P3.2		
	LCALL	DELAY_1_1s		
	LCALL	DELAY_1_1s		
ON1:	SJMP	CHKAIR		
ON:	LCALL	DELAY_10s		เริ่มต้นการทำงาน
	MOV	P0,#00000000B		
	MOV	P1,#11111111B		
MAIN:	MOV	DSP1_BUFFER,#0		
	MOV	DSP2_BUFFER,#0		
	MOV	FLAG,#0		
LOOP:	ACALL	GET_KPAD	}	ตรวจสอบและเก็บค่าคีย์แพด
	MOV	A,KPAD_DATA		
	CJNE	A,#4,NEXT_8		
	AJMP	LOOP		
NEXT_8:	CJNE	A,#8,NEXT_12		
	AJMP	LOOP		
NEXT_12:	CJNE	A,#12,NEXT_13		
	AJMP	LOOP		
NEXT_13:	CJNE	A,#13,NEXT_15		
	AJMP	LOOP		
NEXT_15:	CJNE	A,#15,NEXT_16		
	AJMP	LOOP		
NEXT_16:	CJNE	A,#16,START		
	LCALL	SCAN_DSP_LOOP		
	MOV	35H,DSP2_BUFFER		
	MOV	A,35H		
	CJNE	A,#0,UNIT0		
	MOV	35H,#0		
	LJMP	DEC		
UNIT0:	CJNE	A,#14,UNIT1		
	MOV	35H,#0		
	LJMP	DEC		
UNIT1:	CJNE	A,#1,UNIT2		
	MOV	35H,#1		
	LJMP	DEC		
UNIT2:	CJNE	A,#2,UNIT3		แปลงค่าจากคีย์แพดและ เก็บค่า
	MOV	35H,#2		
	LJMP	DEC		
UNIT3:	CJNE	A,#3,UNIT4		
	MOV	35H,#3		
	LJMP	DEC		
UNIT4:	CJNE	A,#5,UNIT5		
	MOV	35H,#4		
	LJMP	DEC		
UNIT5:	CJNE	A,#6,UNIT6		
	MOV	35H,#5		
	LJMP	DEC		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

UNIT6:      CJNE      A,#7,UNIT7
             MOV       35H,#6
             LJMP      DEC
UNIT7:      CJNE      A,#9,UNIT8
             MOV       35H,#7
             LJMP      DEC
UNIT8:      CJNE      A,#10,UNIT9
             MOV       35H,#8
             LJMP      DEC
START:      LJMP      START2
UNIT9:      CJNE      A,#11,UNIT0
             MOV       35H,#9
DEC:        MOV       33H,DSP1_BUFFER
             MOV       A,33H
             CJNE      A,#0,DEC0
             MOV       33H,#0
             SJMP      NEXT3
DEC0:       CJNE      A,#14,DEC1
             MOV       33H,#0
             SJMP      NEXT3
DEC1:       CJNE      A,#1,DEC2
             MOV       33H,#10
             SJMP      NEXT3
DEC2:       CJNE      A,#2,DEC3
             MOV       33H,#20
             SJMP      NEXT3
DEC3:       CJNE      A,#3,DEC4
             MOV       33H,#30
             SJMP      NEXT3
DEC4:       CJNE      A,#5,DEC5
             MOV       33H,#40
             SJMP      NEXT3
DEC5:       CJNE      A,#6,DEC6
             MOV       33H,#50
             SJMP      NEXT3
DEC6:       CJNE      A,#7,DEC7
             MOV       33H,#60
             SJMP      NEXT3
DEC7:       CJNE      A,#9,DEC8
             MOV       33H,#70
             SJMP      NEXT3
DEC8:       CJNE      A,#10,DEC9
             MOV       33H,#80
             SJMP      NEXT3
DEC9:       CJNE      A,#11,NEXT3
             MOV       33H,#90
             SJMP      NEXT3

```

แปลงค่าจากคีย์แพดและ  
เก็บค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OVER:	SETB	P3.1	}	สัญญาณกดปุ่มผิด
	SETB	P3.2		
	LCALL	DELAY_10ms		
	CLR	P3.1		
	CLR	P3.2		
	LCALL	DELAY_50ms		
	SETB	P3.1		
	SETB	P3.2		
	LCALL	DELAY_10ms		
	CLR	P3.1		
	CLR	P3.2		
	LJMP	CHKAIR	}	ตรวจสอบการกดปุ่มผิด
NEXT3:	MOV	A,33H		
	ADDC	A,35H		
	MOV	37H,A		
	MOV	B,#61		
	DIV	AB		
	CJNE	A,#0,OVER		
CHKPRESS1:	MOV	P2,#0FFH		
	SETB	P3.6		
	SETB	P3.7		
	SETB	P3.4		
	SETB	P3.3		
	LCALL	DELAY_1s		
	CLR	P3.4		
WR:	SETB	P3.4		
	JB	P3.5,WR		
	CLR	P3.3		
	MOV	A,P2		
	SETB	P3.3		
	RR	A		
	RR	A		
	ANL	A,#00111111B		
	MOV	R7,A		
	MOV	B,#10		
	DIV	AB		
	LCALL	SHOW_AD		
AD1:	MOV	A,R7		
	CJNE	A,37H,CHKPRESS2		
	LJMP	BAZZER		
CHKPRESS2:	LCALL	SCAN_DSP_LOOP		
	JNC	DISCHARGE		
	LJMP	CHARGE		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARGE:	SJMP	CHKAIR1	}	เติมลม
CHARGE1:	LCALL	SCAN_DSP_LOOP		
	CLR	P3.6		
	SETB	P3.7		
	LCALL	DELAY_1s		
	SETB	P3.6		
	LJMP	CHKPRESS1	}	ปล่อยลม
DISCHARGE:	LCALL	SCAN_DSP_LOOP		
	SETB	P3.6		
	CLR	P3.7		
	LCALL	DELAY_1s		
	SETB	P3.7		
	LJMP	CHKPRESS1	}	ตรวจสอบลมจากปั๊ม
CHKAIR1:	SETB	P3.0		
	SETB	P3.6		
	SETB	P3.7		
	JNB	P3.0,CHARGE1		
	JNB	P3.0,ON2		
CHKAIR3:	SETB	P3.1	}	เปิดปั๊มลมและ ตรวจสอบลมจากปั๊ม
	CLR	P3.2		
	SJMP	CHKAIR3		
ON2:	SETB	P3.1		
	CLR	P3.2		
	LCALL	DELAY_10s		
	SJMP	CHARGE1	}	โปรแกรม อ่านค่าก็ย์แพด
	RET			
START2:	JZ	NEXT		
	JB	KEYPRESSED,SHOW		
	SETB	KEYPRESSED		
LEFT_SHIFT:	MOV	DSP1_BUFFER,DSP2_BUFFER		
	MOV	DSP2_BUFFER,KPAD_DATA		
	AJMP	SHOW		
NEXT:	CLR	KEYPRESSED		
SHOW:	ACALL	SHOW_DSP		
	CLR	L_SHF		
	AJMP	LOOP		
GET_KPAD:	MOV	P1,#0FFH		
	MOV	KPAD_DATA,#0		
CHK_COLO:	CLR	KPAD_COLO		
	MOV	A,P1		
	ANL	A,#0FH		
	CJNE	A,#0FH,COLO_DETECT		
	AJMP	CHK_COL1		
COLO_DETECT:	MOV	KPAD_DATA,#01		
	AJMP	GET_ROW		
CHK_COL1:	SETB	KPAD_COLO		
	CLR	KPAD_COL1		
	MOV	A,P1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ANL      A,#0FH
CJNE    A,#0FH,COL1_DETECT
AJMP    CHK_COL2
COL1_DETECT: MOV    KPAD_DATA,#02
AJMP    GET_ROW
CHK_COL2: SETB   KPAD_COL1
CLR     KPAD_COL2
MOV     A,P1
ANL     A,#0FH
CJNE    A,#0FH,COL2_DETECT
AJMP    CHK_COL3
COL2_DETECT: MOV    KPAD_DATA,#03
AJMP    GET_ROW
CHK_COL3: SETB   KPAD_COL2
CLR     KPAD_COL3
MOV     A,P1
ANL     A,#0FH
CJNE    A,#0FH,COL3_DETECT
RET
COL3_DETECT: MOV    KPAD_DATA,#04
AJMP    GET_ROW
GET_ROW: CLR     KPAD_COL0
CLR     KPAD_COL1
CLR     KPAD_COL2
CLR     KPAD_COL3
JB      KPAD_ROW0,CHK_ROW1
RET
CHK_ROW1: JB      KPAD_ROW1,CHK_ROW2
MOV     A,KPAD_DATA
ADD     A,#4
MOV     KPAD_DATA,A
RET
CHK_ROW2: JB      KPAD_ROW2,CHK_ROW3
MOV     A,KPAD_DATA
ADD     A,#8
MOV     KPAD_DATA,A
RET
CHK_ROW3: MOV     A,KPAD_DATA
ADD     A,#12
MOV     KPAD_DATA,A
RET
SHOW_DSP: MOV     R6,#5
SCAN_DSP_LOOP: MOV     A,DSP1_BUFFER
MOV     DPTR,#DSP_BLANK
MOVC   A,@A+DPTR
MOV     P0,A
CLR     P3.1
SETB   P3.2
ACALL  DELAY_1ms

```

โปรแกรม  
อ่านค่าคีย์แพด

แสดงผลทาง LED  
7 SEGMENT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,DSP2_BUFFER
MOV      DPTR,#DSP_BLANK
MOVC    A,@A+DPTR
MOV      P0,A
CLR      P3.2
CLR      P3.1
ACALL   DELAY_1ms
DJNZ    R6,SCAN_DSP_LOOP
RET

SHOW_AD: MOV      39H,A
MOV      A,B
CJNE    A,#0,AD_UNIT1
MOV      DSP2_BUFFER,#14
SJMP    AD_DEC
AD_UNIT1: CJNE    A,#1,AD_UNIT2
MOV      DSP2_BUFFER,#1
SJMP    AD_DEC
AD_UNIT2: CJNE    A,#2,AD_UNIT3
MOV      DSP2_BUFFER,#2
SJMP    AD_DEC
AD_UNIT3: CJNE    A,#3,AD_UNIT4
MOV      DSP2_BUFFER,#3
SJMP    AD_DEC
AD_UNIT4: CJNE    A,#4,AD_UNIT5
MOV      DSP2_BUFFER,#5
SJMP    AD_DEC
AD_UNIT5: CJNE    A,#5,AD_UNIT6
MOV      DSP2_BUFFER,#6
SJMP    AD_DEC
AD_UNIT6: CJNE    A,#6,AD_UNIT7
MOV      DSP2_BUFFER,#7
SJMP    AD_DEC
AD_UNIT7: CJNE    A,#7,AD_UNIT8
MOV      DSP2_BUFFER,#9
SJMP    AD_DEC
AD_UNIT8: CJNE    A,#8,AD_UNIT9
MOV      DSP2_BUFFER,#10
SJMP    AD_DEC
AD_UNIT9: CJNE    A,#9,AD_DEC
MOV      DSP2_BUFFER,#11
AD_DEC:  MOV      A,39H
CJNE    A,#0,AD_DEC1
MOV      DSP1_BUFFER,#14
RET
AD:      LJMP    AD1
AD_DEC1: CJNE    A,#1,AD_DEC2
MOV      DSP1_BUFFER,#1
RET
AD_DEC2: CJNE    A,#2,AD_DEC3

```

แสดงผลทาง LED  
7 SEGMENT

เก็บค่าจาก A/D  
เพื่อไปแสดงผล

	MOV	DSP1_BUFFER,#2	
	RET		
AD_DEC3:	CJNE	A,#3,AD_DEC4	
	MOV	DSP1_BUFFER,#3	
	RET		
AD_DEC4:	CJNE	A,#4,AD_DEC5	
	MOV	DSP1_BUFFER,#5	
	RET		
AD_DEC5:	CJNE	A,#5,AD_DEC6	
	MOV	DSP1_BUFFER,#6	
	RET		
AD_DEC6:	CJNE	A,#6,AD_DEC7	
	MOV	DSP1_BUFFER,#7	
	RET		
AD_DEC7:	CJNE	A,#7,AD_DEC8	
	MOV	DSP1_BUFFER,#9	
	RET		
AD_DEC8:	CJNE	A,#8,AD_DEC9	
	MOV	DSP1_BUFFER,#10	
	RET		
AD_DEC9:	CJNE	A,#9,AD	
	MOV	DSP1_BUFFER,#11	
	RET		
DELAY_1ms:	MOV	R0,#0E6H	
DELAY_1ms_1:	NOP		
	NOP		
	DJNZ	R0,DELAY_1ms_1	
	RET		
DELAY_10ms:	MOV	R1,#010	
DELAY_10ms_1:	MOV	R0,#0E6H	
DELAY_10ms_2:	NOP		
	NOP		
	DJNZ	R0,DELAY_10ms_2	
	DJNZ	R1,DELAY_10ms_1	
	RET		
DELAY_1_1s:	MOV	R2,#100	
DELAY_1_1s_1:	ACALL	DELAY_10ms	
	DJNZ	R2,DELAY_1_1s_1	
	RET		
DELAY_10s:	MOV	R3,#10	
DELAY_10s_1:	ACALL	DELAY_1_1s	
	DJNZ	R3,DELAY_10s_1	
	RET		
DELAY_50ms:	MOV	R4,#8	
DELAY_50ms_1:	ACALL	DELAY_10ms	
	DJNZ	R4,DELAY_50ms_1	
	RET		

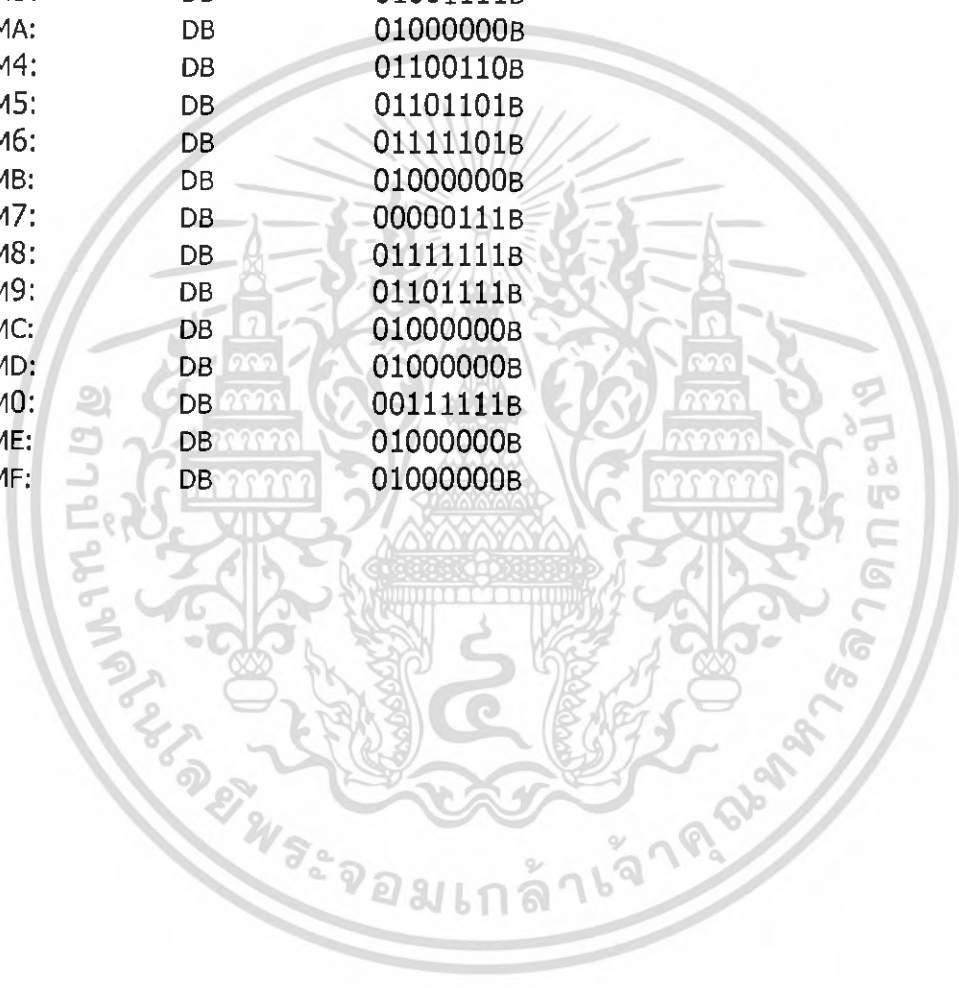
เก็บค่าจาก A/D  
เพื่อไปแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DELAY_1s:      MOV      R5,#2
DELAY_1s_1:    ACALL    DELAY_50ms
                LCALL    SCAN_DSP_LOOP
                DJNZ    R5,DELAY_1s_1
                RET
;
SEGMENT        .GFEDCBA
DSP_BLANK:     DB        00111111B
DSP_NUM1:     DB        00000110B
DSP_NUM2:     DB        01011011B
DSP_NUM3:     DB        01001111B
DSP_NUMA:     DB        01000000B
DSP_NUM4:     DB        01100110B
DSP_NUM5:     DB        01101101B
DSP_NUM6:     DB        01111101B
DSP_NUMB:     DB        01000000B
DSP_NUM7:     DB        00000111B
DSP_NUM8:     DB        01111111B
DSP_NUM9:     DB        01101111B
DSP_NUMC:     DB        01000000B
DSP_NUMD:     DB        01000000B
DSP_NUM0:     DB        00111111B
DSP_NUME:     DB        01000000B
DSP_NUMF:     DB        01000000B
END

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Alfa-Romeo				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Alfa-Romeo/155 Twin	195/60 R 14 V	32	29
2	Alfa-Romeo/155 Twin	195/55 R 15 V	32	29
3	Alfa-Romeo/164 Super	205/55 ZR 16	36	33
4	Alfa-Romeo/GTV Twin	195/60 R 15 W	33	30
5	Alfa-Romeo/Spider	205/50 ZR 16	39	36

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Audi				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Audi A3 1.8i 20V	195/65 R 15 V	28	28
2	Audi A3 1.8i 20V	205/60 R 15 V	28	28
3	Audi A3 1.8i 20V	205/55 R 16 W	29	32
4	Audi A4 1.8i	195/65 R 15 V	29	29
5	Audi A4 1.8i	205/60 R 15 V	29	29
6	Audi A4 1.8i	205/55 R 16 W	32	32
7	Audi A4 2.4i & Avant	195/65 R 15 V	32	32
8	Audi A4 2.4i & Avant	205/60 R 15 V	32	32
9	Audi A4 2.4i & Avant	205/55 R 16 W	32	32
10	Audi A6 2.4i V6 & Quattro	195/65 R 15 V	34	34
11	Audi A6 2.4i V6 & Quattro	205/60 R 15 V	34	34
12	Audi A6 2.4i V6 & Quattro	205/55 R 16 W	34	34
13	Audi A8 4.2i & Quattro	225/60 R 16 V	32	32
14	Audi A8 4.2i & Quattro	225/55 R 17 W	32	32
15	Audi Coupe 2.0E	195/65 R 15 V	29	29
16	Audi A4 2.3E Quattro	225/50 ZR 16	33	33
17	Audi A6 2.2i & Quattro	225/50 ZR 16	35	35
18	Audi 80 2.0E	195/65 R 15 V	29	29
19	Audi 100 2.0E	195/65 R 15 V	34	34
20	Audi 100 2.8E	195/65 R 15 V	34	34

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Bentley				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Bentley / Brooklands	235/70 R 15 H	25	30
2	Bentley / Continential	235/70 R 15 H	25	28
3	Bentley / Turbo R L	225/65 R 16 V	27	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Benz				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	190 E 1.8, 2.0	185/65 R 15 H	29	32
2	190 E 2.5, 2.6	185/65 R 15 V	30	34
3	C 180, C 200	195/65 R 15 V	31	34
4	C 220, C 230, C 280	195/65 R 15 V	31	34
5	200/220/230 E,CE	195/65 R 15 H	29	29
6	280/300 E, CE	195/65 R 15 V	32	34
7	230/300 TE	195/65 R 15 H/V	29	36
8	E 200, E 230	195/65 R 15 V	29	32
9	E 230, E 280, E 320	215/55 R 16 W	32	35
10	300/420/500 SE, SEL, SEC	205/65 R 15 V	28	30
11	S 280, S 300	225/60 R 16 V 235/60 R 16 V	30 30	32 32
12	S 420, S 500, S 600	235/60 R 16 W	30	32
13	S 420, S 500, Coupe	255/45 ZR 18 235/60 ZR 16	34 34	36 36
14	S 600, Coupe	255/45 ZR 18 235/60 ZR 16	37 37	37 37
15	SL 280, SL 300	225/55 ZR 16	29	34
16	SL 320, SL 500	245/45 ZR 17	31	34
17	SLK 200	205/60 R 15 V	30	30
18	SLK 200, 230 Kompressor	F: 205/55 R 16 V R: 225/50 R 16 V F: 225/45 ZR 17 R: 245/40 ZR 17	31 - 31 -	- 34 - 34

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-BMW				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	BMW 316i ปี 92	205/60 R 15 H	26	29
2	BMW 316i ปี 97	205/60 R 15 H	26	29
3	BMW 318i ปี 92	185/65 R 15 H	29	33
4	BMW 318i ปี 92	205/60 R 15 H	26	29
5	BMW 318i, 320i ปี 89-91	195/65 R 14 H	28	30
6	BMW 323i, 325i ปี 94	205/60 R 15 V	29	35
7	BMW 318i S ปี 93	205/60 R 15 V	28	32
8	BMW 320i & Coupe ปี 94	205/60 R 15 V	29	34
9	BMW 523i ปี 97	225/60 R 15 V	28	34
10	BMW 525i ปี 93	205/65 R 15 H	29	34
11	BMW 525i ปี 96	205/65 R 15V	29	34
12	BMW 525i A Touring	205/65 R 15 V	30	35
13	BMW 528i ปี 97	225/60 R 15 V	28	34
14	BMW 730i iL V8	235/60 R 16 W	29	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15	BMW 740i iL V8	235/60 R 16 W	30	35
16	BMW 850 Ci	235/50 ZR 16	36	36
17	BMW 850 CSi	F: 235/45 ZR 17 R: 265/40 ZR 17	42 -	- 42
18	BMW M3(3.0i)	235/45 ZR 17	29	31
19	BMW M3(3.2i)	F: 225/45 ZR 17 R: 245/40 ZR 17	34 -	- 35
20	BMW Z3 1.9	205/60 R15 W	29	29
21	BMW Z3 2.0	225/50 ZR 16	29	32

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Cadillac				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Cadillac De Ville Sedan	P 205/70 R 15 S	31	31
2	Cadillac Fleetwood	P 235/70 R 15 V	29	29
3	Cadillac Seville STS Sedan	P 225/60 ZR 16	31	31
4	Cadillac Eldorado S-Coupe	P 225/60 R 16 S	31	31

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Chrysler				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Neon LX	175/65 R 14 H	30	30
2	Neon LE	175/65 R 14 H	30	30
3	Neon SE	175/65 R 14 H	30	30
4	Jeep Wrangler 2.5	P 215/75 R 15 T	28	32
5	Jeep Wrangler 4.0	P 215/75 R 15 S	30	30
6	Voyager 3.3i	205/70 R 15 T	36	36

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Citroen				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Citroen AX 1.4i	165/70 R 13 T	28	29
2	Citroen AX 1.4 GTi	185/60 R 13 H	28	28
3	Citroen AX 1.1i	145/70 R 13 T	30	30
4	Citroen BX 19 GTi	185/60 R 14 H	32	30
5	Citroen BX Leader, Victoire	185/65 R 14 H	32	30
6	Citroen Xantia 2.0i	185/65 R 14 H	34	31
7	Citroen Xantia 2.0i 16v	185/65 R 15 H	34	31
8	Citroen XM 2.0i	195/65 R 15 V	34	28
9	Citroen XM 3.0i	205/60 R 15 V	34	28
10	Citroen ZX 1.8i	175/65 R 14 H	32	31
11	Citroen ZX 2.0i	185/60 R 14 H	29	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Daewoo				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Daewoo Cielo 1.5	185/60 R 14 H	29	26
2	Daewoo Nexia 1.5	175/70 R 13 T	26	24
3	Daewoo Fantasy 1.5	185/60 R 14 H	30	28
4	Daewoo Fantasy 1.5	175/70 R 13 S	29	26
5	Daewoo Racer 1.5	175/70 R 13 S	29	26
6	Daewoo Espero 1.8,2.0	185/65 R 14 H	29	26

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Daihatsu				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Daihatsu Mira, Coure	145/70 R 12 S	29	29
2	Daihatsu Charade 1.3	145 R 13 S	29	29
3	Daihatsu Charade 1.3 TX	165/70 R 13 S	29	29
4	Daihatsu Charade 1.5	155 R 13 S	26	26
5	Daihatsu Charade 1.6	185/60 R 14 H	26	26
6	Daihatsu Applause 1.6 Xi	175/70 R 13 S	26	26
7	Daihatsu Applause 1.6 Li	165/70 R 13 H	29	29

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Ferrari				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Ferrari 348 TB-TS	F: 215/50 ZR 17 R: 255/45 ZR 17	35 -	- 38
2	Ferrari 512 TR	F: 235/40 ZR 18 R: 295/35 ZR 18	35 -	- 34
3	Ferrari 456 GT	F: 255/45 ZR 17 R: 285/40 ZR 17	35 -	- 38
4	Ferrari Mondial T	F: 205/55 ZR 16 R: 225/55 ZR 16	35 -	- 36
5	Ferrari F 355	F: 225/40 ZR 18 R: 265/40 ZR 18	28 -	- 30

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Fiat				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Punto 55 S	155/70 R 13 S	29	28
2	Punto 75 SX	165/65 R 14 T	29	28
3	Punto 60 Selecta	165/65 R 13 T	30	29
4	Punto GT	185/55 R 14 H	35	29
5	Tempra 1.6 S	175/65 R 14 T	32	32
6	Tempra 2.0 SX	185/60 R 14 H	32	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	Tipo 1.6 SX	165/65 R 14 T	29	28
8	Tipo 1.8 GT	185/60 R 14 H	32	32
9	Tipo 2.0 SLX	185/60 R 14 H	32	32
10	Tipo 1.7 D ECO S	165/65 R 14 T	30	28
11	Tipo 1.9 D ECO SX	185/60 R 14 H	32	35

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Holden				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Calais 3800	205/65 R 15 H	32	32
2	Calais 2000	195/65 R 15 H	30	30
3	Camira 2.0i, Wagon	185/65 R 14 H	30	30
4	Commodore 3.8i	185/75 R 14 H	30	30

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Honda				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	City 1.3	165/80 R 13 S	27	27
2	City 1.5	175/70 R 13 H	27	27
3	City 1.5 Luxury	175/65 R 14 H	27	27
4	City 1.5 Type Z	185/60 R 14 H	27	27
5	Civic 3D y1993	185/70 R 13 H	28	28
6	Civic 3D y1997	185/65 R 14 H	30	29
7	Civic 1.5 y1988	165 SR 13	26	26
8	Civic 1.5 y1992	185/70 R 13 H	28	28
9	Civic 1.6,1.8	185/65 R 14 H	30	29
10	Accord 2.3 y1990	185/70 R 14 H	32	30
11	Accord 3.0 y1990	195/60 R 15 H	32	30
12	Accord 2.3 y1994	195/60 R 15 H	33	32
13	Accord 3.0 y1994	195/60 R 15 V	33	32
14	Accord 2.3 y1998	195/65 R 15 V	29	29
15	Accord 3.0 y1998	205/65 R 15 V	29	29
16	CRX VGi	175/65 R 14 H	26	26
17	CRX SiR	195/55 R 15 V	29	29
18	Prelude Si	195/60 R 15 H	32	32
19	Prelude SiR	205/50 R 16 V	32	32
20	Integra SiR	195/55 R 15 V	35	33
21	Vigor 2.5	205/60 R 15 H	31	29
22	Legend 3.2 Saloon, Coupe	205/65 R 15 V	29	29
23	Legend 3.5	205/60 R 16 H	29	29
24	NSX	F: 205/50 ZR 15 R: 225/50 ZR 16	34 -	- 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Hyundai				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Accent 1.5	175/65 R 14 H	29	29
2	Excel LS, GLS	175/70 R 13 T	28	28
3	Elantra GL, GLS	185/60 R 14 H	30	30
4	Sonata GL, GLS	195/70 R 14	30	30
5	S-coupe	185/60 R 14	30	30

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Jaguar/Daimler				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	XJ6 3.2	225/65 ZR 15	26	28
2	XJ6 3.2, 4.0 Sport,, XJ12	225/55 ZR 16	26	28
3	XJR 4.0 Super Charged	225/45 ZR 17	28	28
4	XJS 4.0	225/55 ZR 16	26	28
5	XJR-S 6.0	F: 225/50 ZR 16 R: 245/55 ZR 16	28 -	- 28
6	XK8 4.0	245/50 ZR 17	26	28
7	Daimler 4.0	225/60 ZR 16	26	28
8	Daimler 5.3	225/65 R 15V	30	26
9	Sovereign 3.2, 4.0	225/60 ZR 16	26	28

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Maserati				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	222 SR 2.8	205/50 R 15 V	29	32
2	430 2.8	205/50 ZR 16	32	34
3	Quattroporte 3.2	F: 225/45 ZR 17 R: 245/40 ZR 17	33 -	- 36
4	Spyder 2.0, 2.8	F: 205/45 ZR 16 R: 225/45 ZR 16	38 -	- 38
5	Ghibi	F: 205/45 ZR 16 R: 225/45 ZR 16	35 -	- 35

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Mazda				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	121	165/70 R 13 T	29	29
2	323 Astina Y89-94	185/60 R 14 H	31	31
3	323 Astina Y94>	185/65 R 14 H	31	31
4	Lantis 1.8	185/65 R 14 H	30	30
5	Lantis 2.0	195/60 R 15 H	30	30
6	626 4D, 5D	185/70 R 14 S	32	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7	Cronos 4D, 5D	195/65 R 14 H	32	27
8	929	205/65 R 15 H	28	28
9	MX 3 V 6	205/55 R 15V	29	29
10	MX 5	185/60 R 14 H	26	26
11	RX 7	225/50 ZR 16	32	32

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Mitsubishi				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Champ 1.3, 1.5	165 R 13 T 175/70 R 13 H	29 29	29 29
2	Lancer 1.5 >y1993	175/70 R 13 T	31	31
3	Lancer 1.5 y1994>	175/70 R 13 H	31	31
4	Lancer 1.6, 1.8	185/65 R 14 H	29	27
5	Galant Royal	185/70 R 14 S	28	26
6	Galant GLSi	185/70 R 14 H	32	29
7	Galant GTi	195/60 R 15 H	32	29
8	Ultima L4	185/70 R 14 T	32	29
9	Ultima L6	195/60 R 15 V	32	29
10	3000 GTO	225/50 R 17 V	32	29
11	3000 GTO Twin Turbo	225/50 R 17 V	32	29

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Nissan				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Sunny 1.3	155/70 R 13 T	28	29
2	Sunny 1.5, 1.6	175/65 R 14 H	32	29
3	NV Wagon, NVB	175/70 R 13 T	31	29
4	NV Queen Cab	175/65 R 14 H	31	29
5	NX-Coupe	185/60 R 14 H	31	28
6	Sentra >y1992	175/70 R 13 T	28	28
7	Sentra y1992>	175/65 R 14 H	32	30
8	Sentra Coupe	185/60 R 14 H	32	30
9	Presea 1.6	185/70 R 13 S	32	30
10	Presea 1.8	195/60 R 14 H	32	30
11	Primera GXE	185/65 R 14 H 195/60 R 15 H	34 32	30 30
12	Cefiro >y1995	205/60 R 15 H	29	29
13	Cefiro y1996>	205/65 R 15 V	32	29
14	Bluebird 2.0i	195/65 R 14 H	30	30
15	Bluebird SSS	195/60 R 15 H	32	29
16	Cedric VIP	205/65 R 14 H	32	30
17	Cedric Turismo	215/55 R 16 V	30	30
18	President	215/65 R 15 S	29	29
19	Q 45	215/65 R 15 H	29	29
20	200 SX 1.8	205/60 R 15 H	29	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

21	200 SX 2.0	205/55 R 16 V	29	29
22	300 ZX	225/50 R 16 V	33	36
23	Skyline GT-R	245/45 ZR 17	33	33
24	Skyline GTS	205/55 R 16 V	32	32

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Opel				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Astra 1.6i, 1.8i	185/60 R 14 H	32	28
2	Calibra 2.0	205/55 R 15 V	35	32
3	Corsa GSi	185/60 R 14 H	29	32
4	Corsa Joy, Swing	165/70 R 13 T	30	28
5	Omega 2.0	195/65 R 15 H	29	29
6	Omega 3.0	205/65 R 15 V	32	32
7	Vectra 2.0	195/60 R 15 V	32	29

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Peugeot				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	205 GTi	185/60 R 14 H	29	29
2	306 SR	175/65 R 14 T	33	33
3	306 Cabriolet	195/55 R 15 V	36	36
4	306 S16	195/55 R 15 V	36	36
5	405 GR 1.8, SRi 2.0	185/65 R 14 H	32	32
6	405 Mi 16	185/65 R 14 H	32	32
7	406	195/65 R 15 V	32	32
8	605 SRi 2.0	195/65 R 15 H	33	33
9	605 SV 3.0 A	205/60 R 15 V	33	33

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Porsche				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	968 CS-Cabrio	F: 205/55 ZR 16 R: 225/50 ZR 16	36 -	- 36
2	911 Carrera 2& 4	F: 205/50 ZR 17 R: 255/40 ZR 17	36 -	- 36
3	911 Turbo	F: 225/40 ZR 18 R: 265/35 ZR 18	36 -	- 44
4	928 GTS	F: 225/45 ZR 17 R: 255/40 ZR 17	36 -	- 36
5	Boxster	F: 205/55 ZR 16 R: 225/50 ZR 16	29 -	- 36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Renault				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Clio 1.4	165/65 R 13 T	29	30
2	R 19 TXE	175/65 R 14 T	26	29
3	R 19 TXi	185/60 R 14 H	26	29
4	21 TXi	195/60 R 15 H	30	30
5	Alpine A 610	F: 205/45 ZR 16 R: 245/45 ZR 16	29 -	- 35

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Rover				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	220 i Turbo Coupe	195/55 ZR 15	30	30
2	623	195/60 R 15 V	33	32
3	820 Si, SLi	195/65 R 15 H	28	28
4	827	195/65 R 15 V	29	29
5	Mini Mayfair/A	145/70 R 12 S	28	28

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Saab				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	900 S 2.0i	185/65 R 15 H	30	30
2	900 S 2.3i	195/60 R 15 V	32	32
3	900 S Convertible	185/65 R 15 H	30	32
4	9000 CD 2.0 Turbo	195/65 R 15 V	30	30
5	9000 CD 2.3 Turbo	195/65 R 15 V	30	30
6	9000 CDi 2.0	195/65 R 15 V	30	30
7	9000 CDi 2.3	195/65 R 15 V	30	30
8	9000 CS Turbo	205/60 R 15 W	32	32
9	9000 CSI 2.3	195/65 R 15 V	30	30

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Subaru				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Impreza 1.6, 1.8	175/70 R 14 S	32	30
2	Impreza Turbo	205/50 R 16 V	34	32
3	Impreza 1.8 Station	175/70 R 14 S	32	30
4	Legacy 2000 Turbo	205/60 R 15 H	33	28
5	Legacy 2000	175/70 R 14 T	32	29
6	Legacy Station 2200	185/70 R 14 H	30	29
7	Legacy New	195/60 R 15 H	32	32
8	Legacy Station New	195/60 R 15 H	30	30
9	SVX	225/50 R 16 V	34	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Toyota				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Soluna 1.5 XLi, y1996	155/80 R 13 T	35	32
2	Soluna 1.5 GLi, Auto, y1996	175/70 R 13 T	29	29
3	Soluna 1.5 GLi, Manu, y1996	175/70 R 13 T	32	32
4	Soluna 1.5 XLi, y1998	175/70 R 13 T	32	32
5	Soluna 1.5 SLi, Auto, y1998	175/70 R 13 T	29	29
6	Soluna 1.5 SLi, Manu, y1998	175/70 R 13 T	32	32
7	Soluna 1.5 GLi, y1998	175/65 R 14 H	30	30
8	Corolla 1.3 XLi, DXi	165 R 13 T	29	29
9	Corolla 1.3 GLi, GXi	175/70 R 13 T	29	29
10	Corolla 1.5 DXi	165 R 13 T	29	29
11	Corolla 1.5 GXi	175/70 R 13 T	29	29
12	Corolla 1.6 GLi, GXi, GXiS	185/65 R 14 H	30	30
13	Corolla 1.6 SEG	185/65 R 14 H	30	30
14	Corolla 1.6 SEG, Altis	185/65 R 14 H	30	30
15	Corona 1.6 XLi, GLi, y1990	175/70 R 13 T	27	27
16	Corona 1.6 GLi, y1993	185/65 R 14 H	32	32
17	Corona 2.0 GXi, GLi,	195/60 R 14 H	33	30
18	Corona Exsior 1.6 G Xi,	185/65 R 14 H	32	32
19	Corona Exsior 2.0 GXi, SEG	195/60 R 14 H	33	30
20	Celica	195/65 R 14 S	34	34
21	Celica GT-Four	215/50 R 15 V	34	34
22	Celica Wide Body	205/55 R 15 V	34	34
23	Celica GT-Four Wide Body	215/50 R 16 V	34	34
24	Camry 2.2, 3.0	205/65 R 15 H	32	29
25	Camry 2.2, (new)	205/65 R 15 H	32	29
26	Crown 2.8i	195/70 R 14 H	32	32
27	Crown 3.0, (new)	195/65 R 15 H	32	32
28	Crown Majesta	215/65 R 15 H	28	30
29	Century	215/65 R 15 H	28	28
30	MR 2	F: 195/55 R 15 V R: 225/50 R 15 V	29 -	- 34
31	Paseo	175/65 R 14 S	26	26
32	Starlet GT	185/55 R 14 V	31	31
33	Seira	175/65 R 14 H	28	29
34	Supra SZ	225/50 ZR 16	36	36
35	Supra RZ	F: 235/45 ZR 17 R: 255/40 ZR 17	36 -	- 36

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Volkswagen				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	Corrado 1.8, 2.0	195/50 R 15 V	35	31
2	Golf GL 1.8	175/70 R 13 T	30	28
3	Golf GL 2.0	185/60 R 14 H	33	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4	Golf GTi 16v	205/50 R 15 V	29	28
5	Golf Variant	195/60 R 14 H	28	28
6	Golf 1.8 (new), y1998	195/65 R 15 V	28	28
7	Passat	185/65 R 14 T 195/60 R 14 H	30 30	30 30
8	Passat (new)	195/65 R 15 V	30	30
9	Vento	185/60 R 14 H	32	29

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถ-Volvo				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	440, 460	185/65R 14 H	30	27
2	740 GL, GLE	185/65 R 15 T	28	28
3	740 GLT, Turbo	195/60 R 15 H	28	28
4	850 GLE	185/65 R 15 V	32	29
5	850 GLT	195/60 R 15 V	32	29
6	850 Turbo	205/50 R 16 W	32	29
7	850 T5	205/50 ZR 16	33	30
8	940 GL, GLT	195/65 R 15 V	28	28
9	940 Estate	195/65 R 15 V	28	30
10	960 2.5i, 3.0i	195/65 R 15 V	29	29
11	S40	195/55 R 15 V	32	29
12	S70	195/60 R 15 V	32	29
13	S70 Turbo	205/50 R 16 W	33	30
14	S90 2.5i, 3.0i	195/65 R 15 V 205/55 R 16 V	29 29	29 29
15	V40	195/55 R 15 V	32	29
16	V70	195/60 R 15 V	32	29
17	V70, 2.3i Turbo	205/50 R 16 W	33	32

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถบรรทุกฟอร์ด				
No	รุ่นรถฟอร์ด	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว) งานปกติ / บรรทุกหนัก	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว) งานปกติ / บรรทุกหนัก
1	เรนเจอร์ 4x4	P235/75 R 15 108S	26 / 26	26 / 63
2	เรนเจอร์ Super Cab	205/75 R 14 C	26 / 26	28 / 63
3	เรนเจอร์ Std	195 R 14 C	26 / 26	26 / 63
4	มาราธอน จัมโบ้	195 R 14 C	26 / 34	26 / 63
5	มาราธอน Std	195 R 14 C	26 / 34	26 / 63

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถบรรทุกยี่ห้อต่างๆ				
No	ยี่ห้อ/รุ่นรถ	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว) งานปกติ / บรรทุกหนัก	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว) งานปกติ / บรรทุกหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

			หนัก	หนัก
1	Gm, Campo Std.	195 R 14 C	30/ 32	45/ 63
2	Gm, Campo Space Cab	205/75 R 14 C	30/ 32	45/ 68
3	Honda, Tourmaster	195 R 14 C	30/ 32	45/ 63
4	Honda, Tourmaster, Space	205/75 R 14 C	30/ 32	45/ 68
5	Isuzu, Rodeo 4x4	225/75 R 15 C 6PR	30/ 30	30/ 45
6	Isuzu, Rodeo LS 4x4	205/70 R 15 C 6PR	28/ 28	38/ 38
7	Isuzu, Vega 4x4	225/75 R 15 C 6PR	35/ 30	40/ 45
8	Isuzu, Grand Adventure 4x4	225/75 R 15 C	30/ 30	35/ 45
9	Isuzu, Adventure Trio	205/75 R 14 C	30/ 32	30/ 68
10	Isuzu, Adventure Trio 4x4	225/75 R 15 C	30/ 30	35/ 45
11	Isuzu, Adventure 4x4	225/75 R 15 C	30/ 30	35/ 45
12	Isuzu, Spark	195 R 14 C	30/ 32	45/ 63
13	Isuzu, Space Cab	195 R 14 C	30/ 32	45/ 63
14	Isuzu, Space Cab SLX	205/75 R 14C	30/ 32	45/ 68
15	Isuzu, Supreme	195 R 14 C	30/ 32	30/ 45
16	Isuzu, Supreme Limited	195 R 14 C	30/ 32	30/ 45
17	Isuzu, Supreme 4x4	225/75 R 15 C	30/ 30	35/ 45
18	Isuzu, Tripper Trio	205/75 R 14 C	30/ 32	30/ 68
19	Isuzu, Tripper Sel	205/75 R 14 C	30/ 32	30/ 68
20	Isuzu, Wanderer	205/75 R 14 C	30/ 32	30/ 68
21	Mazda, Famillia Std	165 R 13 Reinf	28/ 32	33/ 38
22	Mazda, Famillia Supercab	165 R 13 Reinf	28/ 32	33/ 38
23	Mazda, Famillia Maxicab	165 R 13 Reinf	28/ 32	33/ 38
24	Mazda, Thunder Std	195 R14C	26/ 34	26/ 63
25	Mazda, Thunder Super Cab	195 R14C	26/ 34	26/ 63
26	Mazda, Fig. Superior Cab	195 R14C	26/ 26	26/ 63
27	Mazda, Fig. Sup. Sal.Std	205/75 R14C	26/ 26	28/ 68
28	Mazda, Fig. Sup. Sal. Lux.	205/75 R14C	26/ 26	28/ 68
29	Mazda, Fighter Sup. Sal.4x4	205 R16C 110/108Q	26/ 26	28/ 63
30	Mitsu, L300	185 R 14C	29/ 44	32/ 58
31	Mitsu, L200 Cyclone	195 R 14C	30/ 30	31/ 63
32	Mitsu, L200, Cyclone-Aero	195 R 14C	30/ 30	31/ 63
33	Mitsu, Strada L200	195 R 14C	29/ 32	29/ 63
34	Mitsu, Strada Mega Cab	205/75 R 16 14C	29/ 32	29/ 68
35	Mitsu, Strada 4x4 1995	205/80 R 16 104S	26/ 29	26/ 43
36	Mitsu, Strada 4x4 1998	265/70 R 15 C	26/ 29	26/ 43
37	Nissan, Big M Sing Cab,y1990	195 R 14C	35/ 36	40/ 65
38	Nissan, Big M King	195 R 14C	35/ 36	40/ 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Cab,y1990			
39	Nissan, Big M Sing Cab, y1998	195 R 14C	35/ 36	40/ 65
40	Nissan, Big M King Cab, y1998	195 R 14C	35/ 36	40/ 65
41	Nissan, Big M 4x4, y1998	225/70 R 15C	29/ 32	26/ 54
42	Nissan,Urvan	185 R 14C	28/ 44	28/ 64
43	Toyota, Mighty X Std, 1990	195 R 14 C	26/ 26	26/ 65
44	Toyota, Mighty X Ex Cab, 1990	195 R 14 C	26/ 26	26/ 65
45	Toyota, Mighty X Std, 1993	195 R 14 C	26/ 26	26/ 65
46	Toyota, Mighty X Ex Cab, 1993	195 R 14 C	26/ 26	26/ 65
47	Toyota, Mighty X Ex Lux, 1993	205/70 R 15C	26/ 26	26/ 50
48	Toyota, Mighty X Std, 1996	195 R 14 C	26/ 26	26/ 65
49	Toyota, Mighty X Ex Cab, 1996	195 R 14 C	26/ 26	26/ 65
50	Toyota, Mighty X Ex Lux, 1996	205/70 R 15C	26/ 26	26/ 50
51	Toyota, Hilux Tiger Reg Cab	195R 14C	29/ 29	29/ 65
52	Toyota, Hilux Tiger Extra Cab	195R 14C	29/ 29	29/ 65
53	Toyota, Hilux Tiger 4x4	255/70 R 15 112L	28/ 28	28/ 35
54	Toyota, Extra Cab 3000 SGL	205/70 R 15C	29/ 29	29/ 58
55	Toyota, Pre Runner	255/70 R 15 112L	28/ 28	28/ 35
56	Toyota, Lite-Ace(All)	165 R 13C	29/ 39	32/ 46
57	Toyota, Hi-Ace	195 R 14C	29/ 44	32/ 65
58	Toyota, Hi-Ace(หัวจรวด)	195/70 R 15C	29/ 44	32/ 65
59	Volkswagen, Caravelle 2.5, 2.0	205/65 R 15 Reinf	38/ 43	35/ 49
60	Volkswagen, Caravelle VR6	205/65 R 15C T	38/ 43	35/ 49

ความดันยางที่เหมาะสมกับการใช้งานของรถยนต์นั่งพอร์ต				
No	รุ่นรถพอร์ต	ขนาดยางที่เหมาะสมกับการใช้งานปกติ	ความดันยางหน้า (ปอนด์/ตร.นิ้ว)	ความดันยางหลัง (ปอนด์/ตร.นิ้ว)
1	แอสปายร์ 1.3 XL, GL	165/70 R 13 T	28	28
2	คอปรี 1.6 i, 1.6 V	185/60 R 14 H	29	32
3	คอปรี 1.6 i, Turbo	185/60 R 14 H	29	32
4	เอสคอร์ต 1.8 i, Cabrio	185/60 R 14 H	33	28
5	เอสคอร์ต 1.8 i, CLX	175/70 R 13 H	32	29
6	เอสคอร์ต 2.0 Cosworth	225/45 ZR 16	29	32
7	เฟสตีวา	175/60 R 13 S	29	29
8	กรานาดา	185/60 R 14 H	30	30
9	เลเซอร์ 1.6 ZMD, Man	175/65 R 14 H	29	29
10	เลเซอร์ 1.6 ZMD, Auto	175/65 R 14 H	29	29
11	เลเซอร์ 1.8 FPD, Auto	185/65 R 14 H	29	29
12	มอนดีโอ 2.0 i, CLX	185/65 R 14 H	30	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13	มอนดิโอ V6 24v	205/55 R 15 V	30	30
14	สกอร์ปิโอ	205/60 R 15 H	29	29
15	เซียร์รา LX	185/65 R 14 H	26	26
16	เทลสตาร์ TX5 2.0i 16V	195/65 R 14 H	30	30
17	เทลสตาร์ TX5 2.5i V6 24V	205/55 R 15 V	30	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้