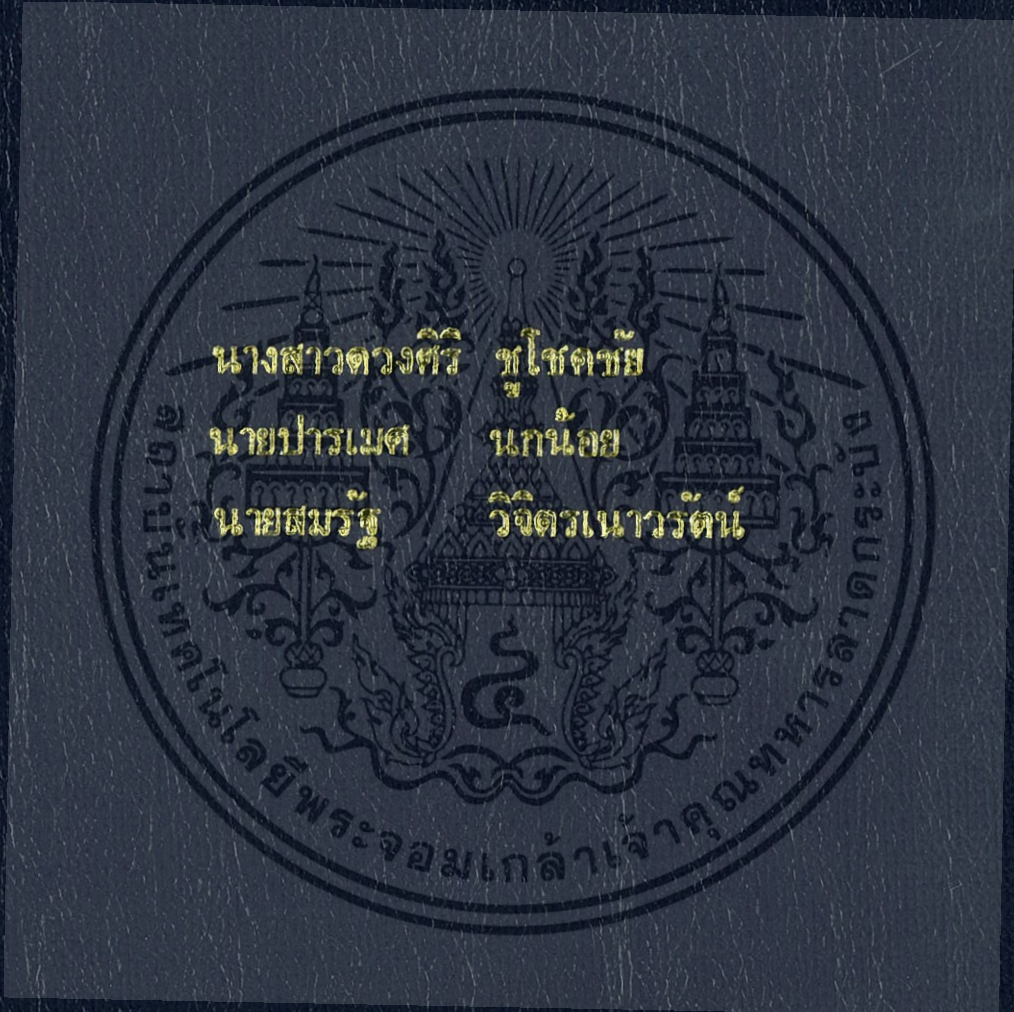


เครื่องมือนวัตกรรมระดับ

LEVEL INDICATOR



สิ่งประดิษฐ์นวัตกรรมแบบก้าวล้ำของคณาจารย์และนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปี ๒๕๕๕

เครื่องมือวัดระดับ

LEVEL INDICATOR



๒/๗.

๑ ๒๒๗๑

๒๕๔๕

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 50227

วัน,เดือน,ปี 2 8 เม.ย. 2547

b. ๐๐๑๖๖๓๘๖
i.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

๑๑๗๖๕๕๖

LEVEL INDICATOR



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
DEPARTMENT OF INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2002

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท เครื่องมือวัดระดับ

LEVEL INDICATOR

นักศึกษาผู้จัดทำ นางสาวดวงศิริ ชูโชคชัย รหัสประจำตัว 42010115
นายปารเมศ นกน้อย รหัสประจำตัว 42010199
นายสมรัฐ วิจิตรเนาวรัตน์ รหัสประจำตัว 42010364

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2545

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์	
ผศ.ประภาส อุกคภิมาพันธุ์	
อาจารย์พิทยา ปานนิล	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันอังคาร ที่ 25 มีนาคม พ.ศ.2546

สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปฏิญญาพันธ	เครื่องมือวัดระดับ
	LEVEL INDICATOR
นักศึกษาผู้จัดทำ	นางสาวดวงศิริ ชูโชคชัย
	นายปารเมศ นกน้อย
	นายสมรัฐ วิจิตรเนาวรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์
	ผศ.ประภาส อुकคกิมพันธ์
	อาจารย์พิทยา ปานนิล
ปีการศึกษา	2545

บทคัดย่อ

ในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภทจะมีการตรวจวัดระดับเกี่ยวข้องกับอยู่ด้วยเสมอ เช่น การวัดระดับของน้ำหรือน้ำมันในถังพักหรือภาชนะบรรจุ โดยอาศัยการวัดโดยตรงซึ่งอาจจะใช้ ลูกกลอยหรือก้านโลหะที่มีขีดบอกระดับเป็นระยะๆ วิธีการตรวจวัดดังกล่าวเป็นแบบง่ายๆ แต่ถ้าเป็นการตรวจวัดระดับในภาชนะที่มีความดันสูง เป็นสารเคมีอันตราย หรือต้องการสัญญาณระดับ เพื่อใช้ในการบันทึกค่าหรือควบคุม เราจะใช้วิธีการตรวจวัดด้วยวิธีการโดยตรงไม่ได้ จำเป็นที่จะต้องประยุกต์หลักการทางวิทยาศาสตร์อื่นๆเข้ามาช่วย เพื่อให้การตรวจวัดระดับบรรลุตามวัตถุประสงค์ ซึ่งเครื่องมือวัดระดับที่ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่มีราคาค่อนข้างสูง ซึ่งเป็น การยากต่องานอุตสาหกรรมขนาดกลาง และ ขนาดย่อมที่จะทำการลงทุนซื้อเครื่องมือวัดระดับที่มีคุณภาพตามต้องการ

เพื่อรองรับความต้องการที่เกิดขึ้นปฏิญญาพันธฉบับนี้จึงได้ พัฒนา ออกแบบและสร้าง เครื่องมือวัดระดับสำหรับการใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง และ ขนาดย่อมขึ้น โดยมี วัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือวัดระดับที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพดี ซึ่งเครื่องมือวัดระดับที่ ทำการพัฒนา ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ สามารถแสดงผลสัญญาณระดับที่ได้แบบดิจิทัล แสดงผล ในรูปของร็อยละจากค่าสูงสุดของช่วงการวัด และมีการแจ้งเตือนเมื่อค่าระดับที่วัดได้เข้าสู่จุดวิกฤต

Thesis Title	Level Indicator
Authors	Miss Doungsiri Chuchokechai Mr. Paramet Noknoi Mr. Somrat Wichitnaowarat
Thesis Advisor	Asst. Prof. Prasit Junseriwong Asst. Prof. Prapart Ukakimaparn Mr. Pittaya Pannil
Year	2003

ABSTRACT

Almost every type of industry is also related with the level measurement, for example, measuring the level of water or oil in the reservoir tank by using direct measurement method, float or dipstick, that is the basic measurement method. In either event, measuring the level in the high-pressure condition, chemical substance, or requirement of output signal for the recorder or the controller cannot be measure by the direct measurement method. To reply these requirements, science is to be use. But the measurement method that is base on science theory is also expensive, so it is hard for the small and medium industry to fulfill their requirement.

To support the requirement that will be happen. This thesis is done for develop, decide, and make the new level measurement method for the small and medium industry to reply their purpose, making the level measurement method that is cheap and have a high efficiency. The level measurement method that is made can display in digital, can display in the percentage of the range, and can alarm at the critical level.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประภาส อุคคกิม่าพันธ์ และอาจารย์พิทยา ปานนิล ที่ได้ให้คำแนะนำแก่คณะผู้จัดทำตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์ และ เครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

และ ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่อยู่เคียงข้างและเป็นกำลังใจให้กันตลอดมา คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญภาพ.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 แนวความคิดในการนำเสนอปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 การวัดระดับ (Level Measurement).....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 วิธีการวัดโดยตรง.....	3
2.2.1 ดิพสติก.....	3
2.2.2 กระบอกแก้วมองระดับ.....	4
2.2.2.1 แบบท่อแก้ว (Tubular Glass).....	4
2.2.2.2 แบบแผ่นแก้วเรียบ (Flat Glass).....	5
2.2.2.3 แบบแบ่งเป็นช่อง (Multiport).....	7
2.2.3 ลูกลอย (Float).....	8
2.3 วิธีการวัดระดับโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์อย่างอื่นเข้าช่วย.....	10
2.3.1 การวัดระดับด้วย Displacer.....	10
2.3.2 การวัดระดับโดยการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล.....	12
2.3.2.1 หลักการวัดระดับโดยวิธีวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล.....	12
2.3.2.2 การวัดระดับแบบท่อปล่อยอากาศ (Air Purge Tube).....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 การวัดระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า.....	14
2.3.4 การวัดระดับโดยการวัดค่าความนำไฟฟ้า.....	16
2.3.5 การวัดระดับโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก.....	18
2.3.6 การวัดระดับโดยวิธีการวัดการแผ่รังสีของสารกัมมันตภาพ.....	20
2.3.7 การวัดระดับโดยใช้คลื่นอินฟราเรด.....	22
2.3.8 เครื่องวัดระดับแบบ Electromechanical Level Indicator.....	22
บทที่ 3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	24
3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51.....	24
3.2 ตำแหน่งขาของ MCS-51.....	26
3.3 โครงสร้างภายในของ MCS-51.....	29
3.4 โครงสร้างหน่วยความจำภายในของ MCS-51.....	30
3.4.1 หน่วยความจำโปรแกรม.....	31
3.4.2 หน่วยความจำโปรแกรมภายใน.....	31
3.4.3 หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก.....	32
3.4.4 หน่วยความจำข้อมูล.....	32
3.4.5 หน่วยความจำขนาด 128 ไบต์.....	32
3.4.6 หน่วยความจำขนาด 128 ไบต์ถัดไป.....	34
บทที่ 4 ไมโครคอนโทรลเลอร์กับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก.....	35
4.1 การเชื่อมต่อกับคีย์แพดหรือสวิตช์เมตริกซ์ 4x3 จุด.....	35
4.1.1 ทฤษฎีเบื้องต้น.....	35
4.1.2 การเชื่อมต่อกับคีย์แพดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	36
4.2 การขับโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD module).....	37
4.2.1 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD.....	37
4.2.1.1 ตัวแสดงผล (display).....	37
4.2.1.2 ตัวควบคุม (controller).....	37
4.2.1.3 ตัวขับ (driver).....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD.....	38
4.2.2.1 บัฟเฟอร์อินพุตเอาต์พุต.....	38
4.2.2.2 รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register : IR).....	38
4.2.2.3 รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register :DR).....	39
4.2.2.4 แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display Data RAM : DDRAM).....	39
4.2.2.5 รอมเก็บตัวอักษร (Character Generator ROM : CGROM).....	39
4.2.2.6 แรมเก็บตัวอักษร (Character Generator RAM : CGRAM).....	39
4.2.2.7 แฟล็ก BUSY.....	39
4.2.3 โมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด (LCD 16x1).....	40
4.2.4 คำสั่งควบคุม โมดูล LCD.....	40
4.2.4.1 คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (clear display).....	40
4.2.4.2 คำสั่ง return home.....	41
4.2.4.3 คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล(Entry mode Set).....	41
4.2.4.4 คำสั่งควบคุมการแสดงผล.....	41
4.2.4.5 คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร.....	42
4.2.4.6 คำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงาน.....	42
4.2.4.7 คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM.....	43
4.2.4.8 คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM.....	43
4.2.4.9 คำสั่งอ่านแฟล็ก BUSY และแอดเดรส.....	43
4.2.5 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD.....	44
4.2.6 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล.....	44
4.3 การใช้งานไอซี ADC/DAC บนระบบบัส I ² C เบอร์ PCF8591.....	45
4.3.1 การแปลงสัญญาณอะนาลอกดิจิทัลแบบซักระยะ (Successive Approximation ADC).....	45
4.3.2 ความเที่ยงตรงของวงจร ADC.....	48
4.3.3 ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ (conversion time).....	48
4.3.4 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591.....	48
4.3.5 รายละเอียดฟังก์ชันต่าง ๆ ของ PCF8591.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.5.1 ตำแหน่งแอดเดรส.....	50
4.3.5.2 ข้อมูลควบคุม.....	50
4.3.5.3 ออสซิลเลเตอร์.....	52
4.3.5.4 การอ่านค่าข้อมูลอินพุตอะนาลอกของ PCF8591.....	52
4.3.6 การเขียนข้อมูลไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกของ PCF8591.....	53
4.3.7 การเชื่อมต่อ PCF8591 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	53
บทที่ 5 การออกแบบและโครงสร้างของ Level Indicator.....	54
5.1 การออกแบบ Level Indicator.....	54
5.1.1 ส่วนทำการวัดระดับ.....	54
5.1.2 ส่วน Softwar.....	54
5.1.3 ส่วนแสดงผล.....	54
5.2 โครงสร้าง Level Indicator.....	55
5.2.1 A/D Converter.....	55
5.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	56
5.3 เปรียบเทียบเครื่องมือวัดที่ทำการออกแบบกับเครื่องมือวัดชนิดต่างๆ.....	57
5.3.1 ในด้านความถูกต้อง.....	58
5.3.2 ในด้านราคา.....	59
5.3.3 ในด้านของจำนวนระดับที่สามารถวัดได้.....	59
บทที่ 6 โปรแกรมในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์.....	60
6.1 บทนำ.....	60
6.2 10 ข้อควรรู้สำหรับภาษา Assembly ของ MCS-51.....	60
6.2.1 Internal RAM พื้นที่ยุทธศาสตร์.....	61
6.2.2 ระบบ Stack และการเรียงข้อมูล.....	62
6.2.3 ชื่อ Register หรือ Bit ... กำหนดให้ถูกกับการใช้งาน.....	62
6.2.4 Boolean Processor ต้องใช้ให้คุ้ม.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2.5 ใช้ Register ขนาด 16 บิตอย่างเหมาะสม.....	63
6.2.6 อักขรที่ต้องจำให้ขึ้นใจ (# และ @).....	63
6.2.7 คำสั่งที่อาจจะสับสนได้.....	63
6.2.8 Interrupt เลือกใช้ให้เหมาะสม.....	64
6.2.9 P0,P1,P2,P3 ... ใช้เป็น Active Low ให้หมด.....	64
6.2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	64
6.3 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ใน Level Indicator.....	65
บทที่ 7 ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง.....	68
7.1 ผลการทดลอง.....	68
7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น.....	72
7.3 วิธีแก้ไข.....	73
7.4 สรุปผลการทดลอง.....	73
บรรณานุกรม.....	74
ภาคผนวก.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 หน่วยความจำขนาด 128 ไบต์.....	31
3.2 เพียงการกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ PSW.....	32
3.3 ตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (Special Function Register หรือ SFR) จำนวน 20 ตำแหน่ง.....	34
4.1 แสดงความสัมพันธ์ในการทำงานของขา RS และ R/W ของ โมดูล LCD แบบอักษระ.....	40
7.1 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น Range 50 cm. โดยทำการวัดระดับจาก 0 cm. ไปยัง 50 cm.....	68
7.2 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น Range 50 cm. โดยทำการวัดระดับจาก 0 cm. ไปยัง 50 cm. (ต่อ).....	69
7.3 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น Range 50 cm. โดยทำการวัดระดับจาก 0 cm. ไปยัง 50 cm. (ต่อ).....	70
7.4 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น Range 50 cm. โดยทำการวัดระดับจาก 50 cm. ไปยัง 0 cm.....	70
7.5 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น Range 50 cm. โดยทำการวัดระดับจาก 50 cm. ไปยัง 0 cm. (ต่อ).....	71
7.6 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น Range 50 cm. โดยทำการวัดระดับจาก 50 cm. ไปยัง 0 cm. (ต่อ).....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	ท่อแก้วมองระดับ.....5
2.2	การติดตั้งใช้งานและภาคตัดขวางของแผ่นแก้วสะท้อน.....6
2.3	การติดตั้งใช้งานและภาคตัดขวางของแผ่นแก้วใส.....7
2.4	การติดตั้งใช้งานของแบบ Multi-port และหลักการแยกสีของน้ำและอากาศหรือไอน้ำ.....8
2.5	MC56 Float Liquid-Level Detector.....9
2.6	เครื่องวัดระดับแบบ Displacer.....10
2.7	Differential Pressure Transmitter.....13
2.8	ค่าประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในภาชนะ.....15
2.9	Probe ของเครื่องมือวัดระดับแบบวัดประจุ.....16
2.10	การวัดระดับโดยการวัดค่าความนำไฟฟ้า.....17
2.11	ลักษณะของการสะท้อนของเสียง.....18
2.12	ความเข้มของเสียงเมื่อออกจากแหล่งกำเนิด.....20
3.1	หน่วยการใช้งานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....25
3.2	รูปร่างของไอซีแบบ DIP.....26
3.3	ตำแหน่งขาพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....26
3.4	โครงสร้างภายในของ MCS-51.....30
3.5	หน่วยความจำโปรแกรมของระบบ.....31
4.1	วงจรของสวิตช์แบบต่อเข้ากับไฟเลี้ยงและกราวด์.....35
4.2	วงจรของสวิตช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด.....36
4.3	วงจรเชื่อมต่อกับคีย์แพดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....37
4.4	ไคอะแกรมการทำงานของโมดูล LCD แบบอักขระ.....38
4.5	ไคอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซิกเซสซีฟแอปพริอ็อกซิเมชัน.....45
4.6	ไคอะแกรมเวลาแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซิกเซสซีฟแอปพริอ็อกซิเมชัน.....47
4.7	การจัดขาของไอซี ADC/DAC ขนาด 8 บิตผ่านบัส I ² C เบอร์ PCF8591.....49
4.8	รายละเอียดข้อมูลควบคุมที่เขียนลงในรีจิสเตอร์ควบคุมภายในไอซี PCF8591.....51
4.9	ตัวอย่างการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับ PCF8591.....53
5.1	Block-Diagram แสดงขั้นตอนการทำงาน.....54
5.2	เครื่องมือวัดที่ทำการออกแบบ.....55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
5.3	รูปแสดงบอร์ด A/D Converter ที่ใช้.....56
5.4	รูปแสดงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51ที่ใช้.....57
5.5	ส่วนวัดระดับที่ทำการสร้างขึ้น.....58
5.6	Level Indicator.....59
6.1	โพลีชาร์ทแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ใน Level Indicator.....65
6.2	โพลีชาร์ทแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ใน Level Indicator (ต่อ).....66
6.3	โพลีชาร์ทแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ใน Level Indicator (ต่อ).....67
7.1	เปรียบเทียบ Repeativity ของเครื่องมือวัด.....72



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวความคิดในการนำเสนอปฏิญญานิพนธ์

เนื่องจากในงานอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท มักจะมีการตรวจวัดระดับเกี่ยวข้องกับอยู่ด้วยเสมอ เช่นการวัดระดับของน้ำหรือน้ำมันในถังพักหรือภาชนะบรรจุ โดยอาศัยการวัดโดยตรงซึ่งอาจจะใช้ ลูกลอยหรือก้านโลหะที่มีขีดบอกระดับเป็นระยะๆ วิธีการตรวจวัดดังกล่าวเป็นแบบง่ายๆ แต่ถ้าเป็นการตรวจวัดระดับในภาชนะที่มีความดันสูง เป็นสารเคมีอันตราย หรือต้องการสัญญาณระดับเพื่อใช้ในการบันทึกค่าหรือควบคุม เราจะใช้วิธีการตรวจวัดด้วยวิธีการโดยตรงไม่ได้ จำเป็นที่จะต้องประยุกต์หลักการทางวิทยาศาสตร์อื่นๆเข้ามาช่วย เพื่อให้การตรวจวัดระดับบรรลุตามวัตถุประสงค์ ซึ่งเครื่องมือวัดระดับที่ใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่มีราคาค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นการยากต่องานอุตสาหกรรมขนาดกลาง และ ขนาดย่อมที่จะทำการลงทุนซื้อเครื่องมือวัดระดับที่มีคุณภาพตามต้องการ

โดยเฉพาะในปัจจุบันทางรัฐบาลได้มีการส่งเสริมการประกอบธุรกิจขนาดกลาง และขนาดย่อมขึ้น เพื่อรองรับความต้องการดังกล่าวปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้ พัฒนา ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดระดับ สำหรับการใช้ในงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดย่อมขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือวัดระดับที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพดี ซึ่งเครื่องมือวัดระดับที่ทำการพัฒนา ออกแบบและสร้างขึ้นนี้ สามารถแสดงผลสัญญาณระดับที่ได้แบบดิจิทัล แสดงผลในรูปของร้อยละจากค่าสูงสุดของช่วงการวัด และมีการแจ้งเตือนเมื่อค่าระดับที่วัดได้เข้าสู่จุดวิกฤต

1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญญานิพนธ์

1. ศึกษาหลักการและการทำงานของเครื่องมือวัดที่ใช้สำหรับงานวัดระดับ
2. ทำการสร้างอุปกรณ์สำหรับวัดระดับจากข้อมูลที่ได้ศึกษาค้นคว้ามา
3. ทำการทดลองตรวจสอบความเที่ยงตรงและย่านการใช้งานที่เหมาะสม
4. นำอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นไปประยุกต์ใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

1.3 ขอบเขตของปฏิญญานิพนธ์

ปฏิญญานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนพัฒนา ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดระดับโดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ศึกษาหลักการทํางานและข้อดีข้อเสียของเครื่องมือวัดระดับชนิดต่างๆ
2. ศึกษาการทํางานและคำสั่งต่างๆของ MCS-51
3. ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดระดับในส่วนของ Hardware
4. ศึกษาการทํางานร่วมกันระหว่าง A/D Converter กับ MCS-51
5. ทําการเขียนโปรแกรมในการใช้งานร่วมกับ MCS-51
6. ทดสอบเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นทั้งในส่วนของ Hardware, Software และ ส่วนแสดงผล (LCD)
7. สรุปและวิจารณ์ผลที่ได้

1.4 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์

- บทที่ 1 บทนำ
- บทที่ 2 การวัดระดับ (Level Measurement)
- บทที่ 3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
- บทที่ 4 ไมโครคอนโทรลเลอร์กับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก
- บทที่ 5 การออกแบบและโครงสร้างของ Level Indicator
- บทที่ 6 โปรแกรมในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์
- บทที่ 7 ผลการทดลอง และ สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การวัดระดับ (Level Measurement)

2.1 บทนำ

ในงานอุตสาหกรรมทุกประเภท จะมีงานวัดระดับแทรกอยู่ด้วยเสมอ เช่น การวัดระดับน้ำมันในถังพัก การวัดระดับน้ำของเครื่องยนต์ โดยอาศัยหลักวิธีการวัดโดยตรงที่ใช้ลูกลอย หรือ ดิพสติค (Dipsticks) ซึ่งเป็นวิธีการวัดแบบง่ายๆ แต่ถ้าเป็นการวัดระดับในภาชนะที่มีความดันสูง อุณหภูมิสูง เป็นสารเคมีอันตรายหรือต้องการสัญญาณระดับเพื่อไปใช้งานอย่างอื่น เช่น เพื่อการควบคุม บันทึกราคา ดังนั้นจะใช้การวัดโดยตรงไม่ได้ จะต้องประยุกต์หลักการทางวิทยาศาสตร์เข้าช่วยเพื่อให้งานวัดระดับบรรลุผลตามความมุ่งหมาย

วิธีการวัดระดับพอจะแบ่งเป็นหลักการใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ

1. วิธีการวัดโดยตรง (Direct)
2. วิธีการวัดโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์อย่างอื่นเข้าช่วย (Inferential) ในสภาพงานที่มีปัญหา เช่น การวัดระดับน้ำใต้ดินในการขุดเจาะบ่อบาดาล การวัดระดับของน้ำในหม้อไอน้ำที่มีความดัน และ อุณหภูมิสูงเพื่อควบคุมการป้อนน้ำเลี้ยงในอัตราที่เหมาะสมหรือการวัดระดับของผงถ่าน เมล็ดพืชในถังเก็บเหล่านี้จะต้องอาศัยหลักการทางวิทยาศาสตร์เข้าช่วย ในปัจจุบันที่มีใช้อยู่ในวงการอุตสาหกรรมได้แก่
 - หลักการของแรงและความดัน (Force and Pressure)
 - หลักการทางไฟฟ้า (Resistance, Conductance & Capacitance)
 - หลักการเดินทางของเสียง (Ultrasonic)
 - หลักการแผ่รังสีและการดูดซึมพลังงานของสาร (Radiation)

2.2 วิธีการวัดโดยตรง

วิธีการวัดโดยตรง เป็นวิธีที่ประหยัด ง่าย และเชื่อถือได้ ที่มีอยู่ในปัจจุบันได้แก่ ดิพสติคแบบกระจกมองระดับ และแบบลูกลอย

2.2.1 ดิพสติค

ดิพสติค เป็นก้านโลหะที่มีขีดบอกระดับเป็นระยะๆ สำหรับจุ่มลงไปวัดระดับของเหลวที่อยู่ในภาชนะตื้นๆ เช่น อ่างเก็บน้ำมันเครื่องของรถยนต์ ภาชนะเก็บน้ำมันสำรองสำหรับหล่อลื่นเครื่องจักรกลต่างๆ เช่น ปั๊ม ของเหลวที่ต้องการวัดระดับจะต้องมีความหนืดและระเหยช้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อต้องการดูระดับ จะต้องดึงตัวพิศตึกขึ้นมาเช็ดคราบน้ำมันออกก่อนแล้วจุ่มลงไปวัดระดับอีกครั้ง ค่าระดับที่บอกส่วนใหญ่จะไม่บอกเป็นตัวเลขแต่จะบอกเป็นระดับสูงสุดและต่ำสุด ถ้าระดับน้ำมันอยู่ในช่วงนี้ถือว่าปกติ การวัดเพื่อดูอัตราการใช้น้ำมันหล่อลื่นของเครื่องจักรกลและสามารถวิเคราะห์การรั่วไหล สภาพเครื่องยนต์ ช่วงเวลาการเติมน้ำมันหล่อลื่นครั้งต่อไป ข้อควรระวังคือ ขณะสอดเข้าไปวัดระดับจะต้องสอดเข้าไปให้สุดและพยายามดึงออกมาตรงๆ อย่าเสียดสีกับขอบถัง

2.2.2 กระจกแก้วมองระดับ

กระจกมองระดับเป็นวิธีที่สามารถดูระดับของเหลวได้โดยตรง ใช้มากกับภาชนะที่ไม่สูงนัก แบบพิเศษที่สามารถใช้งานได้กับภาชนะที่มีความดันและอุณหภูมิสูง เช่น ในหม้อน้ำเลี้ยง (Drum) ของหม้อไอน้ำ (Boiler) การอ่านระดับจะอ่านได้เฉพาะจุดที่ติดตั้งกระจกมองระดับเท่านั้น ถ้าต้องการดูระดับในจุดที่ห่างออกไปจากตัววัด เช่น ในห้องควบคุม อาจทำได้โดยใช้โทรทัศนังจรปิด เพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้งและปลอดภัยต่อการใช้งาน กระจกมองระดับจะถูกติดตั้งไว้ภายนอกภาชนะ มีวาล์วปิดทั้งบนและล่าง เพื่อตัดส่วนนี้ออกขณะต้องการซ่อมบำรุง กระจกแก้วมองระดับแบ่งแยกตามลักษณะ โครงสร้างเป็น 3 แบบ คือ

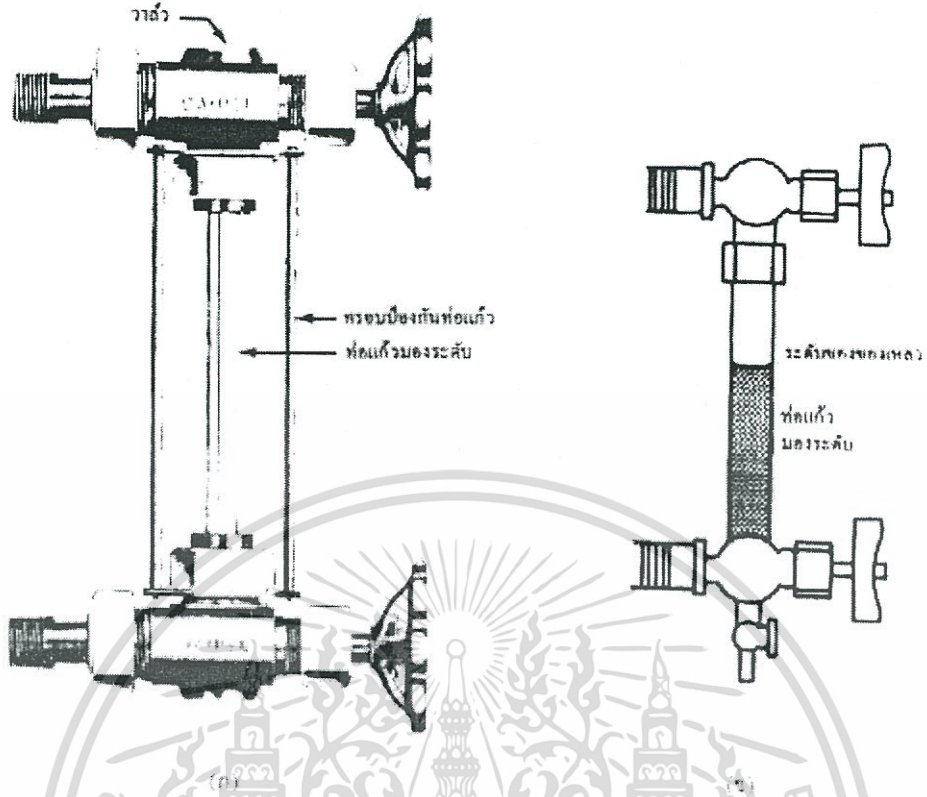
1. แบบท่อแก้ว (Tubular Glass)
2. แบบแผ่นแก้วเรียบ (Flat Glass)
3. แบบแบ่งเป็นช่อง (Multiport)

2.2.2.1 แบบท่อแก้ว (Tubular Glass)

โครงสร้างและหลักการ

ลักษณะของกระจกแก้วมองระดับแบบท่อแก้ว ดังแสดงในภาพที่ 2.1(ก) ใช้สำหรับงานที่มีความดันและอุณหภูมิไม่สูงมากนัก มีข้อเสียคือ แดงง่าย ไม่เหมาะกับงานที่อยู่ในบริเวณที่อาจเกิดอันตรายได้ง่าย (Hazardous Area) ท่อแก้วจะถูกติดตั้งอยู่ในช่วงที่ต้องการดูระดับ มีวาล์วที่สามารถเปิด-ปิดได้ทั้งสองข้าง ขนาดและความหนาของท่อแก้วขึ้นอยู่กับความดันและช่วงความยาวของระดับที่ต้องการวัด การป้องกันอันตรายจากท่อแก้วแตกสามารถทำได้โดย การใช้ท่อพลาสติกใส แข็ง ครอบตัวแก้วไว้ ในบางครั้งการดูระดับของเหลวที่ใส ไม่มีสี จะมีความยุ่งยากในการสังเกตระดับ การอ่านจะต้องเข้าไปพิจารณาใกล้ๆ เพื่อให้การอ่านค่าทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากเลนส์นูนมี คุณสมบัติในการขยายภาพดังแสดงในภาพที่ 2.1(ข) ท่อแก้วเปรียบเสมือนเลนส์นูน ถ้าเรานำแถบสีขนาดเล็กปิดไว้ตามแนวยาวด้านหลังท่อ เมื่อของเหลวในหลอดแก้วสูงขึ้นถึงบริเวณใด เนื่องจากการหักเหของแสงในอากาศและในของเหลวไม่เท่ากัน ดังนั้น ในช่วงที่เป็นของเหลว แถบสีเล็กๆ ด้านหลังจะถูกขยายให้เห็นใหญ่กว่าเดิมมาก ทำให้สามารถสังเกตระดับได้ชัดเจนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 ท่อแก้วมองระดับ

2.2.2.2 แบบแผ่นแก้วเรียบ (Flat Glass)

โครงสร้างและหลักการ

แบบแผ่นแก้วเรียบ เริ่มมีใช้ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1900 แทนที่แบบท่อแก้ว แบ่งเป็นแบบย่อยๆ ได้อีก 2 แบบ คือ แบบแผ่นแก้วสะท้อน และแบบใส

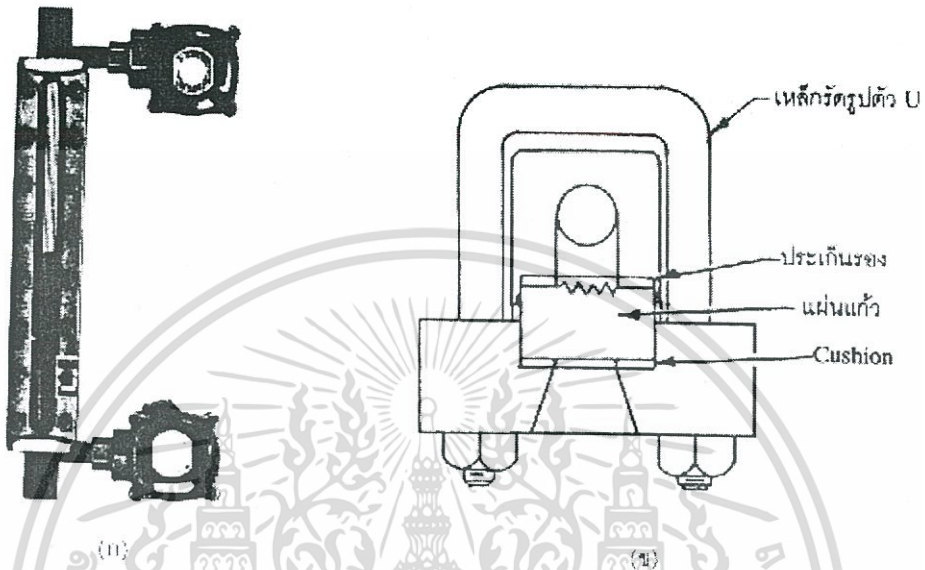
2.2.2.2.1 แบบแผ่นแก้วสะท้อน

แบบแผ่นแก้วสะท้อน ลักษณะด้านหน้าของแผ่นแก้วจะเรียบ ด้านในเซาะร่องเป็นมุมรูปฟันเลื่อย มุมด้านในของแผ่นแก้วพอดีที่จะทำให้แสงส่วนที่อยู่ใต้ระดับของเหลว ถูกดูดกลืนไปหมดทำให้ดูมืดในส่วนที่เป็นของเหลว และ ส่วนที่เป็นก๊าซแสงจะสะท้อนกลับออกมาทำให้ดูโปร่งแสงกว่าส่วนที่เป็นของเหลว แผ่นแก้วที่ใช้ทำคือ โบโรซิลิเกต ซึ่งมีอัตรา การขยายตัวเมื่อได้รับความร้อนต่ำ ทนต่อการช็อกที่เกิดจากความร้อนและที่มากกระทำได้ดี ลักษณะ การติดตั้งเป็นดังภาพที่ 2.2 แผ่นแก้วที่ติดกับของเหลวด้านในมีประเก็นรองอยู่ โดยมี Cushion รอง อยู่ระหว่างแผ่นเหล็กกับแผ่นแก้ว จึงไม่มีส่วนสัมผัสโดยตรงกับโลหะ เหล็กกรัดรูปตัว U มีไว้ สำหรับรัดส่วนประกอบทั้งหมดเข้าด้วยกัน แบบแผ่นแก้วสะท้อน เหมาะสำหรับของเหลวที่สะอาด

ไม่มีสี มีค่าความหนืดต่ำ เพราะถ้ามีของเหลวที่ต้องการดูระดับเคลือบบนแผ่นแก้ว การอ่านระดับจะ เือกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำได้ยาก หรือถ้าของเหลวด้านในเคือคมีไอน้ำมาเกาะที่แผ่นแก้ว จะทำให้การอ่านระดับผิดไปเช่นกัน ข้อดีของแผ่นแก้วแบบสะท้อน คือ ไม่ต้องมีหลอดส่องแสงสว่างก็สามารถอ่านระดับได้ แบบพิเศษสามารถทนความดันได้สูงถึง 4,000 psig และทนอุณหภูมิได้ 750 °F



ภาพที่ 2.2 การติดตั้งใช้งานและภาคตัดขวางของแผ่นแก้วสะท้อน

2.2.2.2.2 แบบแผ่นแก้วใส (Transparent Gauge)

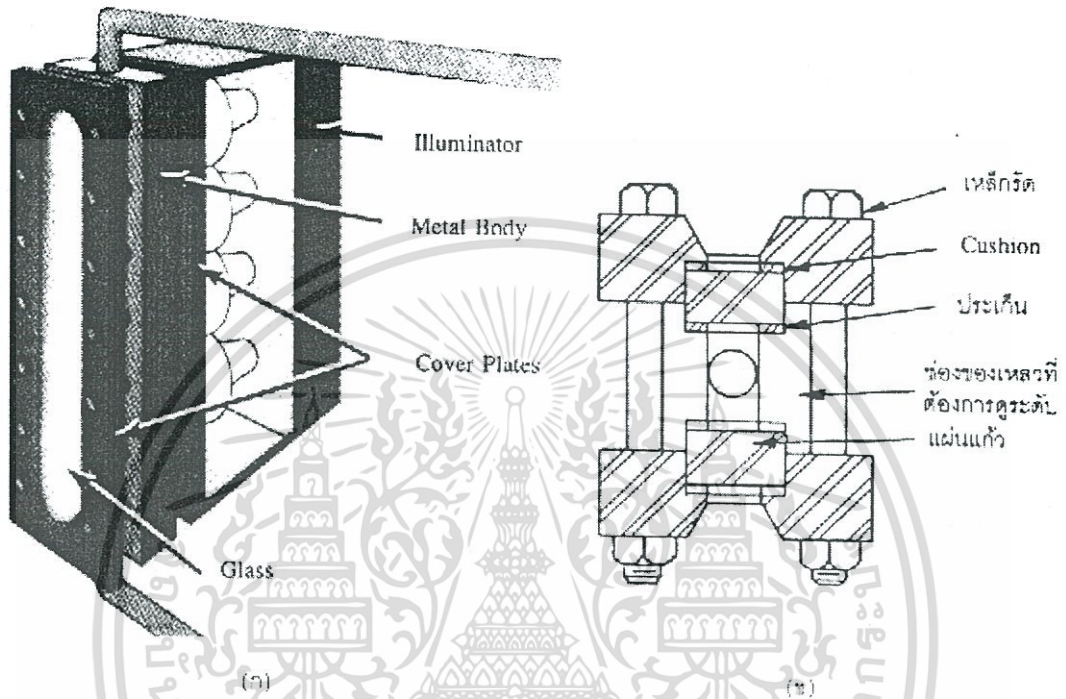
แบบแผ่นแก้วใส มีโครงสร้างคล้ายแบบสะท้อนแต่ผิวด้านในเรียบ เหมาะสำหรับใช้ดูระดับของของเหลวที่มีสีหรือมีความหนืดสูง เช่น น้ำมัน ภาพตัดขวางเป็นดังภาพที่ 2.3 มีแผ่นแก้วเรียบประกบอยู่ระหว่างของเหลวทั้งสองด้าน ทำให้มองเห็นทะลุทั้งสองด้าน บางแบบอาจมีไฟส่องดูระดับ ซึ่งสามารถดูได้ทุกเวลา

ถ้าของเหลวที่ต้องการดูเป็นสารกัดกร่อน ซึ่งอาจกระทำกับแผ่นแก้ว จะต้องใช้แผ่นไมก้าใส (Transparent Mica) หรือ Kel-F เป็นแผ่นรองมิให้ของเหลวนั้นสัมผัสกับแผ่นแก้วได้โดยตรง ถ้าระดับที่ต้องการดูมีช่วงยาว การใช้แผ่นแก้วอันเดียวจะทำให้แผ่นแก้วนั้นแตกได้ง่าย เนื่องจากการขยายตัว ดังนั้นจะต้องแบ่งแผ่นแก้วออกเป็นช่วงๆ แบบพิเศษที่เจาะภาชนะเพื่อ ติดตั้งกระจกมองระดับโดยตรงไม่พบบ่อยนัก แต่จะใช้ในกรณีที่

1. ช่องว่าง (Space) ที่จุดนั้นมีจำกัด
2. ต้องการลดจุดต่อต่างๆ ให้มีน้อยที่สุดเนื่องจากของเหลวที่ต้องการ

ดูระดับเป็นของเหลวอันตราย

ถ้าของเหลวภายในภาชนะกระเพื่อมอยู่ตลอดเวลา เช่น น้ำในภาชนะนั้นเดือด ซึ่งจะทำให้การอ่านระดับทำได้ยาก จะต้องออกแบบกระเปาะด้านล่างให้ใหญ่เป็นพิเศษ กระเปาะนี้ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่า 2 นิ้ว

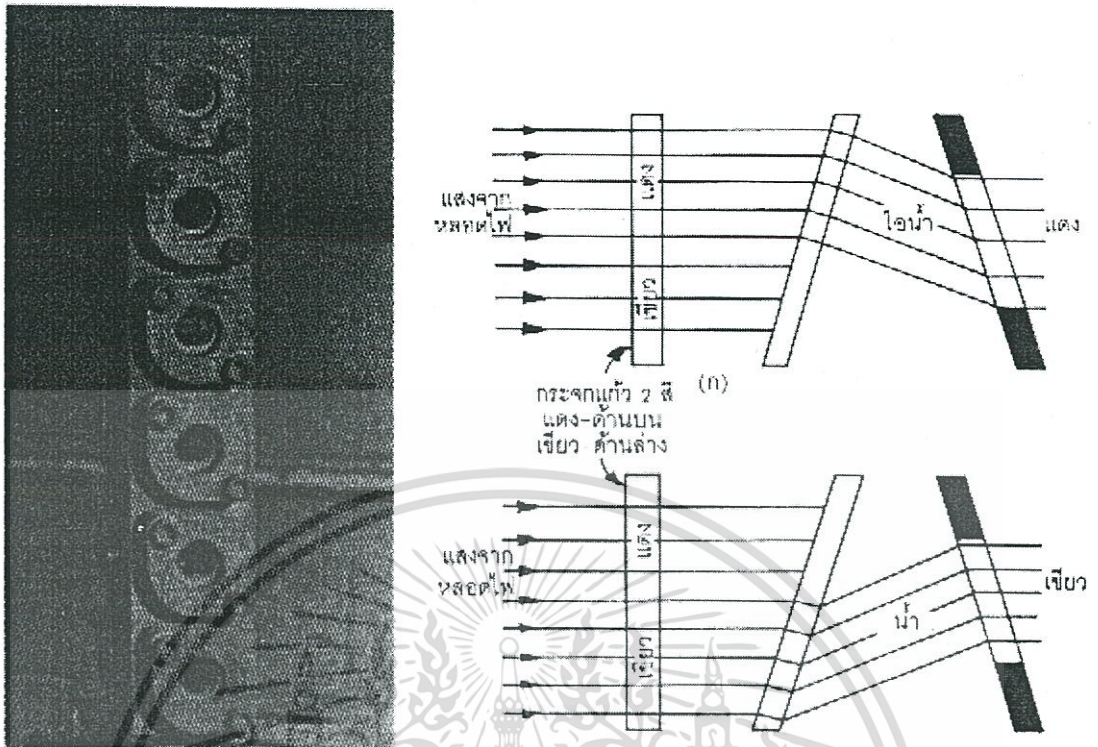


ภาพที่ 2.3 การติดตั้งใช้งานและภาคตัดขวางของแผ่นแก้วใส

2.2.2.3 แบบแบ่งเป็นช่อง (Multiport)

เป็นแบบที่เหมาะสมสำหรับของเหลวที่มีความดันและอุณหภูมิสูงโดยเฉพาะ ภายในช่องระดับมีทรงรูปลิ้ม จุดที่ต้องการระดับจะติดตั้งแผ่นแก้วไว้เป็นช่องๆ ระดับที่อยู่ระหว่างช่องทั้งสองจะมองไม่เห็น

เพื่อให้ง่ายต่อการสังเกตระดับได้มีผู้คิดกำหนดสีของของเหลว และ ส่วนที่เป็นที่ว่างให้แตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยใช้การหักเหของแสงในน้ำและในอากาศไม่เหมือนกันประกอบกับช่องภายในเป็นรูปลิ้มทำหน้าที่เหมือนปริซึม ตามภาพที่ 2.4 ส่วนใหญ่มักกำหนดให้ น้ำหรือของเหลวเป็นสีเขียวอากาศหรือไอน้ำเป็นสีแดง



ภาพที่ 2.4 การติดตั้งใช้งานของแบบ Multi-port และหลักการแยกสีของน้ำและอากาศหรือไอน้ำ

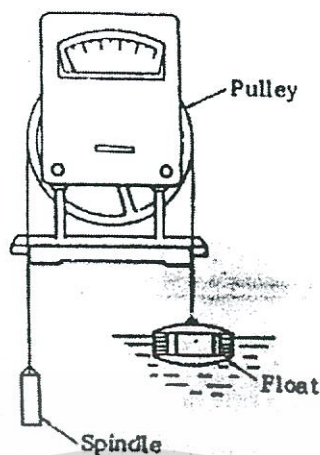
ความผิดพลาดที่เกิดจากของเหลวในภาชนะมีอุณหภูมิสูง เช่น ในหม้อน้ำเลี้ยง (Drum) ของหม้อไอน้ำซึ่งน้ำอยู่ภายใต้สภาวะจุดเดือดตลอดเวลา การใช้ช่องกระจกมองระดับซึ่งต่ออยู่ห่างออกมาทำให้อุณหภูมิจากของเหลวในช่องมองระดับมีค่าต่ำกว่าของเหลวในหม้อน้ำเลี้ยง ค่าความหนาแน่นของน้ำในช่องมองระดับจึงสูงกว่า ตัวอย่างเช่น จุดทำงานโดยปกติของหม้อน้ำเลี้ยงอยู่ที่ 2650 psig อุณหภูมิ 667 °F และน้ำในช่องมองระดับซึ่งต่ออยู่ห่างออกไปมีอุณหภูมิ 450 °F จะทำให้ค่าระดับที่อ่านได้ผิดไป คือ ต่ำกว่าระดับของของเหลวในหม้อน้ำเลี้ยงถึง 20%

2.2.3 ลูกลอย (Float)

การวัดระดับของของเหลวที่นิยมมากวิธีหนึ่งก็คือ การวัดระดับของของเหลวโดยใช้ลูกลอย วัดการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง

เครื่องวัดแบบลูกลอย (Float Type Meter) ดังแสดงในภาพที่ 2.5 เป็นเครื่องมือวัดที่มีโครงสร้างง่ายๆ สามารถใช้ได้กับงานในสภาพที่มีอุณหภูมิสูงภายใต้สภาพความดันสูงๆ ง่ายต่อการใช้ สะดวกต่อการปรับแต่ง (Calibrate) มีความเที่ยงตรงสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 MC56 Float Liquid-Level Detector

โครงสร้างและหลักการทำงาน

ในการวัดระดับของของเหลวโดยอาศัยการลอยตัวของลูกลอย การที่ลูกลอยสามารถลอยได้นิ่งอยู่บนของเหลว แสดงว่าแรงที่กดลงมาก็คือน้ำหนักของลูกลอยซึ่งถูกกระทำด้วยแรงดึงดูดของโลก จะต้องมีความเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากับส่วนที่ลูกลอยจมในของเหลว เมื่อระดับของของเหลวเปลี่ยนแปลงจะทำให้ลูกลอยเคลื่อนที่ขึ้น-ลงตามไปด้วย จึงสามารถต่อแกนขึ้นในแนวตั้งเพื่อชี้บอกค่าระดับได้

การวัดระดับแบบลูกลอยในลักษณะนี้ สามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ

1. ลูกลอยถูกติดตั้งในภาชนะ สามารถใช้ได้ในกรณีที่สามารถติดตั้งลูกลอยได้โดยตรงในการวัดระดับของของเหลวในถัง
2. ลูกลอยถูกติดตั้งนอกภาชนะ ในการใช้งานซึ่งไม่สามารถให้ลูกลอยอยู่ในถังได้โดยตรง ต้องมีการต่อท่อออกจากถังที่ต้องการวัดระดับมายังช่องวัดระดับภายนอก และลูกลอยจะถูกติดตั้งอยู่ภายในช่องวัดระดับนี้

ข้อดีของการติดตั้งลูกลอยภายนอก คือ ง่ายในการตรวจสอบ บำรุงรักษาและสะดวกต่อการใช้งาน ท่อที่ต่อจากถังหรืออ่างที่ต้องการวัดระดับมายังช่องวัดระดับ เนื่องจากการกระเพื่อมของของเหลวในถังที่เราต้องการทราบระดับ

แต่ข้อเสียก็คือ การติดตั้งลูกลอยภายนอกมีขีดจำกัดในย่านการใช้งานเพราะการเคลื่อนที่ของลูกลอยและคานจะถูกกำหนดด้วยขนาดของช่องวัดระดับ มุมในการขยับตัวขึ้นลงของคานจะมีได้ประมาณไม่เกิน 30 องศา ดังนั้นย่านในการใช้งานจะมีได้เพียง 500 ml สำหรับลูกลอยอยู่ภายในภาชนะ และแบบลูกลอยอยู่นอกภาชนะจะมีการขยับได้ประมาณ 100 ml

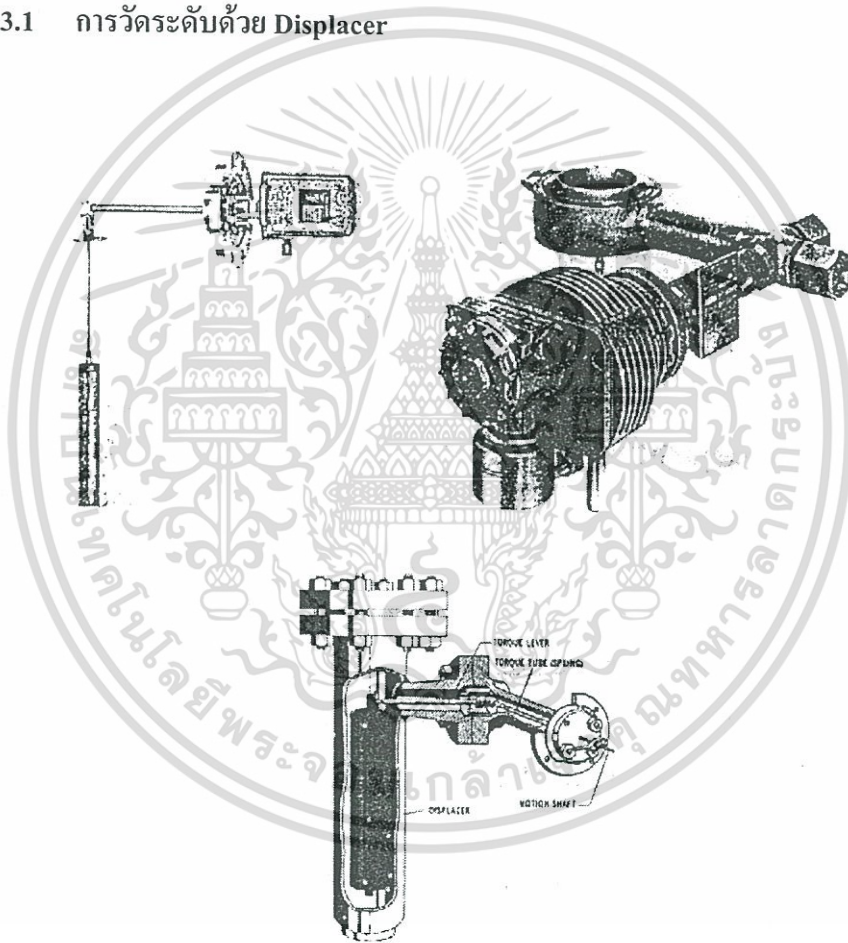
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกลอยจะใช้ต้องถูกสร้างให้มีรูปร่าง และ ขนาดที่ให้ได้รับแรงลอยตัวมากที่สุด โดยมีพื้นที่ผิวน้อยที่สุด แต่เพื่อให้มีความไวในการวัดมากที่สุด ลูกลอยจะถูกต่อเข้ากับคาน และปลายอีกด้านหนึ่งต้องต่อเข้ากับลูกตุ้ม (Balance Weight)

มิเตอร์วัดระดับชนิดนี้มีโครงสร้างที่ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน สามารถประกอบเข้ากับชุดของสวิทช์ที่เป็นสวิทช์ปรอท หรือไมโครสวิทช์ เพื่อใช้ในระบบสัญญาณเตือนหรือต่อเข้ากับเครื่องควบคุมระดับน้ำได้

2.3 วิธีการวัดระดับโดยใช้หลักการทางวิทยาศาสตร์อย่างอื่นเข้าช่วย

2.3.1 การวัดระดับด้วย Displacer



ภาพที่ 2.6 เครื่องวัดระดับแบบ Displacer

โครงสร้างและหลักการทำงาน

การวัดระดับแบบใช้การแทนที่ของวัตถุด้วยของเหลว อาศัยหลักการของอาร์คิมิดีส โดยวัดการเปลี่ยนแปลงของแรงพยุง (Bouyancy) ที่กระทำต่อวัตถุ วัตถุที่ใช้ทำเป็นตัวรับรู้ต่อแรงพยุงจะมีเอกลักษณ์เป็นทรงกระบอกจมอยู่ในช่องเหลวที่ต้องการทราบค่าระดับ วัตถุรูปทรงกระบอกอื่นนี้ ถ้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกแขวนไว้ด้วยตาชั่งน้ำหนักเมื่อชั่งในอากาศจะมีน้ำหนัก W ดังนั้น แรงที่มาจากน้ำหนักของวัตถุทรงกระบอกอันนี้น้อยลง ก็คือแรงพยุง ซึ่งกระทำต่อทรงกระบอกในทิศทางตรงกันข้ามกับน้ำหนักแรงพยุง (F) มีขนาดเท่ากับน้ำหนักของของเหลวที่ถูกวัตถุนี้แทนที่

$$F = W - w$$

- เมื่อ F คือ แรงพยุง (Bougency)
 W คือ น้ำหนักของวัตถุเมื่อชั่งในอากาศ
 w คือ น้ำหนักของวัตถุเมื่อชั่งในของเหลว

วัตถุทรงกระบอกที่ใช้มีชื่อทางเทคนิคว่า Displacer ตัว Displacer ต้องมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าของเหลวในระบบ ในการใช้ ตัว Displacer จะถูกบรรจุในท่อซึ่งสร้างขึ้นสำหรับใช้วัดระดับโดยเฉพาะ ผลที่ได้จากการที่ระดับเปลี่ยนแปลงจะออกมาในรูปของแรงมากกว่าการเคลื่อนที่ตัวของ Displacer ดังเช่นในแบบลูกลอย ดังนั้นระยะการเคลื่อนที่จะน้อยกว่าแบบลูกลอย Displacer สามารถใช้วัดระดับได้ทั้งในสถานะแบบเปิดและที่ที่มีความดันภายใน

การทำงานของ Displacer ระดับของน้ำในสถานะจะมีผลต่อแรงกระทำของลูกลอย เมื่อระดับน้ำสูงขึ้น Displacer ขยับตัวสูงขึ้น เนื่องจากมันถูกต่ออยู่กับคาน ซึ่งปลายของคานข้างหนึ่งต่อกับท่อส่งทอร์ค (Torque Tube) ทำให้ท่อส่งทอร์คหมุนตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าระดับน้ำต่ำลง การเปลี่ยนแปลงก็จะมีทิศทางตรงกันข้าม

โมเมนต์ที่เปลี่ยนแปลงในท่อส่งทอร์คเกิดจากแรงพยุงตั้งของ Displacer ดังสมการ

$$\Delta T = \Delta F \cdot r$$

- เมื่อ ΔT คือ ค่าทอร์คที่เปลี่ยนแปลง
 ΔF คือ การเปลี่ยนแปลงของแรงพยุงตัวที่กระทำต่อ Displacer
 r คือ ค่าความยาวของคาน (Torque Arm)

ข้อดี - ข้อเสียของเครื่องมือวัดแบบ Bougency

1. วัดได้ในพื้นที่ที่ความดันและอุณหภูมิสูงได้ดี
2. Sensitivity Accuracy และ Response ดีมาก
3. เหมาะสำหรับ Range แคบๆ แต่ต้องการความละเอียดในการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีทีเอส จำกัด หากมีการนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากบริษัทฯ ถือว่าผิดกฎหมาย และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จะต้องระวังในการเกาะตัวของตะกอนที่ตัว Displacer ซึ่งจะทำให้การวัดเกิด Error ขึ้น
6. ค่า Liquid Density (S) มีความสำคัญมาก ถ้าการบอกค่า S ผิด ก็จะทำให้เครื่องมือวัดอ่านค่าผิด
7. มีราคาแพงมาก

ข้อคำนึงถึงในการเลือก Displacer

1. ค่า Liquid Density ของของเหลว
2. ความยาวของ Displacer
3. Span ของเครื่องมือวัด
4. Temperature ของ Liquid
5. ส่วนในการคำนวณเพื่อใช้ประกอบในการเลือกตัว Displacer จำเป็นต้องใช้คู่มือของบริษัทผู้ผลิตเป็นหลัก

2.3.2 การวัดระดับโดยการวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล

2.3.2.1 หลักการวัดระดับโดยวิธีวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล

การวัดระดับโดยวิธีวัดความดันดิฟเฟอเรนเชียล เป็นวิธีหนึ่งที่แพร่หลายในวงการอุตสาหกรรมวิธีหนึ่งสามารถใช้กับของเหลวที่สกปรก มีความดันสูงหรืออุณหภูมิสูงได้ดี โดยมีหลักการวัดตามสมการเบื้องต้น ดังนี้

$$P = h.SG_m$$

เมื่อ P คือ ค่าความดัน มีหน่วยเป็น เมตรน้ำ

h คือ ค่าความสูงของของเหลว มีหน่วยเป็น เมตร

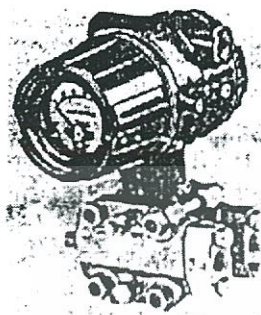
SG_m คือ ค่าความถ่วงจำเพาะของสาร (ไม่มีหน่วย)

พิจารณาจากสมการค่าความถ่วงจำเพาะของสารเป็นค่าคงที่ ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารนั้น เช่น น้ำ มีค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 1 หรือ โปรท มีค่าความถ่วงจำเพาะเป็น 13.6 ดังนั้น ความดันที่เกิดขึ้นจึงสัมพันธ์โดยตรงกับความสูงของของเหลว

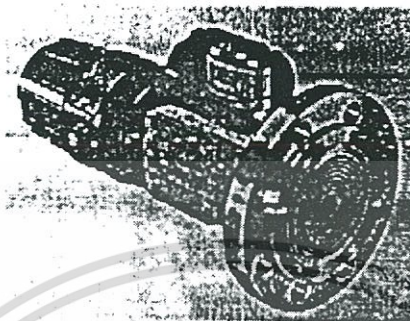
ส่วนตัวอุปกรณ์การวัดที่เราเรียกว่า Differential Pressure Transmitter นั้น ถ้าแบ่งชนิดตามโครงสร้างของผู้ผลิตที่ผลิตออกมาจำหน่ายจะสามารถแบ่งได้ 3 แบบด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 2.7 ซึ่งแต่ละแบบจะมีส่วนของหลักการงานที่เหมือนกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

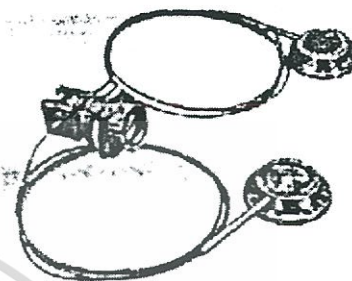
1. Standard Type
2. Flange Mounting
3. Remote Diaphragm



(ก) Standard Type



(ข) Flange Mounting



(ค) Remote Diaphragm

ภาพที่ 2.7 Differential Pressure Transmitter

2.3.2.2 การวัดระดับแบบท่อปล่อยอากาศ (Air Purge Tube)

โครงสร้างและหลักการทำงาน

การวัดระดับแบบท่อปล่อยอากาศเป็นแบบที่ใช้มานานแล้ว มีอุปกรณ์การวัดแบบง่ายๆ เหมาะสำหรับการวัดระดับของเหลวในถังเปิด โดยเฉพาะถ้าของเหลวนั้นสกปรกหรือมีฤทธิ์กัดกร่อน เพราะอุปกรณ์สำหรับวัดไม่ต้องสัมผัสโดยตรงกับของเหลวนั้น

วิธีการวัดใช้ท่อปล่อยอากาศ (Air Purge Tube) ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีทนต่อการกัดกร่อนของของเหลวได้ดี ติดตั้งตามแนวความสูงของถัง ด้านล่างห่างจากก้นถังหรือระดับตกตะกอน 2-3 นิ้ว ด้านบนมีระบบอัดอากาศป้อนลงมาสู่ท่อนี้ตลอดเวลา ก๊าซที่นิยมใช้คือ ไนโตรเจน หรือ อากาศที่ไม่ทำปฏิกิริยากับของเหลวในระบบ ก๊าซที่ป้อนลงสู่ท่อปล่อยอากาศจะต้องผ่านวาล์วรักษาความดัน (Regulating Valve) ตัววัดการไหลของก๊าซ (Rotameter) หรืออาจใช้กระเปาะบรรจุน้ำหรือน้ำมันเพื่อสังเกตว่ามีก๊าซไหลผ่านอยู่ตลอดเวลา การวัดระดับนี้ก็คือ การวัดความดันย้อนกลับ (Back Pressure) นั่นเองความดันในท่อปล่อยอากาศจะมีค่าเท่ากับความดันของของเหลวระดับปลายท่อ เพราะเมื่อความดันในท่อสูงกว่าก๊าซ ในท่อจะถูกระบายออกไป ดังนั้นความดันของก๊าซในท่อจะแปรเปลี่ยนไปตามระดับความสูงของของเหลว เราจึงสามารถทราบค่าความสูงได้จากความดันในท่อนี้ สาเหตุที่ต้องให้ก๊าซไหลผ่านท่อตลอดเวลาและค่าความดันของก๊าซในท่อไม่ต่ำกว่าความดันของของเหลวที่ปลายท่อ อันจะทำให้ของเหลวไหลย้อนเข้าไปในท่อ ค่าระดับที่อ่านได้จะผิดไปจากความเป็นจริง ท่อปล่อยอากาศจะต้องมี \varnothing อย่างน้อย 8 mm และผิวด้านในท่อต้องเรียบเพื่อลดการสูญเสียความดัน (Pressure Loss)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 การวัดระดับโดยการวัดค่าประจุไฟฟ้า

โครงสร้างและหลักการทำงาน

ถ้าเราใส่ขั้วตัวนำ (Electrode) ติดตั้งลงไปในแนวตั้งของภาชนะ เมื่อป้อนไฟฟ้าไปที่ขั้วตัวนำและโลหะของภาชนะจะเกิดเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitor) โดยขั้วตัวนำและโลหะของภาชนะจะเป็นแผ่น Plate สองแผ่นที่มีตัวเก็บประจุคือสารที่บรรจุในภาชนะนั้น

สารทุกชนิดมีค่า Dielectric Constant ไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของสารนั้นๆ ดังพิจารณาตามภาพที่ 4.46(ก) ค่าประจุระหว่าง Plate ทั้งสองจะมีค่าแปรเปลี่ยนไปตามสมการดังนี้

$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

เมื่อ C คือ ค่าประจุไฟฟ้า มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

A คือ ค่าพื้นที่ตั้งฉากของ Plate ทั้งสองกับทิศทางของเส้นแรงไฟฟ้า มีหน่วยเป็นตารางเมตร

d คือ ระยะห่างระหว่าง Plate ทั้งสองมี หน่วยเป็นเมตร (m)

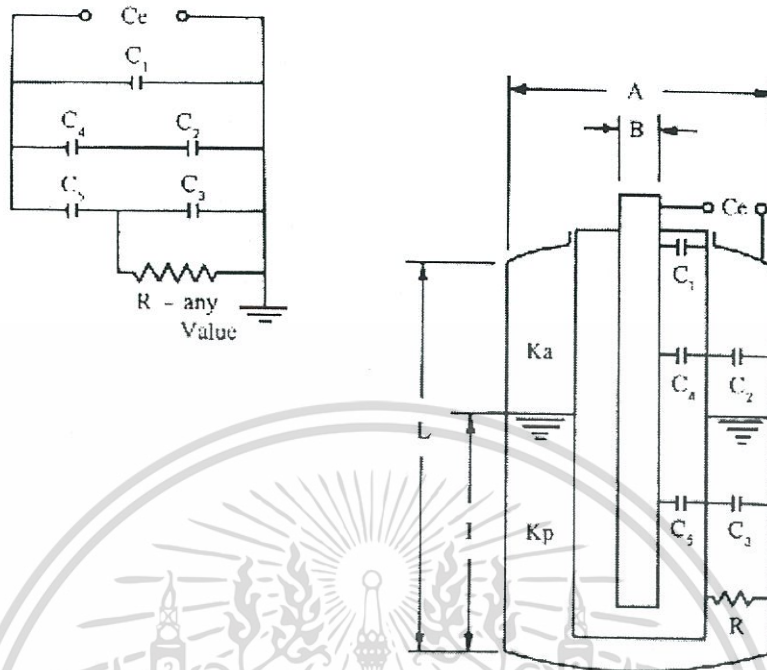
ϵ คือ ค่า Dielectric Constant ของตัวกลาง มีหน่วยเป็นฟารัด (F)

ค่า ϵ ของอากาศมีค่าเท่ากับ 1 ก๊าซส่วนใหญ่จะมีค่าประมาณ 1 น้ำบริสุทธิ์มีค่า 80 เนื่องจากค่า A และ d เป็นค่าคงที่ ดังนั้นค่าประจุจึงแปรเปลี่ยนไปตามระดับของสารตัวกลางที่เข้ามาแทนที่อากาศ เนื่องจาก ϵ มีค่าสูงกว่าอากาศ หลักการวัดระดับโดยการวัดค่าความจุทางไฟฟ้าจึงเหมาะสำหรับสารตัวกลางที่มีค่า ϵ สูงกว่าอากาศมากๆ โดยธรรมชาติค่า ϵ ของสารจะเปลี่ยนไปบ้างตามอุณหภูมิและความหนาแน่น ถ้าตัวกลางเป็นผงเช่น ขี้เถ้า ถ่าน เมล็ดพืช ค่า ϵ จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่น แต่ถ้าเป็นของเหลว ค่า ϵ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ โดยในของเหลวชนิดเดียวกันที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจะมีค่า ϵ สูงกว่า

เมื่อแท่งวัดประจุเป็นแบบหุ้มฉนวน ค่าประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในภาชนะจะเป็นดังภาพที่ 2.8 ผลรวมของค่าประจุทั้งหมดจะเป็นดังสมการ

$$C_e = C_1 + \frac{C_2 C_4}{C_2 + C_4} + \frac{C_3 C_5}{C_3 + C_5}$$

เมื่อ C_1 , C_4 และ C_5 เป็นค่าประจุที่เกิดขึ้นในส่วนของฉนวนกับแท่งตัวนำ (Electrode) C_2 เป็นค่าประจุที่เกิดขึ้นจากอากาศส่วนที่เป็นที่ว่าง C_3 เป็นค่าประจุของสารที่ต้องการวัดระดับ ซึ่งมีเอกสารค่าสูงกว่าอากาศมากนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 ค่าประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในภาชนะ

ฉนวนที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นเทฟลอน ค่าประจุที่เปลี่ยนไปต่อความสูง 1 เมตร ขึ้นอยู่กับค่า ϵ และขนาด ϕ ของแท่งตัวนำ ตามภาพที่ 2.8 ถ้าถึงที่ใช้ทดลองบรรจุนิโพรเพน ที่มีค่า Gland Capacitance 12 pF และใช้แท่งตัวนำขนาด ϕ 3 นิ้ว หุ้มด้วยเทฟลอนยาว 5 ฟุต ถึงลึก 7 ฟุต ค่า ϵ ของอากาศมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นค่าประจุมรวม (Termunal Capacitance) จะมีค่า

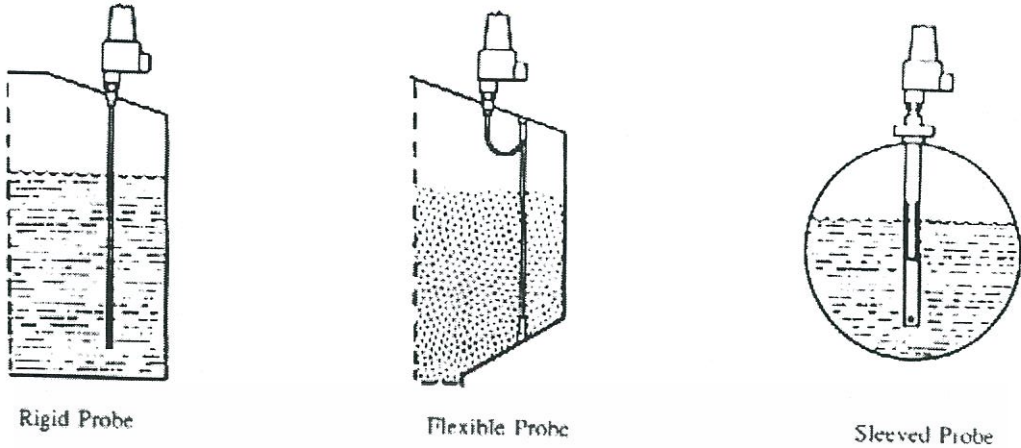
$$C_t = C_g + C_c$$

- เมื่อ C_t คือ ค่าประจุมรวม มีหน่วยเป็นพิโคฟารัด (pF)
 C_g คือ ค่า Gland Capacitance มีหน่วยเป็นพิโคฟารัด (pF)
 C_c คือ ค่าประจุเมื่อเป็นถึงเปล่า มีหน่วยเป็นพิโคฟารัด (pF)

ข้อมูลทางเทคนิคที่ต้องทราบก่อนการเลือกใช้

- ขนาดความยาวของ Probe และส่วนที่ต้องใช้วัดระดับ
- ค่าประจุมระหว่างภาชนะเปล่าและค่า Span
- ค่า Dielectric Constant ของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.9 Probe ของเครื่องมือวัดระดับแบบวัดประจุ

Probe ของเครื่องมือวัดระดับแบบวัดประจุมี 3 แบบด้วยกันดังแสดงในภาพที่ 2.9 คือ แบบตรงท่อนเดียว (Rigid) แบบอ่อน และ แบบ Rigid ตรงที่มี Sleeve

Probe ตรงท่อนเดียว (Rigid) โดยปกติจะเคลือบด้วยเฟลลอนเหมาะสำหรับใช้วัดระดับของของเหลว เมล็ดพืช หรือ ผลิตผลทางการเกษตร โดยสารที่ต้องการวัดระดับอาจเป็นแบบที่มีค่าความนำไฟฟ้าต่ำหรือสูงก็ได้ Probe แบบเปลี่ยนที่ไม่ได้หุ้มฉนวนเหมาะสำหรับสารที่มีค่าความนำไฟฟ้าและค่า Dielectric Constant ต่ำ Probe แบบตรงท่อนเดียวมีข้อเสีย คือ ยุ่งยากขณะขนส่งเพราะมีขนาดยาว

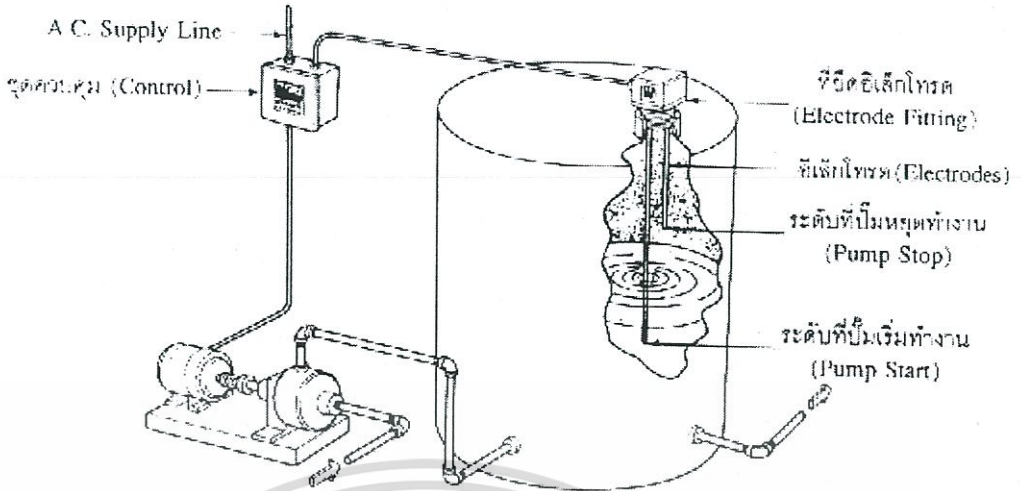
Probe แบบอ่อน (Flexible) เหมาะสำหรับช่วงการวัดที่มีระดับสูงกว่า 12 ft ขึ้นไป สามารถม้วนได้ทำให้ง่ายต่อการขนส่งและติดตั้ง เหมาะสำหรับใช้วัดระดับในถังไซโล หรือ Hopper

Probe แบบมี Sleeve เหมือนกับแบบ Rigid แต่มี Sleeve หุ้มอยู่รอบ Probe เพื่อให้การเปลี่ยนค่าของประจุเป็นไปอย่างลิเนียร์ไม่ขึ้นอยู่กับรูปร่างของถัง Probe แบบนี้เหมาะสำหรับใช้กับของเหลวเท่านั้น

2.3.4 การวัดระดับโดยการวัดค่าความนำไฟฟ้า

โครงสร้างและหลักการทำงาน

วิธีการนี้เหมาะสำหรับการวัดระดับของเหลวที่มีค่าความนำไฟฟ้าสูง เช่น น้ำ สารที่มีส่วนผสมของกรด ด่างหรือเกลือ



ภาพที่ 2.10 การวัดระดับโดยการวัดค่าความนำไฟฟ้า

วิธีการวัด ตัววัด (Probe) ตัวนำจะถูกติดตั้งอยู่ในระดับต่างๆกันในภาชนะ อาจติดตั้งอยู่ในแนวตั้งหรือแนวนอนก็ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.10

ไฟฟ้าที่ใช้เลี้ยงวงจรเป็นไฟที่มีค่าต่ำ (ไม่เกิน 45 V) ซึ่งไม่เป็นอันตรายกับคน ขั้วหนึ่งต่อกับภาชนะที่เป็นโลหะ อีกขั้วหนึ่งต่อเข้ากับ Probe ตามความสูงที่ต้องการในลักษณะขนาน เมื่อระดับของของเหลวสูงขึ้นมันจะทำหน้าที่เป็นตัวนำต่อเชื่อมให้ครบวงจร อาจถูกต่อไปจุดใส่หลอดหรือเสียงลิเล็คเพื่อแสดงให้ทราบว่าเป็นของเหลวอยู่ในช่วงใด

การใช้งาน อาจนำไปใช้ในการควบคุมการป้อนน้ำเข้าถังพัก โดยนำไปเป็นตัวกำหนดการเดินปั๊ม เมื่อระดับน้ำสูงถึงก้านตัวนำอันบนปั๊มจะถูกสั่งให้หยุดการทำงานและจะทำงานอีกครั้งเมื่อระดับน้ำลดลงต่ำกว่าก้านตัวนำอันล่าง

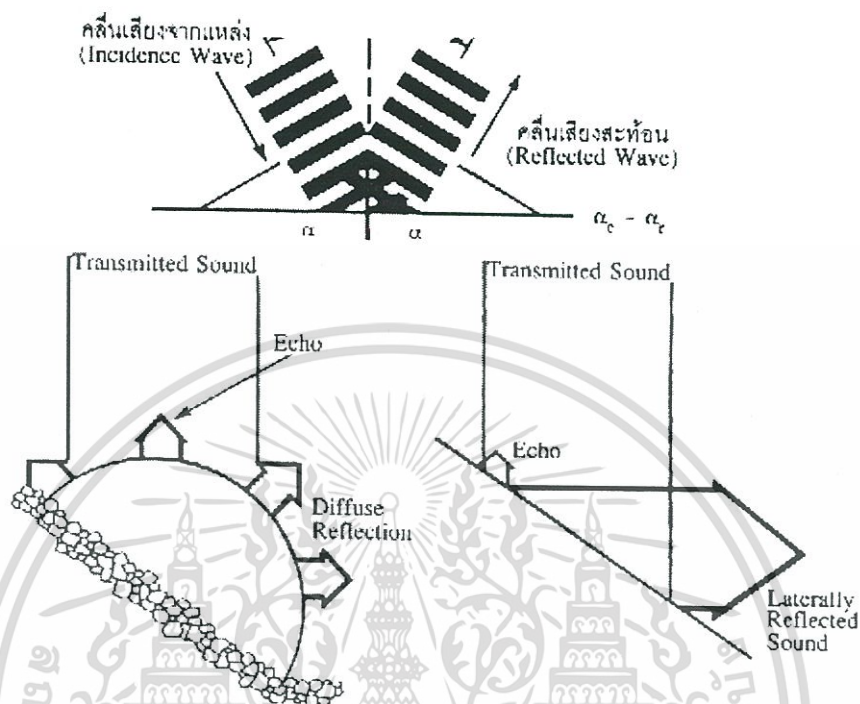
สารที่เหมาะสมสำหรับวัดระดับด้วยวิธีการวัดค่าความนำไฟฟ้า

น้ำ	เบียร์
กรด เบส เกลือ	ไวน์
สารเคมี	ซูป
น้ำเชื่อม	แอมโมเนีย
นม	น้ำผลไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 การวัดระดับโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

โครงสร้างและหลักการทำงาน



ภาพที่ 2.11 ลักษณะของการสะท้อนของเสียง

คุณสมบัติของอัลตราโซนิก อัลตราโซนิก คือ คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz อันเป็นย่านที่มนุษย์ไม่ได้ยินและมีระดับพลังงานต่ำมากเพียงไม่กี่มิลลิวัตต์เท่านั้น ความเร็วของคลื่นเสียงในตัวกลางขึ้นอยู่กับรูปแบบของคลื่น ความหนาแน่น และคุณสมบัติการยืดหยุ่นของตัวกลาง (Elastic Constant) ของตัวกลางที่คลื่นเสียงนั้นเดินทางผ่าน

ความเข้มของเสียง และ ระดับความดังของเสียง (Sound Pressure) จะถูกวัดในรูปของเดซิเบล (dB) ตามสูตรนี้

$$i = 10 \cdot \log_{10} I/I_0$$

- เมื่อ
- i คือ ความเข้มของเสียงที่มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)
 - I คือ ความเข้มของเสียงที่วัดได้มีหน่วยเป็น W/cm^2
 - I_0 คือ ค่าความเข้มของเสียงอ้างอิงที่มีความถี่ 1000 Hz และมีค่า $10^{-6} W/cm^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\rho = 10 \cdot \log_{10} P/P_0$$

เมื่อ ρ คือ ความเข้มของเสียง มีหน่วยเป็น เดซิเบล (dB)

P คือ ค่าความดันของเสียงที่วัดได้ มีหน่วยเป็น dyne/cm^2

P_0 คือ ค่าความดันของเสียงที่อ้างอิง (Reference) มีค่า $2 \times 10^{-4} \text{ dyne}/\text{cm}^2$

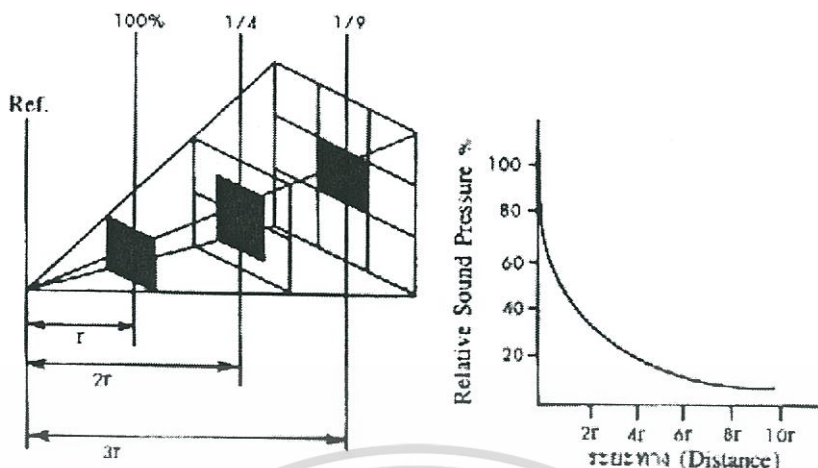
เมื่อคลื่นเสียงวิ่งอยู่ในตัวกลางไปกระทบของแข็ง เช่น กำแพง หน้าผา หรือพื้นผิวของของเหลว บางส่วนของคลื่นเสียงเท่านั้นจะแทรกผ่านเข้าไปในสารนั้นๆ ส่วนใหญ่จะสะท้อนกลับที่เรียกว่า เอคโค่ (Echo) การสะท้อนของเสียงมีลักษณะเหมือนการสะท้อนของแสง

$$\text{มุมสะท้อน } \alpha_r = \text{มุมตกกระทบ } \alpha_i$$

ลักษณะของการสะท้อนของเสียงตามภาพที่ 2.11 เมื่อเสียงกระทบกับของแข็งทรงกลมทิศทางการสะท้อนก็ขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบ ส่วนใหญ่จะสะท้อนออกจากระนาบนั้นอย่างมีระเบียบตามรูป

ความเข้มของเสียงที่ออกจากแหล่งกำเนิด จะมีค่าลดลงไปตามระยะทางที่เสียงเดินทางผ่าน เนื่องจากรัศมีของการเดินทางไกลขึ้น พื้นที่รับเสียงก็จะมีค่ามากขึ้น ตามภาพที่ 2.12 ที่รัศมี r พื้นที่รับเสียงมีค่าเท่ากับ 1 แต่ที่รัศมี $3r$ พื้นที่รับเสียงจะเพิ่มขึ้นเป็น 9 เท่า ดังนั้นการลดความเข้มของเสียงจะมีค่าเป็นกำลังสองของรัศมี ($1/r^2$) เสียงเมื่อเดินทางผ่านสารตัวกลาง เช่น ฝุ่นละออง ไอน้ำ ในอากาศจะถูกดูดซึมไปบ้างซึ่งพลังงานส่วนนี้จะสูญเสียไปในรูปของพลังงานความร้อน อัตราการถูกดูดซึมไปนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของสารตัวกลาง และความถี่ของคลื่นเสียงนั้น เช่นเสียงที่มีความถี่ 10 kHz เดินทางผ่านทางอากาศแห้งที่ปราศจากฝุ่นละออง อุณหภูมิ 20°C ที่ระยะ 50 m จากแหล่งกำเนิด วัดความเข้มได้ 1 ถึง 3 dB

ตัวอย่างอัตราความเร็วในการเดินทางของเสียง ความเร็วของเสียงที่ผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิ 20°C เท่ากับ $1129 \text{ ft}/\text{sec}$ แต่ที่อากาศอุณหภูมิ 100°C จะมีความเร็ว $1266 \text{ ft}/\text{sec}$ ในตัวกลางที่เป็นน้ำอุณหภูมิ 15°C เสียงจะมีความเร็ว $4714 \text{ ft}/\text{sec}$ ในตัวกลางที่เป็นแอลกอฮอล์อุณหภูมิ 20.5°C เสียงจะมีความเร็ว $3890 \text{ ft}/\text{sec}$



ภาพที่ 2.12 ความเข้มของเสียงเมื่อออกจากแหล่งกำเนิด

2.3.6 การวัดระดับโดยวิธีการวัดการแผ่รังสีของสารกัมมันตภาพ

วิธีการวัดระดับโดยการวัดการแผ่รังสีของสารกัมมันตภาพ เริ่มมีใช้เป็นที่แรกประมาณปี ค.ศ.1950 สำหรับใช้วัดระดับในงานที่มีปัญหาซึ่งวิธีการวัดแบบมาตรฐานที่กล่าวมาแล้วไม่สามารถวัดได้เช่น ตัววัดต้องสัมผัสสารที่เหนียว กัดกร่อน ขัดสี มีอุณหภูมิ มีไอกรด มีความชื้นสูง อันจะมีผลกระทบต่อการทำงานของตัววัดระดับหรือทำให้มีอายุการใช้งานสั้นลง

โครงสร้างและหลักการทำงาน

หลักการของเครื่องวัดระดับแบบวิธีการแผ่รังสี ใช้สารกัมมันตภาพ เช่น เรเดียม ซีเซียม 137 หรือ โคบอลต์ 60 ซึ่งโดยธรรมชาติจะแผ่รังสีหลายย่านความถี่ออกมาตลอดเวลา เช่น แอลฟา เบตาและแกมมา รังสีที่ใช้ในงานวัดระดับ คือ แกมมา เพราะรังสีแอลฟา โดยธรรมชาติของมันจะไม่เจาะผ่าน (Non-penetrating) เข้าไปในเนื้อของสาร ดังนั้นรังสีแอลฟา จึงไม่เหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับงานด้านเครื่องมือวัดในงานอุตสาหกรรม รังสีเบตาสามารถเจาะผ่านเข้าไปในเนื้อสารต่างๆ ได้บ้าง ส่วนใหญ่จะพบใช้งานในการวัดวัสดุที่มีพื้นผิวงานไม่หนานัก รังสีแกมมาให้พลังงานในการแผ่รังสีสูงสามารถเจาะผ่านเข้าไปเนื้อสารได้ดี มีที่ใช้งานในงานเครื่องมือวัดหลายประเภท เช่น งานวัดความหนาแน่น วัดน้ำหนักร

หน่วยวัดความเข้มข้นของการแผ่รังสี วัดเป็น คูรี (1 คูรี มีค่า 3.7×10^{10} disintegration ต่อวินาที) แต่คูรีเป็นหน่วยใหญ่ หน่วยที่ใช้งานในทางปฏิบัติจึงวัดเป็น มิลลิคูรี (10^{-3} คูรี) สารที่ให้รังสี (Radioactive Material) ที่ใช้โดยทั่วไปมีอยู่ 3 ชนิดคือ

เรเดียม เป็นสารที่มีราคาแพงแต่ให้อายุการใช้งานนานที่สุด โดยให้อายุการใช้งานที่ Half life (หมายถึง ช่วงเวลาที่เรเดียมลดความเข้มเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของความเข้มในตอนเริ่มใช้งาน) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นระยะเวลาประมาณ 1400 ปี เรเดียมเป็นสารที่ให้พลังงานการแผ่รังสีน้อยเมื่อเทียบกับซีเซียม 137 และโคบอลต์ 60 ถ้าต้องการให้ได้ความเข้มของรังสี 1 คูรี จะต้องใช้เรเดียมถึง 1000 มิลลิกรัม

ซีเซียม 137 ให้ความเข้มของพลังงานการแผ่รังสีปานกลาง โดยซีเซียม 137 เพียง 11.5 มิลลิกรัม จะให้ความเข้ม 1 คูรี อายุการใช้งานที่ Halflife ของซีเซียม 137 ประมาณ 33 ปี

โคบอลต์ 60 ให้ความเข้มของพลังงานการแผ่รังสีมากกว่าสองแบบแรก โดยโคบอลต์ 60 เพียง 0.88 มิลลิกรัม จะให้ความเข้มขึ้น 1 คูรี อายุการใช้งานที่ Halflife ของโคบอลต์ 60 ประมาณ 5 ปี เท่านั้น

รังสีแกมมาเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงและมีความยาวคลื่นสั้นมาก หน่วยวัดความเข้มในอากาศอีกหน่วยจะวัดเป็น milliroentgen ในทางอุตสาหกรรมหน่วยการวัดความเข้มจะระบุเป็น milliroentgen ต่อชั่วโมง โดยใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$D = 1000 \times K \cdot M_c / d^2$$

- เมื่อ
- D คือ ความเข้มของการแผ่รังสี มีหน่วยเป็น M_R / H_R
 - M_c คือ ค่ามิลลิวรีจากตัวส่ง
 - d คือ ระยะทางจากตัวส่งถึงตัวรับ
 - K คือ ค่าคงที่สำหรับ เรเดียม มีค่า 1.3 (ซีเซียม 137 มีค่า 0.6 โคบอลต์ 60 มีค่า 2.0)

การกำหนดขนาดความเข้มในการแผ่รังสีของตัวส่ง เป็นการแสดงความเข้มของรังสีที่ลดลงตามระยะทางและชนิด ความหนาของวัสดุของซีเซียม 137

โลหะที่ความเข้มของรังสีลดลงอย่างรวดเร็ว คือ ตะกั่ว (Lead) ด้วยความหนาเพียง 2 นิ้วเศษ ความเข้มของรังสีจะลดลงหมดจนไม่มีเหลือผ่านออกมาเลย ดังนั้น ตะกั่วจึงเป็นโลหะที่ใช้ทำภาชนะสำหรับเก็บสารกัมมันตรังสีที่มีระยะรัศมีที่เท่ากัน สารที่ความถ่วงจำเพาะมากกว่าจะดูดซึมพลังงานไปได้มากกว่า แสดงความสัมพันธ์ของสารที่มีความถ่วงจำเพาะ 11.3 ถึง 0.5

ในการเลือกใช้ปริมาณสารกัมมันตภาพสำหรับงานวัดระดับในงานอุตสาหกรรม จะต้องให้ความเข้มที่ตัวมีค่าน้อย 0.2 milliroentgen ต่อชั่วโมง เมื่อระดับของสารที่ต้องการวัดยังไม่สูงถึง (ภาชนะเปล่า) ตัวรับและจะมีค่าเปลี่ยนไปอย่างน้อย 50% เมื่อวัดระดับของสารสูงพ้นระดับตัวรับ

ถ้าเลือกใช้ซีเซียม 137 ที่ให้ความเข้ม 10 มิลลิวรี เมื่อระดับสารยังไม่สูงถึงตัววัด ความเข้มที่ตัววัดได้รับมีค่าเท่ากับความเข้มจากตัวสารลบด้วยส่วนที่ถูกดูดซึมไปในอากาศ และ โลหะที่เป็นภาชนะ

ส่วนที่สูญเสียไปในอากาศ $D = 1000 \times (0.6 \times 10) / 24^2 = 10.4 M_R / H_R$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่สูญเสียไปในโลหะ โลหะที่เป็นเหล็กหนา $\frac{1}{4}$ นิ้ว ความเข้มจะลดลงเหลือ 67 % ดังนั้นความเข้มที่ส่งไปถึงตัวรับมีค่าเท่ากับ $0.67 \times 10.4 = 7 M_R / H_R$

ตามหลักการที่กำหนด เมื่อระดับของสารสูงพื้นตัววัด ถ้าสารนั้นเป็นน้ำความหนา 24 นิ้ว จะทำให้ความเข้มชั้นลดลงเหลือ 7.5 % ดังนั้น

ความเข้มที่ตกถึงตัวรับจะมีค่าเท่ากับ $0.75 \times 7 = 0.525 M_R / H_R$ ค่าที่ได้แตกต่างกันเกิน 50% จึงใช้ตามหลักการที่กำหนด ลักษณะของการติดตั้งเครื่องมือจัดเตรียมไว้ สารกัมมันตภาพจะถูกบรรจุอยู่ในกล่องที่ออกแบบพิเศษเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน (Safety Source Holder) ติดตั้งอยู่ภายนอกภาชนะและมีตัวรับ (Receiver) รังสีแกมมาติดตั้งอยู่ด้านตรงข้ามของภาชนะ

2.3.7 การวัดระดับโดยใช้คลื่นอินฟราเรด

ตัววัดที่ใช้หลักการอินฟราเรด คือ ไดโอดเปล่งแสง โฟโต้ไดโอด และแท่งผลึกควอตซ์ เป็นการประยุกต์หลักการดูดซึม และ หักเหของคลื่นแสงอินฟราเรดในตัวกลางที่เป็นน้ำ และอากาศ แตกต่างกันมาใช้ในงานอุตสาหกรรมวัดระดับ เมื่อแสงจากไดโอดเปล่งแสง (L) ล่องผ่านแท่งผลึกควอตซ์ (Q) ซึ่งปลายเป็นมุมแหลม เพื่อหักเหแสงอินฟราเรดในกรณีที่ควอตซ์ลอยอยู่ในอากาศเพื่อให้เกิดแสงสะท้อนกลับมายังโฟโต้ไดโอด (P) สัญญาณที่ตรวจจับได้นี้แสดงว่า ระดับน้ำยังต่ำกว่าจุดติดตั้งตัววัดอันนี้ แต่ถ้าระดับน้ำขึ้นสูงถึงตัววัด คลื่นแสงอินฟราเรดจะถูกหักเหให้กระจัดกระจายไปในของเหลวไม่สะท้อนกลับมายังโฟโต้ไดโอด จึงทำให้โฟโต้ไดโอดไม่ทำงาน หลักการวัดแบบนี้ใช้วัดได้เป็นจุดๆ

การวัดระดับด้วยการใช้คลื่นแสงอินฟราเรดนี้ สามารถที่จะประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เช่น การวัดระดับของน้ำในถัง ถึงบรรจุสารเคมี การวัดจะให้ความแน่นอน (Reliability) สูง โดยไม่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ความนำไฟฟ้าของของเหลวนั้น แต่ก็ใช้บอกระดับได้เป็นจุดเท่านั้น

2.3.8 เครื่องวัดระดับแบบ Electromechanical Level Indicator

ลักษณะเครื่องวัดแบบนี้สามารถวัดได้ทั้งแบบวัดระดับของแข็ง (Solid) และของเหลว (Liquid) เพียงแค่เปลี่ยนรูปแบบของ Sensing bob โดยที่ Sensing bob จะถูกดึงด้วยสายเคเบิล โดยที่สายเคเบิลถูกพันอยู่รอบ Drum และ ที่ปลายของสายเคเบิลจะถูกถ่วงให้เกิดสมดุลด้วยลูกตุ้มน้ำหนัก (Weight Balance) และมีไมโครสวิทช์เป็นตัวที่จะเลือกการหมุนของมอเตอร์ โดยที่เริ่มแรกการทำงานเมื่อ Sensing bob อยู่ห่างจากของเหลวหรือของแข็งที่ต้องการวัด จะทำให้สายเคเบิลดึงซึ่งเช็กได้จาก Weight Balance ก็จะทำให้ Servo motor คายสายเคเบิลลงมาจนกระทั่ง Sensing bob สัมผัสของเหลวหรือของแข็งที่ต้องการวัด ก็จะทำให้สายเคเบิลหย่อน ก็จะทำให้ไมโครสวิทช์ทำงาน (โดยการเช็กของ Weight Balance) ซึ่งจะทำให้ Servo motor หมุนกลับอีกทางจนกระทั่ง

เอกลส...
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sensing bob ตั้งตรง จึงหยุด และการที่เราจะรู้ตำแหน่งของระดับได้ก็อาศัยการนับพัลส์ของตัว Pulse Generator ที่ติดอยู่กับแกนเพลลาของ Drum และ Servo motor โดยการวัดเริ่มแรกจะอาศัยพัลส์เริ่ม Start เริ่มต้นก่อนเพื่อที่จะไป Reset ตัวนับ Counter ก่อน (เพื่อเคลียร์ค่าที่วัดผ่านมา) และขณะสายเคเบิลหย่อนตัว Sensing bob ลงมานั้น สัญญาณพัลส์จะถูกนับอยู่ตลอดเวลา เพื่อที่จะเซ็คออกมาเป็นระดับของของเหลวหรือของแข็งที่ต้องการวัด เมื่อ Sensing bob หยุด เราก็สามารถรู้ระยะที่เคเบิลหยุดนิ่งได้ แต่ต้องนำไปเทียบกับค่าอ้างอิงครั้งแรกตอนที่เริ่มสอบเทียบในขณะที่ถังว่างเปล่าก่อน ซึ่งถ้านำมาหักลบกันก็จะทราบค่าระดับที่แท้จริงได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

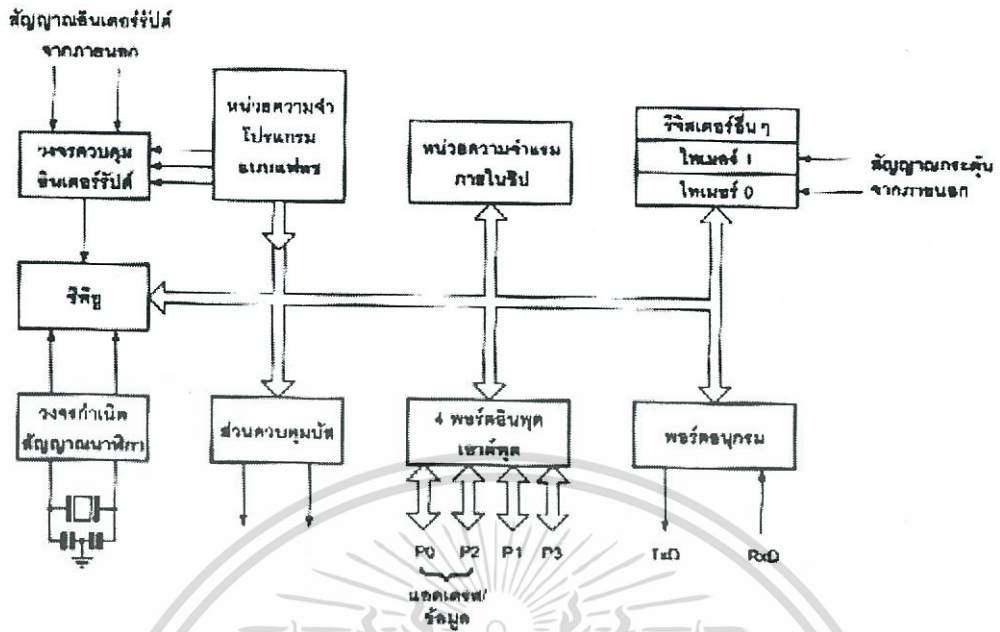
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีสมาชิกในตระกูลหลายเบอร์ด้วยกัน แต่ละเบอร์จะมีคุณสมบัติพิเศษบางอย่างที่แตกต่างกัน เช่น มีหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายในชิปเพิ่มขึ้น มีวงจรเปลี่ยนค่าสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลในตัว สามารถรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้หลายชนิด ทำกระบวนการ DMA (Direct Memory Access) ได้ในตัว มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็นไทมเมอร์หรือเคาเตอร์เพิ่มขึ้น เป็นต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ที่นับว่าเป็นเบอร์พื้นฐานสำหรับตระกูล MCS-51 นี้ได้แก่เบอร์ 8051, 8031, 8751 โดยเบอร์ 8051 จัดเป็นสมาชิกตัวแรกในตระกูล ซึ่งมีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเป็น ROM ขนาด 4 กิโลไบต์ และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายใน MCS-51 (RAM) เองจำนวน 128 ไบต์ มีพอร์ตนขนาด 8 บิต 4 พอร์ต มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้เป็นไทมเมอร์เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตรวม 2 ตัว รับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกได้ 2 ชนิด สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่านทางพอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม มีวงจรออสซิลเลเตอร์เพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงานในตัวเอง ส่วนเบอร์ 8751 จะมีคุณสมบัติเหมือนเบอร์ 8051 ทุกประการ ต่างกันเพียงชนิดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปของเบอร์ 8751 จะเป็น EPROM แทนที่จะเป็น ROM ส่วนเบอร์ 8031 จะเหมือนกับเบอร์ 8051 ต่างกันเพียงในเบอร์ 8031 ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปเท่านั้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์ใช้แรงดันไฟเพียง 5 โวลต์ในการทำงาน ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของเทคโนโลยีที่ผลิต เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ที่มีตัวอักษร C อยู่ตรงกลางเบอร์ เช่น 80C31, 80C51 จะเป็นเบอร์ของชิปที่ผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยี CHMOS ซึ่งใช้พลังงานในการทำงานน้อยกว่าและสามารถควบคุมการใช้พลังงานของตัวชิปได้จากการโปรแกรมเพื่อการประหยัดพลังงานในระบบ

3.1 คุณสมบัติพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

หน่วยการใช้งานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ ที่จัดอยู่ในตระกูล MCS-51 นี้ แสดงได้ดังแผนภาพที่ 3.1 ประกอบด้วย



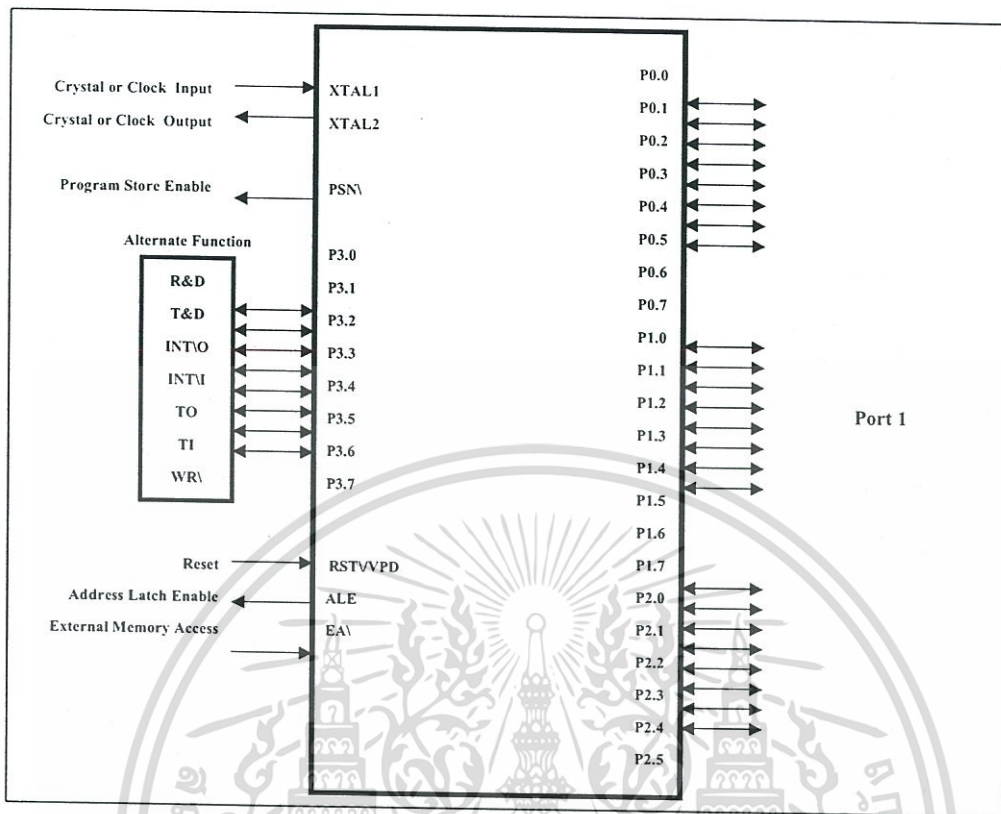
ภาพที่ 3.1 หน่วยการใช้งานพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์

- มีหน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- มีหน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- มีหน่วยประมวลผลสำหรับข้อมูลแบบบิต หรือข้อมูลแบบบูลีน (Boolean Processor)
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรม 64 กิโลไบต์
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูล 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด 4 กิโลไบต์ แบบ EPROM (เบอร์ 8751) หรือแบบ ROM (เบอร์ 8051)
- หน่วยความจำโปรแกรมภายใน (INTERNAL RAM) จำนวน 128 ไบต์
- พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตแบบขนานจำนวน 32 เส้น ซึ่งสามารถแยกทำงานได้อิสระ
- วงจรนับ/จับเวลาขนาด 16 บิต จำนวนสองวงจร
- วงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)
- วงจรควบคุมการอินเทอร์รัปต์จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 6 ประเภท พร้อมการกำหนดลำดับความสำคัญได้สองระดับ
- วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน

โดยมากแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ มักมีรูปร่างของไอซีแบบ DIP ขนาด 40 ขา

ดังภาพที่ 3.2

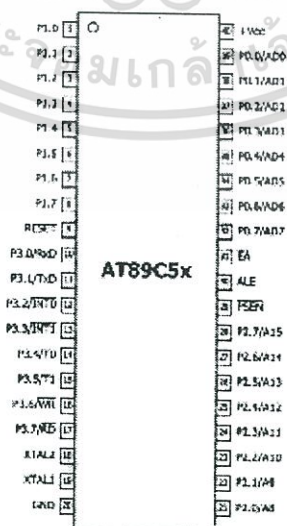
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 รูปร่างของไอซีแบบ DIP

3.2 ตำแหน่งขาของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ตำแหน่งขาพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- ขา Vss (ขา 20) สำหรับต่อลงกราวด์
- ขา Vcc (ขา 40) สำหรับต่อแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงขนาด 5 โวลต์ (D.C. 5 Volt)
- ขาพอร์ต 0 (ขา 32) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต (P0.0-P0.7) แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะถูกปล่อยลอยตัว (มีสถานะ high impedance) นอกจากใช้งานเป็นอินพุต เอาต์พุตพอร์ตแล้ว พอร์ต 0 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วย โดยส่งค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0-A7) และ มัลติเพล็กซ์กับการรับส่งข้อมูล (D0-D7) จากหน่วยความจำภายนอกในระหว่างการเขียนหรืออ่านโดยมีวงจรถูกฝังภายใน
- ขาพอร์ต 1 (ขา1-8) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุต เอาต์พุตทั่วไปได้ หากต้องการใช้เป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ high impedance โดยมีวงจรถูกฝังภายใน
- ขาพอร์ต 2 (ขา21-28) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) ขนาด 8 บิต แบบ Open Drain Bidirectional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุต เอาต์พุตพอร์ตทั่วไปได้ โดยหากใช้งานเป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้เพื่อบังคับให้ขาอยู่ในสถานะถูกปล่อยลอยตัว (มีสถานะ high impedance) นอกจากใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตพอร์ตแล้ว พอร์ต 2 ยังใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลภายนอกด้วย โดยส่งค่าแอดเดรสไบต์สูง (A8-A15) และมีวงจรถูกฝังภายใน
- ขาพอร์ต 3 (ขา31-38) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) สามารถใช้งานเป็นอินพุตเอาต์พุตทั่วไปได้ หากต้องการใช้เป็นอินพุตพอร์ต ต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้ เพื่อให้มีสถานะ high impedance โดยมีวงจรถูกฝังภายใน นอกจากนี้ยังใช้งานหน้าที่พิเศษต่างๆ อีกหลายอย่างดังนี้
 - ขา P3.0 ใช้รับข้อมูลจากภายนอกแบบอนุกรม
 - ขา P3.1 ใช้ส่งข้อมูลออกไปภายนอกแบบอนุกรม
 - ขา P3.2 ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ชนิดที่ 0
 - ขา P3.3 ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ชนิดที่ 1
 - ขา P3.4 สัญญาณอินพุตให้เคาเตอร์ของไทเมอร์ 0
 - ขา P3.5 สัญญาณอินพุตให้เคาเตอร์ของไทเมอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา P3.6 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป

ขา P3.7 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป

การใช้งานพอร์ต 3 ในหน้าที่พิเศษดังกล่าวนี้ จะต้องโหลดค่า 1 ไปยังแต่ละบิตที่ต้องการใช้ก่อนทุกครั้ง

- ขา RST (ขา 9) ใช้สำหรับรีเซ็ตวงจรทุกอย่างภายในชิป เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ การรีเซ็ตใช้เมื่อเริ่มจ่ายพลังงานหรือเมื่อโปรแกรมเกิดทำงานผิดพลาด เมื่อต้องการรีเซ็ตชิป MCS-51 ขานี้จะต้องมีสถานะ 1 เป็นเวลาอย่างน้อย 1 แมกซ์ซีไอเคลระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่ โดยจะต้องต่อตัวต้านทาน 8.2 กิโลโห์มเพื่อทำหน้าที่ पुलดาวัน (รักษาค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีสถานะเป็นกราวด์) และเพื่อให้ตัวชิปรีเซ็ตเองเมื่อเริ่มจ่ายพลังงานให้ต่อตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัดคร่อมระหว่างขา RST กับ Vcc
- ขา ALE/PROG (ขา 30) เป็นขาสำหรับใช้ส่งสัญญาณออกไปภายนอกเพื่อควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดสไบต์ค่า (address latch enable) จากพอร์ต 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมหรือข้อมูลภายนอก ปกติเมื่อไม่มีการติดต่อหน่วยความจำภายนอกขานี้จะส่งสัญญาณพัลส์ออกมาด้วยความถี่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ต่อใช้ตลอดเวลา ดังนั้นเราสามารถใช้ความถี่ที่ได้จากขานี้ไปใช้งานอย่างอื่นได้ แต่ความถี่ที่ขานี้จะลดลงครึ่งหนึ่งในระหว่างติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป นอกจากนี้ขา ALE ยังใช้สำหรับควบคุมการเขียนโปรแกรมลงไปใน EPROM สำหรับ MCS-51 เมอร์ที่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปเป็น EPROM
- ขา PSEN (ขา 29) ใช้ส่งสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป (program strobe enable) เมื่อชิปทำงานด้วยโปรแกรมจากภายนอกขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบสองครั้งในแต่ละแมกซ์ซีไอเคล แต่ในช่วงการเขียน หรือ อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอก หรือ เมื่อใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปจะไม่มีสัญญาณจากขานี้
- ขา EA/Vpp (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้ให้ MCS-51 ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายในหรือภายนอกชิป โดยหากขานี้มีสถานะเป็น 0 หมายถึงให้ใช้โปรแกรมจากที่เก็บไว้จากหน่วยความจำภายนอก หากขานี้มีสถานะเป็น 1 หมายถึง บังคับให้ MCS-51 ให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำภายในชิป และสำหรับ MCS-51 ที่มีหน่วยความจำสำหรับ

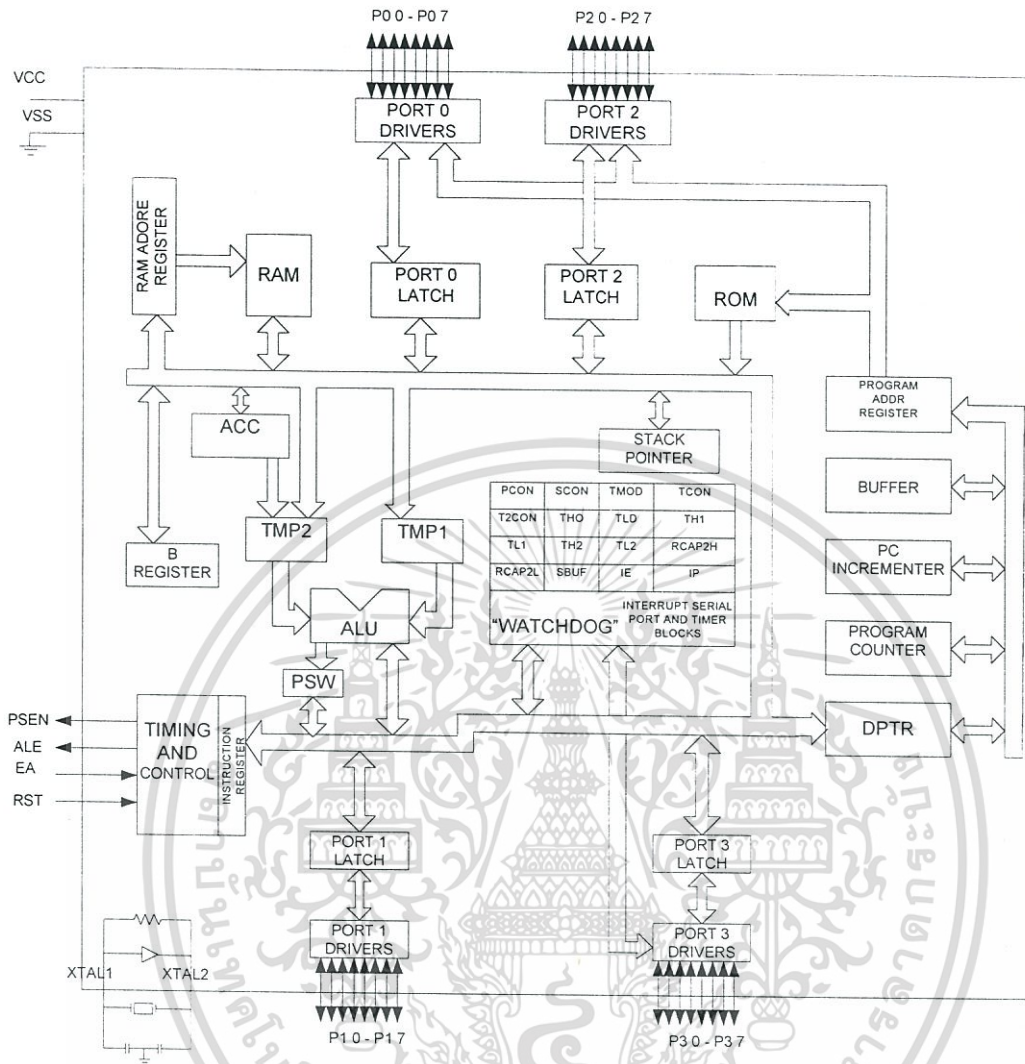
เอกสารนี้เป็นเอกสารลับที่ออกไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถลอกให้ทำงานได้ทั้งจากใช้โปรแกรมจากไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำภายในชิปหรือจากโปรแกรมจากที่เก็บไว้จากหน่วยความจำภายนอกด้วยการต่อขา EA กับไฟเลี้ยงหรือกราวด์ตามลำดับ ส่วนใน MCS-51 ที่ไม่มีหน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปให้ขานี้ต่อลงกราวด์เสมอ

- ขา XTAL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์
- ขา XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นเอาต์พุตออกจากวงจรออสซิลเลเตอร์

3.3 โครงสร้างภายในของ MCS-51

โครงสร้างภายในของ MCS-51 แสดงดังภาพที่ 3.4 ซึ่งจะเห็นว่าแต่ละบล็อกที่เป็น วงจรควบคุม รีจิสเตอร์ (Register) หรือหน่วยความจำภายใน จะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันผ่านทางเส้นสัญญาณที่เรียกว่าบัสข้อมูลภายใน รีจิสเตอร์และหน่วยความจำเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ระหว่างการประมวลผลคำสั่ง หน้าที่ของโปรแกรมที่ผู้ใช้สร้างขึ้นมาก็เป็นการควบคุมหรือรับส่งข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์เหล่านี้ ซึ่งอาจมีการดำเนินการร่วมกับหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic and Logic Unit) ด้วย



ภาพที่ 3.4 โครงสร้างภายในของ MCS-51

3.4 โครงสร้างหน่วยความจำภายในของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็นสองส่วน คือ

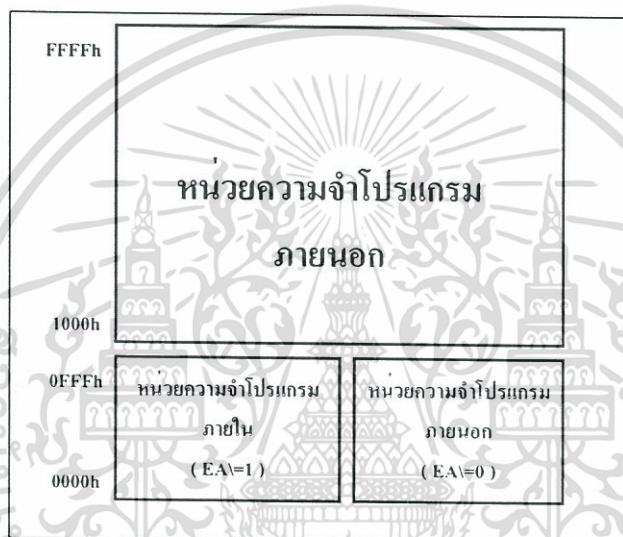
- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program memory)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data memory)

หน่วยความจำทั้งสองนี้ มีหน้าที่แตกต่างกัน และใช้วิธีการอ้างแอดเดรสสัญญาณการติดต่อออกจากกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 หน่วยความจำโปรแกรม

MCS-51 สามารถอ่านข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรมนี้ได้สูงสุดไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และแยกประเภทของหน่วยความจำเป็น 2 ลักษณะ ตามตำแหน่งของหน่วยความจำนั้น คือ หน่วยความจำภายในโปรแกรมภายใน (Internal Program Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำแบบบรอมหรือ อีพรอม ที่อยู่ภายในตัวไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เอง และหน่วยความจำภายในโปรแกรมภายนอก (External Program Memory) ซึ่งเป็นการใช้ไอซีหน่วยความจำโปรแกรมของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 3.5 โดยมีตำแหน่งของหน่วยความจำเริ่มจาก 0000H ไปจนถึง 0FFFFH



ภาพที่ 3.5 หน่วยความจำโปรแกรมของระบบ

3.4.2 หน่วยความจำโปรแกรมภายใน

เบอร์ต่างๆ ที่จัดอยู่ในตระกูล 8051 นี้จะมีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมภายในแตกต่างกันออกไป เพื่อความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานในลักษณะต่างๆ กันดังนี้

8051 และ 8052 มีหน่วยความจำแบบ ROM ขนาด 4 และ 8 กิโลไบต์ ตามลำดับ ประกอบอยู่ในไอซี และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในวงจรทางอุตสาหกรรมที่มีจำนวนการผลิตมาก เนื่องจากมีผลทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตต่อหน่วยลดลงได้มาก

8751 มีหน่วยความจำแบบ EPROM ขนาด 4 กิโลไบต์ต่ออยู่ในไอซี ข้อมูลที่จัดเก็บอยู่ในนี้สามารถใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตลบ และนำกลับไปบรรจุโปรแกรมใหม่ได้อีกครั้งหนึ่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นี้เหมาะสำหรับงานด้านอุตสาหกรรมที่มีจำนวนการผลิตคราวละไม่มากนัก หรืออาจจะเป็นงานประเภทต้นแบบภายในห้องปฏิบัติการ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8031 และ 8032 ไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมอยู่ในไอซีเลย ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงจำเป็นต้องอาศัยหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเสมอ ซึ่งการใช้งานลักษณะนี้จะมีผลทำให้ต้องเสียความสามารถบางประการ เกี่ยวกับพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไปเนื่องจากต้องนำไปใช้เป็นสัญญาณควบคุม เกี่ยวกับการจัดการติดต่อหน่วยความจำภายนอกแทน

3.4.3 หน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเป็นการใช้หน่วยความจำ EPROM (หรือROM) เชื่อมต่อเข้ากับระบบของ 8051 โดยอาจจะมีสาเหตุได้หลายประการ เช่น เป็นการทดลองทำระบบต้นแบบจำนวนน้อย หรืออาจต้องการลดต้นทุนการผลิต เพราะราคาของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบที่ไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในราคาจะต่ำกว่าแบบที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในมาก เป็นต้น ในบางครั้งอาจมีสาเหตุมาจากความจำเป็นอย่างอื่น ที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ เช่น การที่หน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์มีขนาดความจุที่ไม่เพียงพอกับการเก็บโปรแกรม หรืออาจจะเป็นว่า การที่ใช้ไอซีหน่วยความจำจะทำให้สามารถจัดหาเครื่องมือ (Tools) ช่วยในการพัฒนาระบบที่ใช้งานกันโดยแพร่หลายและราคาถูกได้ ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการพัฒนาระบบลงได้อย่างมาก เป็นต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆของตระกูล 8051 นี้ สามารถขยายให้ใช้งานหน่วยความจำภายนอกได้ทั้งสิ้น โดยกรณีที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในอยู่แล้ว การอ้างตำแหน่งแอดเดรสที่มีทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมภายใน และ นอกนั้น จะต้องทำการพิจารณาระดับลอจิกของสัญญาณ EA ในขณะนั้นด้วย

3.4.4 หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลภายในของ 8051 มีจำนวนทั้งหมด 256 ไบต์ โดยจำแนกออกได้เป็นสองลักษณะ คือ พื้นที่เฉพาะสำหรับตัวประมวลผลกลาง (หรือซีพียู) ใช้งานเท่านั้นเรามักจะเรียกในอีกชื่อหนึ่งว่า รีจิสเตอร์ และพื้นที่ใช้งานทั่วไปสำหรับโปรแกรมใช้งานที่ผู้ใช้สร้างขึ้นมา

3.4.5 หน่วยความจำขนาด 128 ไบต์

บริเวณนี้จะมีตำแหน่งแอดเดรสอยู่ในช่วง 00H-7FH ซึ่งยังได้มีการจำแนกย่อยออกไปอีกเป็นสามส่วนตามประเภทของการใช้งาน ดังนี้

บริเวณแอดเดรส 00H-1FH จำนวน 32 ไบต์ จำแนกออกเป็นกลุ่ม (หรือ แบงก์(Bank)) ข้อมูลจำนวน 8 ไบต์ รวมทั้งหมดสี่กลุ่ม พื้นที่ข้อมูลในแต่ละกลุ่มจะถูกใช้งานในฐานะของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป ซึ่งมีชื่อเรียกว่า รีจิสเตอร์ R0-R7 ดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 หน่วยความจำขนาด 128 ไบต์

แอดเดรส	รีจิสเตอร์แบงก์	ชื่อรีจิสเตอร์ใช้งาน
00H – 07H	0	R0 – R7
08H – 0FH	1	R0 – R7
10H – 17H	2	R0 – R7
18H – 1FH	3	R0 – R7

จะเห็นได้ว่าชื่อของรีจิสเตอร์ไม่ว่าจะอยู่ในรีจิสเตอร์แบงก์ใด ก็จะมีชื่อ R0-R7 เหมือนกันทั้งสิ้น ดังนั้นในการใช้งานผู้ใช้จะต้องให้ความระมัดระวังว่าต้องการรีจิสเตอร์นั้นๆ จากแบงก์ใด การสวิตช์เลือกแต่ละกลุ่มของรีจิสเตอร์นี้ก็ทำได้ง่าย เพียงการกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ PSW เท่านั้นตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 เพียงการกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ PSW

รีจิสเตอร์	บิต RS0	บิต RS1	ตำแหน่งหน่วยความจำ
แบงก์ 0	0	0	0000H
แบงก์ 1	0	1	0008H
แบงก์ 2	1	0	0010H
แบงก์ 3	1	1	0018H

อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปก็มักจะมีการใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 เฉพาะในแบงก์ 0 เท่านั้น ดังนั้นพื้นที่ของแบงก์อื่นๆ ที่เหลือก็สามารถนำมาใช้ในลักษณะของหน่วยความจำข้อมูลภายในปกติด้วยการอ้างถึงหมายเลขของแอดเดรสต่างๆ โดยตรง

บริเวณแอดเดรส 20H-2FH จำนวน 16 ไบต์ บริเวณพื้นที่นี้เป็นส่วนสำหรับผู้ใช้ซึ่งจะมีความจำบริเวณนี้ได้ทั้งลักษณะของ ไบต์ข้อมูล เช่นปกติ หรืออาจจะเป็น บิตข้อมูล ได้โดยตรง ดังนั้นหากเรามองในลักษณะบิตข้อมูลแล้ว ก็จะมีพื้นที่ตัวแปรแบบบิตให้ใช้งานได้มากถึง 128 บิต โดยตำแหน่งแรกของบิตจะเป็นบิตซึ่งเริ่มต้นนับจากบิตสำคัญต่ำที่สุด (LSB) ของแอดเดรส 20H เรื่อยไปจนกระทั่งถึงบิตที่ 127 ซึ่งเป็นบิตนัยสำคัญสูงสุด (MSB) ของแอดเดรส 2FH

บริเวณแอดเดรส 30H-7FH เป็นบริเวณที่สามารถนำไปใช้งานได้โดยอิสระ โดยสามารถอ้างถึงได้เฉพาะในลักษณะของไบต์ข้อมูลตามปกติเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.6 หน่วยความจำขนาด 128 ไบต์ถัดไป

พื้นที่ตั้งแต่บริเวณแอดเดรส 80H-FFH เป็นบริเวณของหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในซึ่งมีใน MCS-51 บางเบอร์เท่านั้น โดยจะนำมาใช้เป็นตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (Special Function Register หรือ SFR) จำนวน 20 ตำแหน่ง โดยรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (SFR) เป็นรีจิสเตอร์สำหรับการควบคุมหน้าที่และการทำงานของอุปกรณ์หรือพอร์ตของ MCS-51 ทั้งหมดการใช้งานรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษเหล่านี้ สามารถทำได้ทั้งการระบุถึงชื่อของรีจิสเตอร์หรือตำแหน่งแอดเดรสที่เป็นของรีจิสเตอร์นั้นก็ได้

ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (Special Function Register หรือ SFR) จำนวน 20 ตำแหน่ง

ชื่อรีจิสเตอร์	คำจำกัดความ	ความสามารถการเข้าถึงแบบบิต
ACC	Accumulator	ได้
B	B register	ได้
PSW	Program Status Word	ได้
SP	Stack Pointer	ได้
DPTR	Data Pointer {DPH & DPL}	ได้
P0	Port 0	ได้
P1	Port 1	ได้
P2	Port 2	ได้
P3	Port 3	ได้
IP	Interrupt Priority	ได้
IE	Interrupt Enable	ได้
TMOD	Timer / counter mode	ไม่ได้
TCON	Timer / counter control	ได้
TH0	Timer / counter 0 (High)	ไม่ได้
TL0	Timer / counter 0 (Low)	ไม่ได้
TH1	Timer / counter 1 (High)	ไม่ได้
TL1	Timer / counter 1 (Low)	ไม่ได้
SCON	Serial Control	ไม่ได้
SBUF	Serial Data Buffer	ไม่ได้
PCON	Power control	ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

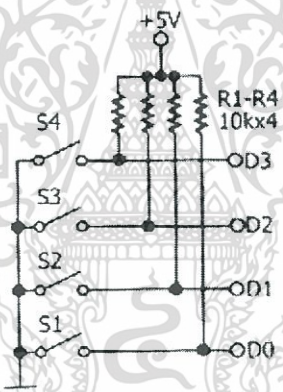
บทที่ 4

ไมโครคอนโทรลเลอร์กับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอก

4.1 การเชื่อมต่อกับคีย์แพดหรือสวิตช์เมตริกซ์ 4x3 จุด

4.1.1 ทฤษฎีเบื้องต้น

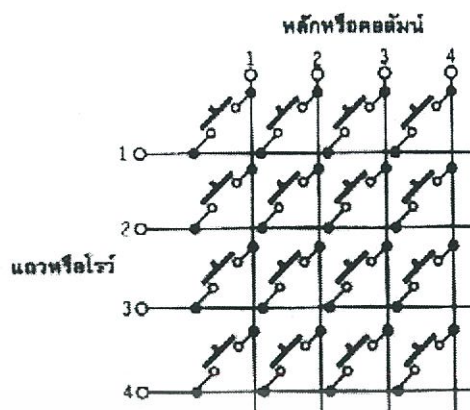
การอ่านค่าหรือรับค่าการกดสวิตช์ เป็นอีกงานหนึ่งที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ต้องสามารถรองรับและเชื่อมต่อใช้งานร่วมด้วยได้ วงจรของสวิตช์มีด้วยกัน 2 ลักษณะใหญ่ๆคือ ต่อเข้ากับไฟเลี้ยงหรือกราวด์โดยตรง เมื่อสวิตช์ตัวใดต่อวงจรสามารถอ่านค่าได้โดยตรง ดังภาพที่ 4.1 วงจรในลักษณะนี้ไม่มีความซับซ้อน สามารถอ่านค่าของสวิตช์ได้ง่ายและรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือถ้าหากจำนวนของสวิตช์มีมากมายจำนวนของสายข้อมูลก็จะมีมากตาม ทำให้ระบบหรือวงจรโดยรวมมีขนาดใหญ่และสิ้นเปลือง



ภาพที่ 4.1 วงจรของสวิตช์แบบต่อเข้ากับไฟเลี้ยงและกราวด์

วงจรของสวิตช์อีกลักษณะหนึ่งคือ การต่อวงจรแบบเมตริกซ์ (matrix switch) ดังภาพที่ 4.2 สวิตช์จะถูกต่อกันในแนงแกนตั้งและแนงนอน จะเรียกแนวตั้งว่า หลักหรือคอลัมน์ (column) ในขณะที่แนวนอนจะเรียกว่า แถวหรือโรว์ (row) ดังนั้นค่าของสวิตช์จะต้องประกอบด้วยตำแหน่งในแนวหลักและแถว กระบวนการที่จะทำได้มาซึ่งค่าของสวิตช์ที่มีขึ้นตอนซับซ้อนพอสมควร แต่วงจรของสวิตช์แบบนี้มีข้อดีคือสามารถรองรับการเพิ่มของสวิตช์ได้อย่างสะดวก เพียงเพิ่มเติมสวิตช์และแก้ไขซอฟต์แวร์อีกเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้วงจรแบบเมตริกซ์เป็นที่นิยมใช้มากในระบบควบคุมอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติที่มีจำนวนสวิตช์มากกว่า 8 ตัว ในการใช้งานทั่วไป จะเรียกสวิตช์แบบเมตริกซ์นี้ว่า คีย์แพด (keypad)

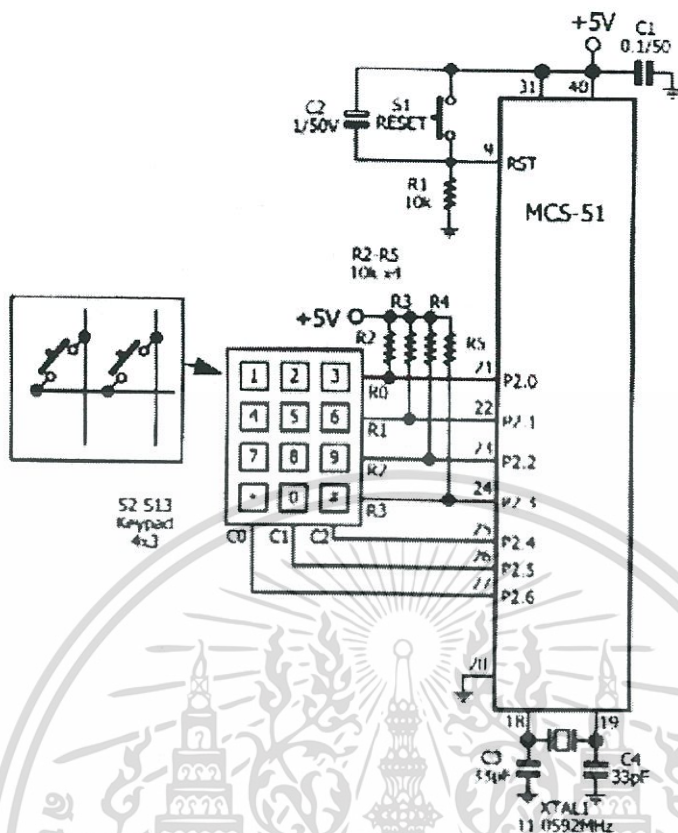
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 วงจรของสวิตช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด

4.1.2 การเชื่อมต่อคีย์แพดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ดังตัวอย่างวงจรในภาพที่ 4.3 จะใช้พอร์ต 2 ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์เชื่อมต่อเข้ากับ คีย์แพดทั้ง 7 เส้นคือ สายของคอลัมน์ 3 สาย C0-C2 และสายทางโรว์หรือแถวอีก 4 สายคือ R0-R3 โดยเฉพาะที่พอร์ต P2.0-P2.3 จะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปไว้เพื่อกำหนดสถานะเริ่มต้นที่ไม่มีการกดคีย์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งข้อมูล "0" ไปยัง P2.6, P2.5 และ P2.4 ตามลำดับใน ทุกครั้งที่มีการส่งข้อมูลไปยังสายคอลัมน์ของคีย์แพด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการอ่านค่าที่ P2.0-P2.3 เข้ามาด้วย หากไม่มีการกดค่าของ P2.0-P2.3 ก็จะเป็น "1" ทั้งหมด ถ้าหากมีการกดคีย์ ค่าของ P2.0-P2.3 ก็จะไม่เป็น 1111 อีกต่อไป เป็นการแจ้งให้ทราบว่ามีการกดคีย์แพดขึ้นแล้ว จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการค้นหาตำแหน่งต่อไป โดยการค้นหาตำแหน่งสิ่งที่จะได้มา อย่างแรกคือ ค่าตำแหน่งของคีย์นั้น จากนั้นจะนำค่าตำแหน่งนั้นไปเปิดตารางข้อมูลเพื่อจะได้ หมายเลขของคีย์ที่กดอย่างแท้จริง ยกตัวอย่างวงจรในภาพที่ 4.3 หากคีย์ 0 ถูกกด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะได้ค่าตำแหน่งของคีย์ 0 เป็น 0BH จากนั้นนำค่า 0BH นี้ไปเปิดตาราง จะได้ข้อมูลเป็น 0 หมายถึงคีย์ 0 ซึ่งกระบวนการหลังนี้จะเป็นหน้าที่ของซอฟต์แวร์



ภาพที่ 4.3 วงจรเชื่อมต่อคีย์แพดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

4.2 การขับโมดูลแสดงผลแบบผลึกเหลว (LCD module)

4.2.1 รายละเอียดเกี่ยวกับโมดูล LCD

ในโมดูล LCD จะมีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วน ดังนี้

4.2.1.1 ตัวแสดงผล (display)

ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็นโดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงผลบนจอ LCD

4.2.1.2 ตัวควบคุม (controller)

เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมาควบคุมการทำงานของโมดูล LCD เช่น ลบจอภาพ แสดงตัวอักษร หรือเลื่อนเคอร์เซอร์ เป็นต้น ตัวควบคุมชนิดนี้ใช้ชิปควบคุมโดยเฉพาะชิปที่นิยมใช้คือ เบอร์ HD44780 และ HD61830 โดย HD44780 จะใช้ควบคุม LCD แบบอักขระ ส่วน HD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register :DR)

เป็นรีจิสเตอร์ที่รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อถ่ายทอดต่อไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร

4.2.2.4 แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display Data RAM : DDRAM)

เป็นหน่วยความจำแรมทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่มาจากรีจิสเตอร์ DR ตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง (look up-table) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรวมและแรมเก็บตัวอักษร เพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล

4.2.2.5 รมเก็บตัวอักษร (Character Generator ROM : CGROM)

เป็นหน่วยความจำรวมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 7,200 บิต โดยจะถูกอ่านด้วยค่าของข้อมูลใน DDRAM

4.2.2.6 แรมเก็บตัวอักษร (Character Generator RAM : CGRAM)

เป็นหน่วยความจำแรมที่ใช้เก็บอักษรที่มีการสร้างเพิ่มเติมขึ้นใหม่ ในกรณีที่ตัวอักษรใน CGROM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512 บิต การเขียนและอ่านค่าไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGROM คือ เขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง

4.2.2.7 แฟลค BUSY

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานะการทำงานของตัวควบคุม ให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่าตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนการส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของแฟลค BUSY นี้เสียก่อน

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ในการทำงานของขา RS และ R/W ของโมดูล LCD

แบบอักษร

RS	R/W	การทำงาน
0	0	เขียนคำสั่ง
0	1	อ่านสถานะของโมดูล LCD
1	0	เขียนคำสั่ง
1	1	อ่านคำสั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น กรุณาอย่าเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 โมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด (LCD 16x1)

สำหรับโมดูล LCD ที่ยกมาใช้ในการเรียนรู้ในการทดลอง เป็นขนาด 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด เนื่องจากราคาถูก ง่าย และเป็นโมดูล LCD ที่มีโครงสร้างเป็นมาตรฐาน มีผู้ผลิตหลายราย และมีการระบุเบอร์แตกต่างกันออกไปตามผู้ผลิต อาทิ LM020L ของฮิตาชิ, DMC-16117A ของคอปเท็กซ์ (Optrex) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามคอนโทรลเลอร์ที่ใช้คือเบอร์เดียวกันนั่นคือเบอร์ HD44750 ของฮิตาชิ

โมดูล LCD ขนาด 16x1 มีขาต่อใช้งานทั้งสิ้น 14 ขา มีการจัดขาตั้งในภาพที่ 4.5 สำหรับรายละเอียดการทำงานของแต่ละขามีดังนี้

V_{SS} (ขา 1) : ต่อกราวด์

V_{DD} (ขา 2) : ต่อไฟเลี้ยง + 5 โวลต์

VO (ขา 3) : เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา 4) : เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจิสเตอร์ DR โดยถ้าขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าขาเป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

R/W (ขา 5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับโมดูล LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา 6) : เป็นขาสำหรับรับสัญญาณพัลส์เอ็นเอเบิล โมดูล LCD ให้ทำงาน

D0-D7 (ขา 7-14) : เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอก ขนาด 8 บิต

4.2.4 คำสั่งควบคุมโมดูล LCD

ในการเขียนคำสั่งลงในตัวควบคุม แนนอนว่าต้องกำหนดให้ขา RS และ R/W เป็น “0” แล้วเขียนคำสั่งตามไป คำสั่งควบคุมโมดูล LCD ของชิปควบคุม HD44780 ที่สำคัญมี 10 คำสั่งดังนี้

4.2.4.1 คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (clear display)

มีข้อมูลคำสั่งเป็น 01H เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนข้อมูลช่องว่าง หรือ space เข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด เมื่อตัวควบคุมเอ็กซิกิวต์คำสั่งนี้ จะทำการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เป็น 0 เคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายมือสุดของจอแสดงผล แล้วเซตบิต I/D ให้เป็น “1”

4.2.4.2 คำสั่ง return home

ต้องกำหนดให้บิต 1 ของข้อมูลเป็น “1” เป็นคำสั่งให้เคอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผล แต่ข้อมูลบนจอแสดงผลไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ ข้อมูลคำสั่งของคำสั่งนี้จะเป็น 02H หรือ 03H ก็ได้

4.2.4.3 คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล(Entry mode Set)

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	0	1	I/D	S

บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของการแสดงผล เมื่อมีการป้อนข้อมูล ถ้าหากบิต S เป็น “1” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่บนจอแสดงผล ตัวเคอร์เซอร์จะอยู่กับที่ แต่ตัวอักษรข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางซ้าย แต่ถ้าหากบิตนี้เป็น “0” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ตัวเคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ

บิต I/D เป็นบิตที่ใช้กำหนดว่า เมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้ว แอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งแอดเดรส โดยถ้าบิตนี้เป็น “1” แอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็น “0” แอดเดรส จะลดลง

ดังนั้น ข้อมูลคำสั่งที่เกิดขึ้นสำหรับคำสั่งนี้ได้แก่ 04H-07H (4 ข้อมูลคำสั่ง) และที่ใช้บ่อยคือ 06H หมายถึง กำหนดให้เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ เคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ และแอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้น

4.2.4.4 คำสั่งควบคุมการแสดงผล

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	0	1	C	B	0

บิต D ใช้ควบคุมการเปิดปิดจอแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “1” จะเป็นการเปิดจอแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะเป็นการปิดจอแสดงผล

บิต C ใช้ควบคุมการแสดงผลตัวเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีเคอร์เซอร์แสดงผลบนจอแสดงผล ต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1” ถ้ากำหนดให้เป็น “0” จะเป็นการปิดเคอร์เซอร์ หรือไม่แสดงเคอร์เซอร์

บิต B ใช้ควบคุมการกะพริบของเคอร์เซอร์ ถ้าบิตนี้เป็น “1” เคอร์เซอร์จะกะพริบ ดังนั้นจะมีข้อมูลคำสั่งได้ตั้งแต่ 08H-0FH (8 รูปแบบคำสั่ง) ที่ใช้บ่อยคือ 0CH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แต่ไม่แสดงเคอร์เซอร์ และ 0FH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แสดงเคอร์เซอร์ และสั่งให้เคอร์เซอร์กะพริบ

4.2.4.5 คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษรบนจอแสดงผล ขึ้นอยู่กับการกำหนดบิต S/C และ R/L ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

S/C	R/L	ลักษณะการเลื่อน	ข้อมูลคำสั่ง
0	0	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย	10H-13H
0	1	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา	14H-17H
1	0	เลื่อนเคอร์เซอร์ใหม่ไปทางซ้าย	18H-1BH
1	1	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางขวา	1C-1FH

4.2.4.6 คำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงาน

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	0	1	D/L	N	F	*	*

บิต D/L ใช้กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ติดต่อส่งผ่านข้อมูล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการ

ติดต่อแบบ 4 บิต แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นแบบ 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต N ใช้กำหนดจำนวนบรรทัดของการแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะแสดงผล 1 บรรทัด ถ้าเป็น “1” จะแสดงผล 2 บรรทัด ในกรณีที่จอแสดงผลสามารถแสดงได้มากกว่า 2 บรรทัด และต้องการให้แสดงผลมากกว่า 2 บรรทัดก็กำหนดบิต N นี้ให้เป็น “1” จุดที่น่าสังเกตคือ โมดูล LCD แบบ 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด แม้จะมีบรรทัดการแสดงผลเพียง 1 บรรทัด แต่จะต้องกำหนด N ให้เป็น “1” เนื่องจากแอดเดรสของ DDRAM แบ่งเป็น 2 ช่วงคือ 00H และ 40H

บิต F ใช้เลือกความละเอียดของตัวอักษรให้การแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการแสดงผลแบบ 5x7 จุด และถ้าเป็น “1” จะแสดงผลเป็นแบบ 5x10 จุด

ข้อมูลคำสั่งที่ใช้บ่อยคือ 38H เป็นการกำหนดให้โมดูล LCD ทำงานในแบบ 8 บิต แสดงผล 2 บรรทัดและเลือกความละเอียดเป็น 5x7 จุด

4.2.4.7 คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM

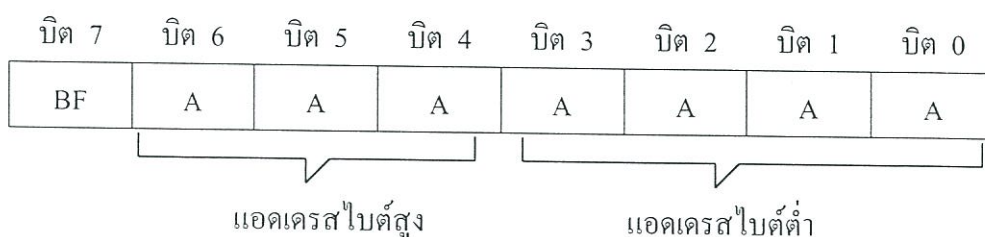
เมื่อต้องการกำหนดแอดเดรสของ CGRAM ต้องกำหนดให้บิต 7 เป็น “0” บิต 6 เป็น “1” ส่วนอีก 6 บิตที่เหลือจะแทนด้วยค่าแอดเดรสของ CGRAM จะต้องทำการกำหนดแอดเดรสด้วยคำสั่งนี้ ก่อนที่จะอ่านหรือเขียนข้อมูลให้ CGRAM โดยแอดเดรสของ CGRAM อยู่ระหว่าง 00H-3FH

4.2.4.8 คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM

ใช้ในการเลือกแอดเดรสของ DDRAM ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยบิต 7 ต้องเป็น “1” และข้อมูลอีก 7 บิตที่เหลือจะเป็นค่าแอดเดรสของ DDRAM ซึ่งแอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 8CH-0FFH ทั้งนี้จำนวนแอดเดรสวิ่งขึ้นกับการกำหนดสถานที่บิต N หากบิต N เป็น “0” แอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 80H-0CFH และถ้าบิต N เป็น “1” แอดเดรสของ DDRAM จะมี 2 ช่วงคือ 8CH-87H และ 0C0H-0C7H

4.2.4.9 คำสั่งอ่านแฟล็ก BUSY และแอดเดรส

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้



เป็นคำสั่งที่ใช้อ่านแฟล็ก BUSY (BF) โดยแฟล็กนี้จะเป็นตัวบอกสถานะของตัวควบคุม LCD ว่าพร้อมจะรับข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้าหากบิต BF เป็น “0” แสดงว่าตัวควบคุม LCD พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง แต่ถ้าเป็น “1” แสดงว่า ขณะนี้ตัวควบคุม LCD ยังอยู่ในกระบวนการทำงานภายในหรือกำลังประมวลผลข้อมูลอยู่ ยังไม่พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง เมื่อต้องการอ่านแฟล็กต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ด้วย แต่สัญญาณที่ RS ยังต้องเป็น “0” อยู่เพราะข้อมูลนี้เป็นข้อมูลคำสั่ง นอกจากนี้ ยังใช้เป็นคำสั่งอ่านข้อมูลแอดเดรสของ CGRAM และ DDRAM ด้วย โดย บิต 0 - บิต 6 เป็นค่าข้อมูลของแอดเดรสที่ต้องการอ่าน

4.2.5 การเขียนคำสั่งและข้อมูลให้แก่โมดูล LCD

ในการเขียนข้อมูลเพื่อควบคุมให้โมดูล LCD แสดงผลตามที่ผู้ใช้งานต้องการ ต้องส่งคำสั่ง (instruction) แล้วกำหนดโหมดการทำงานให้แก่โมดูล LCD ก่อน จากนั้นจึงค่อยส่งข้อมูล (data) ที่ต้องการแสดงผล เนื่องจากบัสข้อมูลของโมดูล LCD มี 8 เส้นคือ D0-D7 และใช้เป็นทางผ่านของทั้งคำสั่งและข้อมูล ดังนั้นในการส่งคำสั่งและข้อมูลจึงต้องอาศัยการกำหนดสัญญาณลจิกที่ขา RS ถ้าหากที่ขา RS ได้ลจิก “0” หมายความว่า ข้อมูลที่ป้อนให้แก่โมดูล LCD ขณะนั้นเป็นคำสั่ง ในทางตรงข้าม หากขา RS ได้รับลจิก “1” ข้อมูลที่ป้อนให้ขณะนั้นเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแสดงผล

เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูลใน CGRAM และ DDRAM เริ่มต้นต้องกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านหรือเขียนก่อน โดยใช้คำสั่งเลือกแอดเดรส จากนั้นกำหนดให้ขา RS เป็น “1” เพื่อแจ้งให้ตัวควบคุมภายในโมดูล LCD ทราบว่าข้อมูลที่ปรากฏต่อไปนี้เป็นข้อมูลปกติไม่ใช่คำสั่ง

ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ข้อมูลขนาด 8 บิต (หรือ 4 บิต) ก็จะปรากฏบนบัสข้อมูล โดยข้อมูลที่อ่านออกมาได้จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสของ CGRAM หรือ DDRAM ตามที่ต้องการ

ในกรณีที่ต้องการเขียนข้อมูล เมื่อกำหนดแอดเดรสและป้อนลจิก “1” ให้ขา RS แล้ว แล้วต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “0” ข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลจะถูกเขียนลงในรีจิสเตอร์ DR จากนั้นจึงถ่ายทอดลงใน DDRAM ต่อไป

4.2.6 จังหวะการทำงานของ LCD โมดูล

ในการติดต่อกับโมดูล LCD จะต้องมีการหน่วงเวลาหลังจากที่ทำการส่งรหัสคำสั่งหรือข้อมูล เนื่องจากต้องรอให้คอนโทรลเลอร์ภายใน LCD โมดูล แปลความหมายของรหัสคำสั่งและทำงานตามคำสั่งให้เรียบร้อยก่อน จากนั้นจึงจะรับข้อมูลหรือดำเนินการต่อไป

ดังนั้น ในการใช้งานโมดูล LCD ผู้เขียนโปรแกรมต้องมีโปรแกรมเพื่อหน่วงเวลารอให้โมดูล LCD พร้อมทำงานด้วย โดยเมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่โมดูล LCD ต้องรอประมาณ 10 มิลลิวินาที เพื่อให้โมดูล LCD ทำการเตรียมความพร้อมหรืออินิเชียล (initial) หลังจากนั้นก็จะกำหนดลจิก

ให้แก่ขา RS ของโมดูล LCD แล้วต้องหน่วงเวลาอีกประมาณ 2 มิลลิวินาทีเพื่อให้คอนโทรลเลอร์ในโมดูล LCD แปลความหมายของลอจิกที่ขา RS ว่า ข้อมูลต่อไปที่จะได้รับนั้นเป็นรหัสคำสั่งหรือเป็นข้อมูลที่ต้องแสดงผล จากนั้นจะเป็นการส่งข้อมูลมารอที่บัสข้อมูล D0-D7 (กรณีทำงานในโหมด 8 บิต) ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการส่งสัญญาณพัลส์ไปที่ขา E เพื่อเอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้รับข้อมูลจากบัสข้อมูลเข้าไป โดยพัลส์ที่ป้อนเข้าที่ขา E ของ โมดูล LCD ต้องเป็นพัลส์ขอบขาขึ้น จากนั้นทำการหน่วงเวลา 2 มิลลิวินาที

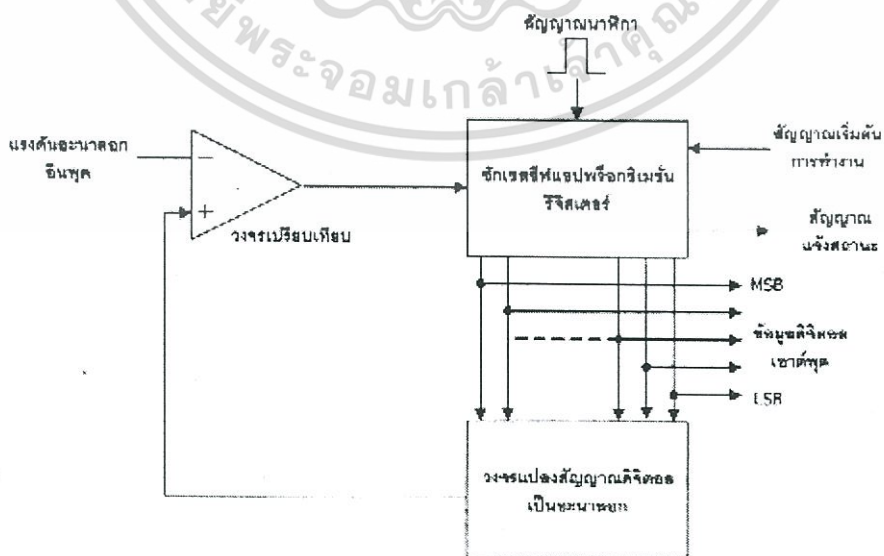
ทั้งหมดที่กล่าวมาคือขั้นตอนและจังหวะในการทำงาน 1 รอบของโมดูล LCD จะเห็นได้ว่ามีโปรแกรมย่อยที่สำคัญอยู่ 3 โปรแกรมย่อยคือ โปรแกรมอินิเชียล LCD, โปรแกรมหน่วงเวลา และโปรแกรมย่อยการส่งพัลส์เพื่อเอ็นเอเบิลโมดูล LCD

4.3 การใช้งานไอซี ADC/DAC บนระบบบัส I²C เบอร์ PCF8591

4.3.1 การแปลงสัญญาณอะนาลอกดิจิทัลแบบซีกเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน (Successive Approximation ADC)

การแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC) ที่ได้รับนิยมสูงและมีประสิทธิภาพดีคือการแปลงแบบซีกเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน ไอซี ADC ที่เลือกมาทำการทดลองนี้ก็ใช้วงจร ADC แบบเดียวกันนี้ จึงต้องทำความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของวงจร ADC แบบนี้ก่อน

ถ้าจะแปลเป็นไทยอาจเรียกกระบวนการ ADC แบบซีกเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชันนี้ว่า เป็นการแปลงแบบประมาณค่าใกล้เคียง ไดอะแกรมการทำงาน ส่วนสำคัญหลักคือ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน, วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกหรือ DAC, สัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมลอจิก



ภาพที่ 4.5 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซีกเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

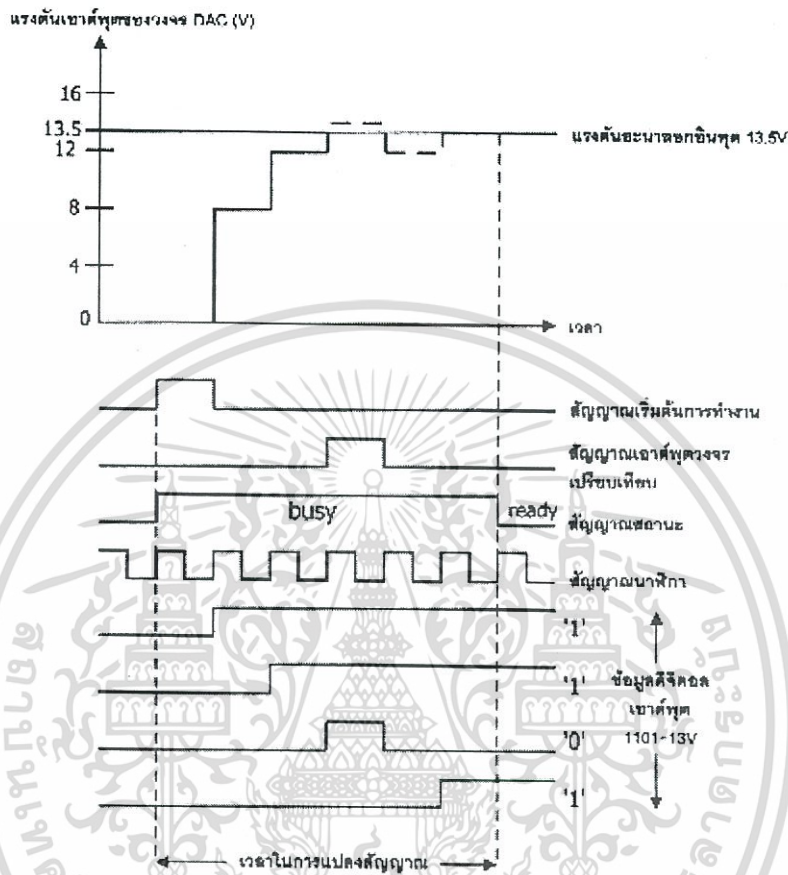
วงจร ADC เป็นซีสเซสซีฟแอปพริอ็อกซิเมชันนี้จะใช้รีจิสเตอร์เลขฐาน 2 หรือไบนารีรีจิสเตอร์ในการส่งข้อมูลดิจิทัลของวงจร DAC ภายใน ในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์จะเซ็ทและรีเซ็ทโดยการควบคุมจากวงจรควบคุมต่อไปนี้จะอธิบายการทำงานของ ADC แบบนี้ไปที่ละขั้น

กำหนดให้แรงดันอะนาล็อกอินพุต (V_{in}) มีค่า 13.5 V

1. สัญญาณเริ่มต้นการทำงาน (start converter) มายังซีกซีสซีฟแอปพริอ็อกซิเมชันรีจิสเตอร์
2. ขณะนี้สถานะของรีจิสเตอร์จะไม่ว่าง (busy) สัญญาณนาฬิกาถูกแรกถูกส่งเข้ามาเพื่อกำหนดให้ค่าของรีจิสเตอร์เท่ากับ 0000
3. เอาต์พุตของ DAC จะเป็น 0V ส่งไปในวงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับ V_{in} ในขณะนี้จะได้เอาต์พุตเท่ากับ -5V กำหนดเป็นลอจิก "0"
4. เมื่อสัญญาณนาฬิกาถูกต่อไปเข้ามา จะทำการเซตบิต MSB ของรีจิสเตอร์เป็น "1"
5. ในกรณีนี้เป็น ADC ขนาด 4 บิต ดังนั้นการที่บิต MSB เซต จะทำให้วงจร DAC แปลงค่าเป็นแรงดัน 8V นำไปเปรียบเทียบกับวงจรเปรียบเทียบแรงดัน แต่ก็ยังน้อยกว่า V_{in} ดังนั้นเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบยังคงเป็น "0" ทำให้รีจิสเตอร์ยังคงค่าบิต MSB ให้เป็น "1" ต่อไป
6. ต่อมาบิต B2 (ถัดจากบิต MSB 1 บิต เนื่องจากมี 4 บิต กำหนดบิต MSB = B3) จะเซตซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 4V นำไปรวมกับค่าของบิต MSB ที่มีอยู่ 8V เช่น 12V นำไปเปรียบเทียบกับ V_{in} ก็ยังน้อยกว่า รีจิสเตอร์จึงยังคงค่า B2 ไว้ที่ "1" เช่นกัน
7. ต่อมาบิต B1 จะเซตทำให้แรงดันเอาต์พุตมา DAC กลายเป็น $8+4+2 = 14V$ ซึ่งมากกว่า V_{in} ทำให้วงจรเปรียบเทียบเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็น "1" ซึ่งจะส่งสัญญาณควบคุมให้ B1 กลายเป็น "0"
8. เมื่อบิต LSB ถูกเซต จะมีค่าแรงดัน 1V เข้ามารวมกับค่าของ B3, B2 และ B1 เป็น $8+4+0+1 = 13V$ นำไปเปรียบเทียบกับ V_{in} ปรากฏว่าน้อยกว่า V_{in} ทำให้ที่บิต B0 หรือ LSB มีค่าเป็น "1"
9. ขณะนี้ทุกบิตในรีจิสเตอร์ถูกนำมาแปลงค่าเรียบร้อยแล้ว ทำให้สถานะของรีจิสเตอร์กลับมาเป็น พร้อมทำงาน (ready)
10. ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากการ ADC แบบนี้ จะมีค่า 1101_2 หรือ 13V ซึ่งใกล้เคียงกับ V_{in} 13.5V มากที่สุด ถ้าหากรีจิสเตอร์มีจำนวนบิตมากกว่านี้ ความละเอียดของข้อมูลที่แปลงได้จะมีความใกล้เคียงมากขึ้นช่วงเวลาของการแปลงสัญญาณจะเริ่มขึ้นตั้งแต่สัญญาณนาฬิกาถูกแรกถูกส่งเข้าไปเตรียมระบบ ไปจนถึงเมื่อสถานะของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีจิสเตอร์กลับมาเป็น “พร้อมทำงาน” อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะต้องใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกาเท่ากับ $n+1$ พัลส์ โดย n เท่ากับจำนวนบิตของรีจิสเตอร์



ภาพที่ 4.6 ไดอะแกรมเวลาแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซิกเซสซีฟแอปพริอ็อกซิเมชัน

ดังนั้นถ้าหาก ADC แบบซิกเซสซีฟแอปพริอ็อกซิเมชันขนาด 4 บิต ตามตัวอย่างที่อธิบายมานี้ ใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 50 kHz เวลาที่ใช้ทั้งหมดในการแปลงสัญญาณจะคำนวณได้ดังนี้

- 1) จำนวนเวลาของสัญญาณนาฬิกา

$$f_{clk} = 50 \text{ kHz} = 50 \times 10^3$$

$$T = 1/50 \times 10^3 = 20 \text{ มิลลิวินาที}$$

- 2) จำนวนสัญญาณนาฬิกาทั้งหมดที่ใช้ในการแปลงเท่ากับ $n+1$, n มีค่าเท่ากับ 4 เนื่องจากมีจำนวน 4 บิต ดังนั้นสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ทั้งหมดจึงเท่ากับ $4+1 = 5$
- 3) เวลาทั้งหมดที่ใช้เท่ากับ $5 \times 20 = 100$ มิลลิวินาที

จะเห็นว่าวงจร ADC แบบซิกเซสซีฟแอปพริอ็อกซิเมชันมีความเร็วในการทำงานสูงพอสมควรอย่างยิ่งในการนำใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดกลางอย่าง MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ความเที่ยงตรงของวงจร ADC

เป็นการเปรียบเทียบแรงดันอะนาล็อกของวงจร ADC กับแรงดันที่ควรเกิดขึ้นจริง ยกตัวอย่างที่ข้อมูลดิจิทัลสูงสุดของวงจร ADC ขนาด 8 บิตเมื่อเทียบเป็นแรงดันอะนาล็อกควรมีค่าเท่ากับ 5.0000 V แต่จากการคำนวณในตัวอย่างก่อนหน้านี้ได้ค่าแรงดัน 4.9804 V นั่นคือเกิดความผิดพลาดไป 0.0195 V หรือ 19.5 mV แต่การบอกค่าความเที่ยงตรงของวงจร ADC มักระบุเป็นจำนวนที่ เทียบกับ VLSB ดังนั้นในวงจร ADC ขนาด 8 บิตที่ยกเป็นตัวอย่างนี้จึงมีค่าความเที่ยงตรง (หรือบางทีเรียกเป็นค่าความผิดพลาด) เป็น $\pm 1/2\text{LSB}$

4.3.3 ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ (conversion time)

เป็นค่าของเวลาทั้งหมดที่วงจร ADC แบบวงจรนับแรมป์และแบบซิกเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชันใช้ในการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลจนเสร็จสิ้น พารามิเตอร์ตัวนี้มักจะปรากฏในคุณสมบัติของไอซีที่ทำงานเป็นวงจร ADC เมื่อไอซีแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นลง จะส่งสัญญาณที่เรียกว่า EOC (End of conversion) ออกมา

ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณของวงจร ADC จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของวงจร, ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณและขนาดของสัญญาณอะนาล็อกอินพุต

4.3.4 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591

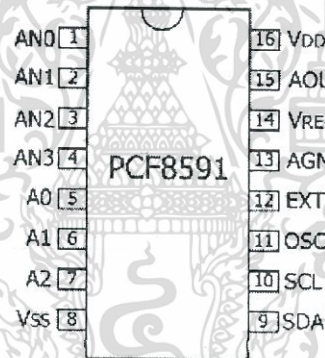
ในการทดลองนี้จะใช้ไอซี ADC ที่มีความสามารถสูงเบอร์ PCF8591 เนื่องจากในตัวมันมีวงจร ADC แบบซิกเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชันขนาด 8 บิตสูงถึง 4 ช่อง ทั้งยังมีวงจร DAC อีก 1 ช่อง ด้วย ระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I²C ทำให้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น ทั้งยังสามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุด 8 ตัว ทำให้ได้วงจร ADC รวมสูงถึง 32 ช่อง และวงจร DAC รวม 4 ช่อง สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวาง มีรายละเอียดคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

- ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
- ทำงานที่แรงดัน 2.5V ถึง 6V
- กินกระแสขณะอยู่ในสถานะสแตนด์บายต่ำ
- ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I²C
- เลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0, A1, A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดถึง 8 ตัว
- อัตราการสุ่มข้อมูล (sampling) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I²C
- การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
- สัญญาณอะนาล็อกมีระดับแรงดันตั้งแต่ V_{SS} ไปจนถึง V_{DD}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล ADC สามารถรับสัญญาณอะนาลอกได้ 4 ช่อง ทั้งยังเลือกได้ว่าให้ทำงานแบบแยกช่อง หรือ ทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียล
- วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลเป็นแบบซักระยะชีพ แอปพลิเคชันมีขนาด 8 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกขนาด 8 บิต 1 ช่อง

PCF8591 สามารถทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต 4 ช่อง และทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกได้ในคราวเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I²C ทำให้สามารถต่อพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณอะนาลอกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่องและสามารถส่งสัญญาณอะนาลอกเอาต์พุตสูงสุดได้ถึง 8 ช่องด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา A0, A1 และ A2 การจัดขาของ PCF8591 แสดงในภาพที่ 4.7 ส่วนรายละเอียดตำแหน่งขาต่าง ๆ มีดังนี้



ภาพที่ 4.7 การจัดขาของไอซี ADC/DAC ขนาด 8 บิตผ่านบัส I²C เบอร์ PCF8591

ขา AN0-AN3 (ขา 1-4) เป็นขาอินพุตสำหรับป้อนสัญญาณอะนาลอกที่ต้องการแปลงค่า
 ขา A0-A2 (ขา 5-7) เป็นขาสำหรับกำหนดข้อมูลแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์ ปกติต่อลงกราวด์ แต่ถ้ามีการใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ต้องกำหนดการต่อขา A0-A2 ของ PCF8591 ให้ไม่ตรงกัน จึงทำให้สามารถต่อใช้งานร่วมกันได้สูงสุด 8 ตัว

ขา Vss (ขา 8) เป็นขาต่อกราวด์

ขา SDA, SCL (ขา 9 และ 10) เป็นขาสำหรับต่อกับสัญญาณนาฬิกาภายนอกเมื่อขา EXT ต่อกับไฟ +5V และจะทำงานเป็นขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาถ้าขา EXT ต่อลงกราวด์

ขา EXT (ขา 12) เป็นขาสำหรับเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ถ้าต่อไฟ +5V จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก โดยต่อสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ถ้าต่อขานี้ลงกราวด์ จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายใน

ขา AGND (ขา 13) เป็นขากราวด์ของแรงดันอ้างอิง ปกติต่อลงกราวด์

ขา V_{REF} (ขา 14) เป็นขาสำหรับป้อนแรงดัน ปกติต่อเข้าไฟเลี้ยง +5V

ขา AOUT (ขา 15) เป็นขาเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก

ขา V_{DD} (ขา 16) เป็นขาต่อไฟเลี้ยง จ่ายได้ตั้งแต่ +2 ถึง +6V ปกติใช้ +5V

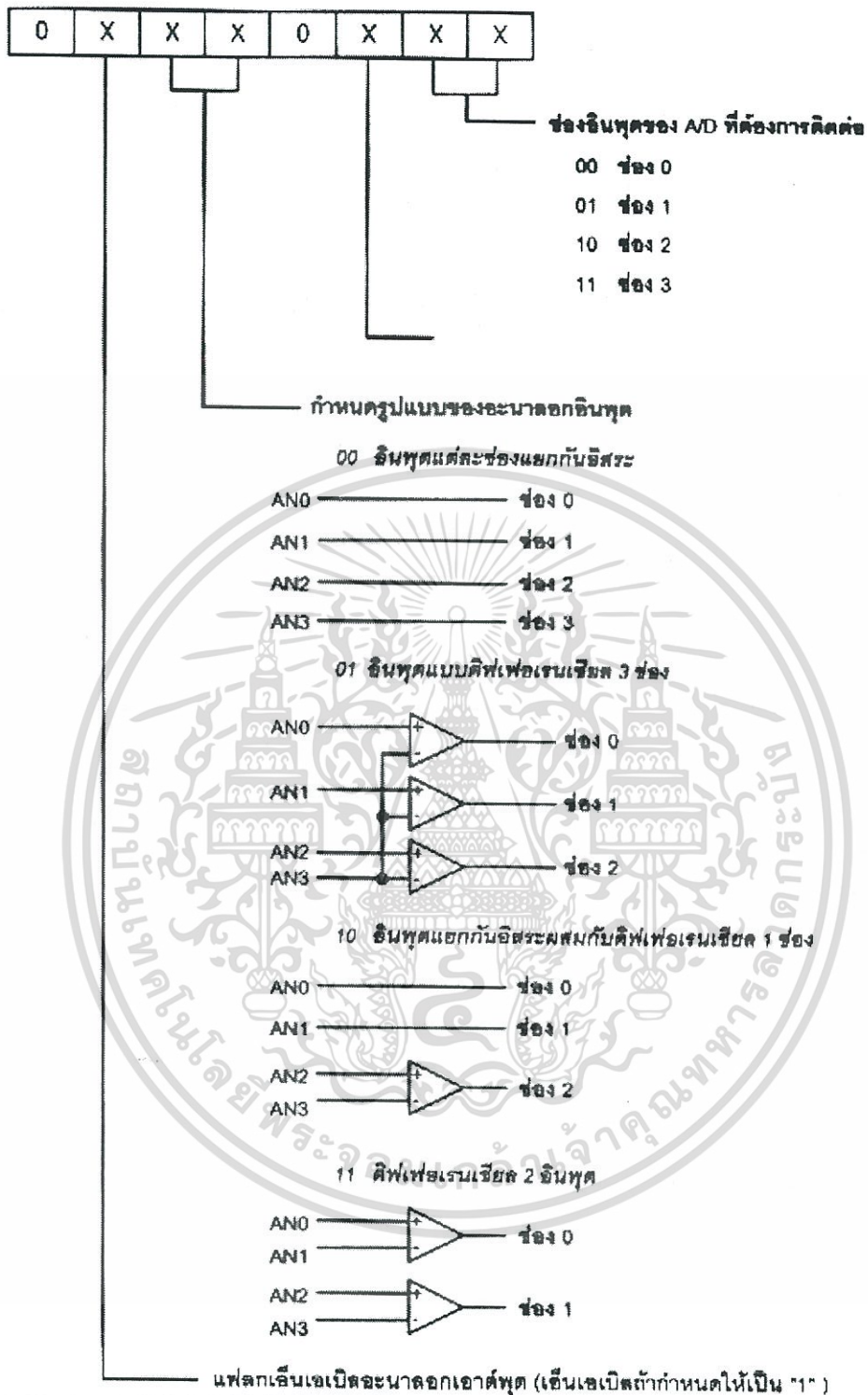
4.3.5 รายละเอียดฟังก์ชันต่าง ๆ ของ PCF8591

4.3.5.1 ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I²C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าแอดเดรสของอุปกรณ์ตัวนั้น ๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อด้วยในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้น ๆ

4.3.5.2 ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF8591 แล้ว ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วยเพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 รายละเอียดข้อมูลควบคุมที่เขียนลงในรีจิสเตอร์ควบคุมภายในไอซี PCF8591

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการเอ็นเอเบิลขาอะนาลอกเอาต์พุต เมื่อต้องการเอ็นเอเบิลต้องกำหนดค่านี้เป็น “1” เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอะนาล็อกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591

บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอะนาล็อกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1”

บิต 0 และบิต 1 ใช้สำหรับกำหนดช่องของอินพุตอะนาล็อกที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต 2 เป็น “1” หลังจากอ่านค่าของบิต “0” เป็นบิต “1” แล้ว ในการอ่านค่าครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591 เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่าง ๆ ของข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะเป็น “0”

4.3.5.3 ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล เมื่อต้องการใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน ขา EXT ต้องต่อลงกราวด์ ถ้าต้องการใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวก และป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25 MHz

4.3.5.4 การอ่านค่าข้อมูลอินพุตอะนาล็อกของ PCF8591

มีลำดับขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยในขั้นนี้กำหนดแอดเดรสของ PCF8591 ไว้ที่ 000 (ขา A0, A1, A2 ต่อลงกราวด์ทั้งหมด) และให้ทำงานในโหมดเขียนข้อมูล (ป้อนข้อมูลลอจิก “0” ให้แก่บิต R/W)
2. เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
3. ส่งข้อมูลควบคุมไปยัง PCF8591
4. ส่งสัญญาณ STOP
5. เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
6. ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสอีกครั้ง โดยครั้งนี้กำหนดให้เป็นโหมดอ่านข้อมูล (ส่งลอจิก “1” ให้แก่บิต R/W) เพื่อเริ่มต้นอ่านค่าข้อมูลจากช่องสัญญาณอะนาล็อกอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะในโครงการวิจัยและพัฒนาเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของเอกสารถือว่าผิดกฎหมาย

8. หากต้องการอ่านค่าในช่องต่อไปก็ให้เริ่มต้นการติดต่อใหม่ ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าต่อเนื่องทั้ง 4 รอบหรือมากกว่า ก็จะสามารถอ่านค่าได้ครบได้ครบทุกช่อง

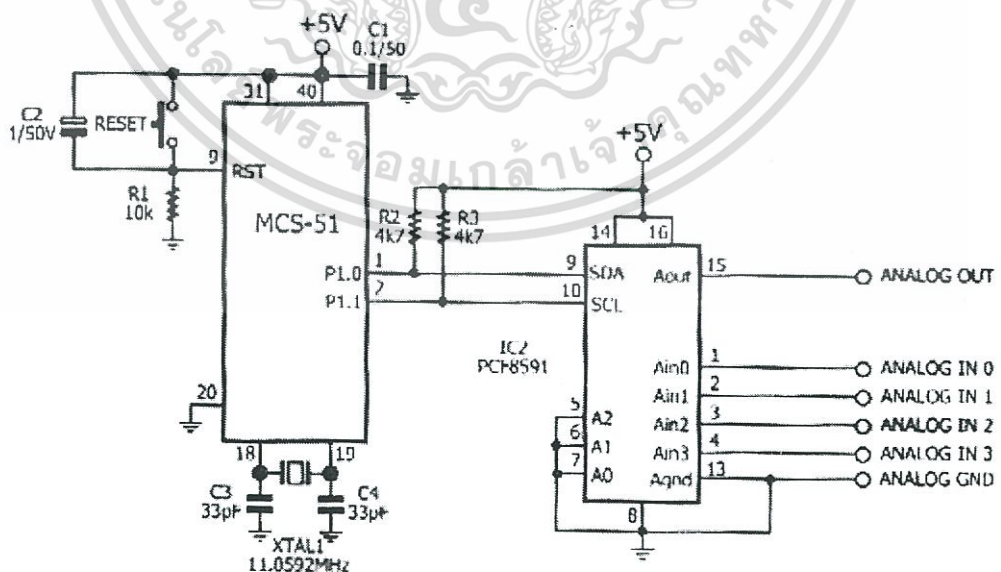
4.3.6 การเขียนข้อมูลไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกของ PCF8591

การเขียนข้อมูลไปยังอะนาลอกเอาต์พุตมีข้อแตกต่างจากการอ่านข้อมูลดังนี้

1. เรียกโปรแกรมน้อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
2. ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยให้ทำงานในโหมดเขียนข้อมูล (บิต R/W เป็นลอจิก "0")
3. ส่งข้อมูลควบคุม 40H ไปยัง PCF8591 เพื่อเอ็นเอเบิลอะนาลอกเอาต์พุต
4. ส่งข้อมูลไปยังเอาต์พุตอะนาลอก โดยค่าที่ส่งออกไปจะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 0-255
5. ส่งสถานะหยุด

4.3.7 การเชื่อมต่อ PCF8591 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

มีตัวอย่างวงจรแสดงในภาพที่ 4.9 จะเห็นว่ามีลักษณะการต่อเหมือนกับ PCF8574A ทุกประการและสามารถที่จะต่อไอซีทั้งสองเบอร์ร่วมกันบนสาย SDA และ SCL ได้ ตรงนี้เองที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถของบัส I²C ผู้ใช้งานสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่มีความแตกต่างกันในหน้าที่การทำงานบนสายสัญญาณเดียวกันได้



ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับ PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การออกแบบและโครงสร้างของ Level Indicator

5.1 การออกแบบ Level Indicator

การออกแบบเครื่องมือวัดระดับที่จะทำการสร้างขึ้นนั้นได้คำนึงถึง ข้อดี ข้อเสีย ของเครื่องมือวัดระดับชนิดต่างๆ ทั้งยังคำนึงถึงในเรื่องของราคาและความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรม โดยในการออกแบบนั้นได้ทำการแบ่งส่วนประกอบต่างๆของเครื่องมือวัดระดับนี้ออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

5.1.1 ส่วนทำการวัดระดับ

โดยอาศัยหลักการของลูกลอยเปลี่ยนการเคลื่อนที่ในแนวตั้งไปเป็นแนวรัศมีไปหมุนวงล้อเปลี่ยนแปลงค่าของตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้

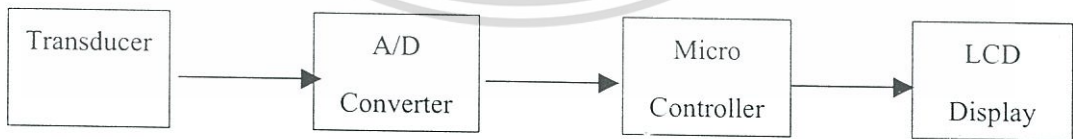
5.1.2 ส่วน Software

ซึ่งประกอบด้วยวงจร A/D Converter และ Micro-controller MCS 51

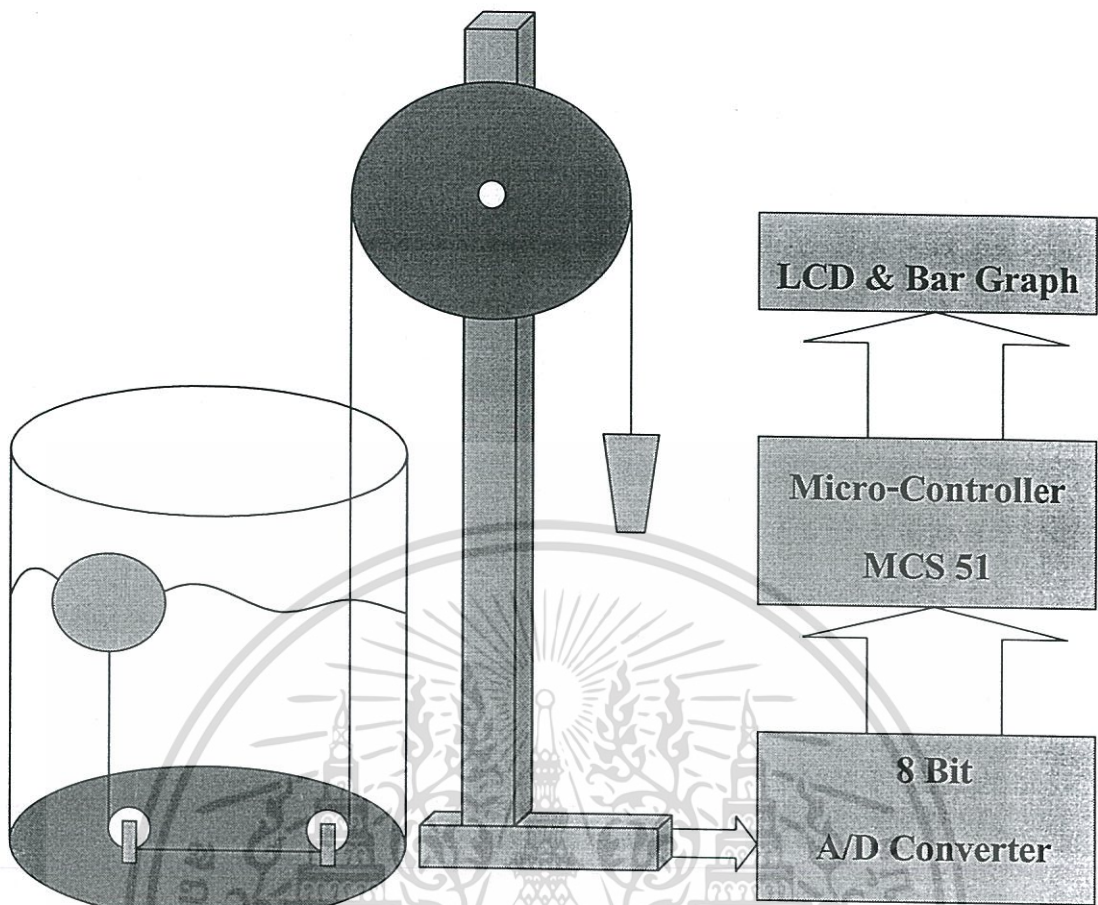
5.1.3 ส่วนแสดงผล

ซึ่งประกอบด้วย LCD ขนาด 16x1

โดยมีลำดับขั้นตอนการทำงานตาม Block Diagram ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 Block-Diagram แสดงขั้นตอนการทำงาน



ภาพที่ 5.2 เครื่องมือวัดที่ทำการออกแบบ

5.2 โครงสร้าง Level Indicator

5.2.1 A/D Converter

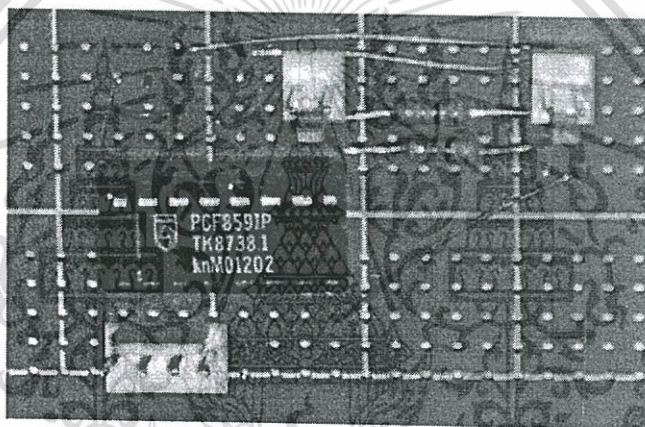
หลังจากที่ได้ค่าระดับจากเครื่องมือวัดระดับซึ่งจะให้ค่า Output ออกมาเป็นสัญญาณอนาล็อกแล้ว เราก็นำสัญญาณที่ได้มาต่อเข้ากับ A/D Converter เพื่อแปลงค่าสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต

บอร์ดแปลงสัญญาณ ANALOG เป็นข้อมูล DIGITAL ขนาด 8 Bit ใช้ชิพของ Philips (PCF8591P) ที่มีประสิทธิภาพและความเที่ยงตรงสูง

- ภายในมี Instrument Amp ที่สามารถโปรแกรม Gain (PGA) เป็นแบบ ซอปรอปเปอร์แอมป์ที่มีเสถียรภาพสูง
- ฟังก์ชันการแปลงสัญญาณ ADC ใช้วิธีการแปลงแบบอินทิเกรตในระดับสูงแบบเดลต้า-ซิกมา ที่ให้ความผิดพลาดเชิงเส้นต่ำเพียง 0.0015 %FS โดยปราศจากสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

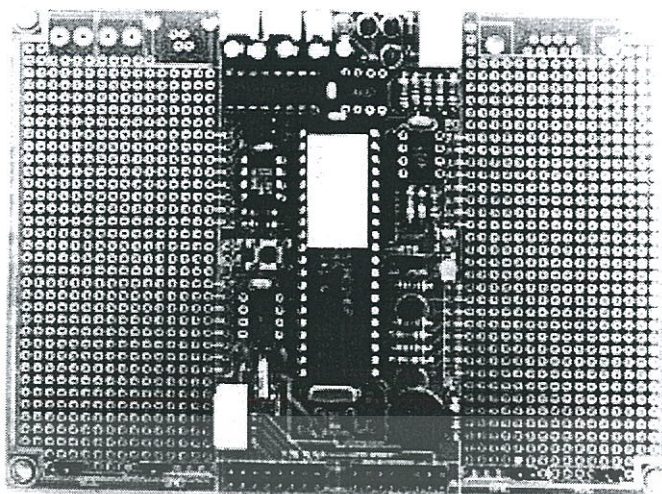
- สามารถวัดสัญญาณทาง INPUT ได้ทั้งแบบ Differential Mode และแบบ Common Mode
- ย่านการวัดเลือกได้ตั้งแต่ 25mV , 55mV , 100mV , 1V , 2.5V และ 5V
- บนบอร์ดมีวงจรสร้างไฟลบในกรณีที่ต้องการวัดอินพุตเป็นไฟลบให้
- OUTPUTของสัญญาณเป็นแบบ 4 บิตแลตซ์ อินเตอร์เฟสกับอุปกรณ์ภายนอกแบบอนุกรม 4 สาย
- การ Calibrate ระบบสามารถกระทำได้ที่ตัวไอซีจากการกำหนดในรีจิสเตอร์
- กินกำลังงานต่ำเพียง 4 mW.
- สามารถต่อขยายผ่านทาง 12 Bit Port ได้ทันทีและมีส่วน PCB Working Area ให้พร้อม



ภาพที่ 5.3 รูปแสดงบอร์ด A/D Converter ที่ใช้

5.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ISP-1002 คือบอร์ดที่สามารถพัฒนาและนำไปใช้งานแบบ Single Chip ด้วยคุณสมบัติที่สามารถ โหลดโปรแกรมเข้าสู่ตัว IC ได้โดยตรงจากคอมพิวเตอร์ ผ่านทาง Serial Port RS232 ซึ่งมีโหมดการโปรแกรมแบบ ISP (In-System Programming) ทำให้ง่ายในการพัฒนาและนำไปใช้งานจริงพร้อมเพิ่มความสะดวกยิ่งขึ้นในการพัฒนาด้วยโปรแกรม R2D2-Monitor ของศิลาโดยใช้งานคู่กับโปรแกรมสื่อสารแบบTerminalซึ่งใช้งานได้ทั้งบน DOS และ WINDOWS บนบอร์ดมีทรัพยากรครบครันพร้อมส่วน WorkingPCB สำหรับต่อและออกแบบวงจรต่าง ๆ เพิ่มเติมบนบอร์ด



ภาพที่ 5.4 รูปแสดงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51ที่ใช้

บอร์ดในตระกูล ISP ที่สามารถต่อกับ PC เพื่อ Download โปรแกรมลงสู่ Flash Memory ได้โดยตรงไม่ต้องใช้เครื่องมือใดๆอีก

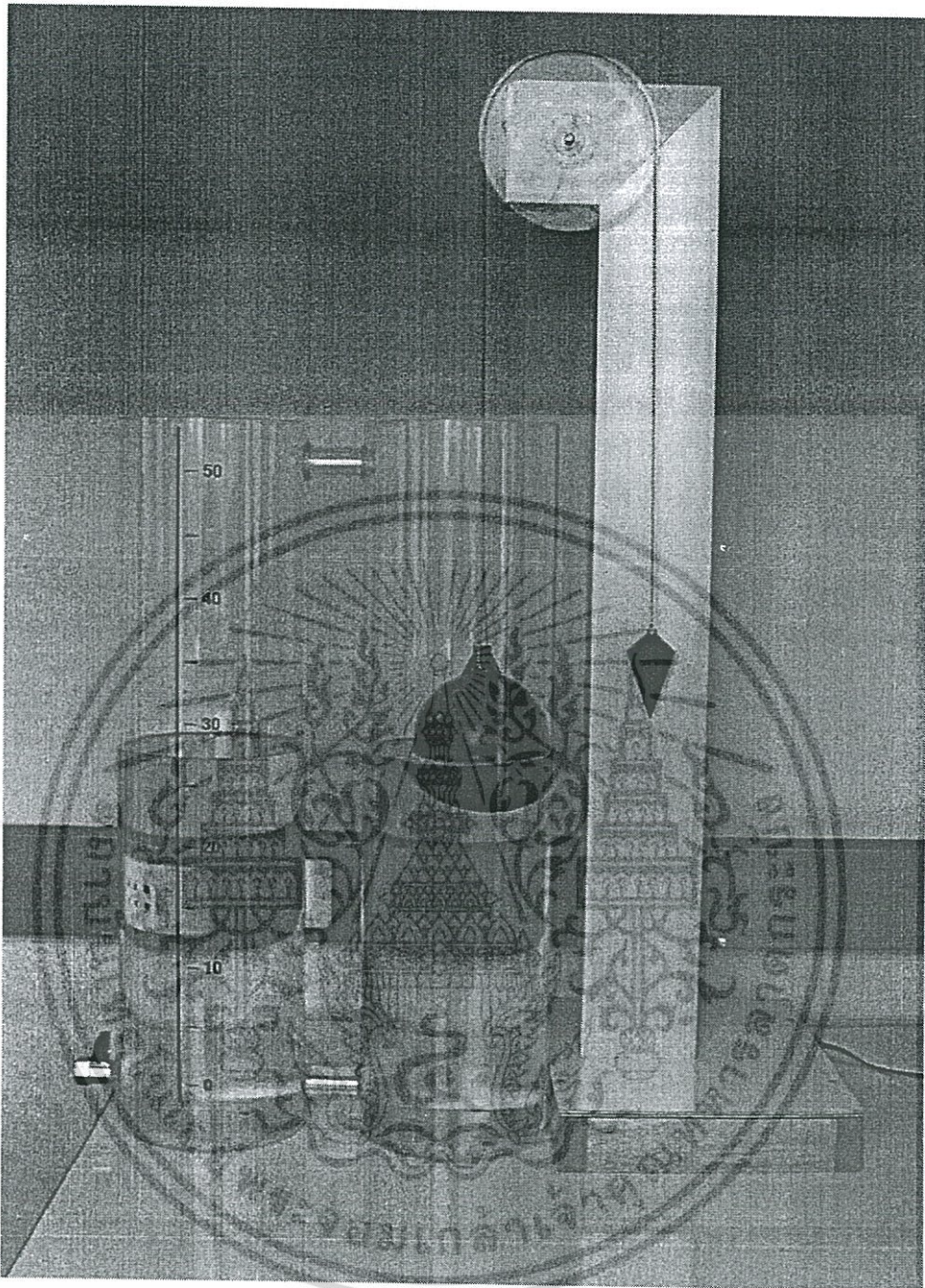
- 89C51RD2 ที่ XTAL 11.0592 MHz. ทำงานเร็วขึ้น 1 เท่า (x2)
- 64K Flash Memory , 256 Bytes Internal Ram และ 768 Bytes Data Memory (MOVX)
- วงจร Reset ด้วย DS1707 และมี Prog/Run Jumper
- RS232, SPEAKER, I2BPort, 3BPort, LCDPort (Back Light)
- มีส่วน Working PCB เพื่อให้ผู้ใช้ขยายหรือต่อทดลองวงจรได้อย่างอิสระ
- มีจุดเชื่อมของ I/O จาก MCU อยู่ใกล้ ๆ ส่วน Working PCB ด้วย
- Option Socket MAX3082 (RS485), EEPROM 24LCXXX, RTC DS1307
- ขนาดบอร์ด 4x5.5 นิ้ว

5.3 เปรียบเทียบเครื่องมือวัดที่ทำการออกแบบกับเครื่องมือวัดชนิดต่างๆ

จากเครื่องมือวัดระดับที่มีขายอยู่ตามท้องตลาดนั้น ระบบนี้ได้ทำการออกแบบและติดตั้งเครื่องมือวัดระดับน้ำแบบการเปลี่ยนการเคลื่อนที่ในแนวตั้งให้เป็นการเคลื่อนที่ในแนวรัศมีโดยใช้กลไกลูกกลอยไปเป็นตัวหมุน Transducer

สาเหตุที่ได้ทำการติดตั้งระบบนี้เพราะเมื่อพิจารณาถึงปัญหาและข้อดีข้อเสียของวิธีการต่างๆแล้ว พบว่าเครื่องมือวัดระดับชนิดนี้เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 5.5 ส่วนวัดระดับที่ทำการสร้างขึ้น

5.3.1 ในด้านความถูกต้อง

เครื่องมือวัดระดับชนิดนี้จะมีความถูกต้องมากกว่าแบบ Differential Pressure เพราะเครื่องมือวัดชนิด Differential Pressure นั้นจะใช้ได้ก็ต่อเมื่อเป็นการวัดในระบบจริงๆซึ่งมีระดับความลึกของน้ำค่อนข้างมาก

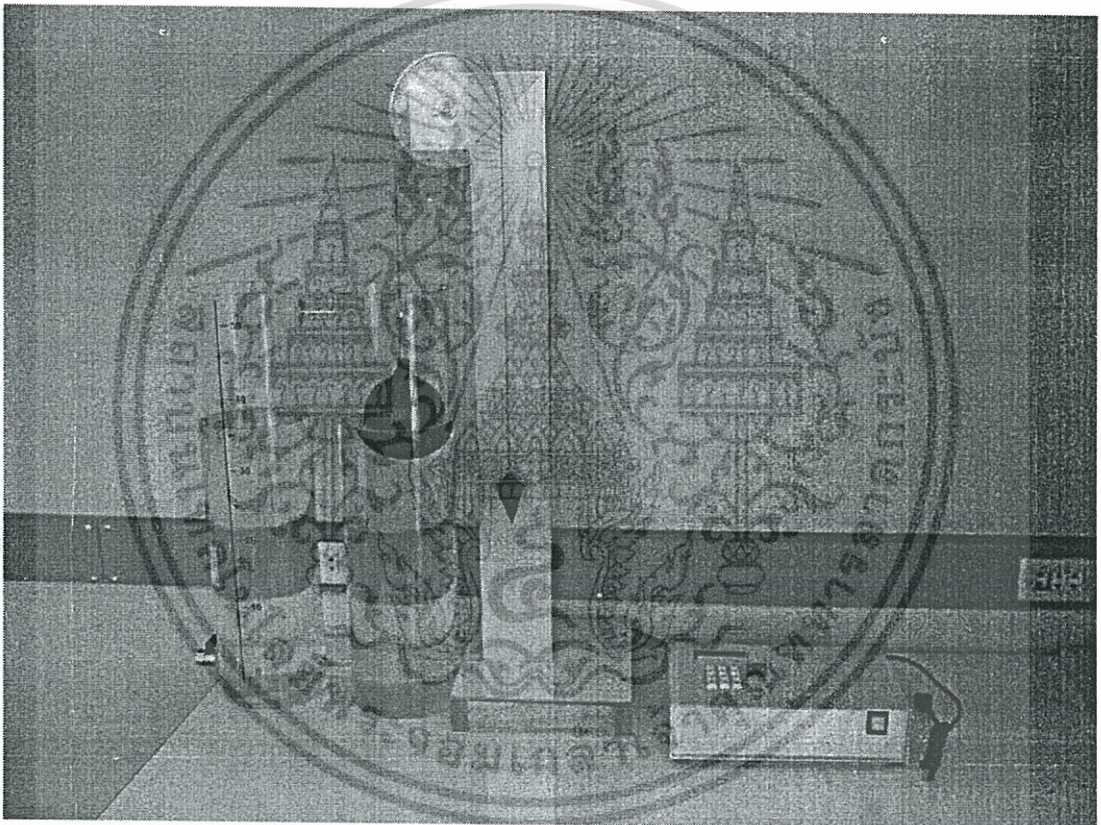
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.2 ในด้านราคา

เครื่องมือวัดชนิดนี้มีราคาของวัสดุถูกกว่าแบบใช้ Differential Pressure และ แบบใช้กลไก ลูกลอยไปเป็นตัวหมุน Encoder มาก

5.3.3 ในด้านของจำนวนระดับที่สามารถวัดได้

เครื่องมือวัดชนิดนี้สามารถวัดระดับได้จำนวนระดับมากกว่าแบบที่ใช้ Sensor แสงและแบบที่ใช้การวัดค่าความนำไฟฟ้า



ภาพที่ 5.6 Level Indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

โปรแกรมในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์

6.1 บทนำ

ไมโครคอนโทรลเลอร์คือคอมพิวเตอร์รูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีขนาดเล็กและเน้นการใช้งานในรูปแบบ Embedded (ฝังตัว) คืออยู่ในรูปของบอร์ดที่อยู่ภายในสินค้าต่าง ๆ อีกที เรามักจะเรียกกันว่า "แผงวงจร" ความจริงบอร์ดเหล่านี้อาจจะเป็นเพียงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ธรรมดา หรืออาจเป็นวงจรในรูปแบบ Digital ก็ได้ แต่ในปัจจุบันจะพบบอร์ดในรูปแบบไมโครคอนโทรลเลอร์มากขึ้น เนื่องด้วยการทำงานที่มีความยืดหยุ่นสูง ง่ายต่อการปรับปรุงแก้ไข ใช้ได้กับงานที่มีความซับซ้อนมาก และที่สำคัญก็คือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะเปลี่ยนแนวทางการพัฒนาจากที่เน้นด้าน Hardware ไปเป็นเน้นด้าน Software แทน ตัวอย่างงานเหล่านี้ได้แก่ บอร์ดเก็บข้อมูลเครื่องตอกบัตร บอร์ดควบคุมแผงแสดงตัวอักษร บอร์ดเครื่องนับจำนวน บอร์ดตั้งเวลา ไมโครคอนโทรลเลอร์ยังประยุกต์ใช้งานอื่นๆได้อีกมากมาย จนแทบจะเรียกได้ว่าสามารถพัฒนาและสร้างสรรค์ได้ตามแต่จินตนาการ ไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกสร้างจากผู้ผลิตชิพมากมาย หลากหลายรูปแบบ ตระกูลของชิพที่ถือได้ว่าเป็นมาตรฐานก็คือ MCS-51 ซึ่งเริ่มต้นมาจาก Intel (ผู้ผลิตไมโครโปรเซสเซอร์รายใหญ่ให้กับวงการคอมพิวเตอร์ PC ในปัจจุบัน) โดยในปัจจุบันนี้ มีผู้ผลิตชิพในตระกูลนี้มากกว่าสิบราย และยังมีคุณสมบัติต่าง ๆ เข้าไปอีกมากมายนับไม่ถ้วน ในขณะที่เนื้อหาหลักทางด้านโปรแกรมจะเหมือนกันทุกประการ นั้นหมายถึงว่า การเรียนรู้โครงสร้างพื้นฐานและชุดคำสั่งของ MCS-51 จะสามารถนำไปใช้ได้ต่อเนื่องอีกยาวนาน หลายคนมักมองการเรียนรู้ทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นเพียงทางผ่านเพื่อจะได้เข้าใจในเรื่องคอมพิวเตอร์อีกที คำพูดนี้อาจจะถูกในอดีตนับสิบปีมาแล้ว แต่ไม่ใช่เรื่องที่ถูกในปัจจุบันแน่นอน โลกของคอมพิวเตอร์ไปเร็วมากจนแทบจะไม่มีใครพูดถึงเรื่องโครงสร้างภายในกันแล้ว แต่จะมุ่งเน้นไปในเรื่องของโปรแกรมใช้งานมากกว่า ส่วนเรื่องทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ยังคงต้องสนใจในระดับพื้นฐาน เพราะการออกแบบจะยังเกี่ยวข้องกับตัวบอร์ด โดยมีเนื้อหาทั้งทางด้าน Hardware และ Software อยู่ (ถึงจะเน้นการพัฒนาในเชิง Software ก็ตาม) และการเรียนรู้ก็ไม่ได้เป็นทางผ่านไปยังคอมพิวเตอร์แต่อย่างใด แต่เป็นการเรียนรู้ที่สามารถนำไปพัฒนางานได้จริง มีวงการ และ ความต้องการอยู่ในตลาดจริง ๆ และ ยังคงขยายตัวอย่างต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ

6.2 10 ข้อควรจำสำหรับภาษา Assembly ของ MCS-51

การพัฒนาทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษา Assembly นั้น ถือว่ายังเป็นที่นิยมอย่างมากในบ้านเรา เรียกได้ว่าเป็นส่วนใหญ่เลย ในขณะที่ต่างประเทศนั้น ภาษา Assembly คำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะนิยมรองลงมาจากภาษา C ที่ใช้กันเป็นอันดับหนึ่ง อาจจะเป็นเพราะว่าความคุ้นเคย หรือเพราะความตรงไปตรงมาของภาษา Assembly ที่เป็นจุดเด่นอย่างหนึ่งก็ได้ ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตาม การเข้าถึงภาษา Assembly ได้นั้น ถือว่าเป็นการเรียนรู้และเข้าใจได้ลึกซึ้งที่สุด และถ้ารู้จักนำมาประยุกต์

ใช้งานให้เหมาะสมแล้ว ก็จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาเทคโนโลยีต่าง ๆ เป็นอย่างมาก สำหรับชิพตระกูล MCS-51 พอจะสรุปเป็นประเด็นต่าง ๆ ได้ 10 ประเด็น เพื่อจะช่วยให้การพัฒนาเป็นไปได้อย่างไม่ติดขัด ดังนี้

6.2.1 Internal RAM พื้นที่ยุทธศาสตร์

MCS-51 ถูกออกแบบให้มี Internal RAM ภายใน 128 Byte (เบอร์ 8051) หรือ 256 Byte (เบอร์ 8052) และนี่เป็นความตั้งใจของผู้ผลิตที่จะให้ใช้พื้นที่ส่วนนี้เพื่อการทำงานต่าง ๆ คือเป็น Working Area ไม่ว่าจะเป็นส่วน Register, Stack, และ Buffer ชุดคำสั่งเกือบจะทั้งหมดจะกระทำกับ Internal RAM นี้ ถ้าเราจะพยายามใช้ส่วนของ External RAM เป็นพื้นที่ในรูปแบบ Working Area ก็จะเป็นเรื่องที่ยุ่งยากเกินไป ส่วน External RAM เหมาะสำหรับการเก็บข้อมูลแบบต่อเนื่อง หรือทำเป็น Buffer จำนวนมาก ๆ เท่านั้น เพราะเนื่องจากมีคำสั่งที่ใช้งานได้ไม่ก็คำสั่ง เช่น MOVX A,@DPTR ในส่วน Internal RAM นั้น เราสามารถใช้งานโดยตรงได้โดยไม่ต้องใช้ Register ให้ยุ่งยากเลย ตัวอย่างเช่น

```
MOV COUNT,#18H
LOOP: ...
...
...
DJNZ COUNT,LOOP
```

ในที่นี้ COUNT คือชื่อที่อ้างถึงพื้นที่ Internal RAM ที่กำหนดจากคำสั่ง EQU หรือ DS อีกที สังเกตว่าเราใช้งานได้เสมือนกับเป็น Register R0-R7 เลย อีกประเด็นหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับ Internal RAM ก็คือ การอ้างถึงพื้นที่ RAM ตั้งแต่ Address 80-FFH (เบอร์ 8052) ซึ่งมี Address ซ้อนทับกับส่วน SFR 80-FFH ด้วยจะต้องแยกด้วยคำสั่งที่ใช้งาน ถ้าเป็นกรณีอ้างถึง RAM ที่ตำแหน่ง A0H จะต้องใช้คำสั่งแบบ Indirect ดังนี้

```
MOV R0,#0A0H
MOV A,@R0
```

แต่ถ้าเป็นกรณีอ้างถึง SFR ที่ตำแหน่ง A0H เช่นกัน จะต้องใช้คำสั่งแบบ Direct ดังนี้

```
MOV A,0A0H
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 ระบบ Stack และการเรียงข้อมูล

ระบบ Stack ของ MCS-51 จะเป็นแบบนับขึ้น โดยมีค่าเริ่มต้นหลังจาก Reset เป็น 07H เสมอ ถ้ามีการใช้คำสั่ง PUSH หรือ CALL ค่า Stack จะเพิ่มขึ้นก่อน แล้วจึงเก็บข้อมูลลงไป ซึ่งก็จะเป็น Address 08H เป็นตัวแรก ระบบ Stack สามารถโยกย้ายไปที่ใดก็ได้ใน Internal RAM ซึ่งรวมไปถึงส่วน Address 80-FFH ด้วย โดยจะไม่ปะปนกับส่วน SFR แต่อย่างใด ส่วนการเรียงลำดับข้อมูลขนาด 16 บิตในคำสั่งต่าง ๆ จะเรียงจาก High ไป Low เสมอ เช่นการใช้คำสั่ง LJMP ไปที่ Address 87FFH จะแปลงเป็น Op-Code คือ 02H,87H,FFH

6.2.3 ชื่อ Register หรือ Bit ... กำหนดให้ถูกกับการใช้งาน

ใน MCS-51 จะมีมุมมองจากจุดต่าง ๆ กัน เพราะฉะนั้นจะมีชื่ออ้างอิงที่ต่างกันด้วย ทั้งนี้การที่ผู้ผลิตชิพออกแบบไว้แบบนี้ ก็เพื่อให้ชุดคำสั่งใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่สับสน ชื่อจะมีอยู่ 3 แบบ คือ

ชื่อเฉพาะ เช่น A, R2, C(Carry), DPTR

ชื่อ Bit เช่น INT1, T0, T1, CY(Carry)

ชื่อ SFR (Special Function Register) เช่น ACC, B, DPH, P1, PSW, TCON

ชื่อทั้ง 3 กลุ่มนี้ บางตัวก็คือตัวเดียวกัน แต่มองจากคนละมุม เช่น A และ ACC, C และ CY ทั้งนี้เพื่อให้เข้ากับชุดคำสั่งของแต่ละประเภท ตัวอย่างเช่น คำสั่ง PUSH จะกำหนดให้ตามด้วยชื่อแบบ Direct เพราะฉะนั้นจะต้องใช้ PUSH ACC จะใช้เป็น PUSH A ไม่ได้ ชื่อ Direct ในที่นี้ยังหมายถึงชื่อที่เรากำหนดเองก็ได้จากคำสั่ง DS หรือ EQU ด้วย อีกตัวอย่างเช่น คำสั่ง JB bit,rel ถ้าเราใช้เป็น JB CY,rel ก็จะทำางานเหมือนคำสั่ง JC rel เช่นกัน โดยมี Op-Code ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ CY จะเป็นชื่อที่มองในฐานะของ Bit Address ส่วน C จะเป็นชื่อที่เป็นรูปแบบของคำสั่งไปเลย เราจะต้องเข้าใจคำสั่งแต่ละคำสั่งให้ชัดเจน จึงจะสามารถอ้างอิงได้ถูกต้องตามขบวนการ นอกจากนี้ ชื่อ SFR ยังมีความสามารถในการใส่จุดหลังชื่อได้อีก ซึ่งจะทำให้เรียกใช้งานได้ในหลายรูปแบบ ตัวอย่างเช่น P3.3 จะเหมือนกับ INT1 (คือ SFR ชื่อ P3 บิตที่ 3), PSW.7 จะเหมือนกับ CY นั่นเอง

6.2.4 Boolean Processor ต้องใช้ให้คุ้ม

MCS-51 มีความสามารถในเรื่องบิตที่ดีมาก ซึ่งจะต้องนำมาใช้ประโยชน์ให้คุ้มค่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของการกำหนด Flag ต่าง ๆ พื้นที่ใน Internal RAM ส่วนหนึ่งคือ 20-2FH (16 Byte, 128 Bit) และพื้นที่ SFR ที่มี Address ลงท้ายด้วย 0 และ 8 จะสามารถอ้างอิงถึงในระดับบิตได้ เปรียบเสมือนมี Register 1 บิต ซึ่งนำมาเปรียบเทียบได้, move ได้, กำหนดให้เป็น 0 หรือ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ รวมทั้งทำการ Jump ตามค่าบิตนั้น ๆ ได้ด้วย การใช้งาน MCS-51 โดยไม่ได้ใช้คำสั่งเกี่ยวกับ บิตเลย คงจะเป็นเรื่องแปลกทีเดียว

6.2.5 ใช้ Register ขนาด 16 บิตอย่างเหมาะสม

หลายคนคงรู้สึกอึดอัดใจกับ MCS-51 ในเรื่องการอ้างอิง Address แบบ 16 บิต ซึ่งมี DPTR เพียงตัวเดียวและยังทำการ Increment ได้อย่างเดียว โดยไม่สามารถ Decrement ได้ ในเรื่องนี้ถ้าเราใช้ External RAM เพื่อการเก็บข้อมูลอย่างเหมาะสม ก็จะไม่รู้สึกถึงปัญหานี้แต่อย่างใด MCS-51 ได้ออกแบบโดยให้ใช้งานที่ Internal RAM เป็นหลัก เพราะฉะนั้นไม่ต้องคิดมาก พยายาม ใช้งานให้สอดคล้องตามที่ออกแบบมา

6.2.6 อักษรที่ต้องจำให้ขึ้นใจ (# และ @)

ในภาษา Assembly ของ MCS-51 อักษรทั้ง 2 ตัวนี้จะพบบ่อย ๆ และมักจะทำให้ผู้เริ่ม สับสนได้พอสมควรอักษร # จะใช้แทนค่าคงที่ เช่น คำสั่ง MOV A,#40H คือการนำค่า 40H เก็บไว้ใน Register A ถ้าไม่ได้ใส่อักษร # ไว้ก็จะเป็น MOV A,40H ซึ่งจะมีการทำงานไปคนละเรื่องเลย คือการนำค่าจาก Internal RAM ตำแหน่งที่ 40H ไปไว้ใน Register A ส่วนอักษร @ จะใช้ใน ความหมายของ In-direct คือการอ้างอิงหน่วยความจำผ่านทาง Register อื่นๆ เช่น MOV A,@R0 คือการนำค่าใน Internal RAM ที่ถูกชี้ด้วย R0 มาเก็บไว้ใน Register A หรือเช่น MOVX A,@DPTR คือการนำค่าใน Data Memory ที่ถูกชี้ด้วย DPTR มาเก็บไว้ใน Register A

6.2.7 คำสั่งที่อาจจะสับสนได้

คำสั่งของ MCS-51 หลายคำสั่งที่ให้ความหมายไม่เหมือนกับคำสั่งของชิพตระกูลอื่น ๆ (โดยเฉพาะ Z80) ซึ่งอาจจะทำให้สับสนได้ พอจะรวบรวมได้ดังนี้

คำสั่ง RLC และ RL หมายถึงการ Rotate Left แบบผ่าน Carry และไม่ผ่าน Carry ตามลำดับ (Z80 จะให้ความหมายตรงข้ามกันเลย)

คำสั่ง JNZ และ JZ หมายถึงการกระโดดไป เมื่อ A ไม่เท่ากับ 0 และ A เท่ากับ 0 ตามลำดับ สำหรับ MCS-51 จะตรวจสอบจากค่า A โดยตรง คือไม่ได้มี Zero flag เหมือน Z80 เพราะฉะนั้นจะใช้ที่จุดใด ต้องแน่ใจว่าก่อนหน้านั้นมีการกระทำกับ Register A เสียก่อน

คำสั่ง SUBB หมายถึงคำสั่งลบเลข โดยใน MCS-51 จะสนใจค่า Carry ด้วยเสมอ คือถ้า เป็นการเริ่มต้นลบ จะต้องทำการ Clear Carry (CLR C) ก่อนเสมอ

คำสั่ง CJNE หมายถึงการ Compare ซึ่งจะทำการกระโดดไป เมื่อค่าไม่เท่า แต่ถ้าจะ กระทำการเปรียบเทียบในเชิงค่ามากกว่า,น้อยกว่า ก็ทำได้เช่นเดียวกัน โดยการให้กระโดดไปยัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรทัดต่อไปและใช้คำสั่ง JNC และ JC ได้ตามต้องการ (ไม่สามารถใช้ JNZ และ JZ ได้) ตัวอย่างเช่น

	CJNE A,B,\$+3	(อักษร \$+3 เป็นการบอกให้ตัวแปลรับรู้ โดยอ้างถึงตำแหน่ง ณ คำสั่งนี้ บวกไปอีก 3 Byte)
	JNC ...	ให้กระโดดไปที่ ... ถ้า $A < B$
หรือ	JC ...	ให้กระโดดไปที่ ... ถ้า $A \Rightarrow B$

6.2.8 Interrupt เลือกใช้ให้เหมาะสม

เนื่องจาก MCS-51 มีโครงสร้างการ Interrupt ให้ใช้จากแหล่งหลาย ๆ อย่าง จึงทำให้ผู้เขียนโปรแกรมมีทางเลือกวิธีการใช้ได้มากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตาม ใน Interrupt Routine จะต้องพยายามทำให้กระชับ และทำงานอย่างรวดเร็วที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ในระหว่างที่ทำงานอยู่ใน Interrupt Routine นี้ ถ้าเกิดมีกรณีการ Interrupt ซ้อนกันอีกครั้ง ระบบจะไม่ตอบสนองการ Interrupt นั้น ๆ จนกว่าจะจบการทำงานของ Routine ที่มีกำลังทำอยู่ (คือเจอคำสั่ง RETI) การ Interrupt ซ้อนกัน 1 ครั้งจะไม่มีปัญหาใด ๆ กับระบบ เพราะ MCS-51 จะยังคงตอบสนองได้ครบถ้วน แต่ถ้ามีการ Interrupt ซ้อนกันมากกว่า 1 ครั้ง (หมายถึงจากแหล่งเดียวกัน) ก็จะทำให้การตอบสนองผิดพลาดไปได้

6.2.9 P0,P1,P2,P3 ... ใช้เป็น Active Low ให้หมด

เมื่อเปิดไฟเข้าระบบ หรือเมื่อทำงาน Reset ตัว MCU แล้ว ขาสัญญาณทั้ง 4 Port จะมีสถานะเป็น 1 เสมอ เพราะฉะนั้น ถ้ามีการนำขาสัญญาณไปขับวงจรใด ๆ แล้ว ต้องคำนึงเสมอว่าให้วงจรทำงานแบบ Active Low คือทำงานเมื่อเป็น 0 เช่นถ้านำไปขับวงจร Relay วงจรนี้จะทำให้ Relay ON เมื่อเป็น 0 ด้วยการออกแบบที่ถูกต้องนี้ จะช่วยให้งานมีความสมบูรณ์ในการใช้งานเป็นอย่างดี

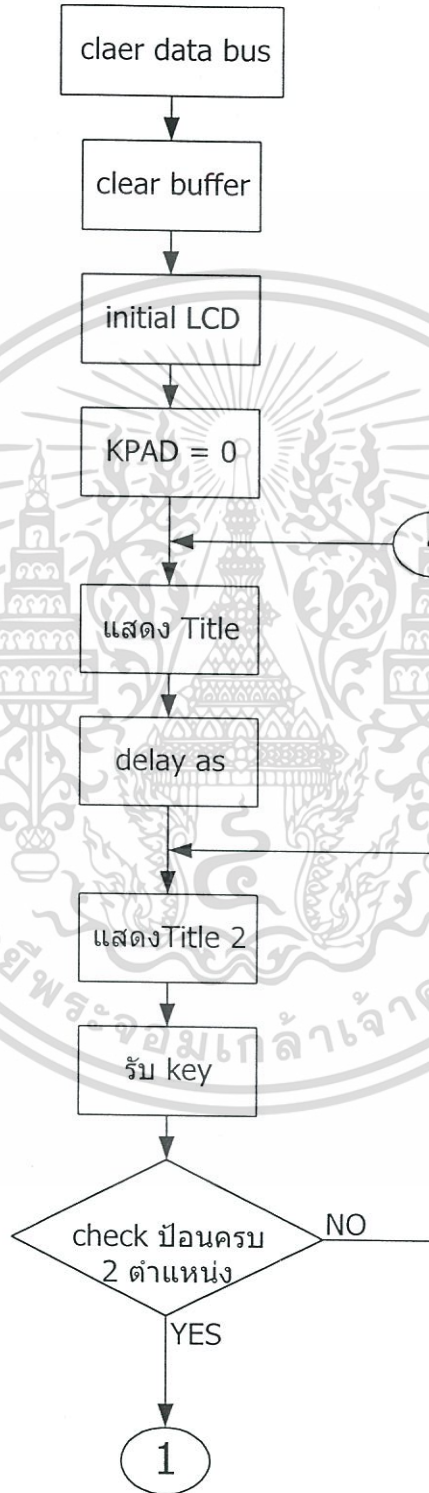
6.2.10 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ก็คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์

ความหมายของข้อนี้ก็คือ ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานของมันอย่างที่เราควรเป็น ถ้าจะทำระบบที่ซับซ้อนมากๆ หรือมีการเก็บข้อมูลอย่างมหาศาล หรือมีความเร็วสูงแบบไม่เห็นฝุ่น บางทีอาจจะต้องทบทวนก่อนว่า ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถทำได้อย่างที่ต้องการหรือไม่ เพราะชื่อของมันก็บอกอยู่แล้วว่า สำหรับการ Control หรือการควบคุมนั่นเอง การนำไปใช้กับระบบที่เกินขอบเขตของมัน อาจจะต้องแยกงานเป็นส่วน ๆ และใช้ MCU หลาย ๆ ตัวช่วยกันทำงาน หรืออาจจะออกแบบให้ทำงานร่วมกับเครื่อง PC หรือถ้ายังไม่ไหว ก็เปลี่ยนไปใช้ MCU ที่มีขนาดใหญ่ ๆ ตามไปด้วยเลยจะดีกว่า

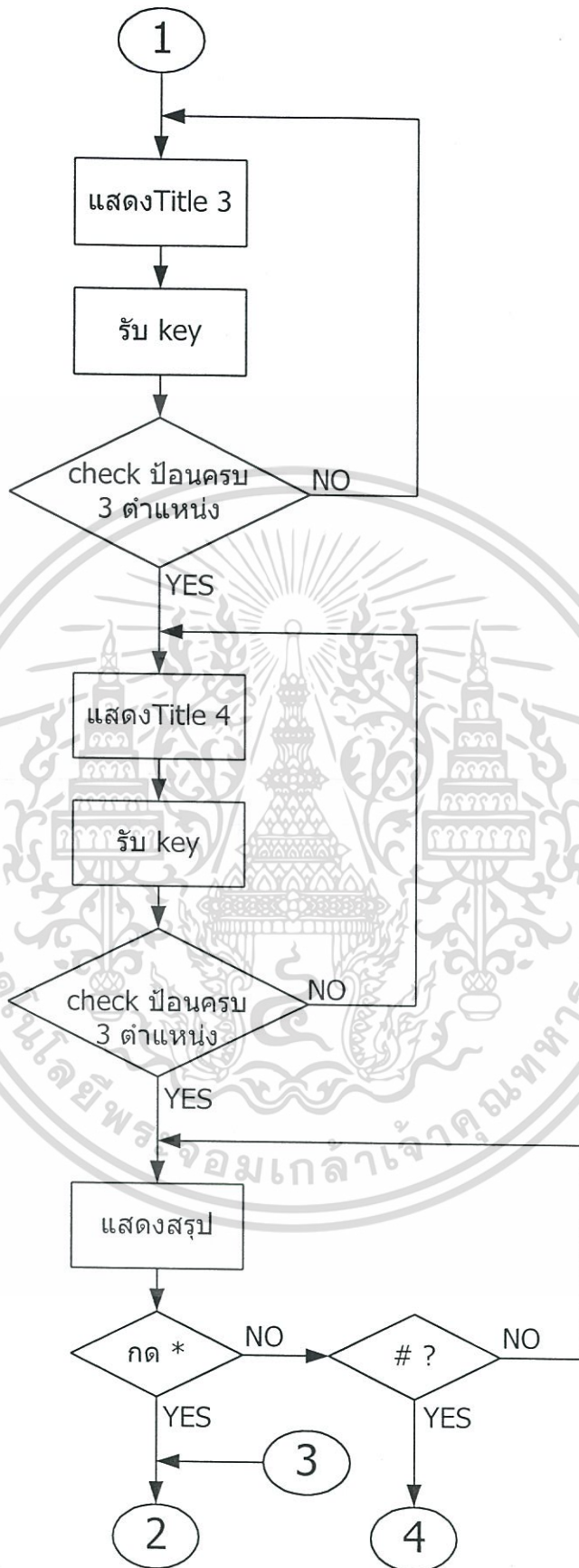
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ใน Level Indicator

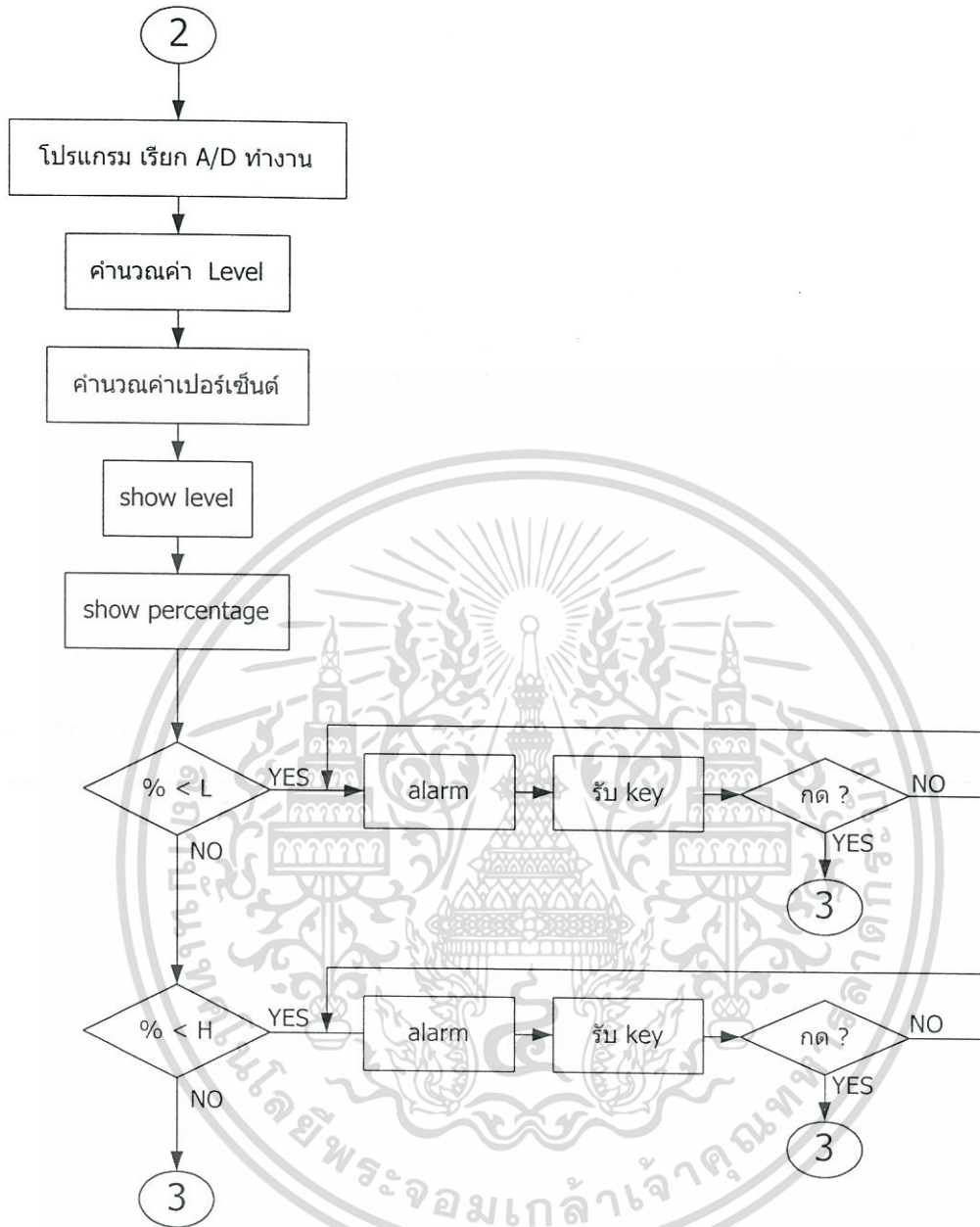
ซึ่งสำหรับในปริิญาณิพนธ์ฉบับนี้ โปรแกรมต่างๆที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะทำการควบคุมโดยใช้ภาษาแอสเซมบลี ซึ่งมีรายละเอียดของโปรแกรมแสดงในภาคผนวก



ภาพที่ 6.1 ไฟล์ซอร์ซแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ใน Level Indicator
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่หรือใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.2 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ใน Level Indicator (ต่อ)
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 6.3 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ใน Level Indicator (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ผลการทดลอง และ สรุปผลการทดลอง

7.1 ผลการทดลอง

เมื่อทำการสร้างเครื่องมือวัดระดับเรียบร้อยแล้ว จึงทำการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น โดยระดับที่ทำการทดสอบจะทำการทดสอบตั้งแต่ 0 – 50 cm. เนื่องจากข้อจำกัดของขนาดถังน้ำที่ใช้ในการทดลอง โดยมีผลแสดงดังตารางด้านล่าง

ตารางที่ 7.1 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น Range 50 cm.

โดยทำการวัดระดับจาก 0 cm. ไปยัง 50 cm.

ระดับของน้ำใน ถังทดลอง (cm.)	ค่าระดับที่วัดได้	ค่าระดับที่วัดได้	ค่าความผิดพลาด	
	(cm.)	(%)	(cm.)	(%)
0	0	0	0	0
1	1	2	0	0
2	1	2	1	2
3	2	4	1	2
4	2	4	2	4
5	3	6	2	4
6	4	7	2	4
7	6	12	1	2
8	7	14	1	2
9	8	16	1	2
10	8	16	2	4
11	9	18	2	4
12	10	20	2	4
13	11	22	2	4
14	13	26	1	2
15	13	16	2	4
16	15	30	1	2
17	15	30	2	4
18	17	34	1	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.2 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น Range 50 cm.

โดยทำการวัดระดับจาก 0 cm. ไปยัง 50 cm. (ต่อ)

ระดับของน้ำใน ถึงทดลอง (cm.)	ค่าระดับที่วัดได้ (cm.)	ค่าระดับที่วัดได้ (%)	ค่าความผิดพลาด	
			(cm.)	(%)
19	18	36	1	2
20	19	38	1	2
21	20	40	1	2
22	21	42	1	2
23	22	44	1	2
24	23	46	1	2
25	24	48	1	2
26	25	50	1	2
27	26	52	1	2
28	27	54	1	2
29	28	56	1	2
30	29	58	1	2
31	30	60	1	2
32	31	62	1	2
33	32	64	1	2
34	33	66	1	2
35	34	68	1	2
36	34	68	2	4
37	35	70	2	4
38	36	72	2	4
39	37	74	2	4
40	39	76	1	2
41	39	78	2	4
42	40	80	2	4
43	41	82	2	4
44	42	84	2	4
45	43	86	2	4
46	44	88	2	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.3 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น Range 50 cm.

โดยทำการวัดระดับจาก 0 cm. ไปยัง 50 cm. (ต่อ)

ระดับของน้ำใน ถึงทดลอง (cm.)	ค่าระดับที่วัดได้ (cm.)	ค่าระดับที่วัดได้ (%)	ค่าความผิดพลาด	
			(cm.)	(%)
47	45	90	2	4
48	46	92	2	4
49	47	94	2	4
50	48	94	1	2

ตารางที่ 7.4 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น Range 50 cm.

โดยทำการวัดระดับจาก 50 cm. ไปยัง 0 cm.

ระดับของน้ำใน ถึงทดลอง (cm.)	ค่าระดับที่วัดได้ (cm.)	ค่าระดับที่วัดได้ (%)	ค่าความผิดพลาด	
			(cm.)	(%)
50	48	96	0	0
49	47	97	0	0
48	46	92	0	0
47	45	90	0	0
46	44	88	0	0
45	43	86	0	0
44	42	84	0	0
43	41	82	0	0
42	40	80	0	0
41	39	78	0	0
40	38	76	0	0
39	37	74	0	0
38	36	72	0	0
37	36	72	1	2
36	35	70	1	2
35	34	68	1	2
34	33	66	1	2
33	33	66	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.5 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น Range 50 cm.

โดยทำการวัดระดับจาก 50 cm. ไปยัง 0 cm. (ต่อ)

ระดับของน้ำใน ถังทดลอง (cm.)	ค่าระดับที่วัดได้ (cm.)	ค่าระดับที่วัดได้ (%)	ค่าความผิดพลาด	
			(cm.)	(%)
32	32	64	0	0
31	31	62	0	0
30	31	62	1	2
29	30	60	1	2
28	29	58	1	2
27	28	56	1	2
26	27	54	1	2
25	27	54	2	4
24	25	50	1	2
23	24	48	1	2
22	23	46	1	2
21	22	44	1	2
20	21	42	1	2
19	20	40	1	2
18	19	38	1	2
17	18	36	1	2
16	17	34	1	2
15	16	32	1	2
14	15	30	1	2
13	15	30	2	4
12	13	26	1	2
11	12	24	1	2
10	11	22	1	2
9	10	20	1	2
8	9	18	1	2
7	8	16	1	2
6	6	12	0	0
5	5	10	0	0

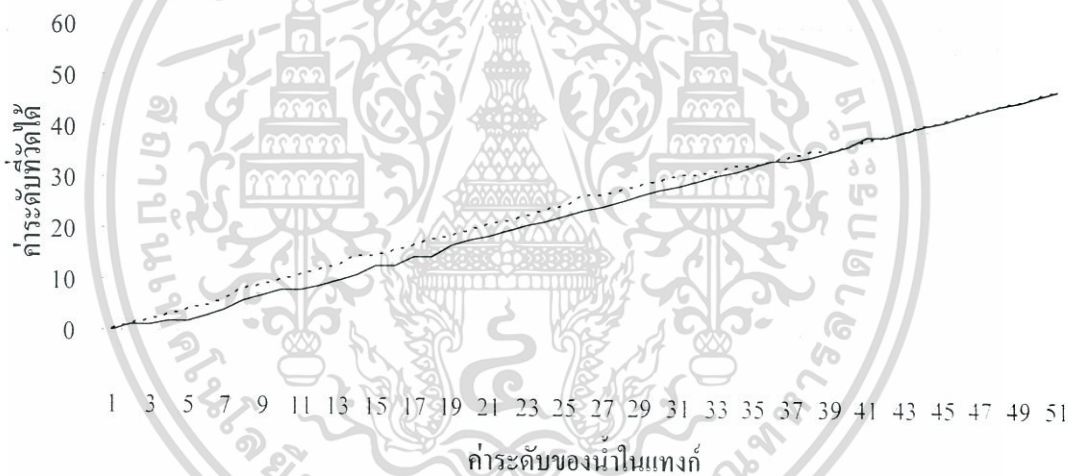
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 7.6 ผลการทดสอบค่าความแม่นยำของเครื่องมือวัดระดับที่จัดสร้างขึ้น Range 50 cm.

โดยทำการวัดระดับจาก 50 cm. ไปยัง 0 cm. (ต่อ)

ระดับของน้ำใน ถังทดลอง (cm.)	ค่าระดับที่วัดได้ (cm.)	ค่าระดับที่วัดได้ (%)	ค่าความผิดพลาด	
			(cm.)	(%)
4	4	8	0	0
3	3	6	0	0
2	2	4	0	0
1	1	2	0	0
0	0	0	0	0



เส้นประ : วัดจาก 0 ไปยัง 50

เส้นทึบ : วัดจาก 50 ไปยัง 0

ภาพที่ 7.1 เปรียบเทียบ Repeativity ของเครื่องมือวัด

7.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

1. อุปกรณ์บางชนิดมีราคาสูง
2. ผู้ทำงานไม่มีความรู้ความเข้าใจที่ดีพอในการทำงาน
3. ในบางขั้นตอนการทำงานมีความยุ่งยากในการทำ
4. ในบางช่วงของย่านการวัดค่าที่ได้ผิดพลาดจากความเป็นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.3 วิธีแก้ไข

1. เลือกใช้อุปกรณ์ชนิดอื่นทดแทนบ้างในบางส่วน
2. สอบถามปัญหาที่เกิดขึ้นจากผู้รู้
3. ขอความช่วยเหลือจากเพื่อนและรุ่นพี่
4. แบ่งส่วนในการคำนวณของโปรแกรมออกเป็นช่วงๆ

7.4 สรุปผลการทดลอง

ผลที่วัดได้ในแต่ละครั้งอาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เนื่องจากถังที่ใช้ในการทำทดลองนั้นไม่มีการบอกระดับทุกช่วงค่าของกรวัด ดังนั้นค่าระดับที่ทำการวัดได้อาจคลาดเคลื่อนจากตัวผู้ที่ทำการอ่านค่า และอุณหภูมิภายนอกซึ่งจะส่งผลต่อค่าความต้านทานของตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ให้ค่าความต้านทานมีค่าสูงขึ้นหรือลดลง

เครื่องมือวัดที่ทำการสร้างขึ้นนี้ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ $\pm 2 \text{ cm}$. หรือ $\pm 4 \%$ ซึ่งจะพบว่าค่าที่ได้นั้นมีความแม่นยำสูงพอสมควร เหมาะแก่การนำไปประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมต่อไป

บรรณานุกรม

- เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์. หลักการของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: วศ.สจล.142
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2541
- ชัมย์พร พจนสุวรรณชัย. ฉัฐพร โพธิ์อ่อน. ศุภชัย พินิจสระวะ. การควบคุมระดับโดยตัวควบคุม
 แบบพีซีซี. กรุงเทพฯ: ปริญญาณิพนธ์ (วศ.บ (การวัดคุม)) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
 เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2540
- ชัยทัต กุลโชควิช. ปัญญวัฒน์ คงสุวรรณ. การควบคุมระดับน้ำในระบบชลประทานด้วย
 คอมพิวเตอร์. กรุงเทพฯ: ปริญญาณิพนธ์ (วศ.บ (เครื่องกล)) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
 เจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2539
- ชัยวัฒน์ ลัมพรจิตรวิไล. วรพจน์ กรมแก้ววัฒนกุล. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์
 MCS-51 แบบแฟลช. กรุงเทพฯ: บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนส์ จำกัด, 2542
- ธีรวัฒน์ ประกอบผล. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริม
 เทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2540
- พรจิตร ประทุมสุวรรณ. เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์. กรุงเทพฯ:
 เรือนแก้วการพิมพ์, 2537
- สมยศ จุณณะปิยะ. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543
- สมศักดิ์ กীরติวุฒิเศรษฐ์. หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สมาคม
 ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542
- สุนทร วิหุสุรพจน์. การโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 8051.
 กรุงเทพฯ: ซีอีเคยูเคชั่น, 2537
- Graf, Rudolf F. Converter and filter circuits. Boston: Newnes, 1997



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

```

;-----;
; Define Port&Pin Name
;-----;

LCD_EN          BIT          P2.6   ; LCD Module Enable (Active High : Level)
LCD_RS          BIT          P2.5   ; LCD Module Register Select
LCD_RW          BIT          P2.4
KPAD_ROW0       BIT          P1.0   ; Keypad Input Row 0
KPAD_ROW1       BIT          P1.1   ; Keypad Input Row 1
KPAD_ROW2       BIT          P1.2   ; Keypad Input Row 2
KPAD_ROW3       BIT          P1.3   ; Keypad Input Row 3
KPAD_COL2       BIT          P1.4   ; Keypad Output Column 2
KPAD_COL1       BIT          P1.5   ; Keypad Output Column 1
KPAD_COL0       BIT          P1.6   ; Keypad Output Column 0

;-----;
; Define User Register
;-----;

LCD_ADDR        EQU          030H   ; For keep LCD Address
LCD_DATA        EQU          031H   ; For keep LCD Data
LCD_PTR         EQU          032H   ; For keep LCD 3 Char Pointer
KPAD_DATA       EQU          033H   ; For keep Keypad Data
BUFFER_1        EQU          034H
BUFFER_2        EQU          035H
BUFFER_3        EQU          036H
BUFFER_4        EQU          037H
BUFFER_5        EQU          038H
BUFFER_6        EQU          039H
BUFFER_7        EQU          03AH
BUFFER_8        EQU          03BH

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLAG	EQU	02FH
KEYPRESSED	BIT	FLAG.0
R_SHF	BIT	FLAG.1
S1	BIT	FLAG.2
S2	BIT	FLAG.3
S3	BIT	FLAG.4

; Main Program.

```

START:
    ORG    0000H                ; Reset Vector
    MOV    P0,#00000000B       ; Clear Databus
    MOV    P1,#11111111B
    MOV    R0,#0
    MOV    BUFFER_1,#0
    MOV    BUFFER_2,#0
    MOV    BUFFER_3,#0
    MOV    BUFFER_4,#0
    MOV    BUFFER_5,#0
    MOV    BUFFER_6,#0
    MOV    BUFFER_7,#0
    MOV    BUFFER_8,#0
    MOV    FLAG,#0

    ACALL  INIT_LCD
    MOV    KPAD_DATA,#0
    MOV    LCD_ADDR,#000H
    ACALL  SET_ADDR_LCD
    MOV    DPTR,#TITLE
    ACALL  WRLINE_LCD
  
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อ DELAY_1s เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                ACALL    DELAY_1s

T1:             MOV     LCD_ADDR,#000H
                ACALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     DPTR,#TITLE_1
                ACALL   WRLINE_LCD

GET_1:         ACALL   GET_KPAD
                MOV     A,KPAD_DATA
                CJNE   A,#0CH,SCAN_1
                AJMP   START

SCAN_1:        JZ     NEXT_1
                JB     KEYPRESSED, TOP_1
                SETB   KEYPRESSED

LEFT_SHIFT_1:  MOV     BUFFER_2,BUFFER_1
                MOV     BUFFER_1,KPAD_DATA
                AJMP   TOP_1

NEXT_1:        CLR     KEYPRESSED

TOP_1:         MOV     LCD_ADDR,#044H
                ACALL   SET_ADDR_LCD
                MOV     A,BUFFER_2
                MOV     B,A
                MOV     DPTR,#DATA
                MOVC   A,@A+DPTR
                MOV     40H,A
                MOV     LCD_DATA,A
                ACALL   WRCHAR_LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      LCD_ADDR,#045H
ACALL   SET_ADDR_LCD
MOV      A,BUFFER_1
MOV      B,A
MOV      DPTR,#DATA
MOVC    A,@A+DPTR
MOV      41H,A
MOV      LCD_DATA,A
ACALL   WRCHAR_LCD

MOV      R0,BUFFER_2
CJNE    R0,#0,D1
AJMP    GET_1
D1:     ACALL  DELAY_1s
        AJMP   T2
T2:     MOV     R0,#0
        MOV    LCD_ADDR,#000H
        ACALL SET_ADDR_LCD
        MOV    DPTR,#TITLE_2
        ACALL WRLINE_LCD

GET_2:   ACALL  GET_KPAD
        MOV    A,KPAD_DATA
        CJNE  A,#0CH,SCAN_2
        AJMP  START

SCAN_2: JZ     NEXT_2
        JB    KEYPRESSED,TOP_2
        SETB  KEYPRESSED

```

```

LEFT_SHIFT_2: MOV    BUFFER_5,BUFFER_4

```

```

MOV        BUFFER_4,BUFFER_3
MOV        BUFFER_3,KPAD_DATA
AJMP      TOP_2

NEXT_2:    CLR        KEYPRESSED

TOP_2:     MOV        LCD_ADDR,#044H
          ACALL      SET_ADDR_LCD
          MOV        A,BUFFER_5
          MOV        B,A
          MOV        DPTR,#DATA
          MOVC       A,@A+DPTR
          MOV        42H,A
          MOV        LCD_DATA,A
          ACALL      WRCHAR_LCD
          MOV        LCD_ADDR,#045H
          ACALL      SET_ADDR_LCD
          MOV        A,BUFFER_4
          MOV        B,A
          MOV        DPTR,#DATA
          MOVC       A,@A+DPTR
          MOV        43H,A
          MOV        LCD_DATA,A
          ACALL      WRCHAR_LCD

          MOV        LCD_ADDR,#046H
          ACALL      SET_ADDR_LCD
          MOV        A,BUFFER_3
          MOV        B,A
          MOV        DPTR,#DATA

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      44H,A
MOV      LCD_DATA,A
ACALL    WRCHAR_LCD
MOV      R0,BUFFER_5
CJNE     R0,#0,D2
AJMP     GET_2
D2:      ACALL    DELAY_1s
AJMP     T3

T3:      MOV      R0,#0
MOV      LCD_ADDR,#000H
ACALL    SET_ADDR_LCD
MOV      DPTR,#TITLE_3
ACALL    WRLINE_LCD
GET_3:   ACALL    GET_KPAD
MOV      A,KPAD_DATA
CJNE     A,#0CH,SCAN_3
JMP      START
SCAN_3:  JZ        NEXT_3
JB       KEYPRESSED, TOP_3
SETB     KEYPRESSED

LEFT_SHIFT_3: MOV    BUFFER_8,BUFFER_7
MOV      BUFFER_7,BUFFER_6
MOV      BUFFER_6,KPAD_DATA
AJMP     TOP_3

NEXT_3:  CLR      KEYPRESSED

```

```

ACALL    SET_ADDR_LCD
MOV      A,BUFFER_8
MOV      B,A
MOV      DPTR,#DATA
MOVC     A,@A+DPTR
MOV      45H,A
MOV      LCD_DATA,A
ACALL    WRCHAR_LCD

```

```

MOV      LCD_ADDR,#045H
ACALL    SET_ADDR_LCD
MOV      A,BUFFER_7
MOV      B,A
MOV      DPTR,#DATA
MOVC     A,@A+DPTR
MOV      46H,A
MOV      LCD_DATA,A
ACALL    WRCHAR_LCD

```

```

MOV      LCD_ADDR,#046H
ACALL    SET_ADDR_LCD
MOV      A,BUFFER_6
MOV      B,A

```

```

MOV      DPTR,#DATA
MOVC     A,@A+DPTR
MOV      47H,A
MOV      LCD_DATA,A
ACALL    WRCHAR_LCD
MOV      R0,BUFFER_8
CJNE    R0,#0,D3
AJMP     GET_3

```

```

ACALL    DELAY_1s

```

D3: เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

T4:      AJMP      T4
        MOV      R0,#0
        MOV      LCD_ADDR,#000H
        ACALL   SET_ADDR_LCD
        MOV      DPTR,#TITLE_4
        ACALL   WRLINE_LCD

        MOV      LCD_ADDR,#001H
        ACALL   SET_ADDR_LCD
        MOV      A,40H
        MOV      LCD_DATA,A
        ACALL   WRCHAR_LCD
        MOV      LCD_ADDR,#002H
        ACALL   SET_ADDR_LCD
        MOV      A,41H
        MOV      LCD_DATA,A
        ACALL   WRCHAR_LCD
        MOV      LCD_ADDR,#007H
        ACALL   SET_ADDR_LCD
        MOV      A,42H
        MOV      LCD_DATA,A
        ACALL   WRCHAR_LCD

        MOV      LCD_ADDR,#040H
        ACALL   SET_ADDR_LCD
        MOV      A,43H
        MOV      LCD_DATA,A
        ACALL   WRCHAR_LCD

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL    SET_ADDR_LCD
MOV      A,44H
MOV      LCD_DATA,A
ACALL    WRCHAR_LCD

MOV      LCD_ADDR,#044H
ACALL    SET_ADDR_LCD
MOV      A,45H
MOV      LCD_DATA,A
ACALL    WRCHAR_LCD

MOV      LCD_ADDR,#045H
ACALL    SET_ADDR_LCD
MOV      A,46H
MOV      LCD_DATA,A
ACALL    WRCHAR_LCD

MOV      LCD_ADDR,#046H
ACALL    SET_ADDR_LCD
MOV      A,47H
MOV      LCD_DATA,A
ACALL    WRCHAR_LCD
ACALL    DELAY_1s

```

```

O:       ACALL    GET_KPAD
        MOV      A,KPAD_DATA
        CJNE     A,#0CH,W1
        AJMP     START
W1:      CJNE     A,#0AH,O
        AJMP     T5

```

```

T5:      MOV      LCD_ADDR,#000H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการวิจัยเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

ACALL    SET_ADDR_LCD
MOV      DPTR,#TITLE_5
ACALL    WRLINE_LCD

ACALL    GET_KPAD
MOV      A,KPAD_DATA
CJNE    A,#0CH,T5
AJMP    START

```

```

;-----
; LCD Initialize
;-----
INIT_LCD:
ACALL    DELAY_100ms    ; Delay
CLR      LCD_RS
CLR      LCD_RW
CLR      LCD_EN
MOV      P0,#00000001B
ACALL    LCD_CLK
MOV      P0,#00111000B
ACALL    LCD_CLK
MOV      P0,#00001100B
ACALL    LCD_CLK
MOV      P0,#00000110B
ACALL    LCD_CLK

;-----
; LCD Clear Display
;-----
LCD_CLR:
CLR      LCD_RS    ; Clear LCD_RS Pin
MOV      P0,#00000001B    ; Display Clear
ACALL    LCD_CLK    ; Pulse LCD Clock

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
-----
; LCD Return Home
-----
```

```
LCD_HOME:      CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
               MOV      P0,#00000010B  ; Return Home
               ACALL   LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
               RET
```

```
-----
; LCD Display Off
-----
```

```
LCD_OFF:      CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
               MOV      P0,#00001000B  ; Display Off
               ACALL   LCD_CLK      ; Pulse LCD Clock
               RET
```

```
-----
; LCD Clk
-----
```

```
LCD_CLK:      SETB     LCD_EN      ; Pulse Clock to LCD_EN
               ACALL   LCD_DELAY
               CLR      LCD_EN
               ACALL   LCD_DELAY
               RET
```

```
-----
; LCD Display On
-----
```

```
LCD_ON:      CLR      LCD_RS      ; Clear LCD_RS Pin
               MOV      P0,#00001100B  ; Display On
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RET

; Set LCD Address

; I/P: LCD_ADDR

SET_ADDR_LCD: CLR LCD_RS ; Clear LCD_RS Pin
MOV A,LCD_ADDR ; Move LCD_ADDR to ACC.
SETB ACC.7 ; Set bit ACC.7
MOV P0,A ; Move to DATABUS
ACALL LCD_CLK ; Pulse LCD Clock
RET

; Write Character to show LCD

; I/P: LCD_DATA

WRCHAR_LCD: SETB LCD_RS ; Set LCD_RS Pin
MOV P0,LCD_DATA ; Move LCD_DATA to
DATABUS
ACALL LCD_CLK ; Pulse LCD Clock
ACALL LCD_ON ; Display On
RET

; Write Line of 16 Character from ROM

; I/P: DPTR : Locate ROM Address

WRLINE_LCD: MOV R0,#0 ; Clear loop counter
WRLINE_LCD_1: SETB LCD_RS ; Set LCD_RS Pin
CLR A ; Clear ACC.
MOVC A,@A+DPTR ; Move data from @DPTR to ACC.
MOV P0,A ; Move ACC to DATABUS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DJNZ      R7,LCD_DELAY_1
RET

DELAY_10ms:  MOV      R7,#010           ; Do 10 times
DELAY_10ms_1: MOV      R6,#0E6H        ; Each loop = 1 ms
DELAY_10ms_2: NOP
NOP
DJNZ      R6,DELAY_10ms_2
DJNZ      R7,DELAY_10ms_1
RET

DELAY_100ms: MOV      R7,#100         ; Do 100 times
DELAY_100ms_1: MOV     R6,#0E6H        ; Each loop = 1 ms
DELAY_100ms_2: NOP
NOP
DJNZ      R6,DELAY_100ms_2
DJNZ      R7,DELAY_100ms_1
RET

DELAY_1s:   MOV      R5,#100          ; Do 100 times
DELAY_1s_1: ACALL    DELAY_10ms
DJNZ      R5,DELAY_1s_1
RET

```

```

;-----
;Define Constant < Store in Flash EEPROM Program Memory >
;-----
;          0123456789ABCDEF

```

```

TITLE:      DB          'LEVEL INDICATOR '
TITLE_1:    DB          'ENTER RANGE: CM'
TITLE_2:    DB          'ENTER ALM L: '%

```

```

TITLE_3:      DB      'ENTER ALM H:  %'
TITLE_4:      DB      'R CML %H %'
TITLE_5:      DB      '****SUCCESS****'
DATA         DB      ',1','2','3','4','5','6','7'
              DB      '8','9','*','0','#'

```

```
-----
```

```
; Keypad Scan key Subroutine
```

```
-----
```

```

GET_KPAD:    MOV      P1,#0FFH      ; Pull P2 to High
              MOV      KPAD_DATA,#0  ; Clear Keypad Data

CHK_COL0:    CLR      KPAD_COL0      ; Begin Scan Column 0
              MOV      A,P1          ; Get Port2 Value
              ANL      A,#00FH       ; Get only lower 4 bit
              CJNE     A,#00FH,COL0_DETECT ; Check All rows '1'?
              AJMP     CHK_COL1      ; All rows '1' => check next column

COL0_DETECT: MOV      KPAD_DATA,#01   ; Initial KPAD_DATA = 1
              AJMP     GET_ROW        ; Jump to get row value

CHK_COL1:    SETB     KPAD_COL0      ; Stop Scan Column 0
              CLR      KPAD_COL1     ; Begin Scan Column 1
              MOV      A,P1          ; Get Port2 Value
              ANL      A,#00FH       ; Get only lower 4 bit
              CJNE     A,#00FH,COL1_DETECT ; Check All rows '1'?
              AJMP     CHK_COL2      ; All rows '1' => check next column

COL1_DETECT: MOV      KPAD_DATA,#02   ; Initial KPAD_DATA = 2
              AJMP     GET_ROW        ; Jump to get row value

CHK_COL2:    SETB     KPAD_COL1     ; Stop Scan Column 1

```

```

CLR      KPAD_COL2      ; Begin Scan Column 2
MOV      A,P1           ; Get Port2 Value
ANL      A,#00FH       ; Get only lower 4 bit
CJNE     A,#00FH, COL2_DETECT ; Check All rows '1'?
RET      ; All rows '1' => return

COL2_DETECT:  MOV      KPAD_DATA,#03      ; Initial KPAD_DATA = 2

GET_ROW:     CLR      KPAD_COL0      ; Enable all Column to find
Crosspoint

CLR      KPAD_COL1      ;
CLR      KPAD_COL2      ;
JB       KPAD_ROW0,CHK_ROW1 ; Check Row 0 Detect?
RET      ; Row 0 Detect => return

CHK_ROW1:   JB       KPAD_ROW1,CHK_ROW2 ; Check Row 2 Detect?
MOV      A,KPAD_DATA    ; Add 3 with KPAD_DATA
ADD      A,#3           ;
MOV      KPAD_DATA,A    ;
RET      ; Return

CHK_ROW2:   JB       KPAD_ROW2,CHK_ROW3 ; Check Row 2 Detect?
MOV      A,KPAD_DATA    ; Add 6 with KPAD_DATA
ADD      A,#6           ;
MOV      KPAD_DATA,A    ;
RET      ; Return

CHK_ROW3:   MOV      A,KPAD_DATA    ; Add 9 with KPAD_DATA
ADD      A,#9           ;
MOV      KPAD_DATA,A    ;
RET      ; Return

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้