

อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพลม ฝน และแดด
DETECTOR FOR WIND RAIN AND SUNLIGHT



โดย

นางสาวทิพรัตน์ เจนวิริยะกุล

นางสาวปลอบขวัญ เวฬุสุวรรณ

นางสาวสิรินดา โมไนยกุล

รับ
วันที่ 21
ปี 2546

เลขหม.....
เลขทะเบียน..... 46248
วัน, เดือน, ปี 21 ส.ค. 2546

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพลม ฝน และแดด
DETECTOR FOR WIND RAIN AND SUNLIGHT

โดย

นางสาวทิพรัตน์ เจนวนิธิกุล เลขประจำตัว 41014161

นางสาวปlobขวัญ เวฬุสุวรรณ เลขประจำตัว 41014264

นางสาวสิรินภา โมไฉนกุล เลขประจำตัว 41014463

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.พิชัย กุศิริวานิชกร

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทชั้นปีการศึกษา 2544

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพลม ผน และแดด

ผู้จัดทำ

1. นางสาวทิพรัตน์ เจนวิริยะกุล เลขประจำตัว 41014161
2. นางสาวปตอบขวัญ เวฬุสุวรรณ เลขประจำตัว 41014264
3. นางสาวสิรินภา โมไนยกุล เลขประจำตัว 41014463

ลงชื่อ.....

(ผศ.พิชัย คูศิริวานิชกร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง (ภาษาไทย) อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพลม ฝน และแดด
(ภาษาอังกฤษ) DETECTOR FOR WIND RAIN AND SUNLIGHT

จัดทำโดย

1. นางสาวทิพรัตน์ เจนวิริยะกุล เลขประจำตัว 41014161
2. นางสาวปlobขวิญ เวฬุสุวรรณ เลขประจำตัว 41014264
3. นางสาวสิรินภา โมไนยกุล เลขประจำตัว 41014463

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบ โดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผศ.พิชัย ฤทธิวิณิชกร)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพลม ฝน และแดด

นางสาวทิพรัตน์ เจนวิริยะกุล
นางสาวปlobขวัญ เวฬุสุวรรณ
นางสาวสิรินภา โมไนยกุล
ผศ.พิชัย คูศิริวานิชกร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนออุปกรณ์ตรวจสอบสภาพอากาศ 3 ชนิด คือ ลม ฝน และแสงแดด โดยมีเซนเซอร์เป็นตัวตรวจสอบ ให้แสดงผลความเร็วลมในหน่วย “ m/s ” แสดงปริมาณน้ำฝนในหน่วย “ มิลลิเมตร ” และแสดงผลความสว่างของแสงแดดในหน่วย “ Lux ” ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 (89C51) เป็นหน่วยประมวลผล และแสดงผลที่ได้ผ่านทางจอ LCD โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบนี้อาศัยหลักการและแนวทางอ้างอิงมาจากอุปกรณ์ตรวจสอบที่ใช้ในกรมอุตุนิยมวิทยา

DETECTOR FOR WIND RAIN AND SUNLIGHT

Miss Tipparat Chenwiryakul

Miss Plobkwan Werusuwan

Miss Sirinpa Monaiyakul

Prof. Assist. Pichai Koosirivanichakorn
(adviser)

Educational Year 2001

Abstract

This thesis presents the detector for wind, rain and sunlight detected by sensors. The detector can display the speed of wind in the unit “ m/s ”, rain measurement in the unit “ millimeter ” and the sunlight illumination in the unit “ Lux ”. It uses MCS-51 family microcontroller (89C51) as a processing unit and displays the result via LCD. In addition, the detector is referred to the weather measurement instruments and information of Meteorological Department.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตและขีดความสามารถของโครงการ	1
บทที่ 2 ส่วนตรวจสอบลม	
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับลม	3
2.1.1 ร่องมรสุม	3
2.1.2 พายุหมุนเขตร้อน	3
2.1.3 ทิศทางของลม	4
2.1.4 ความสำคัญของทิศทางของลม	4
2.2 การวัดลมผิวพื้น	5
2.2.1 กล่าวโดยทั่วไป	5
2.2.2 การบันทึกที่ความเร็วลม	5
2.2.3 การวัดความเร็วลม	7
2.3 การวัดความเร็วลมและการคาดคะเนความเร็วลม	14
2.4 ขั้นตอนการสร้างส่วนตรวจสอบลม	14
2.5 วงจรตรวจสอบความเร็วลม	18
2.6 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความถี่	19
เอาที่พู่ทของวงจรตรวจสอบลม	
2.7 ทฤษฎี Simple Linear Regression	20
บทที่ 3 ส่วนตรวจสอบฝน	
3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับฝน	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
3.1.1 ผน	21
3.1.2 ปริมาณน้ำฝน	21
3.1.3 ความแรงของฝน	22
3.2 การวัดหยาดน้ำฟ้าและการระเหยของน้ำ	22
3.2.1 ข้อกำหนดโดยทั่วไป	22
3.2.2 หน่วยที่ใช้ในการวัด	22
3.2.3 การวัดจำนวนน้ำฝน	23
3.2.4 การติดตั้งเครื่องมือ	24
3.2.5 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก	24
3.2.6 หลักการการทำงานเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก	24
3.3 การสร้างเครื่องวัดน้ำฝน	26
3.4 การคำนวณในการสอบเทียบเครื่องตรวจสอบฝน	29
3.5 วงจรในส่วนตรวจสอบฝน	29
บทที่ 4 ส่วนตรวจสอบแสง	
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์และโลก	30
4.2 มุมพื้นฐานในการส่องสว่างของดวงอาทิตย์	32
4.2.1 Declination	32
4.2.2 Hour Angle	38
4.2.3 Altitude and Azimuth Angles	39
4.3 ทฤษฎี Photovoltaic Cells หรือเซลล์แสงอาทิตย์	43
4.4 การตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของ Solar Cells	44
4.5 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของ Solar Cells	45
4.6 สรุปผลการตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของ Solar Cells	47
บทที่ 5 ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	
5.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51	48
5.1.1 การจัดขาและลักษณะภายนอกของ AT89C51	48
5.1.2 การจัดหน่วยความจำและการเชื่อมต่อ	50
5.1.3 หน่วยความจำข้อมูล	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
5.1.4 การอินเตอร์รัพท์ใน 89C51	57
5.1.5 พอร์ตอินพุต/เอาต์พุตของ 89C51	59
5.1.6 วงจรนับ/จับเวลา	62
5.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	66
5.3 การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ร่วมกับ อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพอากาศ	68
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์	
6.1 ส่วนตรวจสอบลม	72
6.1.1 ผลการทดลอง	72
6.1.2 สรุป	73
6.1.3 ปัญหาที่พบ	73
6.1.4 แนวทางการแก้ไข	74
6.2 ส่วนตรวจสอบฝน	74
6.2.1 สรุป	74
6.2.2 ปัญหาที่พบ	74
6.2.3 แนวทางการแก้ไข	74
6.3 ส่วนตรวจสอบแสง	75
6.3.1 สรุป	75
6.3.2 ปัญหาที่พบ	75
6.3.3 แนวทางการแก้ไข	75
6.4 แนวทางการพัฒนา	75

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. ข้อมูลเกี่ยวกับแสง

ภาคผนวก ข. ตำแหน่งที่ตั้งของ จังหวัด / เขตต่าง ๆ ในประเทศไทย

ภาคผนวก ค. Data Sheet

ใบรับรองผลการสอบเทียบเครื่องตรวจสอบสภาพอากาศ

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง

เว็บไซต์อ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปลูกภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้แทนความเร็วและทิศทางของลม	6
รูปที่ 2.2 เครื่องวัดลมแบบแผ่นกระดาษ	9
รูปที่ 2.3 เครื่องวัดลมแบบใช้ลูกถ้วยชนิดต่าง ๆ	10
รูปที่ 2.4 เครื่องวัดลมแบบใบพัด	11
รูปที่ 2.5 กระดาษกราฟสำหรับบันทึกรายงาน	12
รูปที่ 2.6 เครื่องวัดลมแบบโรไลน์	13
รูปที่ 2.7 แผ่นเพลาตัดแสดง	15
รูปที่ 2.8 การประกอบแกนหมุนพร้อมแบริ่งของลูกถ้วย	15
รูปที่ 2.9 ฝาครอบท่อที่จะนำมาใส่แกนลูกถ้วย	16
รูปที่ 2.10 การประกอบลูกถ้วย	17
รูปที่ 2.11 วงจรตรวจจับแสงที่ใช้ในการวัดความเร็วลม	18
รูปที่ 2.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตที่วัดได้	19
รูปที่ 3.1 เครื่องวัดฝนแบบคานกระดาษ	25
รูปที่ 3.2 แสดงการทำงานของคานกระดาษ เมื่อน้ำเต็มในคานหนึ่งของคานคานก็จะกระดาษ	25
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของถังรองรับน้ำฝน	26
รูปที่ 3.4 ถังคานกระดาษ	27
รูปที่ 3.5 ภาพคลี่ของตัว Bucket ที่ถ่ายแบบย่อขนาดลง	27
รูปที่ 3.6 การประกอบส่วนของ Bucket	28
รูปที่ 3.7 วงจรตรวจสอบฝน	29
รูปที่ 4.1 แสดงผลของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่มีต่อโลก	30
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก เปรียบเทียบกับของชั้นบรรยากาศ	31
รูปที่ 4.3 แสดงปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาในการคำนวณปริมาณของแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อวัตถุนบนโลก	32
รูปที่ 4.4 มุม Declination	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

	หน้า
รูปที่ 4.5 แสดงฤดูกาลต่างๆของโลก	33
รูปที่ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลง Declination ภายในช่วง 1 ปี	38
รูปที่ 4.7 แสดง Hour Angle	38
รูปที่ 4.8 แสดงมุม Altitude	39
รูปที่ 4.9 แสดงมุม Azimuth	39
รูปที่ 4.10 รูปภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Altitude กับเวลาของวันที่ 25 ตุลาคม 2544 ณ เขตบางนา	42
รูปที่ 4.11 รูปภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Azimuth กับเวลาของวันที่ 25 ตุลาคม 2544 ณ เขตบางนา	42
รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอน	43
รูปที่ 4.13 แสดงวงจรเสมือนในทางอุดมคติของ Solar Cells	44
รูปที่ 4.14 แสดงวงจรตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของ Solar Cells	45
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงแรงดันตกคร่อม Solar Cell (Volts) ที่ความสว่างค่า ต่างๆ [ทดลองครั้งที่ 1]	45
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงแรงดันตกคร่อม Solar Cell (Volts) ที่ความสว่างค่า ต่างๆ [ทดลองครั้งที่ 2]	46
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงแรงดันตกคร่อม Solar Cell (Volts) ที่ความสว่างค่า ต่างๆ [ทดลองครั้งที่ 3]	46
รูปที่ 5.1 ตำแหน่งของหน่วยความจำทั้งแบบไบต์และแบบบิต	51
รูปที่ 5.2 แผนภาพโครงสร้างระบบอินเทอร์รัพท์ของ 89C51	58
รูปที่ 5.3 วงจรภายในของพอร์ตทุกพอร์ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบ Flash	60
รูปที่ 5.4 ไดอะแกรมการทำงานของไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์โหมด 0	63
รูปที่ 5.5 ไดอะแกรมการทำงานของไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์โหมด 1	64
รูปที่ 5.6 ไดอะแกรมการทำงานของไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์โหมด 2	64
รูปที่ 5.7 ไดอะแกรมการทำงานของไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์โหมด 3	65
รูปที่ 5.8 แสดงการทำงานแบบ Successive Approximation Register	67
รูปที่ 5.9 Block Diagram การทำงานของอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพอากาศ	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 5.10 Flow Chart แสดงการทำงานของอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพลม ฝน และแสงแดด	69
รูปที่ 5.11 Flow Chart แสดงการอินเตอร์รัพท์ที่เกิดขึ้นในส่วนตรวจสอบฝน	70
รูปที่ 5.12 วงจรในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการประมวลผล	71
รูปที่ 6.1 แสดงกราฟการทดลองสอบเทียบความเร็วลมของอุปกรณ์ส่วนตรวจสอบความเร็วลม	73



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความเร็วลมของโบฟอร์ต	6
ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดความเร็วลม	8
ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความถี่ของสัญญาณ เอาท์พุทที่วัดได้	19
ตารางที่ 4.1 Declination ของดวงอาทิตย์ประจำปี	34
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์	40
ตารางที่ 5.1 แสดงบิตและหน้าที่ต่างๆของพอร์ต 3	49
ตารางที่ 5.2 การจำแนกแอดเดรสรีจิสเตอร์	52
ตารางที่ 5.3 การกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ PSW	53
ตารางที่ 5.4 ความสามารถการอ้างอิงแบบบิตของรีจิสเตอร์	54
ตารางที่ 5.5 ความหมายของโปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (PSW)	56
ตารางที่ 5.6 ความหมายของโปรแกรมพาวเวอร์คอนโทรลเลอร์รีจิสเตอร์ (PCON)	57
ตารางที่ 6.1 แสดงผลการทดลองในการสอบเทียบวัดความเร็วลม	72
ตารางที่ ก-1 ความสว่างของแสงที่เหมาะสมในสถานที่ต่าง ๆ	
ตารางที่ ก-2 ปริมาณแสงที่ได้จากหลอดไฟ 1 หลอด ต่อพลังงานที่ใช้ไป วัดใน หน่วยของลูเมนส์ต่อวัตต์	
ตารางที่ ข แสดงตำแหน่งที่ตั้งของ จังหวัด / เขตต่าง ๆ ในประเทศไทย	

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

จากลักษณะทางกายภาพ เช่น ความเร็วของลม ความแรงของฝน หรือความเข้มของแสงแดดต่างก็สามารถก่อให้เกิดผลกระทบกระบวนการทางวิศวกรรมศาสตร์ หรือการเกษตรได้ ถ้าไม่คำนึงถึงลักษณะทางกายภาพเหล่านี้แล้วก็อาจจะก่อให้เกิดอันตรายต่อกระบวนการต่างๆ ทางวิศวกรรม และผลผลิตทางการเกษตรได้ ดังนั้นเครื่องมือวัดจึงได้จึงได้เข้ามามีบทบาทมากในทางอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม โดยเฉพาะ โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เครื่องมือวัดนั้นเป็นปัจจัยพื้นฐานในกระบวนการผลิต และยังรวมไปถึง เครื่องมือวัดในการศึกษา เครื่องมือวัดแต่ละประเภทจะมีความสามารถแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดของการใช้งาน

โครงการที่จัดทำขึ้นนี้เป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการตรวจสอบสภาพอากาศพื้นฐาน ซึ่งกล่าวถึงเครื่องมือตรวจวัดอากาศพื้นผิวธรรมดาคือเป็นหลัก ประกอบด้วยเครื่องตรวจสอบสภาพลม ฝน และแดด ซึ่งในปัจจุบันเทคโนโลยีมีความก้าวหน้าไปมาก ทำให้เครื่องมือมีความยุ่งยากซับซ้อน รวบรวมทั้งมีราคาแพงจึงเป็นปัญหาในการตรวจสอบสภาพอากาศ

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อจำลองการทำงานของอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพลม ฝน และแดด พร้อมทั้งศึกษาขั้นตอนในการทำงาน และการสร้างชุดเซนเซอร์ที่มีประสิทธิภาพ ที่สามารถตรวจจับความเร็วของลม ปริมาณของฝน และความสว่างของแสงแดดได้ โดยอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพลม ฝน และแดดนี้อาศัยหลักการและแนวทางอ้างอิงมาจากอุปกรณ์ที่ใช้อยู่ในกรมอุตุนิยมวิทยา กระทรวงคมนาคม

1.3 ขอบเขตและขีดความสามารถของโครงการ

โครงการนี้สามารถใช้ตรวจวัดความเร็วของลม ปริมาณของฝน และความสว่างของแสงแดด โดยมีหน่วยประมวลผลคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 89C51 และแสดงผลทางจอ LCD ซึ่งมีรายละเอียดในแต่ละส่วนดังนี้

- ส่วนตรวจสอบลม ได้ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีเกี่ยวกับลมเบื้องต้น แล้วทำการสร้างและทดสอบเครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย (Anemometer) โดยจะทดสอบวัดความเร็วเทียบกับความเร็วของลม (โดยใช้ลมจากอุโมงค์ลมของกรมอุตุนิยมวิทยา) ของ

ตัว Photo Transistor โดยมีแผ่น plate ตัดแสงเป็นตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ สัญญาณเอาต์พุต แล้วนำผลมาคำนวณหาสมการเชิงเส้นโดยหลักการ Simple Linear Regression ประมวลผลในหน่วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำไปแสดงผลความเร็วลม ในหน่วย “m/s”

- ส่วนตรวจสอบฝน ได้ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีเกี่ยวกับฝน รวมทั้งศึกษาปริมาณของฝน ในระดับต่าง ๆ ในหน่วยมิลลิเมตร เพื่อทำการสร้างอุปกรณ์ detect ฝนแบบคานกระดก (Bucket) แล้วทำการ calibrate อุปกรณ์ตรวจสอบฝนนี้ตามทฤษฎีที่กรมอุตุนิยมวิทยา ใช้ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ แล้วนำมาประมวลผลในหน่วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อ แสดงปริมาณน้ำฝนในหน่วย “มิลลิเมตร” ในช่วงเวลาที่ต้องการ
- ส่วนตรวจสอบแสง ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับโลกและมุมพื้นฐาน ในการส่องสว่างของดวงอาทิตย์ โดยมีสมการคำนวณตำแหน่งและมุมต่างพื้นฐานต่าง ๆ ของดวงอาทิตย์ในวันและเวลาต่าง ๆ เพื่อให้รู้ถึงความสัมพันธ์ในการเคลื่อนที่ของ ดวงอาทิตย์ แล้วนำไปใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบแสงต่อไป โดยจะเลือกใช้วัสดุ Solar Cell มาเป็นตัวตรวจจับแสง เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความเป็นเชิงเส้น หาได้ไม่ยาก ราคาไม่แพงนัก และใช้งานได้ง่ายเนื่องจากไม่ต้องป้อนไฟเลี้ยงให้แก่ตัว Solar Cell แล้วทำการวัดหาความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของแสงและแรงดันที่ได้จาก Solar Cell และนำผลมาประมวลผลในหน่วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำไปแสดงผลความ สว่างของแสงแดดในหน่วย “Lux”

บทที่ 2

ส่วนตรวจสอบลม

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับลม

2.1.1 ร่องมรสุม

มีลักษณะเป็นแนวทางพาดขวางทางทิศตะวันตก-ตะวันออก ในร่องมรสุมเป็นบริเวณความกดอากาศต่ำมีกระแสอากาศไหลขึ้นลงสลับกัน ร่องมรสุมจะอยู่ในเขตร้อนแถวใกล้ๆเส้นศูนย์สูตร โดยมีกระแสลมพัดจากบริเวณความกดอากาศสูงที่อยู่ทางซีกโลกเหนือ และซีกโลกใต้เข้าสู่ร่องนี้ มีการเคลื่อนขึ้นลงตามแนวโคจรของดวงอาทิตย์ ความกว้างประมาณ 6-8 องศาละติจูด เป็นบริเวณที่มีเมฆมากและฝนตกอย่างหนาแน่น

2.1.2 พายุหมุนเขตร้อน

พายุหมุนเขตร้อน (Tropical Cyclone) หมายถึง พายุที่เกิดเหนือทะเลหรือมหาสมุทรในเขตร้อน ลักษณะ มีฝนตกเป็นบริเวณกว้างตามแนวทางการเคลื่อนที่ของพายุ มีระบบการหมุนเวียนของลมเข้าหาศูนย์กลางของพายุในทิศทวนเข็มนาฬิกาสำหรับพายุในซีกโลกเหนือ และตามเข็มนาฬิกาสำหรับพายุในซีกโลกใต้ บริเวณศูนย์กลางของพายุจะมีความกดอากาศต่ำ มีลักษณะเป็นวงกลมอากาศในบริเวณนี้จะเป็นอากาศอุ่นและมีความชื้นสูง แหล่งพลังงานที่สำคัญของพายุหมุนเขตร้อนคือความร้อนและความชื้นจากมหาสมุทร พายุจะก่อตัวขึ้นเฉพาะเหนือทะเลและมหาสมุทรเท่านั้น แต่เมื่อก่อตัวขึ้นแล้วอาจเคลื่อนที่เข้าสู่แผ่นดินได้ อุณหภูมิ น้ำทะเลที่เหมาะสมสำหรับการเกิดพายุหมุนเขตร้อนคือตั้งแต่ 27 องศาเซลเซียสขึ้นไป แต่การที่จะเกิดพายุได้นั้นยังต้องมีปัจจัยอื่นๆ ประกอบด้วย เช่น อุณหภูมิและความชื้นของบรรยากาศในระดับความสูงต่างๆ เป็นต้น พายุหมุนเขตร้อนที่เคลื่อนเข้าสู่ประเทศไทยนั้นมีประมาณ 3 ถึง 4 ลูกต่อปี ตามสถิติภูมิอากาศเดือนที่มีพายุเคลื่อนตัวเข้าประเทศไทยมากที่สุดคือเดือนตุลาคมโดยมีค่าเฉลี่ยปีละ 1 ลูก และเดือนที่ยังไม่เคยมีพายุเคลื่อนเข้าประเทศไทยคือเดือนมกราคมถึงมีนาคม

มีการแบ่งกำลังของพายุตามความเร็วลมใกล้ศูนย์กลางไว้ดังนี้

1. พายุดีเปรสชัน (Tropical Depression) มีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางน้อยกว่า 34 นอต หรือ 61 กิโลเมตรต่อชั่วโมง
2. พายุโซนร้อน (Tropical Storm) เป็นพายุที่มีกำลังปานกลาง มีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางระหว่าง 34 ถึง 63 นอต หรือ 62 ถึง 117 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พายุไต้ฝุ่น (Typhoon) เป็นพายุที่มีกำลังแรงที่สุด มีความเร็วลมสูงสุดใกล้ศูนย์กลางตั้งแต่ 64 นอต หรือ 118 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป

พายุหมุนเขตร้อนมีชื่อเรียกต่าง ๆ กันตามบริเวณที่เกิด ในมหาสมุทรอินเดีย เรียกว่า “ไซโคลน” (Cyclone) ในมหาสมุทรแอตแลนติกเหนือและมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันออก เรียกว่า “เฮอริเคน” (Hurricane) ในมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก เรียกว่า “ไต้ฝุ่น” (Typhoon)

2.1.3 ทิศทางของลม

เป็นทิศทางที่ลมพัด ซึ่งทิศทางของลมนี้จะบอกได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า “วินด์ เวน” (Wind Vane) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นลูกศรที่ติดอยู่กับแกนที่หมุนได้รอบตัว หรือบางแห่งจะใช้เป็นพวกผ้าบาง ๆ ที่มีลักษณะเป็นถุง เครื่องมือใช้บอกทิศทางลมนี้มักจะติดตั้งไว้บนที่สูง เพื่อผู้สังเกตสามารถมองเห็นได้ชัด ทิศทางของลมที่พัดยังสามารถนำไปใช้สำหรับเรียกชื่อลมอีกด้วย ตัวอย่างเช่น ลมที่พัดจากทิศเหนือ เราเรียกชื่อนั้นว่า “ลมเหนือ” ลมที่พัดมาจากทิศตะวันออกก็เรียกว่า “ลมตะวันออก” เป็นต้น จากรูปที่ 3.13 เป็นการแสดงทิศทางที่ลมพัดมาจากทิศต่างๆ ลมที่พัดมาตามแนวมุม 180 องศา เรียกว่า “ลมใต้” ลมนี้พัดมาตามแนวมุม 315 องศา คือ “ลมตะวันตกเฉียงใต้” ทิศทางของลมที่พัดจากเมืองหนึ่งไปยังอีกเมืองหนึ่ง จะวัดมุมของลมที่พัดในทิศทางตามเข็มนาฬิกา โดยใช้ทิศเหนือจริงเป็นหลัก ทิศทางของลมแสดงโดยใช้หัวลูกศรบอกทิศทาง

ส่วนลมที่พัดไปปะทะกับด้านหน้าของภูเขานั้น ด้านหน้าของภูเขาที่ตั้งรับลม เรียกว่า “ด้านรับลม” (Windward Side) ส่วนด้านที่อยู่ตรงกันข้ามจะเป็นด้าน “อับลม” (Leeward Side)

2.1.4 ความสำคัญของทิศทางของลม

ทิศทางของลมนับว่ามีความสำคัญมาก ลมที่พัดจากทิศเหนือลงสู่ทิศใต้จะเป็นลมเย็น (ในซีกโลกเหนือ) ลมชนิดนี้จะมีความชื้นน้อยแม้จะพัดผ่านทะเลก็ตาม ทั้งนี้อุณหภูมิของลมเย็นจึงทำให้โอกาสการกลายเป็นไอของน้ำมีน้อย แต่อย่างไรก็ตามแม้ว่าลมนี้จะเป็นลมเย็น โอกาสที่น้ำจะกลายเป็นไอก็มีอยู่บ้าง ตัวอย่างเช่น ชายฝั่งตะวันออกของภาคใต้ของประเทศไทยในช่วงเดือนพฤศจิกายน ธันวาคม หรือเดือนมกราคม ที่มีลมมรสุมฤดูหนาว (ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ) พัดผ่านอ่าวไทยมาจะหอบเอาความชุ่มชื้นมาด้วยทำให้เกิดฝนตกหนักและน้ำท่วมในภาคใต้ในช่วงนี้ได้ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าลมที่พัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่งมักจะทำให้บริเวณชายฝั่งที่ลมพัดผ่านมีความชุ่มชื้น แต่ถ้าบริเวณใดมีลมประจำพัดจากชายฝั่งออกสู่ทะเล บริเวณนั้นจะมีอากาศแห้งแล้ง ทั้งนี้เพราะลมที่พัดผ่านพื้นดินจะมีความชื้นน้อย ซึ่งในบางแห่งจะมีความรุนแรงมากจนทำให้บริเวณนั้น

กลายเป็นทะเลทราย ตัวอย่างเช่น บริเวณทะเลทรายอะตาคามา (Atacama) ในอเมริกาใต้เป็นต้น ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า ทิศทางของลมมีผลต่อองค์ประกอบของอากาศดังนี้คือ

1. มีผลต่ออุณหภูมิของอากาศที่ลมพัดผ่าน
2. มีผลต่อปริมาณน้ำฝน

การบอกทิศทางของลมนอกจากจะใช้ วินด์ เวน (Wind Vane) แล้วในบริเวณที่สูงจากผิวโลกขึ้นไป ตรวจทิศทางลมเบื้องสูงจะใช้ ไพลอท บัลลูน (Pilot Balloon) ในการหยั่งอากาศ ซึ่งจะได้นำไปกล่าวอย่างละเอียดต่อไปในเรื่องการวัดทิศทางลม จากการใช้ ไพลอท บัลลูน (Pilot Balloon) หรือการใช้ เรวินด์ (Rawind) ซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจลมเบื้องสูงโดยใช้ ระบบวิทยุตรวจสอบทิศทางของลม เพื่อใช้ประโยชน์สำหรับการบิน ทั้งนี้บริเวณที่สูงจากพื้นโลกขึ้นไปลมจะพัดแรงในช่วง 2000-6000 ฟุต (700-2000 ม.) นักบินจะทำการติดต่อไปยังทาวอากาศยานเพื่อขอทราบทิศทางของลมที่พัดช่วงต่างๆ เพื่อจะได้เปลี่ยนระดับเพดานบินของเครื่องบินเสียใหม่ เพื่อหลีกเลี่ยงลมที่พัดแรงหรือการบินทวนทิศทางของลม เพราะจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายและเสียเวลาในการบินมาก ตัวอย่างเช่น

ถ้านักบินใช้ความเร็วของเครื่องบิน 100 ไมล์ต่อชั่วโมง เมื่อบินทวนทิศทางลมที่มีลมพัดด้วยความเร็ว 100 ไมล์ต่อชั่วโมงเครื่องบินจะบินอยู่กับที่ แต่ถ้าเครื่องบินใช้ความเร็วเท่าเดิมตามลมที่พัดด้วยความเร็ว 100 ไมล์ต่อชั่วโมง ความเร็วของเครื่องบินจะเท่ากับ 200 ไมล์ต่อชั่วโมง ดังนั้นการบินตามทิศทางลมจะทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายน้อยตามเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.2 การวัดลมผิวพื้น

2.2.1 กล่าวโดยทั่วไป

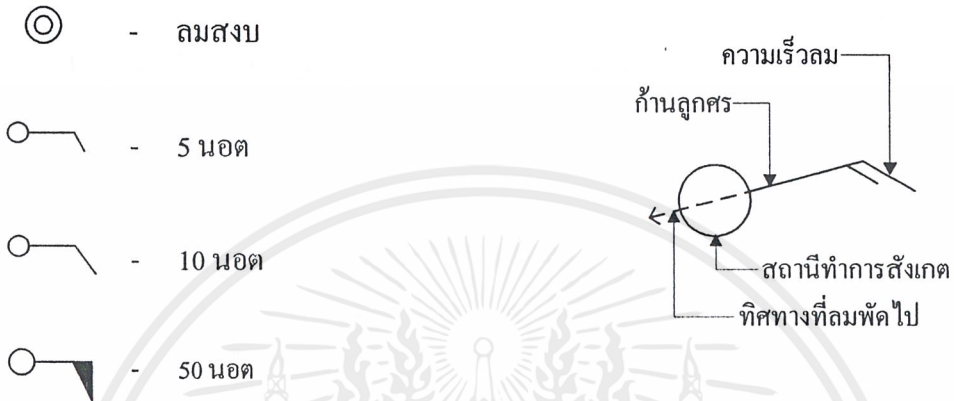
คำว่า “ลม” หมายถึง การเคลื่อนไหวของอากาศเฉพาะในทางแนวนอน (Horizontal Component) แต่ทางเดียว การวัดลมนี้ต้องให้ได้ค่าของทิศทางลมและความเร็วลมด้วยลมซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างรวดเร็ว เรียกว่า “ลมกระโชก” (Gentle Breeze) การวัดทิศทางลม, ความเร็วลมกระโชกจะให้ผลแน่นอนคตินั้นต้องใช้เครื่องมือวัด แต่ถ้าไม่สามารถทำได้ให้ใช้วัดด้วยการกะประมาณค่า ถ้าไม่มีการเคลื่อนไหวของลม หรือถ้าลมมีความเร็วต่ำกว่า 1 นอต (เทียบ กับหน่วยปกติมีค่าประมาณ 1.853 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) เรียกว่า “ลมสงบ”

2.2.2 การบันทึกความเร็วลม

ในแผนที่อากาศมีสัญลักษณ์ที่ใช้บันทึกเกี่ยวกับความเร็วและทิศทางของลม โดยใช้ลูกศรที่เป็นขีด เรียกว่า “ขนนก” ตัวลูกศรจะใช้เป็นเส้นตรงเพื่อที่บอกให้ทราบถึงทิศทางของลมว่าพัดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทิศใด ส่วนขนนกที่ติดอยู่ที่ปลายลูกศรจะบอกให้ทราบถึงความเร็วลม ส่วนวงกลมที่ติดอยู่ที่ปลายด้านหนึ่งของลูกศรนั้นจะเป็นสถานีที่ทำการสังเกตอากาศ ความเร็วของลมที่บันทึกนิยมใช้เป็นนอต (หรืออาจใช้เป็น ไมล์ / ชั่วโมง หรือ กม. / ชั่วโมง ก็ได้)



รูปที่ 2.1 แสดงสัญลักษณ์ที่ใช้แทนความเร็วและทิศทางของลม

ตารางที่ 2.1 แสดงความเร็วลมของโบฟอร์ต (ลมบนบก)

หมายเลข	สัญลักษณ์	ชื่อลม	ความเร็วของลม		ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการพัดของลม
			ไมล์ / ชั่วโมง	ก.ม. / ชั่วโมง	
0	☉	ลมสงบ	ต่ำกว่า 1	ต่ำกว่า 1.6	คว้นลอยขึ้นตรง ๆ
1	○ (with a tail)	ลมเบา	1 - 3	1.6 - 4.8	คว้นลอยไปตามลม ลมไม่สามารถพัดวินด์เวเนหมุนกลับได้
2	○ (with a tail and a small circle)	ลมอ่อน	4 - 7	6.4 - 11.3	มีลมพัดมากระทบใบหน้า ใบไม้ไหว วินด์เวเนหมุนกลับไปตามแนวลมพัด
3	○ (with a tail and a small circle)	ลมโชย	8 - 12	12.9 - 19.3	ใบไม้แกว่งไปมา ทรงบนยอดเสาถูกลมพัดให้เขยิบตรง
4	○ (with a tail and a small circle)	ลมอ่อน-ปานกลาง	13 - 18	20.9 - 29.0	กิ่งไม้เล็กแกว่งไปมา ผงหรือเศษกระดาษจะปลิวไปตามลม
5	○ (with a tail and a triangle)	ลมอ่อน-ค่อนข้างแรง	19 - 24	30.6 - 38.6	ต้นไม้เล็ก ๆ เอนไปตามลม เกิดคลื่นในแหล่งน้ำในพื้นที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข	สัญลักษณ์	ชื่อลม	ความเร็วของลม		ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการพัดของลม
			ไมล์ / ชั่วโมง	ก.ม. / ชั่วโมง	
6		ลมอ่อน- แรงมาก	25 - 31	40.2 - 49.9	กิ่งไม้ขนาดใหญ่แกว่งไปมา สายโทรเลข สายโทรศัพท์ ส่งเสียงดังการใช้ร่มเป็นไปได้ด้วยความยากลำบาก
7		ลมแรง- ปานกลาง	32 - 38	51.5 - 61.1	ต้นไม้ทั้งต้นโอนเอนไปมา ลมจะพัดให้ผู้เดินทวนลมล้มลง
8		ลมแรงจัด	39 - 46	62.8 - 74.0	ต้นไม้หักโค่น สิ่งกีดขวางบางอย่างถูกทำลาย
9		ลมแรง- จัดมาก	47 - 54	75.6 - 86.9	สิ่งก่อสร้างที่ไม่แน่นอนหาได้รับความเสียหาย กระเบื้องหลังคาปลิวไปตามลม
10		พายุ	55 - 63	88.5 - 101.4	ต้นไม้ถอนรากถอนโคน สิ่งก่อสร้างพังทลาย
11		พายุจัด	64 - 75	103.0 - 120.7	จะทำลายทุกสิ่งทุกอย่างที่ลมพายุพัดผ่าน
12		เฮอริเคน	มากกว่า 75	มากกว่า 120.7	

2.2.3 การวัดความเร็วลม

เนื่องจากรายงานความเร็วลมเพื่อการพยากรณ์อากาศนั้นใช้เป็นนอต ดังนั้น เครื่องวัดความเร็วลม จึงควรแบ่งสเกลเป็นนอตด้วย สำหรับรายงานเพื่อการพยากรณ์อากาศต้องการค่าของความเร็วลมผิวพื้นเฉลี่ยในช่วงเวลา 10 นาที ก่อนการตรวจ หรือระหว่างที่ลมมีความเร็ว 5 นอต และต้องอ่านให้ได้ค่าใกล้เคียงนอตที่สุด ถ้าลมมีความเร็วน้อยกว่า 1 นอต ให้รายงานว่า “ลมสงบ”

วิธีวัดด้วยเครื่องมือ

เครื่องวัดความเร็วลมที่เหมาะสมสำหรับความมุ่งหมายเพื่อการพยากรณ์นั้น จะต้องเป็นเครื่องที่อ่านได้หรือบันทึกการได้ในที่ทำการสำนักงาน เพื่อว่าจะได้เป็นการสะดวกในการหาค่าเฉลี่ยของความเร็วลมในช่วง 10 นาที หรือระหว่างที่ลมมีความเร็ว 5 นอต ควรใช้เครื่องวัดความเร็วลมที่สามารถบันทึกการรายงานได้ด้วยตัวเอง แทนเครื่องวัดความเร็วลมแบบธรรมดา ค่าของความเร็วลมและทิศทางลมที่ขีดบนกระดาษกราฟต่อเนื่องกันนั้น จะมีความกว้างมากน้อยไม่เท่ากัน การหาค่าเฉลี่ยของค่าทั้งสองให้ใช้เส้นกลางของความกว้างของรอยขีดนั้นๆ

เพื่อความมุ่งหมายทางการเดินอากาศต้องการใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบบันทึกการรายงานได้ในระยะไกล คือเดินสายไฟจากเครื่องมายังหน้าปัทม์ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ทำการ และเครื่องมือจะต้องใช้วัดลมกระโชกได้ด้วย เครื่องจะต้องมีความไวดี (มีสัมประสิทธิ์ในการล่าหลังน้อยมาก) คือเมื่อลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนความเร็วโดยฉับพลัน เครื่องจะต้องทำงานไม่เกิน 1 วินาที ถ้าลมยังมีความเร็วทวีขึ้น สัมประสิทธิ์ในการล่าหลังต้องน้อยลง

ถ้าเครื่องทั้งแบบธรรมดา และแบบที่จับบันทึกได้ด้วยตนเองมีอัตราแก้ไข ให้เขียนอัตราแก้ไข ประจำเครื่องได้ด้วย เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องแน่นอนจนถึง 1 นอต ถ้าลมยังมีความเร็วทวีขึ้น สัมประสิทธิ์ในการล่าหลังต้องน้อยลง

หน่วยที่ใช้ในการวัด

หน่วยที่ใช้วัดค่าของความเร็วลมนั้น อาจทำการวัดได้หลายหน่วย ดังนี้

- นอต (หรือ ไมล์ทะเลต่อชั่วโมง)
- เมตรต่อวินาที
- กิโลเมตรต่อชั่วโมง
- ไมล์ต่อชั่วโมง
- ฟุตต่อวินาที

ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยต่างๆ เหล่านี้แสดงให้เห็นดังตารางดังต่อไปนี้

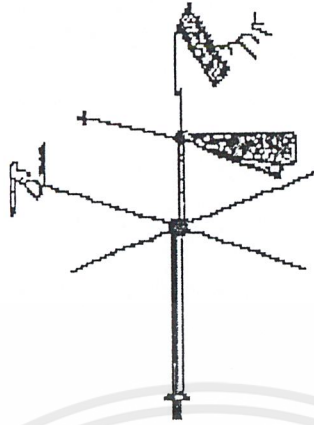
ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของหน่วยต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดความเร็วลม

นอต (kt)	เมตรต่อวินาที (m / sec)	ไมล์ต่อชั่วโมง (m.p.h)	กิโลเมตรต่อชั่วโมง (km / hr)	ฟุตต่อวินาที (ft / sec)
1	0.515	1.152	1.853	1.689
1.943	1	2.237	3.600	3.281
0.868	0.447	1	1.609	1.467
0.540	0.278	0.622	1	0.911
0.592	0.305	0.682	1.097	1

เครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้อากาศกระดก

เป็นแบบที่ง่ายที่สุด แต่ความถูกต้องแม่นยำในการวัดใช้ได้ดีพอประมาณ ส่วนประกอบของเครื่องทำเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม เป็นไม้ หรือเป็นโลหะอย่างเบาดัดอยู่ที่ยอดศรลม มีบานพับติดห้อยอยู่ให้หันไปได้กับศรลม และหันทางแบนของแผ่นโลหะหรือไม้ให้ได้ฉากกับศรลม ดังนั้นแผ่นสี่เหลี่ยมนี้จึงหันหน้ารับลมอยู่เสมอ เมื่อลมพัดมาปะทะกับแผ่นสี่เหลี่ยมนี้ก็จะกระดกขึ้น มีก้านกำหนดสเกลของความเร็วต่างๆ ของลมไว้ให้เห็นได้ชัดจากเบื้องล่างตรงโคนเสาวัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 เครื่องวัดลมแบบแผ่นกระดก

การอ่านค่าของสเกลนั้น เนื่องจากลมมิได้มีความเร็วคงที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นแผ่นไม้หรือโลหะยอมแกว่งไปแกว่งมา ให้สังเกตดูว่าแกว่งอยู่ระหว่างก้านกำหนดสเกลเฉลี่ยเป็นเกณฑ์ ตัวอย่างเช่น แผ่นไม้หรือโลหะนั้นแกว่งอยู่ระหว่างก้านสเกลที่ 1 กับที่ 3 ให้ถือเอาความเร็วเฉลี่ยที่ก้านกำหนดสเกลที่ 2 เป็นเกณฑ์ดังนี้ เป็นต้น ดังนั้นเข้าใจว่าก้านกำหนดสเกลนี้ไม่ใช่อ่านเป็นมาตราโบฟอร์ด

เครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้ลูกถ้วย

เครื่องแบบนี้ใช้หลักการหมุนของลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวย ซึ่งใช้ได้ดีกว่าลูกถ้วยครึ่งทรงกลม และขอบปากถ้วยทำให้หมุนขึ้นมา แบบที่เป็นลูกถ้วย 3 ใบนั้นมีแรงเหวี่ยงหมุนรอบตัวสูงที่สุดและโดยใช้ลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวยจะลดอัตราผิดได้มากเมื่อลมเปลี่ยนแปลงไป ส่วนขอบที่หมุนขึ้นมานั้น จะช่วยให้รักษาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมกับความเร็วที่ลูกถ้วยหมุนให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอ แบริงแกนหมุนนั้นต้องออกแบบอย่างดี เพื่อให้ทนทานต่อดินฟ้าอากาศได้ และขณะเดียวกันก็ต้องให้ง่ายสำหรับการหยคน้ำมันหล่อลื่นด้วย ได้มีผู้ออกแบบเครื่องวัดลมเช่นนี้ต่าง ๆ กัน โดยใช้หลักการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเล็กๆ ต่อกระแสไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้ไปเข้าหน้าปัทม์ ซึ่งแบ่งสเกลไว้เป็นค่าของความเร็วลม

ข้อเปรียบเทียบของเครื่องวัดลมแบบลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกรวย 3 ใบกับเครื่องวัดลมแบบลูกถ้วยรูปครึ่งทรงกลม 4 ใบ

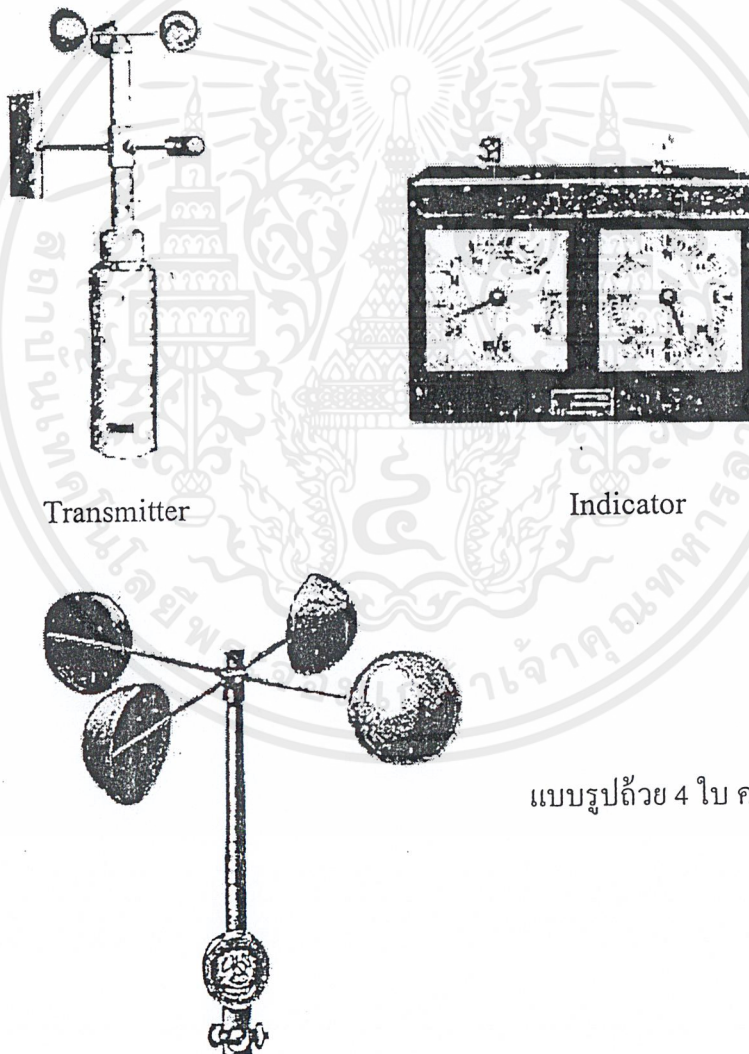
1. แบบที่ใช้ลูกถ้วย 3 ใบ ดีกว่าแบบที่ใช้ลูกถ้วย 4 ใบ เพราะแรงเหวี่ยงรอบตัวของแบบ 3 ใบ ได้ระบียบดีกว่า และถ้าใช้โลหะอย่างเดียวกัน แบบ 3 ใบให้แรงเหวี่ยงต่อน้ำหนักหน่วยมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ถ้วยรูปครึ่งทรงกรวยดีกว่าถ้วยรูปครึ่งทรงกลม เพราะการรับแรงปะทะของลมด้านหลัง ถ้วยรูปครึ่งทรงกรวยจะมีการลู่ลมมากกว่าถ้วยแบบครึ่งทรงกลม จึงทำให้การหมุนของลูกถ้วยหมุนได้ดีกว่า

3. ขอบของถ้วยทำให้เป็นรูปนูนขึ้นมา ทำให้มีความไวต่ออาการผกผันของกระแสลมน้อยกว่าขอบเรียบธรรมดา

ในการทดลองต่อมาปรากฏว่า คุณสมบัติที่ดีของเครื่องวัดลมแบบลูกถ้วยนี้เป็นแบบที่เบาและมีขนาดเล็ก เพราะสามารถใช้วัดลมที่มีกำลังอ่อนมากๆ ได้



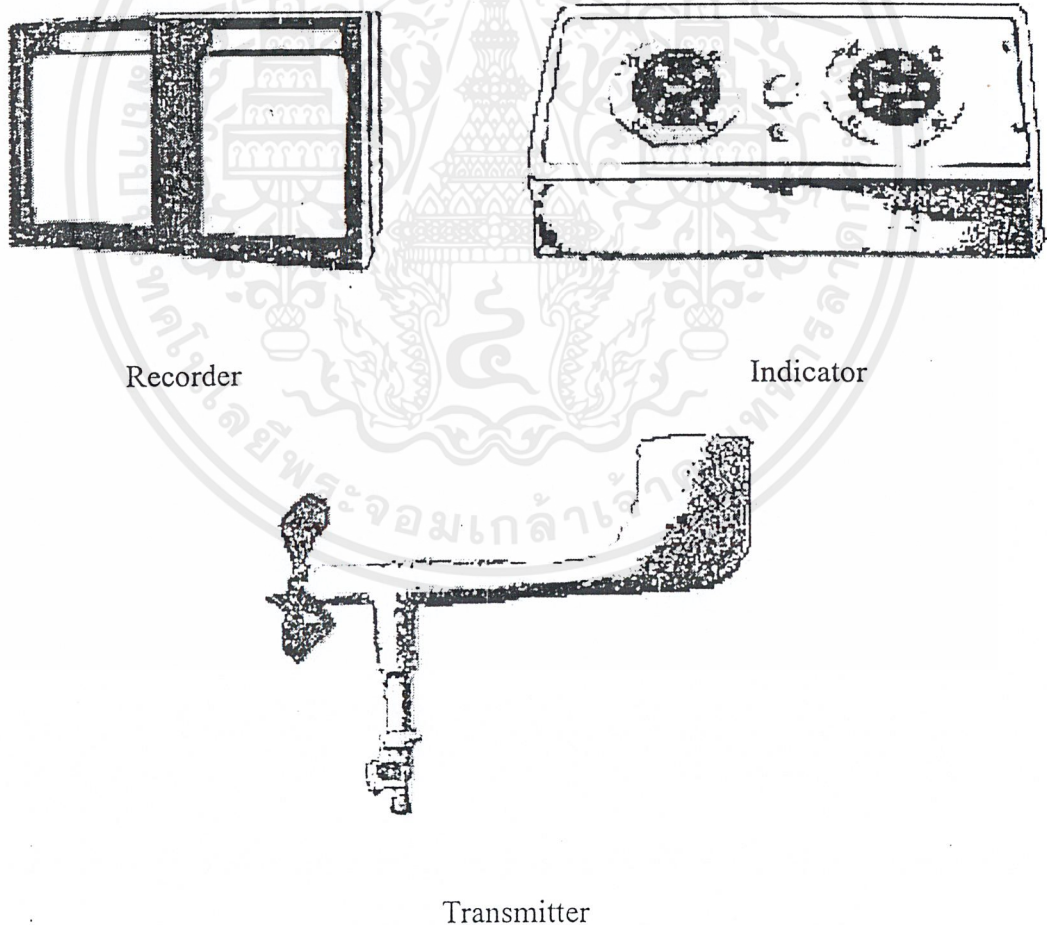
รูปที่ 2.3 เครื่องวัดลมแบบใช้ลูกถ้วยชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดลมแบบใช้ใบพัด

เครื่องแบบนี้ใช้อาการหมุนของใบพัดสำหรับวัดความเร็วลม ส่วนทิศทางการลมนั้นเขาทำกรรมคล้ายรูปเครื่องบิน เครื่องชนิดนี้มีทั้งเครื่องที่ใช้ไฟฟ้า เรียกว่าแบบ “Aerovane” กับแบบที่ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า แต่ใช้ความกดของอากาศแทน เรียกว่าแบบ “Aerolog” ทั้งสองแบบสร้างโดยบริษัท Bendix and Friez Instrument ประเทศสหรัฐอเมริกา

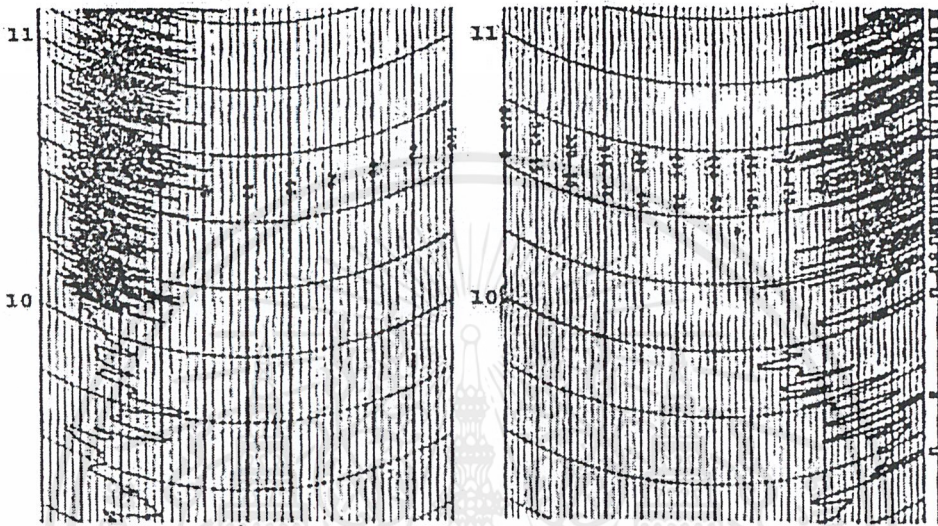
เครื่องแบบแอโรเวนประกอบด้วยใบพัด 3 ใบ โครงเครื่องคล้ายกับเครื่องบินขนาดเล็กทำหน้าที่เป็นกรรมติดอยู่ปลายยอดเสา เครื่องแบบนี้ใช้อาการหมุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่นเดียวกับแบบลูกถ้วย ต่อสายไฟมายังหน้าปัทม์บอกความเร็ว ซึ่งแบ่งสเกลเป็นไมล์ต่อชั่วโมงหรือนอต และเมื่อกรรม (ตัวคล้ายรูปเครื่องบิน) หันไปตามทิศทางการลมในทิศต่างๆ ก็จะส่งอาการของไฟฟ้าลงมายังหน้าปัทม์บอกทิศทางการลมด้วย



รูปที่ 2.4 เครื่องวัดลมแบบใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อต้องการให้จดบันทึกรายงานของทิศทางและความเร็วลมให้ต่อเนื่องกัน ใช้ต่อสายไฟไปเข้าเครื่องจกรายงาน ซึ่งมีปากกาขีดไปบนกระดาษกราฟจดบันทึกทิศทางและความเร็วลมให้ติดต่อกันไปตลอดเวลา



รูปที่ 2.5 กระดาษกราฟสำหรับบันทึกรายงาน

ในรูปที่ 2.5 แสดงกระดาษกราฟสำหรับบันทึกรายงาน โดยกระดาษกราฟรูปซ่ายเมื่อจดบันทึกรายงานความเร็วลมเป็นไมล์ต่อชั่วโมง กระดาษกราฟรูปขวามือจดบันทึกทิศทางของลมบนกระดาษกราฟด้านซ้ายเป็นลมฝ่ายตะวันตกและด้านขวามือเป็นลมฝ่ายตะวันออก

เครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้ความกด

เป็นแบบที่ดีที่สุดแบบมีความถูกต้องแม่นยำดีกว่าแบบอื่นๆที่กล่าวมาแล้ว แบบที่นิยมใช้กันแพร่หลายคือแบบ “มูมโรโคเน” เครื่องประกอบด้วยท่อรับลม ซึ่งมาจากหัวศรลมลงมาด้านล่างของถังน้ำภายใต้ลูกกลอย ดันลูกกลอยให้สูงขึ้นตามกำลังของลม ลมเหนือลูกกลอยในถังหนีออกได้อีกท่อหนึ่งซึ่งเป็นท่อระบายลม การเลื่อนขึ้นลงของลูกกลอยติดต่ออากาศไปยังแขนปากกา ปากกาขีดไปบนกระดาษกราฟ ซึ่งพันอยู่รอบกระบอกนาฬิกา เครื่องแบบนี้ทำได้จากการคำนวณเลขตามความกด, ขนาดของท่อ และอื่นๆ ได้ทั้งความกดและความเร็วลม และศรลมยังใช้วัดทิศทางลมอีกด้วยในคราวเดียวกัน เครื่องแบบนี้ไม่มีอาการเกี่ยวกับไฟฟ้าจึงใช้ได้สะดวกแม้ในที่ไกลๆการคมนาคม และใช้วัดลมกระโชกได้ดีมาก

1. เครื่องวัดแบบหมุนโรโคเน

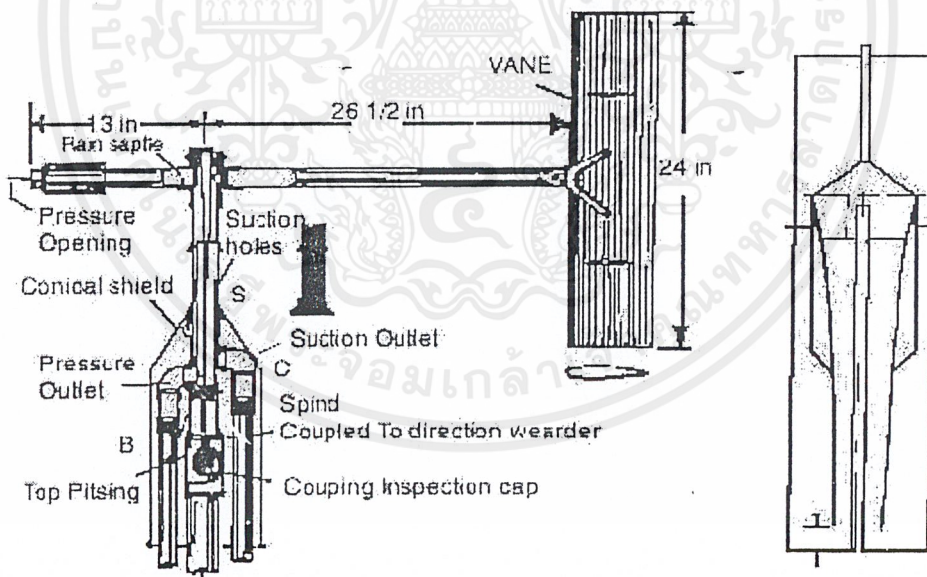
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเครื่องวัดลมประเภทใช้แรงกดคั่งที่ได้กล่าวมาแล้วประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ

- ส่วนบนของศรลม
- เสาหรือหอคอย สำหรับติดตั้งแกนส่งหรือเครื่องวัดทิศทางต่อความกดและท่อดูดและเป็นเครื่องยึดส่วนบนด้วย
- เครื่องจับบันทึกรายงานทิศทางและความเร็วลม ซึ่งต้องตั้งอยู่ในแนวคิ่งกับศรลมและมี ห้องกัน อย่างมิดชิด มีหลังคากันแดดและฝนด้วย

2. ส่วนบนและศรลม

ในรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นส่วนบนและศรลม A เป็นท่อปลายศรลมซึ่งอากาศจะเข้าไปทางท่อนี้ ศรลมนี้อาจหันหน้ารับลมอยู่เสมอ โดยมีหางบังคับ เมื่อลมพัดเข้าไปในท่อ A จะก่อให้เกิดความกดส่งผ่านไปยัง Pressure outlet B, และมีท่อต่อไปเข้าเครื่องจรรยา งานเบื้องล่างที่ Pressure cock (a). ท่ออันกลางหุ้มไว้ด้วยท่ออีกชั้นหนึ่งคือ S ซึ่งเจาะรู เล็กๆ ไว้รอบๆ หลายรู ทำหน้าที่เป็น Suction holes, C เป็น Suction cock (b).



รูปที่ 2.6 เครื่องวัดลมแบบโรไดน์

3. แกน

จากศรลมนี้ออกอากาศลงไปยังเครื่องจรรยา งานทิศทางของลมซึ่งอยู่รวมกันกับเครื่องจับ บันทึกรายงานความเร็วลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เครื่องจักรรายงานและความเร็วลม

เครื่องภายในประกอบด้วยเครื่องลูกลอย ซึ่งลอยอยู่เหนือน้ำ (น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำกลั่น หรือน้ำสะอาดบริสุทธิ์ หรือน้ำฝนก็ได้) ท่อความกดติดอยู่กับช่องว่างภายในลูกลอย ซึ่งอยู่เหนือระดับผิวหน้าน้ำ โดยมีท่อตั้งขึ้นมาจากตรงกลางของถัง ท่อดูด (Suction tube) ส่งอากาศต่อไปยังที่ว่างภายนอกลูกลอย ซึ่งอยู่เหนือระดับผิวหน้าน้ำ

ที่ตรงกลางตอนบนของลูกลอยซึ่งอยู่เหนือผิวน้ำนั้น มีก้านต่อขึ้นมายังตอนบนของถังที่ก้านลูกลอยนี้มีปากกาติดอยู่ ซึ่งจะขีดไปบนกระดาษกราฟบอกค่าของความเร็วลม ตอนปลายสุดของก้านมีถ้วยเล็กๆ สำหรับใส่ลูกปืน เพื่อความมุ่งหมายในการตั้งขีด 0 ของเครื่องวัดความเร็วลม

ตอนล่างสุดของเครื่องมีท่อระบายน้ำออก (Drainage Plug) เพราะน้ำฝนอาจเข้ามาตามท่อปลายศรลมเข้ามาในเครื่องได้ หรือเมื่อก่อนพนักงานมีความสะอาดลูกลอยขึ้นลง อาจทำให้ระดับน้ำสูงขึ้นมาจากตรงกลางเครื่องก็ได้

เพื่อป้องกันไม่ให้ลูกลอยหมุนไป หรือเอนเอียงไป เขาทำที่บังคับไว้ และที่ข้างๆ ถังภายนอกเขาทำหลอดแก้วไว้ เพื่อสะดวกในการที่จะได้ทราบระดับน้ำในถัง

2.3 การวัดความเร็วลมและการคาดคะเนความเร็วลม

การวัดความเร็วลมนั้น โดยทั่วไปใช้วัดเป็นกิโลเมตรต่อชั่วโมง หรือไมล์ต่อชั่วโมง (บางที่ก็วัดเป็นนอต) ในบางกรณีใช้วัดความเร็วเป็นฟุตต่อวินาที หรือเป็นเมตรต่อวินาทีก็มี

สำหรับการคาดคะเนความเร็วลมนั้น ประมาณเอาจากการของสิ่งๆ ที่รับลมทั้งหลาย ในการนี้ พลเรือเอกโบฟอร์ด แห่งราชนาวิอังกฤษได้เป็นผู้กำหนดการกะประมาณความเร็วลมไว้เป็น 12 มาตรา ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1805 โดยถือเอาการที่ใบเรือรับลมต่างๆ เป็นหลัก ต่อมาจึงได้เปรียบเทียบตามกำลังของลม โดยอาการของควันข้าง ธงข้าง หรือต้นไม้ และอาคารบ้านเรือนเป็นเครื่องกำหนด โดยประมาณบนพื้นดิน แล้วเทียบเป็นอัตราโบฟอร์ด ต่อมาองค์การอุตุนิยมวิทยาโลกได้ปรับปรุงการคาดคะเนความเร็วของลมจนถึงมาตรา 17 โบฟอร์ด และได้ถือเป็นหลักปฏิบัติกันโดยทั่วไป

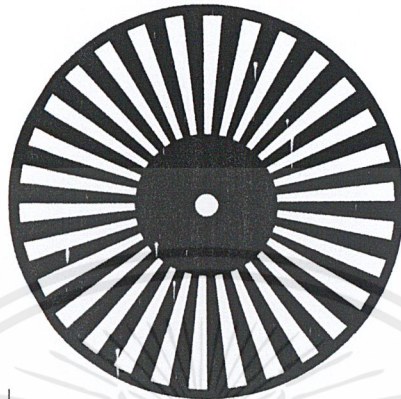
2.4 ขั้นตอนการสร้างส่วนตรวจสอบลม

ในการสร้างเครื่องวัดความเร็วลมนั้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้นของเนื้อหาส่วนทฤษฎีว่าสามารถสร้างได้หลายรูปแบบ แต่ในที่นี้จะใช้เครื่องวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วยสามแกน ที่แต่ละแกนของลูกถ้วยจะทำมุมกัน 120 องศา ซึ่งในการออกแบบสร้างนั้นได้นำเอาวัสดุอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายมาดัดแปลงโดยสามารถที่จะนำไปใช้งานได้จริง

เครื่องวัดความเร็วลมมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

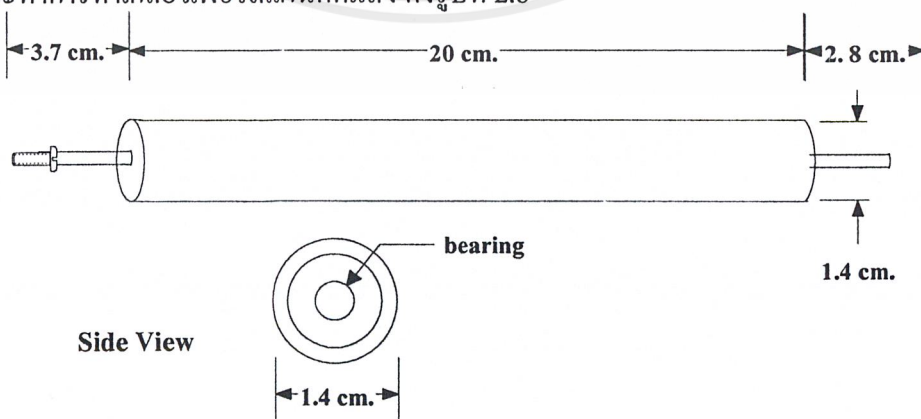
1. ออกแบบแผ่นเพลทตัดแสงเป็นรูปวงกลม โดยแบ่งส่วนสลับสีทั้งหมด 60 ส่วน ดังรูปที่ 2.7 ให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เซนติเมตร ลงบนกระดาษขาว



รูปที่ 2.7 แผ่นเพลทตัดแสง

นำแผ่นพลาสติกใสที่มีความหนา 1 มิลลิเมตร มาเจาะรูให้พอดีกับแกนทองเหลืองที่จะใช้ทำเป็นแกนหมุน นำแบบรูปวงกลมที่ได้ออกแบบไว้มาติดลงบนแผ่นพลาสติก แล้วจึงตัดแผ่นพลาสติกตามแบบ จากนั้นกรีดส่วนที่เป็นสีดำออกทั้งหมดโดยจะเหลือส่วนที่ต้องการเพียง 30 ส่วน แล้วนำไปพันด้วยลวดสปริงสีดำ ทิ้งไว้ให้แห้งแล้วลอกกระดาษที่เหลือออก ก็จะได้ส่วนของตัดตัดแสงของวงจรทำงาน

2. นำเบร็ชขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.4 เซนติเมตร 2 ชิ้นมาตอกอัดลงบนแกนหมุนของส่วนเครื่องวัดลมซึ่งใช้ท่อ PVC ความยาว 20 เซนติเมตร โดยให้เบร็ชใส่ลงบนปลายท่อ PVC ทั้งสองด้านพอดีขอบ ใส่แกนทองเหลืองขนาด 26.5 เซนติเมตร โดยปลายของแกนทองเหลืองด้านหนึ่งจะทำการทำเกลียวเพื่อใส่แผ่นตัดแสง ดังรูปที่ 2.8

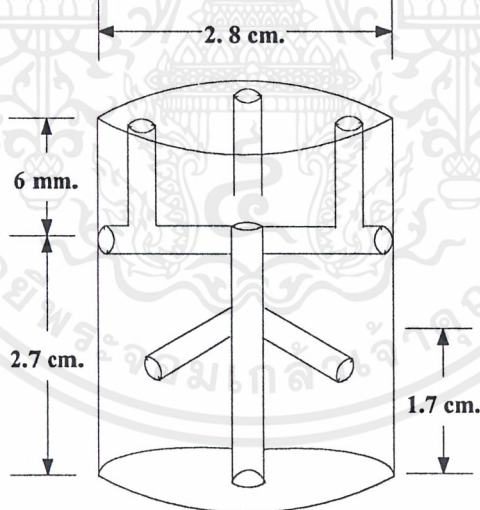


รูปที่ 2.8 การประกอบแกนหมุนพร้อมเบร็ชของลูกถ้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของวงจรถดลองนี้จะอยู่ภายในกล่องโดยจะติดตั้งอยู่บนแผ่นสแตนเลสซึ่งสามารถเลื่อน ขยับได้ในการประกอบส่วนแกนหมุนเข้ากับฝาเครื่อง

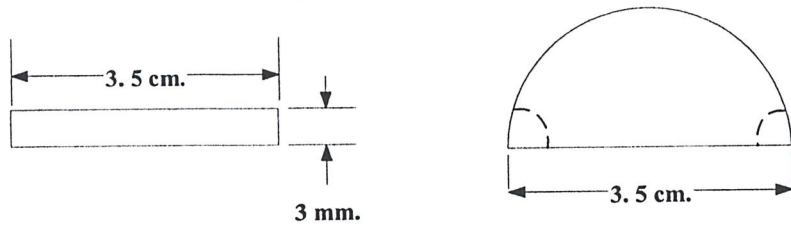
3. ในส่วนของลูกถ้วยหมุนนั้นออกแบบโดยใช้ฝาครอบท่อ PVC เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.8 เซนติเมตร โดยทำการกำหนดจุดเจาะด้านบนบนฝาครอบ 3 จุด โดยแต่ละจุดจะห่างกันเป็นมุม 120 องศา เพื่อให้ใส่ตัวหนอนสำหรับยึดแกนหมุน ส่วนด้านข้างก็เช่นเดียวกันทำการกำหนดจุดเพื่อเจาะรูสำหรับใส่แกนของลูกถ้วย และกำหนดจุดอีก 2 จุดเพื่อจะเป็นจุดที่ใส่ตัวหนอนยึดส่วนฝาครอบเข้ากับแกนหมุน ซึ่งในส่วนนี้นั้นจะต้องให้มีความแน่นหนาและแข็งแรงอย่างมากเพื่อป้องกันความเสียหาย เนื่องจากเป็นส่วนที่หมุนเมื่อนำไปตรวจสอบลม
4. นำฝาครอบที่กำหนดจุดเจาะแล้ว นำมาเทเรซิน โดยเตรียมเรซินที่ผสมสารเร่งการแข็งตัว จากนั้นนำเอาเรซินที่ผสมแล้วเทลงในฝาครอบด้านใน โดยเว้นจากขอบฝาด้านใน 0.8 มิลลิเมตร และทิ้งไว้รอให้เรซินแข็งตัวเป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้พร้อมใช้งานมากที่สุด
5. เมื่อได้ฝาครอบที่เทเรซินไว้ซึ่งแข็งตัวแล้ว นำไปเจาะรูตามจุดที่กำหนด และให้เจาะรู ศูนย์กลาง ลึก 2 เซนติเมตร เพื่อให้แกนหมุนทองเหลืองเข้ากับส่วนฝาครอบ



รูปที่ 2.9 ฝาครอบท่อที่จะนำมาใส่แกนลูกถ้วย

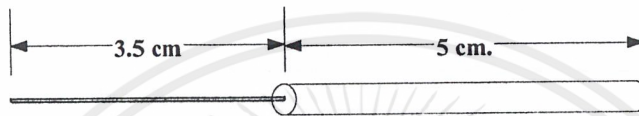
6. การทำลูกถ้วยสำหรับเครื่องวัดความเร็วลมนั้น จะนำเอาพลาสติกที่มีลักษณะเป็นครึ่งทรงกลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร ซึ่งแต่ละลูกต้องมีขนาดและน้ำหนักเท่ากัน ส่วนแกนของลูกถ้วยจะใช้แกนทองเหลืองความยาว 5 เซนติเมตร โดยส่วนปลายแกนทองเหลืองด้านหนึ่งจะบัดกรีเชื่อมกับแผ่นสแตนเลสขนาดกว้าง 3 มิลลิเมตร ยาว 3.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

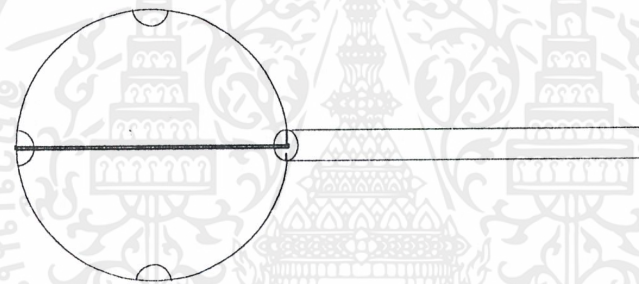


แกนยึดลูกถ้วย

ลูกถ้วย



แกนยึดลูกถ้วยและแกนทองเหลือง



ภาพตัดขวางลูกถ้วยพร้อมแกนยึด

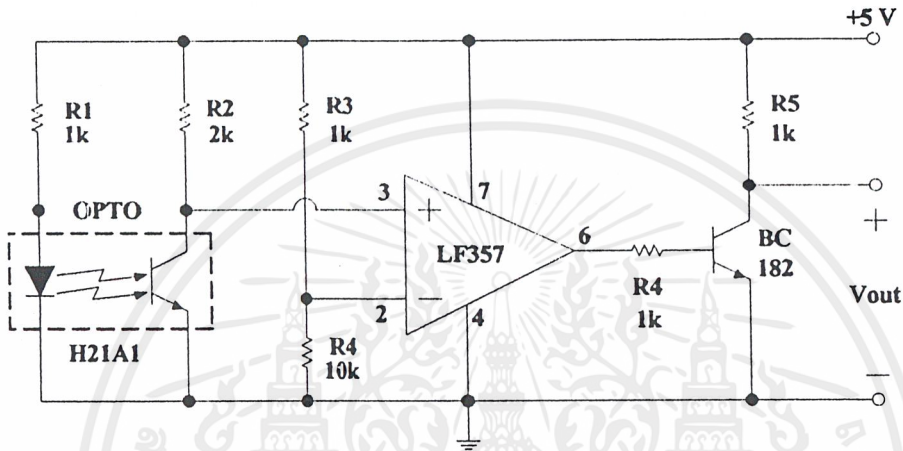
รูปที่ 2.10 การประกอบลูกถ้วย

- ประกอบแกนของลูกถ้วยเข้ากับฝาครอบ โดยใส่ตามจุดเจาะที่ได้กำหนดไว้แล้ว จากนั้นประกอบส่วนของลูกถ้วยหมุนเข้ากับแกนหมุนที่ทำไว้ก็เป็นอันเสร็จสมบูรณ์ สามารถประกอบบนฝากล่องเข้ากับส่วนแผ่นพลาสติกตัดแสง ก่อนประกอบเข้ากับส่วนวงจรที่อยู่ภายในกล่อง

เมื่อประกอบอุปกรณ์ในส่วนเครื่องวัดความเร็วลมเรียบร้อยแล้ว ก็จะได้ส่วนของเครื่องวัด

2.5 วงจรตรวจสอบความเร็วลม

วงจรวัดความเร็วลมนี้ใช้หลักการของการตรวจจับแสงจาก Infrared Emitting Diode ที่ผ่านเข้าตัว Photo Transistor เพื่อกำเนิดเป็นแรงดันแล้วทำการขยายสัญญาณโดยใช้หลักการของ Comparator โดยใช้ ออปแอมป์



รูปที่ 2.11 วงจรตรวจจับแสงที่ใช้ในการวัดความเร็วลม

จากรูปที่ 2.11 เมื่อจ่ายแรงดันไฟบวก 5 โวลต์ ให้แก่ Infrared LED จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัว Infrared LED ทำให้ Infrared LED ปล่อยแสงออกมา ส่วนทางด้านรับแสงคือ Photo Transistor เมื่อรับแสงมาได้แล้วจะทำการส่งเข้ามา Non-inverting ซึ่งมีค่าแรงดันต่ำกว่าขา Inverting ของออปแอมป์ ทำให้แรงเอาท์พุทของออปแอมป์ที่ได้มีค่าเป็น 0 โวลต์ ทำให้ไม่มีกระแสไปไบอัสขาเบสของทรานซิสเตอร์ นั่นคือ ทรานซิสเตอร์อยู่ในช่วง Cutoff หรือไม่มีกระแสไหลนั่นเอง ทำให้แรงดันเอาท์พุทคือแรงดันที่ขาคอลเลคเตอร์ มีค่าเท่ากับไฟเลี้ยงคือ 5 โวลต์ หรือ สัญญาณที่มีค่าลอจิกเป็น “1”

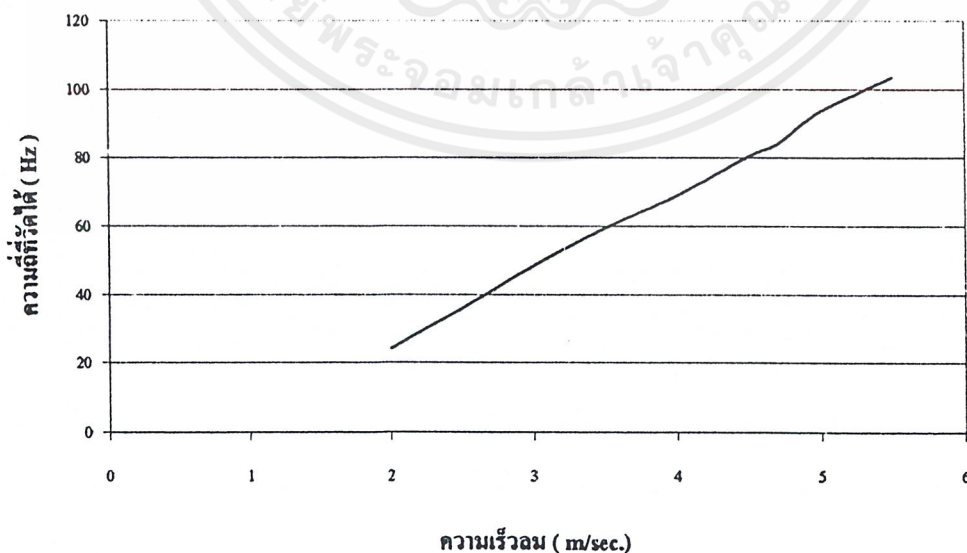
แต่ถ้าหากว่าตัว Photo Transistor ไม่ได้รับแสงจากตัว Infrared LED จะทำให้แรงดันขา Non-inverting ของออปแอมป์มากกว่าขา Inverting เนื่องจาก Photo Transistor ไม่มีกระแสไหลผ่าน ทำให้แรงเอาท์พุทของออปแอมป์ที่ได้มีค่าเป็นประมาณ ไฟเลี้ยงคือ 5 โวลต์ และไปไบอัสขาเบสของทรานซิสเตอร์ต่อเกิดกระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์ ทำให้ แรงดันเอาท์พุทคือแรงดันที่ขาคอลเลคเตอร์ มีค่าประมาณ 0 โวลต์ หรือสัญญาณที่มีค่าลอจิกเป็น “0”

2.6 การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความถี่เอาท์พุทของวงจรตรวจสอบลม

นำอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพลมที่ได้ออกแบบ และประกอบแล้วเข้าไปทำการสอบเทียบในอุโมงค์ลมมาตรฐานของกรมอุตุนิยมวิทยา เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความถี่ของสัญญาณเอาท์พุทของวงจรรูปที่ 2.11

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความถี่ของสัญญาณเอาท์พุทที่วัดได้

ความเร็วลม (m / sec.)	ความถี่ที่วัดได้ (Hz)	ความเร็วลม (m / sec.)	ความถี่ที่วัดได้ (Hz)
2	24	6	119.5
2.5	36	6.5	128.5
3	48.5	7	141.5
3.5	59.5	7.5	158.5
4	69	8	172.5
4.5	80.5	8.5	190
4.7	84	9	207
5	93.5	9.5	218.5
5.5	103.5	10	234.5



รูปที่ 2.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความถี่ของสัญญาณเอาท์พุทที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ทฤษฎี Simple Linear Regression

Simple Linear Regression คือ การถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย เป็นการแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัวที่มีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวเนื่องกันแบบเชิงเส้น โดยที่ตัวแปรตัวหนึ่งจะเป็นลักษณะของ parameter หรือเป็นตัวค่ากำหนด ทำให้ตัวแปรตัวหนึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรภายหลังจึงเป็นแบบไม่แน่นอน (Random Variable)

X : ตัวแปรต้น (Fixed Variable) → Independent

Y : ตัวแปรตาม (Random Variable) → Y depend on X

โดย $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$

$Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}$

ซึ่งจะได้ สมการ $Y = a + bX$ (2.1)

โดย $b = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$ (2.2)

$a = \bar{Y} - b\bar{X}$ (2.3)

เมื่อ \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของ X_1, X_2, \dots, X_n

\bar{Y} คือ ค่าเฉลี่ยของ Y_1, Y_2, \dots, Y_n

ซึ่งจากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมและความถี่เอาท์พุทของวงจรตรวจสอบลมที่บันทึกจากการทดลองได้ว่า

X คือ ความถี่เอาท์พุทของวงจรตรวจสอบลม

Y คือ ความเร็วลม

จากการคำนวณได้สมการเชิงเส้นของความเร็วลมและความถี่เอาท์พุทของวงจรตรวจสอบลม คือ

$Y = 1.3273 + 0.0355 X$ (2.4)

จากนั้นนำเอาท์พุทของวงจรตรวจสอบความเร็วลมและสมการเชิงเส้นที่ได้ไปคำนวณประมวลผลในหน่วย Microcontroller

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ส่วนตรวจสอบฝน

3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับฝน

3.1.1 ฝน (RAIN)

ฝนที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมีทั้งหมด 4 ชนิด คือ

1. ฝนที่เกิดจากการพาความร้อน (CONVECTIVE RAIN) เกิดขึ้นจากการลอยตัวสูงขึ้นของอากาศที่อุ่นกว่าและเบากว่าอากาศโดยรอบ ฝนชนิดนี้มักตกบริเวณแคบๆ ระยะเวลาสั้นๆ อาจตกหนักแต่หยุดเร็ว และมีฟ้าคะนองได้ ส่วนมากตกในช่วงระหว่างบ่ายถึงค่ำ
2. ฝนภูเขา (OROGRAPHIC RAIN) เกิดจากการยกตัวของอากาศไปบนภูเขาที่ขวางกั้น ฝนจะตกทางด้านรับลม ส่วนด้านหลังเขาจะเป็นพื้นที่อับฝน มีฝนตกน้อยหรือไม่มีเลย
3. ฝนจากพายุหมุนเขตร้อน (CYCLONIC RAIN) เกิดจากการยกตัวของอากาศที่สออบเข้าหากัน เข้าสู่ห้วงความกดอากาศต่ำหรือพายุหมุนเขตร้อน ทำให้มีฝนตกหนักถึงหนักมากเป็นบริเวณกว้าง และอาจตกติดต่อกันหลายวัน ตามเส้นทางที่พายุเคลื่อนผ่าน ทำให้เกิดภาวะน้ำท่วมฉับพลัน และน้ำป่าไหลหลาก โดยเฉพาะประเทศไทยจะมีพายุหมุนเขตร้อนเข้ามาปีละ 3-4 ลูก ส่วนใหญ่จะเป็นพายุดีเปรสชัน
4. ฝนจากร่องความกดอากาศต่ำ (LOW PRESSURE TROUGH RAIN) เกิดจากลมตะวันออกเฉียงใต้และลมตะวันออกเฉียงเหนือเบียดตัวเข้าหากันในแนวนอนเกิดเป็นร่องความกดอากาศต่ำ ทำให้อากาศยกตัวขึ้นเกิดเป็นฝนและพายุฝนฟ้าคะนอง แนวร่องความกดอากาศต่ำนี้มักมีฝนตกชุกหนาแน่น บางพื้นที่มีฝนตกหนัก

3.1.2 ปริมาณน้ำฝน

การรายงานปริมาณน้ำฝนที่ตกในระยะเวลา 24 ชั่วโมง พิจารณาตามหลักการของฝนที่ตกในประเทศที่อยู่ในโซนร้อนในเขตร้อนชื้น ดังนี้

- ฝนวัดจำนวนไม่ได้ (Trace) คือ

ฝนตกมีปริมาณน้อยกว่า 0.1 มิลลิเมตร

- ฝนเล็กน้อย (Light rain)

คือ ฝนตกตั้งแต่ 0.1 มิลลิเมตรขึ้นไป แต่ไม่เกิน 10.0 มิลลิเมตร

- ฝนปานกลาง (Moderate rain)

คือ ฝนตกตั้งแต่ 10.1 มิลลิเมตร ถึง 35.0 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฝนหนัก (Heavy rain)
คือ ฝนตกตั้งแต่ 35.1 มิลลิเมตร ถึง 90.0 มิลลิเมตร
- ฝนหนักมาก (Very Heavy rain)
คือ ฝนตกตั้งแต่ 90.1 มิลลิเมตรขึ้นไป

3.1.3 ความแรงของฝน

การวัดความแรงของฝน (Rainfall Intensity) จะวัดภายใน 1 ชั่วโมงมีกำหนดไว้ดังนี้

- ฝนเบาหรือฝนน้อย (Light rain)
คือฝนตกมีปริมาณตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตรภายในเวลา 1 ชั่วโมง
- ฝนปานกลางหรือฝนพอประมาณ (Moderate rain)
คือฝนตกมีปริมาณตั้งแต่ 5.1 มิลลิเมตรขึ้นไปถึง 25.0 มิลลิเมตรภายในเวลา 1 ชั่วโมง
- ฝนหนัก (Heavy rain)
คือฝนตกมีปริมาณตั้งแต่ 25.1 มิลลิเมตรขึ้นไปถึง 50.0 มิลลิเมตรภายในเวลา 1 ชั่วโมง
- ฝนหนักมาก (Very Heavy rain)
คือฝนตกมีปริมาณตั้งแต่ 50.1 มิลลิเมตรขึ้นไปภายในเวลา 1 ชั่วโมง

3.2 การวัดหยาดน้ำฟ้าและการระเหยของน้ำ (Measurement of Precipitation and Evaporation)

3.2.1 ข้อกำหนดโดยทั่วไป (General Requirement)

จำนวนทั้งหมดของหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ซึ่งตกลงมาจากบรรยากาศสู่ผิวพื้นโลกใช้วัดเป็นความลึก (Depth) หรือความหนาของหยาดน้ำฟ้าบนพื้นระดับเรียบ โดยสมมุติว่าหยาดน้ำฟ้าไม่มีการระเหยหรือซึมออกไป และถ้าเป็นจำนวนหิมะหรือน้ำแข็งจะต้องไม่ละลายเสียก่อน และการวัดหิมะก็ต้องวัดเป็นความลึกของหิมะที่เพิ่งตกใหม่ๆบนพื้นระดับเรียบ สำหรับประเทศไทยเราไม่เคยปรากฏว่ามีหิมะเลย ส่วนลูกเห็บมีตกบ้างเป็นครั้งคราว โดยมากเมื่อมีพายุฝนฟ้าคะนองอย่างรุนแรง ดังนั้นเราจึงต้องการวัดแต่ปริมาณของน้ำฝนเพียงอย่างเดียว และโดยที่ประเทศไทยเป็นประเทศกสิกรรม ฉะนั้นการตรวจวัดหาค่าของปริมาณน้ำฝนจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก กรมอุตุนิยมวิทยาจึงมีโครงการที่จะขยายข่ายสถานีตรวจวัดฝนให้หนาแน่นยิ่งขึ้นเท่าที่สามารถจะทำได้ตามกำลังงบประมาณที่จะอำนวยให้

3.2.2 หน่วยที่ใช้ในการวัด (Units of measurement)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังได้กล่าวแล้วว่า การวัดจำนวนน้ำฝนนั้นใช้วัดเป็นความสูงของน้ำฝนที่ตกลงมาในเนื้อที่จำกัดอันหนึ่ง โดยคิดเสียน้ำฝนนั้นไม่มีการระเหยหรือไหลซึมไปไหน โดยที่เรารู้เนื้อที่ของปากถัง ดังนั้นเมื่อเราต้องการวัดความสูง (หรือความลึก) ของน้ำฝน เราก็สามารถใช้ไม้บรรทัดหยั่งวัดความสูงได้หรือจะทำเป็นแก้วสำหรับตวงน้ำฝนต่างหากก็ได้

3.2.3 การวัดจำนวนน้ำฝน (Rainfall measurement)

เครื่องวัดฝน (Rain gages)

แรกเริ่มในการวัดจำนวนน้ำฝนนั้น คาสเทลลี ได้เป็นผู้คิดสร้างเครื่องวัดขึ้นในประเทศอิตาลี เมื่อปี ค.ศ. 1639 เครื่องประกอบด้วยแก้วทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางปากกระบอกประมาณ 5 นิ้ว และลึก 9 นิ้ว ต่อมาจึงได้มีการวิวัฒนาการเรื่อยมาจนถึงขนาดทำให้สามารถจดบันทึกรายงานได้ด้วยตัวเอง (Self-Recording) เครื่องวัดฝนธรรมดาที่ใช้เป็นประจำวัดเป็นรูปทรงกระบอกและมีกรวยต่อลงไปยังที่รองรับภายใน ขนาดของถังรับน้ำฝนภายนอกไม่สำคัญ แต่เนื้อที่ของบริเวณที่รับน้ำฝนนั้นควรจะอยู่ระหว่าง 200 ถึง 500 ตารางเซนติเมตร เป็นเหมาะที่สุดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของถังรองรับน้ำฝนภายในควรเท่ากับ $1/10$ ของเส้นผ่าศูนย์กลางของปากถัง ภายนอกโดยทั่วไปที่ใช้กันอยู่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของปากถังภายนอกเป็น 8 นิ้ว 6 นิ้ว และ 5 นิ้ว อย่างไรก็ตามเครื่องวัดฝนที่ใช้ประจำวัดจะต้องเป็นไปตามหลักเกณฑ์ที่สำคัญดังต่อไปนี้คือ

- ขอบของปากถังด้านนอกต้องคม โดยทำให้ด้านในเป็นแนวตั้งตั้งตรงส่วนด้านนอกลาดเอียงลงเป็นแนวชันมาก
- ต้องรู้เนื้อที่ของช่องปากถังให้ใกล้เคียง 0.5% และเนื้อที่นี้จะต้องคงที่อยู่ตลอดไป
- ถังภายนอกต้องออกแบบให้กันการกระเซ็นของน้ำฝนทั้งเข้าและออก ซึ่งทำได้โดยทำให้ตัวถังเป็นแนวตั้งลึกพอสมควร และแนวลาดของกรวยต้องอย่างน้อย 45 องศา

การวัดฝน (Rain measure)

การวัดฝนตามวิธีธรรมดาโดยทั่วไปมีอยู่ 2 วิธี คือ ใช้แก้วตวงอย่างหนึ่งและใช้ไม้บรรทัดหยั่งวัด แก้วที่ใช้ตวงต้องเป็นแก้วใส และมีสัมประสิทธิ์ของการขยายตัวต่ำและต้องบอกให้ชัดเจนด้วยว่าใช้กับเครื่องวัดฝนขนาดใด ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของแก้วตวงต้องไม่ต่ำกว่า $1/3$ ของปากถังของเครื่องวัดฝน และถ้าจะให้ดีกว่านี้ให้เล็กกว่าขนาดที่กล่าวนี้

สเกลที่แบ่งไว้บนแก้วตวงต้องขีดให้ชัดเจนดี โดยทั่วไปจะขีดไว้ทุกๆ 0.2 มิลลิเมตร และเส้นจำนวนเต็มของสเกลต้องเขียนเลขกำกับไว้ด้วย ถ้าจะให้ดีกว่านี้ขีดสเกลให้อ่านได้ถึง 0.1 มิลลิเมตร ในการวัดเพื่อให้ได้ค่าใกล้เคียงที่สุดควรอ่านค่าอย่าให้อัตราผิดเกินกว่า 0.05 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อจำนวนฝนเกินกว่า 2 มิลลิเมตร เพื่อที่จะให้ได้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำจริงๆ เมื่อมีจำนวนฝนน้อยเขาจึงทำการบดแก้วดวงตอจนก้นสุดให้เรียบเล็ก ในการตรวจทุกครั้งต้องถือแก้วดวงให้ได้แนวตั้งจริงๆ เพื่อว่าระดับน้ำฝนในแก้วดวงจะได้อยู่ในแนวอนตามขีดสเกล เพื่อเป็นการป้องกันอัตราผิดเนื่องจากการเหลื่อม (Parallax errors) เพื่อช่วยในการนี้ควรขีดสเกลเฉพาะเลขหลักใหญ่ซ้ำอีกทางด้านที่อยู่ตรงข้าม ไม้บรรทัดหยั่งวัดทำด้วยไม้สีดา (Cedar wood) หรือวัสดุที่เหมาะสมอื่น เช่น ไฟเบอร์กลาส ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ดูดน้ำขีดสเกลทำไว้อย่างน้อยทุกๆ 10 มิลลิเมตร อัตราผิดสูงสุดของขีดสเกลต้องไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร ในการวัดด้วยไม้บรรทัดหยั่งวัดนี้ ถ้าสามารถทำได้ให้เทียบกับการวัดด้วยกระบอกแก้วดวงด้วยก็จะดี

3.2.4 การติดตั้งเครื่องมือ (Exposure)

ปรากฏว่าจำนวนน้ำฝนที่จะเข้าไปในถึงนั้นขึ้นอยู่กับลมประการหนึ่ง วิธีการในการติดตั้งเครื่องมือประการหนึ่ง และความสูงของบรรดาลิ่งที่อยู่แวดล้อมอีกประการหนึ่ง ค่าที่เปลี่ยนแปลงเหล่านี้เป็นเหตุมาจากลม และส่วนใหญ่เป็นลมหวนรอบๆถึงวัดฝนซึ่งกระแสนอากาศไหลขึ้นทำให้ได้จำนวนฝนน้อยลง และกระแสนอากาศไหลลงทำให้ได้จำนวนฝนมากขึ้นกว่าความเป็นจริง ถ้ายังมีลมหวนอย่างแรงและบ่อยๆ จำนวนฝนที่ได้ก็ยิ่งน้อยกว่าความเป็นจริงยิ่งขึ้น ความแรงและความถี่ของลมหวนนี้ขึ้นอยู่กับความแรงของลมอย่างหนึ่ง ลักษณะโดยทั่วไปของพื้นดินรอบๆเครื่องวัดอย่างหนึ่ง ความห่างและความสูงของสิ่งแวดล้อมเครื่องวัดอย่างหนึ่งและความสูงของเครื่องซึ่งตั้งอยู่เหนือระดับพื้นดินอีกอย่างหนึ่ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบผลการตรวจของสถานีต่างๆด้วยว่าเป็นอย่างไร ในเมื่อสถานีต่างๆเหล่านั้นได้ทำการติดตั้งเครื่องมือเป็นแบบเดียวกันสำหรับประเทศไทยเรากำหนดให้ติดตั้งไว้บนพื้นดิน

3.2.5 เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก (Tilting Bucket)

เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดกนี้ใช้เพื่อวัดปริมาณของน้ำฝนที่ตกลงมาซึ่งสามารถติดตั้งไว้ภายนอกอาคารได้และทำการต่อด้วยสายเคเบิลเพื่อเข้าไปยังเครื่องบันทึกสัญญาณที่อยู่ภายในอาคารซึ่งวิธีนี้จะไม่ทำให้กระดกบันทึกสัญญาณเปียกได้

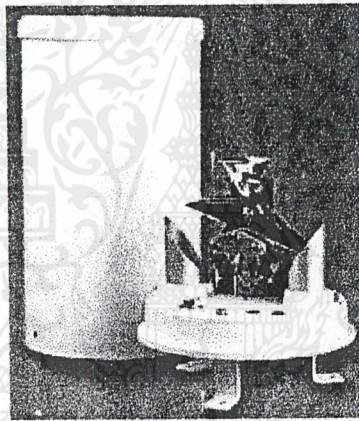
3.2.6 หลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดก (Tilting Bucket)

หลักการที่นำมาใช้ของเครื่องวัดปริมาณน้ำฝนแบบคานกระดกนี้ได้ใช้หลักการง่ายๆคือจะมีอุปกรณ์ที่รองรับน้ำฝนดังรูป 3.1 ซึ่งจะช่วยให้สมดุล และมีการขึ้นลงโดยสม่ำเสมอบนแกน มันจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนโดยผลัดกันรับน้ำที่ตกลงมาจากด้านบน เมื่อมีปริมาณน้ำฝนเข้าไปในปาก

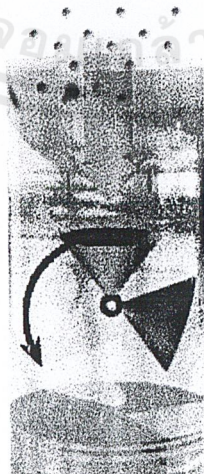
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงจะทำให้ที่รองรับด้านหนึ่งมีปริมาณน้ำเต็ม และได้ปริมาณตามความจุจะทำให้คานกระดกไปยังด้านตรงข้าม และรับน้ำฝนจนเต็มพร้อมกระดกกลับมายังด้านเดิมสลับกันไปโดยที่รองรับถูกออกแบบให้รับน้ำที่ตกลงมา 0.01 นิ้ว ซึ่งจะมีสกรูเอาไว้ใช้ในการปรับให้ระยะเวลาในการกระดกต่างๆ กัน อีกทั้งใช้สวิทช์ปรอทในการออตซีเลชั่นแล้วต่อกับเครื่องบันทึกเวลาในที่ที่ติดตั้งในอาคารซึ่งจะแก้ปัญหากระดกบันทึกเปียกได้ เครื่องวัดแบบนี้จะไม่ใช้ในบริเวณที่ฝนตกประปราย

การกระดกของที่รองรับน้ำฝนจะมีเวลาในการทำงานที่แน่นอนประมาณ 0.2 วินาที เมื่อน้ำเต็มที่ย่างหนึ่งคานก็จะกระดกแล้วเทน้ำลงไป ขณะเดียวกันสวิทช์ปรอทก็จะทำการทิปสวิทช์ทำให้เกิดสัญญาณพัลส์ขึ้นมาและจะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นกับอัตราการตกของฝนคังรูป ซึ่งอัตราการผิดพลาดนี้ไม่ค่อยจะมีผลอะไรมากนัก ยกเว้นในกรณีเมื่อมีฝนตกหนักกว่า 2 นิ้วต่อชั่วโมง หรือตกหนักมากๆ



รูปที่ 3.1 เครื่องวัดฝนแบบคานกระดก (Tilting Bucket)



รูปที่ 3.2 แสดงการทำงานของคานกระดก เมื่อน้ำเต็มในด้านหนึ่งของคาน คานก็จะกระดก

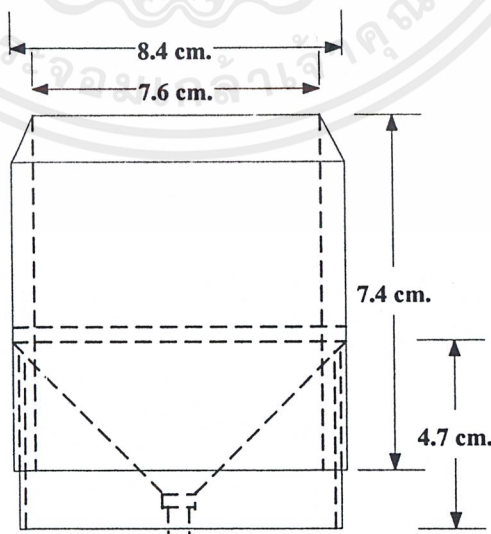
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างเครื่องวัดน้ำฝน

ในส่วนของเครื่องวัดน้ำฝนนั้นจะประกอบด้วยอุปกรณ์ใหญ่ๆ อยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนของถังรองรับน้ำฝน และส่วนของถังกระดก ซึ่งมีขั้นตอนในการออกแบบสร้างดังต่อไปนี้

ส่วนของถังรองรับน้ำฝน

1. นำข้อต่อตรง PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกว้าง 8.4 เซนติเมตร ยาว 7.4 เซนติเมตร มาทำการเจียรขอบปากข้อต่อหนึ่งด้านเพื่อให้เกิดความคม ขนาดของข้อต่อจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.6 เซนติเมตร
2. นำกรวยพลาสติกที่มีขนาดพอดีกับข้อต่อตรง PVC ที่เลือกใช้มาสวมเข้ากับข้อต่อตรงทางด้านล่างของด้านที่ไม่ได้ทำการเจียรปาก
3. นำท่อ PVC ขนาดสำหรับข้อต่อตรงที่เลือกใช้ ที่มีความยาว 4.7 เซนติเมตร สวมอัดเข้ากับข้อต่อตรงที่ได้สวมกรวยพลาสติกเพื่ออัดให้ชิ้นส่วนทั้งสามส่วนยึดเข้าด้วยกัน โดยเจาะรูใส่ตัวหนอนยึดเพื่อความแน่นหนาและแข็งแรง
4. ปลายของกรวยพลาสติกนั้นก็ทำการใส่ปลายท่อหยด ซึ่งได้ตัดแปลงโดยนำท่อแก๊สมาใช้ โดยให้ความร้อนกับท่อแก๊ส แล้วอัดเข้าไปที่ปลายกรวยพลาสติกในขณะที่กรวยพลาสติกจะหลอมละลาย เมื่อปลายกรวยพลาสติกแข็งตัวแล้วก็จะได้ท่อกรวยพลาสติกที่มีปลายท่อหยดที่เชื่อมต่อกันเรียบร้อยแล้ว
5. ทำการประกอบส่วนของถังวัดฝนที่ได้เข้ากับฝาเครื่อง ดังรูปที่ 3.3 โดยใช้สายรัดท่อน้ำรัดยึดส่วนของถังวัดฝนเข้ากับส่วนของฝาเครื่อง ซึ่งสามารถทำการถอดเข้าออกได้โดยง่าย

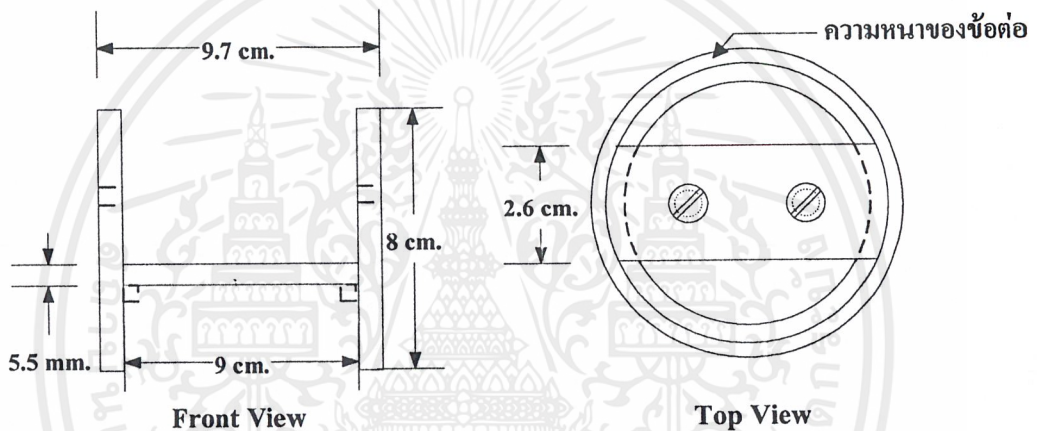


รูปที่ 3.3 โครงสร้างของถังรองรับน้ำฝน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

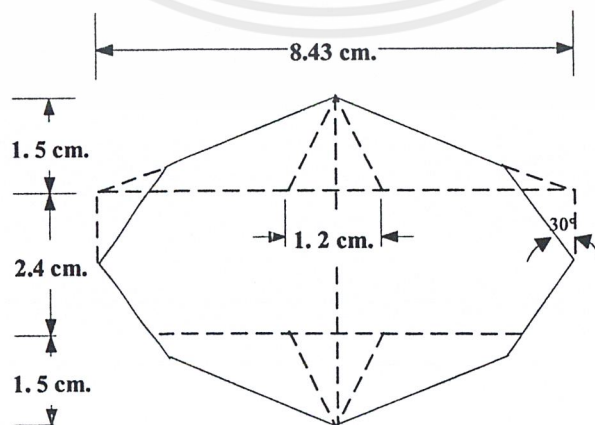
ส่วนของถังคานกระดก

1. ในส่วนถังคานของกระดกนั้นใช้ข้อต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.7 เซนติเมตร ความยาว 8 เซนติเมตร มาเป็นส่วนของถัง โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียมหนา 5.5 มิลลิเมตร กว้าง 2.6 เซนติเมตร ยาว 9 เซนติเมตร เป็นแกนกลางที่จะเป็นส่วนหนึ่งของสกรูปรับระดับการกระดก โดยเจาะรูที่ปลายทั้งสองด้านของแผ่นอะลูมิเนียมแล้วทำเกลียวเพื่อใส่สกรูที่สามารถปรับระดับได้จากความห่างของฟินเกลียว ส่วนด้านข้างก็จะใส่สกรูยึดเข้ากับตัวถังของคานกระดก ที่ขอบถังของกระดกจะเจาะรูทำเกลียวสำหรับใส่สกรูเกลียวที่จะเป็นตัวจุดหมุนของแกนกระดก โดยให้มีระยะดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ถังคานกระดก

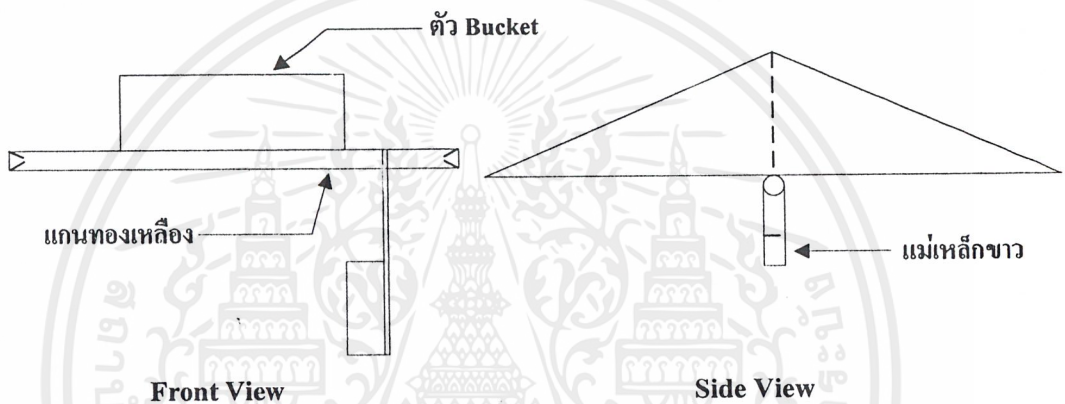
2. ติดตั้งวงจรมอเตอร์ในส่วนของ Lead switch โดยติดตั้ง Lead switch ให้อยู่ในลักษณะแนวตั้ง โดยติดส่วนวงจรเข้ากับถังคานกระดก
3. ในส่วนของ Bucket กระดกนั้นจะทำการสร้างเองโดยได้ถ่ายแบบลงบนแผ่นสแตนเลสบาง ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ภาพคลี่ของตัว Bucket ที่ถ่ายแบบย่อขนาดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. นำแผ่นสแตนเลสที่ได้ไปตัดตามแบบที่วาดไว้และทำการพับขึ้นรูป ประกอบส่วนขึ้นแผ่นที่กั้นกลางขนาดกว้าง 1.5 เซนติเมตร ยาว 2.4 เซนติเมตร จากนั้นทำการบัดกรี เชื่อมรอยต่อทั้งหมด ก็จะได้ Bucket สำหรับถังคานกระดก
5. นำแกนทองเหลืองยาว 7.7 เซนติเมตร นำไปกึ่งเข้าที่ปลายทั้งสองด้านให้เป็นรูแหลมสำหรับเป็นแกนจุดหมุนของ Bucket จากนั้นนำเอา Bucket มาประกอบติดบนแกนทองเหลือง แล้วนำไปทำการถ่วงวัดหาสมดุล แล้วจึงทำการประกอบแกนที่จะติด แม่เหล็กเข้าที่ส่วนปลายด้านหนึ่ง ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การประกอบส่วนของ Bucket

6. ประกอบแกนกระดกที่ได้เข้ากับถังกระดก โดยสอดแกนทองเหลืองที่กลึงรูแหลมไว้เข้ากับสกรูปลายแหลมทั้งสองเข้าที่เจาะยึดไว้ที่ขอบของถังกระดก ทำการปรับให้ได้จุดกระดกที่มีความคล่องตัวพอดีไม่ฝืดหรือคับจนเกินไป ก็จะได้ถังกระดกซึ่งจะต้องนำไปทำการปรับวัดสอบเทียบเพื่อให้ได้ค่าที่เป็นมาตรฐานจริงตรงกับทฤษฎีของการวัดน้ำฝนที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้น

หมายเหตุ

จากเครื่องวัดน้ำฝนที่ใช้งานจริงของกรมอุตุนิยมวิทยานั้นจะใช้เครื่องวัดฝนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 นิ้ว ซึ่งในการออกแบบสร้างนี้ได้ทำการย่อส่วนขนาดมา ซึ่งการคำนวณเปรียบเทียบการสอบวัดระดับน้ำทำได้ดังต่อไปนี้

3.4 การคำนวณในการสอบเทียบเครื่องตรวจสอบฝน

ในการสอบเทียบ จะกำหนดให้ คานกระดกกระดกเมื่อน้ำฝนมีปริมาณ 1 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่กรมอุตุนิยมวิทยายอมรับและใช้กับเครื่องมือในปัจจุบันอยู่

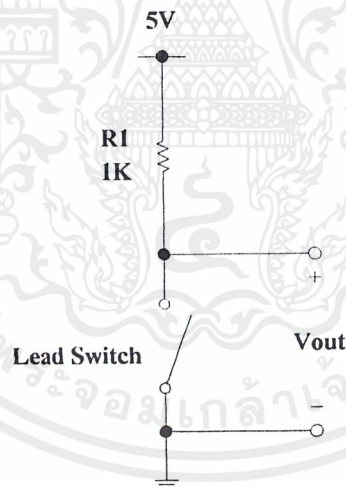
ตัวแปรในการคำนวณมีค่าดังนี้คือ

- รัศมีของปากถังรองรับน้ำฝน (R) = 3.8 เซนติเมตร
- ปริมาณน้ำฝนที่ต้องการให้คานกระดก (H) = 1 มิลลิเมตร หรือ 0.1 เซนติเมตร

ดังนั้นปริมาตรของน้ำที่จะทำให้คานกระดกในแต่ละครั้งคือ $H \cdot \pi \cdot R^2 = 4.536$ ลูกบาศก์เซนติเมตร

แล้วทำการ Calibrate ให้คานกระดก มีการกระดกแต่ละครั้งเมื่อน้ำเต็ม 4.536 ลูกบาศก์เซนติเมตรของแต่ละข้างของคานกระดก

3.5 วงจรในส่วนตรวจสอบฝน



รูปที่ 3.7 วงจรตรวจสอบฝน

จากรูปที่ 3.7 มีการทำงานดังนี้คือ เมื่อปริมาณน้ำฝนถึง 1 มิลลิเมตร จะทำให้คานนั้นกระดก ส่งผลให้แม่เหล็กขาคัดกับ Lead Switch เกิดสัญญาณเอาต์พุตที่มีค่าเป็น 0 โวลต์ขึ้น แต่ในสภาวะปกติที่ไม่มีการกระดกของคาน สัญญาณเอาต์พุตจะมีค่าเป็น 5 โวลต์

จากนั้นเอาต์พุตของวงจรตรวจสอบฝนที่ได้ไปประมวลผลในหน่วย Microcontroller

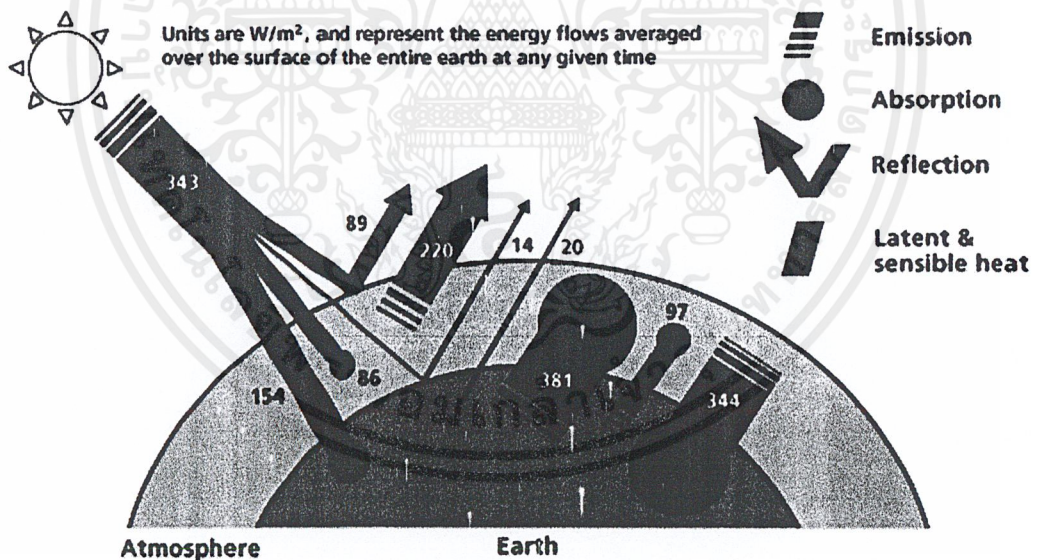
บทที่ 4

ส่วนตรวจสอบแสง

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์และโลก

โลกและดวงอาทิตย์มีระยะห่างจากกันโดยเฉลี่ยประมาณ 1,500,000,000 กิโลเมตร และจากการที่ แสงเดินทางด้วยความเร็วประมาณ 300,000 กิโลเมตร/วินาที ดังนั้นจะต้องใช้เวลาประมาณ 8 นาที แสงจากดวงอาทิตย์จึงจะเดินทางมายังโลกได้

ค่า Solar Constant คือ ค่าความหนาแน่นของพลังงานดวงอาทิตย์ที่มากระทบกับผิวด้านนอกของบรรยากาศของโลก (บริเวณรับแสงจากดวงอาทิตย์ตรง ๆ) โกลีดวงอาทิตย์ โดยค่า Solar Constant นี้จะมีค่าประมาณ 1,360 วัตต์/ตารางเมตร แต่ที่ตำแหน่งอื่นของภายนอกชั้นบรรยากาศโลกที่ไม่ได้อยู่ตรงกับบริเวณด้านรับแสงของดวงอาทิตย์ พลังงานที่ได้รับต่อหน่วยพื้นที่จะมีค่าน้อยกว่าค่านี้

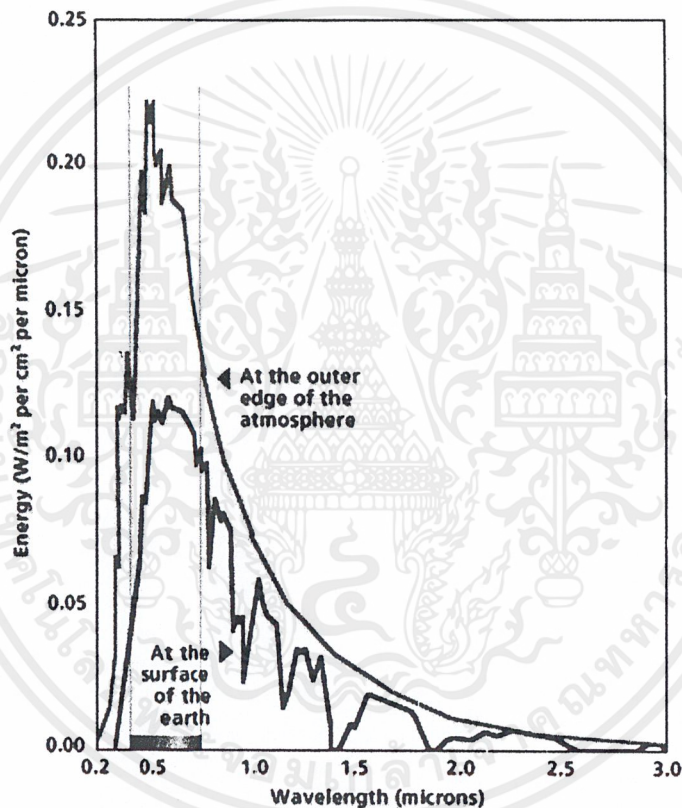


รูปที่ 4.1 แสดงผลของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่มีต่อโลก

จากรูปที่ 4.1 แสดงผลของพลังงานจากดวงอาทิตย์ที่มีต่อโลก พลังงานบางส่วนจะถูกสะท้อนกลับไปในอวกาศ บางส่วนจะถูกดูดกลืนโดยชั้นบรรยากาศของโลก และส่วนสุดท้ายจะเป็นส่วนที่สามารถส่งไปลงไปสู่พื้นโลกได้ ในขณะที่พื้นผิวของโลกและชั้นบรรยากาศก็สามารถแผ่พลังงานออกไปยังอวกาศได้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 343 วัตต์/ตารางเมตร ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยนำพลังงานของแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกกระทบมายัง โลก หาดด้วยพื้นที่ของพื้นผิวโลกทั้งหมดโดยรวมทั้งพื้นที่ด้านที่หันออกจากดวงอาทิตย์ พลังงานที่ กล่าวถึงนี้รวมถึงความร้อนที่ถ่ายเทจากพื้นผิวโลกไปยังชั้นบรรยากาศด้วย ซึ่งความร้อนจะถูกถ่าย เทในรูปของน้ำในบรรยากาศ ก๊าซและไอน้ำในอากาศจะดูดซับบางส่วน of พลังงานที่แผ่มาจาก รังสีดวงอาทิตย์



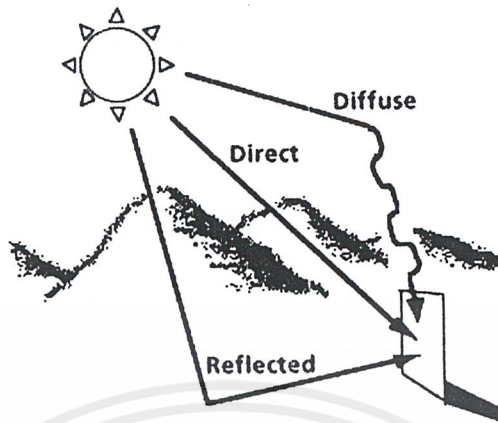
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลก เปรียบเทียบกับของชั้นบรรยากาศ

ในการคำนวณปริมาณของแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อวัตถุนบน โลก ปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาคือ

- การแผ่รังสีเป็นแนวตรงของดวงอาทิตย์
- การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ซึ่งถูกกระจายโดยชั้นบรรยากาศ
- การแผ่รังสีสะท้อนจากสิ่งแวดล้อม

ดังรูปที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



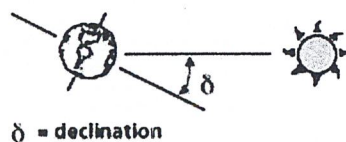
รูปที่ 4.3 แสดงปัจจัยที่ต้องนำมาพิจารณาในการคำนวณปริมาณของแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อ
วัตถุนบนโลก

ค่าพลังงานสูงสุดของรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวของโลกสามารถรับได้จะอยู่ที่ประมาณ 1 กิโลวัตต์ / ตารางเมตร ซึ่งอยู่ในเวลาเที่ยงวันของฤดูร้อนที่มีท้องฟ้าแจ่มใส และระนาบพื้นผิวโลกได้ ถูกโคจรไปตั้งฉากกับแสงดวงอาทิตย์ สำหรับในช่วงเวลาอื่นของวัน หรือวันที่มีก้อนเมฆปกคลุมหนาแน่นในฤดูอื่น หรือในขณะที่พื้นผิวของโลกไม่ได้หันไปรับแสงจากดวงอาทิตย์ตรง ๆ ที่สภาพแวดล้อมเหล่านี้จะมีค่าความหนาแน่นของพลังงานดวงอาทิตย์น้อย

4.2 มุมพื้นฐานในการส่องสว่างของดวงอาทิตย์

4.2.1 Declination (δ)

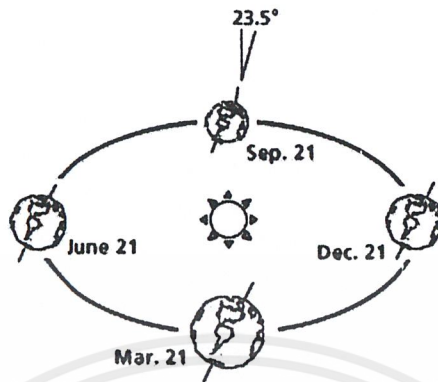
Declination เป็นมุมที่เกิดขึ้นระหว่างรังสีของดวงอาทิตย์ และเส้นศูนย์สูตรของโลก โดยเส้นศูนย์สูตรของโลกจะเอียงทำมุม 23.45° ตลอด เมื่อเทียบกับระนาบการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ดังนั้น Declination จึงมีค่าเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 23.45° N ถึง 23.45° S นั่นคือประเทศที่มีที่ตั้งอยู่ระหว่างละติจูดที่ 23.45° N ถึง 23.45° S จะมีโอกาสพบกับอุณหภูมิที่สูงที่สุดของโลก เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากนั่นเอง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้เกิดฤดูกาลขึ้น



δ = declination

รูปที่ 4.4 มุม Declination

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงฤดูกาลต่าง ๆ ของโลก

จากรูปที่ 4.5 ตั้งวันที่ 21 ธันวาคม ซีกโลกทางค้ำเหนือจะเอียง 23.45° หนีออกจากดวงอาทิตย์ซึ่งทำให้เกิดฤดูหนาวที่ยาวนานสำหรับบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร และเกิดวันในฤดูร้อนที่ยาวนานในบริเวณใต้เส้นศูนย์สูตร ตั้งแต่วันที่ 21 มิถุนายน ซีกโลกทางค้ำใต้จะเอียงทำมุม 23.45° หนีเข้าหาดวงอาทิตย์ ซึ่งกรณีนี้ทำให้เกิดวันในฤดูร้อนที่ยาวนาน สำหรับบริเวณเหนือเส้นศูนย์สูตร และเกิดวันในฤดูหนาวที่ยาวนาน ในบริเวณซีกโลกครึ่งล่าง สำหรับวันที่ 21 มีนาคม และ 21 กันยายน จะเป็นฤดูใบไม้ผลิ และฤดูใบไม้ร่วงซึ่งดวงอาทิตย์จะผ่านเส้นศูนย์สูตรโดยตรง Declination จะมีค่าเป็นศูนย์ (การวัดหน่วยของ Declination เป็นองศา)

$$\delta = 23.45 \times \sin \left\{ \frac{360}{365} \times (284 + \text{วันที่ต้องการคำนวณ}) \right\} \dots\dots\dots (4.1)$$

โดยวันที่ต้องการคำนวณจะกำหนดให้วันที่ 1 มกราคม มีค่าเป็น 1 ดังนั้นหากต้องการคำนวณ ณ วันที่ 5 มีนาคม จะทำให้วันที่ต้องการคำนวณมีค่าเป็น 64 (31+28+5) และDeclination ของดวงอาทิตย์ที่ คำนวณได้จะมีค่าเป็นบวกเมื่อแนวของดวงอาทิตย์อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตร จะมีค่าเป็นลบเมื่อแนวของดวงอาทิตย์อยู่ใต้เส้นศูนย์สูตร

ตัวอย่างการคำนวณค่ามุม Declination ภายในรอบ 1 ปี ดังแสดงในตารางที่ 4.1 มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 Declination ของดวงอาทิตย์ประจำปี

วันที่	มกราคม			กุมภาพันธ์			มีนาคม		
	ละติจูด			ละติจูด			ละติจูด		
	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา
1	-23	0	45.48	-17	8	25.84	-7	38	35.85
2	-22	55	39.17	-16	51	15.34	-7	15	45.59
3	-22	50	5.43	-16	33	47.17	-6	52	49.2
4	-22	44	4.44	-16	16	1.77	-6	29	47.07
5	-22	37	36.36	-15	57	59.55	-6	6	39.61
6	-22	30	41.41	-15	39	40.94	-5	43	27.24
7	-22	23	19.8	-15	21	6.35	-5	20	10.34
8	-22	15	31.76	-15	2	16.2	-4	56	49.29
9	-22	7	17.54	-14	43	10.88	-4	33	24.47
10	-21	58	37.37	-14	23	50.77	-4	9	56.22
11	-21	49	31.52	-14	4	16.26	-3	46	24.87
12	-21	40	0.23	-13	44	27.73	-3	22	50.78
13	-21	30	3.76	-13	24	25.57	-2	59	14.27
14	-21	19	42.37	-13	4	10.19	-2	35	35.71
15	-21	8	56.33	-12	43	42	-2	11	55.44
16	-20	57	45.94	-12	23	1.4	-1	48	13.83
17	-20	46	11.5	-12	2	8.82	-1	24	31.24
18	-20	34	13.32	-11	41	4.68	-1	0	48.05
19	-20	21	51.75	-11	19	49.39	0	37	4.63
20	-20	9	7.11	-10	58	23.37	0	13	21.35
21	-19	55	59.75	-10	36	47.06	0	10	21.42
22	-19	42	30.04	-10	15	0.86	0	34	3.31
23	-19	28	38.34	-9	53	5.2	0	57	43.95
24	-19	14	25	-9	31	0.5	1	21	22.95
25	-18	59	50.42	-9	8	47.16	1	44	59.96
26	-18	44	54.97	-8	46	25.61	2	8	34.6
27	-18	29	39.03	-8	23	56.27	2	32	6.5
28	-18	14	2.99	-8	1	19.54	2	55	35.29
29	-17	58	7.25	-	-	-	3	19	0.59
30	-17	41	52.21	-	-	-	3	42	22.03
31	-17	25	18.27	-	-	-	4	5	39.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	เมษายน			พฤษภาคม			มิถุนายน		
	ละติจูด			ละติจูด			ละติจูด		
	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา
1	4	28	51.86	15	1	47.11	22	1	55.98
2	4	51	59.5	15	19	51.09	22	9	56.69
3	5	15	1.8	15	37	39.71	22	17	34.14
4	5	37	58.4	15	55	12.68	22	24	48.19
5	6	0	48.96	16	12	29.7	22	31	38.68
6	6	23	33.15	16	29	30.49	22	38	5.51
7	6	46	10.65	16	46	14.78	22	44	8.55
8	7	8	41.14	17	2	42.29	22	49	47.67
9	7	31	4.34	17	18	52.75	22	55	2.78
10	7	53	19.93	17	34	45.88	22	59	53.74
11	8	15	27.61	17	50	21.41	23	4	20.47
12	8	37	27.07	18	5	39.06	23	8	22.86
13	8	59	17.97	18	20	38.54	23	12	0.82
14	9	20	59.99	18	35	19.58	23	15	14.27
15	9	42	32.8	18	49	41.87	23	18	3.14
16	10	3	56.06	19	3	45.16	23	20	27.36
17	10	25	9.43	19	17	29.15	23	22	26.88
18	10	46	12.58	19	30	53.58	23	24	1.66
19	11	7	5.16	19	43	58.16	23	25	11.67
20	11	27	46.83	19	56	42.63	23	25	56.89
21	11	48	17.25	20	9	6.73	23	26	17.3
22	12	8	36.08	20	21	10.2	23	26	12.92
23	12	28	42.97	20	32	52.79	23	25	43.74
24	12	48	37.59	20	44	14.23	23	24	49.78
25	13	8	19.58	20	55	14.29	23	23	31.06
26	13	27	48.61	21	5	52.73	23	21	47.61
27	13	47	4.32	21	16	9.28	23	19	39.45
28	14	6	6.38	21	26	3.72	23	17	6.66
29	14	24	54.42	21	35	35.82	23	14	9.31
30	14	43	28.12	21	44	45.36	23	10	47.47
31	-	-	-	21	53	32.14	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

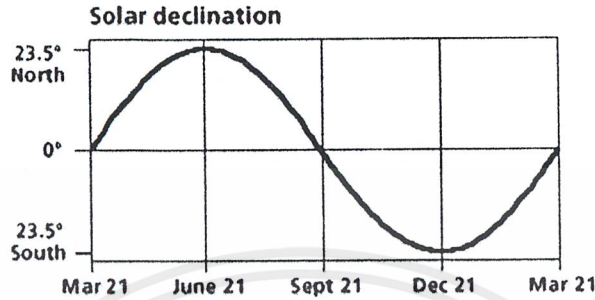
วันที่	กรกฎาคม			สิงหาคม			กันยายน		
	ละติจูด			ละติจูด			ละติจูด		
	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา
1	23	7	1.26	18	3	10.32	8	19	59.88
2	23	2	50.78	17	47	58.38	7	58	12.27
3	22	58	16.17	17	32	29.1	7	36	17.01
4	22	53	17.53	17	16	42.79	7	14	14.41
5	22	47	55.02	17	0	39.72	6	52	4.76
6	22	42	8.76	16	44	20.18	6	29	48.38
7	22	35	58.9	16	27	44.45	6	7	25.55
8	22	29	25.59	16	10	52.82	5	44	56.58
9	22	22	28.96	15	53	45.56	5	22	21.78
10	22	15	9.19	15	36	22.97	4	59	41.44
11	22	7	26.43	15	18	45.33	4	36	55.9
12	21	59	20.86	15	0	52.95	4	14	5.46
13	21	50	52.64	14	42	46.11	3	51	10.45
14	21	42	1.97	14	24	25.12	3	28	11.23
15	21	32	49.04	14	5	50.29	3	5	8.12
16	21	23	14.04	13	47	1.94	2	42	1.48
17	21	13	17.21	13	28	0.4	2	18	51.67
18	21	2	58.75	13	8	46	1	55	39.03
19	20	52	18.9	12	49	19.07	1	32	23.92
20	20	41	17.9	12	29	39.95	1	9	6.7
21	20	29	56.01	12	9	48.96	0	45	47.73
22	20	18	13.48	11	49	46.44	0	22	27.36
23	20	6	10.55	11	29	32.71	0	0	54.04
24	19	53	47.48	11	9	8.11	0	24	16.11
25	19	41	4.52	10	48	32.98	0	47	38.51
26	19	28	1.95	10	27	47.65	-1	11	0.87
27	19	14	40.04	10	6	52.46	-1	34	22.85
28	19	0	59.06	9	45	47.72	-1	57	44.11
29	18	46	59.31	9	24	33.78	-2	21	4.31
30	18	32	41.08	9	3	10.95	-2	44	23.11
31	18	18	4.65	8	41	39.55	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่	ตุลาคม			พฤศจิกายน			ธันวาคม		
	สถิติจุด			สถิติจุด			สถิติจุด		
	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา	องศา	ลิปดา	ฟิลิปดา
1	-3	7	40.17	-14	22	43.13	-21	46	34.7
2	-3	30	55.17	-14	41	50.81	-21	55	45.63
3	-3	54	7.77	-15	0	44.24	-22	4	31.36
4	-4	17	17.65	-15	19	23.06	-22	12	51.61
5	-4	40	24.47	-15	37	46.86	-22	20	46.15
6	-5	3	27.91	-15	55	55.28	-22	28	14.73
7	-5	26	27.62	-16	13	47.92	-22	35	17.1
8	-5	49	23.28	-16	31	24.38	-22	41	53.02
9	-6	12	14.52	-16	48	44.24	-22	48	2.29
10	-6	35	1	-17	5	47.12	-22	53	44.68
11	-6	57	42.34	-17	22	32.58	-22	59	0
12	-7	20	18.19	-17	39	0.23	-23	3	48.08
13	-7	42	48.14	-17	55	9.64	-23	8	8.75
14	-8	5	11.81	-18	11	0.42	-23	12	1.86
15	-8	27	28.8	-18	26	32.16	-23	15	27.26
16	-8	49	38.72	-18	41	44.46	-23	18	24.83
17	-9	11	41.17	-18	56	36.89	-23	20	54.46
18	-9	33	35.74	-19	11	9.08	-23	22	56.04
19	-9	55	22.02	-19	25	20.6	-23	24	29.49
20	-10	16	59.59	-19	39	11.08	-23	25	34.74
21	-10	38	28.05	-19	52	40.13	-23	26	11.75
22	-10	59	46.97	-20	5	47.38	-23	26	20.47
23	-11	20	55.95	-20	18	32.45	-23	26	0.89
24	-11	41	54.58	-20	30	55	-23	25	13.02
25	-12	2	42.45	-20	42	54.68	-23	23	56.88
26	-12	23	19.17	-20	54	32.16	-23	22	12.5
27	-12	43	44.32	-21	5	44.12	-23	19	59.95
28	-13	3	57.54	-21	16	33.24	-23	17	19.29
29	-13	23	58.41	-21	26	58.23	-23	14	10.62
30	-13	43	46.55	-21	36	58.81	-23	10	34.05
31	-14	3	21.59	-	-	-	-23	6	29.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการเปลี่ยนของ Declination ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์ ดังรูปที่ 4.6

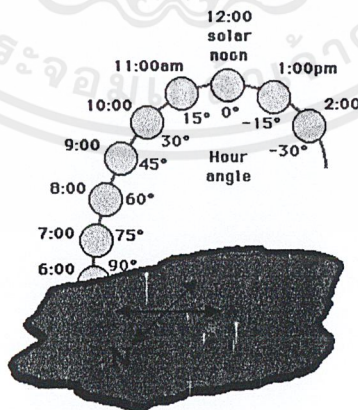


รูปที่ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลง Declination ภายในช่วง 1 ปี

4.2.2 Hour Angle (H)

เป็นค่าของมุมที่ระหว่างเส้นที่เชื่อมตรงมายังตำแหน่งของดวงอาทิตย์กับเส้นที่ลากมายังตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตอนเที่ยง โดยมันจะมีค่าเท่ากับ 15° ต่อชั่วโมง (หรือ 1° ต่อ 4 นาที) ในขณะที่โลกหมุน 360° ทุก ๆ 24 ชั่วโมง ค่าของ Hour Angle จะเป็นค่าบวกก่อนเที่ยง และจะเป็นค่าลบหลังเที่ยง

$$H = (\text{เวลาหน่วยเป็นนาทีที่เหลือก่อนถึงเที่ยงวัน}) / 4 \dots\dots\dots (4.2)$$

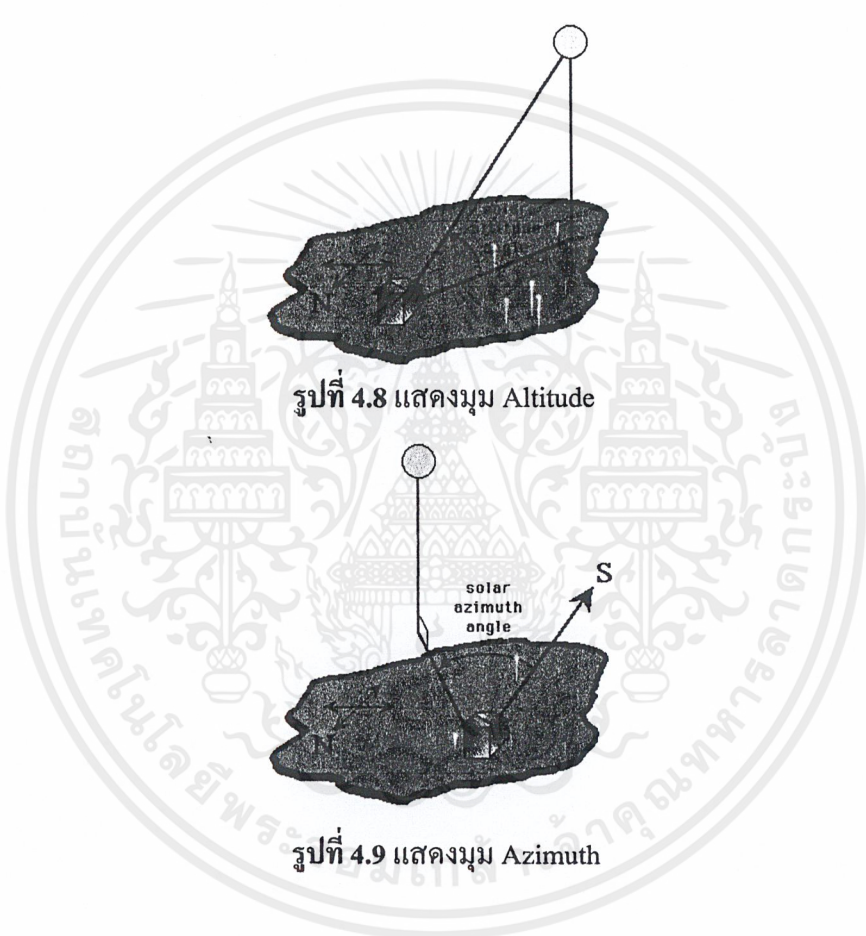


รูปที่ 4.7 แสดง Hour Angle

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 Altitude (β) and Azimuth (ϕ) Angles

ทั้งค่า Altitude และค่า Azimuth ของดวงอาทิตย์สามารถใช้ระบุตำแหน่งที่แน่นอนของดวงอาทิตย์ได้ มุม Altitude เป็นมุมที่วัดจากแนวระนาบไปยังความสูงของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า (มุมเงย) แต่ Azimuth เป็นมุมที่เกิดขึ้นในแนวอนระหว่างตำแหน่งเงาบนพื้นดินของดวงอาทิตย์กับทิศใต้ (องศาใต้-วนทวนเข็มนาฬิกา) หรือทิศเหนือ (องศาเหนือ-วนตามเข็มนาฬิกา)



Altitude Angle

$$\beta = \sin^{-1} \{ [\cos (\text{ละติจูด}) \times \cos (\delta) \times \cos (H)] + [\sin (\text{ละติจูด}) \times \sin (\delta)] \} \dots\dots\dots (4.3)$$

Solar Azimuth Angle

$$\phi = \cos^{-1} \left\{ \frac{[\sin (\beta) \times \sin (\text{ละติจูด})] - \sin (\delta)}{\cos (\beta) \times \cos (\text{ละติจูด})} \right\} \dots\dots\dots (4.4)$$

ตัวอย่างการคำนวณค่ามุม Altitude (β) and Azimuth (ϕ) ของวันที่ 25 ตุลาคม 2544 ณ เขตบางนา ดังแสดงในตารางที่ 4.2 มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างการคำนวณตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดย website

<http://www.susdesign.com/sunposition/index.html>

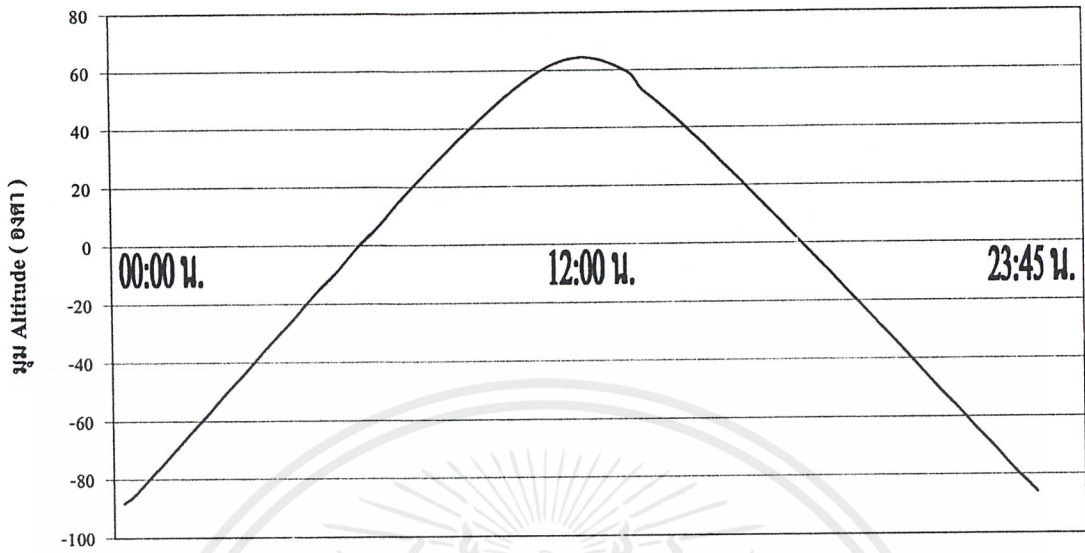
ข้อมูลวันที่ 25 ตุลาคม 2544 ณ เขตบางนา (ละติจูดที่ 13 องศาเหนือ 40 ลิปดา)

เวลา	Altitude(องศา)	Azimuth(องศาเหนือ)	เวลา	Altitude(องศา)	Azimuth(องศาเหนือ)
0:00	-88.12	179.99	6:30	4.33	76.65
0:15	-85.89	116.78	6:45	7.87	75.67
0:30	-82.45	103.54	7:00	11.39	74.62
0:45	-78.87	98.41	7:15	14.89	73.5
1:00	-75.25	95.58	7:30	18.37	72.29
1:15	-71.62	93.69	7:45	21.83	70.98
1:30	-67.98	92.28	8:00	25.26	69.55
01:45	-64.34	91.13	8:15	28.65	67.99
2:00	-60.7	90.16	8:30	32.01	66.27
2:15	-57.05	89.3	8:45	35.32	64.37
2:30	-53.41	88.5	9:00	38.57	62.25
2:45	-49.77	87.76	9:15	41.76	59.87
3:00	-46.13	87.05	9:30	44.87	57.18
3:15	-42.49	86.37	9:45	47.87	54.13
3:30	-38.86	85.69	10:00	50.76	50.66
3:45	-35.23	85.02	10:15	53.49	46.67
4:00	-31.6	84.36	10:30	56.04	42.09
4:15	-27.98	83.68	10:45	58.36	36.83
4:30	-24.36	83	11:00	60.39	30.82
4:45	-20.75	82.3	11:15	62.06	24.04
5:00	-17.14	81.59	11:30	63.33	16.53
5:15	-13.54	80.85	11:45	64.11	8.43
5:30	-9.94	80.09	12:00	64.38	0
5:45	-6.36	79.29	12:15	64.1	-8.42
6:00	-2.79	78.46	12:30	63.31	-16.52
6:15	0.78	77.58	12:45	62.04	-24.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

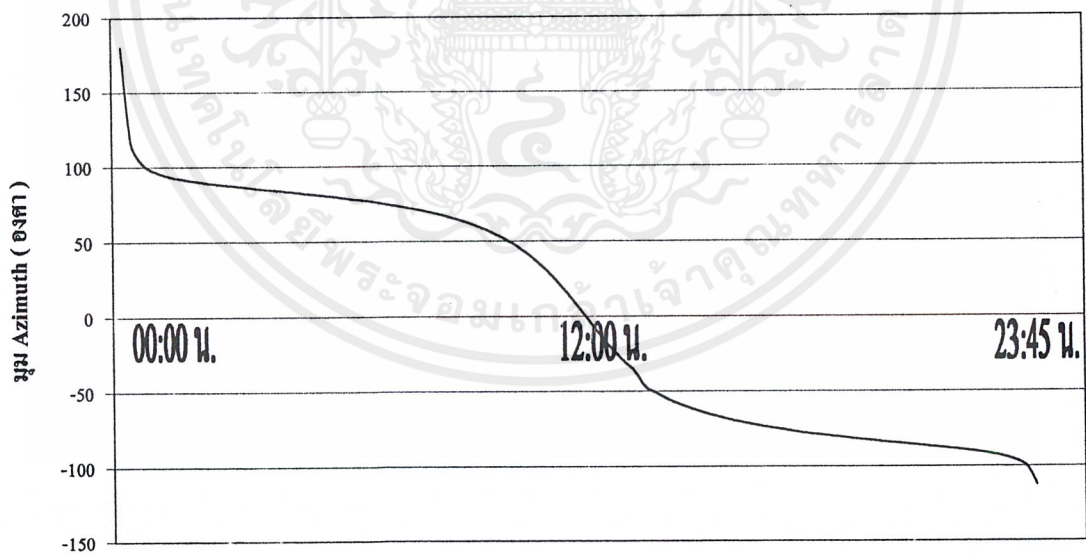
เวลา	Altitude	Azimuth	เวลา	Altitude	Azimuth
13:00	60.36	-30.8	20:30	-38.89	-85.38
13:15	58.33	-36.79	20:45	-42.53	-86.03
13:45	53.46	-46.61	21:00	-46.16	-86.68
14:00	50.72	-50.59	21:15	-49.8	-87.35
14:15	47.84	-54.06	21:30	-53.45	-88.05
14:30	44.83	-57.1	21:45	-57.09	-88.78
14:45	41.72	-59.78	22:00	-60.73	-89.58
15:00	38.53	-62.15	22:15	-64.38	-90.46
15:15	35.28	-64.27	22:30	-68.02	-91.47
15:30	31.97	-66.16	22:45	-71.66	-92.71
15:45	28.61	-67.88	23:00	-75.3	-94.34
16:00	25.21	-69.43	23:15	-78.93	-96.75
16:15	21.79	-70.85	23:30	-82.53	-101.08
16:30	18.33	-72.16	23:45	-86.03	-112.44
16:45	14.85	-73.36			
17:00	11.35	-74.48			
17:15	7.82	-75.52			
17:30	4.29	-76.5			
17:45	0.74	-77.42			
18:00	-2.83	-78.29			
18:15	-6.4	-79.11			
18:30	-9.98	-79.9			
18:45	-13.58	-80.66			
19:00	-17.18	-81.38			
19:15	-20.78	-82.08			
19:30	-24.39	-82.77			
19:45	-28.01	-83.43			
20:00	-31.64	84.09			
20:15	-35.26	-84.74			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เวลา (00:00 ถึง 23:45 น.)

รูปที่ 4.10 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Altitude กับเวลาของวันที่ 25 ตุลาคม 2544
ณ เขตบางนา



เวลา (00:00 ถึง 23:45 น.)

รูปที่ 4.11 รูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุม Azimuth กับเวลาของวันที่ 25 ตุลาคม 2544
ณ เขตบางนา

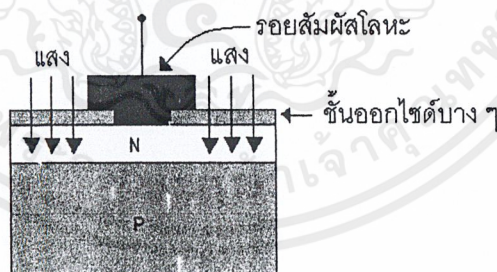
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟรูปที่ 4.10 จะพบว่าที่เวลาประมาณ 12:00 น. หรือประมาณเที่ยงวันมุม Altitude จะมีค่าเข้าใกล้ 90° นั่นคือเวลาขณะนั้นดวงอาทิตย์จะอยู่ในแนวตั้งฉากกับบริเวณที่ตั้งอยู่ทำให้เวลาเที่ยงวันมีอุณหภูมิที่สูงที่สุดของวันนั้น ส่วนเวลาที่มุม Altitude มีค่าเป็นลบนั้นหมายความว่าดวงอาทิตย์จะอยู่อีกซีกโลกหนึ่ง (ตะวันออก-ตะวันตก)

จากที่เราทราบว่าดวงอาทิตย์จะขึ้นประมาณ 06:00 น. ที่ทิศตะวันออก พบว่ารูปที่ 4.11 มีมุม Azimuth ประมาณเข้าใกล้ 90° (วัดจากทิศเหนือตามเข็มนาฬิกา) นั่นคือเป็นทิศตะวันออกนั่นเอง และเวลาประมาณ 18:00 น. มุม Azimuth มีค่าประมาณ -90° คือทิศตะวันตกนั่นเอง

4.3 ทฤษฎี Photovoltaic Cells หรือเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells)

เซลล์แสงอาทิตย์หรืออาจเรียกว่า โซลาร์เซลล์นับว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ปัจจุบันโดยทั่ว ๆ ไปมักสร้างมาจากผลึกเดี่ยวของซิลิกอน โครงสร้างของไดโอดชนิดนี้ก็คือรอยต่อพี - เอ็น นั่นเอง แต่จะต้องมีโครงสร้างซึ่งสามารถตกกระทบที่รอยต่อได้ง่ายและพื้นที่ของรอยต่อก็มีขนาดมาก ดังแสดงในรูปที่ 4.12 โดยมีส่วนเอ็นเป็นชั้นบาง ๆ ราว 1 ไมครอนอยู่บนส่วนพี ในกรณีที่ทำด้วยซิลิกอนขณะรอยต่อได้รับแสง แต่ละตัวของไดโอดจะให้แรงดันได้ถึง 0.5 โวลต์ ในขณะที่เปิดวงจร เมื่อต้องการแรงดันที่สูงกว่านี้ก็สามารถทำได้โดยการนำตัวโซลาร์เซลล์นี้มาต่ออนุกรมกันหรือในกรณีที่ต้องการกระแสสูง ๆ ก็ทำได้โดยต่อโซลาร์เซลล์ขนานกัน

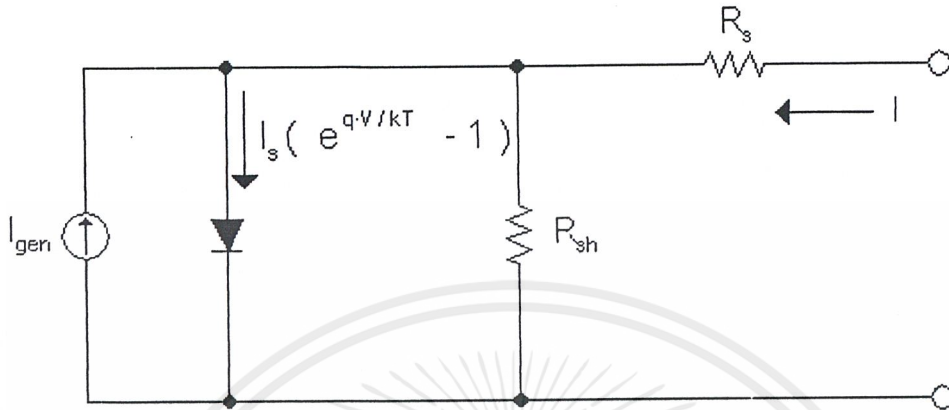


รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอน

ในปัจจุบันจะเห็นว่าโซลาร์เซลล์ชนิดต่าง ๆ มากมาย เช่น Cu_2S -Cd cells, Se-CdS cells, thin film GaAs และ CdS cells เพราะว่าโซลาร์เซลล์นี้เป็นสิ่งจำเป็นมากสำหรับระบบจ่ายกำลังของดาวเทียม และงานด้านอวกาศอื่น ๆ รวมทั้งเป็นแหล่งจ่ายกำลังซึ่งเหมาะที่นำไปใช้ ในแหล่งทุรกันดาร และห่างไกลชุมชน อีกทั้งยังช่วยผ่อนคลาปัญหาการขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิงได้ อีกด้วย วงจรเสมือนของโซลาร์เซลล์แสดงได้ดังรูปที่ 4.13 กล่าวคือมีแหล่งจ่ายกระแสตามที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Constant current source) ต่อขนานอยู่กับรอยต่อพี - เอ็น



รูปที่ 4.13 แสดงวงจรเสมือนในทางอุดมคติของ Solar Cells

จากรูปจะสังเกตเห็นได้ว่ากระแสเกิดจาก Photon จากพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งถูกแทนด้วยแหล่งจ่ายกระแสคงที่ ส่วนความต้านทานมีทั้ง shunt และ series resistive loss แต่ในความเป็นจริงอาจละ shunt resistance ได้เนื่องจากค่า shunt resistance จะมีค่าค่อนข้างมากซึ่งจะไม่ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าที่ Output ลดลง แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถละ series resistance ได้เนื่องจากค่าของ series resistance มีผลต่อการลดลงของ กำลังไฟฟ้าที่ Output อย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น เมื่อค่าของ series resistance มีค่า 5Ω สามารถทำให้กำลัง ไฟฟ้าที่ Output ลดลงได้ถึง 30 %

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของ โซลาร์เซลล์ แสดงได้โดยสมการ

$$I = I_s (e^{qV/kT} - 1) - I_{gen} \dots\dots\dots (4.5)$$

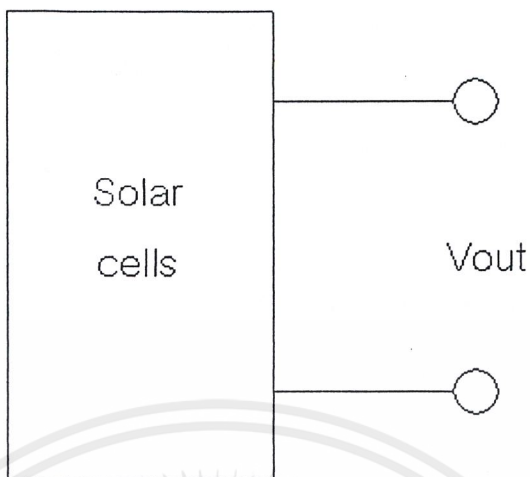
โดยที่

I_s : คือ กระแสอิ่มตัวย้อนกลับของรอยต่อ พี - เอ็น

I_{gen} : คือ กระแสอันเนื่องจากรอยต่อได้รับการกระตุ้นด้วยแสง

4.4 การตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของ Solar Cells

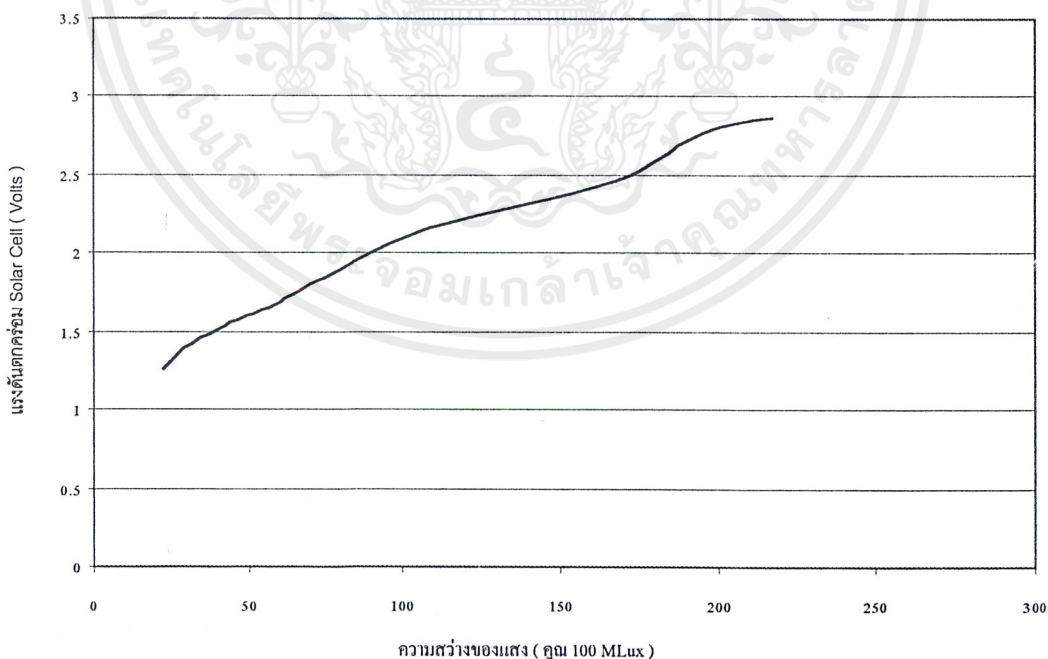
ทำได้โดยนำ Solar Cells ไปปรับแสงแดดแล้ววัดค่าแรงดันที่ตกคร่อม Solar Cells ที่ความสว่างของแสงค่าต่างดังแสดงได้ในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงวงจรตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของ Solar Cells

4.5 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของ Solar Cells

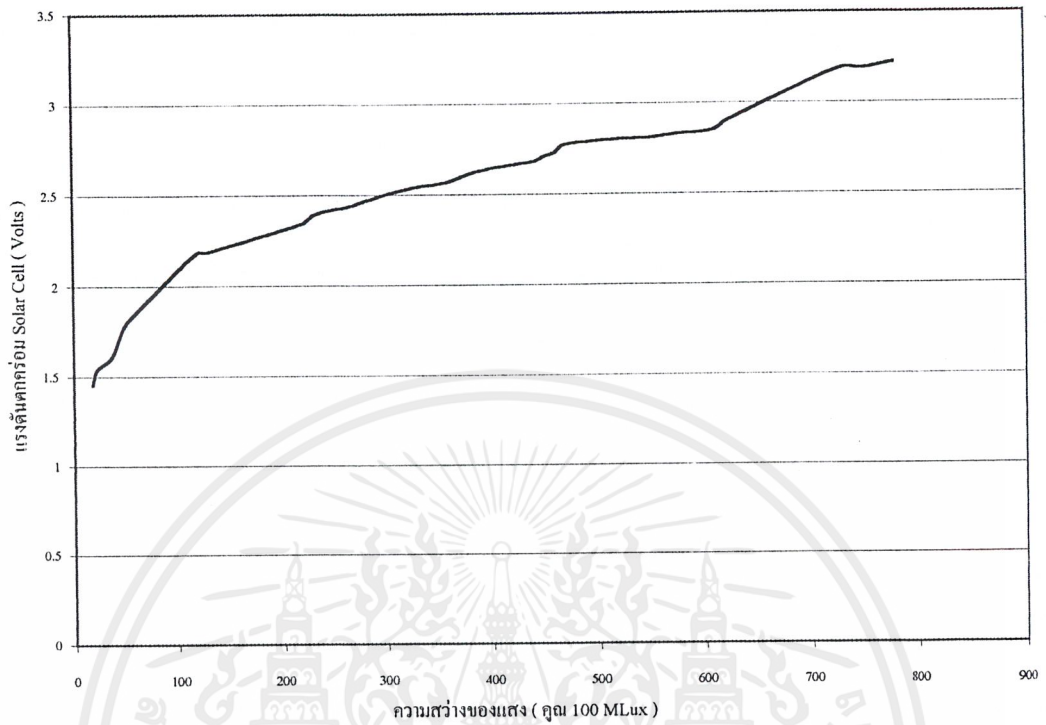
สามารถพล็อตเป็นกราฟได้ดังนี้คือ



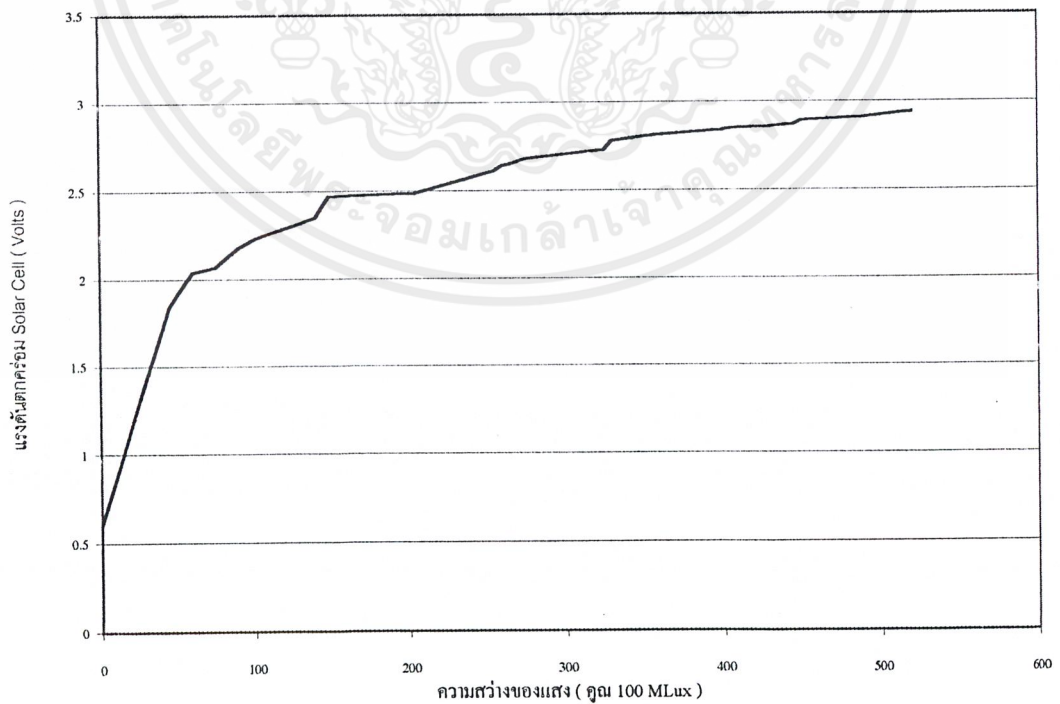
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงแรงดันคร่อม Solar Cell (Volts) ที่ความสว่างค่าต่างๆ

[ทดลองครั้งที่ 1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงแรงดันตกคร่อม Solar Cell (Volts) ที่ความสว่างค่า
ต่างๆ [ทดลองครั้งที่ 2]



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงแรงดันตกคร่อม Solar Cells (Volts) ที่ความสว่างค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ต่างๆ [ทดลองครั้งที่ 3] ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 สรุปผลการตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของ Solar Cells

จากการทดลองพบว่าค่าแรงดันที่ตกคร่อม Solar Cells นั้นจะแปรผันตามค่าความสว่างของแสงที่ตกกระทบผิวสัมผัสของ Solar Cells โดยจากกราฟรูปที่ 4.15, 4.16 และ 4.17 จะเห็นว่าคุณสมบัติของ Solar Cells มีความเป็นเชิงเส้นในช่วงของแสงแดด จึงเหมาะที่จะนำมาใช้งานอย่างมาก

จากนั้นจึงนำผลการทดสอบคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นของ Solar Cells นี้ไปประมวลผลในส่วน Microcontroller



บทที่ 5

ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

5.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 เป็นหน่วยประมวลผลกลางแบบเทคโนโลยี CMOS ซึ่งอยู่ในตระกูล MCS-51 ของบริษัท Atmel ถูกผลิตขึ้นมาให้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับงานด้านระบบควบคุมต่างๆ โดย AT89C51 มีคุณสมบัติดังนี้

- หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) มีขนาด 8 บิตและมีหน่วยความจำโปรแกรม (Program memory) 4K เป็นแบบแฟลช (Flash) ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียนและลบได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้าหนึ่งพันครั้งและสามารถทำการพัฒนาโปรแกรมได้อย่างสะดวก
- หน่วยความจำภายใน RAM มีขนาด 128 ไบต์ (Byte)
- อ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 K
- อ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 K
- พอร์ตอินพุตและพอร์ตเอาต์พุตขนาด 8 บิต 4 พอร์ต จำนวน 32 พิน (Pin)
- ตัวจับเวลา/ตัวนับเวลา (Timer/Counter) ขนาด 16 บิต 2 ชุด
- พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Full duplex serial port) 1 ช่อง
- โครงสร้างการอินเทอร์รัพท์ (Interrupt) 6 แหล่ง
- มีวงจรรอสซึลเลเตอร์บนชิป (Chip)
- สามารถทำงานได้ที่ความถี่ 0 Hz ถึง 24 MHz
- กินกำลังไฟฟ้าต่ำและมีโหมดประหยัดพลังงาน (Power-down Mode)

5.1.1 การจัดหาและลักษณะภายนอกของ AT89C51

- ขาต่อลงดิน (Ground) คือขา 20 เป็นขาสำหรับต่อลงดิน
- ขา Vcc คือขา 40 เป็นขาที่ต่อแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์
- ขา พอร์ต 0 (Port0 : P0.0-P0.7) คือขา 32-39 เป็นพอร์ต I/O 8 บิต แบบโอเพนเดรนไบไดเรกชันแนล (Open Drain Bi-directional) สามารถที่จะรับ โหลดทีทีแอล (TTL) ได้ 8 ตัว การเขียนค่า "1" ลงไปที่พอร์ตนี้ จะเป็นการปล่อยขาลอยขาของพอร์ตนี้ ทำให้มันทำงาน อินพุตมีอิมพีแดนซ์สูง ในการให้พอร์ตนี้บริการแบบ I/O พอร์ต 0 จะทำงานเป็นมัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ด้วยสัญญาณแอดเดรสกับข้อมูล สำหรับการใส่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานในหน่วยความจำภายนอก ในการใช้งานแบบนี้จะใช้ลักษณะภายในเป็นตัวพูลอัพพอร์ต0 ยังใช้งานเป็นตัวส่งข้อมูลทางพอร์ตนี้ เมื่อใช้บริการทางด้านการตรวจสอบโปรแกรมรอม (ROM) ภายใน ถ้าใช้งานในลักษณะนี้การพูลอัพ (Pull up) จากภายนอกต้องต่อด้วยค่า $10k\Omega$

- ขาพอร์ต1 (Port1 : P1.0-P1.7) คือขา 1-8 เป็นพอร์ต I/O 8 บิต แบบโอเพนเดรนไบไดเรกชันเนล พร้อมด้วยการพูลอัพภายใน ถ้าเป็นพอร์ตเอาต์พุตแบบบัฟเฟอร์ สามารถจับโหลดที่ทีแอลได้ 4 ตัว พอร์ต1 เมื่อถูกเขียนค่า “1” ด้วยโปรแกรมจะมีสถานะสูงด้วยการพูลอัพภายใน การใช้สถานะเช่นนี้จะเป็นการเริ่มต้นการใช้งานพอร์ตนี้ให้เป็นอินพุท การให้สัญญาณลงต่ำจะเป็นการจ่ายกระแสออกเนื่องจากการพูลอัพภายใน
- ขาพอร์ต2 (Port2 : P2.0-P2.7) คือขา 21-28 เป็นพอร์ต I/O 8 บิตแบบ โอเพนเดรนไบไดเรกชันเนล ด้วยการพูลอัพภายใน พอร์ต2 ที่ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์เอาต์พุท (Output buffer) สามารถจ่ายโหลดที่ทีแอลได้ 4 ตัว พอร์ตจะถูกใช้งานเป็นตัวส่งแอดเดรสไบต์สูงสุดด้วย เมื่อใช้งานร่วมกับหน่วยความจำภายนอกเพื่อให้แอดเดรสได้ถึง 16 บิต
- ขาพอร์ต3 (Port3 : P3.0-P3.7) คือขา 10-17 เป็นพอร์ต I/O 8 บิต แบบพูลอัพภายใน นอกจากจะทำตัวเป็น โหลด I/O รับ โหลดที่ทีแอล 4 ตัวแล้ว ยังใช้งานเป็นพิเศษสำหรับตระกูล MCS-51 ตามตาราง 5.1 นี้

ตารางที่ 5.1 แสดงบิตและหน้าที่ต่างๆของพอร์ต 3

บิต	ชื่อ	หน้าที่พิเศษ
P3.0	RXD	ใช้รับข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม
P3.1	TXD	ใช้ส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรม
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$	อินเตอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 0
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$	อินเตอร์รัพท์ภายนอกหมายเลข 1
P3.4	T0	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 0
P3.5	T1	ตัวจับเวลา / ตัวนับ ตัวที่ 1
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	สัญญาณอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่จะทำงานตามฟังก์ชันข้างบนจะต้องเริ่มโปรแกรมด้วยการส่งค่า “1” ไปแลตช์ไว้ก่อนที่จะให้ทำงานตามฟังก์ชันข้างบน

- ขาริเซต (RST) คือขา 9 ต้องคงสถานะค่าสูงไว้เป็นเวลาประมาณอย่างน้อยสองวัฏจักรระหว่างที่ออสซิลเลเตอร์ทำงาน ขณะที่ต้องการรีเซตทั้งระบบ
- ขา ALE/PROG คือขา 30 เป็นขาแอดเดรสแลตช์เอนเนเบิล (Address latch enable) ด้วยการส่งพัลส์ออกไปใช้สำหรับแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำจากพอร์ต 0 ในระหว่างการเข้าถึงข้อมูลจากหน่วยความจำภายใน ALE จะถูกส่งสัญญาณนาฬิกาออกมา ในอัตราความเร็วคงที่ที่ 1/8 ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ตลอดเวลา แม้ว่าจะไม่มีการเข้าถึงข้อมูลภายใน ดังนั้นจึงสามารถที่จะใช้สัญญาณจากขานี้เป็นตัวตั้งสัญญาณภายนอกหรือเป็นความถี่สัญญาณนาฬิกา แต่อย่างไรก็ตามความถี่สัญญาณนี้จะลดความถี่ซ้าลงไปเท่าหนึ่งระหว่างการทำงานแบบการเข้าภายนอก ขา นี้ยังเป็นสัญญาณพัลส์เข้าสำหรับการควบคุมโปรแกรม EPROM ภายในชิพ
- ขา PSEN (Program Storage Enable) คือขา 29 เป็นสโตรบ (Strop) สำหรับอ่านข้อมูลจากโปรแกรมหน่วยความจำภายนอก เมื่อชิพทำงานด้วยโปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอก ขา PSEN จะสร้างสโตรบต่อสองครั้งภายใน 1 แมชีน ไซเคิล (machine cycle)
- ขา EA/Vpp คือขา 31 มีสถานะสูง ตัว CPU ทำงานตามหน่วยความจำภายนอก ซึ่งขยายโปรแกรมได้ยาวถึง 64 กิโลไบต์
- ขา XTAL1 คือขา 19 ใช้เป็นตัวอินพุตเข้าสู่ตัวออสซิลเลเตอร์ขยายแบบอินเวอร์ท
- ขา XTAL2 คือขา 18 ใช้เป็นตัวเอาต์พุตจากตัวออสซิลเลเตอร์ขยายแบบอินเวอร์ท

5.1.2 การจัดหน่วยความจำและการเชื่อมต่อ

หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ 89C51 แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) หน่วยความจำประเภทนี้ คือ ROM ใช้เก็บโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบ ซึ่งเป็นหน่วยความจำประเภท non-volatile
2. หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) หน่วยความจำประเภทนี้ได้แก่ RAM

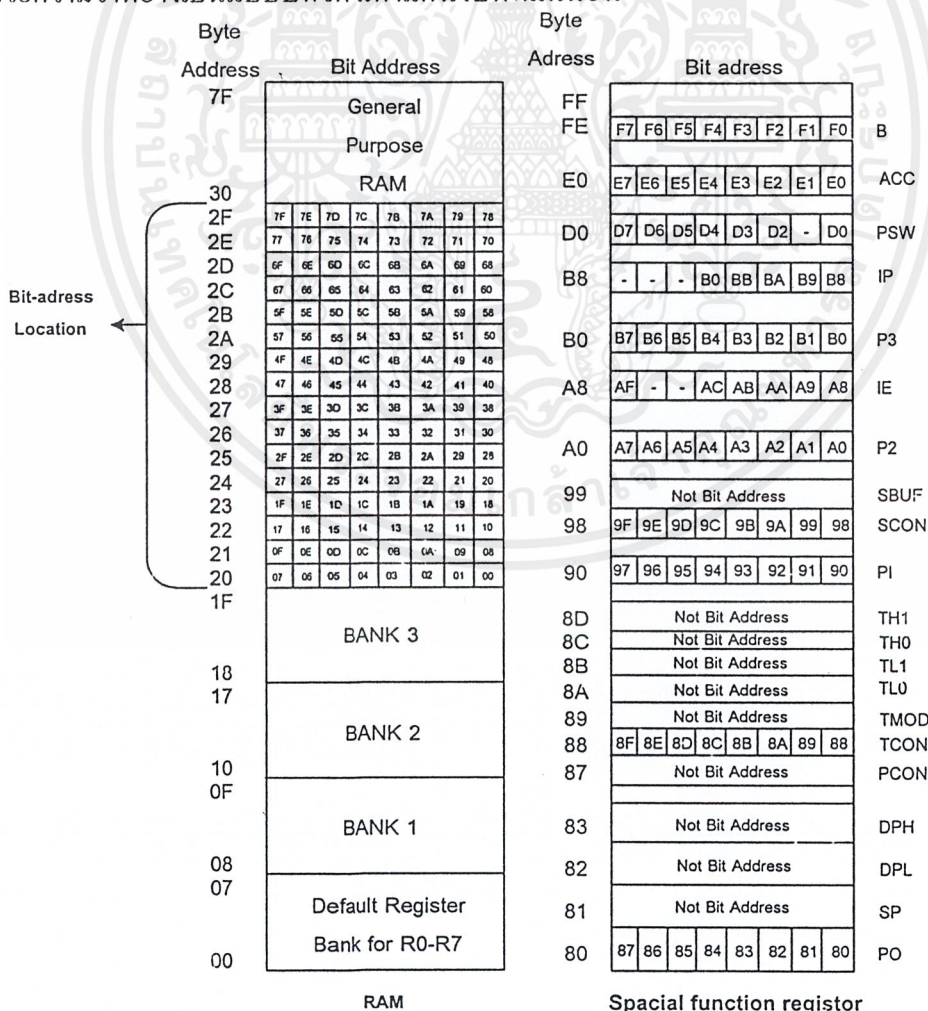
MCS-51 เบอร์ 89C51 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมในชิพซึ่งสามารถเขียนหรือลบโปรแกรมได้ซ้ำๆหลายครั้ง และสามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้มากที่สุด 64 กิโลไบต์ สำหรับหน่วยความจำ RAM จะประกอบไปด้วย พื้นที่ใช้งานทั่วไป, รีจิสเตอร์แบงก์, พื้นที่ใช้งานระดับบิท และ รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ ใน 89C51 จะมีหน่วยความจำภายในตั้งแต่ตำแหน่ง 00H ถึง FFH และสามารถอ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64000 ตำแหน่ง ถ้าอ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากหน่วยความจำโปรแกรมมา PSEN จะแอกทีฟ นอกจากนี้ 89C51 สามารถอ้างถึงหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64000 ตำแหน่ง โดยการติดต่อกับหน่วยความจำนี้ใช้ RD กับ WR จะแอกทีฟสำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในจะแบ่งออกได้ดังนี้

1. ชุดรีจิสเตอร์ 4 ชุด แต่ละชุดเรียกว่ารีจิสเตอร์แบงก์ ที่ตำแหน่ง 00H-1FH โดยแต่ละชุดประกอบด้วยรีจิสเตอร์ R0 ถึง R7
2. หน่วยความจำสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ตำแหน่ง 20H ถึง 2FH
3. หน่วยความจำใช้งานทั่วไปตำแหน่ง 30H ถึง 7FH
4. รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษตำแหน่ง 80H ถึง FFH

แผนผังการจัดหน่วยความจำข้อมูลภายในแสดงได้ดังรูปที่ 5.1 ซึ่งจะมีการอ้างถึงตำแหน่งหน่วยความจำภายในจะอ้างได้สองแบบ คือการอ้างไปที่ตำแหน่งของไบต์ (เขียนหมายเลขตำแหน่งด้านนอก) หรือการอ้างไปที่ตำแหน่งของบิต (เขียนหมายเลขตำแหน่งด้านใน) โดยตำแหน่งของหน่วยความจำที่อ้างเป็นแบบบิตได้ มีตำแหน่งบิตที่แน่นอน



รูปที่ 5.1 ตำแหน่งของหน่วยความจำทั้งแบบไบต์และแบบบิต

5.1.3 หน่วยความจำข้อมูล

หน่วยความจำข้อมูลมีหน้าที่สำหรับเก็บข้อมูล หรือตัวแปรที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังประมวลผลโปรแกรมไว้เป็นการชั่วคราว โดยพื้นฐานแล้วหน่วยความจำข้อมูลจัดเป็นหน่วยความจำ RAM แบบสแตติก ดังนั้นเมื่อไม่มีการจ่ายไฟฟ้าให้กับระบบ ก็จะมีผลทำให้ข้อมูลที่จัดเก็บไว้ภายในหน่วยความจำนี้สูญหายไป

พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลของ 89C51 สามารถมีได้สูงสุดไม่เกิน 64 กิโลไบต์ และแยกประเภทออกเป็นสองลักษณะตามตำแหน่งที่ตั้งของหน่วยความจำนั้น

- หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory) ซึ่งเป็นหน่วยความจำข้อมูลที่อยู่ภายในตัวของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เอง
- หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory) ซึ่งเป็นการใช้ไอซีหน่วยความจำข้อมูลมาเพิ่มเติมเข้าไปในวงจร ลักษณะเดียวกับการนำไอซี EPROM มาใช้งานเป็นหน่วยความจำโปรแกรมนั่นเอง

หน่วยความจำข้อมูลภายใน

หน่วยความจำข้อมูลภายในของ 89C51 มีจำนวนทั้งหมด 128 ไบต์โดยจำแนกออกเป็นสองลักษณะคือ พื้นที่เฉพาะสำหรับตัวประมวลผลกลาง หรือเรียกว่า รีจิสเตอร์ R0-R7 และพื้นที่ใช้งานทั่วไปสำหรับโปรแกรมที่ผู้ใช้สร้างขึ้นมา

บริเวณแอดเดรส 00H-1FH จำนวน 32 ไบต์จำแนกออกเป็นกลุ่ม (Bank) 8 ไบต์จำนวน 4 กลุ่ม ซึ่งมีชื่อเรียกว่า รีจิสเตอร์ R0-R7 ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5.2 การจำแนกแอดเดรสรีจิสเตอร์

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

จะเป็นได้ว่าชื่อของรีจิสเตอร์ไม่ว่าจะอยู่ในรีจิสเตอร์แบงก์ใด ก็จะมีชื่อ R0-R7 เหมือนกันทั้งสิ้น ดังนั้นในการใช้งานผู้ใช้จะต้องให้ความระมัดระวังว่าต้องการรีจิสเตอร์นั้นๆ จากแบงก์ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสวิตช์ เลือกแต่ละกลุ่มของรีจิสเตอร์นี้ทำได้ง่าย เพียงการกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ PSW เท่านั้นตามตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5.3 การกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ PSW

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

อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปมักจะมีการใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 เฉพาะในแบงก์ 0 เท่านั้น ดังนั้นพื้นที่ของแบงก์อื่นๆ ที่เหลือก็สามารถนำมาใช้ในลักษณะของหน่วยความจำข้อมูลภายในปกติ ด้วยการอ้างถึงหมายเลขของแอดเดรสต่างๆ โดยตรง

บริเวณแอดเดรส 20H -2FH จำนวน 16 ไบต์ เป็นบริเวณพื้นที่เป็นส่วนสำหรับผู้ใช้ซึ่งจะมีความพิเศษต่างไปจากหน่วยความจำส่วนอื่นๆ เนื่องจาก ผู้ใช้สามารถอ้างถึงหน่วยความจำบริเวณนี้ได้ทั้งในลักษณะของไบต์ข้อมูลเช่นปกติ หรืออาจจะเป็นบิตข้อมูลได้โดยตรง ดังนั้นหากว่ามองในลักษณะบิตข้อมูลแล้ว ก็จะมีพื้นที่ตัวแปรแบบบิตให้ใช้งานได้มากถึง 128 บิต โดยตำแหน่งแรกของบิตจะเป็นบิตซึ่งเริ่มต้นนับจากบิตน้อยสำคัญที่สุด (LSB) ของแอดเดรส 20H เรื่อยไปจนกระทั่งถึงบิตที่ 127 ซึ่งเป็นบิตน้อยสำคัญสูงสุด (MSB) ของแอดเดรส 2FH

ความสามารถในการใช้งานพื้นที่ส่วนนี้แบบบิตข้อมูลโดยตรงนี้นับว่าน่าสนใจมาก และถือเป็นการใช้งาน 89C51 อย่างเต็มประสิทธิภาพทีเดียว เนื่องจากว่า 89C51 ได้รับการออกแบบมาก็มักจะเป็นเพียงการอ่านค่าสถานะลอจิกของเส้นสัญญาณ หรือกรณีการส่งออกข้อมูลก็จะเป็นการกำหนดสถานะลอจิกให้กับวงจรภายนอกผ่านทางบิตใดบิตหนึ่งอยู่แล้ว ดังนั้นหากว่ามีการกำหนดบิตหรืออ่านค่าของบิตมาโดยตรง แทนที่จะต้องทำลอจิกขึ้นต้นกับข้อมูลทั้งไบต์ เพื่อต้องการทราบผลเพียงหนึ่งบิต เช่นที่กระทำกันในโปรเซสเซอร์โดยทั่วไป ก็จะช่วยความสะดวกและรวดเร็วในการเขียนโปรแกรมควบคุมมาก รายละเอียดในส่วนนี้จะได้กล่าวถึงอีกครั้งในส่วนของการใช้งานพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตต่อไป

บริเวณแอดเดรส 30H-7FH เป็นบริเวณที่สามารถนำไปใช้งานได้โดยอิสระ โดยสามารถอ้างถึงได้เฉพาะในลักษณะของไบต์ข้อมูลตามปกติเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำถัดไปคือพื้นที่ตั้งแต่บริเวณตั้งแต่แอดเดรส 80H-FFH เป็นบริเวณของหน่วยความจำที่มีการใช้งานเฉพาะเท่านั้น โดยจะนำมาใช้เป็นตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (Special-Function Register หรือ SFR) จำนวน 20 ตำแหน่ง ดังแสดงแผนภาพในตารางด้านล่าง สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51 จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในสำหรับการใช้งานเพิ่มมากขึ้น โดยจะอยู่บริเวณช่วงแอดเดรส 80H ถึง FFH เช่นกัน ซึ่งแม้ว่าจะเป็นพื้นที่ที่มีหมายเลขแอดเดรสเดียวกับส่วนของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ แต่ในความเป็นจริงแล้วจะเป็นพื้นที่หน่วยความจำอีกบริเวณหนึ่ง ซึ่งมีการซ้อนทับ (Overlap) กันให้อยู่ในบริเวณแอดเดรสส่วนนี้ ซึ่งหากว่าผู้ใช้งานต้องการจะเก็บข้อมูลในพื้นที่บริเวณนี้ก็จะต้องใช้การอ้างถึงหน่วยความจำแบบโดยอ้อม (Indirect Addressing) เท่านั้น

ตารางที่ 5.4 ความสามารถการอ้างถึงแบบบิตของรีจิสเตอร์

ชื่อรีจิสเตอร์	การอ้างถึงแบบบิต	ชื่อรีจิสเตอร์	การอ้างถึงแบบบิต
ACC	ได้	IE	ไม่ได้
B	ได้	TMOD	ไม่ได้
PSW	ได้	TCON	ไม่ได้
SP	ได้	TH0	ไม่ได้
DPTR	ได้	TL0	ไม่ได้
P0	ได้	TH1	ไม่ได้
P1	ได้	TL1	ไม่ได้
P2	ได้	SCON	ไม่ได้
P3	ได้	SBUF	ไม่ได้
IP	ได้	PCON	ไม่ได้

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (Special Function Register : SFR) เป็นรีจิสเตอร์สำหรับการควบคุมหน้าที่และการทำงานของอุปกรณ์หรือพอร์ตของ 89C51 ทั้งหมด โดยมีตำแหน่งอยู่ในบริเวณแอดเดรส 80H-FFH การใช้ งานรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษเหล่านี้ สามารถทำได้ทั้งการระบุถึงชื่อของรีจิสเตอร์ หรือตำแหน่งของแอดเดรสที่เป็นของรีจิสเตอร์นั้นก็ได้

ในตาราง 5.4 แสดงเห็นลักษณะการจัดพื้นที่หน่วยความจำ สำหรับรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษเหล่านี้ โดยมีข้อสังเกตว่ารีจิสเตอร์ที่อยู่ตำแหน่งแอดเดรสที่เป็นจำนวนทวีคูณของค่า 8 จะสามารถอ้างถึงในระดับบิตได้ด้วย (นั่นคือ แอดเดรส 80H, 88H, 90H, 98H, A0H, A8H, B0H, B8H, D0H, E0H และ F0H)

- แอควิวมูเลเตอร์ (Accumulator) หรือ ACC

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลที่จะส่งให้กับหน่วยทำงานภายในซีพียู และเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานนั้น การทำงานของรีจิสเตอร์นี้มีลักษณะเช่นเดียวกับตัวแอควิวมูเลเตอร์ของโปรเซสเซอร์ทั่วไปของการใช้งานภายใน โปรแกรมจะเรียกว่ารีจิสเตอร์ A

- รีจิสเตอร์ B

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับการทำคำสั่งการคูณและการหารตัวเลข ในกรณีที่ไม่ใช่ในการคำนวณทางด้านคณิตศาสตร์ ก็สามารถนำไปใช้เช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ทั่วไปได้

- โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการชี้ตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรม ซึ่งจะต้องไปทำงานในลำดับถัดไป การใช้งานภายใน โปรแกรมจะเรียกว่า รีจิสเตอร์ PC

- สแต็คพอยน์เตอร์ (Stack Pointer)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ทำหน้าที่เก็บตำแหน่งของตัวชี้หรือพอยน์เตอร์ (Pointer) ของบริเวณ สแต็ค (Stack) สำหรับเก็บข้อมูลแอควิวมูเลเตอร์ รีจิสเตอร์ต่างๆรวมทั้งข้อมูลจากโปรแกรมโดยปกติแล้วเมื่อทำการเริ่มต้นระบบใหม่ภายหลังจากการเริ่มจ่ายไฟฟ้า หรือมีการรีเซต (Reset) เกินขึ้นค่าภายในสแต็คพอยน์เตอร์จะมีค่า 07H ซึ่งเป็นตำแหน่ง แอดเดรสภายในบริเวณเนื้อที่ 128 ไบต์แรกของหน่วยความจำข้อมูลภายใน การใช้งานภายใน โปรแกรมจะเรียกว่า “รีจิสเตอร์ SP”

- ตัวชี้ข้อมูล หรือ ดาต้าพอยน์เตอร์ (Data Pointer)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ซึ่งเรียกว่า DPTR และสามารถใช้งานแยกออกเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตสองตัวคือ รีจิสเตอร์ DPH และ DPL เพื่อเก็บค่าของแอดเดรสของหน่วยความจำที่ต้องการใช้งานภายใน โปรแกรมหรืออาจจะเป็นแอดเดรสของอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งกำหนดให้ติดต่อกัน โดยใช้ตำแหน่งของหน่วยความจำภายใน โปรแกรม

- โปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (PSW)

รีจิสเตอร์นี้ทำหน้าที่บอกถึงแฟล็กสถานะการทำงานต่างๆ รวมทั้งบิตสำหรับการกำหนดเลือกแบงก์ (Bank) ของรีจิสเตอร์ที่ใช้งานด้วย ดังแสดง

ตารางที่ 5.5 ความหมายของโปรแกรมสเตตัสเวิร์ด (PSW)

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
CY	PSW.7	Carry Flag
AC	PSW.6	Auxiliary Carry Flag
F0	PSW.5	Flag 0
RS1	PSW.4	Select Bank 1
RS0	PSW.3	Select Bank 0
OV	PSW.2	Overflow Flag
-	PSW.1	-
P	PSW.0	Parity Flag

- รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับพอร์ต (Port Register)

รีจิสเตอร์เหล่านี้จะมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอินพุท/เอาต์พุทโดยตรง ซึ่งแต่ละตัวจะเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถใช้งานได้ทั้งในลักษณะของการอินพุทหรือการเอาต์พุท ข้อมูลก็ได้ การดำเนินการใดๆที่เกี่ยวกับพอร์ตทั้งสี่นี้จะมีผลทำให้ข้อมูลที่ตำแหน่งของพอร์ตเหล่านี้เปลี่ยนแปลงไปเช่นกัน นอกจากนี้พอร์ต P0 และ P2 ยังสามารถนำมาใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมหรือหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ โดยพอร์ต P2 จะเป็นค่าของแอดเดรส 8 บิตบนของหน่วยความจำ ส่วนพอร์ต P0 นั้นในช่วงเริ่มแรกจะเป็นค่าของแอดเดรส 8 บิตล่างของหน่วยความจำ ช่วงเวลาต่อมาจึงจะนำพอร์ต P0 ไปใช้เป็นบัสสำหรับการรับหรือส่งข้อมูลกับหน่วยอุปกรณ์ภายนอก สำหรับพอร์ต P3 นั้นนอกเหนือจากจะใช้ในฐานะของพอร์ตอินพุท/เอาต์พุทเช่นปกติแล้ว ยังนำมาใช้ในฐานะบัสควบคุมเกี่ยวกับสัญญาณอินเตอร์รัพท์ได้อีกด้วย

- รีจิสเตอร์ SBUF

เป็นบัฟเฟอร์ขนาด 8 บิต สำหรับการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมทั้งการรับและการส่งข้อมูล ซึ่งตามความเป็นจริงแล้วบัฟเฟอร์นี้มีอยู่ด้วยกันสองชุดและแยกจากกันอย่างชัดเจน สำหรับการส่งและการรับ โดยซีพียูจะทำการจัดการเลือกบัฟเฟอร์ที่เหมาะสมให้โดยอัตโนมัติ

- รีจิสเตอร์ PCON

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมหน้าที่การทำงานในสามลักษณะ ซึ่งได้แก่ การควบคุมการทำงานของโปรเซสเซอร์ (บิต IDL และ PD) การกำหนดอัตราการทวิคูณของอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลอนุกรม (บิต SMOD) และแฟล็กสภาวะสำหรับการใช้งานทั่วไป (บิต GR0 และ GR1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ความหมายของโปรแกรมพาวเวอร์คอนโทรลเลอร์รีจิสเตอร์ (PCON)

ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
SMOD	PCON.7	บิตวิถีสัญญาของอัตราบวกลบปกติ
-	PCON.6	-
-	PCON.5	-
-	PCON.4	-
GF1	PCON.3	แฟล็กสำหรับให้ผู้ใช้ ใช้งานทั่วไป Flag 0
GF0	PCON.2	แฟล็กสำหรับให้ผู้ใช้ ใช้งานทั่วไป Flag 1
PD	PCON.1	บิตสำหรับการกำหนด Power down
IDL	PCON.0	บิตสำหรับการกำหนด Idle โหมด

บิต PD (Power down) เป็นการกำหนดให้ลดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับส่วนของโปรเซสเซอร์ภายในลง โดยยังคงมีกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับส่วนหน่วยความจำข้อมูลภายในผ่านทางขาสัญญาณ RST วิธีการนี้มักนำมาใช้ในกรณีที่มีการตรวจสอบการไม่มีกำลังไฟฟ้า (Power failure) โดยวงจรตรวจสอบภายนอกจะต้องมีการอินเทอร์รัพท์เข้ามา เพื่อทำการเก็บข้อมูลที่กำลังประมวลผลอยู่ก่อน และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้เป็นปกติแล้ว จึงค่อยนำข้อมูลนั้นมาประมวลผลต่อไป

บิต IDL (Idle Mode) เป็นการกำหนดให้โปรเซสเซอร์หยุดการทำงานชั่วคราว (Sleep) และจะกลับมาอยู่ในสภาพปกติอีกครั้งเมื่อทำการรีเซตทางฮาร์ดแวร์ หรือมีการอินเทอร์รัพท์อย่างใดอย่างหนึ่งเกิดขึ้น การทำงานในลักษณะนี้สามารถเกิดขึ้นได้ก็เนื่องจากว่า สถานะการหยุดการทำงานชั่วคราวนั้น เป็นเพียงการห้ามไม่ให้มีสัญญาณนาฬิกาจ่ายให้ส่วนของโปรเซสเซอร์เท่านั้น ส่วนของวงจรการอินเทอร์รัพท์พอร์ตอนุกรมและวงจรรีบ/จับเวลา ยังคงมีสัญญาณนาฬิกาอยู่เป็นปกติ

- รีจิสเตอร์ IP, IE, TMOD, SCON

เป็นกลุ่มของรีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่กำหนดการควบคุม และการทำงานของอินเทอร์รัพท์ต่างๆของ 89C51

5.1.4 การอินเทอร์รัพท์ (Interrupt) ใน 89C51

ประเภทของการอินเทอร์รัพท์

1. อินเทอร์รัพท์ภายนอก การตรวจสอบสัญญาณที่มาจากอินเทอร์รัพท์นี้ จะสามารถกำหนด

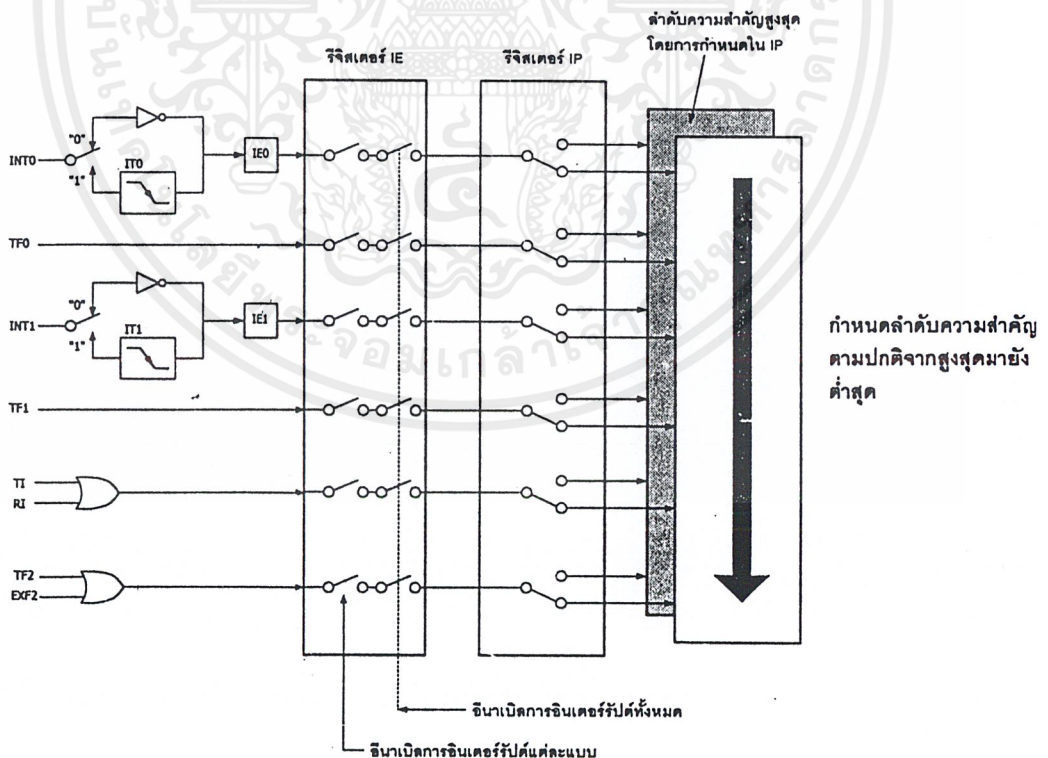
ให้มีการตรวจสอบในลักษณะเมื่อได้มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณ (Level-เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

sensitive) ไปแล้ว หรือในช่วงเวลาขณะเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากลอจิกสูงไปต่ำ (Edge-sensitive)

2. อินเทอร์รัพท์ภายใน แหล่งกำเนิดสัญญาณนี้จะเป็นวงจรภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เอง เช่น วงจรนับ/จับเวลา วงจรเชื่อมต่อสัญญาณอนุกรม เป็นต้น

โครงสร้างการอินเทอร์รัพท์เกิดได้ 5 ลักษณะด้วยกัน คือ

- INTO สัญญาณอินเทอร์รัพท์จากภายนอก ทางขาสัญญาณ P3.2 โดย 89C51 จะทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณเมื่อสิ้นสุดทุก Machine Cycle
- INT1 สัญญาณอินเทอร์รัพท์จากภายนอก ทางขาสัญญาณ P3.3 โดย 89C51 จะทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณเมื่อสิ้นสุดทุก Machine Cycle
- Timer0 สัญญาณการเกิดโอเวอร์โฟลว์ (Overflow) ของไทม์เมอร์ 0
- Timer1 สัญญาณการเกิดโอเวอร์โฟลว์ (Overflow) ของไทม์เมอร์ 1
- Serial Port การเกิดอินเทอร์รัพท์ที่เกิดขึ้นจากการรับ/ส่งข้อมูลอนุกรม ทำให้มีผลต่อแฟล็กอินเทอร์รัพท์ RI และ TI ตามลำดับ



รูปที่ 5.2 แผนภาพ โครงสร้างระบบอินเทอร์รัพท์ของ 89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภาพ โครงสร้างระบบอินเทอร์รัพท์ 89C51 จะเห็นว่าเมื่อเกิดการอินเทอร์รัพท์ สัญญาณต่างๆขึ้น จะส่งผลให้มีการควบคุมเพื่อส่งให้กระบวนการกระโดดไปทำงานที่ตำแหน่งต่างๆ ตามประเภทของแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่เกิดขึ้น ซึ่งปกติควรมีการสร้างโปรแกรมเหล่านี้ไว้เพื่อทำหน้าที่ย่อยบริการอินเทอร์รัพท์

การกำหนดให้ 89C51 สามารถตอบรับบริการอินเทอร์รัพท์แต่ละประเภท ทำได้โดยการกำหนดบิต(bit) ของข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมักอยู่ภายในหน่วยความจำ TCON และ SCON หากได้วามีการกำหนดค่าของบิต ซึ่งอยู่ภายในหน่วยความจำ IE (Interrupt Enable Register) ด้วยแล้ว ก็สามารถตอบรับบริการอินเทอร์รัพท์ของสัญญาณนั้นๆได้ นอกจากนี้ตามแผนภาพในรูป ยังแสดงให้เห็นว่า สัญญาณอินเทอร์รัพท์แต่ละประเภท ยังสามารถกำหนดไพออร์ตี (Priority) ของการอินเทอร์รัพท์ได้ 2 ลักษณะ คือ ไพออร์ตีต่ำหรือไพออร์ตีสูง กล่าวคือขณะที่ประมวลผลอยู่ภายในส่วนของโปรแกรมย่อย บริเวณอินเทอร์รัพท์ของสัญญาณที่มีระดับความสำคัญต่ำอยู่ ก็สามารถถูกอินเทอร์รัพท์ที่มีไพออร์ตีสูงกว่าได้ แต่หากว่าเป็นสัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่มีไพออร์ตีเดียวกันหรือต่ำกว่าแล้ว ก็จะต้องรอให้เสร็จสิ้นการประมวลผลที่ดำเนินอยู่ก่อนการควบคุมอินเทอร์รัพท์

ตามโครงสร้างที่ด้านการจัดการอินเทอร์รัพท์ของ 89C51 สามารถกำหนดเรียกเพื่อยินยอมหรือไม่ยินยอม (Enable/Disable) ให้มีการอินเทอร์รัพท์แต่ละสัญญาณได้ โดยใช้วิธีการกำหนดค่าของบิตภายในหน่วยความจำ IE

5.1.5 พอร์ตอินพุท/เอาต์พุทของ 89C51

พอร์ต มีความหมายถึงแอดเดรสหนึ่งที่ได้รับกำหนดไว้ เพื่อการโอนย้ายข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก การกำหนดประเภทของการติดต่อขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของข้อมูล เมื่อพิจารณาจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหลัก ดังนั้นการนำเข้าข้อมูลจากวงจรภายนอกจึงเรียกว่า การอินพุท และในกรณีตรงกันข้ามเพื่อส่งออกข้อมูลก็จะเรียกว่า การเอาต์พุท

เมื่อพิจารณาถึงวิธีการส่งข้อมูลภายในพอร์ตจะสามารถแยกประเภทของพอร์ตออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ พอร์ตแบบขนาน (Parallel port) ซึ่งทำการส่งจำนวนบิตข้อมูลทั้งหมดออกมาหรือนำเข้าไปพร้อมกันในคราวเดียว และพอร์ตแบบอนุกรม (Serial port) ซึ่งทำการโอนย้ายข้อมูลคราวละบิตๆจนครบจำนวน แต่สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงเฉพาะในส่วนของพอร์ตแบบขนานเท่านั้น

พอร์ตแบบขนานของ 89C51

89C51 มีโครงสร้างของพอร์ตที่สามารถใช้งานแบบขนานได้จำนวนทั้งหมด 4 พอร์ต เรียกชื่อเรียงตามลำดับว่า พอร์ต0, 1, 2, และ 3 และเป็นพอร์ตขนาด 8 บิตทั้งหมด การใช้งานพอร์ตสามารถทำได้ทั้งในลักษณะของเส้นสัญญาณเดี่ยวๆ หรือกลุ่มของสัญญาณได้ นอกจากนี้พอร์ต0, 2, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไว้ภายในเท่านั้น วงจรประกอบอื่นภายในยังมีฟลิปฟล็อปแบบ D ซึ่งมีผลทำให้พอร์ตสามารถแลตช์หรือค้างสถานะของสัญญาณได้ นอกจากนี้ในส่วนเอาต์พุตของฟลิปฟล็อปเฉพาะของพอร์ต0 และพอร์ต2 จะมีโครงสร้างที่ทำหน้าที่คล้ายกับสวิตช์เพิ่มเติมขึ้น เพื่อควบคุมให้เอาต์พุตนี้ต่อเข้ากับส่วนของทรานซิสเตอร์ ในระหว่างที่ไม่ได้มีการทำงานในลักษณะของบัสดาเควดเรสหรือบัสข้อมูลด้วย สำหรับบัสเฟ้อร์จำนวนสองตัวของทุกบิตในพอร์ตนั้น มีการทำงานแยกกันโดยอิสระ โดยตัวที่อยู่ทางด้านบนจะยอมให้สัญญาณผ่านได้ก็ต่อเมื่อมีการอ่านค่าข้อมูลที่ค้างไว้ ส่วนอีกตัวหนึ่งซึ่งอยู่ทางด้านล่างจะถูกใช้งานเฉพาะเมื่อได้มีการอ่านสถานะของขาสัญญาณเท่านั้น

การใช้งานพอร์ตเป็นการอินพุต

การใช้งานพอร์ตเป็นการอินพุต ข้อมูลจะต้องเริ่มต้นด้วยการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ออกมาทางบิตของพอร์ตนั้นก่อนเป็นลำดับแรก เพื่อหยุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ ที่ทำหน้าที่จับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้น ทำให้ขาสัญญาณของบิตถูกต่อเข้ากับตัวต้านทานซึ่งทำหน้าที่พูลอัพภายใน ซึ่งมีผลให้บิตนั้นๆ ของพอร์ต 1, 2 และ 3 เป็นสถานะของลอจิกสูง ตัวต้านทานนี้มีค่าประมาณ $50\text{ k}\Omega$ ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก และทำให้อุปกรณ์ภายนอกสามารถจับสัญญาณของพอร์ตเหล่านี้เป็นลอจิกต่ำได้ง่าย สำหรับบิตของพอร์ต 0 นั้น แม้ว่าจะมีหลักการการทำงานที่คล้ายคลึงกันกับบิตของพอร์ตอื่นๆ แต่เนื่องจากการที่ไม่มีตัวต้านทานทำหน้าที่พูลอัพภายในไว้ ทำให้เมื่อทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ จับสัญญาณเอาต์พุตนั้นหยุดการทำงาน ก็จะเป็นผลให้ขาสัญญาณนี้อยู่ในสถานะอิมพีแดนซ์สูงแทน

การใช้งานพอร์ตเป็นการเอาต์พุต

เมื่อมีการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 0 ให้กับแต่ละบิตของพอร์ตทุกพอร์ต ข้อมูลนี้จะถูกส่งให้กับฟลิปฟล็อปซึ่งจะค้างค่านี้ไว้ และมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่จับสัญญาณเอาต์พุตนั้นทำงาน ดังนั้นขาสัญญาณก็จะมีสถานะลอจิกเป็นลอจิกต่ำ ส่วนการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ออกมานั้น ในกรณีที่เป็นการทำงานในแต่ละบิตของพอร์ต 1, 2 หรือ 3 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่จับสัญญาณเอาต์พุตนั้นหยุดการทำงาน มีผลทำให้ขาสัญญาณเป็นลอจิกสูงด้วยตัวต้านทานที่พูลอัพอยู่ภายในนั้น แต่สำหรับหลักการการทำงานในแต่ละบิตทางพอร์ต 0 นั้นจะมีผลที่แตกต่างออกไป โดยขาสัญญาณจะเป็นสถานะอิมพีแดนซ์สูงแทน เนื่องจากไม่มีตัวต้านทานภายในเชื่อมต่อยุ่กันเอง ดังนั้นในการใช้งานพอร์ต 0 เป็นการเอาต์พุตข้อมูล จึงจำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานภายนอกพูลอัพสัญญาณไว้กับลอจิกสูงแทน ความสามารถอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตของ 89C51 เป็นวิธีการอ่านลอจิกจากพอร์ต ซึ่งมีได้สองวิธีคือ การอ่านค่าลอจิกที่ขาสัญญาณ (Port pin) และวิธีการอ่านลอจิกของการแลตช์ที่พอร์ต (Port latch) ดังจะสังเกตเห็นได้จาก วิธีการอ่านค่าจากพอร์ตทั้งสองแบบนี้จะช่วยให้อะบบทำงานได้ด้วยความสะดวกมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น หากว่าพอร์ตถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปต่อกับขาเบสของทรานซิสเตอร์แบบ NPN และขาอิมิตเตอร์ต่อกับกราวด์ของระบบ เมื่อมีการส่งค่า 1 ออกไป จะมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ในขณะที่นั้นถ้าซีพียูมีการอ่านค่าลอจิกจากขาสัญญาณของพอร์ตนี้ก็จะได้อ่านค่าลอจิกต่ำ เนื่องจากมองเห็นค่าศักย์ไฟฟ้าระหว่างขาเบสและขาอิมิตเตอร์ ซึ่งมีค่าประมาณ 0.6 โวลต์แทน ดังนั้นในกรณีเช่นนี้หากว่าเป็นการอ่านค่าจากลอจิกของการแลตซ์ ก็จะได้รับค่าระดับลอจิกสูงซึ่งเป็นค่าที่ถูกต้องสภาพที่เป็นจริง

ลักษณะสมบัติของพอร์ตอินพุท/เอาต์พุท

ดังได้กล่าวแล้วว่าพอร์ต 1, 2 และ 3 ของ 89C51 มีตัวต้านทาน (ซึ่งสร้างขึ้นจาก FET) ทำหน้าที่พูลอัพขาสัญญาณไว้และมีค่าประมาณ $50\text{ k}\Omega$ ซึ่งถือว่ามีค่าที่สูงมาก เป็นผลให้การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณลอจิก จากสูงไปต่ำทำได้อย่างรวดเร็ว แต่ในกรณีตรงข้ามจะใช้เวลาการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณนานกว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากว่า กระแสจะไหลผ่านตัวต้านทานนี้ได้้น้อยมาก ดังนั้นในการแก้ปัญหาจึงได้มีการออกแบบตัวต้านทานเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัวขนานไว้ โดยมีค่าประมาณ $1\text{ k}\Omega$ เรียกว่า ความต้านทานสปีคอัพ (Speed-up resistor) ซึ่งยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากขึ้นประมาณ 50-100 เท่า และจะมีการเชื่อมต่อตัวต้านทานที่เพิ่มขึ้นนี้ เฉพาะเมื่อมีการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากลอจิกต่ำไปเป็นลอจิกสูงเท่านั้น โดยใช้เวลาประมาณ 2 คล็อกไซเคิล 4.6 คำสั่งการใช้งานพอร์ตอินพุท/เอาต์พุท เนื่องจาก 89C51 ใช้หลักการที่เรียกว่า “กำหนดหน่วยความจำ” (Memory mapped system) กล่าวคือ การอ้างถึงพอร์ตรีจิสเตอร์หรืออุปกรณ์ต่างๆภายในระบบ จะเป็นการติดต่อกับหน่วยความจำตำแหน่งหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นในการกำเนิการเพื่อนำเข้าหรือส่งออกข้อมูลกับพอร์ต จึงใช้คำสั่งการอ่านค่าจากหน่วยความจำ ซึ่งถูกออกแบบให้เป็นตำแหน่งของพอร์ตหรือคำสั่งการเขียนค่าข้อมูลไปยังตำแหน่งหน่วยความจำ ดังนั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าในตารางชุดคำสั่งของ 89C51 จะไม่มีคำสั่งที่เกี่ยวกับการทำงานพอร์ตแต่ประการใด เช่น คำสั่ง IN (นำเข้าข้อมูลจากพอร์ต) หรือคำสั่ง OUT (ส่งข้อมูลออกจากพอร์ต) เป็นต้น นอกจากนี้ 89C51 ยังมีชุดคำสั่งที่จัดการข้อมูลแบบบิตได้โดยตรง (Single-bit Operation) ดังนั้นเราสามารถที่จะใช้คำสั่งนี้จัดการพอร์ตอินพุท/เอาต์พุททั้งหมดแบบเส้นสัญญาณเดียวได้โดยการใช้คำสั่ง เซตบิต (SETB) เพื่อกำหนดค่าเป็น 1 หรือคำสั่ง เคลียร์ (CLR) เพื่อทำให้บิตมีค่าเป็น 0 คำสั่งเหล่านี้มีประโยชน์มากและทำให้ลดความซับซ้อนในการใช้คำสั่งภายในโปรแกรมลงได้มาก

5.1.6 วงจรนับ/จับเวลา

89C51 ประกอบด้วย หน่วยความจำขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว คือ T0 (Timer0) และ T1 (Timer1) ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้อย่างอิสระ โดยสามารถควบคุมให้ทำหน้าที่เป็นตัวจับเวลาเพื่อนับจำนวนพัลส์สัญญาณนาฬิกาภายใน หรือควบคุมให้ทำหน้าที่เป็นตัวนับ (Counter) เพื่อนับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

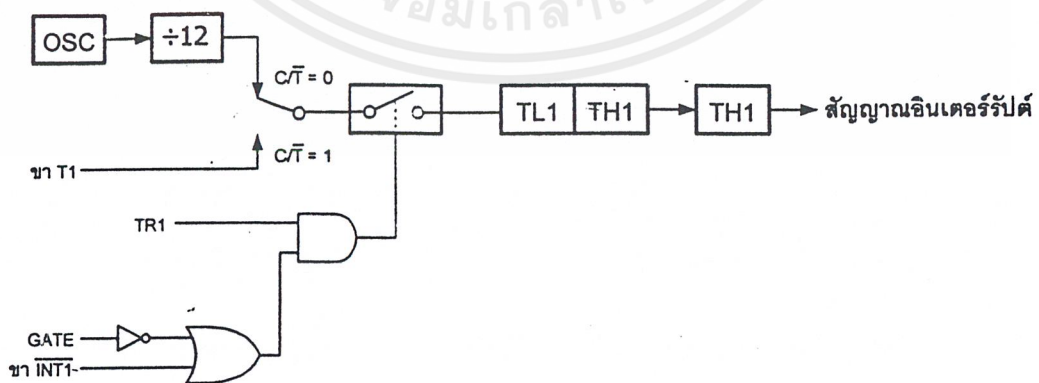
จำนวนพัลส์ของระบบได้ ภายในหน่วยความจำแต่ละตัวยังสามารถแยกออกได้เป็นหน่วยความจำขนาด 8 บิต คือ TH0, TL0, TH1 และ TL1 โดยการทำงานของหน่วยความจำทั้ง 2 ตัวนี้ มีผลมาจากการกำหนดค่าของบิตที่อยู่ภายใน TMOD (Timer mode control register) และ TCON (Timer/Counter control register)

การอินเทอร์รัพท์ วงจรนับ/จับเวลา

จากกระบวนการทำงานของวงจรถับเวลาของ 89C51 จำเป็นต้องกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับหน่วยความจำ T0 หรือ T1 ค่านี้เป็นค่าจำนวน plus ภายในที่จะต้องนับหรือค่าของจำนวน plus ภายนอกที่เข้ามาทางขาสัญญาณ สัญญาณ T0 หรือ T1 ค่าตัวเลขภายในหน่วยความจำนี้จะต้องลดให้ มีค่าที่น้อยกว่าค่าที่ต้องการอยู่หนึ่งค่า ทั้งนี้เนื่องจากการทำงานของหน่วยความจำจะเพิ่มค่า จากที่กำหนดไปเรื่อยๆ จนถึงค่าสูงสุดของหน่วยความจำ และกลับไปเป็นค่า 0 เมื่อมีการเกิดโอเวอร์โพล์ เกิดขึ้น ทำให้เกิดการกำหนดค่าแฟล็ก เพื่อแจ้งให้ CPU ได้รับความทราบ ดังนั้น โปรแกรมทั่วไปจึงมักใช้สถานะของแฟล็ก (TF0 และ TF1) ซึ่งเป็นบิตที่อยู่ภายในหน่วยความจำ TCON เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการนั้นได้เสร็จสิ้นลงแล้ว หรือใช้เพื่อทำการอินเทอร์รัพท์โปรแกรมต่อไป ส่วนควบคุมการทำงานของวงจรถับเวลา ซึ่งประกอบด้วยส่วนของการกำหนดที่มาของสัญญาณ ไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์ และบิต หรือขาสัญญาณสำหรับการหยุดหรือทำงานของวงจรถับ

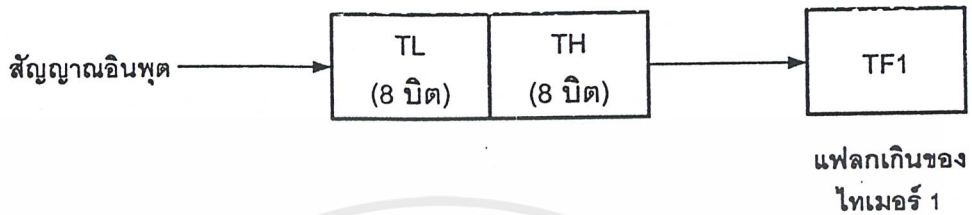
การทำงานเป็นตัวจับเวลา ก่อนที่ทำงานเป็นวงจรถับเวลา ต้องมีการกำหนดค่าให้อยู่ในสถานะดังตารางก่อน

- การจับเวลาในโหมด 0 : การทำงานในโหมด 0 วงจรถับเวลาจะทำหน้าที่เป็นตัวนับขนาด 13 บิต (โดยใช้หน่วยความจำ TH0 หรือ TH1 เป็นตัวนับขนาด 8 บิต และ หน่วยความจำ TL0 หรือ TL1 มีขนาด 5 บิต) ตามลักษณะของแผนภาพในรูป



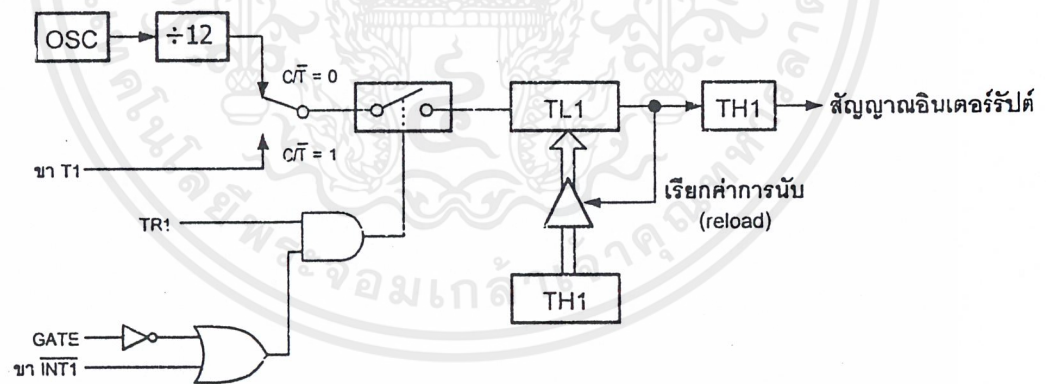
รูปที่ 5.4 โค้ดอะแกรมการทำงานของไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์โหมด 0

- การจับเวลาในโหมด 1 : การทำงานในโหมด 1 มีความคล้ายคลึงกันในโหมด 0 มาก แตกต่างกันที่โหมด 1 เป็นตัวนับขนาด 16 บิตเต็ม ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ไดอะแกรมการทำงานของไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์โหมด 1

- การจับเวลาในโหมด 2 : หรือ Auto-reload Mode การทำงานในโหมด 2 ของวงจรรับ/จับเวลา แตกต่างกันออกไปเพียงใช้หน่วยความจำ TLO (TL1) เป็นตัวนับขนาด 8 บิต ส่วนหน่วยความจำ TH0 (TH1) เก็บค่าเริ่มต้นของการนับไว้ ดังรูป

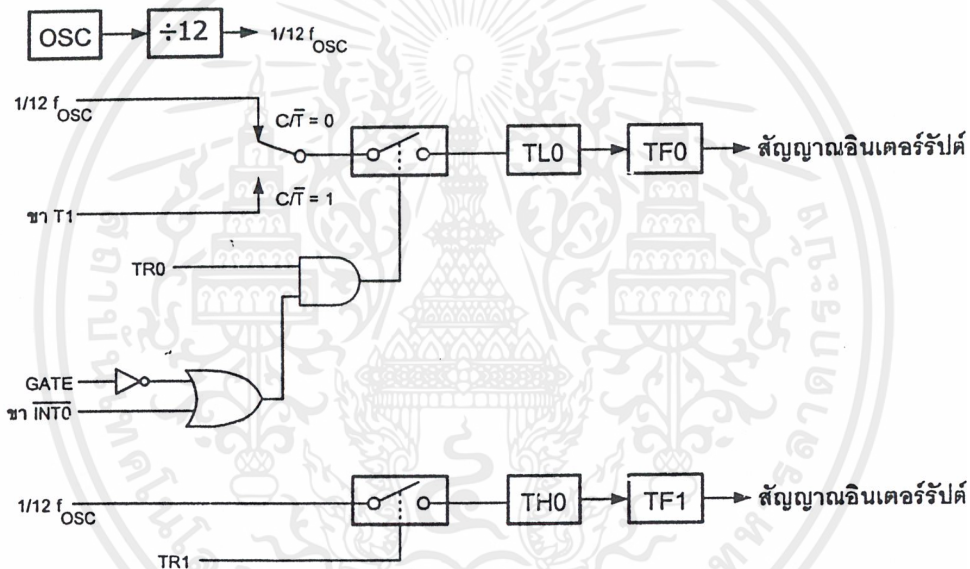


รูปที่ 5.6 ไดอะแกรมการทำงานของไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์โหมด 2

- การจับเวลาในโหมด 3 : การทำงานในโหมด 3 จะสามารถใช้ได้เฉพาะกับไทม์เมอร์ 0 เท่านั้น หากว่านำไปกำหนดให้กับไทม์เมอร์ 1 จะทำให้หยุดการทำงานไป เมื่อไทม์เมอร์ 0 ได้รับการกำหนดทำงานในโหมด 3 จะมีผลทำให้หน่วยความจำของมันแยกการทำงานเป็นอิสระ โดยหน่วยความจำ TLO จะถูกควบคุมจากบิตภายในหน่วยความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำ TCON และขาสัญญาณ INTO ดังแสดงในรูป และเมื่อมีการเกิดโอเวอร์โวลต์เกิดขึ้น จากค่า 0FFH เป็น 00H ก็จะมีผลให้แฟล็ก TFO มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น สำหรับหน่วยความจำ TH0 จะถูกกำหนดให้ทำงานในแบบของตัวจับเวลาภายใต้การควบคุมของบิต TR1 ในหน่วยความจำ TCON เท่านั้น และหากเกิดโอเวอร์โวลต์จะมีผลเฉพาะต่อแฟล็ก TF1 ในส่วนไทม์เมอร์ 1 ขณะที่ไทม์เมอร์ 0 กำหนดให้ทำงานโหมด 3 ก็ยังสามารถทำงานในโหมดอื่นๆที่ไม่ใช่โหมด 3 ได้เช่นเดิม ยกเว้นจะไม่มีอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้นเท่านั้น (เนื่องจากแฟล็ก TF1 ถูกใช้โดยไทม์เมอร์ 0 ไปแล้ว) รูปการทำงานในโหมด 3



รูปที่ 5.7 โค้ดแอมการทำงานของไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์โหมด 3

การทำงานเป็นตัวนับสัญญาณ

การใช้งานในลักษณะตัวนับ (Counter) โดยหลักแล้วจะเหมือนกับลักษณะการทำงานเป็นตัวจับเวลา (Timer) ดังได้กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมา ข้อแตกต่างประการเดียวคือ แทนที่จะนับพัลส์สัญญาณภายในและผ่านวงจรหาร 12 มาเป็นการนับพัลส์สัญญาณทางขาสัญญาณ T0 (P3.4) ให้กับไทม์เมอร์ 0 หรือขาสัญญาณ T1 (P3.5) ให้กับไทม์เมอร์ 1 เท่านั้น นอกจากนี้ก่อนการเริ่มต้นใช้งานจะต้องกำหนดค่าของบิต C/T ภายในหน่วยความจำ TCON ให้มีค่าเป็น 1 เสียก่อน

5.2 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog To Digital Converters)

การทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล ในโครงงานนี้ไอซี ADC0804 (8 บิต) ซึ่งไอซีเอ็ดซีนี้จะเป็นส่วนที่แปลงสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นแรงดันไฟฟ้าของส่วนที่วัดอุณหภูมิ ซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ไอซีชนิดนี้สามารถรับสัญญาณอินพุตแบบอนาล็อกได้โดยตรงสูงถึง +5 โวลต์ ไอซีเอ็ดซีจะรับสัญญาณเข้ามาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิงของวงจรแล้วจึงเปลี่ยนค่าข้อมูลแบบดิจิทัล ซึ่งความเร็วในการสุ่มขนาดสัญญาณ (Sampling Rate) สามารถกำหนดได้จากความถี่สัญญาณนาฬิกาของวงจร ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสามารถกำหนดได้โดยวงจร R และ C โดยมีความสัมพันธ์กันดังสมการนี้

$$F = 1/(1.1*RC) \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

F คือ ค่าความถี่ของการสุ่มขนาดสัญญาณของไอซี
R คือ ค่าความต้านทานของ R ในวงจร
C คือ ค่าความจุของ C ในวงจร

คุณสมบัติของไอซี

- เป็นไอซีประเภทซีมอส (CMOS) มี 20 ขา
- ความละเอียดขนาด 8 บิต ความละเอียดเท่ากับ 256 ระดับ
- ใช้สัญญาณนาฬิกา 640 กิโลเฮิรท์
- มีช่วงเวลาการทำงานในการแปลงแต่ละบิตเท่ากับ 100 ไมโครวินาที
- ใช้แหล่งจ่ายไฟตรง 5 โวลต์
- กินกำลังไฟต่ำ 15 มิลลิวัตต์

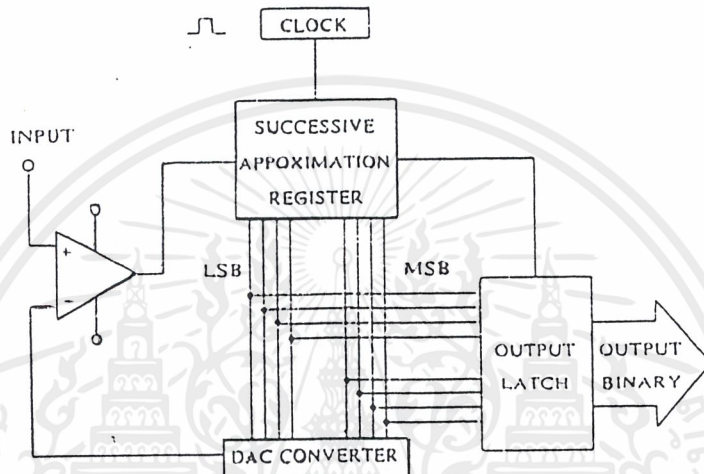
ส่วนของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ประกอบด้วยส่วนการประมาณค่าซัคเซสซีฟ (Successive) ส่วนของเอาต์พุตมัลติเพล็กซ์และส่วนของสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ไอซีเอ็ดซีแบบนี้จะมีวงจรเก็บสัญญาณเอาต์พุตเพิ่มเข้าไปด้วย เพื่อให้ค่าเอาต์พุตยังคงมีอยู่ แม้ว่าวงจรจะถูกปลดออกจากบัสในช่วงของเวลาที่ตาม ขณะที่วงจรทำการแปลงสัญญาณอยู่นั้น เอ็ดซีจะติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมเอ็ดซี เมื่อขาเขียน (WR) เป็นลอจิก “ 0 ” เอ็ดซีจะแปลงค่า V1 เป็นสัญญาณดิจิทัลเก็บไว้ในบัพเฟอร์เอาต์พุต และไมโครคอนโทรลเลอร์จะอ่านข้อ

มูลจากเอ็ดซี เมื่อสัญญาณเลือก (CS) เป็นลอจิก “0” และขาอ่าน (RD) เป็นลอจิก “0” พร้อมกันในแต่ละรอบของการแปลงค่า

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลภายในตัวไอซีเอ็ดซี เป็นการประมาณค่าอย่างต่อเนื่อง ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 แสดงการทำงานแบบ Successive Approximation Register

ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตของไอซี เอ็ดซี

ดังได้กล่าวมาแล้วว่า ไอซีเอ็ดซีจะใช้การเปรียบเทียบขนาดของสัญญาณอินพุตกับแรงดันอ้างอิงของวงจร แล้วจึงเปลี่ยนข้อมูลแบบดิจิทัล ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้คือ

ถ้าค่าของขนาดสัญญาณอนาล็อกอินพุต เท่ากับขนาดของแรงดันอ้างอิงจะได้ข้อมูลมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของข้อมูลมีค่าสูงสุด ซึ่งขนาดของสัญญาณอินพุตของวงจรถูกกำหนดโดยค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้

1. แรงดันอ้างอิงของวงจร ($V_{ref}/2$) แรงดันอ้างอิงของวงจรนี้เป็นจุดอ้างอิงมาตรฐานของวงจร เป็นตัวกำหนดความเที่ยงตรงในการเปลี่ยนขนาดของสัญญาณดิจิทัล ซึ่งวงจรต้องการแรงดันอ้างอิงที่มีความเที่ยงตรงสูง เพราะถ้าหากแรงดันอ้างอิงของวงจรไม่มีความเที่ยงตรงแน่นอนมีการเปลี่ยนแปลงแล้ว การทำงานของวงจรก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย นั่นก็คือ จะส่งผลให้ค่าสัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่ได้ก็จะเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามไปด้วย ถึงแม้ขนาดอินพุตมีขนาดคงที่ก็ตาม และแรงดันอ้างอิงของวงจรจะถูกกำหนดให้มีค่าสูงสุดของวงจร โดยค่าสัญญาณของอินพุตบวก

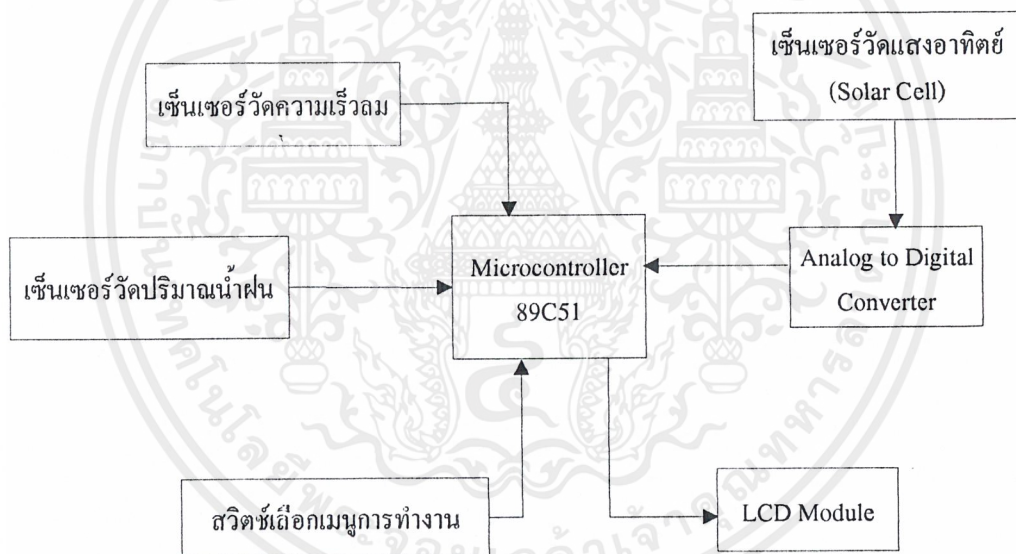
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวงจรจะถูกกำหนดให้มีค่าสูงสุดประมาณ 2 เท่า ของแรงดันอ้างอิง โดยมีจุดเริ่มต้นที่สัญญาณอินพุทของวงจรเสมอ

2. สัญญาณอินพุทลบ (Voltage Input – หรือ VI –) แรงดันอินพุทลบนี้เป็นตัวกำหนดค่าอินพุทด้านต่ำของวงจร หรือจุดเริ่มต้นของการตรวจรับสัญญาณอินพุทของวงจรมันเอง โดยค่าสัญญาณของอินพุทลบนี้ สามารถกำหนดได้ให้มีค่าไม่เกินแรงดันอ้างอิงสูงสุดของวงจร

3. สัญญาณอินพุทบวก (Voltage Input + หรือ VI +) แรงดันอินพุทบวกนี้ก็คือนำค่าแรงดันอินพุทของวงจรมันเอง ซึ่งต้องกำหนดให้มีขนาดสูงสุดไม่เกินกว่าค่าที่วงจรเอดิซี (+5) รับได้ ซึ่งต้องเป็นแรงดันอยู่ในช่วงบวกเนื่องด้วยไอซีไม่สามารถรับอินพุทที่มีค่าเป็นลบได้

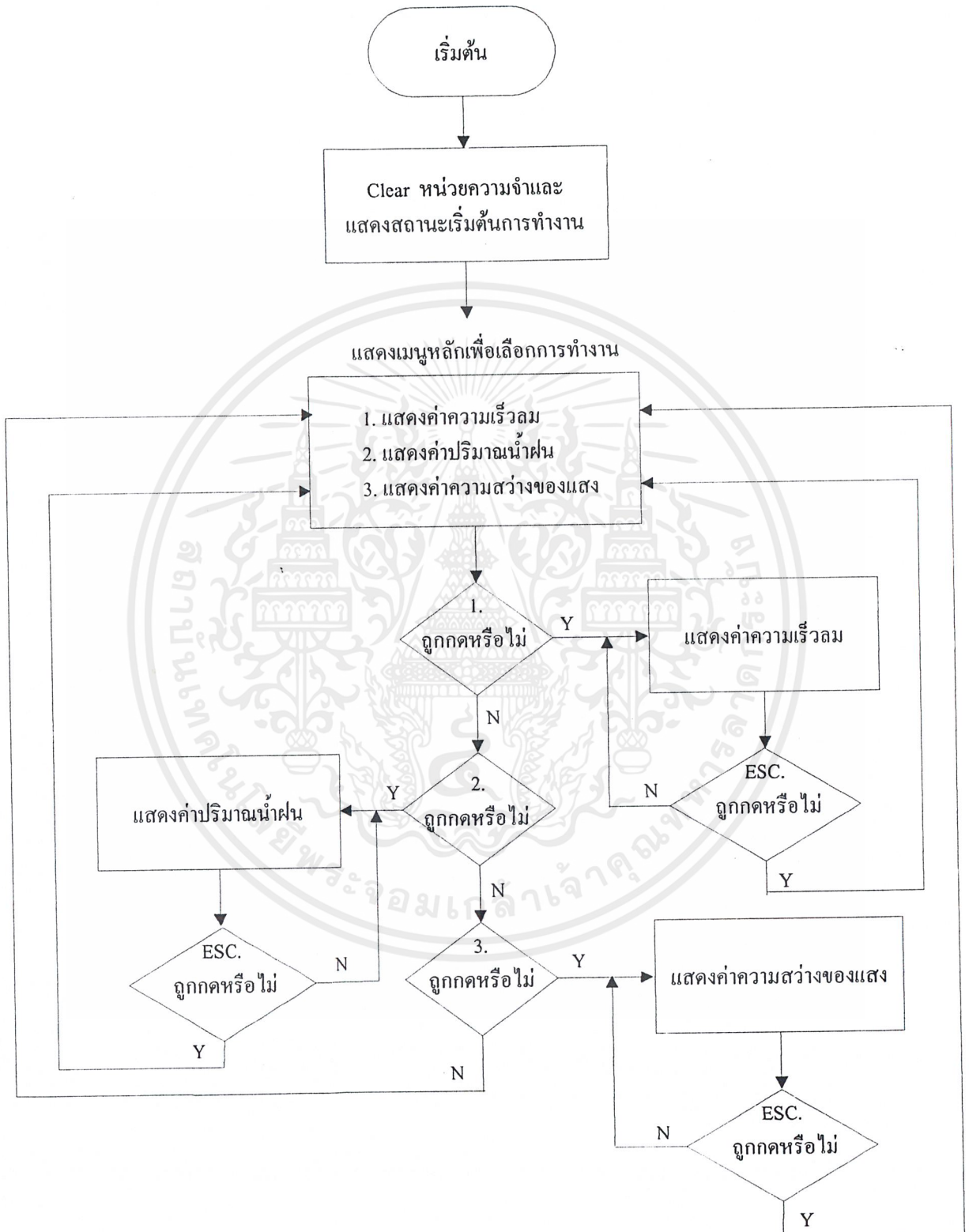
5.3 การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพอากาศ



รูปที่ 5.9 Block Diagram การทำงานของอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพอากาศ

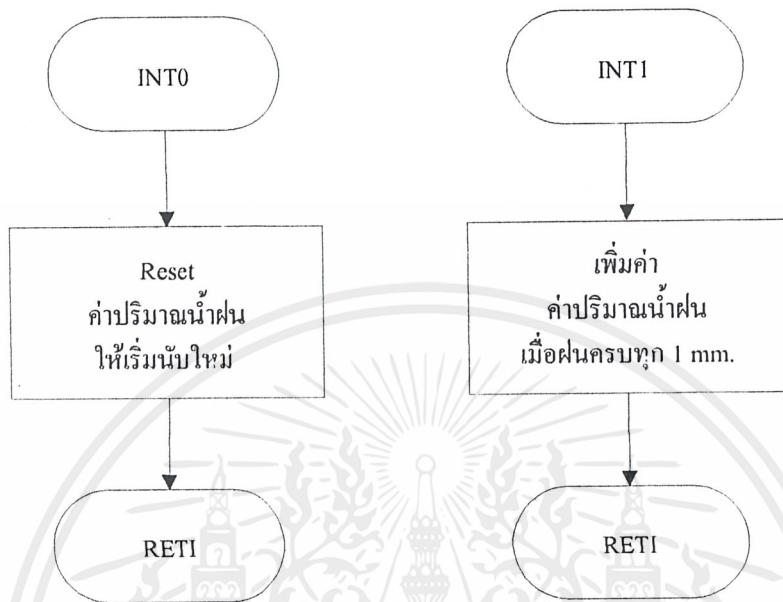
จาก Block Diagram สามารถอธิบายได้ว่า อุปกรณ์ตรวจสอบสภาพอากาศทั้ง 3 ชนิด คือ ลม ฝน และแสงแดด จะส่งสัญญาณ Output ของวงจรตรวจสอบนั้น ๆ เข้าไปเป็น Input ของ หน่วยประมวลผล ซึ่งในที่นี้ก็คือ Microcontroller ตระกูล MCS-51 เบอร์ 89C51 แต่สัญญาณ Output ที่ได้จาก Sensor แสงแดด คือ Solar Cells จะต้องนำมาผ่าน A/D Converter ก่อนเนื่องจากสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณอนาล็อก ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือก Function การทำงาน โดยการกดสวิทช์เมนู เพื่อแสดงผลออกทางจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.10 Flow Chart แสดงการทำงานของอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพลม ฝน และแสงแดด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 Flow Chart แสดงการอินเทอร์รัพท์ที่เกิดขึ้นในส่วนตรวจสอบฝน

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์

6.1 ส่วนตรวจสอบลม

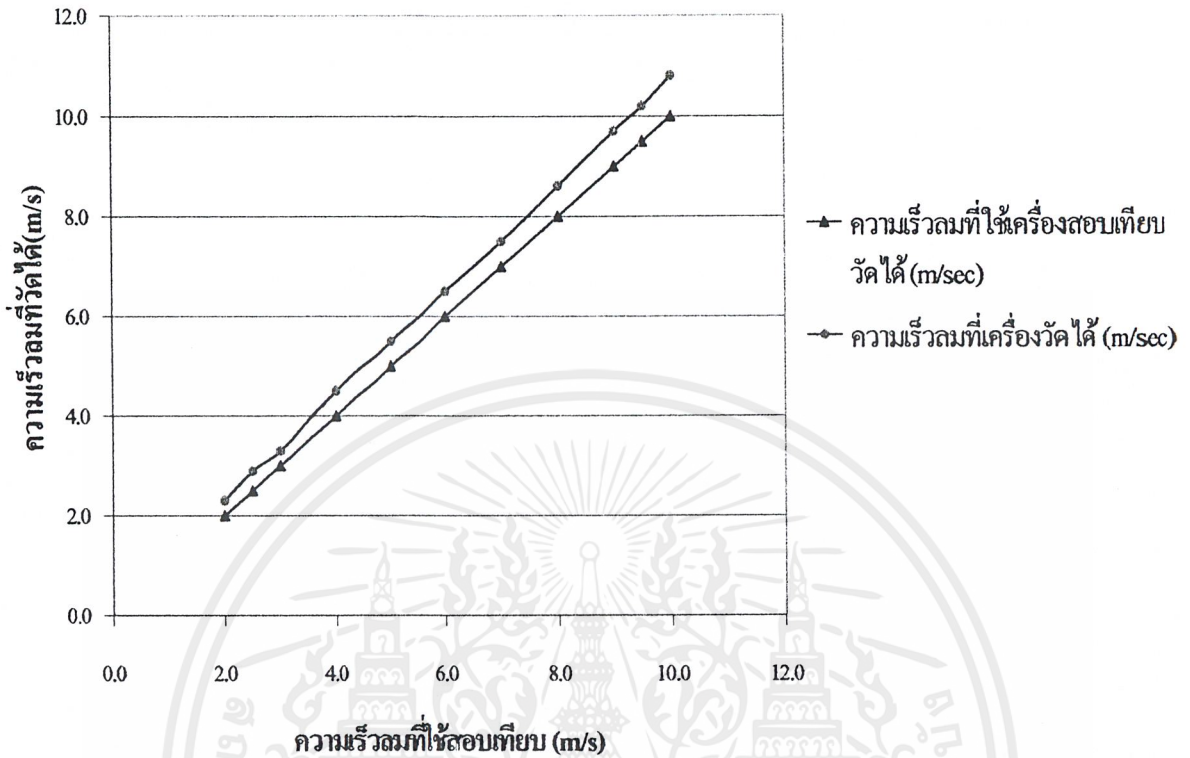
6.1.1 ผลการทดลอง

เมื่อนำส่วนตรวจสอบลมไปทำการสอบเทียบกับเครื่องมือวัดความเร็วลมมาตรฐานของกรมอุตุนิยมวิทยา ในอุโมงค์ลม ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 6.1 แสดงผลการทดลองในการสอบเทียบวัดความเร็วลม

ความเร็วลมที่ใช้สอบเทียบ (m/sec)	ความเร็วลมที่เครื่องสอบเทียบวัดได้ (m/sec)	ความเร็วลมที่อุปกรณ์ตรวจสอบลมวัดได้ (m/sec)	Error
2.0	2.0	2.3	-0.3
2.5	2.5	2.9	-0.4
3.0	3.0	3.3	-0.3
4.0	4.0	4.5	-0.5
5.0	5.0	5.5	-0.5
6.0	6.0	6.5	-0.5
7.0	7.0	7.5	-0.5
8.0	8.0	8.6	-0.6
9.0	9.0	9.7	-0.7
9.5	9.5	10.2	-0.7
10.0	10.0	10.8	-0.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.1 แสดงกราฟการทดลองสอบเทียบความเร็วลมของอุปกรณ์ส่วนตรวจสอบความเร็วลม

6.1.2 สรุป

ค่าความเร็วลมที่ตรวจสอบได้จะถูกนำไปแสดงผลยังหน้าจอ LCD ในรูปจำนวนจริงที่มีทศนิยม 1 ตำแหน่งในหน่วย “m/s” โดยในส่วนตรวจสอบความเร็วลมนี้พบว่า ที่ความเร็วค่าน้อย ๆ (ต่ำกว่า 2 m/s) ลูกถ้วยไม่สามารถจะหมุนได้ ซึ่งน่าจะเกิดจากความฝืดของอุปกรณ์อันเป็นผลมาจากแรงเสียดทานสถิตย์ก่อนการหมุนและแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นจากตัวอุปกรณ์เอง ค่าความเร็วลมที่อ่านได้ในช่วงนี้จึงไม่แม่นยำนัก ในขณะที่ค่าความเร็วลมที่สูงกว่า 2 m/s จะสามารถอ่านข้อมูลได้แม่นยำกว่า และจากรูปที่ 6.1 จะเห็นได้ว่ากราฟมีค่า Error จีฟเพิ่มขึ้นจากการวัดของเครื่องมือมาตรฐานเฉลี่ยประมาณ 0.5 m/s

6.1.3 ปัญหาที่พบ

ช่วงความเร็วเริ่มต้น (ต่ำกว่า 2 m/s) ค่าความเร็วที่ได้จะมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากลูกถ้วยจะยังไม่หมุนซึ่งเป็นผลของแรงเสียดทานสถิตย์ และแรงเสียดทานที่เกิดจากความฝืดในการหมุน นอกจากนั้นความไม่สมดุลกันระหว่างลูกถ้วยและแกนทั้งสามของลูกถ้วยก็เป็นอีกปัญหาหนึ่ง

ที่เกิดขึ้นในการสร้าง เนื่องจากไม่สามารถสร้างให้น้ำหนักของลูกถ้วยทั้งสามมีความสมดุลกันอย่างแท้จริง และค่าที่อ่านได้จากเครื่องตรวจสอบลมยังมี Error อยู่บ้าง

6.1.4 แนวทางการแก้ไข อาจทำได้ดังนี้ คือ

- ปรับปรุงวัสดุที่จะนำมาใช้ทำลูกถ้วยทั้งสาม โดยเลือกใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบา เพื่อให้ลูกถ้วยสามารถเริ่มต้นหมุนได้ด้วยความเร็วต่ำ
- แก้ไขปัญหาเรื่องความฝืดของแกนหมุน โดยอาจพิจารณาที่ความฝืดของตัวแบร์ริง และปรับปรุงให้หมุนได้คล่องขึ้นรวมทั้งให้ได้ศูนย์กลาง เพื่อให้ความฝืดที่จุดหมุนน้อยที่สุด ก็จะ สามารถตรวจวัดความเร็วลมต่ำ ๆ ได้
- ปรับปรุงในส่วนการเขียนโปรแกรมต่อไป

6.2 ส่วนตรวจสอบฝน

6.2.1 สรุป

ค่าปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จะถูกนำไปแสดงที่หน้าจอ LCD ในรูปของจำนวนเต็มในหน่วย “มิลลิเมตร” โดยคานกระดกจะกระดกทุก ๆ รอบปริมาณน้ำฝน 1 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำฝนที่ได้จากคานกระดกยังคงมีค่าความผิดพลาดอยู่ ซึ่งเกิดจากปัญหาลักษณะทางกายภาพของคานกระดก ทำให้การเทน้ำทิ้งแต่ละครั้งมีปริมาณน้ำฝนค้างอยู่ปริมาณหนึ่ง

6.2.2 ปัญหาที่พบ

จากการนำคานกระดก (Bucket) ไปสอบเทียบ (calibrate) ให้สามารถกระดกได้เมื่อน้ำมีปริมาณ 1 มิลลิเมตร อาจจะเป็นการเก็บข้อมูลที่หายขาดไป ซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดเมื่อนำข้อมูลไปประมวลผลและคำนวณ

6.2.3 แนวทางการแก้ไข อาจทำได้ดังนี้ คือ

ควรจะแก้ไขให้คานกระดกสามารถกระดกได้เร็วขึ้น เช่น กระดกที่น้ำปริมาณ 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นปริมาณมาตรฐานที่กรมอุตุนิยมวิทยายอมรับ โดยอาจทำได้ดังนี้ คือ

- ทำการ calibrate คานกระดกใหม่โดยปรับยกน็อตเพื่อหาดำแหน่งที่ทำให้คานกระดกสามารถกระดกได้เร็วขึ้น
- อาจจำเป็นต้องเปลี่ยนตัวคานกระดก (Bucket) ชุดใหม่ โดยให้มีขนาดเล็กกลงหรือมีน้ำหนักสแตนด์สแตดลง เพื่อลดแรงกดที่จุดหมุนของคานกระดก

6.3 ส่วนตรวจสอบแสง

6.3.1 สรุป

ค่าความสว่างของแสงแดดที่วัดได้จะถูกนำไปแสดงในจอ LCD ในรูปของจำนวนเต็มในหน่วย “Lux” แต่จะพบว่าค่าความเป็นเชิงเส้นของ Solar Cells จะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่วัดค่าความสว่างของแสงในห้อง กับช่วงที่วัดค่าความสว่างของแสงแดดในที่โล่ง ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการวัด

6.3.2 ปัญหาที่พบ

ค่าที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลระหว่างความสว่างของแสงกับแรงดันตกคร่อม Solar Cells นั้น ยังไม่มีความเป็นเชิงเส้นมากพอ ข้อมูลที่ได้จะแบ่งช่วงความเป็นเชิงเส้นออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนความสว่างของแสงในห้อง กับความสว่างของแสงแดดในบริเวณที่โล่งแจ้ง ทำให้ค่าความสว่างของแสงในห้องที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง แต่ค่าความสว่างของแสงอาทิตย์ในที่โล่งที่วัดได้จะมีความถูกต้องสูงกว่า

6.3.3 แนวทางการแก้ไข อาจทำได้ดังนี้ คือ

เลือกใช้เซ็นเซอร์ชนิดอื่นที่มีความละเอียดสูง สามารถตรวจจับค่าความสว่างของแสงได้ดีกว่า Solar Cells และมีความเป็นเชิงเส้นสูงกว่า

6.4 แนวทางการพัฒนา

ค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจสอบสภาพลม ฝน และแสงแดดนี้ สามารถนำไปเก็บในดาต้าล็อกเกอร์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อไป เช่น ข้อมูลด้าน ปริมาณน้ำฝน สามารถนำไปเป็นประโยชน์ในด้านเกษตรกรรม ส่วนตรวจสอบแสงแดดนั้นสามารถนำไปเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพิจารณาติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ หรือการออกแบบอาคารที่ประหยัดพลังงานด้านแสงสว่าง สำหรับชุดตรวจสอบความเร็วนั้นก็อาจนำข้อมูลไปในการพิจารณาติดตั้งระบบพลังงานไฟฟ้าจากแรงลม หรือพัฒนาอุปกรณ์เพื่อเป็นประโยชน์ในงานอดุณิคมวิทยาต่อไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. ข้อมูลเกี่ยวกับแสง

ข้อมูลเกี่ยวกับแสงสว่างที่ควรทราบ

แสงที่มองเห็นมีความยาวคลื่น 380-700 นาโนเมตร

ลูมินีเยสฟลักซ์ (luminous flux) คืออัตราการไหลของพลังงานแสงสว่างวัดได้ในหน่วยลูเมนส์ (lumens)

1 ลูเมนส์ของลูมินีเยสฟลักซ์ที่แสงความยาวคลื่น 400 นาโนเมตร จะให้พลังงาน 3.5 วัตต์
อัตราความสว่าง (illumination) คือ อัตราส่วนระหว่างลูมินีเยสฟลักซ์ต่อพื้นที่ที่วัดได้ในหน่วยลักซ์ (Lux)

1 ลักซ์ = 1 ลูเมนส์ต่อตารางเมตร

ในอเมริกาจะมีหน่วยวัดความสว่างว่าแรงเทียน (foot-candle) มีค่าเท่ากับ 1 ลูเมนส์ต่อตารางฟุต เท่ากับ 10.70 ลักซ์

ตารางที่ ก-1 ความสว่างของแสงที่เหมาะสมในสถานที่ต่าง ๆ

สถานที่ / อุปกรณ์	ความสว่างของแสง (ลักซ์)
ไฟฉุกเฉิน	0.2
คลังพัสดุ	1-10
ที่จอดรถ, ที่ทำงานปกติ	10-50
สนามกีฬา	50-100
โรงงานอุตสาหกรรม	300
สำนักงานทั่วไป	400-500
ห้องเขียนแบบ, พื้นที่ตรวจสอบผลิตภัณฑ์	750
สนามกีฬาที่มีการถ่ายทอดโทรทัศน์	500-1000

ประสิทธิภาพของการส่องสว่าง

เป็นการวัดปริมาณแสงที่ได้จากหลอดไฟ 1 หลอด ต่อพลังงานที่ใช้ไป วัดในหน่วยของลูเมนส์ต่อวัตต์

ตารางที่ ก-2 ปริมาณแสงที่ได้จากหลอดไฟ 1 หลอด ต่อพลังงานที่ใช้ไป วัดในหน่วยของลูเมนส์ต่อวัตต์

ชนิดของหลอด	ค่าประสิทธิภาพ (ลูเมนส์ต่อวัตต์)
หลอดไฟไส้ธรรมดา (GLS)	10-20
หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน	12-22
หลอดปรอทความดันสูง (MBF)	32-56
หลอดฟลูออโรเรสเซนต์	68-80
หลอดโซเดียมความดันสูง (SON)	55-120
หลอดโซเดียมความดันต่ำ (SOX)	70-125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. ตำแหน่งที่ตั้งของ จังหวัด / เขตต่าง ๆ ในประเทศไทย

ตารางที่ ข แสดงตำแหน่งที่ตั้งของ จังหวัด / เขตต่าง ๆ ในประเทศไทย

ลำดับ	จังหวัด / เขต	ละติจูด	ลองจิจูด	ลำดับ	จังหวัด / เขต	ละติจูด	ลองจิจูด
1	Amnat Charoen	15 51 N	104 39 E	33	Kampaeng Sean A	14 01 N	99 58 E
2	Ang Thong	14 35 N	100 27 E	34	Kanchanaburi	14 01 N	99 32 E
3	Aranyaprathet	13 42 N	102 35 E	35	Khanom	09 14 N	99 52 E
4	Ayutthaya A	14 32 N	100 44 E	36	Khlong Yai	11 46 N	102 53 E
5	Bangkhen A	13 51 N	100 35 E	37	Kho Hong	07 01 N	100 30 E
6	Bangkok	13 44 N	100 34 E	38	Khon Kaen	16 17 N	102 28 E
7	Bangkok Airport	13 55 N	100 36 E	39	Khong Chiam	15 22 N	105 28 E
8	Bangkok Pilot	13 23 N	100 36 E	40	Ko Lantao	07 32 N	99 03 E
9	Bangna A	13 40 N	100 36 E	41	Ko Samui	09 58 N	100 03 E
10	Bhumibol Dam	17 14 N	99 03 E	42	Ko Sichang	13 10 N	100 48 E
11	Bua Chum H	15 16 N	101 12 E	43	Kosum Phisai H	16 15 N	103 04 E
12	Buriram	15 14 N	103 15 E	44	Krabi	08 04 N	98 54 E
13	Chachoengsao A	13 34 N	101 27 E	45	Laem Chabang	13 05 N	100 53 E
14	Chai Nat A	15 09 N	100 11 E	46	Lampang	18 17 N	99 31 E
15	Chaiyaphum	15 48 N	102 02 E	47	Lampang A	18 19 N	99 17 E
16	Chanthaburi	12 37 N	102 07 E	48	Lamphun	18 34 N	99 02 E
17	Chawang H	08 26 N	99 30 E	49	Loei	17 27 N	101 44 E
18	Cahiang Mai	18 47 N	98 59 E	50	Loei A	17 24 N	101 44 E
19	Cahiang Rai	19 58 N	99 53 E	51	Lom Sak H	16 46 N	101 15 E
20	Cahiang Rai A	19 52 N	99 47 E	52	Lop Buri	14 48 N	100 37 E
21	Chok Chai H	14 43 N	102 10 E	53	Mae Hong Son	19 18 N	97 50 E
22	Chon Buri	13 22 N	100 59 E	54	Mae Jo A	18 55 N	99 00 E
23	Chumphon	10 29 N	99 11 E	55	Mae Sariang	18 10 N	97 56 E
24	Doi Musir A	16 45 N	98 56 E	56	Mae Sot	16 40 N	98 33 E
25	Don Muang	13 55 N	100 36 E	57	Maharakham	16 10 N	103 18 E
26	Hat Yai	06 55 N	100 26 E	58	Mukdahan	16 32 N	104 43 E
27	Hua Hin	12 35 N	99 58 E	59	Nakhon Pathom	13 49 N	100 04 E
28	Huai Pong A	12 44 N	101 08 E	60	Nakhon Phanom	17 25 N	104 47 E
29	Kabin Buri H	13 59 N	101 42 E	61	Nakhon Phanom A	17 26 N	104 47 E
30	Kalasin	46 25 N	103 31 E	62	Nakhon Ratchasima	14 58 N	102 05 E
31	Kamalasai H	16 20 N	103 35 E	63	Nakhonsithammarat	08 32 N	99 57 E
32	Kampaeng Phet	16 29 N	99 32 E	64	Nakhonsithammarat A	08 20 N	100 05 E

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับ	จังหวัด / เขต	ละติจูด	ลองจิจูด	ลำดับ	จังหวัด / เขต	ละติจูด	ลองจิจูด
65	Nakhon Sawan	15 48 N	100 10 E	101	Samut Sakorn	16 28 N	99 53 E
66	Nan	18 47 N	100 47 E	102	Samut Song Khram	13 24 N	100 01 E
67	Nan A	18 52 N	100 45 E	103	Sara Buri	14 31 N	100 56 E
68	Nang Rong H	14 37 N	102 43 E	104	Satthahip	12 41 N	100 59 E
69	Narathiwat	06 25 N	101 49 E	105	Satun	06 39 N	100 05 E
70	Nong Bua Lum Phu	17 09 N	102 47 E	106	Sawi A	10 20 N	99 06 E
71	Nong Khai	17 52 N	102 44 E	107	Si Samrong A	17 10 N	99 52 E
72	Nong Phlap A	12 35 N	99 44 E	108	Sing Buri	14 53 N	100 24 E
73	Nontha Buri	13 52 N	100 32 E	109	Songkhla	07 12 N	100 36 E
74	Pak Chong A	14 42 N	101 25 E	110	Srisaket A	15 02 N	104 15 E
75	Pattani	06 47 N	101 09 E	111	Sukothai	17 06 N	99 48 E
76	Phatthalung A	07 35 N	100 10 E	112	Suphan Buri	14 28 N	100 08 E
77	Phatthaya	12 55 N	100 52 E	113	Surat Thani	09 08 N	99 09 E
78	Phayao	19 08 N	99 54 E	114	Surat Thani A	09 08 N	99 38 E
79	Phetchabun	16 26 N	101 09 E	115	Surin	14 53 N	103 30 E
80	Phetchaburi	13 09 N	100 04 E	116	Surin A	14 53 N	103 27 E
81	Phichit A	16 26 N	100 17 E	117	Tak	16 53 N	99 07 E
82	Phitsanulok	16 47 N	100 16 E	118	Tak Pha A	26 32 N	100 30 E
83	Phlew A	12 31 N	102 10 E	119	Takua Pa A	08 51 N	98 16 E
84	Phrae	18 10 N	100 10 E	120	Tha Tum H	15 19 N	103 41 E
85	Phrasang H	08 34 N	99 15 E	121	Tha Wang Pha H	19 07 N	100 48 E
86	Phuket	07 53 N	98 24 E	122	Thaphra A	16 20 N	102 49 E
87	Phuket Airport	08 09 N	98 19 E	123	Thong Pha Phum	14 45 N	98 38 E
88	Prachin Buri	14 03 N	101 22 E	124	Thung Chang H	19 25 N	100 53 E
89	Prachuap Khirikhan	11 50 N	99 50 E	125	Trang	07 31 N	99 37 E
90	Pratumtani A	14 06 N	100 37 E	126	Ubon Ratchathani	15 15 N	104 52 E
91	Ranong	09 59 N	98 37 E	127	Ubon Ratchathani A	15 14 N	105 02 E
92	Ratcha Buri A	13 30 N	99 48 E	128	Udon Thani	17 23 N	102 48 E
93	Rayong	12 38 N	101 21 E	129	Umphang	16 01 N	98 52 E
94	Roi Et	16 03 N	103 41 E	130	Uthai Thani	15 21 N	100 03 E
95	Roi Et A	16 04 N	103 37 E	131	Utong A	14 18 N	99 52 E
96	Sadao H	06 48 N	100 24 E	132	Uttaradit	17 37 N	100 06 E
97	Sakaew H	13 47 N	102 02 E	133	Wichian Buri H	15 39 N	101 07 E
98	Sakon Nakhon	17 09 N	104 08 E	134	Yala A	06 31 N	101 17 E
99	Sakon Nakhon A	17 07 N	104 03 E	135	Yasothon	15 46 N	104 10 E
100	Samut Prakan	13 36 N	100 38 E				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



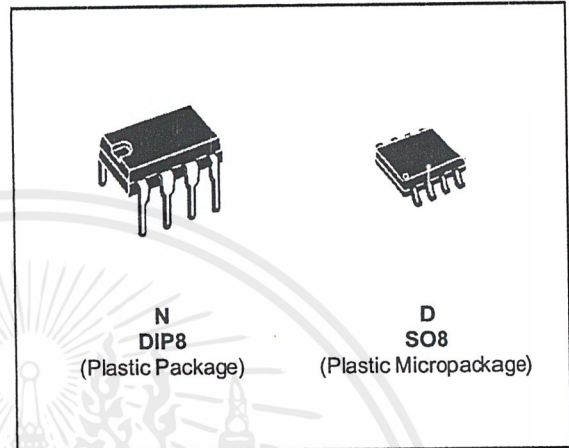
LF155 - LF255 - LF355
 LF156 - LF256 - LF356
 LF157 - LF257 - LF357

WIDE BANDWIDTH
 SINGLE J-FET OPERATIONAL AMPLIFIERS

- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- HIGH SPEED J-FET OP-AMPS : UP to 20MHz, 50V/μs
- OFFSET VOLTAGE ADJUST DOES NOT DEGRADE DRIFT OR COMMON-MODE REJECTION AS IN MOST MONOLITHIC AMPLIFIERS
- INTERNAL COMPENSATION AND LARGE DIFFERENTIAL INPUT VOLTAGE CAPABILITY (UP TO V_{CC}^+)

TYPICAL APPLICATIONS

- PRECISION HIGH SPEED INTEGRATORS
- FAST D/A AND A/D CONVERTERS
- HIGH IMPEDANCE BUFFERS
- WIDEBAND, LOW NOISE, LOW DRIFT AMPLIFIERS
- LOGARITHMIC AMPLIFIERS
- PHOTOCELL AMPLIFIERS
- SAMPLE AND HOLD CIRCUITS

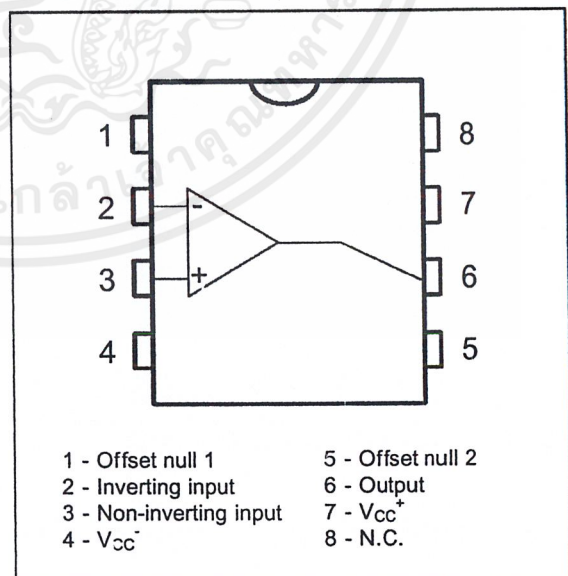


ORDER CODES

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
LF355, LF356, LF357	0°C, +70°C	•	•
LF255, LF256, LF257	-40°C, +105°C	•	•
LF155, LF156, LF157	-55°C, +125°C	•	•

Example : LF355N

PIN CONNECTIONS (top view)



DESCRIPTION

These circuits are monolithic J-FET input operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET on the same chip with standard bipolar transistors.

This amplifiers feature low input bias and offset currents, low input offset voltage and input offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common-mode rejection.

The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time, low voltage and current noise and a low $1/f$ noise corner.

LF155/LF156/LF355/LF356/LF357

JFET Input Operational Amplifiers

General Description

These are the first monolithic JFET input operational amplifiers to incorporate well matched, high voltage JFETs on the same chip with standard bipolar transistors (BI-FET™ Technology). These amplifiers feature low input bias and offset currents/low offset voltage and offset voltage drift, coupled with offset adjust which does not degrade drift or common-mode rejection. The devices are also designed for high slew rate, wide bandwidth, extremely fast settling time, low voltage and current noise and a low 1/f noise corner.

Features

Advantages

- Replace expensive hybrid and module FET op amps
- Rugged JFETs allow blow-out free handling compared with MOSFET input devices
- Excellent for low noise applications using either high or low source impedance—very low 1/f corner
- Offset adjust does not degrade drift or common-mode rejection as in most monolithic amplifiers
- New output stage allows use of large capacitive loads (5,000 pF) without stability problems
- Internal compensation and large differential input voltage capability

Applications

- Precision high speed integrators
- Fast D/A and A/D converters
- High impedance buffers

- Wideband, low noise, low drift amplifiers
- Logarithmic amplifiers
- Photocell amplifiers
- Sample and Hold circuits

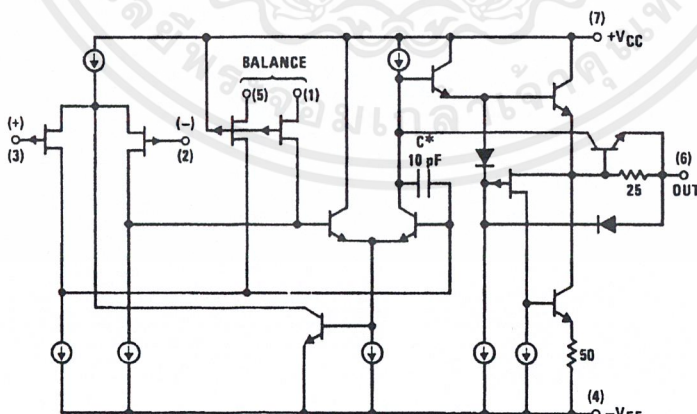
Common Features

- Low input bias current: 30pA
- Low Input Offset Current: 3pA
- High input impedance: $10^{12}\Omega$
- Low input noise current: $0.01 \text{ pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
- High common-mode rejection ratio: 100 dB
- Large dc voltage gain: 106 dB

Uncommon Features

	LF155/ LF355	LF156/ LF356	LF357 ($A_v=5$)	Units
■ Extremely fast settling time to 0.01%	4	1.5	1.5	μs
■ Fast slew rate	5	12	50	$\text{V}/\mu\text{s}$
■ Wide gain bandwidth	2.5	5	20	MHz
■ Low input noise voltage	20	12	12	$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

Simplified Schematic



*3 pF in LF357 series.

DS005848-1

BI-FET™, BI-FET II™ are trademarks of National Semiconductor Corporation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

	LF155/6	LF356B	LF355/6/7
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Differential Input Voltage	±40V	±40V	±30V
Input Voltage Range (Note 2)	±20V	±20V	±16V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
T_{JMAX}			
H-Package	150°C	115°C	115°C
N-Package		100°C	100°C
M-Package		100°C	100°C
Power Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$ (Notes 1, 8)			
H-Package (Still Air)	560 mW	400 mW	400 mW
H-Package (400 LF/Min Air Flow)	1200 mW	1000 mW	1000 mW
N-Package		670 mW	670 mW
M-Package		380 mW	380 mW
Thermal Resistance (Typical) θ_{JA}			
H-Package (Still Air)	160°C/W	160°C/W	160°C/W
H-Package (400 LF/Min Air Flow)	65°C/W	65°C/W	65°C/W
N-Package		130°C/W	130°C/W
M-Package		195°C/W	195°C/W
(Typical) θ_{JC}			
H-Package	23°C/W	23°C/W	23°C/W
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Soldering Information (Lead Temp.)			
Metal Can Package			
Soldering (10 sec.)	300°C	300°C	300°C
Dual-In-Line Package			
Soldering (10 sec.)	260°C	260°C	260°C
Small Outline Package			
Vapor Phase (60 sec.)		215°C	215°C
Infrared (15 sec.)		220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD tolerance			
(100 pF discharged through 1.5 k Ω)	1000V	1000V	1000V

DC Electrical Characteristics

(Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/6			LF356B			LF355/6/7			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Input Offset Voltage	$R_S=50\Omega$, $T_A=25^\circ\text{C}$ Over Temperature		3	5		3	5		3	10	mV
					7		6.5				13	mV
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Average TC of Input Offset Voltage	$R_S=50\Omega$		5			5			5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$\Delta TC/\Delta V_{OS}$	Change in Average TC with V_{OS} Adjust	$R_S=50\Omega$, (Note 4)		0.5			0.5			0.5		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ per mV
I_{OS}	Input Offset Current	$T_J=25^\circ\text{C}$, (Notes 3, 5) $T_J \leq T_{HIGH}$		3	20		3	20		3	50	pA
					20		1				2	nA
I_B	Input Bias Current	$T_J=25^\circ\text{C}$, (Notes 3, 5) $T_J \leq T_{HIGH}$		30	100		30	100		30	200	pA
					50		5				8	nA
R_{IN}	Input Resistance	$T_J=25^\circ\text{C}$		10^{12}			10^{12}			10^{12}		Ω

DC Electrical Characteristics (Continued)

(Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/6			LF356B			LF355/6/7			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
A _{VOL}	Large Signal Voltage Gain	V _S =±15V, T _A =25°C V _O =±10V, R _L =2k Over Temperature	50	200		50	200		25	200		V/mV
			25			25			15			V/mV
V _O	Output Voltage Swing	V _S =±15V, R _L =10k V _S =±15V, R _L =2k	±12	±13		±12	±13		±12	±13		V
			±10	±12		±10	±12		±10	±12		V
V _{CM}	Input Common-Mode Voltage Range	V _S =±15V	±11	+15.1 -12		±11	±15.1 -12		+10	+15.1 -12		V
												V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio		85	100		85	100		80	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 6)	85	100		85	100		80	100		dB

DC Electrical Characteristics

T_A = T_J = 25°C, V_S = ±15V

Parameter	LF155		LF355		LF156/356B		LF356		LF357		Units
	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	Typ	Max	
Supply Current	2	4	2	4	5	7	5	10	5	10	mA

AC Electrical Characteristics

T_A = T_J = 25°C, V_S = ±15V

Symbol	Parameter	Conditions	LF155/355	LF156/356B	LF156/356/ LF356B	LF357	Units
			Typ	Min	Typ	Typ	
SR	Slew Rate	LF155/6: A _V =1, LF357: A _V =5	5	7.5	12		V/μs
						50	V/μs
GBW	Gain Bandwidth Product		2.5		5	20	MHz
t _s	Settling Time to 0.01%	(Note 7)	4		1.5	1.5	μs
e _n	Equivalent Input Noise Voltage	R _S =100Ω f=100 Hz f=1000 Hz	25		15	15	nV/√Hz
			20		12	12	nV/√Hz
i _n	Equivalent Input Current Noise	f=100 Hz f=1000 Hz	0.01		0.01	0.01	pA/√Hz
			0.01		0.01	0.01	pA/√Hz
C _{IN}	Input Capacitance		3		3	3	pF

Notes for Electrical Characteristics

Note 1: The maximum power dissipation for these devices must be derated at elevated temperatures and is dictated by T_{JMAX}, θ_{JA}, and the ambient temperature, T_A. The maximum available power dissipation at any temperature is P_d=(T_{JMAX}-T_A)/θ_{JA} or the 25°C P_{dMAX}, whichever is less.

Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 3: Unless otherwise stated, these test conditions apply:

	LF155/156	LF356B	LF355/6/7
Supply Voltage, V _S	±15V ≤ V _S ≤ ±20V	±15V ≤ V _S ≤ ±20V	V _S = ±15V
T _A	-55°C ≤ T _A ≤ +125°C	0°C ≤ T _A ≤ +70°C	0°C ≤ T _A ≤ +70°C
T _{HIGH}	+125°C	+70°C	+70°C

and V_{OS}, I_B and I_{OS} are measured at V_{CM}=0.

Note 4: The Temperature Coefficient of the adjusted input offset voltage changes only a small amount (0.5μV/°C typically) for each mV of adjustment from its original unadjusted value. Common-mode rejection and open loop voltage gain are also unaffected by offset adjustment.

Notes for Electrical Characteristics (Continued)

Note 5: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature, T_J . Due to limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation, P_d . $T_J = T_A + \theta_{JA} P_d$ where θ_{JA} is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 6: Supply Voltage Rejection is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously, in accordance with common practice.

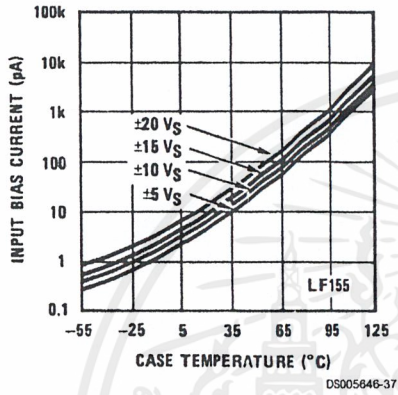
Note 7: Settling time is defined here, for a unity gain inverter connection using 2 kΩ resistors for the LF155/6. It is the time required for the error voltage (the voltage at the inverting input pin on the amplifier) to settle to within 0.01% of its final value from the time a 10V step input is applied to the inverter. For the LF357, $A_V = -5$, the feedback resistor from output to input is 2 kΩ and the output step is 10V (See Settling Time Test Circuit).

Note 8: Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.

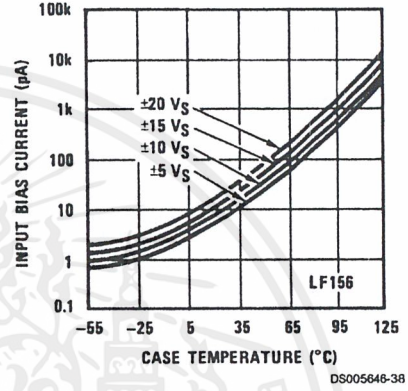
Typical DC Performance Characteristics

Curves are for LF155 and LF156 unless otherwise specified.

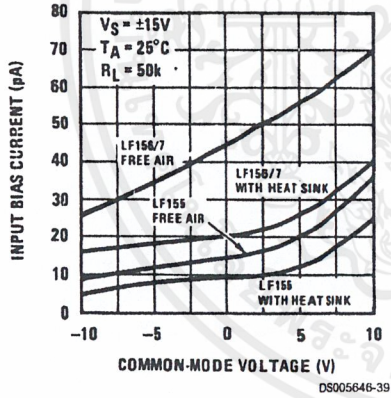
Input Bias Current



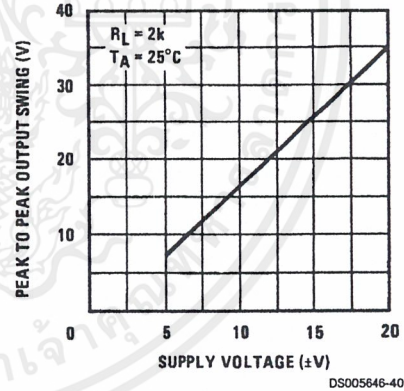
Input Bias Current



Input Bias Current

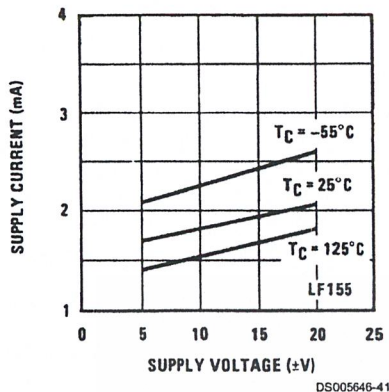


Voltage Swing

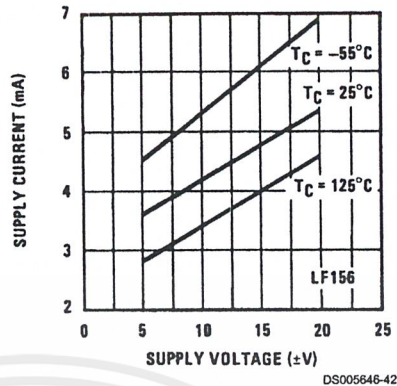


Typical DC Performance Characteristics Curves are for LF155 and LF156 unless otherwise specified. (Continued)

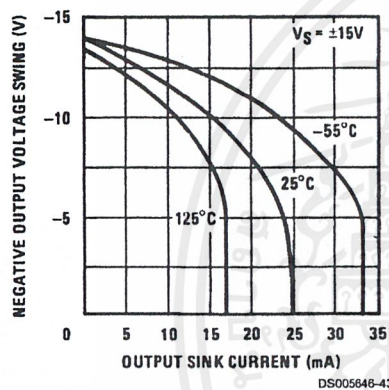
Supply Current



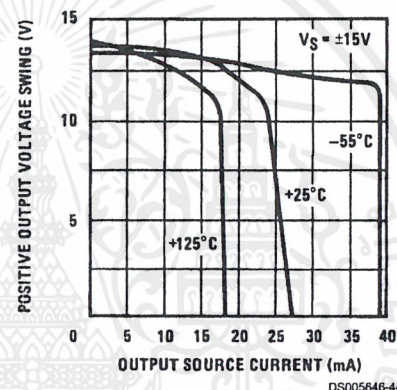
Supply Current



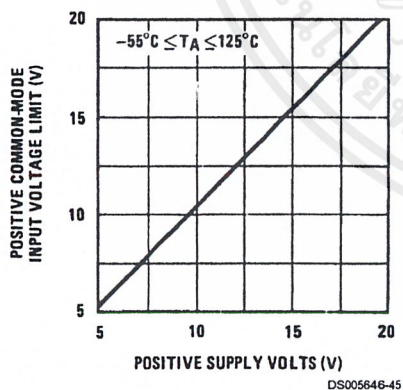
Negative Current Limit



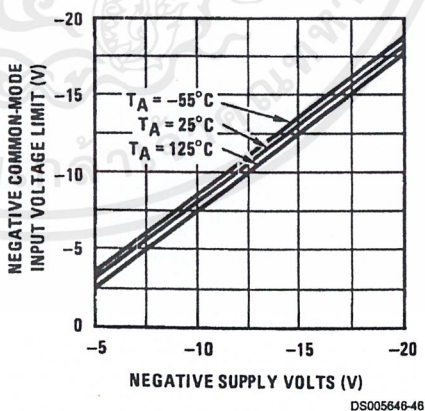
Positive Current Limit



Positive Common-Mode Input Voltage Limit



Negative Common-Mode Input Voltage Limit

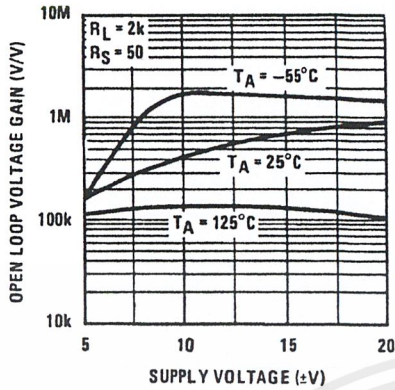


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

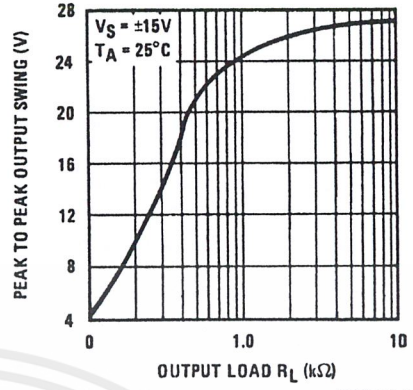
Typical DC Performance Characteristics

Curves are for LF155 and LF156 unless otherwise specified. (Continued)

Open Loop Voltage Gain

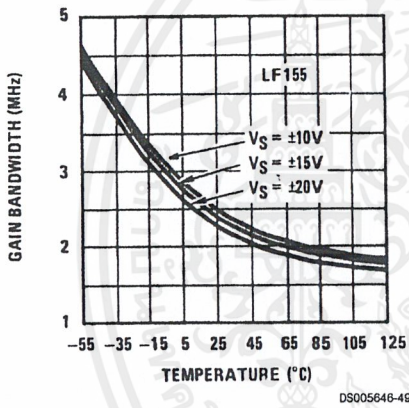


Output Voltage Swing

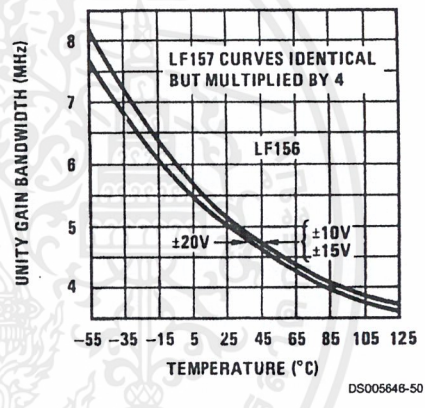


Typical AC Performance Characteristics

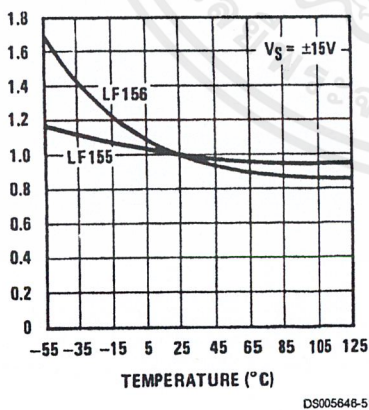
Gain Bandwidth



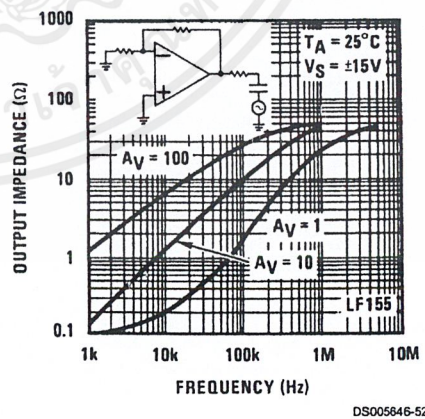
Gain Bandwidth



Normalized Slew Rate



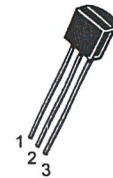
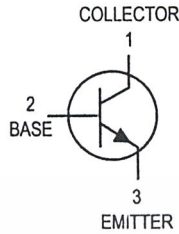
Output Impedance



Amplifier Transistors

NPN Silicon

BC182,A,B
BC183
BC184



CASE 29-04, STYLE 17
TO-92 (TO-226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC 182	BC 183	BC 184	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	50	30	30	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	60	45	45	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EBO}		6.0		Vdc
Collector Current — Continuous	I_C		100		mAdc
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D		350 2.8		mW mW/°C
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D		1.0 8.0		Watts mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150			°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	357	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	125	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 2.0 \text{ mA}, I_B = 0$)	BC182 BC183 BC184	$V_{(BR)CEO}$	50 30 30	— — —	— — —	V
Collector-Base Breakdown Voltage ($I_C = 10 \mu\text{A}, I_E = 0$)	BC182 BC183 BC184	$V_{(BR)CBO}$	60 45 45	— — —	— — —	V
Emitter-Base Breakdown Voltage ($I_E = 100 \mu\text{A}, I_C = 0$)		$V_{(BR)EBO}$	6.0	—	—	V
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 50 \text{ V}, V_{BE} = 0$) ($V_{CB} = 30 \text{ V}, V_{BE} = 0$)	BC182 BC183 BC184	I_{CBO}	— — —	0.2 0.2 0.2	15 15 15	nA
Emitter-Base Leakage Current ($V_{EB} = 4.0 \text{ V}, I_C = 0$)		I_{EBO}	—	—	15	nA

BC182,A,B BC183 BC184
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS						
DC Current Gain ($I_C = 10\ \mu\text{A}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$) ($I_C = 2.0\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$) ($I_C = 100\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$)	BC182	h _{FE}	40	—	—	—
	BC183		40	—	—	—
	BC184		100	—	—	—
	BC182	h _{FE}	120	—	500	—
	BC183		120	—	800	—
	BC184		250	—	800	—
	BC182	h _{FE}	80	—	—	—
	BC183		80	—	—	—
	BC184		130	—	—	—
Collector–Emitter On Voltage ($I_C = 10\ \text{mA}$, $I_B = 0.5\ \text{mA}$) ($I_C = 100\ \text{mA}$, $I_B = 5.0\ \text{mA}$)(1)		V _{CE(sat)}	—	0.07 0.2	0.25 0.6	V
Base–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 100\ \text{mA}$, $I_B = 5.0\ \text{mA}$)(1)		V _{BE(sat)}	—	—	1.2	V
Base–Emitter On Voltage ($I_C = 100\ \mu\text{A}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$) ($I_C = 2.0\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$) ($I_C = 100\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$)(1)		V _{BE(on)}	— 0.55 —	0.5 0.62 0.83	— 0.7 —	V
DYNAMIC CHARACTERISTICS						
Current–Gain — Bandwidth Product ($I_C = 0.5\ \text{mA}$, $V_{CE} = 3.0\ \text{V}$, $f = 100\ \text{MHz}$) ($I_C = 10\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$, $f = 100\ \text{MHz}$)	BC182	f _T	—	100	—	MHz
	BC183		—	120	—	
	BC184		—	140	—	
	BC182	f _T	150	200	—	
	BC183		150	240	—	
	BC184		150	280	—	
Common Base Output Capacitance ($V_{CB} = 10\ \text{V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\ \text{MHz}$)		C _{ob}	—	—	5.0	pF
Common Base Input Capacitance ($V_{EB} = 0.5\ \text{V}$, $I_C = 0$, $f = 1.0\ \text{MHz}$)		C _{ib}	—	8.0	—	pF
Small–Signal Current Gain ($I_C = 2.0\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$, $f = 1.0\ \text{kHz}$)	BC182	h _{fe}	125	—	500	—
	BC183		125	—	900	
	BC184		240	—	900	
	BC182A		125	—	260	
	BC182B		240	—	500	
Noise Figure ($I_C = 0.2\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$, $R_S = 2.0\ \text{k}\Omega$, $f = 1.0\ \text{kHz}$) ($I_C = 0.2\ \text{mA}$, $V_{CE} = 5.0\ \text{V}$, $R_S = 2.0\ \text{k}\Omega$, $f = 1.0\ \text{kHz}$, $f = 200\ \text{Hz}$)	BC184	NF	—	2.0	4.0	dB
	BC182		—	2.0	10	
	BC183		—	2.0	10	
	BC184		—	2.0	4.0	
	BC184		—	2.0	4.0	

 1. Pulse Test: T_p 300 s, Duty Cycle 2.0%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

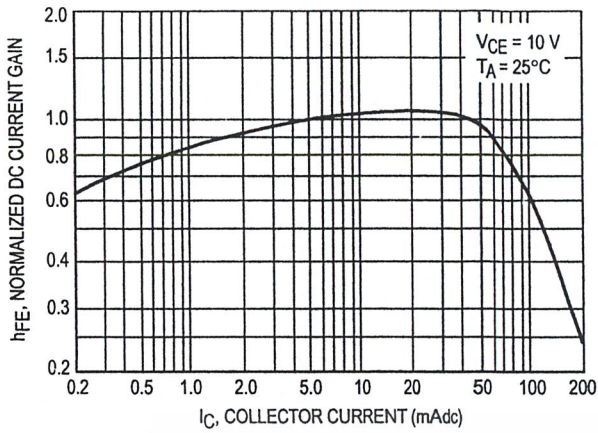


Figure 1. Normalized DC Current Gain

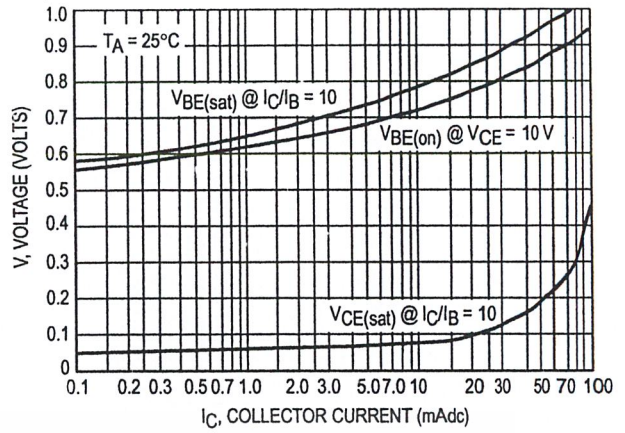


Figure 2. "Saturation" and "On" Voltages

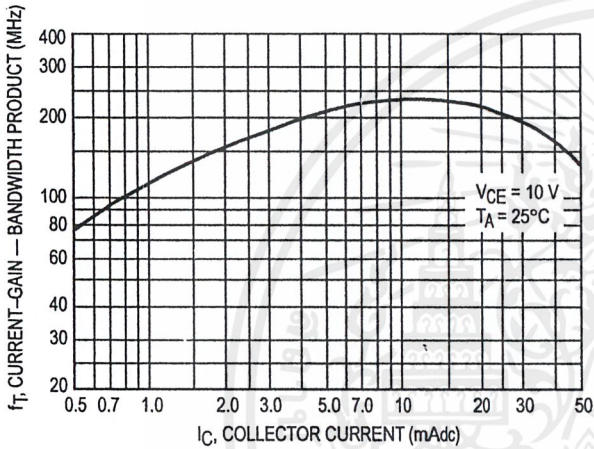


Figure 3. Current-Gain — Bandwidth Product

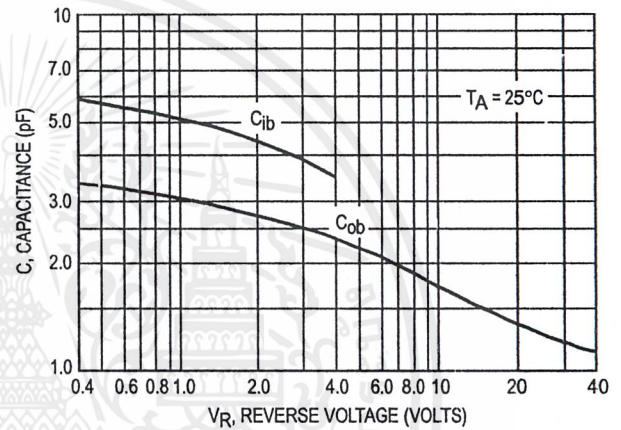


Figure 4. Capacitances

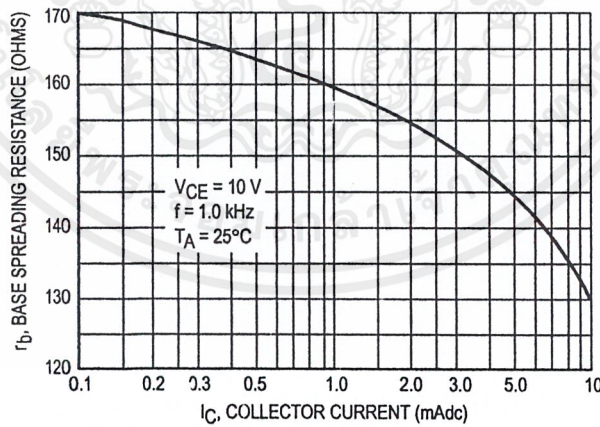
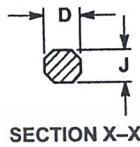
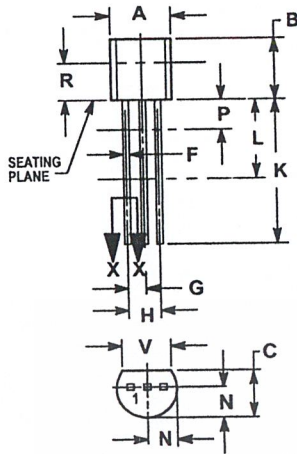


Figure 5. Base Spreading Resistance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
 4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K. MINIMUM LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.022	0.41	0.55
F	0.016	0.019	0.41	0.48
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	—	12.70	—
L	0.250	—	6.35	—
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	—	0.100	—	2.54
R	0.115	—	2.93	—
V	0.135	—	3.43	—

- STYLE 17:
 PIN 1. COLLECTOR
 2. BASE
 3. EMITTER

CASE 029-04
 (TO-226AA)
 ISSUE AD

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE: Motorola Literature Distribution;
 P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,
 6F Seibu-Butsuryu-Center, 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-6609
 INTERNET: http://Design-NET.com

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



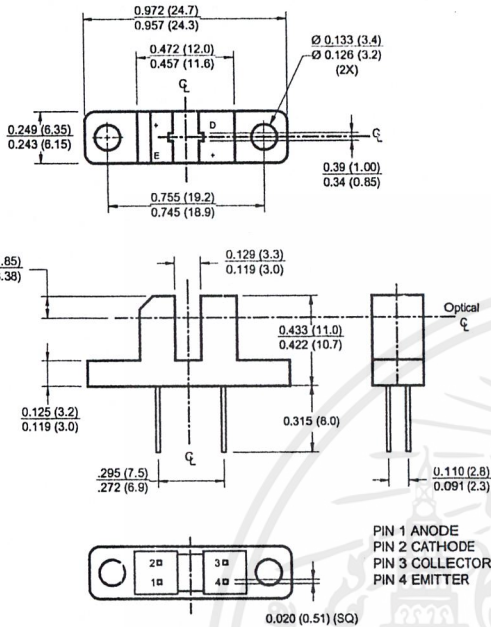
BC182/D



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H21A1 / H21A2 / H21A3 PHOTOTRANSISTOR OPTICAL INTERRUPTER SWITCH

PACKAGE DIMENSIONS

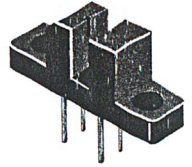


NOTES:

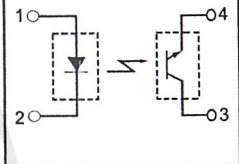
1. Dimensions for all drawings are in inches (mm).
2. Tolerance of $\pm .010 (.25)$ on all non-nominal dimensions unless otherwise specified.

DESCRIPTION

The H21A1, H21A2 and H21A3 consist of a gallium arsenide infrared emitting diode coupled with a silicon phototransistor in a plastic housing. The packaging system is designed to optimize the mechanical resolution, coupling efficiency, ambient light rejection, cost and reliability. The gap in the housing provides a means of interrupting the signal with an opaque material, switching the output from an "ON" to an "OFF" state.



SCHEMATIC



FEATURES

- Opaque housing
- Low cost
- .035" apertures
- High $I_{C(ON)}$

1. Derate power dissipation linearly 1.33 mW/°C above 25°C.
2. RMA flux is recommended.
3. Methanol or isopropyl alcohols are recommended as cleaning agents.
4. Soldering iron tip 1/16" (1.6mm) minimum from housing.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Operating Temperature	T_{OPR}	-55 to +100	°C
Storage Temperature	T_{STG}	-55 to +100	°C
Soldering Temperature (Iron)(2,3 and 4)	T_{SOL-I}	240 for 5 sec	°C
Soldering Temperature (Flow)(2 and 3)	T_{SOL-F}	260 for 10 sec	°C
INPUT (EMITTER)			
Continuous Forward Current	I_F	50	mA
Reverse Voltage	V_R	6	V
Power Dissipation (1)	P_D	100	mW
OUTPUT (SENSOR)			
Collector to Emitter Voltage	V_{CEO}	30	V
Emitter to Collector Voltage	V_{ECO}	4.5	V
Collector Current	I_C	20	mA
Power Dissipation ($T_C = 25^\circ\text{C}$)(1)	P_D	150	mW

H21A1 / H21A2 / H21A3

PHOTOTRANSISTOR

OPTICAL INTERRUPTER SWITCH

ELECTRICAL / OPTICAL CHARACTERISTICS (TA = 25°C)(All measurements made under pulse condition)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SYMBOL	DEVICES	MIN	TYP	MAX	UNITS
INPUT (EMITTER)							
Forward Voltage	$I_F = 60 \text{ mA}$	V_F	All	—	—	1.7	V
Reverse Breakdown Voltage	$I_R = 10 \text{ } \mu\text{A}$	V_R	All	6.0	—	—	V
Reverse Leakage Current	$V_R = 3 \text{ V}$	I_R	All	—	—	1.0	μA
OUTPUT (SENSOR)							
Emitter to Collector Breakdown	$I_F = 100 \text{ } \mu\text{A}, E_e = 0$	BV_{ECO}	All	6.0	—	—	V
Collector to Emitter Breakdown	$I_C = 1 \text{ mA}, E_e = 0$	BV_{CEO}	All	30	—	—	V
Collector to Emitter Leakage	$V_{CE} = 25 \text{ V}, E_e = 0$	I_{CEC}	All	—	—	100	nA
COUPLED							
On-State Collector Current	$I_F = 5 \text{ mA}, V_{CE} = 5 \text{ V}$	$I_{C(ON)}$	H21A1	0.15	—	—	mA
			H21A2	0.30	—	—	
			H21A3	0.60	—	—	
	$I_F = 20 \text{ mA}, V_{CE} = 5 \text{ V}$		H21A1	1.0	—	—	
			H21A2	2.0	—	—	
			H21A3	4.0	—	—	
	$I_F = 30 \text{ mA}, V_{CE} = 5 \text{ V}$		H21A1	1.9	—	—	
			H21A2	3.0	—	—	
			H21A3	5.5	—	—	
Saturation Voltage	$I_F = 20 \text{ mA}, I_C = 1.8 \text{ mA}$	$V_{CE(SAT)}$	H21A2/3	—	—	0.40	V
	$I_F = 30 \text{ mA}, I_C = 1.8 \text{ mA}$		H21A1	—	—	0.40	V
Turn-On Time	$I_F = 30 \text{ mA}, V_{CC} = 5 \text{ V}, R_L = 2.5 \text{ K}\Omega$	t_{on}	All	—	8	—	μs
Turn-Off Time	$I_F = 30 \text{ mA}, V_{CC} = 5 \text{ V}, R_L = 2.5 \text{ K}\Omega$	t_{off}	All	—	50	—	μs

H21A1 / H21A2 / H21A3

PHOTOTRANSISTOR

OPTICAL INTERRUPTER SWITCH

Figure 1. Output Current vs. Input Current

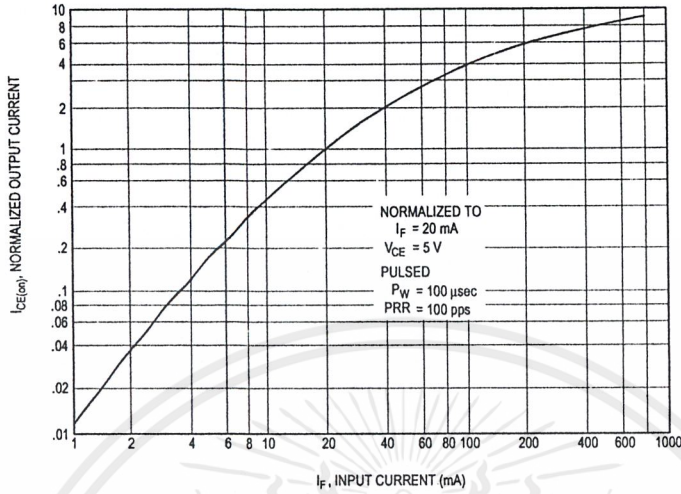


Figure 2. Output Current vs. Temperature

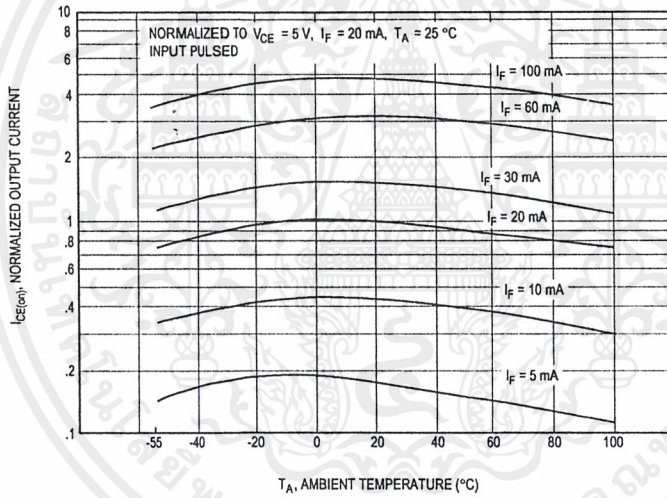


Figure 3. $V_{CE(SAT)}$ vs. Temperature

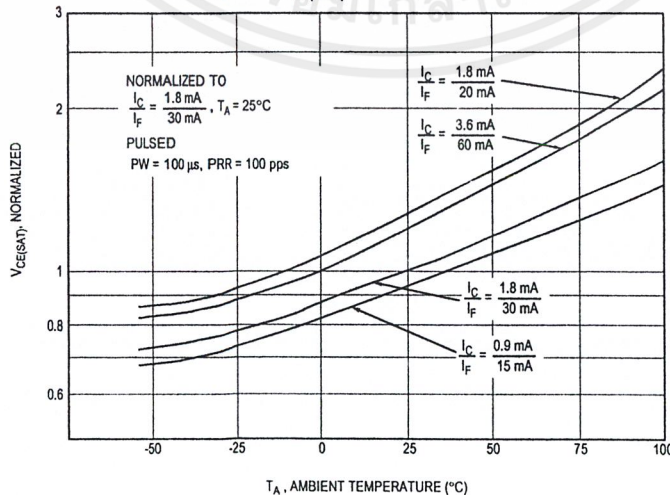


Figure 4. Leakage Current vs. Temperature

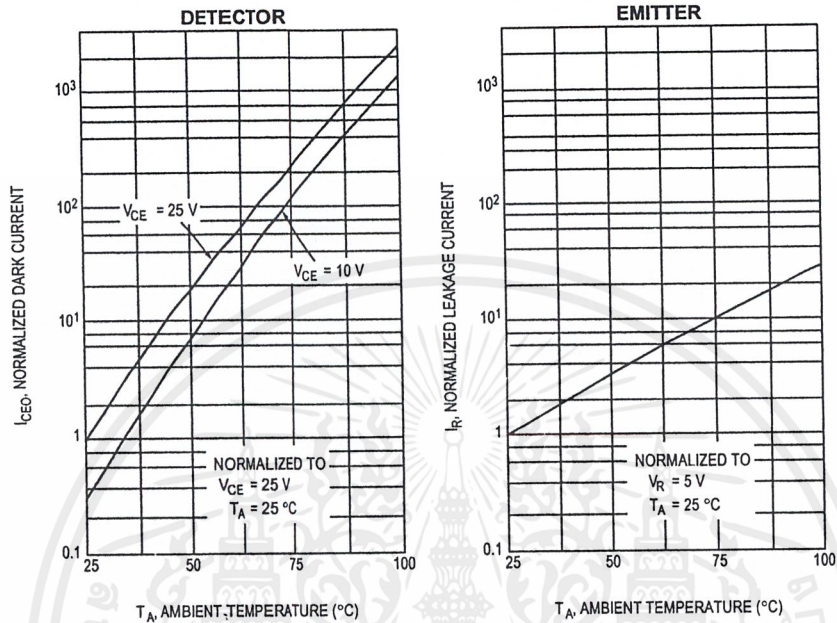


Figure 5. Switching Speed vs. R_L

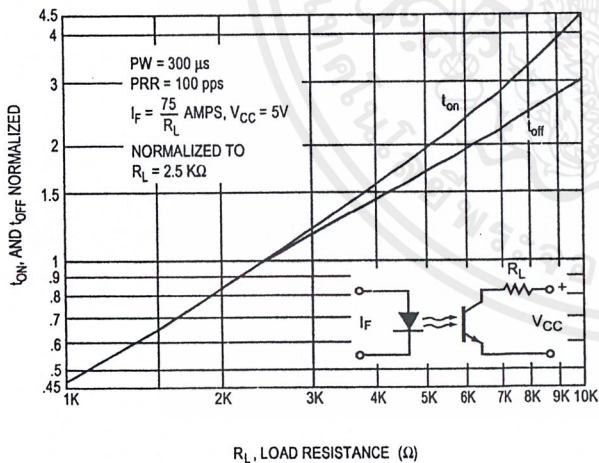
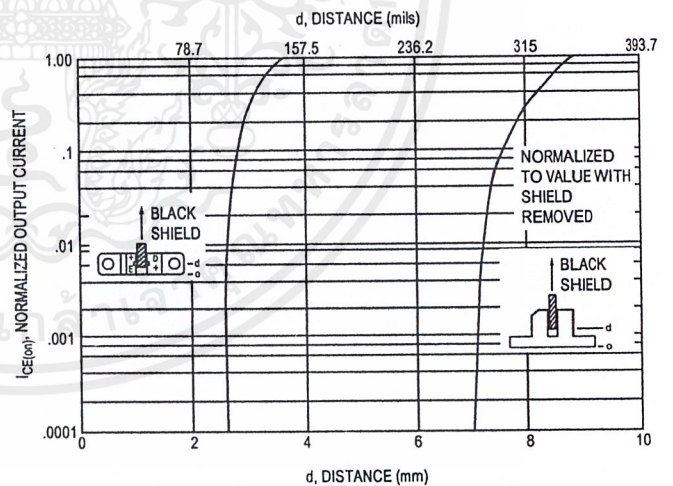


Figure 6. Output Current vs. Distance



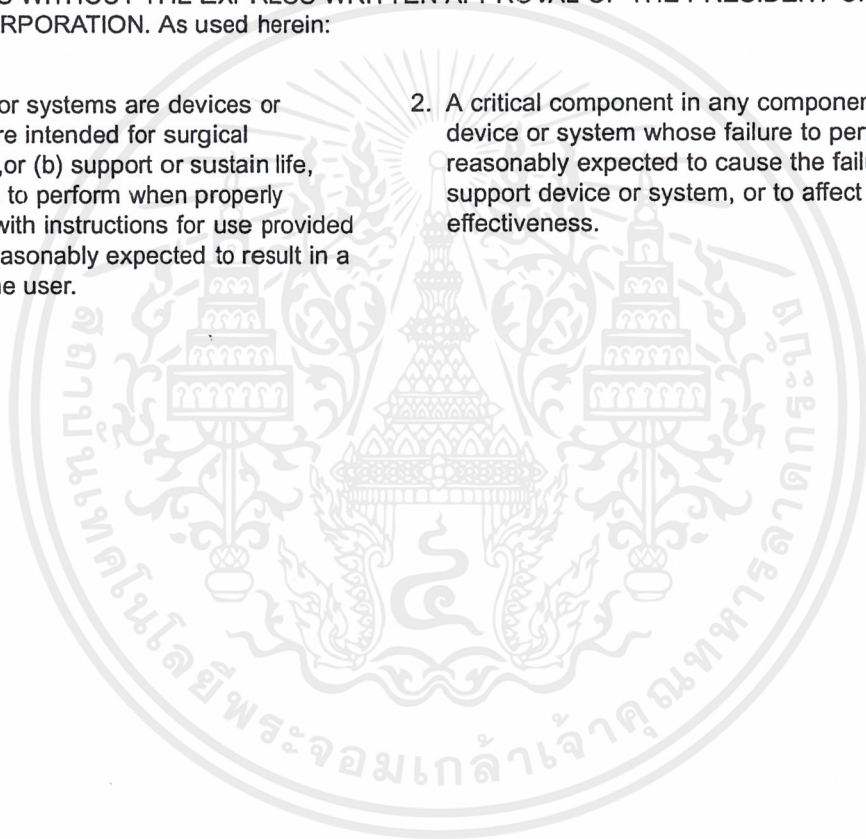
DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury of the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit μ P Compatible A/D Converters

General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters that use a differential potentiometric ladder—similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INS8080A derivative control bus with TRI-STATE® output latches directly driving the data bus. These A/Ds appear like memory locations or I/O ports to the microprocessor and no interfacing logic is needed.

Differential analog voltage inputs allow increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

Features

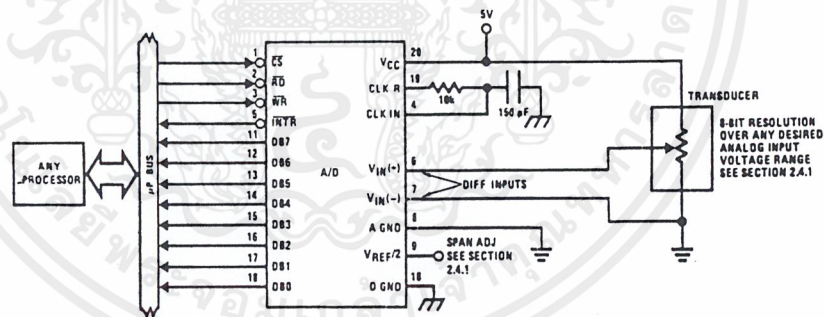
- Compatible with 8080 μ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP package
- 20-pin molded chip carrier or small outline package
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} , 2.5 V_{DC} , or analog span adjusted voltage reference

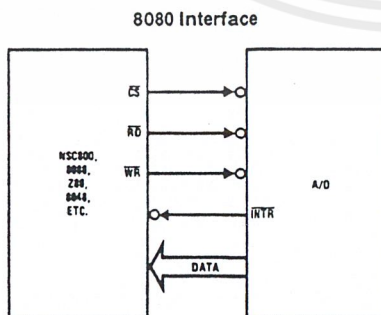
Key Specifications

- Resolution: 8 bits
- Total error: $\pm 1/4$ LSB, $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- Conversion time: 100 μ s

Typical Applications



TL/H/5671-1



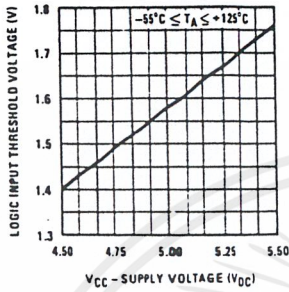
TL/H/5671-31

Error Specification (Includes Full-Scale, Zero Error, and Non-Linearity)

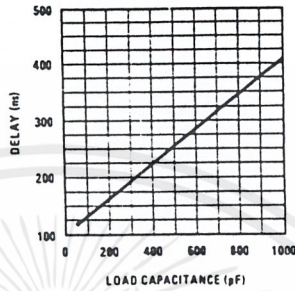
Part Number	Full-Scale Adjusted	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$ (No Adjustments)	$V_{REF}/2 = \text{No Connection}$ (No Adjustments)
ADC0801	$\pm 1/4$ LSB		
ADC0802		$\pm 1/2$ LSB	
ADC0803	$\pm 1/2$ LSB		
ADC0804		± 1 LSB	
ADC0805			± 1 LSB

Typical Performance Characteristics

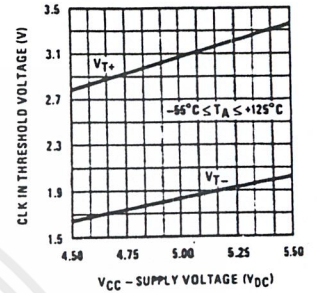
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



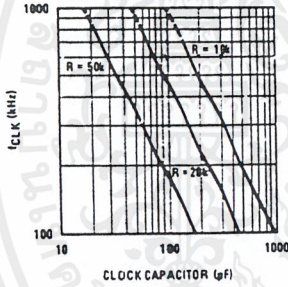
Delay From Falling Edge of \overline{RD} to Output Data Valid vs. Load Capacitance



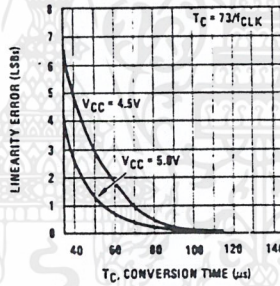
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



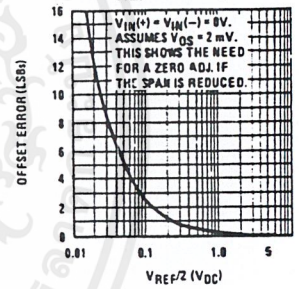
fCLK vs. Clock Capacitor



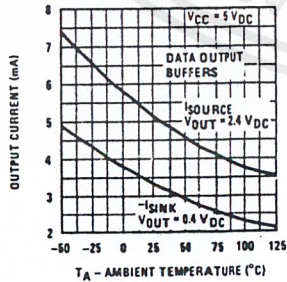
Full-Scale Error vs Conversion Time



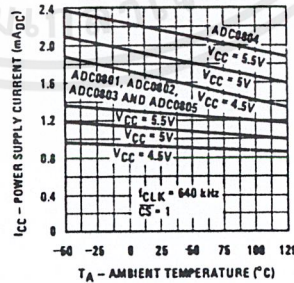
Effect of Unadjusted Offset Error vs. $V_{REF}/2$ Voltage



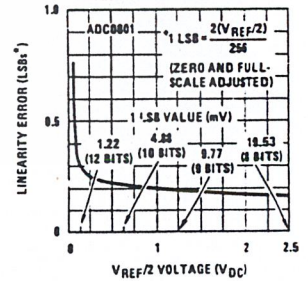
Output Current vs Temperature



Power Supply Current vs Temperature (Note 9)



Linearity Error at Low $V_{REF}/2$ Voltages



Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage	
Logic Control Inputs	-0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	-0.3V to ($V_{CC} + 0.3V$)
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$	875 mW
ESD Susceptibility (Note 10)	800V

Operating Ratings (Notes 1 & 2)

Temperature Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0801/02LJ, ADC0802LJ/883	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$
ADC0801/02/03/04LCJ	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
ADC0801/02/03/05LCN	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
ADC0804LCN	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
ADC0802/03/04LCV	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
ADC0802/03/04LCWM	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
Range of V_{CC}	4.5 V_{DC} to 6.3 V_{DC}

Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC} = 5 V_{DC}$, $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ and $f_{CLK} = 640$ kHz unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0801: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/4$	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$			$\pm 1/2$	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/2$	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$			± 1	LSB
ADC0805: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2$ -No Connection			± 1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance (Pin 9)	ADC0801/02/03/05 ADC0804 (Note 9)	2.5 0.75	8.0 1.1		k Ω k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 4) $V(+)$ or $V(-)$	Gnd-0.05		$V_{CC} \pm 0.05$	V_{DC}
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V_{CC} = 5 V_{DC} \pm 10\%$ Over Allowed $V_{IN}(+)$ and $V_{IN}(-)$ Voltage Range (Note 4)		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB

AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC} = 5 V_{DC}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
T_C	Conversion Time	$f_{CLK} = 640$ kHz (Note 6)	103		114	μs
T_C	Conversion Time	(Note 5, 6)	66		73	$1/f_{CLK}$
f_{CLK}	Clock Frequency Clock Duty Cycle	$V_{CC} = 5V$, (Note 5) (Note 5)	100 40	640	1460 60	kHz %
CR	Conversion Rate in Free-Running Mode	INTR tied to WR with $\overline{CS} = 0 V_{DC}$, $f_{CLK} = 640$ kHz	8770		9708	conv/s
$t_{W(WR)L}$	Width of WR Input (Start Pulse Width)	$\overline{CS} = 0 V_{DC}$ (Note 7)	100			ns
t_{ACC}	Access Time (Delay from Falling Edge of RD to Output Data Valid)	$C_L = 100$ pF		135	200	ns
t_{1H} , t_{0H}	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of RD to Hi-Z State)	$C_L = 10$ pF, $R_L = 10k$ (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
t_{WI} , t_{RI}	Delay from Falling Edge of WR or RD to Reset of INTR			300	450	ns
C_{IN}	Input Capacitance of Logic Control Inputs			5	7.5	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance (Data Buffers)			5	7.5	pF

CONTROL INPUTS [Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately]

$V_{IN}(1)$	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 5.25 V_{DC}$	2.0		15	V_{DC}
-------------	---	------------------------	-----	--	----	----------

AC Electrical Characteristics (Continued)The following specifications apply for $V_{CC} = 5V_{DC}$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
CONTROL INPUTS [Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately]						
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.8	V_{DC}
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 5 V_{DC}$		0.005	1	μA_{DC}
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 0 V_{DC}$	-1	-0.005		μA_{DC}
CLOCK IN AND CLOCK R						
V_{T+}	CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage		2.7	3.1	3.5	V_{DC}
V_{T-}	CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage		1.5	1.8	2.1	V_{DC}
V_H	CLK IN (Pin 4) Hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$)		0.6	1.3	2.0	V_{DC}
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" CLK R Output Voltage	$I_O = 360 \mu A$ $V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4	V_{DC}
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" CLK R Output Voltage	$I_O = -360 \mu A$ $V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	2.4			V_{DC}
DATA OUTPUTS AND INTR						
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage Data Outputs INTR Output	$I_{OUT} = 1.6 mA, V_{CC} = 1.75 V_{DC}$ $I_{OUT} = 1.0 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4 0.4	V_{DC} V_{DC}
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -360 \mu A, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	2.4			V_{DC}
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -10 \mu A, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	4.5			V_{DC}
I_{OUT}	TRI-STATE Disabled Output Leakage (All Data Buffers)	$V_{OUT} = 0 V_{DC}$ $V_{OUT} = 5 V_{DC}$	-3		3	μA_{DC} μA_{DC}
I_{SOURCE}		V_{OUT} Short to Gnd, $T_A = 25^\circ C$	4.5	6		mA_{DC}
I_{SINK}		V_{OUT} Short to V_{CC} , $T_A = 25^\circ C$	9.0	16		mA_{DC}
POWER SUPPLY						
I_{CC}	Supply Current (Includes Ladder Current) ADC0801/02/03/04LCJ/05 ADC0804LCN/LCV/LCWM	$f_{CLK} = 640 kHz$, $V_{REF/2} = NC$, $T_A = 25^\circ C$ and $\overline{CS} = 5V$			1.1 1.9	1.8 2.5 mA mA

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to Gnd, unless otherwise specified. The separate A Gnd point should always be wired to the D Gnd.

Note 3: A zener diode exists, internally, from V_{CC} to Gnd and has a typical breakdown voltage of $7 V_{DC}$.

Note 4: For $V_{IN(-)} \geq V_{IN(+)}$ the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see block diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. Be careful, during testing at low V_{CC} levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct—especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full-scale. The spec allows 50 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 50 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0 V_{DC} to 5 V_{DC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of $4.950 V_{DC}$ over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Accuracy is guaranteed at $f_{CLK} = 640 kHz$. At higher clock frequencies accuracy can degrade. For lower clock frequencies, the duty cycle limits can be extended so long as the minimum clock high time interval or minimum clock low time interval is no less than 275 ns.

Note 6: With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process. The start request is internally latched, see Figure 2 and section 2.0.

Note 7: The \overline{CS} input is assumed to bracket the \overline{WR} strobe input and therefore timing is dependent on the \overline{WR} pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the \overline{WR} pulse (see timing diagrams).

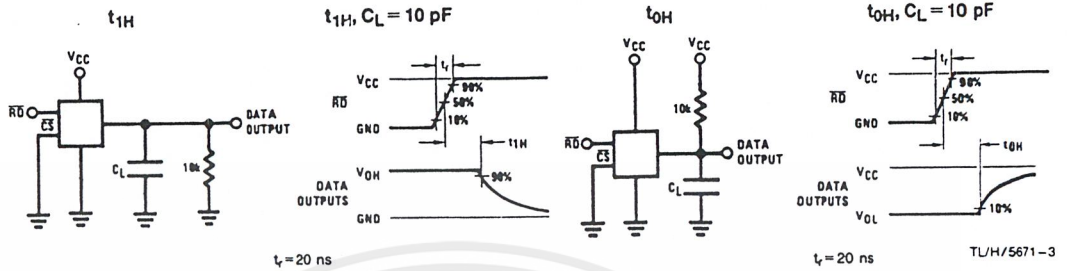
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 5.

Note 9: The $V_{REF/2}$ pin is the center point of a two-resistor divider connected from V_{CC} to ground. In all versions of the ADC0801, ADC0802, ADC0803, and ADC0805, and in the ADC0804LCJ, each resistor is typically 16 k Ω . In all versions of the ADC0804 except the ADC0804LCJ, each resistor is typically 2.2 k Ω .

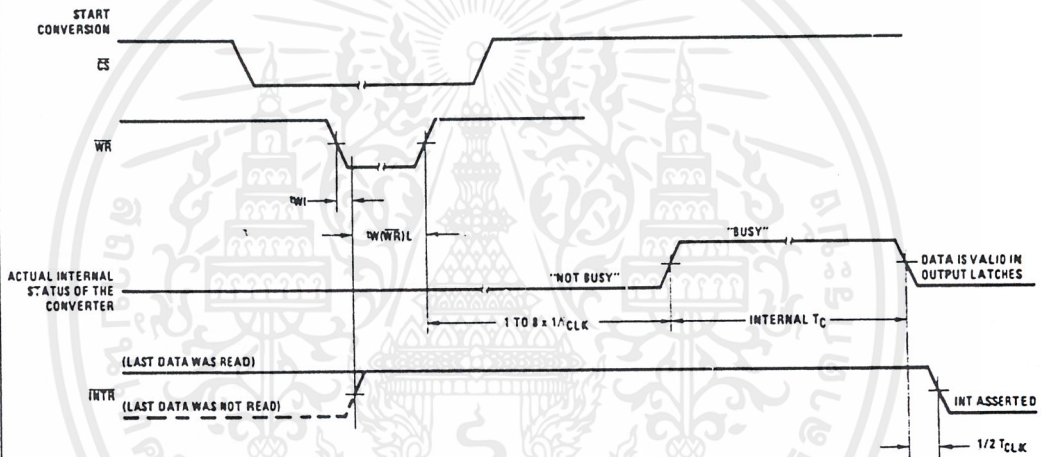
Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

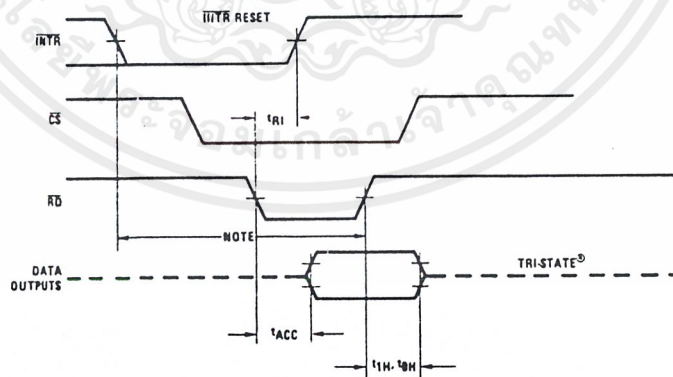
TRI-STATE Test Circuits and Waveforms



Timing Diagrams (All timing is measured from the 50% voltage points)



Output Enable and Reset INTR



Note: Read strobe must occur 8 clock periods ($8/T_{CLK}$) after assertion of interrupt to guarantee reset of INTR.

TL/H/5671-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Microtips Technology Inc.

台北縣汐止鎮康寧街169巷31號12樓
12F, No 31, Lane 169, Kang Ning St.
Hsi-Chih, Taipei Hsien, Taiwan, R.O.C.

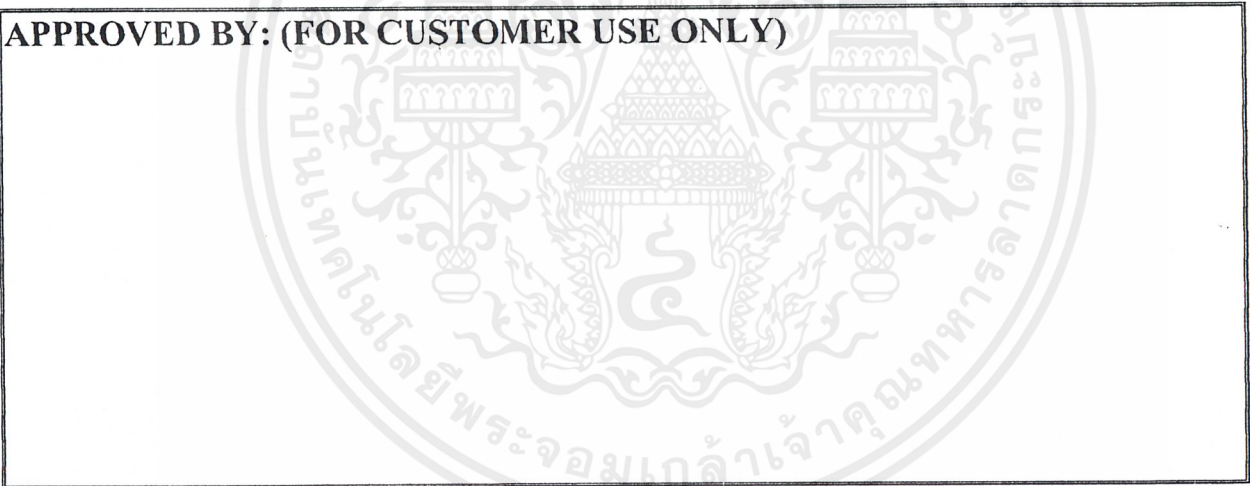
WEB : <http://www.microtips.com.tw>
E-mail : Macros@microtips.com.tw
TEL: 886-2-2695-3133 FAX: 886-2-2695-8625

LCD MODULE SPECIFICATION FOR CUSTOMER'S APPROVAL

CUSTOMER : Standard

MODULE TYPE : MTC-S16204XRGHS

APPROVED BY: (FOR CUSTOMER USE ONLY)



Approved By	Checked By	Prepared By	MT File No	Date Issued

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES of

LIQUID CRYSTAL DISPLAY MODULE

MODEL NO. : MTC-S16204XRGHS

Character Type Dot Matrix LCD Module

Easy interface of 4-bit or 8-bit

Display character pattern : 5 × 7 font with cursor(208 kinds)

The special character pattern can be programmable by Character Generator RAM directly.

A customer character pattern can be programmable by mask option.

Automatically power on reset.

Internal Memory:

- Character Generator ROM (CGROM) : 10,080 bits (204 characters × 5 × 8 dot)

- Character Generator RAM (CGRAM) : 64 × 8 bits (8 characters × 5 × 8 dot)

Low power operation:

- Power supply voltage range : 2.7 ~ 5.5 V (V_{DD})

- LCD drive voltage range : 3.0 ~ 13.0 V ($V_{DD} - V_o$)

Low power consumption

CMOS process

Duty-cycle : 1/16

View Direction	<input checked="" type="checkbox"/> 6 O'clock	<input type="checkbox"/> 12 O'clock			
LCD Type	<input type="checkbox"/> FSTN Positive		<input type="checkbox"/> FSTN Negative		
	<input checked="" type="checkbox"/> STN Gray	<input type="checkbox"/> STN Yellow Green	<input type="checkbox"/> STN Blue		
Rear Polarizer	<input checked="" type="checkbox"/> Reflective	<input type="checkbox"/> Transflective	<input type="checkbox"/> Transmissive		
Backlight Type	<input type="checkbox"/> LED	<input type="checkbox"/> Internal Power	<input type="checkbox"/> EL	<input type="checkbox"/> 5V input	
		<input type="checkbox"/> External Power	<input type="checkbox"/> CCFL	<input type="checkbox"/> 12V input	
Backlight Color	<input type="checkbox"/> White	<input type="checkbox"/> Amber	<input type="checkbox"/> Blue Green	<input type="checkbox"/> Yellow Green	<input type="checkbox"/> Other
Temperature Range	<input type="checkbox"/> Normal		<input checked="" type="checkbox"/> Wide	<input type="checkbox"/> Super Wide	
CCFL Inverter	<input type="checkbox"/> Build-in		<input checked="" type="checkbox"/> Not Build-in		
EL Driver IC	<input type="checkbox"/> Build-in		<input checked="" type="checkbox"/> Not Build-in		
Touch Screen	<input type="checkbox"/> With		<input checked="" type="checkbox"/> Without		

TO BE VERY CAREFUL !

The LCD driver ICs are made of CMOS process, which is very easy to be damaged by static charge, make sure the user is grounded when handling the LCM.

INTERFACE PIN ASSIGNMENT

PIN NO.	PIN OUT	DESCRIPTION
1	V _{SS}	Ground
2	V _{DD}	Logic Circuit Power Supply
3	V _O	Power Supply For LCD Panel
4	RS	Data/ Instruction Register Select
5	R/W	Read/ Write Select
6	E	Enable Signal
7	DB0	3-State I/O Data Bus
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
15	BKL1	Power Supply for Backlight. 100V/400Hz AC for EL, 4.2V or 120~180mA DC for LED backlight
16	BKL2	Don't care if no backlight

JUMPER EXPLANATION

1. J1 short: Bezel and screw holes connected to GND. J1 open: Bezel and screw holes floating
2. Never change the polarity of the J2 and J3, it may burn off your system.

Note: J1 is a #0805 0 ohm resistor on the rear side of the PCB.

Commands

Instruction	Instruction Code										Description	Execution time(f_{osc} is 270kHz)
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Write "20H" to DDRAM. and set DDRAM address to "00H" from AC	1.53mS
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	* Set DDRAM address to "00H" from AC and return cursor to its original position if shifted. The contents of DDRAM are not changed.	1.53mS
Entry Mode	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	Assign cursor moving direction and make shift of entire display enable.	39 μ S
Display ON/OFF	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set display(D), cursor(C), and blinking of cursor(B) on/off control bit.	39 μ S
Cursor or Display Shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	Set cursor moving and display shift control bit, and the direction, without changing DDRAM data.	39 μ S
Function Set	0	0	0	0	1	DL	N	F	*	*	Set interface data length (DL : 4-bit/8-bit), numbers of display line (N : 1-line/2-line), display font type(F : 5 X 8 dots/ 5 X 11 dots)	39 μ S
Set CG RAM Address	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set CGRAM address in address counter.	39 μ S
Set DD RAM Address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set DDRAM address in address counter.	39 μ S
Read Busy Flag and Address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Whether during internal operation or not can be known by reading BF. The contents of address counter can also be read.	0 μ S
Write Data to RAM	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43 μ S
Read Data from RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Read data from internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43 μ S

* means don't care

COMMANDS DESCRIPTION

Clear Display

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Clear all the display data by writing "20H" (space code) to all DDRAM address, and set DDRAM address to "00H" into AC (address counter). Return cursor to the original status, namely, bring the cursor to the left edge on first line of the display. Make entry mode increment (I/D = "1").

Return Home

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	0	1	*

Return Home is cursor return home instruction. Set DDRAM address to "00H" into the address counter. Return cursor to its original site and return display to its original status, if shifted. Content of DDRAM is not changed.

Entry Mode Set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH

Set the moving direction of cursor and display.

I/D : Increment / decrement of DDRAM address (cursor or blink)

When I/D = "High", cursor/blink moves to right and DDRAM address is increased by 1.

When I/D = "Low", cursor/blink moves to left and DDRAM address is decreased by 1.

* CGRAM operates the same as DDRAM, when read from or write to CGRAM.

SH: Shift of entire display

When DDRAM read (CGRAM read/write) operation or SH = "Low", shift of entire display is not performed. If SH = "High" and DDRAM write operation, shift of entire display is performed according to I/D value (I/D = "1", shift left, I/D = "0" : shift right).

Display ON/OFF Control

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	0	1	D	C	B

Control display/cursor/blink ON/OFF 1 bit register.

D : Display ON/OFF control bit

When D = "High", entire display is turned on.

When D = "Low", display is turned off, but display data is remained in DDRAM.

C : Cursor ON/OFF control bit

When C = "High", cursor is turned on.

When C = "Low", cursor is disappeared in current display, but I/D register remains its data.

B : Cursor Blink ON/OFF control bit

When B = "High", cursor blink is on, that performs alternate between all the high data and display character at the cursor position.

When B = "Low", blink is off.

Cursor or Display Shift

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

Without writing or reading of display data, shift right/left cursor position or display.

This instruction is used to correct or search display data. (Refer to Table 4)

During 2-line mode display, cursor moves to the 2nd line after 40th digit of 1st line.

Note that display shift is performed simultaneously in all the line.

When displayed data is shifted repeatedly, each line shifted individually.

When display shift is performed, the contents of address counter are not changed.

S/C	R/L	Operation
0	0	Shift cursor to the left, AC is decreased by 1.
0	1	Shift cursor to the right, AC is increased by 1.
1	0	Shift all of the display to the left, cursor moves according to the display.
1	1	Shift all of the display to the right, cursor moves according to the display.

Function Set

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
00	0	0	0	1	DL	N	F	*	*

DL : Interface data length control bit

When DL = "High", it means 8-bit bus mode with MPU.

When DL = "Low", it means 4-bit bus mode with MPU. So to speak, DL is a signal to select 8-bit or 4-bit bus mode. When 4-bit bus mode, it needs to transfer 4-bit data by two times.

N : Display line number control bit

When N = "Low", it means 1-line display mode.

When N = "High", 2-line display mode is set.

F : Display font type control bit

When F = "Low", it means 5 X 8 dots format display mode

When F = "High", 5 x11 dots format display mode.

Set CG RAM Address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

Set CGRAM address to AC.

This instruction makes CGRAM data available from MPU.

Set DD RAM Address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

Set DDRAM address to AC.

This instruction makes DDRAM data available from MPU.

When 1-line display mode (N = 0), DDRAM address is from "00H" to "4FH".

In 2-line display mode (N = 1), DDRAM address in the 1st line is from "00H" to "27H", and DDRAM address in the 2nd line is from "40H" to "67H".

Read Busy Flag and Address

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0

This instruction shows whether KS0066U is in internal operation or not. If the resultant BF is High, it means the internal operation is in progress and you have to wait until BF to be Low, and then the next instruction can be performed. In this instruction you can read also the value of address counter.

Write Data to RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Write binary 8-bit data to DDRAM/CGRAM.

The selection of RAM from DDRAM, CGRAM, is set by the previous address set instruction : DDRAM address set, CGRAM address set. RAM set instruction can also determine the AC direction to RAM. After write operation, the address is automatically increased/decreased by 1, according to the entry mode.

Read Data to RAM

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Read binary 8-bit data from DDRAM/CGRAM.

The selection of RAM is set by the previous address set instruction. If address set instruction of RAM is not performed before this instruction, the data that read first is invalid, because the direction of AC is not determined. If you read RAM data several times without RAM address set instruction before read operation, you can get correct RAM data from the second, but the first data would be incorrect, because there is no time margin to transfer RAM data.

In case of DDRAM read operation, cursor shift instruction plays the same role as DDRAM address set instruction : it also transfers RAM data to output data register. After read operation address counter is automatically increased/decreased by 1 according to the entry mode. After CGRAM read operation, display shift may not be executed correctly.

NOTE: In case of RAM write operation, after this AC is increased/decreased by 1 like read operation. In this time, AC indicates the next address position, but you can read only the previous data by read instruction.

DD RAM ADDRESSING

For 16×1 or 8×1 Display

Character	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01	02	03	04	05	06	07	40	41	42	43	44	45	46	47

For 16×2 or 8×2 Display

Character	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F

For 16×4 Display

Character	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F

For 20×2 Display

Character	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	...	17	18	19	20
DD RAM Address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	...	...	10	11	12	13
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	...	...	50	51	52	53

For 20×4 Display

Character	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	...	17	18	19	20
DD RAM Address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	...	...	10	11	12	13
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	...	...	50	51	52	53
	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	...	...	24	25	26	27
	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	...	...	64	65	66	67

For 40×2 Display

Character	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	...	37	38	39	40
DD RAM Address	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	...	...	24	25	26	27
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	...	...	64	65	66	67

For 40×4 Display

Character	E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	...	37	38	39	40
DD RAM Address	E1	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	...	...	24	25	26	27
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	...	...	64	65	66	67
	E2	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	...	...	24	25	26	27
		40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	...	...	64	65	66	67



THAI METEOROLOGICAL DEPARTMENT

Calibration Certificate

ตารางแสดงผลการสอบเทียบเครื่องวัดลม

TESTED ANEMOMETER : Detector for Wind Rain and Sunlight : King Mongkut 's Institute of Technology Ladkrabang

UNIT OF MEASUREMENT : m/sec

REFERENCE ANEMOMETER : Thermal Anemometer 642 S/N 91563 ได้รับการรับรองจาก WMO

: Micromanometer FC 014 S/N FC 9310119 ได้รับการรับรองจาก WMO

DATE : 08 Mar 2002

FAN	642		FC 014		REFERENCE		TESTED ANEMOMETER				ROOM CONDITION			
	SPEED	SPEED	SPEED	HEAD	SPEED	VOLTAGE	SPEED		VOLTAGE		PRESSURE	TEMPERATURE		Hum.
	rpm.	m/sec.	m/sec.	mm.Wc.	m/sec.	mV.	m/sec.	Error	mV.	Error		hPa.	dry °C		wet °C	% R.H.
73	2.0	-	-	-	2.0	-	2.3	-0.30	-	-	1013.00	21.0	17.5	71.0
93	2.5	-	-	-	2.5	-	2.9	-0.40	-	-	1013.00	21.0	17.5	71.0
110	3.0	-	-	-	3.0	-	3.3	-0.30	-	-	1013.00	21.0	17.5	71.0
146	4.0	-	-	-	4.0	-	4.5	-0.50	-	-	1013.00	21.0	17.5	71.0
177	5.0	-	-	-	5.0	-	5.5	-0.50	-	-	1013.00	21.0	17.5	71.0
212	6.0	-	-	-	6.0	-	6.5	-0.50	-	-	1013.00	21.0	17.5	71.0
249	7.0	-	-	-	7.0	-	7.5	-0.50	-	-	1013.00	21.0	17.5	71.0
281	8.0	-	-	-	8.0	-	8.6	-0.60	-	-	1013.00	21.0	17.5	71.0
320	9.0	-	-	-	9.0	-	9.7	-0.70	-	-	1013.00	21.0	17.5	71.0
335	9.5	-	-	-	9.5	-	10.2	-0.70	-	-	1013.00	21.0	17.5	71.0
352	10.0	-	-	-	10.0	-	10.8	-0.80	-	-	1013.00	21.0	17.5	71.0

ลงชื่อ ผู้สอบเทียบ

(นายอิฐฤทธิ นิมเสมอ)

หัวหน้างานสอบเทียบ

งานตรวจสอบและสอบเทียบเครื่องมือ

ฝ่ายมาตรฐานเครื่องมือ

กองช่างเครื่องมือ

โทร. 0-2396-0156

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใบรับรอง

หนังสือฉบับนี้ขอรับรองว่า โครงการเรื่อง เครื่องตรวจสอบสภาพลม ฝน และแดด ที่นักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้มาทำการศึกษา สร้างและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับตัว Sensor ที่ใช้ในการวัดปริมาณน้ำฝน มีนักศึกษาจำนวน 3 คน ซึ่งมีรายชื่อดังต่อไปนี้

1. น.ส. ทิพรรัตน์ เจนวิริยะกุล
2. น.ส. ปลอบขวัญ เวฬุสุวรรณ
3. น.ส. สิริรญา โมไยกุล

โดยมีเจ้าหน้าที่ของกรมอุตุนิยมวิทยา กองช่างเครื่องมือ ฝ่ายมาตรฐานเครื่องมือ เป็นที่ปรึกษา ให้คำแนะนำ ควบคุม ดูแล

ปรากฏว่า เครื่องวัดปริมาณน้ำฝนเครื่องนี้ได้ถูกสร้างขึ้นตามทฤษฎีและหลักวิชาการ พร้อมทำการสอบเทียบผลการตรวจวัดซึ่งได้ค่าที่ถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ จึงสามารถนำไปใช้งานได้จริง

ลงชื่อ.....

(นายอรุณฤทธิ์ นิ่มเสมอ)

ตำแหน่ง หัวหน้างานสอบเทียบเครื่องมือ

16 ตุลาคม 2544

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เรื่องเครื่องตรวจสอบสภาพลม ฝน และแดด ปีการศึกษา 2544 นี้ สำเร็จลงได้ด้วยดีโดยได้รับความร่วมมือจากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ ผศ.พิชัย คูศิริวานิชกร ที่ได้ให้ความกรุณาแนะนำแก่ผู้จัดทำตลอดมา และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน รวมทั้งคุณอำรุงฤทธิ์ นิ่มเสมอ หัวหน้างานตรวจสอบ และสอบเทียบเครื่องมือ ฝ่ายมาตรฐานเครื่องมือ กรมอุตุนิยมวิทยา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ของผู้จัดทำเป็นอย่างสูงที่ได้อุปการะและให้ความช่วยเหลือผู้จัดทำเป็นอย่างดีมาตลอด และเป็นผู้ให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำมาโดยตลอด และขอขอบคุณทุก ๆ ท่านที่เคยให้ความร่วมมือและคอยช่วยเหลือผู้จัดทำเป็นอย่างดี

ทิพรัตน์ เจริญกุล

(นางสาวทิพรัตน์ เจริญกุล)

Abang Suparna

(นางสาวปลอบขวัญ เวฬุสุวรรณ)

สิรินภา โมไนยกุล

(นางสาวสิรินภา โมไนยกุล)

หนังสืออ้างอิง

1. รศ.ดร.สมเกียรติ ศุภเดช, “สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กทม, กันยายน 2538.
2. ศุทธิ บรรจงจิตร, “วิศวกรรมการส่องสว่าง”, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, กทม, 2538.
3. วิชัย เทียนน้อย, “ภูมิอากาศวิทยา”, สำนักพิมพ์อักษรวัฒนา, กทม.
4. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, “เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”, บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, กทม.
5. อุดม จีนประดับ, “ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กทม, กุมภาพันธ์ 2541.
6. ธีรวัฒน์ ประกอบผล, “การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กทม, ตุลาคม 2542.

เว็บไซต์อ้างอิง

1. <http://aurora.crest.org/basics/solar/earth/index.htm>
2. <http://aurora.crest.org/basics/solar/angle/index.htm>
3. <http://www.susdesign.com/sunposition/index.html>
4. <http://www.solstice.crest.org/staff/ceg/sunangle/declination.html>
5. <http://www.solstice.crest.org/staff/ceg/sunangle/altitude.html>
6. <http://www.solstice.crest.org/staff/ceg/sunangle/azimuth.html>
7. <http://www.jgiesen.de/SME/details/basics/index.htm>
8. <http://users.massed.net/~sscry/page9.htm>
9. <http://cande.lbl.gov/Task21/C2/algo1/1-11.html>
10. <http://encarta.msn.com>