สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นดินด้วยระบบคอมพิวเตอร์

HUMIDITY SOIL SENSOR WITH COMPUTER SYSTEM

T104036

โดย

นายชุติพนธ์ รังรองธานินทร์

นายสุรเชษฐ์ สีสัตย์

นายอดิสรณ์ แก้วดวง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104036
วัน,เดือน,ปี 28 ต.ค. 2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HUMIDITY SOIL SENSOR WITH COMPUTER SYSTEM

BY

MR.CHUTIPOL RANGRONGTANIN

MR.SURACHES SEESAT

MR.ADISORN KEAWDUANG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	อุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นดินด้วยระบบคอมพิวเตอร์		
	Humidity Soil Sensor with Computer System		
ชื่อนักศึกษา	นายชุติพนธ์	รังรองธานินทร์	รหัสประจำตัว 49015446
	นายสุรเชษฐ์	สีสัตย์	รหัสประจำตัว 49015471
	นายอดิสรณ์	แก้วดวง	รหัสประจำตัว 49015473
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.จักรี ทีฆภาคย์วิศิษฏ์		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2551		

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

.....

(ดร. จักรี ทีฆภาคย์วิศิษฏ์)
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	อุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นดินด้วยระบบคอมพิวเตอร์
ชื่อนักศึกษา	นายชุติพนธ์ รังรองธานินทร์ รหัสประจำตัว 49015446
	นายสุรเชษฐ์ สีสัตย์ รหัสประจำตัว 49015471
	นายอดิสรณ์ แก้วดวง รหัสประจำตัว 49015473
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.จักรี ทีฆภาคย์วิศิษฏ์
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
ปีการศึกษา	2551

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจสอบสภาพของพื้นดินที่มีความเหมาะสมในด้านเกษตรกรรม โดยใช้อุปกรณ์ที่ใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ โครงงานนี้เป็นการนำเอาหลักการของเซนเซอร์ความชื้นแบบความต้านทาน ซึ่งจะวัดการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ไฟฟ้าของตัวกลางมาใช้ออกแบบตัวอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์จะทำการวัดความชื้นที่ได้ของดินแล้วส่งข้อมูลไปประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วนำไปแสดงผลและบันทึกข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรมโดยใช้โปรแกรมวิดชวลเบสิก 6.0 มาใช้ในการแสดงและบันทึกข้อมูล แล้วนำข้อมูลที่ได้มาประมวลผลเพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ เช่น ระบบรดน้ำต้นไม้ เป็นต้น เพื่อปรับสภาพของพื้นดินให้เหมาะสมกับการเพาะปลูกทางด้านเกษตรกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Humidity Soil Sensor with Computer System

Student Mr.Chutipol Rangrongtanin ID. 49015446

Mr.Suraches Seesat ID. 49015471

Mr.Adisorn Keawduang ID. 49015473

Advisor Dr.Chakree Teekapakvisit

Graduate Lavel Bachelor Degree of Information Engineering

Department Information Engineering

Academic Year 2008

Abstract

This project proposes a design of a low cost equipment to check a humidity of soil which used for agriculture. The project takes the principle of impedance variation which indicates the change of electrical level when moistness of soil changes. The data are processed with Microcontroller. The obtained information is presented and recorded with computer by using Visual Basic 6.0 program. The information is processed to control the equipment of watering system which controls the amount of water in soil for effective use of water in agriculture.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การที่ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดีนั้น เนื่องจากได้รับความเมตตาจากท่านอาจารย์จักรี ทีฆภาคย์วิศิษฏ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำมาโดยตลอด อีกทั้งยังเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ทางคณะผู้จัดทำซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ประจำภาควิชาทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันมีค่าที่เอื้ออำนวยต่อการทำปริญญานิพนธ์นี้ อีกทั้งยังขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่เคยประสิทธิ์ประสาทวิชาการต่างๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้คณะผู้จัดทำได้มีความรู้ความสามารถจนทำให้สามารถทำปริญญานิพนธ์นี้ได้สำเร็จ

ที่ขาดไม่ได้คือขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้กำเนิด คอยให้ความรัก การอบรมบ่มนิสัย กำลังใจ ทุนทรัพย์ และการสนับสนุนมาโดยตลอด อาจถือได้ว่าท่านเป็นแรงบันดาลใจให้ทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอบคุณผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมแต่ไม่ได้กล่าวถึงรวมทั้งเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้

สิ่งมีคุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากปริญญานิพนธ์นี้ทางคณะผู้จัดทำขอมอบแด่ท่านผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**ก**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ข**
กิตติกรรมประกาศ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญรูป	**ซ**
สารบัญตาราง	**ฎ**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	2
1.2 จุดประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	**3**
2.1 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์	3
2.1.1 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	3
2.1.2 กลุ่มไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051	4
2.1.3 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051	5
2.1.4 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051	7
2.1.5 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต	9
2.1.6 การใช้งานพอร์ตในลักษณะอินพุต/เอาต์พุต	10
2.1.6.1 การกำหนดการทำงานของพอร์ตเป็นอินพุต	10
2.1.6.2 การกำหนดให้พอร์ตทำงานเป็นเอาต์พุต	11
2.1.7 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51	12
2.1.7.1 หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)	12
2.1.7.2 หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.2 การใช้งานติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม (Serial Port)	15
2.2.1พื้นฐานการสื่อสารข้อมูล	15
2.2.1.1 การสื่อสารแบบขนาน	15
2.2.1.2 การสื่อสารแบบอนุกรม	15
2.2.2 มาตรฐาน RS-232	16
2.2.2.1 ค่าอัตราบอดเรต (Baud Rate)	16
2.2.2.2 ค่าความกว้างข้อมูล (Data Width)	16
2.2.2.3 ค่าพาริตี้บิต (Parity Bit)	16
2.2.3 รูปแบบการสื่อสารรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม	16
2.2.3.1 บิตเริ่มต้น (Start Bit)	16
2.2.3.2 บิตข้อมูล (Data Bit)	16
2.2.3.3 บิตพาริตี้ (Parity Bit)	16
2.2.3.4 บิตจบการสื่อสาร (Stop Bit)	16
2.2.4 คอนเนกเตอร์แบบ D-Type	17
2.2.5 ลักษณะสัญญาณของ RS-232	19
2.2.6 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการสื่อสารพอร์ตอนุกรม	21
2.2.6.1 รีจีสเตอร์ SBUF (Serial Data Buffer)	21
2.2.6.2 รีจิสเตอร์ PCON (Power Control)	21
2.2.6.3 รีจิสเตอร์ SCON (Serial Port Control Register)	21
2.2.7 หลักการทำงานของเอทูดี คอนเวอร์เตอร์ (Analog to Digital Converter: ADC)	25
2.2.7.1 หลักการเบื้องต้นของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล	25
2.2.7.2 ค่าความละเอียดของ เอทูดี	26
2.2.7.3 ชนิดของ เอทูดี คอนเวอร์เตอร์	26
2.2.7.4 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	29
2.2.7.5 การจัดระดับสัญญาณ (Quantizing)	31
2.2.7.6 การเข้ารหัส (Coding)	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.3 วงจรทรานซิสเตอร์	33
2.3.1 วงจรคอลเลคเตอร์ (Common collector)	33
2.3.2 ไบอัสกระแสป้อนกลับ (Current Feed Back Bias)	36
2.4 โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย 2.4GHz (Zigbee and Xbee BASIC)	37
2.4.1 ลักษณะการทำงาน	39
2.4.2 Feature Summary ของ Xbee โดยรวมที่เหมือนกัน	41
2.4.3 กำลังส่ง สายอากาศ และ สัญญาณ รบกวน ของ Xbee	43
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช	46
2.5.1 คุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืช	46
2.5.1.1 องค์ประกอบของดิน	46
2.5.1.2 สถานะของดิน	47
2.5.1.3 เนื้อดิน	48
2.5.1.4 โครงสร้างของดิน	51
2.5.1.5 ความโปร่งและความแน่นทึบของดิน	52
2.5.1.6 ความลึกของดิน	52
2.5.1.7การเรียงตัวของชั้นดิน	52
2.5.2 คุณสมบัติของน้ำที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืช	53
2.5.2.1 ลักษณะของน้ำในดิน	53
2.5.2.2 ชนิดของน้ำในดิน	54
2.5.2.3 ระดับความชื้นที่สำคัญของดิน	55
2.5.2.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน	57
2.5.3 ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหรือความชื้นที่พืชสามารถดูดเอาไปใช้ได้	59
2.5.4 การตรวจสอบความชื้นในดิน	60
2.5.4.1 การวัดความชื้นในดินโดยการชั่งน้ำหนัก	61
2.5.4.2 การวัดความชื้นในดินโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	**66**
3.1 ภาคส่ง (Transmitter)	68
3.1.1 อุปกรณ์ตรวจสอบความชื้น (Humidity Sensor)	70
3.1.2 วงจรขยายสัญญาณ	73
3.1.3 อุปกรณ์ตรวจสอบความชื้น (Humidity Sensor) ที่สมบูรณ์	76
3.1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์	77
3.1.5 วงจรภาคส่ง (Transmitter) โดยรวม	78
3.2 ภาครับ (Reciever)	78
3.3 ภาคควบคุม (Controller)	80
3.3.1 โปรแกรมแสดงผล (Monitor)	80
3.4 อุปกรณ์รดน้ำ (Water Device)	83
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	**87**
4.1 การวัดความชื้นของดิน	87
4.2 จุดประสงค์การทดลอง	87
4.3 อุปกรณ์ในการทดลอง	87
4.4 วิธีการทดลอง	88
4.5 ผลการทดลอง	89
4.6 สรุปผลการทดลอง	91
บทที่ 5 บทวิจารณ์และบทสรุป	**92**
5.1 ปัญหาที่พบ	93
5.2 การแก้ปัญหา	93
5.3 แนวทางในการนำไปพัฒนาต่อ	93
บรรณานุกรม	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 ไมโครโปรเซสเซอร์	3
รูปที่ 2.2 หน่วยความจำข้อมูล (Random Access Memory)	4
รูปที่ 2.3 โครงสร้างภายในไมโครคอนโทรลเลอร์	6
รูปที่ 2.4 การจัดขาต่างๆ ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	7
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะโครงสร้างของพอร์ตที่ 0, 1, 2, 3	9
รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของพอร์ตลักษณะอินพุต	11
รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของพอร์ตลักษณะเอาต์พุต	11
รูปที่ 2.8 แสดงการจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม	13
รูปที่ 2.9 การจัดสรรพื้นที่ในหน่วยความจำข้อมูลภายใน	14
รูปที่ 2.10 รูปแบบการสื่อสารอนุกรม 1 เฟรม	17
รูปที่ 2.11 การจัดขาต่าง ๆ ของ DB9 และ DB25	18
รูปที่ 2.12 การจัดขาของไอซี MAX 232	19
รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบสัญญาณที่ RS – 232 และ MAX – 232	20
รูปที่ 2.14 การเชื่อมหัวต่อ DB9 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยไอซี MAX 232	20
รูปที่ 2.15 แสดง 1 ชุดข้อมูล โหมด 2	24
รูปที่ 2.16 แสดง 1 แสดง 1 ชุดข้อมูลโหมด 1, 10 บิต	24
รูปที่ 2.17 แสดงกราฟคุณสมบัติของ เอทูดี ขนาด 3 บิต	26
รูปที่ 2.18 แสดงบล็อกของวงจร เอทูดี ขั้นบันไดหรือตามรอย	27
รูปที่ 2.19 แสดงรูปคลื่นของวงจร เอทูดี ขั้นบันได	27
รูปที่ 2.20 แสดงรูปคลื่นของวงจรเอทูดี ตามรอย	28
รูปที่ 2.21 แสดงบล็อกของวงจร เอทูดี ที่ใช้การประมาณค่าโดยลำดับ	28
รูปที่ 2.22 แสดงรูปคลื่น	29
รูปที่ 2.23 การสุ่มสัญญาณ	30
รูปที่ 2.24 การซ้อนทับทางความถี่	31
รูปที่ 2.25 วงจรขยายสัญญาณแบบพื้นฐานชนิดคอลเลคเตอร์ร่วม	34
รูปที่ 2.26 วงจรขยายสัญญาณแบบที่ใช้งานจริงชนิดคอลเลคเตอร์ร่วม	35
รูปที่ 2.27 วงจรไบอัสกระแสป้อนกลับ	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.28 แสดง OSI Layer	38
รูปที่ 2.29 แสดงย่านความถี่ของ Zigbee	38
รูปที่ 2.30 แสดง Zigbee Stack	39
รูปที่ 2.31 แสดงสายอากาศแบบ Chip, Whip ตามลำดับ	40
รูปที่ 2.32 แสดงสายอากาศแบบ RPSMA Connector , UFL Connector ตามลำดับ	40
รูปที่ 2.33 แสดง Xbee Series1 Pro Whip ant	41
รูปที่ 2.34 แสดงขาของ Xbeeจาก Datasheet	42
รูปที่ 2.35 แสดงเครือข่าย Zigbee แบบ Star, Cluster, Mesh	43
รูปที่ 2.36 แสดงแผนผังการไหลของข้อมูลที่อยู่ภายใน	45
รูปที่ 2.37 ส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชโดยปริมาตรและสถานะ	47
รูปที่ 2.38 สามเหลี่ยมมาตรฐานเพื่อการจำแนกประเภทเนื้อดิน	49
รูปที่ 2.39 น้ำในดินและระดับความชื้นของดินที่จุดต่างๆ	56
รูปที่ 2.40 ความสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำ	56
รูปที่ 2.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช	60
รูปที่ 2.42 เครื่องวัดความชื้นในดินแบบวัดแรงดึงความชื้นโดยเทนซิโอมิเตอร์	63
รูปที่ 2.43 เครื่องวัดความชื้นในดินแบบวัดด้วยความต้านทานไฟฟ้า	64
รูปที่ 2.44 เครื่องวัดความชื้นในดินแบบวัดด้วยนิวตรอน	64
รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังโครงสร้างของโครงงานนี้	67
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรภาคส่งโดยรวม	69
รูปที่ 3.3 แสดงโพรบที่ทำจากแผ่นตัวนำสองตัว	70
รูปที่ 3.4 ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของเซนเซอร์	71
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของเซนเซอร์ในแนวนอน	71
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการวางตำแหน่งขาของแท่งอิเล็กโทรดที่ใช้วัดความชื้น	72
รูปที่ 3.7 เป็นลักษณะของตัวเก็บประจุที่มี Dielectric อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นตัวนำสองตัว	72
รูปที่ 3.8 วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ต่อไบแอสแบบสเตบิไลซ์	73
รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณของตรวจวัดความชื้นที่ทำการออกแบบ	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.10 วงจรที่ได้จากการลดรูป	74
รูปที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณ	75
รูปที่ 3.12 ตัวเครื่องตรวจวัดความชื้นดินที่ใช้งานจริงในโครงงานนี้	76
รูปที่ 3.13 การทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์	77
รูปที่ 3.14 แสดงวงจรภาครับโดยรวม	79
รูปที่ 3.15 แสดงการทำงานของโปรแกรมแสดงผล	80
รูปที่ 3.16 หน้าแรกของโปรแกรมแสดงผลและควบคุม	81
รูปที่ 3.17 แสดงหน้าของรายละเอียดของโครงงานของโปรแกรมแสดงผลและควบคุม	81
รูปที่ 3.18 แสดงหน้าของตัวช่วยของโปรแกรมแสดงผลและควบคุม	82
รูปที่ 3.19 แสดงหน้ามิเตอร์ที่ทำการรับค่าจากตัวเซนเซอร์	82
รูปที่ 3.20 แสดงโปรแกรมโน้ตแพดที่ทำการบันทึกค่าของตัวเซนเซอร์	83
รูปที่ 3.21 แสดงวงจรควบคุมวาล์ว	84
รูปที่ 3.22 แสดงการทำงานของวงจรควบคุม	85
รูปที่ 3.23 แสดงวาล์วไฟฟ้า	86
รูปที่ 4.1 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการวัด	87
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและความชื้น	90
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและแรงดันไฟฟ้า	90
รูปที่ 5.1 แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นด้วยระบบคอมพิวเตอร์	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของหน่วยความจำไอซีตระกูล 8051	5
ตารางที่ 2.2 แสดงหน้าที่ฟังก์ชันพิเศษต่างๆ ของขาพอร์ตที่ 3	9
ตารางที่ 2.3 แสดงว่าเวลา Bit time ใน Baud rate ต่างๆ	17
ตารางที่ 2.4 แสดงการจัดเรียงขาสัญญาณ	18
ตารางที่ 2.5 แสดงละเอียดรีจิสเตอร์ PCON	21
ตารางที่ 2.6 แสดงละเอียดรีจิสเตอร์ SCON	22
ตารางที่ 2.7 แสดงการเลือก Mode ของพอร์ตอนุกรม (บิตที่ 7, บิตที่ 6)	22
ตารางที่ 2.8 แสดง TH1 จากอัตราการส่งข้อมูล (Baud Rate) ค่าต่างๆ	25
ตารางที่ 2.9 แสดงการเข้ารหัสสัญญาณ	33
ตารางที่ 2.10 ขนาดช่องว่างภายในดิน	48
ตารางที่ 2.11 การแบ่งอนุภาคปฐมภูมิของดิน	49
ตารางที่ 2.12 ประเภทของเนื้อดิน ข้อดีข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่ม	50
ตารางที่ 2.13 ชั้นความลึกของเนื้อดิน	52
ตารางที่ 2.14 คุณสมบัติทางกายภาพของดินที่เกี่ยวกับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้	58
ตารางที่ 2.15 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินทั้งหมดส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และใช้ไม่ได้	59
ตารางที่ 2.16 ลักษณะการทำงานของเครื่องมือในการตรวจสอบความชื้นในดินแบบต่างๆ	62
ตารางที่ 2.17 ลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินที่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ในระดับต่างๆ	65
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ ความชื้น และแรงดันไฟฟ้า	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

เทคโนโลยีในยุคปัจจุบันถือได้ว่ามีประโยชน์ต่อการพัฒนาระบบเศรษฐกิจของประเทศชาติเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของการเกษตรกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับลมฟ้าอากาศ ซึ่งถือได้ว่าเป็นสิ่งที่เป็นปัญหาอย่างยิ่งต่อเกษตรกร เนื่องจากมีการแปรเปลี่ยนของสภาพภูมิอากาศอย่างต่อเนื่อง เราไม่สามารถที่จะควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเกษตรด้วยวิธีการอย่างในอดีตที่ผ่านมาได้ จึงได้มีการคิดที่จะนำเอาเทคโนโลยีมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการออกแบบอุปกรณ์ที่ตรวจสอบความชื้นของดิน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตของพืช มีใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำ ซึ่งกลายมาเป็นแรงบันดาลใจในการตัดสินใจทำโครงงานชิ้นนี้ขึ้น

อุปกรณ์ที่ทำการออกแบบนั้นจะใช้คุณสมบัติการนำไฟฟ้าของน้ำเป็นหลัก ในการตรวจสอบว่ามีความชื้นมากน้อยเพียงซึ่งความชื้นในดินมากหมายความว่าดินนั้นมีปริมาณน้ำเป็นองค์ประกอบมากจึงทำให้เกิดการนำไฟฟ้า และสามารถตรวจสอบปริมาณทางไฟฟ้านั้นได้

ปริมาณที่ได้มานั้นจะต้องนำมาประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่ผู้จัดทำโครงงานได้ทำการเลือก MCS-51 เนื่องจากผู้จัดทำมีประสบการณ์ในการใช้งานมาบ้าง อีกทั้งตัว MCS-51 นี้ยังสามารถทำการโปรแกรมแล้วลบได้หลายพันครั้งจึงสะดวกต่อการนำมาพัฒนากับโครงงานชิ้นนี้

ในการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ และMCS-51 นี้ เราจะใช้พอร์ตในการส่งข้อมูลแบบอนุกรมซึ่งถือเป็นพอร์ตมาตรฐานในการรับส่งข้อมูลแล้วนำข้อมูลที่ได้นำมาประมวลผลในคอมพิวเตอร์ โปรแกรมที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล และควบคุมระบบ จะทำการเขียนขึ้นด้วยโปรแกรมวิดชวลเบสิค ถือได้ว่าเป็นโปรแกรมที่มีฟังก์ชันในการเขียนค่อนข้างง่ายและยังสามารถที่จะใช้รับส่งข้อมูลร่วมกับพอร์ตอนุกรมได้อีกด้วย

ในปัจจุบันนี้ตามท้องตลาดอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความชื้นของดินนั้น ถือได้มีราคาที่ค่อนข้างที่จะมีราคาแพง ดังนั้นโครงงานนี้จึงได้ทำการออกแบบให้ตัวอุปกรณ์ที่ทำการวัดความชื้นนั้นมีต้นทุนในการผลิตต่ำและคำนึงถึงการนำไปใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

เนื่องจากการเกษตรกรรมของประเทศไทยซึ่งยังขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ และปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการเพาะปลูกมากที่สุดคือความชื้นของดิน ถ้าสามารถควบคุมความชื้นของดินได้ก็จะเป็นผลดี ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความชื้นของดินในปัจจุบันมีราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดความชื้นของดินที่มีราคาถูกสามารถใช้การได้ดี โดยใช้หลักการของเซนเซอร์ความชื้นแบบความต้านทานซึ่งจะวัดการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ไฟฟ้าของตัวกลาง โดยที่ค่าของอิมพิแดนซ์จะเปลี่ยนแปลงตามการเปลี่ยนแปลงความชื้น เป็นผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร เมื่อเราทำการป้อนกระแสไฟฟ้า กระแสไฟฟ้านี้จะผ่านไปยังวงจรขยายย่านวัดวงจรขยายแรงดันวงจรปรับเชิงเส้น และวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล แล้วส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล และแสดงผลออกทางคอมพิวเตอร์

1.2 จุดประสงค์

1.2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจสอบความชื้นดินที่มีราคาถูกให้สามารถใช้การได้

1.2.2 เพื่อเอาข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์มาแสดงผลกับระบบคอมพิวเตอร์และนำมาวิเคราะห์ได้

1.2.3 เพื่อควบคุมความชื้นของดินที่กำลังศึกษาด้วยการสั่งงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 จัดทำอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้น และสามารถนำมาใช้งานจริงได้

1.3.2 พัฒนาซอฟแวร์ที่สามารถควบคุมระบบของอุปกรณ์ตรวจสอบความชื้นดิน

1.3.3 จัดทำระบบการให้น้ำสำหรับพืชและสามารถควบคุมได้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 อุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้กับการเพาะปลูกได้

1.4.2 สามารถนำเอาข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นของความชื้นในช่วงต่าง ๆ

1.4.3 สามารถควบคุมความความชื้นของพื้นดินได้โดยผ่านระบบการรดน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ระบบไมโครคอมพิวเตอร์

ไมโครคอมพิวเตอร์ที่รู้จักกันนั้นโดยทั่วไปจะประกอบด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูล และอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต ไมโครคอมพิวเตอร์บางตัวอาจจะมีตัว Timer/counter ตัวแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิตอล เป็นต้น ในปัจจุบันเทคโนโลยีก้าวหน้าสามารถทำการลดขนาดไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ให้เหลือแค่ไมโครคอมพิวเตอร์ที่เป็นเพียงชิปเดี่ยว ในที่นี้จะกล่าวถึงเพียงเฉพาะไมโครคอมพิวเตอร์ที่เป็นชิปเดี่ยว ซึ่งตัวไมโครคอมพิวเตอร์ชิปเดี่ยวนี้จะเรียกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นเอง

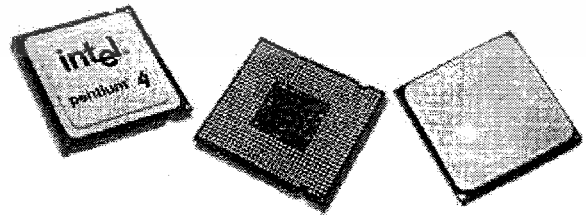
2.1.1 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะประกอบด้วย ตัวไมโครโปรเซสเซอร์ หน่วยความจำ และตัวอุปกรณ์อินพุต/เอาต์พุต ซึ่งภายในตัวไมโครโปรเซสเซอร์นั้นจะประกอบด้วย ส่วนประมวลผลกลาง(CPU) และส่วนหน่วยควบคุมการทำงาน (CU)

ส่วนประมวลผลกลาง(CPU) คือ สมองของตัวไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งมีหน้าที่ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และกระทำทางตรรกะ

ส่วนหน่วยควบคุมการทำงาน(CU) เป็นส่วนควบคุมการทำงานภายในตัวไมโครโปรเซสเซอร์ ทำหน้าที่ส่งคำสั่งควบคุมไปให้ส่วนต่างๆ ในไมโครโปรเซสเซอร์ ตามการร้องขอของส่วนนั้นๆ

ไมโครโปรเซสเซอร์ที่รู้จักกันดี ได้แก่ 8080, 80286, Pentium, ฯลฯ ซึ่งเป็นของบริษัท Intel หรืออาจเป็น CPU รุ่นเก่าที่มีขนาด 8 บิต เช่น Z80 ของบริษัท ZILOG เป็นต้น



รูปที่ 2.1 ไมโครโปรเซสเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยความจำ เป็นส่วนสำคัญของภายในไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการนำไปใช้งานสามารถที่จะแบ่งหน่วยความจำเป็น 2 กลุ่ม คือ หน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูล ในหน่วยความจำโปรแกรม เป็นส่วนของการเก็บโปรแกรมที่ผู้เขียนพัฒนาโปรแกรมสร้างขึ้นนำมาเก็บไว้ในส่วนนี้ โดยปกติแล้วมักจะเรียกหน่วยความจำโปรแกรมนี้ว่า Real Only Memory (ROM) ยังมีหน่วยความจำโปรแกรมแบบอื่นๆ เช่น PROM, PEROM flash เป็นต้น หน่วยความจำข้อมูล (Random Access Memory) เป็นส่วนในการอ่านข้อมูลและเขียนข้อมูลเก็บที่ไว้ในส่วนนี้ได้ ทั้งนี้ยังสามารถขยายหน่วยความจำได้อีกด้วย

รูปที่ 2.2 หน่วยความจำข้อมูล (Random Access Memory)

อินพุต/เอาต์พุตพอร์ตเป็นส่วนในการรับ-ส่งสัญญาณดิจิตอล เพื่อทำการเชื่อมต่อกับส่วนของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์อินพุต/เอาต์พุตพอร์ต ในหนึ่งพอร์ตจะมีขนาด 8 บิต ในไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 จะประกอบด้วยพอร์ตที่มีขนาด 8 บิต มีชื่อว่า P0, P1, P2, P3 เป็นต้น โดยสามารถกำหนดพอร์ตให้มีลักษณะเป็นทั้งอินพุตหรือเอาต์พุตก็ได้

2.1.2 กลุ่มไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 นั้นจะมีหน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิตซึ่งเป็นไอซีชิปเดี่ยวซึ่งมีการผลิตกันในหลายบริษัท และมีความแตกต่างทางด้านประสิทธิภาพของการใช้งานด้วยด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลไอซี 8051 การผลิตส่วนใหญ่นิยมใช้ขนาด 8 บิตชิปเดี่ยว โดยพื้นฐานของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 จะมีขา 40 ขา แต่ในปัจจุบันนี้มีรูปแบบที่หลากหลายมากมาย ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51 เป็นไอซีที่โครงสร้างเป็น CMOS ที่ประหยัดพลังงาน ไอซีเบอร์ 8751 เป็นเบอร์ที่มี EPROM หน่วยความจำในการพัฒนางานเบอร์ 89C51 จะมีหน่วยความจำแบบแฟลช (PEROM) Programmable and Erasable Memory ซึ่งหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชสามารถที่จะโปรแกรมข้อมูลเข้าและสามารถลบข้อมูลออกด้วยแสงอัลตร้าไวโอเลต เบอร์ 8052 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมมากขึ้น และในส่วนของ timer/counter ก็มีเพิ่มขึ้นกว่าเบอร์อื่น ๆ เบอร์ AT89C1051 และ AT89C2051 (บริษัท ATmel) เป็นไอซีตระกูล 8051 ที่มีขา 20 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยฟังก์ชันและใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยกว่าไอซีขนาด 40 ขา ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของหน่วยความจำไอซีตระกูล 8051

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของหน่วยความจำไอซีตระกูล 8051

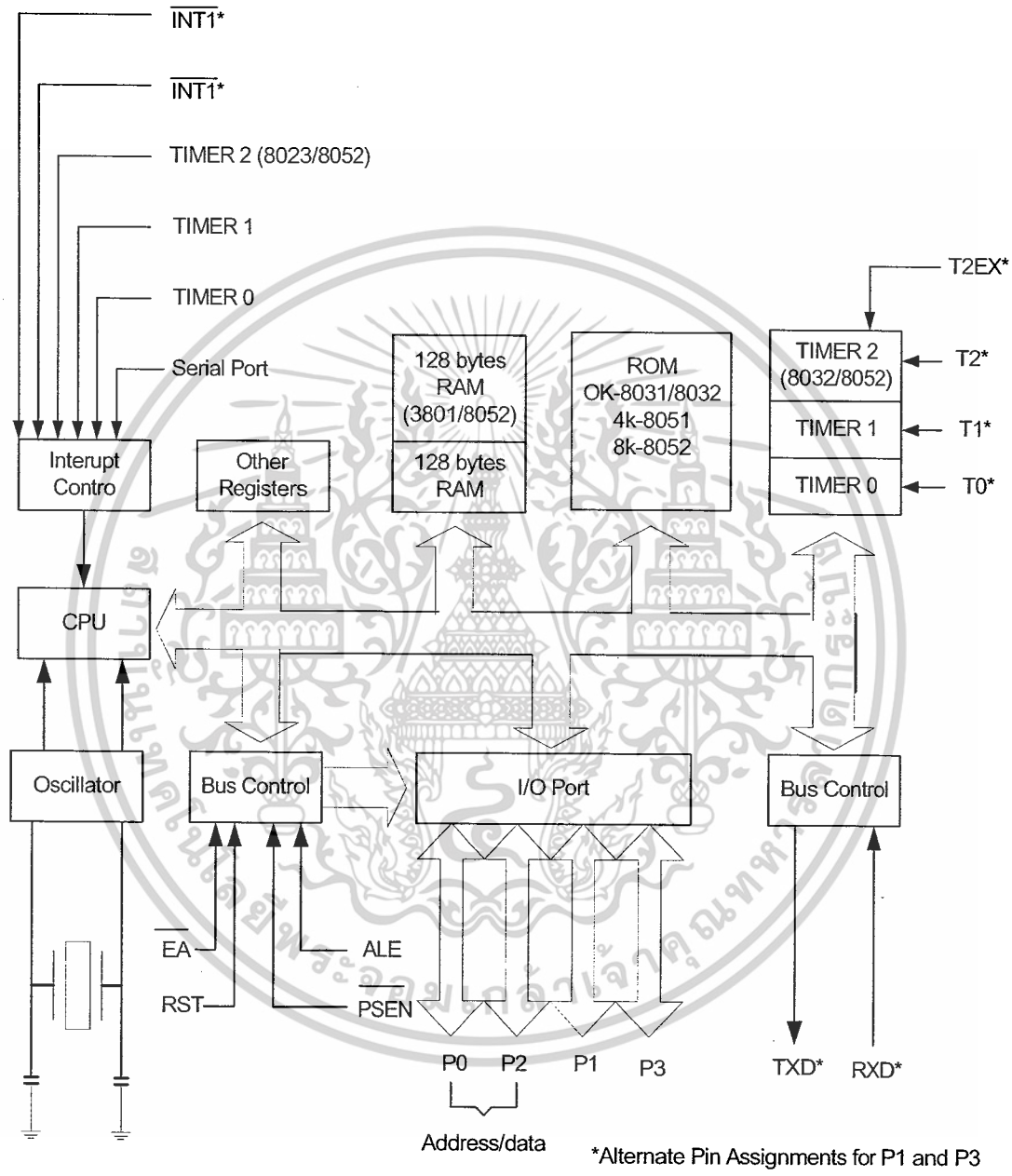
เบอร์	หน่วยความจำโปรแกรม	หน่วยความจำข้อมูล	Timer/Counter	I/O	จำนวนขา
AT89C1051	1 k flash	64 RAM	1	15	20
AT89C2051	2 k flash	128 RAM	2	15	20
AT89C51	4 k flash	128 RAM	2	32	40
AT89C52	8 k flash	256 RAM	3	32	40
8051AH	4 k ROM	128 RAM	2	32	40
87C51H	4 k EPROM	128 RAM	2	32	40
8052AH	8 k ROM	256 RAM	3	32	40
87C52	8 k EPROM	256 RAM	3	32	40
87C54	16 k EPROM	256 RAM	3	32	40
87C58	32 k EPROM	256 RAM	3	32	40

2.1.3 โครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051

ไอซีตระกูล 8051 มีด้วยกันหลากหลายเบอร์ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างภายในของไอซีแต่ละเบอร์ บางเบอร์มีหน่วยความจำโปรแกรม 4Kbyte (flash) บางตัวมีขนาด 8 Kbyte (flash) ทั้งนี้ก็ต้องศึกษารายละเอียดจากคู่มือของตัวไอซีแต่ละเบอร์ด้วย แต่คุณสมบัติที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่นิยมนำมาใช้ เช่น เบอร์ AT89C51 (บริษัท Atmel) จะมีคุณสมบัติดังนี้

- หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) มีขนาด 8 บิต
- มีหน่วยความจำโปรแกรม (ROM) แบบ flash ขนาด 4 Kbyte
- มีหน่วยความจำข้อมูล (RAM) ขนาด 128 byte
- มีพอร์ตในการอินพุต/เอาต์พุตจำนวน 4 พอร์ต (Port0 – 3)
- มีตัวฟังก์ชัน Timer/counter จำนวน 2 ตัว Timer0, Timer1
- สามารถอินเตอร์รัปต์ได้ 5-6 แหล่ง
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในตัวไอซี
- มีพอร์ตอนุกรมที่สามารถสื่อสารรับส่งข้อมูลแบบ Full Duplex
- สามารถขยายหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 Kbyte
- สามารถขยายหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64 Kbyte

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

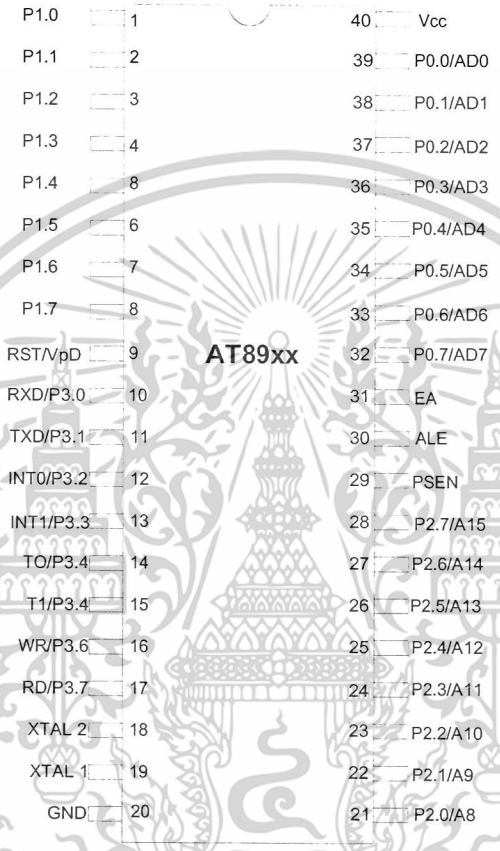


รูปที่ 2.3 โครงสร้างภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 โครงสร้างของตัวไอซีนั้นเป็นแบบ DIP ขนาด 40 ขา โดยขาต่างๆ จะทำหน้าที่เป็นขาควบคุม, ขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต, ขารีเซต ดังรูปที่ 2.4 ต่อไปนี้



รูปที่ 2.4 การจัดขาต่างๆ ของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

สามารถอธิบายหน้าที่ของขาต่างๆ ในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ดังนี้คือ

- **ขา RST (RESET)**

เป็นขาที่ทำหน้าที่ในการกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่สภาวะเริ่มต้นการทำงานใหม่โดยปกติที่ขารีเซตจะมีสภาวะทาลอจิกเป็น 0 และถ้าป้อนสภาวะทางลอจิก 1 เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 2 แมชชินไซเกิล ก็จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เกิดสภาวะรีเซตขึ้น

- **ขา $\overline{PSEN}$ (Program Store Enable)**

เป็นขาที่ทำหน้าที่ส่งสัญญาณเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการจะอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ขา EA (External Access)**

เป็นขาที่ทำหน้าที่เลือกใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมว่าจะเลือกใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกหรือหน่วยความจำโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการกำหนดสภาวะทางลอจิกให้ขา EA ถ้ากำหนดให้ขา EA = "0" จะเป็นการเลือกใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก และเมื่อกำหนดให้ขา EA = "1" จะเป็นการเลือกใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมภายใน

- **ขา ALE (Address Latch Enable)**

เป็นขาที่ทำหน้าที่ควบคุมการ Latch ตำแหน่งของข้อมูล (Address Bus, A0-A7) เมื่อทำการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

- **ขา VCC/VSS**

เป็นขาที่ทำหน้าที่ต่อแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงไอซี +5V และเป็นขากราวด์ ตามลำดับ

- **ขา XTAL1, XTAL2**

เป็นขาที่ทำหน้าที่ต่อเชื่อมกับตัวผลิตสัญญาณนาฬิกาให้กับตัวไอซี โดยปกติจะต่อเชื่อมกับคริสตอลขนาด 11.059 MHz และมีคาปาซิสเตอร์ 33pF ป้องกันความถี่สูง

- **ขา Port 0 (P0.0-P0.7)**

เป็นขาที่ทำหน้าที่อินพุตและเอาต์พุตกับอุปกรณ์ภายนอก และยังทำหน้าที่เป็นขา Address Bus (A0-A7) และ Data Bus (D0-D7) เพื่อการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

- **ขา Port 2 (P2.0-P2.7)**

เป็นขาที่ทำหน้าที่อินพุตและเอาต์พุตกับอุปกรณ์ภายนอก และยังทำหน้าที่เป็นขา Address Bus (A8-A15) เพื่อการเชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

- **ขา Port 1 (P1.0-P1.7)**

เป็นขาที่ทำหน้าที่อินพุตและเอาต์พุตกับอุปกรณ์ภายนอก โดยสามารถอ้างอิงทีละบิตได้

- **ขา Port 3 (P3.0-P3.7)**

เป็นขาที่ทำหน้าที่อินพุตและเอาต์พุตกับอุปกรณ์ภายนอก และยังทำหน้าที่ฟังก์ชันพิเศษในการติดต่อควบคุมต่างๆ ดังตารางที่ 2.2 แสดงหน้าที่ฟังก์ชันพิเศษต่างๆ ของขาพอร์ตที่ 3

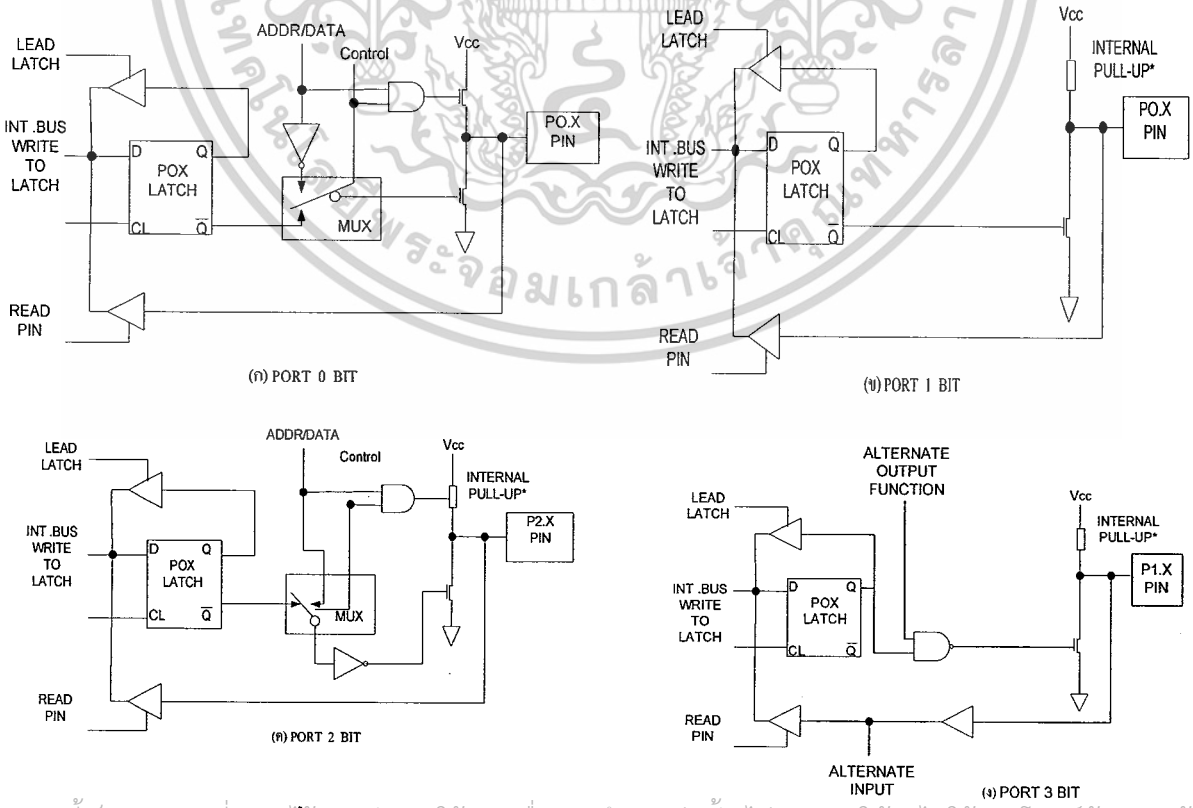
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงหน้าที่ฟังก์ชันพิเศษต่างๆ ของขาพอร์ตที่ 3

ขาพอร์ต 3	ชื่อ	หน้าที่การทำงาน
P3.0	RXD	รับขอมูลแบบอนุกรม
P3.1	TXD	ส่งข้อมูลแบบอนุกรม
P3.2	INT0	อินเตอร์รัปต์ภายนอกหมายเลข 0
P3.3	INT1	อินเตอร์รัปต์ภายนอกหมายเลข 1
P3.4	T0	Timer/counter ตัวที่ 0
P3.5	T1	Timer/counter ตัวที่ 1
P3.6	WR	สัญญาณในการเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก
P3.7	RD	สัญญาณในการอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก

2.1.5 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 จะมีพอร์ตที่ใช้งานอยู่ 4 พอร์ตคือ พอร์ตที่ 0-3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิตซึ่งแต่ละพอร์ตเป็นพอร์ตแบบติดต่อได้สองทิศทาง คือสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต จากรูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างของพอร์ตต่างๆ จะเห็นได้ว่าแต่ละพอร์ตจะมีวงจรแลตช์ (latch) และวงจรขับบัฟเฟอร์อินพุต สังเกตจากรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะโครงสร้างของพอร์ตที่ 0, 1, 2, 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 ทั้ง 4 พอร์ตจะมีวงจรมัลติเพล็กซ์สำหรับกำหนดการทำงานพอร์ตว่าจะเป็นอินพุต/เอาต์พุต หรือใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมแกรมภายนอก ซึ่งพอร์ตที่ 0 เป็นขาชี้ตำแหน่ง (A7-A0) และขารับส่งข้อมูล (D7-D0) พอร์ตที่ 0 สังเกตจะเห็นว่าจะไม่มีวงจรพูลอัป (pull – up) ภายใน ดังนั้นหากจะนำพอร์ตที่ 0 ไปใช้งานจะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปเข้าไปที่ขาของพอร์ตที่ 0 ด้วย

พอร์ตที่ 1 จะมีวงจรพูลอัปภายในแต่ละบิตและมีลักษณะคล้ายกับพอร์ตที่ 0 จะต่างกันตรงพอร์ตที่ 1 จะไม่มีวงจรมัลติเพล็กซ์ เนื่องจากพอร์ตที่ 1 นี้จะไม่ได้ใช้ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเหมือนกับพอร์ตที่ 0

พอร์ตที่ 2 จะมีลักษณะคล้ายพอร์ตที่ 0 แต่จะต่างกันตรงพอร์ตที่ 2 จะมีวงจรพูลอัปภายในภายในโครงสร้างพอร์ตจะมีวงจรมัลติเพล็กซ์ เพราะว่าพอร์ตที่ 2 ทำหน้าที่เป็นอินพุต/เอาต์พุต และใช้พอร์ตที่ 2 ในการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก โดยเป็นตัวชี้ตำแหน่ง (A15-A8)

พอร์ตที่ 3 จะมีลักษณะคล้ายกับพอร์ตที่ 1 แต่จะมีวงจรบัฟเฟอร์และวงจรอินพุตเอาต์พุต เนื่องจากพอร์ตที่ 3 ทำงานในฟังก์ชันพิเศษแบบต่างๆ

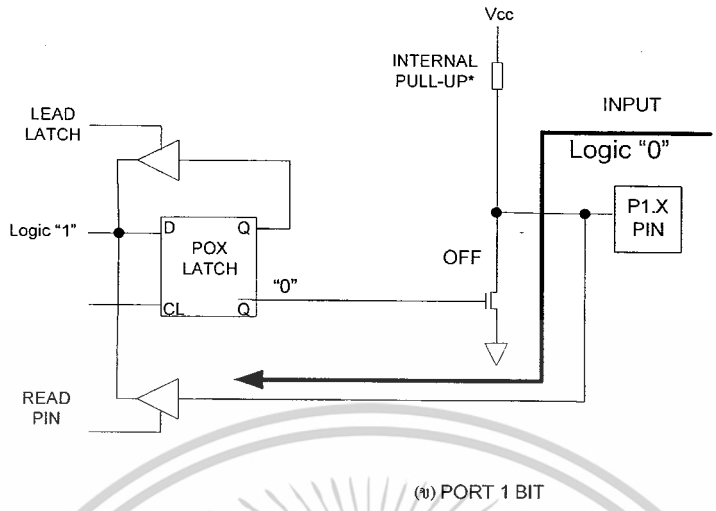
2.1.6 การใช้งานพอร์ตในลักษณะอินพุต/เอาต์พุต

การใช้งานพอร์ตต่างๆ ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 เป็นพอร์ตที่สามารถติดต่อแบบสองทิศทาง คือเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงต้องเข้าใจการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 ดังนี้

2.1.6.1 การกำหนดการทำงานของพอร์ตเป็นอินพุต

ต้องเริ่มจากเขียนข้อมูลให้พอร์ตที่ต้องการให้ทำงานเป็นลักษณะอินพุต มีสภาวะลอจิก "1" ทุกบิต เพื่อหยุดการทำงานของตัวเฟตที่อยู่ภายในโครงสร้างของพอร์ต ดังนั้นเมื่อตัวเฟตหยุดทำงานก็จะทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตถูกต่อเชื่อมกับวงจรพูลอัปภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตมีสภาวะลอจิก "1" สามารถรอรับลอจิก "0" จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สังเกตรูปที่ 2.6 ดังนั้น เมื่อต้องการให้พอร์ตทำงานลักษณะอินพุตคือรับสัญญาณทางไฟฟ้าเข้ามาที่ขาพอร์ต ควรกำหนดการทำงานของพอร์ตให้รับสัญญาณไฟฟ้าสภาวะลอจิก "0" คำสั่ง (ภาษาแอสแซมบลี) ที่ใช้ในการรับค่าจากพอร์ตที่เป็นอินพุต เช่น MOV A, P1 มีความหมายคือให้ทำการนำค่าจากขาพอร์ต P1 ไปเก็บไว้ในตัวรีจิสเตอร์ A หรือตัวแอกคิวมิวเลเตอร์ (Accumulator)

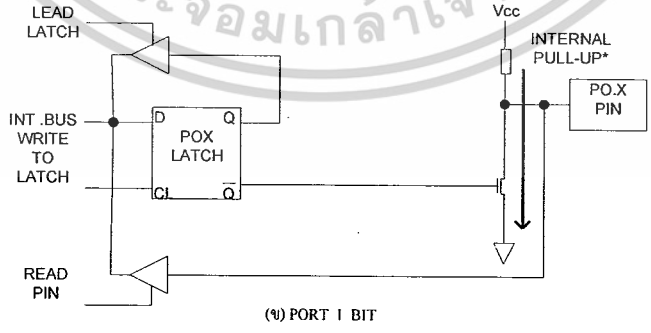
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของพอร์ตลักษณะอินพุต

2.1.6.2 การกำหนดให้พอร์ตทำงานเป็นเอาต์พุต

โดยปกติแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะกำหนดให้พอร์ตทำงานเป็นเอาพุตต์อยู่แล้ว เช่น เมื่อจะกำหนดสภาวะลอจิก "0" ให้ปรากกฏที่ขาพอร์ตที่กำหนด ก็แค่เขียนข้อมูลลอจิก "0" ให้วงจรแลตช์ ส่งสัญญาณไปขับตัวเฟตภายในโครงสร้างให้ทำงาน ที่ขาของพอร์ตที่กำหนดก็จะปรากฏสภาวะลอจิก "0" ขึ้น และเมื่อยากจะให้สภาวะลอจิก "1" ปรากฏที่พอร์ตที่กำหนด ก็แค่เขียนข้อมูลลอจิก "1" ให้กับวงจรแลตช์ ส่งผลให้ตัวเฟตภายในโครงสร้างหยุดทำงาน ทำให้ขาของพอร์ตต่อเชื่อมกับวงจรพูลอัปภายในโดยตรง ส่งผลให้ที่ขาพอร์ตเกิดสภาวะลอจิก "1"
ขึ้นที่ขาพอร์ตที่กำหนด สังเกตจากรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานของพอร์ตลักษณะเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้พอร์ตเป็นเอาต์พุต แต่ละขาของพอร์ตสามารถจ่ายกระแสหรือเรียนว่ากระแสซอร์ช (Source Current) ได้สูงสุด 10mA และถ้าใช้ทุกขารวมกันของพอร์ตให้พอร์ตหนึ่ง (1 พอร์ต มี 8 บิต) จะจ่ายกระแสได้สูงสุด 26mA แต่ที่พอร์ตที่ 0 จะได้ 15mA และถ้าใช้งานพอร์ตที่ 1 - 3รวมกันเป็นพอร์ตเอาต์พุตจะสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้รวมกันสูงสุดซึ่งมีค่าเท่ากับ 71mA เห็นได้ว่าถ้าจะนำพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 ไปใช้งานเป็นเอาต์พุตเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการจ่ายกระแสให้อุปกรณ์ภายนอกที่นำมาต่อเชื่อมกับพอร์ตนั้น ควรจะต้องมีวงจรบัฟเฟอร์เพื่อช่วยขับกระแสต่อกับพอร์ตที่เป็นเอาต์พุตด้วย คำสั่ง (แอสเซมบลี) ในการส่งสัญญาณออกที่พอร์ตที่ทำงานเป็นเอาต์พุต เช่น MOV P2, A มีความหมายคือนำข้อมูลที่อยู่ในรีจิสเตอร์ A หรือแอกคิวมิวเลเตอร์ส่งข้อมูลออกไปให้พอร์ต P2

2.1.7 การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 มีหน่วยความจำอยู่ 2 แบบตามลักษณะของข้อมูลที่เก็บคือ

2.1.7.1 หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory)

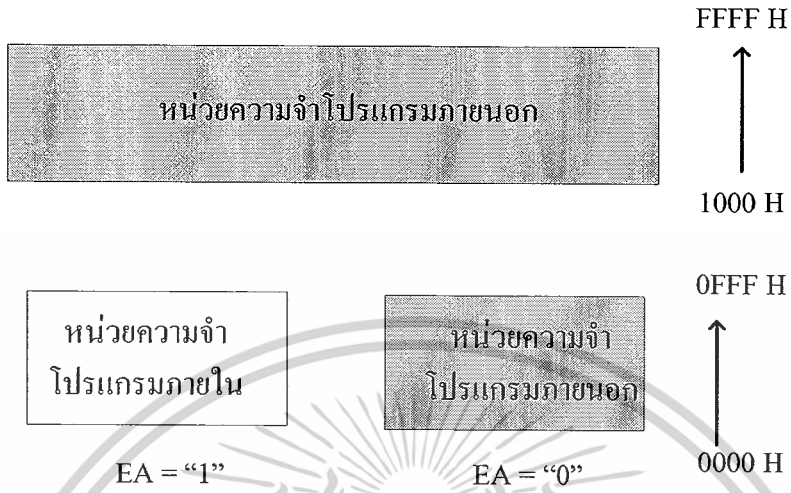
ก็คือหน่วยความจำส่วนที่เรียกว่า แรม (RAM) ซึ่งสามารถอ่านได้อย่างเดียว ซึ่งจะเก็บโปรแกรมที่จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นทำงานหรือที่เรียนกันว่า โปรแกรมมอนิเตอร์ (Monitor Program)

2.1.7.2 หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory)

ก็คือหน่วยความจำที่เราเรียกว่า รอม (ROM) ซึ่งสามารถที่จะอ่านได้อย่างเดียว ซึ่งจะเก็บโปรแกรมที่จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นทำงานหรือที่เรียกกันว่า โปรแกรมมอนิเตอร์ (Monitor Program)

หน่วยความจำโปรแกรม ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 จะแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกและหน่วยความจำโปรแกรมภายใน ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เรานำมาใช้งานกันนั้น ขนาดของหน่วยความจำโปรแกรมภายในจะมีขนาดแตกต่างกันไปตามเบอร์ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น AT89C51 จะมีหน่วยความจำโปรแกรม 4 กิโลไบต์ (4 Kbyte) หรือเบอร์ AT89C52 จะมีหน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลไบต์ (8 Kbyte) ส่วนหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถขยายขนาดได้ถึง 64 กิโลไบต์ (64 Kbyte)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงการจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม

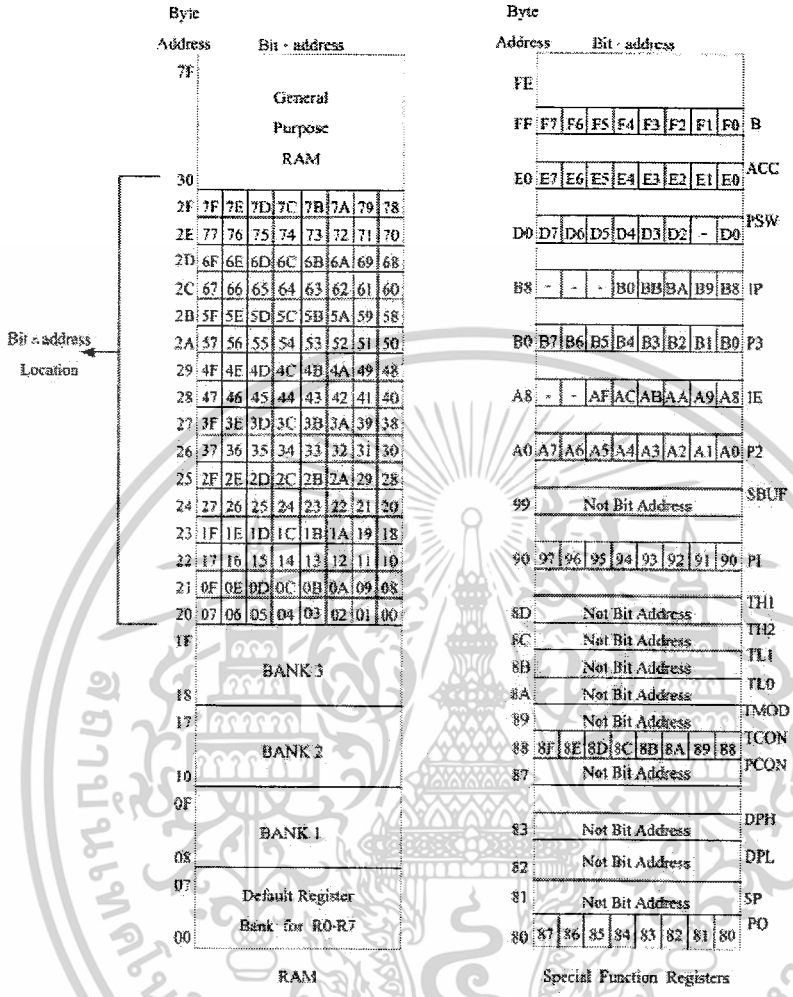
จากรูปที่ 2.8 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำโปรแกรม การเลือกหน่วยความจำโปรแกรมว่าจะใช้พื้นที่ภายในหรือภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะมีการเลือก 2 แบบ ดังนี้

1. การเลือกใช้พื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมภายในเบอร์ AT89C51 มีขนาด 4 กิโลไบต์ (4 Kbyte) ตำแหน่ง Address ที่ 0000H – 0FFFH นั้น การเลือกใช้ต้องกำหนดขา EA (External Access) มีสภาวะลอจิก "1" และถ้าการใช้งานหน่วยความจำโปรแกรมภายในเกินตำแหน่ง Address 0FFFH แล้ว ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะทำการติดต่อกับส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกเองโดยอัตโนมัติ โดยเริ่มที่ตำแหน่ง Address 1000 H – FFFFH โดย ไม่ว่าที่ขา EA จะมีสภาวะลอจิกเป็น "1" หรือ "0"

2. การเลือกใช้พื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมนอก มีขนาดพื้นที่ได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ ตำแหน่งที่ 0000H – FFFFH การเลือกใช้ต้องกำหนดขา EA (External Access) มีสภาวะลอจิก "0" ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำงานที่พื้นที่หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกอย่างเดียว

หน่วยความจำข้อมูล จะแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ หน่วยความจำข้อมูลภายนอกและหน่วยความจำข้อมูลภายใน ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่นำมาใช้งานขนาดของหน่วยความจำข้อมูลภายในจะมีขนาดแตกต่างกันไปตามเบอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น AT89C51 จะมีหน่วยความจำข้อมูล 128 ไบต์ (128 Byte) หรือเบอร์ AT89C52 จะมีหน่วยความจำข้อมูล 256 ไบต์ (256 Byte) ส่วนหน่วยความจำข้อมูลภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถขยายขนาดได้ถึง 64 กิโลไบต์ (64 Kbyte) หน่วยความจำข้อมูลภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89C51 มีขนาด 128 ไบต์ ตั้งแต่ตำแหน่งที่ 00H – FFH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 การจัดสรรพื้นที่ในหน่วยความจำข้อมูลภายใน

จากรูปที่ 2.9 การจัดสรรพื้นที่ในหน่วยความจำข้อมูลภายใน โดยแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มหลักๆ คือ

1. ที่ตำแหน่ง Address 00H – 1FH ขนาด 32 ไบต์ เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ R0 – R7 ซึ่งรีจิสเตอร์นี้จะมีด้วยกัน 4 ชุด หรือเรียกว่า 4 แบงก์ ดังนั้น จึงมีรีจิสเตอร์ไว้ใช้งาน ถึง 32 ตัว

2. ที่ตำแหน่ง Address 20H – 2FH ขนาด 16 ไบต์ เป็นพื้นที่ใช้งานทั่วไป สามารถเข้าถึงระดับบิตได้

3. ที่ตำแหน่ง Address –30H – 7FH หน่วยความจำข้อมูลที่ใช้งานทั่วไป

4. ที่ตำแหน่ง Address – 80H – FFH เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์พิเศษ (Special Function Register: SFR) ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น รีจิสเตอร์ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Accumulator: Acc), รีจิสเตอร์ B, PC, PSW, DPTR, SP, รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวกับพอร์ต P0, P1, P2, P3, รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม SCON, SBUFF และรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวกับไทเมอร์ T0 T1 เป็นต้น

2.2 การใช้งานติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม (Serial Port)

ในการเชื่อมต่อตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์นอกหรือกับไมโครคอมพิวเตอร์โดยวีการติดต่อสื่อสารแบบผ่านพอร์ตอนุกรมมาตรฐาน RS-232 ซึ่งในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะมีรีจิสเตอร์ในการติดต่อสื่อสารแบบผ่านพอร์ทอนุกรมอยู่แล้ว จึงง่ายในการใช้งาน ในบทนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานการสื่อสารแบบอนุกรม RS-232 ลักษณะของหัวต่อ D-type รูปแบบการรับ-ส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม การใช้งานตัวรีจิสเตอร์ SCON, SBUFF ในการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม และตัวอย่างโปรแกรมในการติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม เป็นต้น

2.2.1 พื้นฐานการสื่อสารข้อมูล

ในการสื่อสารข้อมูลโดนทั่วไป จะกล่าวถึงการรับและส่งข้อมูลระหว่างภาครับและภาคส่ง หรือสามารถมองง่ายๆ อาจเป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ 2 เครื่องส่งรับข้อมูลระหว่างกัน โดยแบ่งการสื่อสารออกเป็น 2 แบบคือ

2.2.1.1 การสื่อสารแบบขนาน

คือ การสื่อสาร รับส่งข้อมูลขนาด 8 บิต(DATA BUS) จะต้องใช้สายสัญญาณจำนวน 8 เส้น จึงสามารถสื่อสารได้รวดเร็ว การสื่อสารแบบขนานเหมาะกับการสื่อสารระยะไม่ไกล เพราะถ้าระยะไกล ๆ จะสิ้นเปลืองสายสัญญาณจำนวนมากนั้นเอง

2.2.1.2 การสื่อสารแบบอนุกรม

คือการสื่อสารรับส่งข้อมูลทีละบิต ในการสื่อสารไกลๆ จะเหมาะเนื่องจากใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น แต่ความเร็วการสื่อสารจะน้อยกว่าการสื่อสารแบบขนาน การสื่อสารแบบอนุกรมสามารถแบ่งออกตามลักษณะของสัญญาณในการรับส่งได้เป็น 2 แบบคือ

1. การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส(Synchronous) คือ การสื่อสารที่มีสัญญาณนาฬิกาเป็นตัวควบคุมการรับ-ส่งข้อมูล เช่น การสื่อสารของคีย์บอร์ดคอมพิวเตอร์, เมาส์ ต้องมีสัญญาณนาฬิกาควบคุมการทำงาน

2. การสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส(Asynchronous) คือ การสื่อสารแบบใช้เวลาสื่อสารไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความพร้อมในการสื่อสารของภาครับและภาคส่ง โดยจะมีรูปแบบการสื่อสารที่มีส่วนประกอบ คือ ส่วนเริ่มต้นข้อมูล, ส่วนของข้อมูล, ส่วนตรวจสอบ ความผิดพลาดข้อมูล และส่วนสิ้นสุดข้อมูล เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 มาตรฐาน RS-232

RS-232 เป็นมาตรฐานการสื่อสารอนุกรมระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองในการสื่อสารข้อมูลซึ่งมาตรฐานการสื่อสารด้วย RS-232 จะสามารถสื่อสารข้อมูลได้ไกลประมาณ 50 เมตร ถ้าจะขยายระยะห่างให้การสื่อสารข้อมูลได้ไกลยิ่งขึ้น ก็สามารถทำได้โดยการเลือกใช้สายที่มีการสูญเสียน้อย มาตรฐานการสื่อสารอนุกรม RS-232 นั้น จะมีข้อกำหนดพารามิเตอร์อยู่ 4 ค่าคือ

2.2.2.1 ค่าอัตราบอตเรต (Baud Rate)

คือ ค่าอัตราความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลข่าวสารต่อ 1 วินาที หน่วยเป็นบิตต่อวินาที (Bit per second) ซึ่งอัตราบอดเรตในการสื่อสารข้อมูลจะมีค่าตั้งแต่ 110 ถึง 76,800 เช่น ถ้าอัตราบอตเรต 9,600 ก็หมายถึง การรับ-ส่งข้อมูล 9600 บิตต่อ 1 วินาที

2.2.2.2 ค่าความกว้างข้อมูล (Data Width)

คือ ข้อมูลที่รับส่งข้อมูลเป็นกลุ่มโดยมีขนาด 7 บิต หรือ 8 บิตขึ้นอยู่กับการสื่อสารรับส่งข้อมูลว่าจะเลือกขนาดใดในการสื่อสารระหว่างกัน

2.2.2.3 ค่าพาริตี้บิต (Parity Bit)

พาริตี้บิต เป็นบิตสำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในการส่ง-ข้อมูล โดยการนับจำนวนบิตที่เป็น "1" ในข้อมูลเป็นจำนวนเลขคู่หรือ จำนวนคี่ การกำหนดพาริตี้บิตในการสื่อสารข้อมูลมีรูปแบบการกำหนด เช่น พาริตี้คู่ (Even Parity)
พาริตี้คี่ (Odd Parity) เป็นบิตสำหรับปิดท้ายข้อมูล โดยอาจมี 1 บิตหรือ 2 บิต

2.2.3 รูปแบบการสื่อสารรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

ในการสื่อสารอนุกรม จะมีรูปแบบการสื่อสารข้อมูลเป็นกลุ่มบิตซึ่งเรียกว่า เฟรม ใน 1 เฟรมนั้นจะประกอบด้วย คือ

2.2.3.1 บิตเริ่มต้น (Start Bit)

มีขนาด 1บิต เป็นบิตเริ่มต้นที่ทำหน้าที่บอกอุปกรณ์ภาครับข้อมูลว่าข้อมูลกำลังจะมาถึงมีขนาด 1 บิต

2.2.3.2 บิตข้อมูล (Data Bit)

มีขนาด 7-8 บิต เป็นกลุ่มบิตที่เป็นข้อมูล ในการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรเลอร์ MCS-51 กับไมโครคอมพิวเตอร์มักจะใช้ข้อมูลเป็นรหัสแอสกี

2.2.3.3 บิตพาริตี้ (Parity Bit)

มีขนาด 1 บิต เป็นบิตในการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

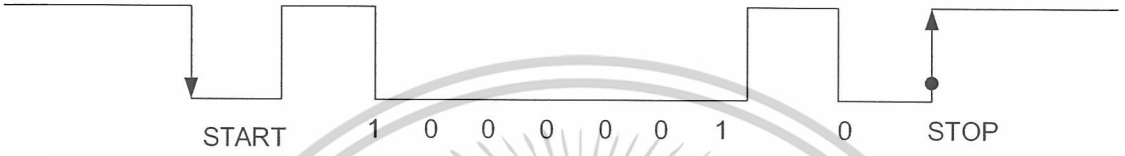
2.2.3.4 บิตจบการสื่อสาร (Stop Bit)

มีขนาด 1-2 บิตเป็นบิตที่บอกว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ในการสื่อสารอนุกรมใน 1 เฟรม จะประกอบด้วย บิตเริ่มต้น 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิตและบิตจบหรือบิตสิ้นสุดข้อมูล ส่วนพาริตี้บิตไม่มี ตัวอย่างส่งข้อมูลตัวอักษร A ซึ่งตัวอักษร A มีรหัสเอสกีคือ 41H หรือ '01000001' สังเกตจากรูปแบบการส่งข้อมูล รูปที่ 2.10 รูปแบบการสื่อสารอนุกรม 1 เฟรม



รูปที่ 2.10 รูปแบบการสื่อสารอนุกรม 1 เฟรม

ตารางที่ 2.3 แสดงว่าเวลา Bit time ใน Baud rate ต่างๆ

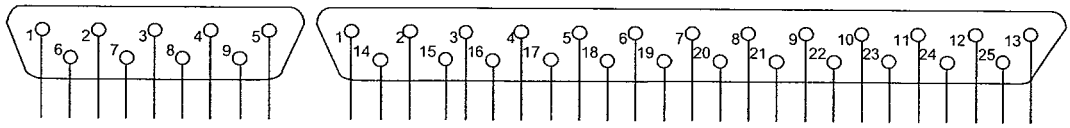
แสดงเวลา Bit time ใน Baud rate ต่างๆ	
Baud rate	Bit time
300	3.33 mS
600	1.66 mS
1200	833 uS
2400	416 uS
6800	208 uS
9600	104 uS
19200	52 uS

จากตารางที่ 2.3 แสดงว่าเวลา Bit time ใน Baud rate ต่างๆ จะสังเกตเห็นว่าเมื่ออัตราความเร็ว Baud Rate ยิ่งสูงขึ้น เวลา 1 บิต ก็จะน้อยลง

2.2.4 คอนเนกเตอร์แบบ D-Type

การสื่อสารแบบอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้มาตรฐาน RS-232 หัวต่อแบบ D-Type จะมีอยู่ 2 ลักษณะคือแบบ 9 ขาและแบบ 25 ขา หรืออาจจะเรียกว่า DB9 และ DB25 ตามลำดับ ซึ่งหัวต่อทั้ง 2 แบบจะมีลักษณะการทำงานของสัญญาณต่าง ๆ เหมือนกันแต่การจัดเรียงขาไม่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
104036



รูปที่ 2.11 การจัดขาต่างๆ ของ DB9 และ DB25

ตารางที่ 2.4 แสดงการจัดเรียงขาสัญญาณ

อธิบายสัญญาณ	สัญญาณ	9 ขา	25 ขา
Carrier detect	CD	1	8
Receive data	RD	2	3
Transmit data	TD	3	2
Data terminal ready	DTR	4	20
Signal ground	SG	5	7
Data set ready	DSR	6	6
Request to send	RTS	7	4
Clear to send	CTS	8	5
Ring indicator	RI	9	22

อธิบายขาสัญญาณต่าง ๆ ที่หัวต่อ D-Type

SD: เป็นขาสัญญาณกราวนด์

RD: เป็นขาใช้รับสัญญาณข้อมูลแบบอนุกรม โดยสามารถสื่อสารได้ 2 ทาง

TD: เป็นขาใช้ส่งสัญญาณข้อมูลแบบอนุกรม โดยสามารถสื่อสารได้ 2 ทาง

RTS: เป็นขาที่ส่งสัญญาณเพื่อยืนยันขออุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมา

CTS: เป็นขาที่ส่งสัญญาณเพื่อยืนยันว่าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อพร้อมจะรับข้อมูล

DTR: เป็นขาที่ส่งสัญญาณเพื่อยืนยันว่าอุปกรณ์พร้อมในการติดต่อ

DSR: เป็นขาที่ส่งสัญญาณตรวจสอบการเชื่อมต่อเพื่อยืนยันว่าอุปกรณ์ปลายทางพร้อมในการติดต่อ

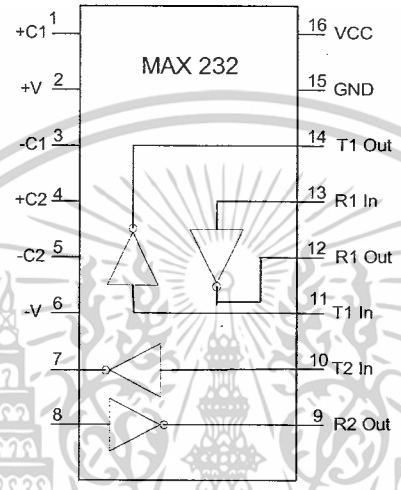
CD: เป็นขาที่ส่งสัญญาณบอกว่ามีสัญญาณพาหะ (Carrier) จากโมเด็ม

ในการสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับไมโครคอมพิวเตอร์ด้วยมาตรฐาน RS-232 แบบอนุกรมสายสัญญาณที่ใช้มีแค่ 3 สาย คือ SG สัญญาณกราวนด์, RD สายสัญญาณรับข้อมูล, TD สายสัญญาณส่งข้อมูล ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 ลักษณะสัญญาณของ RS-232

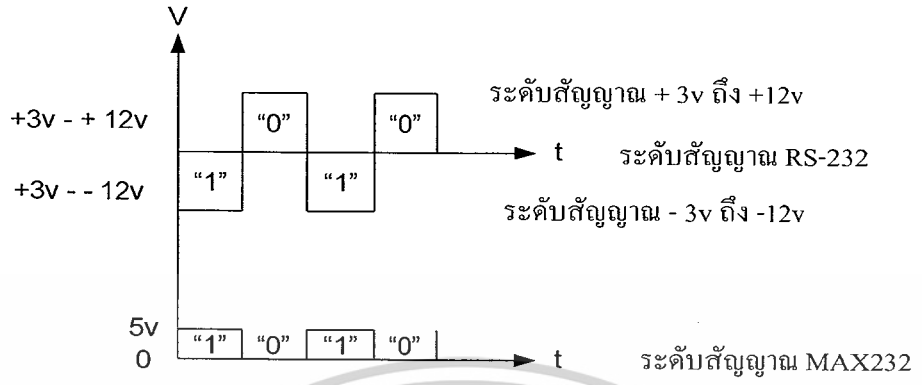
ในมาตรฐานการสื่อสาร RS-232 จะมีระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นแบบสองขั้ว (Bipolar) มีขั้วไฟฟ้าสองขั้วเป็นแรงดันไฟฟ้าบวกกับแรงดันไฟฟ้าลบ เมื่อข้าสู่สถานะ ON ระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่า +3 ถึง +12 V และเมื่อเข้าสู่สถานะ OFF ระดับแรงดันไฟฟ้ามีค่า -3 ถึง -12V



รูปที่ 2.12 การจัดขาของไอซี MAX 232

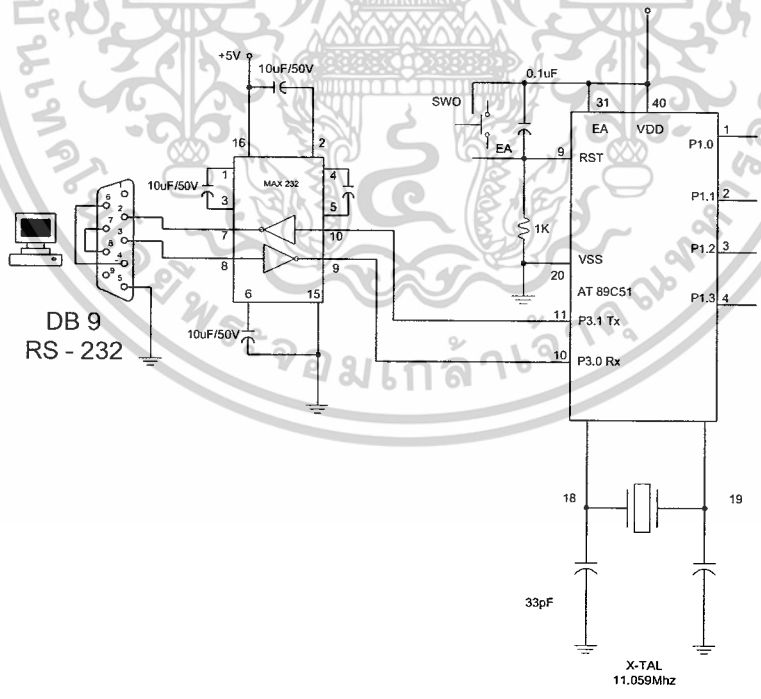
ไอซีตระกูล TTL และตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT 89C51 สามารถใช้งานร่วมกันได้ เนื่องจากใช้แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0 Volt ถึง +5 Volt ในการเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ต้องใช้มาตรฐาน RS – 232 ซึ่งมีระดับแรงดันไฟฟ้าแบบสองขั้ว ซึ่งยังไม่สามารถใช้งานร่วมกับไอซีตระกูล TTL และไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ดังนั้นระหว่างการเชื่อมต่อจึงต้องมีตัวแปลงระดับไฟฟ้าแบบสองขั้วให้เป็นระดับแรงดันไฟฟ้าแบบขั้วเดียว 0 ถึง +5 ซึ่งตัวที่ใช้ในการแปลงระดับแรงดันไฟฟ้านี้คือไอซี MAX 232 ผลิตโดย MAXIM โดยใช้แรงดันไฟฟ้า +5V สังเกตจากรูปที่ 2.12 การจัดเรียงขาของไอซี MAX 232 และรูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบสัญญาณที่ RS – 232 และ MAX – 232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงรูปแบบสัญญาณที่ RS – 232 และ MAX – 232

ในการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์กับคอมพิวเตอร์มาตรฐาน RS–232 โดยใช้หัวต่อแบบ DB9 ขาสัญญาณที่ใช้งานประกอบด้วยขา 2 ของ DB9 จะเป็นขารับสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ขา 3 ของพอร์ตอนุกรมแบบ DB9 จะเป็นขาส่งสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ และขา 5 เป็นขากราวนด์ สังเกตการณ์ต่อวงจรรูปที่ 2.14 การเชื่อมหัวต่อ DB9 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยไอซี MAX 232



รูปที่ 2.14 การเชื่อมหัวต่อ DB9 กับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยไอซี MAX 232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.6 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการสื่อสารพอร์ตอนุกรม

ในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยใช้งานผ่านพอร์ตอนุกรมติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกชนิดต่างๆ จะมีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องคือ SCON (Serial Port Control Register) SBUF (Serial Data Buffer) และ PCON (Power Control Register) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.6.1 รีจีสเตอร์ SBUF (Serial Data Buffer)

SBUF เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ที่อยู่ตำแหน่งที่ 99H ซึ่งภายในโครงสร้างไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 จะมีรีจิสเตอร์ SBUF อยู่ 2 ตัวคือ รีจิสเตอร์ SBUF ที่เก็บข้อมูลเมื่อมีการส่งข้อมูลจากตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ และรีจิสเตอร์ SBUF ที่เก็บข้อมูลเมื่อมีการรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมายังตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนั้นในการที่จะติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถที่จะติดต่อสื่อสารแบบสองทิศทางได้พร้อมกัน หรือที่เรียกว่า FULL DUPLEX เพราะว่ามีบัฟเฟอร์ที่ใช้ในการรับ-ส่งข้อมูลแยกจากกัน

2.2.6.2 รีจิสเตอร์ PCON (Power Control)

เป็นรีจิสเตอร์กำหนดอัตราการรับส่งข้อมูล (Baud rate) มีขนาด 8 บิตโดยมีแอดเดรสอยู่ตำแหน่งที่ 87H เข้าถึงข้อมูลได้แบบไบต์อย่างเดียวเท่านั้น ไม่สามารถที่จะเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ ประกอบด้วยบิตต่างๆ ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 แสดงละเอียดรีจิสเตอร์ PCON เพื่อกำหนดอัตรากรรับส่งข้อมูล

ตำแหน่งบิต	บิตที่ 7	บิตที่ 6	บิตที่ 5	บิตที่ 4	บิตที่ 3	บิตที่ 2	บิตที่ 1	บิตที่ 0
ชื่อบิต	SMOD	-	-	-	GF1	GF0	P0	IDL

PCON.7 SMOD : ในการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นต้องใช้ไทเมอร์ 1 (Timer 1) เป็นตัวกำหนดอัตรารับส่ง (Baud rate) และหากกำหนดให้บิตนี้มีค่าเป็น “0” ในการใช้งานกับพอร์ตสื่อสารอนุกรมในโหมด 1, 2 และโหมด 3 ค่าอัตรารับส่ง (Baud rate) จะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า รีจิสเตอร์ PCON ไม่สามารถอ้างตำแหน่งแบบบิตได้ ดังนั้นถ้าจะเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาซีก็สามารถเขียนคำสั่งได้ดังนี้ เช่น

PCON = 0x80 ; // (1000 0000) จะเป็นการเซตบิตที่ 7 ของรีจิสเตอร์ PCON

PCON = 0x6F ; // (0111 1111) จะเป็นการเคลียร์บิตที่ 7 ของรีจิสเตอร์ PCON

2.2.6.3 รีจิสเตอร์ SCON (Serial Port Control Register)

SCON เป็นรีจิสเตอร์ที่เราใช้ในการกำหนดควบคุมการรับส่งข้อมูล ในการใช้งานผ่านพอร์ตอนุกรมโดยรีจิสเตอร์ SCON มีขนาด 8 บิต ที่อยู่ตำแหน่งที่ 98H และเป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงระดับบิตได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.6 ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.6 แสดงละเอียดรีจิสเตอร์ SCON

ตำแหน่งบิต	บิตที่ 7	บิตที่ 6	บิตที่ 5	บิตที่ 4	บิตที่ 3	บิตที่ 2	บิตที่ 1	บิตที่ 0
ชื่อบิต	SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

ตารางที่ 2.7 แสดงการเลือก Mode ของพอร์ตอนุกรม (บิตที่ 7, บิตที่ 6)

SM0	SM1	MODE	อธิบายรายละเอียด	Baud Rate
0	0	0	รีจิสเตอร์แบบเลื่อนบิต	ความถี่ Fosc. / 12
0	1	1	UART ขนาด 8 บิต	เปลี่ยนแปลงได้
1	0	2	UART ขนาด 9 บิต	ความถี่ Fosc. / 32 หรือ Fosc. / 64
1	1	3	UART ขนาด 9 บิต	เปลี่ยนแปลงได้

แสดงรายละเอียดของขารีจิสเตอร์ SCON ดังต่อไปนี้

บิตที่ 7 SM0 เป็นบิตใช้กำหนดโหมดของพอร์ตอนุกรม ดังตารางที่ 2.6

บิตที่ 6 SM1 เป็นบิตใช้กำหนดโหมดของพอร์ตอนุกรม ดังตารางที่ 2.6

บิตที่ 5 SM2 เป็นบิตที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานและเลือกลักษณะการเชื่อมต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ Single Processor System หรือ Multi Processors System โดยกำหนดค่าดังนี้

SM2 = 1 เป็นการเลือกแบบ Multi Processors System คือระบบการสื่อสารแบบใช้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์หลายๆ ตัวทำงานร่วมกัน จะใช้งานในโหมด 2 หรือโหมด 3

SM2 = 0 เป็นการเลือกแบบ Single Processors System โดยสามารถใช้ได้กับทุกโหมด (การใช้งานในโหมด 0 ต้องกำหนดให้ SM2 = 0)

ในกรณีที่เลือกให้ SM2 = 1 แบบ Multi Processors System

ในข้อมูลที่รับเข้ามาบิตที่ 9 (อยู่ในบิต RB8) มีค่าเป็น "1" ทำให้แฟลกอินเตอร์รัปต์ทางด้านรับจะถูกเซตให้เป็น 1 (RI = 1) แต่ถ้าข้อมูลในบิตที่ 9 รับเข้ามามีค่าเป็น "0" จะทำให้แฟลกอินเตอร์รัปต์ทางด้านรับเป็น 0 (RI = 1) การทำงานในโหมด 1 ถ้าให้ SM2 = 1 แฟลก อินเตอร์รัปต์ทางด้านรับ (แฟลก RI) จะไม่ถูกเซตหากข้อมูลที่รับเข้ามาไม่มีบิตหยุด (Stop bit)

บิตที่ 4 REN = 1 เป็นบิตใช้ในการเลือกสื่อสารข้อมูลพอร์ตอนุกรม

REN = 0 เป็นบิตใช้ในการไม่เลือกสื่อสารข้อมูลพอร์ตอนุกรม

บิตที่ 3 TB8 = 0 เป็นบิตใช้ในการเลือกส่งบิตที่ 10 สำหรับโหมด 2, 3 และเป็นบิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หยุดในโหมด 1 ส่วนโหมด 0 ไม่มีการใช้งานบิตนี้

TB1 = 1 เป็นบิตใช้ในการเลือกรับบิตที่ 10 สำหรับโหมด 2, 3 และเป็นบิตหยุดในโหมด 1 ส่วนโหมด 0 ไม่มีการใช้งานบิตนี้

บิตที่ 2 R8 = 0 เป็นบิตใช้ในการเลือกรับบิตที่ 10 สำหรับโหมด 2, 3 และเป็นบิตหยุดในโหมด 1 ส่วนโหมด 0 ไม่มีการใช้งานบิตนี้

R8 = 1 เป็นบิตใช้ในการไม่เลือกรับบิตที่ 10 สำหรับโหมด 2, 3 และเป็นบิตหยุดในโหมด 1 ส่วนโหมด 0 ไม่มีการใช้งานบิตนี้

บิตที่ 1 TI เป็นบิตแฟลกอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูล บิตนี้จะถูกเซตเป็น "1" เมื่อมีการส่งข้อมูลถึงบิตที่ 7 ในโหมด 0 และบิตนี้จะถูกเซตเป็น "1" เมื่อมีการส่งข้อมูลถึงบิตหยุดในโหมดอื่นๆ ส่วนการเคลียร์ บิตนี้ให้เป็น "0" สามารถใช้โปรแกรมเคลียร์บิตได้

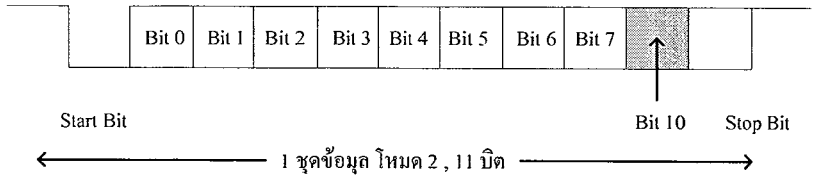
บิตที่ 0 RI เป็นบิตแฟลกอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูล บิตนี้จะถูกเซตเป็น "1" เมื่อมีการรับข้อมูลถึงบิตที่ 7 ในโหมด 0 และบิตนี้จะถูกเซตเป็น "1" เมื่อมีการรับข้อมูลถึงบิตหยุดในโหมดอื่นๆ ส่วนการเคลียร์บิตนี้ให้เป็น "0" สามารถใช้โปรแกรมเคลียร์บิตได้

จากตารางที่ 2.7 แสดงการเลือกโหมดเพื่อกำหนดรูปแบบการติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยโหมดทั้ง 4 โหมดมีรูปแบบการทำงานดังต่อไปนี้

โหมด 0 (Mode 0) เป็นโหมดที่มีการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมทางขา RX และขา TX ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะส่งสัญญาณนาฬิกาเพื่อเลื่อนข้อมูล 8 บิต โดยจะเริ่มส่งข้อมูลจากบิตที่ 0 จนถึงบิตที่ 7 ส่วนอัตราการส่งข้อมูลเป็น 1/12 เท่าของสัญญาณความถี่ที่ใช้ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์

โหมด 2 (Mode 2) เป็นโหมดที่มีการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมทางขา RX และขา TX โดยมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลขนาด 11 บิต ซึ่งประกอบด้วยบิตเริ่มต้น (มีค่าเท่ากับลอจิก 0) บิตข้อมูลจำนวน 8 บิต (บิตที่ 0-7) ข้อมูลบิตที่ 10 ซึ่งเป็นบิตที่สามารถป้อนข้อมูล 0 หรือ 1 เข้าไปทางบิตที่ 2 (RB8) ของรีจิสเตอร์ SCON เพื่อประโยชน์ในการตรวจเช็คความผิดพลาดของข้อมูลที่รับส่งที่เรียกว่าบิตพาริตี้ และบิตหยุดอีก 1 บิต (มีค่าเท่ากับ 1) สังเกตตามรูปที่ 2.15 อัตราการส่งข้อมูลสามารถกำหนดให้เป็น 1/32 หรือ 1/64 ของสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ กำหนดโดยป้อนค่า 0 หรือ 1 เข้าบิตที่ 7 (SMOD) ของรีจิสเตอร์ PCON

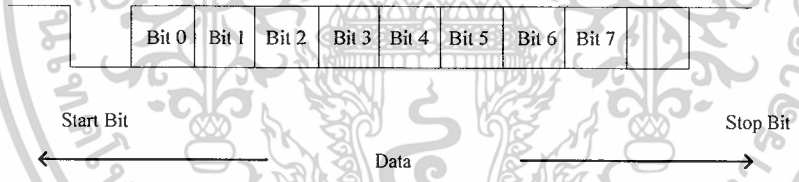
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดง 1 ชุดข้อมูล โหมด 2

โหมด 3 (Mode 3) เป็นโหมดที่มีการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมทางขา Rx และขา Tx โดยมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลขนาด 11 บิต เหมือนกับโหมด 2 แต่จะแตกต่างกับโหมด 2 ตรงการกำหนดอัตราการส่งข้อมูลโดยที่โหมด 3 สามารถกำหนดจากการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1 ซึ่งเหมือนกับโหมด 1

โหมด 1 (Mode 1) เป็นโหมดที่มีการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมทางขา Rx และขา Tx โดยมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลขนาด 10 บิต ซึ่งประกอบด้วยบิตเริ่มต้น (มีค่าเท่ากับลอจิก 0) บิตข้อมูลจำนวน 8 บิต (บิตที่ 0-7) และบิตหยุดอีก 1 บิต (มีค่าเท่ากับ 1) ในการรับ-ส่งข้อมูล 8 บิต สังเกตรูปที่ 2.16 จะถูกเก็บไว้ที่ตัวรีจิสเตอร์ SBUF และบิตหยุดจะเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ SCON บิตที่ 2 (RB8)



รูปที่ 2.16 แสดง 1 แสดง 1 ชุดข้อมูล โหมด 1, 10 บิต

ส่วนอัตราการส่งข้อมูลของโหมด 1 จะสามารถกำหนดจากการเกิดโอเวอร์โฟลว์ของ Timer 1 ตามสูตรการคำนวณดังนี้

$$\textbf{อัตราการส่งข้อมูล} = 2^{SMOD} \times freq.OSC./32 \times 12 \times [256 - TH1]$$

$$\textbf{TH1 = 256 - } 2^{SMOD} \times freq.OSC./ \textbf{(32 x 12 x อัตราการส่งข้อมูล)}$$

ถ้าต้องการอัตราการส่งข้อมูลที่ 9,600 สามารถคำนวณหาค่าที่จะกำหนดให้ TH1 ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \text{TH1} = 256 - \left(2^0 \times 11.059 \times 106\right)/\left(32 \times 12 \times 9600\right) = 253(FDH) \qquad (2.1)$$

เมื่อกำหนดค่า 0 หรือ 1 เข้าบิตที่ 7 (SMOD) ของรีจิสเตอร์ PCON และการใช้ความถี่ OSC. คริสตอลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่าที่กำหนดให้ TH1 จะแตกต่างกัน สังเกตจากตารางที่ 2.8 แสดงค่า TH1 จากอัตราการส่งข้อมูล (Baud Rate) ค่าต่างๆ

ตารางที่ 2.8 แสดง TH1 จากอัตราการส่งข้อมูล (Baud Rate) ค่าต่างๆ

อัตราการส่งข้อมูล	ความถี่จากคริสตอล	SMOD	TH1	ค่าผิดพลาด
9600	12.000MHz	1	0xF9	7%
4800	12.000MHz	0	0xF9	7%
2400	12.000MHz	0	0xF3	0.16%
1200	12.000MHz	0	0xF6	0.16%
9600	12.000MHz	0	0xFD	0%
4800	12.000MHz	0	0xFA	0%
2400	12.000MHz	0	0xF4	0%
1200	12.000MHz	0	0xF8	0%

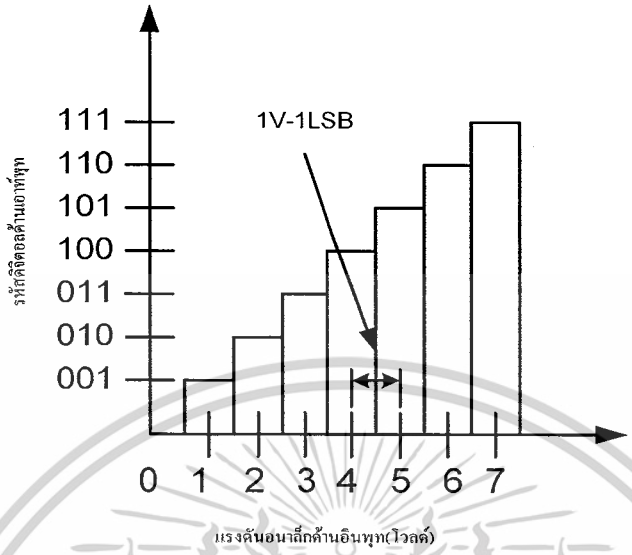
2.2.7 หลักการทำงานของเอทูดี คอนเวอร์เตอร์ (Analog to Digital Converter: ADC)

กระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติส่วนใหญ่หากนำมาแปรค่าเป็นสัญญาณทางไฟฟ้ามักเป็นสัญญาณที่อยู่ในรูปแรงดันหรือกระแส หรือไม่ก็เป็นลักษณะของค่าความต้านทานลักษณะที่ได้จะเป็นสัญญาณอนาล็อก ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้กับคอมพิวเตอร์โดยตรงได้จึงจำเป็นต้องมีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล เราเรียกว่าวงจร "เอทูดี คอนเวอร์เตอร์"

2.2.7.1 หลักการเบื้องต้นของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล

หากนำเอาเอทูดี ขนาด 3 บิตมาเขียนกราฟคุณสมบัติระหว่างสัญญาณอินพุตกับเอาต์พุตสมบัติว่าแรงดันอินพุต V1 เปลี่ยนค่าจาก 0-7 โวลต์ และได้สัญญาณเอาต์พุตที่เป็นสัญญาณดิจิตอลจาก 000-111 ดังแสดงในรูปที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงกราฟคุณสมบัติของ เอทูดี ขนาด 3 บิต

2.2.7.2 ค่าความละเอียดของ เอทูดี

ค่าความละเอียดของเอทูดีนั้น หาได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันไฟฟ้าอินพุตแล้วทำให้สัญญาณดิจิตอลเปลี่ยนค่าบิตนัยสำคัญต่ำสุดไป

ความละเอียด = ค่าแรงดันอินพุตต่อบิต = ค่าเต็มสเกลหารด้วย $2^N - 1$

หรืออ้างอิงถึงเรื่อง เอทูดี จะได้ว่า

$$\text{ความละเอียด} = 2^N$$

โดยที่ N คือจำนวนบิตของวงจร

ถ้าสมมุติว่ามีเอาต์พุต 8 เส้น โดยเอาต์พุตแต่ละเส้นแสดงสถานะทางลอจิกเป็น 0 หรือ 1 จะมีความแตกต่างทางรหัส ไบนารี ทั้งหมด 2^8 หรือ 256 รหัส

เช่นถ้าตัวแปลงสัญญาณมีความแตกต่างทางรหัสเอาต์พุต 256 ระดับสัญญาณอินพุตถูกแทนเป็นไบนารี่จาก 00000000 ถึง 11111111 ถ้าย่านอินพุตเริ่มจาก 0-5 โวลต์ ดังนั้นค่าความละเอียดเท่ากับ 5/256 = 0.0195 โวลต์

2.2.7.3 ชนิดของ เอทูดี คอนเวอร์เตอร์

วงจร เอทูดี คอนเวอร์เตอร์ อาจจำแนกได้ดังนี้

1) เอทูดี ชนิดป้อนกลับขนาน

2) เอทูดี ชนิดอินทิเกรต

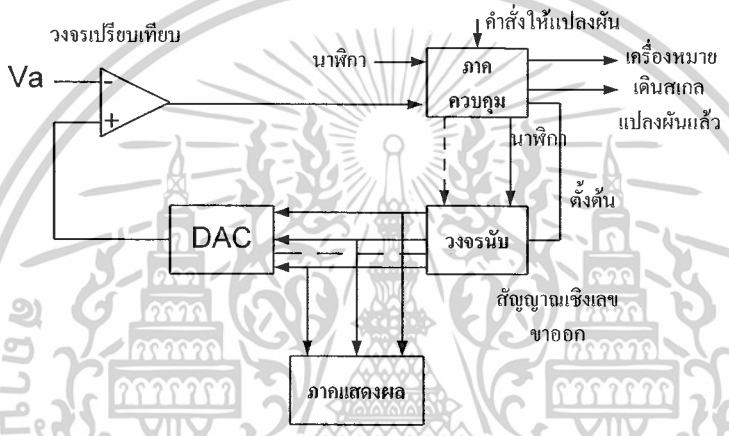
3) เอทูดี ชนิดพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เอทูดี ชนิดป้อนกลับเรียงลำดับ

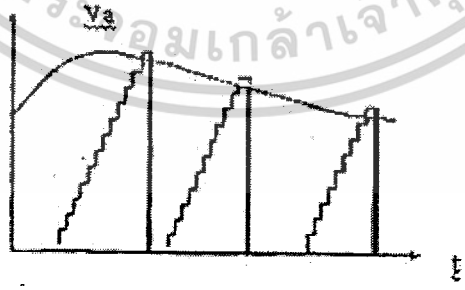
ในที่นี้จะกล่าวถึงวงจรเอทูดีชนิดป้อนกลับแบบขนานเท่านั้น ซึ่งจะเป็นชนิดที่ใช้ในโครงงานเอทูดีชนิดป้อนกลับขนานหลักการคือ การใช้วงจร ดีทูเอ ในระบบป้อนกลับ วงจร เอทูดี ที่เป็นวงจรประมวลสำเร็จรูปส่วนใหญ่จะใช้หลักการนี้ เอทูดี ชนิดป้อนกลับขนานยังแบ่งเป็น

- เอทูดี ขั้นบันได
- เอทูดี ตามรอย (Tracking)
- เอทูดี ที่ใช้การประมาณค่าโดยลำดับ (Successive approximation)



รูปที่ 2.18 แสดงบล็อกของวงจร เอทูดี ขั้นบันไดหรือตามรอย

จากรูปที่ 2.19 แสดงแผนภาพของวงจร เอทูดี ขั้นบันได หรือตามรอย แล้วแต่วงจรนับเป็นแบบธรรมดาหรือแบบนับขึ้นเอง



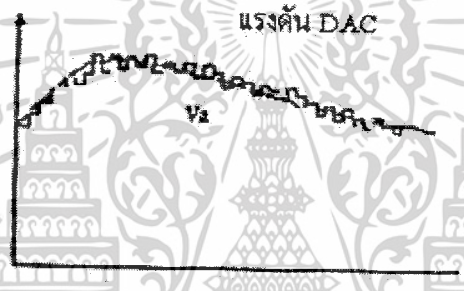
รูปที่ 2.19 แสดงรูปคลื่นของวงจร เอทูดี ขั้นบันได

ในกรณีของวงจรเอทูดีแบบขั้นบันได เมื่อมีคำสั่งให้แปลงผัน วงจรนับจะตั้งต้นใหม่ (Reset) สัญญาณคล็อกจะทำให้วงจรนับ นับขึ้นไปเรื่อยๆ ผลก็คือ แรงดันออกของ ดีเอซี จะเป็นรูป

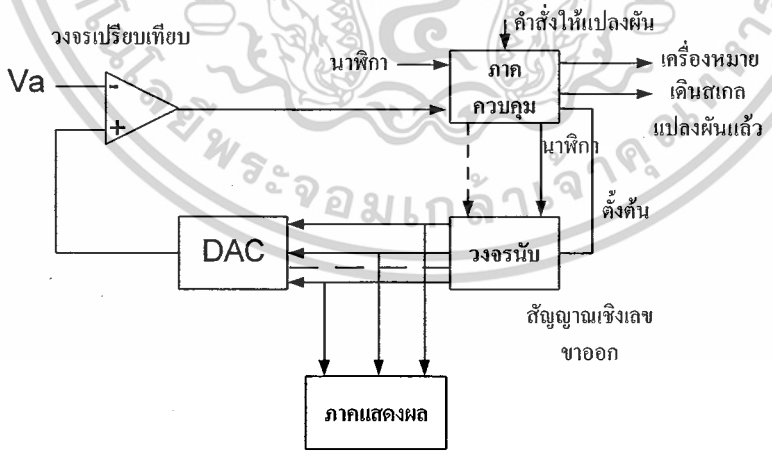
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นบันได (ดูรูปที่ 2.19) จนกระทั่งขึ้นสูงกว่า Va วงจรเปรียบจะบอกให้วงจรควบคุมหยุดสัญญาณคล็อกที่ส่งให้วงจรนับจนกว่าจะมีคำสั่งให้แปลงผันใหม่ หรือไม่วงจรเปรียบเทียบจะบอกให้วงจรควบคุมตั้งต้นวงจรนับใหม่ (กรณีรูปที่ 2.18) และวงจรจะเริ่มต้นกระบวนการแปลงผันใหม่ทันที

ถ้าเราใช้วงจรนับขึ้น – ลง และให้วงจรเปรียบเทียบทำหน้าที่ตัดสินว่าจะนับขึ้นหรือนับลงถ้าแรงดันออกของ ดีทูเอ ต่ำกว่า Va ให้นับขึ้น แรงดันออกของ ดีเอซี จะลงเช่นกัน สังเกต ได้ว่ากรณีที่ Va มีค่าคงตัวหรือเกือบคงตัว แรงดันออกของดีเอซี จะขึ้นลงทุกๆ จังหวะของสัญญาณคล็อก ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในบิตต่ำสุดของสัญญาณเชิงเลข (digital signal) ขาออก (ดูรูป 2.20) อย่างไรก็ดี วงจร เอทูดี ตามรอยมีข้อน่าสนใจคือ เวลาการแปลงผัน (conversion time) จะสั้นและสัญญาณเชิงเลขที่ได้จะแทนรูปคลื่นของสัญญาณเชิงอุปมาน (analog signal) ได้ดีกว่า



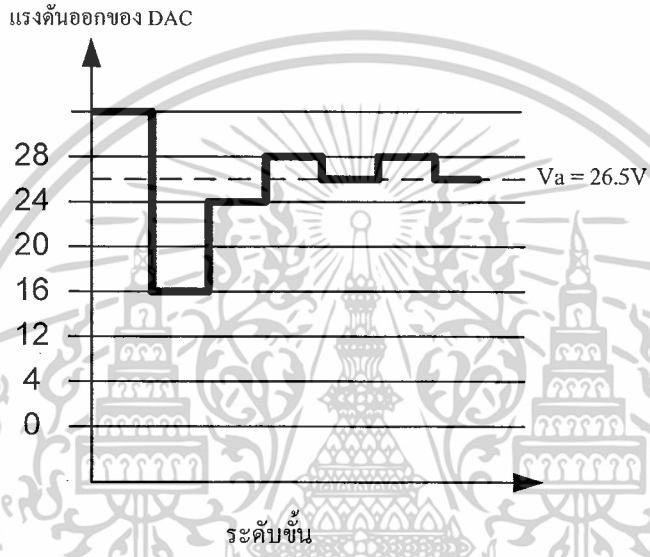
รูปที่ 2.20 แสดงรูปคลื่นของวงจรเอทูดี ตามรอย



รูปที่ 2.21 แสดงบล็อกของวงจร เอทูดี ที่ใช้การประมาณค่าโดยลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.21 แสดงแผนภาพบล็อกของวงจรเอทูดี ซึ่งใช้การประมาณค่าโดยลำดับ จะสังเกตว่าเราใช้วงจรทะเบียน (Register) แทนวงจรนับ การควบคุมการทำงานของวงจรมีขั้นตอนที่ยุ่งยากกว่าเอทูดี ตามรอย ขั้นตอนการทำงานนี้แสดงอยู่ในแผนภาพในรูปที่ 2.27 ตัวอย่างเช่น เราต้องการแปลงผัน Va = 26.5 โวลต์ ดังนั้นเลข 100000 จะสมนัยกับ 32 โวลต์ซึ่งเทียบแล้วจะใหญ่กว่า Va ดังนั้น บิตในสำคัญสูงสุดเท่ากับศูนย์ (MSB = 0) ให้บิตที่มีนัยสำคัญรองลงไปเป็น 1 เลข 010000 จะสมนัยกับ 24 โวลต์ เทียบ 24 โวลต์เทียบ 24 Va และเช่นนี้ไปเรื่อยๆ ไปจนครบทุกบิต (ดูรูปคลื่นในรูปที่ 2.22)

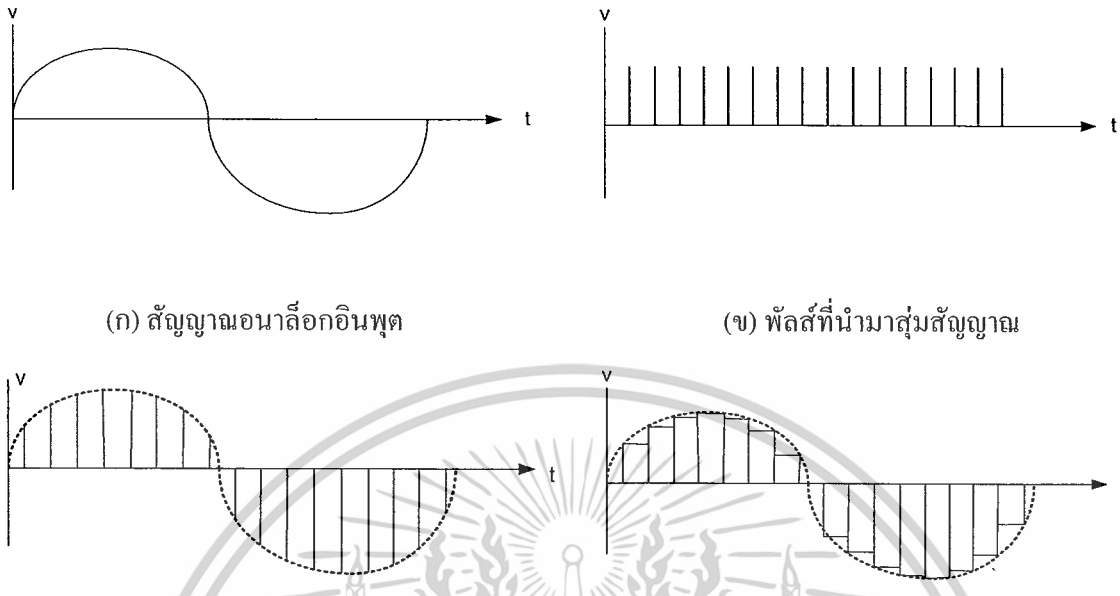


รูปที่ 2.22 แสดงรูปคลื่น

2.2.7.4 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลนั้นสามารถทำได้โดยสร้างขบวนพัลส์เพื่อที่จะนำมาสุ่มสัญญาณโดยพัลส์นั้นจะมีความถี่คงที่ค่าหนึ่งที่เรียกว่าความถี่ในการสุ่มสัญญาณ (Sampling Frequency: f) เมื่อทำการมอดูเลตระหว่างขบวนพัลส์กับสัญญาณอนาล็อกโดยเสมือนว่าสัญญาณอนาล็อกจะซ้อนทับมาบนขบวนพัลส์ ถ้าหากสัญญาณอนาล็อกที่ถูกสุ่มถูก hold จนกว่าสัญญาณค่าใหม่จะถูกสุ่มเข้ามาจะได้ลักษณะของเอาต์พุตที่แสดงในรูปที่ 2.23 (ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สัญญาณอนาล็อกอินพุต (ข) พัลส์ที่นำมาสุ่มสัญญาณ

(ค) สัญญาณอนาล็อกหลังการสุ่ม (ง) สัญญาณอนาล็อกหลังการสุ่มและ Hold ไว้

รูปที่ 2.23 การสุ่มสัญญาณ

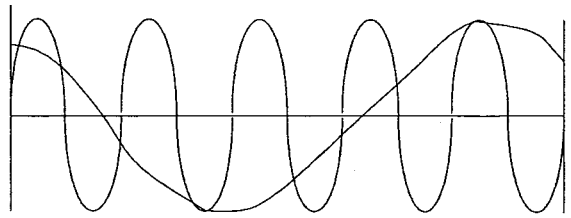
ถ้าสัญญาณต่อเนื่องซึ่งมีความถี่และฮาร์โมนิกส์ไม่เกิน f_c ถูกสุ่มด้วยอัตราการสุ่มเท่ากับ f_c ซึ่งมีค่าไม่น้อยกว่า $2f_c$ แล้วสัญญาณดังกล่าวจะสามารถเปลี่ยนกลับมาได้อย่างเดิมโดยไม่สูญเสียรายละเอียดหรือผิดเพี้ยนไป

ผลของการใช้อัตราการสุ่มที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำหรือที่เรียกว่าการซ้อนทับทางความถี่ (Aliasing frequency) เมื่อสัญญาณถูกเปลี่ยนกลับมาเช่นเดิมหลังจากถูกสุ่มแล้วดังรูปที่ 2.24 จะเห็นว่า การซ้อนทับ (Aliasing) จะแตกต่างจากความถี่เดิมไปมาก Anti aliasing filter เป็นวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำที่จะช่วยลดสัญญาณในแถบความถี่ที่ทำให้เกิด การซ้อนทับทางความถี่ในขณะที่ไม่ต้องการให้เกิดความผิดพลาดของสัญญาณในแบนด์ที่ใช้งานแบบไม่ลดความแม่นยำในการวัดโดยรวมอีกด้วย นอกจากการใช้ฟิลเตอร์ฮาร์โมนิกส์ที่สูงๆ แล้วพยายามให้การสุ่มเป็นไปอย่างรวดเร็วมากที่สุด ซึ่งปกติแล้วจะสูงกว่าความถี่ต่ำสุดตามทฤษฎี การสุ่ม คือ $2f_c$

การใช้ Anti aliasing filter ขึ้นอยู่กับ

- ความถี่สูงสุดที่สนใจอัตราการสุ่ม
- ความละเอียดของการแปลงสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 การซ้อนทับทางความถี่

จากทฤษฎีการสุ่มที่ว่าให้ f_c มากกว่า $2f_c$ นั้นก็เพื่อขจัดการซ้อนกันของสเปคตรัม (Aliasing Effect) เพื่อจำกัดแบนด์วิดธ์ ของสัญญาณที่จะถูกแปลงไม่ให้เกินไปกว่า $f_c/2$ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจะยังคงเกิด frequency folding ได้เสมอจากส่วนฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณและสเปกตรัมของสัญญาณรบกวนที่ยังคงมีอยู่แม้ว่าจะทำการฟิลเตอร์แล้วก็ตาม

2.2.7.5 การจัดระดับสัญญาณ (Quantizing)

อีกขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญหลังจากที่สัญญาณผ่านการสุ่มมาแล้วก็คือขั้นตอนการจัดระดับของสัญญาณ โดยสัญญาณที่ผ่านการสุ่มมาแล้วจะมีลักษณะที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Signal) และเนื่องจากสัญญาณอนาล็อกส่วนใหญ่จะมีสัญญาณรบกวนปะปนมาด้วยเสมอ จึงจำเป็นต้องกำจัดสัญญาณเหล่านี้ออกไปเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการประมวลผลแบบดิจิตอล และสามารถนำไปเข้าได้ง่าย เมื่อผ่านการสุ่มและการจัดระดับแล้วข้อมูลที่เป็นสัญญาณอนาล็อกจะถูกเปลี่ยนเป็นระดับสัญญาณที่แน่นอนและมีลักษณะไม่ต่อเนื่องเป็นระดับต่างๆ กัน ในแต่ละสถานะของสัญญาณดิจิตอลเอาต์พุตจะแทนขนาดของสัญญาณอนาล็อกค่าใดค่าหนึ่งในช่วงแคบๆ ระหว่างจุด แบ่งระดับ เรียกช่วงเล็กๆ นี้ว่า Analog Quantization หรือหนึ่งควอนตัม หรือ 1 บิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด ของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณคลาดเคลื่อน (Error) ในการแทนค่าสัญญาณอนาล็อกในช่วงนั้นๆ อยู่ด้วย ค่าความคลาดเคลื่อนนี้เป็นธรรมชาติของ การจัดระดับสัญญาณซึ่งทำการแก้ไม่ได้นอกจากการเพิ่มจำนวนบิตของการจัดระดับสัญญาณ ให้มากขึ้นและอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญมากก็คือความละเอียด (Resolution) ของตัวแปลงว่ามีกี่บิตเพราะว่าจำนวนบิตของตัวแปลงจะบอกถึงจำนวนระดับสัญญาณคือ

$$\text{จำนวนระดับสัญญาณ (Q)} = 2^N : \text{Nคือจำนวนบิต} \qquad (2.2)$$

ถ้าเราใช้ตัวแปลงขนาด 8 บิต กับขนาดสัญญาณอนาล็อกที่สูงสุด 10 โวลต์ จะได้จำนวนระดับสัญญาณเท่ากับ 256 ระดับ ดังนั้นค่าของบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด จะมีค่าเป็น

$$\text{ค่าหนึ่งบิตด้านต่ำ} = \text{แรงดันสัญญาณด้านสูง/จำนวนระดับสัญญาณ}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบางครั้งเราเรียกบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดว่า “Step Size” โดยใช้สัญญาณจากตัวแปลง 8 บิต และขนาดสัญญาณ 10 โวลต์ จะมีค่า $10/2^8 = 0.039$ โวลต์ แล้วอาจเขียนสมการในการหาค่า (Δ) ใหม่ได้ว่า

$$\boxed{(\Delta) = FSR/Q} \tag{2.3}$$

เมื่อ Q คือจำนวนระดับสัญญาณ

FSR คือค่าวงเต็มสเกลของแรงดันอนาล็อก (Full Scale Range)

Δ คือค่าความคลาดเคลื่อนจากการจัดระดับสัญญาณ

จากเห็นว่าจำนวนบิตยิ่งมาก ค่า Δ จะยิ่งลดลงจะทำให้ค่าความผิดพลาดลดลงไปด้วย โดยค่าความผิดพลาดจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง $\Delta/2$ ซึ่งมีค่าความผิดพลาดอาจจะเป็นศูนย์ถ้าสัญญาณอนาล็อกมีค่าที่กึ่งกลางของควอนตัมพอดี

2.2.7.6 การเข้ารหัส (Coding)

ในการเข้ารหัสสัญญาณที่ผ่านการสุ่มและการจัดระดับมาแล้วนั้นส่วนใหญ่จะแปลงให้อยู่ในรูปของรหัสตัวเลขฐานสอง (Binary Code) แล้วเปลี่ยนจากข้อมูลแบบขนานให้เป็นแบบอนุกรม เพื่อสามารถลดช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลให้เหลือเพียงช่องสัญญาณเดียวได้

จากตารางที่ 2.9 จะแสดงการเข้ารหัสของระดับแรงดันจากการสุ่มสัญญาณขนาด 0-5 โวลต์และผ่านการจัดระดับสัญญาณมาแล้ว ซึ่งที่ระดับแรงดันต่ำที่สุดก็จะมีขนาด 8 บิต เลขฐานสองเป็น 0000 0000 ส่วนระดับแรงดัน สูงสุดก็จะมีรหัสเลขฐานสองเป็น 1111 1111 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9 แสดงการเข้ารหัสสัญญาณ

Vin	Binary code
0	0000 0000
0.5	0001 1101
1.0	0011 0011
1.5	0100 1011
2.0	0110 0111
2.5	1000 0000
3.0	1001 1100
3.5	1011 0010
4.0	1100 1111
4.5	1110 1001
5.0	1111 1111

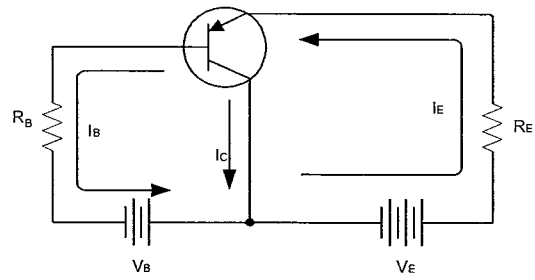
จากขั้นตอนทั้งหมดของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลนั้น เราสามารถที่จะกำหนดความสามารถหรือคุณภาพในการแปลงได้ด้วยปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากคือความละเอียด (Resolution) ซึ่งขึ้นกับจำนวนบิตนั้นเอง แต่ในการใช้งานจริงแล้วยังมีเรื่องความเร็วในการแปลงอีกด้วย

2.3 วงจรทรานซิสเตอร์

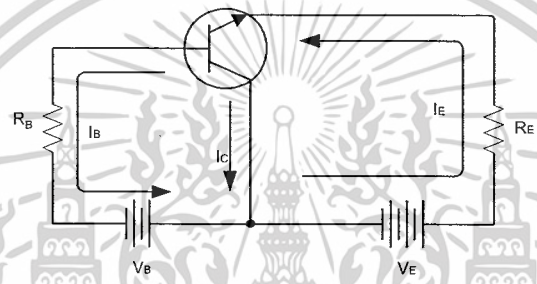
2.3.1 วงจรคอลเลคเตอร์ (Common collector)

วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมจะมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าอิมิตเตอร์ฟลอโลเอร์ (Emitter fllower) จะเป็นวงจรที่เอาขา C เป็นขาร่วมระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต โดยขาอินพุตถูกป้อนเข้าที่ขา B และขาเอาต์พุตถูกส่งออกที่ขา E ในการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ขา B จะทำให้กระแสเบส (I_B) ไหลเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จากผลของการป้อนสัญญาณเข้ามา เป็นผลให้กระแสอิมิตเตอร์ (I_E) ไหลเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จากผลของการป้อนสัญญาณเข้าอินพุตทำให้ระดับแรงดันอินพุต ทำให้ระดับแรงดันอินพุต (E_i) เปลี่ยนแปลง ทำให้ระดับแรงดันเอาต์พุต E_o เปลี่ยนแปลงตามไปด้วยผลของการเปลี่ยนแปลงทั้งแรงดันและกระแสทำให้เกิดการขยายสัญญาณขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP



(ข) วงจรคอลเลคเตอร์ร่วมใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

รูปที่ 2.25 วงจรขยายสัญญาณแบบพื้นฐานชนิดคอลเลคเตอร์ร่วม

คุณสมบัติของวงจรคอลเลคเตอร์ร่วม สรุปได้ดังนี้

1. มีอิมพีแดนซ์ทางอินพุต (z_i)สูงมากประมาณ100-500 กิโลโอห์ม เพราะขา B จะได้รับเป็นไบอัสกลับเมื่อเทียบกับขา C (ขา B ตามการจ่ายไบอัสที่ถูกต้อง จะต้องได้รับไบอัสตรงที่เทียบขา E แต่เมื่อเทียบกับขา C จะเป็นไบอัสกลับ) สารกึ่งตัวนำที่ขา B แคบกระแสที่ต้องการน้อย ทำให้ความต้านทานที่จะมาจัดเป็นวงจรไบอัสต้องใช้ค่ามาก จากเหตุที่กล่าวมาจึงทำให้อิมพิแดนซ์ทางอินพุตสูง

2. มีอิมพีแดนซ์ทางเอาต์พุต (Z_o)ต่ำประมาณ 100-1000 โอห์ม เพราะขา E จะได้รับไบอัสตรงเมื่อเทียบกับขา C มีกระแส (I_E)ไหลผ่านสูงทำให้อิมพีแดนซ์ทางเอาต์พุตต่ำ

3. เฟสของสัญญาณอินพุตจะเหมือนกับเฟสของสัญญาณเอาต์พุต คือสัญญาณป้อนเข้าเป็นบวกสัญญาณป้อนออกก็เป็นบวกด้วย และสัญญาณป้อนเข้าเป็นลบสัญญาณออกก็เป็นลบด้วยเรียกว่าอินเฟส

4. อัตราการยายกระแส (Current gain) ใช้สัญลักษณ์แกรมม่า (γ) เป็นอัตราขยายกระแสระหว่างกระแสเอาต์พุตคือ (I_E) กับกระแสอินพุตคือ (I_B)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.25 จะทราบว่ากระแส (I_E)= 100 เปอร์เซ็นต์ กระแส (I_B) = 2-5 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาคำนวณเป็นอัตราขยายกระแสจะมีค่าประมาณ 20 – 50 เท่า คือมีการขยายกระแสออกเอาต์พุต เพราะ (I_E) ไหลมากกว่า (I_B)

$$\gamma = \frac{I_o}{I_i} = \frac{I_E}{I_B} \tag{2.4}$$

5. อัตราขยายแรงดัน (Voltage gain) ใช้สัญลักษณ์ V_G หรือ A_V คืออัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาต์พุต (E_o) กับแรงดันอินพุต (E_i)

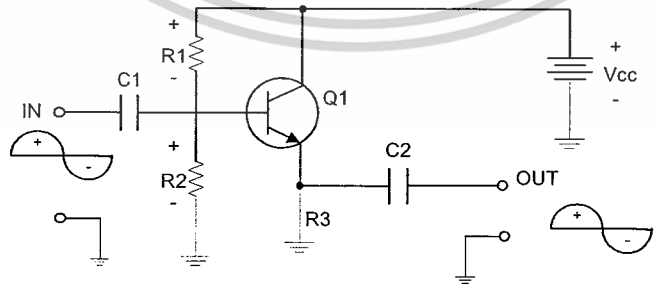
$$V_G = \frac{E_o}{E_i} = \frac{I_E R_L}{I_B R_B} \tag{2.5}$$

ค่า V_G ของวงจรคอลเลคเตอร์ร่วมจะมีค่าน้อยกว่า 1 คือ ไม่เกิดการขยายแรงดัน เพราะอิมพีแดนซ์ทางเอาต์พุต ต่ำ ทำให้ศักย์ตกคร่อมต่ำ และอิมพิแดนซ์ทางอินพุต สูง ทำให้ศักย์ตกคร่อมสูง เมื่อนำมาหาค่า V_G โดยนำแรงดันเอาต์พุตที่มีค่าน้อย ตั้งหาร ด้วยแรงดันอินพุตที่มีค่ามากค่าที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่า 1 ดังกล่าว

6. อัตราขยายกำลัง (Power gain) ใช้สัญลักษณ์ P_G คืออัตราขยายที่เกิดจากผลคูณของอัตราขยายกระแส (γ) กับอัตราขยายแรงดัน (V_G)

$$P_G = \gamma \times V_G \tag{2.6}$$

ค่า P_G ของวงจรคอลเลคเตอร์ร่วมจะมีค่าประมาณ 15-30 dB ค่า P_G จะเปลี่ยนแปลงตามค่าการเปลี่ยนแปลงของอัตราการขยายกระแสและอัตราขยายแรงดัน



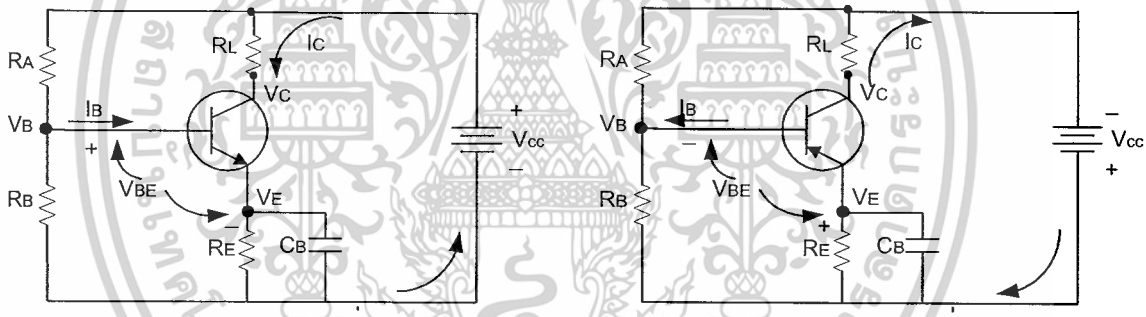
รูปที่ 2.26 วงจรขยายสัญญาณแบบที่ใช้งานจริงชนิดคอลเลคเตอร์ร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.26 เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบที่ใช้งานจริงชนิดคอลเลคเตอร์ร่วม ใช้แหล่งจ่าย Vcc ชุดเดียว สัญญาณอินพุตถูกป้อนเข้าที่ขา B ของ Q_1 และสัญญาณเอาต์พุตถูกส่งออกที่ขา E ของ Q_1 โดยที่ขา C ไม่ได้เป็นทั้งขาป้อนสัญญาณเข้าและขารับสัญญาณออกจึงเป็นขาร่วม R_1, R_2 จัดวงจรเป็นวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage Divider) จ่ายไบอัสให้กับขา B ของ Q_1 R_2 จะเป็นตัวจ่ายไบอัสให้ขา B R_1 เป็นตัวจำกัดกระแสที่จะไหลผ่าน R_2 เพื่อควบคุมแรงดันที่จะตกคร่อม R_2 ให้พอเหมาะ R_3 เป็นโหลดที่รับสัญญาณที่ขยายจาก Q_1 แล้วส่งมาตกคร่อม R_1 เพื่อส่งต่อสัญญาณนั้นออก เอาต์พุต

2.3.2 ไบอัสกระแสป้อนกลับ (Current Feed Back Bias)

ไบอัสกระแสป้อนกลับหรือไบอัสปรับให้คงที่ (Stabilize Bias) คือการจ่ายแรงดันไบอัสที่ ขา B ของทรานซิสเตอร์เป็นแบบไบอัสคงที่ โดยถูกจัดเป็นวงจรแบ่งแรงดัน การปรับให้คงที่โดยใส่ความต้านทานที่ขา E ที่เรียกว่าความต้านทานสเตบิไลซ์ (Stabilize Resistor) เป็นตัวช่วยปรับการจ่ายไบอัสให้ขา B ของทรานซิสเตอร์จ่ายพอเหมาะกับที่ทรานซิสเตอร์ต้องการ



(ก) ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN (ข) ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

รูปที่ 2.27 วงจรไบอัสกระแสป้อนกลับ

จากรูปที่ 2.27 เป็นวงจรไบอัสกระแสป้อนกลับ สามารถอธิบายหลักการทำงานได้ดังนี้ R_A, R_B ถูกจัดวงจรเป็นวงจรแบ่งแรงดัน R_A เป็นตัวจำกัดกระแสที่ไหลผ่านไป R_B มากหรือน้อย R_B เป็นตัวจ่ายไบอัสตรงให้ขา B ของทรานซิสเตอร์ได้แรงดันที่ขา B คือ V_B R_E เป็นความต้านทานสเตบิไลซ์ที่ช่วยปรับแรงดัน V_{BE} ที่จ่ายให้ทรานซิสเตอร์พอเหมาะกับที่ทรานซิสเตอร์ต้องการ C_B เป็นตัวกำจัดสัญญาณที่ถูกออกมาที่ขา E ทิ้งลงกราวด์เพื่อทำให้แรงดัน V_E ที่ขา E ของทรานซิสเตอร์มีเฉพาะแรงดันไฟ DC เท่านั้น2

เมื่อ จ่ายแรงดัน V_{BE} ให้วงจรถูกต้อง ทำให้เกิดกระแส I_B ไหล กระแส I_C ก็ไหลตามไปด้วย ทรานซิสเตอร์จะเกิดความร้อนขึ้น รอยต่อ C,E ของทรานซิสเตอร์จะลดค่าความต้านทานลง กระแส I_C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะไหลมากขึ้น มีกระแสไหลผ่าน R_E มากขึ้น เกิดศักย์ตกคร่อม R_E มากขึ้นคือ V_E มีศักย์มากขึ้น ทรานซิสเตอร์ NPN ที่ V_E มีบวกมากขึ้นทรานซิสเตอร์ PNP ที่ V_E มีศักย์ลบมากขึ้น ส่วนที่ขา B หรือแรงดัน V_B, V_E จะหักล้างกันเหลือเป็นแรงดัน V_{BE} ซึ่งแรงดัน V_{BE} จะลดลง ทำให้กระแส I_B ไหลลดลง ทรานซิสเตอร์ทำงานน้อยลงกระแส I_C ไหลน้อยลง ทรานซิสเตอร์ทำงานเข้าสู่สภาวะปกติ

ข้อดีของวงจรไบอัสแบบนี้ คือ มีความคงที่ต่ออุณหภูมิดีมาก R_E ที่เพิ่มขึ้นมากทำให้กระแส I_C ไหลคงที่ ถึงแม้ R_A, R_B เปลี่ยนค่าหรือคลาดเคลื่อนไปไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์

ข้อเสียของวงจรไบอัสแบบนี้คือใช้อุปกรณ์ในการต่อวงจรมาก ค่าใช้จ่ายก็เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

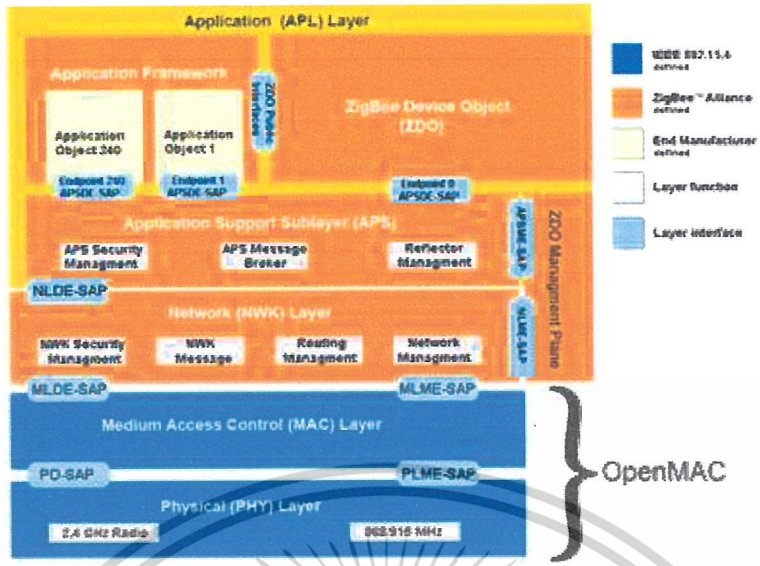
2.4 โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย 2.4GHz (Zigbee and Xbee BASIC)

ระบบสื่อสารไร้สาย (Wireless Telecommunication) มีมากมายหลายรูปแบบ เช่น GSM, CDMA, วิทยุย่าน 27 MHz และ 433 MHz , wireless lan, Wifi, WiMax ฯลฯ สำหรับในสมัยก่อน การจะทำเครื่องส่งเครื่องรับ ต้องมีความรู้ทางด้าน RF Engineer ซึ่งจะสามารถออกแบบวงจรเครื่องส่งเครื่องรับ, มีหน้าที่ทำการ Matching สายอากาศ, การออกแบบสายอากาศสำหรับย่านความถี่ต่าง ๆ ฯลฯ แต่สมัยนี้ มี IC RF ที่ Integrated รวมเอาภาคการออกแบบของ RF Engineer เข้าไปหลายส่วน ทำให้ง่าย ในระดับที่ไม่ต้องมีความรู้ทางด้าน RF Engineer ก็สามารถสร้างวงจรส่งและรับได้แล้ว

งานทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีความเกี่ยวข้องกับการสื่อสารทั้งสิ้น เช่น การสร้างเครือข่ายของระบบหนึ่งๆ, การติดต่อสื่อสารใช้งานอุปกรณ์ RF Module และ ที่คุ้นเคยกันดีก็คือการสื่อสารเพื่อใช้งานติดต่อกับอุปกรณ์อื่น ๆ ผ่าน Interface ต่าง ๆ เช่น RS232(UART), SPI, I2C, CAN, RS485, Ethernet, LAN, TCP/IP, USB ฯลฯ การเขียน software ลักษณะการ รับ stream data เพื่อมาเก็บใน buffer แล้วทำการ encapsulate, de-capsulate ข้อมูล เช่น การเขียนโปรแกรมทางด้าน network security, UART, I2C ฯลฯ แล้วนำข้อมูลไปใช้งาน เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับงานทางด้านการติดต่อสื่อสารเกือบทุกรูปแบบ

สำหรับการอธิบายในเชิงทฤษฎีนั้น การสื่อสารแต่ละแบบควรที่จะอธิบายอ้างอิงกับ OSI Layer ได้ ยกตัวอย่าง ระบบเครือข่าย LAN จะใช้โปรโตคอล TCP/IP ซึ่งสามารถที่จะแยกได้ว่า ขั้นตอนไหนจัดอยู่ในลำดับชั้น OSI Layer อะไร สำหรับ การสื่อสารไรสาย ก็จะสามารถอ้างอิงได้ว่า เป็นภาคทางด้าน Physical Layer หรือชั้นที่สูงขึ้น แยกแยะได้ตาม OSI Layer เช่นกัน

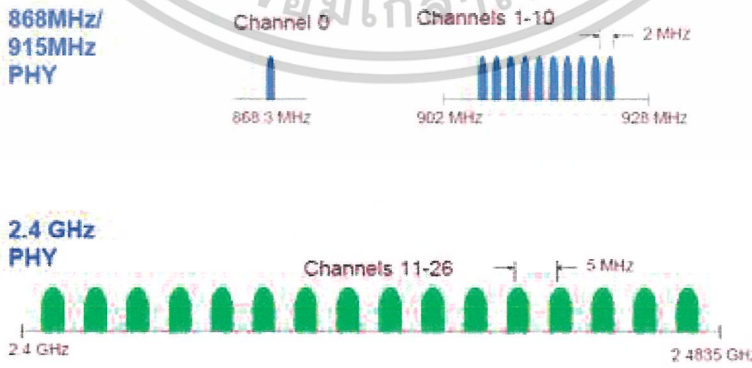
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.28 แสดง OSI Layer

ZigBee มาตรฐานสากล กำหนดโดย ZigBee Alliance เป็น การสื่อสารแบบไร้สาย ที่มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ใช้พลังงานต่ำ ราคาถูก จุดประสงค์ก็เพื่อให้สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้ ซึ่งระบบนี้ จะสามารถทำงาน ในร่ม กลางแจ้ง ทนแดด ทนฝน และอยู่ได้ด้วยแบตเตอรี่ก้อนเล็ก (เช่นถ่าน AA 2 ก้อน) นานเป็นเดือน เป็นปี เหมาะสมใช้งานกับพวก Monitoring ต่างๆ

Zigbee กำหนด ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่คือ ย่าน 2.4 GHz , ย่าน 915 MHz และย่าน 868 MHz โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง , 10 ช่อง และ 1 ช่อง ตามลำดับ ส่วนอัตรารับส่งข้อมูล (ทางอากาศ) จะอยู่ที่ 250 Kbps , 40 Kbps , 20 Kbps ตามลำดับเช่นกัน

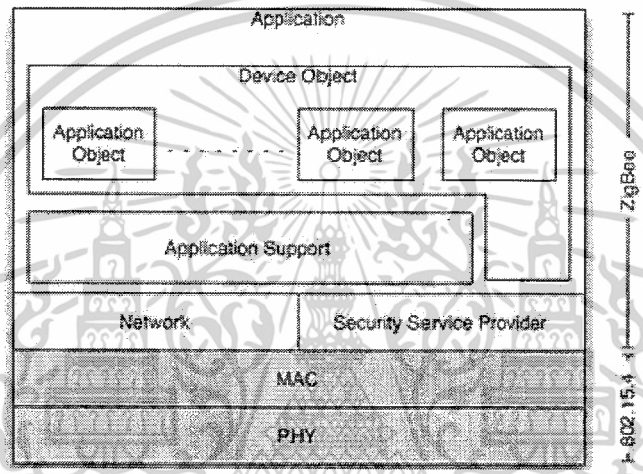


รูปที่ 2.29 แสดงย่านความถี่ของ Zigbee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ย่านความถี่ 2.4 GHz มี 16 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 250 Kbps
2. ย่านความถี่ 915 GHz มี 10 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 40 Kbps
3. ย่านความถี่ 868 GHz มี 1 ช่องสัญญาณ อัตรารับส่งข้อมูล 20 Kbps

Zigbee นำ Physical Layer และ MAC layer ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN (Wireless Personal Area Network) มาทำงานใน Layer ที่ต่ำกว่า เช่น เรื่องของ ระดับกำลังสัญญาณ , Link Quality , Access control , Security ฯลฯ



รูปที่ 2.30 แสดง Zigbee Stack

Zigbee สามารถสร้างเป็นเครือข่ายได้ ทั้งนี้ Zigbee ได้อ้างอิงมาตรฐานตาม IEEE 802.15.4 โดย IEEE 802.15.4 แบ่งชนิดอุปกรณ์ในเครือข่ายออกเป็น 2 ประเภท คือ FFD (Full Function Device) ซึ่งหมายถึง อุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในเครือข่าย และ RFD (Reduce Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในเครือข่าย

2.4.1 ลักษณะการทำงาน

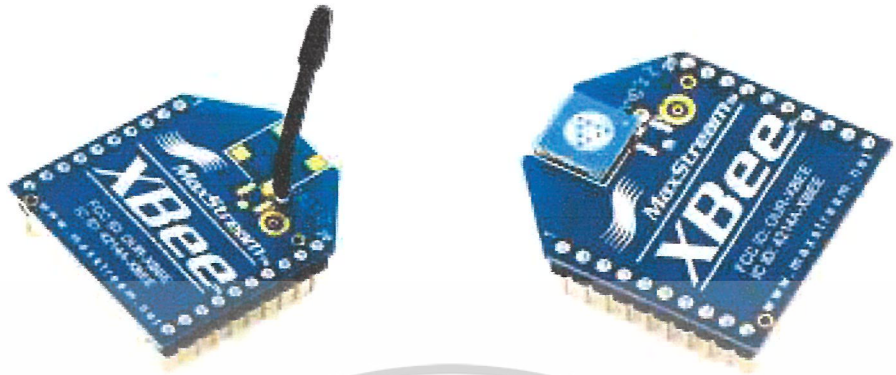
Zigbee ได้แบ่งตามลักษณะการทำงาน 3 แบบ คือ

1. Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่าง End device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนด address ให้กับ device ที่อยู่ในวงเครือข่าย ไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ Routing เส้นทาง ซึ่งเทียบได้กับ FFD

2. End-device เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจาก Sensor ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน เทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณี ขึ้นอยู่กับ sensor ที่ใช้

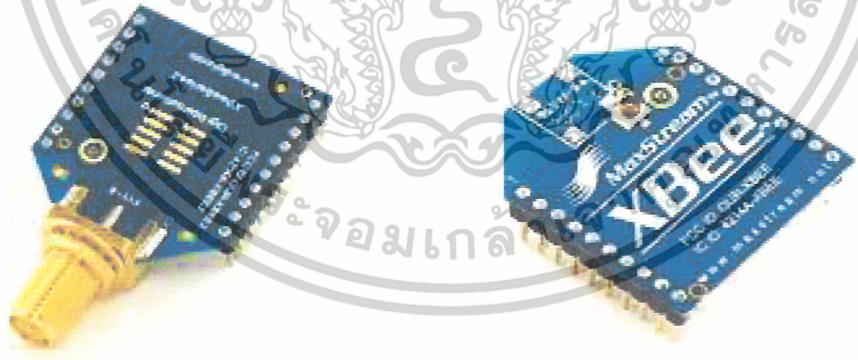
3. Router มีหน้าที่ รับส่งข้อมูล ในเส้นทางต่าง ๆ ของเครือข่าย ซึ่งเทียบได้กับ FFD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 แสดงสายอากาศแบบ Chip, Whip ตามลำดับ

Xbee เป็นอุปกรณ์ที่มี Microcontroller และ RF IC อยู่ภายใน ทำหน้าที่เป็น อุปกรณ์ transceiver (อุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ) แบบ Half Duplex ย่านความถี่ 2.4 GHz มีการจัดการโดยใช้พลังงานต่ำ ใช้งานง่าย มี interface ที่ใช้รับและส่งข้อมูลกับ Xbee เป็น UART (TTL) ซึ่งสำหรับทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ เรานำขาที่ใช้ติดต่อสื่อสาร UART ของ Xbee ต่อเข้ากับ UART ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้เลย



รูปที่ 2.32 แสดงสายอากาศแบบ RPSMA Connector , UFL Connector ตามลำดับ

Xbee สามารถใช้งานตามมาตรฐาน Zigbee ได้ โดยที่ท่านไม่ต้องเขียนโปรแกรมสร้าง เครือข่าย Zigbee เลย เพราะว่าทางผู้ผลิตได้จัดทำ firmware ที่จะโหลดเข้าไปในตัว Xbee ให้เราสามารถ set parameter ผ่าน software interface (X-CTU หรือโปรแกรมที่เขียนขึ้นเอง) , ผ่านทาง At command

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

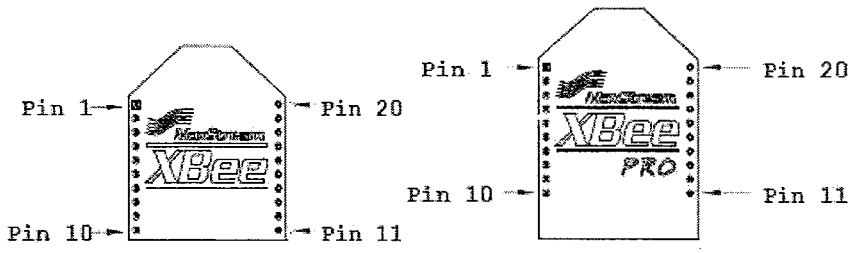
(เหมือนกับการควบคุม GSM Module) โดยใช้ Hyper terminal หรือ ผ่านทางการรับส่งข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้อย่างง่ายดาย โดยเมื่อ set Xbee ให้ทำงานเป็นอุปกรณ์ในเครือข่าย Zigbee แล้ว เราจะเรียก Xbee แต่ละตัวว่าเป็น Node

รูปที่ 2.33 แสดง Xbee Series1 Pro Whip ant

2.4.2 Feature Summary ของ Xbee โดยรวมที่เหมือนกัน

1. Operating Frequency ISM Band 2.4 GHz
(ISM Band หมายถึง ย่านความถี่ใช้งานเพื่อการวิจัย ซึ่งจะอนุญาตให้ใช้กับ อุตสาหกรรม (Industrial) วิทยาศาสตร์ (Scientific) และ ทางการแพทย์ (Medical) รวมเป็น ISM)
2. มีสายอากาศให้เลือกใช้หลายแบบ คือ แบบ Chip Ant , Whip Ant , UFL con , RPSMA con โดย 2 แบบหลัง เราต้องไปหาเสาอากาศย่าน 2.4 GHz ที่เป็น connector แบบ UFL หรือ SMA ครับ
3. Supply Voltage อยู่ที่ 2.8-3.4 V
4. Power Down Current < 10uA
5. มี RF data rate อยู่ที่ 250 Kbps (เป็นส่วนของ สัญญาณที่ส่งผ่านอากาศ)
6. มี Serial interface data rate อยู่ระหว่าง 1200 – 115200 Bps (เป็นส่วนที่ติดต่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรเลอร์)
7. เป็น Spread Spectrum ชนิด DSSS (Direct Sequence)
8. การกำหนด Addressing มีลำดับลักษณะคือ กำหนด PAN ID สำหรับเครือข่ายหนึ่งๆ, กำหนด Channel และ กำหนด address ของแต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.34 แสดงขาของ Xbeeจาก Datasheet

Xbee จะมีอยู่ 20 ขา โดยขอยกตัวอย่างจาก datasheet ที่ ThaiEasyElec ได้มาล่าสุด เป็นของรุ่น Xbee Series1 (Maxstream มักจะมีความเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับสินค้าอยู่บ่อยๆ) อธิบายหน้าที่แต่ละขาตามตาราง Datasheet หน้า 7 Xbee ยังมีขาที่เป็น Digital I/O และ Analog to Digital ขนาด 10 bits อีกด้วย แต่ไม่สามารถนำ Xbee ต่อลง Protoboard ได้โดยตรงเพราะความห่างช่องขาของ Xbee แคบกว่าช่อง Protoboard ท่านจะต้องทำ PCB ขึ้นมาเพื่อต่อใช้งานเลย , หรือไม่ก็หา Socket แปลงขาใช้งาน เป็นระยะห่างขามาตรฐาน (Pitch) เท่ากับ 2.54 mm หรือ 1 mil

Xbee จะมีอยู่ 2 รุ่นคือ รุ่น series1 (รุ่น 802.15.4 หรือ รุ่น point to multipoint) และ รุ่น series 2 (รุ่น ZNET2.5 หรือ รุ่น ZB หรือ รุ่น Mesh) และยังมีขนาด power ให้เลือกอีก 2 แบบ คือ แบบธรรมดา (1 mw – 2 mw) และ แบบ PRO (50mw- 60 mw) ซึ่งจะมีผลเรื่องระยะทางการรับส่งข้อมูล โดยแต่ละ series นั้น สามารถเครือข่ายได้หลายแบบ แต่จะมีเพียงแต่ series 2 เท่านั้นที่จะทำเครือข่ายแบบ mesh ได้

series 1

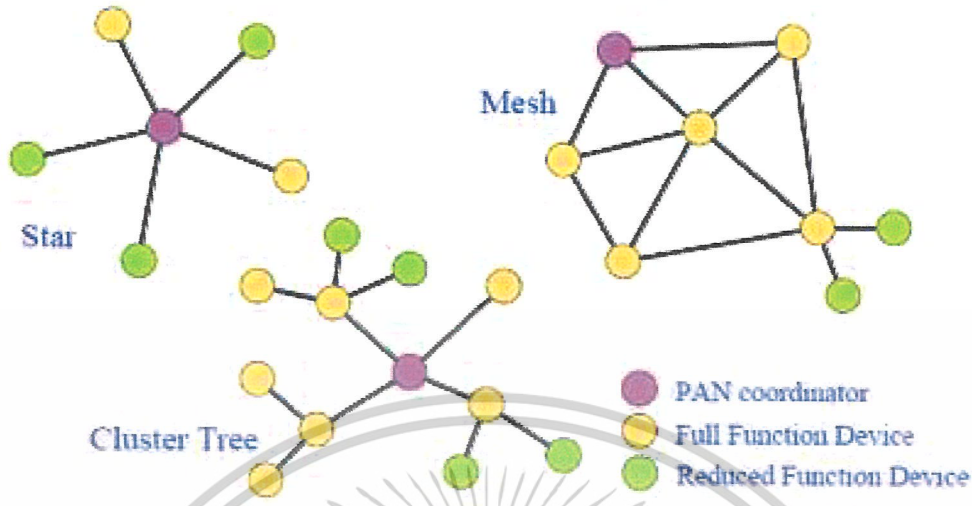
Peer-to-peer, point-to-point, point-to-multipoint

series 2

Mesh, Peer-to-peer, point-to-point, point-to-multipoint

peer-to-peer network หมายถึง เครือข่ายที่อยู่ในระดับชั้นเดียวกัน ยกตัวอย่าง ใน OSI Layer เช่น ระดับ Transport Network Layer กับ Transport Network Layer นั่นก็คือ TCP Protocol ระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่อง แต่สำหรับ Xbee คำว่า peer-to-peer network หรือ Non Beacon Network คือ การที่เรา set node เป็น End Device หมดทุกตัว ไม่มีการกำหนดตายตัวว่า ตัวใดจะเป็น Master ตัวใดจะเป็น Slave แต่จะให้ระบบจัดการกันเอง โดยในเครือข่าย จะต้องกำหนด parameter ID (PAN ID) และ CH (Channel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 แสดงเครือข่าย Zigbee แบบ Star, Cluster, Mesh

โดยการศึกษาการใช้งาน Xbee นั้น ในเบื้องต้น เราสามารถทดสอบด้วยการ ปรับ parameter ที่สำคัญต่าง ๆ ผ่าน software user interface ได้ ท่านสามารถ download software user interface ที่ใช้ร่วมกันกับ Xbee ชื่อ X-CTU มาได้ฟรีจาก Maxstream (digi) ครับ การใช้งาน ท่านสามารถอ่านจากคู่มือ X-CTU Configuration & Test Utility Software User Guide

นอกจากใช้ software แล้ว ต้องมีอุปกรณ์ที่จะเชื่อมต่อ Xbee เข้ากับคอมพิวเตอร์เพื่อทำการติดต่อสื่อสารกับ X-CTU ด้วยครับ อุปกรณ์ที่ว่านี้ คือตัวที่จะนำขาบางขาของ Xbee มาต่อเข้ากับ max232 เพื่อเปลี่ยนระดับสัญญาณ TTL ให้สามารถติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ผ่าน RS232 (DB9) ได้ หรือเราจะใช้ FT232RL สำหรับแปลง serial เป็น USB ในกรณีที่ computer ไม่มีพอร์ต DB9 แล้วก็ได้

ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อ Update , Config Parameter โปรแกรม firmware ใหม่ และสำหรับใช้ทำการทดสอบเบื้องต้น เช่น Xbee Dongle , Xbee Breadboard , X-bee RS232 (DB9) Dongle , Xbee Convert Socket อุปกรณ์เหล่านี้ถือว่าเป็นอุปกรณ์เสริมที่ลดภาระงานทางด้าน Hardware ได้ส่วนหนึ่ง

2.4.3 กำลังส่ง สายอากาศ และ สัญญาณ รบกวน ของ Xbee

Xbee นั้น ใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นย่านเดียวกันกับ Bluetooth หรือ Wireless Lan สัญญาณมันจะกวน และเราก็ยังใช้เครื่องโทรศัพท์แบบ ถือไปมาได้ (2.4 GHz cordless telephones) ซึ่งก็ใช้ย่าน 2.4 GHz เช่นกัน แล้วเราก็ทดสอบใช้งาน Xbee ด้วยครับ ผลปรากฏว่า การรับส่งสัญญาณก็ขาดหายไปบ้าง แต่บางครั้งก็ครบถ้วน นั่นอาจเป็นเพราะกำลังส่งของ Xbee และระยะทางของ node ที่เราทดสอบใกล้กันมาก ช่องสัญญาณย่านความถี่ 2.4 GHz นี้เรียกว่าเป็นย่านไมโครเวฟ หลักสำคัญของย่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครเวฟอย่างหนึ่งคือ การวางตำแหน่งตัวรับส่งสัญญาณนั้น ต้องตั้งแบบ line of sight (ไม่มีสิ่งกีดขวางใด ๆ) ถึงจะได้สำลังส่งสูงสุด สำหรับกำลังส่งของ Xbee ในรุ่น Pro จะใช้ 50-60 mw ใน datasheet บอกว่าได้ไกลถึง 1.5 km. แต่ก็ต้องเป็นลักษณะ ของ line of sight ครับ หากไม่ใช่เงื่อนไขนี้ เราจะได้ระยะการรับส่งสัญญาณที่ลดลง นอกเหนือจากเรื่อง line of sight แล้ว ยังมีเรื่องสัญญาณรบกวนต่าง ๆ มาถึงเรื่องของสายอากาศครับ ตัว Xbee มีให้เลือกที่เป็นแบบสำเร็จรูปพร้อมใช้ ไม่ต้องหาสายอากาศมาต่อเพิ่มคือ สายอากาศแบบ chip ant และ whip ant ซึ่ง Pattern การแพร่กระจายคลื่นจะบ่งบอกเราอย่างหนึ่ง(จากหลาย ๆ อย่าง) ได้ว่า สายอากาศนี้ จะมีอัตราการขยายดีอย่างไร

Chip ant นั้น ก็มีข้อดีตรงที่มันทำให้ขนาด Dimension รวมมันเล็กลง แต่ Gain น้อยกว่าแบบ Whip ant ครับ Chip ant จึงมีระยะรับส่งข้อมูลที่ลดลงจาก spec ใน datasheet ยกตัวอย่างเช่น รุ่น Pro ที่บอกว่าสามารถส่งได้ไกลสูงสุด 1.5 km แบบ line of sight แต่ถ้าเราเลือก chip ant แล้ว จะได้ระยะสูงสุดอยู่ที่ 500 กว่าเมตร

Xbee Association

ในเครือข่าย Zigbee ต้องมีการทำงานในโหมดประหยัดพลังงาน ในช่วงเวลาที่ไม่มีการทำงานรับส่งข้อมูล ดังนั้นตัว Xbee จึงมี Parameter ที่จะกำหนดการทำงานสำหรับ Sleep mode อยู่ครับ (Parameter A1,A2,SP,ST)

Xbee Addressing

ตัว Xbee จะสามารถกำหนดค่าประจำตัวอ้างอิงของมัน (Address) 2 แบบ คือ แบบ 16 bit address และ 64 bit address ปกติแล้ว Xbee ทุกตัวจะถูกกำหนดค่ามาจากโรงงานเป็น Address 64 bit อยู่แล้ว ซึ่งจะสามารถอ่านค่าได้จาก parameter SH+SL การใช้งาน Address 64 bit สามารถทำได้โดยกำหนด parameter MY ให้มีค่า 0xFFFF หรือ 0xFFFE ส่วน การกำหนด 16 bit addressนั้นทำได้โดยกำหนด parameter MY ให้มีค่าน้อยกว่า 0xFFFE โดยจะเรียกเป็น mode การทำงาน 2 ประเภทคือ

1. Unicast Mode คือ การรับส่งข้อมูล โดยอาศัยหลักการ Acknowledgement คือหากทางด้านส่งนั้น ส่งข้อมูลไป แต่ไม่ได้รับ Ack ตอบกลับจากตัวรับ ก็จะทำการส่งข้อมูลใหม่

2. Broadcast Mode คือการส่งข้อมูลไปยังปลายทางให้ได้รับข้อมูลทุกตัว

Xbee Operation Mode

Xbee จะสามารถแบ่งช่วงการทำงานได้เป็น 5 แบบ คือ

1. Idle Mode โหมดนี้ จะเป็นโหมดที่ไม่ได้รับส่งข้อมูล ตัว Xbee เตรียมที่จะทำงานในโหมดอื่น ๆ ต่อไปทันที หากมีเงื่อนไขบางอย่าง

2.-3. Transmit / Receive Mode (พูดรวม 2 Mode ครับ) คือช่วงที่ Xbee มีการรับ หรือ ส่งข้อมูล โดยจะแบ่งลักษณะการทำงานย่อยออกเป็น Direct กับแบบ Indirect , การกำหนด Address ต้นทางและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

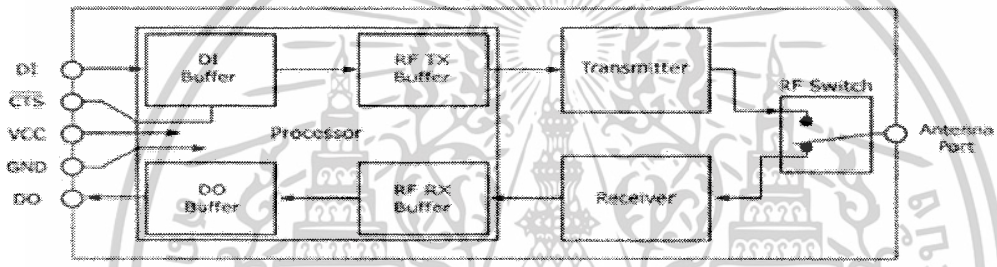
ปลายทาง , Clear Channel Assessment และ การตอบรับ Acknowledgement

4. Sleep Mode คือ ช่วงที่ Xbee อยู่ในสถานการณ์ทำงานพลังงานต่ำที่สุด เมื่อไม่มีการใช้งาน

5. Command Mode คือ เป็นส่วนการปรับ parameter ของ Xbee ซึ่งจะมีการกำหนด 2 แบบคือ แบบ AT command กับแบบ API Command

โดยบทความนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะ AT Command Mode และกล่าวถึงบาง Parameter ที่เป็นพื้นฐานสำหรับการทำเครือข่ายแบบ Point-to-Point ครับ สำหรับ API command จะขอกล่าวในบทความ Xbee ตอนต่อไปครับ

Data Throughput ของ Xbee



รูปที่ 2.36 แสดงแผนผังการไหลของข้อมูลที่อยู่ภายใน

โดยทั่วไปการใช้งาน RF Module ควรจะกำหนดให้มี Buffer ด้วย เพื่อการปรับอัตรารับส่งข้อมูลระหว่างตอนที่รับส่งทางอากาศ กับตอนที่รับส่งไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ อุปกรณ์อื่นๆ ได้อย่างเหมาะสม

Data ที่รับส่งระหว่าง MCU กับ Xbee จะมีข้อจำกัด เรื่อง Packet อาจถูก Drop ได้ เนื่องมากจาก Data Over Flow โดยสำหรับด้านการส่งข้อมูลไปที่ Xbee เพื่อออกอากาศนั้น ที่ ขา DI จะมี Buffer อยู่ประมาณ 202 Bytes หากส่งเกิน Buffer จะเกิดการ Drop packet ทิ้ง ซึ่งทางฝั่งรับข้อมูล ที่ขา DO ก็มี Buffer อยู่เช่นกัน โดยจะมี Parameter ที่เกี่ยวข้องกับ Data Throughput คือ RO และ BD ค่า RO คือค่า Packetization Timeout ซึ่งเป็น delay ของข้อมูลที่อยู่ใน DI Buffer ก่อนที่จะถูก encapsulate ไปที่ส่วน RF transmission เพื่อส่งข้อมูลออกอากาศ หากตั้ง RO = 0 Data ที่รับเข้ามาจาก MCU จะถูก Xbee Encapsulate Packet ส่งออกอากาศทันที ดังนั้นเราจะมี Parameter RO และ BD ที่จะช่วยในการปรับ Data รับส่งให้สามารถรับส่งกันได้ทัน ไม่ให้มีการ Drop Packet ได้ ในกรณีที่ส่งข้อมูลเกิน 200 Bytes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมี PIN CTS(ขา12) และ RTS(ขา16) ช่วยเตือนเราเวลาที่ Buffer ภายในใกล้จะเต็มด้วยครับ โดยในฝั่งส่ง DI Buffer จะส่ง Signal มาทาง CTS เมื่อ DI Buffer เหลือพื้นที่จัดเก็บอยู่อีก 17 Bytes และส่ง Clear Signal ที่ CTS เมื่อ DI Buffer เหลือพื้นที่จัดเก็บมากกว่า 34 Bytes

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช

เนื่องจากเราทำการปลูกพืชบนดินและทำการให้น้ำเพื่อให้พืชเจริญเติบโต ดังนั้นจึงจำเป็นที่ควรทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างดิน น้ำ และพืช ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบให้น้ำ ที่นี้จะขอกล่าวถึงคือ

- คุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืช
- คุณสมบัติของน้ำที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืช
- คุณสมบัติของพืชที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืช

2.5.1 คุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืช

เนื่องจากดินเปรียบเสมือนถังน้ำหรือที่เก็บน้ำโดยธรรมชาติให้แก่พืชนำไปใช้ โดยรากของพืชจะดูดเอาความชื้นในดินไปใช้อีกทอดหนึ่ง น้ำที่เก็บให้พืชนำไปใช้นี้จะอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่เป็นของแข็ง ซึ่งช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่เป็นของแข็ง ซึ่งช่องว่างเหล่านี้ถ้าไม่มีน้ำบรรจุอยู่ก็จะมีอากาศเข้าไปแทนที่

คุณสมบัติที่สำคัญของดินที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืชที่สำคัญ คือ

2.5.1.1 องค์ประกอบของดิน

ดินมีองค์ประกอบ 4 ส่วน อนินทรีย์วัตถุ อินทรีย์วัตถุ น้ำและอากาศ องค์ประกอบของดินแต่ละส่วนมีประโยชน์ต่อการผลิตพืช ดังนี้

1) **อนินทรีย์วัตถุ** เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของดิน เกิดจากการสลายของหินและแร่ต่างๆ ออกเป็นชิ้นเล็กๆที่มีขนาดต่างๆ กัน ดิน แต่ละแห่งจะมีขนาดของอนินทรีย์วัตถุและชนิดของแร่ธาตุแตกต่างกัน ขึ้นกับการย่อยสลายที่เกิดขึ้นแต่ละชนิดของดินและแร่ธาตุต้นกำเนิดดิน

2) **อินทรีย์วัตถุ** ในดินประกอบด้วยเศษซากพืชซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยแล้ว ที่กำลังถูกย่อยสลายสารที่หลงเหลือจากการย่อยสลายดังกล่าวและสารที่ได้จากการสังเคราะห์ของจุลินทรีย์ดิน สารต่างๆ เหล่านี้รวมเรียกว่า ฮิวมัส ซึ่งเป็นสารแขวนลอยสีดำหรือสีน้ำตาล มีคุณสมบัติในการดูดยึดน้ำและธาตุอาหารพืชได้สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับสารอนินทรีย์ อินทรีย์วัตถุทำให้ดินร่วนโปร่ง มีการระบายน้ำและอากาศดี เป็นที่มาของธาตุอาหารพืชหลายชนิด เช่น ธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และการย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ทำให้ได้ฮิวมัสเพิ่มขึ้นอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

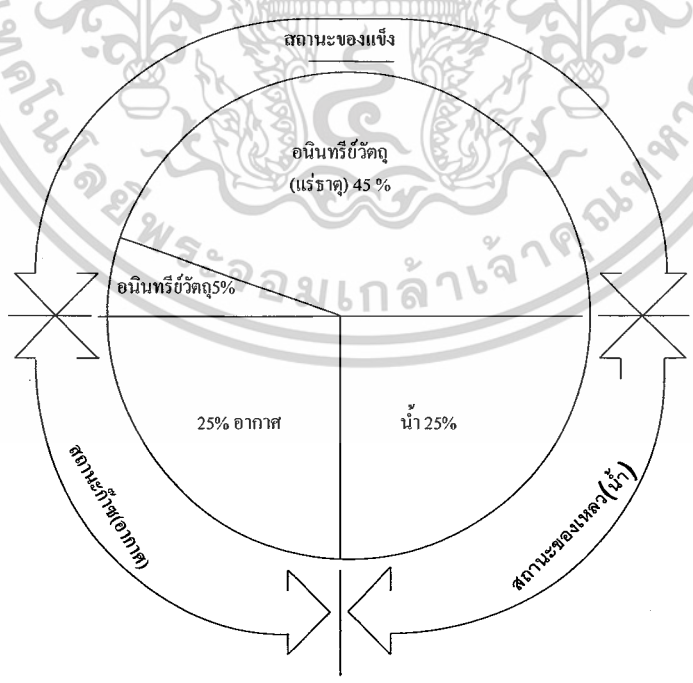
3) **น้ำ** น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญของพืช น้ำในดินนอกจากจะเป็นแหล่งที่รากพืชดูดขึ้นมาหล่อเลี้ยงต้นพืชแล้วยังช่วยสามารถนำไปใช้ได้

4) **อากาศ** ช่องว่างระหว่างเม็ดดินส่วนที่ไม่มีน้ำอยู่จะเป็นที่อยู่ของอากาศ รากพืชใช้ออกซิเจนในการหายใจเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงานที่ใช้ในการดูดน้ำและธาตุอาหาร โดยทั่วไปแล้วอากาศในดินมีออกซิเจนน้อยกว่าอากาศบนดิน ดังนั้นการถ่ายเทอากาศของดินจึงมีความจำเป็น ดินที่มีการถ่ายเทอากาศน้อยจะมีปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์

ส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชโดยทั่วไป ควรมีอนินทรีย์วัตถุร้อยละ 45 อินทรีย์วัตถุร้อยละ 5 น้ำร้อยละ 25 และอากาศร้อยละ 25 โดยปริมาตร

2.5.1.2 สถานะของดิน

ดินมีส่วนประกอบ 4 อย่างคือ อินทรีย์วัตถุ อนินทรีย์วัตถุ น้ำ และอากาศ จากส่วนประกอบดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 3 สถานะคืออินทรีย์วัตถุกับอนินทรีย์วัตถุรวมกันเป็นส่วนของแข็งหรือสถานะ ของแข็ง ที่เหลือจะเป็นช่องว่าง และช่องว่างเหล่านั้นจะเป็นที่อยู่ของ ของเหลว ซึ่งเป็น อากาศ ที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินที่มิได้เป็นของเหลวดังแสดงในรูปที่ 2.28 สำหรับช่องว่างในดินแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ ช่องว่างในดินขนาดใหญ่ ช่องว่างในดินขนาดกลางและช่องว่างในดินขนาดเล็ก ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของช่องว่างและ คุณสมบัติของช่องว่างดังแสดงในตารางที่ 2.10



รูปที่ 2.37 ส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชโดยปริมาตรและสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 ขนาดช่องว่างภายในดิน

ขนาด	เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องว่าง (มิลลิเมตร)	สมบัติของช่องว่าง
ใหญ่	มากกว่า 0.01	น้ำซึมผ่านช่องว่างในดินได้ง่าย ช่องว่างเหล่านี้จึงเป็นที่อยู่ของอากาศในดินเป็นที่อยู่ของอากาศในดิน
กลาง	0.0002 – 0.01	น้ำถูกดินยึดเอาไว้ได้และพืชนำน้ำ
เล็ก	น้อยกว่า 0.0002	ขึ้นมาใช้ประโยชน์ได้เมื่อดินแห้งช่องว่างนี้เป็นที่อยู่ของอากาศ ดินดูดยึดน้ำได้อย่างเหนียวแน่น พืชนำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ ช่องว่างนี้จะสูญเสียน้ำเมื่อดินแห้งมาก

2.5.1.3 เนื้อดิน

เนื้อดินเป็นคุณสมบัติของดินที่บ่งถึงความหยาบของดิน หรือความละเอียดของดิน เนื้อดินหมายถึงสัดส่วนอนุภาคอนินทรีย์วัตถุของดิน หรือคุณสมบัติของดินที่เกี่ยวข้องกับเม็ดดิน 3 ชนิด ได้แก่ เม็ดทราย (Sand) เม็ดซิลท์หรือทรายแป้ง (Silt) และเม็ดดินเหนียว (Clay) ในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน

ดินที่มีอนุภาคของทรายเป็นส่วนประกอบมากกว่าเรียกว่า ดินเนื้อหยาบ และดินที่มีอนุภาคดินเหนียวเป็นส่วนประกอบมากเรียกว่าดินเนื้อละเอียด จะมีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดีกว่าดินทรายซึ่งมีคุณสมบัติให้น้ำซึมผ่านได้ง่ายมีการระบายน้ำดีแต่อุ้มน้ำได้น้อย

การแบ่งเนื้อดินสามารถแบ่งได้ระเอียดตามวัตถุประสงค์ของการแบ่ง โดยทั่วไปนิยมยึดถือตามมาตรฐานของสององค์กร คือ ระบบการแบ่งของกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา (US Department of Agriculture Scheme) และระบบสากล (International Scheme) ดังแสดงในตารางที่ 2.11

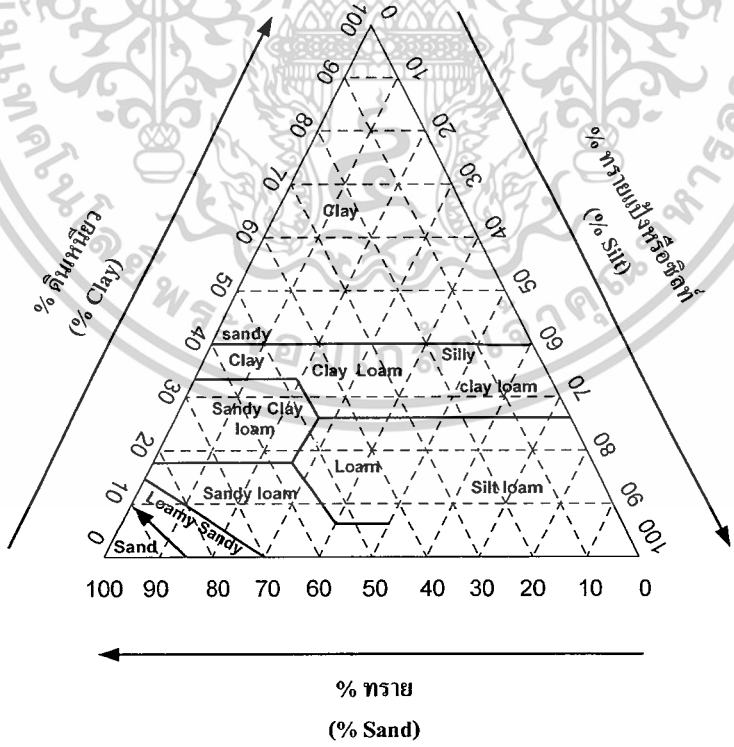
วิธีการอ่านผลผลการแบ่งเนื้อดิน ในสภาพความเป็นจริงดินประกอบด้วยอนุภาคขนาดต่างๆ กัน ดังนั้นในการจำแนกเนื้อดินจึงพิจารณาสัดส่วนของดินที่มีขนาดต่างๆ ว่ามีอยู่ร้อยละ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่าใดแล้วเปรียบเทียบกับสามเหลี่ยมมาตรฐานเพื่อจำแนกประเภทเนื้อดินในรูปที่2.29

ตารางที่ 2.11 การแบ่งอนุภาคปฐมภูมิของดิน

ระบบกระทรวงเกษตรสหรัฐอเมริกา		**ระบบสากล**	
ชื่อกลุ่ม	**เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (มม.)**	**ชื่อกลุ่ม**	**เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (มม.)**
ทรายหยาบมาก	2.0 – 1.0		
ทรายหยาบ	1.0 - 0.5	ทรายหยาบ	2.0 – 0.2
ทรายปานกลาง	0.5 – 0.25	ทรายละเอียด	0.20 – 0.02
ทรายละเอียด	0.25 - 0.10	ทรายแป้ง	0.02 -0.002
ทรายละเอียดมาก	0.10 – 0.05	ดินเหนียว	เล็กกว่า 0.002
ทรายแป้ง	0.05 -0.002		
ดินเหนียว	เล็กกว่า 0.002		



รูปที่ 2.38 สามเหลี่ยมมาตรฐานเพื่อการจำแนกประเภทเนื้อดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น จากผลการวิเคราะห์ดินพบ ว่าดินนั้นประกอบด้วยทราย(Sand) ร้อยละ 30 ทรายแป้ง (Silt) ร้อยละ 40 และดินเหนียว (Clay) ร้อยละ 30 เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับสามเหลี่ยมมาตรฐาน จะพบว่า ดินชนิดนี้เป็นดินประเภท Clay Loam หรือดินร่วนเหนียว หรือดินร่วนปนดินเหนียว

จากประเภทของดินในสามเหลี่ยมมาตรฐานซึ่งมี 12 ชนิดนั้นสมารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ ดินเนื้อหยาบ ดินร่วน และดินเนื้อละเอียด ซึ่งแต่ละกลุ่มมีข้อดีข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่มเพื่อการเกษตรกรรมและการจัดการน้ำแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 ประเภทของเนื้อดิน ข้อดีข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่ม

กลุ่มของเนื้อดิน	ประเภทของเนื้อดิน		ข้อดีและข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่ม	
	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ดินเนื้อหยาบ	1. Sand 2. Loamy Sand	ดินทราย ดินทรายร่วนหรือดินทรายปนดินร่วน	1. ไถพรวนง่าย	1. อุ้มน้ำและธาตุอาหารได้น้อย 2. ระบายน้ำได้เร็วเกินไป
2. ดินร่วน	3. Sandy loam 4. Loam 5. Silt loam 6. Silt 7. Sandy clay 8. Clay loam	ดินร่วนปนทราย ดินร่วน ดินร่วนปนซิลท์หรือดินร่วนปนตะกอนหรือดินร่วนปนทรายแป้ง ทรายแป้งหรือซิลท์หรือดินตะกอน ดินร่วนเหนียวปนทราย ดินร่วนเหนียวหรือดินร่วนปนดินเหนียว	1. ไถพรวนง่าย 2. อุ้มน้ำและธาตุอาหารได้มากพอสมควร 3. ระบายน้ำและอากาศดีพอสมควร 4. เหมาะแก่การปลูกพืช	1. ธาตุอาหารถูกชะล้างได้ง่าย 2. ความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.12 (ต่อ)

กลุ่มของเนื้อดิน	ประเภทของเนื้อดิน		ข้อดีและข้อเสียของเนื้อดินแต่ละกลุ่ม	
	ชื่อภาษาอังกฤษ	ชื่อภาษาไทย	ข้อดี	ข้อเสีย
3. ดินเนื้อละเอียด	9. Silty clay loam	ดินร่วนเหนียวปนทรายแป้ง หรือดินร่วนเหนียวปนซิลท์ หรือดินร่วนเหนียวปนตะกอน	1. อุ้มน้ำอาหารและธาตุได้มาก	1. ระบายน้ำและอากาศไม่ดี
	10. Sandy clay	ดินเหนียวปนทราย	2. ความอุดมสมบูรณ์ของดินสูง	ไถพรวนยาก
	11. Silty clay	ดินเหนียวปนทรายแป้ง หรือดินเหนียวปนซิลท์ หรือดินเหนียวปนตะกอน		
	12. Clay	ดินเหนียว		

2.5.1.4 โครงสร้างของดิน

หมายถึง คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการเรียงตัวและเกาะกันระหว่างเม็ดดินเป็นก้อน ซึ่งการจัดเรียงตัวของอนุภาคปฐมภูมิของดินเป็นอนุภาคทุติยภูมิ ซึ่งนิยม เรียกว่า “เม็ดดิน” (soil aggreagate) ปกติแล้วโครงสร้างของดินกำหนดจากรูปร่าง ขนาด ความคงทนต่อการแตกแยกของเม็ดดิน

โครงสร้างของดินจะมีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศในดิน อัตราการซึมของน้ำลงในดิน ตลอดจนการแผ่กระจายของรากพืช ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงโครงสร้างของดินในเขตรากพืชด้วยการเขตกรรมเสมอ

โครงสร้างของดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชมักเกิดขึ้นในดินชั้นบนที่เคยมีการไถพรวนมาบ้างแล้วเป็นดินที่โปร่ง ร่วนซุย เหมาะแก่การเพาะปลูก โครงสร้างของดินนี้เกิดจากอินทรียวัตถุและพืช เช่น พืชจำพวกหญ้าและพืชตระกูลถั่ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.5 ความโปร่งและความแน่นทึบของดิน

หมายถึงปริมาตรของช่องว่างที่มีอยู่ในดินซึ่งเกิดจากการยึดตัวของอนุภาคดิน ที่เป็นของแข็งดินที่มีปริมาตรของช่องว่างมากกว่าเป็นดินโปร่งดินที่มีปริมาตรของช่องว่างน้อยถือว่าเป็นดินแน่นทึบ

แม้ว่าดินที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกพืชควรมีช่องว่างในดินเป็นปริมาตรร้อยละ 50 แต่ ช่องว่างแต่ละขนาดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน สัดส่วนของขนาดช่องว่างที่เหมาะสมคือ ช่องว่างในดินขนาดใหญ่ : ช่องว่างในดินขนาดกลาง: ช่องว่างในดินขนาดเล็ก คือ 5: 4: 1

ปริมาตรและขนาดของช่องว่างในดินขึ้นกับขนาดของอนุภาคของดิน ปริมาณของอินทรีย์วัตถุในดินและโครงสร้างของดิน ดินที่มีอนุภาคใหญ่เช่น ดินทราย แต่มีช่องว่างขนาดใหญ่มีปริมาตรรวมของช่องว่างน้อย ขณะที่ดินที่มีอนุภาคเล็ก เช่น ดินเหนียวมีขนาดของช่องว่างเล็กแต่ปริมาตรรวมของช่องว่างมาก

การเพิ่มอินทรียวัตถุในดินทำให้ดินร่วนซุยขึ้น หรือทำให้ดินโปร่งขึ้นเพราะอินทรีย์วัตถุในดินเป็นสิ่งที่ช่วยทำให้ดินจับตัวเป็นเม็ด ทำให้ช่องว่างในดินเพิ่มขึ้น

2.5.1.6 ความลึกของดิน

เป็นความลึกของดินที่มีคุณสมบัติให้รากพืชสามารถเจริญเติบโตจึงเป็นที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน การกระจายรากพืช การทราบความชื้นของดินสามารถใช้ในการกำหนดความถี่ในการให้น้ำแก่พืช

ตารางที่ 2.13 ชั้นความลึกของเนื้อดิน

ระยะความลึก (นิ้ว)	ชั้นความลึก
0-10	ดินตื้นมาก
10-20	ดินตื้น
20-40	ดินลึกปานกลาง
40-60	ดินลึก

2.5.1.7 การเรียงตัวของชั้นดิน

จะมีผลต่อความสามารถในการเก็บกักน้ำของดินขึ้นอยู่กับการเรียงตัวและขนาดของอนุภาคของดิน ความลึกของดิน อินทรีย์วัตถุในดินและการจัดการที่เกี่ยวข้องกับดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 คุณสมบัติของน้ำที่เกี่ยวข้องกับความต้องการน้ำของพืช

2.5.2.1 ลักษณะของน้ำในดิน

ปกติแล้วน้ำอยู่ในดินได้เพราะคุณสมบัติของโมเลกุลของน้ำสามารถยึดติดกันเองได้ และสามารถเกาะติดกับผิวของสารอื่นได้ดีถ้าสารที่เกาะติดนั้นมีพื้นผิวดินประกอบด้วยอะตอมขอออกซิเจน และสร้างพันธะให้เกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำละผิววัตถุ เนื่องจากการที่ผิวของอนุภาคของดินมีอะตอมของออกซิเจนเรียงรายอยู่โดยรอบนอก จึงสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำและดูดซับไว้เป็นชั้นๆ โดยรอบอนุภาคดิน แต่การดูดซับด้วย แรงดูดซับ (Absorptive force) ระหว่างน้ำกับอนุภาคดินผันแปรกับระยะห่างจากผิวอนุภาคกล่าวคือน้ำส่วนที่อยู่ห่างจากผิวผิวอนุภาคดินจะถูกดูดซับด้วยแรงที่น้อยลงกว่าส่วนที่อยู่ใกล้ผิวอนุภาคดิน ดังนั้น โมเลกุลของน้ำรอบนอกนี้สามารถเคลื่อนไหวไปที่อื่นได้ง่ายกว่าน้ำที่อยู่ชั้นใน และหากว่ามีน้ำในดินมากขึ้นแล้วชั้นน้ำรอบๆ อนุภาคดินก็จะรวมตัวกันในช่องว่างระหว่างอนุภาคหรือช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

เมื่อฝนตกหรือเมื่อเราให้น้ำแก่ดิน น้ำจะซึมเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินและยึดติดกับเม็ดดินด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับเม็ดดิน และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำที่เป็นแรงดูดซับดังกล่าว การที่จะทำให้น้ำในดินเคลื่อนที่หรือดูดน้ำออกจากดินจึงต้องใช้แรงมากกว่าแรงดังกล่าวนี้ ขนาดของแรงที่จะใช้อยู่ในรูปของแรงดึงขนาดต่างๆ กัน และจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน กล่าวคือ ถ้าดินยิ่งมีความชื้นมากเท่าใดน้ำที่เกาะอยู่รอบๆ เม็ดดินก็จะหนามากขึ้น โมเลกุลของน้ำที่อยู่ห่างจากเม็ดดินมากก็จะไม่ได้รับอิทธิพลจากแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของดิน ดังนั้นน้ำที่อยู่ห่างจากเม็ดดินนี้จุถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยแรงดึงดูดของโลก หรือไหลไปสู่เม็ดดินที่มีน้ำเกาะติดบางกว่าได้ง่าย แต่เมื่อความชื้นในดินลดลงแรงยึดเหนี่ยวจากแรงดึงดูดซับของดินจะมีอิทธิพลมากขึ้นทำให้การที่จะดูดน้ำไปจากดินจะต้องใช้แรงมากขึ้น หรืออาจจะกล่าวได้ว่าเมื่อความชื้นในดินลดลงมากเท่าใด การที่จะแยกน้ำหรือความชื้นที่ดินยึดไว้ก็จะต้องใช้แรงดึงความชื้นมากขึ้นเท่านั้น

สำหรับแรงดึงความชื้น คือแรงที่ใช้วัดความเหนียวแน่นที่ดินยึดน้ำไว้และเป็นแรงที่จะต้องใช้เพื่อที่จะดูดเอาความชื้นซึ่งมักจะวัดเป็นบาร์ (Bar) หรือบรรยากาศ (atmosphere)

แรงดึงความชื้นของดินมีความสัมพันธ์กับจำนวนความชื้นในดินที่พืชจะนำไปใช้ได้ กล่าวคือ ถ้าหากดินแห้งจะมีแรงดึงความชื้นสูงมาก นั้นคือ พืชจะต้องใช้แรงดึงมากเพื่อที่จะนำเอาความชื้นจากดินไป แต่ถ้าดินเปียกก็จะมีแรงดึงความชื้นน้อยซึ่งพืชสามารถดูดเอาความชื้นไปใช้ได้ง่าย

ค่าของแรงดึงความชื้นของดินเหล่านี้ไม่ได้เป็นสิ่งแสดงปริมาตรความชื้นที่มีอยู่ในดินหรือบอกปริมาณน้ำที่จะสามารถดูดออกจากดินได้ แต่ จะบอกถึงความยากง่ายที่พืชจะดูดน้ำจากดินไปใช้ได้ เพราะปริมาณน้ำในดินจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินและโครงสร้างของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.2 ชนิดของน้ำในดิน

หลังจากที่ทราบว่าน้ำอยู่ในดินได้อย่างไรแล้ว แต่ถ้าหากน้ำเข้าไปแทนที่อากาศจนเต็มทุกช่องว่างเราถือว่าดินนั้นเป็นดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำหรือ "อิ่มตัว" และน้ำที่อยู่ในช่องว่างนั้นทั้งหมดจะเป็นปริมาตรน้ำสูงสุดที่ดินจะเก็บกักเอาไว้ได้ถ้าไม่มีแรงจากภายนอกมากระทำเราสามารถแบ่งชนิดของน้ำตามความสามารถของดินที่ยึดไว้ได้ 3 ชนิดตามระดับของน้ำที่ถูกดินดูดยึดไว้ตั้งแต่ชั้นนอกเข้าไปถึงชั้นในที่ติดกับเม็ดดินคือ

1) น้ำอิสระ (Gravitational water หรือ free water)

เนื่องจากว่าสสารทุกอย่างที่อยู่บนผิวโลกจะถูกแรงดึงดูดของโลกกระทำอยู่ตลอดเวลา รวมทั้งน้ำที่ขังอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินด้วย ในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำที่ขังอยู่ตรงกลางของช่องว่างกับเม็ดดิน จะน้อยกว่าในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก ถ้าผลรวมของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำต่อน้ำและน้ำต่อดินน้อยกว่าแรงดึงดูดของโลก (หรือน้ำที่ได้รับแรงเหนี่ยวรั้งจากอนุภาคดินน้อยมาก) น้ำก็จะไหลสู่ที่ต่ำกว่าน้ำที่ไหล ด้วยสาเหตุดังกล่าวนี้เรียกว่า "น้ำอิสระ" น้ำชนิดนี้ถ้าหากอยู่ในดินนานนอกจากจะเป็นอันตรายต่อพืชกล่าวคือจะทำให้พืชขาดอากาศสำหรับหายใจต้องหาทางระบายออกแล้วยังจะเป็นตัวการชะล้างแร่ธาตุอาหารพืชให้สูญเสียไปจากดิน

2) น้ำซับ (Capillary water)

เป็นน้ำที่เกิดขึ้นในสภาพที่เมื่อฝนหยุดตกหรือหยุดให้น้ำแก่พืช น้ำถูกระบายสู่ส่วนล่างซึ่งใช้เวลาประมาณ 24-48 ชั่วโมง ในลักษณะนี้ความหนาแน่นของน้ำที่เกาะยึดอนุภาคดินจะถูกยึดด้วยดินเต็มแต่เพียงช่องว่างขนาดเล็กด้วยแรงดูดซับที่สูงมากพอที่จะต่อต้านแรงฉุดของแรงดึงดูดของโลกกระทำได้พอดี ซึ่งความชื้นของน้ำซับนี้อนุภาคของดินมีแรงดึงต่อน้ำประมาณ 1/3 บาร์ และเรียกความชื้นในขณะนี้ว่าความชื้นชลประทานหรือความจุความชื้นในสนาม (field capacity) ส่วนน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่จะถูกแรงฉุดของแรงดึงดุดของโลกกระทำให้ไหลซึมออกไป และจะมีอากาศเข้าทดแทนเพื่อพืชสามารถใช้ประโยชน์ในการหายใจ

3) น้ำเยื่อ (Hygroscopic water)

เป็นน้ำที่เกาะติดหรือชิดกับอนุภาคของผิวดินและปรากฏในชั้นที่บางมากที่พืชไม่สามารถนำมาใช้ได้ แรงดูดยึดอนุภาคของดินมีค่าประมาณ 31 บาร์ ในจำนวนน้ำในดินทั้งสามชนิดที่กล่าวมานี้ น้ำที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบให้น้ำแก่พืชมากที่สุด คือ น้ำซับตามด้วยน้ำอิสระ ส่วนน้ำเยื่อนั้นพืชไม่สามารถดูดนำไปใช้ได้จึงไม่ค่อยมีความสำคัญนัก แม้ว่าการแบ่งขอบเขตของชั้นระหว่างน้ำในดินทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมานี้ไม่มีกำหนดไว้แน่นอนเพราะแต่ละชั้นขึ้นอยู่กับเนื้อดิน โครงสร้างของดิน อินทรีวัตถุในดิน อุณหภูมิ และความลึกของเนื้อดิน อย่างไรก็ตามของน้ำที่ชั้นต่าง ๆ นั้นอาจเขียนแทนได้ในภาพ ที่ 5.3 และ5.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.3 ระดับความชื้นที่สำคัญของดิน

จากชนิดของน้ำในดินดังที่กล่าวสามารถนำมาพิจารณาระดับความชื้นที่สำคัญภายในดินตามลักษณะของน้ำหรือความชื้นที่อยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดิน เพื่อประโยชน์ในการกำหนดหรือคำนวณหาปริมาณน้ำในดินที่ระดับความชื้นต่างๆ คือ

1) จุดความชื้นอิ่มน้ำหรือจุดความชื้นเมื่อดินอิ่มน้ำ (Water Saturated)

เป็นชั้นของน้ำในดินที่เกิดขึ้นเมื่อปริมาณช่องว่างระหว่างเม็ดดินทั้งหมดถูกแทนที่ด้วยน้ำ อาจจะมีอากาศอยู่บ้างในช่องว่างขนาดเล็กๆ แต่ก็เป็นปริมาณน้อยมากถ้าดินมีความสามารถระบายน้ำได้ดีแล้วปริมาณน้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่ก็จะเคลื่อนที่ลงไปข้างล่างเนื่องจากแรงดึงดูดของโลกภายในเวลาไม่นานนัก

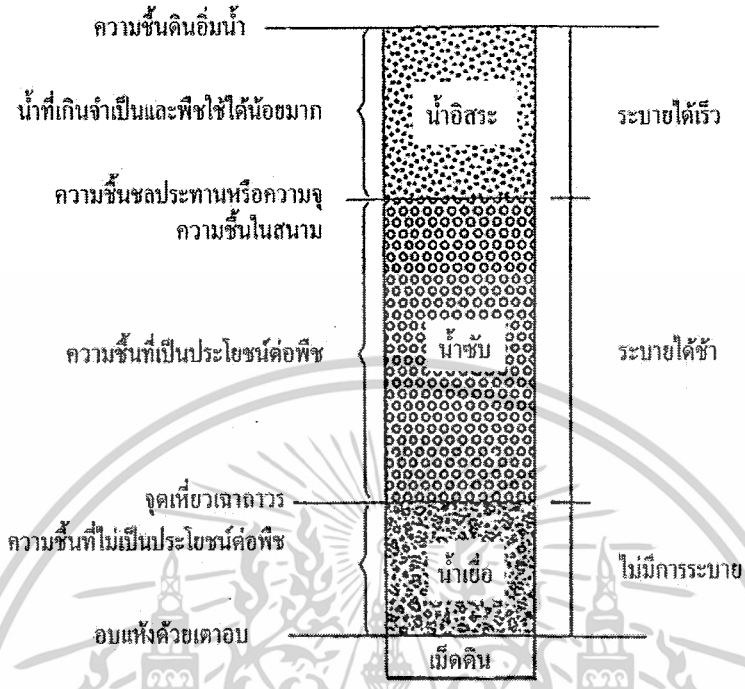
2) ความชื้นชลประทานหรือความจุความชื้นในสนาม (Field Capacity)

หมายถึงความชื้นของดินที่เหลือในดินหลังจากที่น้ำเคลื่อนไหวอิสระได้ถูกระบายออกไปจากช่องว่างขนาดใหญ่หมดแล้วหรือปริมาณน้ำสูงสุดที่ดินสามารถอุ้มความต้านทานแรงดึงดูดของโลก ในสภาพเช่นนี้ช่องว่างขนาดเล็กจะมีน้ำอยู่เต็มแต่มีอากาศอยู่เต็มช่องว่างขนาดใหญ่ เช่น ปริมาณความชื้นหลังจากที่ฝนตกหนักหรือหยุดให้น้ำแล้ว 2-3 วันเป็นความชื้นชลประทานหรือที่ความจุความชื้นในสนาม โดยทั่วไปแล้วแรงดึงดูดความชื้นที่จุความชื้นชลประทานมีค่า 1/3 บรรยากาศแต่ค่านี้เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะเนื้อดิน เช่น ดินเนื้อหยาบจะมีค่าแรงดึงความชื้นประมาณ 1/10 บรรยากาศ และดินเหนียวหรือดินค่อนข้างเหนียวมีค่าประมาณ 0.6 บรรยากาศ ระดับความชื้นชลประทานนี้ ถือว่าเป็นระดับสูงสุดของความชื้นในดินที่ประโยชน์ต่อพืช (Available water) กล่าวคือพืชสามารถดูดกินความชื้นในระดับนี้ได้ และความชื้นระดับนี้ก็อยู่ในดินได้นานพอให้พืชดูดกินเพราะระดับความชื้นระดับนี้ก็อยู่ในดินได้นานพอให้พืชดูดกิน เพราะระดับความชื้นที่สูงกว่านี้ เช่น น้ำอิสระ รากพืชมีโอกาสดูดน้ำไปใช้ประโยชน์ได้น้อยมากจนไม่ถือว่าเป็นประโยชน์ต่อพืชเนื่องจากระบายไปจากดินในบริเวณที่มีรากพืชได้เร็ว

3) จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point)

คือความชื้นในดินเมื่อพืชไม่สามารถดูดมาใช้ให้เพียงพอสำหรับการคายน้ำและพืชเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรเรียกว่าความชื้นที่ "จุดเหี่ยวเฉาถาวร" ระดับความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวรนี้ถือว่าเป็นพิกัดล่างสุดของความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยทั่วไปแล้วค่าที่นิยมใช้เป็นค่าประมาณของจุดเหี่ยวเฉาถาวรที่แรงดึงความชื้นเท่ากับ 15 บรรยากาศ อาการเหี่ยวเฉาของพืชอาจเกิดขึ้นได้หลายครั้งเรียกว่าเหี่ยวเฉาชั่วคราวก่อนที่จะถึงจุดที่พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวร เช่น การสูญเสียน้ำโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 น้ำในดินและระดับความชื้นของดินที่จุดต่างๆ

ลักษณะดิน	แรงดึงความชื้นเทียบเท่าความกดของบรรยากาศ (บาร์)	เปอร์เซ็นต์ของน้ำในช่องว่างในดิน	จุดเมนิสคัสของความชื้นในดิน	ชนิดของน้ำในดิน	ความเป็นประโยชน์ของน้ำในดินต่อพืช
แห้ง	10,000	= 0	แห้งด้วยเตาอบ	น้ำยึดแน่น	ประโยชน์ต่อพืชไม่ได้
	1,000				
	100				
	31	= 15	จุดเหี่ยวเฉาถาวร		
ชื้น	15			น้ำซับ	ประโยชน์ต่อพืชได้
	10	= 25			
	1		จุดความชื้นชลประทาน		
	1/3	= 50			
เปียก	1/10			น้ำอิสระ	ระบายได้เร็ว
	1/100				
	1/1,000	= 100	จุดอิ่มตัวด้วยน้ำ		

รูปที่ 2.40 ความสัมพันธ์ระหว่างดินและน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคายน้ำออกและเมื่ออัตราการที่พืชดูดน้ำจากดินน้อยกว่าที่คายออกทางใบ การที่จะทราบว่ามีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรเมื่อนำพืชที่เฉานั้นไปไว้ในห้องที่มีอากาศเย็น หรือบรรยากาศรอบๆ ต้นพืชอิ่มตัวด้วยไอน้ำคือมีความชื้นสัมพันธ์ของอากาศประมาณ 100% เป็นเวลาอย่างน้อย 15 ชั่วโมงแล้วพืชนั้นยังไม่สดชื่น

4) ความชื้นเมื่ออบแห้ง

หมายถึงปริมาณความชื้นในดินภายหลังถูกอบไว้ที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 ชั่วโมงจนกระทั่งไม่มีระเหยออกจากดิน ซึ่งถือว่าดินในสภาพนี้มีค่า แรงดึงความชื้น 10000 บรรยากาศขึ้นไป และนิยมใช้น้ำหนักดินอบแห้งเป็นหลักสำหรับคำนวณหาค่าต่าง ๆ

2.5.2.4 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน

หมายถึงความสามรถที่ดินสามารถเก็บน้ำหรืออุ้มน้ำไว้ให้แก่พืชดูดกินคือน้ำหรือความชื้นที่อยู่ระหว่างระดับความชื้นในดินที่ความชื้นชลประทานกับจุดเหี่ยวเฉาถาวร หรือความชื้นในสภาพที่ดินถูกยึดไว้ด้วยแรงดึงความชื้นตั้งแต่ 1/3 บรรยากาศถึง 15 บรรยากาศ เป็นความชื้นที่เป็นประโยชน์ใน ปริมาณสูงสุดของความชื้นทีดินชนิดหนึ่ง ๆ สามารถดูดยึดไว้เป็นประโยชน์ต่อพืช นั้นคือ

ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน(ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช) = ความชื้นในดินที่ความชื้นชลประทาน - จุดเหี่ยวเฉาถาวร

แม้ว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของดินแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามลักษณะโครงสร้างและลักษณะของเนื้อดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือขนาดและปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน

ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชได้นี้มักจะวัดเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้งเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือเป็นความลึกของน้ำต่อความลึกของดิน เช่น ดินร่วนต่อความลึกของดิน 1 เซนติเมตร เป็นต้น (ช่องที่ 6 ของตารางที่ 2.14) เช่นถ้าปลูกพืชมีรากลึก 1.00 เมตร ดินจะสามารถอุ้มน้ำไว้ให้พืชใช้ได้ทั้งหมด = 1 X 120 = 120 มิลลิเมตร นั่นคือจำนวนน้ำหรือความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (เป็นความสูง) 120 มิลลิเมตรต่อเนื้อดินที่ปลูกสูง 1 เมตร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.14 คุณสมบัติทางกายภาพของดินที่เกี่ยวกับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้

เนื้อดิน	ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (As)	ความชื้นชลประทาน (% นน.ดินแห้ง) (Fc)	ความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร (% นน.ดินแห้ง) (Pw)	ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้		
				(% นน.ดินแห้ง)(Pw) Pw = Fc-Pw	(% นน.โดยปริมาตร) (Pv) Pv = Pw x As	(มิลลิเมตรต่อเซนติเมตร) (d) $d = \frac{Pw \times As \times D}{100}$
	(1)	(2)	(3)	(4) = (2) – (3)	(5) = (4) x (1)	(6) = (4) x (1) x D/100
1.ดินทราย	1.65 (1.55-1.80)	9 (6-12)	4 (2-6)	5 (4-6)	8 (6-10)	0.8 (0.6-0.1)
2.ดินร่วนปนทราย	1.50 (1.40-1.60)	14 (10-18)	6 (4-8)	8 (6-10)	12 (9-15)	1.2 (0.9-1.5)
3. ดินร่วน	1.40 (1.35-1.50)	22 (18-26)	10 (8-12)	12 (10-14)	17 (14-20)	1.7 (1.4-2.0)
4. ดินร่วนปนดินเหนียว	1.35 (1.30-1.40)	27 (23-31)	13 (11-15)	14 (12-16)	19 (16-22)	1.9 (1.6-2.2)
5. ดินเหนียวปนตะกอนทราย	1.30 (1.25-1.35)	31 (27-35)	15 (13-17)	16 (14-18)	21 (18-23)	2.1 (1.8-2.3)
6. ดินเหนียว	1.25 (1.20-1.30)	35 (31-39)	17 (15-19)	18 (16-20)	23 (20-35)	2.3 (2.0-3.5)

นอกจากนี้ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินทั้งหมดน้ำส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และใช้ไม่ได้ของดินชนิดต่างๆ แสดงให้เห็นในตารางที่ 2.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.15 ความสามารถในการอุ้มน้ำของดินทั้งหมดส่วนที่พืชสามารถนำไปใช้ได้และใช้ไม่ได้

เนื้อดิน	ความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน (มม.น้ำ/ซม.ดิน)		
	รวมทั้งหมด	พืชนำเอาไปใช้ได้	พืชใช้ไม่ได้
(1)	(2)	(3)	(4)
1. ดินทราย	0.65 - 1.50	0.35 - 0.85	0.30 - 0.65
2. ดินร่วนปนทราย	1.50 - 2.30	0.75 - 1.15	0.75 - 1.00
3. ดินร่วน	2.30 - 3.40	1.15 - 1.70	1.15 - 1.50
4. ดินร่วนปนตะกอนทราย	3.40 - 4.00	1.70 - 2.00	1.70 - 2.00
5. ดินร่วนปนดินเหนียวปนตะกอนทราย	3.60 - 4.15	1.50 - 1.80	2.10 - 2.35
6. ดินเหนียว	3.80 - 4.15	1.50 - 1.60 2.30	2.30 - 2.55

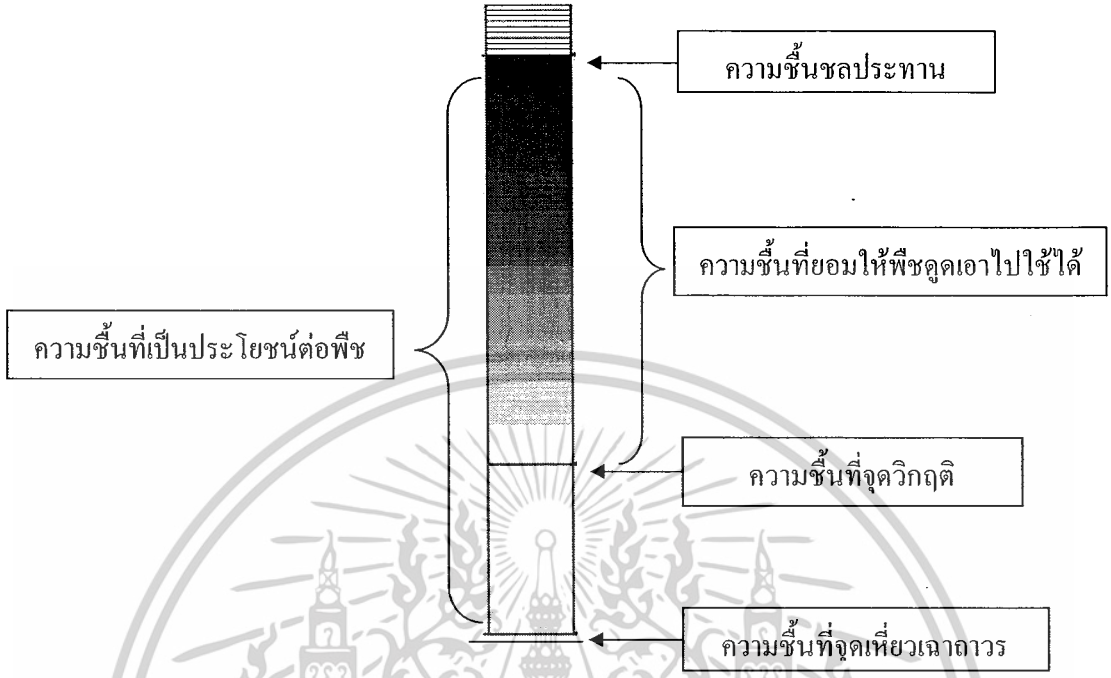
อนึ่ง ค่าของความสามารถในการอุ้มน้ำไว้ให้แก่พืชดูดกิน จากตารางที่ 2.14 และตารางที่ 2.15 อาจแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย เนื่องจากความสามารถในการอุ้มน้ำของดินแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปตามลักษณะโครงสร้างและลักษณะของเนื้อดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือขนาดละปริมาตรของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ตามที่กล่าวมาข้างต้น

2.5.3 ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืชหรือความชื้นที่พืชสามารถดูดเอาไปใช้ได้

จากความสามารถในการอุ้มน้ำของดินที่กล่าวผ่านมาน้ำในรูปของความชื้นในดินที่เป็นประโยชน์ที่พืชสามารถดูดเอาไปใช้สำหรับการเจริญเติบโตได้แก่ น้ำซับ ซึ่งเป็นความชื้นหรือความสามารถชลประทานกับจุดเหี่ยวเฉานั้น เรียกว่า ความชื้นที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

พืชไม่สามารถใช้ความชื้นที่ดินอุ้มไว้ได้นี้ทั้งหมดเพราะเมื่อระดับความชื้นในดินถูกพืชใช้จนเหลือความชื้นน้อยมากจนใกล้ถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวรแล้วพืชอาจได้รับความเสียหายได้เพราะความชื้นในช่วงนี้จะถูกดินดูดยึดเอาไว้มากจนรากพืชไม่สามารถดูดมาใช้ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการให้น้ำเมื่อความชื้นดินลดลงใกล้ถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวรซึ่งเรื่องนี้เป็นเรื่องที่สำคัญต่อการตัดสินใจในการกำหนดในการให้น้ำแก่พืชมาก ซึ่งโดยทั่วๆ ไป จะยอมให้ความชื้นในดินลดลงประมาณ 40 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ซึ่งความชื้นในดินที่ยอมให้ลดลงก่อนทำการให้น้ำครั้งต่อไปเรียกว่า “ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดไปใช้ได้” ส่วนความชื้นที่เหลือในดินหลังจากที่พืชดูดเอาความชื้นที่ยอมให้ดูดไปใช้ได้หมดแล้วคือ “ความชื้นที่จุดวิกฤติ” ซึ่งคำอธิบายดังกล่าวนี้สามารถแสดงให้เข้าใจง่ายดังรูปที่ 2.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นในดินกับการกำหนดการให้น้ำแก่พืช

จากหลักการที่ยอมให้ความชื้นในดินลดลงประมาณ 40 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชดูดเอาไปใช้ได้ นี้จะนำไปใช้เป็นเกณฑ์ในการออกแบบระบบให้น้ำต่อไป

2.5.4 การตรวจสอบความชื้นในดิน

จากดังได้กล่าวแล้วว่าการให้น้ำแก่พืชจะต้องเริ่มกระทำเมื่อความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤติ และปริมาณน้ำที่ให้จะต้องมีปริมาณมากพอที่จะเพิ่มความชื้นในดินเพิ่มขึ้นถึงความชื้นชลประทาน การที่จะรู้ว่าความชื้นในดินลดลงถึงจุดวิกฤติหรือยังนั้นจะต้องมีการตรวจวัดความชื้นในดินในเขตรากพืช เพื่อประเมินหาระดับความชื้นในดินว่ามีอยู่เท่าใด และจะต้องทำการส่งน้ำเพิ่มเป็นปริมาณเท่าใดจึงจะทำให้ความชื้นในดินเพิ่มขึ้นจนถึงจุดชลประทานที่เราต้องการดังกล่าวมาแล้ว สำหรับแนวคิดในการตรวจสอบความชื้นที่ความชื้นชลประทาน (หรือความจุความชื้นในสนาม) และจุดเหี่ยวเฉาถาวรซึ่งเป็นระดับของความชื้นที่มีน้ำอยู่ในพื้นดินและการใช้เป็นหลักเกณฑ์สำหรับกำหนดการให้น้ำแก่พืชนั้น เราสามารถหาค่าความชื้นทั้ง 2 ระดับได้จากหลักการที่ว่า 1/3 บรรยากาศและจุดเหี่ยวเฉาถาวรมีแรงดึงความชื้น 15 บรรยากาศ โดยใช้เครื่องแยกความชื้นออกจากดิน (soil moisture extractor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการประเมินหาระดับความชื้นในเขตรากพืชสามารถกระทำได้ 3 วิธีคือ การวัดความชื้นในดินโดยการชั่งน้ำหนัก การวัดความชื้นในดินโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และการวัดความชื้นในดินโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัส

2.5.4.1 การวัดความชื้นในดินโดยการชั่งน้ำหนัก

การตรวจวัดความชื้นของดินโดยการชั่งน้ำหนัก เป็นวิธีหนึ่งที่จะหาว่าความชื้นของดินในขณะนั้นลดลงจนถึงจุดที่ต้องการให้น้ำแล้วหรือยังการตรวจวัดทำโดยเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกต่างๆ ในเขตรากและที่จุดต่างๆ ในพื้นที่เพาะปลูกมาชั่งแล้วอบให้แห้งในเตาอบซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หรือจนกว่าน้ำหนักของดินนั้นไม่ลดลงอีก แล้วนำมาชั่งอีกครั้ง น้ำหนักของดินที่หายไปในการชั่งทั้งสองครั้งจะเป็นน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในขณะที่เก็บตัวอย่าง การวัดความชื้นของดินวิธีนี้เป็นการวัดโดยตรงเป็นวิธีที่ให้ค่าถูกต้องที่สุด แต่มีข้อเสียตรงที่ต้องใช้เวลาแรงงานและเครื่องมือที่เก็บตัวอย่างด้วยเหตุนี้จึงนิยมปฏิบัติกันแต่เฉพาะในงานที่ต้องการความละเอียดถูกต้องจริงๆ เช่น ในงานทดลองหรืองานวิจัยเท่านั้น การที่จะบอกว่าดินมีระดับความชื้นเท่าใดนั้นสามารถบอกได้ 3 แบบคือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนัก เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยปริมาตรและบอกเป็นความลึกของน้ำต่อความลึกของดินดังแสดงในตารางที่ 2.14

2.5.4.2 การวัดความชื้นในดินโดยใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์

เครื่องมือเหล่านี้มีหลายแบบซึ่งอาจแบ่งออกตามคุณสมบัติของดินที่ทำการวัดหรือวิธีการวัดดังแสดงในตารางที่ 2.16

1) แบบวัดแรงดึงความชื้นของดิน (Tensiometer)

โดยให้แรงดึงความชื้นของดินนี้อยู่ในสภาวะสมดุลกับน้ำที่บรรจุอยู่ในกระเปาะพรุนซึ่งเมื่อรู้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นของดินและจำนวนความชื้นในดินตรงบริเวณจุดที่ติดตั้งเครื่องมือก็จะทราบค่าจำนวนความชื้นในดิน ณ จุดนั้นได้เครื่องมือชนิดนี้เรียกว่า เครื่องมือแรงดึงความชื้นของดินหรือเทนซิโอมิเตอร์ (รูปที่ 2.33) เทนซิโอมิเตอร์ใช้ในการวัดความชื้นได้กับดินที่มีความชื้นค่อนข้างสูง คือ -0.8 บาร์ขึ้นไปเพราะถ้าหากใช้กับดินที่แห้งกว่านี้ อากาศในดินจะซึมเข้าไปในอุปกรณ์ทางกระเปาะพรุนทำให้อ่านค่าไม่ได้

2) แบบวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุพรุนหรือแท่งวัดความชื้น (Moisture Block)

ซึ่งมีความชื้นอยู่ในภาวะสมดุลกับดินบริเวณรอบๆ จุดที่ฝังอยู่ คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่วัดส่วนมากเป็นความต้านทาน ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องมือวัดความต้านทานประกอบด้วยอุปกรณ์ทั้งหมดรวมเรียกว่าเครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้า ส่วนตัววัสดุพรุนเรียกว่า ก้อนความต้านทาน ซึ่งประกอบขึ้นด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วแล้วหุ้มด้วยปูนปลาสเตอร์ ไนลอนหรือไฟเบอร์กลาส (รูปที่ 2.34)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.16 ลักษณะการทำงานของเครื่องมือในการตรวจสอบความชื้นในดินแบบต่างๆ

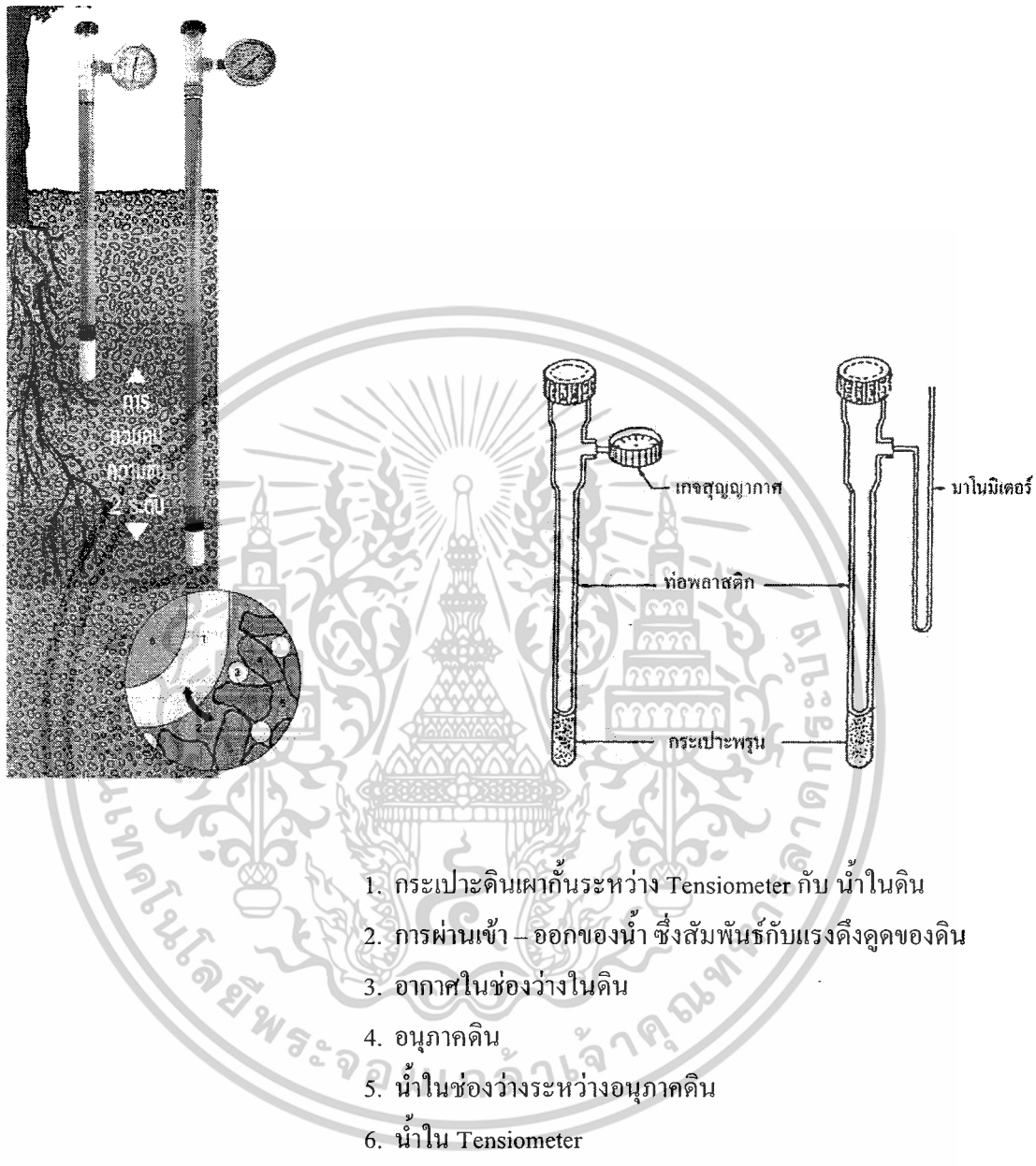
เครื่องมือ	หลักการตรวจวัดที่เกี่ยวข้อง
1. การใช้เทนซิโอมิเตอร์ (Tensiometer)	แรงดึงความชื้นในดิน
2. การใช้แท่งวัดความชื้น (Moisture Block)	แรงต้านทานความชื้นในดิน
3. การวัดการกระจายของนิวตรอน (Neutron Moisture Meter)	การเคลื่อนไหวของนิวตรอน

การใช้เครื่องมือวัดความชื้นแบบนี้จะมีความเหมาะสมกับการใช้กับดินที่มีความชื้นค่อนข้างต่ำ แต่ไม่ต่ำเกินไปจนความชื้นในดินไม่พอที่จะเกิดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าในแท่งวัสดุพรุน อย่างไรก็ตาม ถ้าความชื้นสูงเกินไปหรือสูงใกล้เคียง – 0.8 บาร์ค่าการนำไฟฟ้าจะคงที่ จึงไม่แสดงความแตกต่างให้เห็นจากการอ่าน แม้ว่าระดับความชื้นในดินจะผันแปรไปแล้วก็ตาม

3) แบบวัดการกระจายของนิวตรอน (Neutron Moisture Meter)

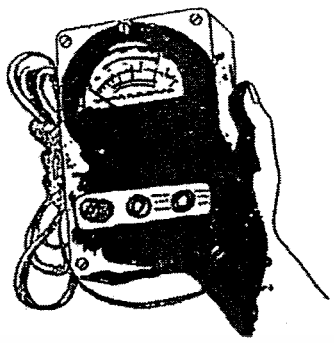
หลักการทำงานของเครื่องมืออาศัยหลักการที่ว่า "เมื่อนิวตรอนเร็ว (fast neutron) วิ่งไปกระทบนิวเคลียสของไฮโดรเจนอะตอมจะเกิดการสูญเสียพลังงานและกลายเป็นนิวตรอนช้า (slow neutron)" ดังนั้นเมื่อนิวตรอนที่ส่งออกไปนี้ไปกระทบเข้ากับไฮโดรเจนอะตอมของน้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นในดินจะทำให้ความเร็วของนิวตรอนที่สะท้อนมาลดลง จำนวนนิวตรอนช้าที่สะท้อนกลับมานี้สามารถวัดและเทียบเป็นความชื้นในดินได้ เครื่องมือแบบนี้เรียกว่าเครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน (รูปที่ 2.35) วิธีการวัดความชื้นในดินแบบนี้มีความสะดวกแม่นยำ แต่มีราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

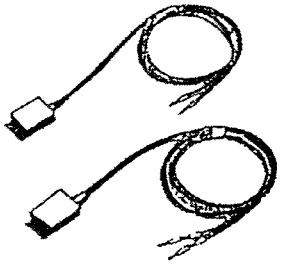


รูปที่ 2.42 เครื่องวัดความชื้นในดินแบบวัดแรงดึงความชื้นโดยเทนซิโอมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

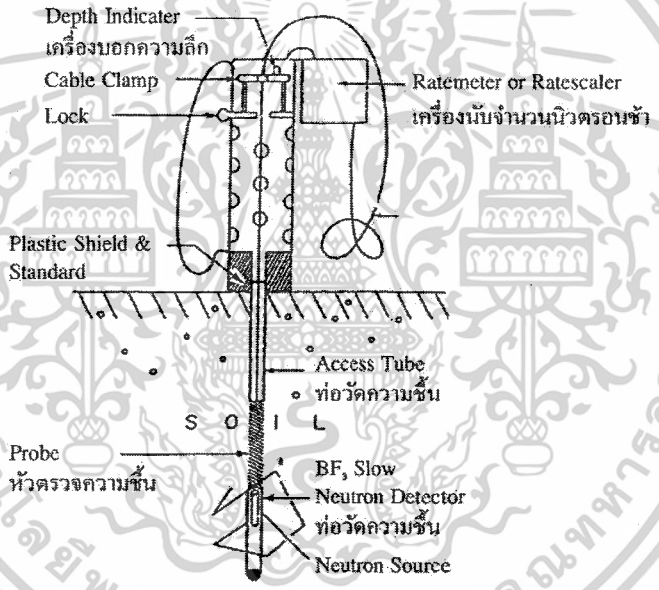


(ก) เครื่องวัดความต้านทานและความชื้น



(ข) ก้อนวัดความต้านทาน

รูปที่ 2.43 เครื่องวัดความชื้นในดินแบบวัดด้วยความต้านทานไฟฟ้า



รูปที่ 2.44 เครื่องวัดความชื้นในดินแบบวัดด้วยนิวตรอน

4) การวัดความชื้นในดินโดยดูลักษณะและความรู้สึกสัมผัส

การตรวจวัดความชื้นโดยวิธีนี้เป็นวิธีเก่าที่แพร่หลายง่ายซึ่งเกษตรกรสามารถทำได้ด้วยตัวเอง เนื่องจากไม่มีเครื่องมือสำหรับการตรวจสอบโดยวิธีอื่น โดยใช้สว่านเจาะดิน หรือใช้พลั่วขุดดินในระดับความลึกในเขตรากพืชในพื้นที่ที่ต้องการทราบมาตรวจดู โดยใช้ความรู้สึกจากการสัมผัสด้วยมือ วิธีนี้หากผู้ปฏิบัติมีความคุ้นเคยกับลักษณะของดินที่มีความชื้นในระดับต่างๆ ได้ดีพอแล้วก็จะสามารถบอกได้ทันทีว่าดินขณะนั้นแห้งพอที่จะให้น้ำได้หรือยัง แม้ว่าการประเมินความชื้นของดินโดยวิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องนักก็ตาม ถ้าหากผู้ปฏิบัติมีความชำนาญก็จะสามารถกำหนดการให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำแก่พืชได้ถูกต้องพอสมควร สำหรับแนวทางที่ใช้ในการตรวจสอบระดับความชื้นดินว่ามีเหลืออยู่เท่าใด แสดงอยู่ในตารางที่ 2.17

ตารางที่ 2.17 ลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินที่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ในระดับต่างๆ

ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่มีอยู่ในดิน	ลักษณะและความรู้สึกสัมผัส			
	ดินเนื้อหยาบ	ดินเนื้อค่อนข้างหยาบ	ดินเนื้อปานกลาง	ดินเนื้อละเอียดและละเอียดมาก
1 เปอร์เซ็นต์	แห้ง ร่วน ไม่เกาะกันเป็นก้อน	แห้ง ร่วน ไม่เกาะกันเป็นก้อน	แห้งเป็นผง หรือเกาะกันเป็นก้อนแต่บีบให้แตกเป็นผงได้ง่าย	แห้งแข็งมีรอยแตกร้าวบางทีมีก้อนร่วนเล็กๆบนผิวหน้า
50 เปอร์เซ็นต์	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือ ไม่เป็นก้อน	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือ ไม่เป็นก้อน	ค่อนข้างร่วนแต่กำให้แน่นจะเกาะกันเป็นก้อนได้	ค่อนข้างนุ่ม กำให้แน่นเป็นก้อนได้
50 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือ ไม่เป็นก้อน	กำให้แน่นเป็นก้อนได้แต่แตกง่าย ไม่เกาะกัน	กำเป็นก้อนได้ค่อนข้างเหนียว เมื่อบีบจะลื่นเล็กน้อย	กำเป็นก้อนใช้นิ้วรีดเป็นแผ่นบางๆ ได้
75 เปอร์เซ็นต์ ถึงจุดความชื้นชลประทาน	เกาะกันบ้าง กำเป็นก้อนแต่แตกง่าย	กำเป็นก้อนแต่แตกง่าย	กำเป็นก้อน อ่อนนุ่มมากถ้ามีดินเหนียวมากจะลื่น	รีดเป็นแผ่นระหว่างนิ้วมือได้ง่ายรู้สึกลื่น
ที่จุดความชื้นชลประทาน (100 เปอร์เซ็นต์)	บีบไม่มีน้ำออกมา	เหมือนดินเนื้อหยาบ	เหมือนดินเนื้อหยาบ	เหมือนดินเนื้อหยาบ
เกินจุดความชื้นชลประทาน	สลัดในมือจะมีน้ำกระเด็นออกมา	นวดดินจะมีน้ำออกมา	บีบจะมีน้ำออกมา	เป็นโคลนมีน้ำบนผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและการสร้าง

ดินนอกจากเป็นที่ให้รากพืชได้ยึดเกาะเพื่อตั้งต้นอยู่ได้ เป็นแหล่งให้ธาตุอาหารและดูดยึดปุ๋ยไว้ให้พืชได้ใช้แล้ว ยังเป็นที่ดูดยึดน้ำจากฝนหรือชลประทานไว้ให้พืชได้ดูดกินอีกด้วย น้ำในดินส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อพืชและมีความสำคัญเกี่ยวข้องกับการจัดการดิน ปรากฏอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน และเม็ดดิน น้ำในดินส่วนใหญ่ อยู่ในสถานะ น้ำเหลว มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่อยู่ในสถานะเป็นไอน้ำ ซึ่งมีความสำคัญต่อการจัดการดิน ความชื้นดิน (soil moisture) หมายถึงน้ำทั้งที่อยู่ในสถานะน้ำเหลวและไอน้ำในดิน ส่วนคำว่าน้ำในดิน (soil water) หมายถึง เฉพาะน้ำในสถานะน้ำเหลวในดิน เนื่องจากไอน้ำมีอยู่ในดินเพียงน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเหลว ดังนั้นความชื้นดินและน้ำในดินในขณะหนึ่ง ๆ จึงเกือบไม่ต่างกันในเชิงปริมาณ โดยทั่วไปใช้คำทั้งสองคำนี้ปนกัน และหมายถึงน้ำเหลวในดินเป็นส่วนใหญ่

น้ำในดินไม่ใช่น้ำบริสุทธิ์ หากแต่มีสารประกอบและอิออน (ions) ต่าง ๆ ทั้งที่เป็นและไม่เป็นธาตุอาหาร พืชละลายอยู่ด้วยมากมาย ในการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของดินทางด้านเคมี หรือความอุดมสมบูรณ์ของดิน นิยมเรียกน้ำในดินว่าสารละลายดิน (soil solution) คำว่าสารละลายดินมีความหมายเป็นนัยว่าน้ำในดินไม่ใช่น้ำบริสุทธิ์ แต่มีสารละลายต่าง ๆ ละลายอยู่ด้วย เมื่อพิจารณาอย่างถ่องแท่แล้วจะเห็นว่าน้ำในดินและสารละลายดินหมายถึงสิ่งเดียวกัน

การออกแบบและการสร้างนี้เราจะทำการออกแบบให้มีการใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีต้นทุนต่ำและสามารถใช้งานได้ดี มีความคงทนต่อสภาพการใช้งานการวัดค่าจากตัวเซนเซอร์แต่ละตัวซึ่งเป็นคนละชุดกัน แล้วส่งข้อมูลที่ได้เข้าไปวงจรภาคส่ง (Transmitter) วงจรก็ส่งมูลด้วยโมดูลไร้สายไปในอากาศเมื่อวงจรภาครับรับ (Reciever) ข้อมูลผ่านโมดูลไร้สายแล้วจะทำการส่งข้อมูลต่อไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์แล้วทำการควบคุมอุปกรณ์การให้น้ำ (Water Device)

การออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบความชื้นนี้เราจะทำการออกแบบให้มีอยู่ด้วยกัน 3 ส่วน คือ

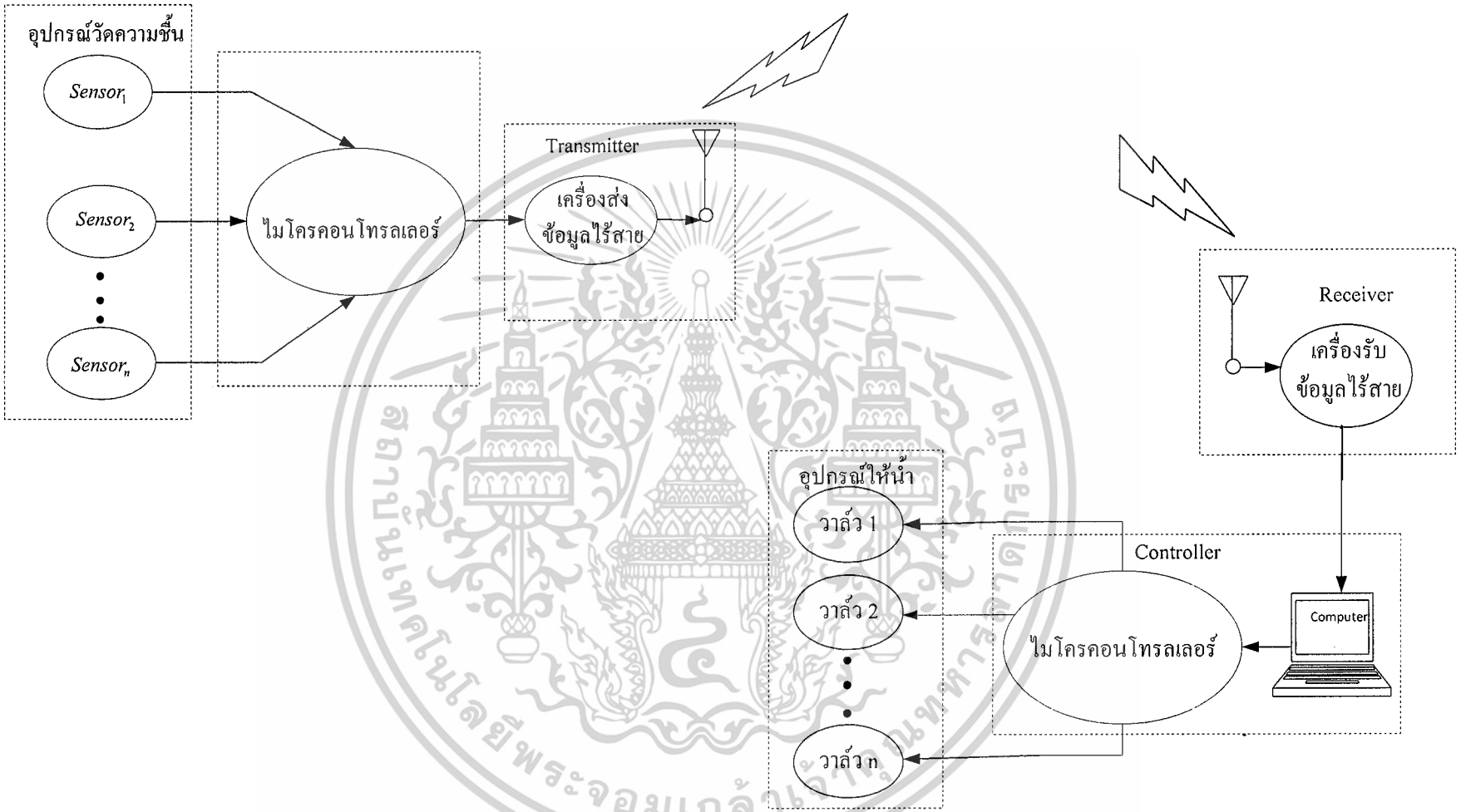
1.ภาคส่ง (Transmitter)

2.ภาครับ (Reciever)

3.อุปกรณ์รดน้ำ (Water Device)

สามารถเขียนแผนผังโครงสร้างได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

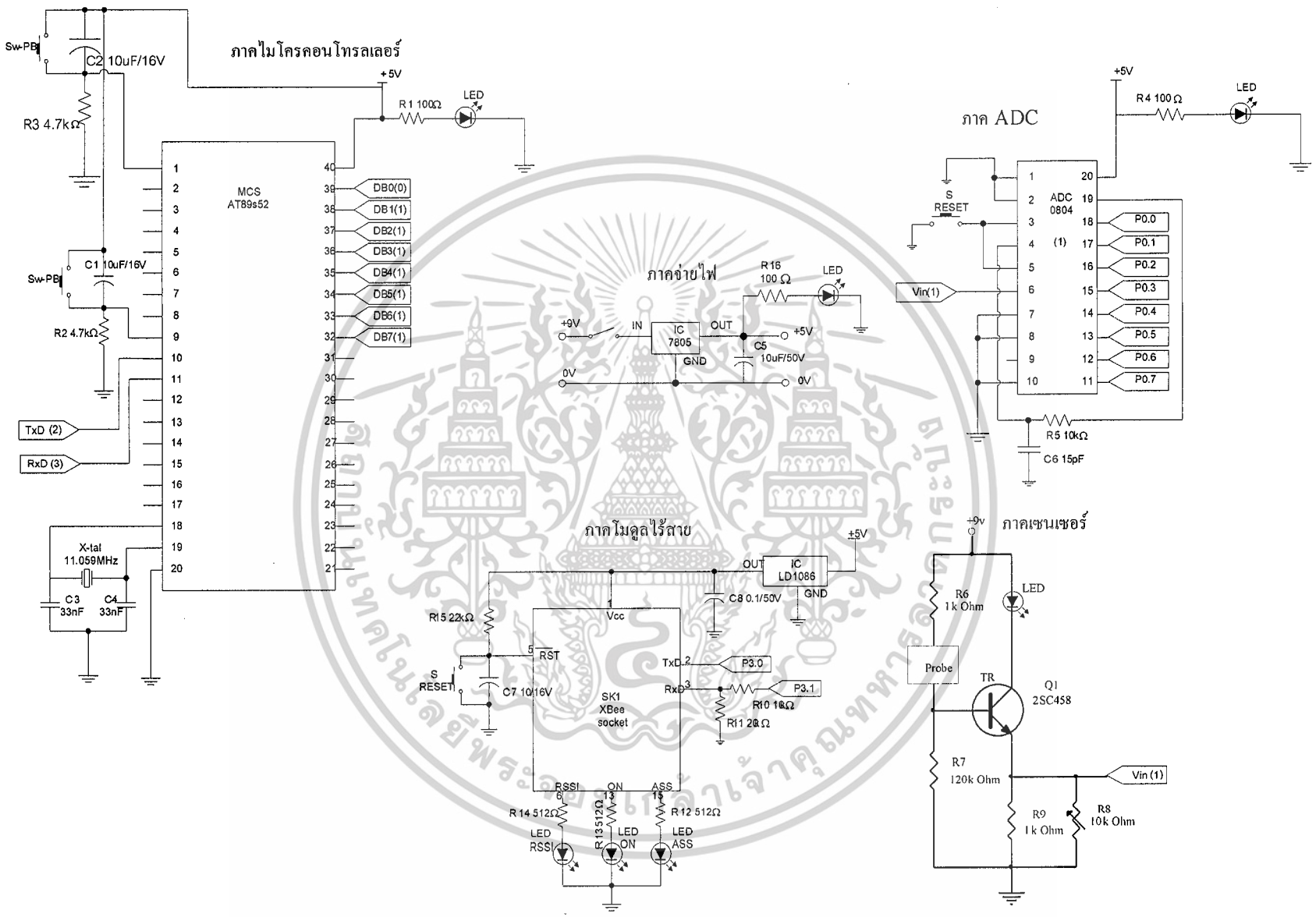


รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังโครงสร้างของโครงงานนี้

3.1 ภาคส่ง (Transmitter)

ส่วนแรกนี้จะเป็นการทำงานในลักษณะของการตรวจสอบความชื้น ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ 4 ส่วน คือ อุปกรณ์ตรวจสอบความชื้น (Humidity Sensor) วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ADC) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCS-51) และชุดรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless Module) สามารถแสดงวงจรภาคส่งโดยรวมได้ดังนี้

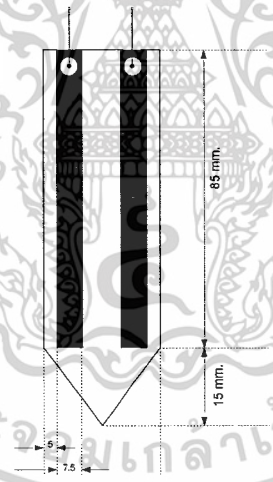
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรภาคส่งโดยรวม

3.1.1 อุปกรณ์ตรวจสอบความชื้น (Humidity Sensor)

การออกแบบตัวเซนเซอร์นี้เราจะใช้ทฤษฎีค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้บ่งบอกถึงปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำที่สามารถแตกตัวเป็นอิออนได้ จึงนิยมใช้ค่านี้ในการประเมินปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำอย่างคร่าวๆ เนื่องจากเป็นค่าที่วัดได้ง่าย ถ้าค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้าสูงแสดงว่ามีสิ่งเจือปนในน้ำมาก **ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้า** หมายถึง ความสามารถในการนำไฟฟ้าหรือยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านสารละลายที่อยู่ระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความนำไฟฟ้าจำเพาะ (specific conductance) ซึ่งมีความหมายตรงข้ามกับ ความต้านทานไฟฟ้า (resistivity) หรือ ความต้านทานไฟฟ้าจำเพาะ (specific resistance) ค่าความเป็นตัวนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็นไมโครโมห์ต่อเซนติเมตร (m mho/cm) หรือมิลลิซีเมนส์ต่อเมตร (mS/m) ในหน่วยเอสไอ (International System of Unit) การออกแบบในตอนแรกเราจะทำการออกแบบให้เป็นแผ่นตัวนำสองตัวที่ ที่นำมาใช้วัดค่าความนำไฟฟ้าของดิน ถ้าดินมีความชื้นมาก(มีน้ำเป็นองค์ประกอบมาก)ค่าความนำไฟฟ้าก็จะมากความต้านทานน้อย ถ้าดินมีความชื้นน้อย(มีน้ำเป็นส่วนประกอบน้อย) ค่าความนำไฟฟ้าก็จะน้อยตามแต่ความต้านทานมาก เราจึงนำเอาโพรบที่ได้มาออกแบบดังนี้

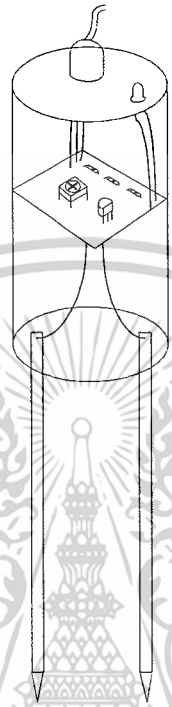


รูปที่ 3.3 แสดงโพรบที่ทำจากแผ่นตัวนำสองตัว

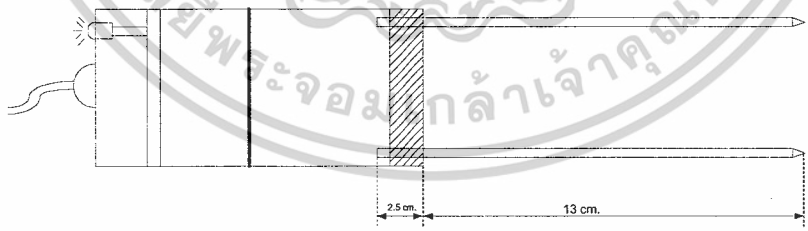
จากรูปจะเป็นโพรบซึ่งทำจากแผ่นทองวางขนานกันแต่แผ่นโพรบ ที่ได้ยังไม่สามารถใช้ได้กับดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากโพรบไม่สามารถแทรกตัวลงไปในตัวดินได้ดีเท่าที่ควร และเมื่อทำการต่อกับอุปกรณ์ภาคขยายสัญญาณและทำการวัดค่า ค่าที่ได้นั้นยังไม่เสถียรภาพเนื่องจากเนื้อดินที่อยู่ในบริเวณที่ทำการวัดนั้นไม่แนบสนิทกับเนื้อของแผ่นตัวนำเท่าที่ควร จึงได้มีการแก้ไขและออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มเติมจากโพรบตัวที่ผ่านให้สามารถใช้การได้ดีในดิน คือ สามารถที่ทำการเสียบเข้าไปในดินได้ง่ายกว่าเดิมและมีความเสถียรภาพในการวัดค่ามากขึ้นดังนี้

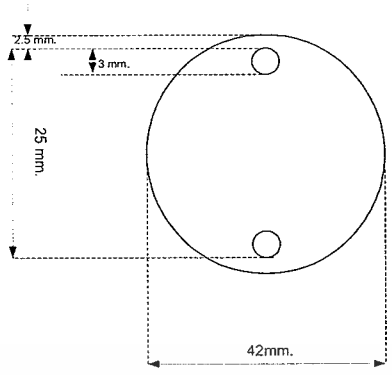


รูปที่ 3.4 ลักษณะโครงสร้างทั่วไปของเซนเซอร์



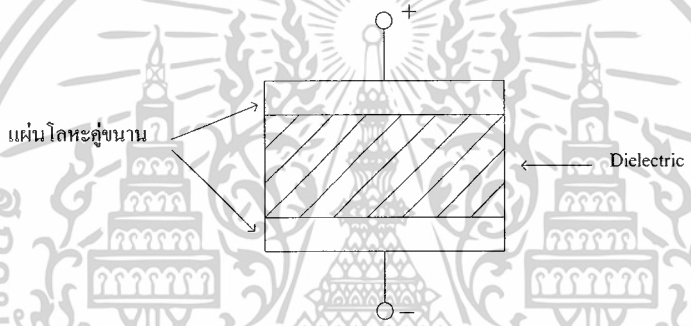
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของเซนเซอร์ในแนวนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะการวางตำแหน่งขาของแท่งอิเล็กโทรดที่ใช้วัดความชื้น

เมื่อเรานำเอาแท่งอิเล็กโทรดมาปักลงในดินก็เปรียบเสมือน การใช้หลักการของตัวเก็บประจุ



รูปที่ 3.7 เป็นลักษณะของตัวเก็บประจุที่มี Dielectric อยู่ตรงกลางระหว่างแผ่นตัวนำสองตัว

$$C = k\frac{\varepsilon_o A}{d} \tag{3.1}$$

เมื่อ C เป็นความจุของตัวเก็บประจุแผ่นขนาน

k เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric constant)

ε_o ค่าเพอมิติวิตีของที่ว่างเป็นค่าที่ยอมรับได้ทางไฟฟ้า

มีค่าเท่ากับ $8.8542\times10^{-12}\ \ C^2/N.m^2$

A พื้นที่ของแผ่นโลหะคู่ขนาน

d ระยะห่างระหว่างแผ่นโลหะคู่ขนาน

จะได้

$$Z = X_C$$

$$Z = \frac{1}{j\omega C}$$

จาก $\omega = 2\pi f$ จะได้ $$Z = \frac{1}{j(2\pi f)C}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก $C = \frac{Q}{V} = k\frac{A\varepsilon_o}{d}$ จะได้

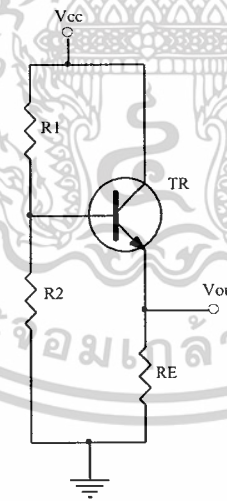
$$Z = \frac{1}{j2\pi f\left(k\frac{A\varepsilon_o}{d}\right)}$$

$$\therefore \quad Z = \frac{d}{j2\pi fkA\varepsilon_o} \tag{3.2}$$

จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเราให้ค่าของระยะห่างของแผ่นโลหะคู่ตัวนำ (d) คงที่ จะเห็นได้ว่าเมื่อค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (k) เปลี่ยนไปค่าอิมพีแดนซ์ (Z) ก็จะเปลี่ยนตามไปด้วย เช่น ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (k) มีค่ามากขึ้นค่าอิมพิแดนซ์ก็จะน้อยลง แต่ถ้าค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (k) มีค่าน้อยลงค่าอิมพิแดนซ์ก็จะเพิ่มขึ้น โดยที่ k ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของของเหลวซึ่งในที่นี้คือน้ำ มีค่าเท่ากับ 80 ของอากาศแห้งมีค่าเท่ากับ 1.0059

3.1.2 วงจรขยายสัญญาณ

จะใช้วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ซึ่งทำการต่อไบแอสแบบสเตบิไลซ์ (Stabilize Bias) โดยใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC458 ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้



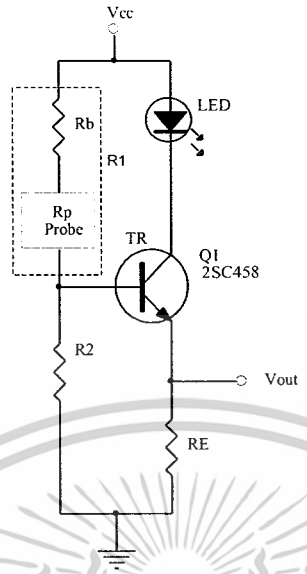
รูปที่ 3.8 วงจรคอมมอนคอลเลคเตอร์ต่อไบแอสแบบสเตบิไลซ์

คุณสมบัติของทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC458

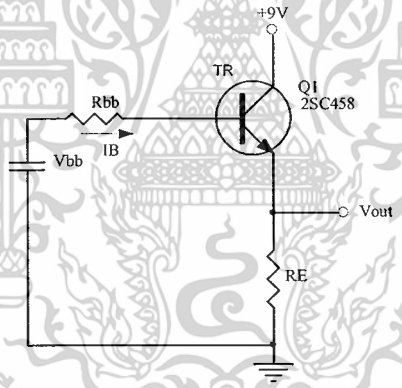
H_{FE}(min) = 100, V_{CE}(sat) = 0.2 Volt, V_{BE} = 0.67 Volt, I_C = 100 mA

ให้วงจรใช้ V_{CC} = 9 Volt, R_C = 0 Volt จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณของตรวจวัดความชื้นที่ทำการออกแบบ



รูปที่ 3.10 วงจรที่ได้จากการลดรูป

การคำนวณ

$$R_{bb} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_{bb} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC}$$

จากรูปจะได้สมการ

$$V_{bb} = I_b R_{bb} + V_{BE} + V_{RE}$$

$$V_{CC} = V_{CE} + V_{RE}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการ (3) + (4) จะได้

$$2V_{RE} = V_{bb} - I_B R_{bb} - V_{BE} + V_{CC} - V_{CE}$$

แทนค่าสมการที่ (1) และ (2) ในสมการที่ (5)

$$2V_{RE} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{CC} - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \cdot I_B - V_{CE} - V_{BE} + V_{CC}$$

แทนค่า V_{CC} = 9 V, I_C = 100 mA, V_{CE} = 0.2 V,V_{BE} = 0.67 V

$$2V_{RE} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot 9 - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \cdot 1m - 0.2 - 0.67 + 9$$

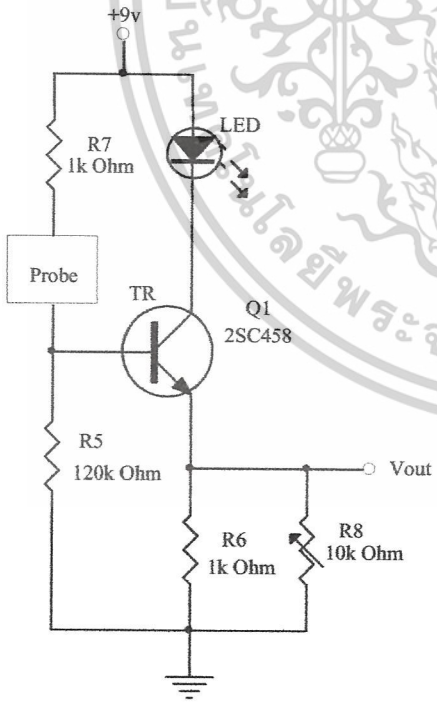
$$2V_{RE} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot 9 - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \cdot 1m - 0.2 + 8.13$$

$$2V_{RE} = \frac{9R_2 - 1mR_1R_2 + 8.13R_1 + 8.13R_2}{R_1 + R_2}$$

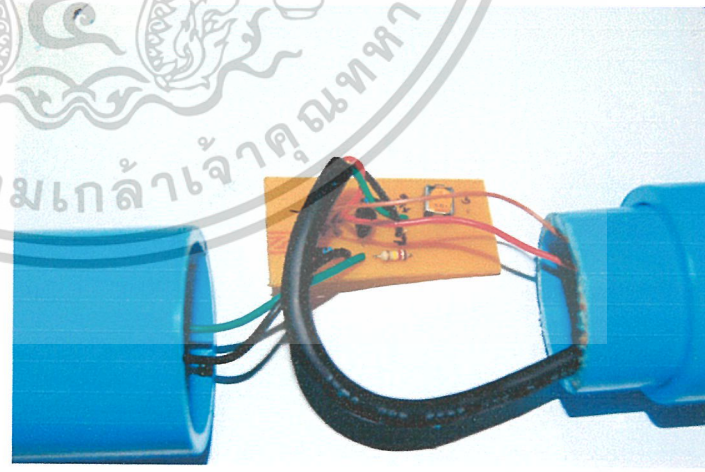
$$2V_{RE} = \frac{17.13R_2 - 1mR_1R_2}{R_1 + R_2}$$

$$2V_{RE} = \frac{(17.13 - 1mR_1)R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\therefore \quad V_{RE} = \frac{(17.13 - 1mR_1)R_2}{2(R_1 + R_2)} \qquad (3.3)$$



(a) วงจรขยายสัญญาณที่ได้



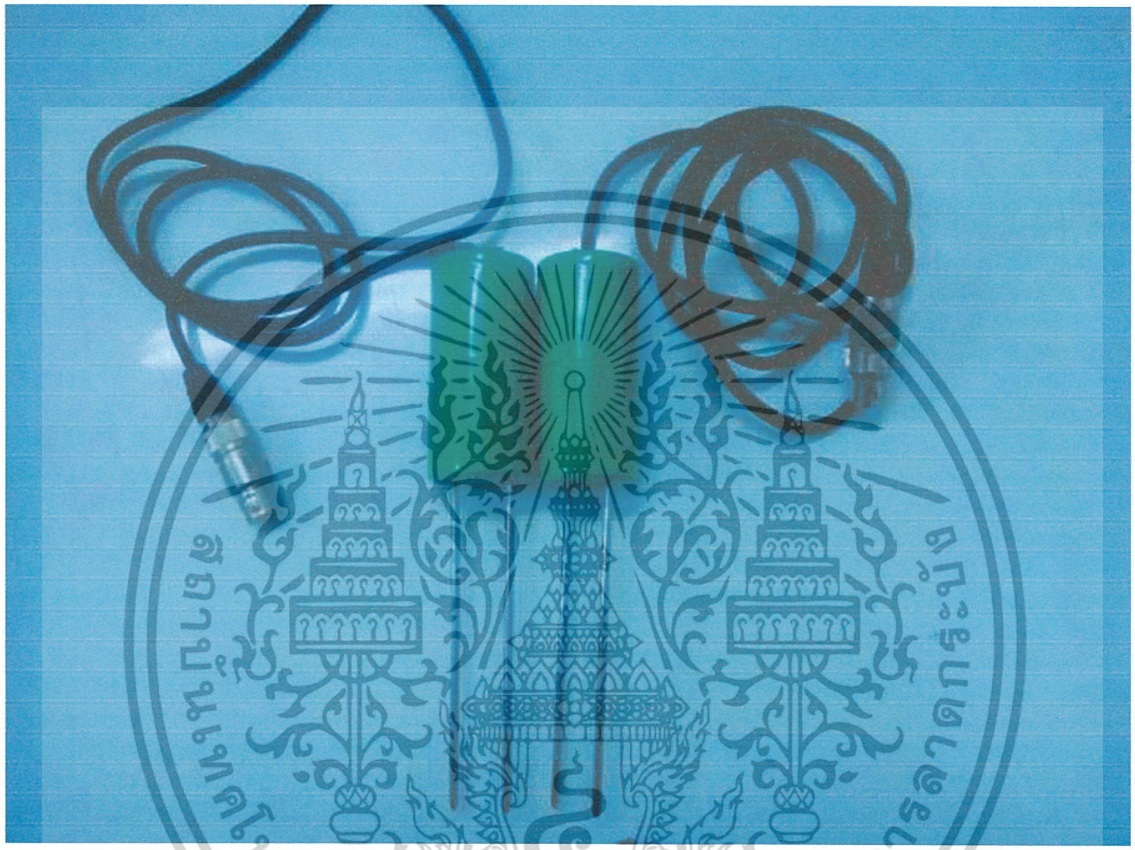
(b) วงจรขยายสัญญาณที่นำมาใช้งานจริง

รูปที่ 3.11 วงจรขยายสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 อุปกรณ์ตรวจสอบความชื้น (Humidity Sensor) ที่สมบูรณ์

เซนเซอร์ที่สมบูรณ์จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นแท่งอิเล็กโทรดและวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งมีลักษณะดังรูปต่อไปนี้



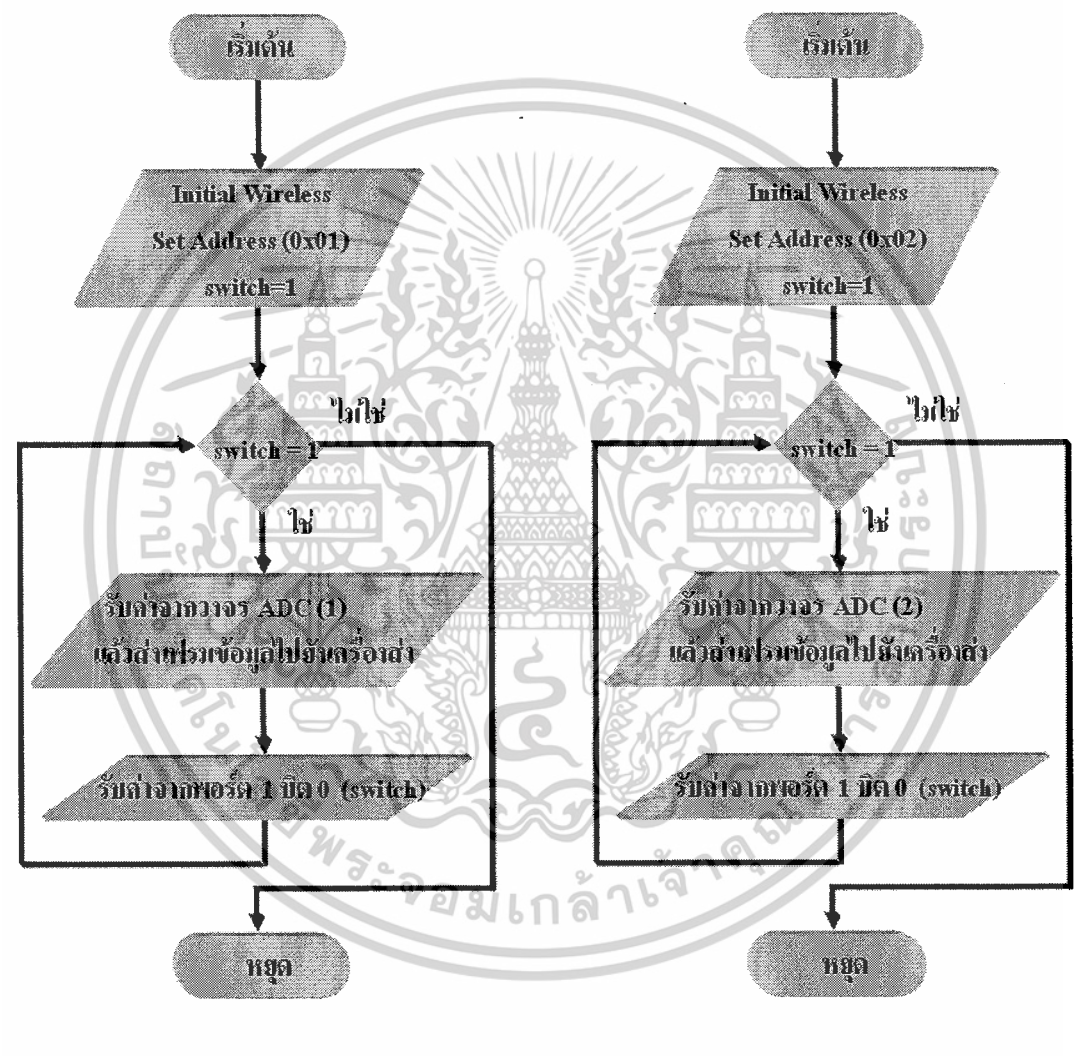
รูปที่ 3.12 ตัวเครื่องตรวจวัดความชื้นดินที่ใช้งานจริงในโครงงานนี้

จากรูปจะเห็นว่าอุปกรณ์ตรวจสอบความชื้นที่เราได้มานั้นเป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้ตรวจวัดความชื้นของดินได้โดยค่าออกมาจากอุปกรณ์จะเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าซึ่งมีช่วง 0V ถึงประมาณ 5V ซึ่ง 0V คือค่าได้จากการวัดความชื้นของอากาศโดยที่ตัวอุปกรณ์ไม่ได้เสียบลงดินสมมติให้มีค่าความชื้นเป็น 0% และ 5V คือค่าที่ได้จากการวัดความชื้นของน้ำโดยที่ตัวอุปกรณ์จุ่มลงน้ำที่ไม่ใช้น้ำบริสุทธิ์ (น้ำบริสุทธิ์ไม่นำไฟฟ้า) ซึ่งเราถือว่าความชื้นที่ดินมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่มากที่สุดเราจึงสมมติให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็น 100% แต่ค่าวัดได้จากตัวอุปกรณ์ตรวจสอบความชื้นคือค่าแรงดันไฟฟ้าที่จะต้องผ่านวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

จากอุปกรณ์ตรวจสอบความชื้นสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณอนาล็อก ฉะนั้นเราต้องทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วทำการส่งสัญญาณไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งการทำงานในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์มีลักษณะการทำงานดังนี้



(a) ภาคส่ง 1 (b) ภาคส่ง 2

รูปที่ 3.13 การทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

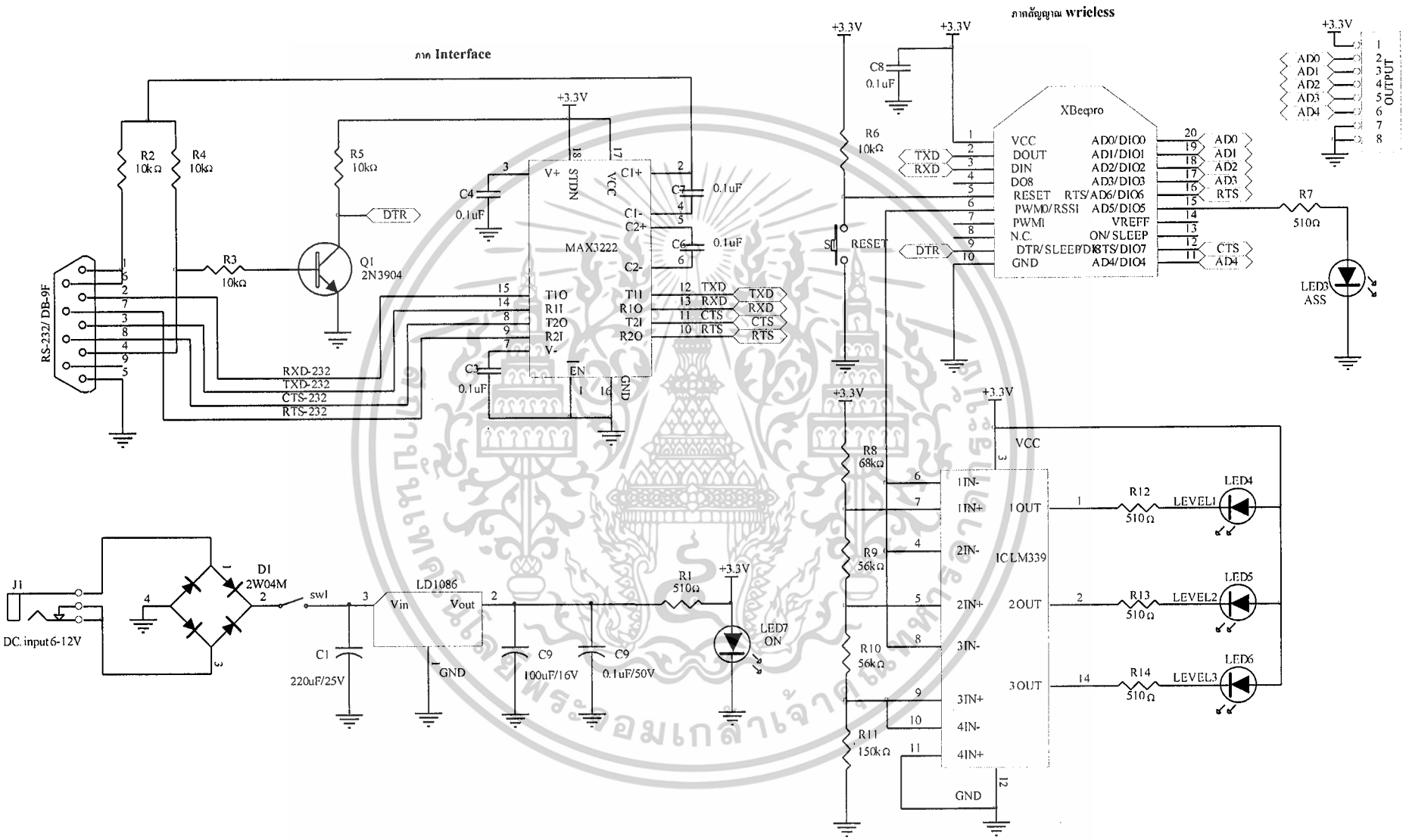
3.1.5 เครื่องส่งข้อมูลไร้สาย (Transmitter Wireless Module)

เครื่องส่งข้อมูลไร้สายนั้นมีหน้าที่อยู่ด้วยกัน 2 อย่างด้วยกัน คือ ทำหน้าที่ในการรับข้อมูลที่มาจากเครื่องส่ง และส่งข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นไปยังเครื่องรับ ซึ่งในโครงงานนี้เราจะใช้โมดูลสื่อสารข้อมูลไร้สาย 2.4 GHz (Zigbee)

3.2 ภาครับ (Reciever)

เมื่อโมดูลไร้สายได้รับข้อมูลจากฝั่งภาคส่งแล้วจะนำข้อมูลที่ได้ส่งไปยังคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



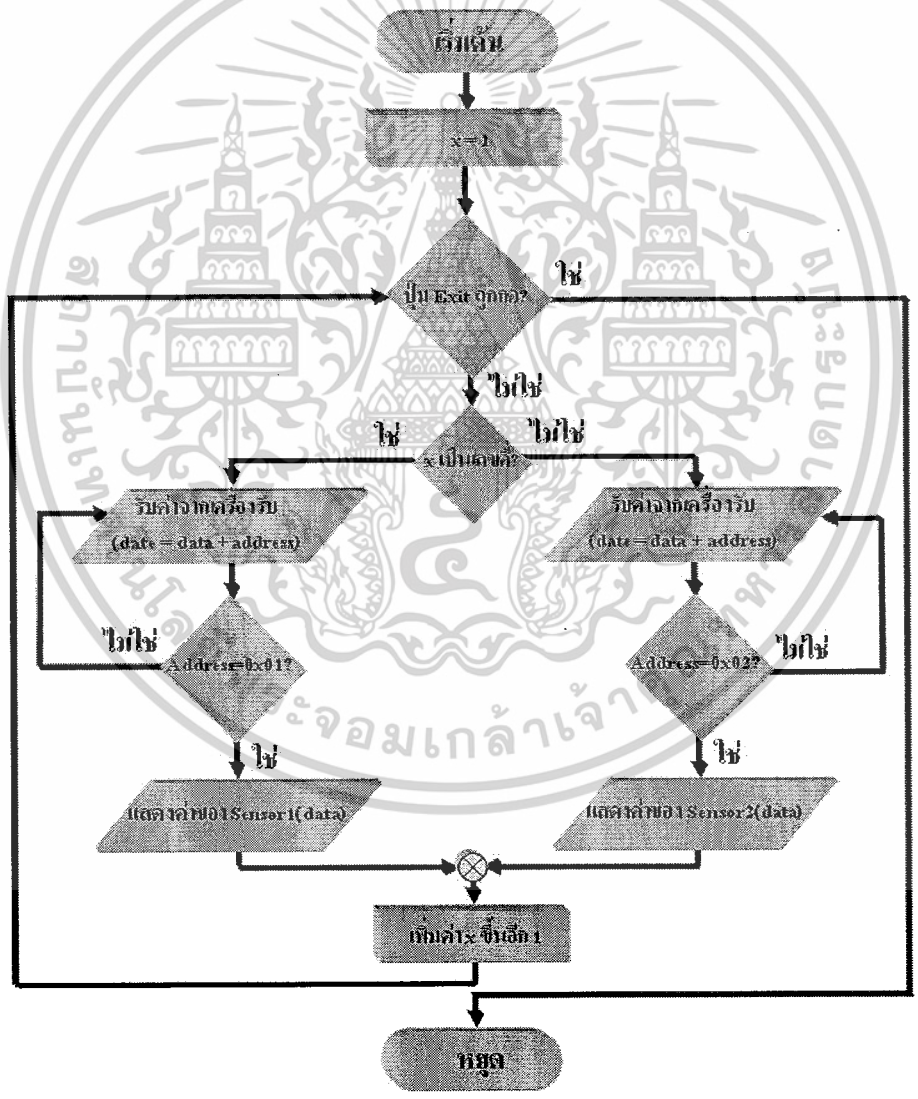
รูปที่ 3.14 แสดงวงจรภาครับโดยรวม

3.3 ภาคควบคุม (Controller)

เมื่อได้รับข้อมูลจากฝั่งภาคส่งแล้วจะนำข้อมูลที่ได้ส่งไปยังคอมพิวเตอร์ เมื่อได้รับข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมก็ทำจัดการกับข้อมูลเพื่อแสดงผล บันทึก และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ ซึ่งต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งเขียนขึ้นด้วยโปรแกรมวิดชวลเบสิก 6.0 (Visual Basic 6.0) ตัวโปรแกรมจะทำการแสดงข้อมูลของความชื้นจากตัวเซนเซอร์ทั้งสองตัวในรูปของกราฟ แล้วทำการวิเคราะห์หาค่าต่างๆ คือ ค่ามากที่สุด(Max) ค่าน้อยที่สุด(Min) ค่าเฉลี่ย(Avg) และค่าผลต่าง(Dif)

3.3.1 โปรแกรมแสดงผล (Monitor)

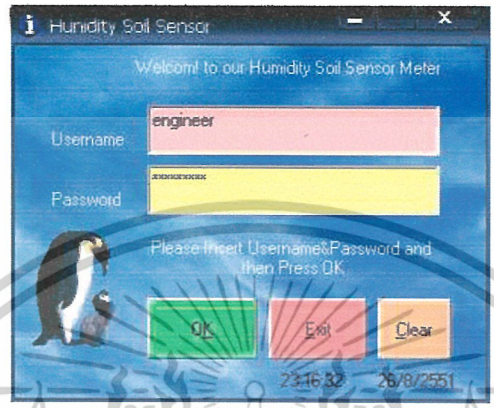
การทำงานของโปรแกรมแสดงผลสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 3.15 แสดงการทำงานของโปรแกรมแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก่อนใช้ตัวโปรแกรมต้องทำการต่อกับอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ให้เสร็จก่อนแล้วทำการดับเบิ้ลคลิก **HSS.EXE** เพื่อเริ่มต้นการทำงาน ตัวโปรแกรมจะเข้ามายังหน้าล็อกอิน แล้วทำการล็อกอินเข้าระบบ



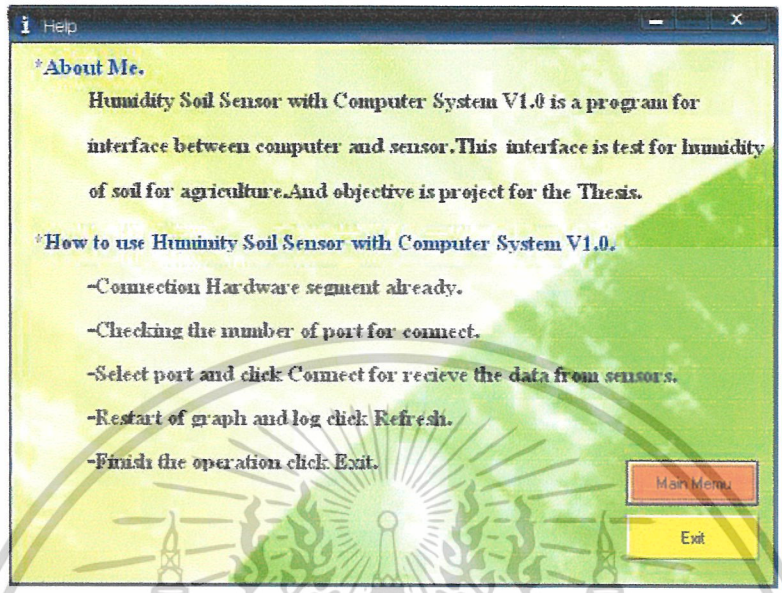
รูปที่ 3.16 หน้าแรกของโปรแกรมแสดงผลและควบคุม

หน้าที่สองเป็นการแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับโครงงาน ผู้จัดทำ และอาจารย์ที่ปรึกษา คลิก **Next** เพื่อเข้าไปยังหน้า Sensor Meter หรือ **Help** ตัวช่วย

รูปที่ 3.17 แสดงหน้าของรายละเอียดของโครงงานของโปรแกรมแสดงผลและควบคุม

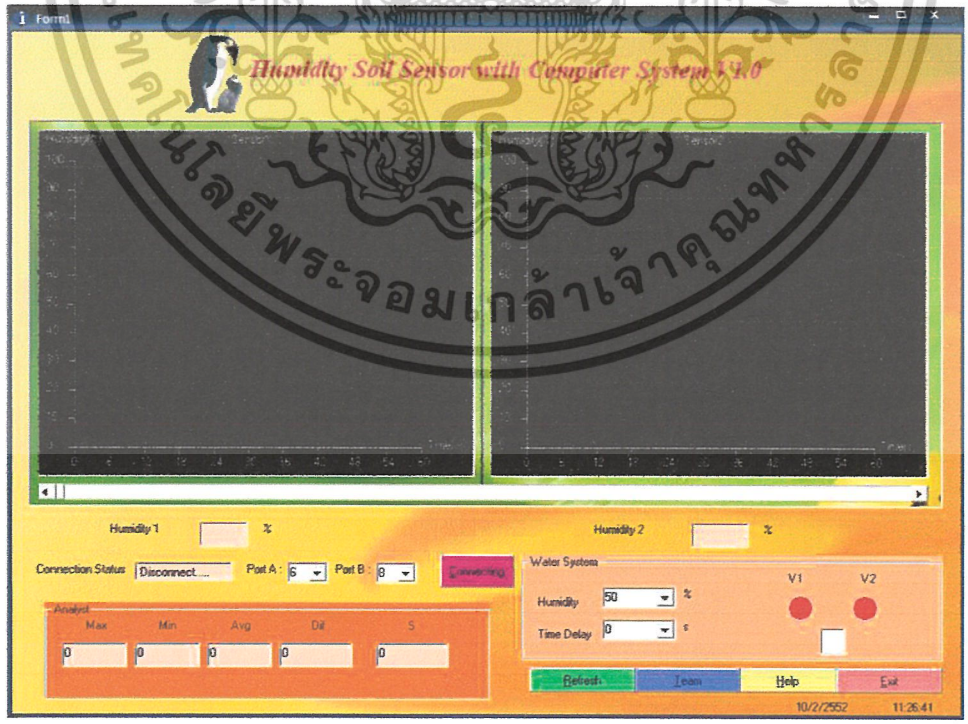
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าตัวช่วยจะเป็นหน้าที่บอกรายละเอียดและวิธีใช้งานโปรแกรม



รูปที่ 3.18 แสดงหน้าของตัวช่วยของโปรแกรมแสดงผลและควบคุม

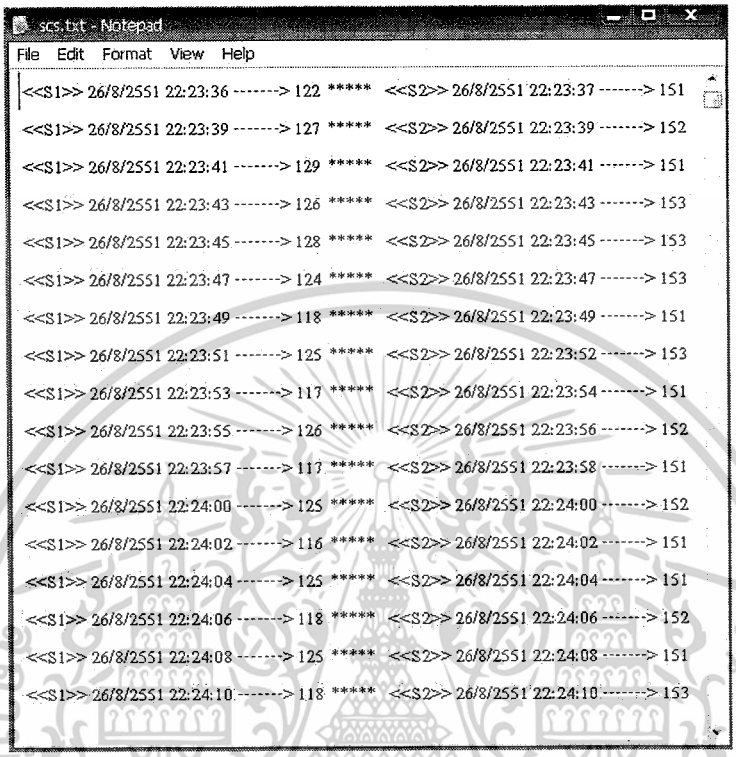
หน้า Sensor Meter เป็นหน้าที่ใช้ในการแสดงข้อมูลของเซนเซอร์ ผลการวิเคราะห์ และส่วนควบคุม



รูปที่ 3.19 แสดงหน้ามิเตอร์ที่ทำการรับค่าจากตัวเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่โปรแกรมทำการรับค่าของตัวเซนเซอร์ ก็มีการบันทึกค่าข้อมูลที่ได้เป็นไฟล์เท็กซ์ด้วย ซึ่งเราสามารถนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ภายหลังได้



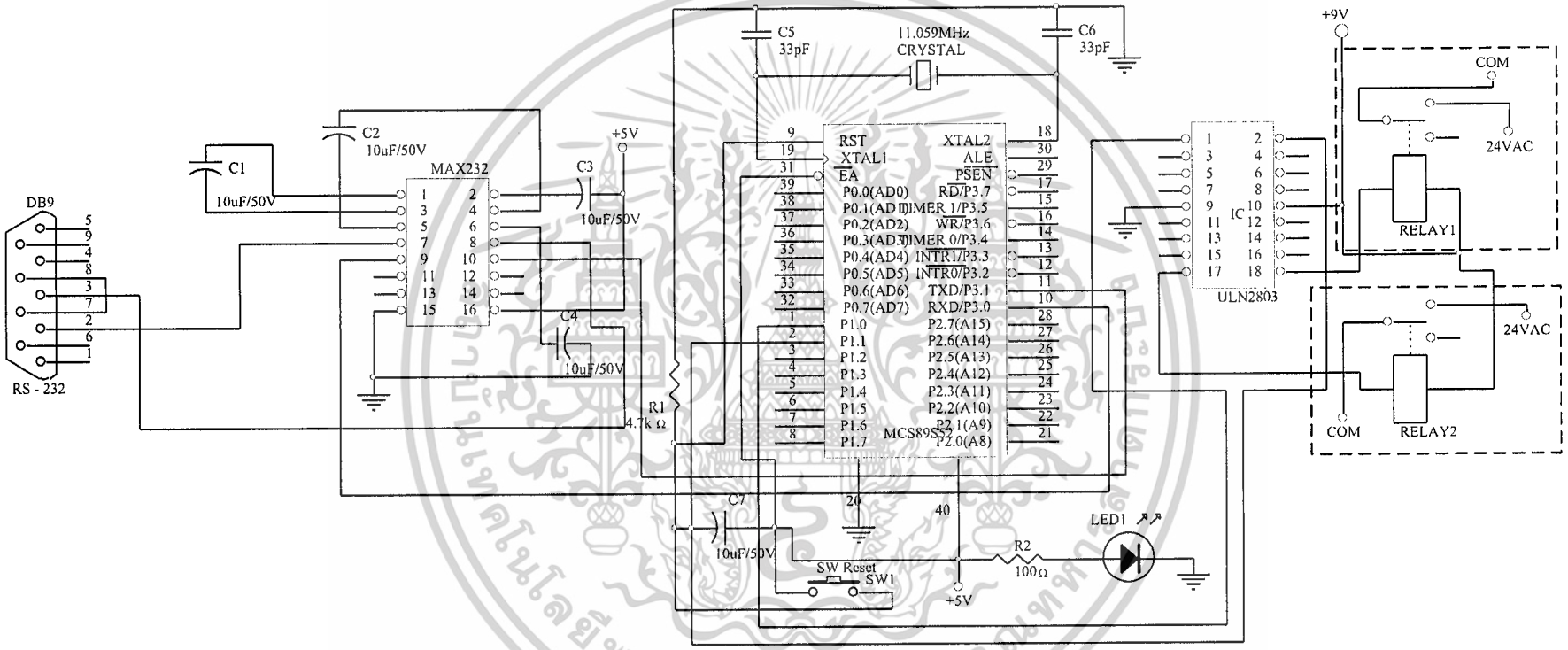
รูปที่ 3.20 แสดงโปรแกรมโน้ตแพดที่ทำการบันทึกค่าของตัวเซนเซอร์

ในส่วนนี้ได้ทำการออกแบบให้ระบบสามารถที่จะทำการวัดความชื้นของดินแล้วส่งมาแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ แล้วบันทึกค่าที่ได้ในโน้ตแพดเพื่อจะใช้ค่าที่ได้มาวิเคราะห์ต่อไป

3.4 อุปกรณ์ให้น้ำ

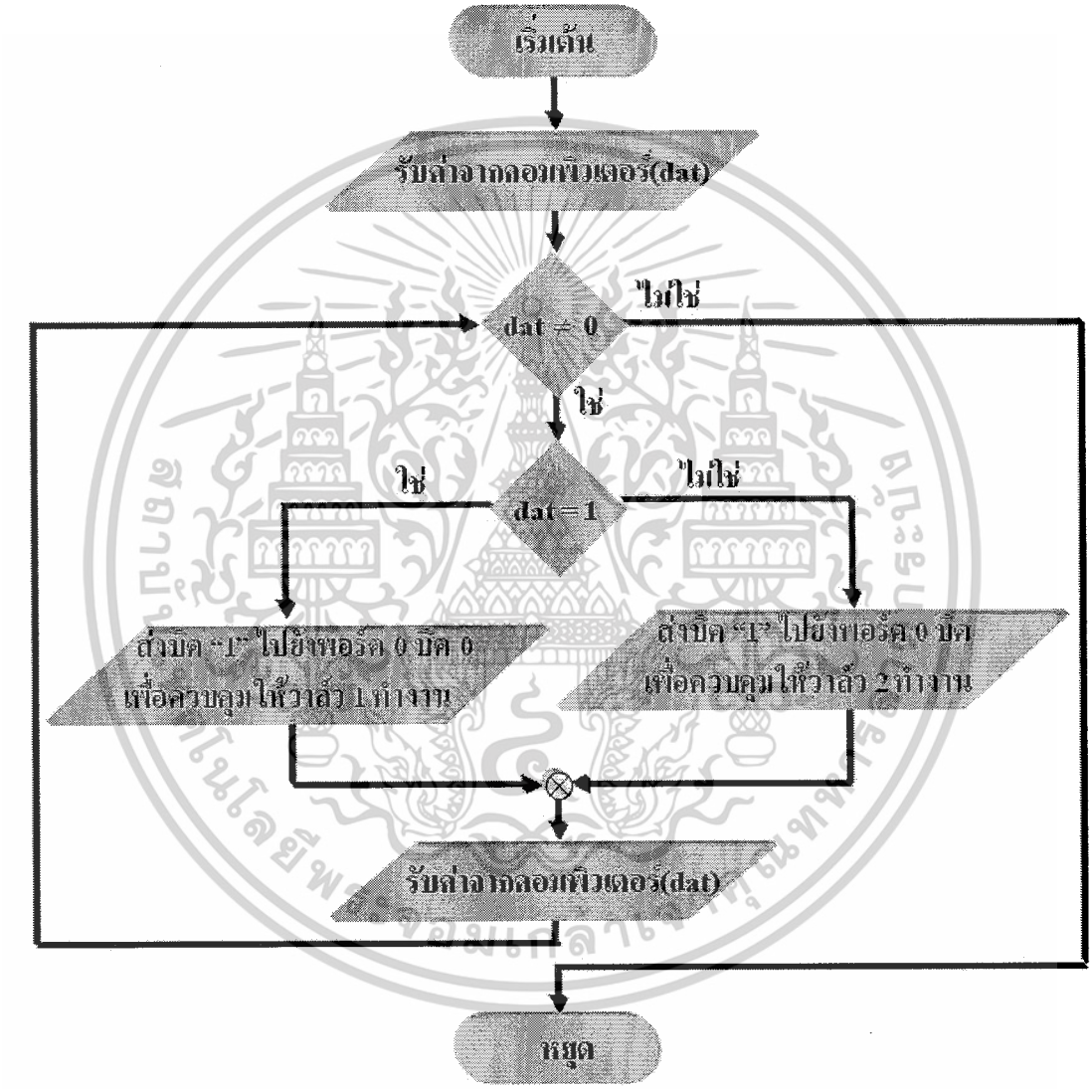
เมื่อมีการวิเคราะห์ค่าความชื้นที่ได้รับมาเสร็จ เมื่อความชื้นน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ อุปกรณ์ให้น้ำก็ทำงานรดน้ำให้ได้ความชื้นตามต้องการ ซึ่งการรดน้ำนั้นจะสามารถตั้งเวลาหน่วงในการทำงานของอุปกรณ์รดน้ำ วงจรควบคุมแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 แสดงวงจรควบคุมวาล์ว

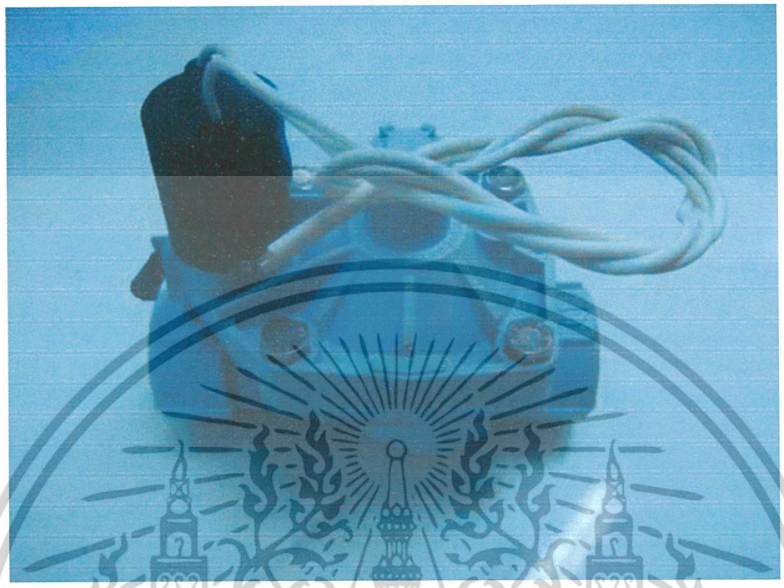
ในการทำงานของวงจรควบคุมนั้นเมื่อมีการส่ง “1” มา ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้พอร์ต 1 บิต 0 ทำงานสั่งให้ตัวรีเลย์ทำงานต่อหน้าคอนแทคของรีเลย์ 1 ทำให้วาล์ว 1 ทำงาน ถ้าส่ง “2” มา ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้พอร์ต 1 บิต 1 ทำงานต่อหน้าคอนแทคของรีเลย์ 2 ทำให้วาล์ว 2 ทำงาน



รูปที่ 3.22 แสดงการทำงานของวงจรควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ให้น้ำที่นำมาใช้จะเป็นวาล์วไฟฟ้าซึ่งจะต้องนำไปใช้กับระบบน้ำที่มีแรงดันจึงจะสามารถใช้งานได้ ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับในการทำงานประมาณ 24 โวลต์ ซึ่งมีลักษณะที่มีดังรูป



รูปที่ 3.23 แสดงวาล์วไฟฟ้า

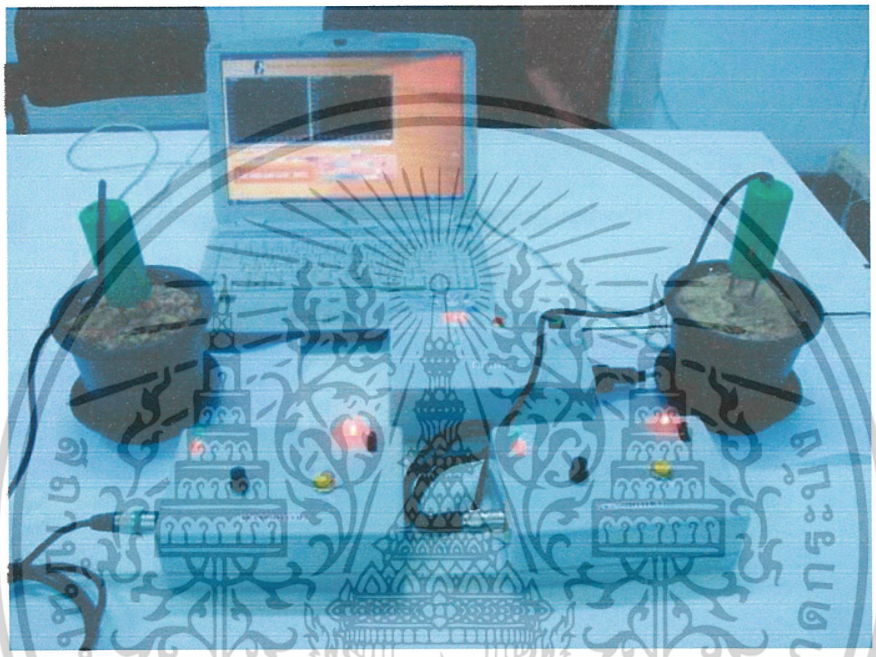
ในการออกแบบทั้งหมดนี้สิ่งที่สำคัญที่สุดก็คือชุดอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้น เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นนั้นเป็นตัวบอกปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน หากอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นนี้มีปัญหาก็จะทำให้ไม่สามารถที่จะนำเอาข้อมูลความชื้นที่มีความถูกต้องจริงๆ มาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ให้น้ำให้ทำงานได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การวัดความชื้นของดิน



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดอุปกรณ์ในการวัด

4.2 จุดประสงค์การทดลอง

1. เพื่อเป็นการทดสอบว่าปริมาณน้ำในดินมีผลโดยตรงต่อความชื้นของดิน
2. เพื่อเป็นการทดลองความชื้นว่ามีผลต่อความนำไฟฟ้าของดิน

4.3 อุปกรณ์ในการทดลอง

1. อุปกรณ์ตรวจสอบความชื้นของดินที่ทำขึ้นมา
2. มัลติมิเตอร์, ดิจิตอลมัลติมิเตอร์
3. ดินที่ใช้ในการเพาะปลูกจริง
4. กระถางและที่รอง
5. สเปรย์ฉีดน้ำที่มีน้ำอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. คอมพิวเตอร์ โปรแกรมแสดงผลและวิเคราะห์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์

4.4 วิธีการทดลอง

1. นำดินที่ใช้ในการเพาะปลูกจริงไปตากแดดเพื่อไล่ความชื้นออกให้มากที่สุด
2. นำดินที่ได้ใส่ในกระถางที่นำมาทดลอง
3. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบความชื้นของดินด้วยระบบคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม
4. เปิดโปรแกรมแสดงผลและวิเคราะห์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ทำการปรับตั้งค่าเซนเซอร์
5. นำเซนเซอร์ความชื้นมาปักลงในกระถางที่มีดินอยู่ทิ้งไว้ประมาณ 3 นาที แล้วทำการอ่านค่าที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าออกที่ตัวเซนเซอร์ แล้วทำการบันทึกผลการทดลอง
6. นำเซนเซอร์ออกจากกระถางแล้วทำการฉีดน้ำ 9-10 ครั้ง และนำดินมาคลุกให้น้ำซึมเข้าไปในเนื้อดินได้ทั่วถึง รอประมาณ 3 นาที แล้วนำเซนเซอร์มาปักลงในกระถาง แล้วรอประมาณ 3 นาที แล้วทำการอ่านค่าที่ได้บนหน้าจอคอมพิวเตอร์แล้วทำการบันทึกผลการทดลอง
7. ทำการทดลองซ้ำในข้อที่ 6 จนดินอิ่มน้ำ (มีค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น 100 % โดยประมาณ)

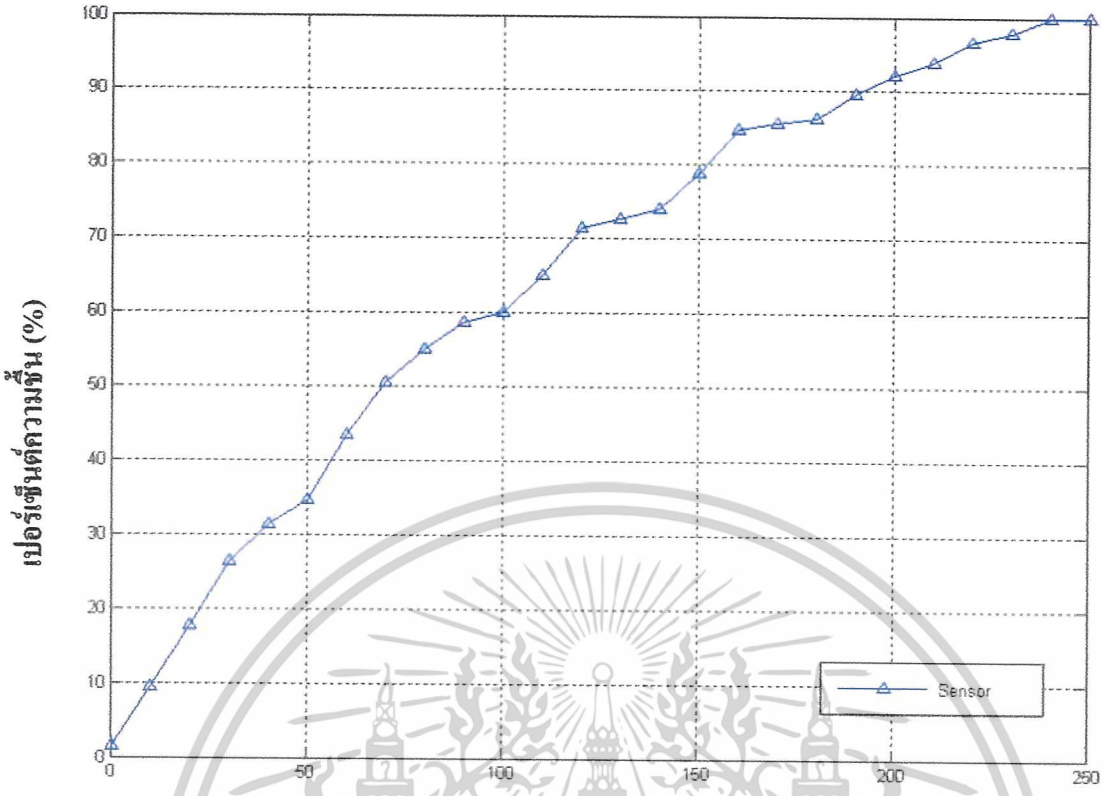
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการทดลอง

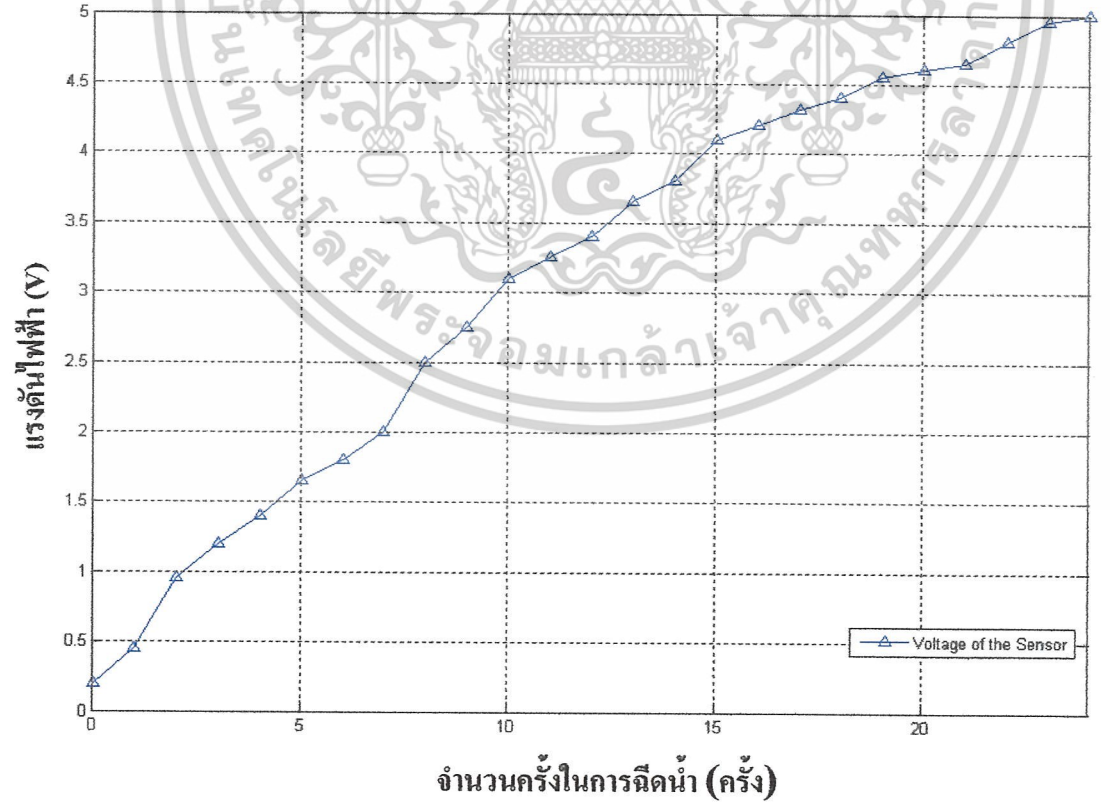
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ ความชื้น และแรงดันไฟฟ้า

ครั้งที่	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเซนเซอร์ (Volt)
0	1.54	0.20
1	9.41	0.45
2	17.64	0.95
3	26.27	1.20
4	31.27	1.40
5	34.70	1.65
6	43.45	1.80
7	50.58	2.00
8	54.96	2.50
9	58.70	2.75
10	60.00	3.10
11	64.95	3.25
12	71.33	3.40
13	72.55	3.65
14	73.94	3.80
15	78.87	4.10
16	84.70	4.20
17	85.59	4.32
18	86.27	4.40
19	89.51	4.55
20	92.15	4.60
21	93.89	4.65
22	96.65	4.80
23	97.79	4.95
24	100.00	5.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและความชื้น



รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำและแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นว่า เมื่อเราเพิ่มปริมาณของน้ำเรื่อย ๆ ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น (%) ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ทั้งสองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ดินอิ่มน้ำคือไม่สามารถดูดซับน้ำได้อีก นั่นแสดงว่าความชื้นที่อยู่ในดินจะแปรผันตรงโดยตรงกับปริมาณของน้ำที่เป็นส่วนประกอบหนึ่งในเนื้อดิน ซึ่งเราสามารถที่จะหาปริมาณของความจุความชื้นของดิน (Volumetric soil Moisture) ได้ดังสมการ

$$\theta_V = \frac{V_W}{V_S} \tag{4.1}$$

เมื่อ θ_V เป็นปริมาณของความจุความชื้นของดิน

V_W เป็นปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบของตัวอย่าง

V_S เป็นปริมาตรรวมของดินตัวอย่าง

และเราสามารถหาความถ่วงจำเพาะความชื้นของดิน (Volumetric versus Gravimetric soil water content)

$$\theta_G = \frac{M_W}{M_S} \tag{4.2}$$

เมื่อ θ_G เป็นความถ่วงจำเพาะความชื้นของดิน

M_W เป็นมวลของน้ำตัวอย่าง

M_S เป็นมวลรวมของดินตัวอย่างแห้ง

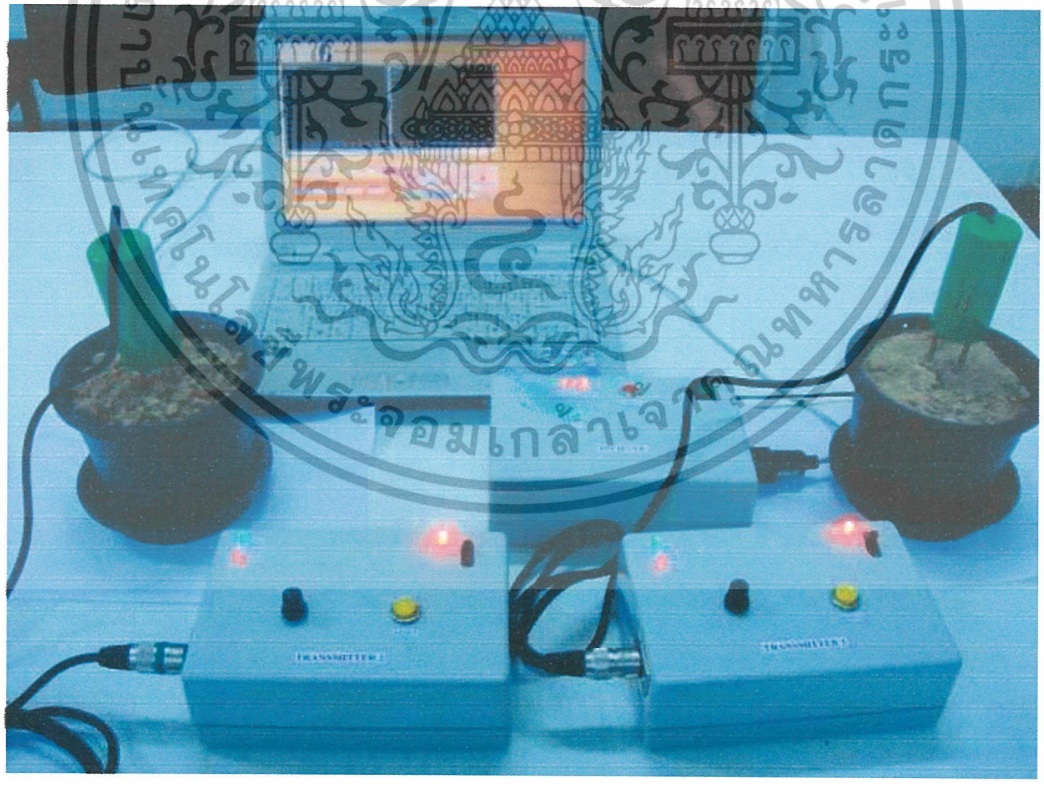
และจากการทดลองสังเกตได้ว่าวงจรของตัวเซนเซอร์นั้นได้ตอบสนองต่อความชื้นของดิน เห็นได้จากเมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากตัวเซนเซอร์นั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตาม เราจึงได้นำเอาหลักการเหล่านี้มาทำการสร้างและออกแบบตัวเซนเซอร์ซึ่งตอบสนองต่อค่าความชื้นที่แตกต่างกัน

แต่เนื่องจากผลของการทดลองนั้นคลาดเคลื่อน สังเกตได้จากเซนเซอร์แต่ละตัวที่ใช้วัดจะมีค่าไม่เท่ากัน อาจเป็นเพราะเซนเซอร์ทั้งสองตัววัดที่บริเวณที่ต่างกันก็ได้ ซึ่งพื้นที่แต่ละพื้นที่อาจมีค่าความชื้นต่างกันก็ได้ เราควรที่จะทำการควบคุมสภาวะแวดล้อมของการทดลองให้ดีกว่านี้ เช่น ใช้ภาชนะที่ไม่ทำให้ความชื้นของดินระเหยเร็วเกินไป อาจใช้ถุงพลาสติกครอบก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทวิจารณ์และบทสรุป

จากการทดลองลองที่ผ่านเป็นการแสดงเห็นว่าน้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญของความชื้น ที่ผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งเราใช้หลักการของความนำไฟฟ้าของน้ำที่มีอยู่ในดินเป็นหลักยิ่งมีน้ำมากหรือมีค่าความชื้นมากจึงทำให้ค่าความนำไฟฟ้ามากตามไปด้วย จึงได้นำเอาหลักการความนำไฟฟ้านี้มาใช้สังเกตเห็นว่าอุปกรณ์ที่เราใช้วัดนั้นแม้เมื่อเรานำดินไปตากแดดจนไม่มีน้ำระเหยออกมาก็ตามแต่ตัววัตถุอย่างอื่นที่ประกอบเป็นดินนั้นยังคงมีความนำไฟฟ้าอยู่บ้าง ซึ่งโดยตามปกติแล้วดินที่ใช้ในการเพาะปลูกส่วนใหญ่จะวัดความชื้นได้ในระดับสูงอยู่แล้ว เมื่อเรานำอุปกรณ์ไปวัดระหว่างดินที่มีความชื้นอยู่บ้างและดินที่มีความชื้นมากจะมีค่าต่างกันไม่มากนัก โดยที่ย่านที่เรานำมาพิจารณานั้นเป็นย่านที่ค่อนข้างแคบดังนั้นจึงควรมีการใช้วงจรเข้ารหัสที่มีจำนวนความละเอียดของบิตสูง เมื่อได้ค่าที่ต้องการเราจะนำค่านั้นมาวิเคราะห์ในคอมพิวเตอร์ และจะมีการวางแผนในการควบคุมการให้น้ำ เมื่อถึงช่วงเวลาที่พืชมีความต้องการน้ำมากคือมีความชื้นน้อยหรือค่าที่เราตั้งไว้เครื่องก็จะทำการให้น้ำโดยอัตโนมัติ



รูปที่ 5.1 แสดงอุปกรณ์ตรวจวัดความชื้นด้วยระบบคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 ปัญหาที่พบ

1. ค่าความชื้นที่ได้ไม่มีมาตรฐาน เนื่องจากไม่มีการเทียบวัดค่ากับอุปกรณ์มาตรฐาน
2. ตัวโปรแกรมสามารถบันทึกค่าได้แล้วแต่ยังไม่สามารถนำค่ามาใช้ประโยชน์ได้
3. ตัวอุปกรณ์ยังไม่มีความเสถียรเท่าที่ควรค่าที่ได้ยังผิดเพี้ยนอยู่
4. เกิดสัญญาณรบกวนจากอุปกรณ์ที่มีความถี่เดียวกัน

5.2 การแก้ปัญหา

1. ทำการเทียบวัดค่ากับอุปกรณ์มาตรฐาน
2. ทำการศึกษาการเขียนโปรแกรมเพิ่ม หรือปรึกษาผู้ที่มีความรู้ความชำนาญด้านนั้นๆ
3. ทำการพัฒนาให้ตัวเซนเซอร์โดยการปรับแต่งวงจรใหม่
4. ใช้งานในสถานที่ที่ไม่มีสัญญาณรบกวน

5.3 แนวทางในการนำไปพัฒนาต่อ

เนื่องจากระบบได้ทำการออกแบบให้สามารถรับข้อมูลความชื้นได้เพียงส่วนเดียวดังนั้นทำการเพิ่มปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูก เช่น อุณหภูมิ ความชื้นอากาศ ความดันบรรยากาศ สภาพภูมิอากาศ เป็นต้น ซึ่งจะเป็นการช่วยให้ระบบมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และควรที่จะขยายหรือพัฒนาให้เป็นระบบเครือข่ายขนาดใหญ่ เช่น ระบบฟาร์ม โดยการเพิ่มอุปกรณ์ให้มากขึ้น จะทำให้สามารถวัดค่าความชื้น และค่าอื่นๆ ให้สามารถมีสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ขจร อนุดิตย์. 2550. **การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ด้วยภาษา C**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ Core function.

ดำรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งก่อสกุล, นาวี จิระชีวี และอิทธิสุนทร นันทกิจ. 2545. **การออบแบบและเทคโนโลยี การให้น้ำแก่พืช**. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัดมิตรเกษตรการตลาดโฆษณา.

ทีมงานอิเล็กทรอนิกส์แฟนคลับ. 2550. **รวมวงจร Project 1**. กรุงเทพฯ: ทีมงานอิเล็กทรอนิกส์แฟนคลับ.

ธานิน สิทธิธรรมชารี. 2551. **สร้างโปรแกรมบน Window ด้วย Visual Basic 6.0**. กรุงเทพฯ: บริษัท ซัสเซส มีเดีย จำกัด.

สุรชัย สุขสกุลชัย. **วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์**. กองบริการศึกษา มหาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี: งานเอกสารและการพิมพ์ หน่วยงานการสร้างตำรา

สุรพล รักวิจัย. 2542. **ฟิสิกส์ 2 สำหรับวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์**. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

อุดม รานอก. 2548. **ภาษา C สำหรับควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51**. นนทบุรี: บริษัท ไอดีซี อินโฟดิสทริบรินเตอร์ เซ็นเตอร์ จำกัด.

อรรถพล บุญโภคา, วรพจน์ กรงแก้ววัฒนกุล และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. **เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม**. กรุงเทพฯ: บริษัท อินโฟเวตีฟ เอ็กเพจริเมนต์ จำกัด.

อภิชาติ ภู่พลับ. 2546. **เริ่มต้นเขียนโปรแกรมติดต่อและควบคุมฮาร์แวร์ด้วย Visual Basic**. กรุงเทพฯ: พิมพ์โดย Info press developer book.

อภิชาติ ภู่พลับ. 2546. **สนุก! กับการประยุกต์ใช้ Visual Basic. กรุงเทพฯ**: พิมพ์โดย Info press developer book.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้