สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบให้น้ำอัตโนมัติ

นายนิธิ อนุกูลสัมพันธ์
นางสาววรัญญา ถิระพุทธิพงษ์

ว.ท.
ร.ส.
2549

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....62300
วัน,เดือน,ปี.....- 8 ส.ค. 2549

.b.....11620055.....
.i.....

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Automatic Water Controller

MR. Nithi Anukulsampan

MISS. Waranya Thirapuutipong

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

Department of Applied Physics

King Mongkut's Institute of Technology Lardkrabang

Acedamic Year 2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง ระบบให้น้ำอัตโนมัติ

นักศึกษา นายนิธิ อนุกูลสัมพันธ์

นางสาววรัญญา ถิระพุทธิพงษ์

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.วิชิต ศิริโชติ

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติโครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ			ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	อ.ภูมินทร์	จินดาจิธาวัฒน์	
กรรมการ	อ.วิฑูรย์	ยินดีสุข	
กรรมการ	ดร.ปิติพร	ถนอมงาม	
กรรมการที่ปรึกษา	รศ.วิชิต	ศิริโชติ	

.....

(รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชิตธีระ)

หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	ระบบให้น้ำอัตโนมัติ
นักศึกษา	นายนิธิ อนุกูลสัมพันธ์ นางสาววรัญญา ถิระพุทธิพงษ์
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์ - เครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2548
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.วิชิต ศิริโชติ

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบการจ่ายน้ำอัตโนมัติ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ตระกูล AVR MEGA16 โปรแกรมควบคุมได้รับพัฒนาด้วยภาษาซี การทำงานมี 3 โหมด ได้แก่ โหมดความชื้น โหมดเวลาและโหมดอุณหภูมิ โหมดที่หนึ่งเป็นการควบคุมการจ่ายน้ำขึ้นอยู่กับความชื้นในดิน โหมดที่สองควบคุมโดยตั้งเวลาเปิด-ปิดการให้น้ำ โหมดที่สามเป็นการควบคุมโดยอาศัยอุณหภูมิอากาศ การประยุกต์การใช้งานมีหลากหลาย เช่น การรดน้ำบริเวณบ้านหรือสวน และการระบายความร้อนในระบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Automatic Water Controller
Name	Mr. Nithi Anukulsampan Miss. Waranya Thiraputtipong
Department	Applied Physics
Program	Applied Physics-Science and Industry Instrumentation
Academic Year	2005
Special Project Advisor	Assoc.Prof. Wichit Sirichote

ABSTRACT

A device used for supplying water has been designed and built. The device is based on AVR MEGA16, 8-bit microcontroller. The firmware was developed with c language. The operation has three modes i.e., soil moisture detection mode, timer mode and temperature mode. The first mode controls the amount of water depending on soil moisture. The second mode uses preset time interval. The third mode uses air temperature sensing. The applications include home gardening, farm, and heat ventilation system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากการสนับสนุน ช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากบุคคลหลายท่านซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ. ที่นี้ด้วย

บิดาและมารดา	ผู้ซึ่งให้กำเนิดเลี้ยงดูให้โอกาสในการศึกษาและให้กำลังใจตลอดมา
รศ.วิชิต ศิริโชติ	ผู้ซึ่งถ่ายทอดวิชาความรู้ทั้งด้านวิชาการให้คำปรึกษาในการทำงานเป็นอย่างดีมาตลอดจนโครงงานนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และคอยสนับสนุนอุปกรณ์ในโครงงานทำให้สามารถเกิดโครงงานนี้ได้
อ.วิฑูรย์ ยินดีสุข	ผู้ที่แนะนำการใช้เครื่องมือและอำนวยความสะดวก ในการใช้ห้องปฏิบัติการ
อ.สุรชาติ กมลดิลก	ผู้ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางในการทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี
เจ้าหน้าที่ QOS LAB	ที่คอยให้คำปรึกษาสำหรับการใช้เครื่องมือและอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการ
เพื่อนๆ พี่น้องทุกคน	ที่คอยให้กำลังใจและถามไถ่ทุกข์สุขมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบคุณบุคคลทุกๆท่านที่ให้ความช่วยเหลือที่มิได้กล่าวถึงมา ณ.ที่นี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณ

นิธิ และ วรัญญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตในการศึกษา	3
1.4 ระยะเวลาในการดำเนินงาน	5
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	7
2.1 ดิน	7
2.1.1 การกำเนิดดิน	8
2.1.2 หน้าตัดดิน	12
2.1.3 เนื้อดิน	13
2.1.4 โครงสร้างของดิน	15
2.1.5 อุณหภูมิของดิน	17
2.2 น้ำในดิน	18
2.2.1 ชนิดของน้ำในดิน	18
2.2.2 ความชื้นในดิน	19
2.2.3 การหาปริมาณความชื้นในดิน	20
2.2.4 Field Capacity	21
2.2.5 จุดเหี่ยวเฉาถาวร	21
2.2.6 ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้	22
2.2.7 การเคลื่อนที่ของน้ำในดิน	24
2.2.8 ดินเก็บน้ำไว้ได้อย่างไร	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3 การให้น้ำแบบฉีดฝอย	25
2.3.1 การเลือกใช้การให้น้ำแบบฉีดฝอย	25
2.4 พืชและการให้น้ำของพืช	27
2.4.1 ลักษณะการแพร่กระจายของราก	27
2.4.2 การดูดน้ำจากดินในชั้นต่างๆ	29
2.4.3 องค์ประกอบที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช	30
2.4.4 ความถี่ในการให้น้ำ	30
2.5 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช	30
2.5.1 พืชกับการกำหนดการให้น้ำ	31
2.5.2 ดินกับการกำหนดการให้น้ำ	33
2.5.3 องค์ประกอบอื่นๆกับการกำหนดการให้น้ำ	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	40
3.1 องค์ประกอบของเครื่อง	40
3.1.1 ส่วนของชุดวัดความชื้นในดิน	40
3.1.2 ส่วนของวงจรสัญญาณนาฬิกา	42
3.1.3 ส่วนของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ	42
3.1.4 วิธีการทดลองเขียนโปรแกรมควบคุมการรดน้ำ	44
3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรม	45
บทที่ 4 ผลการทดลอง	46
4.1 ผลการทดลองวัดค่าความชื้นในดิน	46
4.2 ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิ	49
4.3 ผลการทดลองโหลดโปรแกรม	51
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	54
5.1 สรุปผลการทดลอง	54
5.2 แนวทางการพัฒนา	54
เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก วงจรรวมของระบบ

ภาคผนวก ข โปรแกรมควบคุมระบบ

ภาคผนวก ค รูปโครงงาน

ภาคผนวก ง ข้อมูลเฉพาะของ MEGA16

ภาคผนวก จ ข้อมูลเฉพาะของ DS1307

ภาคผนวก ฉ คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงระยะเวลาในการทำงาน 5

ตารางที่ 2.1 แสดงการผุพังของแร่ 8

ตารางที่ 2.2 แสดงสมบัติของดินที่เปลี่ยนไปตามเวลา 11

ตารางที่ 2.3 แสดงความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่างๆ 23

ตารางที่ 2.4 แสดงความลึกของรากเมื่อพืชโตเต็มที่และปริมาณน้ำที่พืชต้องการตลอดฤดูการเพาะปลูก 28

ตารางที่ 2.5 แสดงช่วงวิกฤต (Critical Period) ในความต้องการน้ำของพืช 33

ตารางที่ 2.6 ลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินที่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ในระดับต่างๆ 37

ตารางที่ 4.1 ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ ณ ความชื้นในดินทุกๆ 5 เปอร์เซ็นต์ 46

ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่า Thermistor กับ อุณหภูมิของ PT100 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงระบบการรดน้ำในไร่ 1

รูปที่ 1.2 Spin a Knob for Simple Timed Sprinkler Control 1

รูปที่ 1.3 Easy-to-Program Water Timer Schedules Multiple Watering Sessions 1

รูปที่ 1.4 Turn Your Hose Faucet Into an Automatic Sprinkling System 2

รูปที่ 1.5 Control Sprinkler System Via X10 Commands or Over Internet 2

รูปที่ 1.6 แสดงส่วนประกอบเครื่องควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติ 2

รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของดิน 7

รูปที่ 2.2 แสดงการผุพังของเฟลด์สปาร์ 9

รูปที่ 2.3 แสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อดิน 10

รูปที่ 2.4 แสดงชั้นดิน 12

รูปที่ 2.5 แสดงอนุภาคของดิน 13

รูปที่ 2.6 แสดงสัดส่วนการกระจายตัวของอนุภาคดิน 15

รูปที่ 2.7 โครงสร้างดินแบบต่างๆ 16

รูปที่ 2.8 แสดงค่าเฉลี่ยของความชื้นที่พืชดูดไปจากดินในชั้นต่างๆ 29

รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 34

รูปที่ 3.1 แผนผังการทำงานเมื่อใช้เซนเซอร์วัดความชื้น 40

รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานเมื่อใช้สัญญาณนาฬิกา 42

รูปที่ 3.3 รูปแสดงวงจรวัดค่าอุณหภูมิในอากาศ 42

รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของโปรแกรม 45

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเปอร์เซ็นต์ความชื้น 47

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิPT100กับค่าADCของMEGA16 50

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์การอ่านอุณหภูมิระหว่าง PT100 กับ Thermistor 50

รูปที่ 4.4 แสดงการ compile Source Code ที่เขียนขึ้นด้วยภาษา C 51

รูปที่ 4.5 แสดงการโหลดโปรแกรมที่ compile แล้วลงบน CHIP 51

รูปที่ 4.6 แสดงการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่โหลดลงบน CHIP แล้ว 52

รูปที่ 4.7 แสดงการทำงานเมื่อโหลดโปรแกรมลงบน CHIP แล้ว 52

รูปที่ 4.8 แสดงค่าความชื้นและอุณหภูมิที่วัดได้ 53

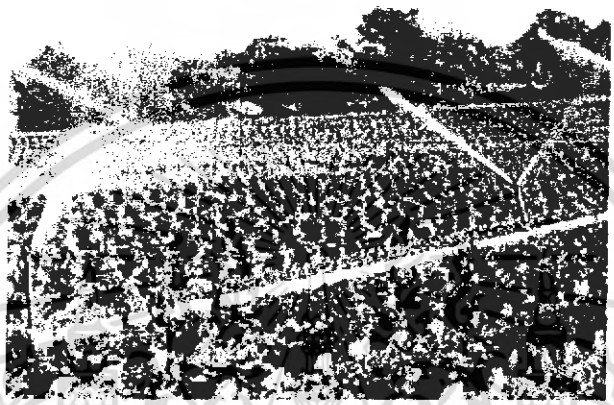
รูปที่ 4.9 แสดงค่าเวลา 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

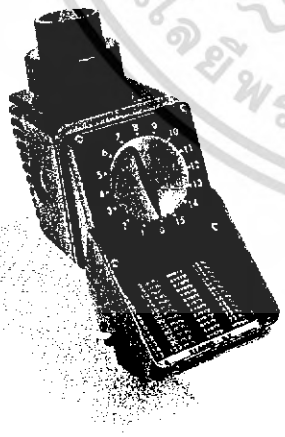
1.1 ความเป็นมาของโครงงานพิเศษ

ในปัจจุบันนี้ประเทศของเราต้องการการพัฒนาทางด้านการเกษตรเป็นอย่างมาก ดังนั้นการควบคุมระบบต่างๆเพื่อการเกษตรจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก



รูปที่ 1.1 แสดงระบบการรดน้ำในไร่

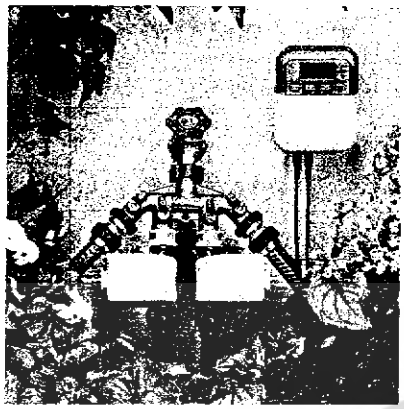
จากรูปแสดงถึงระบบการรดน้ำในสวนที่ควบคุมโดยมนุษย์ ดังนั้นการทำโครงงานนี้เราจึงเลือกที่จะทำการควบคุมระบบน้ำ ซึ่งในปัจจุบันมนุษย์เริ่มพัฒนาและปรับปรุงสิ่งประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อนำมาใช้ในการอำนวยความสะดวกและเป็นการลดต้นทุนในการประกอบกิจการ ซึ่งตัวอย่างสิ่งประดิษฐ์นี้ได้แก่



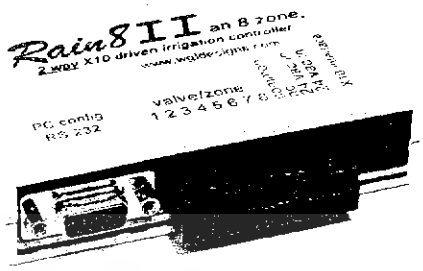
รูปที่1.2 Spin a Knob for Simple Timed Sprinkler Control

รูปที่1.3 Easy-to-Program Water Timer Schedules Multiple Watering Sessions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

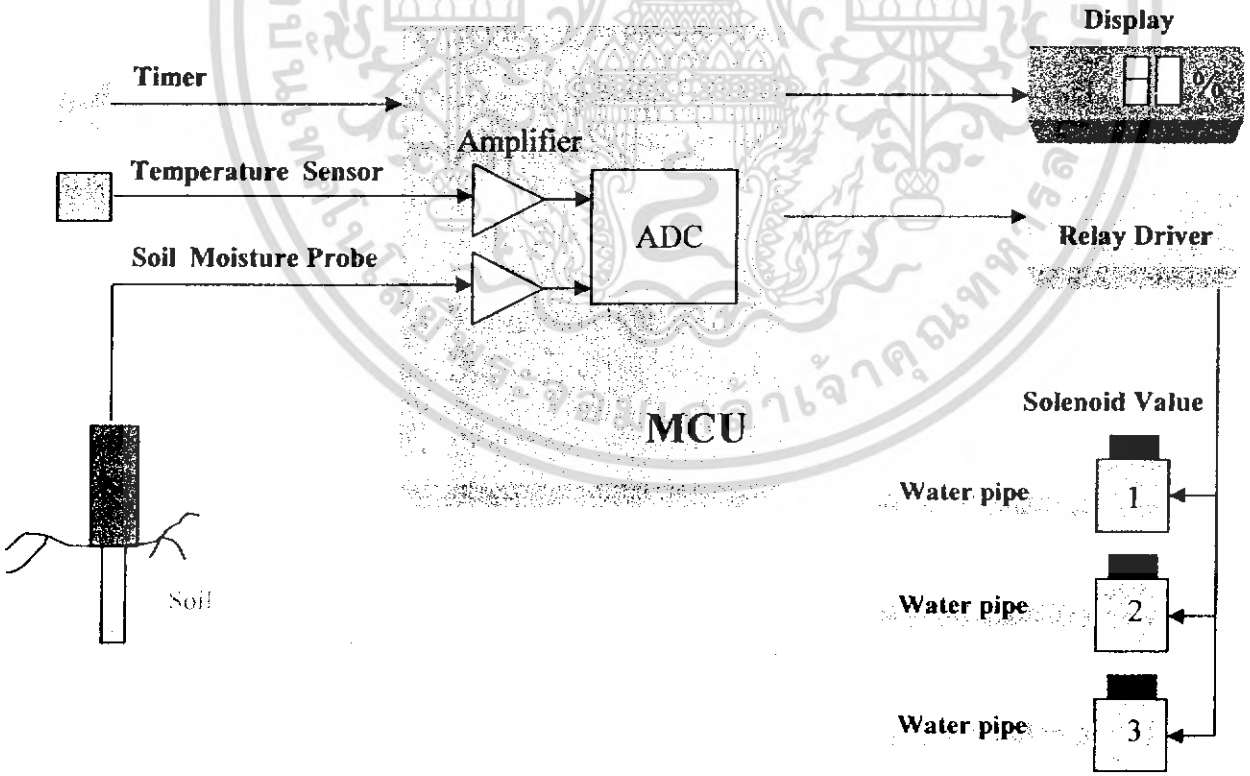


รูปที่1.4 Turn Your Hose Faucet Into an Automatic Sprinkling System



รูปที่1.5 Control Sprinkler System Via X10 Commands or Over Internet

จากภาพในข้างต้นซึ่งเป็นเครื่องควบคุมการรดน้ำที่มีขีดจำกัดการใช้งานที่ต่างกัน ดังนั้นเราจึงเล็งเห็นความสำคัญของการสร้างเครื่องควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย สำหรับกระบวนการหลักๆ ที่ใช้สร้างเครื่องควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติมีดังนี้



รูปที่1.6 แสดงส่วนประกอบเครื่องควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 1.6 เครื่องควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัตินี้ จะอาศัยตัวแปรสำคัญที่นำมาใช้การควบคุมการให้ปริมาณน้ำอย่างเหมาะสม คือ การวัดปริมาณความชื้นในดิน หรือ การตั้งเวลาในการเปิด-ปิดการให้น้ำ หรือ การวัดปริมาณอุณหภูมิของอากาศในแต่ละวัน

หลักการนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น สร้างเครื่องเพื่ออำนวยความสะดวกต่อผู้ที่ต้องการรดน้ำต้นไม้ภายในบ้านหรือพื้นที่ทางการเกษตร โดยการทำงานของระบบนี้สามารถจะสามารถตั้งเวลาในการเปิด-ปิดวาล์วน้ำและสามารถเปิดเครื่องควบคุมการให้น้ำของต้นไม้แบบอัตโนมัติทิ้งไว้เพื่อรดน้ำในปริมาณที่พอเหมาะของต้นไม้ในสภาพภูมิอากาศในแต่ละวัน หรือ การให้น้ำแก่ระบบต่างๆ เช่น นำระบบการวัดอุณหภูมิในอากาศไปใช้กับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เมื่อวัดระดับความร้อนจนถึงค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้ระบบจะทำการจ่ายน้ำเพื่อใช้ระบายความร้อนภายในฟาร์มได้

1.2 วัตถุประสงค์

1. สามารถออกแบบชุดวัดความชื้นในดินและชุดวัดอุณหภูมิในอากาศอย่างง่ายได้
2. ศึกษาการทำงานของโซลินอยด์วาล์วและSprinkler เพื่อมาประยุกต์ใช้ในการรดน้ำ
3. สามารถออกแบบวงจร MCU เพื่อใช้ในการประมวลผลต่างๆ
4. สามารถสร้างเครื่องควบคุมการเปิด-ปิดน้ำแบบอัตโนมัติได้โดยอาศัยตัวแปรต่างๆได้ เช่น อุณหภูมิ, ความชื้นภายในดินและเวลา

1.3 ขอบเขตในการศึกษา

สำหรับขอบเขตในการศึกษาของโครงงานนี้เราสามารถแบ่งเป็นส่วนๆได้ดังนี้

1.3.1 ส่วนทฤษฎี

- ศึกษาปริมาณของความชื้นในดินเพื่อนำไปกำหนดปริมาณในการรดน้ำต้นไม้
- ศึกษาการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว
- ศึกษาระบบการจ่ายน้ำต่างๆ เช่น การใช้ Sprinkler

1.3.2 ส่วนของการออกแบบวงจร

- ทำการออกแบบชุดวัดความชื้นในดินและชุดวัดอุณหภูมิในอากาศอย่างง่ายเพื่อนำข้อมูลนี้มาประมวลผลในการรดน้ำต้นไม้แบบอัตโนมัติ
- ทำ การออกแบบวงจร MCU เพื่อใช้ในการประมวลผลรวมเพื่อไปควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์วและนำไปใช้ในส่วนแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.3 ส่วนของการทดสอบระบบและผล

เมื่อออกแบบวงจรได้แล้วเราจะนำชุดวัดความชื้นในดินและชุดวัดอุณหภูมิในอากาศอย่างง่ายและชุดการทำงานของโซลินอยด์วาล์วและSprinklerไปติดตั้งตามจุดที่ต้องการรดน้ำและทดสอบว่าปริมาณการรดน้ำตรงตามที่ต้องการหรือไม่ และทำการเก็บข้อมูลต่างๆจากการวัดเพื่อเป็นฐานข้อมูลในการพัฒนาอุปกรณ์ให้ดีขึ้นต่อไป

1.3.4 ส่วนของ Packaging เป็นการออกแบบและสร้างชุดผลิตภัณฑ์ให้เหมาะสมต่อการใช้งานและมีราคาประหยัด สะดวกต่อการใช้งาน ได้แก่ การออกแบบที่สามารถเชื่อมต่อเพื่อควบคุมผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการ	ปี 2548							ปี 2549		
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ศึกษาและออกแบบชุดวัดอุณหภูมิในอากาศ และชุดความชื้นในดิน	⟷									
2. ออกแบบวงจรMCUและเขียนโปรแกรม		⟷	⟷	⟷	⟷	⟷	⟷			
3. ทดสอบระบบและบันทึกผลการทดลอง							⟷	⟷		
4. ทำการประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ (Packaging)								⟷	⟷	
5. จัดทำเอกสารประกอบ	⟷	⟷	⟷	⟷	⟷	⟷	⟷	⟷	⟷	⟷
6. ตรวจสอบความถูกต้องครั้งสุดท้าย									⟷	

ตารางที่1.7 แสดงระยะเวลาในการทำงาน

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ในการทำโครงงานนี้เป็นการออกแบบเครื่องควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติดังนั้นอุปกรณ์นี้ควรสามารถตั้งเวลาในการรดน้ำและในการให้น้ำของ Sprinkler จะสามารถควบคุมการให้น้ำของระบบได้อย่างเหมาะสม โดยอุปกรณ์นี้สามารถติดตั้งได้ง่ายสะดวกต่อการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดิน (Soils)

ดิน (Soils) คือ วัตถุธรรมชาติที่ปกคลุมผิวโลกอยู่บางๆ เกิดขึ้นจากผลของการแปรสภาพหรือผุพังของหินและแร่และอินทรียวัตถุผสมคลุกเคล้ากันโดยมีส่วนประกอบดังนี้

- **อนินทรียวัตถุ (Mineral matter)** ได้แก่ส่วนของแร่ต่างๆ ภายในหินซึ่งผุพังสึกกร่อนเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยโดยทางเคมี,ฟิสิกส์และชีวเคมี
- **อินทรียวัตถุ (Organic matter)** ได้แก่ส่วนที่เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังหรือสลายตัวของซากพืชซากสัตว์ที่ทับถมกันมีอยู่ประมาณ5%
- **น้ำ** ในสารละลายซึ่งพบอยู่ในช่องระหว่างเม็ดดิน (Aggregate) หรืออนุภาคดิน (Particle)
- **อากาศ** อยู่ในที่ว่างระหว่างเม็ดดินหรืออนุภาคดิน ก๊าซส่วนใหญ่ที่พบทั่วไปในดิน ได้แก่ ไนโตรเจน,ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาตรของแต่ละส่วนประกอบของดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก โดยทั่วไปจะมีแร่ 45% อินทรียวัตถุ 5% น้ำ 25% และอากาศ 25% ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แสดงองค์ประกอบของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 การกำเนิดดิน

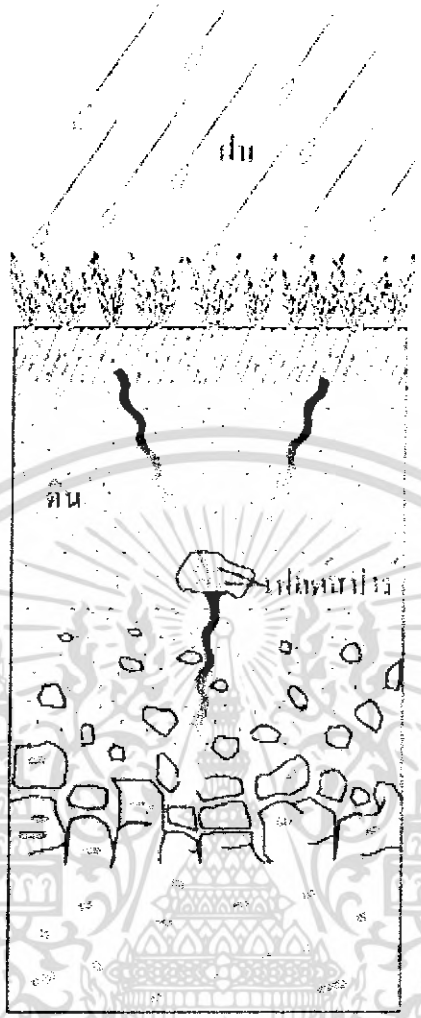
ดิน ประกอบขึ้นจากหินที่ผุพัง จึงมีองค์ประกอบเป็นแร่ดินเหนียว (Clay mineral) ซึ่งพัฒนามาจากแร่ประกอบหินบนเปลือกโลก ได้แก่ เฟลด์สปาร์ ควอรตซ์ ไมก้า เป็นต้น ตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงการผุพังของแร่แต่ละชนิด ซึ่งทำให้เกิดแร่ดินเหนียวและประจุต่างๆ ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลาย

ตารางที่ 2.1 แสดงการผุพังของแร่

แร่	CO_2 และ H_2O	ผลิตผลหลัก		ผลิตผลรอง
เฟลด์สปาร์	--->	แร่ดินเหนียว	+	ทราย, ประจุ (โซเดียม แคลเซียม โปแตสเซียม)
ควอรตซ์	--->	ทราย		
ไมก้า	--->	แร่ดินเหนียว	+	ทราย, เหล็กออกไซด์, ประจุ (โซเดียม แคลเซียม โปแตสเซียม แมกนีเซียม)
แคลไซด์	--->	-	->	ประจุ (แคลเซียม ไบคาร์บอเนต)

ในรูปที่ 2.2 แสดงให้เห็นถึงการผุพังของแร่เฟลด์สปาร์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของหินต้นกำเนิดดิน (Parent rock) เมื่อฝนตกลงมา น้ำฝนจะละลายคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ทำให้มีสภาพเป็นกรดอ่อนๆ (กรดคาร์บอนิก) น้ำฝนบนพื้นผิวซึมลงสู่เบื้องล่างและทำปฏิกิริยากับแร่เฟลด์สปาร์ที่อยู่ในหิน ทำให้เกิดการผุพังทางเคมี (Chemical weathering) แตกสลายเป็นเม็ดทราย (ซิลิกา), แร่ดินเหนียว (Clay mineral), ประจุโซเดียม แคลเซียม และโปแตสเซียม ในรูปของสารละลาย ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่สำคัญสำหรับพืชต่อไป

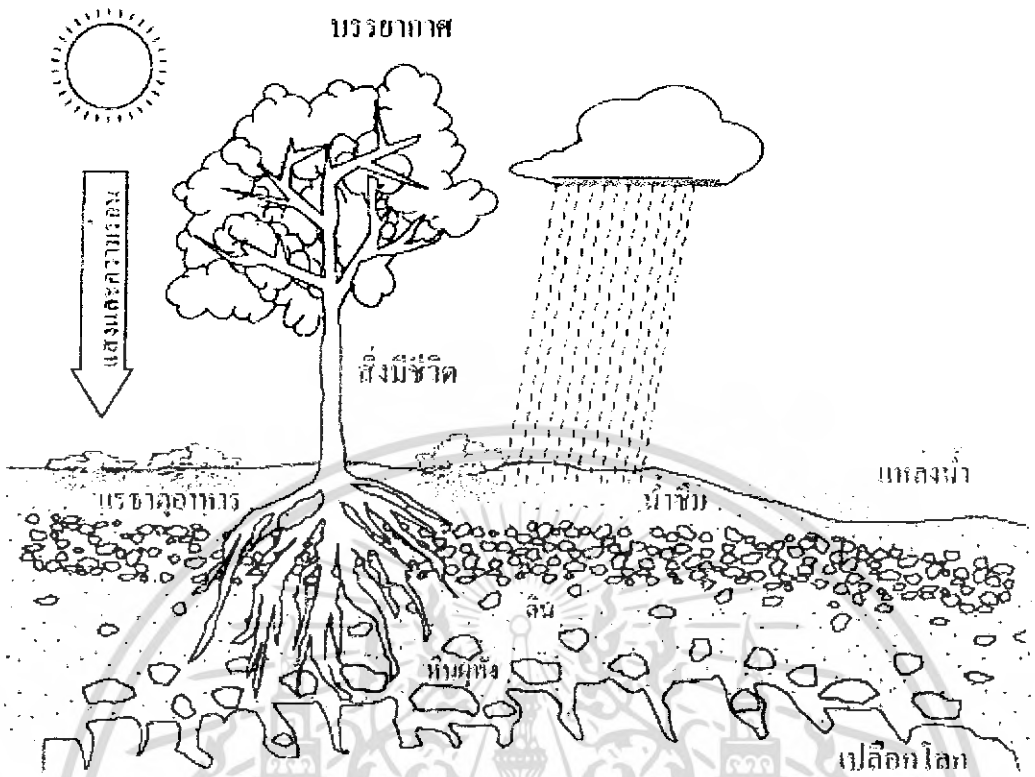
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงการผุพังของเฟลด์สปาร์

ดิน เป็นตะกอนวัสดุบนเปลือกโลก ที่มีพัฒนาการที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมอันได้แก่ บรรยากาศ น้ำ และสิ่งมีชีวิต เราจะเรียกตะกอนวัสดุเหล่านี้ว่า"ดิน" ก็ต่อเมื่อมีส่วนประกอบของสิ่งมีชีวิต เช่น ซากพืช ซากสัตว์ เข้ามาเกี่ยวข้อง หากเป็นแต่เพียงตะกอนวัสดุที่ไม่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตก็จะเรียกว่า "เรโกลิธ" (Regolith) เช่น ผงตะกอนบนดวงจันทร์ ซึ่งเกิดจากการพุ่งชนของอุกกกาบาต แม้ว่าเราจะเห็นว่ามีดินอยู่โดยทั่วไป ทว่าความจริงดินมีอยู่น้อยมากเมื่อเทียบสัดส่วนปริมาณกับหินที่อยู่บนเปลือกโลก แต่กระนั้นดินก็มีความสำคัญมากสำหรับสิ่งมีชีวิตบนพื้นโลก ดินตรึงธาตุไนโตรเจนและคาร์บอนจากบรรยากาศมาสร้างธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิต ในเวลาเดียวกันสิ่งมีชีวิตเองก็ทำให้หินผุพังกลายเป็นดิน จะเห็นได้ว่า ดิน สิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อมมีอิทธิพลซึ่งกันและกันเป็นอย่างมาก ดังที่แสดงในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อดิน

ดินมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา คุณสมบัติบางประการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เช่น อุณหภูมิ และปริมาณน้ำ (ทุกนาที) ในขณะที่คุณสมบัติบางประการเปลี่ยนแปลงช้ามาก เช่น ชนิดของแร่ (อาจต้องใช้เวลาเป็นร้อยหรือพันปี) คุณสมบัติของดินจะเป็นอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักสำคัญ 5 ประการ ดังนี้

1. วัตถุต้นกำเนิดดิน ดินจะเป็นอย่างไรขึ้นกับวัตถุต้นกำเนิดดิน ได้แก่ หินพื้น (Parent rock) อินทรียวัตถุ ผิวดินดั้งเดิม หรือ ชั้นหินตะกอนที่เกิดจากการพัดพาของน้ำ ลม ธารน้ำแข็ง ภูเขาไฟ หรือวัตถุที่เคลื่อนที่ลงมาจากพื้นที่ลาดชัน

2. ภูมิอากาศ ความร้อน ฝน น้ำแข็ง หิมะ ลม แสงแดด และแรงกระทบจากสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ซึ่งทำให้วัตถุต้นกำเนิดผุพัง แตกหัก และมีผลต่อกระบวนการเกิดดินว่า จะเกิดเร็วหรือช้า

3. สิ่งมีชีวิต พืชและสัตว์ทั้งหมดที่อาศัยอยู่ในดินหรือบนดิน (รวมถึงจุลินทรีย์ และมนุษย์) ปริมาณน้ำและธาตุอาหารที่พืชต้องการมีผลต่อการเกิดดิน สัตว์ที่อาศัยอยู่ในดินจะช่วยย่อยสลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเสียและช่วยเคลื่อนย้ายวัตถุต่างๆ ไปตามหน้าตัดดิน ซากพืชและสัตว์ที่ตายแล้วจะกลายเป็นอินทรียวัตถุ ซึ่งทำให้ดินสมบูรณ์ขึ้น การใช้ที่ดินของมนุษย์ ก็มีผลต่อการสร้างดินด้วยเช่นกัน

4. ภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศจะมีผลต่อดินอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดินตามลักษณะภูมิประเทศเช่น ดินที่เชิงเขาจะมีความชื้นมากกว่าดินในบริเวณพื้นที่ลาด และพื้นที่ที่ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงจะทำให้ดินแห้งเร็วขึ้น

5. เวลา ปัจจัยข้างต้นทั้งหมดเกี่ยวข้องกับเวลา เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไปการพัฒนาของชั้นดินจะเพิ่มขึ้น

ตาราง 2.2 แสดงสมบัติของดินที่เปลี่ยนไปตามเวลา

คาบเวลา นาที ชั่วโมง วัน	คาบเวลา เดือน ปี	คาบเวลา ร้อยปี พันปี หมื่นปี
• อุณหภูมิ	• ปฏิกิริยาของดิน	• ชนิดของหินแร่
• ปริมาณความชื้น	• สีของดิน	• การกระจายของขนาดอนุภาคดิน
• ช่องว่างของในดิน	• โครงสร้างของดิน	• การสร้างชั้นดิน
	• ปริมาณอินทรียวัตถุในดิน	
	• ความอุดมสมบูรณ์ของดิน	
	• จุลินทรีย์ดิน	
	• ความหนาแน่น	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 หน้าตัดดิน

ปัจจัยต่างๆ ของการกำเนิดดิน ทำให้ได้ดินที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันอย่างมาก ดินในภูมิประเทศหนึ่งๆ จะมีลักษณะเฉพาะของตัวเอง เราเรียกภาคตัดตามแนวดิ่งของชั้นดินเรียกว่า **"หน้าตัดดิน"** (Soil Horizon) หน้าตัดดินบอกถึงลักษณะทางธรณีวิทยา และประวัติภูมิอากาศของภูมิประเทศที่เกิดขึ้นมาก่อนหน้านี้นับพันปี รวมถึงว่ามนุษย์ใช้ดินอย่างไร อะไรเป็นสาเหตุให้ดินนั้นมีสมบัติเช่นในปัจจุบัน ตลอดจนแนวทางที่ดีที่สุดในการใช้ดิน

รูปที่ 2.4 แสดงชั้นดิน

หน้าตัดดินประกอบด้วยดินที่ทับถมกันเป็นชั้นๆ เรียกว่า **"ชั้นดิน"** (Soil horizon) ชั้นดินบางชั้นอาจจะบางเพียง 2-3 มิลลิเมตร หรือหนากว่า 1 เมตร ก็ได้ เราสามารถจำแนกชั้นดินแต่ละชั้นจากสี และโครงสร้างของอนุภาคดินที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นยังสามารถใช้คุณสมบัติอื่นๆ ที่แตกต่างกันระหว่างดินชั้นบนและดินชั้นล่างได้อีกด้วย ดินบางชั้นเกิดจากการพังทลายและถูกชะล้างโดยกระแสน้ำ ดินบางชั้นเกิดจากตะกอนทับถมกันนานหลายพันปี นักปฐพีวิทยากำหนดชื่อของชั้นดินโดยใช้ลักษณะทางกายภาพ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **ชั้นโอ (O Horizon)** เป็นดินชั้นบนสุดมักมีสีคล้ำเนื่องจากประกอบด้วยอินทรียวัตถุ (Organic) หรือ ฮิวมัส ซึ่งเป็นซากพืชซากสัตว์ ซึ่งทำให้เกิดความเป็นกรด ดินชั้นโอส่วนใหญ่จะพบในพื้นที่ป่า ส่วนในพื้นที่การเกษตรจะไม่มีชั้นโอในหน้าตัดดิน เนื่องจากถูกไถพรวนไปหมด

- **ชั้นเอ (A Horizon)** เป็นดินชั้นบน (Top soil) เป็นส่วนที่มีน้ำซึมผ่าน ดินชั้นเอส่วนใหญ่ประกอบด้วยหินแร่และอินทรียวัตถุที่ย่อยสลายสมบูรณ์แล้วอยู่ด้วย ทำให้ดินมีสีเข้ม ในพื้นที่เกษตรกรรมดินชั้นเอจะถูกไถพรวน เมื่อมีการย่อยสลายของรากพืชและมีการสะสมอินทรียวัตถุ โดยปกติโครงสร้างของดินจะเป็นแบบก้อนกลม แต่ถ้าดินมีการอัดตัวกันแน่น โครงสร้างของดินในชั้นเอจะเป็นแบบแผ่น

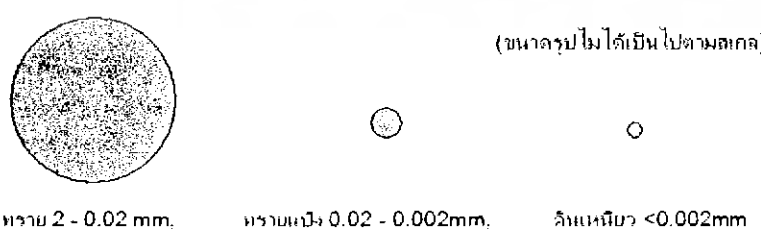
- **ชั้นบี (B Horizon)** เป็นชั้นดินล่าง (subsoil) เนื้อดินและโครงสร้างเป็นแบบก้อนเหลี่ยมหรือแท่งผลึก เกิดจากการชะล้างแร่ธาตุต่างๆ ของสารละลายต่างๆ เคลื่อนตัวผ่านชั้นเอ ลงมามาสะสมในชั้นบี ในเขตภูมิอากาศชื้น ดินในชั้นบีส่วนใหญ่จะมีสีน้ำตาลปนแดง เนื่องจากการสะสมตัวของเหล็กออกไซด์

- **ชั้นซี (C Horizon)** เกิดจากการผุพังของหินกำเนิดดิน (Parent rock) ไม่มีการตกตะกอนของวัสดุดินจากการชะล้าง และไม่มีการสะสมของอินทรียวัตถุ

- **ชั้นอาร์ (R Horizon)** เป็นชั้นของวัตถุต้นกำเนิดดิน หรือ หินพื้น (Bedrock)

2.1.3 เนื้อดิน (Soil Texture)

เนื้อดิน หมายถึง องค์ประกอบเชิงกายภาพของดิน เราจะสังเกตได้ว่า ดินในแต่ละสถานที่มีลักษณะแตกต่างกัน เนื่องจากดินประกอบขึ้นจากของอนุภาคตะกอนหลาย ๆ ขนาด อนุภาคที่ใหญ่ที่สุดคืออนุภาคทราย (Sand) อนุภาคขนาดรองลงมาคือ อนุภาคทรายแป้ง (Silt) และอนุภาคที่มีขนาดเล็กที่สุดคือ อนุภาคดินเหนียว (Clay) ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงอนุภาคของดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

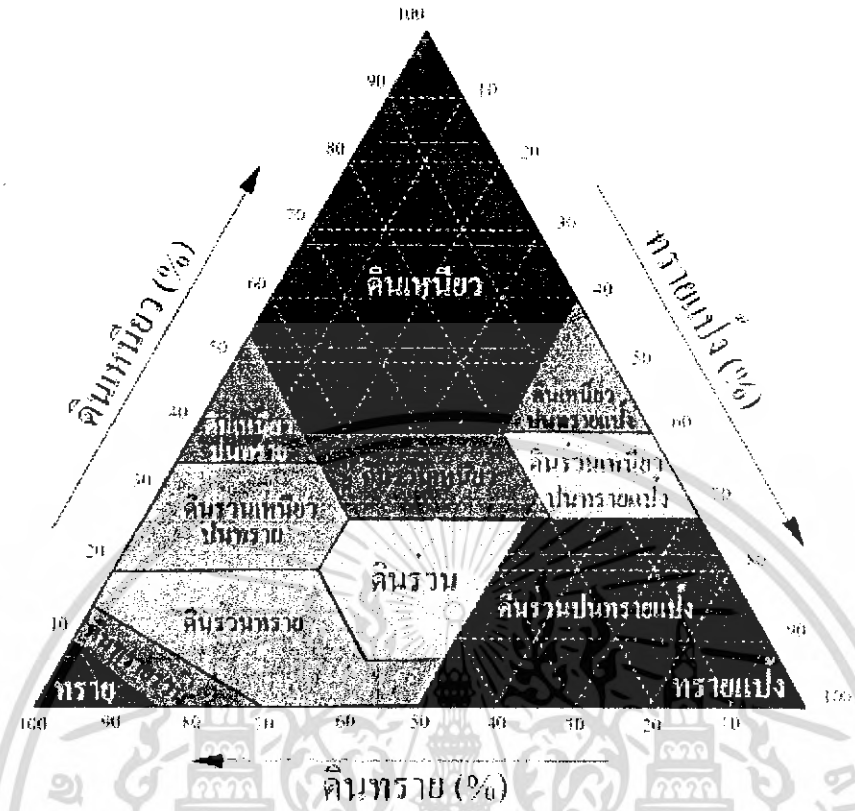
ดินมีหลายชนิด เช่น ดินทราย ดินร่วน ดินเหนียว ขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาคของตะกอนที่ผสมกันเป็นดิน อาทิเช่น ดินทรายมีเนื้อหยาบ เนื่องจากประกอบด้วย อนุภาคขนาดใหญ่ เช่น เม็ดทราย ซึ่งมีขนาดใหญ่ จึงมีช่องว่างให้น้ำซึมผ่านอย่างรวดเร็ว ดินเหนียวมีเนื้อละเอียดมาก เนื่องจากประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็กมาก จึงไม่มีน้ำช่องว่างให้น้ำซึมผ่าน ส่วนดินร่วนมีส่วนผสมเป็นอนุภาคขนาดปานกลางเช่น ทรายแป้ง เป็นส่วนใหญ่ จึงมีความเหมาะสมในการปลูกพืชส่วนใหญ่ เนื่องจากน้ำซึมผ่านได้ไม่รวดเร็วจนเกินไปสามารถเก็บกับความชื้นได้ดี

นักปฐพีวิทยาแบ่งดินออกเป็น 12 ชนิด โดยการศึกษาสัดส่วนการกระจายอนุภาคของดินตามรูปที่ 2.6 เช่น

- **ดินทรายร่วน** ประกอบด้วย อนุภาคทราย 80%, อนุภาคทรายแป้ง 10%, อนุภาคดินเหนียว 10%
- **ดินร่วน ประกอบด้วย** อนุภาคทราย 40%, อนุภาคทรายแป้ง 40%, อนุภาคดินเหนียว 20%
- **ดินเหนียว** ประกอบด้วย อนุภาคทราย 20%, อนุภาคทรายแป้ง 20%, อนุภาคดินเหนียว 60%

การจำแนกดินช่วยให้เราเข้าใจถึงคุณสมบัติของดินประเภทต่างๆ ได้แก่ ความสามารถในการกักเก็บน้ำ และการถ่ายเทพลังงานความร้อน ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในทางเกษตรกรรม และวิศวกรรม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงสัดส่วนการกระจายตัวของอนุภาคดิน

2.1.4 โครงสร้างดิน (Soil Structure)

โครงสร้างดิน หมายถึง รูปแบบของการยึดและการเรียงตัวของอนุภาคเดี่ยวของดินเป็นเม็ดดินในหน้าตัดดิน เม็ดดินแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งด้านขนาดและรูปร่าง ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 ชนิดคือ

1. แบบก้อนกลม (Granular) มีรูปร่างคล้ายทรงกลม เม็ดดินมีขนาดเล็กประมาณ 1 - 10 มิลลิเมตร มักพบในดินชั้น A มีรากพืชปนอยู่มาก เนื้อดินมีความพรุนมาก จึงระบายน้ำและอากาศได้ดี

2. แบบก้อนเหลี่ยม (Blocky) มีรูปร่างคล้ายกล่อง เม็ดดินมีขนาดประมาณ 1-5 เซนติเมตร มักพบในดินชั้น B มีการกระจายของรากพืชปานกลาง น้ำ และ อากาศซึมผ่านได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

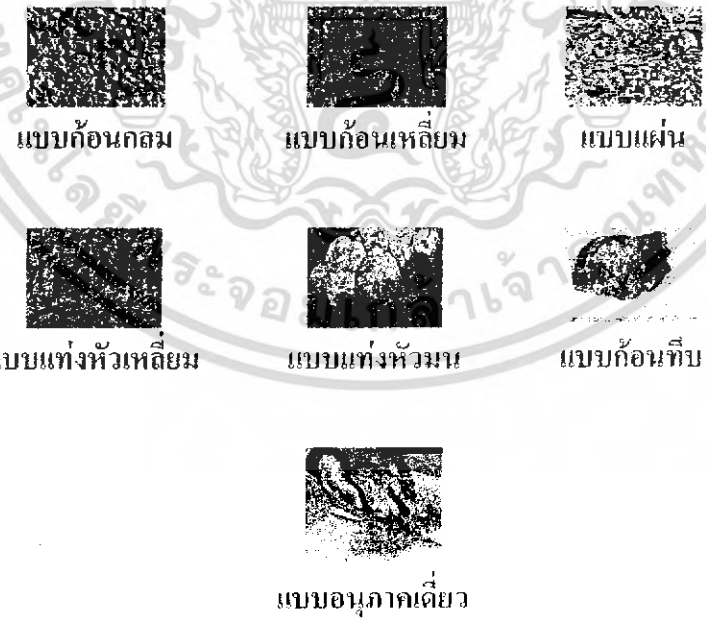
3. แบบแผ่น (Platy) ก้อนดินแบนวางตัวในแนวราบ และซ้อนเหลื่อมกันเป็นชั้นขัดขวางการรากพืช น้ำและอากาศซึมผ่านได้ยาก มักเป็นดินชั้น A ที่ถูกบีบอัดจากการบดไถของเครื่องจักรกลการเกษตร

4. แบบแท่งหัวเหลี่ยม (Prismatic) ก้อนดินแต่ละก้อนมีผิวหน้าแบบและเรียบ เกาะตัวกันเป็นแท่งหัวเหลี่ยมคล้ายปริซึม ก้อนดินมีลักษณะยาวในแนวดิ่ง ส่วนบนของปลายแท่งมักมีรูปร่างแบน เม็ดดินมีขนาด 1 - 10 เซนติเมตร มักพบในดินชั้น B น้ำและอากาศซึมได้ปานกลาง

5. แบบแท่งหัวมน (Columnar) มีการจับตัวคล้ายคลึงกับแบบแท่งหัวเหลี่ยม แต่ส่วนบนของปลายแท่งมีลักษณะกลมมน ปกคลุมด้วยเกลือ เม็ดดินมีขนาด 1 - 10 เซนติเมตร มักพบในดินชั้น B และเกิดในเขตแห้งแล้ง น้ำและอากาศซึมผ่านได้น้อย และมีการสะสมของโซเดียมสูง

6. แบบก้อนทึบ (Massive) เป็นดินเนื้อละเอียดยึดตัวติดกันเป็นก้อนใหญ่ ขนาดประมาณ 30 เซนติเมตร ดินไม่แตกตัวเป็นเม็ด จึงทำให้น้ำและอากาศซึมผ่านได้ยาก

7. แบบอนุภาคเดี่ยว (Single Grained) ไม่มีการยึดตัวติดกันเป็นก้อน มักพบในดินทรายซึ่งน้ำและอากาศซึมผ่านได้ดี



รูปที่ 2.7 โครงสร้างดินแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.1.5 อุณหภูมิของดิน (Soil Temperature)

อุณหภูมิดินเป็นสมบัติที่บ่งถึงระดับความร้อนของดิน อุณหภูมิของดินจะเพิ่มขึ้นได้เนื่องจากพื้นดินได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์และจะค่อยๆ เย็นลงหลังจากดวงอาทิตย์ลับขอบฟ้าไปแล้ว

ความสำคัญของอุณหภูมิดิน

อุณหภูมิดินเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งในการควบคุมกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชและควบคุมกิจกรรมต่างๆ ของจุลินทรีย์ดิน เนื่องจากอุณหภูมิดินมีผลโดยตรงต่อพืชที่ขึ้นอยู่บนดิน ดังนั้นอิทธิพลของอุณหภูมิดินที่เหมาะสมจะมีผลต่อพืชหลายประการด้วยกัน คือ

1. ทำให้รากและต้นพืชเจริญเติบโตได้ดี โดยเฉพาะการลงหัวของพืชหัว สำหรับเขตร้อนโดยทั่วไป แล้วช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชจะอยู่ระหว่าง 15 – 40 °C และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดมีค่าประมาณ 30 °C

2. ทำให้เมล็ดพืชที่ปลูกไว้ในดินนั้นงอกได้เร็วขึ้น โดยเมล็ดของพืชแต่ชนิดจะช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมที่แตกต่างกันไป

3. ทำให้จุลินทรีย์ดินประกอบกิจกรรมต่างๆได้ดี ส่งผลให้อินทรีย์วัตถุที่ผสมอยู่ในดินนั้นสลายตัว ได้เร็วขึ้น โดยทั่วไปแล้วช่วงของอุณหภูมิที่จุลินทรีย์ดินสามารถประกอบกิจกรรมที่เป็นประโยชน์ ต่อพืช จะอยู่ระหว่าง 0 – 40 °C และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดมีค่าประมาณ 25 – 30 °C

แต่ถ้าอุณหภูมิไม่เหมาะสมแล้วอาจทำให้เกิดความเสียหายได้มาก โดยเฉพาะรากพืชในดินจะมีผลทำให้การทำงานของรากพืชหยุดชะงักหรือเป็นไปได้ช้า ทำให้อัตราการดูดน้ำและธาตุอาหารพืชลดลง ปริมาณน้ำและแร่ธาตุอาหารที่จะขึ้นไปหล่อเลี้ยงต้นพืชและส่วนอื่นๆ ก็ลดลง ซึ่งจะมีผลกระทบไปถึงการเจริญเติบโตของต้นพืชด้วย ทำให้ต้นพืชมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำและใช้ช่วงเวลาของการเจริญเติบโตนาน ในกรณีที่อุณหภูมิสูงมากๆ อาจจะทำให้รากพืชตายได้ นอกจากนี้แล้วอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมยังมีผลกระทบต่อการระบาดของโรคพืชทั้งทางตรงและทางอ้อม เมื่อการเจริญเติบโตของพืชไม่ดีทำให้มีความต้านทานต่อโรคน้อยลง การระบาดของครดพืชก็จะรุนแรงมากขึ้นและในดินยังเป็นแหล่งสะสมโรคพืชหลายชนิดด้วย

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิดิน

1. พลังงานแสงแดด (Solar Radiation) ที่ตกกระทบกับผิวพื้นดิน หากมีมากก็จะทำให้ดินบริเวณนั้นมีอุณหภูมิสูงมาก

2. สีของดิน (Soil color) จะมีผลต่อการดูดกลืนและการแผ่รังสีความร้อนของดิน ดินที่มีสีคล้ำหรือสีดำจะดูดกลืนและแผ่รังสีความร้อนได้ดีกว่าดินที่มีสีจาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62300

3. ความชื้นในดิน (Soil moisture) จะมีผลต่อการร้อนขึ้นหรือเย็นลงของพื้นดิน

4. วัสดุที่ปกคลุมดินอยู่ (Mulching materials) วัสดุปกคลุมดินชนิดต่างๆดูดและสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ต่างกัน นอกจากนี้แล้วยังนำความร้อนได้ต่างกันด้วย ดังนั้นอุณหภูมิในขณะหนึ่งๆ ของดินที่มีวัสดุปกคลุมจะเป็นเท่าใดจึงขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุปกคลุมดินนั้น

5. หมู่พืช (Vegetation) พืชพรรณชนิดต่างๆ ที่ขึ้นปกคลุมผิวดินอยู่จะทำหน้าที่ควบคลุมอุณหภูมิดิน โดยช่วยลดจำนวนพลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์ที่จะกระทบพื้นผิวดินให้น้อยลง และ ป้องกันการสะท้อนกลับของความร้อนจากผิวดิน ดังนั้น จึงช่วยทำให้อุณหภูมิดินไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

2.2 น้ำในดิน (Soil Water)

ปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืชก็คือ ปริมาณน้ำในดินซึ่งจะต้องอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะไม่มากหรือน้อยเกินไป และการให้น้ำในปริมาณที่พอเหมาะจะต้องทราบชนิดของดินที่ปลูกพืชนั้น เพราะดินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติการอุ้มน้ำที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังต้องทราบลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน เพื่อที่จะให้น้ำได้ในปริมาณที่ทำให้ดินมีความชื้นพอเหมาะกับการเพาะปลูกพืชตามต้องการ

2.2.1 ชนิดของน้ำในดิน

การเรียงตัวของเมล็ดดินทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดและรูปทรงต่างๆ ขึ้นเมื่อดินได้รับน้ำ น้ำก็จะคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านี้ และเกาะติดกับเมล็ดดินด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำ (Adhesive Force) และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกัน (Cohesive Force) ซึ่งรวมเรียกว่า แรงดูดซับ (Capillary Force) ถ้าน้ำเข้าไปอยู่เต็มทุกช่องว่าง ดินลักษณะนี้เรียกว่า ดินอิ่มน้ำ (Saturated) และน้ำที่อยู่ในช่องว่างนั้นจะเป็นปริมาตรสูงสุดที่ดินเก็บเอาไว้ได้ ถ้าไม่มีแรงภายนอกมากระทำน้ำจะไหลลงที่ต่ำกว่าเมื่อผลรวมของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำต่อน้ำและน้ำต่อดินน้อยกว่าผลจากแรงดึงดูดของโลกที่มากระทำน้ำที่ไหลในลักษณะนี้เรียกว่า น้ำอิสระ (Gravitational Water หรือ Free Water) โดยในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำที่อยู่ตรงกลางระหว่างช่องว่างกับเม็ดดินจะน้อยกว่าในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก เมื่อดินไม่ได้รับน้ำ น้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่จะระบายออกโดยใช้เวลา 2 – 3 วัน ในดินที่มีการระบายน้ำได้ดีน้ำอิสระจะถูกระบายออกไปหมดก่อนที่จะเป็นอันตรายต่อพืชและจะมีอากาศเข้ามาแทนที่ ส่วนน้ำในช่องว่างที่มีขนาดเล็กซึ่งไม่ถูกระบายออกด้วยแรงดึงดูดโลก อาจจะมีการเคลื่อนที่อยู่ด้วยแรงดูดซับ น้ำที่อยู่ในช่องว่างที่มีขนาดเล็กนี้เรียกว่า น้ำซับ (Capillary Water) ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ช้ามาก ช้ากว่าน้ำอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และไปในทิศทางใดก็ได้ โดยจะเคลื่อนที่ไปสู่จุดที่มีแรงดูดซับมากที่สุดเสมอการสูญเสียน้ำจากผิวดิน และจากที่พืชดูดเอาไว้ใช้จะทำให้ความชื้นในดินลดลงจนถึงจุดหนึ่ง ซึ่งน้ำในดินจะไม่เคลื่อนที่อีก เพราะว่าแรงที่ยึดเกาะรอบๆ เมล็ดดินจะมากจนกระทั่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

น้ำที่ยึดเกาะรอบๆเมล็ดดิน และไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงดูดของโลกหรือแรงดูดซับนี้ เราเรียกว่า น้ำเยื่อ (Hygroscopic Water)

น้ำที่เกี่ยวข้องกับการชลประทานมากที่สุดคือ น้ำอิสระ(Free Water) และน้ำซับ (Capillary Water) ส่วนน้ำเยื่อ (Hygroscopic Water) พืชนำไปใช้ไม่ได้จึงไม่ค่อยมีความสำคัญมากนัก

2.2.2 ความชื้นในดิน

ความชื้น หมายถึง ไอน้ำหรือน้ำที่รวมอยู่หรือผสมปะปนอยู่ในสาร สสารหรือวัตถุต่างๆ ตัวอย่างเช่น ความชื้นในอากาศ หมายถึง ไอน้ำที่ปนอยู่ในอากาศผสมปะปนอยู่กับก๊าซ หรือความชื้นของต้นไม้ก็คือน้ำที่มีอยู่ในต้นไม้ ฯลฯ

ในด้านของสิ่งมีชีวิต ความชื้นนับว่ามีความสำคัญต่อชีวิตทุกชีวิตในโลกนับตั้งแต่สัตว์หรือพืชชั้นต่ำจนถึงพืชหรือสัตว์ที่มีอวัยวะสลับซับซ้อน ความชื้นจะเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของชีวิตโดยมีอยู่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตทุกชีวิตมากน้อยแตกต่างกัน ความชื้นในสิ่งมีชีวิตมีความจำเป็นสำหรับขบวนการเมตาบอลิซึม (Metabolism) จำเป็นสำหรับขบวนการหายใจ การคายน้ำและการสังเคราะห์แสง ความชื้นมีผลทำให้ชีวิตมีความว่องไวกระฉับกระเฉง

ความชื้นในดิน หมายถึงปริมาณน้ำและไอน้ำที่มีอยู่ในดินทั้งที่หุ้มอนุภาคดินอยู่และที่อยู่ระหว่างช่องว่างของอนุภาคดิน (Soil pore)

ความชื้นของดินจะมีผลโดยตรงต่อพืชที่ขึ้นอยู่บนดินนั้น ทั้งนี้เพราะความชื้นในดินจะเป็นแหล่งน้ำแหล่งเดียวของพืชที่ขึ้นอยู่ในดินนั้นจะสามารถดูดและนำไปใช้ได้และความชื้นในดินจะมีผลโดยทางอ้อมต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในโลกและต่อสภาพแวดล้อม

ความสำคัญของความชื้นในดินที่มีผลต่อการเกษตร

1. จะควบคุมการระเหยน้ำของดิน
2. จะควบคุมการระเหยน้ำจากต้นพืชและควบคุมอุณหภูมิภายในต้นพืช
3. ควบคุมการแพร่กระจายและการหยั่งรากของพืช
4. ควบคุมปริมาณน้ำในต้นพืช
5. ความชื้นในดินจำเป็นต่อการงอกของเมล็ดพืชในดิน
6. ความชื้นในดินจะเป็นตัวทำละลายธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช
7. ช่วยให้อินทรีย์วัตถุในดินเน่าเปื่อยได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ความชื้นของดินจะช่วยให้สภาพแวดล้อมของดินเหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในดิน

2.2.3 การหาปริมาณความชื้นในดิน

การหาปริมาณความชื้นของดินอาจกระทำได้หลายวิธีทั้งทางตรงและทางอ้อม

1. ทางตรง

การหาปริมาณความชื้นตามปกติจะทำได้โดยการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกที่ต้องการแล้วบรรจุในกระป๋องเก็บตัวอย่างซึ่งมีฝาปิดมิดชิด โดยน้ำหนักดินจะต้องไม่น้อยกว่า 100 กรัม จากนั้นนำดินมาชั่งและอบแห้งในเตาซึ่งมีอุณหภูมิ 105 – 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าดินจะแห้งทั่วถึงกัน แล้วนำมาชั่งหลังจากการอบอีกครั้ง

1.1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Percentage by weight)

เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนักของดินเป็นตัวเลขที่แสดงถึงน้ำหนักของความชื้นของดินเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของดินเมื่อดินแห้งสนิทสามารถคำนวณหาได้จากสมการ คือ

$$P_w = (M_w / M_s) 100$$

เมื่อ P_w คือ เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของน้ำในดิน (%)

M_w คือ น้ำหนักของน้ำในดิน (กรัม)

M_s คือ น้ำหนักของดินที่แห้งสนิท (กรัม)

1.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (Percentage by volume)

เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยปริมาตรของดิน หมายถึง ปริมาตรของส่วนที่เป็นความชื้นของดินเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรทั้งหมดของดินสามารถคำนวณหาได้จากสมการ คือ

$$P_v = (V_w / V_b) 100$$

หรือ $$P_v = (P_w D_b) / D_w$$

เมื่อ P_v คือ เปอร์เซ็นต์ของน้ำในดินโดยปริมาตร (%)

V_w คือ ปริมาตรของน้ำในดิน (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

V_b คือ ปริมาตรของดินทั้งหมด (ลูกบาศก์เซนติเมตร)

D_b คือ ความหนาแน่นรวมของดิน (กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร)

D_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ (กรัม / ลูกบาศก์เซนติเมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทางอ้อม

วิธีการวัดโดยทางอ้อมนี้เป็นวิธีการวัดโดยอาศัยเครื่องมือ

2.1 แบบวัดแรงดึงความชื้นของดิน โดยให้แรงดึงความชื้นอยู่ในภาวะสมดุลกับน้ำที่บรรจุอยู่ในกระเปาะพรุน (Porous cup) เครื่องมือชนิดนี้เรียกว่า เครื่องวัดแรงดึงความชื้นของดิน (Tensiometer)

2.2 แบบวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุพรุน (Porous media) ซึ่งความชื้นอยู่ในภาวะสมดุลกับดินบริเวณรอบๆ จุดที่มันฝังอยู่ คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่วัดส่วนมากเป็นความต้านทาน ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องมือวัดความต้านทานประกอบด้วย อุปกรณ์ทั้งหมดรวมกัน เรียกว่า เครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้า (Electrical Resistance Instruments) ส่วนตัววัสดุพรุน เรียกว่า ก้อนความต้านทาน (Resistance Block) ซึ่งประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วแล้วห่อหุ้มด้วยปูนปลาสเตอร์ไนลอน หรือไฟเบอร์กลาส

2.3 แบบวัดการกระจายของนิวตรอน (Neutron Scattering) ที่สารกัมมันตภาพรังสีส่งออกไปแล้วสะท้อนกลับมา นิวตรอนที่ส่งออกไปนี้เมื่อกระทบเข้ากับไฮโดรเจนอะตอมของน้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นในดิน จะทำให้ความเร็วของนิวตรอนที่สะท้อนกลับมานี้สามารถวัดและเทียบเป็นความชื้นในดินได้ เครื่องมือแบบนี้ เรียกว่า เครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน (Neutron Moisture meter)

2.2.4 Field Capacity

Field Capacity คือ ปริมาณความชื้นในดินหลังจากน้ำอิสระถูกระบายออกจากช่องว่างขนาดใหญ่ในดินจนกระทั่งการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเกิดขึ้นน้อยมาก เพราะน้ำที่เหลืออยู่ในดินมีการเคลื่อนที่ช้ามาก

ความชื้นที่ Field Capacity นี้หาเป็นตัวเลขที่แน่นอนไม่ได้ เนื่องจากในดินยังมีการเคลื่อนที่ของน้ำซับตลอดเวลาแต่ความชื้นในดินจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ในทางปฏิบัติถือว่าความชื้นหลังจากที่ฝนตกหนัก หรือหยุดให้น้ำแล้ว 2 – 3 วัน ในดินที่มีการระบายน้ำได้ดีเป็นความชื้นที่ Field Capacity

2.2.5 จุดเหี่ยวเฉาถาวร

จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Witting Point) คือ จุดที่หาความชื้นในดินมีปริมาณในระดับที่พืชไม่สามารถดูดน้ำมาใช้ให้เพียงพอกับการคายน้ำและพืชเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชที่มีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร หมายถึง ถ้านำพืชที่เหี่ยวเฉานั้นไปไว้ในห้องที่มีอากาศเย็นและมีความชื้นสัมพัทธ์อากาศประมาณ 100 % ซึ่งพืชจะมีการสูญเสียน้ำน้อยมาก หรือไม่มีการสูญเสียเลยแล้วพืชนั้นยังไม่สดขึ้น

อาการเหี่ยวเฉาของพืชอาจเกิดขึ้นได้หลายครั้ง ก่อนจะถึงจุดที่พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวร เช่น ตอนกลางวันที่มีอากาศร้อนจัด ความชื้นของอากาศต่ำ ลมแรง และพืชมีใบกว้างลักษณะของอากาศและพืชที่กล่าวนี้ จะทำให้พืชมีการสูญเสียน้ำโดยการคายน้ำออกทางใบมากและเมื่ออัตราที่พืชดูดน้ำทางดินน้อยกว่าที่คายออกทางใบ พืชก็จะเหี่ยวเฉาแม้ว่าขณะนั้นดินจะมีความชื้นอยู่มากก็ตามแต่เมื่ออากาศเย็นลงพืชก็จะสดขึ้นตามเดิม จะเห็นได้ว่าอาการเหี่ยวเฉาของพืชไม่ว่าจะเป็นการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรหรือชั่วระยะหนึ่งนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำของพืช ความลึกและการแผ่กระจายของรากพืช ปริมาณความชื้นในดินตลอดจนความสามารถของดินที่จะเก็บน้ำไว้ให้พืชใช้ได้

หลังจากที่ความชื้นในดินลดลงจนถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวรแล้ว พืชยังอาจจะยังดูดความชื้นที่ได้นี้ไม่มากพอที่จะทำให้พืชเจริญเติบโตขึ้น แต่จะสามารถหล่อเลี้ยงชีวิตพืชให้อยู่ต่อไปได้อีกช่วงสั้นๆ ช่วงหนึ่งจนกว่าจะได้รับน้ำมาเพิ่ม ดินที่มีแต่น้ำเยื่อเหลืออยู่นี้ เรียกว่า ความชื้นที่ Ultimate Wilting Point ความชื้นในดินจากจุดเหี่ยวเฉาถาวรถึง Ultimate Wilting Point เรียกว่า Wilting Range ซึ่งเป็นความชื้นที่พืชเริ่มเหี่ยวเฉาจากใบที่แก่ที่สุด จนกระทั่งเหี่ยวหมดทั้งต้นเมื่อความชื้นในดินถึง Ultimate Wilting Point

2.2.6 ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture)

น้ำในรูปของความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับการเจริญเติบโตก็คือ น้ำซับ ซึ่งอยู่ระหว่าง Field Capacity กับจุดเหี่ยวเฉาถาวร ดังนั้นผลต่างระหว่างความชื้นในดินสองค่านี้ก็คือความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture)

ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้นี้มักจะวัดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรหรือเป็นความลึกของน้ำ เช่น ดินร่วนมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 1.5 มิลลิเมตรความลึกของดิน 1 เซนติเมตรเป็นต้น หน่วยทั้งสามนี้สามารถเปลี่ยนจากหน่วยหนึ่งเป็นอีกหน่วยหนึ่งได้ ทราบความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินขนาดของเมล็ดดิน หรือเนื้อดินจะมีผลต่อปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มากหรือน้อย เช่น ในดินที่มีเนื้อดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ อย่างไรก็ตามดินทรายบางชนิดอาจมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มากกว่าดินเหนียว ทั้งนี้เพราะดินที่มีเนื้อละเอียดมากๆ จะมีน้ำที่ยึดอยู่รอบๆเมล็ดดินซึ่งพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้เป็นจำนวนมากด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่างๆ

เนื้อดิน	นิ้วน้ำ / ฟุตดิน	ม.ม.น้ำ / ซม.ดิน
เนื้อหยาบมาก เช่น ทรายหยาบมาก	0.40 – 0.75	0.35 – 0.65
เนื้อหยาบ เช่น ทรายละเอียดและดินร่วนปนทราย	0.75 – 1.25	0.65 – 1.00
เนื้อดินค่อนข้างหยาบ เช่น ดินร่วนปนทรายและดินร่วนปนทรายละเอียด	1.25 – 1.75	1.00 – 1.50
เนื้อปานกลาง เช่น ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก	1.50 – 2.30	1.20 – 1.90
ดินร่วนและดินร่วนปนทรายเนื้อค่อนข้างละเอียด เช่น ดินร่วนปนดินเหนียว	1.75 – 2.50	1.50 – 2.10
ดินร่วนปนดินเหนียวปนตะกอนทรายและดินร่วนปนดินเหนียวปนทรายเนื้อละเอียดมาก เช่น ดินเหนียวปนทราย	1.60 – 2.50	1.30 – 2.10
ดินเหนียวปนตะกอนทรายและดินเหนียวที่เกิดจากการผุพังของพืชและมูลสัตว์	2.00 – 3.00	1.70 – 2.50

ในดินทรายที่มีการระบายน้ำได้ดีมักจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะว่าที่ Field Capacity น้ำที่บรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งส่วนมากมีขนาดใหญ่จะถูกระบายออกไปจนหมดจึงมีความชื้นเก็บไว้ได้น้อย ดินที่มีความชื้นที่สามารถนำไปใช้ได้มากมักจะเป็นดินที่มีเม็ดดินขนาดปานกลางหรือค่อนข้างละเอียด เช่น ดินที่ประกอบขึ้นด้วยตะกอนทรายเป็นส่วนใหญ่ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่างๆ จะดูได้จากตารางที่ 2.3

ตามปกติแล้วเรามักจะมองข้ามน้ำอิสระไป โดยถือว่าพืชไม่ได้ใช้น้ำส่วนนี้แต่ความเป็นจริงแล้วพืชอาจจะใช้น้ำอิสระได้มากเหมือนกัน เช่น ในการให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler Irrigation) ซึ่งน้ำจะซึมจากผิวดินและทำให้ดินชั้นบนอิ่มน้ำก่อนก่อนที่การให้น้ำนั้นจะเสร็จ ขณะที่ดินชั้นบนอิ่มน้ำนี้รากพืชตอนบนจะดูดน้ำอิสระไปใช้ได้บ้างแต่จะเป็นปริมาณมากน้อยเท่าไรนั้นย่อมขึ้นอยู่กับว่าดินจะระบายน้ำออกจนเหลือเป็นความชื้นที่ Field Capacity โดยใช้เวลาเท่าใด และความถี่ในการให้น้ำนั้นบ่อยครั้งแค่ไหน แต่เนื่องจากว่าโอกาสที่พืชจะดูดไปใช้มีไม่มากนัก ดังนั้น น้ำส่วนนี้จึงไม่นำมาพิจารณา โดยถือว่าส่วนนี้น้อยมากตัดทิ้งไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 การเคลื่อนที่ของน้ำในดิน

การหาทิศทางการไหลของน้ำในดินนั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างจะยุ่งยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อดินนั้นไม่อิ่มน้ำทั้งนี้เพราะน้ำที่ไหลนั้นอาจจะอยู่ในสภาพของของเหลวหรือไอน้ำ และแรงที่ทำให้เกิดการไหลอาจจะเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลก แรงดูดซับ หรือเนื่องมาจากความร้อน กล่าวคือ แรงดึงดูดของโลดจะทำให้น้ำไหลลงในแนวดิ่ง แรงดูดซับทำให้น้ำไหลระหว่างช่องเมล็ดดินอัตราการไหลของน้ำอิสระ (Free Water) ในดินส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับขนาดและความต่อเนื่องกันของช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน โดยปกติแล้วมันจะไหลในช่องว่างที่มีต่ำ (Low Permeability) ขวางอยู่ เช่นมีดินชั้นดินเหนียวแทรกตัวอยู่ในชั้นดินทรายเป็นต้น ในกรณีที่มีชั้นดินทรายแทรกอยู่ในดินเหนียว น้ำที่ซึมลงมาจากชั้นดินเหนียวจะหยุดอยู่ตรงผิวสัมผัสระหว่างดินทั้งสองชั่วระยะหนึ่ง ทั้งนี้เพราะว่าช่องว่างระหว่างเม็ดดินทั้งสองมีขนาดแตกต่างกัน จึงทำให้ไม่เกิดความต่อเนื่องในการไหล แต่เมื่อน้ำนั้นไหลเข้ามาบรรจุจนเต็มช่องว่างที่มีขนาดใหญ่แล้วการไหลซึมของน้ำก็จะดำเนินไปตามปกติ

ขณะที่ให้น้ำแก่ดินน้ำจะเคลื่อนตัวแผ่ออกเป็นแนว ดินส่วนที่อยู่ใกล้จุดที่ทำให้น้ำหรือสัมผัสกับน้ำจะอิ่มตัวด้วยน้ำ ส่วนที่อยู่ถัดมาจะมีความชื้นน้อยลงและจะมีการเปลี่ยนความชื้นอย่างรวดเร็ว คือความชื้นใกล้จุดอิ่มตัวด้วยน้ำถึงความชื้นของดินเดิมในแนวที่แผ่กระจายไปถึงแนวที่แผ่กระจายออกไปนี้จะเห็นได้ชัด ถ้าดินนั้นแห้งการเคลื่อนที่ของน้ำซับนั้นเนื่องมาจากความแตกต่างของแรงดึงระหว่างน้ำซึ่งเกาะอยู่รอบๆ มลด็ดินที่มีความหนาแน่นต่างกัน น้ำจะเคลื่อนที่จากเมล็ดที่มีน้ำเกาะอยู่หนาไปสู่เมล็ดที่มีน้ำเกาะอยู่บางกว่า ถ้าหากแรงที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่นี้คิดเป็นแรงดึง น้ำซับก็จะไหลจากจุดที่มีแรงดึงน้อยไปสู่จุดที่มีแรงดึงมากกว่า ในดินที่เปียกหรืออิ่มน้ำน้ำจะเคลื่อนที่ในดินทรายได้ดีกว่าดินเหนียว แต่ในดินแห้งน้ำจะเคลื่อนที่ในดินเหนียวได้เร็วกว่าในดินทรายว่าในขณะที่มีน้ำอยู่ในปริมาณดินมาก น้ำย่อมจะไหลในดินที่มีช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ น้ำจึงต้องเคลื่อนตัวไปบนผิวของเมล็ดดินซึ่งทำให้ไหลช้ามาก สำหรับดินที่มีช่องว่างขนาดเล็กน้ำจะยังคงไหลได้เต็มช่องว่าง ดังนั้นในดินแห้งน้ำซับจึงเคลื่อนที่ในดินเหนียวได้เร็วกว่าในดินทราย

2.2.8 ดินเก็บน้ำไว้ได้อย่างไร

เมื่อให้น้ำแก่ดินน้ำก็จะไหลซึมเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินและยึดติดกับเมล็ดดินด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของเมล็ดดิน (Adhesive Force) และแรงดึงระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกัน (Cohesive Force) รวมเป็น แรงดูดซับ (Capillary Force) ดังนั้นการที่จะทำให้น้ำในดินเคลื่อนที่หรือดูดน้ำออกจากดินต้องใช้แรงที่มากกว่าแรงดังกล่าวนี้ ขนาดของแรงที่จะใช้ซึ่งอยู่ในรูปของแรงดึง จะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน กล่าวคือ ถ้าดินยิ่งมีความชื้นมากเท่าใดน้ำที่เกาะอยู่รอบๆเมล็ดดินก็จะหนา แรงที่มากกว่าแรงดังกล่าวนี้ ขนาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่จะใช้ซึ่งจะอยู่ในรูปของแรงดึง จะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน กล่าวคือ ถ้าดินยิ่งมีความชื้นเท่าใดน้ำที่เกาะอยู่รอบๆเมล็ดดินก็จะหนามากขึ้น โมเลกุลของน้ำที่อยู่ห่างจากเมล็ดดินมากก็จะไม่ได้รับอิทธิพลจากแรงยึดเหนี่ยวจากโมเลกุลของน้ำกับดิน ดังนั้นน้ำในส่วนนี้ถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยแรงดึงดูดของโลกหรือไหลไปสู่เมล็ดดินที่มีน้ำเกาะอยู่บางกว่าได้ง่ายแต่เมื่อความชื้นในดินลดลงแรงยึดเหนี่ยวจากโมเลกุลดินก็จะมีอิทธิพลมากขึ้น ดังนั้นการที่จะดึงน้ำจากการยึดของดินจึงต้องใช้แรงมากขึ้น

2.3 การให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler Irrigation)

สำหรับการให้น้ำแบบฉีดฝอยนี้จะจะทำให้ฉีดน้ำจากหัวฉีดขึ้นไปบนอากาศแล้วให้เมล็ดน้ำตกลงบนพื้นที่เพาะปลูก โดยมีรูปทรงการแผ่กระจายของเมล็ดน้ำสม่ำเสมอ และอัตราที่น้ำตกลงพื้นที่น้ำกว่าอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดิน เนื่องจากการให้น้ำโดยวิธีนี้มีลักษณะอาการเช่นเดียวกับฝน ดังนั้นบางทีเราจึงเรียกการให้น้ำแบบนี้ว่าการให้น้ำแบบฝนโปรย

2.3.1 การเลือกใช้การให้น้ำแบบฉีดฝอย

การชลประทานแบบฝอยเหมาะกว่าแบบอื่น เมื่อสภาพของพื้นที่ ดิน และองค์ประกอบอื่นๆ มีลักษณะดังต่อไปนี้

1) ดินมีอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินสูงมาก กล่าวคือ สูงกว่า 75 มิลลิเมตรต่อชั่วโมงซึ่งจะทำให้การให้น้ำแบบอื่นมีประสิทธิภาพต่ำ

2) ความลึกของชั้นดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชตื้นมาก และลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ไม่เหมาะที่จะทำการปรับพื้นให้น้ำทางผิดดิน

3) พื้นที่มีความลาดเทชันมาก และดินถูกพัดพาได้ง่าย

4) อัตราการส่งน้ำจากโครงการชลประทานมายังพื้นที่เพาะปลูก หรือน้ำจากแหล่งอื่นที่หาได้น้อยเกินไปที่จะให้น้ำทางผิวดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5) พื้นที่ปีนคลื่น ซึ่งถ้าจะทำการปรับพื้นที่เพื่อการให้น้ำทางผิวดินแล้วต้องการทุนสูงมาก

6) ผู้ให้น้ำไม่มีความรู้ความชำนาญทางด้านการให้น้ำทางผิวดิน

7) ต้องการใช้พื้นที่ที่เกิดผลผลิตโดยรวดเร็ว การให้น้ำแบบฉีดฝอยนี้สามารถออกแบบและติดตั้งได้รวดเร็วมา

การให้น้ำแบบฉีดฝอยนอกจากจะเหมาะสมกับสภาพของพื้นที่ คุณสมบัติของดิน ฯลฯ ดังกล่าวแล้ว ยังมีข้อดีหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับการชลประทานแบบผิวดิน คือ

1) การวัดน้ำทำได้ง่ายและสะดวกกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สามารถที่จะออกแบบระบบที่ให้น้ำให้มีความกระทบกระเทือนต่อการปฏิบัติงานในพื้นที่เพาะปลูกได้น้อยกว่า เช่น ไม่มีคูคลองส่งน้ำมากีดขวางการปฏิบัติงานของเครื่องจักรกลเกษตร นอกจากนั้นยังไม่ต้องเสียพื้นที่สำหรับคูคลองส่งน้ำอีกด้วย

3) มีประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง

4) ในกรณีที่ต้องสูบน้ำมาจากคลองส่งน้ำหรือบ่อบาดาลอยู่แล้ว การใช้และการให้น้ำแบบฉีดฝอยจะไม่ต้องลงทุนเพื่อเพิ่มความดันของหัวฉีดอีกมาก

5) ถ้าหากมีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำแห่งเดียวกันเพื่อวัตถุประสงค์อย่างอื่นด้วย เช่น ใช้เลี้ยงสัตว์หรือใช้ในบ้านก็อาจจะใช้ท่อส่งน้ำร่วมกันได้

6) ถ้าหากสามารถส่งน้ำซึ่งมีแรงดันสูงพอไปยังพื้นที่เพาะปลูกโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลกได้ด้วยการให้น้ำวิธีนี้ก็จะยิ่งน่าใช้มากขึ้น เพราะจะสามารถลดค่าเชื้อเพลิงลงได้มาก

7) การให้น้ำแบบฉีดฝอยสามารถให้น้ำครั้งละน้อยๆ และบ่อยครั้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เหมาะสมกับพืชที่มีรากตื้น เช่น พืชที่เริ่มงอกหรือพวกผักต่างๆ ซึ่งมีรากตื้นและต้องการให้ดินมีความชุ่มชื้นสูงอยู่เสมอ

8) ระบบให้น้ำแบบนี้อาจจะใช้ปุ๋ยและสารเคมีแก่พืชขณะเดียวกันกับให้น้ำด้วย

9) ในภูมิประเทศที่มีอากาศหนาวจัด ระบบให้น้ำฉีดฝอยจาจจะใช้ป้องกันความเสียหายหากการแข็งตัวของพืชเมื่ออุณหภูมิของบรรยากาศลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งได้ด้วย

สำหรับข้อเสียของการให้น้ำแบบฉีดฝอย ได้แก่

1) ค่าลงทุนครั้งแรกสูงมาก นอกจากนั้นยังจะต้องเสียค่าเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้าในการให้น้ำทุกครั้งและยังมีอุปกรณ์ซึ่งต้องบำรุงรักษาอยู่ประจำอีกด้วย

2) การเคลื่อนย้ายท่อและอุปกรณ์เพื่อนำไปใช้ในพื้นที่อื่นหลังจากที่ให้น้ำแก่พืชเสร็จแล้วอาจจะทำได้สะดวก เพราะดินเปียกและเป็นโคลน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นพวกดินเหนียว

3) การให้น้ำแก่พืชโดยให้เมล็ดน้ำตกลงบนผิวดินอย่างทั่วถึงกันนั้น อาจทำให้เมล็ดของพืชต่างๆงอกงามและจะต้องมีการกำจัดวัชพืชมากขึ้น

4) เมล็ดน้ำที่ตกลงบนต้นหรือใบพืชจะชะล้างยาฆ่าแมลงที่ฉีดไว้ออกไปด้วย ดังนั้นการฉีดยาเหล่านี้จะต้องทำหลังฉีดน้ำแล้ว

5) เนื่องจากว่าน้ำจะเปียกผิวดิน ตลอดจน กิ่ง ใบ และลำต้นของพืชจนทั่ว ดังนั้นการให้น้ำแบบนี้จะมีการสูญเสียน้ำไปโดยการระเหยมากกว่าแบบอื่น

6) การแผ่กระจายของเมล็ดน้ำที่ตกลงบนผิวดินจะไม่สม่ำเสมอ ถ้าหากมีลมพัดแรงทำให้ประสิทธิภาพในการให้น้ำลดลง อาจจะต้องมีการออกแบบเป็นพิเศษถ้าจะเลือกใช้วิธีการให้น้ำแบบนี้ในเขตที่มีลมพัดแรงเป็นประจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7) ในกรณีที่มีความจำเป็นจะต้องให้น้ำแก่พืชที่ทั้งหมดในระยะเวลาอันสั้น เช่น ขณะที่ต้นพืชยังเล็กอยู่และอากาศร้อนจัดซึ่งจะต้องให้บ่อยครั้ง สภาพดังกล่าวนี้อาจจะเคลื่อนย้ายอุปกรณ์และให้น้ำไม่ทันกับความต้องการ แต่ถ้าหากมีน้ำอยู่มากพอแล้ว การให้น้ำทางผิวดินจะสามารถให้น้ำในระยะเวลาอันสั้นได้ง่ายและรวดเร็วกว่า

2.4 พืชและการใช้น้ำของพืช

2.4.1 ลักษณะการแพร่กระจายของราก

การแพร่กระจายของรากพืชแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน พืชบางชนิดมีรากแพร่กระจายออกเป็นบริเวณกว้างในระดับที่ไม่ลึกนัก พืชบางชนิดหยั่งรากลงไปลึกและมีการแผ่กระจายในแนวราบน้อย อย่างไรก็ตามสำหรับพืชชนิดเดียวกันลักษณะการแพร่กระจายของรากจะขึ้นอยู่กับชนิดและความลึกของดิน ระดับน้ำใต้ดิน ฤดูการเพาะปลูก ตลอดจน ปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชในแต่ละครั้ง

การงอกของรากลงสู่ระดับความลึกกว่าจะถูกจำกัดโดยชั้นดินที่มีเนื้อแน่นทึบ เช่น ดินดาน ดินที่มีเนื้อแน่นจะแทรกอยู่ในเขตราก วิ่งจะทำให้รากพืชไม่สามารถงอกลึกลงไปกว่านี้ได้ โดยปกติแล้วรากพืชจะไม่สามารถงอกออกในดินที่มีความชื้นต่ำกว่าจุดเหี่ยวถาวร (Permanent Wilting Point) ดังนั้นถ้าหากมีชั้นดินที่แห้งมากอยู่ในดิน ก็จะทำให้รากพืชไม่สามารถงอกผ่านไปได้เหมือนกัน เนื่องจากว่ารากพืชต้องการออกซิเจนสำหรับหายใจด้วยดังนั้นมันจะไม่ขยายตัวลงต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินเพราะว่าระดับน้ำใต้ดินจะมีก๊าซออกซิเจนลัแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่น้อยมาก ระดับน้ำใต้ดินจึงเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการแผ่กระจายของรากอีกอย่างหนึ่ง

ความถี่ของรากอาจจะถูกจำกัดโดยปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชแต่ละครั้ง กล่าวคือถ้าให้น้ำแก่พืชครั้งละน้อยๆความลึกของดินที่เก็บไว้ให้พืชใช้ก็จะตื้น ดังนั้นรากก็จะแผ่กระจายอยู่แต่ในบริเวณที่มันสามารถดูดน้ำจากดินไปใช้ได้ ซึ่งทำให้พืชต้องดูดเอาอาหารและแร่ธาตุจากดินชั้นบนและทำให้ดินจืดอย่างรวดเร็วจนต้องใช้ปุ๋ยมากขึ้น โดยปกติแล้วต้องการให้พืชมีรากลึกและแผ่กระจายทั่วไปเพราะนอกจากกระทำให้ไม่ต้องให้แก่น้ำแก่พืชบ่อยขึ้นแล้ว พืชยังสามารถดูดน้ำและอาหารได้มากกว่าอีกด้วย

ในกรณีที่ดินตลอดความลึกนั้นมีคุณสมบัติพอเหมาะกับความต้องการของรากพืชความลึกของรากก็จะแปรผันไปตามอายุและระยะเวลาที่พืชมีการเจริญเติบโต(Active Growth) เช่น พืชที่อายุเก็บเกี่ยวสองเดือนจะมีความลึกประมาณ 60 – 90 cm. พืชที่มีอายุเก็บเกี่ยว 3-4 เดือน จะมีรากลึกประมาณ 1.8-3.0 m เป็นต้น ความลึกของรากนี้จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 30-45 cm. ต่อระยะเวลาที่พืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังมีความเจริญเติบโต 1 เดือน อย่างไรก็ตามความลึกของพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวมากๆ มักจะถูกจำกัด โดยความลึก และคุณสมบัติ ของชั้นดินมากกว่า กล่าวคือ ส่วนใหญ่แล้วจะมีความลึกไม่เกิน 2 m ความลึกของรากพืชชนิดต่างๆ และปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดฤดูการเพาะปลูกดูได้จากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงความลึกของรากเมื่อพืชโตเต็มที่และปริมาณน้ำที่พืชต้องการตลอดฤดูการเพาะปลูก

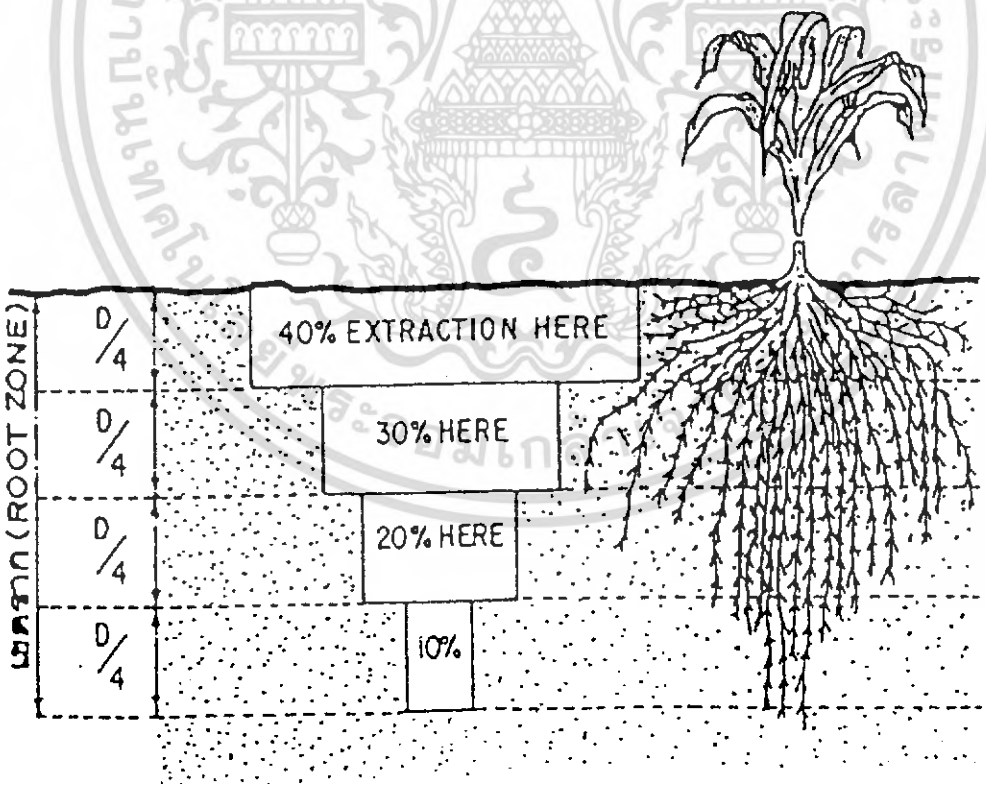
พืช	ความลึกของราก (เมตร)	ปริมาณน้ำ (ม.ม.)
กะหล่ำปลี	0.4 – 0.5	380 – 500
กล้วย	0.5 – 0.9	700 – 1,700
ข้าว	-	500 – 1,000
ข้าวโพด	1.0 – 1.7	500 – 800
ข้าวฟ่าง	1.0 - 2.0	450 – 650
แครอท	0.5 – 1.0	450 – 600
แตงโม	1.0 - 1.5	400 – 600
ถั่ว (ฝักสด)	0.5 – 0.7	300 – 500
ถั่ว (เมล็ด)	0.6 – 1.0	350 – 500
ถั่วลิสง	0.5 – 1.0	500 – 700
ถั่วเหลือง	0.6 – 1.3	450 – 700
ทานตะวัน	0.8 – 1.5	600 – 1,000
ฝ้าย	1.0 – 1.7	700 – 1,000
พริก	0.5 – 1.0	600 – 900
มะเขือเทศ	0.7 – 1.5	400 – 600
มันฝรั่ง	0.4 – 0.6	500 – 700
ไม้ผลประเภทส้ม	1.2 – 1.5	900 – 1,200
ยาสูบ	0.5 – 1.0	400 – 600
สับปะรด	0.3 – 0.6	700 – 1,000
หัวหอม	0.3 – 0.5	350 – 550
อ้อย	1.2 – 2.0	1,000 – 1,500
องุ่น	1.0 – 2.0	500 – 1,200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การดูดน้ำจากดินในชั้นต่างๆ

เนื่องจากว่ารากพืชจะแผ่กระจายอยู่อย่างหนาแน่นในตอนบนของเขตราก และบริเวณโคนต้นดังนั้นพืชจะดูดน้ำจากดินในชั้นนี้ไปใช้อย่างรวดเร็วนอกจากความชื้นที่พืชดูดไปใช้แล้วดินยังสูญเสียน้ำโดยการระเหยจากผิวดินอีกขณะที่ความชื้นของดินในชั้นนี้ค่อยๆลดแรงดึงความชื้นของดินก็จะเพิ่มขึ้นในที่สุดพืชก็จะไม่สามารถดูดน้ำจากดินในชั้นนี้ไปใช้ได้อย่างเพียงพอความชื้นที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโตจึงต้องมาจากดินในระดับต่ำลงมา

ในดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอและมีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ตลอดความลึกของเขตรากพืชจะใช้น้ำจากตอนบนของเขตรากอย่างรวดเร็วส่วนในตอนล่างนั้นพืชจะดูดน้ำไปใช้ช้ากว่ามากจากการทดลองพบว่าพืชเกือบทุกชนิดที่ปลูกในดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอและความชื้นมากพอกับความต้องการของพืชตลอดความลึกจะมีลักษณะการดูดน้ำจากดินชั้นต่างๆไปใช้คล้ายคลึงกัน กล่าวคือ ถ้าแบ่งความลึกของเขตรากออกเป็นสี่ส่วนเท่าๆกันประมาณ 40% ของความชื้นที่พืชใช้ทั้งหมดมาจากดินในชั้นแรกนับจากผิวดินลงมา 30% จากดินในชั้นที่สอง 20% จากดินในชั้นที่สาม และ 10% จากดินในชั้นที่สี่ ตามลำดับ ที่แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงค่าเฉลี่ยของความชื้นที่พืชดูดไปจากดินในชั้นต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 องค์ประกอบที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญอยู่ 4 ประการ คือ

1. **สภาพภูมิอากาศรอบๆต้นพืช** ได้แก่ พลังงานความร้อนที่ได้จากดวงอาทิตย์ หรือรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และความเร็วลม เป็นต้น

2. **พืช** ได้แก่ ชนิดและอายุของพืช พืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำแตกต่างกันสำหรับพืชชนิดเดียวกันการใช้น้ำจะน้อยเมื่อเริ่มปลูกและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และมากที่สุดเมื่อถึงวัยขยายพันธุ์ซึ่งพืชโตเต็มที่จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง

3. **ดิน** ได้แก่ จำนวนความชื้นในดิน เนื้อดิน ความสามารถอุ้มน้ำไว้ให้พืชใช้น้ำ ความเข้มข้นของเกลือในดินหรือ สารที่เป็นพิษอย่างอื่นเป็นต้น

4. **องค์ประกอบอื่นๆ** เช่น วิธีการให้น้ำแก่พืช และความลึกที่ให้แต่ละครั้ง ฤดูการเพาะปลูก การพรวนดิน การคลุมดิน เป็นต้น

2.4.4 ความถี่ในการให้น้ำ (Irrigation Frequency, Irrigation Interval)

ความถี่ในการให้น้ำหมายถึง จำนวนวันระหว่างการให้น้ำแต่ละครั้งของพืชที่แปลงใดแปลงหนึ่งเช่น สมมติว่าเราให้น้ำแก่พืชอย่างหนึ่งทุกวันอาทิตย์ความถี่ในการให้น้ำจะเท่ากับ 7 วัน เป็นต้น ความถี่ในการให้น้ำขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำของพืช และความสามารถเก็บน้ำไว้ของดินของเขตราก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Field Capacity ถึงระดับความชุ่มชื้นที่จุดวิกฤต (Critical Moisture Level) หรือ ความชื้นที่ยอมให้พืชดูดจากดินไปใช้ได้นั่นเอง

ความถี่ในการให้น้ำแก่พืชชนิดใดชนิดหนึ่งจะขึ้นอยู่กับฤดูการเพาะปลูกและระยะการเจริญเติบโต เมื่อเริ่มทำการเพาะปลูกที่ผิวดินจะต้องมีความชื้นสูง เพื่อให้เมล็ดงอกและต้นอ่อนสามารถตั้งตัวได้ดังนั้นจึงต้องให้น้ำครั้งละน้อยๆแต่บ่อยครั้งเมื่อพืชเจริญเติบโตและมีรากแผ่ลึกลงไปในดินมากขึ้นแต่ความถี่ในการให้น้ำก็จะค่อยๆลดลง จนถึงระยะออกดอกเมื่อเริ่มแก่ ความถี่ในการให้น้ำจะลดลงอีกเพราะพืชมีการใช้น้ำน้อยลงและอาจไม่ต้องให้น้ำเลยเมื่อผลสุกหรือเก็บเกี่ยว

2.5 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช

ในการชลประทาน หรือการให้น้ำแก่พืชเพื่อให้พืชเจริญเติบโต และให้ผลตอบแทนสูงนั้นเรามักจะพบกับปัญหาซึ่งเป็นหัวใจของการชลประทานอยู่เสมอคือ เมื่อไรจึงควรจะให้น้ำแก่พืชและให้เป็นปริมาณมากน้อยเท่าใด ถ้าหากทราบคำตอบทั้งสองข้อนี้ก็ย่อมเป็นที่แน่ใจได้ว่า การชลประทานนั้นจะสัมฤทธิ์ผลโดยการเพิ่มผลผลิตขึ้นได้อย่างแน่นอน แต่ก่อนที่จะให้คำตอบนี้ได้เรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับพืช ดิน และน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของการชลประทานเสียก่อน สิ่งที่เราต้องการทราบก็มี

1) ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ระยะเวลาต่างๆ ตลอดอายุของมัน

2) ความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก

3) ปริมาณน้ำที่หามาทำการชลประทานได้ และกำหนดเวลาที่จะได้รับน้ำนั้น

ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ระยะเวลาต่างๆตลอดอายุของมัน และความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก เป็นข้อมูลสำคัญเบื้องต้นซึ่งจะต้องนำมาใช้หาความถี่ในการให้น้ำและปริมาณที่จะต้องให้ในแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตามในบางครั้งเราไม่สามารถให้แก่พืชได้เต็มจำนวนตามที่มันต้องการเสมอไปเนื่องจากว่าน้ำที่มีอยู่นั้นมีจำนวนจำกัด หรือในขณะที่พืชกำลังต้องการน้ำนั้นยังไม่ถึงกำหนดส่งน้ำจากโครงการชลประทาน ดังนั้นจึงต้องทราบด้วยว่าจะมีน้ำที่สามารถให้แก่พืชได้อย่างแน่นอนเท่าไรมีเป้าหมายกำหนดส่งน้ำอย่างไรเพื่อที่ว่าจะได้จัดเวลาที่ยอมให้พืชขาดน้ำอยู่ในช่วงที่จะกระทบกระเทือนต่อผลผลิตน้อยที่สุด หรือถ้ามีน้ำมากพอแต่การส่งน้ำนั้นไม่ตรงกับที่พืชต้องการ ก็จะได้จัดเตรียมเก็บกักน้ำไว้ใช้ในช่วงที่มิได้มีการส่งน้ำด้วย

2.5.1 พืชกับการกำหนดการให้น้ำ

พืชที่กำลังเจริญเติบโตย่อมมีการให้น้ำอยู่ตลอดเวลา อัตราการใช้น้ำจะขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิและสภาพภูมิอากาศอื่นๆ การให้น้ำแก่พืชในแต่ละครั้งปริมาณที่ให้ควรจะมากพอกับความต้องการของพืชไปจนกว่าจะถึงกำหนดให้น้ำคราวหน้า ซึ่งอาจจะมีระยะเวลาตั้งแต่สองสามวันจนถึงสองสามอาทิตย์ ความถี่ในการให้น้ำเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องพิจารณากันอย่างรอบคอบเพราะว่าพืชบางชนิด เช่น พวกผักต่างๆ ต้องการให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลา ถ้าดินแห้งผลผลิตจะต่ำหรือเสียลงแต่พืชบางชนิด เช่นส้มและผลไม้อื่นๆ อีกหลายอย่างต้องให้มีการขาดน้ำบ้างเล็กน้อยเสียก่อนจะออกดอกออกผล ดังนั้น การกำหนดความถี่ในการให้น้ำจึงจำเป็นต้องทราบอุปนิสัยของพืชที่ปลูกด้วย โดยทั่วไปแล้วการกำหนดเวลาที่ควรจะให้แก่พืช

อาจทำได้สองแบบ คือ โดยการสังเกตลักษณะอาการของพืชและโดยการพิจารณาจากจำนวนความชื้นที่ยังเหลืออยู่ในดิน

การกำหนดการให้น้ำโดยการสังเกตจากลักษณะอาการของพืชนั้นสามารถใช้ได้เพียงบางชนิด เช่น พืชที่มีรากเป็นจังหวะแสดงอาการเหี่ยวเฉาเมื่อเริ่มขาดน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตอนบ่ายที่มีอากาศร้อนจัด ถั่ว ฝ้าย เมื่อเริ่มมีการขาดน้ำใบอ่อนของมันจะมีสีเขียวเข้มขึ้นกว่าปกติ สำหรับผลไม้ไม่ควรกำหนดการให้น้ำโดยวิธีนี้ เพราะกว่าจะสังเกตพบพืชอาจจะขาดน้ำติดต่อกันเป็นเวลานานหลายวันแล้ว ซึ่งจะทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพและปริมาณลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พืชทุกชนิดเมื่อมีอาการขาดน้ำจะลดอัตราการเจริญเติบโตลง ดังนั้นถ้าไม่จำเป็นแล้วควรให้พืชมีน้ำใช้อย่างเพียงพออย่างสม่ำเสมอ โดยทั่วๆไปแล้วเราจะกำหนดเวลาที่ต้องให้น้ำแก่พืชโดยการพิจารณาจากจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ (Available Moisture) ที่ยังเหลืออยู่ในดิน เพราะจำนวนความชื้นดังกล่าวนี้เท่านั้นที่จะบอกว่าพืชกำลังขาดน้ำอยู่หรือเปล่า

การที่จะให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูง จะต้องคอยควบคุมจำนวนความชื้นในดินให้อยู่ในระดับพอเหมาะอยู่เสมอ พืชส่วนใหญ่สามารถดูดน้ำจากดินไปใช้ได้อย่างดีถ้าดินมีความชื้นสูงเมื่อความชื้นในดินลดลงแรงดึงความชื้นของดินก็จะเพิ่มขึ้น ถ้าหากไม่มีน้ำมาเพิ่มความชื้นให้แก่ดินในที่สุดพืชจะไม่สามารถดูดน้ำมาใช้ให้เพียงพอกับความต้องการได้ อัตราการเจริญเติบโตก็จะลดลงหรือหยุดเจริญเติบโต แต่ถ้าหากมีการให้น้ำแก่พืชในตอนนี้ พืชบางชนิดจะสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ตามปกติโดยมีการเสียหายเพียงเล็กน้อยหรือไม่เสียหายเลย พืชบางชนิดอาจจะเสียหายมากถ้าหาความชื้นในดินอยู่ในขีดเฉา (Wilting Point) ติดต่อกันเป็นเวลาหลายวัน ถึงแม้ว่ามันอาจจะเจริญเติบโตต่อไปได้ แต่จะพบว่าผลผลิตที่ได้ลดลงไป

เนื่องจากว่าระดับความเสียหายที่เกิดจากการขาดน้ำขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช ดังนั้นในเมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องยอมให้พืชขาดน้ำก็ควรจะเลือกให้อยู่ในระยะที่กระทบกระเทือนต่อผลผลิตน้อยที่สุด เช่นการทดลองให้น้ำข้าวโพดพบว่า ถ้าให้ความชื้นในดินลดลงจนถึงขีดเฉาเป็นเวลา 1 ถึง 2 วัน ในช่วงที่ข้าวโพดกำลังออกช่อดอกจะทำให้ลดลงได้ถึง 22 เปอร์เซ็นต์ และถ้าให้ขาดน้ำในช่วงติดต่อกันเป็นเวลานาน 6 ถึง 8 วันผลผลิตจะลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นถ้าต้องการปลูกข้าวโพดให้ได้ผลผลิตสูงแล้วก็จะต้องป้องกันมิให้ความชื้นในดินลดลงใกล้ขีดเฉาเลยตลอดอายุของมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่กำลังออกช่อดอก

สำหรับพืชบางชนิด เช่น ฝ้าย ซึ่งมีการใช้น้ำในดินอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าพืชชนิดอื่นอาจไม่จำเป็นต้องให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลา แต่ถ้าหากมันขาดน้ำผลผลิตก็จะลดลงเช่นเดียวกัน โดยปกติแล้วควรจะให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลาหลังจากที่มันเริ่มออกดอกแล้ว

พืชเกือบทุกชนิดจะให้ผลผลิตลดลงหรือมีคุณภาพเลวลงถ้ามีการขาดน้ำที่ระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง ระยะเวลาที่เมื่อมีการขาดน้ำแล้วจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตมากที่สุด เรียกว่า ช่วงวิกฤต (Critical Period) ดังนั้นในช่วงระยะเวลาดังกล่าวนี้จะต้องคอยรักษาให้ดินมีความชื้นอยู่เสมอ ช่วงวิกฤตในความต้องการน้ำของพืชชนิดต่างๆที่ปลูกกันทั่วๆ ไปดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 แสดงช่วงวิกฤต (Critical Period) ในความต้องการน้ำของพืช

พืช	ช่วงวิกฤต
กะหล่ำปลี	ใบเริ่มห่อเป็นหัวและหัวกำลังโต
กะหล่ำดอก	ต้องการความชื้นในดินสูงตลอดฤดูการเพาะปลูก
ข้าวโพด	ช่วงผสมเกสรจากออกช่อดอกจนถึงมีเนื้อเต็มเมล็ดรองลงมาเป็นช่วงก้านดอกและรองลงมาเป็นช่วงที่เมล็ดกำลังจะเต็มช่วงผสมเกสรจะวิกฤติมากถ้าหากข้าวโพดไม่เคยขาดน้ำมาก่อน
ข้าวฟ่าง	วิกฤตมากในช่วงออกช่อดอกจนถึงเมล็ดเต็ม รองลงมาเป็นช่วงก่อนออกดอก
ถั่วต่างๆ	วิกฤตที่สุดในช่วงออกดอกและติดฝักรองลงมาเป็นช่วงก่อนออกดอกรองลงมาเป็นช่วงผักกำลังแก่ แต่ช่วงฝักแก่จะวิกฤติกว่าช่วงก่อนออกดอกถ้าไม่เคยขาดน้ำมาก่อน
ธัญพืช	จากตั้งท้องถึงออกรวง
บร็อคเคอลี่	เริ่มออกดอกและดอกกำลังโต
ผักต่างๆ	ต้องการความชื้นในดินสูงตลอดฤดูกาลปลูก
ฝ้าย	วิกฤติที่ดีที่สุดในช่วงออกดอกถึงติดสมอ รองลงมาเป็นช่วงก่อนออกดอกรองลงมาเป็นช่วงหลังติดสมอถึงสมอแก่
มะเขือเทศ	จากออกดอกจนถึงช่วงกำลังโต
มันฝรั่ง	ต้องการความชื้นสูงหลังเริ่มลงหัว ออกดอก จนถึงเก็บเกี่ยว
ไม้ผล	ผลกำลังโต
ไม้ผลประเภทส้ม	ออกดอกและติดผล มะนาวจะออกดอกดกถ้างดให้น้ำในช่วงก่อนออกดอกเล็กน้อย ผลร่วงในช่วงแล้งอาจแก้ไขได้โดยการให้น้ำให้ชุ่มชื้นพอ

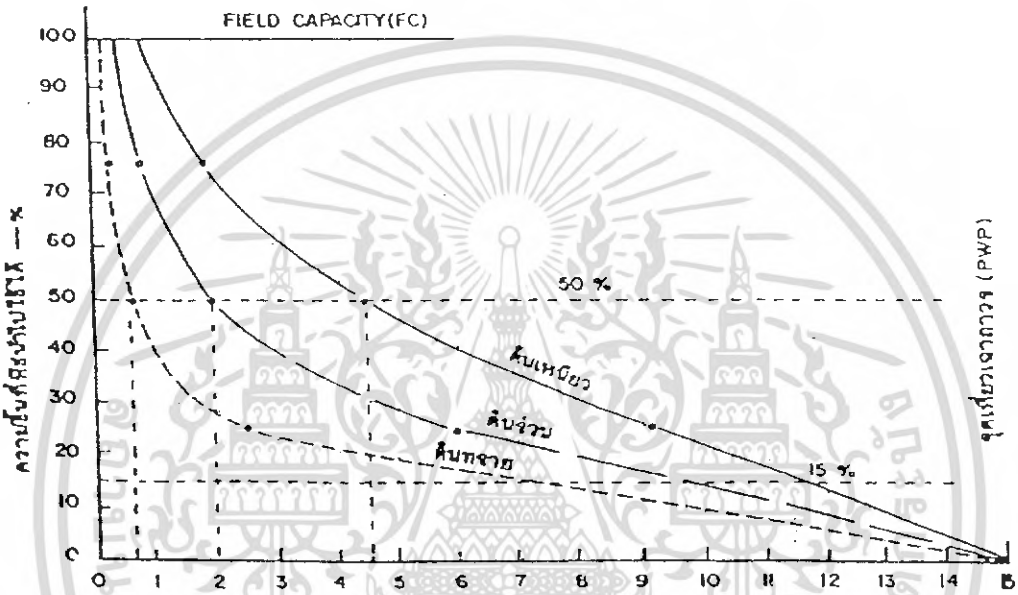
2.5.2 ดินกับการกำหนดการให้น้ำ

ถึงแม้ว่าการรักษาความชื้นของดินในระดับสูงอยู่เสมอเป็นสิ่งที่จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูง แต่ในทางปฏิบัติแล้วเราไม่สามารถจะรักษาความชื้นของดินให้อยู่ในระดับใดระดับหนึ่งตลอดฤดูกาลเพาะปลูกได้ นอกจากนั้นพืชแต่ละชนิดจะให้คุณภาพและผลผลิตดีจะต้องไม่ยอมให้ความชื้นของดินลดลงไปใกล้ขีดเฉา (Wilting point) เลย ระดับความชื้นก่อนการให้น้ำเป็นสิ่งที่จะบอกว่าดินนั้นมีความสูงอยู่ตลอดเวลาหรือไม่ เราอาจถือว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าดินยังมีความชื้นเหลืออยู่ประมาณสองในสาม หรือประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ แล้วดินยังชื้นอยู่แต่ถ้าความชื้นดังกล่าวเหลืออยู่เพียงหนึ่งในสามหรือประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ ก็ถือว่าดินนั้นแห้ง

ระดับความชื้นของดินก่อนการให้น้ำอาจเทียบหาได้จากแรงดึงความชื้นของดิน ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นของดิน (Soil Moisture Tension) กับจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture) มีลักษณะดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้

จากรูปจะเห็นว่า ที่ Field capacity ดินที่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และที่ขีดเฉา (Wilting point) ดินไม่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้

เนื่องจากว่าช่องว่างระหว่างเมล็ดดินแต่ละชนิดมีขนาดไม่เท่ากัน น้ำในดินที่มีเนื้อหยาบ เช่น ทรายจะถูกดูดไปใช้เกือบหมดโดยใช้แรงดึงความชื้นเพียงเล็กน้อย แต่ในดินที่มีเนื้อละเอียดจะยังคงมีความชื้นเหลืออยู่อีกเป็นจำนวนมากเมื่อใช้แรงดึงความชื้นขนาดเดียวกัน หรือถ้าพิจารณาทางด้านความชื้นในดินที่ยังเหลืออยู่ ที่ระดับความชื้นที่ยังเหลืออยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ ดินเหนียวจะมีแรงดึงความชื้นประมาณ 4.5 บรรยากาศ ส่วนดินร่วนและดินทรายจะมีแรงดันความชื้นประมาณ 2.0 และ 0.75 บรรยากาศ ตามลำดับ อย่าลืมว่ารากพืชจะต้องออกแรงดึงดูดความชื้นมากกว่าแรงดึงความชื้นของดินจึงจะได้น้ำไปใช้ โดยปกติแล้วรากพืชมีแรงดูดน้ำจากดินได้ขนาดหนึ่ง เมื่อแรงดึงความชื้นของดินเพิ่มขึ้น หรือดินแห้งมากขึ้นรากพืชจะต้องใช้แรงดูดน้ำมากขึ้นและจะดูดน้ำได้น้อยลง เมื่ออัตราที่รากดูดน้ำได้น้อยกว่าที่มันคายน้ำออกทางใบพืชก็จะขาดน้ำและเกิดการเหี่ยวเฉา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จากตัวอย่างดินทั้งสามที่กล่าวนี้ ถ้าต้องการให้น้ำเมื่อความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ ก็จะต้องให้เมื่อดินเหนียว ดินร่วน ดินทรายมีแรงดึงความชื้น 4.2, 2.0 และ 0.75 บรรยากาศตามลำดับ

ดังได้กล่าวแล้วว่า ความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้ได้จะยังคงสูงอยู่ถ้าหากแรงดึงความชื้นต่ำ ดังอาจพบว่าผลผลิตที่ได้จะแตกต่างกันถ้าให้น้ำเมื่อความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลือ 50 เปอร์เซ็นต์เท่าๆกัน ที่เป็นดังนี้เพราะพืชจะต้องออกแรงดึงดูดความชื้นจากดินเหนียวมากกว่าดินร่วนหรือดินทราย และจะพบว่าพืชที่ปลูกในดินเหนียวจะแสดงอาการขาดน้ำก่อนถึงแม้ว่ายังมีความชื้นเหลืออยู่มากกว่าก็ตาม แต่ถ้าให้น้ำเมื่อแรงดึงความชื้นมีค่าเท่าๆกัน จะพบว่าผลผลิตที่ได้จะไม่แตกต่างกันมากนักทั้งๆที่ความชื้นที่พืชนำไปใช้เหลืออยู่แตกต่างกันมาก เช่น ถ้าให้น้ำเมื่อแรงดึงความชื้นเท่ากับ 2.0 บรรยากาศ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ในดินเหนียว ดินร่วน และดินทราย จะเหลืออยู่ 75, 50 และ 27 เปอร์เซ็นต์

ไม่ว่าความถี่ในการให้น้ำจะกำหนดจากแรงดึงความชื้น หรือจำนวนความชื้นที่ยังเหลืออยู่ก็ตาม เราไม่สามารถใช้ค่าดังกล่าวนี้กับพืชหรือดินทุกชนิดได้ ค่าเหล่านี้ควรจะทำการทดลองหาจากแปลงเพาะปลูกโดยตรง นอกจากนั้นความถี่ในการให้น้ำควรจะพิจารณาจากค่าแรงและอุปกรณ์ในการให้น้ำ และจากการเปรียบเทียบปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ตลอดจนค่าราคาของผลผลิตในท้องตลาดด้วยว่าถ้ามีการควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในระดับที่ต้องการแล้วจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่

ในเขตแห้งแล้งน้ำที่พืชได้รับส่วนใหญ่เป็นน้ำชลประทาน จากการศึกษาพบว่าควรจะให้น้ำเมื่อความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ถ้าหากหลังการให้น้ำทุกครั้งดินมีความชื้นที่ Field Capacity ดินมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้อยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ตลอดเวลา

สำหรับในเขตชุ่มน้ำที่พืชใช้ส่วนใหญ่อาจมาจากฝน ดังนั้นการให้น้ำจึงทำกันเฉพาะช่วงที่ขาดฝนและถ้าหากต้องการจะใช้น้ำฝนให้มากที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดน้ำชลประทานแล้ว ก็จะต้องจัดที่ไว้สำหรับเก็บน้ำฝนให้มากที่สุด นั่นก็คือ ยอมให้เกิดความชื้นในดินลดลงมาใกล้ขีดเฉาให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่กระทบต่อผลผลิต

การกำหนดค่าความชื้นที่ยังเหลืออยู่ก่อนการให้น้ำ จะต้องพิจารณาทั้งความสะดวกในการให้น้ำ และความชื้นที่พืชต้องการเพื่อให้เกิดผลผลิตสูงสุดด้วย ในบางครั้งกสิกรอาจยังไม่ต้องการให้น้ำเนื่องจากความชื้นในดินยังสูงอยู่ และเกรงว่าอีกสองสามวันข้างหน้าจะมีฝนตกลงมาอีก อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่า สำหรับพืชทั่วไปอาจยอมให้พืชดูดความชื้นไป 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์แล้วจึงให้น้ำ แต่ถ้าเป็นพืชที่มีราคาแพงซึ่งถ้าให้ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดลงมากแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้ปริมาณและคุณภาพของผลผลิตลดลงก็อาจจะต้องให้น้ำเมื่อดินยังมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลืออยู่ 65 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

การกำหนดค่าความชื้นที่ยังเหลืออยู่ก่อนการให้น้ำเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะว่าพืชจะไม่สามารถดูดน้ำมาใช้ให้เพียงพอต่อความต้องการได้ถ้าหากความชื้นในดินลดลงใกล้ขีดเฉา เนื่องจากแรงดึงความชื้นจะสูงมาก จากการทดลองพบว่าผลผลิตของพืชเกือบทุกชนิดจะลดลงถ้าหากความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดลงเหลือ 20 เปอร์เซ็นต์หรือต่ำกว่า สำหรับพืชและดินบางชนิดผลผลิตอาจจะลดลงเมื่อได้ความชื้นลดลงเหลือ 30 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์

จำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่ในดิน ในระดับที่เริ่มกระทบกระเทือนต่อผลผลิตนี้เรียกว่า ระดับความชื้นวิกฤต(Critical Moisture Level)หรือบางทีเรียกสั้นๆว่า จุดวิกฤต (Critical Point)ค่าดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและพืชที่ปลูก จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าที่ระดับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลือเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ แรงดึงความชื้นสำหรับดินทราย ดินร่วนและดินเหนียวจะมีค่าเท่ากับ 7.3, 9.8, และ11.8 บรรยากาศตามลำดับ ถ้าพิจารณาจากแรงดึงความชื้นของดินแล้ว พืชสามารถดูดน้ำจากดินทรายได้ง่ายกว่าดินร่วนและดินเหนียว อย่างไรก็ตามเนื่องจากว่าดินทรายมีความสามารถในการเก็บน้ำไว้ได้น้อย ที่แรงดึงความชื้น 7.3 บรรยากาศ ความชื้นในดินทรายก็ลดลงใกล้ขีดเฉาแล้ว ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยจึงไม่ควรให้ความชื้นในดินทรายลดลงไปต่ำกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินเหนียวซึ่งมีความสามารถในการเก็บน้ำไว้ได้มากกว่า ถึงแม้ว่าพืชจะต้องออกแรงดึงดูดน้ำมากกว่า แต่ที่ระดับความชื้นที่เหลืออยู่ 15 เปอร์เซ็นต์ นั้น เมื่อคิดออกมาเป็นปริมาณน้ำแล้วจะยังคงมีน้ำเหลืออยู่มากกว่าในดินทรายมาก ดังนั้นพืชจะยังมีน้ำใช้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่2.6 ลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินที่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ในระดับต่างๆ

ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่พืชมีอยู่ในดิน	ลักษณะและรู้สึกสัมผัส			
	ดินเนื้อหยาบ	ดินเนื้อค่อนข้างหยาบ	ดินเนื้อปานกลาง	ดินเนื้อละเอียดและละเอียดมาก
0 %	แห้งร่วนไม่เกาะกันเป็นก้อน	แห้งร่วนไม่เกาะกันเป็นก้อน	แห้งเป็นผงหรือเกาะกันเป็นก้อนแต่บี้ให้แตกเป็นผงได้ง่าย	แห้ง แข็ง มีรอยแตกร้าว บางทีมีก้อนแตกร่วนเล็กๆบนผิวหน้า
50 % หรือต่ำกว่า	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือไม่เป็นก้อน	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือไม่เป็นก้อน	ค่อนข้างร่วน แต่กำให้แน่นจะเกาะกันเป็นก้อนได้	ค่อนข้างนุ่ม กำให้แน่นเกาะกันเป็นก้อนได้
50 – 75 %	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือไม่เป็นก้อน	กำให้แน่นเป็นก้อนได้ แต่แตกง่ายไม่เกาะกัน	กำให้เป็นก้อนได้ ค่อนข้างเหนียวเมื่อบีบจะลื่นเล็กน้อย	กำเป็นก้อนใช้นิ้วรีดเป็นแผ่นบางๆได้
75 % ถึง Field Capacity	เกาะกันบ้าง กำเป็นก้อนแต่แตกง่าย	กำเป็นก้อนแต่แตกง่าย	กำเป็นก้อนอ่อนนุ่มมาก ถ้ามีดินเหนียวมากจะลื่น	รีดเป็นแผ่นระหว่างนิ้วมือได้ง่าย รู้สึกลื่น
ที่ Field Capacity (100 %)	บีบไม่มีน้ำออกมาแต่เปียกมือ	เหมือนดินเนื้อหยาบ	เหมือนดินเนื้อหยาบ	เหมือนดินเนื้อหยาบ
เกิน Field Capacity	สลัดในมือจะมีน้ำกระเด็นออกมา	นวดดินจะมีน้ำออกมา	บีบมีน้ำออกมา	เป็นโคลนมีน้ำบนผิว

ด้วยเหตุนี้ถ้าจะป้องกันมิให้พืชต้องขาดน้ำแล้ว การกำหนดระดับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่จะต้องพิจารณาจากดินและพืชเป็นรายๆ สำหรับการออกแบบระบบการชลประทานระดับความชื้นที่ยังเหลืออยู่สำหรับการออกแบบควรอยู่ระหว่าง 15 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 องค์ประกอบอื่นๆ กับการกำหนดการให้น้ำ

การกำหนดการให้น้ำ นอกจากจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของดินและพืชที่ปลูกแล้ว ยังมีองค์ประกอบอย่างอื่นที่จะต้องนำเข้ามาพิจารณาด้วยคือ สภาพภูมิอากาศ และจัดการเพาะปลูก

สภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องก็มี รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นของบรรยากาศและความยาวของชั่วโมงกลางวันตลอดฤดูกาลเพาะปลูกเป็นต้น สภาพภูมิอากาศเหล่านี้จะมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำของพืชที่จะต้องนำมาใช้หาความถี่ในการให้น้ำนั่นเอง สำหรับองค์ประกอบการเกี่ยวกับการจัดการการเพาะปลูกก็ ได้แก่ ช่วงฤดูกาลเพาะปลูกและเก็บเกี่ยว ความหนาแน่นของพืชที่ปลูกต่อไร่ วิธีการและค่าใช้จ่ายในการให้น้ำและการให้ปุ๋ย เป็นต้น

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทุกอย่างแล้วอาจสรุปได้ว่า เราสามารถแบ่งการกำหนดการให้น้ำเป็นสองกลุ่ม กลุ่มหนึ่งต้องการการให้น้ำบ่อยครั้งจึงจะให้ผลผลิตสูง ส่วนอีกกลุ่มไม่จำเป็นต้องให้น้ำบ่อยครั้งนักก็ได้

กลุ่มที่ต้องการให้น้ำบ่อยครั้ง มีสภาวะของพืช ดิน ภูมิอากาศและการจัดการเพาะปลูก ดังนี้

ก. พืช

1. มีรากตื้น ไม่หนาแน่น และอัตราการแผ่ขยายต่ำ
2. การเจริญเติบโตส่วนใหญ่อยู่ในช่วงที่ไม่มีฝน หรือช่วงที่มีการระเหยและคายน้ำมาก
3. ผลผลิตที่ต้องการเป็น ลำต้น ใบ ดอก หรือผลสด

ข. ดิน

1. ชั้นดินตื้น โครงสร้างของดินไม่ดีทำให้รากแผ่ขยายออกไปได้แคบและตื้น
2. อัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินต่ำ การระบายน้ำในดินไม่ดีและมีการถ่ายเทอากาศไม่ดี
3. โรคที่เป็นอันตรายต่อรากพืชอยู่ในดิน
4. ดินระบายออกมาให้พืชได้น้อยเมื่อใช้แรงดึงความชื้นต่ำ
5. เป็นดินเค็ม และ/หรือน้ำชลประทานมีเกลือละลายอยู่ในปริมาณมาก
6. มีปุ๋ยอยู่ในดินเป็นปริมาณมาก หรือปุ๋ยส่วนใหญ่อยู่ในดินชั้นบน
7. ดินมีอุณหภูมิสูง และพืชมีรากตื้น

ค. ภูมิอากาศ

1. มีลักษณะที่ทำให้อัตราการระเหยและการคายน้ำสูง
2. ไม่มีฝนตกในฤดูกาลเพาะปลูก

ง. การจัดการเพาะปลูก

1. ปลูกพืชตอนต้นฤดูแล้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ต้องการผลผลิตสูง ถึงแม้ว่าจะทำให้การเก็บเกี่ยวล่าช้าไปบ้างก็ยอม
3. ราคาของผลผลิตขึ้นอยู่กับน้ำหนักสด หรือขนาดของส่วนที่เก็บเกี่ยว

กลุ่มที่ไม่จำเป็นต้องให้น้ำบ่อยครั้งนักมีสภาวะของพืช ดิน ภูมิประเทศและการจัดการเพาะปลูกดังนี้

ก. พืช

1. มีรากลึก แผ่กระจายอย่างหนาแน่นและมีอัตราการแผ่ขยายของรากสูง
2. พืชมีความต้านทานต่อการขาดน้ำสูง
3. การเจริญเติบโตส่วนใหญ่อยู่ในฤดูฝน หรือในช่วงที่มีการระเหยและการคายน้ำน้อย
4. ผลผลิตที่ต้องการเป็นเมล็ดหรือผลแห้ง

ข. ดิน

1. ชั้นดินลึก โครงสร้างดี
2. อัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดินพอเหมาะ การระบายน้ำและการถ่ายเทอากาศในดินดี
3. ดินระบายน้ำออกมาให้พืชได้มากเมื่อใช้แรงดึงความชื้นต่ำ
4. ดินและน้ำชลประทานมีเกลืออยู่น้อย
5. มีปุ๋ยอยู่ในดินไม่มากนักและเผากระจายอยู่ตลอดความลึกของชั้นดิน
6. น้ำใต้ดินอยู่ในระดับที่พืชสามารถดูดมาใช้ได้บ้าง

ค. ภูมิอากาศ

1. มีอัตราการระเหยและการคายน้ำต่ำ
2. มีฝนตกในฤดูกาลเพาะปลูก

ง. การจัดการเพาะปลูก

1. ปลูกและเจริญเติบโตในฤดูฝน และ/หรือในช่วงที่มีการระเหยและการคายน้ำน้อย
2. ปลูกและเจริญเติบโตเต็มที่ก่อนถึงฤดูแล้ง
3. ต้องการให้ผลผลิตแก่หรือสุกเร็วเพราะว่าตลาดกำลังต้องการ ถึงแม้ว่าคุณภาพและและปริมาณจะด้อยกว่าปกติก็ยอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

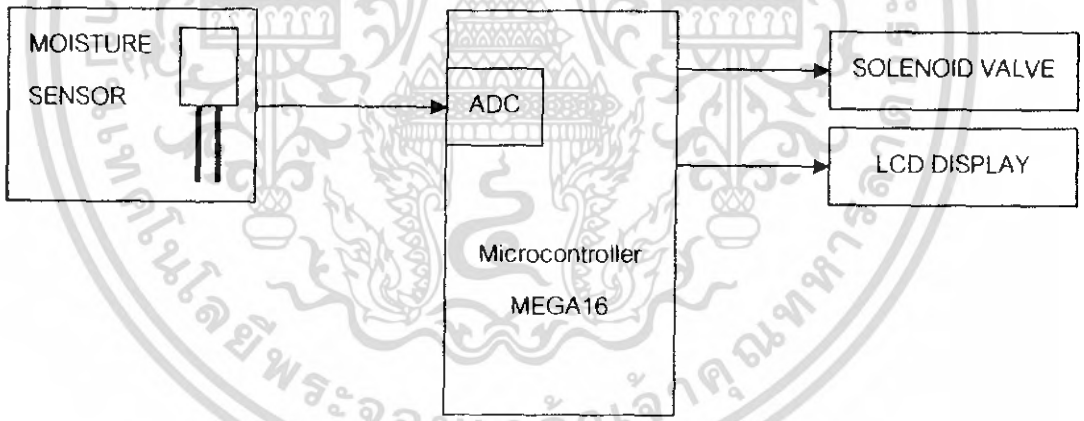
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 องค์ประกอบของเครื่อง

การทำงานของเครื่องควบคุมการให้น้ำอัตโนมัตินี้ จะอาศัยตัวแปรสำคัญที่นำมาใช้การควบคุมการให้ปริมาณน้ำอย่างเหมาะสม คือ การวัดปริมาณความชื้นในดิน หรือ การตั้งเวลาในการเปิด-ปิดการให้น้ำ หรือ การวัดปริมาณอุณหภูมิของอากาศในแต่ละวัน ซึ่งส่วนประกอบหลักๆ ของเครื่องมีดังนี้

3.1.1 ส่วนของชุดวัดความชื้นในดิน

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนของการทำงานแบบอัตโนมัติ โดยอาศัยการวัดค่าความชื้นภายในดินที่ได้จากวงจรชุดวัดความชื้น (Moisture Sensor) ซึ่งการวัดความชื้นอาศัยค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไปของดิน จากนั้นนำค่าความต้านทานไปเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของน้ำในดิน โดยมีแผนผังการทำงานเมื่อใช้เซนเซอร์วัดความชื้นดังรูป 3.1



รูปที่3.1 แผนผังการทำงานเมื่อใช้เซนเซอร์วัดความชื้น

หลักการทำงานของเครื่องให้น้ำอัตโนมัติโดยอาศัยการวัดความชื้นนี้ จะสามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ต้องการจะรดเนื่องจากพืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำต่างกัน ดังนั้นการออกแบบเครื่องจะสามารถตั้งค่าระดับความชื้นที่พืชต้องการได้ กล่าวคือ เมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินน้อยกว่าระดับความชื้นที่พืชต้องการ (ค่าความชื้นที่ตั้งไว้) ระบบจะทำการจ่ายน้ำออกมาจนถึงระดับความชื้นที่ตั้งไว้จากนั้นระบบจะทำการปิดน้ำโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการทดลองวัดความชื้นในดิน

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมดิน

1. นำดินที่สนใจจะหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินมาทำการตากแห้งประมาณ 1 – 2 วัน
2. จากนั้นนำดินที่แห้งแล้วมาโขลกเพื่อให้ดินนั้นละเอียดและเม็ดดินทุกเม็ดมีขนาดใกล้เคียงกัน จากนั้นจึงนำไปร่อน

3. นำเม็ดดินที่ร่อนเสร็จแล้วใส่กระป๋องโลหะเข้าตู้อบ โดยตั้งอุณหภูมิที่ทำการอบไว้ที่ 105 °C ใช้เวลาในการอบ 24 ชั่วโมง
4. รอจนดินที่อบอยู่ในเตาเย็นตัวลง แล้วนำเข้าหม้อดูดความชื้น เพื่อป้องกันดินที่อบแห้งแล้ว จากความชื้นในอากาศ (ขณะนี้ดินมีความชื้นเป็น 0 % คือ ไม่มีน้ำอยู่เลย)

ขั้นตอนที่ 2 การชั่งน้ำหนักและคำนวณค่าปริมาณน้ำที่จะเติมในแต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้น

5. ชั่งน้ำหนักถุงพลาสติกที่จะนำมาบรรจุดินก่อน จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักรวมของดินและถุงบรรจุดิน
6. นำดินที่แห้งและมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วใส่ถุงพลาสติกนำไปชั่งน้ำหนัก
7. นำน้ำหนักรวมของดินและถุงบรรจุดินลบกับน้ำหนักถุงบรรจุจะได้น้ำหนักดินสุทธิ ดังนี้

$$W_{\text{ดินและถุง}} - W_{\text{ถุง}} = W_{\text{ดิน}}$$

8. เมื่อทราบน้ำหนักดินแห้งสุทธิแล้ว ให้นำมาคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการเติมลงไปแต่ละครั้งของการทดลองในแต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้นดิน(เชิงมวล)} = (W_w / W_S) \times 100$$

เมื่อ W_w = มวลน้ำที่เติมลงไป

W_S = มวลของดินแห้ง

9. เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ต้องการเติมลงไปในแต่ละเปอร์เซ็นต์ความชื้นดินของดินทุกๆ 5% (0, 5, 10, …., 100) จากนั้นทำการวัดความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทานในวงจรแล้วบันทึกผล

ขั้นตอนที่ 3 การแสดงค่าความชื้นที่ได้

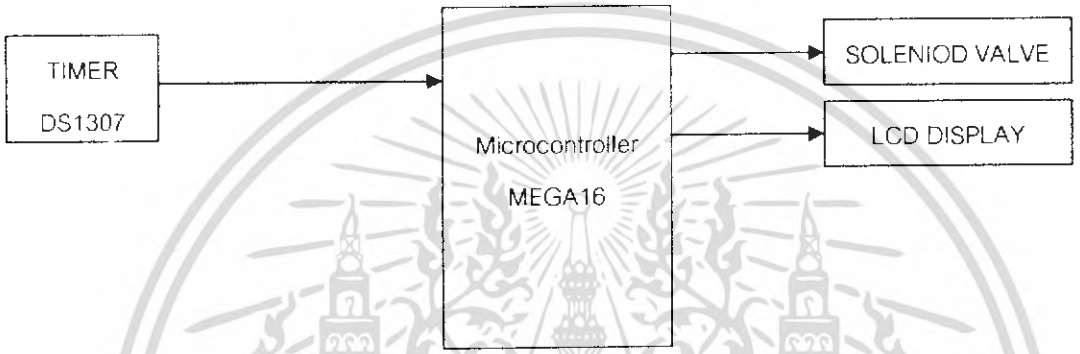
10. จากข้อ 9 นำค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ ระหว่างค่าความต่างศักย์ กับเปอร์เซ็นต์ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. จากนั้นหาค่าสมการความสัมพันธ์จากกราฟที่ได้เพื่อนำไปใช้ในการเขียนโปรแกรม

3.1.2 ส่วนของวงจรสัญญาณนาฬิกา

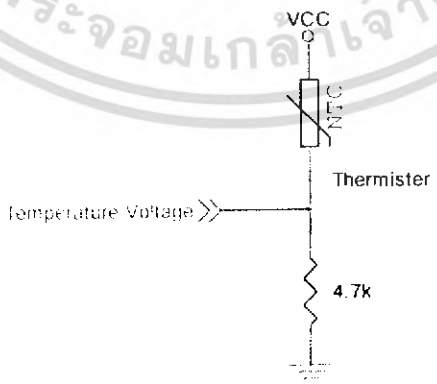
ในส่วนของวงจรสัญญาณนาฬิกาจะเป็นส่วนของการทำงานแบบตั้งเวลา เปิด-ปิดการให้น้ำ กล่าวคือ การออกแบบเครื่องจะสามารถตั้งเวลาในการเปิดน้ำและจะทำการปิดน้ำเมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ ซึ่งมีแผนผังการทำงานเมื่อใช้สัญญาณนาฬิกาดังรูป 3.2



รูปที่3.2 แผนผังการทำงานเมื่อใช้สัญญาณนาฬิกา

3.1.3 ส่วนของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

ในส่วนของเซนเซอร์วัดอุณอุณหภูมิของระบบใช้เทอร์มิสเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป จุดเด่นของเทอร์มิสเตอร์ คือ สามารถรับรู้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ไวมาก ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอย่างไวมากนี้ ทำให้เทอร์มิสเตอร์เหมาะสำหรับใช้วัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีค่าน้อยๆ ได้ดี



รูปที่3.3 รูปแสดงวงจรวัดค่าอุณหภูมิในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนการออกแบบเครื่องจะสามารถตั้งค่าอุณหภูมิเพื่อใช้ในการเปิด-ปิดน้ำ กล่าวคือ เมื่อค่าอุณหูมิสูงเกินค่าที่ตั้งไว้ เครื่องจะทำการให้น้ำและจะทำการปิดน้ำเมื่ออุณหภูมิลดลงถึงค่าที่ตั้งไว้ ซึ่งการปรับเทียบ(Calibration) ของวงจรวัดอุณหภูมิ จะใช้ข้อมูลการวัดอุณหภูมิจาก Thermistor เปรียบเทียบกับ อุณหภูมิที่วัดได้จาก PT100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 วิธีการทดลองเขียนโปรแกรมควบคุมการรดน้ำ

ขั้นตอนที่ 1 โปรแกรมควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติโดยอาศัยความชื้น

1. นำสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินมาเขียนโปรแกรมแสดงค่าความชื้นที่วัดได้
2. เขียนโปรแกรมตั้งระดับค่าความชื้นในการ เปิด-ปิด การรดน้ำ
3. ทำการทดสอบโปรแกรมและบันทึกผล

ขั้นตอนที่ 2 โปรแกรมควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติโดยอาศัยการตั้งเวลา

1. ทำการเขียนโปรแกรมตั้งและแสดงค่าวันเวลา
2. เขียนโปรแกรมตั้งค่าเวลาในการ เปิด-ปิด การให้น้ำ
3. ทำการทดสอบโปรแกรมและบันทึกผล

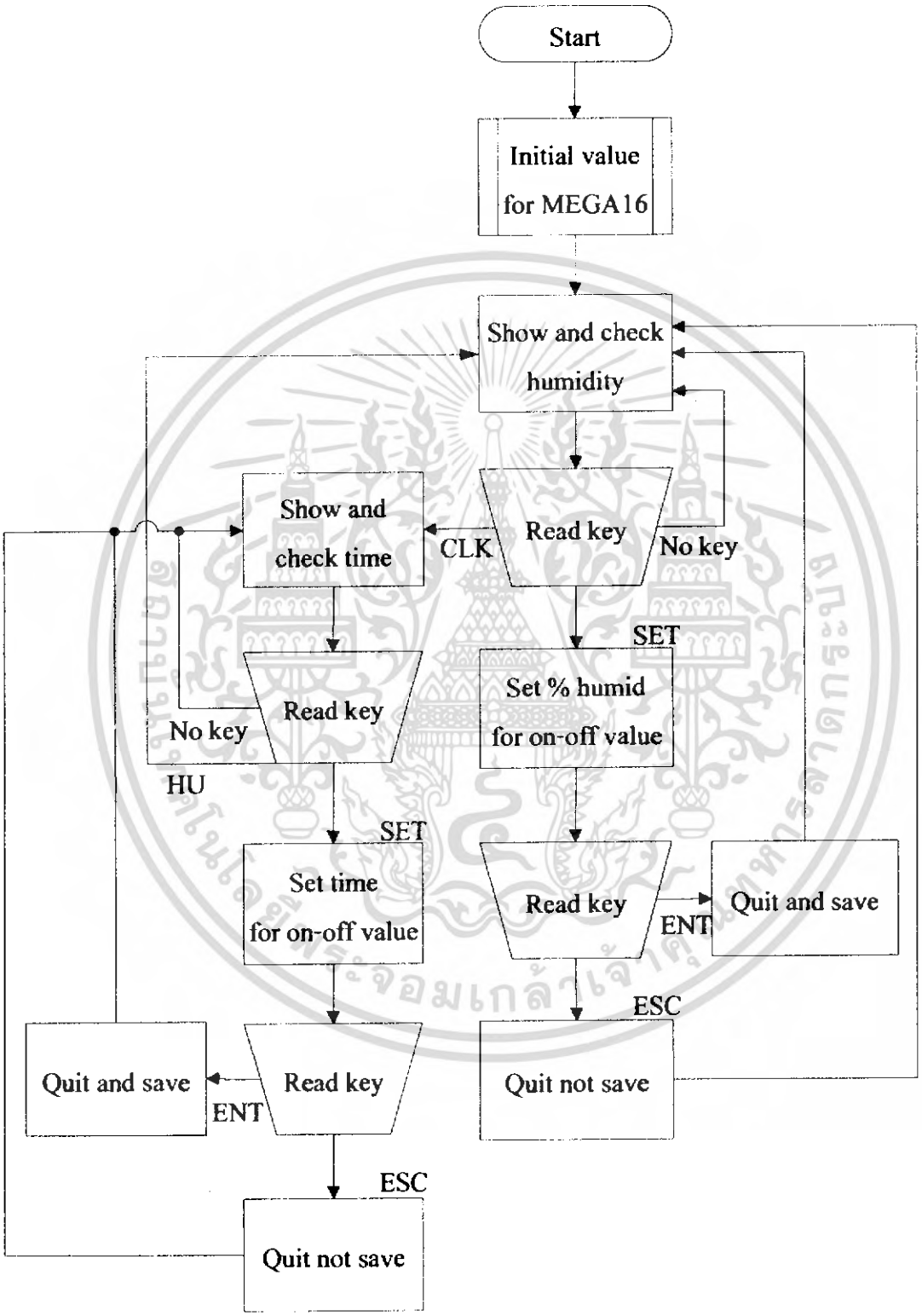
ขั้นตอนที่ 3 โปรแกรมควบคุมการให้น้ำแบบอัตโนมัติโดยอาศัยการอุณหภูมิภายในอากาศ

1. ทำการเขียนโปรแกรมในการแสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้
2. เขียนโปรแกรมตั้งระดับค่าอุณหภูมิในการเปิด-ปิด การให้น้ำ
3. ทำการทดสอบโปรแกรมและบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

มีการทำงานตามแผนผังดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

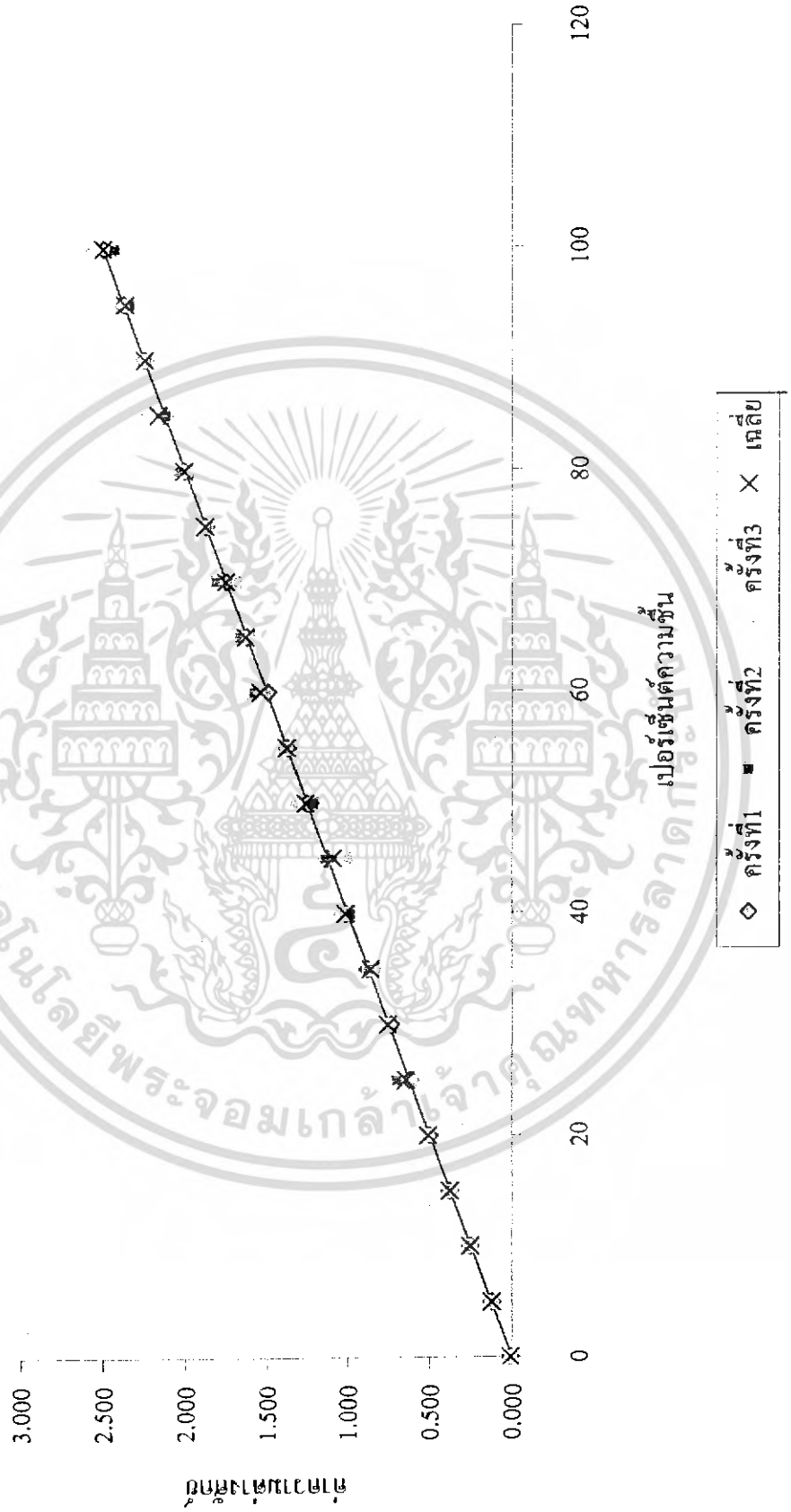
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองวัดค่าความชื้นในดิน

ตารางบันทึกผลที่ 4.1 ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้ ณ ความชื้นในดินทุกๆ 5 เปอร์เซ็นต์

เปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน	ปริมาณน้ำที่เติม(กรัม) ต่อดิน 1000 กรัม	ความต่างศักย์ (โวลต์)			
		ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	เฉลี่ย
0	0	0.011	0.005	0.009	0.008
5	50	0.122	0.120	0.129	0.124
10	100	0.252	0.257	0.251	0.253
15	150	0.378	0.377	0.371	0.375
20	200	0.501	0.509	0.516	0.509
25	250	0.620	0.699	0.614	0.644
30	300	0.737	0.759	0.772	0.756
35	350	0.881	0.872	0.840	0.864
40	400	1.009	0.989	1.047	1.015
45	450	1.128	1.137	1.011	1.092
50	500	1.251	1.210	1.320	1.260
55	550	1.370	1.375	1.381	1.375
60	600	1.492	1.580	1.550	1.541
65	650	1.622	1.664	1.612	1.633
70	700	1.749	1.810	1.696	1.752
75	750	1.875	1.869	1.894	1.879
80	800	2.006	2.037	1.983	2.009
85	850	2.127	2.118	2.249	2.165
90	900	2.246	2.236	2.261	2.248
95	950	2.373	2.339	2.388	2.367
100	1000	2.497	2.43	2.57	2.499

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเปอร์เซ็นต์ความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินจะได้ค่าค่าความชันเท่ากับ 0.025

ดังนั้นจะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์กับเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน คือ

$$Y = 0.025X$$

โดยที่ X = เปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน

Y = ค่าความต่างศักย์ที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

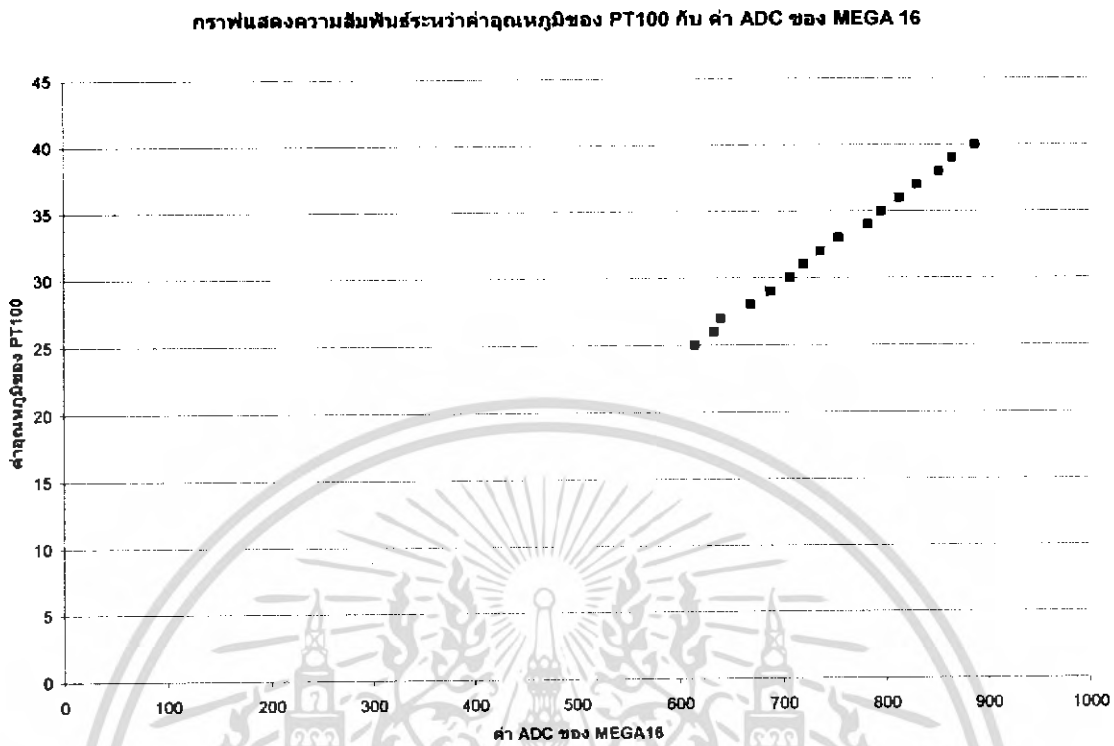
4.2 ผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิ

ในส่วนของ Thermistor นั้นเป็นการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงตามค่าความต้านทาน

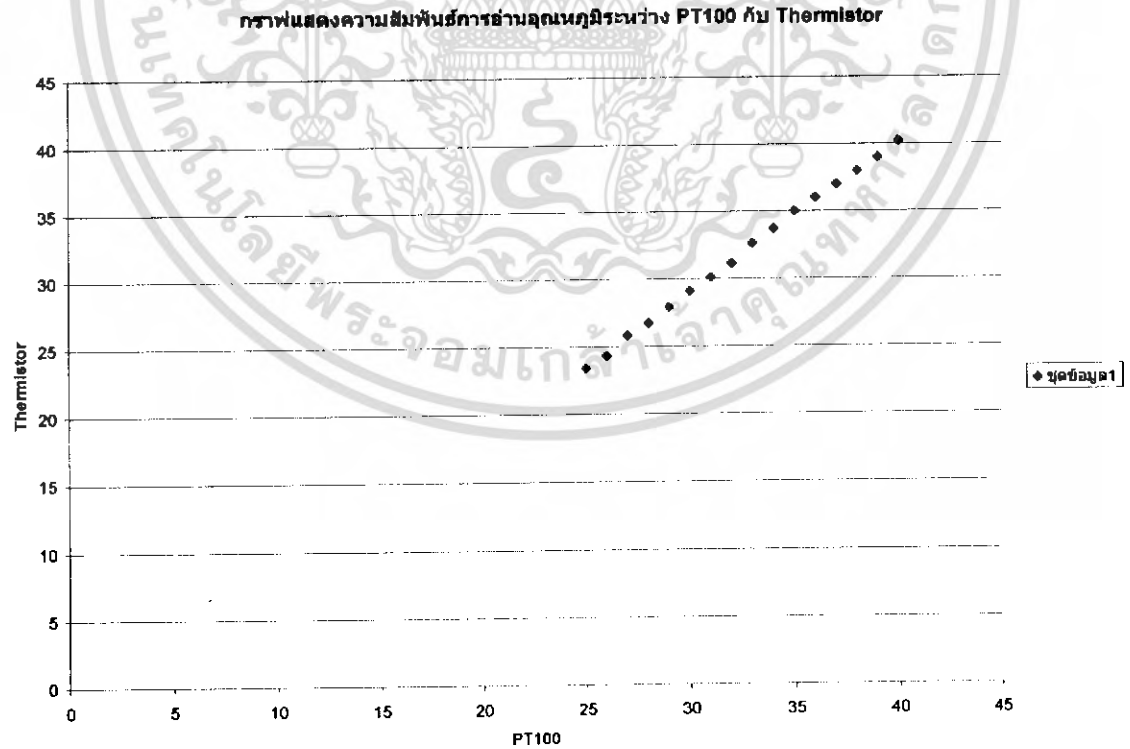
ตารางบันทึกผลที่4.2 เปรียบเทียบค่า Themistor กับ อุณหภูมิของ PT100

ค่าอุณหภูมิ PT100	ค่า ADC ที่อ่านได้จาก Thermistor	ค่าอุณหภูมิ Thermistor
25	615	23.4
26	633	24.3
27	640	25.8
28	669	26.7
29	688	27.9
30	707	29.1
31	720	30.1
32	736	31.1
33	754	32.6
34	782	33.7
35	795	35
36	813	36
37	830	37
38	852	38
39	865	39
40	887	40.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



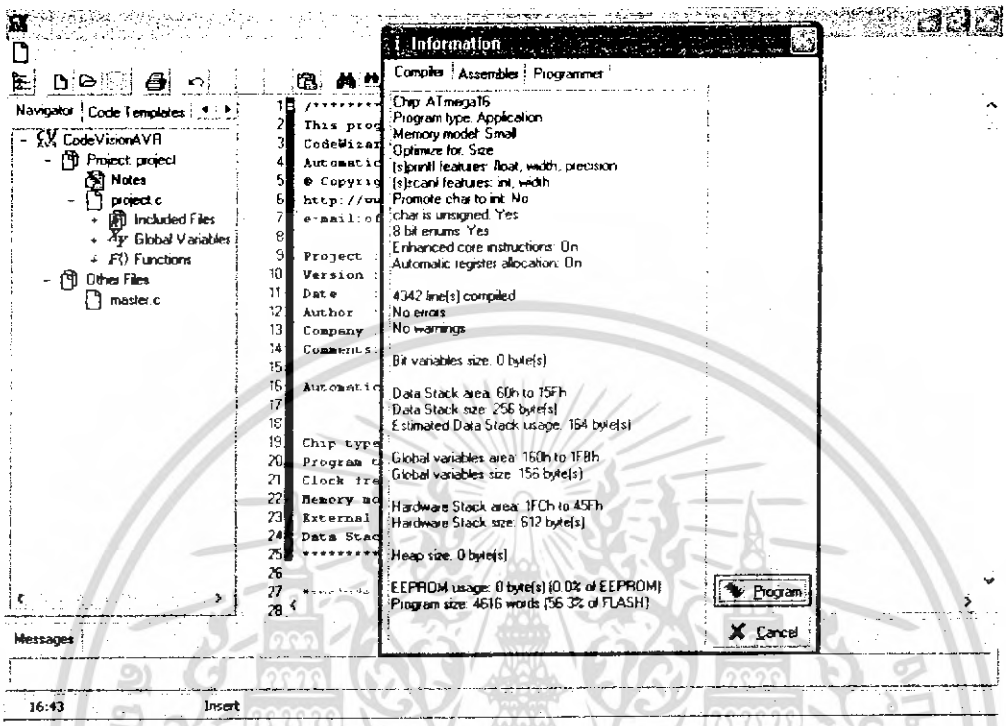
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของ PT100 กับ ค่า ADC ของ MEGA 16



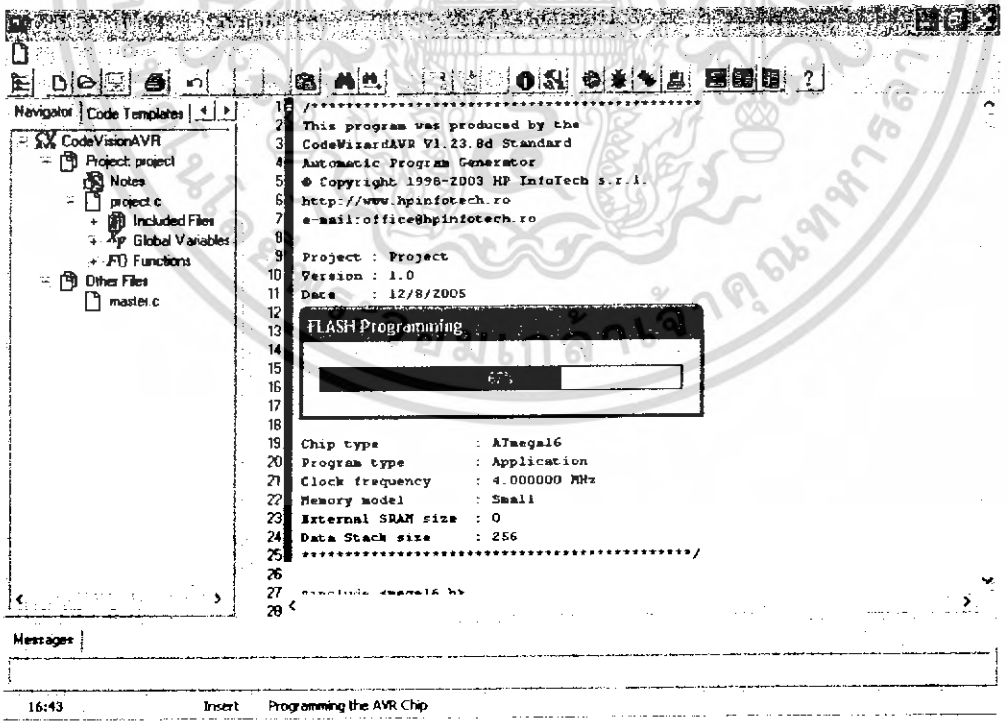
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์การอ่านอุณหภูมิระหว่าง PT100 กับ Thermistor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองโหลดโปรแกรม

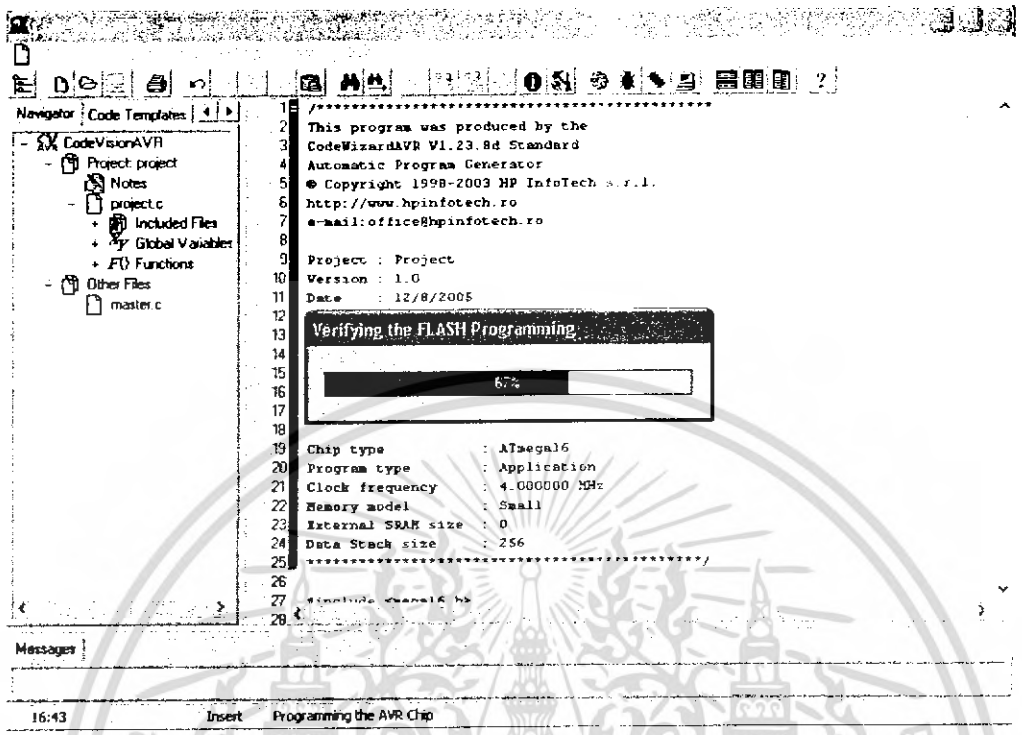


รูปที่ 4.4 แสดงการ compile Source Code ที่เขียนขึ้นด้วยภาษา C

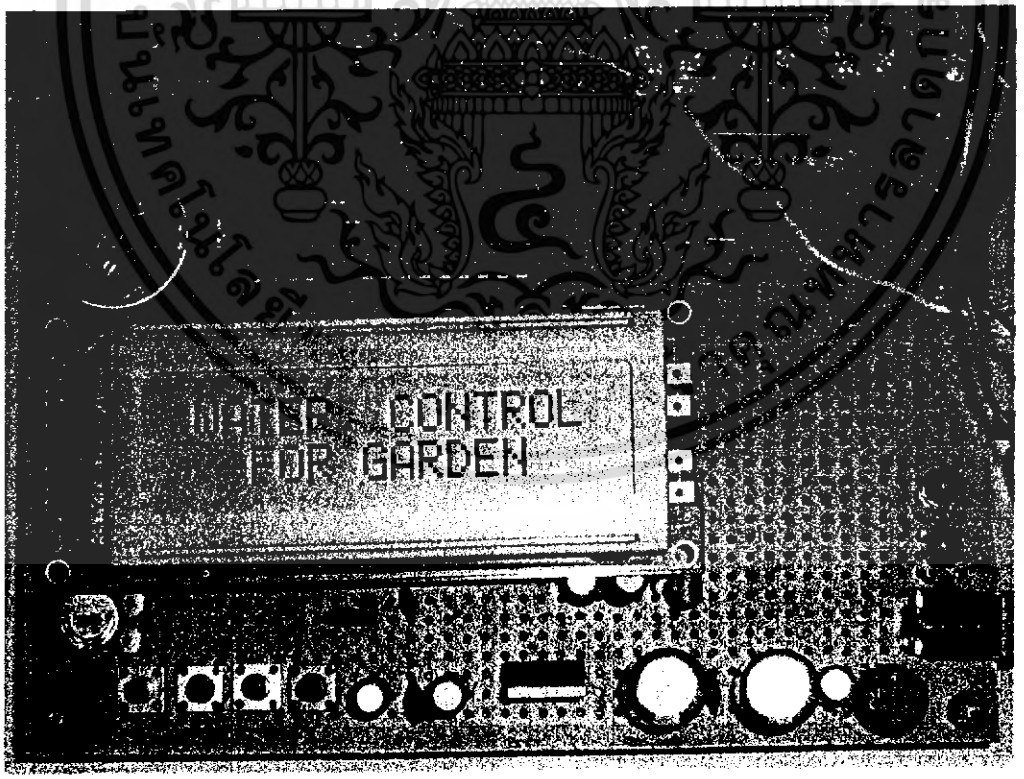


รูปที่ 4.5 แสดงการโหลดโปรแกรมที่ compile แล้วลงบน CHIP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

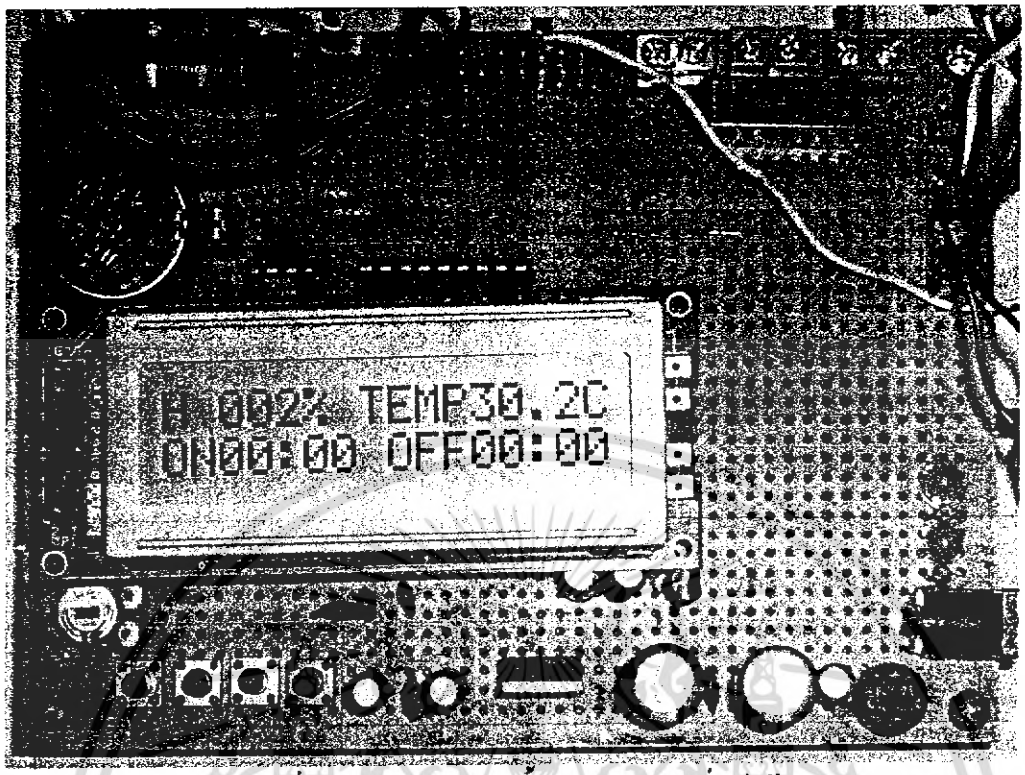


รูปที่ 4.6 แสดงการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่โหลดลงบน CHIP แล้ว

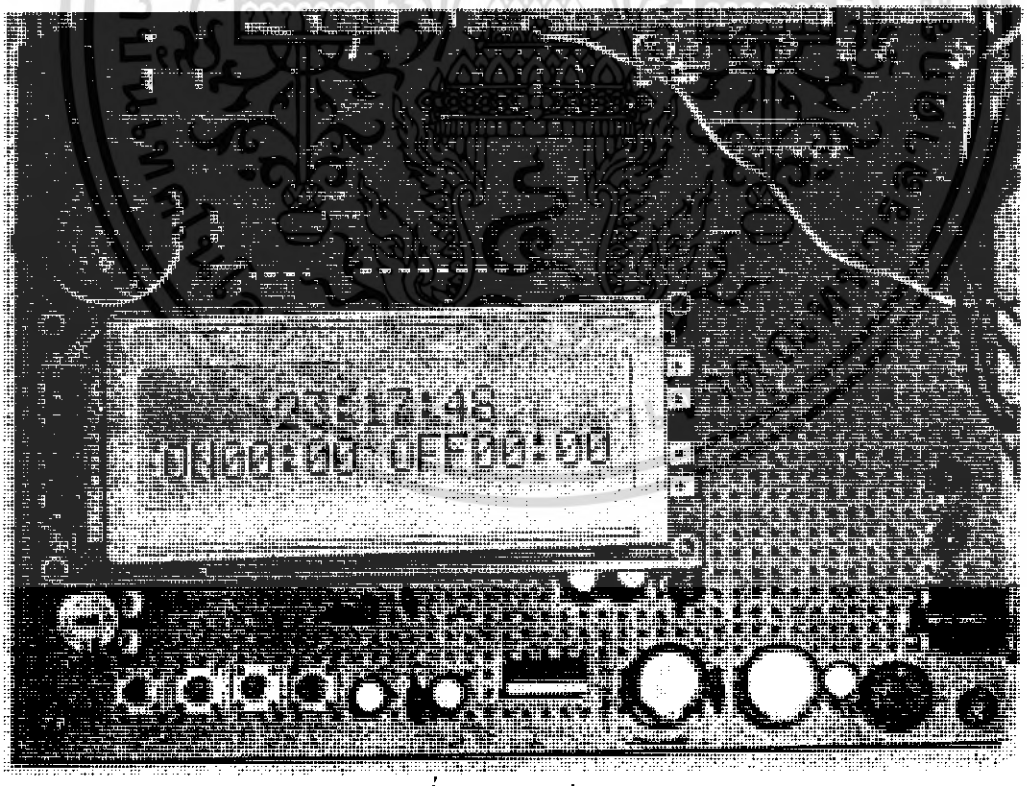


รูปที่ 4.7 แสดงการทำงานเมื่อโหลดโปรแกรมลงบน CHIP แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงค่าความชื้นและอุณหภูมิที่วัดได้



รูปที่ 4.9 แสดงค่าเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เครื่องควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ ที่สร้างขึ้นนั้นจะสามารถทำงานได้ 3 แบบ คือ

1. ทำงานโดยอาศัยการตั้งเวลาในการรดน้ำในแต่ละวัน ซึ่งเหมาะกับการรดน้ำในพื้นที่ที่เป็นบริเวณกว้าง เมื่อทำการตั้งเวลาในการเปิดและปิดวาล์วน้ำจากนั้นเครื่องจะทำการตรวจสอบว่าเวลาขณะนั้นหากตรงกับเวลาที่ตั้งเปิดไว้จะทำการรดน้ำจนกระทั่งถึงเวลาที่ตั้งปิดไว้
2. ทำงานโดยอาศัยการกำหนดค่าความชื้นในดินที่พืชต้องการเพื่อใช้ในการรดน้ำโดยเมื่อค่าความชื้นในดินมีค่าน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้เครื่องจะทำการรดน้ำโดยอัตโนมัติจนกระทั่งตรงกับค่าความชื้นที่ต้องการของพืชแต่ละชนิดที่เราตั้งไว้
3. ทำงานโดยอาศัยการกำหนดค่าอุณหภูมิในการให้น้ำในแต่ละวัน จะสามารถตั้งค่าอุณหภูมิถ้าอุณหภูมิสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ เครื่องจะทำการรดน้ำโดยอัตโนมัติจนกระทั่งถึงค่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้เครื่องก็จะทำการหยุดให้น้ำ

เครื่องควบคุมการรดน้ำอัตโนมัตินี้ยังสามารถทำการแสดงค่าอุณหภูมิในอากาศ, เปอร์เซ็นต์ความชื้นในดิน, วัน วันที่ เดือน ปี และเวลา ได้ และทำการตั้งค่า วัน วันที่ เดือน ปี และเวลา เพื่อให้ตรงกับวัน วันที่ เดือน ปี และเวลา จริงได้

5.2 แนวทางการประยุกต์ใช้และแนวทางการพัฒนา

1. พัฒนารูปแบบของชุดวัดความชื้นในดินให้สามารถวัดค่าได้ครอบคลุมบริเวณกว้างเพื่อประยุกต์ใช้ในงานทางด้านการเกษตรต่อไป
2. พัฒนารูปแบบการทำงานของโปรแกรมให้สามารถติดต่อควบคุมและแสดงผลได้แบบระยะไกลหรือผ่านเครือค่ายอินเตอร์เน็ทเพื่อความสะดวกและประหยัดเวลาในการทำงาน
3. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้สามารถเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องเป็นฐานข้อมูลเพื่อเรียกดูหรือตรวจสอบในภายหลังได้
4. ระบบให้น้ำอัตโนมัตินี้จะสามารถประยุกต์ใช้สำหรับงานต่าง ๆ ได้หลากหลาย เช่น
   - นำไปประยุกต์ใช้ในการรดน้ำสำหรับสวนหรือพื้นที่ทางการเกษตร
   - นำไปประยุกต์ใช้ในการระบายความร้อน เช่น ภายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์หรือภายในโรงเรือน โดยทำการตั้งค่าอุณหภูมิที่เหมาะสม เมื่ออุณหภูมิสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ระบบจะทำการฉีดน้ำเพื่อระบายความร้อนเมื่ออุณหภูมิลดลงถึงค่าที่ตั้งไว้ระบบจะทำการปิดน้ำ
   - นำไปประยุกต์ใช้กับระบบท่อหยด สำหรับพืชที่ต้องการน้ำในปริมาณน้อย ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ปรเมษฐ์ ประนยานนท์, ปิยพงศ์ เผ่าวาณิช. **"คู่มือและการประยุกต์ใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51"**. กรุงเทพมหานคร : บริษัทเอช.เอ็น.กรุ๊ปจำกัด

วิบูลย์ บุญยโลกุล " **หลักการชลประทาน**".กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์เอเซีย,2526.

Water G.Jung. **"Op-amp Cook Book"**.Indianapolis USA : Howard W.Sam & Co.,.INC

นางสาวใยสิริ,นางสาวรัชรี บูรพาณิช **"หัววัดความชื้นในดิน"**.กรุงเทพมหานคร,รายงานโครงงานพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

www.kmitl.ac.th/~kswichit

www.es.co.th

http://www.lesa.in.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

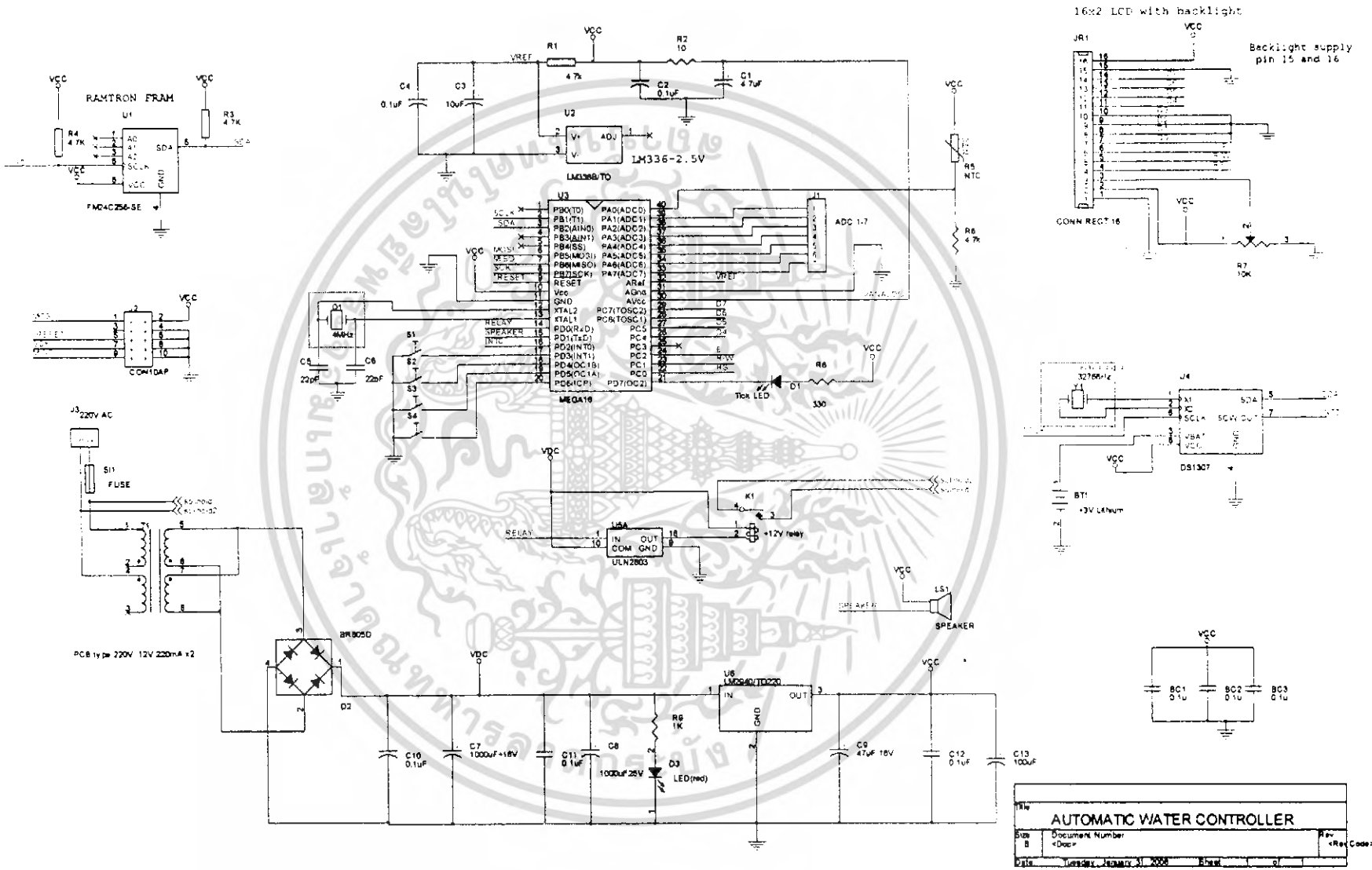
ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วงจรรวมของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


16x2 LCD with backlight
Backlight supply pin 15 and 16
RAMTRON FRAM
FM24C256-SE
LM336B/TO
LM336-2.5V
MEGA16
ADC 1-7
CON10AP
CONN RECT 16
DS1307
32.768KHz
4MHz
FUSE
PCB type 220V 12V 220mA x2
BR805D
ULN2803
+12V relay
SPEAKER
LED(red)
Tick LED
+3V Lithium
AUTOMATIC WATER CONTROLLER

ภาคผนวก ข

โปรแกรมควบคุมระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/*****************************************************
This program was produced by the
CodeWizardAVR V1.23.8d Standard
Automatic Program Generator
© Copyright 1998-2003 HP InfoTech s.r.l.
http://www.hpinfotech.ro
e-mail:office@hpinfotech.ro

Project : Project
Version : 3.7
Date    : 07/02/2006
Author  : Nithi Anukulsampan & Waranya Thiraputtipong
Company :
Comments:


Automatic Water Controller For Garden V3.7

Mode Available
- Timer Mode
- Relative Humidity Mode
- Temperature Mode
- Manual Mode

Display
- Date,Month,Year & Time
- Temp,Hu & Time
- Time
- Date,Month,Year
- Temp,Hu

Setting
- Display
- Mode
- ON/OFF Relay
- Time
- Date,Month,Year

Other
- Save & Load Setting
- Water Check


Chip type               : ATmega16
Program type            : Application
Clock frequency         : 4.000000 MHz
Memory model            : Small
External SRAM size      : 0
Data Stack size         : 256
*****************************************************/
//
#include <mega16.h>
#include <stdio.h>
#include<delay.h>
//
// I2C Bus functions
#asm
    .equ __i2c_port=0x18
    .equ __sda_bit=2
    .equ __scl_bit=1
#endasm
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 63: #include <i2c.h>
 64: //
 65: // DS1307 Real Time Clock functions
 66: #include <ds1307.h>
 67: //
 68: // Alphanumeric LCD Module functions
 69: #asm
 70:    .equ __lcd_port=0x15
 71: #endasm
 72: #include <lcd.h>
 73: //
 74: #define ADC_VREF_TYPE 0x00
 75: // Read the AD conversion result
 76: unsigned int read_adc(unsigned char adc_input)
 77: {
 78: ADMUX=adc_input|ADC_VREF_TYPE;
 79: // Start the AD conversion
 80: ADCSRA|=0x40;
 81: // Wait for the AD conversion to complete
 82: while ((ADCSRA & 0x10)==0);
 83: ADCSRA|=0x10;
 84: return ADCW;
 85: }
 86: //
 87: #define relay PORTD.0
 88: #define speaker PORTD.1
 89: #define S4 PIND.3
 90: #define S3 PIND.4
 91: #define S2 PIND.5
 92: #define S1 PIND.6
 93: #define LED PORTD.7
 94: //
 95: // Declare your global variables here
 96: char data_set[6];
 97: char data_value[6];
 98: flash char *DISPLAY_SET[8]={"ON -> HOUR","ON -> MIN","OFF ->
 99: HOUR","OFF -> MIN","ON -> HU","OFF -> HU","ON-> TEMP","OFF->
100: TEMP"};
101: flash char
102: *DISPLAY_VALUE[6]={"DAY","DATE","MONTH","YEAR","HOUR","MIN"};
103: flash char
104: *DAY[8]={"---","Mon","Tue","Wed","Thr","Fri","Sat","Sun"};
105: flash char
106: *MONTH[13]={"---","Jan","Feb","Mar","Apr","May","Jun","Jul","Aug"
107: ,"Sep","Oct","Nov","Dec"};
108: unsigned char lcd_buffer[16];
109: char
110: mode_display,count,count1,mode_control,hour_on,min_on,hour_off,mi
111: n_off;
112: float hu_on,hu_off;
113: int temp_on,temp_off;
114: int tick,tick_,water;
115: int x1,x2,x3,x4,x5;
116: float y1,y2,y3,y4,y5,y6,y7,y8,y9,y10;
117: int read_temp()
118: {
119:     int n;
120:     x5=x4;
121:     x4=x3;
122:     x3=x2;
123:     x2=x1;
124:     x1= read_adc(0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
125:     n= ((x1+x2+x3+x4+x5)/5);
126:     return((0.6213*n) - 146.49);
127: }
128: //
129: float read_hu()
130: {
131:     float n;
132:     y10=y9;
133:     y9=y8;
134:     y8=y7;
135:     y7=y6;
136:     y6=y5;
137:     y5=y4;
138:     y4=y3;
139:     y3=y2;
140:     y2=y1;
141:     y1= read_adc(5);
142:     n= ((y1+y2+y3+y4+y5+y6+y7+y8+y9+y10)/10);
143:     return((n*2.5)/1024);
144: }
145: //
146: // SET DAY TO DS1307
147: void set_day(unsigned char day)
148: {
149:     i2c_start();
150:     i2c_write(0xd0);
151:     i2c_write(3);
152:     i2c_write(day);
153:     i2c_stop();
154: }
155: // GET DAY FROM DS1307
156: char rtc_get_day()
157: {
158:     char day;
159:     i2c_start();
160:     i2c_write(0xd0);
161:     i2c_write(3);
162:     i2c_start();
163:     i2c_write(0xd1);
164:     day=i2c_read(0);
165:     i2c_stop();
166:     return day;
167: }
168: //
169: #define EEPROM_BUS_ADDRESS 0xa0 // FM24C256 RAMTRON FRAM
170: //
171: // read FRAM
172: unsigned char eeprom_read(unsigned int address) {
173: unsigned char data, regl;
174: i2c_start();
175: i2c_write(EEPROM_BUS_ADDRESS);
176: regl = address>>8;
177: i2c_write(regl);
178: regl = address;
179: i2c_write(regl);
180: i2c_start();
181: i2c_write(EEPROM_BUS_ADDRESS | 1);
182: data=i2c_read(0);
183: i2c_stop();
184: return data;
185: }
186: //
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
187: // write FRAM no delay needed
188: void eeprom_write(unsigned int address, unsigned char data) {
189: unsigned char reg1;
190: i2c_start();
191: i2c_write(EEPROM_BUS_ADDRESS);
192: reg1 = address>>8;
193: i2c_write(reg1);
194: reg1 = address;
195: i2c_write(reg1);
196: i2c_write(data);
197: i2c_stop();
198: delay_ms(10);
199: }
200: //
201: // SAVE/LOAD DATA
202: // Save data to EEPROM
203: save_data()
204: {
205:     eeprom_write(0,mode_display);
206:     eeprom_write(1,mode_control);
207:     eeprom_write(2,count);
208:     eeprom_write(3,count1);
209:     eeprom_write(4,hu_on);
210:     eeprom_write(5,hu_off);
211:     eeprom_write(6,hour_on);
212:     eeprom_write(7,hour_off);
213:     eeprom_write(8,min_on);
214:     eeprom_write(9,min_off);
215:     eeprom_write(10,temp_on);
216:     eeprom_write(11,temp_off);
217: }
218: // Load data from EEPROM
219: load_data()
220: {
221:     mode_display = eeprom_read(0);
222:     mode_control = eeprom_read(1);
223:     count = eeprom_read(2);
224:     count1 = eeprom_read(3);
225:     hu_on = eeprom_read(4);
226:     hu_off = eeprom_read(5);
227:     hour_on = eeprom_read(6);
228:     hour_off = eeprom_read(7);
229:     min_on = eeprom_read(8);
230:     min_off = eeprom_read(9);
231:     temp_on = eeprom_read(10);
232:     temp_off = eeprom_read(11);
233: }
234: //
235: // Show display day,date,month,year,time,hu,temp
236: show_display_1()
237: {
238:     int temp;
239:     float hu;
240:     char day;
241:     unsigned char h,m,s,date,month,year;
242:     //
243:     day = rtc_get_day();
244:     rtc_get_date(&date,&month,&year);
245:     rtc_get_time(&h,&m,&s);
246:     temp = read_temp();
247:     hu = read_hu();
248:     //
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
249:     // display count
250:     count1++;
251:     if(count1 > 5)
252:         count = 1;
253:     if(count1 > 10)
254:     {
255:         count = 0;
256:         count1 = 0;
257:     }
258:     //
259:     // display 1 (time,temp,hu)
260:     if(mode_display == 0)
261:     {
262:         if(count == 0)
263:         {
264:             sprintf(lcd_buffer,"                ");
265:             lcd_gotoxy(0,0);
266:             lcd_puts(lcd_buffer);
267:             sprintf(lcd_buffer,"   %02d:%02d:%02d",h,m,s);
268:             lcd_gotoxy(0,0);
269:             lcd_puts(lcd_buffer);
270:         }
271:         if(count == 1)
272:         {
273:             sprintf(lcd_buffer,"                ");
274:             lcd_gotoxy(0,0);
275:             lcd_puts(lcd_buffer);
276:             sprintf(lcd_buffer," %03.0f%cRH
277: %d.%dC",(hu*100)/2.5,0x25,temp/10,temp%10);
278:             lcd_gotoxy(0,0);
279:             lcd_puts(lcd_buffer);
280:         }
281:     }
282:     // display 2 (day,date,month,year,time)
283:     if(mode_display == 1)
284:     {
285:         if(count == 0)
286:         {
287:             sprintf(lcd_buffer,"                ");
288:             lcd_gotoxy(0,0);
289:             lcd_puts(lcd_buffer);
290:             sprintf(lcd_buffer,"   %02d:%02d:%02d",h,m,s);
291:             lcd_gotoxy(0,0);
292:             lcd_puts(lcd_buffer);
293:         }
294:         if(count == 1)
295:         {
296:             sprintf(lcd_buffer,"                ");
297:             lcd_gotoxy(0,0);
298:             lcd_puts(lcd_buffer);
299:             sprintf(lcd_buffer," %p
300: %02d-%p-%02d",DAY[day],date,MONTH[month],year);
301:             lcd_gotoxy(0,0);
302:             lcd_puts(lcd_buffer);
303:         }
304:     }
305:     // display 3 (day,date,month,year)
306:     if(mode_display == 2)
307:     {
308:         sprintf(lcd_buffer,"                ");
309:         lcd_gotoxy(0,0);
310:         lcd_puts(lcd_buffer);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
311:          sprintf(lcd_buffer," %p
312: %02d-%p-%02d",DAY[day],date,MONTH[month],year);
313:          lcd_gotoxy(0,0);
314:          lcd_puts(lcd_buffer);
315:      }
316:      // display 4 (time)
317:      if(mode_display == 3)
318:      {
319:          sprintf(lcd_buffer,"                ");
320:          lcd_gotoxy(0,0);
321:          lcd_puts(lcd_buffer);
322:          sprintf(lcd_buffer,"    %02d:%02d:%02d",h,m,s);
323:          lcd_gotoxy(0,0);
324:          lcd_puts(lcd_buffer);
325:      }
326:      // display 5 (temp,hu)
327:      if(mode_display == 4)
328:      {
329:          sprintf(lcd_buffer,"                ");
330:          lcd_gotoxy(0,0);
331:          lcd_puts(lcd_buffer);
332:          sprintf(lcd_buffer," %03.0f%cRH
333: %d.%dC",(hu*100)/2.5,0x25,temp/10,temp%10);
334:          lcd_gotoxy(0,0);
335:          lcd_puts(lcd_buffer);
336:      }
337: }
338: //
339: // Show display TIME(ON/OFF),HU(ON/OFF)
340: show_display_2()
341: {
342:      // SELECT & SHOW MODE TO TIME CONTROL
343:      if(mode_control == 0)
344:      {
345:          sprintf(lcd_buffer,"                ");
346:          lcd_gotoxy(0,1);
347:          lcd_puts(lcd_buffer);
348:          sprintf(lcd_buffer,"ON%02d:%02d
349: OFF%02d:%02d",hour_on,min_on,hour_off,min_off);
350:          lcd_gotoxy(0,1);
351:          lcd_puts(lcd_buffer);
352:      }
353:      // SELECT & SHOW MODE TO HUMIDITY CONTROL
354:      if(mode_control == 1)
355:      {
356:          sprintf(lcd_buffer,"                ");
357:          lcd_gotoxy(0,1);
358:          lcd_puts(lcd_buffer);
359:          sprintf(lcd_buffer,"ON %03.0f%c OFF
360: %03.0f%c",hu_on,0x25,hu_off,0x25);
361:          lcd_gotoxy(0,1);
362:          lcd_puts(lcd_buffer);
363:      }
364:      // SELECT & SHOW MODE TO TEMPERATURE CONTROL
365:      if(mode_control == 2)
366:      {
367:          sprintf(lcd_buffer,"                ");
368:          lcd_gotoxy(0,1);
369:          lcd_puts(lcd_buffer);
370:          sprintf(lcd_buffer,"ON %02dC  OFF
371: %02dC",temp_on,temp_off);
372:          lcd_gotoxy(0,1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
373:          lcd_puts(lcd_buffer);
374:      }
375: }
376: //
377: // SWITCH KEY
378: SWITCH_EXE()
379: {
380:      char test;
381:      char ddday,dday;
382:      unsigned char hour,min,sec,dd,mm,yy;
383:      char display_s,display_v,stoper,stoper1,select;
384:      select = 0;
385:      stoper = 0;
386:      LED = 1;
387:      //
388:      // Test Relay & speaker
389:      if((S1|S2) == 0)
390:      {
391:          test = 1;
392:          while(test)
393:          {
394:              if(S1 == 0)
395:                  relay = 0;
396:              if(S2 == 0)
397:                  relay = 1;
398:              if(S3 == 0)
399:                  speaker ^= 1;
400:              if(S4 == 0)
401:                  test = 0;
402:              if((S1|S2) == 0)
403:              {
404:                  test = 1;
405:                  while(test)
406:                  {
407:                      water = read_adc(7);
408:                      delay_ms(500);
409:                      sprintf(lcd_buffer,"                ");
410:                      lcd_gotoxy(0,1);
411:                      lcd_puts(lcd_buffer);
412:                      sprintf(lcd_buffer,"
413: %d-%d-%d",water,tick,tick_);
414:                      lcd_gotoxy(0,1);
415:                      lcd_puts(lcd_buffer);
416:                      if(S1 == 0)
417:                          tick = 0;
418:                  }
419:                  test = 1;
420:              }
421:              delay_ms(100);
422:          }
423:          show_display_2();
424:      }
425:      // S1 Select and Show display mode
426:      if(S1 == 0)
427:      {
428:          mode_display++;
429:          if(mode_display > 4)
430:              mode_display = 0;
431:      }
432:      //S2 Select and Show control mode
433:      if(S2 == 0)
434:      {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
435:          speaker = 1;
436:          mode_control++;
437:          if(mode_control > 2)
438:              mode_control = 0;
439:          show_display_2();
440:          delay_ms(100);
441:      }
442:      //S3 Set ON/OFF control
443:      if(S3 == 0)
444:      {
445:          select = 1;
446:          delay_ms(200);
447:          //Set ON/OFF Time
448:          if(mode_control == 0)
449:          {
450:              display_s = 0;
451:              while(select)
452:              {
453:                  if(S1 == 0)
454:                  {
455:                      if(display_s == 0)
456:                      {
457:                          hour_on++;
458:                          if(hour_on > 23)
459:                              hour_on = 0;
460:                      }
461:                      if(display_s == 1)
462:                      {
463:                          min_on++;
464:                          if(min_on > 59)
465:                              min_on = 0;
466:                      }
467:                      if(display_s == 2)
468:                      {
469:                          hour_off++;
470:                          if(hour_off > 23)
471:                              hour_off = 0;
472:                      }
473:                      if(display_s == 3)
474:                      {
475:                          min_off++;
476:                          if(min_off > 59)
477:                              min_off = 0;
478:                      }
479:                  }
480:                  if(S2 == 0)
481:                  {
482:                      if(display_s == 0)
483:                      {
484:                          hour_on--;
485:                          if(hour_on > 250)
486:                              hour_on = 23;
487:                      }
488:                      if(display_s == 1)
489:                      {
490:                          min_on--;
491:                          if(min_on > 250)
492:                              min_on = 59;
493:                      }
494:                      if(display_s == 2)
495:                      {
496:                          hour_off--;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        if(hour_off > 250)
                            hour_off = 23;
                    }
                    if(display_s == 3)
                    {
                        min_off--;
                        if(min_off > 250)
                            min_off = 59;
                    }
                }
                if(S3 == 0)
                {
                    delay_ms(100);
                    display_s++;
                    if(display_s > 3)
                        display_s = 0;
                }
                if(S4 == 0)
                {
                    select = 0;
                    delay_ms(100);
                }
                delay_ms(100);
                data_set[0] = hour_on;
                data_set[1] = min_on;
                data_set[2] = hour_off;
                data_set[3] = min_off;
                //
                sprintf(lcd_buffer,"                ");
                lcd_gotoxy(0,1);
                lcd_puts(lcd_buffer);
                //
                sprintf(lcd_buffer,"%p =
%02d",DISPLAY_SET[display_s],data_set[display_s]);
                lcd_gotoxy(0,1);
                lcd_puts(lcd_buffer);
            }
        }
        //Set ON/OFF Humidity
        if(mode_control == 1)
        {
            display_s = 4;
            while(select)
            {
                if(S1 == 0)
                {
                    if(display_s == 4)
                    {
                        hu_on = hu_on + 1;
                        if(hu_on > 100)
                            hu_on = 0;
                    }
                    if(display_s == 5)
                    {
                        hu_off = hu_off+ 1;
                        if(hu_off > 100)
                            hu_off = 0;
                    }
                }
                if(S2 == 0)
                {
                    if(display_s == 4)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
559:                        {
560:                            hu_on = hu_on - 1;
561:                            if(hu_on < 0)
562:                                hu_on = 100;
563:                        }
564:                        if(display_s == 5)
565:                        {
566:                            hu_off = hu_off - 1;
567:                            if(hu_off < 0)
568:                                hu_off = 100;
569:                        }
570:                    }
571:                    if(S3 == 0)
572:                    {
573:                        delay_ms(100);
574:                        display_s++;
575:                        if(display_s > 5)
576:                            display_s = 4;
577:                    }
578:                    if(S4 == 0)
579:                    {
580:                        select = 0;
581:                        delay_ms(100);
582:                    }
583:                    delay_ms(100);
584:                    //
585:                    sprintf(lcd_buffer,"                ");
586:                    lcd_gotoxy(0,1);
587:                    lcd_puts(lcd_buffer);
588:                    //
589:                    if(display_s == 4)
590:                    {
591:                        sprintf(lcd_buffer,"%p =
592: %03.0f%c",DISPLAY_SET[display_s],hu_on,0x25);
593:                        lcd_gotoxy(0,1);
594:                        lcd_puts(lcd_buffer);
595:                    }
596:                    if(display_s == 5)
597:                    {
598:                        sprintf(lcd_buffer,"%p =
599: %03.0f%c",DISPLAY_SET[display_s],hu_off,0x25);
600:                        lcd_gotoxy(0,1);
601:                        lcd_puts(lcd_buffer);
602:                    }
603:                }
604:            }
605:            // Set ON/OFF Temperature
606:            if(mode_control == 2)
607:            {
608:                display_s = 6;
609:                while(select)
610:                {
611:                    if(S1 == 0)
612:                    {
613:                        if(display_s == 6)
614:                        {
615:                            temp_on++;
616:                            if(temp_on > 100)
617:                                temp_on = 0;
618:                        }
619:                        if(display_s == 7)
620:                        {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
621:                            temp_off++;
622:                            if(temp_off > 100)
623:                                temp_off = 0;
624:                        }
625:                    }
626:                    if(S2 == 0)
627:                    {
628:                        if(display_s == 6)
629:                        {
630:                            temp_on--;
631:                            if(temp_on < 0)
632:                                temp_on = 100;
633:                        }
634:                        if(display_s == 7)
635:                        {
636:                            temp_off--;
637:                            if(temp_off < 0)
638:                                temp_off = 100;
639:                        }
640:                    }
641:                    if(S3 == 0)
642:                    {
643:                        delay_ms(100);
644:                        display_s++;
645:                        if(display_s > 7)
646:                            display_s = 6;
647:                    }
648:                    if(S4 == 0)
649:                    {
650:                        select = 0;
651:                        delay_ms(100);
652:                    }
653:                    delay_ms(100);
654:                    //
655:                    sprintf(lcd_buffer,"                ");
656:                    lcd_gotoxy(0,1);
657:                    lcd_puts(lcd_buffer);
658:                    //
659:                    if(display_s == 6)
660:                    {
661:                        sprintf(lcd_buffer,"%p =
662: %02d",DISPLAY_SET[display_s],temp_on);
663:                        lcd_gotoxy(0,1);
664:                        lcd_puts(lcd_buffer);
665:                    }
666:                    if(display_s == 7)
667:                    {
668:                        sprintf(lcd_buffer,"%p =
669: %02d",DISPLAY_SET[display_s],temp_off);
670:                        lcd_gotoxy(0,1);
671:                        lcd_puts(lcd_buffer);
672:                    }
673:                }
674:            }
675:            show_display_2();
676:        }
677:        //S4 Set day,date,month,year,time
678:        if(S4 == 0)
679:        {
680:            #asm("cli")       // disable interrupt
681:            stoper = 1;
682:            stoper1 = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
683:          display_v = 0;
684:          dday = rtc_get_day();
685:          rtc_get_date(&dd,&mm,&yy);
686:          rtc_get_time(&hour,&min,&sec);
687:          data_value[0] = dday;
688:          data_value[1] = dd;
689:          data_value[2] = mm;
690:          data_value[3] = yy;
691:          data_value[4] = hour;
692:          data_value[5] = min;
693:          delay_ms(200);
694:          while(stoper)
695:          {
696:              if(S1 == 0)
697:              {
698:                  if(display_v == 0)
699:                  {
700:                      dday++;
701:                      if(dday > 7)
702:                       dday = 1;
703:                      data_value[0] = dday;
704:                  }
705:                  if(display_v == 1)
706:                  {
707:                      dd++;
708:                      if(dd > 31)
709:                       dd = 1;
710:                      data_value[1] = dd;
711:                  }
712:                  if(display_v == 2)
713:                  {
714:                      mm++;
715:                      if(mm > 12)
716:                       mm = 1;
717:                      data_value[2] = mm;
718:                  }
719:                  if(display_v == 3)
720:                  {
721:                      yy++;
722:                      if(yy > 99)
723:                       yy = 0;
724:                      data_value[3] = yy;
725:                  }
726:                  if(display_v == 4)
727:                  {
728:                      hour++;
729:                      if(hour > 23)
730:                          hour = 0;
731:                      data_value[4] = hour;
732:                  }
733:                  if(display_v == 5)
734:                  {
735:                      min++;
736:                      if(min > 59)
737:                          min = 0;
738:                      data_value[5] = min;
739:                  }
740:              }
741:              if(S2 == 0)
742:              {
743:                  if(display_v == 0)
744:                  {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
745:                    dday--;
746:                    if(dday < 1)
747:                     dday = 7;
748:                    data_value[0] = dday;
749:                }
750:                if(display_v == 1)
751:                {
752:                    dd--;
753:                    if(dd < 1)
754:                     dd = 31;
755:                    data_value[1] = dd;
756:                }
757:                if(display_v == 2)
758:                {
759:                    mm--;
760:                    if(mm < 1)
761:                     mm = 12;
762:                    data_value[2] = mm;
763:                }
764:                if(display_v == 3)
765:                {
766:                    yy--;
767:                    if(yy > 250)
768:                     yy = 99;
769:                    data_value[3] = yy;
770:                }
771:                if(display_v == 4)
772:                {
773:                    hour--;
774:                    if(hour > 250)
775:                        hour = 23;
776:                    data_value[4] = hour;
777:                }
778:                if(display_v == 5)
779:                {
780:                    min--;
781:                    if(min > 250)
782:                        min = 59;
783:                    data_value[5] = min;
784:                }
785:            }
786:            if(S3 == 0)
787:            {
788:                display_v++;
789:                if(display_v > 5)
790:                display_v = 0;
791:                delay_ms(100);
792:            }
793:            if(S4 == 0)
794:                stoper = 0;
795:            //
796:            sprintf(lcd_buffer,"                ");
797:            lcd_gotoxy(0,0);
798:            lcd_puts(lcd_buffer);
799:            if(display_v == 0)
800:            {
801:                ddday = data_value[display_v];
802:                sprintf(lcd_buffer," %p = %p
803: ",DISPLAY_VALUE[display_v],DAY[ddday]);
804:            }
805:            else sprintf(lcd_buffer," %p = %02d
806: ",DISPLAY_VALUE[display_v],data_value[display_v]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
807:                lcd_gotoxy(0,0);
808:                lcd_puts(lcd_buffer);
809:                delay_ms(100);
810:            }
811:            set_day(dday);
812:            rtc_set_date(dd,mm,yy);
813:            rtc_set_time(hour,min,0);
814:            #asm("sei")
815:        }
816:        delay_ms(100);
817: }
818: //
819: // RUNING MODE
820: RUNNING_MODE()
821: {
822:     float hu1;
823:     int temp1;
824:     unsigned char h1,m1,s1;
825:     // RUNNING MODE 1 (TIME)
826:     if(mode_control == 0)
827:     {
828:         rtc_get_time(&h1,&m1,&s1);
829:         if(h1 == hour_on)
830:         {
831:             if(m1 == min_on)
832:             {
833:                 relay = 0;      // ON RELAY
834:                 if(tick > 60)
835:                 {
836:                     tick = 0;
837:                     water = read_adc(7);
838:                     if(water < 500)
839:                     {
840:                         speaker = 0;          // ALARM ON
841:                     }
842:                 }
843:                 if(tick_ >= 5)
844:                 {
845:                     tick_ = 0;
846:                     speaker = 1;    // ALARM OFF
847:                 }
848:             }
849:         }
850:         if(h1 == hour_off)
851:         {
852:             if(m1 == min_off)
853:                 relay = 1;      // OFF RELAY
854:         }
855:     }
856:     // RUNNING MODE 2 (HUMIDITY)
857:     if(mode_control == 1)
858:     {
859:         hu1 = read_hu();
860:         hu1 = (hu1*100)/2.5;
861:         if(hu1 <= hu_on)
862:         {
863:             relay = 0;      // ON RELAY
864:             if(tick > 60)
865:                 {
866:                     tick = 0;
867:                     water = read_adc(7);
868:                     if(water < 500)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
869:                        {
870:                            speaker = 0;         // ALARM ON
871:                        }
872:                    }
873:                if(tick_ >= 5)
874:                    {
875:                        tick_ = 0;
876:                        speaker = 1;     // ALARM OFF
877:                    }
878:            }
879:            if(hu1 >= hu_off)
880:                relay = 1;       // OFF RELAY
881:        }
882:        // RUNNING MODE 3 (TEMPERATURE)
883:        if(mode_control == 2)
884:        {
885:            temp1 = read_temp();
886:            temp1 = temp1/10;
887:            if(temp1 <= temp_on)
888:            {
889:                relay = 0;       // ON RELAY
890:                if(tick > 60)
891:                    {
892:                        tick = 0;
893:                        water = read_adc(7);
894:                        if(water < 500)
895:                        {
896:                            speaker = 0;         // ALARM ON
897:                        }
898:                    }
899:                if(tick_ >= 5)
900:                    {
901:                        tick_ = 0;
902:                        speaker = 1;     // ALARM OFF
903:                    }
904:            }
905:            if(temp1 >= temp_off)
906:                relay = 1;       // OFF RELAY
907:        }
908: }
909: //
910: // External Interrupt 0 service routine
911: interrupt [EXT_INT0] void ext_int0_isr(void)
912: {
913:     show_display_1();
914:     LED = 0;
915:     tick++;
916:     tick_++;
917: }
918: //
919: void main(void)
920: {
921: // Declare your local variables here
922: //
923: // Input/Output Ports initialization
924: // Port A initialization
925: // Func0=In Func1=In Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In Func6=In
926: Func7=In
927: // State0=T State1=T State2=T State3 T State4=T State5=T State6=T
928: State7=T
929:     PORTA=0x00;
930:     DDRA=0x00;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
931: //
932: // Port B initialization
933: // Func0=In Func1=In Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In Func6=In
934: Func7=In
935: // State0=T State1=T State2=T State3=T State4=T State5=T State6=T
936: State7=T
937:     PORTB=0x00;
938:     DDRB=0x18;
939: //
940: // Port C initialization
941: // Func0=In Func1=In Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In Func6=In
942: Func7=In
943: // State0=T State1=T State2=T State3=T State4=T State5=T State6=T
944: State7=T
945:     PORTC=0x00;
946:     DDRC=0x00;
947: //
948: // Port D initialization
949: // Func0=Out Func1=Out Func2=In Func3=In Func4=In Func5=In
950: Func6=In Func7=Out
951: // State0=1 State1=1 State2=T State3=T State4=T State5=T State6=T
952: State7=1
953:     PORTD=0xFB;
954:     DDRD=0x83;
955: //
956: // Timer/Counter 0 initialization
957: // Clock source: System Clock
958: // Clock value: Timer 0 Stopped
959: // Mode: Normal top=FFh
960: // OC0 output: Disconnected
961:     TCCR0=0x00;
962:     TCNT0=0x00;
963:     OCR0=0x00;
964: //
965: // Timer/Counter 1 initialization
966: // Clock source: System Clock
967: // Clock value: Timer 1 Stopped
968: // Mode: Normal top=FFFFh
969: // OC1A output: Discon.
970: // OC1B output: Discon.
971: // Noise Canceler: Off
972: // Input Capture on Falling Edge
973:     TCCR1A=0x00;
974:     TCCR1B=0x00;
975:     TCNT1H=0x00;
976:     TCNT1L=0x00;
977:     OCR1AH=0x00;
978:     OCR1AL=0x00;
979:     OCR1BH=0x00;
980:     OCR1BL=0x00;
981: //
982: // Timer/Counter 2 initialization
983: // Clock source: System Clock
984: // Clock value: Timer 2 Stopped
985: // Mode: Normal top=FFh
986: // OC2 output: Disconnected
987:     ASSR=0x00;
988:     TCCR2=0x00;
989:     TCNT2=0x00;
990:     OCR2=0x00;
991: //
992: // External Interrupt(s) initialization
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 993: // INT0: On
 994: // INT0 Mode: Falling Edge ,Any chance
 995: // INT1: Off
 996: // INT2: Off
 997:     GICR|=0x40;
 998:     MCUCR=0x02; // MCUCR=0x01;
 999:     MCUCSR=0x00;
1000:     GIFR=0x40;
1001: //
1002: //
1003: // Timer(s)/Counter(s) Interrupt(s) initialization
1004:     TIMSK=0x00;
1005: //
1006: // Analog Comparator initialization
1007: // Analog Comparator: Off
1008: // Analog Comparator Input Capture by Timer/Counter 1: Off
1009: // Analog Comparator Output: Off
1010:     ACSR=0x80;
1011:     SFIOR=0x00;
1012: //
1013: // ADC initialization
1014: // ADC Clock frequency: 125.000 kHz
1015: // ADC Voltage Reference: AREF pin
1016: // ADC High Speed Mode: Off
1017: // ADC Auto Trigger Source: None
1018:     ADMUX=ADC_VREF_TYPE;
1019:     ADCSRA=0x85;
1020:     SFIOR&=0xEF;
1021: //
1022: // I2C Bus initialization
1023:     i2c_init();
1024: //
1025: // DS1307 Real Time Clock initialization
1026: // Square wave output on pin SQW/OUT: On
1027: // Square wave frequency: 1Hz
1028:     rtc_init(0,1,0);
1029: //
1030: // LCD module initialization
1031:     lcd_init(16);
1032: //
1033: // Global enable interrupts
1034:     mode_display = 0;
1035:     mode_control = 0;
1036:     hu_on = 0;
1037:     hu_off = 0;
1038:     temp_on = 0;
1039:     temp_off = 0;
1040:     hour_on = 0;
1041:     min_on = 0;
1042:     hour_off = 0;
1043:     min_off = 0;
1044:     tick = 0;
1045:     tick_ = 0;
1046:     relay = 1;
1047: //
1048:     load_data();
1049:     sprintf(lcd_buffer,"                ");
1050:     lcd_gotoxy(0,0);
1051:     lcd_puts(lcd_buffer);
1052:     sprintf(lcd_buffer," WATER  CONTROL ");
1053:     lcd_gotoxy(0,0);
1054:     lcd_puts(lcd_buffer);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

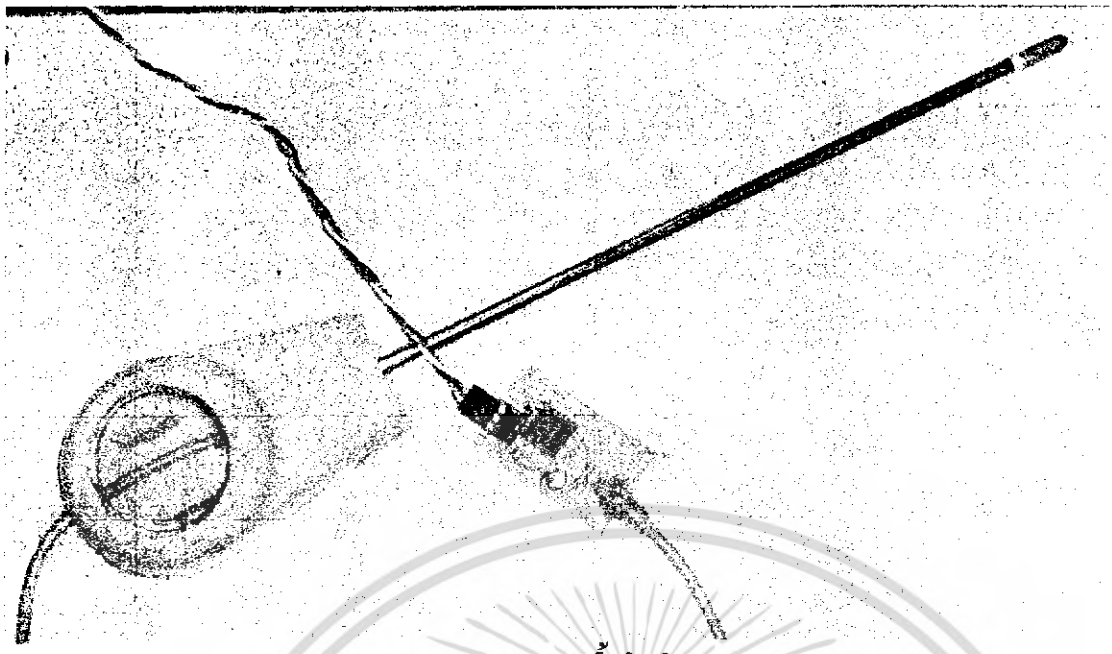
```
1055:     sprintf(lcd_buffer,"                ");
1056:     lcd_gotoxy(0,1);
1057:     lcd_puts(lcd_buffer);
1058:     sprintf(lcd_buffer,"   FOR GARDEN   ");
1059:     lcd_gotoxy(0,1);
1060:     lcd_puts(lcd_buffer);
1061:     delay_ms(2000);
1062:     show_display_2();
1063:     #asm("sei")
1064:     while (1)
1065:     {
1066:         // Place your code here
1067:         SWITCH_EXE();
1068:         RUNNING_MODE();
1069:         save_data();
1070:     }
1071: }
1072:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

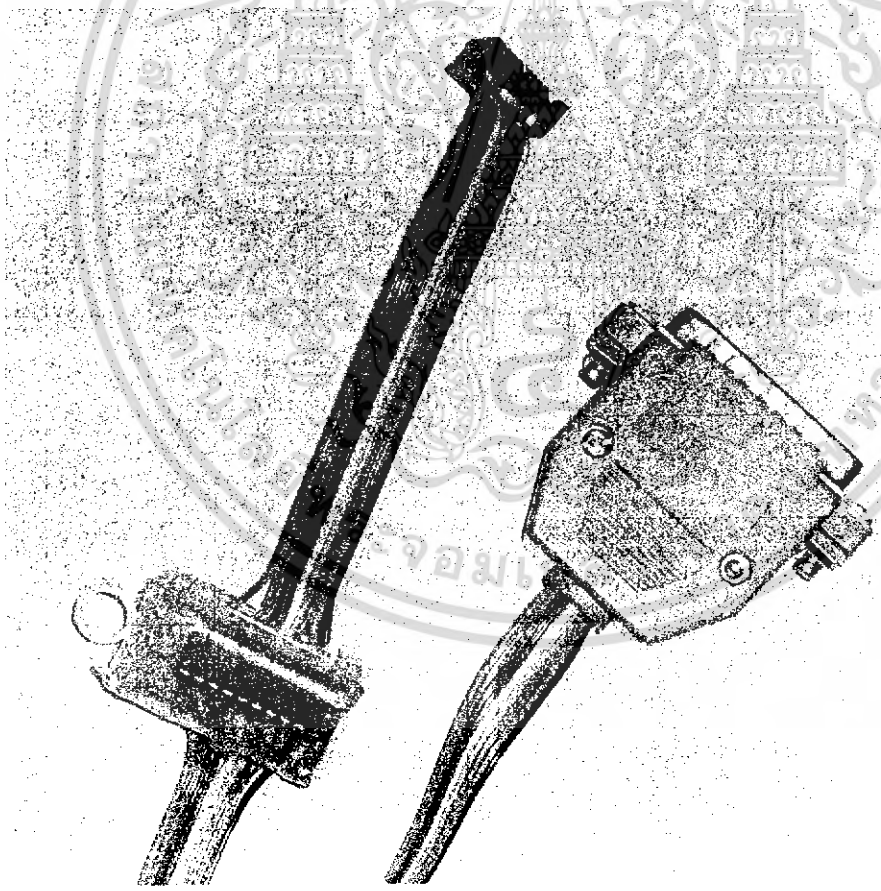
ภาคผนวก ค

รูปโครงงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

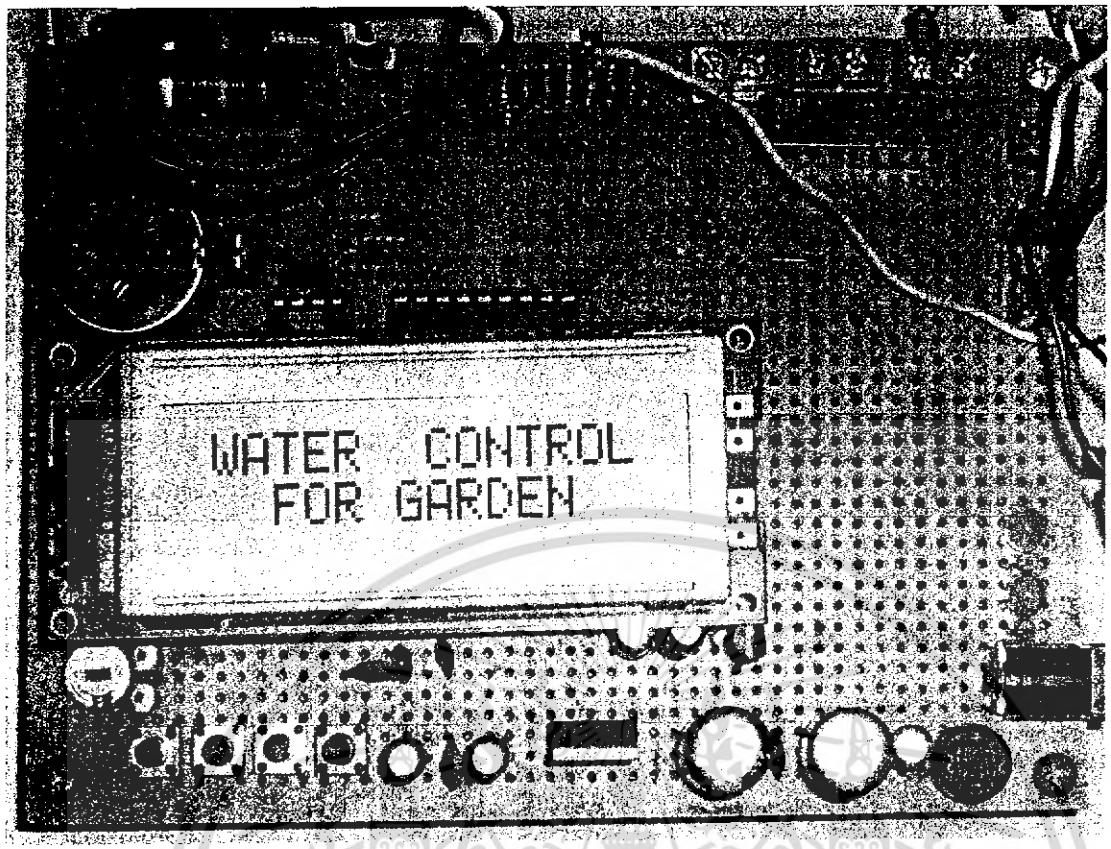


รูป ชุดวัดความชื้นในดิน

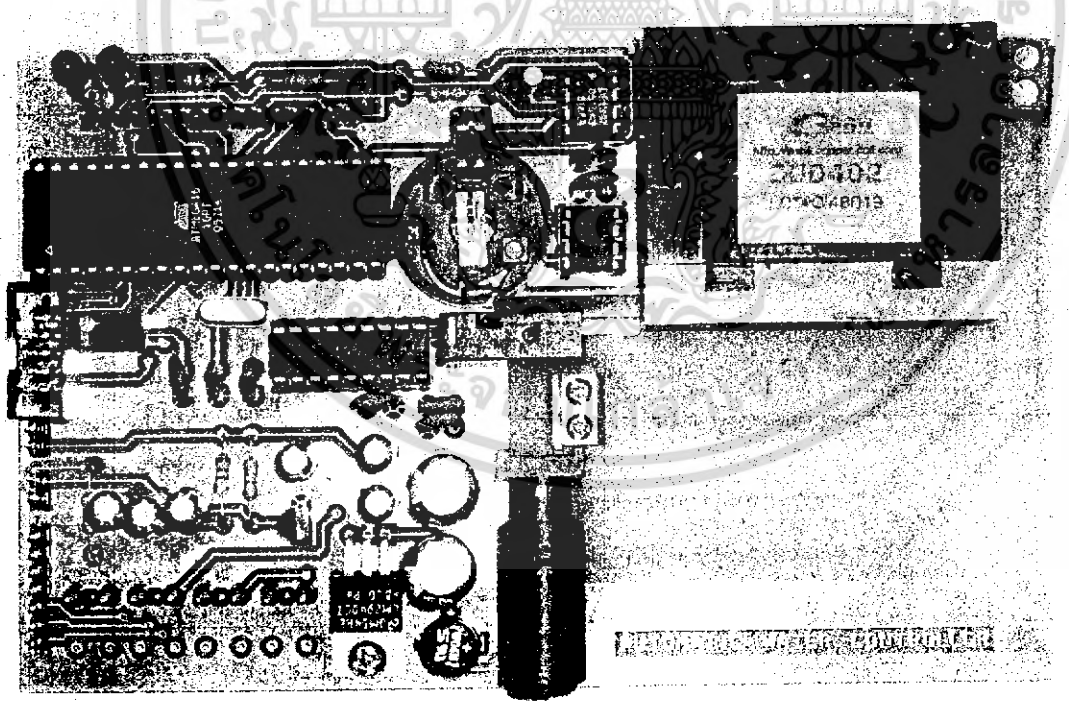


รูป สาย STK200/300 สำหรับโหลดโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

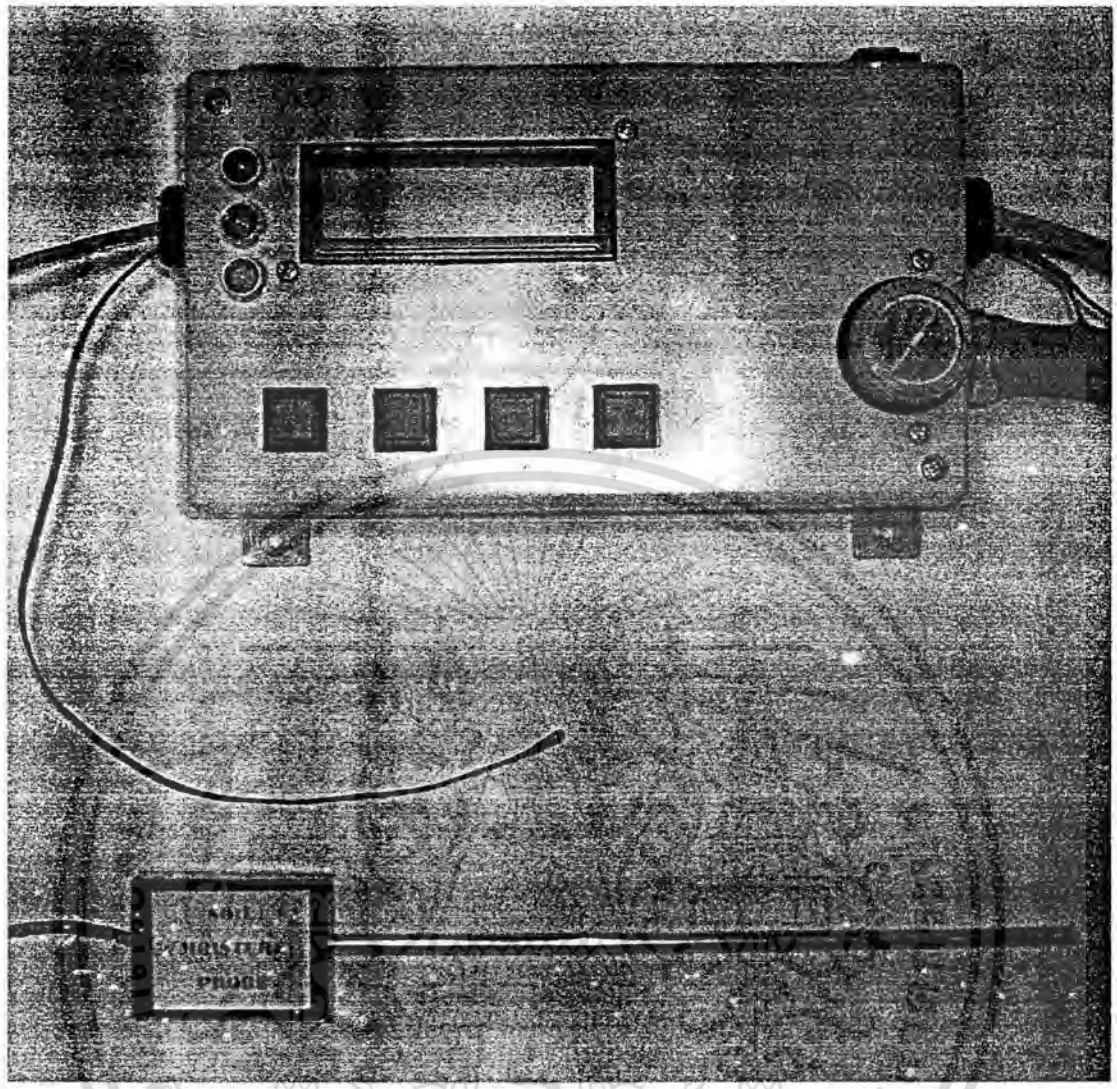


รูป แผ่นวงจรทดลอง



รูป แผ่นวงจรของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปเครื่องควบคุมระบบให้น้ำอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ข้อมูลเฉพาะของ MAGA16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ɜatures

- High-performance, Low-power AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- Nonvolatile Program and Data Memories
  - 16K Bytes of In-System Self-Programmable Flash
    Endurance: 10,000 Write/Erase Cycles
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    In-System Programming by On-chip Boot Program
    True Read-While-Write Operation
  - 512 Bytes EEPROM
    Endurance: 100,000 Write/Erase Cycles
  - 1K Byte Internal SRAM
  - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
  - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
  - Extensive On-chip Debug Support
  - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Four PWM Channels
  - 8-channel, 10-bit ADC
    8 Single-ended Channels
    7 Differential Channels in TQFP Package Only
    2 Differential Channels with Programmable Gain at 1x, 10x, or 200x
  - Byte-oriented Two-wire Serial Interface
  - Programmable Serial USART
  - Master/Slave SPI Serial Interface
  - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
  - On-chip Analog Comparator
- Special Microcontroller Features
  - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
  - Internal Calibrated RC Oscillator
  - External and Internal Interrupt Sources
  - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby and Extended Standby
- I/O and Packages
  - 32 Programmable I/O Lines
  - 40-pin PDIP, 44-lead TQFP, and 44-pad MLF
- Operating Voltages
  - 2.7 - 5.5V for ATmega16L
  - 4.5 - 5.5V for ATmega16
- Speed Grades
  - 0 - 8 MHz for ATmega16L
  - 0 - 16 MHz for ATmega16
- Power Consumption @ 1 MHz, 3V, and 25°C for ATmega16L
  - Active: 1.1 mA
  - Idle Mode: 0.35 mA
  - Power-down Mode: < 1 µA

8-bit AVR® Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash

ATmega16
ATmega16L

Preliminary

Summary

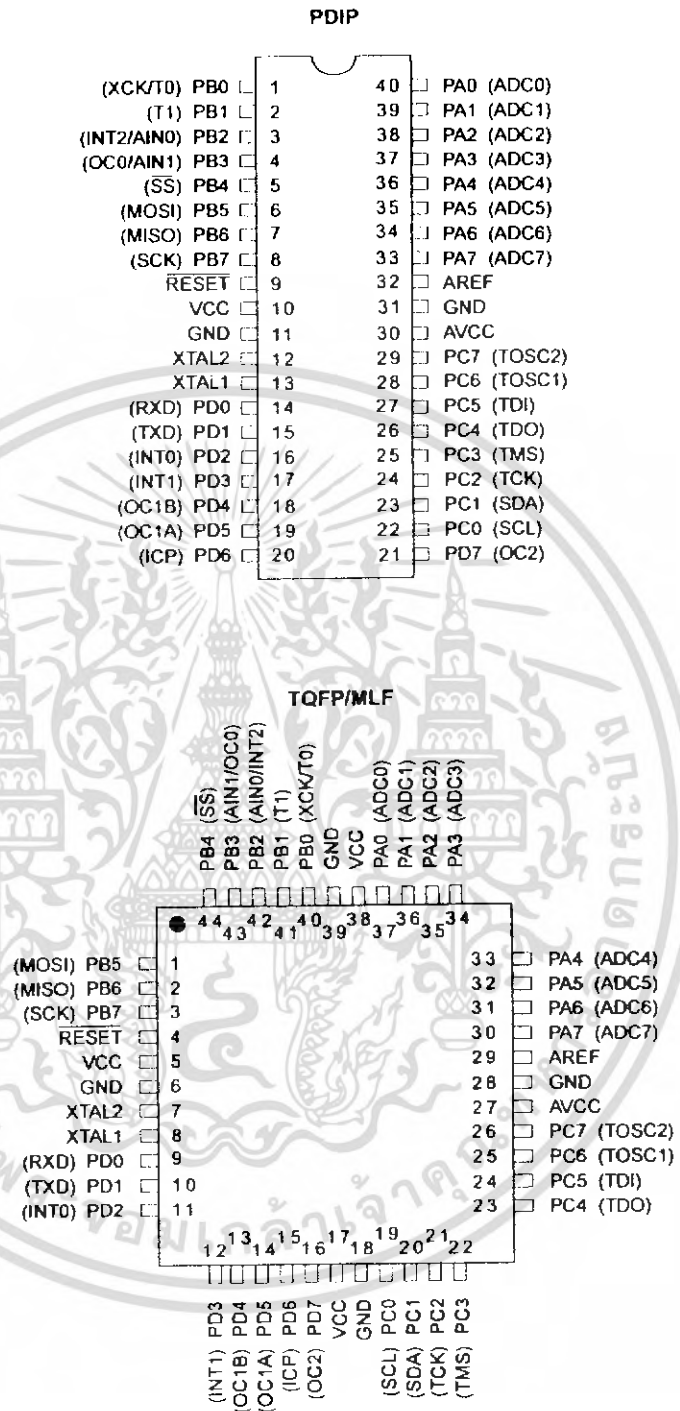
Rev. 2466FS–AVR 02/03

Note: This is a summary document. A complete document is available on our web site at *www.atmel.com*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

n Configurations

Figure 1. Pinouts ATmega16



Disclaimer

Typical values contained in this data sheet are based on simulations and characterization of other AVR microcontrollers manufactured on the same process technology. Min and Max values will be available after the device is characterized.

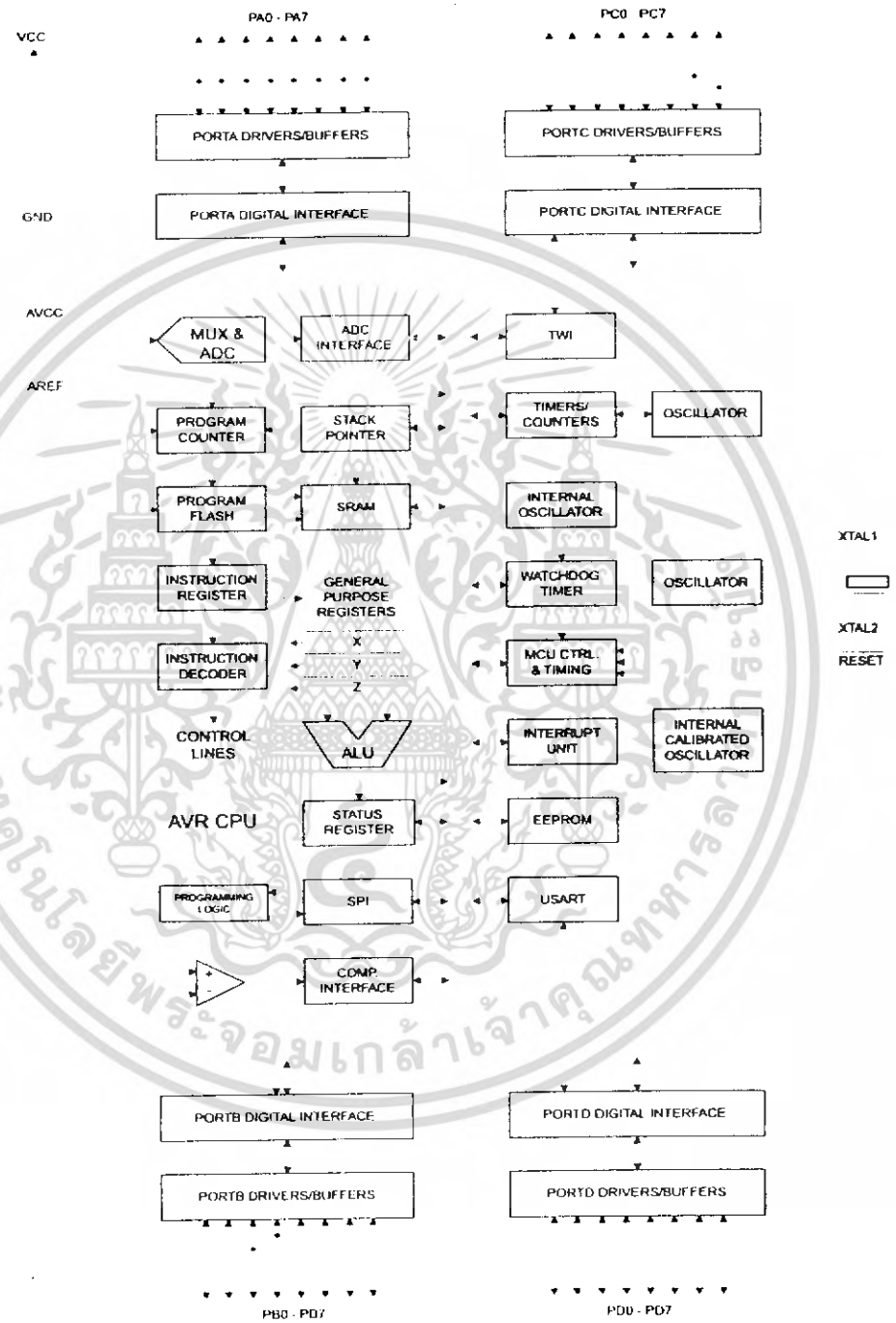
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

verview

The ATmega16 is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega16 achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.

ock Diagram

Figure 2. Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega16 provides the following features: 16K bytes of In-System Programmable Flash Program memory with Read-While-Write capabilities, 512 bytes EEPROM, 1K byte SRAM, 32 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, a JTAG interface for Boundary-scan, On-chip Debugging support and programming, three flexible Timer/Counters with compare modes, Internal and External Interrupts, a serial programmable USART, a byte oriented Two-wire Serial Interface, an 8-channel, 10-bit ADC with optional differential input stage with programmable gain (TQFP package only), a programmable Watchdog Timer with Internal Oscillator, an SPI serial port, and six software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the USART, Two-wire interface, A/D Converter, SRAM, Timer/Counters, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next External Interrupt or Hardware Reset. In Power-save mode, the Asynchronous Timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except Asynchronous Timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low-power consumption. In Extended Standby mode, both the main Oscillator and the Asynchronous Timer continue to run.

The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system through an SPI serial interface, by a conventional nonvolatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega16 is a powerful microcontroller that provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The ATmega16 AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C compilers, macro assemblers, program debugger/simulators, In-Circuit Emulators, and evaluation kits.

in Descriptions

CC Digital supply voltage.

ND Ground.

ort A (PA7..PA0) Port A serves as the analog inputs to the A/D Converter.

Port A also serves as an 8-bit bi-directional I/O port, if the A/D Converter is not used. Port pins can provide internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port A output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. When pins PA0 to PA7 are used as inputs and are externally pulled low, they will source current if the internal pull-up resistors are activated. The Port A pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rt B (PB7..PB0)

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port B also serves the functions of various special features of the ATmega16 as listed on page 56.

rt C (PC7..PC0)

Port C is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port C output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running. If the JTAG interface is enabled, the pull-up resistors on pins PC5(TDI), PC3(TMS) and PC2(TCK) will be activated even if a reset occurs.

Port C also serves the functions of the JTAG interface and other special features of the ATmega16 as listed on page 59.

rt D (PD7..PD0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Port D also serves the functions of various special features of the ATmega16 as listed on page 61.

ESET

Reset Input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in Table 15 on page 36. Shorter pulses are not guaranteed to generate a reset.

TAL1

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

TAL2

Output from the inverting Oscillator amplifier.

VCC

AVCC is the supply voltage pin for Port A and the A/D Converter. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter.

REF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

bout Code xamples

This documentation contains simple code examples that briefly show how to use various parts of the device. These code examples assume that the part specific header file is included before compilation. Be aware that not all C Compiler vendors include bit definitions in the header files and interrupt handling in C is compiler dependent. Please confirm with the C Compiler documentation for more details.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

egister Summary

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
$3F ($5F)	SREG	I	T	H	S	V	N	Z	C	7
$3E ($5E)	SPH	–	–	–	–	–	SP10	SP9	SP8	10
$3D ($5D)	SPL	SP7	SP6	SP5	SP4	SP3	SP2	SP1	SP0	10
$3C ($5C)	OCR0	Timer/Counter0 Output Compare Register								82
$3B ($5B)	GICR	INT1	INT0	INT2	–	–	–	IVSEL	IVCE	46, 66
$3A ($5A)	GIFR	INTF1	INTF0	INTF2	–	–	–	–	–	67
$39 ($59)	TIMSK	OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0	82, 113, 131
$38 ($58)	TIFR	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	OCF0	TOV0	83, 114, 132
$37 ($57)	SPMCR	SPMIE	RWWSB	–	RWWSRE	BLBSET	PGWRT	PGERS	SPMEN	250
$36 ($56)	TWCR	TWINT	TWEA	TWSTA	TWSTO	TWWC	TWEN	–	TWIE	179
$35 ($55)	MCUCR	SM2	SE	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	30, 65
$34 ($54)	MCUCSR	JTD	ISC2	–	JTRF	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	39, 66, 230
$33 ($53)	TCCR0	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00	80
$32 ($52)	TCNT0	Timer/Counter0 (8 Bits)								82
$31[1] ($51)[1]	OSCCAL	Oscillator Calibration Register								28
	OCDR	On-Chip Debug Register								226
$30 ($50)	SFIOR	ADTS2	ADTS1	ADTS0	–	ACME	PUD	PSR2	PSR10	55,85,133,200,220
$2F ($4F)	TCCR1A	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	FOC1A	FOC1B	WGM11	WGM10	108
$2E ($4E)	TCCR1B	ICNC1	ICES1	–	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	111
$2D ($4D)	TCNT1H	Timer/Counter1 – Counter Register High Byte								112
$2C ($4C)	TCNT1L	Timer/Counter1 – Counter Register Low Byte								112
$2B ($4B)	OCR1AH	Timer/Counter1 – Output Compare Register A High Byte								112
$2A ($4A)	OCR1AL	Timer/Counter1 – Output Compare Register A Low Byte								112
$29 (.49)	OCR1BH	Timer/Counter1 – Output Compare Register B High Byte								112
$28 ($48)	OCR1BL	Timer/Counter1 – Output Compare Register B Low Byte								112
$27 ($47)	ICR1H	Timer/Counter1 – Input Capture Register High Byte								113
$26 ($46)	ICR1L	Timer/Counter1 – Input Capture Register Low Byte								113
$25 ($45)	TCCR2	FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20	126
$24 ($44)	TCNT2	Timer/Counter2 (8 Bits)								128
$23 ($43)	OCR2	Timer/Counter2 Output Compare Register								128
$22 ($42)	ASSR	–	–	–	–	AS2	TCN2UB	OCR2UB	TCR2UB	129
$21 ($41)	WDTCR	–	–	–	WDTOE	WDE	WDP2	WDP1	WDP0	41
$20[2] ($40)[2]	UBRRH	URSEL	–	–	–	UBRR[11:8]				166
	UCSRC	URSEL	UMSEL	UPM1	UPM0	USBS	UCSZ1	UCSZ0	UCPOL	164
$1F ($3F)	EEARH	–	–	–	–	–	–	–	EEAR8	17
$1E ($3E)	EEARL	EEPROM Address Register Low Byte								17
$1D ($3D)	EEDR	EEPROM Data Register								17
$1C ($3C)	EECR	–	–	–	–	EERIE	EEMWE	EEWE	EERE	17
$1B ($3B)	PORTA	PORTA7	PORTA6	PORTA5	PORTA4	PORTA3	PORTA2	PORTA1	PORTA0	63
$1A ($3A)	DDRA	DDA7	DDA6	DDA5	DDA4	DDA3	DDA2	DDA1	DDA0	63
$19 ($39)	PINA	PINA7	PINA6	PINA5	PINA4	PINA3	PINA2	PINA1	PINA0	63
$18 ($38)	PORTB	PORTB7	PORTB6	PORTB5	PORTB4	PORTB3	PORTB2	PORTB1	PORTB0	63
$17 ($37)	DDRB	DDB7	DDB6	DDB5	DDB4	DDB3	DDB2	DDB1	DDB0	63
$16 ($36)	PINB	PINB7	PINB6	PINB5	PINB4	PINB3	PINB2	PINB1	PINB0	64
$15 ($35)	PORTC	PORTC7	PORTC6	PORTC5	PORTC4	PORTC3	PORTC2	PORTC1	PORTC0	64
$14 ($34)	DDRC	DDC7	DDC6	DDC5	DDC4	DDC3	DDC2	DDC1	DDC0	64
$13 ($33)	PINC	PINC7	PINC6	PINC5	PINC4	PINC3	PINC2	PINC1	PINC0	64
$12 ($32)	PORTD	PORTD7	PORTD6	PORTD5	PORTD4	PORTD3	PORTD2	PORTD1	PORTD0	64
$11 ($31)	DDRD	DDD7	DDD6	DDD5	DDD4	DDD3	DDD2	DDD1	DDD0	64
$10 ($30)	PIND	PIND7	PIND6	PIND5	PIND4	PIND3	PIND2	PIND1	PIND0	64
$0F ($2F)	SPDR	SPI Data Register								140
$0E ($2E)	SPSR	SPIF	WCOL	–	–	–	–	–	SPI2X	140
$0D ($2D)	SPCR	SPIE	SPE	DORD	MSTR	CPOL	CPHA	SPR1	SPR0	138
$0C ($2C)	UDR	USART I/O Data Register								161
$0B ($2B)	UCSRA	RXC	TXC	UDRE	FE	DOR	PE	U2X	MPCM	162
$0A ($2A)	UCSRB	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	163
$09 ($29)	UBRRL	USART Baud Rate Register Low Byte								166
$08 ($28)	ACSR	ACD	ACBG	ACO	ACI	ACIE	ACIC	ACIS1	ACIS0	200
$07 ($27)	ADMUX	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	216
$06 ($26)	ADCSRA	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	218
$05 ($25)	ADCH	ADC Data Register High Byte								219
$04 ($24)	ADCL	ADC Data Register Low Byte								219
$03 ($23)	TWDR	Two-wire Serial Interface Data Register								181
$02 ($22)	TWAR	TWA6	TWA5	TWA4	TWA3	TWA2	TWA1	TWA0	TWGCE	181

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Address	Name	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Page
$01 ($21)	TWSR	TWS7	TWS6	TWS5	TWS4	TWS3	–	TWPS1	TWPS0	180
$00 ($20)	TWBR	Two-wire Serial Interface Bit Rate Register								179

otes: 1. When the OCDEN Fuse is unprogrammed, the OSCCAL Register is always accessed on this address. Refer to the debugger specific documentation for details on how to use the OCDR Register.
2. Refer to the USART description for details on how to access UBRRH and UCSRC.
3. For compatibility with future devices, reserved bits should be written to zero if accessed. Reserved I/O memory addresses should never be written.
4. Some of the status flags are cleared by writing a logical one to them. Note that the CBI and SBI instructions will operate on all bits in the I/O register, writing a one back into any flag read as set, thus clearing the flag. The CBI and SBI instructions work with registers $00 to $1F only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

struction Set Summary

nemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
RITHMETIC AND LOGIC INSTRUCTIONS					
)D	Rd, Rr	Add two Registers	Rd ← Rd + Rr	Z,C,N,V,H	1
)C	Rd, Rr	Add with Carry two Registers	Rd ← Rd + Rr + C	Z,C,N,V,H	1
)IW	Rdl,K	Add Immediate to Word	Rdh:Rdl ← Rdh:Rdl + K	Z,C,N,V,S	2
UB	Rd, Rr	Subtract two Registers	Rd ← Rd - Rr	Z,C,N,V,H	1
UBI	Rd, K	Subtract Constant from Register	Rd ← Rd - K	Z,C,N,V,H	1
BC	Rd, Rr	Subtract with Carry two Registers	Rd ← Rd - Rr - C	Z,C,N,V,H	1
BCI	Rd, K	Subtract with Carry Constant from Reg.	Rd ← Rd - K - C	Z,C,N,V,H	1
BIW	Rdl,K	Subtract Immediate from Word	Rdh:Rdl ← Rdh:Rdl - K	Z,C,N,V,S	2
ND	Rd, Rr	Logical AND Registers	Rd ← Rd • Rr	Z,N,V	1
NDI	Rd, K	Logical AND Register and Constant	Rd ← Rd • K	Z,N,V	1
R	Rd, Rr	Logical OR Registers	Rd ← Rd v Rr	Z,N,V	1
RI	Rd, K	Logical OR Register and Constant	Rd ← Rd v K	Z,N,V	1
OR	Rd, Rr	Exclusive OR Registers	Rd ← Rd ⊕ Rr	Z,N,V	1
OM	Rd	One's Complement	Rd ← $FF – Rd	Z,C,N,V	1
EG	Rd	Two's Complement	Rd ← $00 – Rd	Z,C,N,V,H	1
BR	Rd,K	Set Bit(s) in Register	Rd ← Rd v K	Z,N,V	1
BR	Rd,K	Clear Bit(s) in Register	Rd ← Rd • ($FF - K)	Z,N,V	1
C	Rd	Increment	Rd ← Rd + 1	Z,N,V	1
EC	Rd	Decrement	Rd ← Rd – 1	Z,N,V	1
ST	Rd	Test for Zero or Minus	Rd ← Rd • Rd	Z,N,V	1
LR	Rd	Clear Register	Rd ← Rd ⊕ Rd	Z,N,V	1
ER	Rd	Set Register	Rd ← $FF	None	1
UL	Rd, Rr	Multiply Unsigned	R1:R0 ← Rd x Rr	Z,C	2
ULS	Rd, Rr	Multiply Signed	R1:R0 ← Rd x Rr	Z,C	2
ULSU	Rd, Rr	Multiply Signed with Unsigned	R1:R0 ← Rd x Rr	Z,C	2
MUL	Rd, Rr	Fractional Multiply Unsigned	R1:R0 ← (Rd x Rr) << 1	Z,C	2
MULS	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed	R1:R0 ← (Rd x Rr) << 1	Z,C	2
MULSU	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed with Unsigned	R1:R0 ← (Rd x Rr) << 1	Z,C	2
RANCH INSTRUCTIONS					
JMP	k	Relative Jump	PC ← PC + k + 1	None	2
MP		Indirect Jump to (Z)	PC ← Z	None	2
MP	k	Direct Jump	PC ← k	None	3
CALL	k	Relative Subroutine Call	PC ← PC + k + 1	None	3
CALL		Indirect Call to (Z)	PC ← Z	None	3
ALL	k	Direct Subroutine Call	PC ← k	None	4
ET		Subroutine Return	PC ← STACK	None	4
ETI		Interrupt Return	PC ← STACK	I	4
PSE	Rd,Rr	Compare, Skip if Equal	if (Rd = Rr) PC ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
P	Rd,Rr	Compare	Rd – Rr	Z, N,V,C,H	1
PC	Rd,Rr	Compare with Carry	Rd – Rr – C	Z, N,V,C,H	1
PI	Rd,K	Compare Register with Immediate	Rd – K	Z, N,V,C,H	1
BRC	Rr, b	Skip if Bit in Register Cleared	if (Rr(b)=0) PC ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
BRS	Rr, b	Skip if Bit in Register is Set	if (Rr(b)=1) PC ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
BIC	P, b	Skip if Bit in I/O Register Cleared	if (P(b)=0) PC ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
BIS	P, b	Skip if Bit in I/O Register is Set	if (P(b)=1) PC ← PC + 2 or 3	None	1 / 2 / 3
RBS	s, k	Branch if Status Flag Set	if (SREG(s) = 1) then PC← PC+k + 1	None	1 / 2
RBC	s, k	Branch if Status Flag Cleared	if (SREG(s) = 0) then PC← PC+k + 1	None	1 / 2
REQ	k	Branch if Equal	if (Z = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RNE	k	Branch if Not Equal	if (Z = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RCS	k	Branch if Carry Set	if (C = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RCC	k	Branch if Carry Cleared	if (C = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RSH	k	Branch if Same or Higher	if (C = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RLO	k	Branch if Lower	if (C = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RMI	k	Branch if Minus	if (N = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RPL	k	Branch if Plus	if (N = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RGE	k	Branch if Greater or Equal, Signed	if (N ⊕ V= 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RLT	k	Branch if Less Than Zero, Signed	if (N ⊕ V= 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RHS	k	Branch if Half Carry Flag Set	if (H = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RHC	k	Branch if Half Carry Flag Cleared	if (H = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RTS	k	Branch if T Flag Set	if (T = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RTC	k	Branch if T Flag Cleared	if (T = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RVS	k	Branch if Overflow Flag is Set	if (V = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RVC	k	Branch if Overflow Flag is Cleared	if (V = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

nemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
RE	k	Branch if Interrupt Enabled	if (I = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
RD	k	Branch if Interrupt Disabled	if (I = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
TA TRANSFER INSTRUCTIONS					
OV	Rd, Rr	Move Between Registers	Rd ← Rr	None	1
OVW	Rd, Rr	Copy Register Word	Rd+1:Rd ← Rr+1:Rr	None	1
I	Rd, K	Load Immediate	Rd ← K	None	1
	Rd, X	Load Indirect	Rd ← (X)	None	2
	Rd, X+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (X), X ← X + 1	None	2
	Rd, - X	Load Indirect and Pre-Dec.	X ← X - 1, Rd ← (X)	None	2
	Rd, Y	Load Indirect	Rd ← (Y)	None	2
	Rd, Y+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (Y), Y ← Y + 1	None	2
	Rd, - Y	Load Indirect and Pre-Dec.	Y ← Y - 1, Rd ← (Y)	None	2
DD	Rd,Y+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Y + q)	None	2
	Rd, Z	Load Indirect	Rd ← (Z)	None	2
	Rd, Z+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (Z), Z ← Z+1	None	2
	Rd, -Z	Load Indirect and Pre-Dec.	Z ← Z - 1, Rd ← (Z)	None	2
DD	Rd, Z+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Z + q)	None	2
DS	Rd, k	Load Direct from SRAM	Rd ← (k)	None	2
	X, Rr	Store Indirect	(X) ← Rr	None	2
	X+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(X) ← Rr, X ← X + 1	None	2
	- X, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	X ← X - 1, (X) ← Rr	None	2
	Y, Rr	Store Indirect	(Y) ← Rr	None	2
	Y+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(Y) ← Rr, Y ← Y + 1	None	2
	- Y, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	Y ← Y - 1, (Y) ← Rr	None	2
TD	Y+q,Rr	Store Indirect with Displacement	(Y + q) ← Rr	None	2
	Z, Rr	Store Indirect	(Z) ← Rr	None	2
	Z+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(Z) ← Rr, Z ← Z + 1	None	2
	-Z, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	Z ← Z - 1, (Z) ← Rr	None	2
TD	Z+q,Rr	Store Indirect with Displacement	(Z + q) ← Rr	None	2
TS	k, Rr	Store Direct to SRAM	(k) ← Rr	None	2
PM		Load Program Memory	R0 ← (Z)	None	3
PM	Rd, Z	Load Program Memory	Rd ← (Z)	None	3
PM	Rd, Z+	Load Program Memory and Post-Inc	Rd ← (Z), Z ← Z+1	None	3
PM		Store Program Memory	(Z) ← R1:R0	None	-
	Rd, P	In Port	Rd ← P	None	1
UT	P, Rr	Out Port	P ← Rr	None	1
USH	Rr	Push Register on Stack	STACK ← Rr	None	2
OP	Rd	Pop Register from Stack	Rd ← STACK	None	2
IT AND BIT-TEST INSTRUCTIONS					
BI	P,b	Set Bit in I/O Register	I/O(P,b) ← 1	None	2
BI	P,b	Clear Bit in I/O Register	I/O(P,b) ← 0	None	2
SL	Rd	Logical Shift Left	Rd(n+1) ← Rd(n), Rd(0) ← 0	Z,C,N,V	1
SR	Rd	Logical Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), Rd(7) ← 0	Z,C,N,V	1
OL	Rd	Rotate Left Through Carry	Rd(0)←C,Rd(n+1)← Rd(n),C← Rd(7)	Z,C,N,V	1
OR	Rd	Rotate Right Through Carry	Rd(7)←C,Rd(n)← Rd(n+1),C←Rd(0)	Z,C,N,V	1
SR	Rd	Arithmetic Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), n=0..6	Z,C,N,V	1
WAP	Rd	Swap Nibbles	Rd(3..0)←Rd(7..4),Rd(7..4)←Rd(3..0)	None	1
SET	s	Flag Set	SREG(s) ← 1	SREG(s)	1
CLR	s	Flag Clear	SREG(s) ← 0	SREG(s)	1
ST	Rr, b	Bit Store from Register to T	T ← Rr(b)	T	1
LD	Rd, b	Bit load from T to Register	Rd(b) ← T	None	1
EC		Set Carry	C ← 1	C	1
LC		Clear Carry	C ← 0	C	1
EN		Set Negative Flag	N ← 1	N	1
LN		Clear Negative Flag	N ← 0	N	1
EZ		Set Zero Flag	Z ← 1	Z	1
LZ		Clear Zero Flag	Z ← 0	Z	1
EI		Global Interrupt Enable	I ← 1	I	1
LI		Global Interrupt Disable	I ← 0	I	1
ES		Set Signed Test Flag	S ← 1	S	1
LS		Clear Signed Test Flag	S ← 0	S	1
EV		Set Twos Complement Overflow.	V ← 1	V	1
LV		Clear Twos Complement Overflow	V ← 0	V	1
ET		Set T in SREG	T ← 1	T	1
LT		Clear T in SREG	T ← 0	T	1
EH		Set Half Carry Flag in SREG	H ← 1	H	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
CLH		Clear Half Carry Flag in SREG	H ← 0	H	1
MCU CONTROL INSTRUCTIONS					
NOP		No Operation		None	1
SLEEP		Sleep	(see specific descr. for Sleep function)	None	1
WDR		Watchdog Reset	(see specific descr. for WDR/timer)	None	1
BREAK		Break	For On-Chip Debug Only	None	N/A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rdering Information

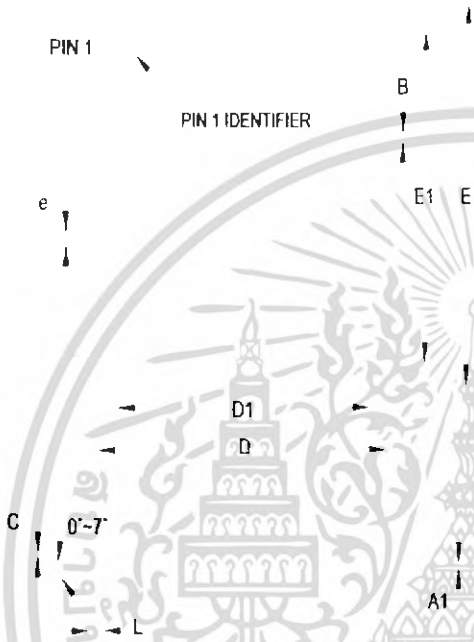
Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
8	2.7 - 5.5V	ATmega16L-8AC ATmega16L-8PC ATmega16L-8MC	44A 40P6 44M1	Commercial (0°C to 70°C)
		ATmega16L-8AI ATmega16L-8PI ATmega16L-8MI	44A 40P6 44M1	Industrial (-40°C to 85°C)
16	4.5 - 5.5V	ATmega16-16AC ATmega16-16PC ATmega16-16MI	44A 40P6 44M1	Commercial (0°C to 70°C)
		ATmega16-16AI ATmega16-16PI ATmega16-16MC	44A 40P6 44M1	Industrial (-40°C to 85°C)

	Package Type
44A	44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flat Package (TQFP)
40P6	40-pin, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44M1	44-pad, 7 x 7 x 1.0 mm body, lead pitch 0.50 mm, Micro Lead Frame Package (MLF)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ıckaging Information

A



COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	–	–	1.20	
A1	0.05	–	0.15	
A2	0.95	1.00	1.05	
D	11.75	12.00	12.25	
D1	9.90	10.00	10.10	Note 2
E	11.75	12.00	12.25	
E1	9.90	10.00	10.10	Note 2
B	0.30	–	0.45	
C	0.09	–	0.20	
L	0.45	–	0.75	
e		0.80 TYP		

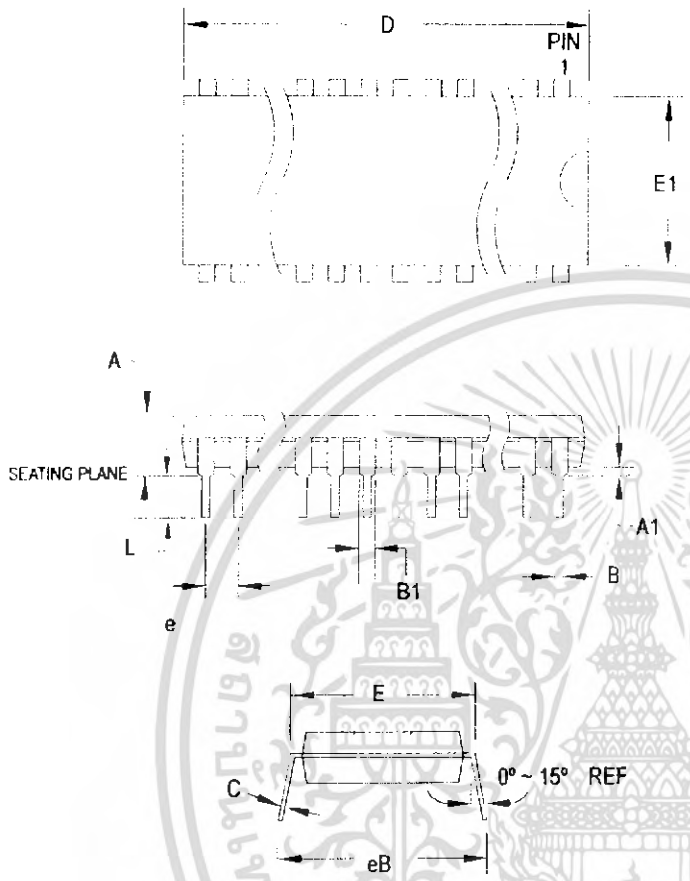
Notes:
1. This package conforms to JEDEC reference MS-026, Variation ACB.
2. Dimensions D1 and E1 do not include mold protrusion. Allowable protrusion is 0.25 mm per side. Dimensions D1 and E1 are maximum plastic body size dimensions including mold mismatch.
3. Lead coplanarity is 0.10 mm maximum.

10/5/2001

	TITLE	DRAWING NO.	REV.
2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	**44A**, 44-lead, 10 x 10 mm Body Size, 1.0 mm Body Thickness, 0.8 mm Lead Pitch, Thin Profile Plastic Quad Flat Package (TQFP)	44A	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IP6



COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	–	–	4.826	
A1	0.381	–	–	
D	52.070	–	52.578	Note 2
E	15.240	–	15.875	
E1	13.462	–	13.970	Note 2
B	0.356	–	0.559	
B1	1.041	–	1.651	
L	3.048	–	3.556	
C	0.203	–	0.381	
eB	15.494	–	17.526	
e	2.540 TYP			

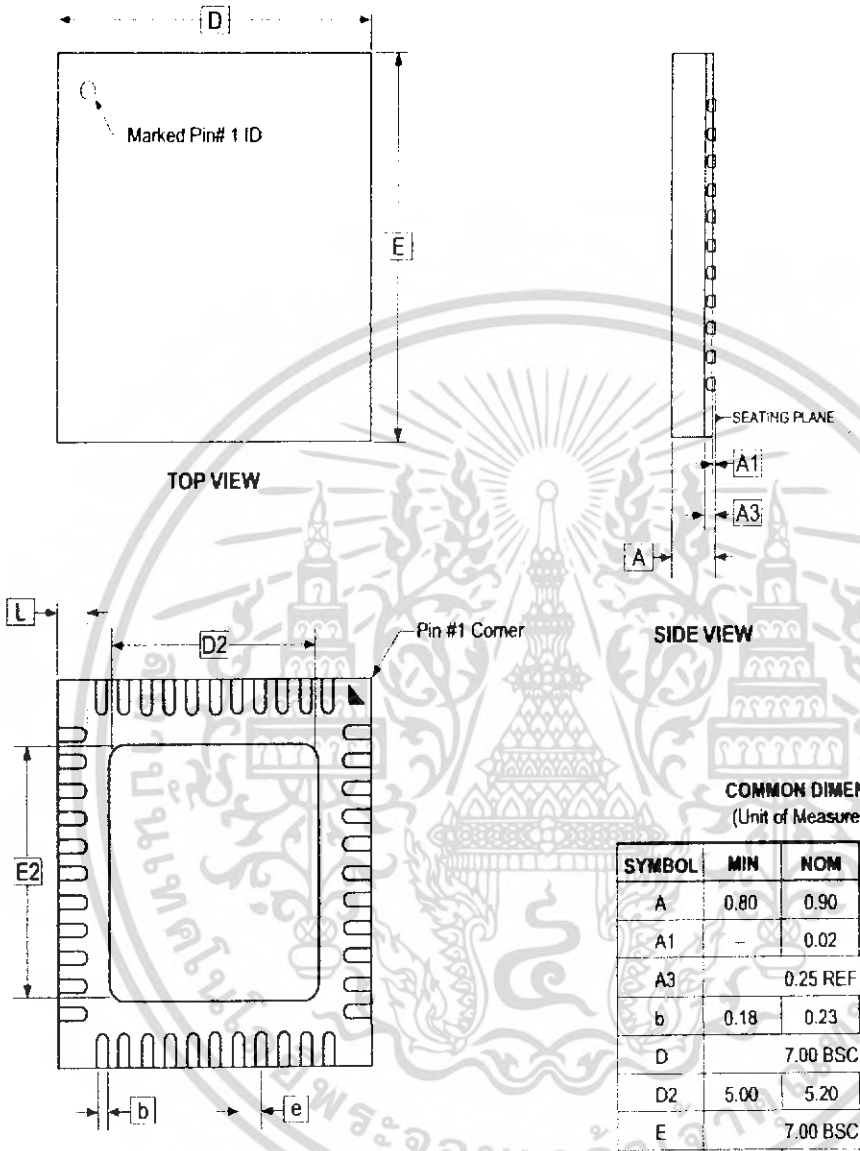
Notes:
1. This package conforms to JEDEC reference MS-011, Variation AC.
2. Dimensions D and E1 do not include mold Flash or Protrusion. Mold Flash or Protrusion shall not exceed 0.25 mm (0.010").

09/28/01

	TITLE	DRAWING NO.	REV.
2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	**40P6**, 40-lead (0.600"/15.24 mm Wide) Plastic Dual Inline Package (PDIP)	40P6	B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M1



COMMON DIMENSIONS
(Unit of Measure = mm)

SYMBOL	MIN	NOM	MAX	NOTE
A	0.80	0.90	1.00	
A1	–	0.02	0.05	
A3		0.25 REF		
b	0.18	0.23	0.30	
D		7.00 BSC		
D2	5.00	5.20	5.40	
E		7.00 BSC		
E2	5.00	5.20	5.40	
e		0.50 BSC		
L	0.35	0.55	0.75	

Note: JEDEC Standard MO-220, Fig. 1 (SAW Singulation) VKKD-1.

01/15/03

	TITLE	DRAWING NO.	REV.
2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131	**44M1**, 44-pad, 7 x 7 x 1.0 mm Body, Lead Pitch 0.50 mm Micro Lead Frame Package (MLF)	44M1	C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

rratas The revision letter in this section refers to the revision of the ATmega16 device.

Tmega16(L) Rev. G. There are no errata for this revision of ATmega16.

Tmega16(L) Rev. H. There are no errata for this revision of ATmega16.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ıta Sheet Change ›g for ATmega16

This section contains a log on the changes made to the data sheet for ATmega16.

ıanges from Rev. 66B-09/01 to Rev. 66C-03/02

All page numbers refer to this document.

1. **Updated typical EEPROM programming time, Table 1 on page 18.**
2. **Updated typical start-up time in the following tables:**
   Table 3 on page 23, Table 5 on page 25, Table 6 on page 26, Table 8 on page 27, Table 9 on page 27, and Table 10 on page 28.
3. **Updated Table 17 on page 41 with typical WDT Time-out.**
4. **Added Some Preliminary Test Limits and Characterization Data.**
   Removed some of the TBD's in the following tables and pages:
   Table 15 on page 36, Table 16 on page 40, Table 116 on page 272 (table removed in document review #D), "Electrical Characteristics" on page 290, Table 119 on page 292, Table 121 on page 294, and Table 122 on page 296.
5. **Updated TWI Chapter.**
   Added the note at the end of the "Bit Rate Generator Unit" on page 177.
6. **Corrected description of ADSC bit in "ADC Control and Status Register A – ADCSRA" on page 218.**
7. **Improved description on how to do a polarity check of the ADC diff results in "ADC Conversion Result" on page 215.**
8. **Added JTAG version number for rev. H in Table 87 on page 228.**
9. **Added not regarding OCDEN Fuse below Table 105 on page 260.**
10. **Updated Programming Figures:**
    Figure 127 on page 262 and Figure 136 on page 273 are updated to also reflect that AVCC must be connected during Programming mode. Figure 131 on page 269 added to illustrate how to program the fuses.
11. **Added a note regarding usage of the "PROG_PAGELOAD ($6)" on page 279 and "PROG_PAGEREAD ($7)" on page 279.**
12. **Removed alternative algortihm for leaving JTAG Programming mode.**
    See "Leaving Programming Mode" on page 287.
13. **Added Calibrated RC Oscillator characterization curves in section "ATmega16 Typical Characteristics – Preliminary Data" on page 298.**
14. **Corrected ordering code for MLF package (16MHz) in "Ordering Information" on page 11.**
15. **Corrected Table 90, "Scan Signals for the Oscillators$^{(1)(2)(3)}$," on page 234.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

hanges from Rev. 466C-03/02 to Rev. 466D-09/02

All page numbers refer to this document.

1. **Changed all Flash write/erase cycles from 1,000 to 10,000.**
2. **Updated the following tables: Table 4 on page 24, Table 15 on page 36, Table 42 on page 82, Table 45 on page 109, Table 46 on page 109, Table 59 on page 141, Table 67 on page 166, Table 90 on page 234, Table 102 on page 258, "DC Characteristics" on page 290, Table 119 on page 292, Table 121 on page 294, and Table 122 on page 296.**
3. **Updated "Erratas" on page 15.**

hanges from Rev. 466D-09/02 to Rev. 466E-10/02

All page numbers refer to this document.

1. **Updated "DC Characteristics" on page 290.**

hanges from Rev. 466E-10/02 to Rev. 466F-02/03

All page numbers refer to this document.

1. **Added note about masking out unused bits when reading the Program Counter in "Stack Pointer" on page 10.**
2. **Added Chip Erase as a first step in "Programming the Flash" on page 287 and "Programming the EEPROM" on page 288.**
3. **Added the section "Unconnected pins" on page 53.**
4. **Added tips on how to disable the OCD system in "On-chip Debug System" on page 34.**
5. **Removed reference to the "Multi-purpose Oscillator" application note and "32 kHz Crystal Oscillator" application note, which do not exist.**
6. **Added information about PWM symmetry for Timer0 and Timer2.**
7. **Added note in "Filling the Temporary Buffer (Page Loading)" on page 253 about writing to the EEPROM during an SPM Page Load.**
8. **Removed ADHSM completely.**
9. **Added Table 73, "TWI Bit Rate Prescaler," on page 181 to describe the TWPS bits in the "TWI Status Register – TWSR" on page 180.**
10. **Added section "Default Clock Source" on page 23.**
11. **Added note about frequency variation when using an external clock. Note added in "External Clock" on page 29. An extra row and a note added in Table 118 on page 292.**
12. **Various minor TWI corrections.**
13. **Added "Power Consumption" data in "Features" on page 1.**
14. **Added section "EEPROM Write During Power-down Sleep Mode" on page 20 .**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. Added note about Differential Mode with Auto Triggering in "Prescaling and Conversion Timing" on page 206.

16. Added updated "Packaging Information" on page 12.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Atmel Headquarters

Corporate Headquarters
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 487-2600

Europe
Atmel Sarl
Route des Arsenaux 41
Case Postale 80
CH-1705 Fribourg
Switzerland
TEL (41) 26-426-5555
FAX (41) 26-426-5500

Asia
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimhatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Japan
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
TEL (81) 3-3523-3551
FAX (81) 3-3523-7581

Atmel Operations

Memory
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 436-4314

Microcontrollers
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL 1(408) 441-0311
FAX 1(408) 436-4314

La Chantrerie
BP 70602
44306 Nantes Cedex 3, France
TEL (33) 2-40-18-18-18
FAX (33) 2-40-18-19-60

ASIC/ASSP/Smart Cards
Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex, France
TEL (33) 4-42-53-60-00
FAX (33) 4-42-53-60-01

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL 1(719) 576-3300
FAX 1(719) 540-1759

Scottish Enterprise Technology Park
Maxwell Building
East Kilbride G75 0QR, Scotland
TEL (44) 1355-803-000
FAX (44) 1355-242-743

RF/Automotive
Theresienstrasse 2
Postfach 3535
74025 Heilbronn, Germany
TEL (49) 71-31-67-0
FAX (49) 71-31-67-2340

1150 East Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL 1(719) 576-3300
FAX 1(719) 540-1759

Biometrics/Imaging/Hi-Rel MPU/
High Speed Converters/RF Datacom
Avenue de Rochepleine
BP 123
38521 Saint-Egreve Cedex, France
TEL (33) 4-76-58-30-00
FAX (33) 4-76-58-34-80

e-mail
literature@atmel.com

Web Site
http://www.atmel.com

Atmel Corporation 2003.
mel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty hich is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors hich may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does ot make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical mponents in life support devices or systems.

TMEL®, AVR®, and AVR Studio® are the registered trademarks of Atmel.

ther terms and product names may be the trademarks of others.

Printed on recycled paper.

2466FS–AVR–02/03 0M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ข้อมูลเฉพาะของ DS1307

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DALLAS SEMICONDUCTOR

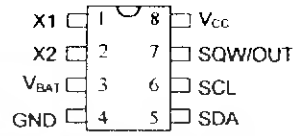
DS1307
64 x 8 Serial Real-Time Clock

www.maxim-ic.com

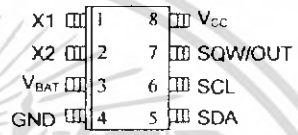
FEATURES

- Real-time clock (RTC) counts seconds, minutes, hours, date of the month, month, day of the week, and year with leap-year compensation valid up to 2100
- 56-byte, battery-backed, nonvolatile (NV) RAM for data storage
- Two-wire serial interface
- Programmable squarewave output signal
- Automatic power-fail detect and switch circuitry
- Consumes less than 500nA in battery backup mode with oscillator running
- Optional industrial temperature range: -40°C to +85°C
- Available in 8-pin DIP or SOIC
- Underwriters Laboratory (UL) recognized

PIN ASSIGNMENT



DS1307 8-Pin DIP (300-mil)



DS1307 8-Pin SOIC (150-mil)

PIN DESCRIPTION

V_{CC}	- Primary Power Supply
X1, X2	- 32.768kHz Crystal Conneetion
V_{BAT}	- +3V Battery Input
GND	- Ground
SDA	- Serial Data
SCL	- Serial Clock
SQW/OUT	- Square Wave/Output Driver

ORDERING INFORMATION

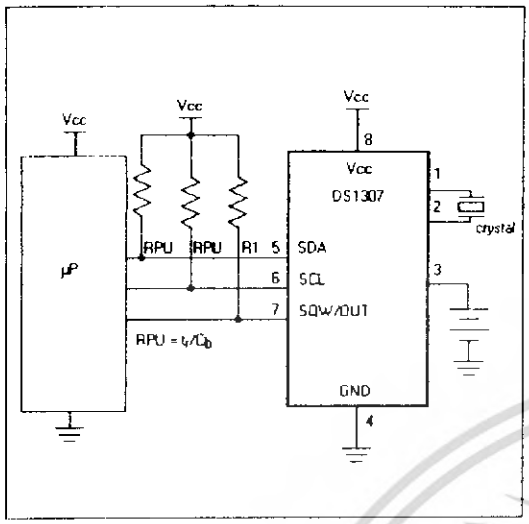
DS1307	8-Pin DIP (300-mil)
DS1307Z	8-Pin SOIC (150-mil)
DS1307N	8-Pin DIP (Industrial)
DS1307ZN	8-Pin SOIC (Industrial)

DESCRIPTION

The DS1307 Serial Real-Time Clock is a low-power, full binary-coded decimal (BCD) clock/calendar plus 56 bytes of NV SRAM. Address and data are transferred serially via a 2-wire, bi-directional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power sense circuit that detects power failures and automatically switches to the battery supply.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

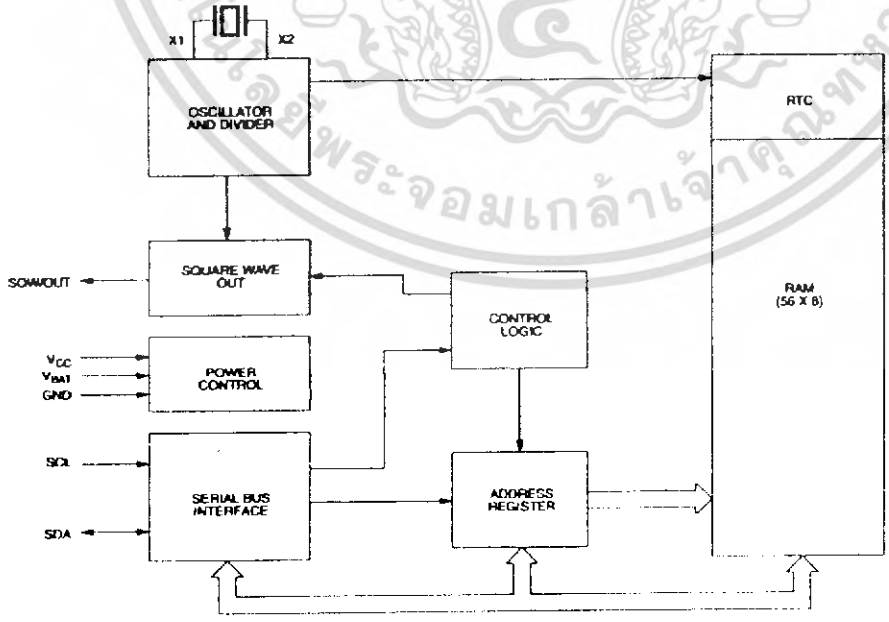
YPICAL OPERATING CIRCUIT



OPERATION

The DS1307 operates as a slave device on the serial bus. Access is obtained by implementing a START condition and providing a device identification code followed by a register address. Subsequent registers can be accessed sequentially until a STOP condition is executed. When V_{CC} falls below 1.25 x V_{BAT} the device terminates an access in progress and resets the device address counter. Inputs to the device will not be recognized at this time to prevent erroneous data from being written to the device from an out of tolerance system. When V_{CC} falls below V_{BAT} the device switches into a low-current battery backup mode. Upon power-up, the device switches from battery to V_{CC} when V_{CC} is greater than V_{BAT} + 0.2V and recognizes inputs when V_{CC} is greater than 1.25 x V_{BAT}. The block diagram in Figure 1 shows the main elements of the serial RTC.

DS1307 BLOCK DIAGRAM Figure 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SIGNAL DESCRIPTIONS

V_{CC}, GND – DC power is provided to the device on these pins. V_{CC} is the +5V input. When 5V is applied within normal limits, the device is fully accessible and data can be written and read. When a 3V battery is connected to the device and V_{CC} is below 1.25 x V_{BAT}, reads and writes are inhibited. However, the timekeeping function continues unaffected by the lower input voltage. As V_{CC} falls below V_{BAT} the RAM and timekeeper are switched over to the external power supply (nominal 3.0V DC) at V_{BAT}.

V_{BAT} – Battery input for any standard 3V lithium cell or other energy source. Battery voltage must be held between 2.0V and 3.5V for proper operation. The nominal write protect trip point voltage at which access to the RTC and user RAM is denied is set by the internal circuitry as 1.25 x V_{BAT} nominal. A lithium battery with 48mAhr or greater will back up the DS1307 for more than 10 years in the absence of power at 25°C. UL recognized to ensure against reverse charging current when used in conjunction with a lithium battery.

See "Conditions of Acceptability" at http://www.maxim-ic.com/TechSupport/QA/ntrl.htm.

SCL (Serial Clock Input) – SCL is used to synchronize data movement on the serial interface.

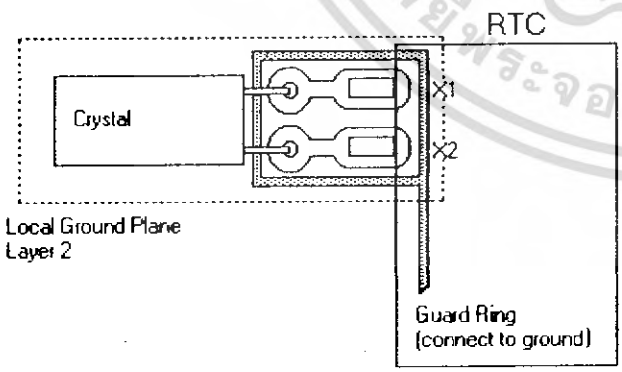
SDA (Serial Data Input/Output) – SDA is the input/output pin for the 2-wire serial interface. The SDA pin is open drain which requires an external pullup resistor.

SQW/OUT (Square Wave/Output Driver) – When enabled, the SQWE bit set to 1, the SQW/OUT pin outputs one of four square wave frequencies (1Hz, 4kHz, 8kHz, 32kHz). The SQW/OUT pin is open drain and requires an external pull-up resistor. SQW/OUT will operate with either Vcc or Vbat applied.

X1, X2 – Connections for a standard 32.768kHz quartz crystal. The internal oscillator circuitry is designed for operation with a crystal having a specified load capacitance (CL) of 12.5pF.

For more information on crystal selection and crystal layout considerations, please consult Application Note 58, "Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks." The DS1307 can also be driven by an external 32.768kHz oscillator. In this configuration, the X1 pin is connected to the external oscillator signal and the X2 pin is floated.

RECOMMENDED LAYOUT FOR CRYSTAL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CLOCK ACCURACY

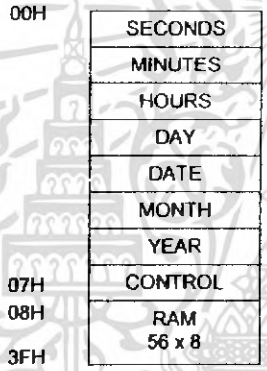
The accuracy of the clock is dependent upon the accuracy of the crystal and the accuracy of the match between the capacitive load of the oscillator circuit and the capacitive load for which the crystal was trimmed. Additional error will be added by crystal frequency drift caused by temperature shifts. External circuit noise coupled into the oscillator circuit may result in the clock running fast. See Application Note 58, "Crystal Considerations with Dallas Real-Time Clocks" for detailed information.

Please review Application Note 95, "Interfacing the DS1307 with a 8051-Compatible Microcontroller" for additional information.

RTC AND RAM ADDRESS MAP

The address map for the RTC and RAM registers of the DS1307 is shown in Figure 2. The RTC registers are located in address locations 00h to 07h. The RAM registers are located in address locations 08h to 3Fh. During a multi-byte access, when the address pointer reaches 3Fh, the end of RAM space, it wraps around to location 00h, the beginning of the clock space.

DS1307 ADDRESS MAP Figure 2



CLOCK AND CALENDAR

The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. The RTC registers are illustrated in Figure 3. The time and calendar are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in the BCD format. Bit 7 of register 0 is the clock halt (CH) bit. When this bit is set to a 1, the oscillator is disabled. When cleared to a 0, the oscillator is enabled.

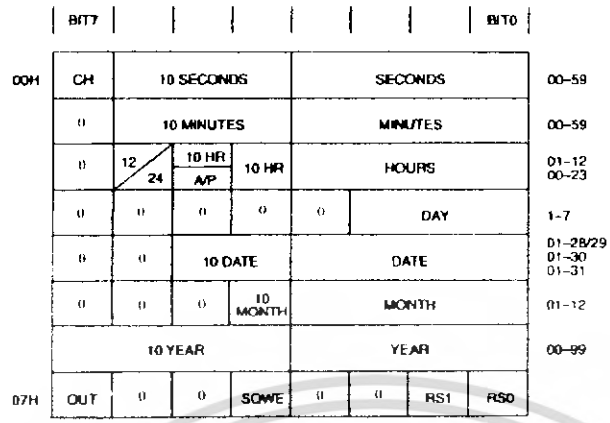
Please note that the initial power-on state of all registers is not defined. Therefore, it is important to enable the oscillator (CH bit = 0) during initial configuration.

The DS1307 can be run in either 12-hour or 24-hour mode. Bit 6 of the hours register is defined as the 12- or 24-hour mode select bit. When high, the 12-hour mode is selected. In the 12-hour mode, bit 5 is the AM/PM bit with logic high being PM. In the 24-hour mode, bit 5 is the second 10 hour bit (20-23 hours).

On a 2-wire START, the current time is transferred to a second set of registers. The time information is read from these secondary registers, while the clock may continue to run. This eliminates the need to re-read the registers in case of an update of the main registers during a read.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

)S1307 TIMEKEEPER REGISTERS Figure 3



CONTROL REGISTER

The DS1307 control register is used to control the operation of the SQW/OUT pin.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0

)UT (Output control): This bit controls the output level of the SQW/OUT pin when the square wave)utput is disabled. If SQWE = 0, the logic level on the SQW/OUT pin is 1 if OUT = 1 and is 0 if)UT = 0.

SQWE (Square Wave Enable): This bit, when set to a logic 1, will enable the oscillator output. The frequency of the square wave output depends upon the value of the RS0 and RS1 bits. With the square wave output set to 1Hz, the clock registers update on the falling edge of the square wave.

RS (Rate Select): These bits control the frequency of the square wave output when the square wave)utput has been enabled. Table 1 lists the square wave frequencies that can be selected with the RS bits.

SQUAREWAVE OUTPUT FREQUENCY Table 1

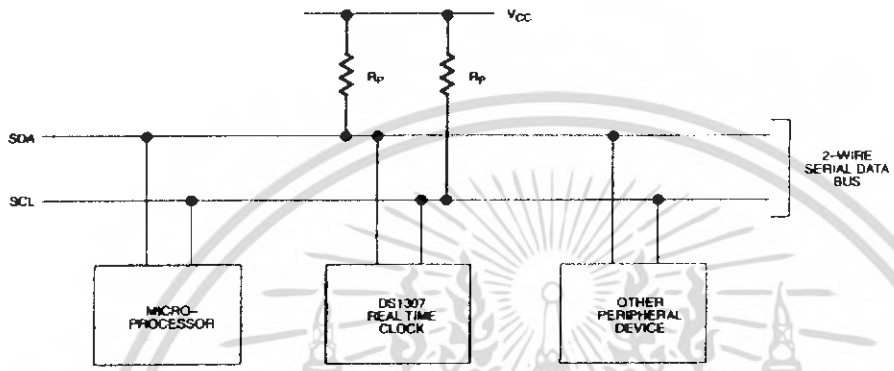
RS1	RS0	SQW OUTPUT FREQUENCY
0	0	1Hz
0	1	4.096kHz
1	0	8.192kHz
1	1	32.768kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-WIRE SERIAL DATA BUS

he DS1307 supports a bi-directional, 2-wire bus and data transmission protocol. A device that sends ata onto the bus is defined as a transmitter and a device receiving data as a receiver. The device that ontrols the message is called a master. The devices that are controlled by the master are referred to as aves. The bus must be controlled by a master device that generates the serial clock (SCL), controls the us access, and generates the START and STOP conditions. The DS1307 operates as a slave on the 2-ire bus. A typical bus configuration using this 2-wire protocol is show in Figure 4.

YPICAL 2-WIRE BUS CONFIGURATION Figure 4



igures 5, 6, and 7 detail how data is transferred on the 2-wire bus.

Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.
During data transfer, the data line must remain stable whenever the clock line is HIGH. Changes in the data line while the clock line is high will be interpreted as control signals.

\ccordingly, the following bus conditions have been defined:

3us not busy: Both data and clock lines remain HIGH.

Start data transfer: A change in the state of the data line, from HIGH to LOW, while the clock is HIGH, lefines a START condition.

Stop data transfer: A change in the state of the data line, from LOW to HIGH, while the clock line is HIGH, defines the STOP condition.

Data valid: The state of the data line represents valid data when, after a START condition, the data line s stable for the duration of the HIGH period of the clock signal. The data on the line must be changed during the LOW period of the clock signal. There is one clock pulse per bit of data.

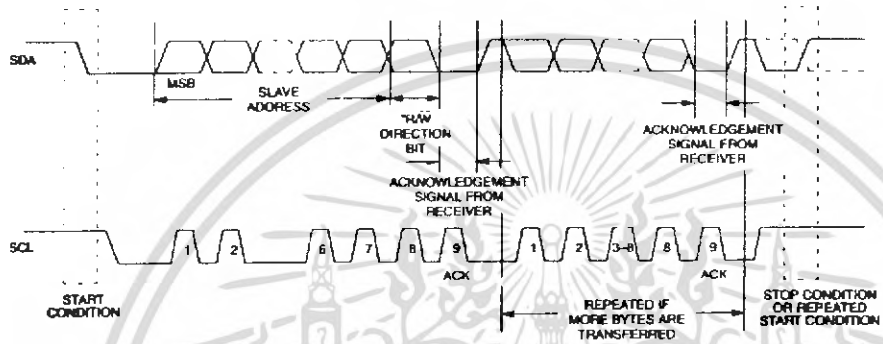
Each data transfer is initiated with a START condition and terminated with a STOP condition. The number of data bytes transferred between START and STOP conditions is not limited, and is determined by the master device. The information is transferred byte-wise and each receiver acknowledges with a ninth bit. Within the 2-wire bus specifications a regular mode (100kHz clock rate) and a fast mode (400kHz clock rate) are defined. The DS1307 operates in the regular mode (100kHz) only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

cknowledge: Each receiving device, when addressed, is obliged to generate an acknowledge after the ception of each byte. The master device must generate an extra clock pulse which is associated with is acknowledge bit.

device that acknowledges must pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse in such a ay that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. Of ourse, setup and hold times must be taken into account. A master must signal an end of data to the slave y not generating an acknowledge bit on the last byte that has been clocked out of the slave. In this case, ie slave must leave the data line HIGH to enable the master to generate the STOP condition.

)ATA TRANSFER ON 2-WIRE SERIAL BUS Figure 5



)epending upon the state of the R/$\overline{W}$ bit, two types of data transfer are possible:

.. **Data transfer from a master transmitter to a slave receiver.** The first byte transmitted by the master is the slave address. Next follows a number of data bytes. The slave returns an acknowledge bit after each received byte. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.

2. **Data transfer from a slave transmitter to a master receiver.** The first byte (the slave address) is transmitted by the master. The slave then returns an acknowledge bit. This is followed by the slave transmitting a number of data bytes. The master returns an acknowledge bit after all received bytes other than the last byte. At the end of the last received byte, a "not acknowledge" is returned.

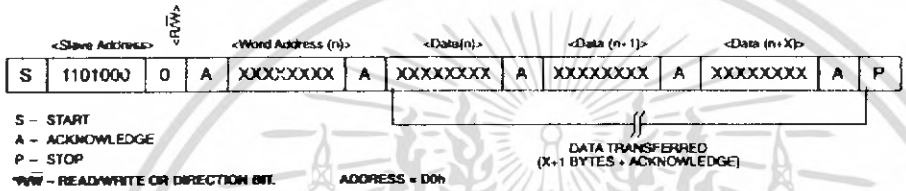
The master device generates all of the serial clock pulses and the START and STOP conditions. A ransfer is ended with a STOP condition or with a repeated START condition. Since a repeated START :ondition is also the beginning of the next serial transfer, the bus will not be released. Data is transferred with the most significant bit (MSB) first.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

he DS1307 may operate in the following two modes:

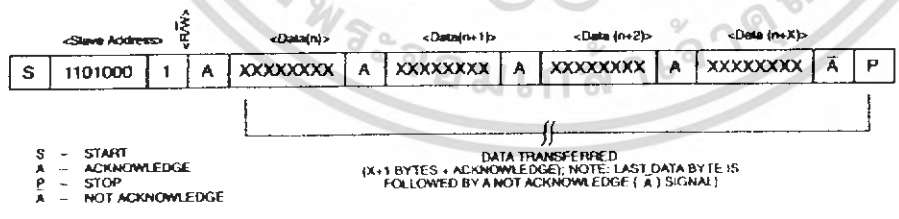
. **Slave receiver mode (DS1307 write mode):** Serial data and clock are received through SDA and SCL. After each byte is received an acknowledge bit is transmitted. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer. Address recognition is performed by hardware after reception of the slave address and *direction bit (See Figure 6). The address byte is the first byte received after the start condition is generated by the master. The address byte contains the 7 bit DS1307 address, which is 1101000, followed by the *direction bit (R/$\overline{W}$) which, for a write, is a 0. After receiving and decoding the address byte the device outputs an acknowledge on the SDA line. After the DS1307 acknowledges the slave address + write bit, the master transmits a register address to the DS1307 This will set the register pointer on the DS1307. The master will then begin transmitting each byte of data with the DS1307 acknowledging each byte received. The master will generate a stop condition to terminate the data write.

DATA WRITE – SLAVE RECEIVER MODE Figure 6



2. **Slave transmitter mode (DS1307 read mode):** The first byte is received and handled as in the slave receiver mode. However, in this mode, the *direction bit will indicate that the transfer direction is reversed. Serial data is transmitted on SDA by the DS1307 while the serial clock is input on SCL. START and STOP conditions are recognized as the beginning and end of a serial transfer (See Figure 7). The address byte is the first byte received after the start condition is generated by the master. The address byte contains the 7-bit DS1307 address, which is 1101000, followed by the *direction bit (R/$\overline{W}$) which, for a read, is a 1. After receiving and decoding the address byte the device inputs an acknowledge on the SDA line. The DS1307 then begins to transmit data starting with the register address pointed to by the register pointer. If the register pointer is not written to before the initiation of a read mode the first address that is read is the last one stored in the register pointer. The DS1307 must receive a "not acknowledge" to end a read.

DATA READ – SLAVE TRANSMITTER MODE Figure 7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Voltage on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +7.0V
Storage Temperature	-55°C to +125°C
Soldering Temperature	260°C for 10 seconds DIP See JPC/JEDEC Standard J-STD-020A for Surface Mount Devices

This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

Range	Temperature	V_{CC}
Commercial	0°C to +70°C	4.5V to 5.5V V_{CC1}
Industrial	-40°C to +85°C	4.5V to 5.5V V_{CC1}

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

(Over the operating range*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V_{CC}	4.5	5.0	5.5	V	
Logic 1	V_{IH}	2.2		V_{CC} + 0.3	V	
Logic 0	V_{IL}	-0.5		+0.8	V	
V_{BAT} Battery Voltage	V_{BAT}	2.0		3.5	V	

*Unless otherwise specified.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Over the operating range*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Input Leakage (SCL)	I_{LI}			1	µA	
I/O Leakage (SDA & SQW/OUT)	I_{LO}			1	µA	
Logic 0 Output (I_{OL} = 5mA)	V_{OL}			0.4	V	
Active Supply Current	I_{CCA}			1.5	mA	7
Standby Current	I_{CCS}			200	µA	1
Battery Current (OSC ON); SQW/OUT OFF	I_{BAT1}		300	500	nA	2
Battery Current (OSC ON); SQW/OUT ON (32kHz)	I_{BAT2}		480	800	nA	
Power-Fail Voltage	V_{PF}	1.216 x V_{BAT}	1.25 x V_{BAT}	1.284 x V_{BAT}	V	8

*Unless otherwise specified.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(Over the operating range*)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
SCL Clock Frequency	f_{SCL}	0		100	kHz	
Bus Free Time Between a STOP and START Condition	t_{BUF}	4.7			µs	
Hold Time (Repeated) START Condition	$t_{HD:STA}$	4.0			µs	3
LOW Period of SCL Clock	t_{LOW}	4.7			µs	
HIGH Period of SCL Clock	t_{HIGH}	4.0			µs	
Set-up Time for a Repeated START Condition	$t_{SU:STA}$	4.7			µs	
Data Hold Time	$t_{HD:DAT}$	0			µs	4,5
Data Set-up Time	$t_{SU:DAT}$	250			ns	
Rise Time of Both SDA and SCL Signals	t_R			1000	ns	
Fall Time of Both SDA and SCL Signals	t_F			300	ns	
Set-up Time for STOP Condition	$t_{SU:STO}$	4.7			µs	
Capacitive Load for each Bus Line	C_B			400	pF	6
I/O Capacitance (T_A = 25°C)	$C_{I/O}$		10		pF	
Crystal Specified Load Capacitance (T_A = 25°C)			12.5		pF	

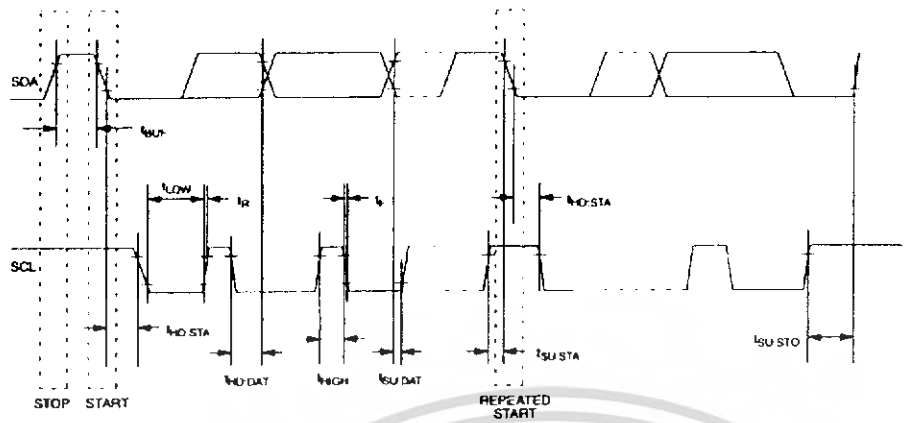
*Unless otherwise specified.

NOTES:

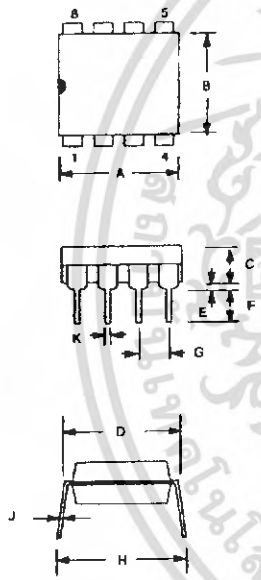
1. I_{CCS} specified with V_{CC} = 5.0V and SDA, SCL = 5.0V.
2. V_{CC} = 0V, V_{BAT} = 3V.
3. After this period, the first clock pulse is generated.
4. A device must internally provide a hold time of at least 300ns for the SDA signal (referred to the V_{IHMIN} of the SCL signal) in order to bridge the undefined region of the falling edge of SCL.
5. The maximum $t_{HD:DAT}$ has only to be met if the device does not stretch the LOW period (t_{LOW}) of the SCL signal.
6. C_B – Total capacitance of one bus line in pF.
7. I_{CCA} – SCL clocking at max frequency = 100kHz.
8. V_{PF} measured at V_{BAT} = 3.0V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIMING DIAGRAM Figure 8



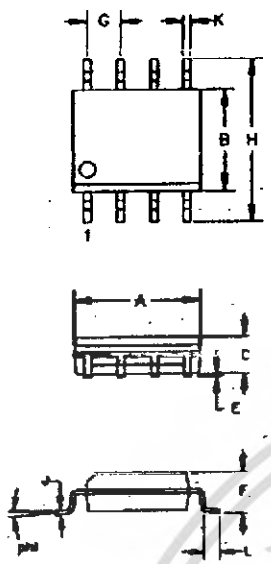
DS1307 64 X 8 SERIAL REAL-TIME CLOCK
8-PIN DIP MECHANICAL DIMENSIONS



PKG	8-PIN	
DIM	MIN	MAX
A IN.	0.360	0.400
MM	9.14	10.16
B IN.	0.240	0.260
MM	6.10	6.60
C IN.	0.120	0.140
MM	3.05	3.56
D IN.	0.300	0.325
MM	7.62	8.26
E IN.	0.015	0.040
MM	0.38	1.02
F IN.	0.120	0.140
MM	3.04	3.56
G IN.	0.090	0.110
MM	2.29	2.79
H IN.	0.320	0.370
MM	8.13	9.40
J IN.	0.008	0.012
MM	0.20	0.30
K IN.	0.015	0.021
MM	0.38	0.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DS1307Z 64 X 8 SERIAL REAL-TIME CLOCK
8-PIN SOIC (150-MIL) MECHANICAL DIMENSIONS



PKG	8-PIN (150 MIL)	
DIM	MIN	MAX
A IN.	0.188	0.196
MM	4.78	4.98
B IN.	0.150	0.158
MM	3.81	4.01
C IN.	0.048	0.062
MM	1.22	1.57
E IN.	0.004	0.010
MM	0.10	0.25
F IN.	0.053	0.069
MM	1.35	1.75
G IN.	0.050 BSC	
MM	1.27 BSC	
H IN.	0.230	0.244
MM	5.84	6.20
J IN.	0.007	0.011
MM	0.18	0.28
K IN.	0.012	0.020
MM	0.30	0.51
L IN.	0.016	0.050
MM	0.41	1.27
phi	0°	8°

56-G2008-001

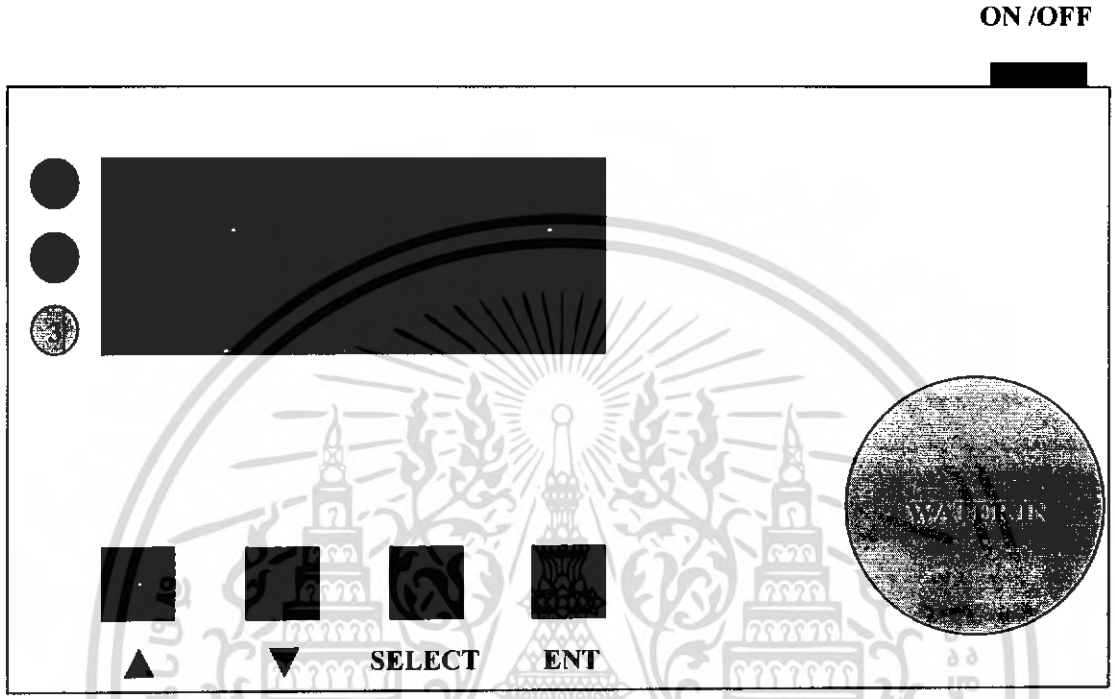
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
คู่มือการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งาน

1. ส่วนประกอบ

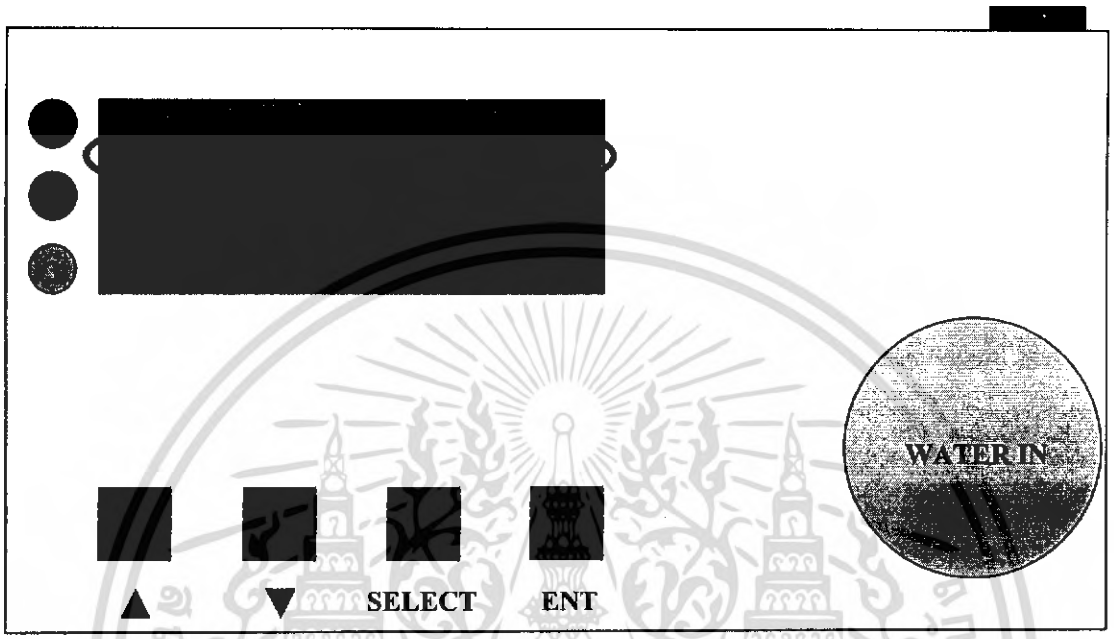


ON/OFF	switch เปิดปิด
1.	ไฟแสดงการทำงาน
2.	ไฟแสดงวินาที
3.	ไฟแสดงสถานะน้ำ
LCD DISPLAY	หน้าจอแสดงผล
▲	switch เลือกการแสดงค่าหน้าจอ
▼	switch เลือกโหมดการทำงาน
SELECT	switch ตั้งค่าการ เปิด และ ปิด วาล์วน้ำ
ENT	switch ตั้งค่าวันที่และเวลา
WATER IN	ช่องสำหรับจ่ายน้ำเข้า

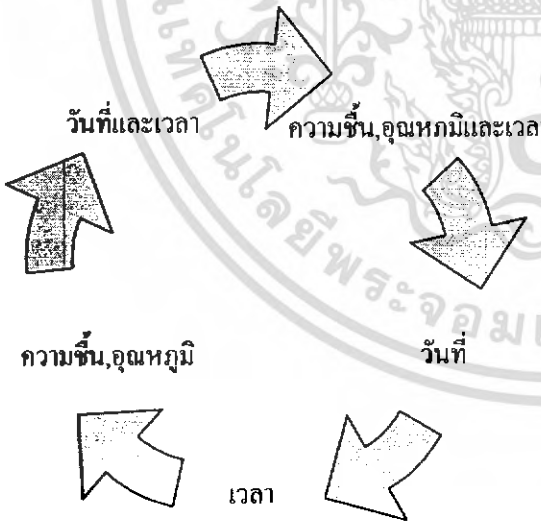
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การแสดงผลหน้าจอ (▲)

ส่วนแสดงผลหน้าจอจะแสดงผลในบรรทัดแรกของหน้าจอ LCD ดังที่วงกลมในรูป



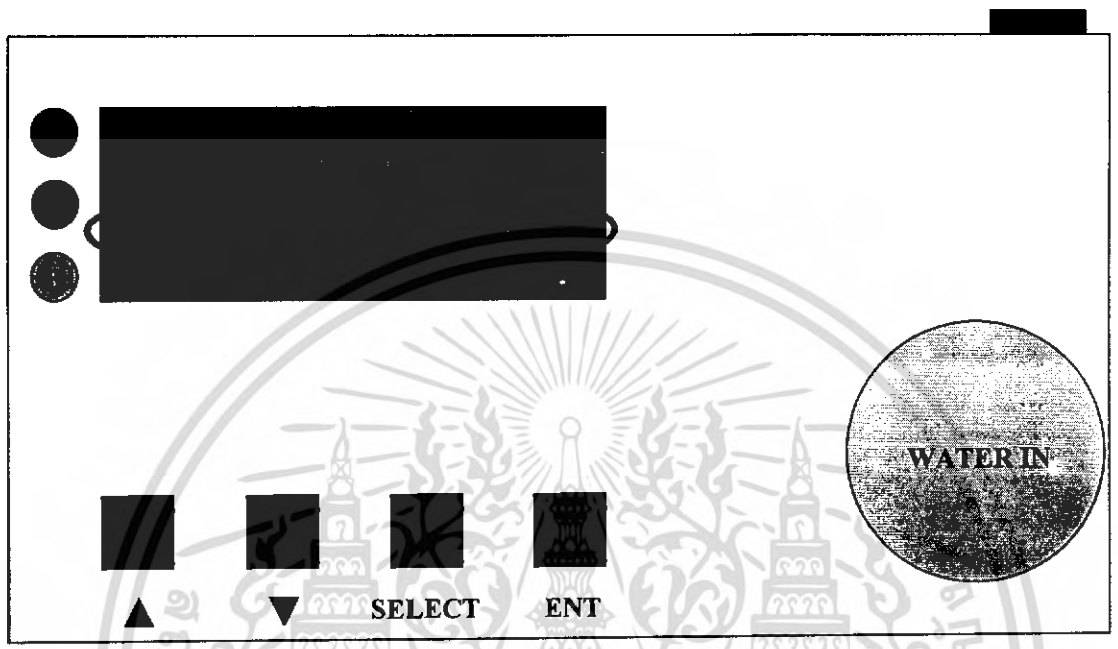
เลือก switch (▲) เพื่อเปลี่ยนการแสดงผลหน้าจอเป็นค่าอื่นๆ โดยมีลำดับดังนี้



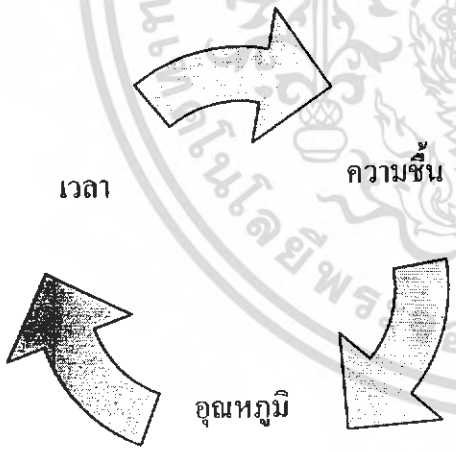
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โหมดการทำงาน (▼)

โหมดการทำงานจะแสดงผลในบรรทัดที่สองของหน้าจอ LCD ดังที่วงกลมในรูป



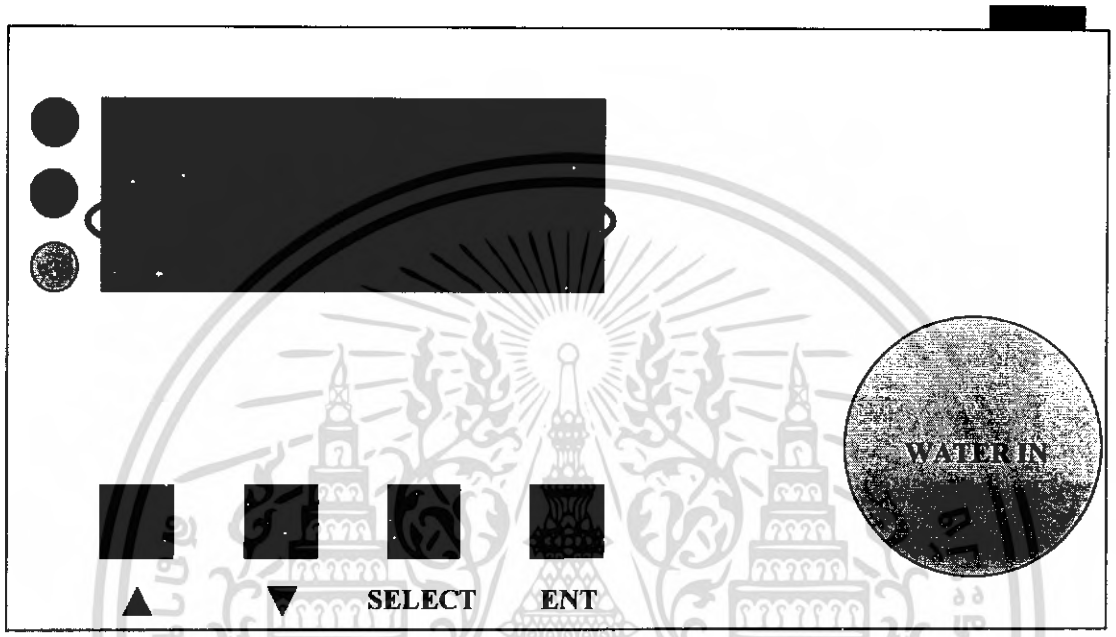
เลือก switch (▼) เพื่อเปลี่ยนโหมดการทำงานเป็นโหมดอื่นๆ โดยมีลำดับดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. การตั้งค่า ON / OFF การจ่ายน้ำ (SELECT)

เลือก switch (**SELECT**) เพื่อทำการตั้งค่า ON / OFF การจ่ายน้ำ โดยจะแสดงผลในบรรทัดที่สองของหน้าจอ LCD ดังที่วงกลมในรูป



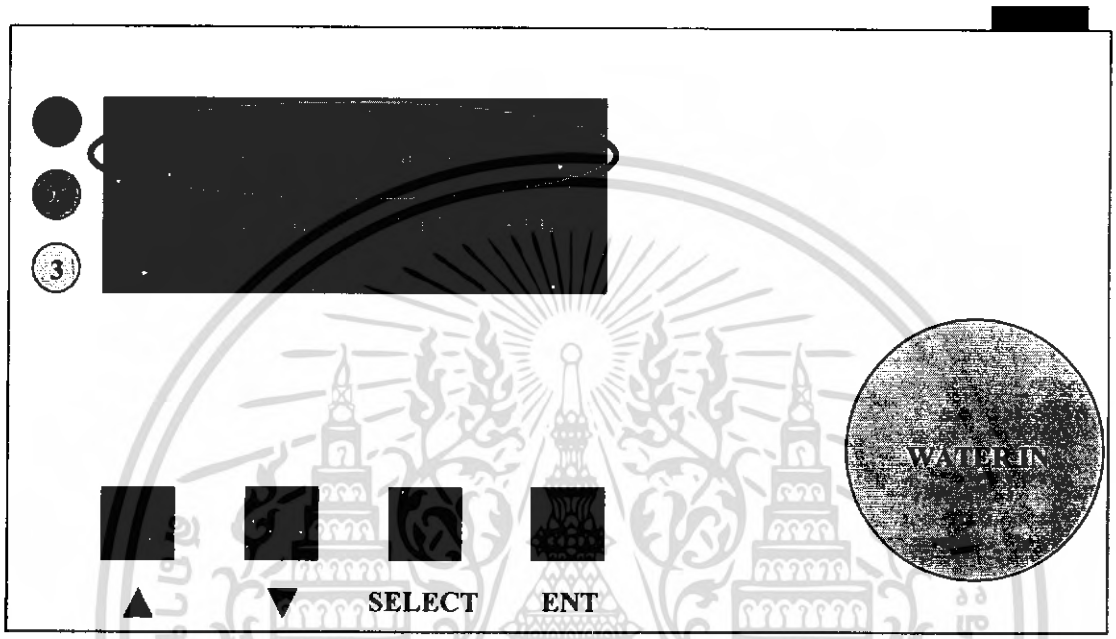
เลือก switch เพื่อทำการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

▲	switch เพิ่มค่า
▼	switch ลดค่า
SELECT	switch ตั้งค่าถัดไป
ENT	switch ตกลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การตั้งค่า วันเวลา (ENT)

เลือก switch (**ENT**) เพื่อทำการตั้งค่า วันเวลา โดยจะแสดงผลในบรรทัดที่แรกของหน้าจอ LCD ดังที่วงกลมในรูป



เลือก switch เพื่อทำการตั้งค่าต่างๆ ดังนี้

▲	switch เพิ่มค่า
▼	switch ลดค่า
SELECT	switch ตั้งค่าถัดไป
ENT	switch ตกลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้