สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องรดน้ำต้นไม้

PLANT IRREGATION EQUIPMENT

โดย

นายยุทธนา ตันติวิวัฒน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 36796
วัน, เดือน, ปี 29 ส.ค. 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2542

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

สาขา วิศวกรรมการวัดคุม

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ผู้จัดทำ นายยุทธนา ตันติวิวัฒน์ 38014405

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(อาจารย์ ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

.....

(อาจารย์ ประภาษ อุดคกิมาพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องรดน้ำต้นไม้

โดย นายยุทธนา ตันติวิวัฒน์ 38014405

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์
อ.ประภาษ อุดคกิมาพันธ์

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการออกแบบเครื่องรดน้ำต้นไม้ และศึกษาปัจจัยในการให้น้ำพืช เครื่องรดน้ำต้นไม้นี้สามารถเลือกวิธีการให้น้ำได้ 2 ลักษณะคือ วัดความชื้นในดินผ่านตัวเซนเซอร์ความชื้นแบบความต้านทานแล้วนำค่าความชื้นไปเป็นตัวควบคุมการเปิดปิดโซลินอยด์วาล์ว หรือใช้นาฬิกาที่อยู่ภายในเครื่องควบคุมเป็นตัวกำหนดสภาวะเปิดปิดโซลินอยด์วาล์ว ซึ่งสามารถตั้งเวลาการเปิดปิดได้ 2 ช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PLANT IRREGATION EQUIPMENT

STAFF Mr. Yutthana Tantivivat

ADVISOR Prasit Julserivong

Prapat Ukakimapan

ABSTRACT

This thesis present plant irregation equipment design method and study irregation factor. The equipment function is sensing soil moisture used resistance block or timer to control solenoid valve. Timer can set 2 alarms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยคำแนะนำจาก อาจารย์ ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์ และ อาจารย์ ประภาษ อุคคกิมาพันธ์ ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยและพัฒนาทางวิศวกรรม (ESDC) ที่กรุณาจัดอบรมไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดจนเพื่อนๆ และรุ่นน้องที่คอยแนะนำช่วยเหลือด้านอุปกรณ์และความรู้จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ยุทธนา ตันติวิวัฒน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อ ภาษาไทย		I
บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ		II
กิตติกรรมประกาศ		III
สารบัญ		IV
สารบัญภาพ		VI
สารบัญตาราง		VII
บทที่1 บทนำ		1
บทที่2 ทฤษฎีและหลักการ		2
2.1	น้ำในดิน	2
2.1.1	ชนิดของน้ำในดิน	2
2.1.2	Field Capacity	3
2.1.3	จุดเหี่ยวเฉาถาวร	3
2.1.4	ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้	4
2.1.5	การเคลื่อนที่ของน้ำในดิน	5
2.1.6	ดินเก็บน้ำไว้ได้อย่างไร	6
2.1.7	แรงดึงความชื้นในดิน	7
2.1.8	การหาปริมาณความชื้นในดิน	9
2.2	การให้น้ำแบบฉีดฝอย	11
2.2.1	การเลือกใช้การให้น้ำแบบฉีดฝอย	11
2.3	การกำหนดการให้น้ำพืช	13
2.3.1	พืชกับการกำหนดการให้น้ำ	13
2.3.2	ดินกับการกำหนดการให้น้ำ	16
2.3.3	องค์ประกอบอื่นกับการกำหนดการให้น้ำ	19
2.3.4	การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์วัด	21
2.3.5	เครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้า	22
2.4	พืชและการใช้น้ำของพืช	26
2.4.1	ลักษณะการแผ่กระจายของราก	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
2.4.2	การดูดน้ำจากดินในชั้นต่างๆ	28
2.4.3	องค์ประกอบที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช	28
2.4.4	ความถี่ในการให้น้ำ	29
บทที่3	การคำนวณและการสร้าง	31
3.1	องค์ประกอบของเครื่อง	31
3.1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อ่านได้	31
3.1.2	วิธีการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและค่าอิมพิแดนซ์	33
3.1.3	วงจร Peak Detector	35
3.1.4	วงจร V to V	37
3.1.5	วงจร analog to digital converter (ADC)	37
3.1.6	ไมโครคอนโทรลเลอร์	42
3.2	แผนผังการทำงานของโปรแกรม	43
บทที่4	การทดลอง	44
4.1	การทดลองอ่านค่าความชื้น	44
4.2	วิธีการใช้งานเครื่อง	46
บทที่5	สรุปผลและแนวทางการพัฒนา	49
5.1	ปัญหาและแนวทางการแก้ไข	49
ภาคผนวก		50
เอกสารอ้างอิง		64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นและจำนวนความชื้นที่เหลืออยู่ในดิน	8
รูปที่2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นและจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้	16
รูปที่2.3 ก้อนความต้านทานที่ทำด้วย ไฟเบอร์กลาส , ปูนพลาสเตอร์ และ ไนล่อน	24
รูปที่2.4 การติดตั้งก้อนความ ต้านทาน เพื่อวัดความชื้นของดินในเขตราก	25
รูปที่2.5 ค่าเฉลี่ยของความชื้นที่พืชดูดไปจากดินในชั้นต่างๆ	29
รูปที่3.1 แผนผังการทำงานเมื่อใช้เซนเซอร์วัดความชื้น	31
รูปที่3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพิแดนซ์และเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อ่านได้	32
รูปที่3.3 เครื่องวัดความชื้นมาตรฐาน	32
รูปที่3.4 แสดงค่า Xc ที่ความชื้น 0%-20%	33
รูปที่3.5 แสดงค่า Xc ที่ความชื้น 20%-60%	34
รูปที่3.6 แสดงค่า Xc ที่ความชื้น 60%-80%	35
รูปที่3.7 วงจร Peak Detector	36
รูปที่3.8 สัญญาณที่ได้จากวงจร Peak Detector	36
รูปที่3.9 วงจร V to V	37
รูปที่3.10 แผนผังการทำงานของโปรแกรม	43
รูปที่4.1 แสดงการฝังตัวเซนเซอร์	44
รูปที่4.2 แสดงความชื้นที่อ่านได้จากเครื่อง (10%)	45
รูปที่4.3 แสดงความชื้นที่อ่านได้จากเครื่อง (60%)	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่2.1 ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่างๆ 4

ตารางที่2.2 ช่วงวิกฤติในความต้องการน้ำของพืชชนิดต่างๆ 15

ตารางที่2.3 ลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดินที่พืชนำไปใช้ได้ในระดับต่างๆ 18

ตารางที่2.4 ความลึกของรากเมื่อพืชโตเต็มที่และปริมาณน้ำที่พืชต้องการตลอดฤดูกาลปลูก 27

ตารางที่3.1 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น , ค่า Xc , Vdc , Vadc และ Hex Code ที่ได้จากการคำนวน 38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1

บทนำ

ทรัพยากรน้ำเป็นสิ่งที่จำเป็นและสำคัญต่อการดำรงชีวิต การนำเอาน้ำมาใช้จึงต้องคำนึงถึงประโยชน์สูงสุด ในการทำเกษตรกรรมซึ่งต้องใช้น้ำเป็นปัจจัยสำคัญจึงต้องพิจารณาถึงวิธีการให้น้ำที่เหมาะสม การนำเทคโนโลยีการให้น้ำพืชมาใช้จะช่วยประหยัดเวลา และทำให้เกษตรกรมีความสะดวก สำหรับในพื้นที่เพาะปลูกที่ยากลำบากต่อการใช้คนเข้าไปดูแลการให้น้ำพืช

ในการที่จะให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และให้ผลผลิตสูงนั้นจะต้องคอยควบคุมปริมาณความชื้นในดินให้อยู่ในระดับที่พอเหมาะอยู่เสมอเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตของพืช

โครงงานนี้จะเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมการรดน้ำต้นไม้ ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม จุดประสงค์เพื่อให้เกษตรกรใช้งานง่ายที่สุด พร้อมทั้งอธิบายถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำพืช

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาภาษาแอสแซมบลี้ และไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบเครื่อง
2. ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้น้ำพืช เพื่อให้การรดน้ำพืชเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

ขอบเขตของโครงงาน

1. สามารถใช้เซนเซอร์ความชื้นแบบความต้านทาน ตัวเดียวในการอ่านค่าความชื้น
2. สามารถควบคุมการจ่ายน้ำสู่หัวฉีดน้ำแบบสปริงเกลอร์ โดยใช้โซลินอยด์วาล์วเป็นตัวควบคุมการเปิดปิด
3. สามารถเลือกกำหนดเวลาหรือใช้การตรวจวัดความชื้นในดินเป็นเงื่อนไขควบคุมการเปิดปิดโซลินอยด์วาล์วได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 น้ำในดิน (Soil Water)

ปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืชก็คือปริมาณน้ำในดินซึ่งจะต้องอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะไม่มากหรือน้อยเกินไป และการให้น้ำในปริมาณที่พอเหมาะจะต้องทราบชนิดของดินที่ปลูกพืชนั้น เพราะดินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติการอุ้มน้ำที่แตกต่างกันนอกจากนี้ยังต้องทราบลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน เพื่อที่จะให้น้ำได้ในปริมาณที่ทำให้ดินมีความชื้นพอเหมาะกับการปลูกพืชตามต้องการ

2.1.1ชนิดของน้ำในดิน

การเรียงตัวของเมล็ดดินทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดและรูปทรงต่างๆขึ้นเมื่อดินได้รับน้ำ น้ำก็จะเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านี้ และเกาะติดกับเมล็ดดินด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของดินและโมเลกุลของน้ำ (Adhesive Force) และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกัน (Cohesive Force) ซึ่งรวมเรียกว่าแรงดูดซับ (Capillary Force) ถ้าน้ำเข้าไปอยู่เต็มทุกช่องว่างดินลักษณะนี้เรียกว่าดินอิ่มน้ำ(Saturated)และน้ำที่อยู่ในช่องว่างนั้นจะเป็นปริมาตรสูงสุดที่ดินเก็บเอาไว้ได้ ถ้าไม่มีแรงภายนอกมากระทำน้ำจะไหลลงที่ต่ำกว่าเมื่อผลรวมของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำต่อน้ำและน้ำต่อดินน้อยกว่าผลจากแรงดึงดูดของโลกที่มากระทำ น้ำที่ไหลในลักษณะนี้เรียกว่าน้ำอิสระ(Gravitational Water หรือ Free Water) โดยในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำที่อยู่ตรงกลางช่องว่างกับเมล็ดดินจะน้อยกว่าในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก เมื่อดินไม่ได้รับน้ำ น้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่จะระบายออกโดยใช้เวลา 2 – 3 วัน ในดินที่มีการระบายน้ำได้ดีน้ำอิสระจะถูกระบายออกไปหมดก่อนที่จะเป็นอันตรายต่อพืชและ จะมีอากาศเข้ามาแทนที่ ส่วนน้ำในช่องว่างที่มีขนาดเล็กซึ่งไม่ถูกระบายออกด้วยแรงดึงดูดของโลก อาจจะมีการเคลื่อนที่อยู่ด้วยแรงดูดซับ (Capillary Force) น้ำที่อยู่ในช่องว่างที่มีขนาดเล็กนี้เรียกว่าน้ำซับ (Capillary Water) ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ช้ามาก ช้ากว่าน้ำอิสระ และจะไปในทิศทางใดก็ได้ โดยจะเคลื่อนที่ไปสู่จุดที่มีแรงดูดซับมากที่สุดเสมอการสูญเสียน้ำโดยระเหยจากผิวดิน และจากที่พืชดูดเอาไปใช้จะทำให้ความชื้นในดินลดลงจนถึงจุดหนึ่ง ซึ่งน้ำในดินจะไม่เคลื่อนที่อีก เพราะว่าแรงที่น้ำยึดเกาะรอบๆเมล็ดดินจะมากจนกระทั่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำที่ยึดเกาะรอบๆเมล็ดดิน และไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยแรงดึงดูดของโลกหรือแรงดูดซับนี้ เราเรียกว่า น้ำเยื่อ (Hygroscopic Water)

น้ำที่เกี่ยวข้องกับการชลประทานมากที่สุดคือ น้ำอิสระ (Free Water) และน้ำซับ (Capillary Water) ส่วนน้ำเยื่อ (Hygroscopic Water) พืชนำไปใช้ไม่ได้ จึงไม่ค่อยมีความ สำคัญมากนัก

2.1.2 Field Capacity

Field Capacity คือ ปริมาณความชื้นในดินหลังจาก น้ำอิสระ ถูกระบายออกจากช่องว่างขนาดใหญ่ในดินจนกระทั่งการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเกิดขึ้นน้อยมากเพราะน้ำที่เหลืออยู่ในดิน มีการเคลื่อนที่ช้า

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

2.1.3 จุดเหี่ยวเฉาถาวร

จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Witting Point) คือ จุดที่ความชื้นในดินมีปริมาณในระดับที่พืชไม่สามารถดูดน้ำมาใช้ให้เพียงพอกับการคายน้ำและพืชเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร (Permanent Wilting Point)

พืชที่มีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร หมายถึง ถ้านำพืชที่เฉานั้นไปไว้ในห้องที่มีอากาศเย็นและมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ซึ่งพืชจะมีการสูญเสียน้ำน้อยมาก หรือไม่มีการสูญเสียเลย แล้วพืชนั้นยังไม่สดขึ้น

อาการเหี่ยวเฉาของพืชอาจเกิดขึ้นได้หลายครั้ง ก่อนจะถึงจุดที่พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวร เช่น ตอนกลางวันที่มีอากาศร้อนจัด ความชื้นของอากาศต่ำ ลมแรง และ พืชมีใบกว้างลักษณะของอากาศและพืชที่กล่าวนี้ จะทำให้พืชมีการสูญเสียน้ำ โดยการคายน้ำออกทางใบมาก และเมื่ออัตราที่พืชดูดน้ำจากดินน้อยกว่าที่คายออกทางใบ พืชก็จะเหี่ยวเฉาถึงแม้ว่าขณะนั้นดินจะมีความชื้นอยู่มากก็ตาม แต่เมื่ออากาศเย็นลงพืชก็จะสดชื่นตามเดิมจะเห็นได้ว่าอาการเหี่ยวเฉาของพืชไม่ว่าจะเป็นการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรหรือชั่วระยะเวลาหนึ่งนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำของพืชความลึกและการแผ่กระจายของรากพืช ปริมาณความชื้นในดินตลอดจนความสามารถของดินที่จะเก็บน้ำไว้ให้พืชใช้ได้

หลังจากที่ความชื้นในดินลดลงถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวรแล้ว พืชยังอาจจะยังดูดความชื้นจากดินได้อีกถึงแม้ว่าจะเป็นปริมาณไม่มากนัก กล่าวคือความชื้นที่ได้นี้ไม่มากพอที่จะทำให้พืชเจริญเติบโตขึ้น แต่จะสามารถหล่อเลี้ยงชีวิตพืชให้อยู่ต่อไปได้อีกช่วงสั้นๆช่วงหนึ่งจนกว่าจะได้รับน้ำมาเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดินที่มีแต่น้ำเยื่อเหลืออยู่นี้เรียกว่า ความชื้นที่ Ultimate Wilting Point ความชื้นในดินจากจุดเหี่ยวเฉาถาวรถึง Ultimate Wilting Point เรียกว่า Wilting Rangeซึ่งเป็นความชื้นที่พืชเริ่มเหี่ยวเฉาจากใบที่แก่ที่สุด จนกระทั่งเหี่ยวหมดทั้งต้นเมื่อความชื้นในดินถึง Ultimate Wilting Point

2.1.4 ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture)

น้ำในรูปของความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับการเจริญเติบโตก็คือ น้ำซับ ซึ่งอยู่ระหว่าง Field Capacity กับจุดเหี่ยวเฉาถาวร ดังนั้นผลต่างระหว่างความชื้นในดินสองค่านี้ก็คือความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture)

ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้นี้มักจะวัดเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือเป็นความลึกของน้ำ เช่น ดินร่วน(Loam) มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 1.5มิลลิเมตรต่อความลึกของดิน 1 เซนติเมตรเป็นต้น หน่วยทั้งสามนี้สามารถเปลี่ยนจากหน่วยหนึ่งเป็นอีกหน่วยหนึ่งได้ถ้าทราบความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินขนาดของเมล็ดดิน หรือเนื้อดินจะมีผลต่อปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มากหรือน้อย เช่นในดินที่มีเนื้อดินที่มีเนื้อละเอียดจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มากกว่าดินที่มีเนื้อหยาบ อย่างไรก็ตามดินทรายบางชนิดอาจมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้มากกว่าดินเหนียว ทั้งนี้เพราะดินที่มีเนื้อละเอียดมากๆ จะมีน้ำที่ยึดอยู่รอบๆเมล็ดดินซึ่งพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้เป็นจำนวนมากด้วย

ตารางที่2.1 ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่างๆ

เนื้อดิน	นิ้วน้ำ/ฟุตดิน	ม.ม. น้ำ/ซม. ดิน
เนื้อหยาบมาก เช่น ทรายหยาบมาก	0.40-0.75	0.35-0.65
เนื้อหยาบ เช่น ทรายหยาบ ทรายละเอียด และดินทรายปนดินร่วน	0.75-1.25	0.65-1.00
เนื้อค่อนข้างหยาบ เช่น ดินร่วนปนทราย และดินร่วนปนทรายละเอียด	1.25-1.75	1.00-1.50
เนื้อปานกลาง เช่น ดินร่วนปนทรายละเอียดมาก	1.50-2.30	1.20-1.90
ดินร่วนและดินร่วนปนตะกอนทราย เนื้อค่อนข้างละเอียด เช่น ดินร่วนปนดินเหนียว	1.75-2.50	1.50-2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อดิน	นิ้วน้ำ/ฟุตดิน	ม.ม. น้ำ/ซม. ดิน
ดินร่วนปนดินเหนียวปนตะกอนทราย และดินร่วนปนดินเหนียวปนทราย เนื้อละเอียดมาก เช่น ดินเหนียวปนทราย	1.60-2.50	1.30-2.10
ดินเหนียวปนตะกอนทราย และเหนียว ดินที่เกิดจากการเน่าผุของพืชและ มูลสัตว์	2.00-3.00	1.70-2.50

ในดินทรายที่มีการระบายน้ำได้ดีมักจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะว่าที่ Field Capacity น้ำที่บรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินซึ่งส่วนมากมีขนาดใหญ่จะถูกระบายออกไปจนหมด จึงมีความชื้นที่เก็บไว้ได้น้อย ดินที่มีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มาก มักจะเป็นดินที่มีเม็ดดินขนาดปานกลางหรือค่อนข้างละเอียด เช่นดินที่ประกอบขึ้นด้วยตะกอนทราย (Slit) เป็นส่วนใหญ่ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่างๆ จะดูได้จากตารางที่ 2.1

ตามปรกติแล้วเรามักจะมองข้ามน้ำอิสระไป โดยถือว่าพืชไม่ได้ใช้น้ำส่วนนี้แต่ตามความเป็นจริงแล้วพืชอาจใช้น้ำอิสระได้มากเหมือนกัน เช่น ในการให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler Irrigation) ซึ่งน้ำจะซึมจากผิวดินและทำให้ดินชั้นบนอิ่มน้ำก่อนที่การให้น้ำนั้นจะเสร็จ ขณะที่ดินชั้นบนอิ่มน้ำนี้รากพืชตอนบนจะดูดน้ำอิสระไปใช้ได้บ้างแต่จะเป็นปริมาณมากน้อยเท่าไรนั้นย่อมขึ้นอยู่กับว่าดินจะระบายน้ำออกจนเหลือเป็นความชื้นที่ Field Capacity โดยใช้เวลาเท่าใด และความถี่ในการให้น้ำนั้นบ่อยครั้งแค่ไหน แต่เนื่องจากว่าโอกาสที่พืชจะดูดไปใช้มีไม่มากนัก ดังนั้นน้ำส่วนนี้จึงมักจะไม่นำเข้ามาพิจารณา โดยถือว่าเป็นส่วนน้อยที่ตัดทิ้งได้

2.1.5การเคลื่อนที่ของน้ำในดิน

การหาทิศทางการไหลของน้ำในดินนั้นเป็นเรื่องที่ค่อนข้างจะยุ่งยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อดินนั้นไม่อิ่มน้ำ ทั้งนี้เพราะน้ำที่ไหลนั้นอาจจะอยู่ในสภาพของของเหลวหรือไอน้ำ และแรงที่ทำให้เกิดการไหลอาจจะเนื่องมาจากแรงดึงดูดของโลก แรงดูดซับ หรือเนื่องมาจากความร้อนก็ได้กล่าวคือ แรงดึงดูดของโลกจะทำให้น้ำไหลลงในแนวดิ่ง แรงดูดซับทำให้น้ำไหลในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินในทิศทางใดก็ได้ ส่วนความร้อนทำให้น้ำกลายเป็นไอน้ำและแพร่กระจายผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างเมล็ดดินอัตราการไหลของน้ำอิสระ (Free Water) ในดินส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับขนาดและความต่อเนื่องกันของช่องว่างระหว่างเมล็ดดิน โดยปรกติแล้วมันจะไหลในช่องว่างที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่ำ (Low Permeability) ขวางอยู่ เช่นมีดินชั้นดินเหนียวแทรกตัวอยู่ในชั้นดินทรายเป็นต้น ในกรณีที่มีชั้นดินทรายแทรกอยู่ในดินเหนียว น้ำที่ซึมลงมาจากชั้นดินเหนียวจะหยุดอยู่ตรงผิวสัมผัสระหว่างดินทั้งสองชั่วระยะเวลาหนึ่ง ทั้งนี้เพราะว่าช่องว่างระหว่างเม็ดดินทั้งสองมีขนาดแตกต่างกัน จึงทำให้ไม่เกิดความต่อเนื่องในการไหล แต่เมื่อน้ำนั้นไหลเข้ามาบรรจุจนเต็มช่องว่างที่มีขนาดใหญ่แล้วการไหลซึมของน้ำก็จะดำเนินไปตามปกติ

ขณะที่ให้น้ำแก่ดินน้ำจะเคลื่อนตัวแผ่ออกไปเป็นแนว ดินส่วนที่อยู่ใกล้จุดที่ให้น้ำหรือสัมผัสกับน้ำจะอิ่มตัวด้วยน้ำ ส่วนที่อยู่ถัดต่อมาจะมีความชื้นน้อยลง และจะมีการเปลี่ยนความชื้นอย่างรวดเร็ว คือจากความชื้นใกล้จุดอิ่มตัวด้วยน้ำถึงความชื้นของดินเดิมในแนวที่น้ำแผ่กระจายไปถึงแนวที่น้ำแผ่กระจายออกไปนี้จะเห็นได้ชัดถ้าดินนั้นแห้ง การเคลื่อนที่ของน้ำซับนั้นนั้นมาจากความแตกต่างของแรงดึงระหว่างน้ำซึ่งเกาะอยู่รอบๆเม็ดดินที่มีความหนาต่างกัน น้ำจะเคลื่อนที่จากเม็ดดินที่มีน้ำเกาะอยู่หนาไปสู่เม็ดดินที่มีน้ำเกาะบางกว่า ถ้าหากแรงที่ทำให้น้ำเคลื่อนที่นี้คิดเป็นแรงดึง น้ำซับก็จะไหลจากจุดที่มีแรงดึงน้อยไปสู่จุดที่มีแรงดึงมากกว่า ในดินที่เปียกหรืออิ่มน้ำน้ำจะเคลื่อนที่ในดินทรายได้ดีกว่าในดินเหนียว แต่ในดินแห้งน้ำจะเคลื่อนที่ในดินเหนียวได้เร็วกว่าในดินทราย ทั้งนี้เพราะว่าในขณะที่มีน้ำอยู่ในดินเป็นปริมาณมาก น้ำย่อมจะไหลในดินที่มีช่องว่างขนาดใหญ่ได้เร็วกว่า แต่เมื่อดินนั้นแห้ง น้ำจะไหลไม่เต็มช่องว่างที่มีขนาดใหญ่ น้ำจึงต้องเคลื่อนตัวไปบนผิวของเม็ดดินซึ่งทำให้ไหลช้ามาก สำหรับดินที่มีช่องว่างขนาดเล็กน้ำจะยังคงไหลได้เต็มช่องว่าง ดังนั้นในดินแห้ง น้ำซับจึงเคลื่อนที่ในดินเหนียวได้เร็วกว่าในดินทราย

ความร้อนทำให้น้ำในดินเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ ขณะที่ไอน้ำแพร่กระจายผ่านดินน้ำที่ผิวดินอาจจะกลั่นตัวเป็นน้ำและขังอยู่ในดิน หรือไหลออกมาสู่บรรยากาศในรูปของไอน้ำก็ได้ ขณะที่น้ำระเหยจากผิวดิน ดินชั้นบนจะแห้งและก่อให้เกิดแรงดึงความชื้นขึ้น น้ำซับจากดินชั้นที่อยู่ต่ำลงมาซึ่งมีความชื้นมากกว่าก็จะไหลขึ้นมาแทนที่ การระเหยนี้จะมีต่อไปเรื่อยๆจนกระทั่งความหนาของชั้นดินแห้งบนผิวดินมากขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำในลักษณะดังกล่าวก็จะหมดไป แต่อาจจะยังมีการสูญเสียน้ำจากดินได้อีกในรูปของไอน้ำที่แพร่กระจายผ่านชั้นดินที่แห้งขึ้นมา

2.1.6ดินเก็บน้ำไว้ได้อย่างไร

ดังได้อธิบายไว้ในตอนแรกแล้วว่า เมื่อให้น้ำแก่ดิน น้ำก็จะไหลซึมเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินและยึดติดกับเม็ดดินด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของเม็ดดิน (Adhesive Force) และแรงดึงระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกัน (Cohesive Force) รวมเป็นแรงดูดซับ (Capillary Force) ดังนั้นการที่จะทำให้น้ำในดินเคลื่อนที่หรือดูดน้ำออกจากดินต้องใช้แรงที่มากกว่าแรงดังกล่าวนี้ ขนาดของแรงที่จะใช้ซึ่งอยู่ในรูปของแรงดึง จะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน กล่าวคือถ้าดินยิ่งมีความชื้นมากเท่าใดน้ำที่เกาะอยู่รอบๆเม็ดดินก็จะหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงที่มากกว่าแรงดังกล่าวนี้ ขนาดของแรงที่จะใช้ซึ่งอยู่ในรูปของแรงดึง จะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน กล่าวคือถ้าดินยิ่งมีความชื้นมากเท่าใดน้ำที่เกาะอยู่รอบๆเมล็ดดินก็จะหนามากขึ้น โมเลกุลของน้ำที่อยู่ห่างจากเมล็ดดินมากก็จะไม่ได้รับอิทธิพลจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำกับดิน ดังนั้นน้ำในส่วนนี้จะถูกทำให้เคลื่อนที่ด้วยแรงดึงดูดของโลกหรือไหลไปสู่เมล็ดดินที่มีน้ำเกาะอยู่บางกว่าได้ง่ายแต่เมื่อความชื้นในดินลดลง แรงยึดเหนี่ยวจากโมเลกุลดินก็จะมีอิทธิพลมากขึ้น ดังนั้นการที่จะดึงน้ำจากการยึดของดินจึงต้องใช้แรงมากขึ้น

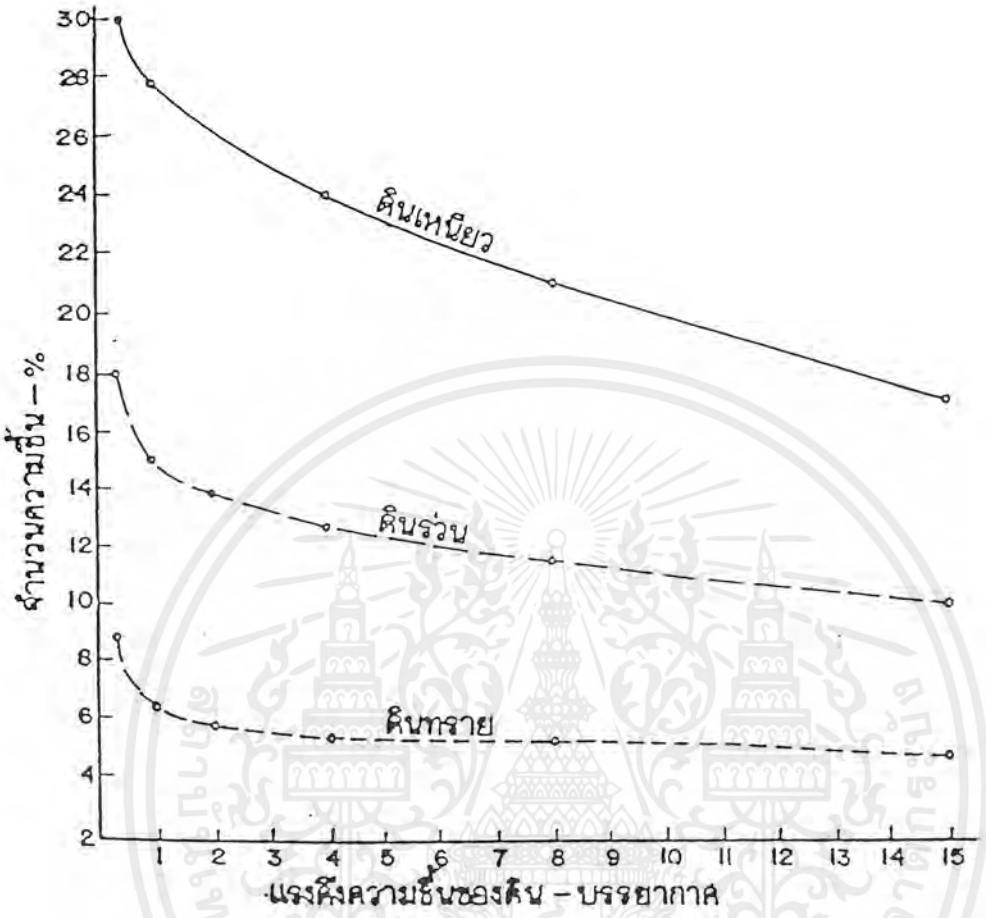
2.1.7แรงดึงความชื้น (Soil Moisture Tension)

แรงดึงความชื้น คือแรงที่ใช้วัดความเหนียวแน่นที่ดินยึดน้ำเอาไว้ และเป็นแรงที่จะต้องใช้เพื่อจะดูดน้ำออกจากดินต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ หน่วยที่ใช้วัดแรงดึงความชื้นมักจะวัดเป็นบรรยากาศ (ความกดดันของอากาศที่ระดับน้ำเฉลี่ยที่อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส) 1 บรรยากาศจะมีค่าเท่ากับความกดดัน 14.71 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือแท่งน้ำสูง 34.01 ฟุต หรือ 1,036 เซนติเมตร

ค่าแรงดึงความชื้นไม่ได้เป็นสิ่งที่แสดงปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในดิน หรือบอกปริมาณน้ำที่จะสามารถดูดออกจากดินได้ แต่จะบอกถึงความยากง่ายที่พืชจะดูดน้ำจากดินไปใช้ได้ เพราะว่าปริมาณน้ำในดินจะขึ้นอยู่กับเนื้อดินและโครงสร้างของดิน โดยทั่วๆไปแล้วน้ำในดินทรายจะถูกระบายออกเกือบหมด โดยใช้แรงดึงความชื้นเพียงเล็กน้อย แต่ดินที่มีเนื้อละเอียด เช่น ดินเหนียวจะยังคงมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมากถึงแม้ว่าแรงดึงความชื้นจะมีค่าสูงในขณะที่พืชซึ่งปลูกในดินชนิดอื่นที่มีแรงดึงความชื้นขนาดนั้นจะแสดงอาการเหี่ยวเฉาแล้วก็ตาม

ถ้าหากต้องการจะทราบว่าดินเก็บน้ำไว้ได้เป็นปริมาณมากน้อยเท่าใดเมื่ออยู่ภายใต้แรงดึงความชื้นขนาดต่างๆกัน ก็สามารถดูจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับแรงดึงความชื้นกับแรงดึงความชื้นดังแสดงในรูปที่ 2.1 กราฟดังกล่าวนี้เรียกว่ากราฟแสดงลักษณะการอุ้มน้ำของดิน (Soil Moisture Characteristic Curve หรือ Soil Moisture Extraction Curve) กราฟนี้จะแสดงให้เห็นถึงความยากง่ายที่จะดึงความชื้นออกจากดิน และแสดงให้เห็นถึงปริมาณความชื้นที่ยังเหลืออยู่เมื่อได้รับแรงดึงความชื้นขนาดต่างๆแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นและจำนวนความชื้นที่เหลืออยู่ในดิน

จากรูปข้างต้นนี้จะเห็นได้ว่า ดินเหนียวยังคงระบายน้ำออกจากดินอย่างสม่ำเสมอเมื่อแรงดึงความชื้นมากขึ้น ส่วนดินทรายจะระบายออกเกือบหมดเมื่อได้รับแรงดึงความชื้นเพียงเล็กน้อย สำหรับดินร่วนนั้นอยู่ระหว่างดินเหนียวกับดินทราย

แรงดึงความชื้นดังที่ได้อธิบายมานี้ถือว่าน้ำในดินนั้นเป็นน้ำบริสุทธิ์ ถ้าหากว่าน้ำในดินมีเกลือละลายอยู่น้ำดังกล่าวจะมีความข้นเหนียว (Viscosity) เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้ต้องเพิ่มแรงดึงขึ้นอีกถ้าจะดูดน้ำออกจากดินในปริมาณเท่าเดิม สำหรับพืชก็จะดูดน้ำส่วนนี้ไปใช้ได้น้อยลง ทั้งนี้เพราะรากพืชมีความสามารถดูดน้ำจากดินไปใช้ได้ด้วยแรงดึงความชื้นระดับหนึ่ง เมื่อน้ำในดินมีความข้นเหนียวมากขึ้น พืชก็จะต้องเพิ่มแรงดึงความชื้นขึ้น แรงดึงความชื้นของรากพืชนั้นเกิดจาก Osmotic Pressure ซึ่งมีหลักการอยู่ว่า ถ้ามีสารละลายสองชนิดซึ่งมีความเข้มข้นต่างกันถูกกั้นไว้ด้วยเซลล์พืชบางๆซึ่งไม่ยอมให้สารที่ถูกละลายผ่านไปได้ น้ำจะไหลจากสารละลายที่มีความเข้มข้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Osmotic Pressure ซึ่งมีหลักการอยู่ว่า ถ้ามีสารละลายสองชนิดซึ่งมีความเข้มข้นต่างกันถูกกั้นไว้ด้วยเซลล์พืชบางๆซึ่งไม่ยอมให้สารที่ถูกละลายผ่านไปได้ น้ำจะไหลจากสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า แรงที่ทำให้เกิดการไหลของน้ำผ่านเซลล์ผืนบางๆต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ในลักษณะเช่นที่กล่าวนี้เรียกว่า Osmotic Pressure

น้ำในดินซึ่งอยู่ในพื้นที่เพาะปลูกมักจะมีเกลือละลายอยู่ด้วย ความเข้มข้นของเกลือในดินนี้ทำให้เกิดความต้านทานแรงดูดน้ำของรากพืชทั้งนี้เพราะว่าพืชจะต้องใช้แรงดึงดูดทั้งหมดเท่ากับแรงดึงความชื้นรวมกับ Osmotic Pressure ของน้ำในดิน เช่นถ้าดินมีแรงดึงความชื้น 1บรรยากาศแต่น้ำในดินมีเกลือมากและมี Osmotic Pressure เท่ากับ10 บรรยากาศ พืชจะต้องใช้แรงดึงความชื้นเท่ากับ 11บรรยากาศจึงจะดูดน้ำไปใช้ได้ เนื่องจากว่าความชื้นของดินที่ Field Capacity และ จุดเหี่ยวเฉาถาวรเป็นความชื้น ณ.จุดที่น้ำจำนวนหนึ่งถูกระบายออกไปแล้ว เราอาจหาความชื้นทั้งสองค่านี้ในห้องทดลองได้โดยการนำตัวอย่างดินมาทำให้อิ่มน้ำ แล้วทำให้ดินได้รับแรงดึงความชื้นหรือดูดน้ำออกในขนาดที่ทำให้น้ำอิสระระบายออกไปหมด สำหรับการหาความชื้นที่ Field Capacity และดูดน้ำออกจนความชื้นที่เหลืออยู่ในดินทำให้พืชเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร สำหรับการหาความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร

แรงดึงความชื้นที่ จุดเหี่ยวเฉาถาวร มีค่าประมาณตั้งแต่ 7 ถึง 40 บรรยากาศ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำของพืช ความหนาแน่นและการแผ่กระจายของรากพืช โครงสร้างของดิน เนื้อดินและปริมาณเกลือในดิน ถ้าหากอุณหภูมิและอัตราการใช้น้ำของพืชสูง อาการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรของพืชก็อาจเกิดขึ้นได้ในขณะที่แรงดึงความชื้นไม่มากนัก (ความชื้นในดินยังสูงอยู่) อย่างไรก็ตาม ณ. จุดเหี่ยวเฉาถาวรความชื้นที่เหลืออยู่ในดินจะมีปริมาณน้อยมาก ถึงแม้ว่าจะเพิ่มแรงดึงความชื้นมากขึ้นเท่าไร ปริมาณความชื้นที่เหลืออยู่ในดินก็จะไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นโดยทั่วไปจะถือว่าความชื้นในดิน ณ.แรงดึงความชื้น 15 บรรยากาศเป็นความชื้นที่จุดเหี่ยวเฉาถาวร

2.1.8การหาปริมาณความชื้นในดิน

การหาปริมาณความชื้นในดิน ถึงแม้ว่าจะเป็นงานที่ต้องใช้เวลาและสิ้นเปลืองมากแต่ก็เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในงานชลประทาน การหาปริมาณความชื้นตามปกติจะทำได้โดยการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกที่ต้องการแล้วบรรจุในกระป๋องเก็บตัวอย่างซึ่งมีฝาปิดมิดชิด โดยน้ำหนักดินจะต้องไม่น้อยกว่า 100 กรัม จากนั้นนำดินมาชั่งและอบแห้งในเตาซึ่งมีอุณหภูมิ 105 ถึง 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24ชั่วโมงหรือจนกว่าดินจะแห้งทั่วถึงกัน นำมาชั่งใหม่น้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในดิน

หน่วยวัดปริมาณความชื้นในดินมี 2 อย่างคือ 1.คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง 2.คิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรของดินแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนัก เหมาะสำหรับการหาปริมาณความชื้นเมื่อไม่ทราบปริมาตรของตัวอย่างดินที่เก็บมา หรือเมื่อทราบความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินแล้วการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนักทำได้ โดยใช้สมการ

$$Pw = (Ww / Ws) * 100 \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อ Pw = เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเทียบกับน้ำหนักของดินแห้ง

Ww = น้ำหนักของน้ำในดิน

Ws = น้ำหนักของดินอบแห้ง

2.เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยปริมาตร จะต้องรู้ปริมาตรของดินโดยอาจใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดิน (Soil Core Sampler) ก็ได้ แล้วใช้สมการ

$$Pv = (Vw / Vs) * 100 \quad \text{.....(2)}$$

เมื่อ Pv = เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเทียบกับปริมาตรของดินทั้งก้อน

Vw = ปริมาตรของน้ำในดิน

Vs = ปริมาตรของก้อนดิน

ถ้าการเก็บตัวอย่างทำโดยการใช้กระบอกเก็บตัวอย่างซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเท่ากับ A ดังนั้นปริมาตรของน้ำในดินจะเท่ากับ d.A และปริมาตรก้อนดินเท่ากับ D.A เมื่อ d และD คือความลึกของน้ำที่อยู่ในดินและความลึกของแท่งดินตามลำดับ จากสมการ (2) จะได้ว่า

$$Pv = ((d.A) / (D.A)) * 100$$

หรือ $$d = (Pv / 100) * D \quad \text{.....(3)}$$

ในกรณีที่ทราบค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏหรือ Bulk Density ของดินแล้ว การหาปริมาณความชื้นของดินเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะง่ายขึ้น โดยทำการหาความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักซึ่งสะดวกกว่าเสียก่อน แล้วใช้สูตร

$$Pv = Pw*As \quad \text{.....(4)}$$

เมื่อ As เป็นความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน หรือเมื่อต้องการหาความลึกของน้ำในดิน ก็แทนค่า Pv ในสมการ (4) ลงในสมการ (3) ก็จะได้

$$d = (Pw/100)*As*D \quad \text{.....(5)}$$

ในงานชลประทานบนแปลงเพาะปลูก ปริมาณความชื้นที่พืชเอาไปใช้ได้มักจะใช้หน่วยเป็นความลึกของน้ำต่อหนึ่งหน่วยความลึกของดิน เมื่อต้องการทราบปริมาณน้ำที่ต้องให้แก่พืชเป็นปริมาณเท่าไรก็เอาความลึกของเขตราก คูณกับค่าปริมาณความชื้นที่ต้องการ ก็จะทราบความลึกของน้ำที่ต้องให้แก่พืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ดินในเขตรากมีเนื้อดินไม่สม่ำเสมอกันตลอด (มีความถ่วงจำเพาะต่างกัน) การคำนวณหาความชื้นต้องกระทำเป็นชั้นๆ แล้วจึงนำเอาความชลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินในแต่ละชั้นมารวมกันเป็นความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินทั้งหมด

2.2 การให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler Irrigation)

สำหรับการให้น้ำแบบฉีดฝอยนี้จะทำให้ฉีดน้ำจากหัวฉีดขึ้นไปบนอากาศแล้วให้เมล็ดน้ำตกลงบนพื้นที่เพาะปลูก โดยมีรูปทรงการแผ่กระจายของเมล็ดน้ำสม่ำเสมอ และอัตราที่น้ำตกลงพื้นที่น้ำกว่าอัตราการซึมของน้ำเข้าไปในดิน เนื่องจากการให้น้ำโดยวิธีนี้มีลักษณะอาการเช่นเดียวกับฝน ดังนั้น บางทีจึงเรียกการให้น้ำแบบนี้ว่าการให้น้ำแบบฝนโปรย

2.2.1 การเลือกใช้การให้น้ำแบบฉีดฝอย

โดยแท้จริงแล้วการให้น้ำแบบฉีดฝอยนี้สามารถใช้ได้กับพืชและดินทุกชนิด แต่เนื่องจากว่าค่าลงทุนสูงมาก จึงมักเลือกใช้วิธีนี้เมื่อวิธีอื่นๆ ไม่สามารถจะใช้ได้ หรือใช้ได้แต่ให้ประสิทธิภาพต่ำมาก สรุปได้ว่าการชลประทานแบบฝอยจะเหมาะกว่าแบบอื่น เมื่อสภาพของพื้นที่ ดิน และองค์ประกอบอื่นๆ มีลักษณะดังต่อไปนี้ คือ

1) ดินมีอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินสูงมาก กล่าวคือสูงกว่า 75 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงซึ่งจะทำให้การให้น้ำแบบอื่นมีประสิทธิภาพต่ำ

2) ความลึกของชั้นดินที่เป็นประโยชน์ต่อพืชตื้นมาก และลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่ไม่เหมาะที่จะทำการปรับพื้นให้น้ำทางผิดดิน

3) พื้นที่มีความลาดเทชันมาก และดินถูกกัดพาได้ง่าย

4) อัตราการส่งน้ำจากโครงการชลประทานมายังพื้นที่เพาะปลูก หรือน้ำจากแหล่งอื่นที่หาได้น้อยเกินไปที่จะให้น้ำทางผิวดินได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5) พื้นที่เป็นคลื่น ซึ่งถ้าจะทำการปรับพื้นที่เพื่อการให้น้ำทางผิวดินแล้วต้องการทุนสูงมาก

6) ผู้ให้น้ำไม่มีความรู้ความชำนาญทางด้านการให้น้ำทางผิวดิน

7) ต้องการใช้พื้นที่ที่เกิดผลผลิตโดยเร็ว การให้น้ำแบบฉีดฝอยนี้สามารถออกแบบและติดตั้งได้รวดเร็วมาก

การให้น้ำแบบฉีดฝอยนอกจากจะเหมาะสมกับสภาพของพื้นที่ คุณสมบัติของดินฯลฯ ดังกล่าวแล้ว ยังมีข้อดีหลายประการเมื่อเปรียบเทียบกับการชลประทานแบบผิวดิน คือ

1) การวัดน้ำทำได้ง่ายและสะดวกกว่า

2) สามารถที่จะออกแบบระบบที่ให้น้ำให้มีความกระทบกระเทือนต่อการปฏิบัติงานในพื้นที่เพาะปลูกได้น้อยกว่า เช่นไม่มีคู คลองส่งน้ำมากีดขวางการปฏิบัติงานของเครื่องจักรกลเกษตร นอกจากนั้นยังไม่ต้องเสียพื้นที่ สำหรับคูคลองส่งน้ำอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) มีประสิทธิภาพในการให้น้ำสูง

4) ในกรณีที่ต้องสูบน้ำขึ้นมาจากคลองส่งน้ำหรือบ่อบาดาลอยู่แล้ว การใช้การให้น้ำแบบฉีดฝอยจะไม่ต้องลงทุนเพื่อเพิ่มความดันของน้ำที่หัวฉีดอีกมาก

5) ถ้าหากมีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำแห่งเดียวกันเพื่อวัตถุประสงค์อย่างอื่นด้วย เช่นใช้เลี้ยงสัตว์หรือใช้ในบ้าน ก็อาจจะใช้ท่อส่งน้ำร่วมกันได้

6) ถ้าหากสามารถส่งน้ำซึ่งมีแรงดันสุงพอไปยังพื้นที่เพาะปลูกโดยอาศัยแรงดึงดูดของโลกได้ด้วยแล้วการให้น้ำวิธีนี้ก็จะยิ่งน่าใช้มากขึ้น เพราะจะสามารถลดค่าเชื้อเพลิงลงได้มาก

7) การให้น้ำแบบฉีดฝอยสามารถให้น้ำครั้งละน้อยๆ และบ่อยครั้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้เหมาะสมกับพืชที่มีรากตื้น เช่น พืชที่เริ่มงอก หรือพวกผักต่างๆ ซึ่งมีรากตื้นและต้องการให้ดินมีความชุ่มชื่นสูงอยู่เสมอ

8) ระบบให้น้ำแบบนี้อาจจะใช้ให้ปุ๋ยและสารเคมีแก่พืชในขณะเดียวกันกับให้น้ำได้ด้วย

9)ในภูมิประเทศที่มีอากาศหนาวจัด ระบบให้น้ำแบบฉีดฝอยอาจจะใช้ป้องกันความเสียหากการการแข็งตัวของพืชเมื่ออุณภูมิของบรรยากาศลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งได้ด้วย

สำหรับข้อเสียของการให้น้ำแบบฉีดฝอยก็มี

1) ค่าลงทุนครั้งแรกสูงมาก นอกจากนั้นยังจะต้องเสียค่าเชื้อเพลิงหรือไฟฟ้าในการให้น้ำทุกครั้ง และยังมีอุปกรณ์ซึ่งต้องบำรุงรักษาอยู่ประจำอีกด้วย

2) การเคลื่อนย้ายท่อและอุปกรณ์เพื่อนำไปใช้ในพื้นที่อื่นหลังจากที่ให้น้ำแก่พืชเสร็จแล้วอาจจะทำได้สะดวก เพราะดินจะเปียกและเป็นโคลน โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าเป็นพวกดินเหนียว

3) การให้น้ำแก่พืชโดยให้เมล็ดน้ำตกลงบนผิวดินอย่างทั่วถึงกันนั้น อาจทำให้เมล็ดของพืชต่างๆ งอกงาม และจะต้องมีการกำจัดวัชพืชมากขึ้น

4) เมล็ดน้ำที่ตกลงมาบนต้นและใบพืชจะชะล้างยาฆ่าแมลงที่ฉีดไว้ออกไปด้วย ดังนั้นการฉีดยาเหล่านี้จะต้องทำภายหลังจากการให้น้ำแล้ว

5) เนื่องจากว่าน้ำจะเปียกผิวดิน ตลอดจนกิ่ง ใบ และลำต้นของพืชจนทั่ว ดังนั้นการให้น้ำแบบนี้จะมีการสูญเสียน้ำไปโดยการระเหยมากกว่าแบบอื่นๆ

6) การแผ่กระจายของเมล็ดน้ำที่ตกลงบนผิวดินจะไม่สม่ำเสมอถ้าหากมีลมพัดแรง ทำให้ประสิทธิภาพในการให้น้ำลดลง อาจจะต้องมีการออกแบบเป็นพิเศษถ้าจะเลือกใช้วิธีการให้น้ำแบบนี้ในเขตที่มีลมพัดแรงเป็นประจำ

7) ในกรณีที่มีความจำเป็นจะต้องให้น้ำแก่พืชที่ทั้งหมดในระยะเวลาอันสั้น เช่น ขณะที่ต้นพืชยังเล็กอยู่และอากาศร้อนจัดซึ่งจะต้องให้บ่อยครั้ง สภาพดังกล่าวนี้อาจจะเคลื่อนย้ายอุปกรณ์และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้น้ำไม่ทันกับความต้องการ แต่ถ้าหากมีน้ำมากพออยู่แล้ว การให้น้ำทางผิวดินจะสามารถให้น้ำในระยะเวลาอันสั้นได้ง่ายและรวดเร็วกว่า

2.3 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช

ในการชลประทาน หรือการให้น้ำแก่พืชเพื่อให้พืชเจริญเติบโต และให้ผลตอบแทนสูงนั้น เรามักจะพบกับปัญหาซึ่งเป็นวัวหัวใจของการชลประทานอยู่เสมอคือ เมื่อไรจึงควรจะให้น้ำแก่พืช และให้เป็นปริมาณมากน้อยเท่าใด ถ้าหากทราบคำตอบทั้งสองข้อนี้ก็ย่อมเป็นที่แน่ใจได้ว่า การชลประทานนั้นจะสัมฤทธิ์ผลโดยการเพิ่มผลผลิตขึ้นได้อย่างแน่นอน แต่ก่อนที่จะให้คำตอบนี้ได้เราจำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับพืช ดิน และน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของการชลประทานเสียก่อน สิ่งที่เราต้องการทราบก็มี

1) ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ระยะเวลาต่างๆ ตลอดอายุของมัน

2) ความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก

3) ปริมาณน้ำที่หามาทำการชลประทานได้ และกำหนดเวลาที่จะได้รับน้ำนั้น

ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ระยะเวลาต่างๆ ตลอดอายุของมัน และความสามารถและสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก เป็นข้อมูลสำคัญเบื้องต้นซึ่งจะต้องนำมาใช้หาความถี่ในการให้น้ำและปริมาณที่จะต้องให้ในแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งเราไม่สามารถจะให้แก่พืชได้เต็มจำนวนตามที่มันต้องการเสมอไปเนื่องจากว่าน้ำที่มีอยู่นั้นมีจำนวนจำกัด หรือในขณะที่พืชกำลังต้องการน้ำนั้นยังไม่ถึงกำหนดส่งน้ำจากโครงการชลประทาน ดังนั้น จึงต้องทราบด้วยว่าจะมีน้ำที่สามารถให้แก่พืชได้อย่างแน่นอนเท่าไรและมีเป้าหมายกำหนดส่งน้ำอย่างไร เพื่อที่ว่าจะได้จัดเวลาที่ยอมให้พืชขาดน้ำอยู่ในช่วงที่จะกระทบกระเทือนต่อผลผลิตน้อยที่สุด หรือถ้ามีน้ำมากพอแต่การส่งน้ำนั้นไม่ตรงกับที่พืชต้องการ ก็จะได้จัดเตรียมเก็บกักน้ำไว้ใช้ในช่วงที่มิได้มีการส่งน้ำด้วย

2.3.1 พืชกับการกำหนดการให้น้ำ

พืชที่กำลังเจริญเติบโตย่อมมีการให้น้ำอยู่ตลอดเวลา อัตราการใช้น้ำจะขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิและสภาพภูมิอากาศอื่นๆ การให้น้ำแก่พืชในแต่ละครั้งปริมาณที่ให้ควรจะมากพอกับความต้องการของพืชไปจนกว่าจะถึงกำหนดให้น้ำคราวหน้า ซึ่งอาจจะมีระยะเวลาตั้งแต่สองสามวันจนถึงสองสามอาทิตย์ ความถี่ในการให้น้ำเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องพิจารณากันอย่างรอบคอบเพราะว่าพืชบางชนิดเช่น พวกผักต่างๆ ต้องการให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลา ถ้าดินแห้งผลผลิตจะต่ำหรือมีคุณภาพเลวลง แต่พืชบางชนิด เช่น ส้มและไม้ผลอื่นๆ อีกหลายอย่างต้องให้มีการขาดน้ำบ้างเล็กน้อยเสียก่อนจึงจะออกดอกออกผล ดังนั้น การกำหนดความถี่ในการให้น้ำจึงจำเป็นต้องทราบอุปนิสัยของพืชที่ปลูกด้วย โดยทั่วไปแล้วการกำหนดเวลาที่ควรจะให้น้ำแพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจทำได้สองแบบคือโดยการสังเกตลักษณะอาการของพืชและโดยการพิจารณาจากจำนวนความชื้นที่ยังเหลืออยู่ในดิน

การกำหนดการให้น้ำโดยสังเกตจากลักษณอาการของพืชนั้นสามารถใช้ได้กับพืชเพียงบางชนิด เช่นพืชที่มีรากเป็นจังหวะแสดงอาการเหี่ยวเฉาเมื่อเริ่มขาดน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตอนบ่ายที่มีอากาศร้อนจัด ถั่ว ฝ้าย เมื่อเริ่มมีการขาดน้ำใบอ่อนของมันจะมีสีเขียวเข้มขึ้นกว่าปกติ สำหรับผลไม้ไม่ควรกำหนดการให้น้ำโดยวิธีนี้ เพราะกว่าจะสังเกตพบพืชอาจจะขาดน้ำติดต่อกันเป็นเวลานานหลายวันแล้ว ซึ่งจะทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพและปริมาณลดลง

พืชทุกชนิดเมื่อมีอาการขาดน้ำจะลดอัตราการเจริญเติบโตลง ดังนั้น ถ้าไม่จำเป็นแล้วควรให้พืชมีน้ำใช้อย่างเพียงพออยู่เสมอ โดยทั่วๆ ไปแล้วเราจะกำหนดเวลาที่ต้องให้น้ำแก่พืชโดยการพิจารณาจากจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ (Available Moisture) ที่ยังเหลืออยู่ในดิน เพราะจำนวนความชื้นดังกล่าวนี้เท่านั้นที่จะบอกว่าพืชกำลังขาดน้ำอยู่หรือเปล่า

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

เนื่องจากว่าระดับความเสียหายที่เกิดจากการขาดน้ำขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช ดังนั้นในเมื่อมีความจำเป็นที่จะต้อง ยอมให้พืชขาดน้ำ ก็ควรจะเลือกให้อยู่ในระยะที่กระทบกระเทือนต่อผลผลิตน้อยที่สุด เช่นการทดลองให้น้ำข้าวโพดพบว่า ถ้าให้ความชื้นในดินลดลงจนถึงขีดเฉาเป็นเวลา 1 ถึง 2 วันในช่วงที่ข้าวโพดกำลังออกช่อดอก (Teaseling) จะทำให้ผลผลิตผดลงได้มากถึง 22 เปอร์เซ็นต์ และถ้าให้ขาดน้ำในช่วงติดต่อกันเป็นเวลานาน 6 ถึง 8 วันผลผลิตอาจจะลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นถ้าต้องการปลูกข้าวโพดให้ได้ผลผลิตสูงแล้วก็จะต้องป้องกันมิให้ความชื้นในดินลดลงใกล้ขีดเฉาเลยตลอดอายุของมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่กำลังออกช่อดอก

สำหรับพืชบางชนิด เช่น ฝ้าย ซึ่งมีการใช้น้ำน้ำในดินอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าพืชชนิดอื่น อาจไม่จำเป็นต้องให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลา แต่ถ้าหากมันขาดน้ำผลผลิตก็จะลดลงเช่นเดียวกัน โดยปกติแล้วควรจะให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลาหลังจากที่มันเริ่มออกดอกแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับยาสูบ ในระยะแรกๆ ไม่ควรให้น้ำมากนักแต่ควรจะให้ดินมีความชื้นสูงอยู่เสมอในช่วงหลังของการเพาะปลูก

พืชเกือบทุกชนิดจะให้ผลผลิตลดลงหรือมีคุณภาพเลวลงถ้ามีการขาดน้ำที่ระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง ระยะเวลาที่เมื่อมีการขาดน้ำแล้วจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตมากที่สุดเรียกว่าช่วงวิกฤติ (Critical Period) ดังนั้น ในช่วงระยะเวลาดังกล่าวนี้จะต้องคอยรักษาให้ดินมีความชื้นอยู่เสมอ ช่วงวิกฤติในความต้องการน้ำของพืชชนิดต่างๆ ที่ปลูกกันทั่วๆ ไปแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ช่วงวิกฤติ (Critical Period) ในความต้องการน้ำของพืชชนิดต่างๆ

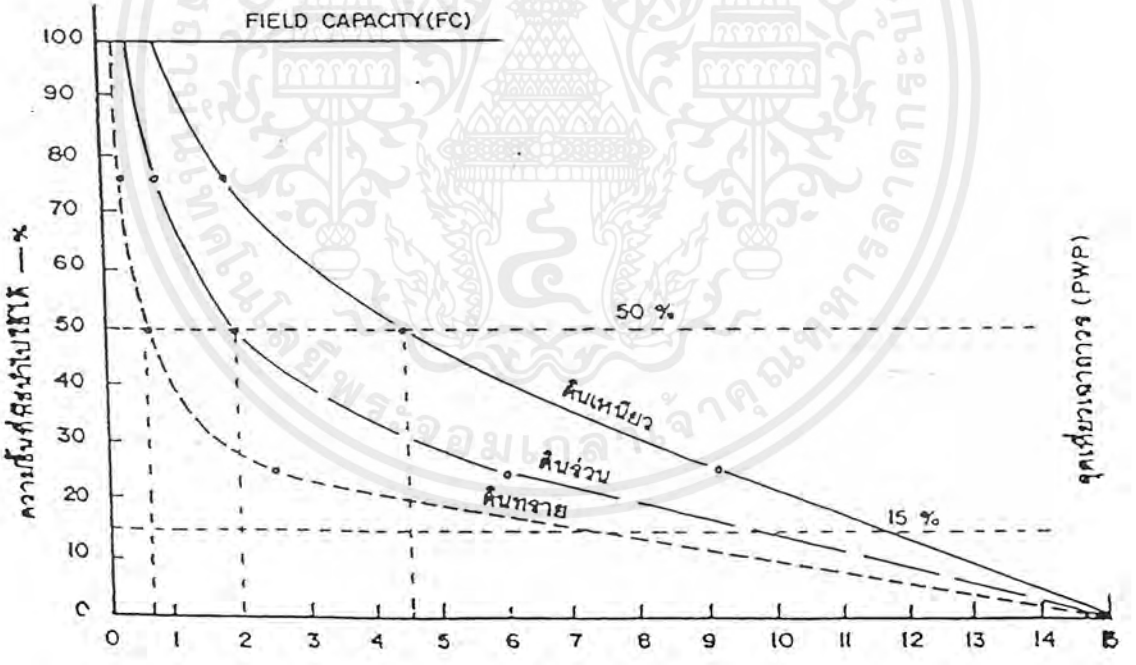
พืช	ช่วงวิกฤติ
กะหล่ำปี	ใบเริ่มห่อเป็นหัวและหัวกำลังโต
กะกล่ำดอก	ต้องการความชื้นในดินสูงตลอดฤดูการเพาะปลูก
ข้าวโพด	ช่วงผสมเกสรจากออกช่อดอกจนถึงมีเนื้อเต็มเมล็ดรองลงมาเป็นช่วงก่อนออกช่อดอกและรองลงมาเป็นช่วงที่เมล็ดกำลังจะเต็ม ช่วงผสมเกสรจะวิกฤติมากถ้าหากข้าวโพดไม่เคยขาดน้ำมาก่อน
ข้าวฟ่าง	วิกฤติมากในช่วงออกช่อดอกจนถึงเมล็ดเต็ม รองลงมาเป็นช่วงก่อนออกดอก
ถั่วต่าง ๆ	วิกฤติที่สุดในช่วงออกดอกและติดฝักรองลงมาเป็นช่วงก่อนออกดอกรองลงมาเป็นช่วงฝักกำลังแก่ แต่ช่วงฝักแก่จะวิกฤติกว่าช่วงก่อนออกดอกถ้าไม่เคยขาดน้ำมาก่อน
ธัญพืช	จากตั้งท้องถึงออกรวง
บร็อคเคอลี่	เริ่มออกดอกและดอกกำลังโต
ผักต่างๆ	ต้องการความชื้นในดินสูงตลอดฤดูกาลปลูก
ฝ้าย	วิกฤติที่ดีที่สุดในช่วงออกดอกถึงติดสมอ รองลงมาเป็นช่วงก่อนออกดอกรองลงมาเป็นช่วงหลังติดสมถึงสมอแก่
มะเขือเทศ	จากออกดอกจนถึงช่วงกำลังโต
มันฝรั่ง	ต้องการความชื้นสูงหลังเริ่มลงหัว ออกดอก จนถึงเก็บเกี่ยว
ไม้ผล	ผลกำลังโต
ไม้ผลประเภทส้ม	ออกดอกและติดผล มะนาวจะออกดอกดกถ้างดให้น้ำในช่วงก่อนออกดอกเล็กน้อย ผลร่วงในช่วงแล้งจัดอาจแก้ได้โดยการให้น้ำให้ชุ่มชื้นพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ดินกับการกำหนดการให้น้ำ

ถึงแม้ว่าการรักษาความชื้นของดินในระดับสูงอยู่เสมอเป็นสิ่งที่จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูง แต่ในทางปฏิบัติแล้วเราไม่สามารถจะรักษาความชื้นของดินให้อยู่ในระดับใดระดับหนึ่งตลอดฤดูการเพาะปลูกได้ นอกจากนั้นพืชแต่ละชนิดยังอยู่ตลอดเวลาจึงจะให้คุณภาพและปริมาณของผลผลิตดี กล่าวคือ จะต้องไม่ยอมให้ความชื้นของดินลดลงไปใกล้ขีดเฉา (Wilting point) เลย ระดับความชื้นก่อนการให้น้ำเป็นสิ่งที่จะบอกว่าดินนั้นมีความสูงอยู่ตลอดเวลาหรือไม่ เราอาจถือว่าถ้าดินยังมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลืออยู่ประมาณสองในสาม หรือประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์ แล้วดินยังชื้นอยู่ แต่ถ้าความชื้นดังกล่าวเหลืออยู่เพียงหนึ่งในสามหรือในประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ก็ถือว่าดินนั้นแห้ง

ระดับความชื้นของดินก่อนการให้น้ำอาจจะเทียบหาได้จากแรงดึงความชื้นของดิน ความสัมพันธ์ระหว่างแรงจึงความชื้นของดิน (Soil Moisture Tension) กับจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture) มีลักษณะดังรูป 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นของดินกับจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้

จากรูปนี้จะเห็นว่า ที่ field capacity ดินที่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ และที่ขีดเฉา (Wilting point) ดินไม่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เนื่องจากว่าช่องว่างระหว่างเมล็ดดินแต่ละชนิดมีขนาดไม่เท่ากัน น้ำในดินที่มีเนื้อหยาบ เช่น ทรายจะถูกดูดไปใช้เกือบหมดโดยใช้แรงดึงความชื้นเพียงเล็กน้อย แต่ในดินที่มีเนื้อละเอียดจะยังคงมีความชื้นเหลืออยู่อีกเป็นจำนวนมากเมื่อใช้แรงดึงความชื้นขนาดเดียวกัน หรือถ้าพิจารณาทางด้านความชื้นในดินที่ยังเหลืออยู่ ที่ระดับความชื้นที่ยังเหลืออยู่ 50 เปอร์เซ็นต์ดินเหนียวจะมีแรงดึงความชื้นประมาณ 4.5 บรรยากาศ ส่วนดินร่วนและดินทรายจะมีแรงดัน ความชื้นประมาณ 2.0 และ 0.75 บรรยากาศตามลำดับ อย่าลืมว่ารากพืชจะต้องออกแรกดึงดูด ความชื้นมากกว่าแรงดึงความชื้นของดินจึงจะได้น้ำไปใช้ โดยปกติแล้วรากพืชมีแรงดูดน้ำจากดินได้ขนาดหนึ่งเมื่อแรงดึงความชื้นของดินเพิ่มขึ้น หรือดินแห้งมากขึ้นรากพืชก็จะต้องใช้แรงดูดน้ำมากขึ้นและจะดูดน้ำมากขึ้นและจะดูดนั้นจกดินได้น้อยลง เมื่ออัตราที่รากดูดน้ำได้น้อยกว่าที่มันคายน้ำออกทางใบพืชก็จะขาดน้ำและเกิดการเหี่ยวเฉา ดังนั้น จากตัวอย่างดินทั้งสามที่กล่าวนี้ ถ้าต้องการให้น้ำเมื่อความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลือ 50 เปอร์เซ็นต์ ก็จะต้องให้เมื่อดินเหนียว ดินร่วน และดินทรายมีแรงดึงความชื้น 4.2, 2.0 และ 0.75 บรรยากาศตามลำดับ

ดังได้กล่าวแล้วว่า ความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้ได้จะยังคงสูงอยู่ถ้าหากแรงดึงความชื้นต่ำ ดังอาจพบว่าผลผลิตที่ได้จะแตกต่างกันถ้าให้น้ำเมื่อความชื้นพที่พืชนำไปใช้ได้เหลือ 50 เปอร์เซ็นต์เท่ากันๆ ที่เป็นดังนี้เพราะพืชจะต้องออกแรงดึงดูดความชื้นจากดินเหนียวมากกว่าดินร่วมหรือดินทราย และจะพบว่า พืชที่ปลูดในดินเหนียวจะแสดงอาการขาดน้ำก่อนถึงแม้ว่ายังมีความชื้นเหลืออยู่มากกว่าก็ตาม แต่ถ้าหากให้น้ำเมื่อแรงดึงความชื้นมีค่าเท่าๆ กันจะพบว่าผลผลิตที่ได้แตกต่างกันไม่มากนักทั้งๆ ที่ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลืออยู่แตกต่างกันมาก เช่น ถ้าให้น้ำเมื่อแรงดึงความชื้นเท่ากับ 2.0 บรรยากาศ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ในดินเหนียว ดินร่วนและดินทราย จะเหลืออยู่ 75, 50 และ 27 เปอร์เซ็นต์

ไม่ว่าความถี่ในการให้นำจะกำหนดจากแรงดึงความชื้น หรือจากจำนวนความชื้นที่ยังเหลืออยู่ก็ตาม เราไม่สามารถใช้ค่าดังกล่าวนี้กับพืชหรือดินทุกชนิดได้ ค่าเหล่านี้ควรจะทดลองควรจะทดลองหาจากแปลงเพราะปลูกโดยตรง นอกจากนั้นความถี่ในการให้น้ำควรจะพิจารณาจากค่าแรงและอุปกรณ์ในการให้น้ำ และจากการเปรียบเทียบปริมาณและคุณภาพของผลผลิต ตลอดจนค่าราคาของผลผลิตในท้องตลาดด้วยว่าถ้ามีการควบคุมความชื้นในดินให้อยู่ในระดับที่ต้องการและจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่

ในเขตแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้งน้ำที่พืชได้รับส่วนใหญ่เป็นน้ำชลประทาน จากการศึกษาพบว่าควรจะให้น้ำเมื่อความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดลงประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งถ้าหากหลังการให้น้ำทุกครั้งดินมีความชื้นที่ Field Capacity ดินจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้อยู่ระหว่าง 50 ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
36796

สำหรับในเขตชุ่มน้ำที่พืชใช้ส่วนใหญ่อาจมาจากฝน ดังนั้นการให้น้ำจึงทำกันเฉพาะในช่วงที่ขาดฝนและถ้าหากต้องการจะใช้น้ำผนให้มากที่สุดเพื่อเป็นการประหยัดน้ำชลประทานแล้ว ก็จะต้องจัดที่ไว้สำหรับเก็บน้ำฝนให้มากที่สุด นั่นก็คือ ยอมให้เกิดความชื้นในดินลดลงมาใกล้ขีดเฉาให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้โดยไม่กระทบกระเทือนต่อผลผลิต

การกำหนดค่าความชื้นที่ยังเหลืออยู่ก่อนการให้น้ำ จะต้องพิจารณาทั้งความสะดวกในการให้น้ำ และความชื้นที่พืชต้องการเพื่อให้เกิดผลผลิตสูงสุดด้วย ในบางครั้งกสิกรอาจจะยังไม่ต้องการให้น้ำเนื่องจากความชื้นในดินยังสูงอยู่ และเกรงว่าอีกสองสามวันข้างหน้าจะมีฝนตกลงมาอีก อย่างไรก็ตาม จากการทดลองพบว่า สำหรับพืชทั่วไปอาจจะยอมให้พืชดูดเอาความชื้นไป 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์แล้วจึงให้น้ำ แต่ถ้าเป็นพืชที่มีราคาแพงซึ่งถ้าให้ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดลงมากแล้วจะทำให้ปริมาณหรือคุณภาพของผลผลิตลดลง ก็อาจจะต้องให้น้ำเมื่อดินยังมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลืออยู่ 65 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

การกำหนดค่าความชื้นที่ยังเหลืออยู่ก่อนการให้น้ำเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะว่าพืชจะไม่สามารถดูดน้ำมาใช้ให้เพียงพอต่อความต้องการได้ถ้าหากาความชื้นในดินลดลงใกล้ขีดเฉา เนื่องจากแรงดึงความชื้นจะสูงมากจากการทดลองพบว่าผลผลิตของพืชเกือบ ทุกชนิดจะลดลงถ้าหากความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ลดลงเหลือ 20 เปอร์เซ็นต์หรือต่ำกว่า สำหรับพืชและดินบางชนิดผลผลิตอาจจะลดลงได้เมื่อความชื้นลดลงเหลือ 30 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์

จำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่ในดิน ในระดับที่เริ่มกระทบกระเทือนต่อผลผลิตนี้เรียกว่า ระดับความชื้นวิกฤติ (Critical Moisture Level) หรือบางทีเรียกสั้นๆ ว่า จุดวิกฤติ (Critical Point) ค่าดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของดินและพืชที่ปลูก จากรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าที่ระดับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลือเท่ากับ 15 เปอร์เซ็นต์ แรงดึงความชื้นสำหรับดินทราย ดินร่วนและดินเหนียวจะมีค่าเท่ากับ 7.3, 9.8 และ 11.8 บรรยากาศตามลำดับ ถ้าพิจารณาจาแรงดึงความชื้นของดินแล้ว พืชจะสามารถดูดน้ำจากดินทรายได้ง่ายกว่าดินร่วนหรือดินเหนียว อย่างไรก็ตาม เนื่องจากว่าดินทรายมีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้น้อย ที่แรงดึงความชื้น 7.3 บรรยากาศความชื้นในดินทรายก็ลดลงไปใกล้ขีดเฉาแล้ว ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยจึงไม่ควรให้ความชื้นในดินทรายลดลงไปต่ำกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ ส่วนดินเหนียวซึ่งมีความสามารถเก็บน้ำไว้ได้มากกว่า ถึงแม้ว่าพืชจะต้องออกแรงดูดน้ำมากว่า แต่ที่ระดับความชื้นที่เหลืออยู่ 15 เปอร์เซ็นต์นั้น เมื่อคิดออกมาเป็นปริมาณน้ำแล้วจะยังคงมีน้ำเหลืออยู่มากกว่าในดินทรายมาก ดังนั้นพืชจะยังมีน้ำใช้มากกว่า

ตารางที่ 2.3 ลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของดันที่มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ในระดับต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่มีอยู่ในดิน	ลักษณะและรู้สึกสัมผัส			
	ดินเนื้อหยาบ	ดินเนื้อค่อนข้างหยาบ	ดินเนื้อปานกลาง	ดินเนื้อละเอียดและละเอียดมาก
0 เปอร์เซ็นต์	แห้งร่วนไม่เกาะกันเป็นก้อน	แห้ง ร่วน ไม่เกาะกันเป็นก้อน	แห้งเป็นผงหรือเกาะกันเป็นก้อนแต่บี้ให้แตกเป็นผงได้ง่าย	แห้ง แข็ง มีรอยแตกร้าว บางทีมีก้อนแตกร่วนเล็กๆ บนผิวหน้า
50 เปอร์เซ็นต์หรือต่ำกว่า	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือ ไม่เป็นก้อน	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือ ไม่เป็นก้อน	ค่อนข้างร่วน แต่กำให้แน่น จะเกาะกันเป็นก้อนได้	ค่อนข้างนุ่ม กำให้แน่น เป็นก้อนได้
50-75 เปอร์เซ็นต์	ดูแห้ง กำให้แน่นในมือไม่เป็นก้อน	กำให้แน่นเป็นก้อนได้ แต่แตกง่าย ไม่เกาะกัน	กำเป็นก้อนได้ ค่อนข้างเหนียวเมื่อบีบจะลื่นเล็กน้อย	กำเป็นก้อน ใช้นิ้วรีดเป็นแผ่นบางๆ ได้
75 เปอร์เซ็นต์ถึง Field Capacity	เกาะกันบ้าง กำเป็นก้อนแต่แตกง่าย	กำเป็นก้อน แต่แตกง่าย	กำเป็นก้อนอ่อนนุ่มมาก ถ้ามีดินเหนียวมากจะลื่น	รีดเป็นแผ่นระหว่างนิ้วมือได้ง่าย รู้สึกลื่น
ที่Field capacity (100 เปอร์เซ็นต์)	บีบไม่มีน้ำออกมาแต่เปียกมือ	เหมือนดินเนื้อหยาบ	เหมือนดินเนื้อหยาบ	เหมือนดินเนื้อหยาบ
เกิน Field capacity	สลัดในมือจะมีน้ำกระเด็นออก	นวดดินจะมีน้ำออกมา	บีบจะมีน้ำออกมา	เป็นโคลน มีน้ำบนผิว

ด้วยเหตุนี้ถ้าจะป้องกันมิให้พืชต้องขาดน้ำแล้ว การกำหนดระดับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่จะต้องพิจารณาจากดินและพืชเป็นรายๆ เป็นสำหรับการออกแบบระบบการชลประทาน ระดับความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ที่ยังเหลืออยู่สำหรับการออกแบบควรอยู่ ระหว่าง 15 ถึง 20 เปอร์เซ็นต์

2.3.3 องค์ประกอบอื่นๆ กับการกำหนดการให้น้ำ

การกำหนดการให้น้ำ นอกจากจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของดินและพืชที่ปลูกแล้ว ยังมีองค์ประกอบอย่างอื่นที่จะต้องนำเข้ามาพิจารณาด้วยคือ สภาพภูมิอากาศ และการจัดการเพาะปลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพภูมิอากาศที่เกี่ยวข้องก็มี รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิและความชื้นของบรรยากาศ และความยาวของชั่วโมงกลางวันตลอดฤดูกาลเพาะปลูก เป็นต้น สภาพภูมิอากาศเหล่านี้จะมีผลต่อปริมาณการใช้น้ำของพืชที่จะต้องนำมาใช้หาความถี่ในการให้น้ำนั่นเอง สำหรับองค์ประกอบการเกี่ยวกับการจัดการเพาะปลูกก็ได้แก่ ช่วงฤดูกาลที่ทำการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยว ความหนาแน่นของพืชที่ปลูกต่อไร่ วิธีการและค่าใช้จ่ายในการให้น้ำ และการให้ปุ๋ยเป็นต้น

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทุกอย่างแล้วอาจสรุปได้ว่า เราสามารถแบ่งการกำหนดการให้น้ำเป็นสองกลุ่ม กลุ่มหนึ่งต้องการการให้น้ำบ่อยครั้งจึงจะให้ผลผลิตสูง ส่วนอีกกลุ่มไม่จำเป็นต้องให้น้ำบ่อยครั้งนักก็ได้

กลุ่มที่ต้องการการให้น้ำบ่อยครั้ง มีสภาวะของพืช ดิน ภูมิอากาศ และการจัดการเพาะปลูกดังนี้คือ

ก. พืช

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

ข. ดิน

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

ค. ภูมิอากาศ

1. มีลักษณะที่ทำให้อัตราการระเหยและการคายน้ำสูง
2. ไม่มีฝนตกในฤดูกาลเพาะปลูก

ง. การจัดการเพาะปลูก

1. ปลูกพืชตอนต้นฤดูแล้ง
2. ต้องการผลผลิตสูง ถึงแม้ว่าจะทำให้การเก็บเกี่ยวล้าช้าไปบ้างก็ยอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ราคาของผลิตขึ้นอยู่กับน้ำหนักสด หรือขนาดของส่วนที่เก็บเกี่ยว

กลุ่มที่ไม่จำเป็นต้องให้น้ำบ่อยครั้งนัก มีสภาวะของพืช ดิน ภูมิประเทศและการจัดการเพราะปลูกดังนี้คือ

ก. พืช

1. มีรากลึก แผ่กระจายอย่างหนาแน่น และมีอัตราการแผ่ขยายของรากสูง
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 ถึงแม้ว่าคุณภาพและปริมาณจะด้วยกว่าปกติก็ยอม

2.3.4 การใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์วัด

ปัจจุบันนี้นักวิทยาศาสตร์ได้ประดิษฐ์และพัฒนาเครื่องมือช่วยกำหนดการให้น้ำขึ้นหลายแบบ เครื่องมือเหล่านี้ใช้วัดคุณสมบัติบางอย่างของดิน แล้วเทียบค่าที่วัดได้นั้นให้เป็นจำนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้น เครื่องมือนี้มีหลายแบบ ซึ่งอาจแบ่งออกตามคุณสมบัติของดินที่มันทำการหรือวิธีการวัดคือ

1) แบบวัดแรงดึงความชื้นของดิน โดยให้แรงดึงความชื้นของดินอยู่ในภาวะสมดุลกับน้ำที่บรรจุอยู่ในกระเปาะพรุน (Porous cup) เครื่องมือชนิดนี้เรียกว่าเครื่องวัดแรงดึงความชื้นของดิน (Tensiometer)

2) แบบวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของวัสดุพรุน (Prous Media) ซึ่งมีความชื้นอยู่ในภาวะสมดุลกับดินบริเวณรอบๆ จุดที่มันฝังอยู่ คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่วัดส่วนมากเป็นความต้านทาน ดังนั้นจึงต้องมีเครื่องมือวัดความต้านทานประกอบด้วย อุปกรณ์ทั้งหมดรวมเรียกว่าเครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้า (Electrical Resistance Instruments) ส่วนตัววัสดุพรุนเรียกว่าก้อนความต้านทาน (Resistance Block) ซึ่งประกอบขึ้นด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วแล้วห่อหุ้มด้วยปูนปลาสเตอร์ ไนล่อนหรือ ไฟเบอร์กลาส

3) แบบวัดการกระจายของนิวตรอน (Neutron Scattering) ที่สารกัมมันตรังสีส่งออกไปแล้วสะท้อนกลับมา นิวตรอนที่ส่งออกไปนี้เมื่อไปกระทบเข้ากับไฮโดรเจนอะตอมของน้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นในดิน จะทำให้ความเร็วของนิวตรอนที่สะท้อนกลับมานี้สามารถวัดและเทียบเป็นความชื้นในดินได้ เครื่องมือแบบนี้เรียกว่าเครื่องวัดความชื้นด้วยนิวตรอน (Neutron Moisture Meter)

2.3.5 เครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้า (Electrical Resistance Instrument)

เครื่องมือช่วยกำหนดการให้น้ำแก่พืชแบบนี้ ประกอบขึ้นด้วยอุปกรณ์สองอย่างด้วยกันคือ เครื่องมือวัดความต้านทานไฟฟ้าที่มีขีดแบ่งออกทั้งความต้านทานและจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ เครื่องวัดความต้านทานนี้บางครั้งเรียกว่า Soil Moisture Meter อุปกรณ์อีกอย่างหนึ่งก็คือก้อนความต้านทานหรือ Resistance Block ที่บางครั้งเรียกว่า Soil Black หรือ Bouyoucos Block ตามชื่อของ G.J.Bouyoucos ผู้ประดิษฐ์เป็นคนแรก ก้อนความต้านทานประกอบขึ้นด้วยขั้งไฟฟ้าสองขั้วแล้วห่อหุ้มด้วยวัสดุพรุน เช่นปูนปลาสเตอร์ ไนล่อนหรือไฟเบอร์กลาส รูปร่างของก้อนความต้านทานจะขึ้นอยู่กับลักษณะของขั้วไฟฟ้าที่ใช้ ขั้วไฟฟ้าที่นิยมใช้กันส่วนมากที่เป็นแผ่นลวดตะแรงเหล็กสเตนเลส หรือโลหะผสมสองแผ่นวางขนานกันแล้วห่อหุ้มด้วยวัสดุพรุน ก้อนความต้านทานที่มีขั้วไฟฟ้าแบบนี้จะมีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยม สำหรับก้อนความต้านทานที่ทำด้วยปูนปลาสเตอร์ บริษัทผู้ผลิตบางรายใช้ลวดตะแกรงรูปทรงกระบอกและแกนโลหะซึ่งวางอยู่ตรงกลางเป็นขั้วไฟฟ้า ก้อนความต้านทานจึงมีรูปทานกระบอกด้วย ก้อนความต้านทานที่ทำด้วยปูนปลาสเตอร์บางครั้งเรียกว่า Gypsum Block

เมื่อฝังก้อนความต้านทานไว้ในดินมันจะทำหน้าที่เสมือนส่วนหนึ่งของดิน คือมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในเช่นเดียวกันกับดินในบริเวณรอบๆ และเนื่องจากจำนวนความชื้นในวัสดุพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีผลต่อความต้านทานระหว่างขั้วไฟฟ้าในวัสดุพรุน กล่าวคือ ถ้าวัสดุมีความชื้นมากมันจะมีความนำไฟฟ้าดีหรือมีความต้านทานไฟฟ้าน้อย ในทางตรงกันข้าม ถ้าวัสดุพรุนแห้ง ความต้านทานไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าความต้านทานที่วัดได้จึงสามารถนำมาเทียบเป็นจำนวนความชื้น หรือแรงดึงความชื้นของดินได้

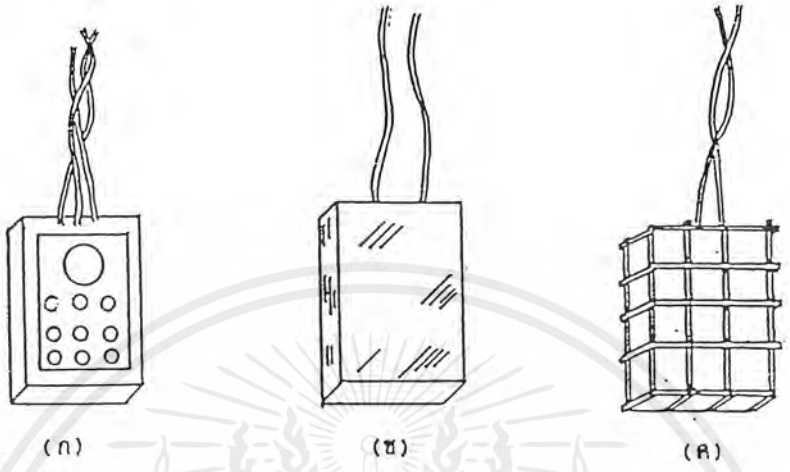
ความละเอียดถูกต้องมีค่าวัดได้เพื่อนำมากำหนดการให้น้ำแก่พืช จะขึ้นอยู่กับความสามารถของวัสดุพรุนที่จะปรับความชื้นในตัวของมันให้เท่ากับความชื้นของดินในบริเวณรอบๆ ที่เปลี่ยนไป วัสดุที่ทำจากไนล่อนจะให้ค่าละเอียดถูกต้องดีที่แรงดึงความชื้นไม่เกิน 2 บรรยากาศ ถ้าเป็นปูนปลาสเตอร์ค่าดังกล่าวจะอยู่ระหว่าง 1 ถึง 15 บรรยากาศ ส่วนไฟเบอร์กลาสจะใช้ได้ตลอดช่วงแรงดึงความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ แต่พบว่าก้อนต้านทานที่ทำด้วยไนล่อนและไฟเบอร์กลาสจะมีการไม่ผสกับดินที่เปียกๆ แห้ง ไม่ดีนัก อย่างไรก็ตาม ในช่วงแรงดึงความชื้นต่ำกว่า 1 บรรยากาศเครื่องวัดแรงดึงความชื้นของดิน (Tensiometer) จะช่วยกำหนดการให้น้ำแก่พืชได้ละเอียดถูกต้องดีกว่าก้อนความต้านทานทุกแบบ

ก้อนความท้านทานที่ทำด้วยปูนปลาสเตอร์จะไม่ค่อยทนทานนักถ้าฝังในดินที่มีน้ำขังหรือเป็นดินเนื้อหยาบและมีการให้น้ำบ่อยครั้ง ทั้งนี้เพราะปูนปลาสเตอร์จะสลายตัวได้ง่ายในสภาวะดังกล่าว

เนื่องจากว่า ปริมาณสารละลายของเกลือที่อยู่ในดินจะมีผลต่อความนำไฟฟ้าอยู่มากกล่าวคือ ถ้าดินหรือน้ำมีเกลือมาก ก้อนความต้านทานก็จะมีความนำไฟฟ้าดี ความต้านทานที่วัดได้จึงต่ำกว่าดีชนิดเดียวกันที่มีความชื้นเท่ากันแต่มีเกลืออยู่น้อยกว่า ในกรณีนี้จำนวนความชื้นที่อ่านได้จากมิเตอร์ จะทำให้การกำหนดการให้น้ำผิดไปมาก เพราะผลที่อ่านได้จะบอกว่าดินยังมีความชื้นสูงอยู่ทั้งๆ ที่ระดับความชื้นในดิน ขณะนั้นควรจุให้น้ำแก่พืชได้แล้วก็ตาม นอกจากนั้นพืชยังต้องออกแรงดึงดูดความชื้นจากดินมากกว่าปกติ เพราะสารละลายในดินมีความข้นเหนียวเนื่องจากมีเกลือละลายอยู่มากด้วย

เกลือที่มีอยู่ในดินนี้จะกระทบกระเทือนต่อก้อนความต้านทานที่ทำด้วยไนล่อนและไฟเบอร์กลาสมากกว่าที่ทำด้วยปูนปลาสเตอร์ เพราะปูนปลาสเตอร์ที่ชื้นจะมีสารละลายของแคลเซียมซัลเฟตอยู่ก่อนแล้ว และถ้าเกลือในดินมีความเข้มข้นน้อยกว่าในก้อนความต้านทานด้วยแล้ว ก็จะยิ่งมีผลต่อค่าที่วัดได้ไม่มากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ก้อนความต้านทานที่ทำด้วย ไฟเบอร์กลาส (ก) ปูนพลาสเตอร์ (ข) และไนล่อน (ค)

นอกจากปริมาณเกลือในดินแล้ว อุณหภูมิก็มีผลต่อค่าที่วัดได้เหมือนกัน แต่ความผิดพลาดเนื่องจากสาเหตุนี้น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับที่เกิดขึ้นจากสาเหตุอื่น โดยเฉพาะอย่างยิ่งความเบี่ยนเบนของคุณสมบัติของแต่ละก้อนจากที่ได้มาตรฐาน ซึ่งทำให้การเทียบความต้านทานมาเป็นจำนวนความชื้นผิดไป ในทางปฏิบัติความผิดพลาดเนื่องจากสาเหตุนี้อาจจะหลีกเลี่ยงได้โดยการเลือกใช้ก้อนความต้านทานที่เมื่อแช่น้ำไว้แล้ว วัดความต้านทานได้ต่างกันไม่เกิน 50 โอห์ม นอกจานั้นคุณสมบัติด้านความนำไหห้าอาจเปลี่ยนไปเมื่อมีอายุการใช้งานนานขึ้น และยังมีสาเหตุที่ก่อให้เกิดความผิดพลาดเมื่อนำไปใช้งานในสนามอีก เป็นต้นว่าความไม่สม่ำเสมอในการให้น้ำ ความแตกต่างในปริมาณความชื้นที่พืชดูดไปจากดินที่จุดต่างๆ ความแตกต่างของเนื้อดิน การเปลี่ยนแปลงอัตราการซึมของน้ำผ่านผิวดินเนื่องจากการแตกระแหง การอัดแน่นของดินเนื่องจากเครื่องจักรกลเกษตร เป็นต้น สิ่งเหล่านี้มีผลต่อค่าที่วัดได้ซึ่งจะนำไปใช้กำหนดการให้น้ำแก่พืชทั้งสิ้น

การติดตั้งก้อนความต้านทานก็คล้ายคลึงกันกับการติดตั้งเครื่องวัดแรงดึงความชื้น (Tensioneter) กล่าวคือฝังก้อนความต้านทานให้อยู่ในบริเวณที่มีรากอยู่อย่างหนาแน่น แต่ในกรณีนี้ต้องขุดหลุมแล้วฝังก้อนความต้านทานเข้าที่ผนังของหลุมในระดับต่างๆ ที่ต้องการ โยงสายไฟจากก้อนความต้านทานไปผูกไว้กับหลักเล็กๆ บริเวณใกล้ ๆ แล้วจึงกลบดินในหลุมให้มีความหนาแน่นเท่ากับดินเดิม การที่ไม่ฝังก้อนความต้านทานในหลุมโดยตรงก็เพราะว่าถ้ากลบดินในหลุมได้ไม่เหมือนเดิมแล้ว ค่าที่วัดได้ในหลุมจะแตกต่างกับที่เป็นจริงมา ก้อนความต้านทานนี้ทางบริษัททำเป็นชุดโดยการหล่อติดกับหลักซึ่งมีรูปร่างเรียวเป็นระยะทางใช้เสียบหลักนี้ลงในหลุมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจาะด้วยสว่านซึ่งออกแบบไว้โดยเฉพาะ ทำให้ก้อนความต้านทานทุกอันมีการสัมผัสกับดินดีกว่าแบบเป็นก้อนเดี่ยวๆ การติดตั้งก็จะสะดวกกว่ากันมาก

ก่อนที่จะนำก้อนความต้านทานไปใช้ควรจะแช่ให้อิ่มน้ำเสียก่อน การติดตั้งควรจะทำหลังจากที่ให้น้ำแก่พืชแล้วหรือขณะที่ดินยังมีความชื้นสูงอยู่ หลังจากติดตั้งไปแล้ว 24 ชั่วโมงก็สามารถใช้ค่าที่อ่านได้มากำหนดการให้น้ำแก่พืชได้

รูปที่ 2.4 การติดตั้งก้อนความต้านทาน เพื่อวัดความชื้นของดินในเขตราก

เครื่องวัดความต้านทานที่มีผู้ผลิตขายในปัจจุบันในระบบทรานซิสเตอร์ ทำให้มีขนาดเล็กและสะดวกต่อการนำไปใช้ในสนามมาก ขีดแบ่งที่หน้าปัดของเครื่องวัดจะบอกความต้านทานเป็นโอห์มและจำนวนความชื้นที่พืชเอาไปใช้ได้เป็นเปอร์เซ็นต์ เมื่อมิเตอร์อ่านได้ 100 เปอร์เซ็นต์ก็แสดงว่าขณะนั้นดินมีความชื้นที่ Field Capacity และเมื่ออ่านได้ 0 เปอร์เซ็นต์ก็แสดงว่าดินมีความชื้นที่จุดเฉา (Wilting Point) การอ่านมิเตอร์ควรจะอ่านตอนเช้าและในเวลาเดียวกันทุกๆ 2 ถึง 3 วัน และถ้าหากนำค่าที่อ่านได้ในวันต่างๆ มาเขียนกราฟในทำนองเดียวกันกับที่ได้อธิบายไว้ในเรื่องเครื่องวัดรงดึงความชื้นก็จะช่วยให้การกำหนดให้น้ำทำได้ถูกต้องดีขึ้น

ถึงแม้เครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้าจะเป็นเครื่องมือช่วยกำหนดการให้น้ำที่เป็นที่รู้จักกันดีเหมือนกันเครื่องวัดแรงดึงความชื้นแต่ก็เป็นที่นิยมน้อยกว่า เพราะพืชส่วนใหญ่จะให้น้ำเมื่อแรงดึงความชื้นของดินไม่เกิน 0.85 บรรยากาศ ในช่วงความชื้นขนาดนี้เครื่องวัดแรงดึงความชื้นจะให้ค่าละเอียดถูกต้องดีกว่า ส่วนก้อนความต้านทานนั้นพบว่า ความต้านทานที่วัดได้ไม่ค่อยสัมพันธ์กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับจำนวนความชื้นในดินนัก นอกจากนั้น ความละเอียดถูกต้องยังขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและอายุการของมันด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งก้อนความต้านทานที่ทำด้วยปูนปลาสเตอร์ส่วนดีของก้อนความต้านทานก็คือมีราคาถูกและไม่ต้องการการดูแลรักษาเหมือนกับเครื่องวัดแรงดึงความชื้น อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ดินเป็นเนื้อละเอียดซึ่งยังมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้อีกมากอยู่ที่แรงดึงความชื้นสูงกว่า 0.85 บรรยากาศ ซึ่งไม่สามารถใช้เครื่องวัดแรงความชื้นวัดได้ ก็อาจจะใช้เครื่องวัดความชื้นด้วยไฟฟ้าร่วมกับเครื่องวัดแรงดึงความชื้นกำหนดการให้น้ำได้เป็นอย่างดี

2.4 พืชและการใช้น้ำของพืช

2.4.1 ลักษณะการแผ่กระจายของราก

การแผ่กระจายของรากพืชแต่ละชนิดนั้นไม่เหมือนกัน พืชบางชนิดมีรากแผ่กระจายออกเป็นบริเวณกว้างในระดับที่ไม่ลึกนัก พืชบางชนิดมีรากหยั่งลงไปลึกและและมีการแผ่กระจายในแนวราบน้อย อย่างไรก็ตามสำหรับพืชชนิดเดียวกัน ลักษณะการแผ่กระจายของรากจะขึ้นอยู่กับชนิดและความลึกของดิน ระดับน้ำใต้ดิน ฤดูการเพาะปลูก ตลอดจนปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชในแต่ละครั้ง

การงอกของรากลงสู่ระดับความลึกกว่าจะถูกจำกัดโดยชั้นดินที่มีเนื้อแน่นทึบ เช่น ดินดาน ดินที่มีเนื้อแน่นจะแทรกอยู่ในเขตราก ซึ่งจะทำให้รากพืชไม่สามารถงอกลึกลงไปกว่านี้ได้

โดยปกติแล้วรากพืชจะไม่สามารถงอกออกในดินที่มีความชื้นต่ำกว่าจุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) ดังนั้นถ้าหากมีชั้นดินที่แห้งมากอยู่ในดิน ก็จะทำให้รากพืชไม่สามารถงอกผ่านไปได้เหมือนกัน เนื่องจากว่ารากพืชต้องการออกซิเจนสำหรับหายด้วย ดังนั้นมันจะไม่ขยายตัวลงต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินเพราะว่าในระดับนี้จะมีอ๊อกซิเจนและแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่น้อยมาก ระดับน้ำใต้ดินจึงเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการแผ่กระจายของรากอีกอย่างหนึ่ง

ความถี่ของรากอาจถูกจำกัดโดยปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชแต่ละครั้ง กล่าวถือถ้าให้น้ำแก่พืชครั้งละน้อยๆ ความลึกของดินที่เก็บไว้ให้พืชใช้ก็จะตื้น ดังนั้นรากก็จะแผ่กระจายอยู่แต่ในบริเวณที่มันสามารถดูดน้ำจากดินไปใช้ได้ ซึ่งทำให้พืชต้องดูดเอาอาหารและแร่ธาตุจากดินชั้นบนและทำให้ดินจืดอย่างรวดเร็วจนต้องใช้ปุ๋ยมากขึ้น โดยปกติแล้วเราต้องการให้พืชมีรากลึกและแผ่กระจายทั่วไป เพราะนอกจากระทำให้ไม่ต้องให้น้ำแก่พืชบ่อยขึ้นแล้ว พืชยังสามารถดูดน้ำและอาหารได้มากกว่าอีกด้วย

ในกรณีที่ดินตลอดความลึกนั้นมีคุณสมบัติพอเหมาะกับความต้องการของรากพืช ความลึกของรากก็จะผันแปรไปตามอายุและระยะเวลาที่พืชมีการเจริญเติบโต (Active growth) เช่น พืชที่มีอายุเก็บเกี่ยว 2 เดือน จะมีความลึกประมาณ 60 ถึง 90 เซนติเมตร พืชทีมีอายุเก็บเกี่ยว 3 ถึง 4 เดือน จะมีรากลึกประมาณ 1.80 ถึง 3.0 เมตร เป็นต้น ความลึกของรากนี้จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 30 ถึง 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซนติเมตร ต่อระยะเวลาที่พืชกำลังมีความเจริญเติบโต (Active growth) หนึ่งเดือน อย่างไรก็ตาม ความลึกของพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวมากๆ มักจะถูกจำกัดโดยความลึกและคุณสมบัติของชั้นดินมากกว่า กล่าวคือ ส่วนใหญ่แล้วจะมีความลึกไม่เกิน 2.0 เมตร ความลึกของรากพืชชนิดต่างๆ และปริมาณน้ำที่ใช้ตลอดฤดูกาลเพราะปลูกจะดูได้จากตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความลึกของรากเมื่อพืชโตเต็มที่ และปริมาณน้ำที่พืชต้องการตลอดฤดูกาลปลูก

พืช	ความลึกของราก-เมตร	ปริมาณน้ำใช้-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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การดูดน้ำจากดินในชั้นต่างๆ

เนื่องจากว่ารากพืชจะแผ่กระจายอยู่อย่างหนาแน่นในตอนบนของเขตรากและบริเวณโคนต้น ดังนั้นพืชจะดูดน้ำจากดินในชั้นนี้ไปใช้อย่างรวดเร็ว นอกจากความชื้นที่พืชดูดไปใช้แล้วดินยังสูญเสียน้ำในโดยการระเหยจากผิวดินอีก ขณะที่ความชื้นของดินในชั้นนี้ค่อยๆ ลดแรงดึงความชื้นของดินก็จะเพิ่มขึ้นในที่สุดพืชก็จะไม่สามารถดูดน้ำจากดินในชั้นนี้ไปใช้ได้อย่างเพียงพอความชื้นที่พืชนำไปใช้ในการเจริญเติบโตจึงต้องมาจากดินในระดับต่ำลงมา

ในดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอและมีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ตลอดความลึกของเขตราก พืชจะใช้น้ำจากตอนบนของเขตรากอย่างรวดเร็ว ส่วนในตอนล่างนั้นพืชจะดูดน้ำไปใช้ช้ากว่ามาก จากการทดลองพบว่าพืชเกือบทุกชนิดที่ปลูกในดินที่มีเนื้อดินสม่ำเสมอ และมีความชื้นมากพอกับความต้องการของพืชตลอดความลึกจะมีลักษณะการดูดน้ำจากดินชั้นต่างๆ ไปใช้คล้ายคลึงกัน กล่าวคือถ้าแบ่งความลึกของเขตรากออกเป็นสี่ส่วนเท่ากัน ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่พืชใช้ทั้งหมดมาจากดินในชั้นแรกนับจากผิวดินลงมา 30 เปอร์เซ็นต์จากดินในชั้นที่สอง 20 เปอร์เซ็นต์จากดินในชั้นที่สาม และ 10 เปอร์เซ็นต์จากดินในชั้นที่สี่ตามลำดับแสดงในรูปที่ 2.5

2.4.3 องค์ประกอบที่มีผลต่อการใช้น้ำของพืช

ปริมาณการใช้น้ำของพืชจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่สำคัญ 4 อย่างด้วยกันคือ

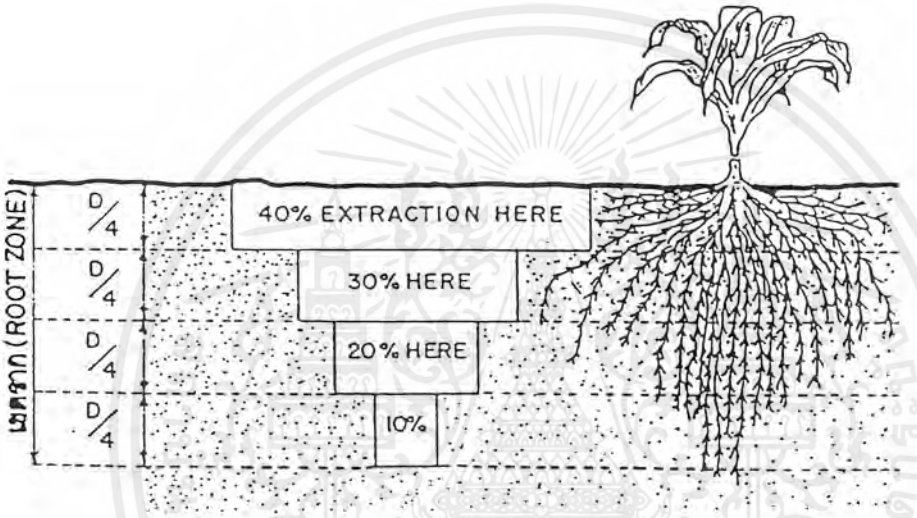
1. สภาพภูมิอากาศรอบๆ ต้นพืช ซึ่งได้แก่พลังงานความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์หรือรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ ความชื้นของอากาศ และความเร็วลม เป็นต้น

2. พืช ซึ่งได้แก่ชนิดและอายุของพืช พืชแต่ละชนิดมีความต้องการน้ำแตกต่างกัน สำหรับพืชชนิดเดียวกัน การใช้น้ำจะน้อยเมื่อเริ่มปลูกและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมากที่สุดเมื่อถึงวัยขยายพันธุ์ซึ่งพืชโตเต็มที่ จากนั้นจะค่อยๆ ลดลง

3. ดิน ซึ่งได้แก่จำนวนความชื้นในดิน เนื้อดิน ความสามารถอุ้มน้ำไว้ให้พืชใช้น้ำ ความเข้มข้นของเกลือในดินหรือสารที่เป็นพิษอย่างอื่นเป็นต้น

4. องค์ประกอบอื่นๆ เช่น วิธีการให้น้ำแก่พืชและความลึกที่ให้แต่ละครั้ง ฤดูกาลเพาะปลูก การไถพรวนดิน การคลุมดิน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ค่าเฉลี่ยของความชื้นที่พืชดูดไปจากดินในชั้นต่างๆ

2.4.4 ความถี่ในการให้น้ำ (Irrigation Frequency, Irrigation Interval)

ความถี่ในการให้น้ำ หมายถึง จำนวนวันระหว่างการให้น้ำแต่ละครั้งของพืชที่แปลงใดแปลงหนึ่ง เช่น สมมติว่าเราให้น้ำแก่พืชอย่างหนึ่งทุกๆ วันอาทิตย์ ความถี่ในการให้น้ำจะเท่ากับ 7 วัน เป็นต้น ความถี่ในการให้น้ำขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำของพืชและความสามารถเก็บน้ำไว้ไว้ของดินของเขตราก โดยเฉพาะอย่ายิ่งจาก Field Capacity ถึงระดับความชุ่มชื่นที่จุดวิกฤต (Critical Moisture Level) หรือความชื้นที่ยอมให้พืชดูดจากดินไปใช้ได้นั่นเอง

ความถี่ในการให้น้ำแก่พืชชนิดใดชนิดหนึ่งจะขึ้นอยู่กับฤดูกาลเพาะปลูกและระยะการเจริญเติบโต เมื่อเริ่มทำการเพาะปลูกที่ที่ผิวดินจะต้องมีความชื้นสูงเพื่อให้เมล็ดงอกและต้นอ่อนสามารถตั้งตัวได้ ดังนั้นจึงต้องให้น้ำครั้งละน้อยๆ แต่บ่อยครั้ง เมื่อพืชเจริญเติบโตและมีรากแผ่ลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงไปในดินมากขึ้นแต่ความถี่ในการให้น้ำก็จะค่อยๆ ลดลงจนถึงระยะออกดอก เมื่อเริ่มแก่ ความถี่ในการให้น้ำจะลดลงอีกเพราะพืชมีการใช้น้ำน้อยลง และอาจไม่ต้องให้น้ำเลยเมื่อผลสุกหรือเกับเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่3

การคำนวณและการสร้าง

3.1องค์ประกอบของเครื่อง

เครื่องตวบคุมการรดน้ำต้นไม้นี้ใช้การวัดความชื้นในดินหรือสัญญาณนาฬิกาในการเปิดปิดโซลินอยด์วาล์วเพื่อให้น้ำแก่พืชก็ได้โดยมีองค์ประกอบดังนี้

1.เซนเซอร์ความชื้นแบบก้อนความต้านทาน

2.วงจร power supply

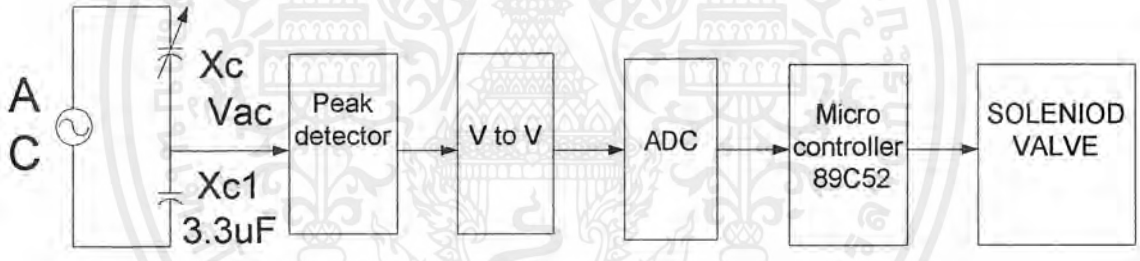
3.วงจร peak detector

4.วงจร V to V

5.วงจร analog to digital converter (ADC)

6.ไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยมีแผนผังการทำงานเมื่อใช้เซนเซอร์วัดความชื้นดัง รูป3.1



รูป3.1 แผนผังการทำงานเมื่อใช้เซนเซอร์วัดความชื้น

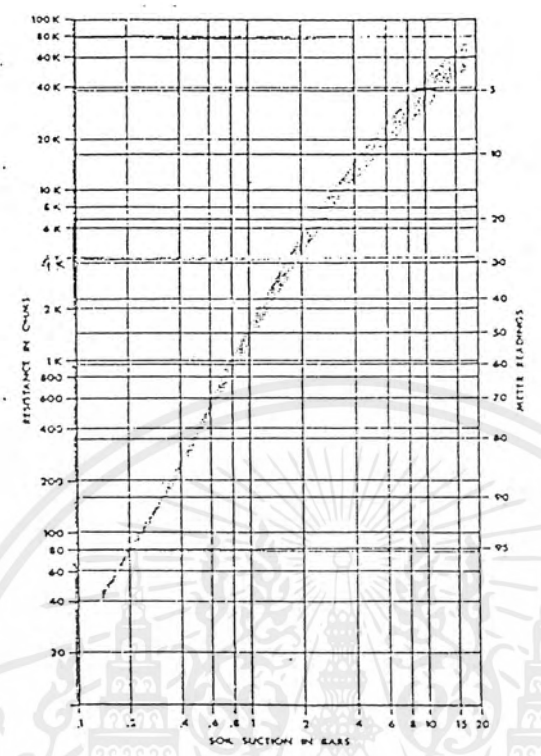
3.1.1ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานและเปอร์เซนต์ความชื้นที่อ่านได้

ตัวเซนเซอร์ที่ใช้วัดความชื้นนี้เป็นตัวเก็บประจุ(C)ซึ่งมีคุณสมบัติคือเมื่อความชื้นเปลี่ยนไปจะทำให้ค่าC ในตัวเซนเซอร์เปลี่ยนไปด้วย ทำให้ค่าอิมพิแดนซ์ ซึ่งมีความสัมพันธ์กันตามสมการที่ 3.1 เปลี่ยนไป

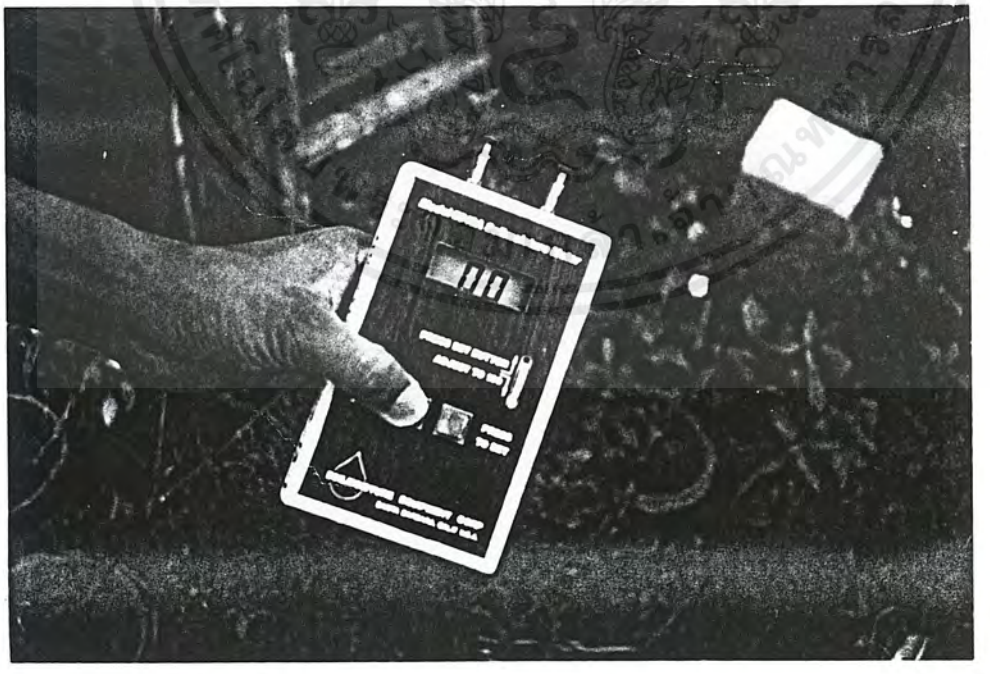
$$X_c = 1/(2\P*f*C) \qquad \text{.....(3.1)}$$

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพิแดนซ์และเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อ่านโดยเครื่องวัดความชื้นมาตรฐานตั้งแต่ 0% -100% แสดงดังรูปที่3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป3.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอิมพิแดนซ์และเปอร์เซนต์ความชื้นที่อ่านได้



รูป3.3 เครื่องวัดความชื้นมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2วิธีหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและค่าอิมพิแดนซ์

จากกราฟข้อมูลระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นและค่าอิมพิแดนซ์ Xc

ช่วงความชื้น 0% - 20% จะมีค่าอิมพิแดนซ์ในช่วง 80 kΩ - 6.93 kΩ

ช่วงความชื้น 20%- 60% จะมีค่าอิมพิแดนซ์ในช่วง 6.93 Ω - 963 Ω

ช่วงความชื้น 60%- 100% จะมีค่าอิมพิแดนซ์ในช่วง 963 Ω - 45.23969 Ω

ใช้อนุกรมของ Taylor สำหรับการประมาณค่าอิมพิแดนซ์ในแต่ละช่วงความชื้นโดยใช้สมการอันดับ3

$$P3(x) = a0+(a1*x)+(a2*x^2)+(a3*x^3) \quad \text{.....(3.2)}$$

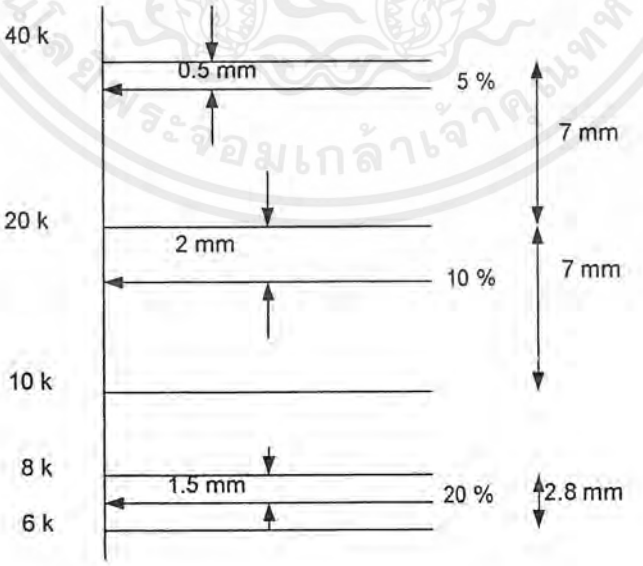
แกน X %HU	0%	5%	10%	20%
แกน Y Xc (k- Ω)	80	38.57	17.14	6.93

นำไปแทนค่าในสมการ (3.2) เพื่อหาค่า a0,a1,a2,a3 ซึ่งจะได้

a0 = 80 , a1 = -10.74183333 , a2 = 0.53675 , a3 = -0.009116667

ดังนั้นจึงได้สมการสำหรับประมาณค่า Xc ในช่วงความชื้น 0 % - 20% เป็น

$$Xc = 80 - 10.74183333(\%Hu) + 0.53675(\%Hu)^2 - 0.009116667(\%Hu)^3 \quad \text{.....(3.3)}$$



รูป3.4 แสดงค่า Xc ที่ ความชื้น 0% - 20%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับช่วงความชื้น 20% - 60%

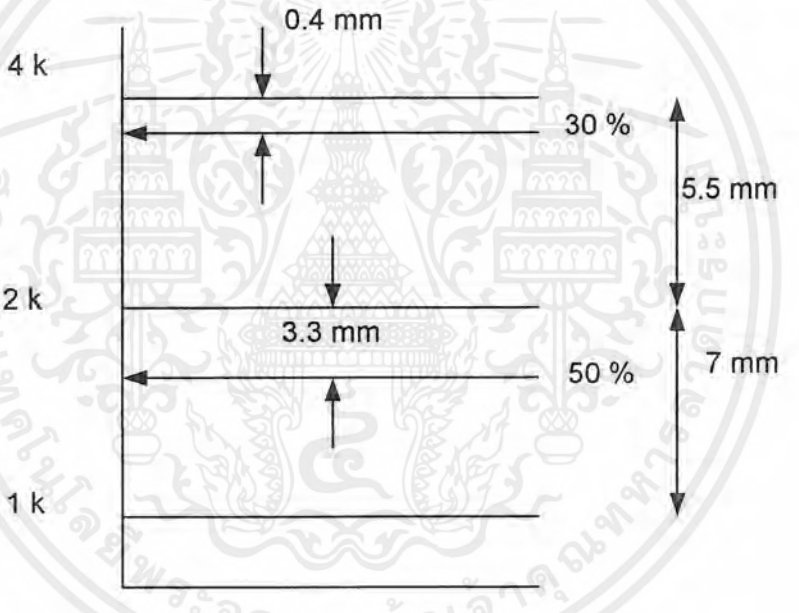
แกน X %HU	20%	30%	50%	60%
แกน Y Xc (k- Ω)	6.93	3.85	1.53	0.963

นำไปแทนค่าในสมการ (3.2) เพื่อหาค่า a0,a1,a2,a3 ซึ่งจะได้

a0 = 20.2475 , a1 = -0.97080833 , a2 = 0.01745833 , a3 = -0.00011058

ดังนั้นจึงได้สมการสำหรับประมาณค่า Xc ในช่วงความชื้น 20 % - 60% เป็น

$$Xc = 20.2475 - 0.97080833(\%Hu) + 0.01745833(\%Hu)^2 - 0.00011058(\%Hu)^3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3.4)$$



รูป3.5 แสดงค่า Xc ที่ ความชื้น 20% - 50%

* ค่าความชื้นที่ 60% ได้จากการนำตัวความต้านทานปรับค่าได้ไปเสียบระหว่างขั้วของเครื่องวัดความชื้นแล้วปรับตัวความต้านทานจนกระทั่งเครื่องอ่านได้60% แล้วจึงนำไปวัดค่าความต้านทานปรากฏว่าอ่านได้ 963 Ω

สำหรับช่วงความชื้น 60% - 100%

แกน X %HU	60%	70%	80%	100%
แกน Y Xc (Ω)	963	600	357.14	45.23969

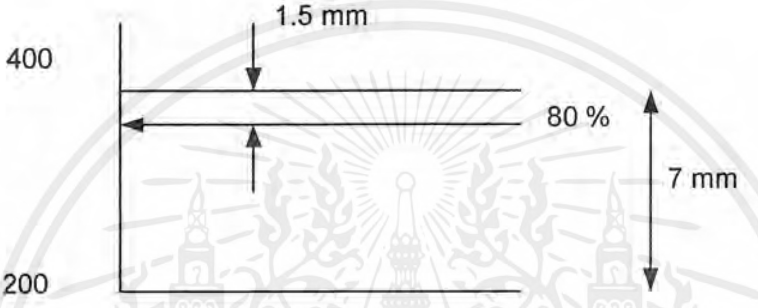
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำไปแทนค่าในสมการ (3.2) เพื่อหาค่า a0,a1,a2,a3 ซึ่งจะได้

a0 = 8276.34434 , a1 = -2279.061886 , a2 = 223.3452712 , a3 = -7.775012917

ดังนั้นจึงได้สมการสำหรับประมาณค่า Xc ในช่วงความชื้น 20 % - 60% เป็น

$$Xc = 8276.34434 - 2279.061886(\%Hu) + 223.3452712(\%Hu)^2 - 7.775012917(\%Hu)^3 \quad ...(3.5)$$



รูป3.6 แสดงค่า Xc ที่ ความชื้น 60% - 80%

ซึ่งค่า Xc ที่ความชื้น 100% หาได้จากการทดลอง โดยนำตัวเซนเซอร์ไปแช่น้ำแล้วทิ้งไว้สักพัก จากนั้นทำการวัดค่า Vac แล้วทำการคำนวณค่า Xc ออกมา

Vac = 5.97 V , Vs = 6.25 V , Xc1 = 964.575 Ω , Vdc = 7.78 V

$$Xc = Xc1*(Vs-Vac) / Vac$$
$$= 45.23969\ \Omega$$

3.1.3วงจร Peak Detector

เมื่อค่า Xc เปลี่ยน ทำให้ ค่าpeak ของ Vac เปลี่ยนตามด้วย ดังนั้นจึงใช้วงจร Peak Detector ทำการจับค่า peak ของ Vac ก่อนที่จะนำไปเข้า วงจรADC (Analog To Digital Converter) เพื่อทำการแปลงสัญญาณอนาลอก เป็น สัญญาณดิจิตอล ซึ่งวงจรPeak Detector แสดงในรูปที่3.7 เนื่องจาก Vdc ที่อ่านได้จากมิเตอร์ ไม่ใช่ค่า peak แต่เป็นค่าเฉลี่ยที่อ่านจากมิเตอร์ซึ่งเราไม่รู้ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า peak และ ค่าเฉลี่ย ดังนั้นในการคำนวณเพื่อหาค่า Xc ที่ความชื้นต่างๆต้องใช้ Vs' ในการคำนวณการแบ่งแรงดัน โดย Vs' มีค่าตามสมการ 3.3

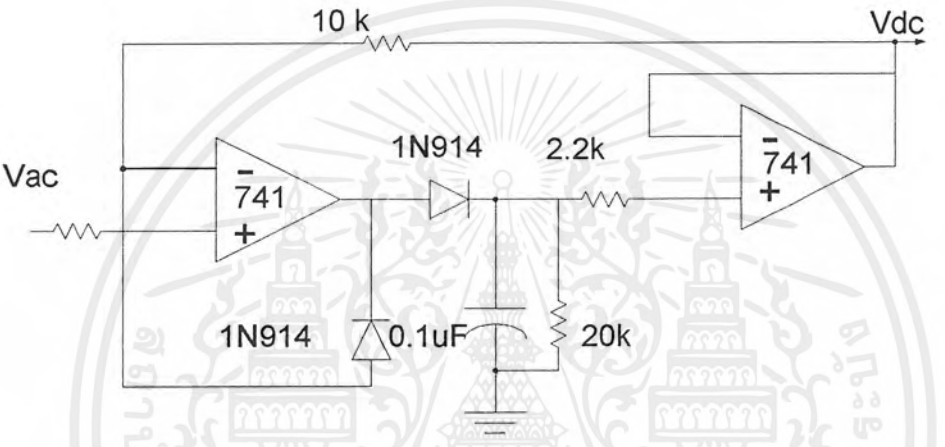
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Vs' = (Xc1+Xc)*Vdc / Xc1 \quad \text{.....(3.6)}$$

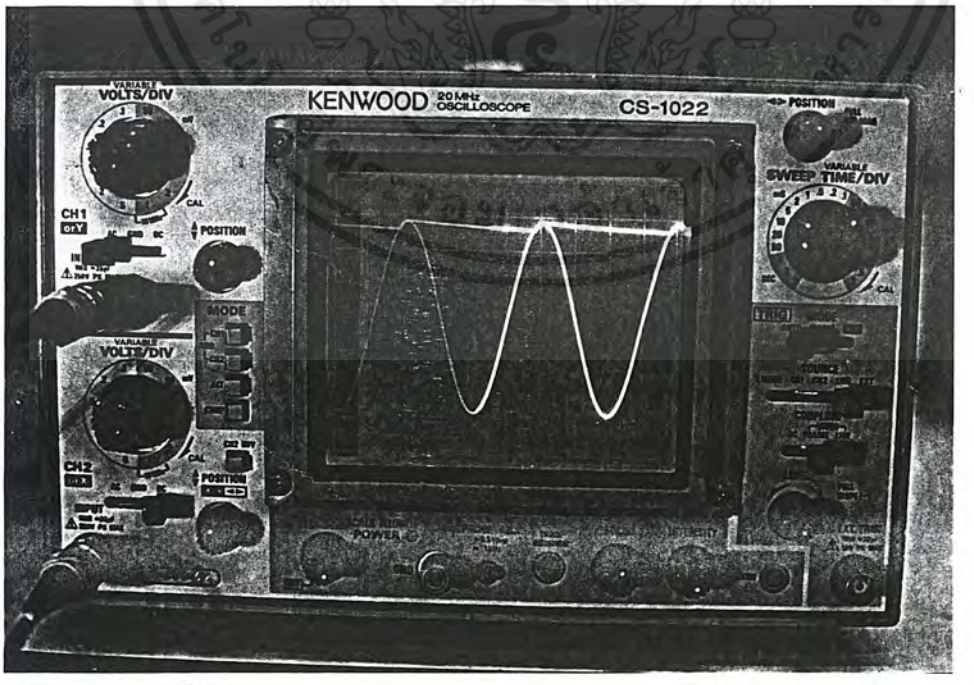
แทนค่า Vdc = 7.78 V , Xc1 = 964.575 Ω , Xc = 45.23969 Ω จะได้ Vs′= 8.14489 V

ดังนั้นในการคำนวณหาค่า Vdc ที่ Xc ต่างๆ เป็นตามสมการ 3.4

$$Vdc = Vs'*Xc1 / (Xc1+Xc) \quad \text{.....(3.7)}$$



รูป3.7 วงจร Peak Detector

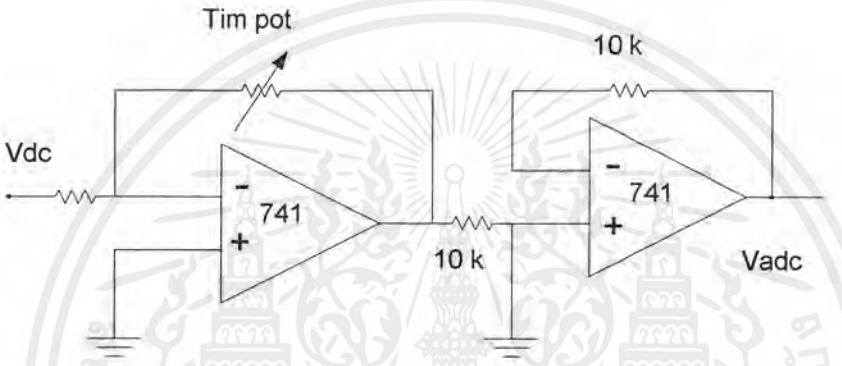


รูป3.8 สัญญาณที่ได้จากวงจร Peak Detector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4วงจร V to V

เนื่องจาก Vdc ที่ออกมาจากวงจร Peak Detector มีค่าตั้งแต่ 0 - 7.78 V แต่วงจรADCมีค่าแรงดันอ้างอิงที่ 5 V ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงแรงดัน 0 -7.78 V เป็น 0 -5 V เพื่อที่จะให้วงจรADC สามารถแปลงค่า Vdc ได้ครอบคุมทุกค่าตั้งแต่ 0 – 7.78 V วงจร V to V แสดงดังรูป 3.9



รูป 3.9 วงจร V to V

ซึ่งวิธีหาค่า R2 หาได้จาก

$$Vadc = -Vo \quad \text{.....(3.8)}$$

$$Vo / Vdc = A \quad \text{.....(3.9)}$$

$$5/7.78 = 0.64267 = A$$

$$A = R2 / R1 \quad , R1 = 10\ k\Omega$$

$$R2 = 6.42673\ k\Omega$$

เลือก Timpot ขนาด 10 $k\Omega$ มาใช้งาน ในการปรับค่า R2 ทำได้โดยป้อน Vdc = 7.78 V แล้วปรับค่า R2 จนกว่า Vo จะมีค่า -5 V จึงสามารถใช้งานได้

3.1.5วงจร ADC (Analog To Digital Converter)

เมื่อได้รับสัญญาณจาก Vadc แล้ววงจรจะทำการแปลงสัญญาณที่ได้นี้เป็นสัญญาณดิจิตอลอยู่ในรูปของเลขฐานสิบหก (Hex Code) และส่งให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลเพื่อแสดงเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นออกทางหน้าจอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร ADC มีแรงดันอ้าง 0 - 5V หมายความว่าเมื่อสัญญาณ Vadc มีค่าเปลี่ยนไป0.0196V จะทำให้สัญญาณดิจิตอลที่แปลงได้มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 step ดังนั้นจึงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Vadc ที่เป็น in put กับ สัญญาณดิจิตอลที่เป็น out put ได้โดย

$$\text{Hex code} = \text{Vadc} / 0.0196 \qquad \text{.....(3.10)}$$

จากนั้นใช้โปรแกรมทำการคำนวณตั้งแต่ ค่า Vdc ที่ได้จากค่า Xc ที่เปอร์เซ็นต์ความชื้น ณ จุด ต่างๆ ตามสมการที่ (3.3),(3.4),(3.5),(3.7) ค่า Vadc ที่ได้เมื่อผ่านวงจร V to V ตามสมการ (3.8),(3.9) และค่า Hex code ที่ได้เมื่อผ่านวงจรADC ซึ่งโปรแกรมจะอยู่ในภาคผนวก

ตารางที่3.1 แสดงค่า เปอร์เซ็นต์ความชื้น , ค่าXc , Vdc , Vadc และHex code ที่ได้จากการคำนวณ

%ความชื้น	Xc	Vdc	Vadc	Hex code
0	80 k	0.097703	0.00236	00H
1	69.7858 k	0.11104	0.07136	03H
2	60.5904 k	0.12763	0.08202	04H
3	52.3591 k	0.14733	0.09469	05H
4	45.0372 k	0.17078	0.10976	06H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%ความชื้น	Xc	Vdc	Vadc	Hex code
5	38.57 k	0.19872	0.12771	07H
6	32.9028 k	0.23197	0.14908	08H
7	27.9809 k	0.27142	0.17443	09H
8	23.7496 k	0.31789	0.2043	0AH
9	20.1942 k	0.37201	0.23908	0CH
10	17.14 k	0.43394	0.27888	0EH
11	14.6523 k	0.50307	0.32331	10H
12	12.6364 k	0.57763	0.37123	13H
13	11.0376 k	0.65458	0.42068	15H
14	9.8012 k	0.72975	0.46899	18H
15	8.8725 k	0.79865	0.51327	1AH
16	8.1968 k	0.85755	0.55112	1CH
17	7.7194 k	0.9047	0.58142	1EH
18	7.3856 k	0.94086	0.60466	1FH
19	7.1407 k	0.96929	0.62293	20H
20	6.93 k	0.99516	0.63956	21H
21	6.53557 k	1.04749	0.67319	22H
22	6.16209 k	1.10239	0.70847	24H
23	5.80894 k	1.15986	0.74541	26H
24	5.47544 k	1.21993	0.78401	28H
25	5.16094 k	1.28256	0.82427	2AH
26	4.86476 k	1.34773	0.86614	2CH
27	4.58625 k	1.41535	0.9096	2EH
28	4.32475 k	1.48532	0.95457	31H
29	4.07958 k	1.55752	1.00097	33H
30	3.85009 k	1.63176	1.04868	35H
31	3.63561 k	1.70784	1.09757	38H
32	3.43548 k	1.78551	1.14750	3BH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%ความชื้น	Xc	Vdc	Vadc	Hex code
33	3.24903 k	1.86452	1.19827	3DH
34	3.07561 k	1.94455	1.24971	40H
35	2.91455 k	2.02529	1.3016	42H
36	2.76518 k	2.1064	1.35372	45H
37	2.62684 k	2.18754	1.40587	48H
38	2.49887 k	2.26837	1.45781	4AH
39	2.3806 k	2.34856	1.50935	4DH
40	2.27137 k	2.42784	1.5603	50H
41	2.17053 k	2.50593	1.61049	52H
42	2.07739 k	2.58266	1.6598	55H
43	1.99131 k	2.65787	1.70813	57H
44	1.91161 k	2.73152	1.75546	5AH
45	1.83764 k	2.80362	1.8018	5CH
46	1.76873 k	2.87431	1.84723	5EH
47	1.76421 k	2.94379	1.89189	60H
48	1.64343 k	3.0124	1.93598	63H
49	1.58572 k	3.08057	1.97979	65H
50	1.53041 k	3.14886	2.02368	67H
51	1.47684 k	3.21795	2.06808	69H
52	1.42436 k	3.28865	2.11351	6CH
53	1.37229 k	3.36192	2.16061	6EH
54	1.31997 k	3.43891	2.21009	71H
55	1.26674 k	3.52095	2.26281	73H
56	1.21194 k	3.60961	2.31979	76H
57	1.15490 k	3.70675	2.38222	79H
58	1.09495 k	3.81464	2.45155	7DH
59	1.03145 k	3.93601	2.52956	81H
60	963.71	4.07428	2.61841	86H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%ความชื้น	Xc	Vdc	Vadc	Hex code
61	919.96417	4.16885	2.67919	89H
62	878.54959	4.26252	2.73939	8CH
63	838.70962	4.35669	2.79992	8FH
64	800.39759	4.45126	2.86069	92H
65	763.56687	4.54613	2.92166	95H
66	728.17079	4.64119	2.98275	98H
67	694.16272	4.73635	3.04391	9BH
68	661.49599	4.8315	3.10506	9EH
69	630.12397	4.92655	3.16614	0A1H
70	600	5.0214	3.2271	0A5H
71	571.07742	5.11597	3.28788	0A8H
72	543.3096	5.21018	3.34843	0ABH
73	516.64987	5.30396	3.4087	0AEH
74	491.0516	5.39723	3.46864	0B1H
75	466.46813	5.48995	3.52823	0B4H
76	442.8528	5.58207	3.58743	0B7H
77	420.15898	5.67355	3.64622	0BAH
78	398.34	5.76438	3.70459	0BDH
79	377.34922	5.85455	3.76254	0C0H
80	357.14	5.94406	3.82007	0C3H
81	337.66567	6.03295	3.8772	0C6H
82	318.87959	6.12126	3.93395	0C9H
83	300.73511	6.20904	3.99036	0CCH
84	283.18558	6.29637	4.04649	0CEH
85	266.18435	6.38334	4.10238	0D1H
86	249.68476	6.47008	4.15813	0D4H
87	233.64018	6.55672	4.21381	0D7H
88	218.00394	6.64341	4.26952	0DAH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

%ความชื้น	Xc	Vdc	Vadc	Hex code
89	202.72941	6.73034	4.32539	0DDH
90	187.76992	6.81771	4.38154	0DFH
91	173.07883	6.90575	4.43812	0E2H
92	158.60948	6.99472	4.49529	0E5H
93	144.31524	7.08488	4.55324	0E8H
94	130.14945	7.17656	4.61216	0EBH
95	116.06545	7.27009	4.67227	0EEH
96	102.0166	7.36585	4.73381	0F1H
97	87.95625	7.46425	4.79705	0F5H
98	73.83775	7.56574	4.86227	0F8H
99	59.61444	7.6708	4.9298	0FBH
100	45.23968	7.78	4.99997	0FFH

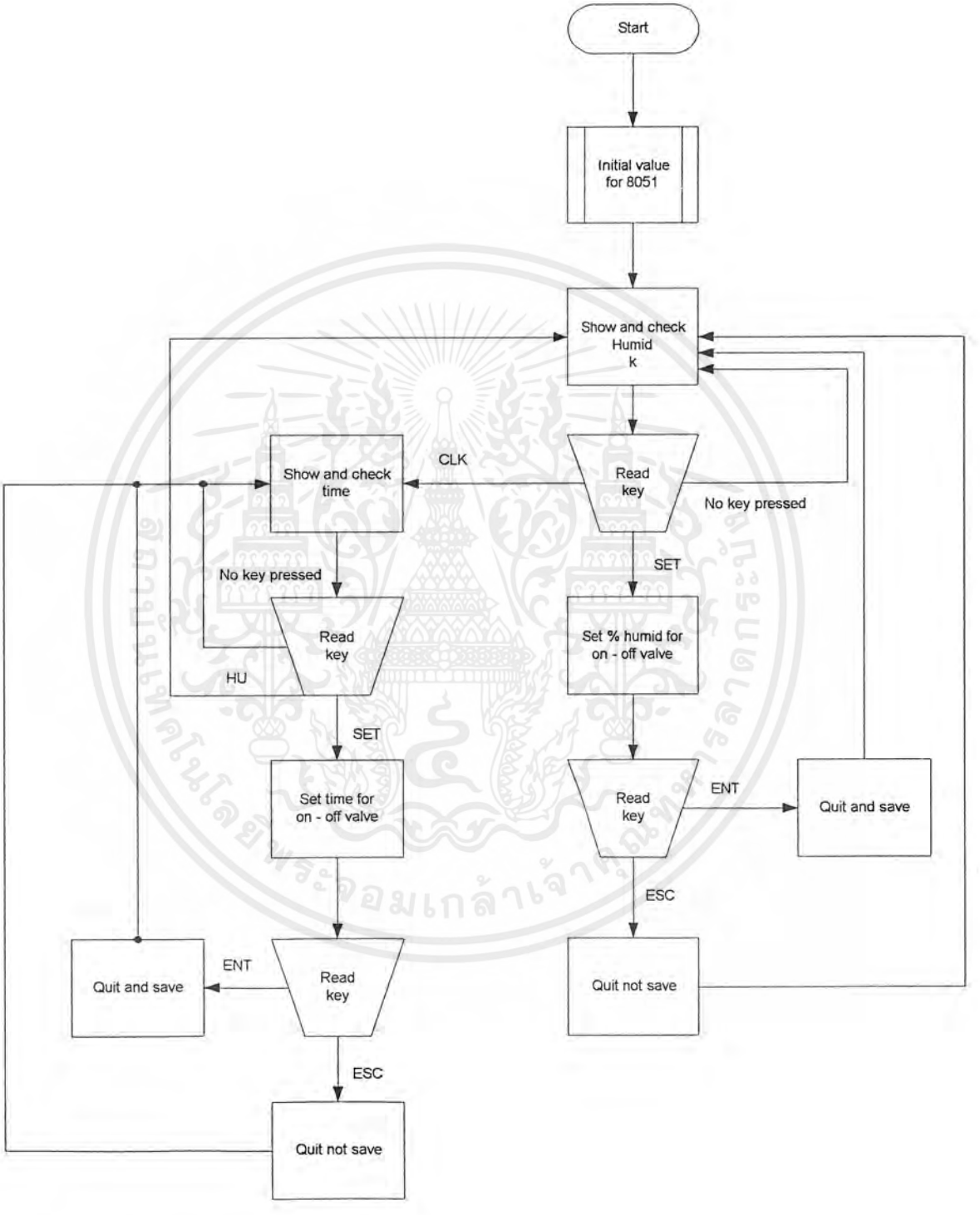
3.1.6ไมโครคอนโทรลเลอร์

ใช้บอร์ด ANT C51M ซึ่งใช้ CPU เบอร์ 89C52 ของบริษัท ATMEL โดยโครงสร้าง ROM ภายในเป็นแบบแฟลชเมมโมรี่ซึ่งสามรถที่จะเขียนและลบได้ถึง1000ครั้งจึงทำให้เหมาะสมอย่างยิ่งในการพัฒนาเนื่องจากสามารถเขียนโปรแกรมและทดสอบก่อนนำไปใช้งานจริง มีหน่วยความจำRAM ขนาด 32กิโลไบต์ (IC เบอร์ 62256) พร้อมทั้งระบบการแบ็กอัพ RAM ซึ่งใช้ IC เบอร์ MAX 691 และแบตเตอรี่ลิเที่ยม 3.2 โวลต์ดีซีขนาดเล็กใส่อยู่ด้านหลังตัวบอร์ดซึ่งทำหน้าที่จ่ายไฟเลี้ยงสำหรับเก็บรักษาข้อมูลใน RAM และระบบฐานเวลา (DS1302) มีระบบฐานเวลาซึ่งใช้ไอซีเบอร์ DS1302 ซึ่งเป็นรีลไทม์คล็อก ที่มีระบบวัน,เดือน,ปี ให้พร้อม การอ่านและเขียนข้อมูลจะรับส่งแบบอนุกรม มีระบบการแสดงผลกับจอ LCD และระบบการป้อนข้อมูลด้วยคีย์บอร์ด รายละเอียดของบอร์ดอยู่ที่ภาคผนวก

3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

มีการทำงานตามแผนผังดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.10 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

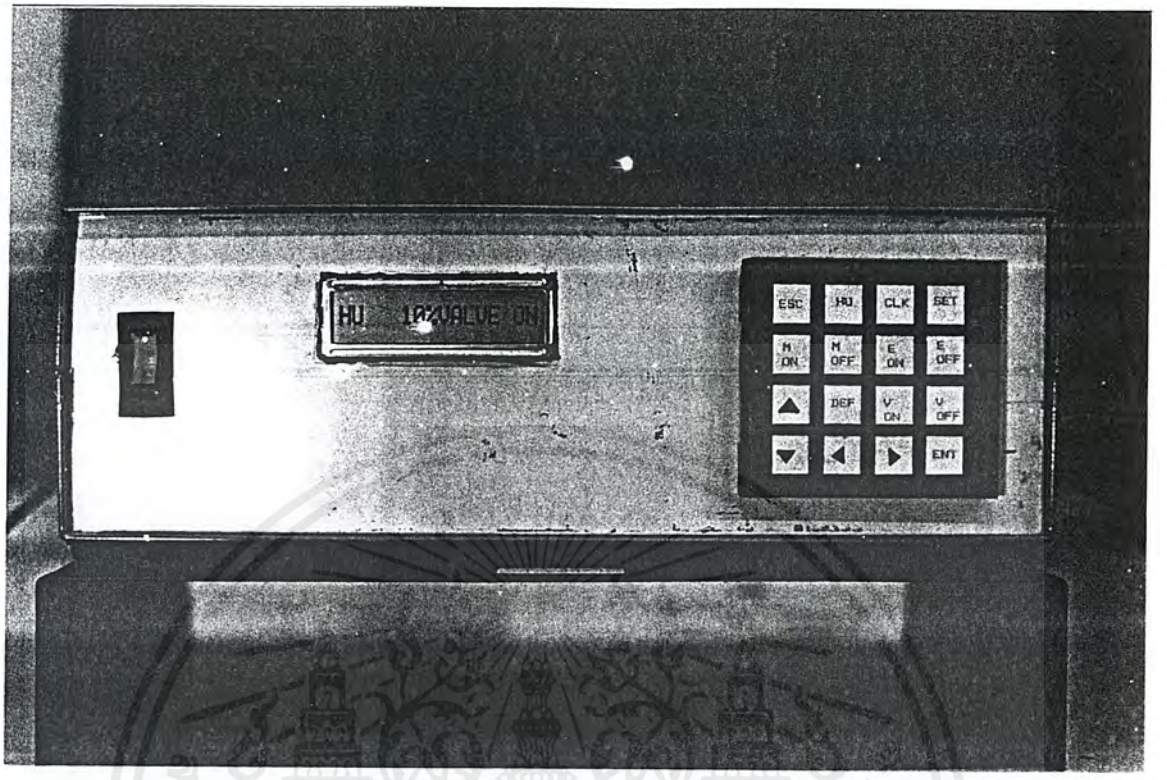
การทดลอง

4.1การทดลองอ่านค่าความชื้น

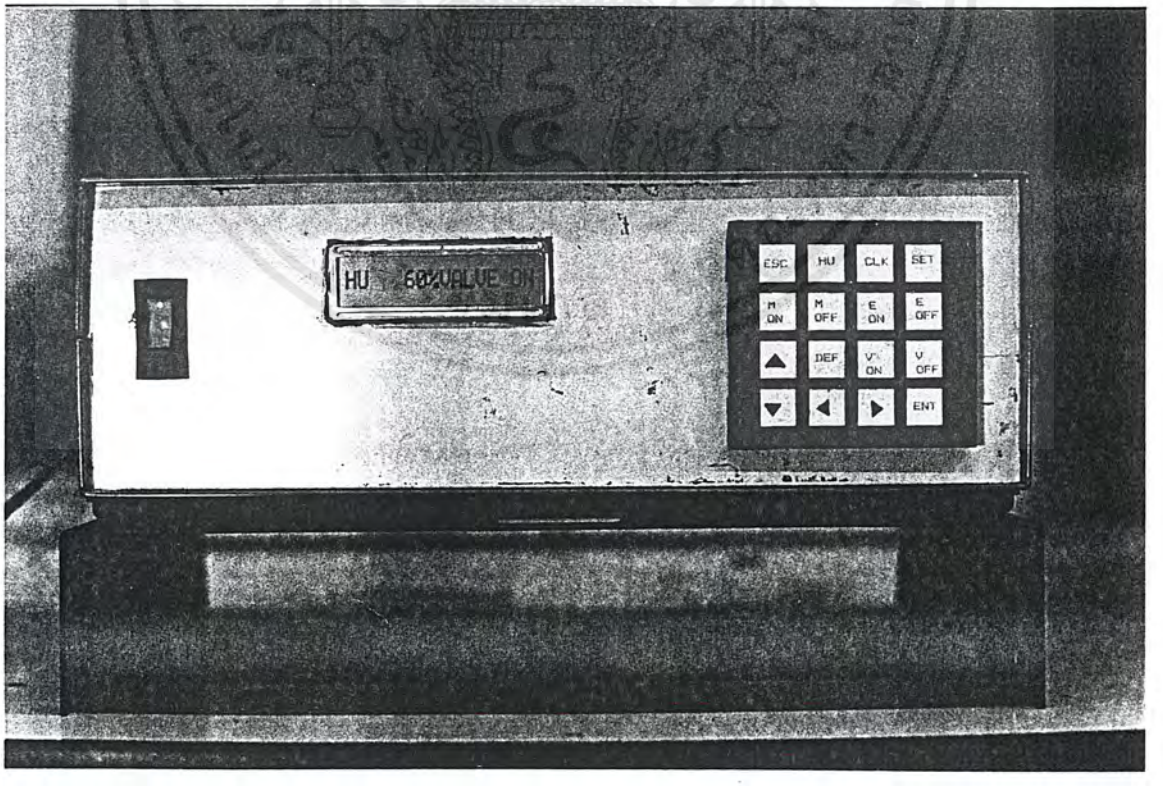
เมื่อได้ทำการประกอบเครื่องเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำเครื่องไปทดลองอ่านค่าความชื้นในดินที่มีระดับความชื้นต่างกัน โดยฝังตัวเซนเซอร์ลงไปในดินแล้วกลบดินรอบเซนเซอร์ให้แน่นเพราะจะทำให้การถ่ายเทน้ำระหว่างดินกับตัวเซนเซอร์เป็นไปได้โดยง่าย จากนั้นทิ้งไว้ประมาณ 1 วัน เพื่อให้ตัวเซนเซอร์ปรับสภาพให้เข้ากับเนื้อดินแล้วจึงอ่านค่าดังแสดงตามรูปที่ 4.1 , 4.2 , 4.3 เป็นการแสดงการฝังตัวเซนเซอร์และเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อ่นได้จากเครื่องในดินที่มีความชื้นต่างๆ

รูปที่4.1 แสดงการฝังตัวเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.2 แสดงความชื้นที่อ่านได้จากเครื่อง (10%)



รูปที่4.3 แสดงความชื้นที่อ่านได้จากเครื่อง (60%)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการใช้งานเครื่อง

เมื่อเริ่มเปิดสวิตซ์ให้เครื่องทำงาน ตัวเครื่องจะอยู่ในโหมดการทำงานแบบใช้การวัดความชื้นในดินเป็นตัวควบคุมการเปิดปิดโซลินอยด์วาล์ว ส่วนการฝังตัวเซนเซอร์ให้ฝังที่ระดับความลึกครึ่งหนึ่งของความลึกเขตราก เพราะเป็นจุดที่เหมาะสม

ส่วนหน้าจอจะแสดงเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่อ่านได้ พร้อมทั้งจะแสดงสถานะการทำงานของวาล์วดังนี้

Hu XX%VALVE ON

การตั้งเปอร์เซ็นต์ความชื้นในการเปิดหรือปิดวาล์วทำได้โดยการกดปุ่ม SET ที่หน้าจอจะปรากฏข้อความให้เราตั้งเปอร์เซ็นต์ความชื้นในการเปิดวาล์ว โดยเมื่อความชื้นที่วัดได้จากดินมีค่าน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ วาล์วจะเปิดให้น้ำไหลผ่านได้

LOWER XX%

กดปุ่ม △ เพื่อเพิ่มค่า กดปุ่ม ▽ เพื่อลดค่า กดปุ่ม ▷ เพื่อทำการตั้งค่าความชื้นในการปิดวาล์ว โดยที่ยังไม่ได้บันทึกค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในการเปิดวาล์ว ซึ่งถ้าต้องการบันทึกค่าให้กดปุ่ม ENT ที่หน้าจอการตั้งค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในการเปิดวาล์ว เครื่องจะทำการบันทึกค่าและให้ผู้ใช้ทำการตั้งค่าเปอร์เซนต์ความชื้นในการปิดวาล์วต่อไป ซึ่งหน้าจอจะปรากฏข้อความ

UPPER XX%

เมื่อต้องการบันทึกค่าที่ตั้งไว้ให้กดปุ่ม ENT หรือหากต้องการตั้งค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในการเปิดวาล์วอีกครั้งให้กดปุ่ม ◁

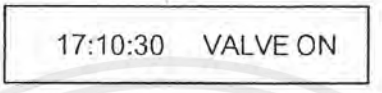
ผู้ใช้สามารถทำการตั้งค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นในการเปิดและปิดวาล์วให้เป็น 60%-70% ได้ โดยการกดปุ่ม DEF หน้าจอจะปรากฏข้อความ

DEFAULT 60%-70%

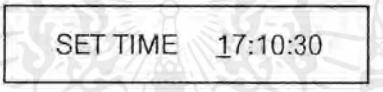
และจะกลับไปยังหน้าจอแสดงความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากต้องการออกจากการตั้งค่าเปอร์เซนต์ความชื้นในการเปิดและปิดวาล์วนี้ให้กดปุ่ม ESC เครื่องจะกลับไปที่หน้าจอแสดงค่าความชื้นที่อ่านได้อีกครั้ง และถ้ากดปุ่ม CLK เครื่องจะเปลี่ยนโหมดการทำงานไปใช้สัญญาณนาฬิกาที่ได้จาก IC เบอร์ DS1302 ในการควบคุมการเปิดและปิดวาล์ว หน้าจอจะแสดงเวลา และสถานะการเปิดหรือปิดของวาล์วดังนี้

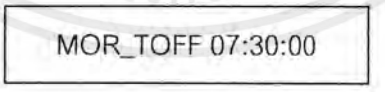


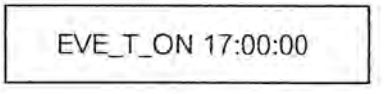
สามารถแก้ไขเวลาได้ด้วยการกดปุ่ม SET หน้าจอจะปรากฏข้อความ

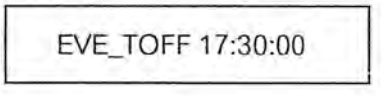


พร้อมทั้งมีการกระพริบที่ตัวเวลาที่เราต้องการแก้ไข สามารถเลื่อนได้ด้วยการกดปุ่ม ◁ หรือปุ่ม ▷ หากต้องการบันทึกค่าเวลาใหม่ให้กดปุ่ม ENT หากไม่ต้องการบันทึกให้กดปุ่ม ESC

เครื่องสามารถตั้งเวลาในการเปิดและปิดได้สองช่วงเพื่อความไม่สับสนของผู้ใช้ จึงควรใช้ MTON คู่กับ MTOFF และ ETON คู่กับ ETOFF โดยเมื่อกดปุ่มตามลำดับหน้าจอจะปรากฏข้อความตามการกดดังนี้







เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากต้องการตั้งค่าเวลาใหม่ให้กดปุ่ม SET ในหน้าจอที่แสดงค่าเวลาตามรูปข้างต้น หน้าจอจะแสดงข้อความตามนี้ พร้อมทั้งการกะพริบในตัวเวลาที่ต้องการแก้ไข

SET_M_ON 07:00:00

SET_MOFF 07:30:00

SET_E_ON 17:00:00

SET_EOFF 17:30:00

หากต้องการบันทึกค่าที่ทำการตั้งใหม่ให้กดปุ่ม ENT แต่ถ้าไม่ต้องการบันทึกให้กดปุ่ม ESC จะเป็นการออกจากการตั้งค่าเวลาในการเปิดหรือปิดวาล์ว

เครื่องสามารถเลือกเปิดหรือปิดวาล์วได้ทันทีโดยการกดปุ่ม Von หรือ Voff ซึ่งถ้าอยู่ในโหมดการทำงานโดยใช้เซนเซอร์ความชื้นเป็นตัวควบคุมการเปิดหรือปิดวาล์ว เมื่อกดปุ่มVon หรือ Voff หน้าจอจะแสดงความชื้นที่อ่านได้พร้อมทั้งสถานะของวาล์วตามการกดปุ่ม

VALVE ON HU XX%

VALVE OFF HU XX%

ถ้าหากเครื่องอยู่ในโหมดการทำงานโดยใช้สัญญาณนาฬิกาก็สามารถทำได้ในทำนองเดียวกันแต่เครื่องจะไม่แสดงเวลาในขณะที่กดปุ่ม Von หรือ Voff และเมื่อต้องการกลับไปใช้ความชื้นหรือสัญญาณนาฬิกาเป็นตัวควบคุมการเปิดหรือปิดวาล์วตามเดิมให้กดปุ่ม ESC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลและแนวทางการพัฒนา

5.1 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

สามารถสรุปปัญหาและวิธีการแก้ไขได้ดังนี้

1.แรงดันVs มีค่าไม่คงที่ เพราะมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟบ้านตามสมการดังนี้

$$Vpri / Vsec = N1 / N2 \quad ; N1 / N2 \text{ มีค่าคงที่}$$

เนื่องจากระดับแรงดันไฟบ้านไม่คงที่จึงทำให้แรงดัน Vs มีค่าไม่คงที่ด้วย ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการไม่ใช้ Vs จากหม้อแปลงแต่ใช้จาก output รูป sine ของ IC Function generator เบอร์ 8038, XR2206 หรือ MAX038 จากนั้น นำสัญญาณที่ได้ไปขยายด้วยวงจร instrument amplifier ให้ได้ขนาด 6.25 V ก็จะได้ Vs ที่คงที่

2.การหาค่าความต้านทาน (Xc) ในกราฟแสดงข้อมูลของตัวเซนเซอร์ ทำโดยวิธีการเทียบค่าจากกราฟแสดงข้อมูลความต้านทานของตัวเซนเซอร์ ดังนั้นค่าที่อ่านได้จึงไม่สามารถนำมาใช้ได้ทั้งหมด การอ่านค่าความต้านทานของตัวเซนเซอร์ที่ความชื้นต่างๆได้ใกล้เคียงที่สุด คือการนำความต้านทานแบบปรับค่าได้ ต่อที่ขั้วของเครื่องวัดความชื้นแล้วอ่านค่าความชื้นที่หน้าจอเครื่อง จากนั้นนำค่าความต้านทานที่ได้ไปวัดค่า โดยวิธีนี้ก็จะสามารถปรับเทียบค่าความต้านทานที่เปอร์เซ็นต์ความชื้นต่างๆให้มีค่าตรงกับเครื่องวัดความชื้นมาตรฐานได้

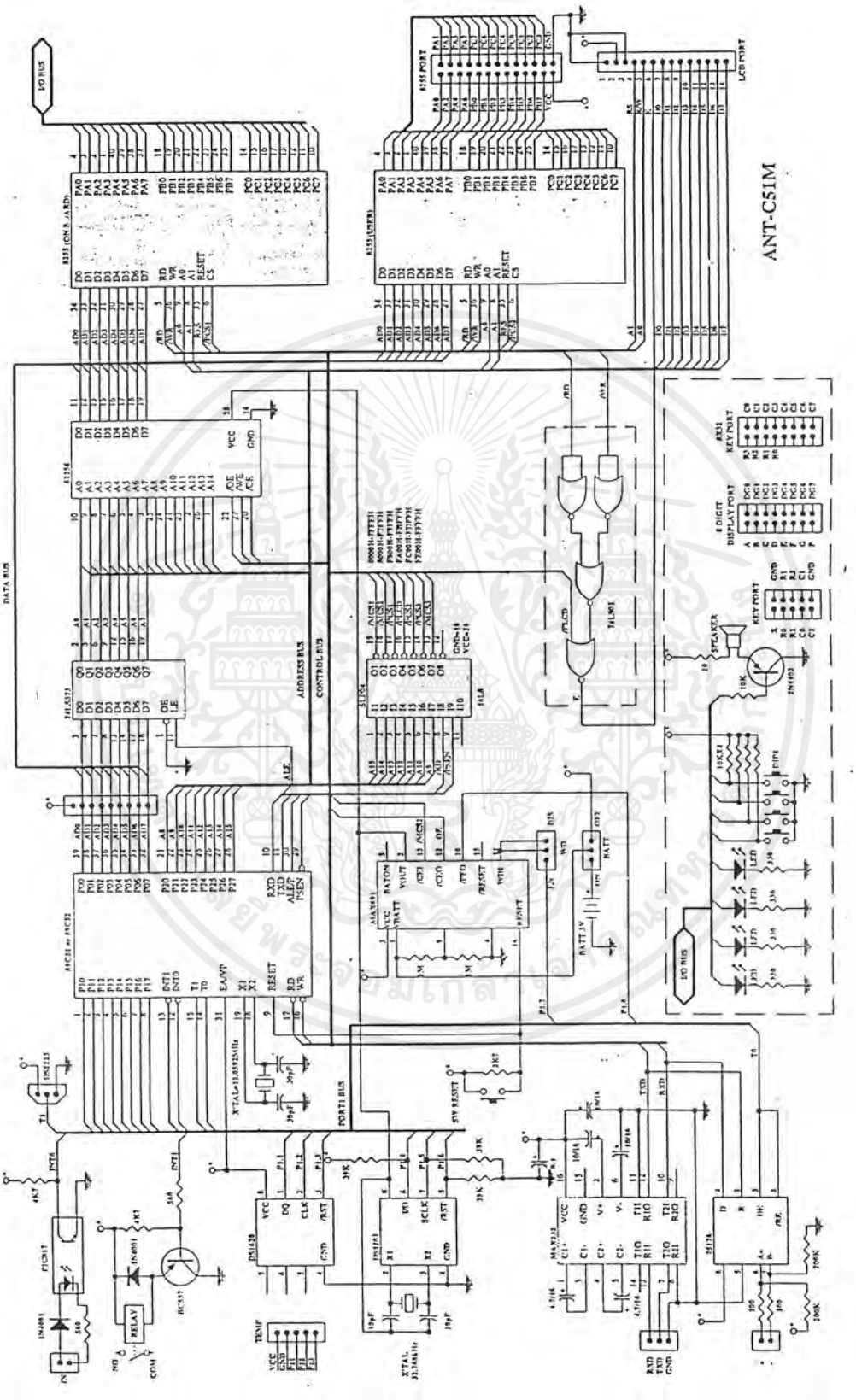
<u>แนวทางการพัฒนา</u>

เครื่องวัดความชื้นที่จัดสร้างขึ้นนี้ สามารถใช้กับเซนเซอร์วัดความชื้นเพียงหนึ่งตัวเท่านั้น แต่ในการใช้งานจริงจะต้องวางเซนเซอร์หลายตัวเพื่อการวัดค่าความชื้นในดิน ณ. จุดต่างๆ เนื่องจากความหนาแน่นของดินในแต่ละจุดไม่เท่ากัน และจะต้องต้องเขียนโปรแกรมใหม่สำหรับการรับค่าจากเซนเซอร์หลายๆตัวด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

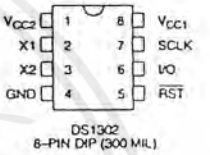
DALLAS SEMICONDUCTOR

DS1302
Trickle Charge Timekeeping Chip

FEATURES

- Real time clock counts seconds, minutes, hours, date of the month, month, day of the week, and year with leap year compensation valid up to 2100
- 31 x 8 RAM for scratchpad data storage
- Serial I/O for minimum pin count
- 2.5–5.5 volt full operation
  - Optional 2.0–5.5 volt full operation also available
- Uses less than 300 nA at 2.5 volts
- Single–byte or multiple–byte (burst mode) data transfer for read or write of clock or RAM data
- 8–pin DIP or optional 8–pin SOIC's for surface mount
- Simple 3–wire interface
- TTL–compatible (V_{CC} = 5V)
- Optional industrial temperature range –40°C to +85°C
- DS1202 compatible
- Added features over DS1202
  - Optional trickle charge capability to V_{CC1}
  - Dual power supply pins for primary and backup power supplies
  - Backup power supply pin can be used for battery or super cap input
  - Additional scratchpad memory (7 bytes)

PIN ASSIGNMENT



DS1302
8–PIN DIP (300 MIL)

DS1302S 8–PIN SOIC (200 MIL)
DS1302Z 8–PIN SOIC (150 MIL)

PIN DESCRIPTION

X1, X2	– 32.768 kHz Crystal Pins
GND	– Ground
$\overline{RST}$	– Reset
I/O	– Data Input/Output
SCLK	– Serial Clock
V_{CC1}, V_{CC2}	– Power Supply Pins

ORDERING INFORMATION

PART #	DESCRIPTION
DS1302	Serial Timekeeping Chip; 8–pin DIP
DS1302S	Serial Timekeeping Chip; 8–pin SOIC (200 mil)
DS1302Z	Serial Timekeeping Chip; 8–pin SOIC (150 mil)

DESCRIPTION

The DS1302 Trickle Charge Timekeeping Chip contains a real time clock/calendar and 31 bytes of static RAM. It communicates with a microprocessor via a simple serial interface. The real time clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with less than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24–hour or 12–hour format with an AM/PM indicator.

Interfacing the DS1302 with a microprocessor is simplified by using synchronous serial communication. Only three wires are required to communicate with the clock/RAM: (1) $\overline{RST}$ (Reset), (2) I/O (Data line), and (3) SCLK (Serial clock). Data can be transferred to and from the clock/RAM one byte at a time or in a burst of up to 31 bytes. The DS1302 is designed to operate on very low power and retain data and clock information on less than 1 microwatt.

©Copyright 1995 by Dallas Semiconductor Corporation.
All Rights Reserved. For important information regarding patents and other intellectual property rights, please refer to

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The DS1302 is the successor to the DS1202. In addition to the basic timekeeping functions of the DS1202, the DS1302 has the additional features of dual power pins for primary and back–up power supplies, programmable trickle charger for V_{CC1}, and seven additional bytes of scratchpad memory.

OPERATION

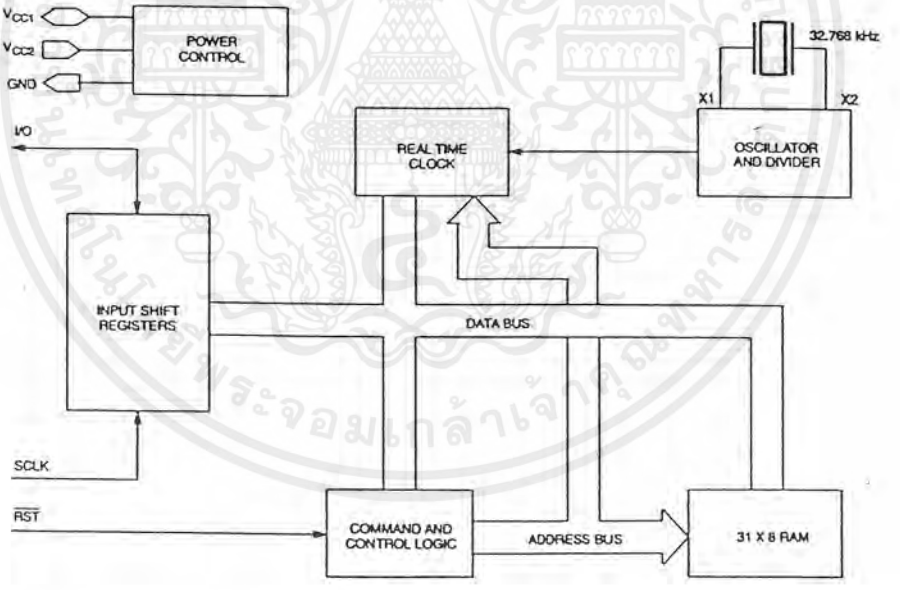
The main elements of the Serial Timekeeper are shown in Figure 1: shift register, control logic, oscillator, real time clock, and RAM. To initiate any transfer of data, $\overline{RST}$ is taken high and eight bits are loaded into the shift register providing both address and command information. Data is serially input on the rising edge of the SCLK. The first eight bits specify which of 40 bytes will be accessed, whether a read or write cycle will take place, and whether a byte or burst mode transfer is to occur.

After the first eight clock cycles have loaded the command word into the shift register, additional clocks will output data for a read or input data for a write. The number of clock pulses equals eight plus eight for byte mode or eight plus up to 248 for burst mode.

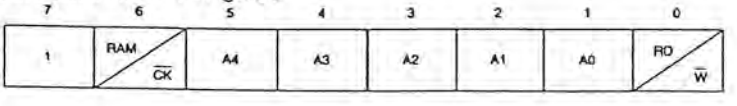
COMMAND BYTE

The command byte is shown in Figure 2. Each data transfer is initiated by a command byte. The MSB (Bit 7) must be a logic "1". If it is zero, writes to the DS1302 will be disabled. Bit 6 specifies clock/calendar data if logic "0" or RAM data if logic "1". Bits one through five specify the designated registers to be input or output, and the LSB (Bit 0) specifies a write operation (input) if logic "0" or read operation (output) if logic "1". The command byte is always input starting with the LSB (Bit 0).

DS1302 BLOCK DIAGRAM Figure 1



ADDRESS/COMMAND BYTE Figure 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESET AND CLOCK CONTROL

All data transfers are initiated by driving the $\overline{RST}$ input high. The $\overline{RST}$ input serves two functions. First, $\overline{RST}$ turns on the control logic which allows access to the shift register for the address/command sequence. Second, the $\overline{RST}$ signal provides a method of terminating either single byte or multiple byte data transfer.

A clock cycle is a sequence of a falling edge followed by a rising edge. For data inputs, data must be valid during the rising edge of the clock and data bits are output on the falling edge of clock. If the $\overline{RST}$ input is low all data transfer terminates and the I/O pin goes to a high impedance state. Data transfer is illustrated in Figure 3. At power–up, $\overline{RST}$ must be a logic "0" until $V_{CC} \geq 2.5$ volts. Also SCLK must be at a logic "0" when $\overline{RST}$ is driven to a logic "1" state.

DATA INPUT

Following the eight SCLK cycles that input a write command byte, a data byte is input on the rising edge of the next eight SCLK cycles. Additional SCLK cycles are ignored should they inadvertently occur. Data is input starting with bit 0.

DATA OUTPUT

Following the eight SCLK cycles that input a read command byte, a data byte is output on the falling edge of the next eight SCLK cycles. Note that the first data bit to be transmitted occurs on the first falling edge after the last bit of the command byte is written. Additional SCLK cycles retransmit the data bytes should they inadvertently occur so long as $\overline{RST}$ remains high. This operation permits continuous burst mode read capability. Also, the I/O pin is tri–stated upon each rising edge of SCLK. Data is output starting with bit 0.

BURST MODE

Burst mode may be specified for either the clock/calendar or the RAM registers by addressing location 31 decimal (address/command bits one through five = logical one). As before, bit six specifies clock or RAM and bit 0 specifies read or write. There is no data storage capacity at locations 9 through 31 in the Clock/Calendar Registers or location 31 in the RAM registers. Reads or writes in burst mode start with bit 0 of address 0.

As in the case with the DS1202, when writing to the clock registers in the burst mode, the first eight registers must be written in order for the data to be transferred. However, when writing to RAM in burst mode it is not necessary to write all 31 bytes for the data to transfer. Each byte that is written to will be transferred to RAM regardless of whether all 31 bytes are written or not.

CLOCK/CALENDAR

The clock/calendar is contained in seven write/read registers as shown in Figure 4. Data contained in the clock/calendar registers is in binary coded decimal format (BCD).

CLOCK HALT FLAG

Bit 7 of the seconds register is defined as the clock halt flag. When this bit is set to logic "1", the clock oscillator is stopped and the DS1302 is placed into a low–power standby mode with a current drain of less than 100 nanoamps. When this bit is written to logic "0", the clock will start.

AM-PM/12-24 MODE

Bit 7 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).

WRITE PROTECT BIT

Bit 7 of the control register is the write protect bit. The first seven bits (bits 0 – 6) are forced to zero and will always read a zero when read. Before any write operation to the clock or RAM, bit 7 must be zero. When high, the write protect bit prevents a write operation to any other register.

TRICKLE CHARGE REGISTER

This register controls the trickle charge characteristics of the DS1302. The simplified schematic of Figure 5 shows the basic components of the trickle charger. The trickle charge select (TCS) bits (bits 4 – 7) control the selection of the trickle charger. In order to prevent accidental enabling, only a pattern of 1010 will enable the trickle charger. All other patterns will disable the trickle charger. The DS1302 powers up with the trickle charger disabled. The diode select (DS) bits (bits 2 – 3) select whether one diode or two diodes are connected between V_{CC2} and V_{CC1}. If DS is 01, one diode is selected or if DS is 10, two diodes are selected. If DS is 00 or 11, the trickle charger is disabled independent of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TCS. The RS bits (bits 0 – 1) select the resistor that is connected between V_{CC2} and V_{CC1}. The resistor selected by the resistor select (RS) bits is as follows:

RS Bits	Resistor	Typical Value
00	None	None
01	R1	2KΩ
10	R2	4KΩ
11	R3	8KΩ

If RS is 00, the trickle charger is disabled independent of TCS.

Diode and resistor selection is determined by the user according to the maximum current desired for battery or super cap charging. The maximum charging current can be calculated as illustrated in the following example. Assume that a system power supply of 5V is applied to V_{CC2} and a super cap is connected to V_{CC1}. Also assume that the trickle charger has been enabled with 1 diode and resistor R1 between V_{CC2} and V_{CC1}. The maximum current I_{max} would therefore be calculated as follows:

$$I_{max} = (5.0V - \text{diode drop}) / R1$$
$$- (5.0V - 0.7V) / 2K\Omega$$
$$- 2.2\ mA$$

Obviously, as the super cap charges, the voltage drop between V_{CC2} and V_{CC1} will decrease and therefore the charge current will decrease.

CLOCK/CALENDAR BURST MODE

The clock/calendar command byte specifies burst mode operation. In this mode the first eight clock/calendar registers can be consecutively read or written (see Figure 4) starting with bit 0 of address 0.

If the write protect bit is set high when a write clock/calendar burst mode is specified, no data transfer will occur to any of the eight clock/calendar registers (this includes the control register). The trickle charger is not accessible in burst mode.

RAM

The static RAM is 31 x 8 bytes addressed consecutively in the RAM address space.

RAM BURST MODE

The RAM command byte specifies burst mode operation. In this mode, the 31 RAM registers can be consecutively read or written (see Figure 4) starting with bit 0 of address 0.

REGISTER SUMMARY

A register data format summary is shown in Figure 4.

CRYSTAL SELECTION

A 32.768 kHz crystal can be directly connected to the DS1302 via pins 2 and 3 (X1, X2). The crystal selected for use should have a specified load capacitance (CL) of 6 pF.

POWER CONTROL

V_{CC1} provides low power operation in single supply and battery operated systems as well as low power battery backup.

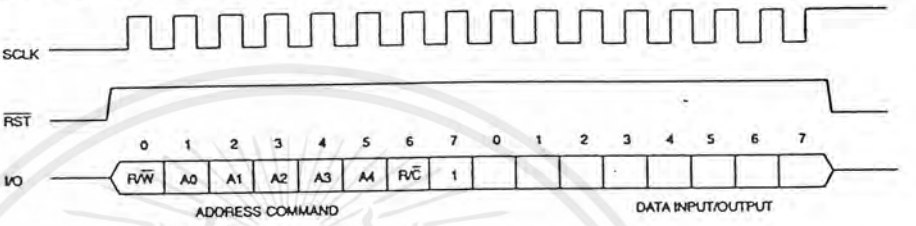
V_{CC2} provides the primary power in dual supply systems where V_{CC1} is connected to a backup source to maintain the time and data in the absence of primary power.

The DS1302 will operate from the larger of V_{CC1} or V_{CC2}. When V_{CC2} is greater than V_{CC1} + 0.2V, V_{CC2} will power the DS1302. When V_{CC2} is less than V_{CC1}, V_{CC1} will power the DS1302.

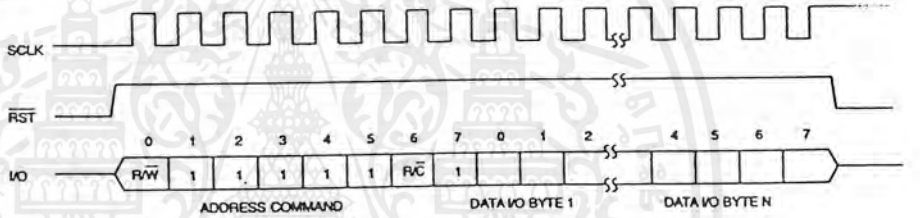
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA TRANSFER SUMMARY Figure 3

SINGLE BYTE TRANSFER



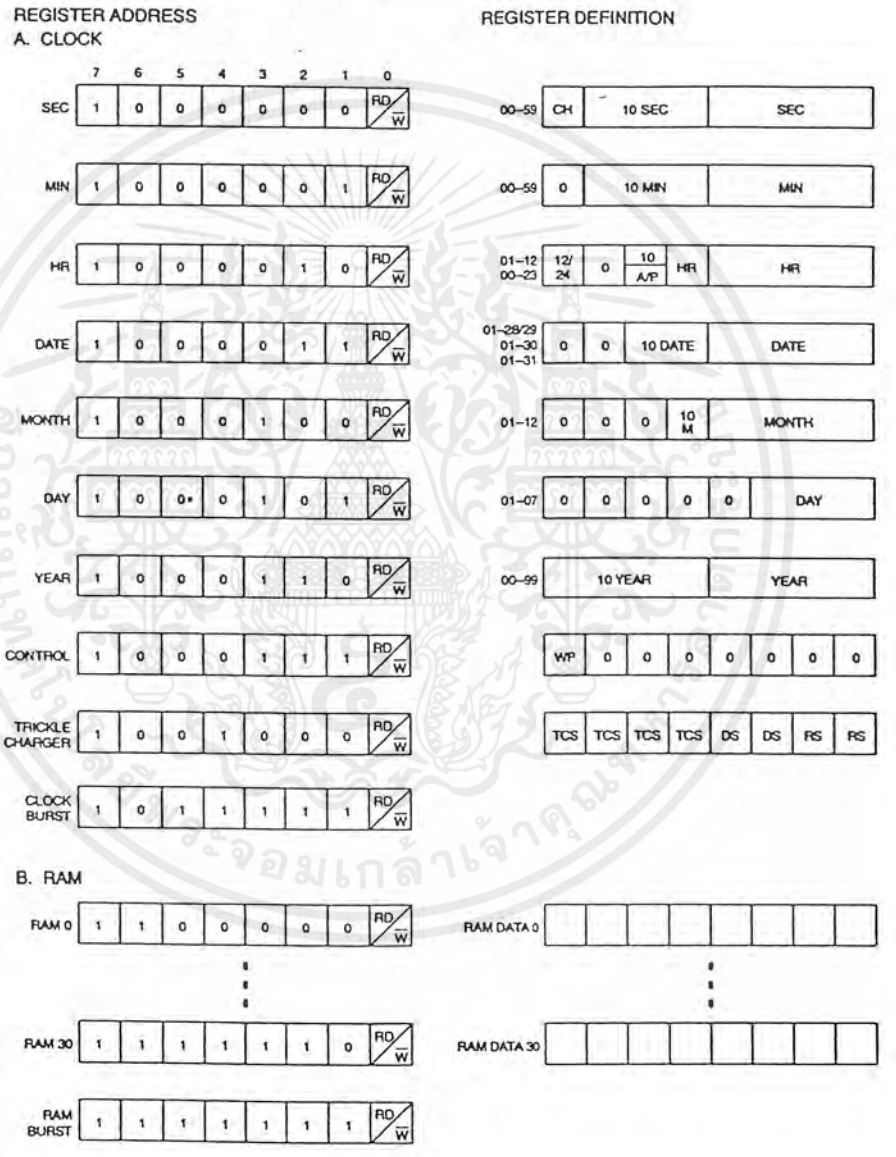
BURST MODE TRANSFER



FUNCTION	BYTE N	SCLK n
CLOCK	8	72
RAM	31	256

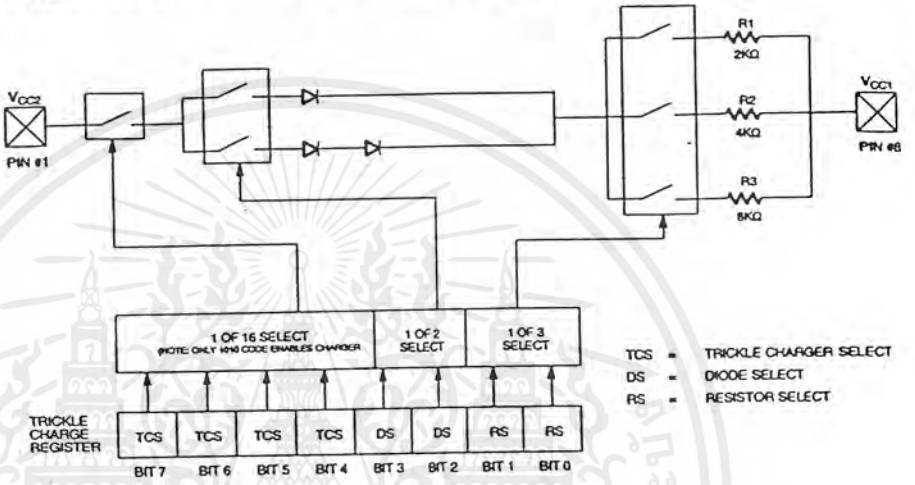
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REGISTER ADDRESS/DEFINITION Figure 4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DS1302 PROGRAMMABLE TRICKLE CHARGER Figure 5



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Voltage on Any Pin Relative to Ground	−0.5V to +7.0V
Operating Temperature	0°C to 70°C
Storage Temperature	−55°C to +125°C
Soldering Temperature	260°C for 10 seconds

* 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.

The Dallas Semiconductor DS1302 is built to the highest quality standards and manufactured for long term reliability. All Dallas Semiconductor devices are made using the same quality materials and manufacturing methods. However, standard versions of the DS1302 are not exposed to environmental stresses, such as burn–in, that some industrial applications require. Products which have successfully passed through this series of environmental stresses are marked IND or N, denoting their extended operating temperature and reliability rating. For specific reliability information on this product, please contact the factory in Dallas at (972) 371–4448.

RECOMMENDED DC OPERATING CONDITIONS

(0°C to 70°C)

PARAMETER	SYMBOL		MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage V_{CC1}, V_{CC2}	V_{CC1}, V_{CC2}		2.5		5.5	V	1, 11
Logic 1 Input	V_{IH}		2.0		V_{CC}+0.3	V	1
Logic 0 Input	V_{IL}	V_{CC}=2.5V	−0.3		+0.3	V	1
		V_{CC}=5V	−0.3		+0.8		

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(0°C to 70°C; V_{CC} = 2.5 to 5.5V*)

PARAMETER	SYMBOL		MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Input Leakage	I_{LI}				+500	µA	6
I/O Leakage	I_{LO}				+500	µA	6
Logic 1 Output	V_{OH}	V_{CC}=2.5V	1.6			V	2
		V_{CC}=5V	2.4				
Logic 0 Output	V_{OL}	V_{CC}=2.5V			0.4	V	3
		V_{CC}=5V			0.4		
Active Supply Current	I_{CC1A}	V_{CC1}=2.5V			0.4	mA	5, 12
		V_{CC1}=5V			1.2		
Timekeeping Current	I_{CC1T}	V_{CC1}=2.5V			0.3	µA	4,12
		V_{CC1}=5V			1		
Standby Current	I_{CC1S}	V_{CC1}=2.5V		100		nA	10, 12, 14
		V_{CC1}=5V		100			
Active Supply Current	I_{CC2A}	V_{CC2}=2.5V			0.425	mA	5, 13
		V_{CC2}=5V			1.28		

*Unless otherwise noted.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (cont'd) (0°C to 70°C; V_{CC} = 2.5 to 5.5V*)

PARAMETER	SYMBOL		MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Timekeeping Current	I_{CC2T}	V_{CC2}=2.5V			25.3	µA	4,13
		V_{CC2}=5V			81		
Standby Current	I_{CC2S}	V_{CC2}=2.5V			25	µA	10, 13
		V_{CC2}=5V			80		
Trickle Charge Resistors	R1 R2 R3			2 4 8		KΩ KΩ KΩ	
Trickle Charger Diode Voltage Drop	V_{TD}			0.7		V	

*Unless otherwise noted.

CAPACITANCE (t_A = 25°C)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Input Capacitance	C_I		10		pF	
I/O Capacitance	$C_{I/O}$		15		pF	
Crystal Capacitance	C_X		6		pF	

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (0°C to 70°C; V_{CC} = +5V ± 10%*)

PARAMETER	SYMBOL		MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Data to CLK Setup	t_{DC}	V_{CC}=2.5V	200			ns	7
		V_{CC}=5V	50				
CLK to Data Hold	t_{CDH}	V_{CC}=2.5V	280			ns	7
		V_{CC}=5V	70				
CLK to Data Delay	t_{CDD}	V_{CC}=2.5V			800	ns	7, 8, 9
		V_{CC}=5V			200		
CLK Low Time	t_{CL}	V_{CC}=2.5V	1000			ns	7
		V_{CC}=5V	250				
CLK High Time	t_{CH}	V_{CC}=2.5V	1000			ns	7
		V_{CC}=5V	250				
CLK Frequency	t_{CLK}	V_{CC}=2.5V			0.5	MHz	7
		V_{CC}=5V	DC		2.0		
CLK Rise and Fall	t_R, t_F	V_{CC}=2.5V			2000	ns	
		V_{CC}=5V			500		
$\overline{RST}$ to CLK Setup	t_{CC}	V_{CC}=2.5V	4			µs	7
		V_{CC}=5V	1				

*Unless otherwise noted.

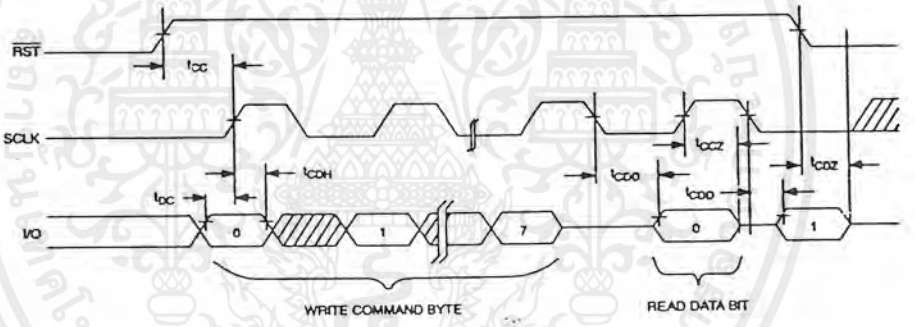
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (cont'd) (0°C to 70°C; V_{CC} = +5V ± 10%*)

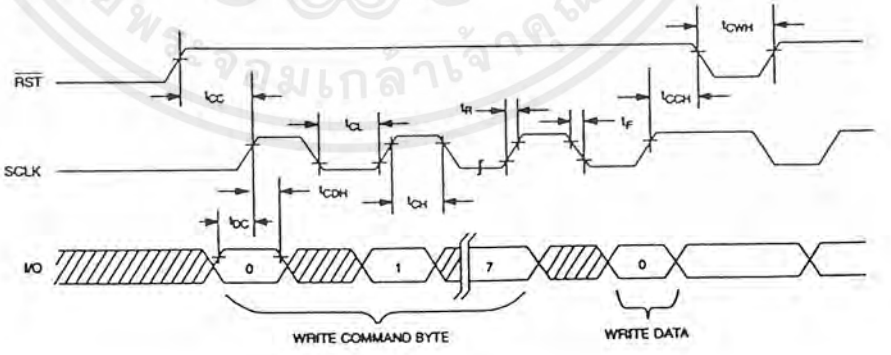
PARAMETER	SYMBOL		MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
CLK to $\overline{RST}$ Hold	t_{CCH}	V_{CC}=2.5V	240			ns	7
		V_{CC}=5V	60				
$\overline{RST}$ Inactive Time	t_{CWH}	V_{CC}=2.5V	4			µs	7
		V_{CC}=5V	1				
$\overline{RST}$ to I/O High Z	t_{CDZ}	V_{CC}=2.5V			280	ns	7
		V_{CC}=5V			70		
SCLK to I/O High Z	t_{CCZ}	V_{CC}=2.5V			280	ns	7
		V_{CC}=5V			70		

*Unless otherwise noted.

TIMING DIAGRAM: READ DATA TRANSFER Figure 5



TIMING DIAGRAM: WRITE DATA TRANSFER Figure 6

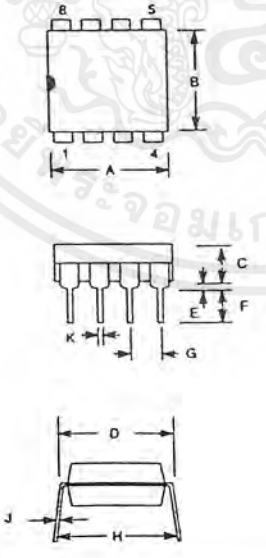


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NOTES:

1. All voltages are referenced to ground.
2. Logic one voltages are specified at a source current of 1 mA at V_{CC}=5V and 0.4 mA at V_{CC}=2.5V, V_{OH}=V_{CC} for capacitive loads.
3. Logic zero voltages are specified at a sink current of 4 mA at V_{CC}=5V and 1.5 mA at V_{CC}=2.5V, V_{OL}=GND for capacitive loads.
4. I_{CC1T} and I_{CC2T} are specified with I/O open, $\overline{RST}$ set to a logic "0", and clock halt flag=0 (oscillator enabled).
5. I_{CC1A} and I_{CC2A} are specified with the I/O pin open, $\overline{RST}$ high, SCLK=2 MHz at V_{CC}=5V; SCLK=500 kHz, V_{CC}=2.5V and clock halt flag=0 (oscillator enabled).
6. $\overline{RST}$, SCLK, and I/O all have 40KΩ pulldown resistors to ground.
7. Measured at V_{IH}=2.0V or V_{IL}=0.8V and 10 ms maximum rise and fall time.
8. Measured at V_{OH}=2.4V or V_{OL}=0.4V.
9. Load capacitance = 50 pF.
10. I_{CC1S} and I_{CC2S} are specified with $\overline{RST}$, I/O, and SCLK open. The clock halt flag must be set to logic one (oscillator disabled).
11. V_{CC}=V_{CC2}, when V_{CC2}>V_{CC1}+0.2V; V_{CC}=V_{CC1}, when V_{CC1}>V_{CC2}.
12. V_{CC2}=0 volts.
13. V_{CC1}=0 volts.
14. Typical values are at 25°C.

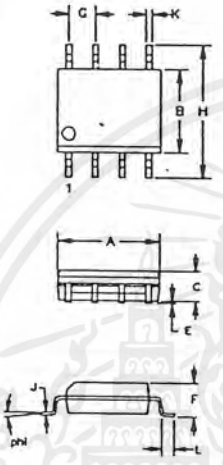
DS1302 SERIAL TIMEKEEPER 8–PIN DIP



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 อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DS1302S SERIAL TIMEKEEPER 8–PIN SOIC (150 MIL AND 200 MIL)



PKG	8–PIN (150 MIL)		8–PIN (200 MIL)	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A IN. MM	0.188 4.78	0.196 4.98	0.203 5.16	0.213 5.41
B IN. MM	0.150 3.81	0.158 4.01	0.203 5.16	0.213 5.41
C IN. MM	0.048 1.22	0.062 1.57	0.070 1.78	0.074 1.88
E IN. MM	0.004 0.10	0.010 0.25	0.004 0.10	0.010 0.25
F IN. MM	0.053 1.35	0.069 1.75	0.074 1.88	0.084 2.13
G IN. MM	0.050 BSC 1.27 BSC			
H IN. MM	0.230 5.84	0.244 6.20	0.302 7.67	0.318 8.08
J IN. MM	0.007 0.18	0.011 0.28	0.008 0.15	0.010 0.25
K IN. MM	0.012 0.30	0.020 0.51	0.013 0.33	0.020 0.51
L IN. MM	0.016 0.41	0.050 1.27	0.019 0.48	0.030 0.76
phi	0°	8°	0°	8°

56–G2008–001
56–G4010–001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ปรเมษฐ์ ประนยานนท์,ปิยพงศ์ เผ่าวาณิช. " คู่มือและการประยุกต์ใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ". กรุงเทพมหานคร:บริษัท เอช.เอ็น.กรุ๊ป จำกัด

2. วิบูลย์ บุญยชโลกุล. " หลักการชลประทาน ". กรุงเทพมหานคร:โรงพิมพ์เอเซีย,2526.

3. Walter G. Jung."IC Op-Amp Cook Book". Indianapolis USA: Howard W. Sam & Co.,INC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้