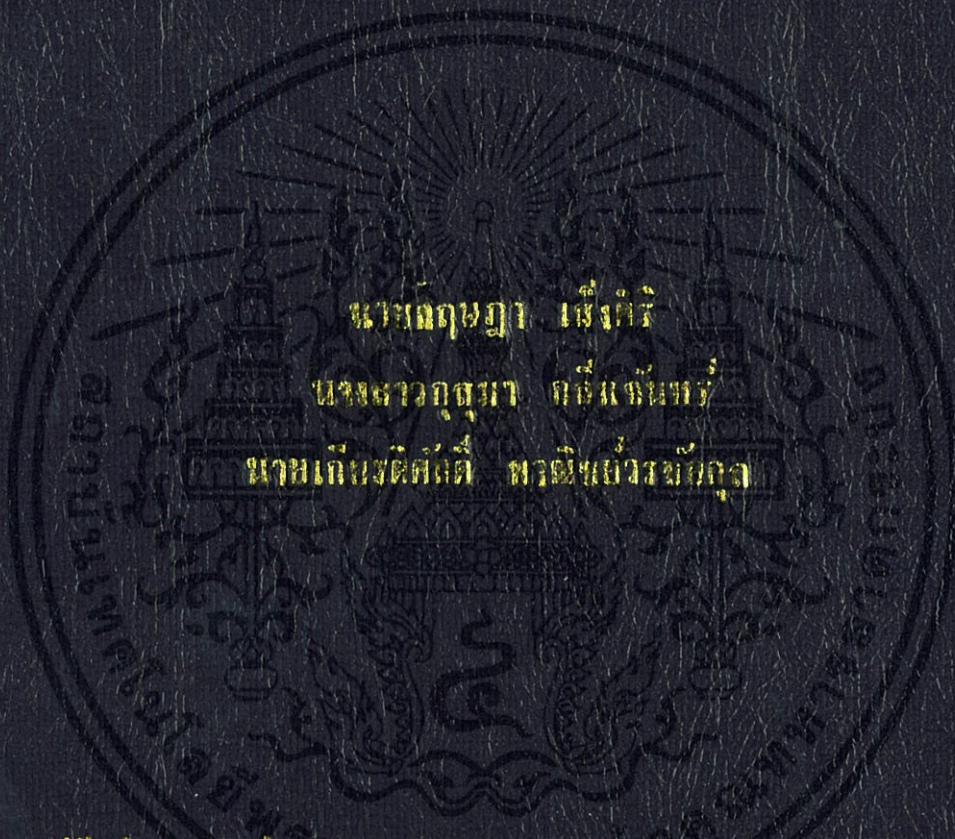


แบบจำลองควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์
MODEL OF AUTOMATIC WATERING CONTROL BY SOLAR CELL



นายณัฐภา เจริญศรี
นางสาวกฤษณา กิ่งจันทร์
นายเกษมศักดิ์ หวานิชย์กุล

ปริญญาบัณฑิตเป็นส่วนหนึ่งของวารสารที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

แบบจำลองควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์
MODEL OF AUTOMATIC WATERING CONTROL BY SOLAR CELL



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์และบุคลากรในหน่วยงานนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก คณะวิศวกรรมศาสตร์จึงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2557

MODEL OF AUTOMATIC WATERING CONTROL BY SOLAR CELL



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

เอกสารนี้เป็น BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING จัประ โยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งนี้ออกไปเพื่อประโยชน์อื่นใดของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2014

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ แบบจำลองควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์
MODEL OF AUTOMATIC WATERING CONTROL BY SOLAR CELL

นักศึกษาผู้จัดทำ นายกฤษฎา เส็งศิริ รหัสนักศึกษา 54010058
นางสาวกฤษฎา กลิ่นจันทร์ รหัสนักศึกษา 54010124
นายเกียรติศักดิ์ พาณิชยวรชัยกุล รหัสนักศึกษา 54010134

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2557

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.สาท คำมูล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แบบจำลองควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติโดยใช้เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ MODEL OF AUTOMATIC WATERING CONTROL BY SOLAR CELL		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายกฤษฎา	เส็งศิริ	รหัสนักศึกษา 54010058
	นางสาวกสุมา	กลิ่นจันทร์	รหัสนักศึกษา 54010124
	นายเกียรติศักดิ์	พาณิชย์วรชัยกุล	รหัสนักศึกษา 54010134
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.สาท คำมูล		
ปีการศึกษา	2557		

บทคัดย่อ

โครงการนี้จัดทำขึ้นมาเพื่อออกแบบและสร้างแบบจำลองการควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ โดยมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Cell) มาประยุกต์ใช้กับงานด้านเกษตรกรรม เพื่ออำนวยความสะดวกและอีกทั้งยังเป็นการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างคุ้มค่าและลดการใช้พลังงานไฟฟ้า เครื่องรดน้ำต้นไม้อัตโนมัตินี้ มีหลักการทำงาน คือ แปลงพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า กระแสตรง มาเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เพื่อจ่ายพลังงานกับอุปกรณ์ต่างๆ โดยมี Arduino Mega 2560 R3 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รับค่าความชื้นจากเซนเซอร์วัดความชื้นในดินและเซนเซอร์วัดระดับน้ำมาประมวลผลแล้วสั่งการทำงานของปั๊มและโซลินอยด์วาล์ว ในการควบคุมการจ่ายน้ำแบบระบบน้ำหยด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	MODEL OF AUTOMATIC WATERING CONTROL BY SOLAR CELL
Authors	Kritsada Sengsiri Kusuma Klinchan Kiattisak Phanitworachaikul
Degree	Bachelor of Engineering
Program	Instrumentation Engineering
Thesis Advisor	Assistant Prof. Sart Kammool
Year	2014

Abstract

The purpose of this project was design to create model of automatic watering control with solar energy (Solar Cell) was applied to agriculture. To more facilitation, water resources management and reduce the electric energy consumption. The principles of Automatic watering system are convert solar energy into direct current electricity (DC) and store electrical energy in battery for energy supply to devices. We use Arduino Mega 2560 R3 is microcontroller. It receives the values from soil moisture sensor and ultrasonic sensor. Then it order processing and control pump and solenoid valve in water drip irrigation system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ และสนับสนุนจาก อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาท คำมูล ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำในการออกแบบ และการ แก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ของอาจารย์ และขอกราบขอบพระคุณเป็น อย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ให้ความรู้ต่าง ๆ อันเป็น ประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณบิดามารดา สำหรับทุกสิ่งที่ทำให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดการทำ ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ท่านผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่าน

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญภาพ.....	IX

บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงาน.....	2

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	3
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์.....	3
2.1.1 ศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์.....	4
2.1.2 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้.....	4
2.2 โซลาร์เซลล์ (Solar Cell).....	4
2.2.1 องค์ประกอบของโซลาร์เซลล์.....	5
2.2.2 ชนิดของโซลาร์เซลล์.....	5
2.2.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตอลไลน์.....	6
2.2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตอลไลน์.....	7
2.2.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน.....	7
2.2.2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์.....	8
2.2.2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์.....	8
2.2.2.6 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดจ์.....	8
2.2.3 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
2.2.4 การบำรุงรักษา.....	9
2.3 ความต้องการพื้นฐานของพืช.....	9
2.3.1 ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม.....	9
2.3.2 น้ำในดิน (Soil Water).....	10
2.3.2.1 ชนิดของน้ำในดิน.....	10
2.3.2.2 Field Capacity.....	11
2.3.2.3 จุดเหี่ยวเฉาถาวร.....	11
2.3.2.4 ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture).....	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2.5 การหาปริมาณความชื้นในดิน.....	13
2.3.2.6 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช.....	14
2.3.2.7 พืชกับการกำหนดการให้น้ำ.....	14
2.3.2.8 ดินกับการกำหนดการให้น้ำ.....	16
2.3.2.9 ลักษณะการแผ่กระจายของราก.....	17
2.3.3 น้ำ (Water).....	18
2.3.3.1 ความสำคัญของน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช.....	18
2.3.3.2 ความต้องการน้ำของพืช (Water Requirement of Plant).....	19
2.3.3.3 การจัดการน้ำ (Water Management).....	20
2.3.4 อากาศในดิน.....	21
2.3.5 แร่ธาตุอาหาร (Nutrients).....	22
2.3.6 แสง (Light).....	23
2.3.6.1 ความเข้มของแสง (Light Intensity).....	24
2.3.6.2 คุณภาพของแสง (Light Quality).....	25
2.3.6.3 ช่วงแสง (Light Duration or Photoperiod).....	25
2.3.7 อุณหภูมิ.....	26
2.4 Arduino.....	27
2.4.1 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม.....	28
2.5 วิธีการชลประทานแบบหยด (Drip or Trickle Irrigation).....	28
2.5.1 ข้อดีของระบบน้ำหยด.....	29
2.5.2 ข้อจำกัดของระบบน้ำหยด.....	29
บทที่ 3 อุปกรณ์และการออกแบบ.....	30
3.1 อุปกรณ์.....	30
3.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega 2560 R3).....	30
3.1.2 เซนเซอร์ตรวจจับด้วยพลังงานเสียง (Ultrasonic Sensors).....	31
3.1.2.1 หน้าที่และการทำงานอัลตราโซนิกเซนเซอร์.....	32
3.1.2.2 วงจรส่งผ่าน/รับ.....	32
3.1.2.3 ผลกระทบของอุณหภูมิ (Temperature Effect).....	33
3.1.2.4 มุมของวัตถุ (Target Angle).....	34
3.1.2.5 กระแสอากาศ (Air Currents).....	34
3.1.3 เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor).....	34
3.1.3.1 หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน.....	35
3.1.4 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (DHT11).....	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.4.1 Specification ของ DHT11	35
3.1.4.2 หลักการทำงาน	36
3.1.5 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve)	36
3.1.6 เครื่องควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Control).....	37
3.1.6.1 การทำงานของเครื่องควบคุมการชาร์จ.....	37
3.1.6.2 ส่วนตำแหน่ง สัญลัักษณ์ ของเครื่องควบคุมการชาร์จ.....	38
3.1.6.3 ตัวแปรในการเลือกใช้เครื่องควบคุมการชาร์จ.....	40
3.2 การออกแบบ	41
3.2.1 การออกแบบอุปกรณ์ควบคุม (Arduino Mega 2560 R3)	
ด้านอินพุท (Input)	42
3.2.1.1 ส่วนแหล่งจ่าย (Supply).....	42
3.2.1.2 ส่วนเซนเซอร์	43
3.2.2 การออกแบบอุปกรณ์ควบคุม (Arduino Mega 2560 R3)	
ด้านเอาต์พุท (Output).....	43
3.2.2.1 ส่วนของวงจรขับ	43
3.2.2.2 ส่วนแสดงผลสถานะ (LCD).....	44
3.2.3 Flow Chart	48
3.3 โปรแกรม	51
3.3.1 เปรียบเทียบ ภาษาซี กับ Arduino.....	52
3.3.2 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมภาษาซีของ Arduino.....	52
3.3.3 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino	53
บทที่ 4 วิธีการดำเนินการและผลการทดลอง	55
4.1 วิธีการดำเนินการ.....	55
4.1.1 การเตรียมแปลง.....	55
4.1.2 การต่อท่อและการติดตั้ง.....	56
4.1.3 การติดตั้งอัลตราโซนิกเซนเซอร์ในถังน้ำ.....	57
4.1.4 การติดตั้งวัดความชื้นในดิน	58
4.1.5 การติดตั้งอุปกรณ์ในกล่องคอนโทรล	58
4.1.6 การติดตั้งโซลาร์เซลล์และโซลาร์ชาร์จ	59
4.1.7 ทำการวัดค่าความชื้นในแต่ละวัน.....	59
4.2 ผลการทดลอง.....	61
4.2.1 การเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศ.....	61
4.2.2 การทดลองการทำงานของระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ.....	64

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	65
5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง	66
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	66
บรรณานุกรม.....	67
ภาคผนวก.....	68
ภาคผนวก ก.....	68
ภาคผนวก ข.....	74



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงอัตราการตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวัน (kW/m ² -day)	4
2.2 ตารางแสดงความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่างๆ.....	12
2.3 ตารางแสดงช่วงวิกฤติ (Critical Period) ในความต้องการน้ำของพืชชนิดต่างๆ.....	16
2.4 ตารางแสดงความลึกของรากพืชเมื่อพืชโตเต็มที่ และปริมาณน้ำที่พืชต้องการตลอดฤดูกาลปลูก.....	18
2.5 ตารางแสดงเปรียบเทียบคุณสมบัติของบอร์ด Arduino แต่ละรุ่น	28
3.1 ตารางแสดง Technical Specifications	31
3.2 ตารางแสดงสถานะการชาร์จ	39
3.3 ตารางแสดงสถานะของแบตเตอรี่.....	39
3.4 ตารางแสดงชนิดของแบตเตอรี่.....	39
3.5 ตารางแสดงขาของจอ LCD 16x2 แบบ Parallel.....	46
3.6 ตารางแสดงขาของจอ LCD 16x2 แบบ I2C.....	46
3.7 ตารางแสดงการเชื่อมต่อ Arduino กับ LCD.....	47
3.8 ตารางแสดงการอธิบาย Flow Chart.....	49
4.1 ตารางแสดงการวัดค่าความชื้น	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงภาพการส่งผ่านพลังงานและแสงอาทิตย์จาก ดวงอาทิตย์มายังพื้นโลก.....	3
2.2 แสดงองค์ประกอบของโซลาร์เซลล์.....	5
2.3 แสดงไดอะแกรมการแบ่งชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.4 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตอลไลน์ (แบบกึ่งวงกลม).....	6
2.5 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตอลไลน์.....	7
2.6 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟิซิลิคอน.....	7
2.7 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคอปเปอร์ อินเดียม ไทเซเลไนด์.....	8
2.8 แสดงสภาพแวดล้อมสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช.....	9
2.9 แสดงระบบท่อลำเลียง.....	20
2.10 แสดงอิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างของดินกับแร่ธาตุ.....	23
2.11 แสดงบอร์ด Arduino Uno.....	28
2.12 แสดงองค์ประกอบของระบบชลประทานแบบหยด.....	29
3.1 แสดงบอร์ด Arduino Mega 2560 R3.....	30
3.2 แสดง Ultrasonic Sensor.....	31
3.3 แสดงหลักการทำงานของอัลตราโซนิก.....	32
3.4 แสดงอัลตราโซนิกเซนเซอร์ วงจรส่งผ่าน/รับ.....	33
3.5 แสดงเวลาที่ของอัลตราโซนิกเซนเซอร์.....	33
3.6 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัลตราโซนิกเซนเซอร์.....	34
3.7 แสดงมุมของวัตถุ.....	34
3.8 แสดงเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน.....	34
3.9 แสดง DHT11.....	35
3.10 กราฟแสดงช่วงเวลาการทำงานของ DHT11.....	36
3.11 แสดงโครงสร้างของโซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve).....	37
3.12 แสดงเครื่องควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Control).....	38
3.13 แสดงตำแหน่งต่างๆ บนเครื่องควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Control).....	38
3.14 แสดงออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับตัวควบคุม.....	41
3.15 แสดงการติดตั้งโซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่ และโหลด กับเครื่องควบคุมการชาร์จ.....	42
3.16 แสดงวงจรรีเลย์เพื่อขับปั๊ม (มอเตอร์).....	44
3.17 แสดงด้านหน้าจอ LCD 16x2 (Parallel).....	45
3.18 แสดงด้านหลังจอ LCD 16x2 (I2C).....	46
3.19 แสดง Flow Chart.....	48
3.20 แสดง unzip เสร็จเรียบร้อย ก็ไปเริ่มโปรแกรมได้ที่ icon.....	51
3.21 แสดงตอนเข้าโปรแกรม.....	51
3.22 แสดงโครงสร้างการเขียนโปรแกรม.....	52
3.23 แสดงการเขียนโปรแกรมบน Arduino.....	53

สารบัญญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.24 แสดงการเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload	53
3.25 แสดงการเลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด.....	54
3.26 (ก) แสดงการ verify หรือ compile และ (ข) แสดงการ upload โค้ดโปรแกรม.....	54
4.1 แสดงพื้นที่แปลง.....	55
4.2 (ก) แสดงการเทดิน (ข) แสดงการเปลี่ยนหน้าดิน และ (ค) แสดงการทำให้ดินเป็นแฉะ ทั้งหมด 4 แฉะ	56
4.3 แสดงการต่อท่อ (ซ้าย) และการติดตั้งท่อ (ขวา).....	57
4.4 แสดงการเตรียมถังจ่ายน้ำ.....	57
4.5 แสดงตำแหน่งของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ในถังน้ำ ไบเล็ก (ซ้าย) และไบใหญ่ (ขวา).....	57
4.6 (ก) แสดงตำแหน่งการวางตัวรับค่าเซนเซอร์ และ (ข) แสดงตำแหน่งการ เสียบในดินของเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน	58
4.7 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในกล่องคอนโทรล	58
4.8 แสดงการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และโซลาร์ชาร์จ	59
4.9 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างโซลาร์เซลล์, Solar Charge Controller, แบตเตอรี่และอุปกรณ์อื่นๆ	59
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินกับ ช่วงเวลาในเดือนมีนาคม-เมษายน	60
4.11 แสดงต้นกล้าช่วงอายุ 6-9 วัน.....	61
4.12 แสดงต้นกล้าช่วงอายุ 10-28 วัน	62
4.13 แสดงปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 (ซ้าย) แสดงการใส่ปุ๋ยที่โคนต้นกล้า (ขวา).....	63
4.14 แสดงต้นช่วงอายุ 28-60 วัน.....	63
4.15 แสดงดอกกับผลช่วงอายุ 60 วันขึ้นไป (ซ้าย) แสดงพื้นที่แปลงทั้งหมด (ขวา).....	64
4.16 แสดงปุ๋ยสูตร 8-24-24 (ซ้าย) และ แสดงการใส่ปุ๋ยที่โคนต้นช่วงที่เริ่มมีดอก (ขวา).....	64
4.17 (ก) แสดงรดน้ำต้นไม้แต่ละต้น และ (ข) แสดงรดน้ำต้นไม้ภาพรวม.....	64
5.1 แสดงสรุปผลการทดลอง.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันพลังงานทดแทนเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้น เนื่องจากพลังงานเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดถูกใช้ และหมดไปอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้มีการคิดค้นพลังงานรูปแบบใหม่ๆ ขึ้นมาเพื่อทดแทนและสนองความต้องการในการใช้พลังงานของมนุษย์ที่มีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพลังงานทดแทนที่มีอยู่ในปัจจุบัน เกิดจากพลังงานจากธรรมชาติที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานลม, พลังงานความร้อนใต้พิภพ, เชื้อเพลิงชีวภาพ, พลังงานชีวมวล, พลังงานน้ำ, พลังงานจากขยะ เป็นต้น

พลังงานเหล่านี้ถูกคิดค้นและพัฒนาเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ให้เหมาะกับพื้นที่ในการใช้งาน ซึ่งพลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่น่าสนใจ เพราะเพียงแค่มีสถาจากดวงอาทิตย์ก็จะให้พลังงานได้ สะดวกในการหาอุปกรณ์ สะดวกในใช้งาน เป็นพลังงานที่สะอาด และในปัจจุบันคนส่วนใหญ่นิยมใช้ตามบ้านเรือน ซึ่งใช้หลักการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งประสิทธิภาพในการแปลงเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้านั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงของแต่ละวัน และวัสดุที่นำมาใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ ในหนึ่งวันจะมีแสงอาทิตย์ครึ่งวันและในบางประเทศอาจจะเจอแสงอาทิตย์มากกว่าครึ่งวัน จึงเป็นพลังงานหนึ่งที่น่าสนใจและประยุกต์ใช้กับกระบวนการควบคุมระบบต่างๆ ได้

การเกษตร ประเทศไทยถือเป็นประเทศเกษตรกรรม เพราะประชาชนส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกร รายได้ส่วนใหญ่จึงมาจากการเกษตร และก็มีมีการทำการเกษตรมาตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน มีการทำสวนทำไร่ ซึ่งการเกษตรเป็นการผลิตอาหาร และอาหารก็เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์ จึงเป็นสิ่งหนึ่งที่ไม่ควรมองข้ามและควรให้ความสำคัญในการผลิตผลผลิตทางการเกษตร ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีในการทำการเกษตรมากมายเพื่อความสะดวกรวดเร็วในการทำงานมากขึ้น และสอดคล้องกับยุคสมัย เพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ และได้ปริมาณตามต้องการ

ระบบควบคุม ระบบควบคุมแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ระบบควบคุมแบบกึ่งอัตโนมัติ และระบบควบคุมแบบไม่อัตโนมัติหรือระบบควบคุมด้วยมือ ระบบควบคุมอัตโนมัติเป็นระบบที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน เพราะเป็นระบบที่ใช้ในการควบคุมการทำงานให้เป็นระบบและต่อเนื่องเพื่อให้การทำงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ทำให้สะดวกสบาย อำนวยความสะดวกในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ โดยไม่จำเป็นต้องใช้แรงงานคนจำนวนมาก และลดต้นทุนการผลิต สามารถควบคุมประสิทธิภาพและคุณภาพในการผลิตได้อย่างคงที่

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดจะเห็นได้ว่า หากสามารถนำสิ่งที่กล่าวมาแล้วมาประกอบเข้าด้วยกัน โดยมีการนำพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้ในทางการเกษตรเพื่อช่วยในการประหยัดพลังงาน แรงแรงงาน และต้นทุนการผลิต ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยีมาใช้ให้เกิดประโยชน์และความสะดวกรวดเร็วมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ศึกษาการทำงานและการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เพื่อนำมาใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานในการควบคุมระบบการรดน้ำต้นไม้
2. ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega 2560 R3) ซึ่งใช้เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบรดน้ำต้นไม้
3. อุปกรณ์ต่างๆในแบบจำลองที่สร้างขึ้น สามารถเชื่อมต่อและทำงานได้อย่างสอดคล้องกัน

1.3 ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า

โครงการนี้เป็นการสร้างแบบจำลองของการควบคุมการรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ โดยใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นแนวคิดที่จะนำพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในทางเกษตรกรรม

โครงการนี้ยังถือว่าเป็นโครงการที่ทดลองสร้าง เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งาน ดังนั้นจึงมีข้อจำกัดของข้อมูลบางอย่าง เช่น อาจจะมีข้อจำกัดด้านพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ที่จะนำมาใช้ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดไม่ใหญ่มาก แต่ถึงอย่างไรก็เพียงพอต่อการทดสอบกับแบบจำลองขนาดเล็กที่สร้างขึ้น

1.4 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยในโครงการนี้จะเริ่มด้วยการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการ ซึ่งก็มีเรื่องหลัก ๆ อยู่ 3 เรื่องด้วยกัน คือ พลังงานจาก Solar Cell, ความต้องการพื้นฐานของพีซี และไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) ซึ่งมีรายละเอียดดังในบทที่ 2 จากนั้นก็จะนำเอาความรู้ที่ได้ศึกษาทั้งหมดมาออกแบบแบบจำลองของระบบและเขียนโปรแกรม ซึ่งมีรายละเอียดในบทที่ 3 จากนั้นก็จะเริ่มเข้าสู่ขั้นตอนดำเนินการและผลการทดลองในบทที่ 4 สำหรับบทที่ 5 จะเป็นสรุปผลการทดลอง ปัญหาที่พบเจอ และแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นก๊าซไฮโดรเจน (H_2) บริเวณใจกลางของดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิและแรงดันสูงมาก จนทำให้ก๊าซไฮโดรเจนหลอมรวมกันเป็นก๊าซฮีเลียม (He) และกำเนิดพลังงานออกอย่างมหาศาล คือความร้อนและแสงสว่าง เรียกปฏิกิริยานี้ว่า " ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชั่น (Nuclear Fusion) " พลังงานความร้อนและแสงสว่างทำให้เกิดสิ่งมีชีวิตบนโลก นอกจากนี้ยังเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญ และเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่มีวันหมด แต่พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่ตกลงมาถึงพื้นโลกเพียง 51% เท่านั้น (พลังงานทั้งหมด 174 พิตาวัตต์ ตกลงมาที่พื้นโลก 89 พิตาวัตต์) เพราะว่าพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของโลก จะมีการสะท้อนกลับไปยังแล้วบางส่วนก็ถูกชั้นบรรยากาศและเมฆดูดกลืนไป โดยเฉพาะชั้นบรรยากาศจะดูดกลืนไปได้ถึง 33% จากพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมด ภาพการส่งผ่านพลังงานและแสงอาทิตย์จากดวงอาทิตย์มายังพื้นโลกแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.1 เมื่อพิจารณาพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงผิวโลกต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตร พบว่ามีค่าสูงสุดเท่ากับ 1,412 วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 1,325 วัตต์ต่อตารางเมตร พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทน (Renewable energy) เช่นเดียวกับ พลังงานจากลม พลังงานจากน้ำ เป็นต้น พลังงานแสงอาทิตย์มีศักยภาพสูง มีความยั่งยืน ไม่มีทางหมดไปได้ ดังนั้นจึงมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก



รูปที่ 2.1 แสดงภาพการส่งผ่านพลังงานและแสงอาทิตย์จาก ดวงอาทิตย์มายังพื้นโลก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละพื้นที่บนผิวโลกจะแตกต่างกัน เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของโลก และการโคจรของดวงอาทิตย์มีระยะห่างไม่เท่ากันในแต่ละฤดูกาล สำหรับประเทศไทยอัตราการตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยต่อวัน ซึ่งได้รับตามภาคต่างๆ ในประเทศมีค่าดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงอัตราการตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวัน ($\text{kW/m}^2\text{-day}$)

สถานที่	ม.ค.- ก.พ.	ก.พ.- เม.ย.	เม.ย.- พ.ค.	พ.ค.- ก.ค.	ก.ค.- ส.ค.	ก.ย.- ต.ค.	ต.ค.- พ.ย.	พ.ย.- ธ.ค.	เฉลี่ย
กรุงเทพฯ	4.66	5.41	4.94	4.62	4.30	4.49	4.55	4.63	4.70
เชียงใหม่	4.56	5.34	5.59	4.76	4.40	4.67	4.72	4.33	4.81
ขอนแก่น	4.69	5.01	5.37	4.86	4.57	4.55	4.86	4.58	4.81
สงขลา	4.97	5.37	4.85	4.64	4.72	4.54	4.19	4.12	4.68
เฉลี่ยทั้งประเทศ									4.75

จากข้อมูลดังกล่าว ถ้าหากเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพของเซลล์ประมาณ 15% ก็แสดงว่าพื้นที่ประเทศไทยในหนึ่งตารางเมตร จะสามารถผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ถึงวันละ 711 W และถ้าหากนำเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงมาใช้ในประเทศ ซึ่งมีอัตราการตกกระทบของพลังงานแสงอาทิตย์ต่อปีเท่ากับ $4.75 \text{ kW/m}^2\text{-day}$ จะได้พลังงานประมาณวันละ 665 W/m^2

2.1.2 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้

การนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้งาน ในปัจจุบันแบ่งออกได้ 2 ลักษณะตามชนิดของพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ คือ ใช้เป็นพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า

2.2 โซลาร์เซลล์ (Solar Cell)

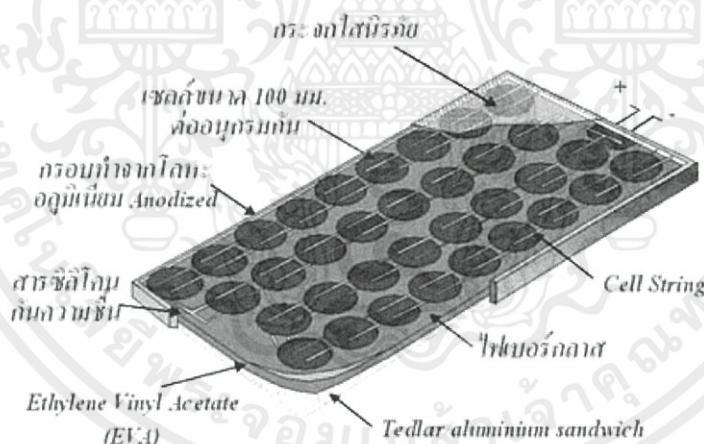
เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) หรือ เซลล์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Cell :PV Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เมื่อได้รับแสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงจากหลอดไฟ เซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC)

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เริ่มจากแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบ (เรียกว่า อิเล็กตรอน) และประจุบวก (เรียกว่า โฮล) ซึ่งอยู่ในภายในโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ โดยโครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบ และทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ซึ่งทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสองเมื่อต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องใช้ไฟฟ้า (เช่น หลอดไฟ มอเตอร์ เป็นต้น) ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรเนื่องจาก

กระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้น ถ้าต้องการจ่ายไฟฟ้าให้กับ อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งเป็น อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC)

2.2.1 องค์ประกอบของโซลาร์เซลล์

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์ มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module หรือ Solar Panel) การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานด้านหน้าของ แผงเซลล์ ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กดำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดีและยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์จะต้องมีการป้องกันความชื้นที่ตีมาก เพราะ จะต้องอยู่กลางแจ้งกลางฝนเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและ ป้องกันความชื้นที่ตี เช่น ซิลิโคนและ อีวีเอ (Ethelele Vinyl Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกัน แผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์ จึงต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง แต่บางครั้งก็ไม่มี ความจำเป็น ถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถทดแทนการทำกรอบ ได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (laminare) ซึ่งสะดวกในการติดตั้ง ดังแสดงใน รูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบของโซลาร์เซลล์

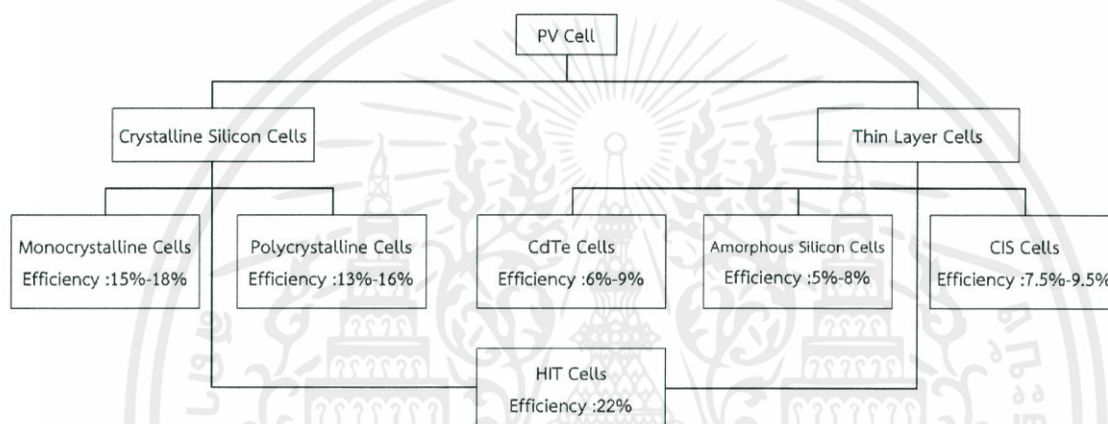
2.2.2 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อแบ่งออกตามโครงสร้างได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผลึกซิลิคอน (Crystalline Silicon) และกลุ่มฟิล์มบาง (Thin Layer Cells หรือ Thin Film Cells) ดังแสดงในรูปที่ 2.3

กลุ่มผลึกซิลิคอน จะใช้สารทั้งตัวนำซิลิคอนเป็นวัสดุหลักในการผลิต แบ่งออกเป็นสอง ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยว (Monocrystalline Cells) และชนิดหลายผลึก (Polycrystalline Cells) ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงและราคาสูงตามไปด้วย

กลุ่มฟิล์มบาง ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ แต่มีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดให้คุณสมบัติต่างกัน วิธีการผลิตจะใช้เทคโนโลยีการฉีดยาสารกึ่งตัวนำบางชนิดลงไปบนกระจก หรือวัสดุอื่นๆ ทำให้มีต้นทุนต่ำลง เช่น อะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Cells) หรือคอปเปอร์ อินเดียม ไดสเซไนด์ (Copper Indium Diselenide :CIS) หรือแคดเมียม เทลลูไรด์ (Cadmium Telluride :CdTe) สารเหล่านี้จะถูกฉีดยาเคลือบลงบนกระจกให้มีความหนาเพียง 0.001 มิลลิเมตร ซึ่งบางมากจึงถูกเรียกว่าชนิดฟิล์มบาง เซลล์แสงอาทิตย์กลุ่มนี้มีประสิทธิภาพต่ำและราคาสูงกว่า

ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดจ์ (Hybrid Cells :HIT) เป็นชนิดที่ใช้เทคโนโลยีผสมผสานของทั้งสองกลุ่ม เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่ก็มีราคาสูงที่สุด



รูปที่ 2.3 แสดงไดอะแกรมการแบ่งชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตอลไลน์

เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystal) ทำมาจากผลึกซิลิคอน แต่ละเซลล์จะมีรูปร่างที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ แบบสี่เหลี่ยม แบบวงกลม และแบบกึ่งวงกลม ขนาดของเซลล์มี 3 ขนาด คือ 4 นิ้ว 5 นิ้ว และ 6 นิ้ว ความหนาของแผ่นเซลล์ 0.2-0.3 มิลลิเมตร สีน้ำเงินเข้มหรือสีเทาเข้ม มีประสิทธิภาพ 15-18 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

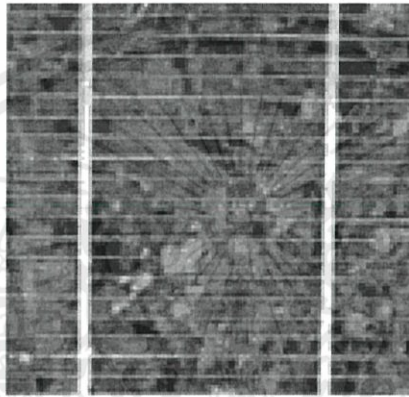


รูปที่ 2.4 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตอลไลน์ (แบบกึ่งวงกลม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อเอกสาร... ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตอลไลน์

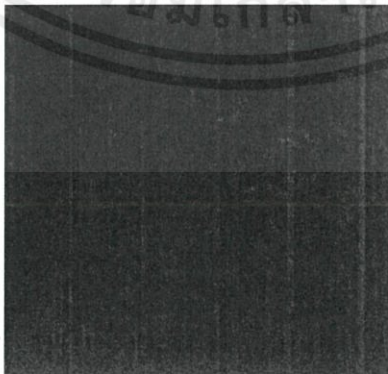
เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แบบผลึกผสม (Polycrystalline Silicon) ทำจากซิลิคอน (ไม่ได้ทำมาจากซิลิคอนทั้งแท่งมาตัดเป็นแผ่นบางๆ เหมือนกับชนิดโมโนคริสตอลไลน์) โดยทำจากการสร้างผลึกผสมและเทลงในแบบหล่อแท่งสี่เหลี่ยม เมื่อหล่อผลึกเสร็จแล้ว จึงนำก้อนมาตัดเป็นแผ่นบางๆ มีความหนาประมาณ 0.24-0.3 มิลลิเมตร มีขนาด 6-8 นิ้ว ยังมีขนาดใหญ่ ราคาที่สูง ประสิทธิภาพของเซลล์ชนิดโพลีคริสตอลไลน์ ระหว่าง 13-16 เปอร์เซ็นต์ สีของผลึกผสมจะเป็นสีผสมกันระหว่างสีน้ำเงิน สีเงิน และสีเทา รูปร่างของเซลล์จะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตอลไลน์

2.2.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน

เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เซลล์แบบซิลิคอนอสัณฐาน เซลล์ชนิดนี้ต่างจากชนิดผลึกซิลิคอนและผลึกผสมเพราะไม่ได้นำผลึกมาตัดออกเป็นแผ่นบางๆ แต่ใช้การสร้างแผ่นฟิล์มบางๆ ของซิลิคอนลงบนแผ่นกระจก แผ่นสแตนเลสหรือแผ่นพลาสติก จะได้แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ตามต้องการ แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีข้อดีคือประสิทธิภาพต่ำ อยู่ระหว่าง 5-8 เปอร์เซ็นต์ ขนาด 0.79 x 2.44 ตารางเมตร ความหนา (กระจก, พลาสติก) 1-3 มิลลิเมตร ความหนาของฟิล์มซิลิคอน 0.003 เซนติเมตร สีของเซลล์จะเป็นสีแดงเข้ม น้ำตาล หรือน้ำเงินอมม่วง ดังแสดงในรูปที่ 2.6

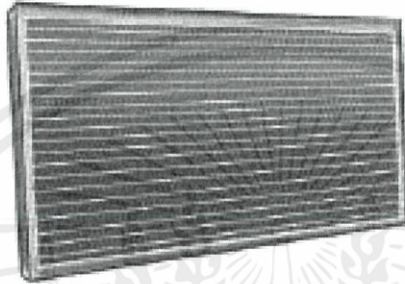


รูปที่ 2.6 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคอปเปอร์ อินเดียม ไตเซลไนด์

เรียกว่าเซลล์แบบ CIS แต่ไม่ได้ใช้ซิลิคอนเหมือนกับอะมอร์ฟัสซิลิคอน แต่ใช้คอปเปอร์ อินเดียม ไตเซลไนด์ (CISX) แทน ทำให้มีราคาสูงกว่า และให้ประสิทธิภาพสูงกว่าด้วย เซลล์แบบ CIS นี้ มีประสิทธิภาพ 9-11 เปอร์เซ็นต์ และเนื่องจากเป็นชนิดฟิล์มบาง ซึ่งนำไปเคลือบบนพลาสติกหรือวัสดุที่โค้งงอได้อีกด้วย ขนาดของเซลล์ 1.2 x 0.6 ตารางเมตร ความหนาวัสดุที่เป็นแผ่น 2-4 มิลลิเมตร และความหนาของชั้นฟิล์ม CIS ประมาณ 1-2 ไมโครเมตร จะมีสีเทาเข้มหรือสีดำ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคอปเปอร์ อินเดียม ไตเซลไนด์

2.2.2.5 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแคดเมียมเทลลูไรด์

เซลล์ชนิดนี้ใช้สารกึ่งตัวนำผสม ชื่อแคดเมียมเทลลูไรด์แทนซิลิคอน ทำให้มีราคาแพงกว่าอะมอร์ฟัสซิลิคอน และให้ประสิทธิภาพสูง 7-8.5 เปอร์เซ็นต์ ขนาดของเซลล์ 1.2 x 0.6 ตารางเมตร ความหนาของฟิล์มแคดเมียมเทลลูไรด์ 0.005 มิลลิเมตร จะมีสีเขียวเข้มจนถึงเกือบดำ

2.2.2.6 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดจ์

เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เซลล์ชนิดผสมผสาน ใช้เทคโนโลยีการผลิตผสมกันระหว่างแบบผลึก และแบบฟิล์มบาง โดยใช้ซิลิคอนนำมาตัดเป็นแผ่นบางๆ (เหมือนชนิดผลึกเดี่ยว) และสร้างชั้นฟิล์มบางของอะมอร์ฟัสซิลิคอนเคลือบทั้งด้านบนและล่างของแผ่นผลึก ทำให้ประสิทธิภาพสูงสุด ประมาณ 18.5 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะเป็นแบบสี่เหลี่ยมตัดมุมทั้ง 4 ด้าน มีขนาด 10.4 x 10.4 ตารางเซนติเมตร และ 12.5 x 12.5 ตารางเซนติเมตร มีความหนา 0.2 มิลลิเมตร จะมีสีน้ำเงินเข้มจนถึงดำ

2.2.3 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เป็นการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายแผงมาต่อกัน ทำได้ 2 วิธี

1) การต่อแบบอนุกรม การต่อแบบนี้เมื่อต้องการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้ผลิตได้มากกว่าที่

ได้จากแผงเดียว แต่กระแสจะยังคงเท่ากับที่ได้จากแผงเดียว

2) การต่อแบบขนาน การต่อแบบนี้เมื่อต้องการกระแสไฟฟ้าที่มากขึ้น แต่แรงดันไฟฟ้าจะยังคงเท่ากับที่ได้จากแผงเดียว

2.2.4 การบำรุงรักษา

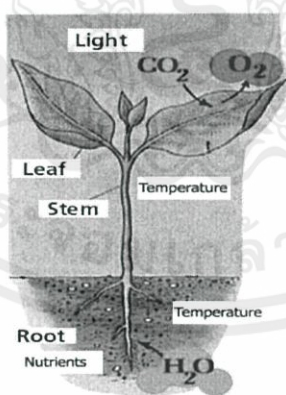
การบำรุงรักษา หมายถึง วิธีการปฏิบัติหรือแนวทางตามระยะเวลาที่เหมาะสม เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานยาวนาน และผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากที่สุด สิ่งที่สำคัญที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มี 4 ข้อ

- 1) พื้นที่ของแผง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีขนาดใหญ่ จะยิ่งผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น
- 2) ความสว่างของแสงอาทิตย์ ยิ่งแสงอาทิตย์ตกลงบนแผงมาก จะยิ่งผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้น หากมีร่มเงามาบังแผงแม้เพียง 1 เซลล์ ไฟฟ้าที่ผลิตได้ อาจลดลงเหลือแค่ครึ่งหรือต่ำกว่านั้น
- 3) ทิศทางการวางแผง ควรวางแผงเซลล์อาทิตย์ให้หันไปทางด้านดวงอาทิตย์ เพื่อให้ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด (ในประเทศไทยจะวางมุมเอียง 15 องศาหันหน้าไปทางทิศใต้)
- 4) ความร้อน แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานได้ดีในสภาพเย็น หากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ร้อน หรืออยู่ในอุณหภูมิสูงมากๆ จะผลิตไฟฟ้าได้น้อยลง

2.3 ความต้องการพื้นฐานของพืช

2.3.1 ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม

เป็นปัจจัยที่ค่อนข้างมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะพืชเป็นอย่างมาก สิ่งแวดล้อมอาจส่งเสริมหรือขัดขวางการแสดงออกทางด้านพันธุกรรมของพืช ลักษณะของพืชที่ปรากฏ จะมีการเจริญเติบโตและการดีหรือเลว จะขึ้นกับการผสมผสานกันของยีนและสภาพแวดล้อม โดยยีนจะมีผลโดยตรงต่อกิจกรรมของฮอร์โมนภายในพืช หากยีนและสภาพแวดล้อมผสมผสานกันดี ต้นพืชจะเจริญงอกงามได้ดี หากสภาพแวดล้อมขัดขวางหรือขัดแย้งกับยีนแล้ว ต้นพืชจะมีการเจริญเติบโตไม่งอกงามหรือมีพัฒนาการไม่ดีเพียงพอ เป็นผลให้ผลผลิตต่ำ



รูปที่ 2.8 แสดงสภาพแวดล้อมสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและการพัฒนาการของพืช

ปัจจัยสภาพแวดล้อมหรือปัจจัยภายนอก อาจแบ่งตามบทบาทที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และการพัฒนาการของพืช ได้ดังนี้ รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- 1) ปัจจัยที่จำเป็นต้องมี (Positive Factors) เป็นปัจจัยที่ขาดไม่ได้
 - ก. แสงสว่าง พืชต้องการแสงสว่างเพื่อใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง สร้างอาหาร เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและการที่ยืดเหนียว พืชจะเจริญเติบโต

- และให้ผลผลิตได้ดี ต้องมีที่ยึดเหนี่ยวที่แข็งแรง เพื่อให้ลำต้นทรงอยู่ได้ในลักษณะที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะทำให้ส่วนต่าง ๆ ทำหน้าที่ในการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่
- ข. อุณหภูมิ อุณหภูมิที่เหมาะสมจะส่งเสริมให้พืชมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการที่ดี
 - ค. อากาศ ในการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ต้องการพลังงานที่ได้มาจากการหายใจ จึงต้องมีอากาศอย่างเพียงพอ เพื่อให้การหายใจเกิดขึ้นได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้พืชยังต้องการก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงด้วย
 - ง. น้ำ เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต น้ำทำหน้าที่ในการช่วยดูดแร่ธาตุอาหาร (Nutrients), การเคลื่อนย้ายของสารสังเคราะห์ (Photo-synthates) ไปยังส่วนต่าง ๆ และช่วยในการลดอุณหภูมิภายในต้นพืช
 - จ. แร่ธาตุอาหาร พืชต้องการแร่ธาตุอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและพัฒนาการ โดยแร่ธาตุอาหารเหล่านี้ จะไปเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของพืช และจะไปกระตุ้นขบวนการต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีวิต

2) ปัจจัยที่ไม่จำเป็น หรือไม่ต้องมี (Negative Factors) เป็นปัจจัยที่ไม่ควรมี

- ก. โรค (Diseases)
- ข. แมลงศัตรูพืช (Insects Pest)
- ค. วัชพืช (Weeds)
- ง. สารที่เป็นพิษ (Toxic Substances)

2.3.2 น้ำในดิน (Soil Water)

ปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตของพืช คือปริมาณน้ำในดินซึ่งจะต้องอยู่ในปริมาณที่พอเหมาะไม่มากหรือน้อยเกินไป และการให้น้ำในปริมาณที่พอเหมาะจะต้องทราบชนิดของดินที่ปลูกพืชนั้น เพราะดินแต่ละชนิดมีคุณสมบัติการอุ้มน้ำที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ยังต้องทราบลักษณะการเคลื่อนที่ของน้ำในดิน เพื่อที่จะให้น้ำได้ในปริมาณที่ทำให้ดินมีความชื้นพอเหมาะกับการปลูกพืชตามต้องการ

2.3.2.1 ชนิดของน้ำในดิน

การเรียงตัวของเมล็ดดินทำให้เกิดช่องว่างที่มีขนาดและรูปร่างต่างๆขึ้น เมื่อดินได้รับน้ำ น้ำก็จะเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในช่องว่างเหล่านี้ และเกาะติดกับเมล็ดดินด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของดินและโมเลกุลของน้ำ (Adhesive Force) และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของน้ำด้วยกัน (Cohesive Force) ซึ่งรวมเรียกว่าแรงดูดซับ (Capillary Force) ถ้าน้ำเข้าไปอยู่เต็มทุกช่องว่างดิน ลักษณะนี้เรียกว่าดินอมน้ำ (Saturated) และน้ำที่อยู่ในช่องว่างนั้นจะเป็นปริมาณสูงสุดที่ดินเก็บเอาไว้ได้ ถ้าไม่มีแรงภายนอกกระทำน้ำจะไหลลงที่ต่ำกว่าเมื่อผลรวมของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำต่อน้ำและน้ำต่อดินน้อยกว่าผลจากแรงดึงดูดของโลกที่มากกว่า น้ำที่ไหลในลักษณะนี้เรียกว่าน้ำอิสระ (Gravitational Water) โดยในช่องว่างที่มีขนาดใหญ่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างน้ำที่อยู่ตรงกลางช่องว่างกับเมล็ดดินจะน้อยกว่าในช่องว่างที่มีขนาดเล็ก เมื่อดินไม่ได้รับน้ำ น้ำที่อยู่ในช่องว่างขนาดใหญ่จะระบายออกโดยใช้เวลา 2 - 3 วัน ในดินที่มีการระบายน้ำได้ดี น้ำอิสระจะถูกระบายออกไปหมด ก่อนที่จะเป็นอันตรายต่อพืช และจะทำให้มีอากาศเข้ามาแทนที่ (Capillary Force)

น้ำที่อยู่ในช่องว่างที่มีขนาดเล็กนี้เรียกว่าน้ำซัพ (Capillary Water) ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ช้ามาก ช้ากว่าน้ำอิสระ และจะไปในทิศทางใดก็ได้ โดยจะเคลื่อนที่ไปสู่จุดที่มีแรงดูดซึบมากที่สุดเสมอ การสูญเสียน้ำโดยระเหยจากผิวดิน และจากที่พืชดูดเอาไปใช้จะทำให้ความชื้นในดินลดลงจนถึงจุดหนึ่งซึ่งน้ำในดินจะไม่เคลื่อนที่อีก เพราะว่าแรงที่น้ำยึดเกาะรอบๆ เมล็ดดินจะมากจนกระทั่งพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

2.3.2.2 Field Capacity

Field Capacity คือ ปริมาณความชื้นในดินหลังจากน้ำอิสระถูกระบายออกจากช่องว่างขนาดใหญ่ในดินจนกระทั่งการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินเกิดขึ้นน้อยมาก เพราะน้ำที่เหลืออยู่ในดินมีการเคลื่อนที่ช้า

ความชื้นที่ Field Capacity นี้หาเป็นตัวเลขที่แน่นอนไม่ได้ เนื่องจากในดินยังมีการเคลื่อนที่ของน้ำซัพตลอดเวลา แต่ความชื้นในดินจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ในทางปฏิบัติถือว่าความชื้นหลังจากที่ฝนตกหนัก หรือหยุดให้น้ำแล้ว 2 - 3 วัน ในดินที่มีการระบายน้ำได้ดีเป็นความชื้นที่ Field Capacity

2.3.2.3 จุดเหี่ยวเฉาถาวร

จุดเหี่ยวเฉาถาวร (Permanent Wilting Point) คือ จุดที่ความชื้นในดินมีปริมาณในระดับที่พืชไม่สามารถดูดน้ำมาใช้ให้เพียงพอกับการคายน้ำ และพืชเริ่มมีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร (Permanent Wilting Point)

พืชที่มีการเหี่ยวเฉาอย่างถาวร หมายถึง ถ้านำพืชที่เหี่ยวนั้นไปไว้ในห้องที่มีอากาศเย็นและมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพืชจะมีการสูญเสียน้ำน้อยมาก หรือไม่มีการสูญเสียน้ำเลย แล้วพืชนั้นยังไม่สดขึ้น

อาการเหี่ยวเฉาของพืชอาจเกิดขึ้นได้หลายครั้ง ก่อนจะถึงจุดที่พืชเหี่ยวเฉาอย่างถาวร เช่น ตอนกลางวันที่มีอากาศร้อนจัด ความชื้นของอากาศต่ำ ลมแรง และ พืชมีใบกว้าง ลักษณะของอากาศและพืชที่กล่าวนี้ จะทำให้พืชมีการสูญเสียน้ำ โดยการคายน้ำออกทางใบมาก และเมื่ออัตราที่พืชดูดน้ำจากดินน้อยกว่าที่คายออกทางใบ พืชก็จะเหี่ยวเฉา ถึงแม้ว่าขณะนั้นดินจะมีความชื้นปนอยู่มากก็ตาม แต่เมื่ออากาศเย็นลง พืชก็จะสดตามเดิม จะเห็นได้ว่าอาการเหี่ยวเฉาของพืชไม่ว่าจะเป็นการเหี่ยวเฉาอย่างถาวรหรือชั่วคราวระยะเวลาหนึ่งนั้น จะขึ้นอยู่กับอัตราการใช้น้ำของพืช ความลึกและการแผ่กระจายของรากพืช ปริมาณความชื้นในดิน ตลอดจนความสามารถของดินที่จะเก็บน้ำไว้ให้พืชใช้ได้

หลังจากที่ความชื้นในดินลดลงถึงจุดเหี่ยวเฉาถาวรแล้ว พืชอาจจะยังคงดูดความชื้นจากดินได้อีก ถึงแม้ว่าจะเป็นปริมาณไม่มากนัก กล่าวคือความชื้นที่ได้นี้ไม่มากพอที่จะทำให้พืชเจริญเติบโตขึ้น แต่จะสามารถหล่อเลี้ยงชีวิตพืชให้อยู่ต่อไปได้อีกช่วงสั้นๆ ช่วงหนึ่ง จนกว่าจะได้รับน้ำมาเพิ่ม ดินที่มีแต่ที่เหลืออยู่นี้เรียกว่า ความชื้นที่ Ultimate Wilting Point ความชื้นในดินจากจุดเหี่ยวเฉาถาวรถึง Ultimate Wilting Point เรียกว่า Wilting Range ซึ่งเป็นความชื้นที่พืชเริ่มเหี่ยวเฉาจากใบที่แก่ที่สุด จนกระทั่งเหี่ยวหมดทั้งต้นเมื่อความชื้นในดินถึง Ultimate Wilting Point

2.3.2.4 ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture)

น้ำในรูปของความชื้นในดินที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับการเจริญเติบโตก็คือ น้ำซัพ ซึ่งอยู่ระหว่าง Field Capacity กับจุดเหี่ยวเฉาถาวร ดังนั้นผลต่างระหว่างความชื้นในดินสองค่านี้ก็คือ

ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture) ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้นี้ มักวัดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดินแห้ง เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือเป็นความลึกของน้ำ เช่น ดินร่วน (Loam) มีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ 1.5 มิลลิเมตรต่อความลึกของดิน 1 เซนติเมตร เป็นต้น หน่วยทั้งสามนี้สามารถเปลี่ยนจากหน่วยหนึ่งเป็นอีกหน่วยหนึ่งได้ ถ้าทราบความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน ขนาดของเม็ดดิน หรือเนื้อดิน จะมีผลต่อปริมาณน้ำที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มากหรือน้อย เช่น ดินที่มีเนื้อละเอียดมากๆจะมีน้ำที่ยึดอยู่รอบๆเม็ดดินซึ่งพืชไม่สามารถดูดไปใช้ได้เป็นจำนวนมาก

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่างๆ

เนื้อดิน	น้ำน้ำ/ฟุตดิน	ม.ม.น้ำ/ซม.ดิน
เนื้อหยาบมาก เช่นทรายหยาบมาก	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	1.0 – 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
ดินร่วนปนดินเหนียวปนตะกอนทราย และดินร่วนปนดินเหนียวปนทรายเนื้อละเอียดมาก เช่น ดินเหนียวปนทราย	1.60 – 2.50	1.30 – 2.10
ดินเหนียวปนตะกอนทราย และดินเหนียวที่เกิดจากการนำฟูของพืชและมูลสัตว์	2.00 – 3.00	1.70 – 2.50

ในดินทรายที่มีการระบายน้ำได้ดี มักจะมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ไม่มากนัก ทั้งนี้เพราะว่าที่ Field Capacity น้ำที่บรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินซึ่งส่วนมากมีขนาดใหญ่จะถูกระบายออกไปจนหมด จึงมีความชื้นที่เก็บไว้ได้น้อย ดินที่มีความชื้นที่พืชสามารถนำไปใช้ได้มาก มักจะเป็นดินที่มีเม็ดดินขนาดปานกลางหรือค่อนข้างละเอียด เช่นดินที่ประกอบขึ้นด้วยตะกอนทราย (Silt) เป็นส่วนใหญ่ ความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้สำหรับดินชนิดต่างๆ จะดูได้จากตารางที่ 2.2

ตามปรกติแล้วมักจะมองข้ามน้ำอิสระไป โดยถือว่าพืชไม่ได้ใช้น้ำส่วนนี้ แต่ตามความเป็นจริงแล้วพืชอาจใช้น้ำอิสระได้มากเหมือนกัน เช่น ในการให้น้ำแบบฉีดฝอย (Sprinkler Irrigation) ซึ่งน้ำจะซึมจากผิวดินและทำให้ดินชั้นบนอมน้ำก่อนที่การให้น้ำนั้นจะเสร็จ ขณะที่ดินชั้นบนอมน้ำนี้ รากพืชตอนบนจะดูดน้ำอิสระไปใช้ได้บ้าง แต่จะเป็นปริมาณมากน้อยเท่าไรนั้นย่อมขึ้นอยู่กับว่าดินจะระบายน้ำออกจนเหลือเป็นความชื้นที่ Field Capacity โดยใช้เวลาเท่าใด และความถี่ในการให้น้ำนั้นบ่อยครั้งแค่ไหน แต่เนื่องจากว่าโอกาสที่พืชจะดูดไปใช้มีไม่มากนัก ดังนั้น น้ำส่วนนี้จึงมักจะไม่นำเข้ามาพิจารณา โดยถือว่าเป็นส่วนน้อยที่ตัดทิ้งได้

2.3.2.5 การหาปริมาณความชื้นในดิน

การหาปริมาณความชื้นในดิน ถึงแม้ว่าจะเป็นงานที่ต้องใช้เวลาและสิ้นเปลืองมาก แต่ก็เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในงานชลประทาน การหาปริมาณความชื้นตามปกติจะทำได้โดยการเก็บตัวอย่างดินที่ระดับความลึกที่ต้องการแล้วบรรจุในกระป๋องเก็บตัวอย่างซึ่งมีฝามิดชิด โดยน้ำหนักดินจะต้องไม่น้อยกว่า 100 กรัม จากนั้นนำดินมาชั่งและอบแห้งในเตาซึ่งมีอุณหภูมิ 105 ถึง 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมงหรือจนกว่าดินจะแห้งทั่วถึงกัน นำมาชั่งใหม่ น้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักของน้ำที่อยู่ในดิน

1) เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนัก

เหมาะสำหรับการหาปริมาณความชื้น เมื่อไม่ทราบปริมาตรของตัวอย่างดินที่เก็บมา หรือเมื่อทราบความถ่วงจำเพาะปรากฏของดินแล้ว การหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยน้ำหนักทำได้โดยใช้สมการที่ 2.1

$$P_W = (W_W / W_S) \times 100 \quad (2.1)$$

เมื่อ P_W = เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเทียบกับน้ำหนักของดินแห้ง

W_W = น้ำหนักของน้ำในดิน

W_S = น้ำหนักของดินอบแห้ง

2) เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยปริมาตร

จะต้องรู้ปริมาตรของดินโดยอาจใช้กระบอกเก็บตัวอย่างดิน (Soil Core Sampler) ก็ได้ แล้วใช้สมการที่ 2.2

$$P_V = (V_W / V_S) \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ P_V = เปอร์เซ็นต์ความชื้นโดยเทียบกับปริมาตรของดินทั้งก้อน

V_W = ปริมาตรของน้ำในดิน

V_S = น้ำหนักของดินอบแห้ง

ถ้าการเก็บตัวอย่าง โดยการใช้กระบอกเก็บตัวอย่างซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดสม่ำเสมอเท่ากับ A ดังนั้นปริมาตรของน้ำในดินจะเท่ากับ $d \cdot A$ และปริมาตรก้อนดินเท่ากับ $D \cdot A$ เมื่อ d และ D คือความลึกของน้ำที่อยู่ในดินและความลึกของแห้งดินตามลำดับ จากสมการ (2.2) จะได้ว่า

$$P_V = ((d \cdot A) / (D \cdot A)) \times 100$$

$$\text{หรือ } d = (P_V/100) \times D \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ในกรณีที่ทราบค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏหรือ Bulk Density ของดินแล้ว การหาปริมาณความชื้นของดินเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรจะง่ายขึ้น โดยการหาความชื้นเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักซึ่งสะดวกกว่าเสียก่อน แล้วใช้สูตร

$$P_V = P_W \times A_s \quad (2.4)$$

เมื่อ A_S เป็นความถ่วงจำเพาะปรากฏของดิน หรือเมื่อต้องการหาความลึกของน้ำในดินก็แทนค่า P_V ในสมการ (2.4) ลงในสมการ (2.3) ก็จะได้

$$d = (P_W/100) \times A_S \times D \quad (2.5)$$

ในงานชลประทานบนแปลงเพาะปลูก ปริมาณความชื้นที่พืชเอาไปใช้ได้ มักจะใช้หน่วยเป็นความลึกของน้ำต่อหนึ่งหน่วยความลึกของดิน เมื่อต้องการทราบปริมาณน้ำที่ต้องให้แก่พืชเป็นปริมาณเท่าไร ก็เอาความลึกของเขตรากคูณกับค่าปริมาณความชื้นที่ต้องการ ก็จะทราบความลึกของน้ำที่ต้องให้แก่พืช

กรณีที่ดินในเขตรากมีเนื้อดินไม่สม่ำเสมอกันตลอด (มีความถ่วงจำเพาะต่างกัน) การคำนวณหาความชื้นต้องกระทำเป็นชั้นๆ แล้วจึงนำเอาความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินในแต่ละชั้นมารวมกันเป็นความลึกของน้ำที่จะต้องให้แก่ดินทั้งหมด

2.3.2.6 การกำหนดการให้น้ำแก่พืช

ในการชลประทาน หรือการให้น้ำแก่พืชเพื่อให้พืชเจริญเติบโต และให้ผลตอบแทนสูงนั้น มักจะพบกับปัญหาซึ่งเป็นหัวใจของการชลประทานอยู่เสมอ คือ เมื่อไหร่จึงควรให้น้ำแก่พืช และให้เป็นปริมาณมากน้อยเท่าใด ถ้าหากทราบคำตอบทั้งสองข้อนี้ก็ย่อมเป็นที่แน่ใจได้ว่าการชลประทานนั้นจะสัมฤทธิ์ผลโดยการเพิ่มผลผลิตขึ้นได้อย่างแน่นอน แต่ก่อนที่จะให้คำตอบนี้ได้ จำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับพืช ดิน และน้ำ ซึ่งเป็นองค์ประกอบของการชลประทานเสียก่อน สิ่งที่ต้องทราบก็มี

- 1) ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ระยะเวลาต่างๆ ตลอดอายุของมัน
- 2) ความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก

ปริมาณน้ำที่หามาทำการชลประทานได้ และกำหนดเวลาที่จะได้รับน้ำนั้น ปริมาณน้ำที่พืชต้องการที่ระยะเวลาต่างๆตลอดอายุของมัน และความสามารถเก็บน้ำไว้ได้ของดินในเขตราก เป็นข้อมูลสำคัญเบื้องต้นซึ่งจะต้องนำมาใช้หาความถี่ในการให้น้ำ และปริมาณที่จะต้องให้ในแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตาม ในบางครั้งไม่สามารถให้แก่พืชได้เต็มจำนวนที่มันต้องการเสมอไป เนื่องจากว่าน้ำที่มีอยู่นั้นมีจำนวนจำกัด หรือในขณะที่พืชกำลังต้องการน้ำนั้น ยังไม่ถึงกำหนดส่งน้ำจากโครงการชลประทาน ดังนั้น จึงต้องทราบด้วยว่าจะมีน้ำที่สามารถให้แก่พืชได้อย่างแน่นอนเท่าไร และมีเป้าหมายกำหนดส่งน้ำอย่างไร เพื่อที่ว่าจะได้จัดเวลาที่ยอมให้พืชขาดน้ำอยู่ในช่วงที่จะกระทบกระเทือนต่อผลผลิตน้อยที่สุด หรือถ้ามีน้ำมากพอแต่การส่งน้ำนั้นไม่ตรงกับที่พืชต้องการ ก็จะได้จัดเตรียมเก็บกักน้ำไว้ใช้ในกรณีที่มิได้มีการส่งน้ำด้วย

2.3.2.7 พืชกับการกำหนดการให้น้ำ

พืชที่กำลังเจริญเติบโตย่อมมีการให้น้ำอยู่ตลอดเวลา อัตราการใช้น้ำจะขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช รังสีอาทิตย์ อุณหภูมิและสภาพภูมิอากาศอื่นๆ การให้น้ำแก่พืชในแต่ละครั้ง ปริมาณที่ให้ควรจะมากพอกับความต้องการของพืชไปจนกว่าจะถึงกำหนดให้น้ำในคราวหน้า ซึ่งอาจจะมีระยะเวลาตั้งแต่สองสามวันจนถึงสองสามอาทิตย์ ความถี่ในการให้น้ำเป็นเรื่องสำคัญที่จะต้องพิจารณากันอย่างรอบคอบเพราะว่าพืชบางชนิด เช่น พวกผักต่างๆ ต้องการให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลา ถ้าดินแห้งผลผลิตจะต่ำหรือมีคุณภาพเลวลง แต่พืชบางชนิด เช่น ส้ม และไม้ผลอื่นๆอีก

หลายอย่าง ต้องให้มีการขาดน้ำบ้างเล็กน้อยเสียก่อนจึงจะออกดอกออกผล ดังนั้น การกำหนดความถี่ในการให้น้ำจึงจำเป็นต้องทราบอุปนิสัยของพืชที่จะปลูกด้วย โดยทั่วไปแล้วการกำหนดเวลาที่ควรจะให้ น้ำแก่พืชอาจทำได้สองแบบ คือ โดยการสังเกตลักษณะอาการของพืชและโดยการพิจารณาจากจำนวนความชื้นที่ยังเหลืออยู่ในดิน

การกำหนดการให้น้ำ โดยสังเกตจากลักษณะอาการของพืชนั้นสามารถใช้ได้กับพืชเพียงบางชนิด เช่น พืชที่มีรากเป็นจันทระแสดงอาการเหี่ยวเฉาเมื่อเริ่มขาดน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในตอนบ่ายที่มีอากาศร้อนจัด ถั่ว ฝ้าย เมื่อเริ่มมีการขาดน้ำใบอ่อนของมันจะมีสีเขียวเข้มขึ้นกว่าปกติ สำหรับผลไม้ ไม่ควรกำหนดการให้น้ำโดยวิธีนี้ เพราะกว่าจะสังเกตเห็น พืชอาจจะขาดน้ำติดต่อกันเป็นเวลานานหลายวันแล้ว ซึ่งจะทำให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพและปริมาณลดลง

พืชทุกชนิดเมื่อมีอาการขาดน้ำจะลดอัตราการเจริญเติบโตลง ดังนั้นถ้าไม่จำเป็นแล้วควรให้พืชมีน้ำใช้อย่างเพียงพออยู่เสมอ โดยทั่วไปแล้วจะต้องกำหนดเวลาที่ต้องให้น้ำแก่พืชโดยการพิจารณาจากจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ (Available Moisture) ที่ยังเหลืออยู่ในดิน เพราะจำนวนความชื้นดังกล่าวนี้เท่านั้นที่จะบอกว่าพืชกำลังขาดน้ำอยู่หรือเปล่า

การที่จะให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูง จะต้องคอยควบคุมจำนวนความชื้นในดินให้อยู่ในระดับพอเหมาะอยู่เสมอ พืชส่วนใหญ่สามารถดูดน้ำจากดินไปใช้ได้อย่างดีถ้าดินมีความชื้นสูง เมื่อความชื้นในดินลดลง แรงดึงดูดความชื้นของดินก็จะเพิ่มขึ้น ถ้าหากไม่มีน้ำมาเพิ่มความชื้นให้แก่ดินในที่สุดพืชจะไม่สามารถดูดน้ำมาใช้ให้เพียงพอกับความต้องการได้ อัตราการเจริญเติบโตก็จะลดลงหรือหยุดเจริญเติบโต แต่ถ้าหากมีการให้น้ำแก่พืชในตอนนี้ พืชบางชนิดจะสามารถเจริญเติบโตต่อไปได้ตามปกติโดยมีการเสียหายเพียงเล็กน้อยหรือไม่เสียหายเลย พืชบางชนิดอาจจะเสียหายมากถ้าหากความชื้นในดินอยู่ในขีดเฉา (Wilting Point) ติดต่อกันเป็นเวลาหลายวัน ถึงแม้ว่ามันอาจจะเจริญเติบโตต่อไปได้ แต่จะพบว่าผลผลิตที่ได้ลดลงไป

เนื่องจากว่าระดับความเสียหายที่เกิดจากการขาดน้ำขึ้นอยู่กับชนิด และอายุของพืช ดังนั้นในเมื่อมีความจำเป็นที่จะต้องยอมให้พืชขาดน้ำ ก็ควรจะเลือกให้อยู่ในระยะที่กระทบกระเทือนต่อผลผลิตน้อยที่สุด เช่น การทดลองให้น้ำข้าวโพดพบว่า ถ้าให้ความชื้นในดินลดลงจนถึงขีดเฉาเป็นเวลา 1 ถึง 2 วัน ในช่วงที่ข้าวโพดกำลังออกช่อดอก (Teaseling) จะทำให้ผลผลิตลดลงได้มากถึง 22 เปอร์เซ็นต์ และถ้าให้ขาดน้ำในช่วงติดต่อกันเป็นเวลานาน 6 ถึง 8 วันผลผลิตอาจจะลดลงถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นถ้าต้องการปลูกข้าวโพดให้ได้ผลผลิตสูงแล้วก็จะต้องป้องกันมิให้ความชื้นในดินลดลงใกล้ขีดเฉาเลยตลอดอายุของมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่กำลังออกช่อดอก

สำหรับพืชบางชนิด เช่น ฝ้าย ซึ่งมีการใช้น้ำในดินอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าพืชชนิดอื่น อาจไม่จำเป็นต้องให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลา แต่ถ้าหากมันขาดน้ำผลผลิตก็จะลดลงเช่นเดียวกัน โดยปกติแล้วควรจะให้ดินมีความชื้นสูงอยู่ตลอดเวลาหลังจากที่มันเริ่มออกดอกแล้ว

สำหรับยาสูบ ในระยะแรกๆ ไม่ควรให้น้ำมากนักแต่ควรจะให้ดินมีความชื้นสูงอยู่เสมอในช่วงหลังของการเพาะปลูก

พืชเกือบทุกชนิดจะให้ผลผลิตลดลงหรือมีคุณภาพเลวลง ถ้ามีการขาดน้ำที่ระยะเวลาใดเวลาหนึ่ง ระยะเวลาที่เมื่อมีการขาดน้ำแล้วจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ผลผลิตมากที่สุด เรียกว่าช่วงวิกฤติ (Critical Period) ดังนั้น ในช่วงระยะเวลาดังกล่าวนี้นี้จะต้องคอยรักษาให้ดินมี

ความชื้นอยู่เสมอ ช่วงวิกฤติในต้องการน้ำของพืชชนิดต่างๆ ที่ปลูกกันทั่วไป ไปแสดงไว้ในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงช่วงวิกฤติ (Critical Period) ในความต้องการน้ำของพืชชนิดต่างๆ

พืช	ช่วงวิกฤติ
กะหล่ำปลี	ใบเริ่มห่อเป็นหัวและหัวกำลังโต
กะหล่ำดอก	ต้องการความชื้นในดินสูงตลอดฤดูการเพาะปลูก
ข้าวโพด	ช่วงผสมเกสรจากออกช่อดอกจนถึงมีเนื้อเต็มเมล็ดรองลงมาเป็นช่วงก่อนออกช่อดอกและรองลงมาเป็นช่วงที่เมล็ดกำลังจะเต็ม ช่วงผสมเกสรจะวิกฤติมากถ้าหากข้าวโพดไม่เคยขาดน้ำมาก่อน
ข้าวฟ่าง	วิกฤติที่สุดในช่วงออกช่อดอกจนถึงเมล็ดเต็ม รองลงมาเป็นช่วงก่อนออกดอก
ถั่วต่างๆ	วิกฤติที่สุดในช่วงออกดอกและติดฝักรองลงมาเป็นช่วงก่อนออกดอก รองลงมาเป็นช่วงฝักกำลังแก่ แต่ช่วงฝักแก่จะวิกฤติกว่าช่วงก่อนออกดอกถ้าไม่เคยขาดน้ำมาก่อน
ธัญพืช	จากตั้งท้องถึงออกรวง
บร็อคเคอลี	เริ่มออกดอกและดอกกำลังโต
ผักต่างๆ	ต้องการความชื้นในดินสูงตลอดฤดูกาลปลูก
ฝ้าย	วิกฤติที่ดีที่สุดในช่วงออกดอกถึงติดสมอ รองลงมาเป็นช่วงก่อนออกดอกรองลงมาเป็นช่วงหลังติดสมอถึงสมอแก่
มะเขือเทศ	จากออกดอกจนถึงช่วงกำลังโต
มันฝรั่ง	ต้องการความชื้นสูงหลังเริ่มลงหัว ออกดอก จนถึงเก็บเกี่ยว
ไม้ผล	ผลกำลังโต
ไม้ผลประเภทส้ม	ออกดอกและติดผล มะนาวจะออกดอกตก ถ้างดให้น้ำในช่วงก่อนออกดอกเล็กน้อย ผลร่วงในช่วงแล้งจัด อาจแก้ได้โดยการให้น้ำให้ชุ่มชื้นพอ

2.3.2.8 ดินกับการกำหนดการให้น้ำ

ถึงแม้ว่าการรักษาความชื้นของดินในระดับสูงอยู่เสมอ เป็นสิ่งที่จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและให้ผลผลิตสูง แต่ในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถจะรักษาความชื้นของดินให้อยู่ในระดับใดระดับหนึ่งตลอดฤดูการเพาะปลูก นอกจากนั้นพืชแต่ละชนิดยังดูดน้ำอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้คุณภาพและปริมาณของผลผลิตดี กล่าวคือ จะต้องไม่ยอมให้ความชื้นของดินลดลงไปใกล้ขีดเฉา (Wilting Point) เลย ระดับความชื้นก่อนการให้น้ำเป็นสิ่งที่จะบอกว่าดินนั้นมีความสูงอยู่ตลอดเวลาหรือไม่อาจถือได้ว่าถ้าดินยังมีความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้เหลืออยู่ประมาณ 66 เปอร์เซ็นต์แล้วดินยังชื้นอยู่ แต่ถ้าความชื้นดังกล่าวเหลืออยู่เพียง 33 % ก็ถือว่าดินแห้ง

ระดับความชื้นของดินก่อนการให้น้ำอาจจะเทียบหาได้จากแรงดึงความชื้นของดิน ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงความชื้นของดิน (Soil Moisture Tension) กับจำนวนความชื้นที่พืชนำไปใช้ได้ (Available Moisture)

2.3.2.9 ลักษณะการแผ่กระจายของราก

การแผ่กระจายของรากพืชแต่ละชนิดไม่เหมือนกัน พืชบางชนิดมีรากแผ่กระจายออกไปเป็นบริเวณกว้างในระดับที่ไม่ลึกนัก พืชบางชนิดมีรากหยั่งลงไปลึกและมีการแผ่กระจายในแนวราบน้อย อย่างไรก็ตามพืชชนิดเดียวกัน ลักษณะการแผ่กระจายของรากขึ้นอยู่กับชนิดและความลึกของดิน ระดับน้ำในดิน ฤดูกาลเพาะปลูก ตลอดจนปริมาณน้ำที่ให้แก่พืชในแต่ละครั้ง

โดยปกติแล้ว รากพืชจะไม่สามารถงอกในดินที่มีความชื้นต่ำกว่าจุดเหี่ยวเฉาถาวรได้ (Permanent Wilting Point) ดังนั้นถ้าหากมีชั้นดินที่แห้งมากอยู่ในดิน ก็จะทำให้รากพืชไม่สามารถงอกผ่านไปได้เหมือนกัน เนื่องจากว่ารากพืชต้องการออกซิเจนสำหรับหายใจด้วย ดังนั้นมันจะไม่ขยายตัวลงต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินเพราะว่าในระดับนี้มีออกซิเจน และแร่ธาตุที่เป็นประโยชน์ต่อพืชอยู่น้อยระดับน้ำใต้ดินจึงเป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อการแผ่กระจายของรากอีกอย่างหนึ่ง

ในกรณีที่ดินตลอดความลึก มีคุณสมบัติพอเหมาะกับความต้องการของรากพืช ความลึกของรากก็จะแปรผันไปตามอายุและระยะเวลาที่พืชมีการเจริญเติบโต (Active Growth) เช่นพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยว 2 เดือน จะมีความลึกประมาณ 60 ถึง 90 เซนติเมตร พืชที่มีอายุเก็บเกี่ยว 3 ถึง 4 เดือน จะมีความลึกประมาณ 1.80 ถึง 3.0 เมตร เป็นต้น ความลึกของรากนี้จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 30 ถึง 45 เซนติเมตร ต่อระยะเวลาที่พืชมีการเจริญเติบโตหนึ่งเดือน อย่างไรก็ตาม ความลึกของรากพืชที่มีอายุเก็บเกี่ยวมากๆ มักจะถูกจำกัดโดยความลึกและคุณสมบัติของชั้นดินมากกว่า กล่าวคือ ส่วนใหญ่แล้วจะมีความลึกไม่เกิน 2.0 เมตร ตามตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงความลึกของรากพืชเมื่อพืชโตเต็มที่ และปริมาณน้ำที่พืชต้องการตลอด
ฤดูกาลปลูก

พืช	ความลึกของราก-เมตร	ปริมาณน้ำที่ใช้-ม.ม.
กะหล่ำปลี	0.4-0.5	380-500
กล้วย	0.5-0.9	700-1700
ข้าวโพด	1.0-1.7	500-800
ข้าวฟ่าง	1.0-2.0	450-600
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	600-1000
ฝ้าย	1.0-1.7	700-100
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	900-1200
ยาสูบ	0.5-1.0	400-600
สับปะรด	0.3-0.6	700-1000
หัวหอม	0.3-0.5	350-550
อ้อย	1.2-2.0	1000-1500
องุ่น	1.0-2.0	500-1200

2.3.3 น้ำ (Water)

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญของสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะพืชมีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 75-90% น้ำมีบทบาทต่อการมีชีวิตตลอดจนการเจริญเติบโตของพืช นับตั้งแต่เมล็ดเริ่มงอกจนกระทั่งออกดอกออกผล ถ้าพืชขาดน้ำอย่างมากเป็นเวลานาน ๆ จะทำให้พืชถึงตายได้

2.3.3.1 ความสำคัญของน้ำที่มีต่อการเจริญเติบโตของพืช

- 1) น้ำมีผลต่อกระบวนการรากฐานของการเจริญเติบโต การเพิ่มขนาดของเซลล์จะต้องการน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการขยายตัวของเซลล์ เมื่อพืชขาดน้ำ เซลล์จะขยายตัวเพิ่มขนาดไม่ได้ เป็นผลให้อวัยวะพืชเล็ก และแคระแกร็น
- 2) น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญในการลำเลียงอาหารและแร่ธาตุอาหาร น้ำเป็นตัวทำละลายอาหารและแร่ธาตุอาหาร น้ำเป็นตัวกลางในการลำเลียงอาหารในดิน เป็นตัวลำเลียงพาแร่ธาตุอาหารเข้ามายังบริเวณรากพืช เมื่อรากดูดแร่ธาตุอาหารเข้ามาในต้นพืช น้ำจะเป็นตัวลำเลียงพาแร่ธาตุอาหารไปยัง

ใบเพื่อทำการสังเคราะห์เป็นอาหาร น้ำจะลำเลียงอาหารที่ได้ออกจากแหล่งสังเคราะห์ไปยังส่วนต่าง ๆ ของพืช

- 3) น้ำเป็นตัวรักษารูปร่างของเซลล์และต้นพืช เซลล์ที่มีชีวิตของพืช จะต้องเป็นเซลล์เต่งที่มีน้ำบรรจุอยู่เต็ม ถ้ามีน้ำไม่เต็ม เซลล์จะเหี่ยว หากเซลล์พืชเหี่ยวมากจะทำให้ต้นพืชตายไปในที่สุด
- 4) น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในขบวนการทางสรีรวิทยาและขบวนการทางชีวเคมี ขบวนการต่าง ๆ ในพืชหรือสิ่งมีชีวิต เช่น การสังเคราะห์แสง การหายใจ การดูดแร่ธาตุอาหาร การสังเคราะห์สารที่ใช้ในการเจริญเติบโต ฯลฯ แทบทุกขบวนการ จะมีน้ำเป็นองค์ประกอบด้วยเสมอ การสังเคราะห์แสง สร้างอาหารเป็นแป้งและน้ำตาลสะสมในพืช จะมาจากการรวมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้ากับน้ำ ขบวนการเผาผลาญอาหารหรือการหายใจก็จะมีกรใช้น้ำ และมีการสร้างน้ำขึ้น นอกจากนี้ น้ำยังเกี่ยวข้องกับการควบคุมปรากฏการณ์การเจริญเติบโตอื่น ๆ อีก เช่น การงอกของเมล็ด การพักตัวของพืช การชักนำการออกดอก เป็นต้น

2.3.3.2 ความต้องการน้ำของพืช (Water Requirement of Plant)

ความต้องการน้ำของพืชจะมีปัจจัยหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้อง แต่ที่สำคัญคือการสูญเสียน้ำหรือการคายน้ำและการสร้างสารประกอบภายในต้นพืช

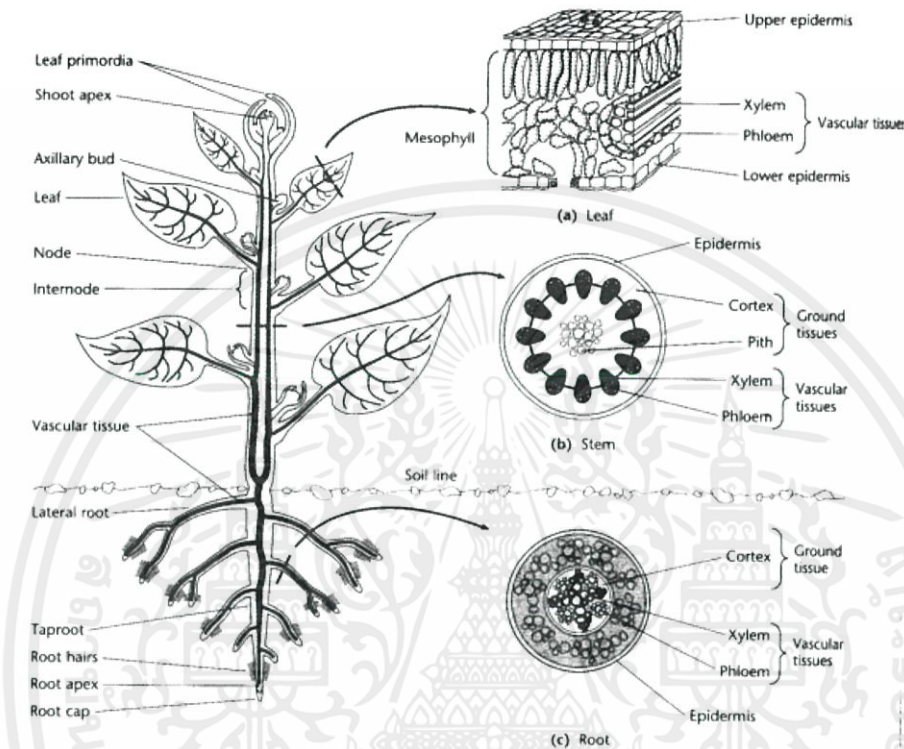
การคายน้ำ (Transpiration) การสูญเสียน้ำของพืชจากการคายน้ำ เป็นสิ่งจำเป็นที่ขาดไม่ได้ เนื่องจากการคายน้ำผ่านอวัยวะ เช่น ปากใบ (Stomata) จะทำให้เกิดแรงดึงดูดดึงน้ำจากดินผ่านรากพืชเข้ามาภายในต้นพืชได้ หากไม่มีการคายน้ำ หรือมีการคายน้ำน้อย พืชก็จะดูดน้ำได้น้อยด้วยเช่นกัน การคายน้ำจะต้องมีความสมดุลกับปริมาณน้ำที่พืชได้รับ หากพืชได้รับน้ำน้อยกว่าการคายน้ำ พืชจะเหี่ยวเฉา ปัจจัยที่มีผลต่อการคายน้ำ คือ

- 1) อุณหภูมิ สภาพอุณหภูมิสูง จะทำให้พืชมีการคายน้ำมากขึ้น
- 2) ความชื้นในอากาศ สภาพความชื้นในอากาศต่ำ พืชจะมีการคายน้ำมาก
- 3) ความเร็วลม ลมที่พัดผ่านแรง จะทำให้พืชมีการคายน้ำมาก
- 4) ความเข้มแสง สภาพที่มีความเข้มแสงสูง จะทำให้มีอุณหภูมิสูงตามไปด้วย พืชจะคายน้ำมาก ซึ่งจะต้องจัดการเรื่องการให้น้ำให้เพียงพอ กับน้ำที่สูญเสียไป มิฉะนั้น พืชจะเหี่ยวเฉาได้
- 5) การสร้างสารประกอบในต้นพืช การเจริญเติบโตของพืชนั้น เนื่องมาจากการกระตุ้นของสารที่จำเป็นหรือเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต ซึ่งการสร้างสารที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตจะเกิดมากในช่วงที่พืชกำลังเจริญเติบโต จะสร้างขึ้นได้ จะต้องมือน้ำเป็นวัตถุดิบ หรือต้องการน้ำในการส่งเสริมให้ขบวนการนั้นเกิดขึ้น ดังนั้น ในช่วงที่พืชกำลังเจริญเติบโต จึงต้องการน้ำมากตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3.3 การจัดการน้ำ (Water Management)

การที่น้ำมีความสำคัญและมีผลกระทบต่อเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชเป็นอย่างมากนั้น การจัดการน้ำให้เหมาะสมกับพืชจึงมีความจำเป็นมาก การที่พืชได้รับน้ำในระดับที่แตกต่างกัน จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช



รูปที่ 2.9 แสดงระบบท่อลำเลียง

1) พืชที่ได้รับน้ำในระดับที่พอเหมาะ

อัตราการดูดน้ำของราก จะเท่ากับอัตราการคายน้ำของใบ ในสภาวะเช่นนี้ เซลล์คุม (Guard Cell) และเซลล์ที่อยู่รอบๆเซลล์คุม (Companion Cells) บนใบจะเต่ง ทำให้ปากใบหรือรูใบ (Stomata) เปิดออก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบรรยากาศจะซึมแพร่เข้าสู่ภายในใบอย่างรวดเร็ว อัตราการสังเคราะห์แสงในเวลากลางวันที่มีแสงจะสูง และอัตราการหายใจเป็นปกติ ทำให้มีอาหารสะสมเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตเป็นจำนวนมาก

2) พืชที่ได้รับน้ำมากเกินไป

ทำให้มีอัตราการคายน้ำค่อนข้างต่ำ เนื่องจากน้ำในดินที่มีมากจะเป็นผลให้ความชื้นในอากาศรอบ ๆ ต้นพืชสูงขึ้น การคายน้ำของพืชจะลดต่ำลง ในขณะที่เดียวกับที่รากพืชดูดน้ำมากหรือเป็นปกติ เมื่อการดูดน้ำของรากและการคายน้ำของใบเกิดขึ้นในอัตราที่ไม่สมดุลกัน จะเกิดแรงดันในบริเวณเซลล์ Meristem ซึ่งเป็นเซลล์ที่ยืดตัว ทำให้เซลล์เต่งและยืดตัวมาก ทำให้เกิดผลเสียคือ ต้นกล้าจะมีลักษณะยืดยาวและมีรอยแตก เพราะเซลล์อาจขยายตัวไม่ทัน นอกจากนี้ น้ำที่มีอยู่ในดินมากเกินไป จะทำให้ช่องว่างในดินที่เป็นอากาศถูกแทนที่ด้วยน้ำ รากพืชจะขาดอากาศในการ

หายใจ กรณีที่น้ำท่วมรากนาน ๆ จะทำให้ต้นพืชตายได้ การแก้ไขในกรณีนี้ ทำได้โดยการระบายน้ำออกจากบริเวณรากพืชโดยเร็ว หรือปรับสภาพดินให้มีการระบายน้ำที่ดีขึ้น

3) พืชที่ขาดน้ำ

การคายน้ำจะเกิดในอัตราที่สูงกว่าการดูดน้ำมาก เซลล์คุมจะสูญเสียความเต่งและเหี่ยวแฟบลง ปากใบจะแคบลงหรือปิด การแพร่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในใบจะต่ำ ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงต่ำ สร้างอาหารได้น้อยลง สารประกอบอื่น ๆ ที่ต้องการคาร์โบไฮเดรตจากการสังเคราะห์แสงเป็นวัตถุดิบจะสร้างได้น้อยลง ทำให้การเจริญเติบโตเป็นไปอย่างช้า ๆ จนถึงกับไม่เจริญเติบโตเลย เซลล์บริเวณที่มีการยึดตัวจะมีขนาดเล็ก ทำให้ต้นพืชมีลักษณะแคระแกร็น อวัยวะส่วนต่างๆ จะมีขนาดเล็ก

4) พืชที่ขาดน้ำอย่างรุนแรงเป็นเวลานาน

พืชจะแสดงอาการเหี่ยว เซลล์คุมแฟบลงและปากใบปิด ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไม่สามารถแพร่เข้าไปในใบได้ การสังเคราะห์แสงจะหยุดลง ในขณะที่การหายใจยังคงดำเนินอยู่ต่อไป ทำให้อาหารที่สะสมอยู่ตามส่วนต่าง ๆ ถูกใช้ไปและไม่มีการสร้างขึ้นใหม่ เมื่อถึงระดับหนึ่ง พืชที่ขาดน้ำนั้นจะตายไป

2.3.4 อากาศในดิน

อากาศในดินเป็นสิ่งหนึ่งที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของรากพืช และจุลินทรีย์ในดิน ปริมาณของอากาศในดินมักไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดและปริมาณช่องว่างในดินและปริมาณน้ำในดิน อากาศในดินตามปกติจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 0.2-1% โดยปริมาตร และมีก๊าซออกซิเจน (O_2) ประมาณ 10-12% โดยปริมาตร ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อดินนั้นถูกนำไปใช้ในการเพาะปลูก วิธีการในการเพาะปลูก การใส่ปุ๋ย การใส่ปูน จะทำให้ดินมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น และก๊าซออกซิเจนน้อยลง เพราะรากพืชมีกิจกรรมอยู่ตลอดเวลา โดยที่การใส่ปุ๋ย การใส่ปูน จะทำให้ทั้งพืชและจุลินทรีย์ในดิน มีการเจริญเติบโตดี กิจกรรมทางด้านหายใจก็จะสูงขึ้นตามไปด้วย มีการใช้ก๊าซออกซิเจนและปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ในอีกประการหนึ่ง ความชื้นในดินก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซออกซิเจนด้วย เมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในดินมักมีความเข้มข้นสูงขึ้น ในขณะที่ก๊าซออกซิเจนมักมีความเข้มข้นต่ำลง เนื่องจากเมื่อความชื้นในดินสูงขึ้น จะทำให้ช่องว่างในดินที่ย่อมให้ก๊าซออกซิเจนจากบรรยากาศซึมผ่านลงมาทดแทน และยอมให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่เกิดจากกิจกรรมของรากพืชและจุลินทรีย์ในดินเคลื่อนผ่านขึ้นสู่บรรยากาศมีน้อยลง ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีแนวโน้มที่จะสะสมในดินมากขึ้นเมื่อดินมีความชื้นสูงขึ้น นอกจากนี้ ดินเนื้อละเอียด ซึ่งมีรูพรุนขนาดเล็ก ๆ จำนวนมาก ก็มักมีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้นด้วย เพราะการเคลื่อนที่ของก๊าซต่างๆ ผ่านรูพรุนขนาดเล็ก จะเกิดช้ากว่าการเคลื่อนผ่านรูพรุนขนาดใหญ่ ประกอบกับ การที่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าและมีน้ำหนักโมเลกุลมากกว่าจึงเคลื่อนที่ได้ช้ากว่าก๊าซชนิดอื่น

ดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้น จำเป็นต้องมีการถ่ายเทอากาศที่ดี เพื่อให้ไม่มีการสะสมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และให้มีการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับบรรยากาศ ในอัตราที่สูงเพียงพอที่จะทำให้ดินมีก๊าซออกซิเจนพอเพียงสำหรับ

กิจกรรมของรากพืชและจุลินทรีย์ในดิน ดินที่มีการถ่ายเทอากาศไม่ดีนั้น จะมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ดังนี้

- 1) การหายใจของพืชและจุลินทรีย์ในดินจะถูกจำกัดขอบเขต ทำให้ได้พลังงานจากการหายใจในปริมาณจำกัด
- 2) ดินที่มีก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอ จะทำให้กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินสลายอินทรีย์วัตถุมีแนวโน้มจะเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposed) ซึ่งทำให้เกิดสารที่ไม่เป็นประโยชน์และอาจเป็นพิษต่อพืช เช่น ก๊าซไข่เน่า (Hydrogen Sulfide, H_2S), Methane (CH_4), Phosphine (PH_3) เป็นต้น
- 3) ดินที่มีก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอ สารอนินทรีย์บางชนิด เช่น เหล็ก จะเกิดการสะสมจนเป็นพิษต่อพืช ซึ่งโดยปกติ พืชจะใช้ประโยชน์จากเหล็กในรูป Ferrous Ion (Fe^{+2}) แต่ถ้าดินขาดก๊าซออกซิเจนแล้ว การสะสม Fe^{+2} จะทำให้เป็นพิษต่อพืช นอกจากนี้ ธาตุอลูมิเนียม (Al) ก็จะมีอยู่ในรูปที่เป็นพิษด้วยเช่นกัน
- 4) ดินที่มีก๊าซออกซิเจนไม่เพียงพอ จะทำให้ธาตุอาหารในดิน มีการสูญเสียมากขึ้น เช่น ธาตุกำมะถัน จะเปลี่ยนรูปจาก ซัลเฟต (Sulfate Ion) ซึ่งพืชใช้ประโยชน์ได้ดีไปเป็น ซัลไฟด์ (Sulfide) และก๊าซไข่เน่า (S^{2-} , H_2S) ซึ่งพืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ ธาตุไนโตรเจน จะเปลี่ยนจากรูปไนเตรต (Nitrate) ไปเป็นก๊าซไนโตรเจน ซึ่งพืชใช้ประโยชน์ไม่ได้ เป็นต้น

2.3.5 แร่ธาตุอาหาร (Nutrients)

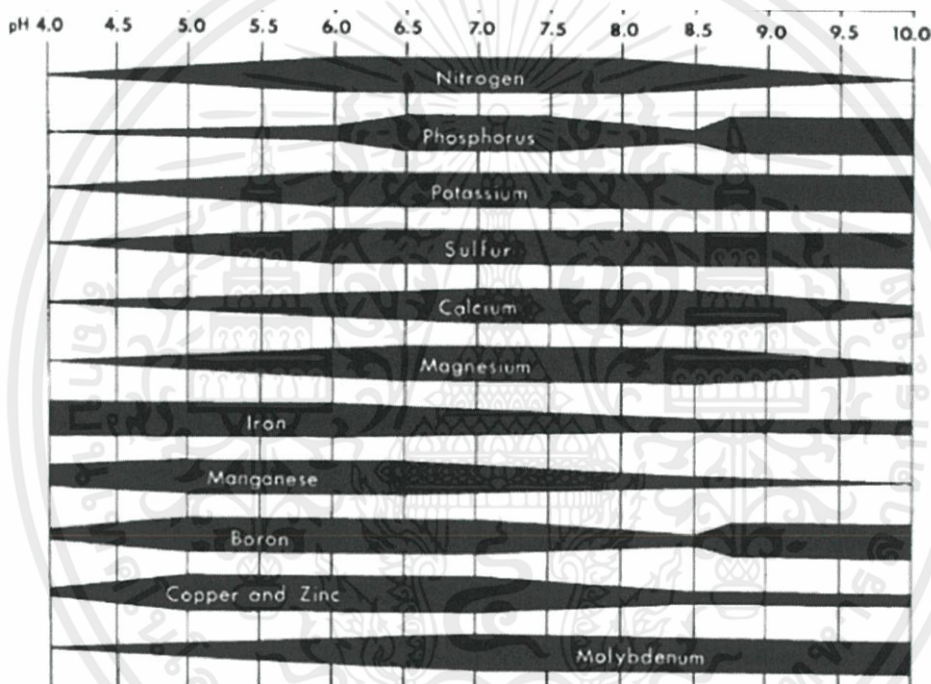
แร่ธาตุอาหารเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช เนื่องจากแร่ธาตุอาหารเป็นส่วนประกอบของอาหาร เป็นส่วนประกอบของสารอินทรีย์ในขบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ และเป็นส่วนประกอบของน้ำย่อยในกิจกรรมการสังเคราะห์แสง และการหายใจ หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาว่าแร่ธาตุใดจัดเป็นแร่ธาตุอาหารของพืช คือ

- 1) ธาตุนั้นต้องมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการ และการสืบพันธุ์ของพืช ถ้าขาดธาตุหนึ่งธาตุใด จะทำให้การเจริญเติบโตและพัฒนาการ และการสืบพันธุ์ไม่สมบูรณ์
- 2) ความต้องการธาตุแต่ละธาตุต้องมีขอบเขตจำกัด และไม่สามารถทดแทนกันได้
- 3) ธาตุเหล่านั้นต้องมีผลโดยตรงต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการ และไม่ใช้สาเหตุที่ทำให้แร่ธาตุชนิดอื่น เกิดความไม่เหมาะสม หรือเป็นอันตรายต่อพืช

แร่ธาตุอาหารของพืช มีอยู่ด้วยกัน 16 ชนิด ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม แมงกานีส เหล็ก ทองแดง กำมะถัน โมลิบดีนัม สังกะสี คลอรีน โบรอน แคลเซียม นอกจากนี้ วิทยาการสมัยใหม่ ยังค้นพบว่า ยังมีอีกหลายธาตุที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชเช่นกัน แต่ไม่ถูกจัดไว้ในบัญชีรายชื่อแร่ธาตุอาหาร เช่น นิเกิล เป็นต้น กลุ่มของรายชื่อแร่ธาตุอาหารที่ระบุข้างต้นนี้ อาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

- ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณมาก หรือธาตุอาหารหลัก มี 10 ธาตุ ได้แก่ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แคลเซียม กำมะถัน
- ธาตุอาหารที่พืชต้องการในปริมาณน้อย หรือธาตุอาหารรอง มี 6 ธาตุ ได้แก่ แมงกานีส ทองแดง โมลิบดินัม สังกะสี คลอรีน โบรอน

อย่างไรก็ตาม การพิจารณาว่าธาตุอาหารพืชใด จัดอยู่ในกลุ่มธาตุอาหารหลักหรือธาตุอาหารรอง จะต้องพิจารณาจากพืชแต่ละชนิดเป็นสำคัญ เนื่องจากวิทยาการสมัยใหม่ กลับพบว่าธาตุอาหารพืชบางชนิด อาจเป็นธาตุอาหารรองในพืชชนิดหนึ่ง แต่อาจเป็นธาตุอาหารหลักในพืชอีกชนิดหนึ่งก็ได้



รูปที่ 2.10 แสดงอิทธิพลของความเป็นกรด-ด่างของดินกับแร่ธาตุ

2.3.6 แสง (Light)

นอกจากแสงจะมีผลโดยตรงต่อขบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นขบวนการรากฐาน เพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงาน และเป็นแหล่งของสารประกอบขั้นต้น เพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นสารประกอบอินทรีย์ในพืช อันเป็นปัจจัยโดยตรงในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแล้ว แสงยังควบคุมขบวนการรากฐานของการเจริญเติบโตในระดับต่าง ๆ จนได้ผลรวมออกมาในรูปการเจริญและเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้าง นอกจากนี้ แสงยังมีอิทธิพลต่อปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในการเจริญเติบโตของพืชด้วย เช่น การงอกของเมล็ด การพักตัวของเมล็ด การออกดอก เป็นต้น การตอบสนองของพืชต่อแสงนั้น พืชจะตอบสนอง ในแง่ต่าง ๆ ดังนี้

2.3.6.1 ความเข้มของแสง (Light Intensity)

ความเข้มของแสง คือ ปริมาณแสงทั้งหมดที่พืชได้รับ ซึ่งความเข้มของแสงจะแตกต่างกันตามพื้นที่ เวลา ฤดูกาล และระยะห่างจากเส้นศูนย์สูตรของโลก ในพื้นที่เดียวกัน ความเข้มของแสงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้น จนถึงเที่ยงวัน หรือในช่วงบ่าย จากนั้นจะค่อยๆ ลดลงไปตามกระทั่งดวงอาทิตย์ตก บริเวณเส้นศูนย์สูตรของโลกจะมีความเข้มของแสงสูงที่สุดและค่อยๆ ลดลงตามเส้นรุ้งที่มุ่งไปหาขั้วโลกในช่วงเวลาเดียวกัน อิทธิพลของความเข้มของแสงต่อการเจริญเติบโตของพืช คือ

1) ความเข้มของแสงที่เหมาะสม

โดยที่มีปัจจัยอื่นๆเหมาะสม และการหายใจเป็นปกติ การสังเคราะห์แสงจะมีอัตราสูง ทำให้ได้อาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตมาก ระดับความเข้มของแสงที่เหมาะสมต่อพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน อาจแบ่งพืชตามความต้องการความเข้มของแสงออกได้เป็น

- พืชในร่ม เป็นพืชที่ต้องการความเข้มของแสงน้อยจึงจะเจริญเติบโตได้ดี พืชพวกนี้ ถ้านำไปอยู่กลางแจ้งที่มีความเข้มของแสงสูง ใบจะไหม้และต้นชะงักการเจริญเติบโต พืชพวกนี้มักนิยมปลูกไว้ในร่ม ตามชายคาบ้าน บริเวณข้างหน้าต่าง และไม้ประดับอาคารสถานที่
- พืชกึ่งร่มกึ่งแจ้ง เป็นพืชที่ต้องการแสงที่มีการพรางหรือลดความเข้มของแสงลงแล้ว พืชพวกนี้นิยมปลูกในที่ร่มที่มีแสงแดดรำไร
- พืชกลางแจ้ง พวกนี้ต้องการความเข้มของแสงสูง มีการเจริญเติบโตได้ดีในที่กลางแจ้ง พวกนี้จะเป็นพืชที่ปลูกอยู่ทั่วไป

2) ความเข้มของแสงที่ต่ำเกินไป

เมื่อความเข้มของแสงไม่เพียงพอ จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตต่ำ และให้ผลผลิตน้อย หรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำ เพราะในการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงนั้น ขั้นตอนของขบวนการนี้ ต้องการพลังงานที่มีปฏิกิริยาที่ใช้แสงเป็นตัวกระตุ้นจึงจะเกิดขึ้นได้ กรณีที่แสงมีความเข้มต่ำ พลังงานที่ใช้ในการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำจะน้อย อัตราการสังเคราะห์แสงจะต่ำ ส่งผลให้มีอาหารน้อยตามไปด้วย ซึ่งอาหารจากการสังเคราะห์แสงนี้จะป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารประกอบที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตอื่น ๆ เมื่อพืชมีอาหารต่ำอยู่แล้ว การสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตจะเกิดขึ้นน้อย พืชจะมีการเจริญเติบโตช้า และมีผลผลิตต่ำ หรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำ

3) ความเข้มของแสงที่สูงเกินไป

- ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll Content) ความเข้มของแสงที่สูงเกินไป จะทำให้พืชบางชนิดมีปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลง หรือคลอโรฟิลล์มีประสิทธิภาพต่ำลง การสังเคราะห์แสงจะต่ำไปด้วย
- น้ำ แสงที่มีความเข้มมากเกินไป จะทำให้อุณหภูมิของใบเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้พืชมีอัตราการคายน้ำสูง หากอัตราการดูดน้ำของรากไม่สมดุลกับอัตราการคายน้ำ พืชจะแสดงอาการขาดน้ำ
- กิจกรรมของน้ำย่อย (Enzymes) แสงที่มีความเข้มมากเกินไป ทำให้อุณหภูมิของใบสูงขึ้น เป็นผลให้ระบบน้ำย่อยลดการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำข้อมูลไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต

แบ่งลง ทำให้พืชมีการสะสมน้ำตาลแทนแป้ง นอกจากนี้ น้ำย่อยที่มีส่วนในการสังเคราะห์แสงก็จะลดกิจกรรมลงด้วย ทำให้อัตราการสังเคราะห์แสงลดลง

2.3.6.2 คุณภาพของแสง (Light Quality)

แสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวคลื่นหลายระดับ โดยที่แสงอาทิตย์ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 225–2,500 นาโนเมตร (Nanometer, nm, 1 nm = 10⁻⁷ cm) แต่แสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นโลก จะมีความยาวคลื่นระหว่าง 310-2,300 nm ทั้งนี้เนื่องจาก คลื่นสั้น หรือแสงเหนือม่วง (Ultra Violet, UV) ซึ่งเป็นแสงที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยส่วนใหญ่จะถูกดูดซับไว้ โดยชั้นของโอโซน (Ozone) ในบรรยากาศ ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าแสงสีแดง (InfraRed) ความยาวคลื่นมากกว่า 2,300 nm จะถูกดูดซับไว้โดยไอน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นผิวโลก อาจแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

- 1) คลื่นแสงที่มองไม่เห็น (Invisible light) ได้แก่ แสงเหนือม่วง (Ultra Violet, UV) ช่วงความยาวคลื่น ต่ำกว่า 390 นาโนเมตร เป็นตัวการในการยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช และแสง Infrared ช่วงความยาวคลื่นสูงกว่า 810 นาโนเมตร จะทำให้ปล้องของพืชยืดยาวออก
- 2) คลื่นแสงที่มองเห็น (Visible light) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 390-810 nm แต่ละช่วงความยาวคลื่นจะมีสีต่างกัน แสงในกลุ่มนี้จะมีผลต่อพืช คือ
 - แสงสีม่วง (390-410 nm) แสงสีคราม (411-425 nm) และสีน้ำเงิน (426-492 nm) เกี่ยวข้องกับการตอบสนองของพืชต่อแสงที่เรียกว่า Phototropism เช่น การที่ดอกไม้บางชนิดหันเข้าหาแสง การโค้งงอของพืชเข้าหาแสง เป็นต้น และมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง (ที่ 430 สำหรับคลอโรฟิลล์ เอ และ 453 nm สำหรับคลอโรฟิลล์ บี)
 - แสงสีเขียว (493-535 nm) ระวังการเจริญเติบโตของพืช
 - แสงสีเหลือง (536-586) และแสงสีส้ม (587-647 nm) ส่งเสริมการงอกของเมล็ด
 - แสงสีแดง (648-760 nm) ส่งเสริมการงอกและหรือยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชบางชนิด และมีความสำคัญต่อการสังเคราะห์แสง (ที่ 642 สำหรับคลอโรฟิลล์ เอ และ 662 nm สำหรับคลอโรฟิลล์ บี)
 - แสงสีไกลแดง (761-810 nm) ยับยั้งการงอกของเมล็ด

2.3.6.3 ช่วงแสง (Light Duration or Photoperiod)

หมายถึงระยะเวลายาวนานของแสงในแต่ละช่วงวัน ซึ่งจะแตกต่างกันตามฤดูกาล ความยาวของช่วงแสงจะมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชบางชนิดเป็นอย่างมากอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการอิทธิพลในการเปลี่ยนพืชจากกระยะการเจริญเติบโตทางกิ่งใบ (Vegetative Growth) ไปเป็นการเจริญเติบโตทางด้านการสืบพันธุ์ (Reproductive Growth) นั่นคือช่วงแสงมีอิทธิพลต่อการออกดอกและการลงหัวของพืชบางชนิด การตอบสนองของพืชต่อช่วงแสงนี้อาจแบ่งพืชออกเป็น

- พืชวันสั้น (Short Day Plant, SD) เป็นพืชที่ต้องการความยาวช่วงแสง สั้นกว่าช่วงวันวิกฤติ (Critical Day Length) จึงจะออกดอกได้
- พืชวันยาว (Long Day Plant, LD) เป็นพืชที่ต้องการความยาวช่วงแสงยาวกว่าช่วงวันวิกฤติ จึงจะออกดอก

พืชที่ไม่ตอบสนองต่อช่วงแสง (Day Neutral Plant) พืชพวกนี้ เมื่อได้รับสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม หรือมีอายุเหมาะสม ก็จะสามารถออกดอกได้ โดยไม่เกี่ยวข้องกับช่วงแสง

2.3.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช ตั้งแต่พืชเริ่มงอกจนกระทั่งออกดอกติดผล อุณหภูมิเกี่ยวข้องกับขบวนการงอกของเมล็ด การสังเคราะห์แสง การหายใจ การพักตัว เป็นต้น พืชแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิที่ใช้ในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน อุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช มีทั้งอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิในดิน อุณหภูมิกลางวัน และอุณหภูมิกกลางคืน

โดยทั่วไปแล้ว อุณหภูมิอากาศจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้น โดยมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ขบวนการทั้ง 2 จะค่อย ๆ เพิ่มอัตราขึ้น ตามการเพิ่มของอุณหภูมิ จนถึงระดับหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม ที่ประมาณ 30-35°C ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิจะไม่เพิ่มอัตราการเกิดกิจกรรมของขบวนการทั้ง 2 นี้ ส่วนอุณหภูมิกกลางคืน มีผลต่อการเจริญเติบโตของราก และมีผลต่อการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหาร ถ้าอุณหภูมิกกลางคืนต่ำ การดูดน้ำจะลดลง ต้นพืชจะเหี่ยว นอกจากนี้ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินในสภาพอุณหภูมิกกลางคืนต่ำ ก็จะลดลงด้วย ทำให้ได้อินทรียสารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยตามไปด้วย ถ้าอุณหภูมิกกลางคืนสูงกว่าปกติเพียงเล็กน้อย จะกระตุ้นให้รากมีการเจริญเติบโตช้าลงมาก แต่หากอุณหภูมิกกลางคืนสูงกว่าลำต้น การเจริญเติบโตจะกลับชะงัก

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกกลางคืน เป็นอุณหภูมิกกลางคืนและอุณหภูมิกกลางคืน มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชเช่นกัน โดยส่วนใหญ่แล้ว อุณหภูมิกกลางคืนจะมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชมากกว่าอุณหภูมิกกลางวัน ถ้าอุณหภูมิกกลางคืนสูงกว่าอุณหภูมิกกลางวัน การเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชจะลดลง การที่อุณหภูมิกกลางคืนต่ำกว่าอุณหภูมิกกลางวัน จะทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ดีกว่าการที่อุณหภูมิกกลางคืนเท่ากับอุณหภูมิกกลางวัน โดยทั่วไป อุณหภูมิกกลางคืนที่เหมาะสมมักต่ำกว่าอุณหภูมิกกลางวันที่เหมาะสมประมาณ 10°C

อุณหภูมิ มีบทบาทต่อแทบทุกขบวนการในพืช เนื่องจากขบวนการต่าง ๆ ทางชีวเคมีเกิดขึ้นได้ โดยกิจกรรมของน้ำย่อย ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง และกิจกรรมของน้ำย่อยจะขึ้นกับระดับของอุณหภูมิเป็นอย่างมาก ผลของอุณหภูมิกต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ได้แก่

- อุณหภูมิกต่ำ มีผลต่อการลำเลียงอาหาร ในสภาพอุณหภูมิกต่ำ พืชจะลำเลียงอาหารได้ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ สำหรับการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีทรัพย์สินของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์

- อุณหภูมิกต่ำ ลดการหายใจ เนื่องจากการเจริญเติบโต เป็นผลสุทธิของขบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ในสภาพอุณหภูมิกต่ำ พืชจะมีการหายใจน้อยลง การเผาผลาญอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงจะลดลงอิทธิพลของอุณหภูมิกต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ได้แก่
- อุณหภูมิกต่ำ ลดการหายใจ เนื่องจากการเจริญเติบโต เป็นผลสุทธิของขบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ในสภาพอุณหภูมิกต่ำ พืชจะมีการหายใจน้อยลง การเผาผลาญอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงจะลดลงอิทธิพลของอุณหภูมิกต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ได้แก่
- อุณหภูมิกต่ำ ลดการหายใจ เนื่องจากการเจริญเติบโต เป็นผลสุทธิของขบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ในสภาพอุณหภูมิกต่ำ พืชจะมีการหายใจน้อยลง การเผาผลาญอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงจะลดลงอิทธิพลของอุณหภูมิกต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช ได้แก่

ในพืชหลายชนิด อุณหภูมิต่ำจะเป็นตัวชักนำให้พืชเกิดการออกดอก ซึ่งพืชพวกนี้จะต้องได้รับอุณหภูมิต่ำช่วงหนึ่งจึงจะออกดอกได้ นอกจากนี้ อุณหภูมิต่ำยังเป็นตัวกระตุ้นให้พืชบางชนิดที่มีถิ่นกำเนิดในเขตอบอุ่น (Temperate Zone) สิ้นสุดการพักตัวและสามารถแตกตาออกตาใบ เข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตในฤดูใบไม้ผลิได้ ซึ่งพืชพวกนี้ จะต้องการอุณหภูมิต่ำในระยะเวลาสั้นพอสมควรจึงจะสิ้นสุดการพักตัว

แม้ว่าพืชจะตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำได้ดี แต่อุณหภูมิที่ต่ำมากจะมีผลเสียต่อพืชเช่นกัน ภัยจากความเสียหายของอุณหภูมิต่ำมากต่อพืช ได้แก่

- ที่อุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง ต่ำกว่า 10°C พืชที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน (Tropical Zone) จะไม่เจริญเติบโต และในช่วงอุณหภูมิ $0-5^{\circ}\text{C}$ อาจทำให้พืชพวกนี้ตายได้
- ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งภายในเนื้อเยื่อและอวัยวะของพืช และทำให้พืชสูญเสียน้ำ ทำให้พืชได้รับความเสียหาย

ส่วนที่อุณหภูมิสูงมาก ก็ก่อความเสียหายให้พืชเช่นกัน เช่น การสูญเสียประสิทธิภาพของคลอโรฟิลล์ ใบไหม้ เป็นต้น

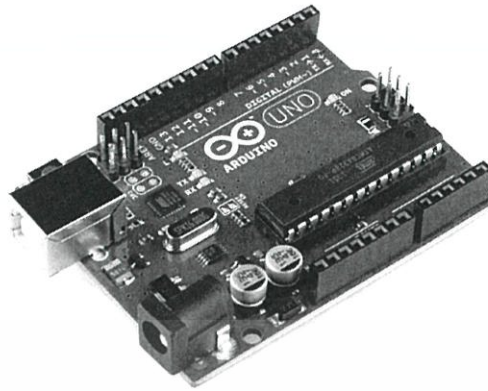
2.4 Arduino

Arduino มีผู้ริเริ่มเป็นชาวอิตาลีเลียน ทำให้อ่านออกเสียงไปในภาษาอิตาลีว่า อาดูยโน หรือ บางคนก็อ่านว่า อาดูโน หรือ อาดูยอีโน ก็ได้ เรื่องมันก็เริ่มต้นในปี 2005 ผู้ริเริ่มของ Arduino ชื่อว่า Massimo Banzi และ David Cuartielles ซึ่งอาศัยอยู่ในเมือง Ivrea ทางตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศอิตาลี สองคนนี้ตั้งใจสร้างอุปกรณ์ประเภทไมโครคอนโทรลเลอร์ราคาถูกที่นักเรียนนักศึกษาสามารถเข้าถึง และซื้อหามาเป็นเจ้าของได้ครับ โรงงานเล็กๆ ในเมืองที่วานี้ก็ถูกใช้เป็นที่ผลิตบอร์ด Arduino เวอร์ชันแรก โดยใช้ชื่อโครงการของพวกเขาว่า Arduin of Ivrea นอกจากนี้ตั้งใจให้ราคาของอุปกรณ์ถูกเมื่อเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่นๆในท้องตลาดแล้ว

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อี-โน หรือ อาดูยโน) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ เช่น ArduinoXbee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้

Arduino เวอร์ชันแรก ปรากฏต่อสายตาชาวโลกในเดือนกันยายน ปี 2006 เรียกชื่อว่า Arduino Mini ถึงปัจจุบัน Arduino มีบอร์ดหลายแบบให้เลือกใช้งานตามความถนัดและความเหมาะสมมากกว่า 20 รุ่น แต่ละรุ่นก็มีขนาด ความจุ ความเร็ว จำนวนขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้านการกำเนิดแตกต่างกันออกไป มีตั้งแต่ราคาหลักสองสามร้อยบาท ไปจนกระทั่งพันกว่าบาท



รูปที่ 2.11 แสดงบอร์ด Arduino Uno

2.4.1 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

- ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
- มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแรง
- Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้
- ราคาไม่แพง
- Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

ตารางที่ 2.5 ตารางแสดงเปรียบเทียบเทียบคุณสมบัติของบอร์ด Arduino แต่ละรุ่น

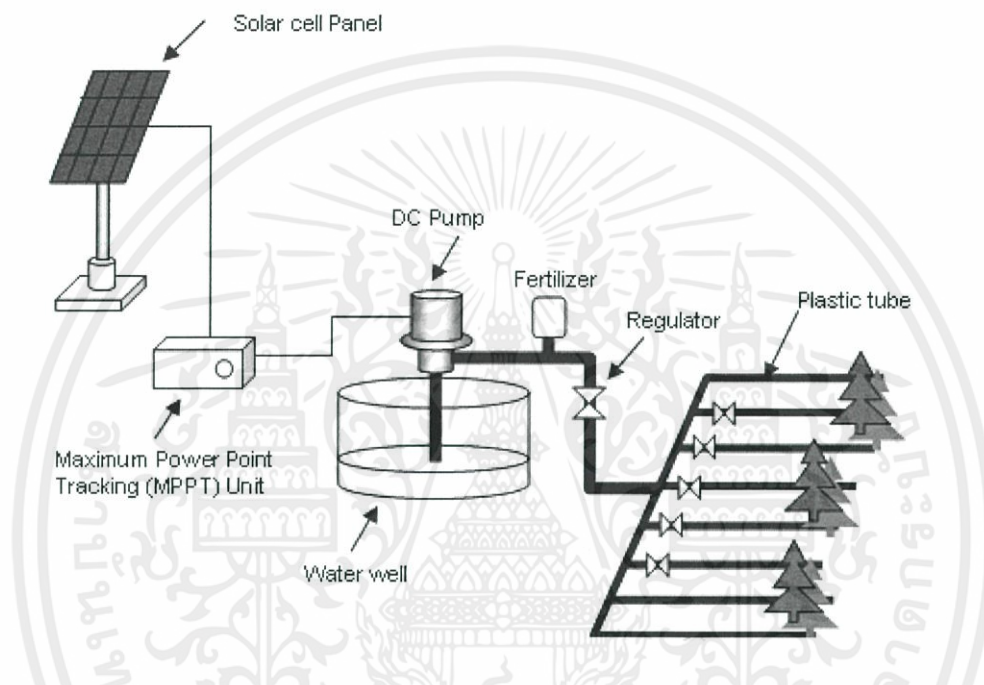
	Processor					Input/Output						Power				Connectivity					
	คอนโทรลเลอร์	หน่วยความจำแบบแอสติก (SRAM)	หน่วยความจำ flash	EEPROM	Clock	Digital I/O	Analog In	ADC Bits	PWM	UART	Analog Out	DAC Bits	VCC	Vin Range	5V	3.3V	USB-Serial	I2C	Ethernet	USB-Host	SD Card
Arduino UNO R3	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	No	No	No
Arduino UNO SMD	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	No	No	No
Arduino Mega 2560 R3	ATmega2560	8k	256k	4k	16MHz	54	16	10	14	4	N/A	N/A	5V	7-18V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	No	No	No
Arduino Mega ADK	ATmega2560	8k	256k	4k	16MHz	54	16	10	14	4	N/A	N/A	5V	7-18V	Yes	Yes	ATmega16U2	1	MAX3421E	No	No
Arduino Leonardo	ATmega32U4	2.5k	32k	1k	16MHz	28	12	10	7	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	Yes	Built-in	1	No	No	No
Arduino Mini OS	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7-9V	Yes	No	N/A	1	No	No	No
Arduino Pro Mini 328 - 3.3V	ATmega328	2k	32k	1k	8MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	3.3V	5-12V	No	Yes	N/A	1	No	No	No
Arduino Pro Mini 328 - 5V	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	14	6	10	6	1	N/A	N/A	5V	7-12V	Yes	No	N/A	1	No	No	No
Arduino Ethernet with PoE module	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	9	6	10	4	1	N/A	N/A	5V	6-18V	Yes	Yes	N/A	1	No	No	No
Arduino Ethernet without PoE module	ATmega328	2k	32k	1k	16MHz	9	6	10	4	1	N/A	N/A	5V	6-18V	Yes	Yes	N/A	1	No	No	No
Arduino Due	SAM3X8E	96k	512k	N/A	84MHz	70	12	12	12	4	N/A	N/A	5V	7-12V	No	VCC	Built-in	2	No	Yes	No

2.5 วิธีการชลประทานแบบหยด (Drip or Trickle Irrigation)

เป็นการให้น้ำแก่พืชเฉพาะในเขตรากพืช โดยมีการควบคุมปริมาณน้ำให้แก่พืชครั้งละน้อย ๆ แต่บ่อยครั้งอย่างสม่ำเสมอด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า หัวจ่ายน้ำ (Emitter) จุดมุ่งหมายสำคัญของการให้น้ำแบบนี้ก็เพื่อที่จะรักษาระดับความชื้นของดิน บริเวณรากพืชให้อยู่ในระดับที่รากพืชดูดไปใช้ได้อย่าง

ง่าย สร้างความเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์พอเหมาะ และเป็นไปตามความต้องการของพืช โดยมีคุณลักษณะที่สำคัญดังต่อไปนี้

- 1) เป็นวิธีการให้น้ำด้วยอัตราที่ละน้อย ๆ (น้อยกว่า 250 ลิตร/ชม.)
- 2) เป็นวิธีการให้น้ำที่ใช้เวลานาน (นานมากกว่า 30 นาที)
- 3) เป็นวิธีการให้น้ำช่วงบ่อยครั้ง (ไม่เกิน 3 วันครั้ง)
- 4) เป็นวิธีการให้น้ำโดยตรงในบริเวณเขตรากพืชหรือเขตพุ่มใบ (เปียกอย่างน้อย 60%)
- 5) เป็นวิธีการให้น้ำด้วยระบบท่อที่ใช้แรงดันต่ำ (แรงดันที่หัวจ่ายน้ำไม่เกิน 20 เมตร)



รูปที่ 2.12 แสดงองค์ประกอบของระบบชลประทานแบบหยด

2.5.1 ข้อดีของระบบน้ำหยด

ประหยัดน้ำมากกว่าระบบการให้น้ำแบบอื่น ประหยัดต้นทุนในการบริหารจัดการลงทุนครั้งเดียวให้ผลคุ้มค่าในระยะยาว การติดตั้งอุปกรณ์ไม่ยุ่งยาก ใช้ได้กับพื้นที่ทุกประเภทไม่ว่าจะเป็นดินร่วน ดินเหนียว หรือดินทรายรวมทั้งดินเค็มและดินด่าง สามารถใช้กับพืชประเภทต่างๆได้เกือบทุกชนิด ยกเว้นดินพืชที่ต้องการน้ำขัง เหมาะสำหรับพื้นที่ขาดแคลนน้ำต้องการใช้น้ำอย่างประหยัด ประหยัดเวลาการทำงาน สามารถให้ปุ๋ยและสารเคมีอื่นๆละลายไปพร้อมกับน้ำได้

2.5.2 ข้อจำกัดของระบบน้ำหยด

ต้องใช้ต้นทุนสูงในระยะแรก ต้องมีความรู้เกี่ยวกับปริมาณการใช้น้ำของพืชแต่ละชนิดที่ปลูก ต้องคำนึงถึงการจัดการระบบ เช่น ระยะเวลาการให้น้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

อุปกรณ์และการออกแบบ

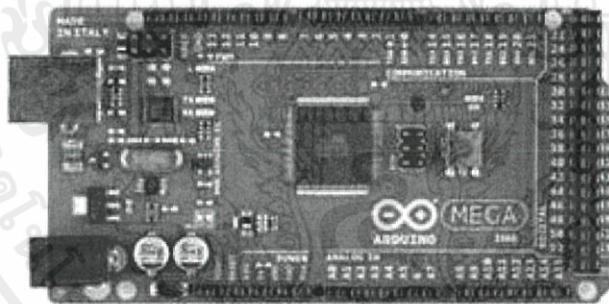
3.1 อุปกรณ์

3.1.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Mega 2560 R3)

จากตารางเปรียบเทียบแต่ละรุ่น (ตารางที่ 2.5) ด้วยความที่อุปกรณ์ที่นำมาเชื่อมต่อมีหลายชนิด เพื่อให้เพียงพอต่อการใช้และเพื่ออนาคตในการใช้ในโครงการนี้จึงใช้ Arduino รุ่น Mega 2560 R3 เป็นบอร์ดคอนโทรล

บนพื้นฐานของ ATmega2560 บอร์ด Arduino Mega 2560 R3 ประกอบไปด้วย 54 ขา สำหรับ digital I/O (ซึ่ง 15 ขาใช้เป็น PWM output), 16 ขาสำหรับ analog input, 4 ขาสำหรับ UARTs (พอร์ตอนุกรมฮาร์ดแวร์) สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ด้วย USB

Arduino Mega 2560 R3 เป็นบอร์ด Arduino ที่ออกแบบมาสำหรับงานที่ต้องใช้ I/O มากกว่า Arduino Uno R3 เช่น งานที่ต้องการรับสัญญาณจาก Sensor หรือควบคุมมอเตอร์ Servo หลายๆ ตัว ทำให้ Pin I/O ของบอร์ด Arduino Uno R3 ไม่สามารถรองรับได้ ทั้งนี้บอร์ด Mega 2560 R3 ยังมีความหน่วยความจำแบบ Flash มากกว่า Arduino Uno R3 ทำให้สามารถเขียนโค้ดโปรแกรมเข้าไปได้มากกว่า ในความเร็วของ MCU ที่เท่ากัน



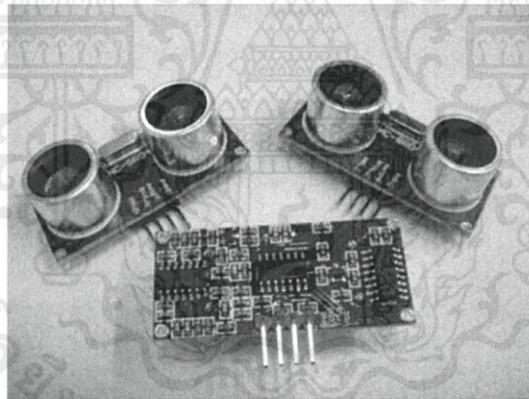
รูปที่ 3.1 แสดงบอร์ด Arduino Mega 2560 R3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดง Technical Specifications

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output , 4 UART TTL)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

3.1.2 เซนเซอร์ตรวจจับด้วยพลังงานเสียง (Ultrasonic Sensors)



รูปที่ 3.2 แสดง Ultrasonic Sensor

Ultrasonic หมายถึง คลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 KHz เท่านั้น แต่พวกที่อายุยังน้อย ๆ อาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่าอัลตราโซนิกจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไปจะสูงขึ้นจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้

สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอัลตราโซนิกมาใช้ เพราะว่าเป็นคลื่นที่มีทิศทางทำให้สามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็นคุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวกำเนิดเสียงความถี่นั้นเช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศจะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตรเศษ ๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียง โดยทั่วไปมากมายคลื่นจะ

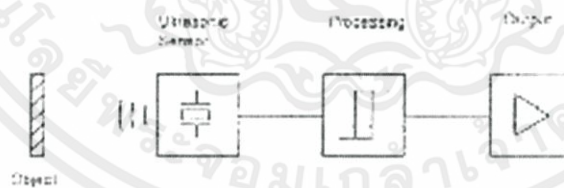
หักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่าน อัลตราโซนิก อย่างเช่น 40 KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มิลลิเมตรเท่านั้นซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มาก คลื่นเสียงจะไม่มีภาวการณ์เลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆหรือที่เรียกว่า“มีทิศทาง”

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอัลตราโซนิกทำให้นำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic Remote Control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic Cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัดความหนาของวัตถุโดยส่งเกดระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมาเครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล ใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วไหลของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น คลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 KHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นกว่านี้ อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้น ๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz (10^9 Hz) ก็มีใช้กันในหลายๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่อากาศ

อัลตราโซนิกเซนเซอร์ส่งสัญญาณพัลส์ของพลังงาน ซึ่งเป็นการเดินทางของความเร็วเสียง การลดทอนของพลังงานที่ถูกสะท้อนกลับมาจากวัตถุเสียงนี้เป็นการสะท้อนกลับจากวัตถุ แล้วเดินทางกลับไปยังเซนเซอร์ โดยการตรวจจับระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางไปกลับของเสียงเมื่อมีการตกกระทบจากวัตถุแล้วนำมาคำนวณเป็นระยะทาง

3.1.2.1 หน้าที่และการทำงานของอัลตราโซนิกเซนเซอร์

รูปแบบต่าง ๆ ของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ประกอบด้วย ตัวตรวจจับด้วยคลื่นอัลตราโซนิก, ชุดส่งสัญญาณ, ชุดประมวลผลและชุดเอาต์พุต



รูปที่ 3.3 แสดงหลักการทำงานของอัลตราโซนิก

มักจะใช้เป็นภาครับและภาคส่ง อาจมีระบบซึ่งประกอบด้วยส่วนหลักๆ แยกกันอยู่ 2 ส่วน ในระหว่างการทำงาน เซนเซอร์จะทำการส่งสัญญาณเสียงซึ่งเรียกว่า “ซาวด์พาร์เซลส์” (Sound parcels) ให้ขบวนการทางอิเล็กทรอนิกส์ ของเวลาทำงานไปเรื่อยๆจนกระทั่งมีการรับการสะท้อนครั้งแรกเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

3.1.2.2 วงจรส่งผ่าน/รับ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทำงานเป็นวงจรของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ จะส่งผ่านคลื่นพัลส์เสียงในช่วงเวลาสม่ำเสมอหรือช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลง คลื่นเสียงที่ปล่อยออกไปจะถูกสะท้อนได้โดย

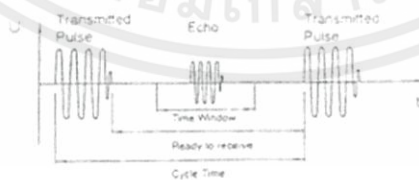
วัตถุที่เหมาะสม ซึ่งเซนเซอร์และระบบการทำงานจะรับการสะท้อนของคลื่นเสียงที่สะท้อนกลับมา ตามรูปที่ 3.3 ความกว้างของคลื่นพัลส์ของเสียงอยู่ในช่วง 2.-200 ไมโครเซค



รูปที่ 3.4 แสดงอัลตราโซนิกเซนเซอร์ วงจรส่งผ่าน/รับ

เวลาในการเดินทางของคลื่นพัลส์ของคลื่นเสียง เป็นการวัดระยะห่างจากวัตถุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเซนเซอร์ ระยะห่างนี้นำไปแสดงในรูปของสัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal) (เช่น 0-20 mA) สัญญาณลอจิก (Logic Signal) (เช่น สัญญาณลอจิก 8 bit) ตลอดทั้งซีเรียลอินเตอร์เฟซ (Serial Interface) (RS232) หรือการเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงในรูปของสวิตช์พัลส์ที่เรียกว่าไทม์เฟรม (Time Frame)

เนื่องจากขบวนการดำเนินไปตามเวลาที่คลื่นสะท้อนเดินทาง ไม่ใช่เป็นไปตามความเข้มของคลื่นสะท้อน จึงจัดได้ว่าอัลตราโซนิกเซนเซอร์ มีข้อดีเหนือกว่าเซนเซอร์แบบออปติคัล (Optical Sensor) เวลาที่คลื่นสะท้อนการเดินทางจะทำให้ขบวนการดำเนินโดยไม่ขึ้นกับความเข้มของคลื่นสะท้อน ตรวจจับวัตถุยังคงสะท้อนคลื่นที่สามารถตรวจจับได้ออกมา ดังนั้นคุณลักษณะการสวิตช์ไม่เปลี่ยนแปลง แม้ในสถานะที่การสะท้อนเป็นไปอย่างไม่ดีคลื่นสะท้อนที่อ่อนจะมีผลต่อความถูกต้องในการตรวจจับวัตถุ ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถทำการตรวจจับวัตถุได้เลย ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงของคลื่นพัลส์ของเสียง มีผลกระทบต่อพิสัย การทำงานของสวิตช์ (ระยะทาง) โดยตรงเซนเซอร์ทำงานด้วยวงจรเวลาที่คงที่ (เช่น $t = 20 \text{ ms}$) จะส่งคลื่นเสียงออกมาอย่างสม่ำเสมอ ตามรูปที่ 3.4 ดังนั้นวงจรเวลาจะเป็นตัวกำหนดช่วงและวงจรการทำงานของสวิตช์ของเซนเซอร์

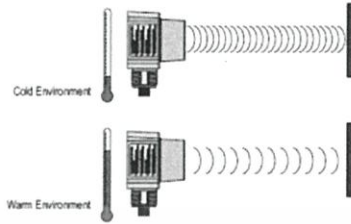


รูปที่ 3.5 แสดงเวลาคงที่ของอัลตราโซนิกเซนเซอร์

3.1.2.3 ผลกระทบของอุณหภูมิ (Temperature Effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการสื่อสารเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง ความไวของเสียงขึ้นอยู่กับแรงดัน และ อุณหภูมิของก๊าซที่เสียงเดินทางผ่าน
ในการประยุกต์ใช้อัลตราโซนิกส่วนใหญ่องค์ประกอบอื่นๆ และแรงดันของก๊าซจะถูกกำหนดให้มี

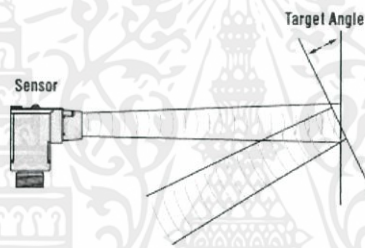
ความสัมพันธ์กัน ในขณะที่อุณหภูมิไม่ได้ถูกกำหนดไว้ โดยความไวของเสียงจะเพิ่มขึ้น 1% ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น 10 °F (6 °C)



รูปที่ 3.6 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิต่ออัลตราโซนิกเซนเซอร์

3.1.2.4 มุมของวัตถุ (Target Angle)

วัตถุที่มีลักษณะแบนที่ตั้งกับแกนของลำแสงจะสะท้อนพลังงานเสียง ไปยังเซนเซอร์ได้มากที่สุด ดังนั้นถ้ามุมของวัตถุเพิ่มมากขึ้น พลังงานโดยรวมจะส่งกลับไปยังเซนเซอร์ได้น้อยลง สำหรับอัลตราโซนิกส่วนใหญ่มุมของวัตถุควรจะน้อยกว่า หรือเท่ากับ 10 องศา

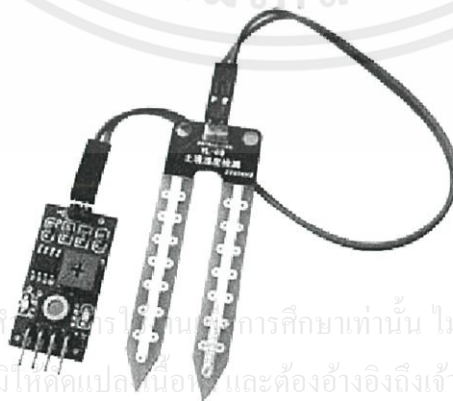


รูปที่ 3.7 แสดงมุมของวัตถุ

3.1.2.5 กระแสอากาศ (Air Currents)

กระแสอากาศที่เนื่องมาจากลม, พัดลม, อุปกรณ์นิวเมติก หรือแหล่งอื่นๆ สามารถรบกวนเส้นทางของพลังงานเสียงได้ ดังนั้นเซนเซอร์อาจไม่สามารถตรวจจับวัตถุในสภาพแวดล้อมแบบนี้ได้

3.1.3 เซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor)



รูปที่ 3.8 แสดงเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันสามารถใช้เซนเซอร์วัดความชื้นเพื่อวัดความชื้นในดินเพื่อกะปริมาณ และคำนวณเวลาในการรดน้ำเพื่อความเหมาะสมได้ การทำงานของเซนเซอร์วัดความชื้นนี้จะทำการวัดและเก็บความชื้น อุณหภูมิของดิน และอากาศ แล้วเมื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปเชื่อมต่อกับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ และจ่ายน้ำเครื่องก็จะทำการจ่ายน้ำให้โดยอัตโนมัติ อุปกรณ์ชุดนี้สามารถติดตั้งได้ทั้งในอาคาร ในสวน หรือในไร่ และยังสามารถนำไปใช้กับฟาร์มปศุสัตว์ได้อีกด้วย

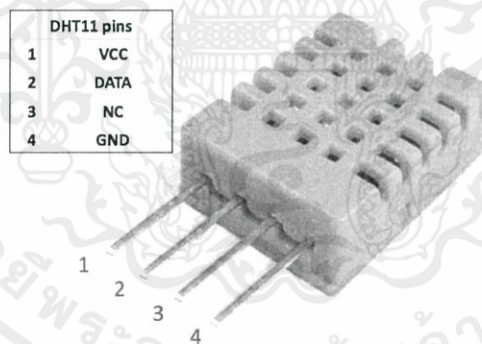
3.1.3.1 หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

ในการวัดค่าความชื้นในดินนั้น จะต้องนำเอาแท่งอิเล็กโทรดปักลงไปในพื้นที่ที่ต้องการวัดซึ่งก็จะสามารถอ่านค่าความชื้นของดินได้ หลักการ คือ การวัดค่าความต้านทานระหว่างอิเล็กโทรด 2 ข้าง

ในกรณีที่อ่านค่าความต้านทานได้น้อย ก็แปลว่ามีความชื้นในดินมาก หรือดินชุ่มชื้นไม่ต้องรดน้ำ ในกรณีที่อ่านค่าความต้านทานได้มากก็แปลว่ามีความชื้นในดินน้อยหรือดินแห้ง อาจจะต้องรดน้ำ ในส่วนของ Soil moisture sensor module นี้สามารถให้ค่าได้ 2 แบบ

- 1) อ่านค่าเป็นแบบ Analog หมายถึงอ่านค่าความชื้นและให้ค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1024
- 2) อ่านค่าเป็นแบบ Digital โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ ถ้ามากกว่าก็ให้ logic HIGH ถ้าต่ำกว่าก็ LOW

3.1.4 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (DHT11)



รูปที่ 3.9 แสดง DHT11

3.1.4.1 Specification ของ DHT11

- 1) ย่านวัดความชื้น 20-90% RH โดยมีค่าความแม่นยำ $\pm 5\%$ RH ความละเอียดในการวัด 1 % แสดงผลแบบ 8 บิต
- 2) ย่านวัดอุณหภูมิ 0 -50 องศาเซลเซียส โดยมีค่าความแม่นยำ ± 2 องศาเซลเซียส ความละเอียดในการวัด 1 องศาเซลเซียส แสดงผลแบบ 8 บิต
- 3) มี PIN 4 ขารายละเอียดดังรูปที่ 3.9
- 4) กินกระแส 0.5 - 2.5 mA ที่ระดับแรงดัน 3 - 5.5 VDC
- 5) อ่านค่าสัญญาณ (Sample Rate) ทุก 1 วินาที

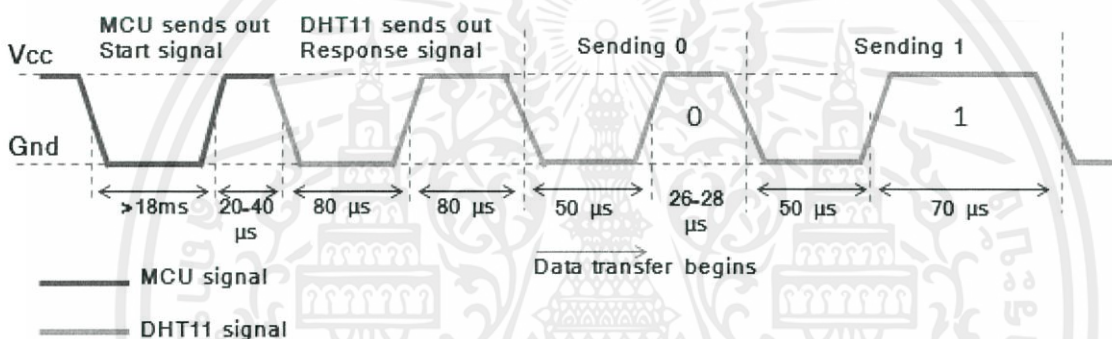
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตของเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4.2 หลักการทำงาน

อุปกรณ์ตัวนี้ใช้การสื่อสารกับ MCU ด้วยวิธี Single-wire Two-way Serial interface (การสื่อสารอนุกรมสองทางโดยใช้สายเส้นเดียว) หรือการสื่อสารแบบนี้จะใช้สายสื่อสารเพียงเส้นเดียวและส่งข้อมูลได้ทั้งจาก MCU ไปที่ตัว DHT11 และในทางกลับกัน

ในการสื่อสารโดยใช้สายเส้นเดียวนั้น ต้องใช้โปรโตคอลที่ตกลงกันไว้ระหว่างตัว MCU และ อุปกรณ์ที่ต้องการสื่อสารด้วย อันดับแรก Arduino จะส่ง Start signal ที่เป็นแรงดันไฟฟ้าระดับต่ำอย่างน้อย 18 ไมโครวินาที ไปที่เซนเซอร์ เพื่อให้เซนเซอร์รู้ว่าทำงานแล้ว รอไป 20-40 ไมโครวินาที เพื่อรอเซนเซอร์ตอบกลับ

เพื่อให้ Arduino รู้ว่าเซนเซอร์ก็พร้อม เซนเซอร์จะส่งแรงดันระดับต่ำกลับไปที่การส่งแรงดันจากเซนเซอร์กลับไปยังจะนาน 80 ไมโครวินาที จากนั้นจะรออีก 80 ไมโครวินาที ก่อนที่จะส่งข้อมูลบิตแรก ข้อมูลยังไม่ถูกส่ง แต่พร้อมจะส่งแล้ว



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงช่วงเวลาการทำงานของ DHT11

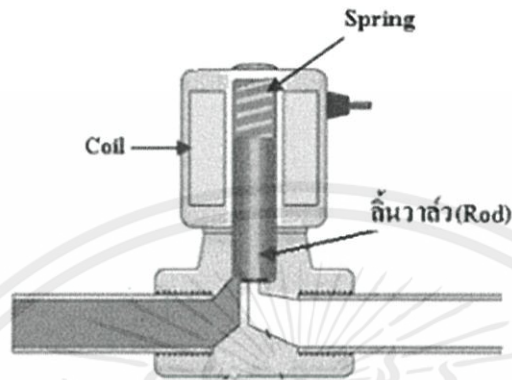
สำหรับการส่งบิตเป็น "0" ตัวเซนเซอร์จะดึงระดับแรงดันลงต่ำนาน 50 ไมโครวินาที และปล่อยเป็นระดับ "สูง" นาน 26-28 ไมโครวินาที ตามรูปที่ 3.10 (ดูช่วง Sending 0) แต่ถ้าเป็นการส่งข้อมูลเป็น "1" ตัวส่งจะดึงสายสัญญาณลงระดับต่ำ 50 ไมโครวินาที และปล่อยให้ เป็นระดับสูงนาน 70 ไมโครวินาที ตามรูปที่ 3.10 (ดูช่วง Sending 1) และส่งข้อมูลจนครบ 1 ชุด

ในแต่ละชุดของข้อมูลที่ส่งมาจาก DHT11 ตัว MCU รับข้อมูลแล้วจะต้องเอา แปลงต่อ เพื่อให้รู้ว่าแปลว่าอะไร แต่ละชุดข้อมูลจะยาว 40 บิต และใช้เวลาส่งประมาณ 40 มิลลิวินาที ใน 40 บิตที่ส่งมา ประกอบด้วย 8 bit integral RH data, 8 bit decimal RH data, 8 bit integral T data, 8 bit decimal T data, 8 bit check sum

3.1.5 โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve)

โซลินอยด์ (Solenoid) เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่มีหลักการทำงานคล้ายกับรีเลย์ (Relay) ภายในโครงสร้างของโซลินอยด์จะประกอบด้วยขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็กที่อยู่ในประกอบด้วยแม่เหล็กชุดบนกับชุดล่าง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแท่งเหล็ก ทำให้แท่งเหล็กชุดล่างมีอำนาจแม่เหล็กดึงแท่งเหล็กชุดบนลงมาสัมผัสกันทำให้ครบวงจรทำงาน เมื่อวงจรถูกตัดกระแสไฟฟ้าทำให้แท่งเหล็กส่วนล่างหมดอำนาจแม่เหล็ก สปริงก็จะดันแท่งเหล็กส่วนบนกลับสู่ตำแหน่งปกติ จากหลักการดังกล่าวของโซลินอยด์ก็จะนำมาใช้ในการเคลื่อนลิ้นวาล์วของระบบ

นิวเมติก การปิด-เปิดการจ่ายน้ำหรือของเหลวอื่นๆ โครงสร้างของ Solenoid โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ เลื่อนวาล์วด้วยโซลินอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง (Single Solenoid Valve) และเลื่อนวาล์วด้วยโซลินอยด์วาล์วกลับด้วยโซลินอยด์วาล์ว (Double Solenoid Valve) ในที่นี้ใช้แบบ เลื่อนวาล์วด้วยโซลินอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง (Single Solenoid Valve)



รูปที่ 3.11 แสดงโครงสร้างของโซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve)

3.1.6 เครื่องควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Control)

แผงโซลาร์เซลล์ทำงานผลิตไฟฟ้ากระแสตรงออกมา ถ้าระบบที่ออกแบบมีการต่อพ่วงกับแบตเตอรี่ด้วย ในบางครั้งแสงที่ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์อาจจะไม่สม่ำเสมอตลอดทั้งวันจึงทำให้กระแสและแรงดันที่ผลิตได้จากแผงเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา บางช่วงก็สูงบางช่วงก็ต่ำทำให้แรงดันและกระแสไฟฟ้าไม่คงที่ ดังนั้นการชาร์จประจุไฟฟ้าของแผงโดยตรงกับแบตเตอรี่จึงไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควรและที่สำคัญคือจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่จะสั้นลงอีกด้วย เพราะแรงดันที่ผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์ บางครั้งก็สูงเกินกว่าค่าแรงดันที่จะทำการชาร์จแบตเตอรี่เครื่องควบคุมการชาร์จจึงถูกออกแบบมาเพื่อทำให้การชาร์จไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่นั้นมีประสิทธิภาพเพิ่มมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังป้องกันการเสียหายที่เกิดจากการชาร์จแบตเตอรี่ที่มีแรงดันสูงเกินไปอีกด้วย

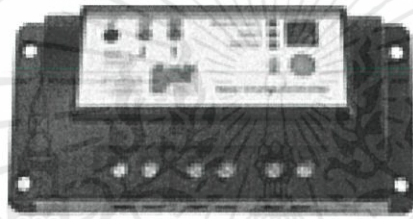
3.1.6.1 การทำงานของเครื่องควบคุมการชาร์จ

เครื่องควบคุมการชาร์จจะต่อระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ กับแบตเตอรี่และโหลดทำงานโดยจะดูว่าแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่อยู่ในระดับใด ถ้าอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าที่ตั้งไว้ ตัวเครื่องควบคุมการชาร์จจะทำการปลดโหลดออกจากระบบโดยทันที (Load Disconnect) เพื่อป้องกันการคลายประจุของแบตเตอรี่ที่มากเกินไปและอาจทำให้แบตเตอรี่เสื่อมเร็วขึ้น ส่วนใหญ่จะตั้งค่าแรงดันการปลดโหลดไว้ที่ประมาณ 11.5 โวลต์ สำหรับแรงดันระบบที่ 12 โวลต์ นอกจากนี้เครื่องควบคุมการชาร์จก็จะต่อการทำงานของโหลดใหม่ (Load reconnect) ถ้าแบตเตอรี่มีค่าแรงดันที่เพิ่มขึ้นตามที่ตั้งไว้ เช่นค่าจะตั้งไว้ที่ 12.6 โวลต์ สำหรับแรงดันระบบ 12 โวลต์ เป็นต้น

ส่วนแรงดันในการชาร์จแบตเตอรี่โดยทั่วไป (Regulation Voltage) จะมีค่า 14.3 โวลต์ สำหรับระบบ 12 โวลต์ เมื่อแบตเตอรี่ชาร์จจนเต็ม ถ้าปล่อยแบตเตอรี่ทิ้งไว้แรงดันของแบตเตอรี่จะลดลง ดังนั้นเครื่องควบคุมการชาร์จจะชาร์จรักษาระดับแรงดันในแบตเตอรี่ให้คงที่อยู่เสมอ (Float Voltage) มีค่า 13.7 โวลต์ สำหรับระบบ 12 โวลต์

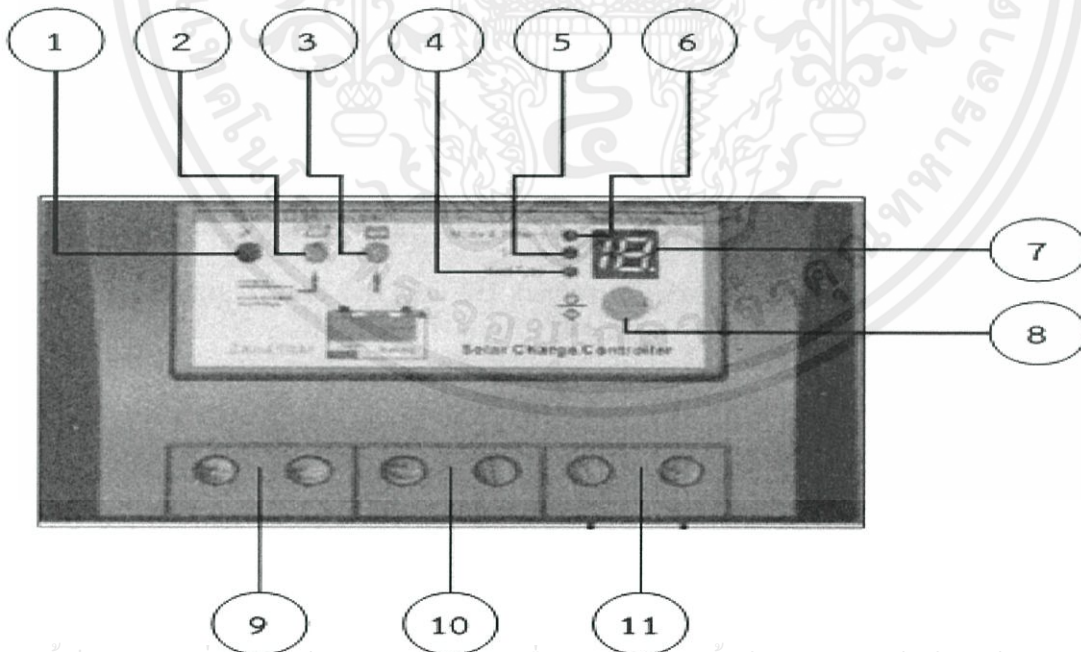
เครื่องควบคุมการชาร์จโดยทั่วไปจะทำงานแบบพัลส์วิธิมอดูเลชัน (Pulse Width Modulation :PWM) คือใช้ลูกคลื่นไฟฟ้าในช่วงสั้นในการชาร์จประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ นอกจากนี้ยังมีเครื่องควบคุมการชาร์จแบบเอ็มพีพีที ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องควบคุมการชาร์จแบบปกติอีกด้วย เมื่อนำมาต่อเข้ากับระบบแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เพราะแบตเตอรี่ทำการเก็บและจ่ายประจุไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้ผลิตบางรายอ้างว่าเมื่อใช้ เครื่องควบคุมการชาร์จแบบเอ็มพีพีที จะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ที่จะส่งไปยังแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งก็อาจจะเป็นไปได้เมื่อแบตเตอรี่มีค่าแรงดันต่ำหรือแสงแดดในวันนั้นมีค่าเข้มแสงไม่มาก

จากการทำงานที่กล่าวมา เครื่องควบคุมการชาร์จสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้เพิ่มมากขึ้นและการชาร์จประจุแบตเตอรี่ก็มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.12 แสดงเครื่องควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Control)

3.1.6.2 ส่วนตำแหน่ง สัญลักษณ์ ของเครื่องควบคุมการชาร์จ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณี **รูปที่ 3.13** แสดงตำแหน่งต่างๆ บนเครื่องควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Control) ที่การนำไปใช้

จากรูปที่ 3.11 สามารถอธิบายตำแหน่งต่างๆบนเครื่องควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Control) ได้ดังนี้

- 1) Temperature sensor วัดอุณหภูมิและทำการชดเชยอุณหภูมิสำหรับการชาร์จและการทำงาน เมื่อความร้อนของตัวควบคุมเกิน 85 องศาเซลเซียส จะระบายความร้อนโดยอัตโนมัติแล้วจะตัดอินพุทและเอาต์พุทหลอด LED แสดงกับกระป๋องน้ำ ๆ ไปพร้อม ๆ กัน
- 2) charging status LED indicator ไฟ LED แสดงสถานะการชาร์จและแสดงแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่สูงกว่าในช่วงแรงดันไฟฟ้า ทำให้แรงดันไฟฟ้ายกเลิกการเชื่อมต่อ

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงสถานะการชาร์จ

สี	ลักษณะของสี	สถานการณ์ชาร์จ
เขียว	ติดตลอด	กำลังชาร์จ
เขียว	กระพริบเร็ว	แบตเตอรี่มากกว่าแรงดันไฟฟ้า

- 3) battery status LED indicator ไฟ LED แสดงสถานะของแบตเตอรี่

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงสถานะของแบตเตอรี่

สี	ลักษณะของสี	สถานะแบตเตอรี่
เขียว	ติดตลอด	ปกติ
เขียว	กระพริบช้า	เต็ม
ส้ม	ติดตลอด	แรงดันต่ำ
แดง	ติดตลอด	แรงดันเกิน

- 4) Battery types setting indicator ไฟแสดงสถานะเมื่อเลือกชนิดของแบตเตอรี่

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงชนิดของแบตเตอรี่

ชนิดของแบตเตอรี่	การแสดงผล
แบตเตอรี่แห้งแบบตะกั่ว-กรด	1
แบตเตอรี่แห้งแบบเจล	2
แบตเตอรี่แบบเปียก	3

- 5) Timer 2 setting indicator ไฟแสดงสถานะจะมีขึ้นในเมื่อตั้งเวลา 2
- 6) Timer 1 setting indicator ไฟแสดงสถานะจะมีขึ้นในเมื่อตั้งเวลา 1
- 7) LED digital display แสดงโหมดการทำงานโหลดและสถานะ
- 8) setting button กำหนดภาระการทำงานและเลือกชนิดแบตเตอรี่
- 9) solar module terminals เชื่อมต่อกับโซลาร์เซลล์
- 10) battery terminals เชื่อมต่อกับแบตเตอรี่
- 11) load terminals เชื่อมต่อกับภาระโหลด

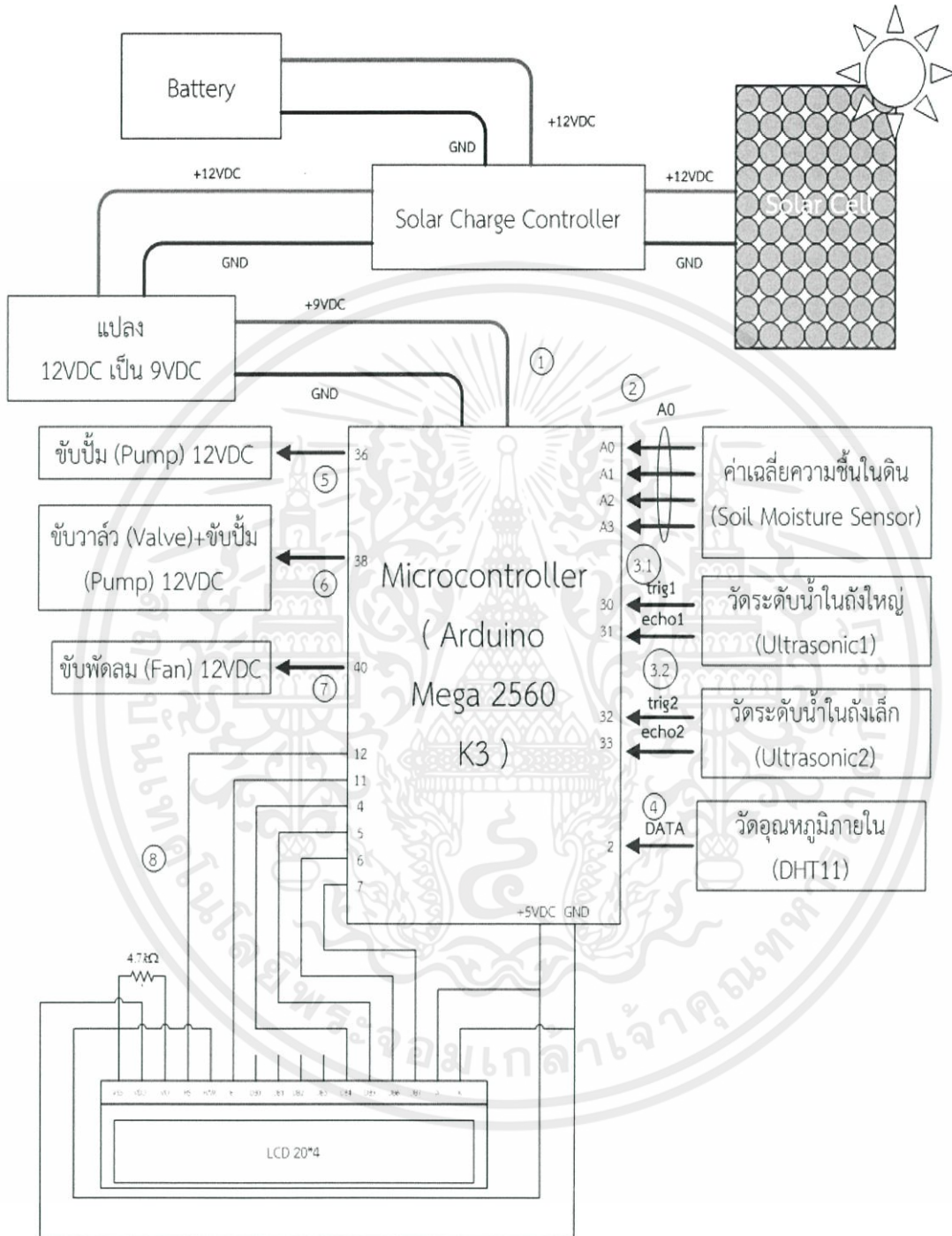
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงนอกราย และต้องอ้างอิงจากเอกสารทุกครั้งหากนำไปใช้

3.1.6.3 ตัวแปรในการเลือกใช้เครื่องควบคุมการชาร์จ

- 1) ความมีเสถียรภาพ บางระบบต้องการความมีเสถียรภาพที่สูงดังนั้นการเลือกเครื่องควบคุมการชาร์จจะต้องไม่ดับและเสถียร
- 2) กำลังชาร์จที่สอดคล้องกับระบบ การเลือกต้องรองรับระบบที่ออกแบบไว้ซึ่งให้แอมป์เซลล์และโหนดทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 3) ค่าแรงดันการปลดโหนดและต่อโหนดอัตโนมัติ เครื่องควบคุมการชาร์จควรเลือกค่าการปลด และต่อโหนดอัตโนมัติให้สอดคล้องกับระบบที่ออกแบบไว้ (ควรดูสเปคของแบตเตอรี่ควบคู่กันไป) เพราะจะสามารถยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้มากยิ่งขึ้นและยังป้องกันการเสียหายของโหนดบางชนิด ซึ่งได้รับแรงดันที่ต่ำกว่าจุดใช้งานได้
- 4) ค่ากระแสที่ใช้ไปในการทำงานในของเครื่องควบคุมการชาร์จที่หยุดนิ่ง (Parasitic Loss) ควรเลือกให้มีค่าต่ำเข้าไว้เพื่อการจ่ายประจุไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้กับตัวเครื่องควบคุมการชาร์จจะไม่สูญเปล่า
- 5) การติดตั้งและต่อสายไฟฟ้าเข้ากับตัวเครื่อง ต้องสะดวกและมีข้อต่อที่ง่ายสามารถติดตั้งตามที่ต้องการได้ง่ายและรวดเร็ว
- 6) ระบบชดเชยการชาร์จเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของแบตเตอรี่ (Battery Temperature Compensation) เครื่องควบคุมการชาร์จที่ราคาปานกลางถึงสูง ส่วนใหญ่จะมีระบบที่วุ่น โดยเครื่องควบคุมการชาร์จจะทำงานชดเชยการชาร์จเมื่ออุณหภูมิในแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการชาร์จ
- 7) ประกันสินค้าและบริการซ่อม ควรเลือกยี่ห้อที่รับประกันสินค้าเมื่อสินค้ามีปัญหา การซ่อมต้องสะดวกและดี มีบริการหลังการขายที่ดี
- 8) ราคา โดยส่วนใหญ่ราคาของเครื่องควบคุมการชาร์จจะขึ้นอยู่กับ ค่าในการชาร์จกระแสอย่างมากหรือน้อย การป้องกันความชื้นดีหรือไม่ และตัวเครื่องระบายความร้อนได้ดีขนาดไหน ถ้าตัวเครื่องดีฮาร์ดแวร์ ราคา ก็จะสูงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **รูปที่ 3.14** แสดงออกแบบการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับตัวควบคุมให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

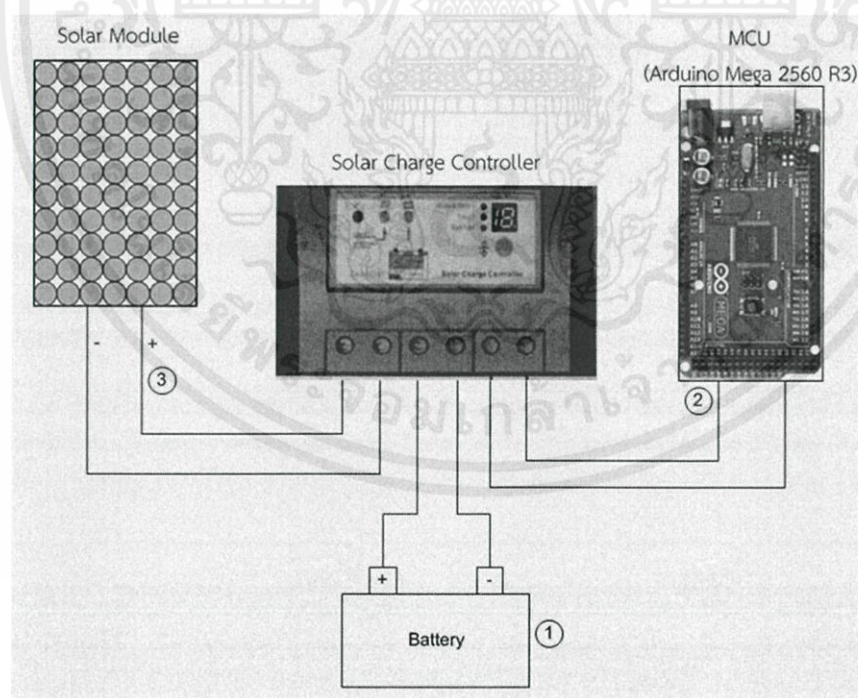
3.2.1 การออกแบบอุปกรณ์ควบคุม (Arduino Mega 2560 R3) ด้านอินพุต (Input)

3.2.1.1 ส่วนแหล่งจ่าย (Supply)

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกแปลงมาเป็นพลังงานไฟฟ้า จะถูกเก็บไว้ในแบตเตอรี่ โดยผ่านเครื่องควบคุมการชาร์จ (Solar Charge Control) เพื่อป้องกันแบตเตอรี่ไม่ให้เสื่อมสภาพเร็ว ซึ่งแรงดันที่ได้จะเท่ากับ 12VDC สำหรับขั้นตอนการเชื่อมต่อโซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่ และโหลด โดยใช้เครื่องควบคุมการชาร์จตามรูปที่ 3.15 ดังนี้

- 1) ต่อสายไฟจากช่อง Battery ของเครื่อง Solar Charge Controller ไปยังขั้วของแบตเตอรี่ โปรดระวังการต่อสลับขั้ว ถ้าต่อสายไฟถูกต้อง ไฟแสดงสถานะแบตเตอรี่จะติด
- 2) ต่อสายไฟจากช่อง Solar Cell ของเครื่อง Solar Charge Controller ไปยังแผงโซลาร์เซลล์ โปรดระวังการต่อสลับขั้ว ถ้าต่อสายไฟถูกต้องและมีแสงแดด ไฟแสดงสถานะของแผงโซลาร์เซลล์จะติด
- 3) ต่อสายไฟอุปกรณ์ต่อพ่วง DC เข้ากับช่อง Load ของเครื่อง Solar Charge Controller โปรดระวังการต่อสลับขั้ว อาจจะทำให้อุปกรณ์ต่อพ่วงเสียหายได้

จากนั้นแล้วแปลงไฟให้เหลือ 9VDC (Input Voltage 7-12V) ใช้ 9V เพื่อไม่ให้วงจรเสียหายเนื่องจากแรงดันเกิน ตามรูปที่ 3.14 ในส่วนที่ 1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.15 แสดงการติดตั้งโซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่ และโหลด กับเครื่องควบคุมการชาร์จ

3.2.1.2 ส่วนเซนเซอร์

ในส่วนของการออกแบบการเชื่อมต่อเซนเซอร์ เซนเซอร์วัดความชื้นจะให้ค่า analog กับ digital เลือกใช้ค่า analog ในการแสดงผล กำหนดให้ขา analog (A0) ที่เซนเซอร์ต่อกับขา analog คอนโทรลเลอร์ (Pin A0, A1, A2, A3) ในเซนเซอร์วัดความชื้นจะใช้ทั้งหมด 4 ตัว เพื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยตามรูปที่ 3.14 ในส่วนที่ 2

เซนเซอร์วัดระดับน้ำ จะใช้เซนเซอร์ Ultrasonic เพื่อวัดระดับน้ำที่แน่นอน และเป็นการวัดแบบไม่สัมผัสกับของเหลว ทำให้เซนเซอร์ไม่เสียหาย สำหรับระดับในถังใหญ่ กำหนดให้ขา trig (Trig1) ของเซนเซอร์ต่อกับขา digital คอนโทรลเลอร์ (Pin 30) ส่วนขา echo (Echo1) ต่อกับขา digital คอนโทรลเลอร์ (Pin 31) ตามรูปที่ 3.14 ในส่วนที่ 3.1 และสำหรับระดับในถังเล็ก กำหนดให้ขา trig (Trig2) ของเซนเซอร์ต่อกับขา digital คอนโทรลเลอร์ (Pin 32) ส่วนขา echo (Echo2) ต่อกับขา digital คอนโทรลเลอร์ (Pin 33) ตามรูปที่ 3.14 ในส่วนที่ 3.2

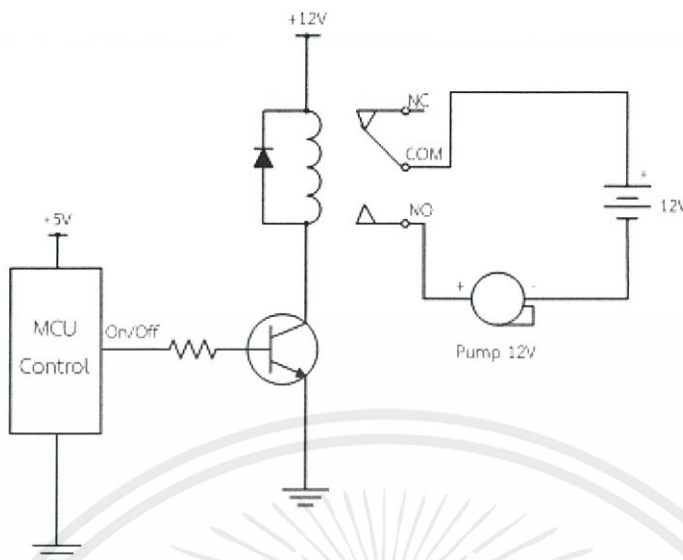
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ใช้ DHT11 เพื่อวัดอุณหภูมิซึ่งป้องกันไม่ให้ภายในกล่องวงจรมีอุณหภูมิสูงเกินไป ป้องกันไม่ให้วงจรควบคุมเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิ และสะดวกในการวัดอุณหภูมิ กำหนดให้ขา 2 ของเซนเซอร์ต่อกับขา digital คอนโทรลเลอร์ (Pin 2) ตามรูปที่ 3.14 ในส่วนที่ 4

3.2.2 การออกแบบอุปกรณ์ควบคุม (Arduino Mega 2560 R3) ด้านเอาต์พุต (Output)

3.2.2.1 ส่วนของวงจรขับ

ในส่วนของวงจรขับนั้น ใช้วงจรรีเลย์เพื่อควบคุมการหมุนหรือหยุดหมุน เป็นวงจรควบคุมมอเตอร์แบบหมุนกับหยุดเท่านั้นใช้ได้กับงานในบางกรณี เช่นระบบการปั้มน้ำขึ้นถังสูงหรือระบบที่ไม่ต้องการการความแม่นยำในการหยุดของมอเตอร์ หรือไม่ต้องการเสถียรภาพในเรื่องของความนิ่มนวลในการออกตัว แต่ข้อดีของวงจรมอเตอร์นี้คือ สามารถควบคุมอุปกรณ์หรือโหลดได้ทุกชนิดขึ้นอยู่กับ การปรับเปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟให้สัมพันธ์กับความต้องการของโหลดเท่านั้น

โดยมีหลักการทำงานคือใช้รีเลย์เป็นสวิตช์ควบคุมการเปิด-ปิดมอเตอร์ เมื่อมีสัญญาณจากตัวคอนโทรลเลอร์มาที่ทรานซิสเตอร์จะทำให้ไฟไหลครบวงจร รีเลย์จะทำงานให้หน้าคอนแทคเชื่อมต่อจ่ายไฟไปให้มอเตอร์หมุน และเมื่อคอนโทรลเลอร์หยุดส่งสัญญาณมาที่ทรานซิสเตอร์ ไฟจะไหลไม่ครบวงจรหน้าคอนแทคจะเปิดทำให้ไฟหยุดจ่ายไปที่มอเตอร์ เพื่อให้มอเตอร์หยุดทำงาน



รูปที่ 3.16 แสดงวงจรรีเลย์เพื่อขับปั๊ม (มอเตอร์)

สำหรับการขับปั๊มนั้น สัมพันธ์กับเซนเซอร์วัดระดับน้ำของถังเล็ก (Ultrasonic Sensor2) ถ้าระดับในถังเล็กมีปริมาณน้อยกว่าที่กำหนดจะทำให้มีสัญญาณมาจากคอนโทรลเลอร์ (Pin 36) เพื่อทำให้หน้าคอนแทคของรีเลย์ทำงานเพื่อให้ 12VDC ไปจ่ายให้ปั๊มทำงาน ปั๊มจะทำหน้าที่ปั้มน้ำออกจากถังใหญ่ไปสู่ถังเล็กเพื่อรอการรดน้ำต้นไม้ต่อไป ตามรูปที่ 3.14 ในส่วนที่ 5

สำหรับการรดน้ำนั้น สัมพันธ์กับเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน (Soil Moisture Sensor) ถ้าค่าเฉลี่ยของเซนเซอร์วัดความชื้นมากกว่าค่าที่กำหนด จะทำให้มีสัญญาณมาจากคอนโทรลเลอร์ (Pin 38) เพื่อให้ปั๊มตัวที่ 2 กับวาล์ว ทำงาน เช่นกัน ปั๊มตัวที่ 2 เนื่องจากถ้าใช้วาล์วอย่างเดียวจะทำให้อัตราการไหลของน้ำน้อยมาก เพื่อเป็นการส่งน้ำให้ไปรดน้ำต้นไม้ในระยะทางที่ไกลขึ้น จึงต้องนำปั๊มตัวที่ 2 มาช่วยในการส่งน้ำเพื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ ตามรูปที่ 3.14 ในส่วนที่ 6

และสำหรับพัดลมเพื่อระบายอุณหภูมิ สัมพันธ์กับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (DHT11) อุณหภูมิที่กำหนดไว้จะต่ำกว่าอุณหภูมิที่เครื่องควบคุมการชาร์จกำหนดไว้ (85 °C) ถ้าเกินกว่าอุณหภูมิที่กำหนดจะทำให้มีสัญญาณมาจากคอนโทรลเลอร์ (Pin 40) เพื่อเปิดพัดลมระบายให้อุณหภูมิต่ำลง ตามรูปที่ 3.14 ในส่วนที่ 7

3.2.2.2 ส่วนแสดงผลสถานะ (LCD)

จอ Liquid Crystal Display (LCD) เป็นจอแสดงผลรูปแบบหนึ่งที่นิยมนำมาใช้งานกันกับระบบสมองกลฝังตัวอย่างแพร่หลาย จอ LCD มีทั้งแบบแสดงผลเป็นตัวอักษร เรียกว่า Character LCD ซึ่งมีการกำหนดตัวอักษรหรืออักขระที่สามารถแสดงผลไว้ได้อยู่แล้ว และแบบที่สามารถแสดงผลเป็นรูปภาพ หรือสัญลักษณ์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานเรียกว่า Graphic LCD

นอกจากนี้บางชนิดเป็นจอที่มีการผลิตขึ้นมาใช้เฉพาะงาน ทำให้มีรูปแบบและรูปร่างเฉพาะเจาะจงในการแสดงผล เช่น นาฬิกาดิจิตอล เครื่องคิดเลข หรือ หน้าปัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อใช้ในการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ วิทยุ เป็นต้น จึงสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) โครงสร้างโดยทั่วไปของ LCD

โครงสร้างของ LCD ทั่วไปจะประกอบขึ้นด้วยแผ่นแก้ว 2 แผ่นประกบกันอยู่ โดยเว้นช่องว่างตรงกลางไว้ 6-10 ไมโครเมตร ผิวด้านในของแผ่นแก้วจะเคลือบด้วยตัวนำไฟฟ้าแบบใสเพื่อใช้แสดงตัวอักษร ตรงกลางระหว่างตัวนำไฟฟ้าแบบใสกับผลึกเหลวจะมีชั้นของสารที่ทำให้โมเลกุลของผลึกรวมตัวกันในทิศทางที่แสงส่องมากระทบเรียกว่า Alignment Layer และผลึกเหลวที่ใช้โดยทั่วไปจะเป็นแบบ Magnetic โดย LCD สามารถแสดงผลให้เรามองเห็นได้ทั้งหมด 3 แบบด้วยกันคือ

- แบบใช้การสะท้อนแสง (Reflective Mode) LCD แบบนี้ใช้สารประเภทโลหะเคลือบอยู่ที่แผ่นหลังของ LCD ซึ่ง LCD ประเภทนี้เหมาะกับการนำมาใช้งานในที่ที่มีแสงสว่างเพียงพอ
- แบบใช้การส่งผ่าน (Transitive Mode) LCD แบบนี้ว่างหลอดไฟไว้ด้านหลังจอ เพื่อให้การอ่านค่าที่แสดงผลทำได้ชัดเจน
- แบบส่งผ่านและสะท้อน (Transflective Mode) LCD แบบนี้เป็นการนำเอาข้อดีของจอแสดงผล LCD ทั้ง 2 แบบมารวมกัน

2) หลักการต่อ ในการต่อมี 2 แบบ

- แบบ Parallel มี 16 ขา ตามรูปที่ 3.17 และตารางที่ 3.5
- แบบ I2C มี 4 ขา ตามรูปที่ 3.18 และตารางที่ 3.6

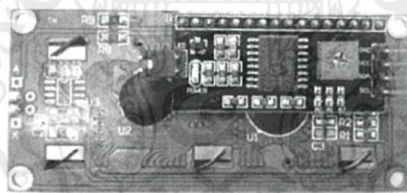


รูปที่ 3.17 แสดงด้านหน้าจอ LCD 16x2 (Parallel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงขาของจอ LCD 16x2 แบบ Parallel

Pin No.	Symbol	Description
1	VSS/GND	Ground
2	VDD	+5VCD
3	VO/VEE	LCD Control สำหรับปรับความเข้มแสงของตัวอักษร
4	RS	Register Select เป็นอินพุตสำหรับเลือกเขียนอ่านข้อมูลในรีจิสเตอร์
5	RW	Enable เป็นขาอินพุตสำหรับสัญญาณ Pulse เมื่อต้องการเขียนหรืออ่านข้อมูล
6	E/EN	Data Pins 8-Bit
7	DB0	
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	
15	A	(LED+) เป็นขา Vcc สำหรับ LCD backlight (5V)
16	K	(LED-) เป็นขา GND สำหรับ LCD backlight (GND)



รูปที่ 3.18 แสดงด้านหลังจอ LCD 16x2 (I2C)

ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงขาของจอ LCD 16x2 แบบ I2C

Pin No.	Symbol	Description
1	GND	Ground
2	VCC	+5VCD
3	SDA	Serial Data
4	SCL	Serial Clock

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ SCL รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น Serial Clock ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

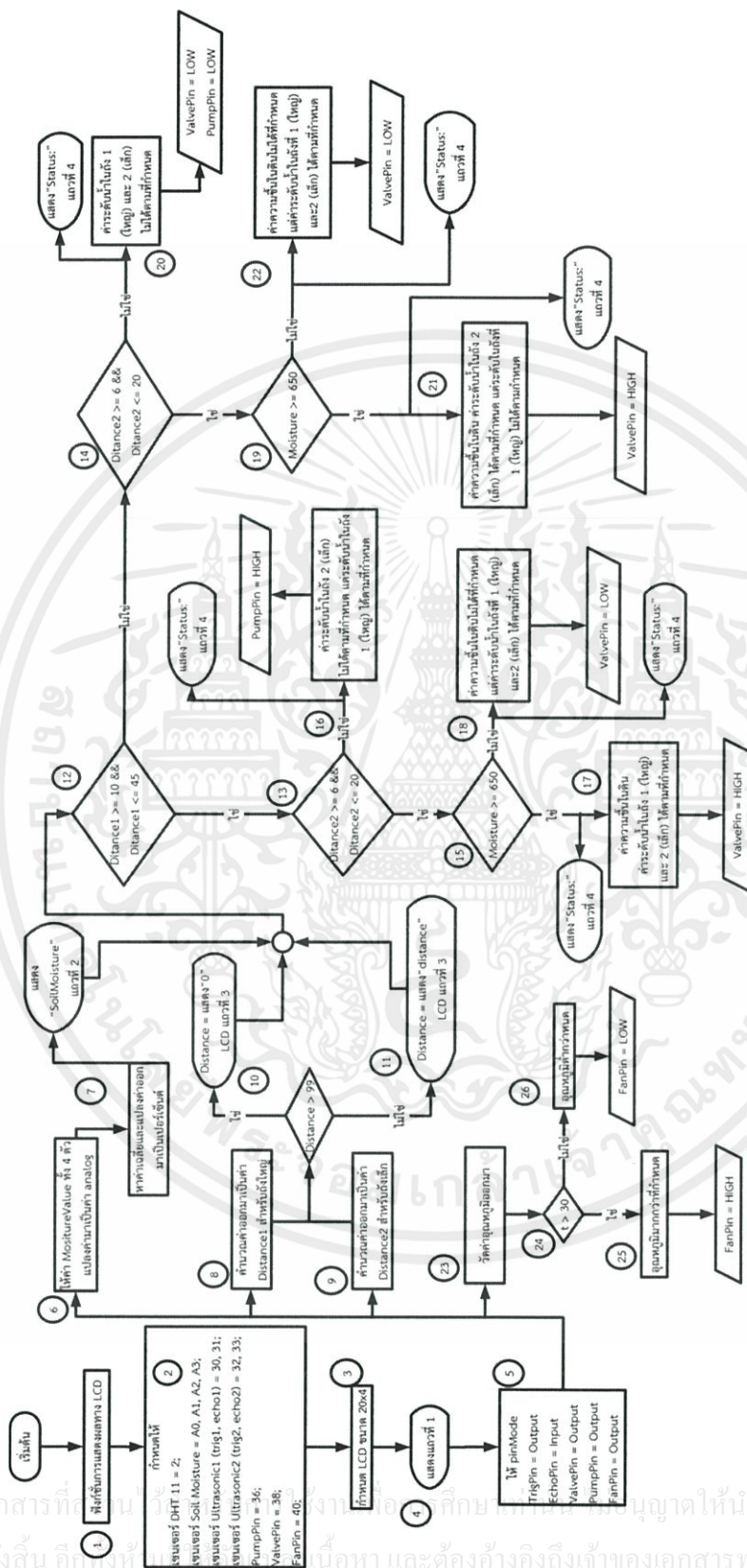
สำหรับการเชื่อมต่อกับคอนโทรลเลอร์ สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ การเชื่อมต่อแบบ 8 บิต (DB0-DB7) และการเชื่อมต่อแบบ 4 บิต (DB4-DB7) ทั้งสองแบบแตกต่างกันเพียงจำนวนขาที่ใช้คือ 8 หรือ 4 ขา และยังสามารถทำงานได้เหมือนกัน อย่างที่แน่นอนในการส่งข้อมูลแบบ 4 ขา ย่อมทำได้ช้ากว่า 8 ขา แต่ไม่ได้ช้ามากจนสังเกตได้ด้วยสายตา ในการต่อกับ Arduino นั้นจึงนิยมต่อเพียง 4 ขา หรือ 4 บิตเท่านั้น เพื่อเป็นการประหยัดขาในการต่อใช้งานไปไว้ต่อกับอุปกรณ์อื่น

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงการเชื่อมต่อ Arduino กับ LCD

LCD	Arduino
VSS/GND, K และ RW	Ground
VDD กับ A	+5VDC
VO/VEE	-
RS	Digital Pin 12
E/EN	Digital Pin 11
DB4	Digital Pin 4
DB5	Digital Pin 5
DB6	Digital Pin 6
DB7	Digital Pin 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 Flow Chart



รูปที่ 3.19 แสดง Flow Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนของนักศึกษาปริญญาตรีเท่านั้น ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงการอธิบาย Flow Chart

หมายเลข	อธิบาย Flow Chart
1	เป็นการประกาศว่าใช้ฟังก์ชันการแสดงผลทางจอ LCD
2	การประกาศตัวแปรของเซนเซอร์ และตัวแปรอุปกรณ์
3	กำหนดจอ LCD ขนาด 20x4 (20 ตัวอักษร 4 บรรทัด)
4	ให้จอ LCD ในบรรทัดแรกแสดง " *****HELLO!!!***** " เป็นเวลา 5 วินาที และตามด้วยแสดง " ++Instrumentation++ "
5	กำหนด pinMode Input สำหรับเซนเซอร์ และ Output สำหรับอุปกรณ์ (ปุ่ม, วาล์ว, พัดลม)
6	รับค่า MoisturePin ทั้ง 4 ตัว มาแปลงเป็นค่า analog ให้เก็บค่าไว้ในตัวแปร MoistureValue ทั้ง 4 ตัว และนำมาหาค่าเฉลี่ย แล้วเก็บค่าไว้ในตัวแปร Moisture จากนั้นนำมาแปลงให้เป็นเปอร์เซ็นต์ โดยการเทียบบัญญัติไตรยางศ์ แบ่งค่าความละเอียด 1023
7	แสดงผลค่าตัวแปร SoilMoisture ในหน่วยเปอร์เซ็นต์ ในบรรทัดที่สอง และให้ refresh ค่าทุกๆ 5 วินาที
8	สำหรับวัดระดับน้ำในถังใหญ่ (Ultrasonic1) รับค่ามาแล้วเก็บไว้ที่ตัวแปร duration1 แล้วทำการคำนวณให้ค่าที่ได้เป็นหน่วยเซนติเมตร เก็บค่าไว้ที่ตัวแปร distance1
9	สำหรับวัดระดับน้ำในถังเล็ก (Ultrasonic2) รับค่ามาแล้วเก็บไว้ที่ตัวแปร duration2 แล้วทำการคำนวณให้ค่าที่ได้เป็นหน่วยเซนติเมตร เก็บค่าไว้ที่ตัวแปร distance2
10	เพื่อเป็นการไม่ให้การระดับน้ำในถังเล็กและถังใหญ่แสดงหน้าจอ LCD เกินตัวอักษรทำให้ต้องสร้างเงื่อนไข
11	ในเงื่อนไข ถ้าค่า distance มากกว่า 99 จะให้แสดงค่า distance = 0 แล้วถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ ให้แสดงค่า distance = distance เหมือนเดิม ทำเหมือนกันทั้งถังเล็กและถังใหญ่ แล้วให้แสดงค่า distance1, distance2 ในบรรทัดที่สาม และให้ refresh ค่าทุกๆ 5 วินาที
12	ค่า distance1, distance2 (จากหมายเลข 11) และ Moisture (จากหมายเลข 6) เข้าเงื่อนไข ถ้าระดับน้ำในถังใหญ่ (distance1) อยู่ระหว่าง 10-45 ¹ เซนติเมตร ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงจะใช้หมายเลข 13 ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จจะใช้หมายเลข 14
13	จากระดับน้ำในถังใหญ่อยู่ในช่วงที่กำหนด (จากหมายเลข 12) จะมาเข้าเงื่อนไขของถ้าระดับน้ำในถังเล็ก (distance2) อยู่ระหว่าง 6-20 ² เซนติเมตร ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงจะใช้หมายเลข 15 ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จจะใช้หมายเลข 16
14	จากหมายเลขที่ 12 ถ้าระดับน้ำในถังใหญ่ (distance1) ไม่ได้ตามที่กำหนด สามารถมาเข้าเงื่อนไขได้ ให้อูที่ระดับน้ำในถังเล็ก (distance2) ถ้าอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้หรือเงื่อนไขเป็นจริง สามารถใช้หมายเลขที่ 19 ได้ แต่ถ้าไม่ได้อยู่ในช่วงที่กำหนดหรือเงื่อนไขเป็นเท็จ จะใช้หมายเลขที่ 20

¹ ช่วงระดับน้ำในถังใหญ่เพื่อเป็นการไม่ให้น้ำสัมผัสกับเซนเซอร์และเพื่อป้องกันไม่ให้มีมทำงานในตอนที่ไม่ม้น้ำอยู่

² ช่วงระดับน้ำในถังเล็กเพื่อเป็นการไม่ให้น้ำสัมผัสกับเซนเซอร์และเพื่อป้องกันไม่ให้มีมตัวที่ 2 ทำงานในตอนที่ไม่ม้น้ำอยู่

หมายเลข	อธิบาย Flow Chart
15	จากระดับน้ำทั้งสอง อยู่ในช่วงที่กำหนด (จากหมายเลข 12, 13) จะมาเข้าเงื่อนไขของ ถ้าความชื้นในดินมากกว่าหรือเท่ากับ 650^3 ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงจะใช้หมายเลข 17 ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จจะใช้หมายเลข 18
16	จากระดับน้ำในถังใหญ่อยู่ในช่วงที่กำหนด (จากหมายเลข 12) แต่ระดับน้ำในถังเล็ก (distance2) ไม่ได้ตามที่กำหนด จะทำให้ PumpPin = HIGH เพื่อให้ระดับน้ำในถังเล็กอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ และแสดงสถานะบนจอ " Status: OPEN PUMP*** " ในบรรทัดที่สี่
17	จากระดับน้ำทั้งสอง อยู่ในช่วงที่กำหนด (จากหมายเลข 12, 13) และความชื้นในดินตามที่กำหนดไว้ (จากหมายเลข 15) จะทำให้ค่า ValvePin = HIGH ทำให้สามารถรดน้ำต้นไม้ได้ และแสดงสถานะบนจอ LCD " Status: WATERING>>>> " ในบรรทัดที่สี่
18	จากระดับน้ำทั้งสอง อยู่ในช่วงที่กำหนด (จากหมายเลข 12, 13) แต่ความชื้นในดินไม่ได้ตามที่กำหนดไว้ (จากหมายเลข 15) จะทำให้ค่า ValvePin = LOW ทำให้ไม่ต้องรดน้ำต้นไม้ และแสดงสถานะบนจอ LCD " Status: NO WATERING< " ในบรรทัดที่สี่
19	จากหมายเลขที่ 14 ถ้าระดับน้ำในถังเล็กอยู่ในช่วงที่กำหนด จะเข้าเงื่อนไข เพื่อรอค่าของ Moisture ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงจะใช้หมายเลข 21 ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จจะใช้หมายเลข 22
20	ถ้าระดับน้ำทั้งถังเล็กและถังใหญ่ไม่ได้อยู่ในช่วงที่กำหนดหรือเงื่อนไขเป็นเท็จ จะทำให้ ValvePin = LOW และ PumpPin = LOW จะทำการหยุดทุกอย่างเพื่อป้องกันการเสียหายของปั๊มทั้ง 2 ตัว และแสดงสถานะบนจอ " >>>WAIT SET WATER<<< " ในบรรทัดที่สี่ เพื่อรอการเติมน้ำในถังใบใหญ่ต่อไป
21	ถ้าระดับในถังเล็ก และความชื้นในดินได้ตามที่กำหนดไว้ จะทำให้ ValvePin = HIGH สามารถรดน้ำต้นไม้ได้ และแสดงสถานะบนจอ " Status: WATERING>>>> " ในบรรทัดที่สี่
22	ถ้าระดับในถังเล็ก ได้ตามกำหนด แต่ความชื้นในดินยังไม่ได้ตามที่กำหนด จะทำให้ ValvePin = LOW คือยังไม่รดน้ำต้นไม้ และแสดงสถานะบนจอ " Status: NO WATERING< " ในบรรทัดที่สี่
23	ในการวัดค่าอุณหภูมิ ก็จะรับค่ามาจาก DHT11 จะได้ในหน่วย องศาเซลเซียส
24	จากนั้นก็เข้ามาเงื่อนไขเพื่อเปิดพัดลมระบาย เนื่องจากเครื่องควบคุมการชาร์จสามารถทำงานได้ถึงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 85 องศาเซลเซียส จึงทำการตั้งไว้ที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าเพื่อเป็นการป้องกันการเสียหาย ดังนั้นตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 30 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิมากกว่า 30 องศาเซลเซียสหรือเงื่อนไขเป็นจริงจะใช้หมายเลข 25 และถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียสหรือเงื่อนไขเป็นเท็จจะใช้หมายเลข 26

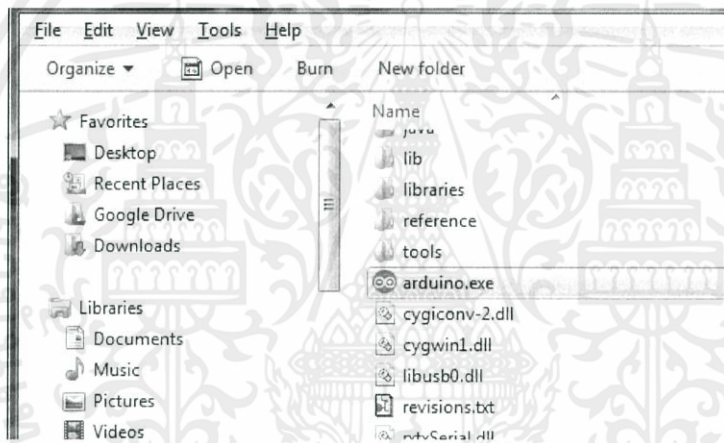
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

³ ค่าเซนเซอร์ที่ได้จะอยู่ในช่วง 0-1023 จะแบ่งได้ตามนี้ น้อยกว่า 350 คือ แขน้ำ เช่น หลังฝนตก, 350-550 คือ ขึ้นมาก (ดินแฉะ), 550-750 คือ ขึ้นกำลังเหมาะ, 750-950 แห้ง (ควรให้น้ำ), มากกว่า 950 คือ แห้งมาก

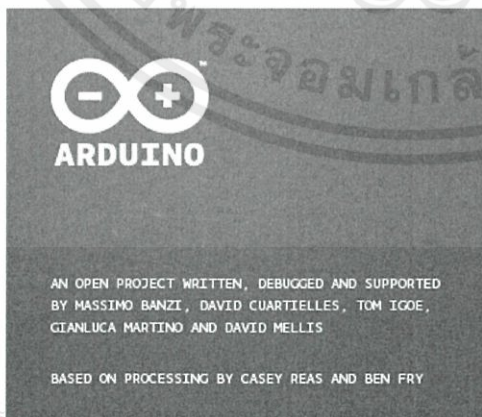
หมายเลข	อธิบาย Flow Chart
25	จากหมายเลข 24 ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนด จะทำให้ FanPin = HIGH เพื่อเปิดพัดลมให้ระบายความร้อน
26	จากหมายเลข 24 ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนด จะทำให้ FanPin = LOW

3.3 โปรแกรม

บอร์ด Arduino ที่มีอยู่หลายแบบแต่จะใช้โปรแกรมตัวเดียวกันในการเขียนชุดคำสั่ง โดยโปรแกรมที่ว่ามีชื่อเป็นทางการว่า Arduino IDE (IDE นั้นย่อมาจาก Integrated Development Environment) ซึ่งใช้งานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการ Window (XP Vista 7 8) ทั้ง 32 และ 64 บิต, Mac OS X และ Linux ใช้งานได้กับทุกระบบปฏิบัติการ และเป็นอิสระจากการทำงานของ OS ทุกชนิด ทำให้ไม่ต้องมีการ Install โปรแกรม ให้ง่ายแบบโปรแกรมอื่น เพราะแค่ Download มาจากนั้น Unzip ไว้ใน Directory ก็เรียบร้อย



รูปที่ 3.20 แสดง unzip เสร็จเรียบร้อย ก็ไปเริ่มโปรแกรมได้ที่ icon



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตั้งรางวัลถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.21 แสดงตอนเข้าโปรแกรม

3.3.1 เปรียบเทียบ ภาษาซี กับ Arduino

โปรแกรมภาษาของ Arduino จะใช้ภาษา C++ ซึ่งเป็นรูปแบบของโปรแกรมภาษาซีประยุกต์แบบหนึ่ง ที่มีโครงสร้างของตัวภาษาโดยรวมใกล้เคียงกันกับภาษาซีมาตรฐาน (ANSI-C) อื่นๆ แต่มีการปรับปรุงรูปแบบในการเขียนโปรแกรมบางส่วนผิดเพี้ยนไปจาก ANSI-C เล็กน้อย เพื่อลดความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรม และสามารถเขียนโปรแกรมได้สะดวกมากขึ้น

3.3.2 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมภาษาซีของ Arduino

ภาษาซีของ Arduino แบ่งรูปแบบโครงสร้างของการเขียนโปรแกรมออกเป็นส่วนย่อยๆ หลายๆ ส่วน โดยเรียกแต่ละส่วนว่า ฟังก์ชัน และเมื่อนำฟังก์ชันมารวมกันจะเรียกว่าโปรแกรม ในโปรแกรมนั้นจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันจำนวนเท่าใดก็ได้ แต่อย่างน้อยที่สุดต้องมีฟังก์ชัน จำนวน 2 ฟังก์ชัน คือ setup() และ loop()

```
void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

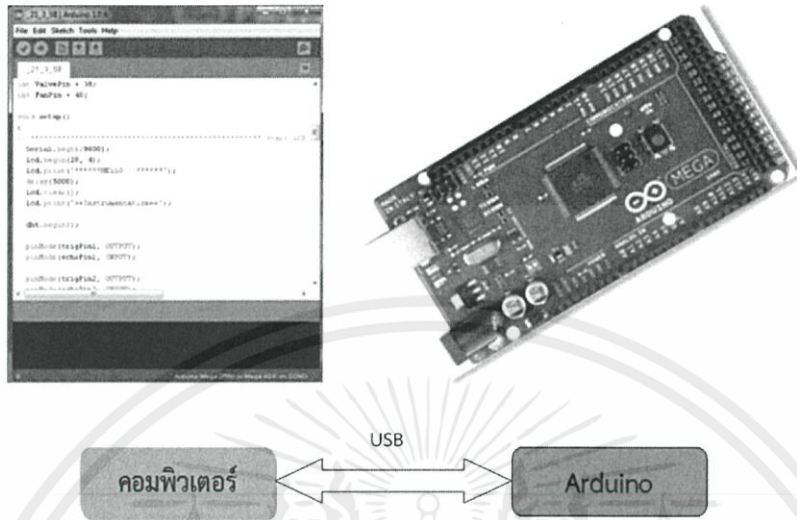
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

รูปที่ 3.22 แสดงโครงสร้างการเขียนโปรแกรม

จากรูปที่ 3.22 โครงสร้างพื้นฐานของภาษาซีที่ใช้กับ Arduino จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

- 1) header (#include <header.h>) โดยเมื่อพบคำสั่ง #include ตัวแปลภาษาของ Arduino จะไปค้นหาไฟล์ที่ระบุไว้ในเครื่องหมาย <> หลังคำสั่ง #include จากตำแหน่ง Directory ที่เก็บรวบรวม Library ไว้ และจะรวมไปถึง คำสั่งส่วนที่ใช้ประกาศสร้างตัวแปร (Variable Declaration) และค่าคงที่ (Constant Declaration) รวมทั้งฟังก์ชันต่างๆ (Function Declaration)
- 2) setup() หน้าที่คือใช้เป็นส่วนประกอบของโปรแกรมย่อยๆ สำหรับใช้บรรจุคำสั่งต่างๆ ที่ใช้สำหรับกำหนดการทำงานของระบบ หรือกำหนดคุณสมบัติการทำงานให้กับอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งจะถูกรเรียกขึ้นมาทำงานเพียงรอบเดียวคือตอนเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมเท่านั้น โดยคำสั่งที่นิยมใช้ ได้แก่ คำสั่งกำหนดโหมดการทำงาน หรือกำหนดคุณสมบัติของพอร์ต
- 3) loop() หน้าที่คือเป็นส่วนประกอบของโปรแกรมหลัก สำหรับใช้บรรจุคำสั่งควบคุมการทำงานต่างๆของโปรแกรมทำงาน โดยคำสั่งที่บรรจุไว้ในฟังก์ชันนี้จะถูกเรียกขึ้นมาทำงานซ้ำๆกันตามลำดับและเงื่อนไขที่กำหนดไว้

3.3.3 รูปแบบการเขียนโปรแกรมบน Arduino



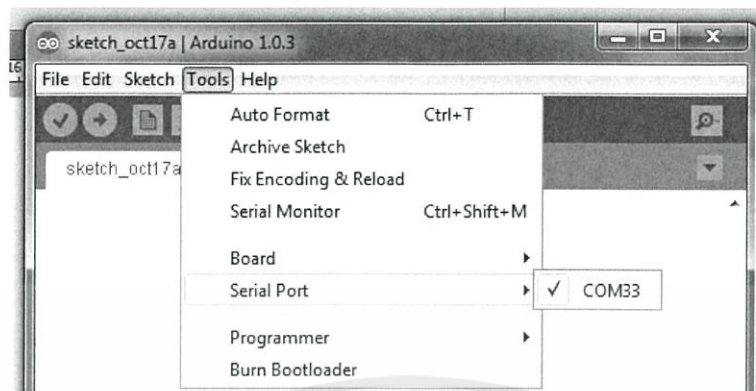
รูปที่ 3.23 แสดงการเขียนโปรแกรมบน Arduino

- 1) เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE
- 2) หลังจากที่เราเขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้ และหมายเลข Com port



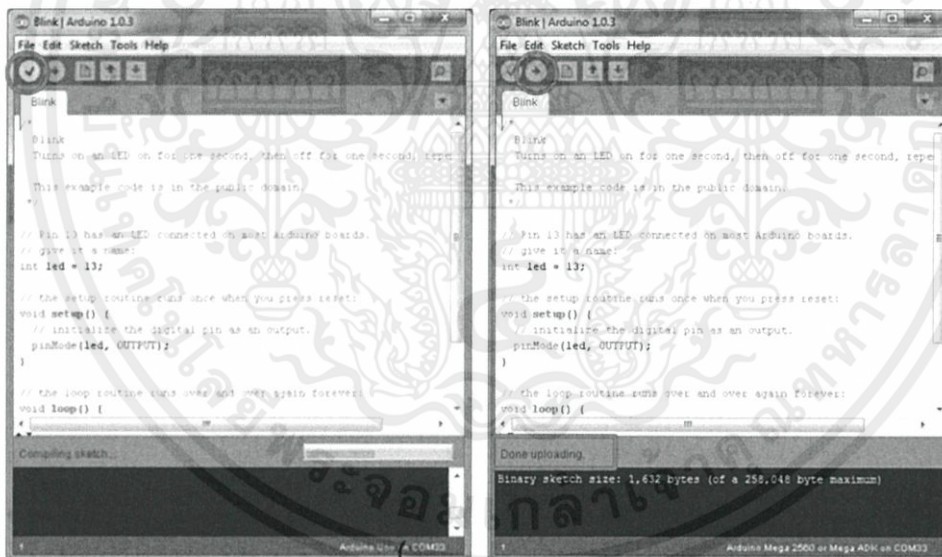
รูปที่ 3.24 แสดงการเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ต้องการ upload

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แสดงการเลือกหมายเลข Comport ของบอร์ด

- 3) กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและ Compile โค้ดโปรแกรม จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.26 (ก) แสดงการ verify หรือ compile และ (ข) แสดงการ upload โค้ดโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

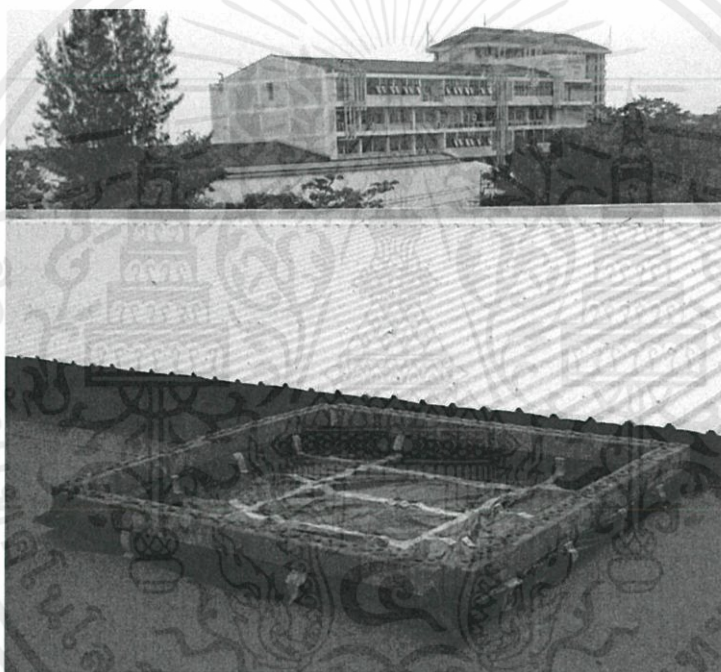
บทที่ 4

วิธีการดำเนินการและผลการทดลอง

4.1 วิธีการดำเนินการ

4.1.1 การเตรียมแปลง

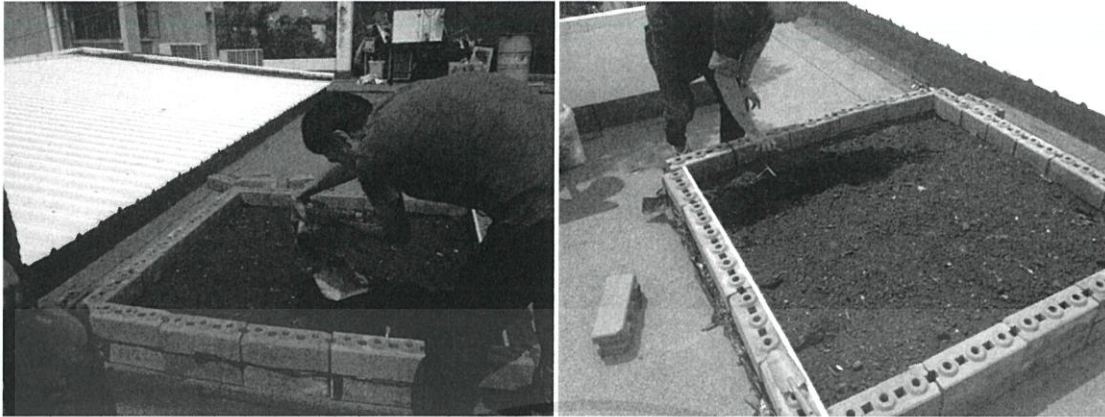
- 1) หาพื้นที่ทำแปลง ให้เป็นพื้นที่โล่ง แสงแดดส่องถึง (ใช้พื้นที่ลาดฟ้าของตึกภาค) และใช้อิฐมาทำพื้นที่ มีขนาดประมาณ 1.5x1.5 เมตร สูงประมาณ 0.2 เมตร
- 2) ก่อนที่จะเอาดินลง จะต้องเอาแผ่นพลาสติกมารองก่อนเพื่อให้เมื่อน้ำซึมออกนอกแปลง ไม่ทำให้สกปรกภายนอกแปลง



รูปที่ 4.1 แสดงพื้นที่แปลง

- 3) เทดินลงไปในแปลง และแบ่งแปลงปลูกออกเป็น 4 แถว แต่ละแถวห่างกันประมาณ 0.2 เมตร จากนั้นตากดินไว้ประมาณ 1 อาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)



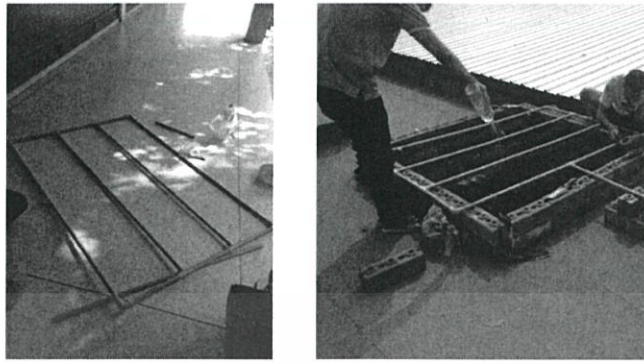
(ค)

รูปที่ 4.2 (ก) แสดงการเทดิน (ข) แสดงการเกลี่ยหน้าดิน
และ (ค) แสดงการทำให้ดินเป็นแถว ทั้งหมด 4 แถว

4.1.2 การต่อท่อและการติดตั้ง

การต่อท่อใช้ท่อพีวีซีขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว ประกอบท่อเป็น 4 แถว ระยะเท่ากับแถวในแปลงปลูก แล้วเจาะรูให้ตรงกับตำแหน่งหลุมในแปลงเพื่อทำให้น้ำหยดตรงกับหลุม ในส่วนของถังน้ำประกอบด้วยถังน้ำ 2 ถัง ขนาดใหญ่ 72 ลิตรและขนาดเล็ก 20 ลิตร ถังน้ำขนาดใหญ่ใช้เป็น ถังเก็บน้ำ ส่วนถังขนาดเล็กใช้เป็นถังจ่ายน้ำ มีการติดตั้งโซลินอยด์วาล์วกับปั๊มที่ระหว่างถังจ่ายน้ำและท่อจ่ายน้ำ และติดตั้งปั๊มระหว่างถังเก็บน้ำและถังจ่ายน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงการต่อท่อ (ซ้าย) และแสดงการติดตั้งท่อ (ขวา)

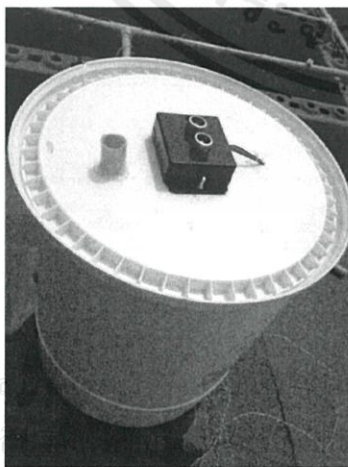
4.1.3 การติดตั้งอัลตราโซนิกเซนเซอร์ในถังน้ำ

ทำการติดตั้งอัลตราโซนิกไว้ด้านบนของฝาถังทั้ง 2 ถัง เพื่อวัดระดับน้ำภายในถังทั้ง 2

ใบ



รูปที่ 4.4 แสดงการเตรียมถังจ่ายน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้ง

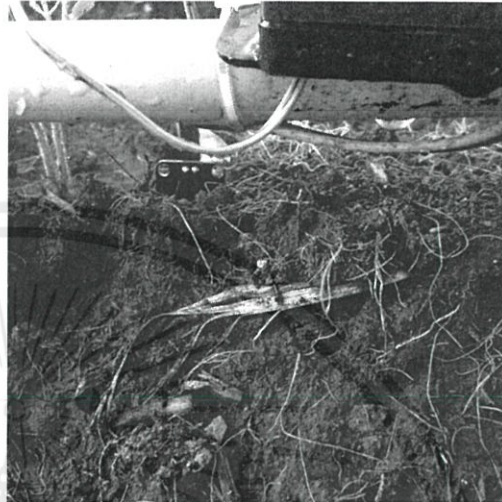
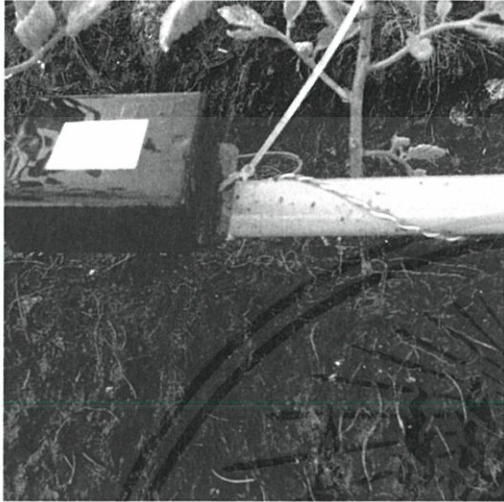
เพื่อ
หา

นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งของอัลตราโซนิกเซนเซอร์ในถังน้ำ ใบเล็ก (ซ้าย) และใบใหญ่ (ขวา)

4.1.4 การติดตั้งวัดความชื้นในดิน

ทำการติดตั้ง Soil Moisture Sensor ทั้ง 4 ตัว เสียบบลงไปในดินของแต่ละแถว ที่ความลึกประมาณ 4-5 เซนติเมตร



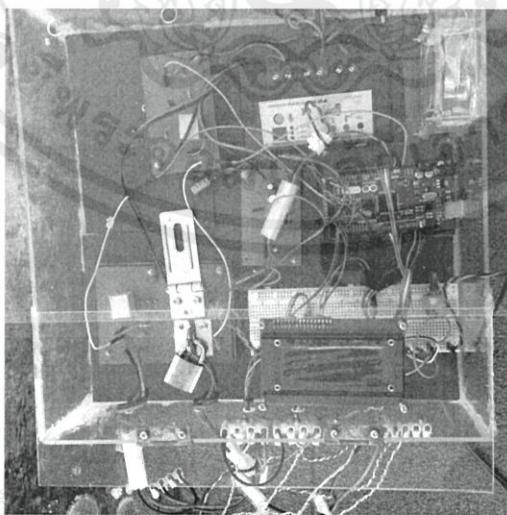
(ก)

(ข)

รูปที่ 4.6 (ก) แสดงตำแหน่งการวางตัวรับค่าเซนเซอร์ และ (ข) แสดงตำแหน่งการเสียบในดินของเซนเซอร์วัดความชื้นในดิน

4.1.5 การติดตั้งอุปกรณ์ในกล่องคอนโทรล

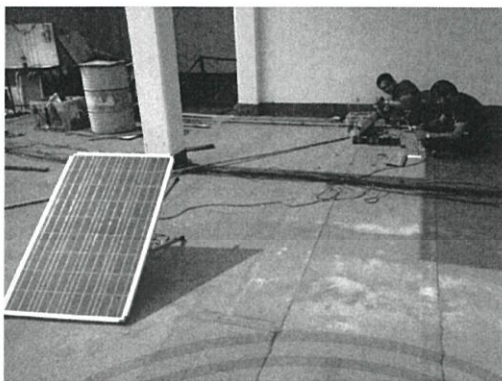
ภายในกล่องคอนโทรล ประกอบด้วย Solar Charge Control, Arduino Mega 2560 R3, LCD, Relay ขั้วป้อน ขั้ววาล์ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ หากนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในกล่องคอนโทรล

4.1.6 การติดตั้งโซลาร์เซลล์และโซลาร์ชาร์จ



รูปที่ 4.8 การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และโซลาร์ชาร์จ

จากรูปเป็นการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 1 แผง แล้วทำการเดินสายไฟไปยัง Solar Charge Controller



รูปที่ 4.9 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างโซลาร์เซลล์, Solar Charge Controller, แบตเตอรี่และอุปกรณ์อื่นๆ

จากรูปเป็นการเชื่อมต่อแบตเตอรี่ และแผงโซลาร์เซลล์เข้ากับ Solar Charge Controller โดยมีขั้นตอนการเชื่อมต่อ ดังนี้

- 1) ต่อสายไฟที่ช่อง Battery ของ Solar Charge Controller
- 2) ต่อสายไฟที่ช่อง Solar ของ Solar Charge Controller
- 3) ต่อสายจากแบตเตอรี่ไปยังกล่องคอนโทรลโดยผ่านวงจรแปลงไฟจาก 12 V เป็น 9 V เข้าคอนโทรลเลอร์ และวงจรควบคุมมอเตอร์
- 4) ตรวจสอบสายไฟ ว่าต่อถูกขั้วหรือไม่

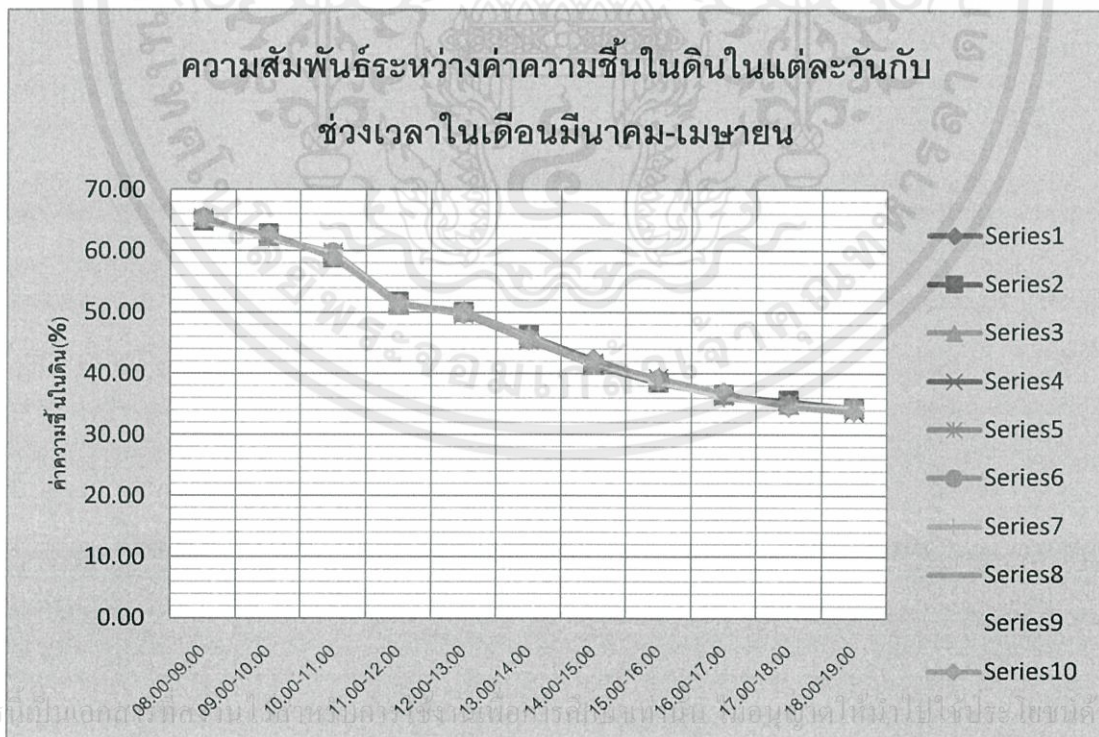
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4.1.7 ทำการวัดค่าความชื้นในแต่ละวัน

ทำการวัดค่าความชื้นในดินทุกๆ 1 ชั่วโมงในช่วงเวลา 08.00-19.00 เป็นเวลา 10 วัน ในช่วงเดือนมีนาคม-เมษายน นำมาหาค่าที่เฉลี่ยในช่วงเวลาที่เหมาะสม และจะได้ค่าความชื้นที่เหมาะสมนำไปทำการเขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบระบบอีกที

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงการวัดค่าความชื้น

วันที่/เวลา	ค่าความชื้น (%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
08.00-09.00	65.00	64.81	65.40	64.81	65.30	65.30	65.69	64.91	65.00	65.20
09.00-10.00	62.46	62.76	62.37	62.76	62.37	62.27	61.97	62.37	62.17	62.66
10.00-11.00	58.94	58.85	59.14	59.43	59.82	59.63	59.53	59.82	59.63	59.04
11.00-12.00	51.22	51.61	51.12	51.32	51.22	51.22	51.32	51.61	51.12	51.22
12.00-13.00	50.05	49.95	50.15	49.66	49.66	49.85	50.15	49.95	49.95	50.05
13.00-14.00	46.24	46.14	46.24	45.75	45.36	45.45	46.24	45.94	45.55	45.36
14.00-15.00	42.33	41.25	41.45	41.74	41.35	41.45	41.25	41.35	41.84	42.13
15.00-16.00	38.91	38.42	39.39	39.20	38.61	38.91	39.00	38.91	38.61	39.30
16.00-17.00	36.27	36.46	36.66	36.36	36.56	36.46	35.97	36.75	36.17	36.95
17.00-18.00	35.19	35.48	35.00	35.39	35.09	34.80	35.09	34.60	34.70	34.51
18.00-19.00	34.41	34.31	34.41	33.72	34.12	34.41	34.02	34.02	34.31	33.72



เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นโดยระบบอัตโนมัติของศูนย์บริการข้อมูลสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นในดินกับช่วงเวลาในเดือนมีนาคม-เมษายน

จากรูปจะเห็นได้ว่า ช่วงเวลาประมาณ 16.00-17.00 เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดในการรดน้ำต้นไม้อ่อนที่พระอาทิตย์จะตกดิน และค่าในเวลานี้จะได้ 36.46% หรือประมาณ 650 (ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์) เราจึงนำค่าที่ได้ไปเขียนไว้ในโปรแกรมเพื่อนำมากำหนดให้วาล์วทำงานต่อไป

4.2 ผลการทดลอง

ผลการทดลองพบว่า พืชที่ใช้ปลูกในการทดลอง คือ มะเขือเทศพันธุ์เรดสตาร์ (F1 CHERRY TOMATO) มีอัตราการงอกร้อยละ 65 ที่เลือกชนิดนี้ เพราะความลึกของรากจะประมาณ 0.7-1.5 เมตร (ตามตารางที่ 2.4) ซึ่งเหมาะสมกับพื้นที่ที่ใช้ปลูกและความลึกของดิน แปลงปลูกแบ่งแถวไว้ทั้งหมด 4 แถว และทำการแบ่งหลุมๆละ 2-3 เมล็ด ในการรดน้ำต้นไม้นั้น ระบบจะสั่งเปิดวาล์วให้ทำการรดน้ำต้นไม้อ่อนเมื่อความชื้นต่ำกว่า 650 (36.46%) ซึ่งพบว่าค่าดังกล่าวส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงเวลาตอนเย็นเวลาประมาณ 16.00-17.00 น. ของทุกวันในวันที่มีแสงแดดพอประมาณ ในส่วนของระดับน้ำภายในถัง สำหรับถังใบเล็ก จะวัดระดับน้ำได้ทั้งหมด 28 เซนติเมตร และสำหรับถังใบใหญ่ จะวัดระดับน้ำได้ทั้งหมด 54 เซนติเมตร โดยกำหนดให้มีระดับภายในถังน้ำทั้ง 2 ใบ ประมาณ 80% ของถังถึง

4.2.1 การเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศ

ในช่วงแรก วันที่ 1-5 ยังไม่มีอะไรเกิดขึ้น ในช่วงนี้ เมล็ดยังไม่งอก ช่วงอายุ 6-9 วัน เมล็ดเริ่มงอก เริ่มมีต้นกล้าเล็กๆโผล่ออกมาบนดิน และใบแตกออกมาประมาณ 2-3 ใบ ความสูงของต้นกล้าประมาณ 2-3 เซนติเมตร



รูปที่ 4.11 แสดงต้นกล้าช่วงอายุ 6-9 วัน

ช่วงอายุ 10-28 วัน ต้นกล้าเริ่มมีการแตกกิ่งก้านสาขาออกไป บางต้นอาจจะแตกออกเป็น 5-6 กิ่ง ความสูงของต้นกล้าประมาณ 5-15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงต้นกล้าช่วงอายุ 10-28 วัน

เมื่อต้นกล้าโตพอประมาณ ทำการใส่ปุ๋ย ปุ๋ยที่ใช้คือปุ๋ยเคมีแบบเม็ดสูตร 16-16-16 หมายถึง เนื้อปุ๋ยเคมี ในหมายเลขตัวหน้า จะหมายถึงเนื้อปุ๋ยไนโตรเจน (N=16%) หมายเลขตัวกลาง จะหมายถึงเนื้อปุ๋ยฟอสฟอรัส (P=16%) และหมายเลขตัวสุดท้าย จะหมายถึงเนื้อปุ๋ยโปแตสเซียม (K=16%)

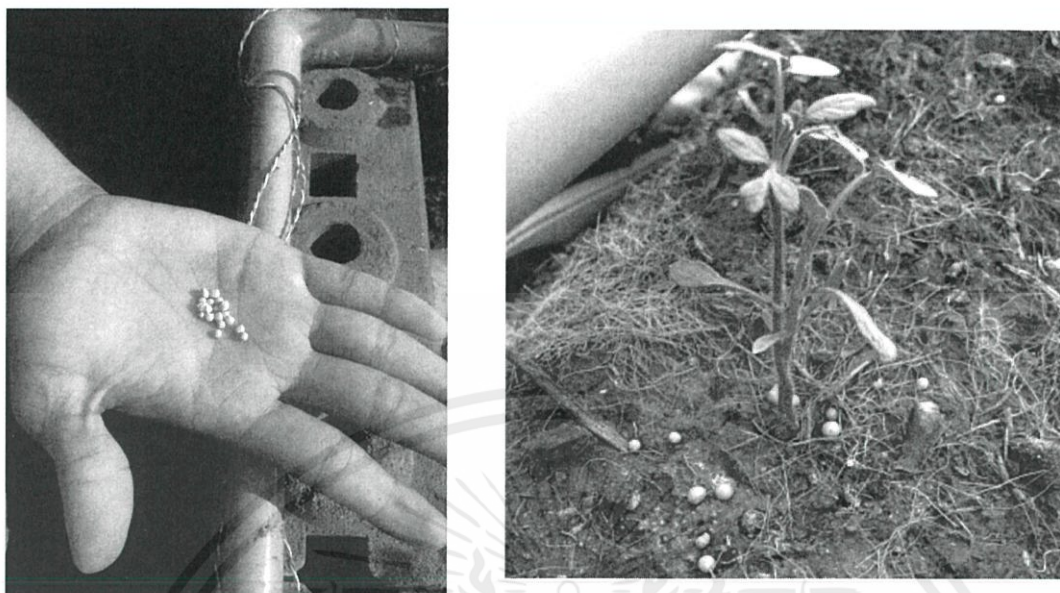
ปุ๋ยไนโตรเจน (N) เป็นปุ๋ยที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของต้นไม้ ช่วยลำต้น กิ่งก้านใบ แตกและสูงขึ้น ใบมีสีเขียวเข้ม ส่วนใหญ่นิยมใช้ใส่ในพืชผักและไม้ยืนต้นในช่วงต้นกล้า

ปุ๋ยฟอสฟอรัส (P) เป็นปุ๋ยที่ช่วยเร่งในการเปลี่ยนแปลงจากตาใบให้เป็นตาดอก หรือช่วยเร่งหรือเสริมสร้างในการออกดอกให้แก่ต้นพืช

ปุ๋ยโปแตสเซียม (K) เป็นปุ๋ยที่ช่วยเสริมให้การติดผลดีขึ้น ช่วยทำให้ขั้วผลเหนียวขึ้น ผลไม่ร่วงง่าย ทำให้ผลผลิตสูงขึ้น

ทำการใส่ปุ๋ยเล็กน้อย จะทำให้ใส่ได้หลายๆครั้ง ถ้าใส่มากจะใส่น้อยครั้ง และทำการใส่ปุ๋ยทุกอาทิตย์ การใส่ให้ใส่ลงที่โคนต้นกล้า ขอระวังห้ามไม่ให้เม็ดปุ๋ยโดนกับลำต้น จากนั้นก็รดน้ำตาม เพื่อให้เม็ดปุ๋ยละลายลงดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงปุ๋ยเคมีสูตร 16-16-16 (ซ้าย) และแสดงการใส่ปุ๋ยที่โคนต้นกล้า (ขวา)

ทำการใส่ปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอทุกอาทิตย์ ช่วงอายุ 28-60 วัน ต้นเริ่มมีการแตกกิ่งสาขา ออกมาเรื่อยๆ ความสูงของต้นก็สูงขึ้นเรื่อยๆตามมา จะสูงอยู่ประมาณ 20-35 เซนติเมตร



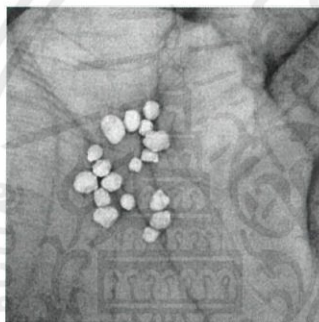
รูปที่ 4.14 แสดงต้นช่วงอายุ 28-60 วัน

ช่วงอายุ 60 วันขึ้นไป เริ่มมีดอกกับผล ความสูงของต้นจะอยู่ประมาณ 40 เซนติเมตร เริ่มใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 เป็นปุ๋ยเพื่อเร่งดอก เร่งผล ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

คุณสมบัติปุ๋ยเคมีสูตร 8-24-24 เป็นปุ๋ยเคมีชนิดเม็ด ประกอบด้วยปริมาณธาตุอาหาร
 ครอบงำ ไนโตรเจนทั้งหมด (N) 8 % , ฟอสเฟตที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) 24 % , โพแทชที่ละลายน้ำ (K_2O) 24 % พืชที่แนะนำให้ใช้ เช่น ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับพืชไร่ ปุ๋ยสำหรับไม้ผล และปุ๋ยบำรุงพืชผัก

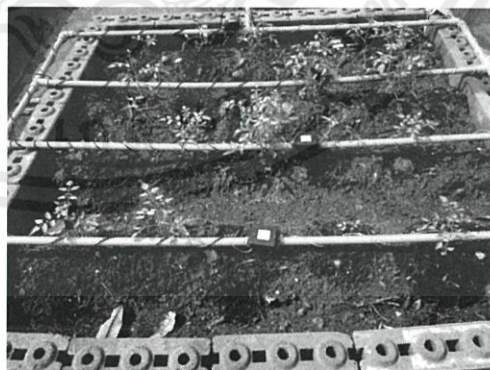


รูปที่ 4.15 แสดงดอกกับผลช่วงอายุ 60 วันขึ้นไป (ซ้าย) และแสดงพื้นที่แปลงทั้งหมด (ขวา)



รูปที่ 4.16 แสดงปุ๋ยสูตร 8-24-24 (ซ้าย) และแสดงการใส่ปุ๋ยที่โคนต้นช่วงที่เริ่มมีดอก (ขวา)

4.2.2 การทดลองการทำงานของระบบรดน้ำต้นไม้อัตโนมัติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 4.17 (ก) แสดงรดน้ำต้นไม้แต่ละต้น และ (ข) แสดงรดน้ำต้นไม้ภาพรวมที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง



รูปที่ 5.1 แสดงสรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) ในวันที่มีแสงแดดมากจะทำให้ Solar Cell จ่ายพลังงานในแอมป์เตอรียาก และในวันที่มีแสงน้อยพลังงานที่ได้จะน้อยตามไปด้วย
- 2) สรุปผลการรดน้ำต้นไม้ นั้น เราต้องการรดน้ำต้นไม้เมื่อความชื้นต่ำกว่า 650 ซึ่งพบว่าค่าดังกล่าวส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงเวลาตอนเย็น เพราะในช่วงกลางวันอากาศร้อน ทำให้พืชผ่านการสูญเสียน้ำในเวลาดังกล่าว ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพอากาศของวันนั้นๆ เนื่องจากระยะเวลาที่มีอย่างจำกัด จึงได้มีการใส่ปุ๋ยเพื่อเร่งการเจริญเติบโต โดยปุ๋ยที่ใส่มี 2 ประเภท ได้แก่ ปุ๋ยเคมี 16-16-16 และ 8-24-24 ในการใส่ปุ๋ย ควรที่จะใส่ปุ๋ยที่ละน้อยแต่ใส่หลายๆครั้ง เพื่อเป็นการเร่งการเจริญเติบโต
- 3) จากต้นไม้ที่ทำการปลูกทั้งหมด 4 แถว แถวละ 5 หลุม หลุมละประมาณ 2-3 ต้น การเจริญเติบโตของต้นไม้ นั้น ผลที่ได้จากทั้งหมด 20 หลุม ผลที่ได้คือมี 2 หลุมนั้นไม่มีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจริญเติบโตเลย คิดเป็นร้อยละ 10 และมีการเจริญเติบโตทั้งหมด 18 หลุม คิดเป็นร้อยละ 90 ซึ่งมีการเจริญเติบโต ออกดอก ออกผล ไปเรื่อยๆต่อไปจนสามารถเก็บเกี่ยวได้

5.2 ปัญหาที่พบในการทดลอง

สำหรับปัญหาที่พบในการทดลองคือ เมื่อทำการทดลอง ณ ตอนที่ คอนโทรลเลอร์สั่งสัญญาณ On/Off เพื่อเข้าวงจรขับ (วงจรรอบไดโอดไฮเลเตอร์) ให้ปั๊ม 12 VDC ทำงาน ตอนแรกยังไม่มีไหล (ปั๊ม) เอาลมติเมตรวัดแรงดันได้ 12 VDC แต่เมื่อนำไหลตมาใส่ปั๊มไม่ทำงาน เมื่อวัดแรงดันตกคร่อม ได้ 0 VDC เมื่อเปลี่ยนจากปั๊มเป็นวาล์วได้เหมือนกัน วาล์วไม่ทำงาน จึงแก้ปัญหาโดยการใช้วงจรรีเลย์ เพื่อมาขับปั๊มและวาล์ว

ในปัญหาที่สองนั้นคือ วาล์วที่ใช้เมื่อเปิดเป็นวาล์วแบบไหลไม่เต็มท่อ ทำให้ไม่สามารถรดน้ำต้นไม้ที่อยู่ปลายทางได้ อัตราการไหลของน้ำน้อยมาก วิธีแก้คือเอาปั๊มอีกตัวมาช่วยในการเพิ่มอัตราไหล ทำให้มีอัตราไหลมากพอที่จะสามารถรดน้ำต้นไม้ที่อยู่ปลายท่อได้

ปัญหาที่สามคือ ในการทดลองพบว่า มีบางรูที่ใช้หยดน้ำเกิดการอุดตันเนื่องจากน้ำมีสิ่งเจือปน น้ำที่ใช้จึงควรเป็นน้ำสะอาด นอกจากนี้ยังพบการรั่วซึมที่รอยต่อของสายยางหรือท่อบางจุด ได้ทำการแก้ไขโดยการเอาซิลิโคนทาเพื่ออุดรอยรั่ว

และปัญหาอีกอย่างหนึ่งคือ Ultrasonic Sensor เราติดตั้งที่ผาถึงน้ำ ทำให้อยู่ภายในภาชนะปิด จึงเกิดไอน้ำภายในถังลอยตัวขึ้นมาเกาะอยู่ที่ตัวเซนเซอร์ เมื่อเวลานานๆไป ส่งผลให้เกิดสนิมติดอยู่ที่ตัวรับและตัวส่งของเซนเซอร์ ทำให้รับค่าไม่ได้เกิดความผิดพลาด ไม่สามารถนำค่ามาใช้ได้ ต้องทำการเปลี่ยนเซนเซอร์ใหม่

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

สำหรับข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา คือ จากแปลงจำลองสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับแปลงการเกษตรได้ สามารถขยายแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้พลังงานมากขึ้นและเพียงพอต่อความต้องการของแปลงนั้นๆ อาจจะเปลี่ยนจากการรดน้ำแบบหยดน้ำไปใช้แบบสปริงเกอร์ เพื่อให้รดน้ำได้อย่างทั่วถึง แล้วเปลี่ยนจากปั๊มกระแสนแรงและกระแสนลึบเพื่อให้แรงดันของน้ำเพียงพอ และอาจจะใช้ปัจจัยอย่างอื่นนอกจากวัดความชื้นในดิน เช่น ตั้งเวลาเปิด-ปิด เป็นต้น ถ้าในพื้นที่จริงไม่ต้องใช้ถังน้ำสามารถต่อตรงได้เลยกับระบบชลประทาน เพื่อเป็นการไม่ต้องยุ่งยากสำหรับการต้องมาวัดระดับน้ำในถัง และสุดท้ายในอนาคตสามารถพัฒนาโปรแกรมให้มีความเสถียรภาพและมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อให้มีความสัมพันธ์กับกระแสนลึบ แล้วสามารถใช้คำสั่งจากระยะไกลได้ อยู่ที่ไหนก็สามารถรดน้ำต้นไม้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

นภัทร วัจนเทพินทร์. 2554. การติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยตนเอง พิมพ์ครั้งที่ 2. ปทุมธานี : สกายบุ๊กส์.

สุเมธ มามาตย์. 2555. Embedded Microcontroller. ปทุมธานี : สถาบันอิเล็กทรอนิกส์กรุงเทพ รังสิต.

อนุตร จำลองกุล. 2555. พลังงานทดแทน. กรุงเทพฯ : ทริปเปิ้ล เอ็ดดูเคชั่น.

เอกชัย มะการ. 2552. เรียนรู้เข้าใจใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : อีทีที.

เจตณรง ทันวัน. 2539. "แบบจำลองระบบการให้น้ำแบบหยด." วิทยานิพนธ์ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร-การผลิตพืช, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปิยกาญจน์ รอดสุพรรณ, พิษญา พลศักดิ์ และศรัณย์ชัย เดชคำรนรัตน์. 2555. "ระบบรดน้ำต้นไม้โดยอัตโนมัติ." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ปรีดา เทียบกว้าง และอนุชิต เหมหอมวงษ์. 2544. "ระบบน้ำหยด." วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วิชญาพร สุญพานิช. 2556. "การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยสารเรืองแสง." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

กาญจนา สุทธิกุล. 2551, ตุลาคม. "'วิกฤติพลังงาน' กับทางเลือกอย่าง 'ระบบน้ำหยด'." วารสารเคหการเกษตร. 32(10) : 215-218

นิติกรณ์ ศิลป์ศิริวานิชย์. 2556, พฤษภาคม. "ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบบเชื่อมต่อระบบจำหน่ายและมาตรฐานการเชื่อมต่อระบบจำหน่ายของประเทศไทย." เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์.

(386) : 150-154.

ภาคผนวก ก

Code Program

```
// Project Model of automatic watering control by solar cell //
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd (12, 11, 4, 5, 6, 7);          /* LCD 20*4 Blue and White
* LCD RS pin to digital pin12
* LCD Enable pin to digital pin11
* LCD D4 pin to digital pin 4
* LCD D5 pin to digital pin 5
* LCD D6 pin to digital pin 6
* LCD D7 pin to digital pin 7
* LCD RAW and VSS pin to GND
* LCD VDD pin to +5V
* LCD A pin to +5V
* LCD K pin to GND
* LCD VO pin to 4.7 ohm to GND
*/

// DHT (Temp meter) //
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2                               // DHT pin 2 to digital Pin 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

// Soil Moisture //
int MoisturePin1 = A0;                         // Soil Moisture1 to analog Pin A0
int MoistureValue1 = 0;                       // Moisture1 = 0
int MoisturePin2 = A1;                         // Soil Moisture2 to analog Pin A1
int MoistureValue2 = 0;                       // Moisture2 = 0
int MoisturePin3 = A2;                         // Soil Moisture3 to analog Pin A2
int MoistureValue3 = 0;                       // Moisture3 = 0
int MoisturePin4 = A3;                         // Soil Moisture4 to analog Pin A3
int MoistureValue4 = 0;                       // Moisture4 = 0
float Moisture = 0;
int SoilMoisture = 0;                          // Soil Moisture Value = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าจะในรูปแบบใดก็ตาม ห้ามนำไปดัดแปลงเนื้อหา และทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์ฯ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Ultrasonic Sensor1 //
int trigPin1 = 30;           // Trig1 of Tank1 to digital Pin 30
int echoPin1 = 31;         // Echo1 of Tank1 to digital Pin 31

// Ultrasonic Sensor2 //
int trigPin2 = 32;         // Trig2 of Tank2 to digital Pin 34
int echoPin2 = 33;         // Echo2 of Tank2 to digital Pin 35

// Pump Valve Fan //
int PumpPin = 36;          // Pump to digital Pin 36
int ValvePin = 38;         // Valve to digital Pin 38
int FanPin = 40;           // Fan to digital Pin 40

void setup()
{
// Start LCD //
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(20, 4);

  lcd.print("*****HELLO!!!*****");
  delay(5000);
  lcd.clear();
  lcd.print("++Instrumentation++");

  dht.begin();

  pinMode(trigPin1, OUTPUT);
  pinMode(echoPin1, INPUT);

  pinMode(trigPin2, OUTPUT);
  pinMode(echoPin2, INPUT);
  pinMode(ValvePin, OUTPUT);
  pinMode(PumpPin , OUTPUT);
  pinMode(FanPin , OUTPUT);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void loop()
{
// Soil Moisture sensor //
  MoistureValue1 = analogRead(MoisturePin1);
  MoistureValue2 = analogRead(MoisturePin2);
  MoistureValue3 = analogRead(MoisturePin3);
  MoistureValue4 = analogRead(MoisturePin4);
  Moisture = (MoistureValue1+MoistureValue2+MoistureValue3+MoistureValue4)/4;
                                                    // Average Soil Moisture Value
  SoilMoisture = 100-(Moisture/10.23);           // Cal analog to percent
  Serial.print("Soil Moisture: ");              // Display Soil Moisture Value
  Serial.print(SoilMoisture);
  Serial.println(" %");

// Ultrasonic Sensor1 (Tank of Big) //
  long duration1;
  int distance1;
  digitalWrite(trigPin1, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin1, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin1, LOW);
  duration1 = pulseIn(echoPin1, HIGH);
  distance1 = ((duration1)/2) / 29.1;
  if(distance1 > 99)                               // if distance valve1 over 99
  {
    distance1 = 0;                                 // distance valve1 = 0
    Serial.print("Level Tank1: ");
    Serial.print(distance1);                      // Display show Level Tank1
    Serial.println("cm");
  }
  else                                             // else distance1 less or amount 99
  {
    distance1 = distance1;                        // distance valve1 = distance1
    Serial.print("Level Tank1: ");
    Serial.print(distance1);                      // Display show Level Tank1
    Serial.println("cm");
  }
}

```

```

// Ultrasonic Sensor2 (Tank of Small) //
long duration2;
int distance2;
digitalWrite(trigPin2, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite(trigPin2, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin2, LOW);
duration2 = pulseIn(echoPin2, HIGH);
distance2 = ((duration2)/2) / 29.1;
if(distance2 > 99) // if distance valve2 over 99
{
    distance2 = 0; // distance valve2 = 0
    Serial.print("Level Tank2: ");
    Serial.print(distance2); // Display show Level Tank2
    Serial.println("cm");
}
else // else distance2 less or amount 99
{
    distance2 = distance2; // distance valve2 = distance2
    Serial.print("Level Tank2: ");
    Serial.print(distance2); // Display show Level Tank2
    Serial.println("cm");
}
}

// DHT Sensor //
int t = dht.readTemperature();
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(t); // Display show temperature
Serial.println(" *C");
if(t >= 30)
{
    digitalWrite(FanPin, HIGH);
}
else
{
    digitalWrite(FanPin, LOW);
}
}

```

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// LCD Display //
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Soil Moisture:");
lcd.setCursor(15,1);
lcd.print(SoilMoisture);           // LCD Show Soil Moisture Value
lcd.setCursor(18,1);
lcd.print("%");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("Level 1,2(cm):");
lcd.setCursor(15,2);
lcd.print(distance1);           // LCD Show Level Value1
lcd.setCursor(17,2);
lcd.print(",");
lcd.setCursor(18,2);
lcd.print(distance2);           // LCD Show Level Value2
lcd.setCursor(20,2);
delay(5000);
if(distance1 >= 10 && distance1 <= 45)
{
  if(distance2 >= 6 && distance2 <= 20)
  {
    if(Moisture >= 650)
    {
      digitalWrite(ValvePin, HIGH);
      lcd.setCursor(0,3);
      lcd.print("Status: WATERING>>>>");
      delay(Moisture);
    }

    else
    {
      digitalWrite(ValvePin, LOW);
      lcd.setCursor(0,3);
      lcd.print("Status: NO WATERING<");
      delay(Moisture);
    }
  }
}
}

```

```

else
{
    digitalWrite(PumpPin, HIGH);
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("Status: OPEN PUMP***");
    delay(distance2);
}
}
else if(distance2 >= 6 && distance2 < 20)
{
    if(Moisture >= 650)
    {
        digitalWrite(ValvePin, HIGH);
        lcd.setCursor(0,3);
        lcd.print("Status: WATERING>>>>");
        delay(Moisture);
    }
    else
    {
        digitalWrite(ValvePin, LOW);
        lcd.setCursor(0,3);
        lcd.print("Status: NO WATERING<");
        delay(Moisture);
    }
}
else
{
    digitalWrite(ValvePin, LOW);
    digitalWrite(PumpPin, LOW);
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print(">>>WAIT SET WATER<<<");
    delay(distance1);
}
}
}

```

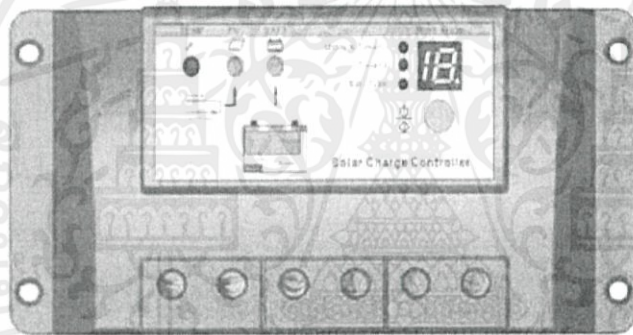
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
Solar Charge Controller

LandStar

LS1024R / LS1524R / LS2024R

— Solar Light Controller



Specification Summary

Nominal system voltage	12 / 24VDC*
Maximum PV input voltage	50V
Nominal charge / discharge current	
LS1024R	10A
LS1524R	15A
LS2024R	20A

* The controller will recognize the system rated voltage when start up. If the battery voltage is lower than 18V, it will recognize the system as 12V.

If the battery voltage is greater than 18V, it will recognize the system as 24V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Contents

1 Important Safety Information	1
2 General Information	2
2.1 Product Overview	2
2.2 Product Features	3
3 Installation Instructions	4
3.1 General Installation Notes	4
3.2 Mounting	4
3.3 Wiring	6
4 Operation.....	10
4.1 PWM Technology	10
4.2 Battery Charging Information.....	10
4.3 LED Indicators	12
4.4 Setting Operation.....	14
5 Protections, Troubleshooting and Maintenance	18
5.1 Protection	18
5.2 Troubleshooting	19
5.3 Maintenance	21
6 Warranty	22
7 Technical Specifications.....	23

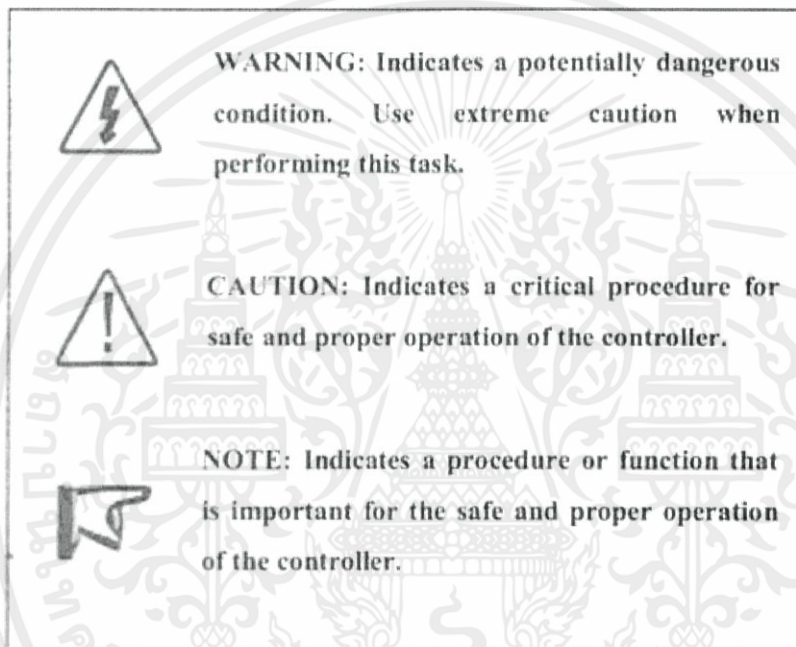
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 Important Safety Information

Save These Instructions

This manual contains important safety, installation and operating instructions.

The following symbols are used throughout this manual to indicate potentially dangerous conditions or mark important safety instructions, please take care when meeting these symbols.



General Safety Information

- Read all of the instructions and cautions in the manual before beginning installation.
- There are no user serviceable parts inside the controller. Do not disassemble or attempt to repair it.
- Install external fuses/breakers as required.
- Disconnect the solar module and fuse/breakers near to battery before installing or adjusting the controller.
- Do not allow water to enter the controller.
- Confirm that power connections are tightened to avoid excessive heating from loose connection.

2 General Information

2.1 Product Overview

Thank you for selecting LandStar series solar light controller that adopts the most advanced digital technique and operates fully automatically. The Pulse Width Modulation (PWM) battery charging can greatly increase the lifetime of battery. It has various unique functions and quite easy to use, such as:

- 12/24V automatic recognition
- High efficient Series PWM charging, increase the battery lifetime and improve the solar system performance.
- Use MOSFET as electronic switch, without any mechanical switch
- Widely used, automatically recognize day/night.
- Digital LED menu, only one key solve all setting simply
- Intelligent timer function with 1-15 hours option
- Unique dual timer function, enhance the flexibility of street light system.
- Gel, Sealed and Flooded battery type option.
- Adopt temperature compensation, correct the charging and discharging parameters automatically and improve the battery lifetime.
- Electronic protection: Overheating, over charging, over discharging, overload, and short circuit.
- Reverse protection: any combination of solar module and battery.

The controller is for off-grid solar system, especially in solar light system, and protects the battery from being over charged by the solar module and over discharged by the loads. The charging process has been optimized for long battery life and improved system performance. The comprehensive self-diagnostics and electronic protection functions can prevent damage from installation mistakes or system faults.

Though the controller is easy to operate and use, please take your time to read this manual and become familiar with it. This will help you make full use of all the functions and improve your solar PV system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Product Features

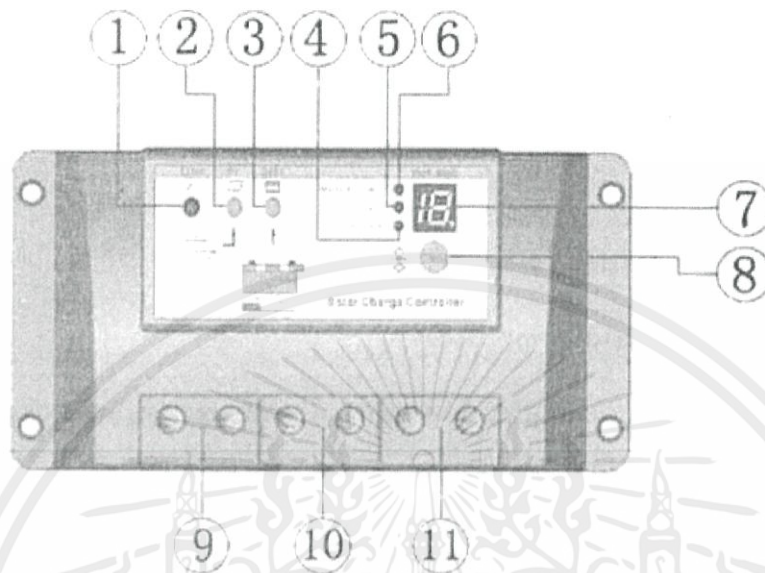


Figure 2-1 Land Star characteristics

1 – Temperature Sensor

Measure ambient temperature and make temperature compensation for charging and discharging.

2 – Charging status LED indicator

An LED indicator that shows charging status and also indicates when battery voltage is higher than over voltage disconnect voltage.

3 – Battery status LED indicator

An LED indicator that shows battery status

4 – Battery type setting indicator

The indicator will be on when select battery type.

5 – Timer 2 setting indicator

The indicator will be on when set timer 2.

6 – Timer 1 setting indicator

The indicator will be on when set timer 1.

7 –LED digital display

Display the load work mode and status

8 – Setting button

Set load work mode and select battery type (in manual mode used for load ON/OFF).

9 –Solar Module Terminals

Connect solar modules

10 –Battery Terminals

Connect batteries.

11 –Load Terminals

Connect loads.

3 Installation Instructions

3.1 General Installation Notes

- Read through the entire installation section first before beginning installation.
- Be very careful when working with batteries. Wear eye protection. Have fresh water available to wash and clean any contact with battery acid.
- Uses insulated tools and avoid placing metal objects near the batteries.
- Explosive battery gasses may be present during charging. Be certain there is sufficient ventilation to release the gasses.
- Avoid direct sunlight and do not install in locations where water can enter the controller.
- Loose power connections and/or corroded wires may result in resistive connections that melt wire insulation, burn surrounding materials, or even cause fire. Ensure tight connections and use cable clamps to secure cables and prevent them from swaying in mobile applications.
- Use with Gel, Sealed or Flooded batteries only.
- Battery connection may be wired to one battery or a bank of batteries. The following instructions refer to a singular battery, but it is implied that the battery connection can be made to either one battery or a group of batteries in a battery bank.
- Select the system cables according to $3A/mm^2$ current density

3.2 Mounting

NOTE: When mounting the controller, ensure free air through the controller heat sink fins. There should be at least 6 inches (150 mm) of clearance above and below the controller to allow for cooling. If mounted in an enclosure, ventilation is highly recommended.





WARNING: Risk of explosion! Never install the controller in a sealed enclosure with flooded batteries! Do not install in a confined area where battery gassed can accumulate.

Step 1: Choose Mounting Location

Locate the controller on a vertical surface protected from direct sun, high temperature, and water. And make sure good ventilation.

Step 2: Check for clearance

Place the controller in the location where it will be mounted. Verify that there is sufficient room to run wires and that there is sufficient room above and below the controller for air flow.

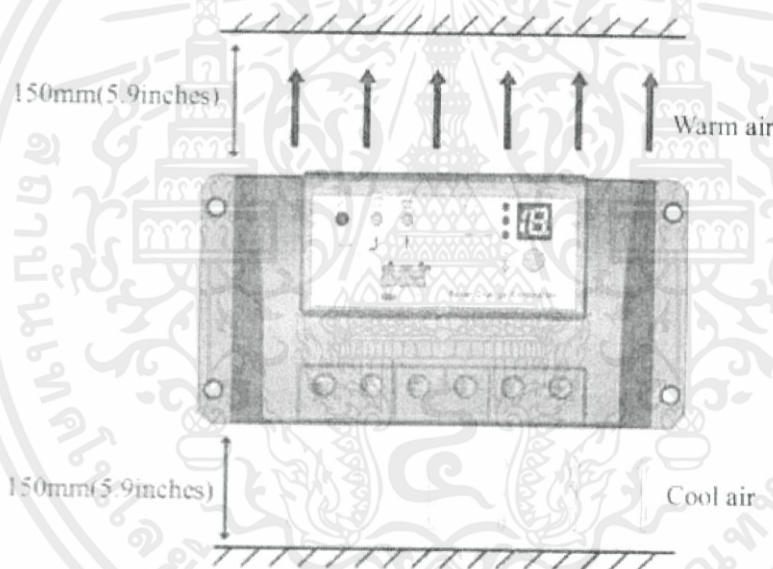


Figure 3-1 Mounting and cooling

Step 3: Mark Holes

Use a pencil or pen to mark the four (4) mounting hole locations on the mounting surface.

Step 4: Drill Holes

Remove the controller and drill 4mm holes in the marked locations.

Step 5: Secure Controller

Place the controller on the surface and align the mounting holes with the drilled holes in step 4.

Secure the controller in place using the mounting screws.

3.3 Wiring



NOTE: A recommended connection order has been provided for maximum safety during installation.



NOTE: The controller is a common positive ground controller.



CAUTION: Don't connect the loads with surge power exceeding the ratings of the controller.



CAUTION: For mobile applications, be sure to secure all wiring. Use cable clamps to prevent cables from swaying when the vehicle is in motion. Unsecured cables create loose and resistive connections which may lead to excessive heating and/or fire.

Step1: Battery Wiring



WARNING: Risk of explosion or fire! Never short circuit battery positive (+) and negative (-) or cables

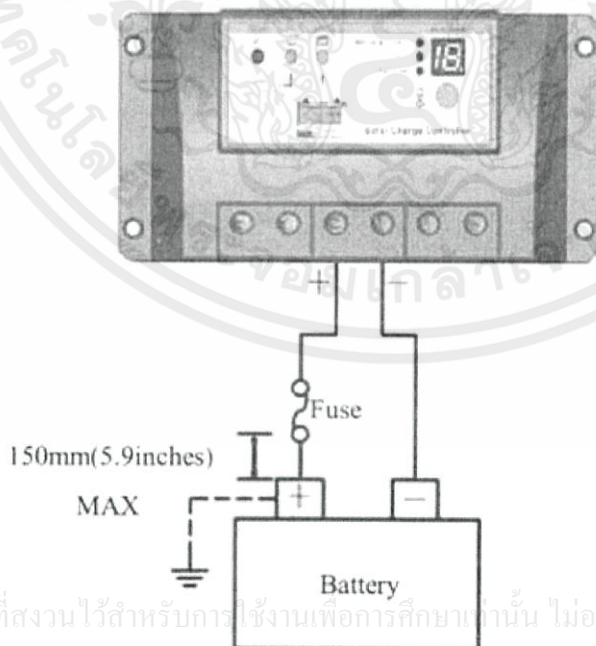


Figure 3-2 Battery connecting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Before battery is connected, make sure that battery voltage is greater than 6V so as to start up the controller. If system is 24V, make sure battery voltage is not less than 18V. System voltage can only be automatically recognized when controller start up for the first time.

When install fuse, make sure that the biggest distance between the fuse holder and the positive terminal of battery is 150mm. Do not insert a fuse at this time. Confirm the connection correct and turn on the power.

Step 2: Load Wiring

The controller loads can be connected to such electrical equipments as lights, pumps, motors and others. Controller offers power to loads through the battery voltage.

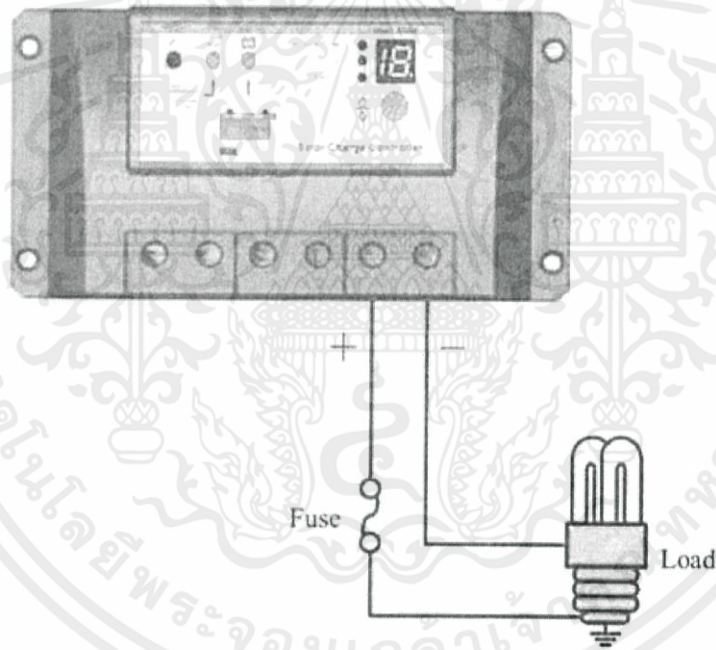


Figure 3-3 Load Wiring

Connect the positive (+) and negative (-) of loads to controller load terminals as shown in Figure 3-3. The load terminal may exist voltage, connect carefully to avoid short circuit.

An in-line fuse holder should be wired in series in the load positive (+) or negative (-) wire as show in Figure 3-3. Do not insert a fuse at this time.

Confirm the connection correct and turn on the power.

If wiring the load connection to a load distribution panel, each load circuit should be fused separately. The total load draw should not exceed the load rated current of controller.

Step 3: Solar wiring



WARNING: Risk of electric shock! Exercise caution when handling solar wiring. The solar module(s) high voltage output can cause severe shock or injury. Be careful operation when installing solar wiring.

The controller can accept 12V, 24V nominal off-grid solar module(s). Grid-tie solar module(s) may be used if the open circuit voltage of solar module doesn't exceed the Maximum PV input voltage of the controller. The solar module(s) work voltage must be equal to or greater than the system voltage.

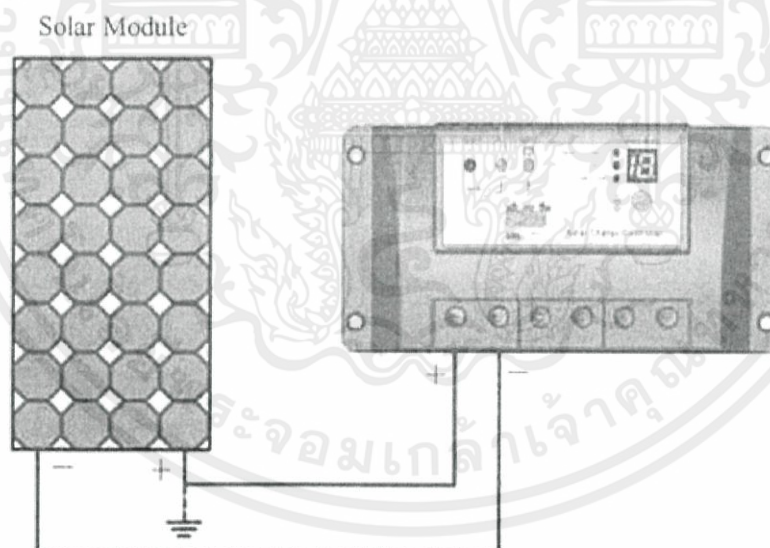


Figure 3-4 Solar wiring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Step 4: Confirm Wiring

Double-check the wiring in step 1 through 3. Confirm correct polarity at each connection. Verify that all six terminals are tightened.

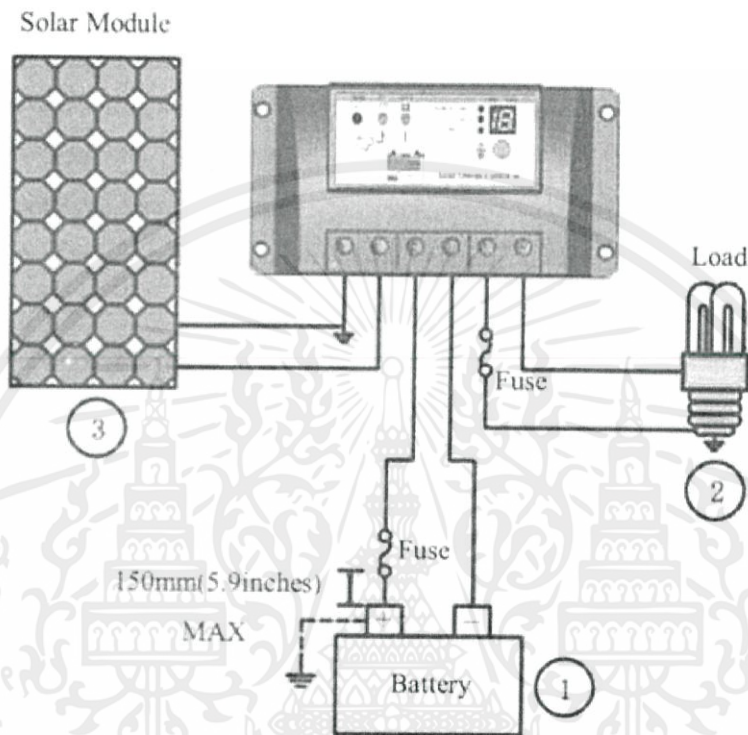


Figure 3-5 System wiring review

Step 5: Confirm power on

When battery power is applied and the controller starts up, the battery LED indicator will be green.

If the controller doesn't start up, or the battery status LED error exists, please refer to section 5 for troubleshooting.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 Operation

4.1 PWM Technology (Series Pulse Width Modulation)

The controller adopts the advanced series pulse width modulation (PWM) charging mode. With range of 0-100%, it can charge the battery quickly and stably under any condition of solar photovoltaic system.

PWM charging mode use automatic conversion duty ratio pulses current to charge the battery. The battery can be fully charged safety and rapidly with the pulse current. Intermissions make some oxygen and hydrogen generated by chemical reaction chemically combined again and absorbed. It can eliminate concentration polarization and ohm polarization naturally and reduce the internal pressure of the battery so that the battery can absorb more power. Pulse current charging mode makes battery have more time to react, which reduces the gassing volume and makes battery improve the acceptance rate of charging current.

4.2 Battery Charging Information

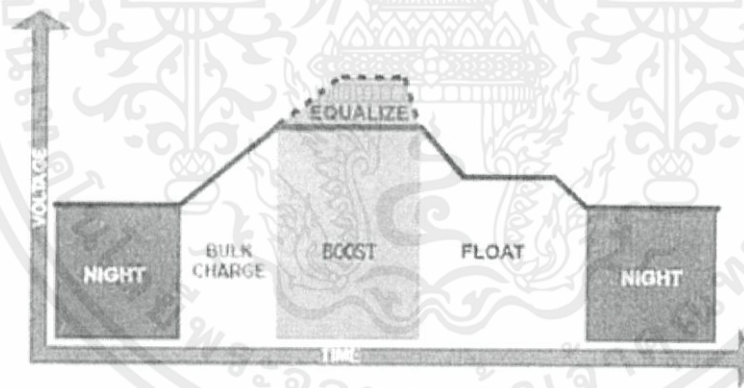


Figure 4-1 PWM Charging mode

•Bulk Charge

In this stage, the battery voltage has not yet reached boost voltage and 100% of available solar power is used to charge the battery.

•Boost Charge

When the battery has recharged to the Boost voltage setpoint, constant-current regulation is used to prevent heating and excessive battery gassing. The Boost stage remains 120 minutes and then goes to Float Charge.

·Float Charge

After the battery is fully charged in Boost voltage stage, the controller reduces the battery voltage to Float voltage set point. When the battery is fully recharged, there will be no more chemical reactions and all the charge current transmits into heat and gas at this time. Then the controller reduces the voltage to the floating stage, charging with a smaller voltage and current. It will reduce the temperature of battery and prevent the gassing, also charging the battery slightly at the same time. The purpose of Float stage is to offset the power consumption caused by self consumption and small loads in the whole system, while maintaining full battery storage capacity.

In Float stage, loads can continue to draw power from the battery. In the event that the system load(s) exceed the solar charge current, the controller will no longer be able to maintain the battery at the Float setpoint. Should the battery voltage remains below the boost reconnect charging voltage, the controller will exit Float stage and return to Bulk charge.

·Equalize Charge



WARNING: Risk of explosion!

Equalizing flooded battery can produce explosive gases, so well ventilation of battery box is necessary



NOTE: Equipment damage!

Equalization may increase battery voltage to the level damaging to sensitive DC loads. Ensure that all load allowable input voltages are greater than the equalizing charging set point voltage.



NOTE: Equipment damage!

Over-charging and excessive gas precipitation may damage the battery plates and activate material shedding on them. Too high an equalizing charge or for too long may cause damage. Please carefully review the specific requirements of the battery used in the system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Certain types of batteries benefit from periodic equalizing charge, which can stir the electrolyte, balance battery voltage and complete chemical reaction. Equalizing charge increases the battery voltage, higher than the standard complement voltage, which gasifies the battery electrolyte.

If the battery is being over discharged, the solar controller will automatically turn to equalize charging stage, and the equalize stage remain 120mins. Equalize charge and boost charge are not carried out constantly in a full charge process to avoid too much gas precipitation or overheating of battery.

4.3 LED Indicators

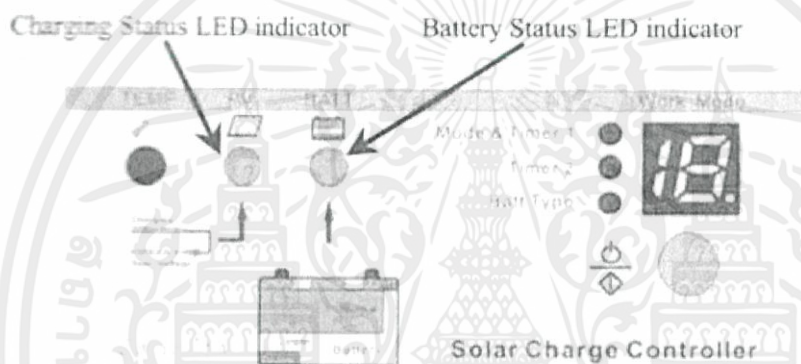


Figure 4-2 LED indicators

- **Charging status indicator**

GREEN ON whenever sunlight is available for battery charging.

GREEN FAST FLASHING when battery over voltage.

Please refer to section 5 for troubleshooting.

Charging Status LED indicator

Table 4-1

Color	Indicator	Charging Status
Green	On Solid	Charging
Green	Fast Flashing	Battery over voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• **Battery status indicator**

GREEN ON when battery voltage in normal range

GREEN SLOWLY FLASHING when battery full

ORANGE ON when battery under voltage

RED ON when battery over discharged

Please refer to section 5 for troubleshooting.

Battery status LED indicator

Table 4-2

Color	Indicator	Battery Status
Green	On solid	Normal
Green	Slowly Flashing	Full
Orange	On solid	Under voltage
Red	On solid	Over discharged

• **Load status indicator:**

When the load amp is 1.25 times of rated current for 60 seconds, or the load amp is 1.5 times of rated current for 5 seconds (overload); or load amp is more than 3.5 times of rated current (Short Circuit), the LED digital tube shows "L" with slowly flashing simultaneously. Please refer to section 5 for trouble shooting.

Load status LED indicator

Table 4-3

Color	LED digital tube	Load status
Red	"L" with slowly flashing	Overload or short circuit

• **Overheating protection indicator:**

When heat sink of the controller exceeds 85 °C, the controller will automatically cut input and output circuit, with LED digital tube showing "H" with slowly flashing simultaneously. Please refer to section 5 for trouble shooting.

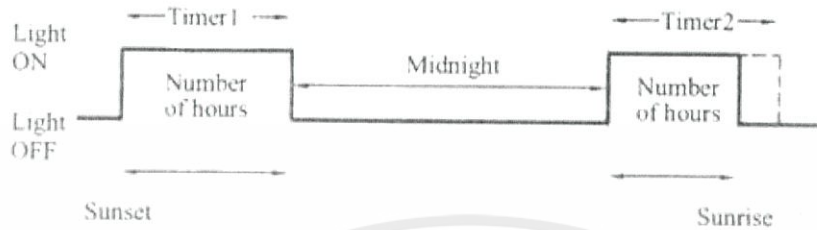
Overheating protection indicator

Table 4-4

Color	LED digital tube	System status
Red	"H" with slowly flashing	Controller overheating

4.4 Setting Operation

Dual timer function



The default night length is 10 hours. The controller can learn the night length referring to the previous night so as to adapt to the different seasons. However, it will take some time to learn it.



Notes: when the "OFF" time set at timer 2 is later than local sunrise time, the controller will turn off the load output at the sunrise time, which shows light control first!

Load Control Settings

1. Dusk to Dawn

When solar module voltage goes below the point of NTTV (Night Time Threshold Voltage) at sunset, the controller will recognize the starting voltage and turn on the load after 10 minutes delay. When solar module voltage goes above point of DTTV (Day Time Threshold Voltage), the solar controller will recognize the starting voltage and turn off the load after 10 minutes delay.

2. Light ON + Timer

When solar module voltage goes below the point of NTTV (Night Time Threshold Voltage) at sunset, the solar controller will recognize the starting voltage and turn on the load after 10 minutes delay. The load will be on for several hours which users set through LED digital tube. The controller has dual timer function. Please refer to table 4-5 "Load Work Mode Setting".

3. Test mode

This mode is the same as Dusk to Dawn. But there is no 10 minutes delay when controller recognizes the starting voltage. When below the starting voltage, the controller will turn on the load, if higher, it will turn off load.

The test mode makes it easy to check the system installation.

4. Manual mode

This mode is to turn ON and OFF the load by manual.

• Load Work Mode Setting

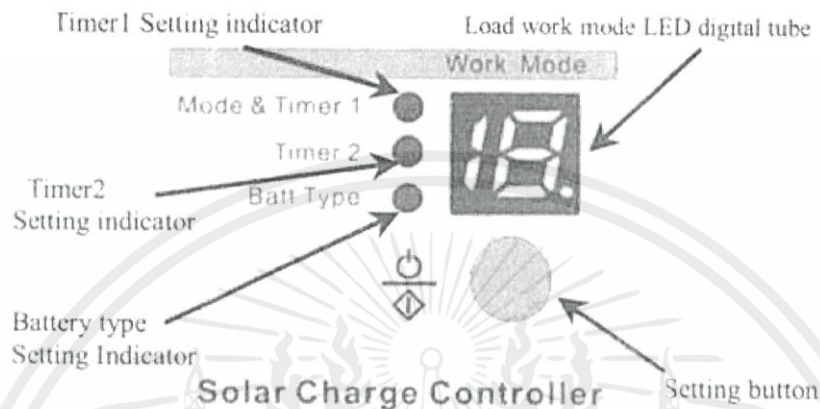


Figure 4-3 Setting operation indicating

Press the setting button once and setting indicators will be changed once among timer 1, timer2 and battery type.

When timer 1 setting indicator is on, press the setting button for more than 5 seconds till the LED digital tube flashes. Then press the setting button till the desired number appears according to the following table. The setting is finished when the digital tube stop flashing.

Timer 2 setting is the same as timer 1 when the setting indicator is on timer2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load work mode Table 4-5

Timer1	LED Digital No.
Disable	n
Dusk to Dawn, Load will be on all night	0
Load will be on for 1 hour after ten minutes delay since sunset	1
Load will be on for 2 hours after ten minutes delay since sunset	2
Load will be on for 3 hours after ten minutes delay since sunset	3
Load will be on for 4 hours after ten minutes delay since sunset	4
Load will be on for 5 hours after ten minutes delay since sunset	5
Load will be on for 6 hours after ten minutes delay since sunset	6
Load will be on for 7 hours after ten minutes delay since sunset	7
Load will be on for 8 hours after ten minutes delay since sunset	8
Load will be on for 9 hours after ten minutes delay since sunset	9
Load will be on for 10 hours after ten minutes delay since sunset	10
Load will be on for 11 hours after ten minutes delay since sunset	11
Load will be on for 12 hours after ten minutes delay since sunset	12
Load will be on for 13hours after ten minutes delay since sunset	13
Load will be on for 14 hours after ten minutes delay since sunset	14
Load will be on for 15 hours after ten minutes delay since sunset	15
Test mode	16
ON/OFF mode	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Load work mode

Table 4-6

Timer2	LED Digital No.
Disable	n
Load will be on for 1 hour before sunrise	1
Load will be on for 2 hours before sunrise	2
Load will be on for 3 hours before sunrise	3
Load will be on for 4 hours before sunrise	4
Load will be on for 5 hours before sunrise	5
Load will be on for 6 hours before sunrise	6
Load will be on for 7 hours before sunrise	7
Load will be on for 8 hours before sunrise	8
Load will be on for 9 hours before sunrise	9
Load will be on for 10 hours before sunrise	10
Load will be on for 11 hours before sunrise	11
Load will be on for 12 hours before sunrise	12
Load will be on for 13 hours before sunrise	13
Load will be on for 14 hours before sunrise	14
Load will be on for 15 hours before sunrise	15



Notes: If timer 1 is Dusk to Dawn (0), Test mode (16) or ON/OFF mode (17), the timer 2 will be disabled.

• Battery Type Setting

When battery type setting indicator is on, press the setting button for more than 5 seconds till the LED digital tube flashes. Then press the setting button till the desired number appears according to the following table. The setting is finished till the LED digital display stops flashing.

Battery type setting

Table 4-7

Battery type	Digital tube display
Sealed lead acid battery	1
Gel battery	2
Flooded battery	3

5 Protection, Troubleshooting and Maintenance

5.1 Protection

•PV Array Short Circuit

If PV array short circuit occurs, clear it to resume normal operation.

•Load Overload

If the load current exceeds the maximum load current rating, the controller will disconnect the load. Overloading must be cleared up through reapply power or pressing the setting button.

•Load Short Circuit

Fully protected against load wiring short-circuit. After one automatic load reconnect attempt, the fault must be cleared by reapply power or pressing the setting button.

•PV Reverse Polarity

Fully protection against PV reverse polarity, no damage to the controller will result. Correct the miswire to resume normal operation.

•Battery Reverse Polarity

Fully protection against battery reverse polarity, no damage to the controller will result. Correct the miswire to resume normal operation.

•Damaged Local Temperature Sensor

If the temperature sensor short-circuited or damaged, the controller will be charging or discharging at the default temperature 25°C to prevent the battery damaged from overcharging or over discharged.

•Overheating Protection

If the temperature of the controller heat sink exceeds 85°C, the controller will automatically start the overheating protection.

•High Voltage Transients

PV is protected against high voltage transients. In lightning prone areas,

additional external suppression is recommended. เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท อีโคโนมิค เทคโนโลยี จำกัด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 Troubleshooting

Trouble Shooting

Table 5-1

Faults	Possible reasons	Troubleshooting
Charging LED indicator off during daytime when sunshine falls on PV modules properly.	PV array disconnection	Check that PV and battery wire connections are correct and tight
Green charging LED indicator fast flashing	Battery voltage higher than over voltage disconnect voltage(OVD)	Check if battery voltage over high. Disconnect the solar module
Battery LED indicators are orange	Battery under voltage	Load output is normal., charging LED indicator will return to green automatically when fully charged
Battery LED indicators RED color and loads not working	Battery over discharged	The controller cut off the output automatically. LED indicator will return to green automatically when fully charged

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital tube displays "L" with red slowly flashing	Over load or short circuit	Overload: Please reduce the load and press the button once, the controller will resume to work after 3s; Short circuit: when the first short-circuit occurs, the controller will automatically resume to work after 10s; when a second short-circuit occurs, press the button, the controller will resume to work after 3s.
Digital tube displays "H" with red slowly flashing	Too high temperature of controller	When heat sink of the controller exceeds 85 °C, the controller will automatically cut input and output circuit. When the temperature below 75 °C, the controller will resume to work

Notes: No LED indicator.

Measure battery voltage with multimeter.

Min.6V can start up the controller.

Notes: No charging status LED indicator with normal connection. Measure the input voltage of solar module, the input voltage must be higher than battery voltage!

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 Maintenance

The following inspections and maintenance tasks are recommended at least two times per year for best controller performance.

- Check that the controller is securely mounted in a clean and dry environment.
- Check that the air flow and ventilation around the controller is not blocked. Clear all dirt or fragments on the heat sink.
- Check all the naked wires to make sure insulation is not damaged for serious solarization, frictional wear, dryness, insects or rats etc. Maintain or replace the wires if necessary.
- Tighten all the terminals. Inspect for loose, broken, or burnt wire connections.
- Check and confirm that LED digital tube is consistent with required. Pay attention to any troubleshooting or error indication. Take necessary corrective action.
- Confirm that all the system components are ground connected tightly and correctly.
- Confirm that all the terminals have no corrosion, insulation damaged, high temperature or burnt/discolored sign, tighten terminal screws to the suggested torque.
- Inspect for dirt, insects and corrosion, and clear up.
- Check and confirm that lightning arrester is in good condition. Replace a new one in time to avoid damaging of the controller and even other equipments.

Notes: Dangerous with electric shock!



Make sure that all power source of controller is cut off when operate above processes, and then make inspection or other operations !

6 Warranty

The LandStar charge controller is warranted to be free from defects for a period of TWO (2) years from the date of shipment to the original end user. We will, at its option, repair or replace any such defective products.

• Claim procedure:

Before requesting warranty service, check the Operation Manual to be certain that there is a problem with the controller. Return the defective product to us with shipping charges prepaid if problem cannot be solved. Provide proof of date and place of purchase. To obtain rapid service under this warranty, the returned products must include the model, serial number and detailed reason for the failure, the module type and size, type of batteries and system loads. This information is critical to a rapid disposition of your warranty claim.

• This warranty does not apply under the following conditions:

1. Damage by accident, negligence, abuse or improper use.
2. PV or load current exceeding the ratings of product
3. Unauthorized product modification or attempted repair
4. Damaged occurring during shipment.
5. Damage results from acts of nature such as lightning, weather extremes
6. Irreclaimable mechanical damage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7 Technical specifications

Electrical Parameters

Table 7-1

Description	Parameter
Nominal System Voltage	12 / 24VDC Auto work
Maximum Battery Voltage	32V
Rated Battery Current	LS1024R 10A LS1524R 15A LS2024R 20A
Charge Circuit Voltage Drop	≤0.26V
Discharge Circuit Voltage Drop	<0.15V
Self-consumption	≤6mA

Threshold Voltage Parameters

Table7-2

Description	Parameter
NTTV (Night Time Threshold Voltage)	5V; x2/24V
DTTV (Day Time Threshold Voltage)	6V; x2/24V

Temperature Compensation Coefficient

Table7-3

Description	Parameter
Temperature Compensation Coefficient(TEMPCO)*	-30mV/°C/12V(25°C ref)

* Compensation of equalize, boost, float and low voltage disconnect voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Battery Voltage Parameters (temperature at 25°C)

Table 7-4

Charging Parameters			
Battery charging setting	Gel	Sealed	Flooded
Over Voltage Disconnect Voltage	16V; x2/24V	16V; x2/24V	16V; x2/24V
Charging Limit Voltage	15.5V;x2/24V	15.5V;x2/24V	15.5V;x2/24V
Over Voltage Reconnect Voltage	15V; x2/24V	15V; x2/24V	15V; x2/24V
Equalize Charging Voltage	-----	14.6V;x2/24V	14.8V;x2/24V
Boost Charging Voltage	14.2V;x2/24V	14.4V;x2/24V	14.6V;x2/24V
Float Charging Voltage	13.8V;x2/24V	13.8V;x2/24V	13.8V;x2/24V
Boost Reconnect Charging Voltage	13.2V;x2/24V	13.2V;x2/24V	13.2V;x2/24V
Low Voltage Reconnect Voltage	12.6V;x2/24V	12.6V;x2/24V	12.6V;x2/24V
Under voltage warning reconnect voltage	12.2V;x2/24V	12.2V;x2/24V	12.2V;x2/24V
Under Voltage Warning Voltage	12V; x2/24V	12V; x2/24V	12V; x2/24V
Low Voltage Disconnect Voltage	11.1V;x2/24V	11.1V;x2/24V	11.1V;x2/24V
Discharging Limit Voltage	10.8V;x2/24V	10.8V;x2/24V	10.8V;x2/24V
Equalize duration	-----	2 hours	2 hours
Boost duration	2 hours	2 hours	2 hours

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับกรทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Environmental parameters Table 7-5

Environmental parameters	Parameter
Working temperature	-35°C to +55°C
Storage temperature	-35°C to +80°C
Humidity	10%-90% NC
Enclosure	IP30

LS1024R Mechanical parameters Table 7-6

Mechanical Parameter	Parameter
Overall dimension	140(5.51)x65(2.56)x34(1.34) mm/inches
Mounting dimension	130(5.12) x 45(1.77) mm/inches
Mounting hole size	Φ4.5
Terminal	4mm ²
Net weight	0.15kg

LS1524R, LS2024R Mechanical Parameters Table 7-7

Mechanical Parameter	Parameter
Overall dimension	144(5.67)x75(2.95)x45(1.77) mm/inches
Mounting dimension	135(5.31)x55(2.16) mm/inches
Mounting hole size	Φ4.5
Terminal	10mm ²
Net weight	0.25kg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนไว้เพื่อการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
Final interpretation right of the manual belongs to our company.
 ไม่ทำกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ **Any changes without prior notice!** เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

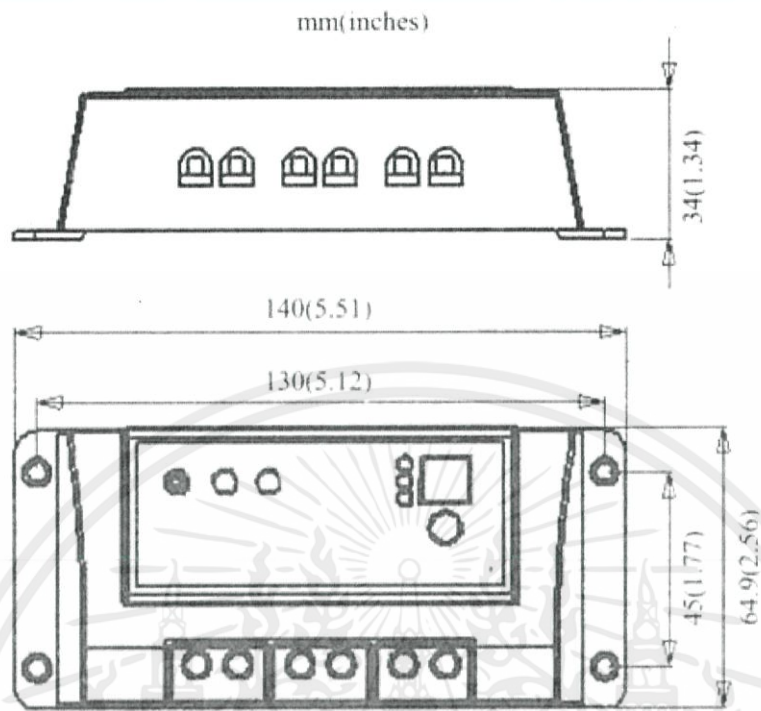


Figure1-1) LS1024R Dimensions

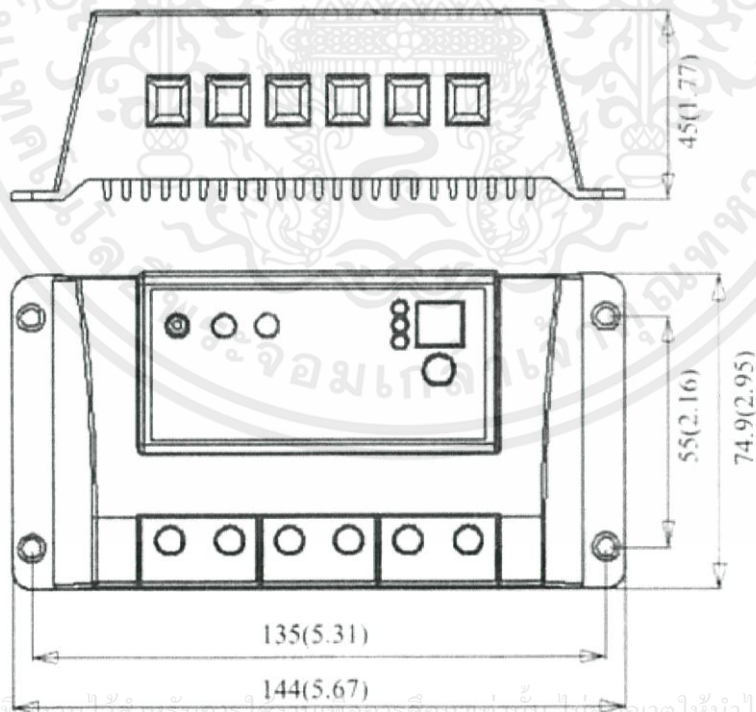


Figure1-2) LS1524R & LS2024R Dimensions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ทำกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้