แปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ
AUTOMATED HYDROPONIC SYSTEM

นายธนเดช พงษ์พรต
นายธนรรณพ บุตรประเสริฐ
นางสาวปารณีย์ พัฒนรัชฎาพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

แปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ
AUTOMATED HYDROPONIC SYSTEM

นายธนเดช พงษ์พรต
นายธนรรณพ บุตรประเสริฐ
นางสาวปารณีย์ พัฒนรัชฎาพงษ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATED HYDROPONIC SYSTEM

THANADECH PONGPROT
TANANNOP BUTPRASIRT
PARANEE PHATTANARATCHADAPONG

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญานิพนธ์

.....

หัวข้อปริญญานิพนธ์ แปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ
AUTOMATED HYDROPONIC SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ นายธนเดช พงษ์พรต **รหัสนักศึกษา** 56010513
นายธนรรณพ บุตรประเสริฐ **รหัสนักศึกษา** 56010546
นางสาวปารณีย์ พัฒนรัชฎาพงษ์ **รหัสนักศึกษา** 56010750

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ
ปีการศึกษา 2559

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.กฤษณ์ เสมอพิทักษ์	
ดร.อภินัย ฤกษ์รัตน์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	แปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายธนเดช	พงษ์พรต	**รหัสประจำตัว** 56010513
	นายธนรรณพ	บุตรประเสริฐ	**รหัสประจำตัว** 56010546
	นางสาวปารณีย์	พัฒนรัชฎาพงษ์	**รหัสประจำตัว** 56010750
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.กฤษณ์	เสมอพิทักษ์	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.อภินัย	ฤกษ์รัตน์	
ปีการศึกษา	2559		

บทคัดย่อ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติถูกนำใช้เพื่อควบคุมระบบต่าง ๆ มากมาย ด้วยเทคโนโลยีนี้สามารถทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานระบบต่าง ๆ ได้สะดวก ในโครงงานนี้จึงนำเสนอการพัฒนาแปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ โดยระบบนี้ประกอบไปด้วยระบบควบคุมการหมุนเวียนของน้ำ ระบบวัดค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ ระบบวัดค่าอุณหภูมิ ระบบวัดค่าความเข้มแสง และไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการทำงานของระบบ การทำงานของระบบขึ้นอยู่กับการควบคุมสารละลายในน้ำให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักในแปลงไฮโดรโปนิกส์ โดยระบบที่สร้างขึ้นสามารถช่วยประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายในการดูแลแปลงผักไฮโดรโปนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Automated Hydroponic System	
Authors	Thanadech	Pongprot
	Tanannop	Butprasirt
	Paranee	Phattanaratchadapong
Thesis Advisor	Asst.Prof. Krit	Smerpitak
	Dr. Apinai	Rerkratn
Year	2016	

ABSTRACT

Nowadays, automatic control technology is applied to control many systems. This technology makes it convenient for users to operate various systems. This project presents automated hydroponic system. The proposed system consists of water recirculation system, pH measurement system, temperature measurement system, light measurement system and microcontroller for control operation of proposed system. The operation of the system depends on the control of the solution in water to be suitable for the hydroponic growth. The proposed system can reduce time and costs for hydroponic plant.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และความกรุณาจากคณาจารย์และบุคคลต่อไปนี้ ผศ.กฤษณ์ เสมอพิทักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่แนะนำแนวคิดเกี่ยวกับการสร้างระบบ ดร.อภินัย ฤกษ์รัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วมที่ให้คำแนะนำและสนับสนุนการดำเนินงานต่าง ๆ ในการจัดทำระบบ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติทุกท่านที่ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์ สุดท้ายนี้ขอขอบคุณนักศึกษารุ่นพี่ชั้นปีที่สี่และรุ่นน้องสาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ได้ให้กำลังใจ และมีส่วนช่วยเหลือให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II
กิตติกรรมประกาศ III
สารบัญ IV
สารบัญรูป VII
สารบัญตาราง X

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์ 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์ 2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง 5
2.1 การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ 5
2.1.1 การจำแนกระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน 6
2.1.2 ข้อดีของการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ 10
2.1.3 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ 11
2.1.4 ขั้นตอนและวิธีการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ 12
2.1.5 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต 16
2.1.6 ผักที่นิยมปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์ 22
2.1.6.1 ผักสลัดคอส ออติเกีย 23
2.1.6.2 ผักสลัด กรีนคอส เปอร์โต 24
2.1.6.3 ผักสลัด เรดโครอล 26
2.1.6.4 ผักสลัด กรีนโครอล 27
2.1.6.5 ผักสลัด เรดโอ๊ค 28
2.1.6.5 ผักสลัด กรีนโอ๊ค 30
2.2 หลักการทำงานของไซฟอน 31
2.3 หลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino 32
2.4 การทำงานของไดโอดเปล่งแสงแบบสามสี 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 หลักการทำงานของรีเลย์ 34
2.6 หลักการทำงานของบลูทูธ 35
2.7 หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว 36
2.8 ระบบฐานข้อมูลภาษา 37
2.8.1 ประโยชน์ของฐานข้อมูล 37
2.8.2 โปรแกรม XAMPP 38
2.8.3 MySQL 38
2.9 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 39
2.9.1 ประวัติความเป็นมาของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 39
2.9.2 โครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 40
2.9.3 App Inventor 42

บทที่ 3 ออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์ 43
3.1 การออกแบบการทำงานของระบบโดยรวม 43
3.2 การออกแบบระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบแมนนวล 43
3.2.1 การเลือกระบบไฮโดรโปนิกส์ 43
3.2.2 การออกแบบแปลงผักไฮโดรโปนิกส์ 45
3.3 การออกแบบระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ 45
3.3.1 การออกแบบโรงเรือน 46
3.3.2 ส่วนของระบบควบคุมการปลูกไฮโดรโปนิกส์ 46
3.3.2.1 การควบคุมแสง 46
3.3.2.2 การควบคุมอุณหภูมิ 49
3.3.2.3 การควบคุมระดับน้ำ 50
3.3.2.4 การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง 51
3.4 การออกแบบแอปพลิเคชัน 52
3.4.1 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรม 53
3.4.2 ส่วนออกแบบแอปพลิเคชัน 53
3.4.3 โมดูล Bluetooth HC-05 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลอง **58**
4.1. การทดลองควบคุมระบบภายในแปลงผักไฮโดรโปนิกส์ 58
4.1.1 การทดลองควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง 58
4.1.2 การทดลองควบคุมแสงสว่าง 61
4.1.3 การทดลองควบคุมอุณหภูมิ 63
4.1.4 การทดลองวัดระดับน้ำ 64
4.2 การทดลองควบคุมระบบภายนอกแปลงผักไฮโดรโปนิกส์ 65
4.2.1 การทดลองไซฟอน 65
4.3 การทดลองแอปพลิเคชัน 67
4.4 สรุปผลการทดลอง 67

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ **68**
5.1 บทสรุป 68
5.2 ปัญหาและอุปสรรค 68
5.3 ข้อเสนอแนะ 68

เอกสารอ้างอิง **69**
ภาคผนวก **71**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 2.1 การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ แบบ NFT 6
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างรางปลูกแบบ NFT 7
รูปที่ 2.3 การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ แบบ DFT 8
รูปที่ 2.4 การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ แบบDRFT 9
รูปที่ 2.5 แผนผังการจำแนกระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน 10
รูปที่ 2.6 การเพาะกล้าในถ้วยเพาะแบบสำเร็จรูป 13
รูปที่ 2.7 แผนผังการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช 13
รูปที่ 2.8 ความต้องการสารละลายธาตุอาหารแต่ละชนิด 15
รูปที่ 2.9 การทดสอบการดูดแสงสีต่าง ๆ ของคลอโรฟิลล์ 17
รูปที่ 2.10 กราฟการดูดแสงสีต่าง ๆ ของคลอโรฟิลล์ 18
รูปที่ 2.11 กราฟแสดงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ 18
รูปที่ 2.12 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อกิจกรรมของเอ็นไซม์ 20
รูปที่ 2.13 ค่า pH 20
รูปที่ 2.14 ตารางแสดงปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในค่า pH ระดับต่าง ๆ 22
รูปที่ 2.15 ผักสลัดคอส ออติเกีย 23
รูปที่ 2.16 ผักสลัด กรีนคอส 24
รูปที่ 2.17 ผักสลัด เรดโครอล 26
รูปที่ 2.18 ผักสลัด กรีนโครอล 27
รูปที่ 2.19 ผักสลัด เรดโอ๊ค 28
รูปที่ 2.20 ผักสลัด กรีนโอ๊ค 30
รูปที่ 2.21 หลักการทำงานไซฟอน 31
รูปที่ 2.22 บอร์ด Arduino UNO R3 33
รูปที่ 2.23 ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino 33
รูปที่ 2.24 หลอด RGB LED 34
รูปที่ 2.25 ตัวอย่างของรีเลย์ชนิดต่าง ๆ 35
รูปที่ 2.26 แสดงวงจรภายในของตัวรีเลย์ 35
รูปที่ 2.27 หลักการของโซลินอยด์ 37
รูปที่ 2.28 Control panel ของ Xampp เวอร์ชัน 3.2.2 38
รูปที่ 2.29 ส่วนประกอบการทำงานของแอนดรอยด์ในแต่ละชั้น 40
รูปที่ 2.30 การเชื่อมต่อโดยรวมของระบบ 42
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของแปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไซฟอน (ก) ฝาท่อไซฟอน (ข) รางปลูกผัก 45
รูปที่ 3.3 แปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แมนนวล 45
รูปที่ 3.4 รางปลูกผัก PVC สีขาว 46
รูปที่ 3.5 แปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ระบบอัตโนมัติ 46
รูปที่ 3.6 โฟลว์ชาร์ตของระบบควบคุมเปิด-ปิด แสงแดดเทียมอัตโนมัติ 47
รูปที่ 3.7 หลอดไฟ LED Grow Light 47
รูปที่ 3.9 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง คือ GY-30 BH1750 48
รูปที่ 3.10 โฟลว์ชาร์ตของระบบควบคุมการเปิด-ปิด สปริงเกอร์อัตโนมัติ 49
รูปที่ 3.11 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT11 49
รูปที่ 3.12 วงจรวัดระดับน้ำ 50
รูปที่ 3.13 โฟลว์ชาร์ตของระบบควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง แบบอัตโนมัติ 51
รูปที่ 3.14 เซนเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง ESEN288 Analog pH Meter Pro 52
รูปที่ 3.15 หน้าจอส่วน Component 53
รูปที่ 3.16 หน้าจอการออกแบบ 54
รูปที่ 3.17 หน้าจอส่วน Component ที่เลือกนำมาใช้ในออกแบบหน้าแอปพลิเคชัน 54
รูปที่ 3.18 หน้าจอส่วนคุณสมบัติของ Component 54
รูปที่ 3.19 โมดูล Bluetooth HC-05 55
รูปที่ 3.20 การเชื่อมต่อ Bluetooth (ก) หน้าจอเลือกอุปกรณ์เชื่อมต่อ (ข) หน้าจอส่วนแสดงผล 56
รูปที่ 3.21 บล็อกคำสั่งกำหนดการเชื่อมต่อ Bluetooth 56
รูปที่ 3.22 บล็อกคำสั่งรับค่าอินพุท 57
รูปที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายภายในระยะเวลา 1 เดือน 58
รูปที่ 4.2 ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายภายในระยะเวลา 1 เดือน 59
รูปที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายภายในระยะเวลา 8 ชั่วโมง 59
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลาย
ในระบบแมนนวลและระบบอัตโนมัติ ภายในระยะเวลา 1 สัปดาห์ 60
รูปที่ 4.5 การทดลองจุ่มเซนเซอร์ลงในถังสารละลายรวม 61
รูปที่ 4.6 การแสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง ผ่านทางหน้าจอ Serial Monitor 61
รูปที่ 4.7 การติดตั้งเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสงบนโรงเรือน 62
รูปที่ 4.8 ตัวอย่างแสดงการเปิดหลอดไฟเมื่อวัดค่าความเข้มแสงต่ำกว่าที่กำหนด 62
รูปที่ 4.9 การแสดงค่าความเข้มแสง ผ่านทางหน้าจอ Serial Monitor 62
รูปที่ 4.10 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายในของโรงเรือน 63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการเปิดสปริงเกอร์พ่นละอองน้ำเข้าสู่แปลงผัก 63
รูปที่ 4.12 โซลินอยด์วาล์วของถังน้ำและถังสารละลายปุ๋ย 64
รูปที่ 4.13 การติดตั้งเซนเซอร์วัดระดับน้ำไว้ภายในถังแต่ละถัง 64
รูปที่ 4.14 หน้าจอแสดงผลระดับน้ำแต่ละถัง 65
รูปที่ 4.15 อุปกณ์ทดสอบไซฟอน 65
รูปที่ 4.16 การไหลของน้ำเมื่อไซฟอนทำงาน 66
รูปที่ 4.17 การหยุดไหลของน้ำเมื่อไซฟอนหยุด 66
รูปที่ 4.18 หน้าต่างแอปพลิเคชัน 67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการ 3
ตารางที่ 2.1 การแบ่งระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน 5
ตารางที่ 2.2 ค่า EC และ pH ของพืชอื่น ๆ แต่ละชนิด 23
ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบระบบการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์กับระบบต่าง ๆ 44
ตารางที่ 3.8 ตารางคุณสมบัติของหลอดไฟ LED Grow Light 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

จากความไม่ยั่งยืนของการผลิตอาหาร เนื่องจากข้อจำกัดในด้านทรัพยากรในปัจจุบัน ทั้งปัจจัยจากการใช้ทรัพยากรดินอย่างไม่เหมาะสม อาทิ การใช้ปุ๋ยเคมีมากขึ้นส่งผลให้ดินเสื่อมโทรม และปัจจัยในเรื่องของปริมาณน้ำฝนที่ไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งยังมีการเปลี่ยนแปลงทุกปีส่งผลทำให้ประเทศไทยนั้นมีโอกาสที่จะเผชิญกับความเสี่ยงด้านความมั่นคงทางอาหารมากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้หากนำแนวทางการปลูกพืชเกษตรในสภาวะควบคุมสภาพแวดล้อม (Controlled Environment Agriculture : CEA) โดยเฉพาะวิธีการการปลูกพืชไร้ดิน (Hydroponics) ซึ่งหมายถึงการปลูกพืชเพื่อให้พืชได้รับสารอาหาร โดยให้สารละลายธาตุอาหารพืชที่มีน้ำผสมธาตุอาหารที่พืชต้องการจากทางรากพืช สำหรับการปลูกพืชลงบนสารละลายดังกล่าวนี้รากพืชจะสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหารได้โดยตรง

ในปริญญานิพนธ์นี้จึงได้นำระบบอัตโนมัติมาช่วยควบคุมปัจจัยการเจริญเติบโตของพืช ทั้งการควบคุมสารละลาย โดยใช้การวัดและควบคุมค่าความเป็นกรด-เบส (Potential of Hydrogen ion : pH) การควบคุมการให้แสงสว่างกับพืชในช่วงเวลากลางคืน หรือช่วงที่มีค่าความเข้มแสงที่ไม่เหมาะสมในการสังเคราะห์แสง โดยนำแสงแดดเทียม (Led Grow Light) ที่มีช่วงความยาวแสงในช่วงที่พืชสามารถดูดกลืนได้มากเป็นพิเศษ ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้เร็ว นอกจากนี้ยังมีการสังเกตอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ให้มีสภาวะพอเหมาะแก่การเจริญเติบโตของพืชพันธุ์ทำให้สามารถเพาะปลูกได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยถ้ามีอุณหภูมิที่ร้อนเกินไปสปริงเกอร์ในระบบจะทำการปล่อยละอองน้ำเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของแปลงผัก ทำให้ผู้ใช้สามารถปลูกผักในหลาย ๆ พื้นที่และได้รับผลผลิตอย่างสม่ำเสมอไม่ขึ้นกับฤดูกาล รวมถึงได้มีการประยุกต์ให้มีการแสดงผลและควบคุมอุปกรณ์วัดผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน ดังนั้นจากการนำระบบอัตโนมัติมาช่วยควบคุมการเจริญเติบโตของพืชพันธุ์นั้นทำให้ไม่ต้องเสี่ยงกับความเสียหายจากสภาพดินฟ้า-อากาศ มีต้นทุนในระยะยาวที่ต่ำลง ทั้งยังลดปัญหาพื้นที่เพาะปลูกที่ขาดความอุดมสมบูรณ์หรือพื้นที่จำกัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อนำเทคโนโลยีในปัจจุบันมาประยุกต์ใช้กับระบบอัตโนมัติ ในการควบคุมการเจริญเติบโตในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์
2. เพื่อควบคุมปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของพืชแบบอัตโนมัติเพื่อให้ได้ผลผลิตที่ดีขึ้นและช่วยลดระยะเวลาในการเจริญเติบโตได้เร็วขึ้น
3. เพื่อแสดงผลสภาพแวดล้อมในกระบวนการเจริญเติบโตของพืชโดยผ่านแอปพลิเคชันเพื่อประโยชน์ในการสังเกตกระบวนการของระบบ

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สามารถวัดและแสดงค่าปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของพืช
2. สร้างแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อแสดงผลค่าที่วัดจากตัวเซนเซอร์ สำหรับการสังเกตการ

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. เลือกหัวโครงงาน
2. ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์
3. ออกแบบแปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบแมนนวล (Manual Hydroponic System)
4. ทดสอบระบบแปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบแมนนวล
5. บันทึกผลการทดลองระบบแปลงผักไฮโดรโปนิกส์แบบแมนนวล
6. ออกแบบแปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ (Automated Hydroponic System)
7. ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์และเซนเซอร์ในการควบคุมระบบแปลงผักไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ
8. สร้างชุดคำสั่งสำหรับปฏิบัติการและทดลอง
9. ทดลองระบบ พร้อมแก้ไขปัญหา
10. บันทึกผลการทดลองระบบแปลงผักไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ
11. ทำซอฟแวร์ของระบบ และจัดทำแอปพลิเคชั่น
12. ทดลองระบบโดยรวม พร้อมบันทึกผลการปฏิบัติการ
13. สรุปผลการทดลอง
14. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์และแก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการ

แผนการดำเนินการ	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1) เลือกหัวโครงงาน									
2) ศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์									
3) ออกแบบแปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบแมนนวล									
4) ทดสอบระบบแปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบแมนนวล									
5) บันทึกผลการทดลอง									
6) ออกแบบแปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ									
7) ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์และเซนเซอร์									
8) สร้างชุดคำสั่งสำหรับปฏิบัติการและทดลอง									
9) ทดลองระบบ พร้อมแก้ไขปัญหา									
10) บันทึกผลการทดลอง									
11) จัดทำแอปพลิเคชัน									
12) ทดลองระบบโดยรวม พร้อมบันทึกผลการปฏิบัติการ									
13) สรุปผลการทดลอง									
14) จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์และแก้ไข									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถตอบสนองปัญหาความไม่ยั่งยืนของการผลิตอาหารจากข้อจำกัดในด้านทรัพยากร โดยใช้แนวทางการปลูกพืชเกษตรในสภาวะควบคุมสภาพแวดล้อม (Controlled Environment Agriculture : CEA) มาประยุกต์ใช้กับระบบอัตโนมัติในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชได้
2. สามารถนำเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ และสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้อง
3. เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ และศึกษาต่อไปในอนาคตให้กับผู้ที่สนใจต่อไป
4. ได้รับความรู้ และทักษะในการใช้อุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบันการปลูกพืชไร้ดินแบบไฮโดรโปนิกส์นั้นเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรมเกษตรทั้งขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก เนื่องจากไม่มีการปนเปื้อนกับสารเคมีต่าง ๆ ในดิน ทำให้ได้ผลผลิตพืชผักที่สะอาดสำหรับการอุปโภค และบริโภคของมนุษย์

2.1 การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) [1]

ไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) มาจากภาษากรีก คำว่า "Hydro" แปลว่า น้ำรวมกับคำว่า "Ponos" ที่แปลว่า งาน เมื่อรวมกันจึงหมายถึง การทำงานของน้ำ สารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืช โดยปกติแล้วการที่พืชเจริญเติบโตได้ดีนั้นต้องอาศัยปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมหลายอย่าง เช่น แสงแดด อุณหภูมิ น้ำ และธาตุอาหารพืช การที่พืชนำธาตุอาหารไปใช้ประโยชน์ได้นั้นต้องคำนึงถึงเรื่องความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินหรือสารละลายธาตุอาหารที่ใช้ปลูกพืช การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิกส์ ทำให้พืชได้รับธาตุอาหารในรูปสารละลายเรียกว่า "สารละลายธาตุอาหารพืช" ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที เพราะมีการปรับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC) และ pH ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชอยู่ตลอดเวลา

เมื่อเปรียบเทียบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน (Soilless culture) คือ การปลูกพืชโดยให้พืชได้รับสารอาหารหรือสารละลายธาตุอาหารที่พืชต้องการจากราก โดยพืชที่ปลูกสามารถอยู่ได้ทั้งวัสดุปลูกหรือไม่มีวัสดุปลูก ซึ่งองค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) ได้แบ่งระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การแบ่งระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน [1]

การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน	การปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์
ก. การปลูกพืชในสารละลาย ข. การปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูก -วัสดุที่เป็นสารเฉื่อย เช่น ทราย กรวด -วัสดุที่เป็นสารอินทรีย์ธรรมชาติ เช่น ปุ๋ยหมัก	ก. การปลูกพืชในสารละลาย ข. การปลูกพืชโดยใช้วัสดุปลูก -วัสดุที่เป็นสารเฉื่อย เช่น ทราย กรวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัสดุปลูก หมายถึง วัสดุที่ใช้เป็นที่ยึดเกาะของระบบรากพืช โดยวัสดุนี้ต้องไม่ใช่ดิน ดังนั้นความหมายของไฮโดรโปนิกส์ตามคำจำกัดความของ FAO ไม่ได้หมายถึงการปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหารเพียงอย่างเดียว แต่มีความหมายรวมถึงการปลูกพืชบนวัสดุปลูกบางชนิด เช่น ทราย กรวด ร็อกวูลล์ ซึ่งเป็นวัสดุเฉื่อยด้วยเช่นกัน ดังนั้นระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ คือ ระบบการปลูกพืชที่พืชได้รับธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมจากสารละลายที่มนุษย์เตรียมให้ทั้งหมด

2.1.1 การจำแนกระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน

ระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินสามารถจำแนกได้เป็น 3 แบบ คือ

1) การปลูกพืชโดยให้รากแช่อยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืช (Water culture)

1.1 ระบบน้ำตื้น NFT (Nutrient film technique) แสดงดังรูปที่ 2.1 พัฒนาขึ้นโดย Allen Cooper สถาบันวิจัยการปลูกพืชในเรือนกระจก (GCRI) ในประเทศอังกฤษ เมื่อประมาณ ค.ศ. 1965 โดยหลักการของวิธีนี้ คือ การปล่อยให้น้ำผสมธาตุอาหารพืชไหลไปในรางปลูก สารละลายในรางปลูกมีความลึกประมาณ 0.5 cm วิธีนี้ช่วยให้ราก และน้ำมีการสัมผัสกับอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารให้มากขึ้น การปลูกแบบนี้จึงช่วยลดปัญหาการขาดอากาศของรากพืชได้ดี นอกจากนี้เมื่อปริมาตรของสารละลายที่ไหลผ่านรากพืชมีน้อยลง ทำให้ไม่ต้องสร้างรางปลูกที่มีขนาดใหญ่และแข็งแรง ค่าก่อสร้างรางปลูกจึงประหยัดกว่าการปลูกแบบ DFT

รูปที่ 2.1 การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ แบบ NFT (Nutrient Film Technique : NFT) [1]

ระบบ NFT มีข้อด้อยในการใช้ในเขตร้อนอย่างประเทศไทย เนื่องจากน้ำที่ไหลในระบบรางมักจะมีความร้อนสะสมมาก ทำให้รากพืชขาดอากาศ อีกทั้งคุณสมบัติของสารละลายเมื่อไหลผ่านรากพืช และอุณหภูมิของสารละลายที่สูงขึ้นเป็นระยะเวลานาน ๆ ทำให้คุณสมบัติทางเคมีในธาตุอาหารพืชมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม จึงต้องมีการเปลี่ยนธาตุอาหารบ่อยในช่วงที่อากาศร้อน ดังนั้นการปลูกด้วยระบบ NFT ในเขตร้อนนั้น จึงไม่ควรต่อรางปลูกให้ยาวมากเกินไป ทำให้มีความร้อนสะสมในรางปลูกมาก นอกจากนี้ยังทำให้ออกซิเจนจากหัวรางถึงท้ายรางต่างกันมากเกินไป จนกระทบต่อการเจริญเติบโตของผักในแปลงปลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องด้วยระบบ NFT เป็นระบบที่มีน้ำในรางปลูกน้อย เมื่อเกิดปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง ทำให้ระบบปั๊มน้ำหยุดการทำงาน หากหยุดเป็นระยะเวลานาน ๆ จะทำให้รากพืชแห้งจนพืชที่ปลูกนั้นตายได้ ดังนั้นการปลูกด้วยระบบนี้จึงควรมีระบบสำรองไฟฟ้าไว้ใช้ในกรณีที่ไฟฟ้าเกิดขัดข้อง

นอกจากนี้การปลูกยังจำเป็นต้องมีความรู้ในเรื่องการจัดการธาตุอาหารพืชเป็นอย่างดี โดยเฉพาะกรณีที่ปลูกพืชอายุยืน เช่น มะเขือเทศ, พริก ฯลฯ สำหรับการปลูกพืชอายุสั้น เช่น ผักต่าง ๆ การปลูกเพียงแต่ควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (EC) และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ตัวอย่างรางปลูกแบบ NFT แสดงดังรูปที่ 2.2

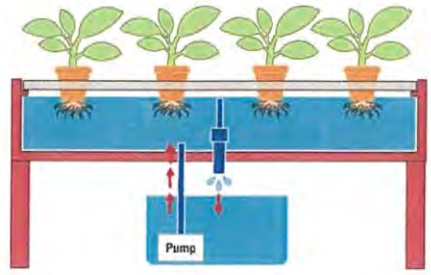
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างรางปลูกแบบ NFT [1]

รางปลูก NFT สามารถทำจากวัสดุต่าง ๆ ได้หลายชนิด เช่น โพลีเอธิลีน (PE), โพลีไวนิลคลอ-ไรด์ (PVC) ไฟเบอร์กลาส ฯลฯ ควรหลีกรางที่ทำจากโลหะ เนื่องจากเกิดสนิมได้ง่าย อีกทั้งยังมีความร้อนสะสมมาก ความกว้างของรางปลูก NFT สำหรับปลูกผักขนาดเล็กทั่วไปอยู่ระหว่าง 10-15 cm และรางปลูกความกว้าง 20-30 cm สำหรับการปลูกพืชขนาดใหญ่ เช่น มะเขือเทศ, แตงกวา, แคนตาลูป ฯลฯ

ความยาวของรางที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 10 m ทั้งนี้เนื่องจากรางปลูกที่ยาวเกินไปทำให้พืชเจริญเติบโตไม่สม่ำเสมอ การติดตั้งรางควรให้มีความลาดเอียงที่เหมาะสม เพื่อให้สารละลายไหลจากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่งของรางได้อย่างสะดวก เพื่อให้ออกซิเจนสามารถละลายลงไปในสารละลายได้ดี และสารละลายไม่ขังอยู่ ณ จุดใดจุดหนึ่งภายในราง รางปลูก NFT จะมีการออกแบบให้มีร่องเล็ก ๆ ภายในรางเพื่อช่วยแก้ปัญหาอัตราการไหลไม่สม่ำเสมอภายในรางปลูก

1.2 ระบบน้ำลึก DFT (Deep Flow Technique) คือ เทคนิคการปลูกโดยให้รากพืชแช่อยู่ในภาชนะบรรจุสารละลายธาตุอาหารพืช โดยที่ระดับสารละลายในภาชนะปลูกควรมีความลึกประมาณ 15-20 cm แสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งระบบ DFT นี้มี 2 แบบ คือ มีการหมุนเวียนสารละลายธาตุอาหาร และแบบเติมอากาศ การปลูกผักโดยวิธีนี้เหมือนการปลูกแบบลอยน้ำ ซึ่งสามารถปลูกได้ดีในที่ที่มีแดดจัด โดยวิธีนี้ช่วยให้มีช่องว่างระหว่างแผ่นปลูกกับสารละลายธาตุอาหารพืชประมาณ 3-5 cm เพื่อให้รากผักบางส่วนถูกอากาศ และบางส่วนอยู่ในสารละลายธาตุอาหารพืช ผักที่ปลูกได้ดีและนิยมปลูกในระบบนี้ ได้แก่ ผักไทย (ผักกินใบที่มีอายุสั้น ประมาณ 20-30 วัน) เช่น ผักคะน้า, ผักบุ้ง, ผักโขม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ แบบ DFT (Deep Flow Technique : DFT) [1]

จุดเด่นของการปลูกด้วยระบบน้ำลึก DFT เป็นระบบที่สามารถดัดแปลงนำอุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายมาดัดแปลงเป็นอุปกรณ์ในการปลูกได้สะดวก เช่น ลังพลาสติก, กล่องโฟม, อ่างน้ำพลาสติก, ถังน้ำ, ขวดน้ำ ฯลฯ และไม่มีปัญหาเรื่องการขาดน้ำที่รากในขณะที่ไฟฟ้าถูกตัดขาด เนื่องจากรากจะแช่อยู่ในน้ำที่มีปริมาณมาก มีการพักระบบปั๊มน้ำ หรือระบบเติมอากาศในช่วงกลางคืนได้ เนื่องจากรากพืชต้องการออกซิเจนต่ำในช่วงเวลาดังกล่าว ทำให้ประหยัดไฟฟ้าได้ในระดับหนึ่ง อีกทั้งระบบปลูก DFT มีความยืดหยุ่นในการปลูกพืชได้หลากหลายชนิด

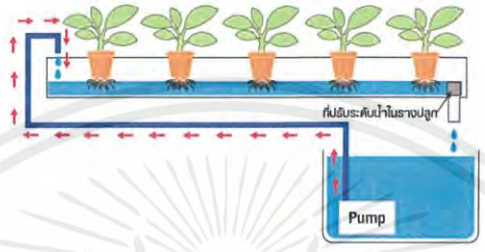
ข้อเสียเปรียบของการปลูกด้วยระบบน้ำลึก DFT คือ การปลูกต้องคอยปรับระดับน้ำให้เหมาะสมกับอายุพืช เนื่องจากเมื่อพืชเจริญเติบโตปริมาณรากมากขึ้น ทำให้พืชต้องการปริมาณออกซิเจนที่รากมากขึ้น ทำให้ผู้ปลูกต้องปรับลดระดับน้ำที่ใช้ปลูกลงเพื่อให้เกิดพื้นที่อากาศระหว่างรากกับผิวน้ำเพิ่มขึ้น และต้องมีการปรับให้เหมาะสมทั้งเรื่องระยะเวลาในการปรับลดและปริมาณที่ปรับลด ซึ่งถ้าผู้ปลูกทำการลดไม่เหมาะสมคือลดระดับน้ำเร็วเกินไปขณะที่พืชยังเจริญเติบโตไม่เต็มที่หรือลดระดับน้ำช้าไปเมื่อพืชโตเกินไปแล้ว ย่อมส่งผลให้พืชหยุดชะงักการเจริญเติบโตได้ ดังนั้นในช่วงเวลาของการปรับลดระดับน้ำผู้ปลูกต้องสังเกตุอาการที่แสดงออกของพืชเป็นหลัก และควรปรับลดระดับน้ำลงในช่วงเวลาเย็นเนื่องจากพืชสามารถปรับตัวได้ดีกว่าช่วงกลางวัน พืชทานใบ เช่น สลัด, ผักกวางตุ้ง, คะน้า ฯลฯ ทำการลดระดับน้ำลง เมื่อผักอายุปลูกได้ประมาณ 28-30 วัน (นับจากวันที่เพาะเมล็ด) เมื่อพืชมีอายุปลูกได้ประมาณ 40-50 วัน และระดับน้ำนั้นให้มีช่วงว่างอากาศจากผิวน้ำและแผ่นปลูกประมาณ 1-2 inch โดยให้รากแช่ในน้ำประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของราก

การใช้โครงสร้างของโต๊ะปลูกที่แข็งแรง เนื่องจากต้องรับน้ำหนักของน้ำในกระบะปลูกที่มีน้ำหนักค่อนข้างมาก และต้องตั้งวางโต๊ะปลูกบนพื้นที่ ๆ มีพื้นแข็งไม่ยุบตัว หากต้องวางบนพื้นดินที่อ่อนตัวต้องมีการเทคอนกรีต เพื่อให้พื้นแข็งแรงพอที่จะรับน้ำหนักของโต๊ะปลูกได้ และเป็นระบบปลูกที่ต้องใช้ปริมาณน้ำและปุ๋ยค่อนข้างมาก เมื่อเทียบกับการปลูกด้วยระบบอื่น ๆ ส่วนการระบายอากาศจากด้านล่างของแปลงปลูกระบบ DFT ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากถูกบังด้วยแผ่นโฟมหรือพลาสติกที่ใช้ปลูก ทำให้การระบายอากาศจากด้านล่างแปลงปลูกขึ้นด้านบนไม่สามารถทำได้ จึงมักเกิดปัญหาการระบาดของเชื้อราที่ใบได้ง่าย โดยเฉพาะการปลูกผักสลัด หรือพืชที่มีลักษณะเป็นพุ่มเตี้ย

1.3 ระบบกึ่งน้ำลึก DRFT (Dynamic Root Floating Technique) เป็นระบบที่มีการทำงานเช่นเดียวกับระบบ NFT คือ ให้น้ำผสมธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชในรางปลูก แต่ระดับน้ำที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไหลผ่านรากพืชนั้นจะมีความลึกมากกว่าระบบ NFT แสดงดังรูปที่ 2.4 โดยระดับน้ำที่ไหลผ่านรากนั้นจะมีความลึกอยู่ที่ประมาณ 1-10 cm ระบบนี้ได้แก้ไขข้อจำกัดของระบบ NFT ตรงที่เมื่อไฟฟ้าขัดข้องจนไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้ปั๊มน้ำได้จะยังคงมีน้ำที่ใช้ปลูกพืชเหลือค้างบางส่วนในรางปลูกทำให้พืชรากพืชไม่ขาดน้ำในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ระบบ DRFT นี้ผู้ปลูกต้องมีการปรับลดระดับน้ำในรางปลูกเช่นเดียวกับระบบ DFT ด้วย เพื่อเป็นการเพิ่มปริมาณอากาศที่รากพืช เมื่อพืชมีอายุปลูกมากขึ้น



รูปที่ 2.4 การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ แบบDRFT (Dynamic Root Floating Technique : DRFT) [1]

ระบบกึ่งน้ำลึก DRFT ใช้หลักการทำงานเช่นเดียวกับระบบ NFT แต่ด้วยระดับน้ำที่สูงขึ้นและมีน้ำส่วนหนึ่งที่ค้างอยู่ในรางปลูกทำให้ลดเมื่อปั๊มน้ำไม่สามารถจ่ายน้ำเข้ารางปลูกได้ สามารถใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นมาดัดแปลงเป็นรางปลูก และมีราคาประหยัดกว่ารางปลูกแบบ NFT เช่น ท่อน้ำ PVC, รางน้ำฝนไวนิล, รางครอบสายไฟ ฯลฯ ส่วนโครงสร้างของโต๊ะปลูกสามารถทำจากวัสดุที่ไม่จำเป็นต้องแข็งแรงมาก เนื่องจากไม่ต้องรับน้ำหนักของน้ำที่มากเหมือนกับระบบ DFT มีการใช้น้ำและปุ๋ยน้อยกว่าระบบ DFT จึงทำให้สามารถควบคุมค่า EC รวมถึง pH ได้ง่ายกว่าระบบ DFTแต่ระบบกึ่งน้ำลึก DRFT ต้องมีความเข้าใจในการปรับลดระดับน้ำในรางปลูกให้เหมาะสมกับอายุพืช เพื่อให้พืชที่ปลูกสามารถเจริญเติบโตได้ดีและเป็นปกติรวมถึงมีปัญหาเรื่องความร้อนสะสมเช่นเดียวกับระบบ NFT

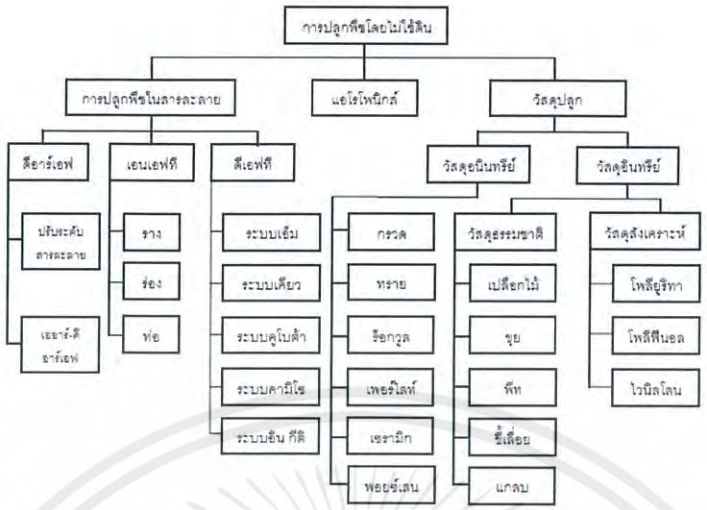
2) แอโรโพนิกส์ (Aeroponic) คือ ระบบที่รากลอยอยู่ในอากาศ ในห้องที่รากอยู่ในความมืด และมีการพ่นสารละลายธาตุอาหารพืชเป็นระยะ ๆ เพื่อควบคุมความชื้น

3) วัสดุปลูก (Substrate culture)

- วัสดุปลูกที่เป็นอินทรีย์สาร (Organic substrate)
- วัสดุปลูกที่เป็นอนินทรีย์สาร (Inorganic substrate)

แผนผังการจำแนกระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินของทั้ง 3 แบบ แสดงดังรูปที่ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แผนผังการจำแนกระบบการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน [1]

2.1.2 ข้อดีของการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์

1. สามารถปลูกพืชได้ต่อเนื่องตลอดปี เมื่อเก็บผลผลิตพืชแล้วสามารถปลูกพืชรุ่นต่อไปได้ทันที เนื่องจากไม่ต้องทำการพักดิน ตากดิน กำจัดวัชพืช และเตรียมแปลงปลูกใหม่ อีกทั้งแหล่งอาหารของพืชได้จากสารละลายธาตุอาหารจึงสามารถปลูกพืชได้ทุกฤดูกาล
2. สามารถปลูกพืชในพื้นที่ที่ดินไม่เหมาะสม หรือพื้นที่ไม่สามารถทำการเพาะปลูกพืชได้ เนื่องจากดินขาดความอุดมสมบูรณ์ เช่น ดินทะเลทราย พื้นที่เป็นหิน ภูเขา ดินเค็ม ดินเป็นกรด-ด่าง อยู่ในเขตแห้งแล้ง หรือขาดแคลนน้ำ นอกจากไม่ต้องใช้ดินเป็นแหล่งอาหารสำหรับพืชแล้วยังเป็นวิธีใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ
3. พืชเจริญเติบโตได้เร็ว ให้ผลผลิตสูง และได้ผลผลิตที่มีความสม่ำเสมอ มีคุณภาพดีกว่าการปลูกพืชแบบใช้ดินทั่วไป และการปลูกพืชแบบใช้ดินทั่วไปไม่สามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้พอดีกับความต้องการของพืชได้ทั้งยังมีการสูญเสียธาตุอาหารจากกระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในดินและในอากาศ ตลอดจนการแย่งธาตุอาหารจากวัชพืช แต่การปลูกพืชด้วยวิธีไฮโดรโปนิกส์สามารถกำหนดปริมาณธาตุอาหารให้ตรงกับความต้องการของพืชได้ และพืชได้รับสารอาหารในรูปอนินทรีย์ โดยตรงทำให้การใช้ปุ๋ยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ [4]
4. ลดค่าแรงงาน เนื่องจากในระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ไม่ต้องมีการเตรียมแปลงปลูกขนาดใหญ่จึงไม่ต้องจ่ายค่ารถไถเตรียมดิน ค่ากำจัดวัชพืช งานดินต่าง ๆ ทั้งการใส่ปุ๋ยและยกร่อง เป็นต้น
5. ระบบการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ประหยัดน้ำกว่าการให้น้ำกับพืชที่ปลูกทางดินไม่น้อยกว่า 10 เท่า ซึ่งจะมีผลทำให้การปลูกพืชในฤดูแล้งหรือนอกฤดูปลูกปกติสามารถทำได้ และยังมีผลตอบแทนสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช เนื่องจากสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมของพื้นที่เพาะปลูกและสามารถควบคุมศัตรูพืชได้ง่าย เพราะการไม่ใช้ดินในการปลูกพืชทำให้ไม่มีปัญหาโรคแมลงที่อยู่ในดิน ตลอดจนไม่มีปัญหาวัชพืช สำหรับโรคแมลงที่ระบาดทางอากาศก็สามารถลดใช้สารเคมีกำจัดได้โดยใช้โรงเรือนตาข่าย

2.1.3 วัสดุอุปกรณ์สำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

วัสดุและอุปกรณ์สำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ขึ้นอยู่กับลักษณะของการปลูก ซึ่งสิ่งที่ควรคำนึงถึง คือ ควรมีราคาที่ไม่สูงมาก แต่มีคุณภาพดีและหาซื้อได้สะดวก ประกอบด้วย 10 ประเภท ได้แก่

1) โรงเรือน ในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ต้องใช้โรงเรือนสำหรับเพาะกล้า อนุบาลต้นกล้าและปลูก ซึ่งรูปแบบของโรงเรือนต้องเหมาะสม มีความแข็งแรง สามารถควบคุมภูมิอากาศภายในโรงเรือนให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของผักที่ปลูก นอกจากนี้โรงเรือนยังสามารถป้องกันศัตรูพืชได้ พื้นที่ตั้งโรงเรือนต้องมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมคือมีการถ่ายเทอากาศดี อยู่ในที่โล่งแจ้ง มีการคมนาคมที่สะดวก มีแหล่งน้ำอย่างเพียงพอและมีไฟฟ้า แต่สำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ในบริเวณบ้านนั้น ไม่จำเป็นต้องสร้างโรงเรือนขนาดใหญ่ เนื่องจากเป็นการปลูกเพื่อไว้รับประทานกันเองภายในครอบครัว หรือเพื่อเป็นงานอดิเรกเท่านั้น เพียงแต่สร้างโครงมุ้งเพื่อป้องกันแมลงและการกระแทกของน้ำฝน

2) ภาชนะและวัสดุที่ใช้ในการปลูก

- ภาชนะที่ใช้ในการปลูก ควรเป็นภาชนะที่เหมาะสมต่อระบบปลูกมีความแข็งแรง สะอาด และทำความสะอาดได้ง่าย ไม่ผุกร่อน หรือไม่เป็นอันตรายต่อรากผักและสภาพแวดล้อม นอกจากนี้ควรมีราคาถูก หาซื้อได้ง่าย สะดวกต่อการติดตั้งและการใช้งาน
- วัสดุปลูก (Growing media) ต้องเป็นวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการให้ออกซิเจนธาตุอาหารและช่วยในการเจริญเติบโตของรากผัก ตลอดจนเป็นที่เกาะยึดค้ำยันต้นพืช ลักษณะของวัสดุปลูกที่ดี คือ เป็นที่เกาะยึดค้ำยันต้นผัก เป็นแหล่งสะสมน้ำและอาหาร และเป็นแหล่งที่ให้อากาศแก่ผัก

3) ปุ๋ยหรือธาตุอาหารพืช จัดว่าเป็นหัวใจสำคัญสำหรับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ เนื่องจากเป็นการจัดการในการให้ปุ๋ยเคมีต่าง ๆ เพื่อทดแทนธาตุอาหารที่มีอยู่ในดิน เพราะการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์เป็นการให้ผักที่ปลูกได้รับสารอาหารพืช หรือสารละลายธาตุอาหารพืช (nutrient solution) ที่ได้จากการนำธาตุอาหาร (แม่ปุ๋ย) ผสมกับน้ำ

4) น้ำ น้ำที่ใช้ต้องมาจากแหล่งน้ำที่ดี มีคุณภาพดีและมีปริมาณเพียงพอต่อการปลูก ก่อนที่นำมาใช้ในการปลูกผัก ควรมีการนำตัวอย่างน้ำไปตรวจคุณภาพเสียก่อน

5) ระบบไฟฟ้า เพื่อเป็นต้นกำลังของพลังงานที่ขาดไม่ได้ ควรมีระบบไฟสำรองสำหรับบางช่วงที่มีปัญหาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6) ปั๊ม ใช้สำหรับส่งและก่อให้เกิดการไหลเวียนของสารละลายธาตุอาหารของพืช และให้ออกซิเจนแก่รากพืช

7) เมล็ดพันธุ์ผัก หรือกล้าผักที่จะใช้ปลูกควรเลือกพันธุ์ที่ตลาดต้องการ ต้นกล้ามีความสำคัญต่อการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์มาก เนื่องจากทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตและตั้งตัวได้เร็ว เมล็ดพันธุ์ที่ดีต้องมีลักษณะตรงตามพันธุ์มีโอกาสในการงอกสูง

8) วัสดุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช

- ถังใส่สารละลายธาตุอาหารพืช ขนาดของถังขึ้นอยู่กับระบบของการปลูกเพื่อกักเก็บสารละลายธาตุอาหารให้เพียงพอ โดยทั่วไปจะฝังถังใส่สารละลายธาตุอาหารพืชไว้ใต้ดิน เพื่อลดอุณหภูมิของสารละลายและช่วยลดการระเหยของสารละลายได้อีกด้วย
- ถุงมือเพื่อใช้ในการเตรียม รักษาหรือควบคุมค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เนื่องจากการปรับค่าความเป็นกรดด่างของสารละลายบางครั้งต้องใช้กรดเป็นตัวปรับเมื่อสารละลายมีความเป็นด่างมากเกิน
- เครื่องชั่ง วัด ตวง ใช้ตวงปริมาณปุ๋ยหรือสารอาหารที่ใช้ในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

9) วัสดุ อุปกรณ์สำหรับควบคุมอุณหภูมิโรงเรือนสารละลายธาตุอาหารและวัสดุปลูก เนื่องจากประเทศไทยมีอุณหภูมิสูงจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเรือน

10) อุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดและควบคุมสารละลายธาตุอาหารพืชซึ่งเป็นเครื่องมือตรวจวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายธาตุอาหารพืช (pH meter) และเครื่องมือตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารพืช (Electrical Conductivity meter)

2.1.4 ขั้นตอนและวิธีการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์นั้นต้องมีการจัดการในส่วนของผัก และจัดเตรียมส่วนของสารละลายธาตุอาหาร ประกอบด้วยทั้งหมด 3 ขั้นตอน

1) การจัดการพืช ความสำเร็จของการผลิตอยู่ที่ความแข็งแรงและความสมบูรณ์ของต้นกล้า เพราะจะทำให้ผักสามารถเจริญเติบโตและตั้งตัวได้เร็ว การเพาะกล้าในถ้วยเพาะแบบสำเร็จรูปแสดงดังรูปที่ 2.6 วัสดุที่ใช้เพาะส่วนใหญ่นิยมใช้ เพอร์ไลท์ เวอร์มิคูไลท์ หรืออาจใช้เพอร์ไลท์ผสมกับเวอร์มิคูไลท์ (อัตรา 1 : 4) หรือกรวด

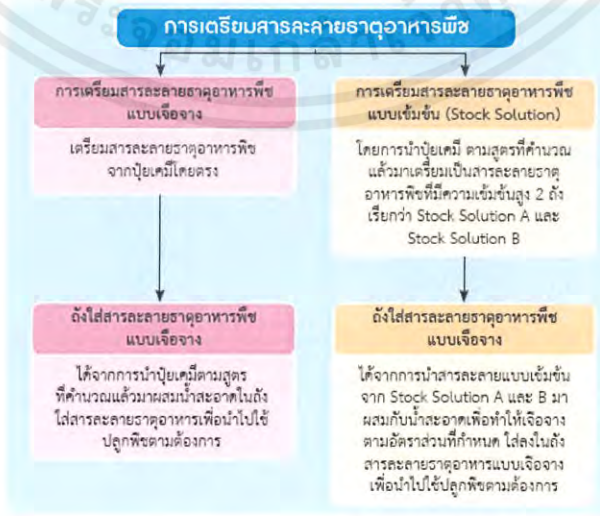
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 การเพาะกล้าในถ้วยเพาะแบบสำเร็จรูป [1]

โดยขั้นตอนการปลูกพืชด้วยถ้วยเพาะแบบสำเร็จรูป มีดังนี้

- ใส่วัสดุเพาะลงในถ้วยเพาะสำเร็จรูปต่ำกว่าขอบบนของถ้วยประมาณ 1 เซนติเมตร
- ใส่เมล็ดลงในวัสดุเพาะที่อยู่ในถ้วยเพาะ ถ้วยละ 1 เมล็ด โดยให้เมล็ดลึกประมาณ 0.5 เซนติเมตร
- นำถ้วยเพาะเมล็ดไปวางในกระบะเพาะ ใส่น้ำสูงประมาณ 2 เซนติเมตร วางในที่มีแสงแดดรำไร มีการระบายอากาศดี มีวัสดุกันฝนและแรงลม
- เมื่อเมล็ดเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าควรเริ่มให้สารละลายธาตุอาหารพืชแบบเจือจางผ่านรากผักในถาดเพาะก่อน เพื่อช่วยให้รากแข็งแรง และควรทำการเปลี่ยนสารอาหารสัปดาห์ละครั้งรวมทั้งควรให้ต้นกล้าได้รับแสงแดดรำไรไม่ร้อนจัด
- เมื่อต้นกล้ามีลักษณะที่แข็งแรง หรือมีอายุประมาณ 2-3 สัปดาห์ ให้ทำการย้ายต้นกล้าไปยังแปลงปลูก
- สามารถเก็บผลผลิตได้เมื่อพืชมีอายุ 35-45 วัน (5-6 สัปดาห์) หลังเพาะเมล็ด

2) การจัดการด้านสารละลายการเตรียมสารละลายธาตุ อาหารเพื่อใช้ปลูกพืชมี 2 แบบ คือ การเตรียมสารละลายแบบเจือจางและการเตรียมสารละลายแบบเข้มข้น (Stock Solution) วิธีการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช แผนผังการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แผนผังการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืช [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขั้นตอนการจัดเตรียมสารละลายมีดังนี้

- การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเจือจางเป็นการเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชเพื่อใช้ในถังที่ใช้ปลูกพืชโดยตรง การเตรียมลักษณะนี้เป็นการเตรียมที่สะดวก แต่ต้องทำการเตรียมบ่อย ๆ เริ่มจากเมื่อทราบปริมาณของธาตุอาหาร คำนวณน้ำหนักและจัดหาปุ๋ยเคมี ผสมปุ๋ยเคมีทั้งหมดในน้ำสะอาดแล้วเติมน้ำจนครบ
- การเตรียมสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้นการเตรียมสารละลายธาตุอาหารที่มีความเข้มข้น (Stock Solution) เริ่มจากการเตรียมสารละลายธาตุอาหารแบบเข้มข้นไว้ 2 ถัง เรียกว่า Stock Solution A และ Stock Solution B และเมื่อต้องการใช้ก็จะเอา Stock Solution มาผสมให้เจือจางตามอัตราส่วนที่กำหนดตามความต้องการสาเหตุที่ต้องแยกออกเป็น Stock Solution A และ Stock Solution B เพื่อเป็นการป้องกันการทำปฏิกิริยาทางเคมีของสาร โดยจะแยกแคลเซียมและเหล็กไว้ด้วยกัน ส่วนอีกถังทำการผสมธาตุอาหารอื่น ๆ ทั้งหมด ส่วนโพแทสเซียมไนเตรทที่ไม่ทำปฏิกิริยาทำการเฉลี่ยใส่ทั้ง 2 ถัง

3) การคำนวณหาปริมาณสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้นและแบบเจือจาง สำหรับการหาปริมาณสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้นถังที่ 1 (Stock Solution A) และ 2 (Stock Solution B) เพื่อนำไปใช้ผสมเป็นสารละลายธาตุอาหารเจือจาง เพื่อนำไปใช้ปลูกพืชมีหลักการ ดังนี้

ปริมาณสารละลายธาตุอาหารพืชแบบเข้มข้น = อัตราส่วนในการเจือจาง x ความจุถัง

การจัดการสารละลายธาตุอาหารพืชผักให้เจริญเติบโตได้ดีนั้นต้องได้รับธาตุอาหารที่เพียงพอและเหมาะสมต่อความต้องการและมีปริมาณออกซิเจนในสารละลายอย่างเพียงพอในสารละลายธาตุอาหารพืช จำเป็นต้องมีการควบคุมค่า pH และ EC ของสารละลายเพื่อให้ผักสามารถดูดปุ๋ยหรือสารละลายธาตุอาหารพืชได้ดี ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ดังนี้

- ความเป็นกรดด่างของน้ำ (Potential of Hydrogen ion: pH) ของสารละลายธาตุอาหารพืชต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารพืชการรักษาหรือควบคุมค่า pH ของสารละลายธาตุอาหารพืช โดย pH = 7 หมายถึง สารละลายมีความเป็นกลาง pH ต่ำกว่า 7 หมายถึง สารละลายมีความเป็นกรดและ pH สูงกว่า 7 หมายถึง สารละลายมีความเป็นด่าง ต้องมีการควบคุม pH เนื่องจากส่งผลให้ผักสามารถดูดใช้ปุ๋ยหรือสารอาหารได้ดี เพราะค่า pH หรือความเป็นกรดเป็นด่างในสารละลายจะเป็นค่าที่บอกให้ทราบถึงสถานะของธาตุอาหารที่อยู่ในรูปที่พืชสามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ ถ้าค่า pH สูงหรือต่ำเกินไปธาตุอาหารพืชบางชนิดอาจอยู่ในรูปที่ไม่เป็นประโยชน์หรืออาจทำให้เกิดการตกตะกอนสาเหตุที่ทำให้ค่าของ pH ในสารละลายเปลี่ยนแปลง เนื่องจากการที่รากพืชดูดธาตุอาหารในสารละลายธาตุอาหารพืชแล้วปล่อยไฮโดรเจน (H^+) และ ไฮดรอกไซด์ (OH^-) สู่สารละลายธาตุอาหารพืช ทำให้ค่า pH เปลี่ยนแปลงไป โดยทั่วไปควรรักษาค่า pH ของสารละลายให้มีค่า pH = 6 แต่ในคำแนะนำของบางประเทศ เช่น ประเทศญี่ปุ่นจะควบคุมให้สารละลายมีค่า pH = 5.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 6.5 ประเทศเบลเยี่ยมจะควบคุมให้สารละลายมีค่า pH = 5.0 และ 5.5 การปรับเพิ่มค่าของ pH ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารพืชมีความเป็นกรดมากเกิน สามารถปรับขึ้นได้โดยใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมไบ-คาร์บอเนต ($NaHCO_3$) หรือ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) สารใดสารหนึ่งลงไปในสารละลายธาตุอาหารพืชการปรับลดค่าของ pH ในกรณีที่สารละลายธาตุอาหารพืชมีความเป็นด่างมากเกิน เราสามารถปรับขึ้นได้โดยการเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) หรือ กรดอซิติก (CH_3COOH) สารใดสารหนึ่งลงไปในสารละลายธาตุอาหารพืช เครื่องมือที่ใช้วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างคือ pH meter ก่อนใช้ควรปรับเครื่องมือให้มีความเที่ยงตรงก่อน โดยใช้น้ำยามาตรฐานหรือที่เรียกว่า"สารละลายบัฟเฟอร์มาตรฐาน" (Buffer Solution)

- การควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC) ของสารละลายธาตุอาหารพืช การที่ต้องควบคุมค่า EC เนื่องจากต้องการให้มีปริมาณสารอาหารครบตามที่พืชต้องการ แต่เป็นการควบคุมค่ารวมของการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารทั้งหมดที่อยู่ในถัง ไม่ใช่ปริมาณที่แท้จริงของธาตุใดธาตุหนึ่ง ซึ่งธาตุที่ถูกใช้น้อยอาจตกตะกอนหรือก่อให้เกิดปัญหา ดังนั้นจึงควรมีการเปลี่ยนสารอาหารเป็นระยะ ๆ เช่น ทุก 2-3 สัปดาห์

ปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า EC มีหลายอย่าง เช่น ชนิดของพืช ระยะการเติบโต ความเข้มของแสง และขนาดของถังที่บรรจุสารอาหารพืชสภาพภูมิอากาศก็มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า EC เนื่องจากเมื่อมีสภาพอากาศ ที่ร้อนส่งผลให้พืชต้องการความเข้มข้นของสารละลายที่น้อยลง เนื่องจากพืชจะดูดน้ำมากกว่าธาตุอาหาร ในขณะที่ถ้าอากาศมีความชื้นพืชก็มีแนวโน้มที่จะดูดธาตุอาหารมากกว่าน้ำ ดังนั้น พืชจึงต้องการสารละลายที่มีความเข้มข้นมากขึ้น การควบคุม EC ของสารละลายธาตุอาหารพืช โดยทั่วไปเมื่อพืชมีลักษณะเล็กจะมีความต้องการ EC ที่ต่ำและเพิ่มมากขึ้นเมื่อพืชมีความเจริญเติบโตที่มากขึ้น และพืชแต่ละชนิดมีความต้องการค่า EC แตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.8

ผักสลัด	มีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ระหว่าง 0.5 – 2.0 mS/cm
แตงกวา	มีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ระหว่าง 1.5 – 2.0 mS/cm
ผักและไม้ดอก	มีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ระหว่าง 1.8 – 2.0 mS/cm
มะเขือเทศ	มีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ระหว่าง 2.5 – 3.5 mS/cm
แคนตาลูป	มีความต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่า EC ระหว่าง 4.0 – 6.0 mS/cm

ค่า EC ที่สูงจะทำให้ปริมาณน้ำตาลในผลสูง เนื่องจากทำให้พืชเกิดความเครียด (stress)

รูปที่ 2.8 ความต้องการสารละลายธาตุอาหารแต่ละชนิด [1]

เครื่องมือที่ใช้วัดค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity meter) เรียกว่า EC meter ก่อนใช้ควรปรับความเที่ยงตรง โดยปรับที่ปุ่มของเครื่องในสารละลายมาตรฐาน ซึ่งค่าที่วัดได้นั้นเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของสารละลายกล่าวคือ ยิ่งสารละลายมีอุณหภูมิสูงขึ้นค่า EC ก็จะสูงขึ้นตามด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต

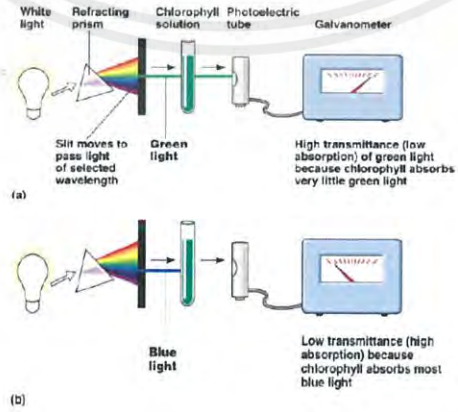
ปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมการเจริญเติบโตของผักสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ซึ่งปัจจัยทั้งสองนี้ต่างมีอิทธิพลร่วมกัน คือ ปัจจัยภายในเป็นตัวกำหนดขอบเขตการเจริญเติบโต ส่วนปัจจัยภายนอกเป็นตัวกำหนดระดับของการเจริญเติบโต อันเป็นผลทำให้พืชสามารถเจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วยปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ดังนี้

1) ปัจจัยภายใน ได้แก่ พันธุกรรม และสารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช
   - พันธุกรรม (genetic) ของพืชนั้นเกี่ยวข้องกับเรื่องของยีนที่เป็นตัวควบคุมลักษณะและถ่ายทอดพันธุกรรมจากพ่อแม่ไปสู่ลูกหลาน ความรู้นี้สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงพันธุ์พืชได้
   - สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช (Plant Bioregulator) มีทั้งที่พืชสร้างขึ้นเอง (Plant hormones) และที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งฮอร์โมนที่พืชสร้างขึ้นนี้มีบทบาทต่อการกระตุ้น ยับยั้ง หรือเปลี่ยนแปลงสรีรวิทยาของพืช
2) ปัจจัยภายนอกหรือสภาพแวดล้อม นับว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ปัจจัยภายนอกที่สำคัญ ได้แก่
   - แสง นอกจากแสงจะมีผลโดยตรงต่อขบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นขบวนการรากฐานเพื่อให้ได้มาซึ่งพลังงาน และเป็นแหล่งของสารประกอบขั้นต้นเพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นสารประกอบอินทรีย์ในพืช อันเป็นปัจจัยโดยตรงในการควบคุมการเจริญเติบโตของพืชแล้ว แสงยังควบคุมขบวนการรากฐานของการเจริญเติบโตในระดับต่าง ๆ จนได้ผลรวมออกมาในรูปการเจริญและเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้าง นอกจากนี้แสงยังมีอิทธิพลต่อปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในการเจริญเติบโตของพืชด้วย เช่น การงอกของเมล็ด การพักตัวของเมล็ด การออกดอก เป็นต้น การตอบสนองของพืชต่อแสงนั้น พืชมีการตอบสนอง ในแง่ต่าง ๆ ดังนี้
     - ความเข้มของแสง (Light Intensity) เป็นปริมาณแสงทั้งหมดที่พืชได้รับ ซึ่งความเข้มของแสงนั้นแตกต่างกันตามพื้นที่ เวลา ฤดูกาล และระยะห่างจากเส้นศูนย์สูตรของโลก ในพื้นที่เดียวกัน ความเข้มของแสงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้น จนถึงเที่ยงวัน หรือในช่วงบ่าย จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงไปจนกระทั่งดวงอาทิตย์ตก กรณีความเข้มของแสงที่ต่ำเกินไป เมื่อความเข้มของแสงไม่เพียงพอส่งผลให้มีอัตราการเจริญเติบโตต่ำและให้ผลผลิตน้อย หรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำ เพราะในการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำในปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงนั้น ขั้นตอนของขบวนการนี้ ต้องการพลังงานที่มีปฏิกิริยาที่ใช้แสงเป็นตัวกระตุ้นจึงจะเกิดขึ้นได้ กรณีที่แสงมีความเข้มต่ำ พลังงานที่ใช้ในการรวมตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำจะมีน้อย ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการสังเคราะห์แสงต่ำ ส่งผลให้มีอาหารน้อยตามไปด้วย ซึ่งอาหารจากการสังเคราะห์แสงนี้จะเป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารประกอบที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตอื่น ๆ เมื่อพืชมีอาหารต่ำอยู่แล้ว การสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตนั้นเกิดได้น้อย พืชจะมีการเจริญเติบโตช้า และมีผลผลิตต่ำหรือผลผลิตมีคุณภาพต่ำ

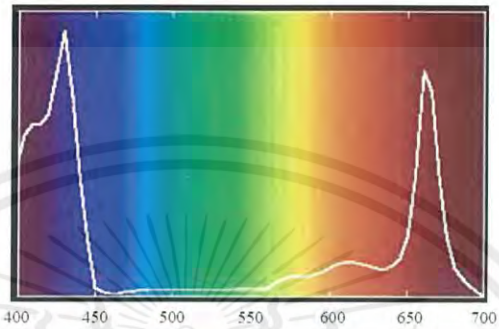
กรณีความเข้มของแสงที่สูงเกินไปส่งผลลบต่อพืชดังนี้ปริมาณคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll content) ความเข้มของแสงที่สูงเกินไปทำให้พืชบางชนิดมี ปริมาณคลอโรฟิลล์ลดลงหรือคลอโรฟิลล์มีประสิทธิภาพต่ำลง การสังเคราะห์แสงจะต่ำไปด้วย แสงที่มีความเข้มมากเกินไป จะส่งผลให้อุณหภูมิของใบเพิ่มขึ้นอย่างมากจนพืชมีอัตราการคายน้ำสูง หากอัตราการดูดน้ำของรากไม่สมดุลกับอัตราการคายน้ำ พืชจะแสดงอาการขาดน้ำกิจกรรมของน้ำย่อย (Enzymes) แสงที่มีความเข้มมากเกินไป ทำให้อุณหภูมิของใบสูงขึ้นเป็นผลให้ระบบน้ำย่อยลดการเปลี่ยนน้ำตาลไปเป็นแป้งลง พืชมีการสะสมน้ำตาลแทนแป้ง นอกจากนี้น้ำย่อยที่มีส่วนในการสังเคราะห์แสงก็จะลดกิจกรรมลงด้วย จนมีอัตราการสังเคราะห์แสงลดลง คุณภาพของแสง (Light quality) หรือความยาวของคลื่นแสง (Wavelength) แสงมีคุณสมบัติเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า มีความยาวคลื่นหลายระดับ โดยที่แสงอาทิตย์ประกอบด้วยแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 225–2,500 นาโนเมตร (nanometer, nm, 1 nm =10-7 cm) แต่แสงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นโลกนั้น มีความยาวคลื่นระหว่าง 310-2,300 nm ทั้งนี้เนื่องจาก คลื่นสั้น หรือแสงเหนือม่วง (Ultra Violet, UV) ซึ่งเป็นแสงที่มีอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต โดยส่วนใหญ่จะถูกดูดซับไว้ โดยชั้นของโอโซน (ozone) ในบรรยากาศ ส่วนแสงที่มีความยาวคลื่นมากกว่าแสงสีแดง (Infra-red) ความยาวคลื่นมากกว่า 2,300 nm ถูกดูดซับไว้โดยไอน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเกิดขึ้นที่คลอโรพลาสต์ ซึ่งภายในมีรงควัตถุ (Pigment) หลายชนิด บรรจุอยู่รงควัตถุเหล่านี้ ทำหน้าที่ดูดพลังงานจากแสงที่แสงมีความยาวคลื่นแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 2.9 นักชีววิทยาได้ทำการทดลองโดยสกัดคลอโรฟิลล์ออกมาจากใบของพืชชนิดหนึ่งนำสารละลายคลอโรฟิลล์ใส่ในหลอดทดลองแล้วฉายแสงสีต่าง ๆ ผ่านเข้าไปในสารละลายที่มีคลอโรฟิลล์



รูปที่ 2.9 การทดสอบการดูดแสงสีต่าง ๆ ของคลอโรฟิลล์ [2]

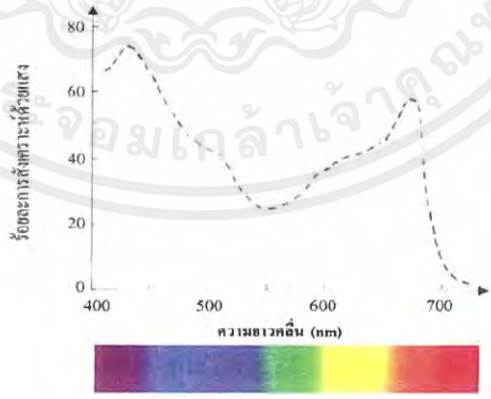
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพเลื่อนแผ่นโลหะให้รูมาตรงกับแสงสีเขียว ปรากฏว่าอ่านค่าไฟฟ้าได้สูงมาก แสดงว่าสารละลายคลอโรฟิลล์ดูดแสงสีเขียวได้น้อย จึงส่องผ่านได้มากส่วนภาพที่ 2-4 (b) เลื่อนแผ่นโลหะให้รูตรงกับแสงสีน้ำเงิน ปรากฏว่าอ่านค่าไฟฟ้าได้ต่ำ แสดงว่าสารละลายคลอโรฟิลล์ดูดแสงสีน้ำเงินไว้ได้มาก จึงส่องผ่านได้น้อย นำค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายคลอโรฟิลล์ ไปเขียนกราฟแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กราฟการดูดแสงสีต่าง ๆ ของคลอโรฟิลล์ [2]

อัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชโดยฉายแสงสีต่าง ๆ แก่พืช แล้ววัดปริมาณแก๊สออกซิเจนที่พืชปลดปล่อยออกมา เมื่อนำไปเขียนกราฟปรากฏว่าลักษณะกราฟมีลักษณะคล้ายคลึงหรือสอดคล้องกันกับกราฟการดูดคลื่นแสงสีต่าง ๆ ของสารละลายคลอโรฟิลล์ กล่าวคือแสงสีใดที่คลอโรฟิลล์ดูดได้ดีก็จะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงสูง ซึ่งก็คือ แสงสีม่วง แสงสีน้ำเงิน แสงสีแดง และแสงสีส้ม ตามลำดับ ส่วนแสงสีใดที่คลอโรฟิลล์ดูดไว้ได้น้อยก็จะมีอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงต่ำตามไปด้วย ซึ่งก็คือ แสงสีเขียว กราฟแสดงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

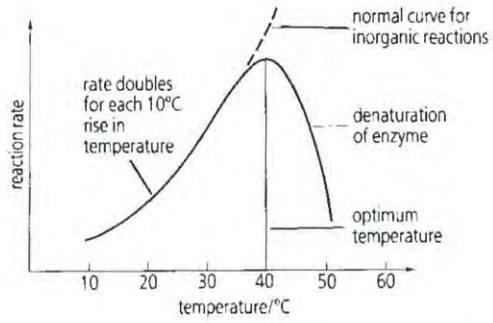
- อุณหภูมิ อุณหภูมิเกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืช ตั้งแต่พืชเริ่มงอกจนกระทั่งออกดอกติดผล อุณหภูมิเกี่ยวข้องกับขบวนการงอกของเมล็ด การสังเคราะห์แสง การหายใจ การพักตัวเป็นต้น พืชแต่ละชนิดมีความต้องการอุณหภูมิที่ใช้ในการเจริญเติบโตแตกต่างกัน อุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช มีทั้งอุณหภูมิอากาศ อุณหภูมิในดิน อุณหภูมิกลางวัน และอุณหภูมิกลางคืนโดยทั่วไปแล้ว อุณหภูมิอากาศจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของลำต้น โดยมีผลต่อการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ขบวนการทั้ง 2 จะค่อย ๆ เพิ่มอัตราขึ้น ตามการเพิ่มของอุณหภูมิจนถึงระดับหนึ่ง ซึ่งเรียกว่า ระดับอุณหภูมิที่เหมาะสม ที่ประมาณ 30-35 °C ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิจะไม่เพิ่มอัตราการเกิดกิจกรรมของขบวนการทั้ง 2 นี้ ส่วนอุณหภูมิของดิน มีผลต่อการเจริญเติบโตของราก รวมถึงมีผลต่อการดูดน้ำและแร่ธาตุอาหาร ถ้าอุณหภูมิในดินต่อการดูดน้ำลดลง ส่งผลให้ต้นพืชเหี่ยว นอกจากนี้ กิจกรรมของจุลินทรีย์ในดินในสภาพอุณหภูมิของดินต่ำ ก็จะลดลงด้วย ทำให้ได้อินทรีย์สารที่เป็นประโยชน์ต่อพืชน้อยตามไปด้วย

ถ้าอุณหภูมิในดินสูงกว่าปกติเพียงเล็กน้อย ทำให้กระตุ้นให้รากมีการเจริญเติบโตยืดยาวมาก แต่หากอุณหภูมิของรากสูงกว่าลำต้น การเจริญเติบโตกลับชะงักการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในรอบวัน เป็นอุณหภูมิกลางวันและอุณหภูมิกลางคืน มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชเช่นกัน โดยส่วนใหญ่แล้ว อุณหภูมิกลางคืนมีบทบาทต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชมากกว่าอุณหภูมิกลางวัน ถ้าอุณหภูมิกลางคืนสูงกว่าอุณหภูมิกลางวัน การเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชจะลดลง การที่อุณหภูมิกลางคืนต่ำกว่าอุณหภูมิกลางวัน ทำให้พืชมีการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ดีกว่าการที่อุณหภูมิกลางคืนเท่ากับอุณหภูมิกลางวัน โดยทั่วไป อุณหภูมิกลางคืนที่เหมาะสมมักต่ำกว่าอุณหภูมิกลางวันที่เหมาะสม ประมาณ 10 °C อุณหภูมิมีบทบาทต่อแทบทุกขบวนการในพืช เนื่องจากขบวนการต่าง ๆ ทางชีวเคมี เกิดขึ้นได้โดยกิจกรรมของน้ำย่อย ซึ่งเป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง และกิจกรรมของน้ำย่อยจะขึ้นกับระดับของอุณหภูมิเป็นอย่างมาก แสดงดังรูปที่ 2.12 ผลของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืชได้แก่

1) อุณหภูมิต่ำมีผลต่อการลำเลียงอาหารในสภาพอุณหภูมิต่ำ พืชสามารถลำเลียงอาหารได้ดีกว่า

2) อุณหภูมิต่ำ ลดการหายใจ เนื่องจากการเจริญเติบโต เป็นผลสุทธิของขบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจ ในสภาพอุณหภูมิต่ำพืชจะมีการหายใจน้อยลง การเผาผลาญอาหารที่ได้จากการสังเคราะห์แสงจะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



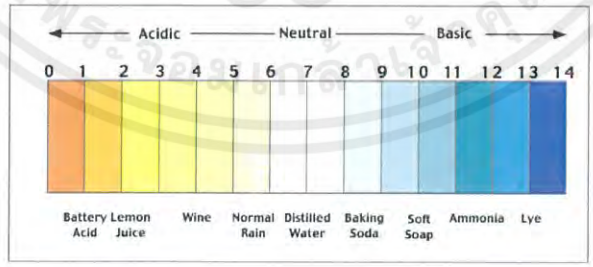
รูปที่ 2.12 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อกิจกรรมของเอ็นไซม์ [3]

ในพืชหลายชนิด อุณหภูมิต่ำเป็นตัวชักนำให้พืชเกิดการออกดอก ซึ่งพืชพวกนี้ต้องได้รับอุณหภูมิต่ำช่วงหนึ่งจึงจะออกดอกได้ นอกจากนี้อุณหภูมิต่ำยังเป็นตัวกระตุ้นให้พืชบางชนิดที่มีถิ่นกำเนิดในเขตอบอุ่น (Temperate zone) สิ้นสุดการพักตัวและสามารถแตกตาดอกตาใบ เข้าสู่ระยะการเจริญเติบโตในฤดูใบไม้ผลิได้ ซึ่งพืชพวกนี้ ต้องการอุณหภูมิต่ำในระยะเวลานานพอสมควรจึงสิ้นสุดการพักตัวแม้ว่าพืชจะตอบสนองต่ออุณหภูมิต่ำได้ดี แต่อุณหภูมิที่ต่ำมากทำให้มีผลเสียต่อพืชเช่นกันความเสียหายของอุณหภูมิต่ำมากต่อพืช ได้แก่

1) ที่อุณหภูมิเหนือจุดเยือกแข็ง ต่ำกว่า 10 °C พืชที่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน (Tropical zone) ทำให้ไม่เจริญเติบโต และที่ช่วงอุณหภูมิ 0-5 °C อาจทำให้พืชพวกนี้ตายได้

2) ที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งภายในเนื้อเยื่อและอวัยวะของพืช และทำให้พืชสูญเสียน้ำ ทำให้พืชได้รับความเสียหายส่วนที่อุณหภูมิสูงมาก ก็ก่อความเสียหายให้พืชเช่นกัน เช่น การสูญเสียประสิทธิภาพของคลอโรฟิลล์ ใบไหม้ เป็นต้น

- ความเป็นกรดด่างของน้ำ (pH) แสดงดังรูปที่ 2.13 เกี่ยวข้องกับความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช



รูปที่ 2.13 ค่า pH (Potential of Hydrogen ion) [3]

ค่า pH คือ ค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายโดยค่า pH มีช่วงการวัดอยู่ที่ 1-14 โดยนับค่าที่ 7 เป็นกลาง กล่าวคือหากวัดค่าได้ต่ำกว่า 7 แสดงว่าของเหลวนั้นเป็นกรด หากวัดได้สูงกว่า 7 ขึ้นไปแสดงว่าเป็นเบส สำหรับการปลูกพืชด้วยน้ำนั้นค่า pH มีส่วนสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการทำปฏิกิริยาทางเคมีกับธาตุอาหารที่สำคัญสำหรับพืช โดยธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

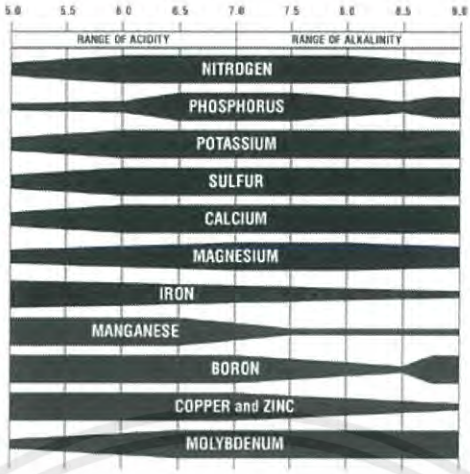
น้ำที่มีความเป็นกรดทำให้ธาตุอาหารพืชละลายตัวได้ดีและพืชสามารถดูดซึมไปใช้งานได้อย่างสะดวกแต่ถ้าหากน้ำที่ใช้ผสมธาตุอาหารพืชมีความเป็นเบสสูงจะทำให้ธาตุอาหารพืชตกตะกอนจนพืชไม่สามารถดูดซึมไปใช้งานได้ ดังนั้นการปรับค่า pH ต้องปรับให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมกับอายุการปลูกและชนิดของพืชนั้น ๆ ด้วย โดยปกติค่า pH ที่ใช้ในการปลูกพืชจะมีค่าอยู่ในช่วง 5.5-7.0 แต่ค่าที่ดีที่สุดต่อการละลายตัวของธาตุอาหารพืชจะอยู่ที่ช่วง 5.8-6.3 ซึ่งการกำหนดค่า pH ของการปลูกพืชเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 (ระยะเจริญเติบโต) อยู่ในช่วงวันที่ 1-28 กำหนดค่า pH อยู่ที่ 5.8-6.5
ระยะที่ 2 (ระยะสร้างผลผลิต) อยู่ในช่วงวันที่ 29 ขึ้นไป กำหนดค่า pH อยู่ที่ 6.5-7.0

การลดค่า pH นิยมใช้ กรดไนตริก (Nitric) มีสูตรทางเคมี คือ (HNO_3) ซึ่งกรดชนิดนี้เมื่อผสมกับน้ำทำให้แตกตัวเป็นอนุมูลย่อยเป็นไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืชและกรดที่นิยมใช้อีกชนิดหนึ่ง คือ กรดฟอสฟอริก (Prosphoric) มีสูตรทางเคมี คือ H_3PO_4 ซึ่งกรดชนิดนี้เมื่อผสมกับน้ำจะแตกตัวเป็นอนุมูลย่อย เป็นฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืช สำหรับวิธีที่สะดวกและช่วยลดค่า pH ของพืชที่ง่ายต่อการปรับ คือ การเพิ่มปุ๋ยทั้งสองชนิด คือ ปุ๋ย A และ ปุ๋ย B เพราะคุณสมบัติของปุ๋ยสองชนิดนี้มีค่า pH ที่เป็นกรด การใช้ปุ๋ยทั้งสองชนิดนี้ช่วยให้พืชมีผลพลอยได้จากการปรับลดค่า pH แล้วยังได้ธาตุอาหารพืชเพิ่มขึ้นมาในระบบอีกด้วย

การเพิ่มค่า pH นิยมใช้ โพแทสเซียมคาร์บอเนต (Potassium Carbonate) หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium Hydroxide) ซึ่งเคมีทั้ง 2 ชนิดนี้เมื่อผสมกับน้ำจะแตกตัวเป็นอนุมูลย่อย ได้โพแทสเซียม ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักของพืชแต่สำหรับวิธีที่สะดวกและรวดเร็วง่ายต่อการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ คือการเติมน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นกลาง จะทำให้พืชมีค่า pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสม คือ 5.5-7.0 หาก pH ให้ต่ำเกินกว่า 4 ทำให้รากพืชได้รับอันตรายจากการกัดกร่อนของกรด จนทำให้รากพืชอ่อนแอ และเชื้อโรคเข้าทำลายได้ง่ายขึ้น ค่า pH ที่ต่ำเกินไปยังส่งผลให้ความเข้มข้นของธาตุเหล็กในระบบปลูกมีสูงขึ้น ถ้าธาตุเหล็กมีมากเกินไปจะเป็นพิษกับพืชได้ ในทางกลับกันถ้าปล่อยให้ค่า pH สูงเกินกว่า 7 เป็นระยะเวลาติดต่อกัน 2-3 วัน ส่งผลต่อการดูดซึมธาตุอาหารพืช เช่น ฟอสฟอรัส, เหล็ก, แมงกานีส โดยค่า pH ที่เหมาะสม คือ 5.8-6.3 ตารางแสดงปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในค่า pH ระดับต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ตารางแสดงปริมาณความเข้มข้นของธาตุอาหารพืชในค่า pH ระดับต่าง ๆ [3]

- ความชื้น ความชื้นในดินส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชโดยเฉพาะการปลูกพืชบนดิน หากดินขาดน้ำจนรากพืชไม่สามารถดูดน้ำได้ทันกับอัตราการคายน้ำของพืชแล้ว ทำให้พืชมีการแสดงอาการเหี่ยว และตายในที่สุด
- อากาศและองค์ประกอบของอากาศ พืชได้รับคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ ซึ่งเป็นก๊าซที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์ด้วยแสง นอกจากนี้ก๊าซบางชนิดในอากาศ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) และคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ถ้ามีปริมาณมากสามารถส่งผลเสียต่อการเจริญเติบโตของพืช
- องค์ประกอบของอากาศในน้ำ ก๊าซที่มีบทบาทสำคัญต่อการเจริญเติบโตของรากพืช คือ ก๊าซออกซิเจน (O_2) รากพืชที่ได้รับ O_2 อย่างเพียงพอทำให้มีสีขาว ยาว และมีรากฝอยมาก
- ธาตุอาหารพืช เป็นสิ่งสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช
- สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง สิ่งมีชีวิตทั้งอาศัยอยู่บนดินหรือในน้ำต่างก็มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชทั้งสิ้น ไม่ว่าจะทางตรงหรือทางอ้อม

2.1.6 ผักที่นิยมปลูกในระบบไฮโดรโพนิกส์

ในปริญญานิพนธ์นี้ได้นำพันธุ์พืชของผักสลัดในการทดสอบ โดยคุณสมบัติผักสลัดนั้นเป็นพืชทานใบที่มีอายุปลูกสั้นและมีความต้องการค่าความเป็นกรด-ด่าง และที่การนำไฟฟ้าที่ต่างกัน ดังตารางที่ 2.2 การใช้ปุ๋ยในระดับสูงเกิน 1.5 ms/cm หลังจากผักอายุได้ 30 วัน อาจทำให้ผักมีอาการขาดธาตุแคลเซียมมากขึ้น เพราะความเข้มข้นของธาตุอาหารในระบบมีสูงเกินไป ช่วงเวลาที่ผักสลัดสะสมอาหารมากที่สุดคือช่วงที่ผักมีอายุได้ประมาณ 10-30 วันแรก ซึ่งหลัง 30 วันไปแล้วผักสลัดจะใช้ปุ๋ยน้อยลง ดังนั้นควรมีการวัดและควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างให้เหมาะสม ตามชนิดและอายุของพืช ซึ่งผู้จัดทำได้ทำการปลูกผักสลัด 4 สายพันธุ์ ได้แก่ คอส, ออติเกีย, เปอร์โต, เรดโครอล, กรีนโครอล, เรดโอ๊ค และกรีนโอ๊ค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ค่า EC และ pH ของพืชอื่น ๆ แต่ละชนิด[18]

ชนิดพืช	ค่า EC	ค่า pH
กล้วย	1.8 - 2.2	5.5 - 6.5
กวางตุ้งใบ	1.5 - 2.5	6.0 - 7.0
กะหล่ำดอก	1.5 - 2.0	6.5 - 7.0
กะหล่ำปลี, กะหล่ำดาว	2.5 - 3.0	6.5 - 7.0
ข้าวโพดหวาน	1.6 - 2.4	6.0
แครอท	1.6 - 2.0	6.3
เซอลารี่	1.8 - 2.4	6.5
แตงกวา	1.7 - 2.5	5.5
แตงกวาซูกินี	1.8 - 2.4	6.0
แตงโม	1.8 - 2.4	5.8
ถั่ว	2.0 - 4.0	6.0
บลอคเคอรี่	2.8 - 3.5	6.0 - 6.8
บลูเบอรี่	1.8 - 2.0	4.0 - 5.0
บาเซิล, โหระพา	1.0 - 1.6	5.5 - 6.0
บีทรูท	1.8 - 5.0	6.0 - 6.5

ชนิดพืช	ค่า EC	ค่า pH
ผักขม	1.8 - 2.3	6.0 - 7.0
พาสเลย์	0.8 - 1.8	5.5 - 6.0
ฟักทอง	1.8 - 2.4	5.5 - 7.0
มะเขือเทศ	2.0 - 4.0	6.0 - 6.8
มะเขือม่วง	2.5 - 3.5	6.0
เมล่อน	2.0 - 2.5	6.0 - 6.8
หัวไชเท้า	1.6 - 2.2	6.0 - 7.0
วอเตอร์เครส	0.4 - 1.6	6.5 - 6.8
สตอเบอรี่	1.8 - 2.2	6.0 - 6.8
สลัด	1.1 - 1.7	6.0 - 7.0
สะระแหน่	2.0 - 2.4	5.5 - 6.0
สับปะรด	2.0 - 2.4	5.5 - 6.5
เสาวรส	1.6 - 2.4	6.5
หน่อไม้ฝรั่ง	1.4 - 1.8	6.0 - 6.8
เอ็นโดว์	2.0 - 2.4	5.8 - 6.5

2.1.6.1 ผักสลัดคอส ออติเกีย

รูปที่ 2.15 ผักสลัดคอส ออติเกีย[18]

เป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ ระหว่าง 10-24 °C ในสภาพอุณหภูมิสูง การเจริญเติบโต ทางใบจะลดลง และพืชสร้างสารคล้ายน้ำนม หรือยางมาก เส้นใยสูง เหนียว และมีรสขม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของผักสลัดคอส ออติเกีย

- อายุเก็บเกี่ยว 40-50 วัน
- อุณหภูมิในการเพาะเมล็ด 18-24 °C
- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปลูก 15-30 °C
- ค่า pH 6.0 / ค่า EC 1.1-1.6

ตัวอย่างการกำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดคอส ออติเกีย ในพื้นที่อากาศร้อน

1. หลังเพาะเมล็ดได้ประมาณ 7 วัน เริ่มให้ปุ๋ยอ่อน ๆ โดยให้ค่า EC ประมาณ 1.0-1.2 ms/cm

2. เมื่อครบกำหนด 10-14 วัน หรือต้นเกล้าเริ่มมีใบจริงประมาณ 2-3 ใบ ก็สามารถย้ายลงแปลงปลูกได้เลย โดยกำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.2-1.3 ms/cm

3. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 15-25 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.3-1.4 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

4. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 26-30 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.2-1.3 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

5. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 31 - 35 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.1-1.2 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

6. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 36-40 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.0-1.1 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

7. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 41-50 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ต่ำกว่า 0.5 ms/cm หรือจะใช้น้ำเปล่าเลี้ยงประมาณ 3 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว

2.1.6.2 ผักสลัด กรีนคอส เปอร์โต

รูปที่ 2.16 ผักสลัด กรีนคอส[18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นพืชสลัดคอสสายพันธุ์ใหม่ที่ได้รับการพัฒนาเป็นสลัดที่สามารถปลูกได้ในเขตร้อน เป็นสลัดใบกรอบก้านใบหนาขาวอิ่มน้ำ เนื้อใบเป็นสีเขียวเข้มเป็นมัน ก้านใบของ บานออกเหมือนช่อดอกไม้เหมาะสำหรับทานสดเพราะสลัดมีรสชาติหวานกรอบ

คุณสมบัติของสลัดกรีนคอส

- อายุเก็บเกี่ยว 40-50 วัน
- อุณหภูมิในการเพาะเมล็ด 18-20 °C
- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปลูก 15-30 °C
- ค่า pH 6.0 / ค่า EC 1.1-1.6

ตัวอย่างการกำหนดค่า EC สำหรับผักสลัด เปอร์โต (ในพื้นที่อากาศร้อน)

1. หลังเพาะเมล็ดได้ประมาณ 7 วัน เริ่มให้ปุ๋ยอ่อน ๆ โดยให้ค่า EC ประมาณ 1.0-1.2 ms/cm

2. เมื่อครบกำหนด 10-14 วัน หรือต้นเกล้าเริ่มมีใบจริงประมาณ 2-3 ใบ ก็สามารถย้ายลงแปลงปลูกได้เลย โดยกำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.4-1.6 ms/cm

3. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 15-20 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.4-1.5 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

4. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 21-25 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.3-1.4 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

5. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 30-35 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.2-1.3 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

6. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 40-50 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.0-1.2 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn) ก่อนเก็บเกี่ยว ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ ให้ต่ำกว่า 1.0 หรือจะใช้น้ำเปล่าเลี้ยงประมาณ 2-3 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.3 ผักสลัด เรดโครอล

รูปที่ 2.17 ผักสลัด เรดโครอล[18]

ลักษณะโดยทั่วไป สลัดเรดโครอล ใบมีแดงอ่อน หรือแดงเข้ม (ตามลักษณะของสายพันธุ์) ขอบใบหยิกเป็นฟันเลื่อย ก้านใบด้านในเป็นสีเขียวอ่อน ลักษณะพุ่มจะคล้ายกรีนโครอล แต่จะมีขนาดเล็กกว่า และมีอายุปลูกมากกว่ากรีนโครอลประมาณ 1 สัปดาห์ เรดโครอล เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย และยุโรป เป็นพืช ฤดูเดียว มีลำต้นอวบสั้น ช่วงข้อถี่ ใบจะเจริญ จากข้อเป็นกลุ่ม มีระบบรากแก้วที่สามารถเจริญลงไปในดินได้อย่างรวดเร็ว ช่อดอกเป็นแบบ Panicle สูง 2-4 ฟุต ประกอบด้วย ดอก 10-25 ดอกต่อช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศกลีบดอกสีเหลือง หรือขาวปนเหลือง ดอกจะบานช่วงเช้า โดยเฉพาะในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ ผักกาดหอมเรดโครอล เป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 10-24 °C การปลูกในสภาพภูมิอากาศสูง การเจริญเติบโตทางใบจะลดลง

คุณสมบัติของผักสลัดเรดโครอล

- อายุเก็บเกี่ยว 45-55 วัน
- อุณหภูมิในการเพาะเมล็ด 18-20 °C
- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปลูก 10-24 °C
- ค่า pH 6.0 / ค่า EC 1.1-1.8

ตัวอย่างการกำหนดค่า EC สำหรับผักสลัด เรดโครอล (ในพื้นที่อากาศร้อน)

1. หลังเพาะเมล็ดได้ประมาณ 7 วัน เริ่มให้ปุ๋ยอ่อน ๆ โดยให้ค่า EC ประมาณ 1.0-1.2 ms/cm

2. เมื่อครบกำหนด 10-14 วัน หรือต้นเกล้าเริ่มมีใบจริงประมาณ 2-3 ใบ ก็สามารถย้ายลงแปลงปลูกได้เลย โดยกำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.2-1.3 ms/cm

3. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 15-25 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.3-1.4 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 26-30 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้อยู่ที่ประมาณ 1.2-1.3 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

5. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 31-35 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้อยู่ที่ประมาณ 1.1-1.2 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

6. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 36-40 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.0-1.1 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

7. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 41-50 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ต่ำกว่า 0.5 ms/cm หรือจะใช้น้ำเปล่าเลี้ยงประมาณ 3 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว

2.1.6.4 ผักสลัด กรีนโครอล

รูปที่ 2.18 ผักสลัด กรีนโครอล[18]

ลักษณะโดยทั่วไป ผักสลัดกรีนโครอล ใบมีเขียวอ่อน ขอบใบหยักละเอียดแบบฟันเลื่อย มีลำต้นอวบสั้น ช่วงข้อถี่ ใบจะเจริญจากข้อเป็นกลุ่ม มีระบบรากแก้วที่สามารถเจริญลงไปในดินได้อย่างรวดเร็ว ช่อดอกเป็นแบบ Panicle สูง 2-4 ฟุต ประกอบด้วยดอก 10-25 ดอกต่อช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศกลีบดอกสีเหลือง หรือขาวปนเหลือง ดอกจะบานช่วงเช้า โดยเฉพาะในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ ผักกาดหอมกรีนโครอล เป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 10-24 °C การปลูกในสภาพภูมิอากาศสูง การเจริญเติบโตทางใบจะลดลง จากการทดลองปลูก สลัด กรีนโครอล ในระบบ DRFT กรีนโครอล เจริญเติบโตได้ดี ขอบใบหยักละเอียดสีเขียวอ่อนปนเหลือง อายุปลูกเฉลี่ย 45-50 วัน นับจากวันที่งอกจากเมล็ด

คุณสมบัติของผักสลัดกรีนโครอล

- อายุเก็บเกี่ยว 45-55 วัน
- อุณหภูมิในการเพาะเมล็ด 18-20 °C
- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปลูก 10-24 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่า pH 6.0 / ค่า EC 1.1-1.8

ตัวอย่างการกำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดกรีนโครอล (ในพื้นที่อากาศร้อน)

1. หลังเพาะเมล็ดได้ประมาณ 7 วัน เริ่มให้ปุ๋ยอ่อน ๆ โดยให้ค่า EC ประมาณ 1.0-1.2 ms/cm

2. เมื่อครบกำหนด 10-14 วัน หรือต้นเกล้าเริ่มมีใบจริงประมาณ 2-3 ใบ ก็สามารถย้ายลงแปลงปลูกได้เลย โดยกำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.2-1.3 ms/cm

3. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 15-25 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.3-1.4 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

4. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 26-30 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.2-1.3 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

5. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 31-35 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.1-1.2 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

6. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 36-40 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.0-1.1ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

7. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 41-50 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ต่ำกว่า 0.5 ms/cm หรือจะใช้น้ำเปล่าเลี้ยงประมาณ 3 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว

2.1.6.5 ผักสลัด เรดโอ๊ค

รูปที่ 2.19 ผักสลัด เรดโอ๊ค[18]

ลักษณะโดยทั่วไป สลัดเรดโอ๊ค (ออสกาดส์) ใบมีแดงเข้ม ขอบใบกลมมน ก้านใบด้านในเป็นสีเขียวอ่อน ลักษณะพุ่มกลม เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปยุโรป มีลำต้นอวบสั้น ช่วงข้อถี่ ใบจะเจริญ มีระบบรากแก้วที่สามารถเจริญลงไปในดินได้อย่างรวดเร็ว ช่อดอกเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Panicle สูง 2-4 ฟุต ประกอบด้วย ดอก 10-25 ดอกต่อช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศกลีบดอกสีเหลือง หรือขาวปนเหลือง ดอกจะบานช่วงเช้า โดยเฉพาะในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ เรดโอ้ค (ออสกาดส์) เป็นสายพันธุ์ที่มีสีที่เข้ม ในช่วงฤดูร้อนที่ผ่านมา ได้น้ำหนักเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 150-180 กรัม/ต้น

คุณสมบัติของผักสลัดเรดโอ๊ค

- อายุเก็บเกี่ยว 45-55 วัน
- อุณหภูมิในการเพาะเมล็ด 18-20 °C
- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปลูก 10-24 °C
- ค่า pH 6.0 / ค่า EC 1.1-1.8

ตัวอย่างการกำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดเรดโอ๊ค ในพื้นที่อากาศร้อน

1. หลังเพาะเมล็ดได้ประมาณ 7 วัน เริ่มให้ปุ๋ยอ่อน ๆ โดยให้ค่า EC ประมาณ 1.0-1.2 ms/cm

2. เมื่อครบกำหนด 10-14 วัน หรือต้นเกล้าเริ่มมีใบจริงประมาณ 2-3 ใบ ก็สามารถย้ายลงแปลงปลูกได้เลย โดยกำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.2-1.3 ms/cm

3. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 15-25 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.3-1.4 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

4. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 26-30 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.2-1.3 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

5. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 31-35 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.1-1.2 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

6. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 36-40 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.0-1.1 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

7. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 41-50 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ต่ำกว่า 0.5 ms/cm หรือจะใช้น้ำเปล่าเลี้ยงประมาณ 3 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6.5 ผักสลัด กรีนโอ๊ค

รูปที่ 2.20 ผักสลัด กรีนโอ๊ค[18]

ลักษณะโดยทั่วไป ผักสลัดกรีนโอ๊ค ใบมีเขียวอ่อน หรือเขียวเข้ม (ตามลักษณะของสายพันธุ์) ขอบใบหยัก เป็นพืชที่มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย และยุโรป เป็นพืช ฤดูเดียว มีลำต้นอวบสั้น ช่วงข้อถี่ ใบจะเจริญ จากข้อเป็นกลุ่ม มีระบบรากแก้วที่สามารถเจริญลงไปในดินได้อย่างรวดเร็ว ช่อดอกเป็นแบบ Panicle สูง 2-4 ฟุต ประกอบด้วย ดอก 10-25 ดอกต่อช่อ เป็นดอกสมบูรณ์เพศกลีบดอกสีเหลือง หรือขาวปนเหลือง ดอกจะบานช่วงเช้า โดยเฉพาะในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ ผักกรีนโอ๊ค เป็นพืชที่ต้องการสภาพอากาศเย็น โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 10-24 °C การปลูกในสภาพภูมิอากาศสูง การเจริญเติบโตทางใบจะลดลง

คุณสมบัติของสลัดกรีนโอ๊ค

- อายุเก็บเกี่ยว 40-50 วัน
- อุณหภูมิในการเพาะเมล็ด 16-20 °C
- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการปลูก 10-25 °C
- ค่า pH 6.0 / ค่า EC 1.2-1.8

ตัวอย่างการกำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดกรีนโอ๊ค (ในพื้นที่อากาศร้อน)

1. หลังเพาะเมล็ดได้ประมาณ 7 วัน เริ่มให้ปุ๋ยอ่อน ๆ โดยให้ค่า EC ประมาณ 1.0-1.2 ms/cm

2. เมื่อครบกำหนด 10-14 วัน หรือต้นเกล้าเริ่มมีใบจริงประมาณ 2-3 ใบ ก็สามารถย้ายลงแปลงปลูกได้เลย โดยกำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้ อยู่ที่ประมาณ 1.2-1.3 ms/cm

3. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 15-25 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้อยู่ที่ประมาณ 1.3-1.4 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

4. ช่วงผักมีอายุได้ประมาณ 26-30 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้อยู่ที่ประมาณ 1.2-1.3 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง เพื่อป้องกันอาการปลายใบไหม้ (Tip burn)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

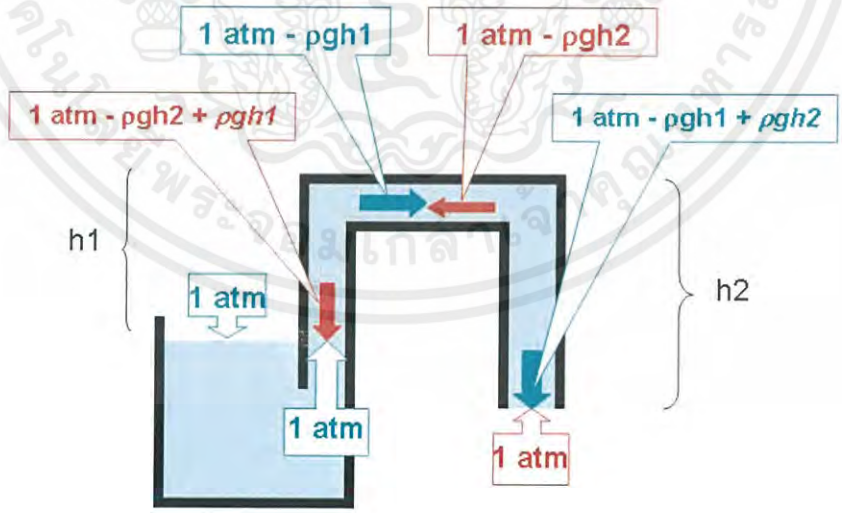
5. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 31-35 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้อยู่ที่ประมาณ 1.1-1.2 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

6. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 36-40 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้อยู่ที่ประมาณ 1.0-1.1 ms/cm และควรฉีดพ่น แคลเซียม และโบรอน สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

7. เมื่อผักมีอายุได้ประมาณ 41-50 วัน ให้กำหนดค่า EC สำหรับผักสลัดในช่วงนี้อยู่ต่ำกว่า 0.5 ms/cm หรือจะใช้น้ำเปล่าเลี้ยงประมาณ 3 วัน ก่อนเก็บเกี่ยว

2.2 หลักการทำงานของไซฟอน[18]

เป็นวิธีการถ่ายเทของเหลวจากที่สูงลงไปสู่ที่ต่ำอย่างต่อเนื่องโดยผ่านตัวกลาง คือ ท่อหลอดหรือสาย โดยที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าช่วยแต่อย่างใด วิธีการทำโดยใช้หลอด หรือท่อน้ำมาเติมน้ำให้เต็มปิดปลายหลอดทั้งสองข้างเอาไว้ให้แน่นและนำปลายหลอดข้างใดข้างหนึ่งใส่ลงไปในภาชนะที่ต้องการถ่ายเทน้ำออก และปลายหลอดอีกข้างหนึ่งใส่ไว้ในภาชนะที่รองรับและต้องต่ำกว่าภาชนะที่จะถ่ายน้ำออกเสมอ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำและน้ำหนักของน้ำในหลอดส่งผลให้หลอดดูดเอาน้ำจากปลายหลอดด้านที่สูงกว่าลงมาสู่ด้านที่ต่ำกว่าทำให้เราสามารถถ่ายน้ำออกจากภาชนะได้อย่างง่ายดาย ซึ่งภายในท่อ หรือหลอดน้ำจะกระทำกันคล้ายสายโซ่ที่เรียงร้อยไปด้วยน้ำซึ่งจะดึงโมเลกุลน้ำด้วยกันตามกันมาโดยอาศัยพันธะไฮโดรเจนนั้นเอง ทั้งนี้ได้มีการทดลองในระบบสุญญากาศโดยสูบอากาศออกทำให้พบว่า ไซฟอนยังคงสามารถทำงานได้ดังเดิม แสดงว่าไซฟอนไม่ได้อาศัยแรงดันอากาศ แต่อาศัยแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลและน้ำหนักของของเหลวนั้น ๆ โดยหลักการไซฟอนแสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 หลักการทำงานไซฟอน[19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino[5]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กซึ่งมีความสามารถที่คล้ายกับระบบคอมพิวเตอร์โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในบอร์ดเดียวกัน โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)

2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือ ข้อมูลใด ๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่ง คือ หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรมซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยงและเป็น อีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง

3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกหรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะ คือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้ใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุตเพื่อรับสัญญาณด้วยการกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุตเพื่อแสดงผล เช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

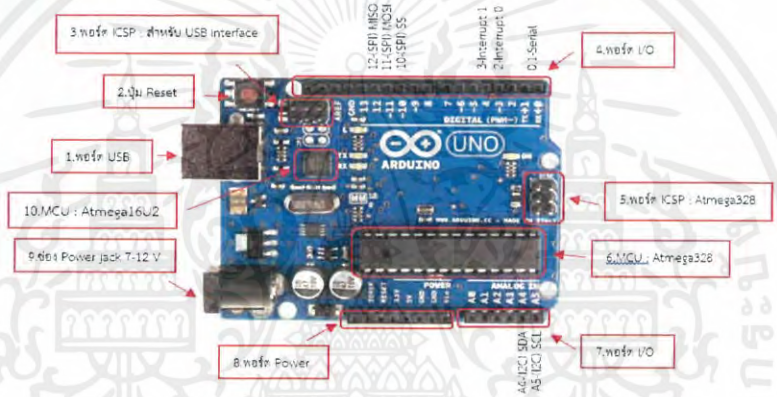
4. ช่องทางเดินของสัญญาณหรือบัส (BUS) คือ เส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณจำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus), บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)

5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับการกำหนดจังหวะหากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้นมีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

ผู้จัดทำเลือกที่จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino แสดงดังรูปที่ 2.22 และหลักการทำงานของขาต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.22 บอร์ด Arduino UNO R3 [5]



รูปที่ 2.23 ขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino [5]

จากรูปที่ 2.23 ขาต่าง ๆ มีหน้าที่ดังนี้

1. USB Port ใช้สำหรับต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่ออัพโหลดโปรแกรมเข้าไมโครคอนโทรลเลอร์และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
2. Reset Button เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มการทำงานใหม่
3. ICSP Port สำหรับ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com Port บน Atmega16U2
4. I/O Port Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่น ๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin0,1 เป็นขา Tx, Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM
5. ICSP Port ของ Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Boot loader
6. MCU Atmega328 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็นช่องรับสัญญาณแอนะล็อกตั้งแต่ขา A0-A5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Power Port ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3V, +5V, GND, V_{in}
9. Power Jack รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12V
10. MCU Atmega16U2 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน Atmega16U2

2.4 การทำงานของไดโอดเปล่งแสงแบบสามสี (RGB LED)

ไดโอดเปล่งแสงหรือ LED (Light Emitting Diode) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญมากประเภทหนึ่ง มีการนำไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เทคนิคหนึ่งในการปรับความสว่างและสีของ RGB LED คือ การสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) มีความถี่คงที่ แต่ปรับค่า Duty Cycle ได้ ในกรณีที่ใช้บอร์ด Arduino จะใช้คำสั่ง analogWrite() สำหรับการสร้างสัญญาณ PWM และสามารถนำไปใช้ควบคุมการทำงานของวงจรขับกระแสให้ RGB LED ได้ โดยถ้าจะทำให้ LED แต่ละสีที่อยู่ในหลอด RGB LED ติด จะต้องต่อขา R, G, B เข้ากับ GND เพื่อเชื่อมต่อไปยัง GND ของระบบ ทำให้มีกระแสไหลผ่านตัว LED และตัวต้านทานจำกัดกระแส ดังนั้นถ้าจะควบคุมการทำงานของหลอด RGB LED สำหรับแต่ละสี ต้องใช้ไอซีที่สามารถควบคุมการเปิด-ปิดการไหลของกระแสลง GND ได้ และต้องใช้ได้กับปริมาณกระแสหลายร้อยมิลลิแอมป์ต่อหนึ่งขา ลักษณะของขาหลอด RGB LED แสดงดังรูปที่ 2.24

รูปที่ 2.24 หลอด RGB LED [6]

2.5 หลักการทำงานของรีเลย์

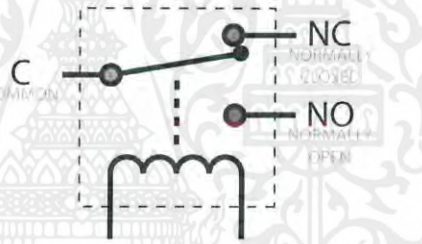
รีเลย์เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัด-ต่อวงจรโดยใช้แม่เหล็กไฟฟ้า โดยการให้รีเลย์ทำงานนั้นต้องจ่ายไฟให้รีเลย์ตามที่กำหนด เมื่อจ่ายไฟให้กับตัวรีเลย์จะทำให้หน้าสัมผัสติดกัน กลายเป็นวงจรปิด และทันทีที่ไม่ได้จ่ายไฟให้ก็จะกลายเป็นวงจรเปิด ตัวอย่างของรีเลย์ชนิดต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 2.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.25 ตัวอย่างของรีเลย์ชนิดต่าง ๆ [7]

รีเลย์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนของขดลวด (coil) เหนี่ยวนำกระแสต่ำ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้แกนโลหะไปกระทุ้งให้หน้าสัมผัสต่อกัน ทำงานโดยการรับแรงดันจากภายนอกต่อคร่อมที่ขดลวดเหนี่ยวนำนี้ เมื่อขดลวดได้รับแรงดัน (ค่าแรงดันที่รีเลย์ต้องการขึ้นกับชนิดและรุ่นตามที่ผู้ผลิตกำหนด) จะเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้แกนโลหะด้านในไปกระทุ้งให้แผ่นหน้าสัมผัสต่อกัน
2. ส่วนของหน้าสัมผัส (contact) ทำหน้าที่เหมือนสวิตช์จ่ายกระแสไฟให้กับอุปกรณ์ที่ต้องการ



รูปที่ 2.26 แสดงวงจรภายในของตัวรีเลย์ [7]

จากรูปที่ 2.26 จุดต่อใช้งานมาตรฐานภายในวงจรของตัวรีเลย์ ประกอบด้วย

1. จุดต่อ NC ย่อมาจาก normal close หมายความว่าปกติปิด หรือ หากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงานตลอดเวลา
2. จุดต่อ NO ย่อมาจาก normal open หมายความว่าปกติเปิด หรือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะไม่ติดกัน โดยทั่วไปเรามักต่อจุดนี้เข้ากับอุปกรณ์หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการเปิดปิด
3. จุดต่อ C ย่อมาจาก common คือจุดร่วมที่ต่อมาจากแหล่งจ่ายไฟ

2.6 หลักการทำงานของบลูทูธ

Bluetooth คือ ระบบสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองทาง ด้วยคลื่นวิทยุระยะสั้น (Short-Range Radio Links) โดยปราศจากการใช้สายเคเบิล หรือ สายสัญญาณเชื่อมต่อ และไม่จำเป็นจะต้องใช้การเดินทางแบบเส้นตรงเหมือนกับอินฟราเรด ซึ่งถือว่าเพิ่มความสะดวกมากกว่าการเชื่อมต่อแบบอินฟราเรด ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์มือถือ กับอุปกรณ์ ในโทรศัพท์เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รุ่นก่อน ๆ และในการวิจัย ไม่ได้มุ่งเฉพาะการส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียว แต่ยังศึกษาถึงการส่งข้อมูลที่เป็นเสียง เพื่อใช้สำหรับ Headset บนโทรศัพท์มือถือด้วย

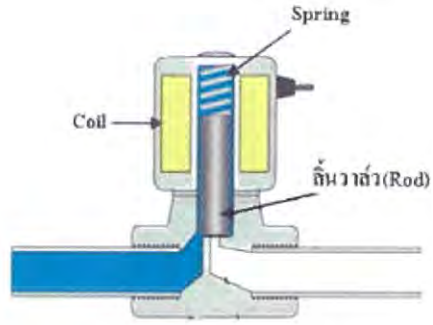
Bluetooth ใช้สัญญาณวิทยุความถี่สูง 2.4 GHz แต่จะแยกย่อยออกไป ตามแต่ละประเทศ อย่างในแถบยุโรปและอเมริกา จะใช้ช่วง 2.400 ถึง 2.4835 GHz แบ่งออกเป็น 79 ช่องสัญญาณ และจะใช้ช่องสัญญาณที่แบ่งนี้ เพื่อส่งข้อมูลสลับช่องไปมา 1,600 ครั้งต่อ 1 วินาที ส่วนที่ญี่ปุ่นจะใช้ความถี่ 2.402 ถึง 2.480 GHz แบ่งออกเป็น 23 ช่อง ระยะทำการของ Bluetooth จะอยู่ที่ 5-10 เมตร โดยมีระบบป้องกันโดยใช้การป้อนรหัสก่อนการเชื่อมต่อ และป้องกันการดักสัญญาณระหว่างสื่อสาร โดยระบบจะสลับช่องสัญญาณไปมาจะมีความสามารถในการเลือกเปลี่ยนความถี่ที่ใช้ในการติดต่อเองอัตโนมัติ โดยที่ไม่จำเป็นต้องเรียงตามหมายเลขช่อง ทำให้การดักฟังหรือลักลอบขโมยข้อมูลทำได้ยากขึ้น โดยหลักของบลูทูธจะถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากใช้การขนส่งข้อมูลในจำนวนที่ไม่มาก เช่น ไฟล์ภาพ, เสียง, แอพพลิเคชั่นต่าง ๆ และสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย ขอให้อยู่ในระยะที่กำหนดไว้เท่านั้น (ประมาณ 5-10 เมตร) นอกจากนี้ยังใช้พลังงานต่ำ กินไฟน้อย และสามารถใช้งานได้นาน

ความสามารถการส่งถ่ายข้อมูลของ Bluetooth จะอยู่ที่ 1 Mbps (1 เมกกะบิตต่อวินาที) และคงจะไม่มีปัญหาอะไรมากกับขนาดของไฟล์ที่ใช้กันบนโทรศัพท์มือถือ หรือ การใช้งานแบบทั่วไป ซึ่งถือว่าเพียงพอมาก แต่ถ้าเป็นข้อมูลที่มีขนาดใหญ่มีการส่งถ่ายข้อมูลได้ช้า แต่ข้อได้เปรียบของ Bluetooth จะอยู่ที่ขนาดที่เล็กกว่า การติดตั้งทำได้ง่ายกว่า และที่สำคัญการใช้พลังงานก็น้อยกว่ามาก อยู่ที่ 0.1 วัตต์

2.7 หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว (Solinoidvalve)

โซลินอยด์ (Solenoid) เป็นอุปกรณ์แม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่มีหลักการทำงานคล้ายกับรีเลย์ (Relay) ภายในโครงสร้างของโซลินอยด์จะประกอบด้วยขดลวดที่พันอยู่รอบแท่งเหล็กที่ภายในประกอบด้วยแม่เหล็กชุดบนกับชุดล่าง เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดที่พันรอบแท่งเหล็ก ทำให้แท่งเหล็กชุดล่างมีอำนาจแม่เหล็กดึงแท่งเหล็กชุดบนลงมาสัมผัสกันทำให้ครบวงจรทำงาน เมื่อวงจรถูกตัดกระแสไฟฟ้าทำให้แท่งเหล็กส่วนล่างหมดอำนาจแม่เหล็ก สปริงก็จะดันแท่งเหล็กส่วนบนกลับสู่ตำแหน่งปกติ จากหลักการดังกล่าวของโซลินอยด์ก็จะนำมาใช้ในการเลื่อนลิ้นวาล์วของระบบนิวแมติกส์ การปิด-เปิดการจ่ายน้ำหรือของเหลวอื่น ๆ โครงสร้างของ Solenoid โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เลื่อนวาล์วด้วยโซลินอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง (Single Solenoid Valve) และเลื่อนวาล์วด้วยโซลินอยด์วาล์วกลับด้วยโซลินอยด์วาล์ว (Double Solenoid Valve) ในที่นี้ใช้แบบเลื่อนวาล์วด้วยโซลินอยด์วาล์วกลับด้วยสปริง (Single Solenoid Valve) หลักการของโซลินอยด์แสดงดังรูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 หลักการของโซลินอยด์ [9]

2.8 ระบบฐานข้อมูลภาษา

Database หรือ ฐานข้อมูล คือ กลุ่มของข้อมูลที่ถูกเก็บรวบรวมไว้ โดยมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน โดยไม่ได้บังคับว่าข้อมูลทั้งหมดนี้จะต้องเก็บไว้ในแฟ้มข้อมูลเดียวกันหรือแยกเก็บหลาย ๆ แฟ้มข้อมูล

ระบบฐานข้อมูล (Database System) คือ ระบบที่รวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกันเข้าไว้ด้วยกันอย่างมีระบบ มีความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลต่าง ๆ ที่ชัดเจน ในระบบฐานข้อมูลประกอบด้วยแฟ้มข้อมูลหลายแฟ้มที่มีข้อมูลเกี่ยวข้องสัมพันธ์กันเข้าไว้ด้วยกันอย่างเป็นระบบและเปิดโอกาสให้ผู้ใช้สามารถใช้งานและดูแลรักษาป้องกันข้อมูลเหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีซอฟต์แวร์ที่เปรียบเสมือนสื่อกลางระหว่างผู้ใช้และโปรแกรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ฐานข้อมูลเรียกว่าระบบจัดการฐานข้อมูล หรือ DBMS (Data Base management system) มีหน้าที่ช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงข้อมูลได้ง่ายสะดวกและมีประสิทธิภาพ

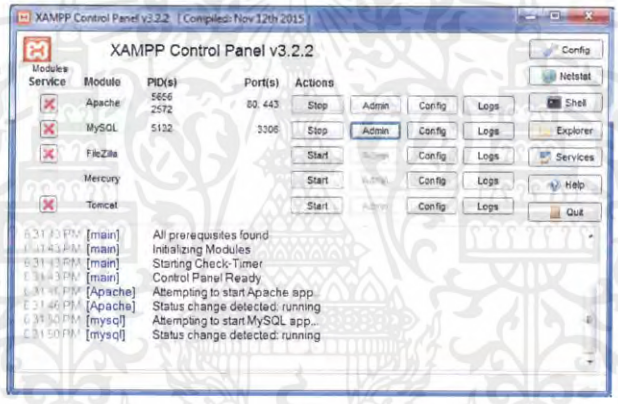
2.8.1 ประโยชน์ของฐานข้อมูล

1. ลดการเก็บข้อมูลที่ซ้ำซ้อน ข้อมูลบางชุดที่อยู่ในรูปของแฟ้มข้อมูลอาจมีปรากฏอยู่หลาย ๆ แห่ง เพราะมีผู้ใช้ข้อมูลชุดนี้หลายคนเมื่อใช้ระบบฐานข้อมูลแล้วจะช่วยให้ความซ้ำซ้อนของข้อมูลลดน้อยลง
2. รักษาความถูกต้องของข้อมูล เนื่องจากฐานข้อมูลมีเพียงฐานข้อมูลเดียว ในกรณีที่มีข้อมูลชุดเดียวกันปรากฏอยู่หลายแห่งในฐานข้อมูล ข้อมูลเหล่านี้จะต้องตรงกัน ถ้ามีการแก้ไขข้อมูลนี้ทุก ๆ แห่งที่ข้อมูลปรากฏอยู่จะแก้ไขให้ถูกต้องตามกันหมดโดยอัตโนมัติด้วยระบบจัดการฐานข้อมูล
3. การป้องกันและรักษาความปลอดภัยให้กับข้อมูลทำได้อย่างสะดวก การป้องกันและรักษาความปลอดภัยกับข้อมูลระบบฐานข้อมูลจะให้เฉพาะผู้ที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ซึ่งก่อให้เกิดความปลอดภัยของข้อมูลด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 โปรแกรม XAMPP

Xampp คือ โปรแกรมสำหรับจำลองเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ให้ทำงานในลักษณะของ Web Server กล่าวคือเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นทั้งเครื่องแม่ข่าย และเครื่องลูกข่ายในเครื่องเดียวกัน โดย XAMPP ประกอบด้วย Apache, PHP, MySQL, PHP MyAdmin, Perl ซึ่งเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่รองรับการทำงาน CMS (Content Management System) คือ ระบบจัดการเนื้อหาของเว็บไซต์ ซึ่งเป็นชุดโปรแกรมสำหรับออกแบบเว็บไซต์ มีชุดควบคุมการทำงานที่ช่วยให้การปรับแต่งส่วนต่าง ๆ และรองรับระบบปฏิบัติการหลายชนิด เช่น Windows, Linux, Apple ทำงานได้ทั้งบน ระบบปฏิบัติการแบบ 32 bit และ 64 bit ข้อดีที่ทำให้คณะผู้จัดทำเลือกใช้ คือเป็นโปรแกรมที่รวบรวมเอาระบบงานที่จำเป็นในการทำงานทั้งหมดไว้ด้วยกัน ประกอบด้วย Apache ที่รองรับการทำงานของ Web server, MySQL ที่รองรับการทำงานของระบบฐานข้อมูล ทำให้สามารถทำงานได้อย่างสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น ตัวอย่างหน้า Control Panel ของโปรแกรม Xampp แสดงดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 Control panel ของ Xampp เวอร์ชัน 3.2.2

2.8.3 MySQL (Structured Query Language)

โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล ที่พัฒนาโดยบริษัท MySQL AB มีหน้าที่เก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ รองรับคำสั่ง SQL เป็นเครื่องมือสำหรับเก็บข้อมูล ที่ต้องใช้ร่วมกับเครื่องมือหรือโปรแกรมอื่นอย่างบูรณาการ เพื่อให้ได้ระบบงานที่รองรับ ความต้องการของผู้ใช้ เช่นทำงานร่วมกับเครื่องบริการเว็บ (Web Server) เพื่อให้บริการแก่ภาษาสคริปต์ที่ทำงานฝั่งเครื่องบริการ (Server-Side Script) เช่น ภาษา php, ภาษา aps.net หรือภาษาเจเอสพี เป็นต้น หรือทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์ (Application Program) เช่น ภาษาวิชวลเบสิกดอทเน็ต, ภาษาจาวา หรือภาษาซีชาร์ป เป็นต้น โปรแกรมถูกออกแบบให้สามารถทำงานได้บนระบบปฏิบัติการที่หลากหลาย และเป็นระบบฐานข้อมูลโอเพนท์ซอร์ท (Open Source)ที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด โดยความสามารถและการทำงานของโปรแกรม MySQL มีดังต่อไปนี้

- MySQL ถือเป็นระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System (DBMS) ฐานข้อมูลมีลักษณะเป็นโครงสร้างของการเก็บรวบรวมข้อมูล การเพิ่มเติม เข้าถึงหรือประมวลผลข้อมูลที่เก็บในฐานข้อมูลจำเป็นต้องอาศัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบจัดการ ฐานข้อมูล ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการจัดการกับข้อมูลในฐานข้อมูลทั้งสำหรับการ ใช้งานเฉพาะ และรองรับการทำงานของแอพลิเคชันอื่นๆ ที่ต้องการใช้งานข้อมูลในฐานข้อมูล เพื่อให้ได้รับความสะดวกในการจัดการกับข้อมูลจำนวนมาก MySQL ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวฐานข้อมูลและระบบจัดการฐานข้อมูล

- MySQL เป็นระบบจัดการฐานข้อมูลแบบ relational ฐานข้อมูลแบบ relational ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมดในรูปแบบของตารางแทนการเก็บข้อมูลทั้งหมดลงในไฟล์ เพียงไฟล์เดียว ทำให้ทำงานได้รวดเร็วและมีความยืดหยุ่น นอกจากนั้น แต่ละตารางที่เก็บข้อมูลสามารถเชื่อมโยงเข้าหากันทำให้สามารถรวมหรือจัด กลุ่มข้อมูลได้ตามต้องการ โดยอาศัยภาษา SQL ที่เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมMySQL ซึ่งเป็นภาษามาตรฐานในการเข้าถึงฐานข้อมูล
- MySQL แจกจ่ายให้ใช้งานแบบ Open Source นั่นคือ ผู้ใช้งาน MySQL ทุกคนสามารถใช้งานและปรับแต่งการทำงานได้ตามต้องการ สามารถดาวน์โหลดโปรแกรม MySQL ได้จากอินเทอร์เน็ตและนำมาใช้งานโดยไม่มีค่าใช้จ่ายใด ๆ

ในระบบปฏิบัติการ Red Hat Linux นั้น มีโปรแกรมที่สามารถใช้งานเป็นฐานข้อมูลให้ผู้ดูแลระบบสามารถเลือกใช้งานได้ หลายโปรแกรม เช่น MySQL และ PostgreSQL ผู้ดูแลระบบสามารถเลือกติดตั้งได้ทั้งในขณะที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Red Hat Linux หรือติดตั้งภายหลังจากที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการก็ได้ อย่างไรก็ตาม สาเหตุที่ผู้ใช้งานจำนวนมากนิยมใช้งานโปรแกรม MySQL คือ MySQL สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็ว น่าเชื่อถือและใช้งานได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงานระหว่างโปรแกรม MySQL และ PostgreSQL โดยพิจารณาจากการประมวลผลแต่ละคำสั่งได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 1 นอกจากนั้น MySQL ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นมาเพื่อทำหน้าเป็นเครื่องให้บริการรองรับการจัดการกับ ฐานข้อมูลขนาดใหญ่ ซึ่งการพัฒนายังคงดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีฟังก์ชันการทำงานใหม่ ๆ ที่อำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งานเพิ่มขึ้นอยู่ตลอดเวลา รวมไปถึงการปรับปรุงด้านความต่อเนื่อง ความเร็วในการทำงาน และความปลอดภัย ทำให้ MySQL เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานเพื่อเข้าถึงฐานข้อมูลบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

2.9 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

แอนดรอยด์ (Android) คือ ระบบปฏิบัติการแบบเปิดเผยซอร์ฟแวร์ต้นฉบับ (Open Source) โดยบริษัท กูเกิ้ล (Google Inc.) ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์มีจำนวนมาก อุปกรณ์มีหลากหลายระดับ หลายราคา รวมทั้งสามารถทำงานบนอุปกรณ์ที่มีขนาดหน้าจอ และความละเอียดแตกต่างกันได้

2.9.1 ประวัติความเป็นมาของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ถูกพัฒนามาจากบริษัท แอนดรอยด์ (Android Inc.) เมื่อปี พ.ศ 2546โดยนายแอนดี้ รูบิน (Andy Rubin) โดยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบปฏิบัติการที่พัฒนามาจากการนำเอาแกนกลางของระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Kernel) ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่ออกแบบมาเพื่อทำงานเป็นเครื่องให้บริการ (Server) มาพัฒนาต่อ เพื่อให้กลายเป็นระบบปฏิบัติการบนอุปกรณ์พกพา (Mobile Operating System)

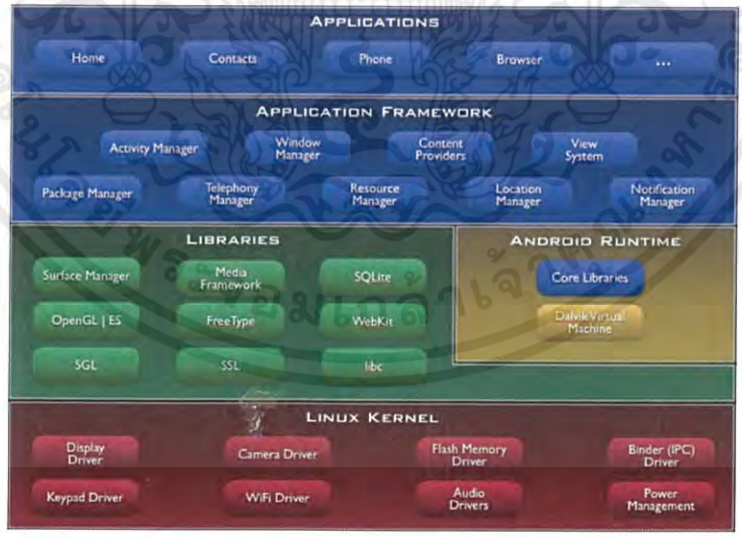
ต่อมาเมื่อเดือนพฤศจิกายน ปี พ.ศ 2550 บริษัทกูเกิ้ล ได้ทำการก่อตั้งสมาคม OHA (Open Handset Alliance, http://www.openhandsetalliance.com) เพื่อเป็นหน่วยงานกลางในการกำหนดมาตรฐานกลางของอุปกรณ์พกพาและระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยมีสมาชิกในช่วงก่อตั้งจำนวน 34 รายเข้าร่วม ซึ่งประกอบไปด้วยบริษัทชั้นนำที่ดำเนินธุรกิจด้านการสื่อสาร เช่น โรงงานผลิตอุปกรณ์พกพา, บริษัทพัฒนาโปรแกรม, ผู้ให้บริการสื่อสาร และผู้ผลิตอะไหล่อุปกรณ์ด้านสื่อสาร

หลังจากนั้นเมื่อเดือนตุลาคมปี พ.ศ 2551 บริษัทกูเกิ้ลได้เปิดตัวมือถือตัวแรกที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ที่ชื่อ T-Mobile G1 หรืออีกชื่อนึง คือ HTC Dream โดยใช้แอนดรอยด์รุ่น 1.1 และหลังจากนั้นได้มีการปรับพัฒนาระบบปฏิบัติการเป็นรุ่นใหม่ มาเป็นลำดับ

ช่วงต่อมาได้มีการออกผลิตภัณฑ์จากบริษัทต่างๆ ออกมาหลากหลายรุ่น หลากหลายยี่ห้อ ตามการพัฒนาระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ที่มีอยู่อย่างต่อเนื่อง ทำให้สินค้าของแอนดรอยด์มีให้เลือกอยู่อย่างมากมาย

2.9.2 โครงสร้างของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

ส่วนประกอบหลัก ๆ ของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ จะแบ่งเป็นชั้น แต่ละชั้นจะเรียกใช้บริการของชั้นที่อยู่ถัดลงไป แสดงดังรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 ส่วนประกอบการทำงานของแอนดรอยด์ในแต่ละชั้น [11]

โดยแต่ละส่วนประกอบ จะมีหน้าที่และบริการต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) Applications ส่วน Application หรือส่วนของโปรแกรมที่มีมากับระบบปฏิบัติการ หรือเป็นกลุ่มของโปรแกรมที่ผู้ใช้งานได้ทำการติดตั้งไว้ โดยผู้ใช้งานสามารถเรียกใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมต่าง ๆ ได้โดยตรง ซึ่งการทำงานของแต่ละโปรแกรมเป็นไปตามที่ผู้พัฒนาโปรแกรมได้ออกแบบและเขียนโค้ดโปรแกรมเอาไว้

2) Application Framework เป็นส่วนที่มีการพัฒนาขึ้นเพื่อให้นักพัฒนาสามารถพัฒนาโปรแกรมได้สะดวก และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยนักพัฒนาไม่จำเป็นต้องพัฒนาในส่วนที่มีความยุ่งยากมาก ๆ เพียงแค่ทำการศึกษาถึงวิธีการเรียกใช้งาน Application Framework ในส่วนที่ต้องการใช้งาน แล้วนำมาใช้งาน ซึ่งมีหลายกลุ่มด้วยกัน ตัวอย่างเช่น

- Activities Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่จัดการเกี่ยวกับวงจรการทำงานของหน้าต่างโปรแกรม
- Content Providers เป็นกลุ่มของชุดคำสั่ง ที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลของโปรแกรมอื่น และสามารถแบ่งปันข้อมูลให้โปรแกรมอื่นเข้าถึงได้
- View System เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่เกี่ยวกับการจัดการโครงสร้างของหน้าจอที่แสดงผลในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface)
- Telephony Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลด้านโทรศัพท์ เช่น หมายเลขโทรศัพท์ เป็นต้น
- Resource Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งในการเข้าถึงข้อมูลที่เป็นข้อความ, รูปภาพ
- Location Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่เกี่ยวกับตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ที่ระบบปฏิบัติการได้รับค่าจากอุปกรณ์
- Notification Manager เป็นกลุ่มของชุดคำสั่งที่ถูกเรียกใช้เมื่อโปรแกรมต้องการแสดงผลให้กับผู้ใช้งาน ผ่านทางแถบสถานะ(Status Bar) ของหน้าจอ

3) Libraries เป็นส่วนของชุดคำสั่งที่พัฒนาด้วย C/C++ โดยแบ่งชุดคำสั่งออกเป็นกลุ่มตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน เช่น Surface Manage จัดการเกี่ยวกับการแสดงผล, Media Framework จัดการเกี่ยวกับการการแสดงภาพและเสียง, Open GL | ES และ SGL จัดการเกี่ยวกับภาพ 3 มิติ และ 2 มิติ, SQLlite จัดการเกี่ยวกับระบบฐานข้อมูล เป็นต้น

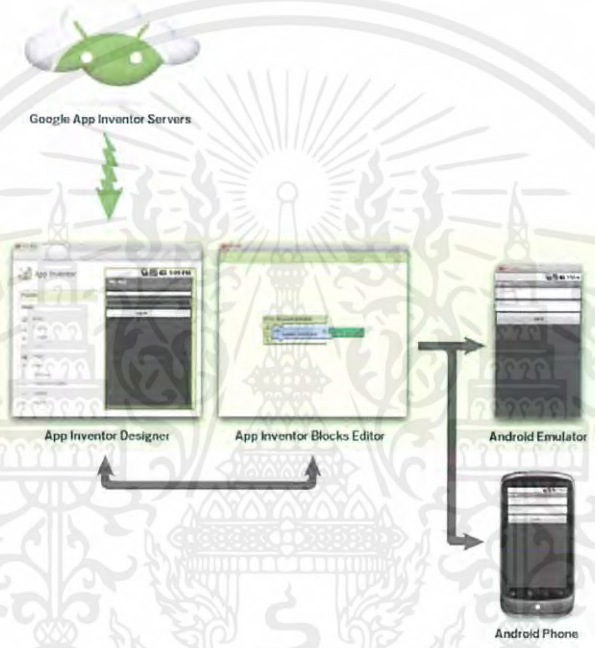
4) Android Runtime มี Darvik Virtual Machine ที่ถูกออกแบบมา เพื่อให้ทำงานบนอุปกรณ์ที่มี หน่วยความจำ (Memmory), หน่วยประมวลผลกลาง (CPU) และพลังงาน (Battery) ที่จำกัด ซึ่งการทำงานของ Darvik Virtual Machine ทำการแปลงไฟล์ที่ต้องการทำงานไปเป็นไฟล์ .DEX ก่อนการทำงาน เหตุผลก็เพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อใช้งานกับ หน่วยประมวลผลกลางที่มีความเร็วไม่มาก ส่วนต่อมา คือ Core Libraries ที่เป็นส่วนรวบรวมคำสั่งและชุดคำสั่งสำคัญ โดยถูกเขียนด้วยภาษาจาวา (Java Language)

5) Linux Kernel เป็นส่วนที่ทำหน้าที่หัวใจสำคัญ ในจัดการกับบริการหลักของระบบปฏิบัติการ เช่น เรื่องหน่วยความจำ พลังงาน ติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ความปลอดภัย เครือข่าย โดยแอนดรอยด์ได้นำเอาส่วนนี้มาจากระบบปฏิบัติการลินุกซ์ รุ่น 2.6 (Linux 26. Kernel) ซึ่งได้มีการออกแบบมาเป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 App Inventor

App Inventor เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับสร้าง Application สำหรับ Smartphone และ Tablet ที่เป็นระบบปฏิบัติการ Android ลักษณะการเขียนโปรแกรมแบบ Visual Programing คือ เขียนโปรแกรมด้วยการต่อบล็อกคำสั่ง เน้นการออกแบบเพื่อแก้ปัญหา ด้วยการสร้างโปรแกรมบนโทรศัพท์มือถือ Smartphone การเขียนโปรแกรมบน Smartphone และ Tablet Android ด้วย App inventor สามารถแสดงการเชื่อมต่อโดยรวมของระบบแสดงดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 การเชื่อมต่อโดยรวมของระบบ [12]

โดย App Inventor Server เป็นเครื่องที่ให้บริการและเก็บงานโปรเจคต่าง ๆ ที่ผู้ใช้สร้างขึ้นมา ผู้ใช้พัฒนาโปรแกรมมือถือ Android โดยสร้างโปรเจคและเขียนโปรแกรมบนเว็บเบราว์เซอร์ที่เชื่อมต่อไปยัง App Inventor Servers เมื่อได้โปรแกรมออกมา สามารถทดสอบกับโปรแกรมมือถือจำลอง (Android emulator) หรือโทรศัพท์มือถือ Android จริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

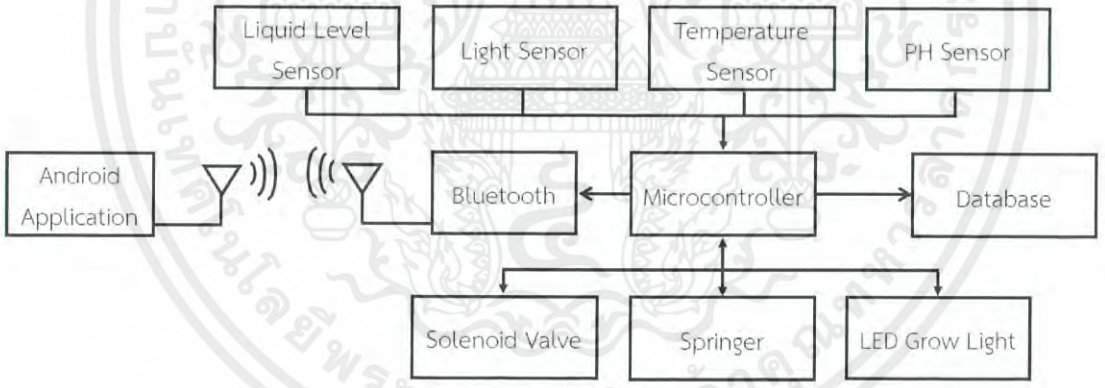
บทที่ 3

ออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์เรื่อง แปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ ให้เป็นระบบอัตโนมัติและสามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักไฮโดรโปนิกส์ ทำให้ผู้ใช้เกิดความสะดวกในการดูแล และเกิดประสิทธิภาพในการผลิตผักไฮโดรโปนิกส์ที่รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยการออกแบบการทำงานของระบบมีดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบการทำงานของระบบโดยรวม

ผู้จัดทำได้ออกแบบและพัฒนาแปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ เพื่อทำให้เกิดความสะดวกสบายในการใช้งาน โดยใช้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino) ในการควบคุมปัจจัยที่สำคัญในการเจริญเติบโตของผักไฮโดรโปนิกส์ ประกอบไปด้วย การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าความเข้มแสง อุณหภูมิ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะเก็บค่าของเซนเซอร์ในฐานข้อมูล อีกทั้งสามารถแสดงค่าเซนเซอร์ต่าง ๆ ในแอปพลิเคชั่นผ่านสัญญาณ Bluetooth



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของแปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ

3.2 การออกแบบระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบแมนนวล (Manual Hydroponic Planting)

3.2.1 การเลือกระบบไฮโดรโปนิกส์

จากการวิเคราะห์ระบบไฮโดรโปนิกส์แต่ละระบบ พบว่าแต่ละระบบยังมีข้อเสียในหลายปัจจัยสามารถอธิบายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความร้อนสะสมในรางปลูกผัก

วิเคราะห์จากระบบแบบ NET ระดับน้ำของในรางมีระดับที่ต่ำ ทำให้เกิดความร้อนสะสมมาก จนมีโอกาสที่รากพืชขาดอากาศ จึงได้มีการประยุกต์นำระบบไซฟอนมาแก้ไขปัญหา

2. โครงสร้างของโรงเรือน

ระบบแบบ DFT และ DRFT ต้องมีโครงสร้างที่แข็งแรง เพราะต้องรับน้ำหนักของปริมาณน้ำในราง แต่นำระบบไซฟอนมาประยุกต์ใช้ทำให้โครงสร้างไม่จำเป็นต้องเลือกใช้วัสดุที่สามารถรับน้ำได้มาก

3. การได้รับปริมาณอากาศที่รากพืช

เมื่อนำระบบไซฟอนมาประยุกต์ใช้ทำให้พืชมีโอกาสที่ได้รับปริมาณออกซิเจนมากขึ้น จากการที่ระดับน้ำมีการเปลี่ยนแปลง และยังทำให้น้ำในรางมีการแลกเปลี่ยนปริมาณออกซิเจน ส่งผลให้น้ำมีออกซิเจนที่มากขึ้น

4. การใช้น้ำและปุ๋ย

น้ำในระบบไซฟอนมีการใช้น้ำและปุ๋ยในปริมาณไม่มากเพราะน้ำในรางไม่จำเป็นต้องขังอยู่ในราง จึงไม่จำเป็นต้องใช้น้ำในปริมาณมาก และถ้าอุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นจากการที่เกิดความร้อนสะสมในรางปลูกผัก เป็นระยะเวลานาน ๆ ทำให้คุณสมบัติทางเคมีในธาตุอาหารพืชมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม แต่ในระบบไซฟอนเกิดความร้อนสะสมที่น้อยทำให้สามารถใช้ปุ๋ยที่ปริมาณที่น้อยลง เพราะคุณสมบัติทางเคมีในธาตุอาหารของพืชมีการเปลี่ยนแปลงน้อย

5. การเกิดปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง

สำหรับระบบ NET เมื่อเกิดปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง ทำให้ระบบปั๊มน้ำหยุดการทำงาน หากหยุดเป็นระยะเวลานาน ๆ ทำให้รากพืชแห้งจนพืชที่ปลูกนั้นตายได้ แต่ถ้าใช้ระบบไซฟอนจะยังมีน้ำอยู่ในระบบ ตารางเปรียบเทียบระบบการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์กับระบบต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบระบบการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์กับระบบต่าง ๆ

ลำดับ	ปัจจัย	การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์			
		NET	DFT	DRFT	ไซฟอน
1	ความร้อนสะสมในราง	มาก	น้อย	น้อย	น้อย
2	โครงสร้างของโรงเรือน	ไม่รับน้ำหนักมาก	รับน้ำหนักมาก	ไม่รับน้ำหนักมาก	ไม่รับน้ำหนักมาก
3	ปริมาณอากาศที่รากพืช	มาก	น้อย	น้อยแต่มากกว่า DRFT	มาก
4	การใช้น้ำและปุ๋ย	น้อย	มาก	น้อยกว่า DRFT	น้อย
5	เมื่อเกิดปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง	ไม่มีน้ำในระบบ	มีน้ำในระบบ	มีน้ำในระบบ	มีน้ำในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การออกแบบแปลงผักไฮโดรโปนิกส์

การออกแบบการทำงานของระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ ได้ประยุกต์ใช้ระบบน้ำขึ้น-น้ำลง หรือไซฟอน มาใช้ในโรงเรือนเพาะปลูก โดยการเจาะรูข้างใต้รางที่ช่องสุดท้ายของรางแต่ละราง เพื่อนำท่อ PVC เข้าไปในราง โดยความสูงท่อ PVC จะเป็นการกำหนดระดับน้ำที่สูงสุดของรางและใช้ฝาท่อ PVC ครอบท่อ PVC โดยขอบของฝาท่อ PVC จะเป็นระดับน้ำต่ำสุดของราง ดังรูปที่ 3.2

โครงสร้างของโรงเรือน ใช้ท่อ PVC เป็นรางปลูกผัก เพื่อใช้จำลองระบบไซฟอน เพราะเป็นวัสดุที่หาซื้อได้ง่าย ราคาถูก แต่มีน้ำหนักมาก

(ก) (ข)

รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไซฟอน (ก) ฝาท่อไซฟอน (ข) รางปลูกผัก

ผู้จัดทำได้ทำการอ่อกแบบแปลงผักไฮโดรโปนิกส์แสดงดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 แปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แมนนวล

3.3 การออกแบบระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ (Automatic Hydroponic System)

ได้มีการวิเคราะห์ข้อดีของเสียของโครงสร้างของระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบแมนนวล มาปรับปรุงแก้ไข ให้ดีขึ้น โดยคำนึงถึงการใช้วัสดุที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด และไม่มีราคาสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การออกแบบโรงเรือน

ในส่วนของโครงสร้างโรงเรือนผู้จัดทำได้เลือกใช้ท่อ PVC เนื่องจากเป็นวัสดุที่เบา ไม่เกิดสนิม หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด และได้เปลี่ยนการใช้รางปลูกผักจากการใช้ท่อ PVC เป็นราง PVC สีขาว แสดงดังรูปที่ 3.4 เนื่องจากราง PVC มีการสะสมความร้อนที่น้อยกว่าท่อ PVC

รูปที่ 3.4 รางปลูกผัก PVC สีขาว

ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบแปลงผักไฮโดรโปนิกส์แสดงดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 แปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ระบบอัตโนมัติ

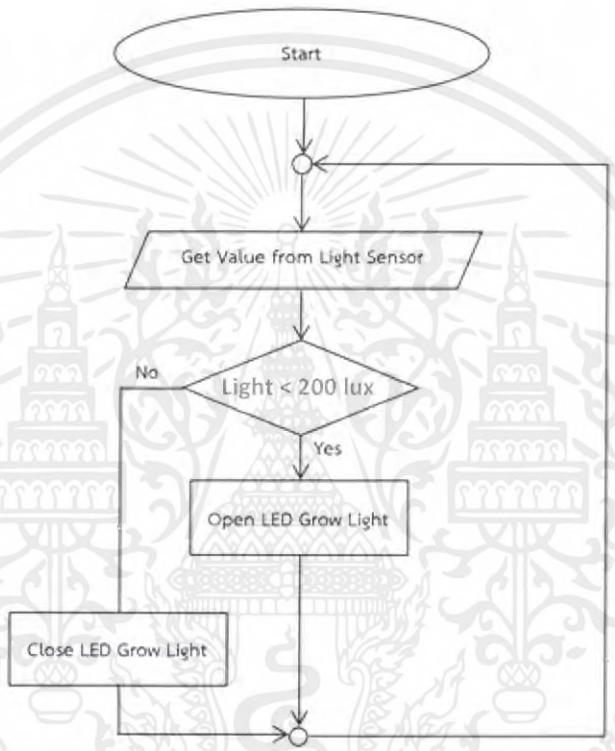
3.3.2 ส่วนของระบบควบคุมการปลูกไฮโดรโปนิกส์

3.3.2.1 การควบคุมแสง

ในระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ได้ออกแบบระบบแสงแดดเทียมที่สามารถเปิด-ปิดอัตโนมัติ โดยโฟลว์ชาร์ตของระบบควบคุมเปิด-ปิด แสงแดดเทียมอัตโนมัติ แสดงดังรูปที่ 3.6 ซึ่งให้มีการใช้แสงแดดเทียม (Plant Grow Light) หรือ หลอดไฟ LED Grow Light แสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8 ซึ่งทำให้สามารถใช้แสงจาก LED แทนแสงจากดวงอาทิตย์ เพื่อช่วยให้ต้นไม้สังเคราะห์แสง โดยได้มีการออกแบบให้เปิดหลอดไฟ LED แบบอัตโนมัติ โดยผู้จัดทำได้เลือกใช้เซนเซอร์วัดความเข้มแสง GY-30 (BH1750FVI) แสดงดังรูปที่ 3.9 เพื่อวัดความเข้มแสงแดด ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ โดยวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มแสงออกมาในหน่วย lux และส่งค่าให้กับบอร์ด Arduino เพื่อทำการควบคุมโมดูลรีเลย์ให้เปิด-ปิดหลอดไฟ LED Grow Light ซึ่งหลักการทำงานของโปรแกรมควบคุมคือ เมื่อเซนเซอร์วัดความเข้มแสงวัดได้นั้นน้อยกว่า 200 lux บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งการให้เปิดไฟ LED Grow Light แต่ถ้าความเข้มแสงที่วัดได้มากกว่า 200 lux จะสั่งการให้ปิดไฟ LED Grow Light ทั้งนี้เพื่อให้พืชสามารถสังเคราะห์แสงทั้งช่วงเวลากลางวัน และกลางคืน ทำให้ได้ผลผลิตที่มีระยะเวลาที่เร็วขึ้น



รูปที่ 3.6 โฟลว์ชาร์ตของระบบควบคุมเปิด-ปิด แสงแดดเทียมอัตโนมัติ

รูปที่ 3.7 หลอดไฟ LED Grow Light [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.8 ตารางคุณสมบัติของหลอดไฟ LED Grow Light

มาตรฐาน	CCC, CE, FCC, RoHS, SAA, UL
Voltage:	85-265 โวลต์
วัสดุ	Plastic
Power Source	AC
แหล่งพลังงานแสง	LED Bulbs (60pcs Led Chip) 40Red:20Blue
อายุการใช้งาน	มากกว่า 50,000 ชั่วโมง
น้ำหนัก	70 กรัม

รูปที่ 3.9 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง คือ GY-30 BH1750 [14]

ข้อดีของเซนเซอร์วัดความเข้มแสง GY-30 (BH1750FVI) คือ ให้ค่าเป็นดิจิทัล ความละเอียดสูงถึง 16 บิต เชื่อมต่อแบบ I2C bus ทำให้ประหยัดจำนวนสัญญาณเชื่อมต่อ ให้ค่าในการวัดเป็นหน่วย lux (ลักซ์) ซึ่งเป็นหน่วยการวัดแบบ SI สำหรับความสว่าง (luminance) = 1 lumen per square meter

รายละเอียดเชิงเทคนิคของเซนเซอร์ GY-30 BH1750FVI

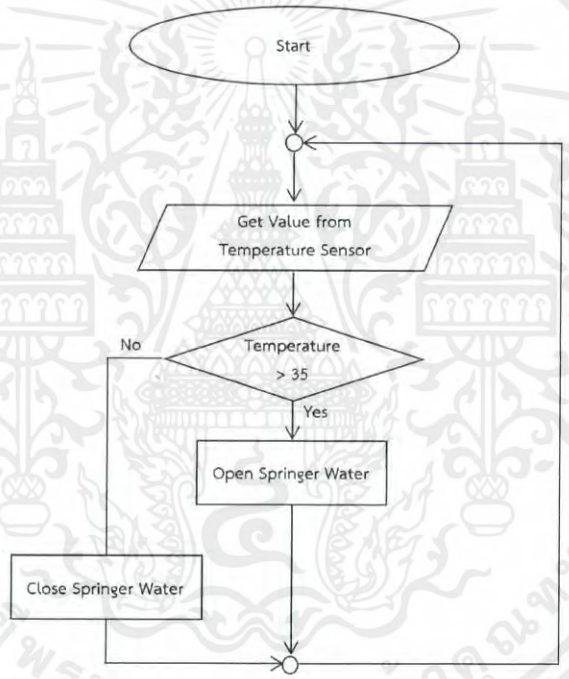
- เชื่อมต่อแบบ I2C (มีขา SCL และ SDA)
- ใช้งานและเชื่อมต่อแบบ I2C slave device
- ความเร็วสำหรับบัส I2C ได้ถึง 400kHz
- มีขา ADDR สำหรับต่อกับ LOW หรือ HIGH เพื่อใช้กำหนดเลขที่อยู่ของ I2C Slave (สามารถกำหนดเลขที่อยู่ได้สองค่า)
- แรงดันไฟเลี้ยงในช่วง 2.4V - 3.6V
- เลือกโหมดการวัดได้ (Measurement Mode) เช่น H-resolution Mode, H-resolution Mode2, L-resolution Mode ซึ่งเป็นตัวกำหนดความละเอียดในการวัด รวมถึงระยะเวลาในการวัดและอ่านค่า (Measurement time)
- ความละเอียด: 16 บิต ได้ค่า 1-65536 หน่วยเป็น lux (step: 0.5 lux, 1 lux, หรือ 4 lux ขึ้นอยู่กับโหมดการวัดที่เลือก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระยะเวลาในการวัดแต่ละครั้ง: ประมาณ 120 millisecond (สำหรับ 0.5 lux หรือ 1 lux), 16 millisecond (สำหรับ 4 lux) ขึ้นอยู่กับโหมดการวัดที่เลือก

3.3.2.2 การควบคุมอุณหภูมิ

การควบคุมอุณหภูมิของระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ เพื่อควบคุณอุณหภูมิภายในระบบแปลงผักไฮโดรโปนิกส์ ซึ่งทำให้พืชสังเคราะห์แสงได้ดีขึ้น ระบบการทำงานจะควบคุมอุณหภูมิให้ไม่เกิน 29 °C เมื่ออุณหภูมิเกินที่กำหนด ระบบจะทำการเปิดสปริงเกอร์น้ำ เพื่อทำการลดอุณหภูมิภายในระบบลง โดยโฟลว์ชาร์ตของระบบควบคุมเปิด-ปิด สปริงเกอร์อัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 3.10 ซึ่งการวัดอุณหภูมิผู้จัดทำได้เลือกใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT11 แสดงดังรูปที่ 3.11 ซึ่งสามารถใช้ได้ทั้งใช้วัดอุณหภูมิเป็นหน่วย °C และหน่วย °F



รูปที่ 3.10 โฟลว์ชาร์ตของระบบควบคุมการเปิด-ปิด สปริงเกอร์อัตโนมัติ

รูปที่ 3.11 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT11 [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

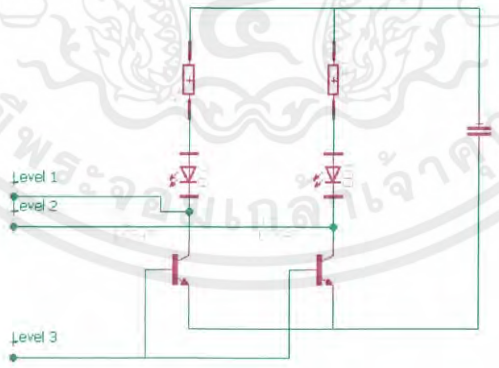
รายละเอียดเชิงเทคนิคของโมดูล DHT11

- ย่านวัดความชื้น 20-90% RH โดยมีค่าความแม่นยำ ± 5% RH ความละเอียดในการวัด 1 % แสดงผลแบบ 8 บิต
- ย่านวัดอุณหภูมิ 0-50 °C โดยมีค่าความแม่นยำ ± 2 °C ความละเอียดในการวัด 1 °C แสดงผลแบบ 8 บิต
- 4 pins ใช้พื้นที่ในการวางขา 0.1 inch
- ใช้กระแส 0.5-2.5 mA และระดับแรงดัน 3-5.5VDC
- อ่านค่าสัญญาณ (Sample Rate) ทุก 1 วินาที

การควบคุมอุณหภูมิทำได้โดยการวัดอุณหภูมิออกมาในหน่วยองศาเซลเซียส โดยเซนเซอร์วัดอุณหภูมิทำการส่งค่าให้กับบอร์ด Arduino และควบคุมผ่านโมดูลรีเลย์ สั่งการให้โซลินอยด์วาล์วทำงาน หลักการทำงานของโปรแกรมควบคุม คือ เมื่อเซนเซอร์วัดอุณหภูมิได้ 29 °C บอร์ด Arduino จะสั่งการผ่านโมดูลรีเลย์ทำให้โซลินอยด์วาล์วทำงาน เพื่อให้น้ำไหลไปที่สปริงเกอร์เกิดละอองน้ำเพื่อลดอุณหภูมิภายในแปลงปลูกผัก

3.3.2.3 การควบคุมระดับน้ำ

ผู้จัดทำได้จัดทำเซนเซอร์วัดระดับน้ำ เพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณน้ำในถังของสารละลาย โดยการออกแบบวงจรบอกระดับน้ำแสดงดังรูปที่ 3.12 ซึ่งวงจรวัดระดับน้ำสามารถวัดน้ำได้ 2 ระดับ และมีหลอดไฟ LED เป็นตัวแสดงผล ในการต่อวงจรจะมีการต่อขาอ้างอิงไว้เพื่อเปรียบเทียบกับขาที่ใช้เป็นตัวบอกระดับน้ำที่ต้องการ เมื่อหลอดไฟ LED ทำงานแสดงว่าน้ำอยู่ในระดับที่ตั้งไว้ จากนั้นจะส่งสัญญาณไปยังบอร์ด Arduino เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมระดับต่อไป



รูปที่ 3.12 วงจรวัดระดับน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

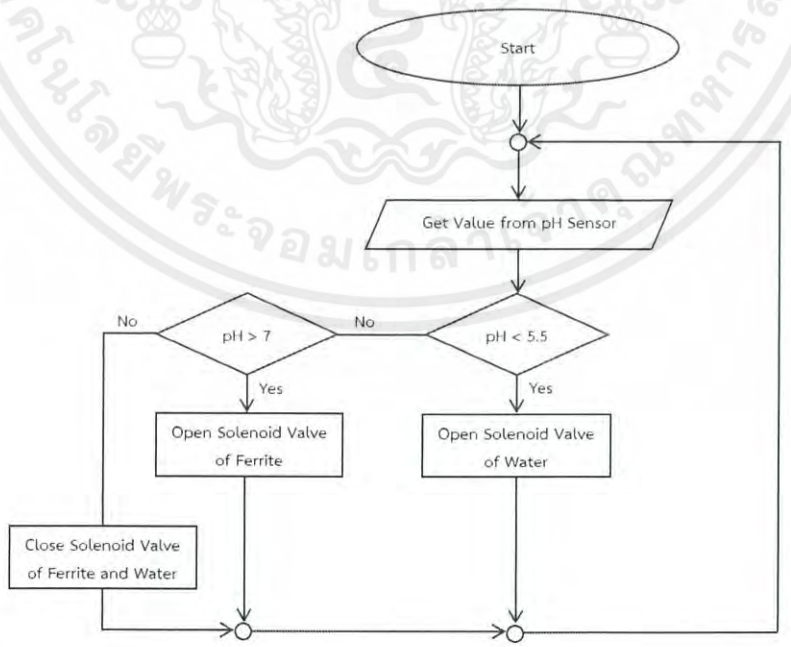
หลักการทำงานของโปรแกรมควบคุมปริมาณน้ำในถังสารละลายมี 2 ส่วนในการควบคุม คือ

1) การควบคุมระดับน้ำในถังน้ำ โดยเมื่อเซนเซอร์วัดระดับน้ำมีค่าน้อยกว่าที่กำหนด บอร์ด Arduino ทำการสั่งการผ่านรีเลย์ให้โซลินอยด์วาล์วทำงาน จนมีปริมาณน้ำถึงระดับที่ต้องการ และหยุดการทำงานเมื่อถึงระดับที่ตั้งไว้

2) การควบคุมระดับน้ำในถังสารละลาย โดยถ้าระดับน้ำถึงระดับที่กำหนดจะมีการแจ้งเตือนให้มีการเติมสารละลาย ลงในถังสารละลาย

3.3.2.4 การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ผู้จัดทำได้ออกแบบระบบวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ของปุ๋ยที่ใช้กับแปลงผักไฮโดรโปนิกส์ โดยมีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ของระบบให้อยู่ในช่วง 5.5-7 เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง มีการเปลี่ยนแปลงไปมีค่าน้อยกว่า ระบบทำการเติมน้ำเข้าสู่ถังสารละลายรวม ซึ่งเป็นถังที่ผสมน้ำกับปุ๋ยที่ใช้ในการปลูกพืช แต่กรณีที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่ามากกว่า 7 ระบบจะทำการเติมสารละลายปุ๋ยทั้งสองชนิด ใส่ลงไปในถังสารละลายรวม โดยโฟลว์ชาร์ตของระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง แบบอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 3.13 โดยการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ผู้จัดทำเลือกใช้เซนเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง คือ ESEN288 Analog pH Meter Pro แสดงดังรูปที่ 3.14 เพื่อใช้วัดความเป็นกรด-ด่าง ภายในถังสารละลายรวม ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เพราะค่าความเป็นกรด-ด่าง มีการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ วัน โดยเซนเซอร์สามารถตรวจสอบความเป็นกรด-ด่างได้ตั้งแต่ 0 ถึง 14 โดยในระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ ควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้อยู่ภายในช่วง 5.5-7 เพื่อให้ผักสามารถเจริญเติบโตได้เร็วที่สุด



รูปที่ 3.13 โฟลว์ชาร์ตของระบบควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง แบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 เซนเซอร์วัดความเป็นกรด-ด่าง ESEN288 Analog pH Meter Pro [16]

รายละเอียดเชิงเทคนิคของ ESEN288 Analog pH Meter Pro Module

- ใช้แรงดันไฟฟ้า 5V
- ขนาด 43 mm x 32 mm (1.70 inch x 1.26 inch)
- ย่านวัดความเป็นกรด-ด่าง 0-14 โดยมีค่าความแม่นยำ ± 0.1 (25 °C)
- สามารถวัดอุณหภูมิในช่วง 0-60 °C
- เวลาตอบสนอง : ≤ 1min
- เชื่อมต่อโดย BNC Connector
- pH2.0 Interface (3 foot patch)
- ได้รับการปรับแต่งโดย Potentiometer

การควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง มีการส่งค่าเข้ามาเป็นแอนะล็อก การต่อเซนเซอร์เข้ากับบอร์ด Arduino โดยขา VCC เข้ากับไฟ 5V ขา GND ต่อเข้ากับขา GND และขา A ต่อเข้ากับแชลเนลแอนะล็อก 0 บอร์ด Arduino จะสั่งผ่านโมดูลรีเลย์ ทำให้โซลินอยด์วาล์วของถังสารละลายทำงาน หลักการควบคุมจะใช้เป็นโซนินอยด์วาล์วในการเปิด ปิดเพื่อควบคุมการให้ปริมาณการผสมละลายปุ๋ยเอ บีและน้ำเพื่อให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างเหมาะสมกับพืชที่ปลูก โดยโซลินอยด์-วาล์วในถังสารละลายปุ๋ยเอและบีปล่อยปริมาณสารละลายที่เท่ากัน พร้อมกันเป็นเวลา 3 วินาที ใช้การวิธีนับรอบ ถ้าหากความเป็นกรด-ด่างที่เซนเซอร์วัดได้นั้นมีค่าหนักไปทางเป็นด่าง หรือกรด บอร์ด Arduino จะสั่งการผ่านโมดูลรีเลย์สั่งให้วาล์วเปิดทั้งปุ๋ยเอและปุ๋ยบี เพื่อให้ถังสารละลายรวมที่ส่งไปยังรางปลูกผัก ให้มีค่าเหมาะสมกับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

3.4 การออกแบบแอปพลิเคชัน

ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบแอปพลิเคชันให้สามารถแสดงผลค่าต่าง ๆ ของระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ ได้แก่ ค่าของปริมาณแสงมีหน่วยเป็น lux ค่าของอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของถังสารละลายรวมที่ใช้ในการปลูกพืช และการบอกระดับของสารละลายปุ๋ยภายในถัง ว่าอยู่ในระดับต่ำแล้วหรือไม่ โดยการออกแบบให้แสดงผลผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

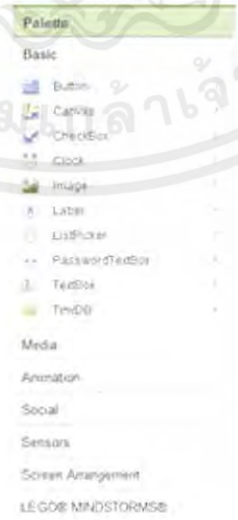
การเชื่อมต่ออุปกรณ์บลูทูธ ซึ่งหน้าจอจะแสดงผลค่าของเซนเซอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้เมื่อมีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์บลูทูธของระบบ

3.4.1 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรม

เริ่มจากออกแบบรูปแบบโปรแกรมบนมือถือด้วย App Inventor ในส่วนของ App Inventor Designer ซึ่งใช้สำหรับสร้างส่วนโปรแกรมต่าง ๆ เพื่อใช้งานในโปรแกรมมือถือที่จะสร้างขึ้นจากนั้นเขียนโปรแกรมให้แต่ละส่วน ในส่วนของ App Inventor Blocks Editor ซึ่งใช้วิธีการต่อบล็อกคำสั่ง เพื่อให้ส่วนโปรแกรมนั้น ๆ ทำงานตามที่ออกแบบเอาไว้ ในระหว่างเขียนโปรแกรม อาจมีการแก้ไข เพิ่มเติม หรือลบบางส่วนโปรแกรมออกไป ทำให้ต้องแก้ไขโปรแกรม (Debug) จนกว่าจะได้โปรแกรมตามที่ออกแบบไว้ เมื่อทุกส่วนโปรแกรมถูกสร้างเสร็จแล้ว ก็ได้เวลาทดสอบการใช้งาน โดยการติดตั้งโปรแกรมลงไปบนมือถือ Android แล้วทดสอบการใช้งานผ่านมือถือ แต่ถ้าไม่มีมือถือ สามารถทดสอบได้ ผ่านโปรแกรมมือถือจำลอง (Android emulator) ในคอมพิวเตอร์แทน

3.4.2 ส่วนออกแบบแอปพลิเคชัน (App Inventor Designer)

ในขั้นตอนแรกของการสร้าง Application ด้วย App Inventor เริ่มจากการเลือก Component ที่ต้องการและจัดวางลงในส่วนของการออกแบบจากหน้าต่างทางด้านซ้ายที่ App Inventor เตรียมไว้ให้จัดเรียงเป็นหมวดหมู่ เช่น ปุ่ม (Button) ข้อความ (Label) กล่องข้อความ (Text box) เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 3.15 ซึ่งทำผ่านส่วนของการออกแบบ (App Inventor Designer) แสดงดังรูปที่ 3.16 ซึ่งแสดงให้เห็นถึง Application ที่สร้างขึ้นในหน้าต่างเว็บ Brewers ด้วย ด้านขวาจะเป็นส่วนของ Component ที่สามารถกดเลือกใช้ได้ แสดงดังรูปที่ 3.17 ซึ่ง Component แต่ละตัวจะสามารถกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ หรือข้อความแสดงผลภายใน Component นั้นได้ แสดงดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.15 หน้าจอส่วน Component

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 หน้าจอการออกแบบ (Viewer)

รูปที่ 3.17 หน้าจอส่วน Component ที่เลือกนำมาใช้ในออกแบบหน้าแอปพลิเคชัน

รูปที่ 3.18 หน้าจอส่วนคุณสมบัติของ Component (Properties)

App Inventor Designer ในการแสดงผลค่าการวัดเซนเซอร์ของระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ ทั้งค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าอุณหภูมิ และค่าความเข้มแสง เพื่อดูความเปลี่ยนแปลงแบบ Real-Time ผ่านการเชื่อมต่อแบบ Bluetooth ซึ่งใช้โมดูล Bluetooth HC-05 ในการสั่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 โมดูล Bluetooth HC-05

โมดูล Bluetooth ใช้งานในการเชื่อมต่อกับ Smart Device ต่าง ๆ ให้ Smart Device สามารถสื่อสารกับบอร์ด Arduino ได้ผ่าน Serial port ซึ่งโมดูลรุ่น HC05 แสดงดังรูปที่ 3.19 สามารถตั้งให้ใช้งานเป็นได้ ทั้งโหมด Master และโหมด Slave ในการตั้งค่าต่าง ๆ เช่น ชื่ออุปกรณ์ รหัสผ่าน ทำได้ผ่าน AT Command ซึ่งต้องมีการต่อขาพิเศษเพื่อให้โมดูลเข้าโหมดการตั้งค่า หรือกดปุ่มบนโมดูลค้างไว้

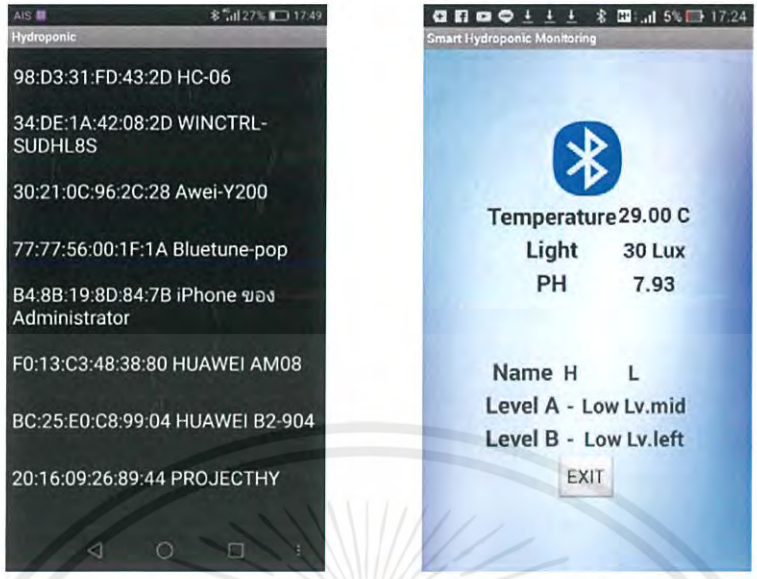
รูปที่ 3.19 โมดูล Bluetooth HC-05 [17]

รายละเอียดเชิงเทคนิค โมดูล Bluetooth HC-05

- โพรโตคอล : Bluetooth Specification v2.0+EDR
- มีความถี่ : 2.4GHz ISM band
- การมอดูเลต: GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying)
- การปล่อยสัญญาณ: ≤4dBm, Class 2
- ความไวของสัญญาณ: ≤-84dBm at 0.1% BER
- ความเร็ว: Asynchronous: 2.1Mbps (Max) / 160 kbps, Synchronous: 1Mbps/1Mbps
- ความปลอดภัย ระบุตัวตน(Authentication) และ การเข้ารหัส (Encryption)
- Profiles: Bluetooth serial port
- ใช้แรงดันไฟฟ้า: +3.3VDC 50mA
- ทำงานในช่วงอุณหภูมิ: -20 ~ +75 ^{O}C
- ขนาด 26.9 mm x 13 mm x 2.2 mm

ในการเชื่อมต่อ Bluetooth เพื่อแสดงค่าที่รับมาจากบอร์ด Arduino ผู้จัดทำได้ออกแบบให้ทำการกดที่สัญลักษณ์รูป Bluetooth เมื่อกดแล้วจะมองเห็นชื่อและที่อยู่ของ Bluetooth แสดงดังรูปที่ 3.20(ก) และเมื่อเลือกการเชื่อมต่อของ Bluetooth หน้าต่างในส่วนของ App Inventor Design จะแสดงค่าที่รับได้มาจากเซนเซอร์ แสดงดังรูปที่ 3.20(ข)

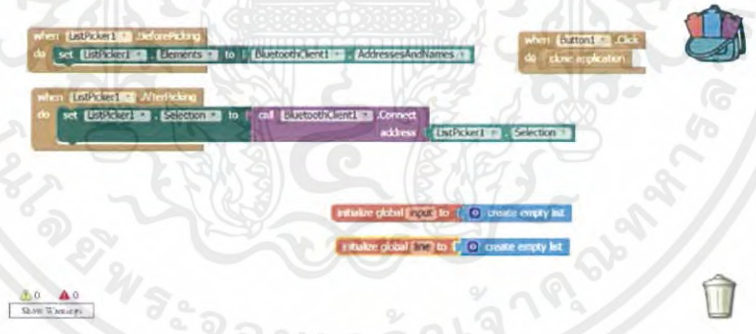
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)

รูปที่ 3.20 การเชื่อมต่อ Bluetooth (ก) หน้าจอเลือกอุปกรณ์เชื่อมต่อ (ข) หน้าจอส่วนแสดงผล

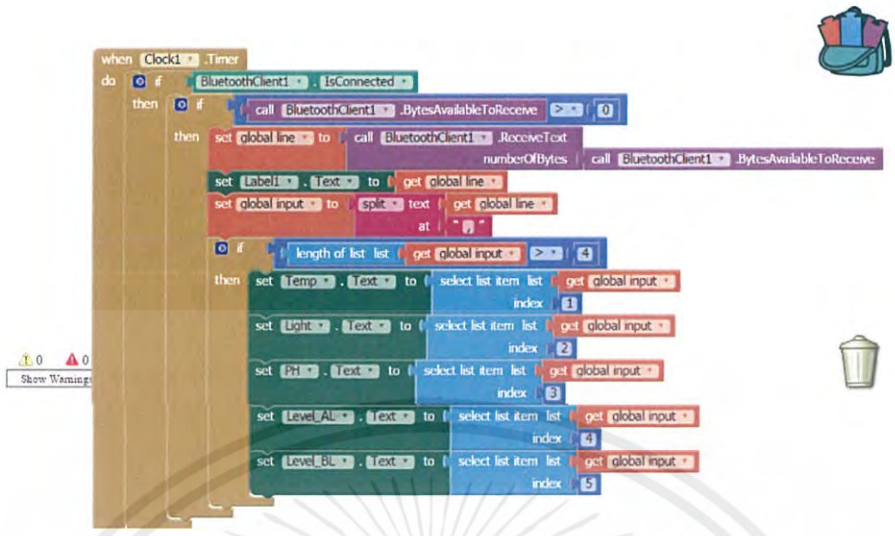
ส่วนการเขียนโปรแกรม App Inventor Blocks Editor วิธีการต่อบล็อกคำสั่ง เพื่อให้ส่วนโปรแกรมทำงานตามที่ออกแบบเอาไว้ในส่วนของ App Inventor Design คือ การเขียนบล็อกเพื่อกำหนดการเชื่อมต่อ Bluetooth ในการรับค่ามาแสดงในหน้า การออกแบบ รวมถึงการกำหนดตัวแปร การเซตปุ่ม Button เพื่อปิดการทำงานของแอพพลิเคชั่น แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 บล็อกคำสั่งกำหนดการเชื่อมต่อ Bluetooth

ส่วนของการเขียนบล็อกรับค่าอินพุท จากเซ็นเซอร์ผ่านบอร์ด Arduino ให้มาแสดงค่าในหน้าการออกแบบ แสดงดังรูปที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 บล็อกคำสั่งรับค่าอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะทำการทดลองเกี่ยวกับแปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์โดยได้ทำการทดลอง 2 ระบบ ได้แก่ ระบบแบบแมนนวล และแบบอัตโนมัติที่มีไมโครคอนโทรเลอร์ (Arduino) ควบคุมการทำงานในส่วนต่าง ๆ และสามารถแสดงค่าต่าง ๆ ที่วัดได้ผ่าน แอปพลิเคชันทางโทรศัพท์มือถือ การทดลองดังกล่าวเป็นตรวจสอบการทำงานของระบบการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ ว่ามีประสิทธิภาพในควบคุมการทำงานมากกว่าระบบแมนนวลหรือไม่ รวมถึงการแสดงค่าผ่านแอปพลิเคชัน

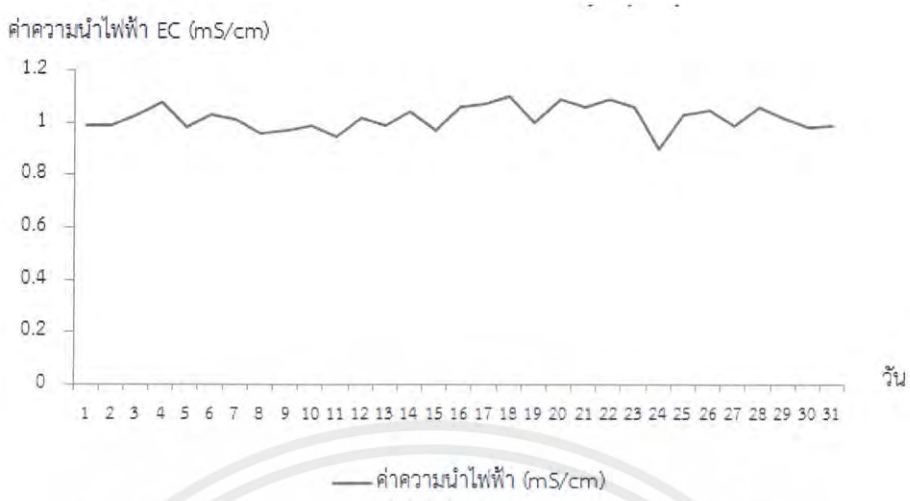
4.1. การทดลองควบคุมระบบภายในแปลงผักไฮโดรโปนิกส์

4.1.1 การทดลองควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง

การทดลองแปลงผักไฮโดรโปนิกส์แบบแมนนวล คือ เป็นการปลูกไฮโดรโปนิกส์ โดยที่ต้องมีการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และทำการเพิ่มปริมาณของปุ๋ยเอ ปุ๋ยบี และน้ำด้วยตัวของผู้ใช้เอง เมื่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และค่าการนำไฟฟ้า (EC) มีการเปลี่ยนแปลงไป ได้มีการเก็บผลของการเปลี่ยนแปลงภายในระยะเวลา 1 เดือนของค่าความเป็นกรด-ด่าง แสดงดังรูปที่ 4.1 และค่าความนำไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 4.2

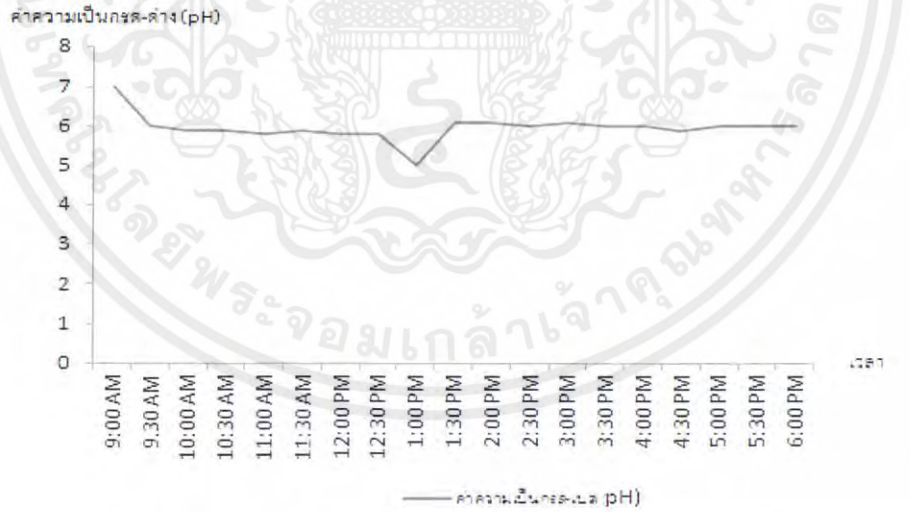
รูปที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายภายในระยะเวลา 1 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายภายในระยะเวลา 1 เดือน

ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้าที่เหมาะสมในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้ใช้ผักสลัดในการทดลอง ซึ่งมีช่วงที่เหมาะสม คือ ค่า pH 5.8-7.0 และ EC 1.1-1.7 (ms/cm) ตามลำดับ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าการนำไฟฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก เพราะว่าแปลงผักไฮโดรโปนิกส์มีขนาดเล็ก แต่ค่าความเป็นกรด-ด่างมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า เมื่อได้มีการพัฒนาเป็นระบบแบบอัตโนมัติ จึงได้ทำการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ซึ่งสามารถบันทึกผลได้ดังรูปที่ 4.3



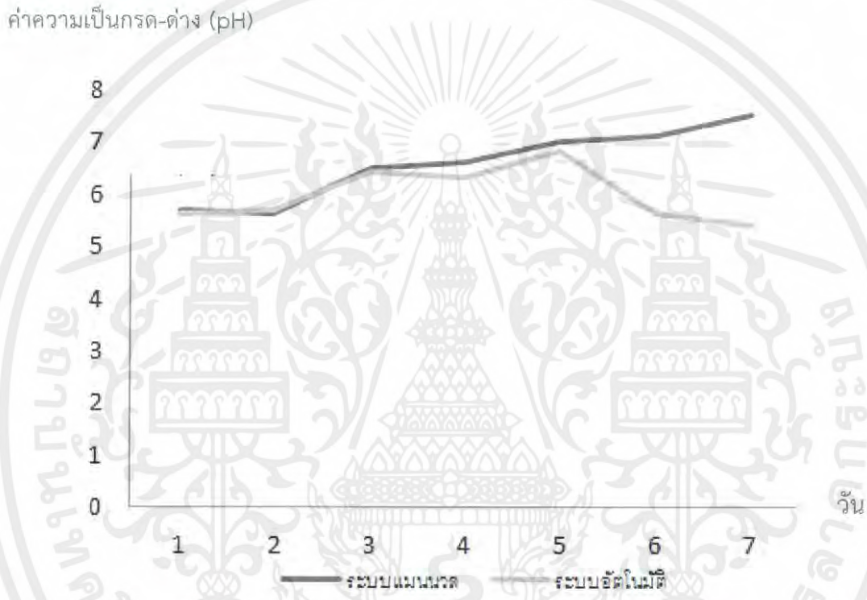
รูปที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายภายในระยะเวลา 8 ชั่วโมง

การทดลองการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ในระบบแบบอัตโนมัติทำได้ โดยวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ในช่วงเวลา 9.00-18.00 น. ในตอนเริ่มต้นผู้จัดทำจะใส่น้ำซึ่งมี pH อยู่ที่ 7 ลงในถังสารละลายรวม และในเวลา 13.00 น. จะทำการเติมปุ๋ยในถังสารละลายรวมให้มีค่า pH อยู่ที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เซนเซอร์ pH ทำการวัดค่า และส่งไปยังบอร์ด Arduino เพื่อควบคุมให้ค่า pH อยู่ในช่วง 5.5-7.0

จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบแมนนวล และระบบอัตโนมัติที่มีการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยวิธีเก็บค่าการเปลี่ยนแปลงของของความเป็นกรด-ด่าง เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ซึ่งสามารถบันทึกผลได้ดังรูปที่ 4.4 ผลการทดลองการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบแบบแมนนวล และระบบอัตโนมัตินั้น มีความแตกต่างกัน โดยระบบแมนนวลจะมีค่าความเป็นกรด-ด่างจะสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป แต่สำหรับระบบอัตโนมัติค่าความเป็นกรด-ด่างถูกควบคุมให้อยู่ช่วงที่เหมาะสมกับการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์

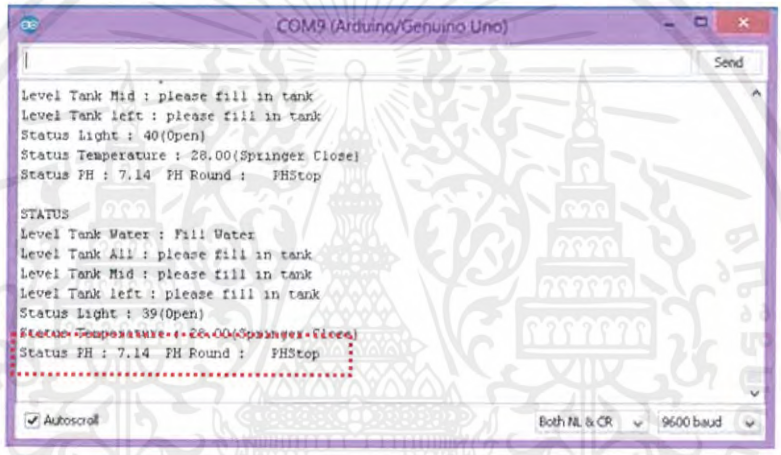


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของค่าความเป็นกรด-ด่างของสารละลายในระบบแมนนวล และระบบอัตโนมัติ ภายในระยะเวลา 1 สัปดาห์

ในการทดลองควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างจะทำการจุ่มเซนเซอร์ลงไปในถังสารละลายรวม แสดงดังรูปที่ 4.5 และใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ในการวัดค่าผ่านทางขาแอนะล็อก โดยเมื่อค่า pH มีค่าอยู่ในช่วง 5.5-7.0 วาล์วของถังสารละลายปุ๋ยและวาล์วของถังน้ำจะถูกปิดไว้ และเมื่อ pH มีค่าน้อยกว่า 5.5 วาล์วของถังสารละลายปุ๋ยจะทำการเปิด เพื่อจ่ายสารลงไปในสารละลายรวมจนค่าภายในถังสารละลายรวมอยู่ในช่วงที่กำหนด แต่ถ้าค่า pH มีค่ามากกว่า 7.0 วาล์วถังน้ำจะเปิดและจ่ายน้ำลงไปในสารละลายรวม ซึ่งในการทดลองให้แสดงค่าความเป็นกรด-ด่างผ่านทางหน้าจอ Serial Monitor ที่ต่อจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งหน้าจอแสดงผลความเป็นกรด-ด่างแสดงดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 การทดลองจุ่มเซนเซอร์ลงในถังสารละลายรวม

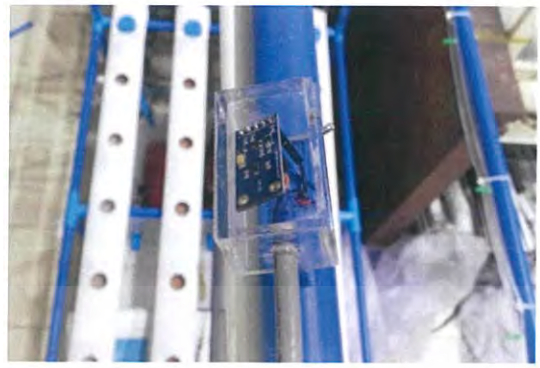


รูปที่ 4.6 การแสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง ผ่านทางหน้าจอ Serial Monitor

4.1.2 การทดลองควบคุมแสงสว่าง

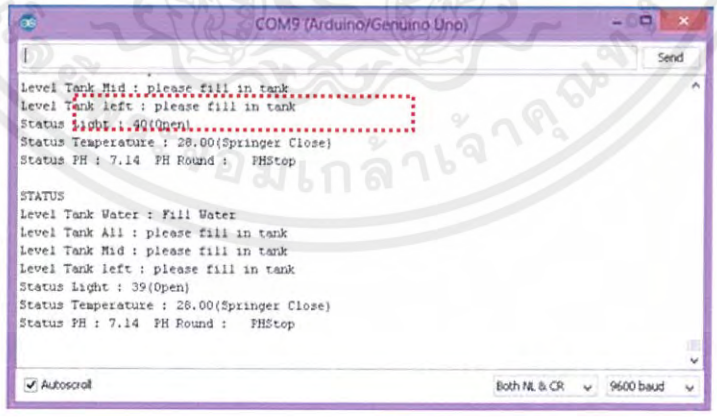
การทดลองส่วนควบคุมแสงสว่าง โดยผู้จัดทำนำเซนเซอร์วัดความเข้มแสงไว้ข้างบนของโรงเรือนแสดงดังรูปที่ 4.7 เพื่อวัดค่าแสงแดดที่ส่องมายังโรงเรือน และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลค่าความเข้มแสง ณ ช่วงเวลาต่าง ๆ เมื่อค่าความเข้มแสงมีค่าต่ำกว่าที่กำหนด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสั่งรีเลย์ เพื่อให้หลอดไฟ LED Grow Light ทำงาน แต่ถ้าเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสงมีค่ามากกว่าที่กำหนด หลอดไฟจะถูกปิดลง โดยตัวอย่างแสดงการเปิดหลอดไฟเมื่อวัดค่าความเข้มแสงต่ำกว่าที่กำหนด แสดงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งในการทดลองให้แสดงค่าความเข้มแสงผ่านทางหน้าจอ Serial Monitor ที่ต่อจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งหน้าจอแสดงผลความเข้มแสงแสดงดังรูปที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 การติดตั้งเซนเซอร์วัดค่าความเข้มแสงบนโรงเรือน

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างแสดงการเปิดหลอดไฟเมื่อวัดค่าความเข้มแสงต่ำกว่าที่กำหนด



รูปที่ 4.9 การแสดงค่าความเข้มแสง ผ่านทางหน้าจอ Serial Monitor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การทดลองควบคุมอุณหภูมิ

การทดลองส่วนควบคุมอุณหภูมิโดยการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิไว้ภายในของแปลงผักแสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งมีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิมีค่ามากกว่า 29 ^{o}C ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสั่งให้โซลินอยด์วาล์วเปิด เพื่อทำการเปิดสปริงเกอร์พ่นละอองน้ำเข้าสู่แปลงผักแสดงดังรูปที่ 4.11 และเมื่ออุณหภูมิมีค่าลดลงต่ำกว่า 29 ^{o}C ระบบจะทำการสั่งปิดวาล์วลง

รูปที่ 4.10 การติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายในของโรงเรือน

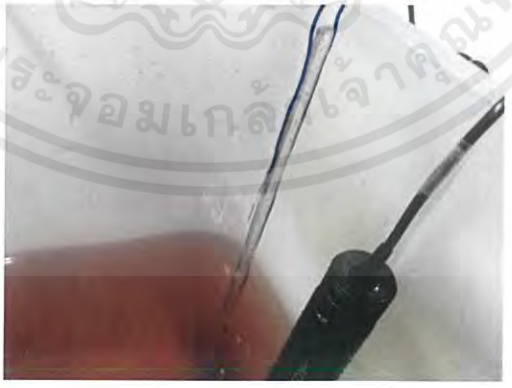
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการเปิดสปริงเกอร์พ่นละอองน้ำเข้าสู่แปลงผัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 การทดลองวัดระดับน้ำ

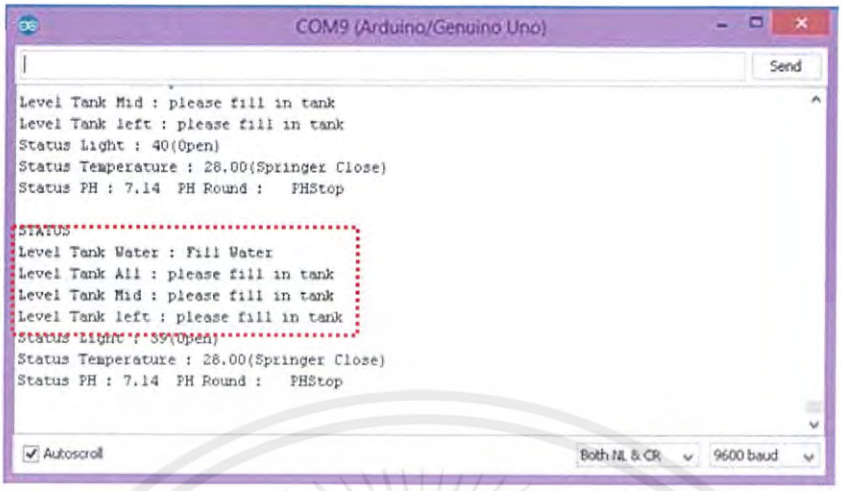
การทดลองการวัดและควบคุมระดับน้ำจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกจะเป็นการควบคุมระดับน้ำในถังน้ำ โดยเติมน้ำจนถึงระดับน้ำที่ต่ำที่สุด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งให้โซลินอยด์วาล์วเปิด เพื่อทำให้น้ำไหลเข้าถังสารละลายจนถึงระดับที่สูงที่สุด เมื่อถึงระดับสูงที่สุดโซลินอยด์วาล์วจะทำการปิด แสดงดังรูปที่ 4.12 ส่วนของถังสารละลายปุ๋ย ทำการทดลองโดยการเติมปุ๋ยเอ และปุ๋ยบีจนถึงระดับต่ำที่สุด และเซนเซอร์วัดระดับน้ำจะทำการแจ้งเตือน ในการติดตั้งเซนเซอร์วัดระดับน้ำไว้ภายในถังแต่ละถัง แสดงดังรูปที่ 4.13 และทดลองให้แสดงผลแจ้งเตือนระดับน้ำ ผ่านทางหน้าจอ Serial Monitor ที่ต่อจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ผ่านทางโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งหน้าจอแสดงผลระดับน้ำแต่ละถังแสดงดังรูปที่ 4.14

รูปที่ 4.12 โซลินอยด์วาล์วของถังน้ำและถังสารละลายปุ๋ย



รูปที่ 4.13 การติดตั้งเซนเซอร์วัดระดับน้ำไว้ภายในถังแต่ละถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 หน้าจอแสดงผลระดับน้ำแต่ละถัง

4.2 การทดลองควบคุมระบบภายนอกแปลงผักไฮโดรโปนิกส์

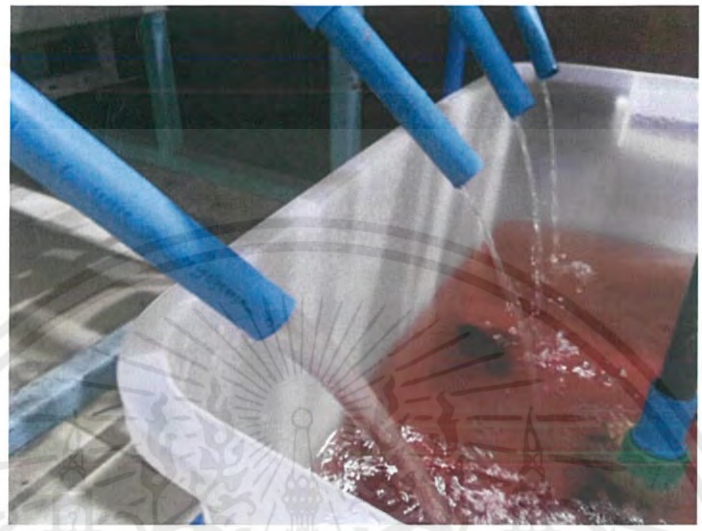
4.2.1 การทดลองไซฟอน (Syphon)

การทดสอบไซฟอนจะทำการเจาะรูที่ด้านล่างของรางแปลงปลูกผัก แล้วทำการใส่ท่อ PVC เพื่อเป็นรูระบายน้ำออก ส่วนภายในของรางทำการใส่ท่อ PVC เช่นกัน โดยความสูงของท่อเป็นตัวกำหนดระดับน้ำที่ต้องการ เมื่อน้ำถึงระดับจะทำการระบายออก ส่วนของฝาครอบของไซฟอนจะใช้ฝาครอบท่อ PVC ที่มีขนาดใหญ่เท่ากับรูทางด้านบนของราง และทำการเจาะรูที่ปลายของฝาครอบ โดยขนาดความสูงของรูที่เจาะเป็นตัวกำหนดระดับต่ำสุด เมื่อน้ำถึงระดับต่ำสุดการระบายน้ำจะหยุดลงทันที โดยอุปกณ์ทดสอบไซฟอน แสดงดังรูปที่ 4.15

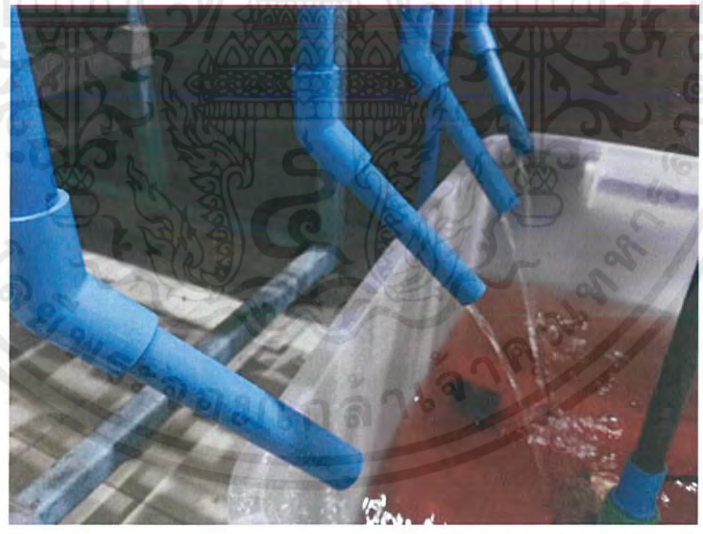
รูปที่ 4.15 อุปกณ์ทดสอบไซฟอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อระดับน้ำถึงระดับที่กำหนดไซฟอนจะทำงาน น้ำจะถูกระบายออกมาอย่างรวดเร็ว แสดงดังรูปที่ 4.16 และเมื่อน้ำถึงระดับที่จะหยุดการเกิดไซฟอน น้ำที่ท่อระบายจะค่อย ๆ หยุดไหล แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 การไหลของน้ำเมื่อไซฟอนทำงาน

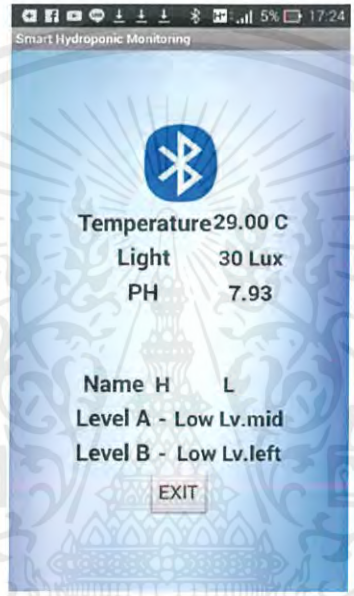


รูปที่ 4.17 การหยุดไหลของน้ำเมื่อไซฟอนหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองแอปพลิเคชัน

ในการทดลองแอปพลิเคชัน ได้ทำการเชื่อม Bluetooth เพื่อทำการทดลองแสดงค่าของเซนเซอร์ต่าง ๆ จากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino โดยในการทดลองจะทำการเชื่อมต่อในระยะ 5 เมตร ซึ่งหน้าต่างแอปพลิเคชั่น ประกอบด้วยการแสดงผลค่าของค่าเข้มแสง, อุณหภูมิ, ความเป็นกรด-ด่าง และการแสดงระดับน้ำของถังแต่ละถัง เพื่อทำแจ้งเตือนให้มีการเติมสารละลาย แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 หน้าต่างแอปพลิเคชัน

4.4 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองระบบการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติสามารถวัดและควบคุมปัจจัยที่สำคัญในการปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ ทั้งการควบคุมแสงสว่างทำให้พืชสามารถสังเคราะห์แสงทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืน เพื่อสามารถเร่งการเจริญเติบโตของผักไฮโดรโพนิกส์ในระยะเวลาที่สั้นลงการควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือน โดยการให้สปริงเกอร์พ่นละอองน้ำ เพื่อสามารถลดระดับอุณหภูมิของแปลงปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ให้อยู่ในอุณหภูมิที่ผักสามารถสังเคราะห์ได้อย่างมีประสิทธิภาพการควบคุมการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่างให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต รวมถึงสามารถแสดงค่าของการวัดผลต่าง ๆ ผ่านทางแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการดำเนินโครงงานฉบับนี้เรื่องระบบปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ สามารถควบคุมปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ทั้งปัจจัยที่ใช้ในการควบคุมของค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม การควบคุมแสงสว่างของหลอดไฟ LED Grow Light ให้สามารถทำงานในช่วงเวลากลางคืน และหยุดการทำงานในช่วงเวลากลางวัน และการควบคุมอุณหภูมิ โดยเปิดการทำงานของสปริงเกอร์ เพื่อลดให้อุณหภูมิที่ต่ำลงเมื่อมีอุณหภูมิสูงเกินความเหมาะสมในการสังเคราะห์แสงของพืช อีกทั้งสามารถแสดงผลสภาพแวดล้อมในกระบวนการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ในการควบคุม ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ความเข้มแสง อุณหภูมิ และแจ้งเตือนระดับน้ำเมื่อระดับน้ำของถังสารละลายอยู่ในระดับต่ำสุด ผ่านทางแอปพลิเคชัน

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

เนื่องจากการเจริญเติบโตของพืช ต้องใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล ทำให้มีความล่าช้าในการจัดทำแปลงผักไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ

ซอฟต์แวร์ App inventor ที่ใช้ในการสร้างแอปพลิเคชั่นเป็นซอร์ฟแวร์สำเร็จรูป ทำให้มีข้อจำกัดในการใช้งาน ผู้พัฒนาแอปพลิเคชันจึงไม่สามารถปรับแต่ง หรือแก้ไขได้มากนัก

5.3 ข้อเสนอแนะ

แปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติที่ได้ออกแบบและจัดทำขึ้นมาในปริญญานิพนธ์นี้ นับเป็นระบบต้นแบบในการประยุกต์ใช้อุปกรณ์พื้นฐานที่สามารถสร้างและจำลองขึ้นมาเองได้ ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบอาจจะมีข้อด้อยในเรื่องของวัสดุอุปกรณ์ เช่น ความคงทนของอุปกรณ์ ความเสถียรของอุปกรณ์ ซึ่งข้อด้อยดังกล่าวอาจทำให้อายุการใช้งานมีจำกัด และข้อจำกัดในเรื่องของฐานข้อมูล ที่จะไม่สามารถรองรับกับผู้ใช้จำนวนมาก ๆ เพราะเป็นเพียงการจำลองเซิร์ฟเวอร์ด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลเท่านั้นนอกจากนี้เซนเซอร์ที่ใช้วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นเซนเซอร์ที่มีข้อจำกัดในการใช้งาน คือ ไม่สามารถแช่น้ำได้เป็นเวลานาน เพราะเมื่อแช่น้ำเป็นเวลานาน ทำให้เกิดความผิดพลาดของค่าที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมส่งเสริมการเกษตร."การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.servicelink.doae.go.th/corner%20book/book%2005/Hydropronic.pdf

[2] "การสังเคราะห์ด้วยแสง.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://manage.brr.ac.th/JobBiology/photosynthesis/photosynthesis2.pdf

[3] "ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพืช.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://ag.kku.ac.th/suntec/134101/134101%20Factors%20affecting%20GD%20(note).pdf

[4] "ความเป็นมาของการปลูกพืชไร้ดิน.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://zen-hydroponics.blogspot.com/2014/09/blog-post.html

[5] Mountain A."Arduino.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.thaieasyelec.com/article-wiki/basic-electronics/บทความ-arduino-คืออะไร-เริ่มต้นใช้งาน-arduino.html

[6] "ควบคุมการเปลี่ยนสี RGB LED โดยปรับค่าความต้านทาน.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.arduino4pro.com/article/4/ควบคุมการเปลี่ยนสี-rgb-led-โดยปรับค่าความต้านทาน.html

[7] "รีเลย์-Relay.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.inventor.in.th/home/รีเลย์-relay-สวิตช์ไฟฟ้าที่นักประดิษฐ์จำเป็นต้องรู้จัก.html

[8] "บลูทูธ "ฟันสีฟ้า" เทคโนโลยีไร้สายสำหรับอนาคต.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.siamphone.com/news/bluetooth/page.htm

[9] "หลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว (Solinoidvalve).". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.thaiwatersystem.com/article/45/solinoidvalve.html.

[10] "โปรแกรม XAMPP เวอร์ชั่น 3.2.2 และหน้าต่าง control panel.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.rotibit.com/search/xampp.html

[11] ศุภกิจ ทองดี. "บทที่ 1 รู้จักกับแอนดรอยด์.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.sourcecode.in.th/articles.html

[12] "App Inventor คืออะไร.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://programmingappinventor.wordpress.com/

[13] "แสงแดดเทียม.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://kasettakonhitech.blogspot.com/2015/04/plant-grow-light.html.

[14] "BH1750 Light Sensor.". [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://cpre.kmutnb.ac.th/esl/learning/index.php?article=bh1750-light-sensor.html.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] Mountain A. “การใช้งาน DHT11 Humidity and Temperature Sensor กับบอร์ด Arduino.”.
[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://www.arduitronics.com/article/13/arduinohtml.
[16] Mountain A. “Analog pH Meter Pro.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
http://www.thaieasyelec.com/products/sensors/ph-d-o-orp/analog-ph-meter-pro-
detail.html.
[17] “การใช้งาน Bluetooth module HC05 แบบละเอียด.”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
http://www.ioxhop.com/article/26/bluetooth-module-hc05.html.
[18] “zen-hydroponics”. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก:
http://zen-hydroponics.blogspot.com/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

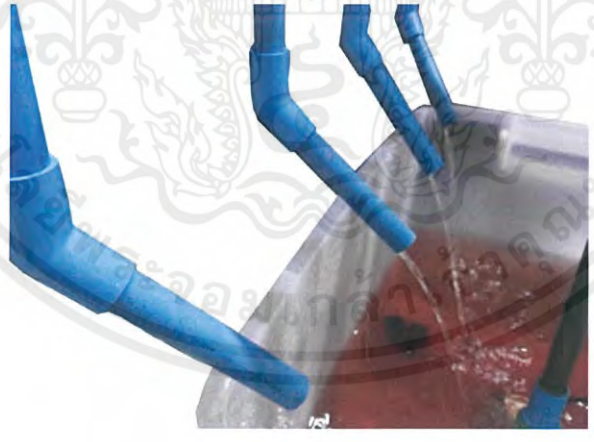
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ส่วนประกอบของระบบแปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ

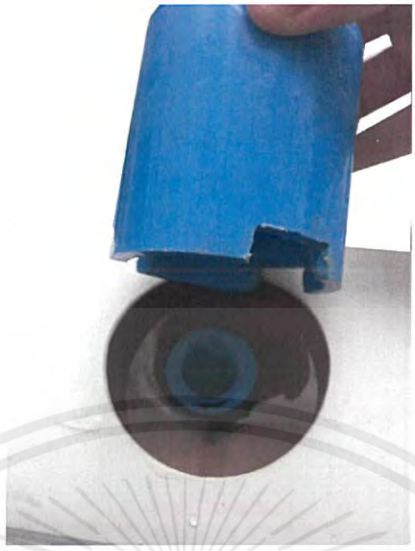
1. แปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ

รูปที่ ก.1 แปลงผักไฮโดรโปนิกส์อัตโนมัติ



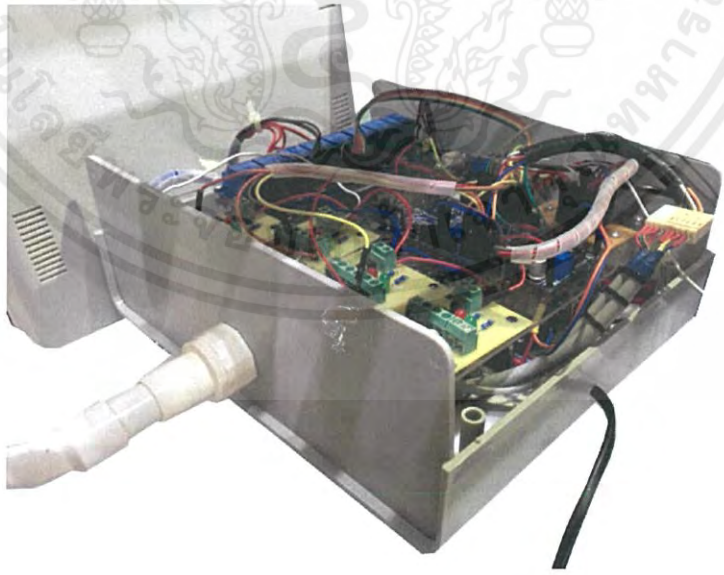
รูปที่ ก.2 ถังสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 ระบบไซฟอน

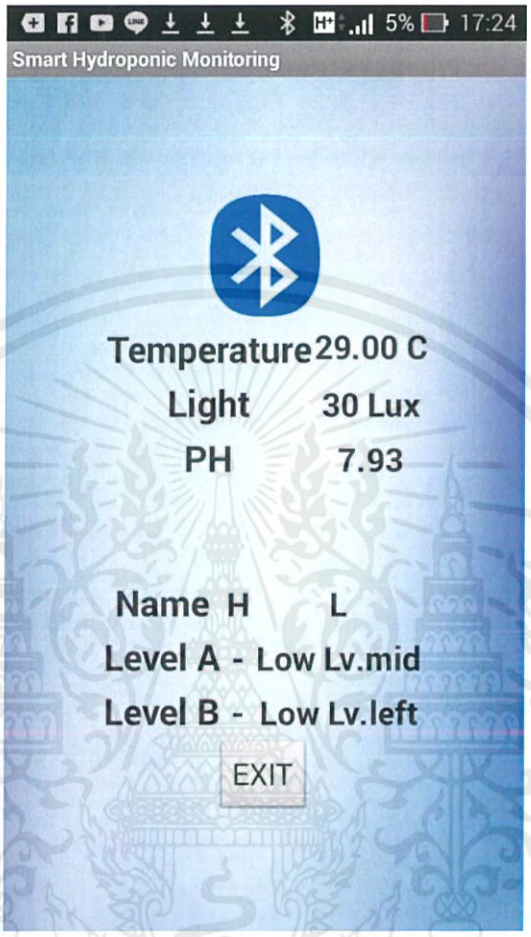
2. กล่องควบคุม



รูปที่ ก.4 กล่องควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หน้าต่างแอปพลิเคชั่น



รูปที่ ก.5 หน้าต่างแอปพลิเคชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

เอกสารประกอบอุปกรณ์ (Datasheet)

1. Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC BH1750FVI

ROHM SEMICONDUCTOR

Technical Note

Ambient Light Sensor IC Series

Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC

BH1750FVI

No.09046EBT01

●Descriptions

BH1750FVI is an digital Ambient Light Sensor IC for I²C bus interface. This IC is the most suitable to obtain the ambient light data for adjusting LCD and Keypad backlight power of Mobile phone. It is possible to detect wide range at High resolution. (1 - 65535 lx).

●Features

1) I²C bus Interface (f / s Mode Support)
2) Spectral responsibility is approximately human eye response
3) Illuminance to Digital Converter
4) Wide range and High resolution. (1 - 65535 lx)
5) Low Current by power down function
6) 50Hz / 60Hz Light noise reject-function
7) 1.8V Logic input interface
8) No need any external parts
9) Light source dependency is little. (ex. Incandescent Lamp. Fluorescent Lamp. Halogen Lamp. White LED. Sun Light)
10) It is possible to select 2 type of I²C slave-address.
11) Adjustable measurement result for influence of optical window
(It is possible to detect min. 0.11 lx, max. 100000 lx by using this function.)
12) Small measurement variation (+/- 20%)
13) The influence of infrared is very small.

●Applications

Mobile phone, LCD TV, NOTE PC, Portable game machine, Digital camera, Digital video camera, Car navigation, PDA, LCD display

●Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Limits	Units
Supply Voltage	Vmax	4.5	V
Operating Temperature	Topr	-40～85	℃
Storage Temperature	Tstg	-40～100	℃
SDA Sink Current	Imax	7	mA
Power Dissipation	Pd	260※	mW

※ 70mm × 70mm × 1.6mm glass epoxy board. Derating in done at 3.47mW/℃ for operating above Ta=25℃.

●Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units
Vcc Voltage	Vcc	2.4	3.0	3.6	V
I²C Reference Voltage	VDVI	1.65	-	Vcc	V

© 2009 ROHM Co., Ltd. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

●Electrical Characteristics (Vcc = 3.0V, DVI = 3.0V, Ta = 25°C, unless otherwise noted)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
Supply Current	Icc1	–	120	190	μA	Ev = 100 lx ※1
Powerdown Current	Icc2	–	0.01	1.0	μA	No input Light
Peak Wave Length	λp	–	560	–	nm	
Measurement Accuracy	S/A	0.96	1.2	1.44	times	Sensor out / Actual lx EV = 1000 lx ※1, ※2
Dark (0 lx) Sensor out	S0	0	0	3	count	H-Resolution Mode ※3
H-Resolution Mode Resolution	rHR	–	1	–	lx	
L-Resolution Mode Resolution	rLR	–	4	–	lx	
H-Resolution Mode Measurement Time	tHR	–	120	180	ms	
L-Resolution Mode Measurement Time	tLR	–	16	24	ms	
Incandescent / Fluorescent Sensor out ratio	rIF	–	1	–	times	EV = 1000 lx
ADDR Input 'H' Voltage	VAH	0.7 * VCC	–	–	V	
ADDR Input 'L' Voltage	VAL	–	–	0.3 * VCC	V	
DVI Input 'L' Voltage	VDVL	–	–	0.4	V	
SCL, SDA Input 'H' Voltage 1	VIH1	0.7 * DVI	–	–	V	DVI ≧ 1.8V
SCL, SDA Input 'H' Voltage 2	VIH2	1.26	–	–	V	1.65V ≦ DVI <1.8V
SCL, SDA Input 'L' Voltage 1	VIL1	–	–	0.3 * DVI	V	DVI ≧ 1.8V
SCL, SDA Input 'L' Voltage 2	VIL2	–	–	DVI – 1.26	V	1.65V ≦ DVI < 1.8V
SCL, SDA, ADDR Input 'H' Current	IIH	–	–	10	μA	
SCL, SDA, ADDR Input 'L' Current	IIL	–	–	10	μA	
I²C SCL Clock Frequency	fSCL	–	–	400	kHz	
I²C Bus Free Time	tBUF	1.3	–	–	μs	
I²C Hold Time (repeated) START Condition	tHDSTA	0.6	–	–	μs	
I²C Set up time for a Repeated START Condition	tSUSTA	0.6	–	–	μs	
I²C Set up time for a Repeated STOP Condition	tSUSTD	0.6	–	–	μs	
I²C Data Hold Time	tHDDAT	0	–	0.9	μs	
I²C Data Setup Time	tSUDAT	100	–	–	ns	
I²C 'L' Period of the SCL Clock	tLOW	1.3	–	–	μs	
I²C 'H' Period of the SCL Clock	tHIGH	0.6	–	–	μs	
I²C SDA Output 'L' Voltage	VOL	0	–	0.4	V	IOL = 3 mA

※1 White LED is used as optical source.
※2 Measurement Accuracy typical value is possible to change '1' by "Measurement result adjustment function".
※3 Use H-resolution mode or H-resolution mode2 if dark data (less than 10 lx) is need.

© 2009 ROHM Co., Ltd. All rights reserved.

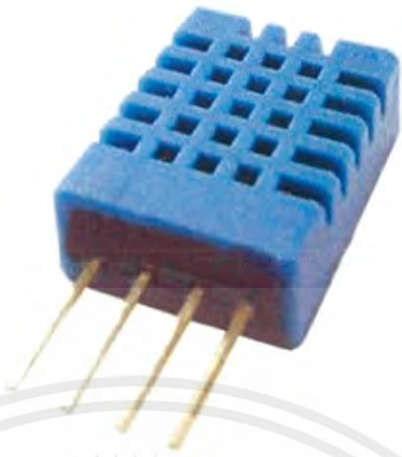
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DHT 11 Humidity & Temperature Sensor

1. Introduction

The DHT11 Temperature & Humidity Sensor features a temperature & humidity sensor complex with a calibrated digital signal output. By using the exclusive digital-signal-acquisition technique and temperature & humidity sensing technology, it ensures high reliability and excellent long-term stability. This sensor includes a resistive-type humidity measurement component and an NTC temperature measurement component, and connects to a high-performance 8-bit microcontroller, offering excellent quality, fast response, anti-interference ability and cost-effectiveness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Each DHT11 sensor is strictly calibrated in the laboratory that is extremely accurate on humidity calibration. The calibration coefficients are stored as programmes in the OTP memory, which are used by the sensor's internal signal detecting process. The single-wire serial interface makes system integration quick and easy. Its small size, low power consumption and up-to-20 meter signal transmission making it the best choice for various applications, including those most demanding ones. The component is 4-pin single row pin package. It is convenient to connect and special packages can be provided according to users' request.

2. Technical Specifications:

Overview:

Item	Measurement Range	Humidity Accuracy	Temperature Accuracy	Resolution	Package
DHT11	20-90%RH 0-50 °C	± 5 RH	± 2°C	1	4 Pin Single Row

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Detailed Specifications:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
Repeatability			± 1%RH	
Accuracy	25°C		± 4%RH	
	0-50°C			± 5%RH
Interchangeability	Fully Interchangeable			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Industrial pH electrode (SKU : FIT0348)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Introduction

- This pH combination electrode is made of sensitive glass membrane with low impedance.It can be used in a variety of PH measurements with fast response, good thermal stability.It has the good reproducibility, difficult to hydrolysis, and basically eliminate the alkali error .In 0 to 14pH range,the output voltage of the electrode is linear.The reference system which consist of the Ag/AgCl gel electrolyte salt bridge has a stable half-cell potential and excellent anti-pollution performance.The ring PTFE membrane is not easy to be clogged, so the electrode is suitable for long-term online detection.
- This product is only a part. Its usage is same with the pH meter (SKU:SEN0161), and the Industrial one is suitable for long-term monitoring.

Applications

The electrode is suitable for all kinds of printing, circuit board factory, wastewater containing chromium and other industrial and domestic sewage pH monitoring.

Specification

- Length (with protective cover) ： 17.7cm
- Diameter ： 2.74cm
- Wire Length ： 5m
- Connector ： BNC
- Measuring Range ： 0-14pH
- Measuring Precision: ≦0.02pH
- Suitable Temperature: 0-60℃
- Response Time:10sec
- Drift ： ≦0.02PH/24hours
- Resistance of Sensitive Membrane: ≦200*10^6Ω
- Slope: ≧95 %
- Electrode's Equipotential Point:7±0.5PH

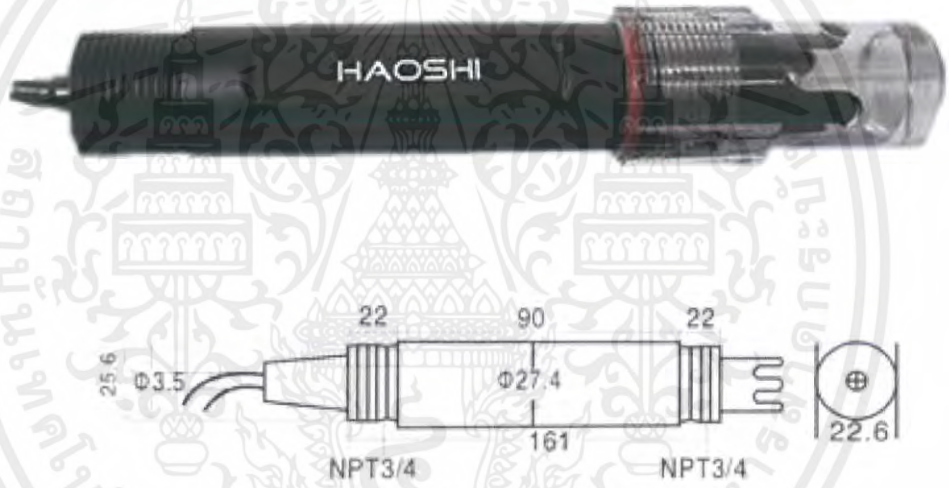
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

pH Electrode Characteristics

The output of the pH electrode is Millivolts,and the relationship between pH value and output voltage is shown as follows (25 ℃) :

VOLTAGE (mV)	pH value	VOLTAGE (mV)	pH value
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-118.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

Dimensional Drawing



Use and Maintenance

- Electrode must be known before the measurement standard buffer solution PH value calibrated to improve the measurement accuracy , PH value of the buffer to be reliable, and the closer the measured value , the better , generally no more than three PH.
- Sensitive glass bubble ball electrode tip is not in contact with a hard object , any breakage and hair will rub the electrode failure.
- Electrode receptacle must be kept clean and dry height , if tarnished available medical cotton and ethanol to wipe and dry , definitely prevent the output ends of a short circuit , otherwise it will lead to inaccurate measurements or failure.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Measurements should be taken before the bubble inside the glass bulb rejection to , otherwise it will cause measurement errors , measurement, should stir the electrode in the test solution still placed to accelerate response.
- Both before and after measurements and clean the electrode with deionized water to ensure measurement accuracy , the viscosity was measured in a sample , the electrodes need to use deionized water to remove the solvent.
- Passivated electrode will produce long-term use , the phenomenon is sensitive to low gradient , slow response , inaccurate readings , then you can lower end of the electrode bulb with 0.1M solution soak for 24 hours (preparation 0.1M dilute hydrochloric acid : 9ml hydrochloride diluted with distilled water to 1000ml), then use 3Mkcl solution soak for several hours to restore performance.
- Glass bulb liquid surface contamination or blockage , but also make the electrode passivation , at this time , should be based on the nature of the pollutant , the appropriate cleaning solution.
- Electrode cycle is about a year, after aging should be promptly replaced with new electrodes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้