



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ

Research and Development of Automated Hydroponics System



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย ปีงบประมาณ 2561)



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ

Research and Development of Automated Hydroponics System



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคย์ สรนเสาวภาคย์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย ปีงบประมาณ 2561)

หัวข้อวิจัย	การวิจัยและพัฒนาระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ
ผู้ดำเนินการวิจัย	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาคย์ สธนเสาวภาคย์
หน่วยงาน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปี พ.ศ.	2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้วิจัยและพัฒนาระบบปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติเพื่อควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค ได้แก่ แสงแดด อุณหภูมิ และสารละลายธาตุอาหาร ในระบบนี้ประกอบไปด้วยตู้ปลูกผักและถังผสมปุ๋ย ซึ่งในแต่ละส่วนจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยภาพรวมระบบนั้นสามารถควบคุมการให้แสงแดดเทียม ควบคุมอุณหภูมิ และควบคุมการให้สารละลายได้อย่างคงที่และแม่นยำ ผู้วิจัยออกแบบให้ระบบแสดงผลข้อมูลเซ็นเซอร์บนเว็บไซต์และเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูล ผลการทดลองพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำให้ผลผลิตดีขึ้นมากกว่าระบบปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบปกติ โดยมีน้ำหนักของผลผลิตมากกว่าระบบปกติเฉลี่ยที่ 26.56 กรัม และขนาดความกว้างและใบของผักสลัดกรีนโอ๊คจะเจริญเติบโตมากกว่าระบบปกติ อย่างไรก็ตามระบบปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติจะใช้น้ำมากกว่าระบบปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบปกติ ประมาณ 26.91 เปอร์เซ็นต์

Research Title	Research and Development of Automated Hydroponics System
Researcher	Asst. Prof. Mr. Pak Satanasawapak
Organization	Faculty of Engineering Rajabhat Maha Sarakham University
Year	2019

ABSTRACT

This research has developed the automatic hydroponics plant system to control the factors that affect the growth of green oak salad, including sunlight, temperature, and nutrient solution. This system has a plant cabinet and stock solution tank, which each part has a microcontroller to control the operation of various devices. The overall system can control of artificial sunlight, the temperature in plant cabinet, and the stock solution to be stable and accurate. We designed the system to display sensor data on the website and store data into the database. The results showed that developed systems could improve yields more than general hydroponics plant systems with a weight of 26.56 grams higher than the average system. The size, width, and leaves of green oak salad will grow more than the general system. However, the automatic hydroponics planting system consumes water and fertilizer more than general hydroponics system about 26.91 percent.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่สนับสนุนให้นักวิจัยได้มีโอกาสสร้างสรรค์งานวิจัยใหม่ๆ ที่มีคุณภาพมากขึ้นและเปิดโอกาสให้นักวิจัยได้พัฒนาผลงานวิจัยเพื่อเป็นศักยภาพในการพัฒนาตนเองและเป็นศักยภาพให้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จากการได้รับทุนอุดหนุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ความสำเร็จในการวิจัยครั้งนี้ได้รับแรงผลักดันและกำลังใจที่ดีจากเพื่อนร่วมงานและกัลยาณมิตรทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องไว้ ณ โอกาสนี้



ภาคย์ สอนเสาวภาคย์

2562

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ขอบเขตการวิจัย	3
ข้อจำกัด	3
สมมติฐานการวิจัย	4
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ)	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponic)	6
อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things)	7
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
กรอบแนวคิดในการวิจัย	17

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง	18
การเก็บรวบรวมข้อมูล	18
เครื่องมือในการวิจัย	18
อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	20
การตรวจสอบ เครื่องมือการวิจัย	31
การสร้างระบบปลุกผักแบบอัตโนมัติ	31
การวิเคราะห์ข้อมูล	40
การทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ	40
การเปรียบเทียบปริมาณการใช้ปุ๋ยระหว่างการปลูกแบบปกติ	40
และการปลูกตู้ผักแบบอัตโนมัติ	
การเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างการปลูกแบบปกติ	40
และการปลูกตู้ผักแบบอัตโนมัติ	
บทที่ 4 ผลการวิจัย	41
การให้แสง	41
การควบคุมความเย็น	41
การควบคุมการให้ปุ๋ย	41
ผลการทดลอง	42
ความแม่นยำในการให้น้ำและสารละลายธาตุอาหาร	42
ปริมาณน้ำที่ใช้	43
ปริมาณปุ๋ยที่ใช้	44
ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้	44
คุณภาพของผลผลิต	44
ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ	45

	หน้า
บทที่ 5	
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	46
สรุปผลการวิจัย	46
อภิปรายผล	46
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้	47
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป	47
บรรณานุกรม	48
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	48
ภาคผนวก	51
ภาคผนวก ก การแสดงผลบนเว็บไซต์เมื่อระบบทำงาน	52
ภาคผนวก ข ภาพตัวอย่างของตู้ปลุกผักไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ	58
ประวัติผู้วิจัย	70

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	คุณลักษณะและรายละเอียดของ LED grow light	20
3.2	คุณลักษณะและรายละเอียดของแผ่นเพลทเทียร์	22
3.3	คุณลักษณะและรายละเอียดของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ	27
3.4	คุณลักษณะและรายละเอียดของเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ	28
3.5	คุณลักษณะและรายละเอียดของเซ็นเซอร์วัดค่าความปั่นกรด-ด่าง	29
3.6	คุณลักษณะและรายละเอียดของเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ	30
4.1	ตารางเปรียบเทียบระหว่างค่า pH และ EC ที่ผสมจากระบบอัตโนมัติ และระบบปกติ	43
4.2	การเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างระบบอัตโนมัติและระบบปกติ	45



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โรงเรือนเพาะปลูกกุหลาบและโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจวัด	9
2.2	ระบบ USN ที่พัฒนาขึ้น	9
2.3	การแสดงผลบนเว็บและเงื่อนไขในการควบคุมโรงเรือน	10
2.4	ระบบเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติสำหรับโรงเรือน	11
2.5	โรงเรือนที่ควบคุมด้วยสถานีตรวจวัดที่เคลื่อนที่ได้	12
2.6	โครงสร้างที่ใช้ในการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน	12
2.7	โครงสร้างของระบบที่ควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน	13
2.8	เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในโรงเรือน	13
2.9	เปรียบเทียบคุณลักษณะของโมดูล 400 MHz กับ 2.4 GHz	14
2.10	เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในโรงเรือน	14
2.11	ระบบ Plantlink	15
2.12	ระบบ Harvestgeek	16
2.13	ระบบ Bitponics	16
3.1	ตู้ปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ	19
3.2	ถังผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติ	19
3.3	LED grow light	21
3.4	แผ่นเพลเทียร์ขนาด 20 cm x 20 cm	23
3.5	การทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก	23
3.6	Plastic Solenoid Valve	24
3.7	NodeMCU	25
3.8	Arduino UNO R3	25
3.9	โมดูล Relay 20A	26
3.10	โมดูล Relay 10A	26
3.11	เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ	27
3.12	G1/2 Water Flow sensor	28
3.13	Water Sensor	29
3.14	Analog pH Meter Pro	30

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3.15	Gravity: Analog Electrical Conductivity Sensor	31
3.16	Pseudo code ของ LED grow light node	32
3.17	Pseudo code ของ peltier node	32
3.18	Pseudo code ของ temperature sensor node	33
3.19	Pseudo code ของส่วนผสมปุ๋ยในขณะที่น้ำในแปลงปลูกวางและถังปุ๋ยวาง	34
3.20	Pseudo code ของส่วนผสมปุ๋ยในขณะที่น้ำในแปลงปลูกต้องการเติมและถังปุ๋ยวาง	35
3.21	Pseudo code ของส่วนผสมปุ๋ยในขณะที่น้ำในแปลงปลูกต้องการเติมและถังปุ๋ยมีปุ๋ย	35
3.22	ส่วนแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์	36
4.1	ตัวอย่างผักที่ปลูกในระบบปกติ (ช่าย) และผักที่ปลูกในระบบอัตโนมัติ (ขาว)	44
ก-1	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่กำลังปล่อยน้ำลงถังผสมปุ๋ย	53
ก-2	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่กำลังผสมปุ๋ย A	53
ก-3	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่กำลังผสมปุ๋ย B	53
ก-4	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่สารละลายในถังผสมปุ๋ยเต็ม	54
ก-5	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่ปล่อยสารละลายจากถังผสมปุ๋ยมายังตู้ปลูก	54
ก-6	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีในเวลา 18.01น. ถึง 05.59น.	54
ก-7	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่ความเย็นต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส	55
ก-8	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่ความเย็นสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส	55
ก-9	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่สารละลายในตู้ปลูกต่ำกว่าระดับที่ตั้งไว้	55
ก-10	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่เริ่มผสมสารละลายธาตุอาหาร A ใหม่	56
ก-11	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่เริ่มผสมสารละลายธาตุอาหาร B ใหม่	56
ก-12	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่สารละลายที่เติมใหม่ในถังผสมปุ๋ยเต็ม	56
ก-13	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่เติมสารละลายลงในตู้ปลูกใหม่	57
ก-14	การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่ระบบทำงานปกติ	57
ข-1	ตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติและถังผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติ	59
ข-2	ด้านหลังตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติและถังผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติ	59

ภาพที่		หน้า
ข-3	LED Grow Light ที่ติดตั้งอยู่บนตู้ปลูก	60
ข-4	ส่วนทำความเย็นภายในตู้ปลูก	60
ข-5	ระบบถ่ายเทอากาศภายในตู้ปลูก	61
ข-6	ส่วนให้ความเย็นและท่อเก็บพักน้ำ	61
ข-7	ท่อ PVC และปั๊มอากาศ	62
ข-8	ถังผสมปุ๋ยที่ทำงานร่วมกับกับตู้ปลูก	62
ข-9	ถังเก็บสารละลายธาตุอาหาร A และสารละลายธาตุอาหาร B	63
ข-10	ตู้ปลูกผักแบบอัตโนมัติในขณะที่ให้แสงเทียม	63
ข-11	ผักสลัดกรีนโอ๊คกำลังเจริญเติบโตในตู้ปลูกผัก	64
ข-12	การให้แสงเทียม การควบคุมความเย็น และการระบายอากาศภายในตู้ปลูก	64
ข-13	ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 1	65
ข-14	ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 2	65
ข-15	ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 3	66
ข-16	ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 4	66
ข-17	ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 5	67
ข-18	ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 6	67
ข-19	ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 7	68
ข-20	ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 8	68
ข-21	ตัวอย่างผักที่ปลูกในระบบปกติ (ซ้าย) และระบบอัตโนมัติ (ขวา)	69
ข-22	ผักสลัดกรีนโอ๊คที่พร้อมเก็บเกี่ยว	69

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันการปลูกพืชไร้ดินกำลังเป็นนิมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีการปลูกพืชที่สามารถควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ เช่น ศัตรูพืช ดิน การให้อาหารพืช เป็นต้น ทำให้สามารถลดปริมาณสารเคมีที่ใช้กับพืชได้ ซึ่งการปลูกพืชไร้ดินนั้นสามารถทำรายได้ให้กับเกษตรกรหรือผู้ปลูกได้ โดยมีกลุ่มเป้าหมายคือกลุ่มที่นิยมเลือกพืชที่ปลอดภัยในการทำอาหารหรือกลุ่มที่รักสุขภาพ การที่เกษตรกรจะปลูกพืชไร้ดินให้ได้ผลผลิตสูงสุดนั้น เกษตรกรหรือผู้ดูแลต้องมีความรู้เกี่ยวกับปัจจัยที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชแต่ละชนิด ยกตัวอย่างเช่น ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity: EC) ค่าอุณหภูมิ ความชื้น อากาศ และค่าแสง เป็นต้น ยิ่งไปกว่านั้นการผสมสารละลายธาตุอาหารในสัดส่วนที่เหมาะสมก็ยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ต้องควบคุม ทำให้เกษตรกรเกิดปัญหาในการควบคุมปัจจัยดังกล่าวให้เหมาะสมและแม่นยำอยู่ตลอดเวลา มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการปลูกพืชไร้ดินหลายประเด็น เช่น การตรวจจับธาตุอาหารหลักของการปลูกพืชไร้ดินแบบอัตโนมัติโดยใช้อะเรย์ของ Ion-Selective Electrodes (Hak-jin Kim, 2012), การศึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมของการเพาะปลูกสมุนไพรแบบไฮโดรโปนิคส์ในสภาพแวดล้อมที่ถูกควบคุม (R.M. GIURGIU, 2014), การกำจัดสารอาหารความเข้มข้นต่ำในพื้นที่ชุ่มน้ำของการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์บูรณาการกับซีโอไลท์และแคลเซียมซilikेटไฮเดรต (Chunjie Lia, 2014), การเปรียบเทียบความต้องการของที่ดิน น้ำและพลังงานความต้องการของผักกาดหอมที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์กับวิธีปลูกแบบธรรมดา (Guilherme Lages Barbosa, 2015), แบคทีเรียและเชื้อราที่มีประโยชน์ในระบบการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์: ประเภทและลักษณะของวิธีการผลิตอาหารของปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ (Seungjun Leea, 2015), การตอบสนองทางสรีรวิทยาพืชเพื่อการนำไฟฟ้าสารละลายธาตุอาหารและค่า pH ในระบบไฮโดรโปนิคส์ลดลงและการไหล (Sam E. Wortman, 2015), ความไวของรากผักกาดหอมยึดตัวทางชีวภาพที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์ต่อโลหะ, ฟีนอลและน้ำเสีย (Jihae Park, 2015), สารละลายแอมโมเนียม: อัตราส่วนไนเตรทและไอออนบวก/ไอออน ดูดซึมส่งผลกระทบต่อความเป็นกรดหรือด่างกับสายพันธุ์การปลูกดอกไม้แบบไฮโดรโปนิคส์ (Ryan W. Dicksona , 2015), การสะสมโซเดียมคลอไรด์และการดูดซึมสารอาหารของแตงโมในระบบไฮโดรโปนิคส์แบบปิดที่มีความสัมพันธ์ต่อการดูดซึมน้ำ (Damianos Neocleousa, 2015), ความถี่ของการหมุนเวียนของสารละลายธาตุอาหารในการเพาะปลูกผักชีแบบไฮโดรโปนิคส์ด้วยน้ำกร่อย (Mairton G. da Silva, 2016), การใช้ Technology Acceptance Model เพื่อตรวจสอบการ

ยอมรับของผู้บริโภคต่อการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ที่เจริญเติบโตมาจากใช้แสง LED (Yueh-Hsin Wu, 2016) เป็นต้น

สำหรับในปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) ได้เข้ามามีบทบาทต่อภาคเกษตรกรรมมากขึ้น เกษตรกรสามารถรับรู้ค่าสภาพแวดล้อมในบริเวณที่กำหนดได้อย่างแม่นยำ สามารถเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ในภายหลัง อีกทั้งยังควบคุมหรือสั่งการอุปกรณ์ได้จากระยะไกล ซึ่งการใช้เทคโนโลยีนี้มาเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรสำหรับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์จึงเป็นหัวข้อวิจัยที่ทำหายอย่างมาก ปัจจุบันมีงานวิจัยที่ใช้เทคโนโลยีดังกล่าวร่วมกับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์และระบบโรงเรือน ยกตัวอย่างเช่น (M. D. Pabiania, 2011) ได้เสนอระบบการควบคุมแบบไร้สายที่เชื่อถือได้สำหรับการปลูกมะเขือเทศแบบไร้ดิน ซึ่งพบว่า การใช้ย่านความถี่ 400 MHz นั้นพืชจะได้รับผลกระทบน้อยกว่าย่านความถี่ 2.4 GHz ในด้านอัตราการสูญเสียข้อมูลนั้นย่าน 400 MHz มีน้อยกว่าย่าน 2.4 GHz, ความทำลายและโอกาสของระบบ Smart Aquaponics (Shafeena T, 2016) งานวิจัยนี้เป็นการผสมระหว่างการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์และการเลี้ยงปลาโดยใช้ทรัพยากรน้ำแบบหมุนเวียนซึ่งพบว่าระบบนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพจากการเพิ่มไนเตรทและเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำเพื่อทำให้ทราบถึงคุณภาพของน้ำในขณะนั้น นอกจากนี้การให้อาหารปลาก็ยังเป็นระบบอัตโนมัติและระบบมีการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ได้อีกด้วย, (Goran Martinović, 2014) ได้พัฒนาระบบควบคุมสภาพอากาศในโรงเรือนที่ควบคุมด้วยสถานีตรวจวัดที่เคลื่อนที่ได้โดยเปรียบเทียบกับระบบปกติพบว่าระบบอัตโนมัติสามารถควบคุมสภาพอากาศได้คงที่กว่าระบบเดิมด้วยการใช้พลังงานต่ำ, (Mayra Erazo, 2015) ได้ออกแบบและใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับตรวจวัดในโรงเรือนกุหลาบ ผลการวิจัยพบว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศมีผลต่อคุณภาพและการต้านทานโรคของกุหลาบลดลงอย่างเห็นได้ชัด, (Francisco Javier Ferrández-Pastor, 2016) ได้พัฒนาแพลตฟอร์มของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายโดยใช้ Internet of Things สำหรับการเกษตรที่แม่นยำ ซึ่งพบว่าการใช้น้ำในระบบที่นำเสนอนั้นใช้น้อยลง 20 เปอร์เซ็นต์, (Yukimasa Kanedaa, 2015) ได้พัฒนาระบบโรงเรือนที่ควบคุมได้บนวิธีการ SW-SVR ซึ่งเป็นการทำนายข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการปลูกพืช ผลการทดลองพบว่า การทำนายด้วยวิธีการ SW-SVR ให้ผลการทำนายที่ถูกต้องและแม่นยำในระบบเวลาจริงและสามารถเพิ่มผลผลิตได้

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การวิจัยและพัฒนาระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติเพื่อทำให้การปลูกพืชแบบไร้ดินเกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยจะประยุกต์ใช้เทคโนโลยี Internet of Things ร่วมกับการปลูกพืชไร้ดิน ซึ่งเครื่องที่ถูกพัฒนาจะสามารถผสมปุ๋ยหรือสารละลายธาตุอาหารเองในสัดส่วนที่เหมาะสมตามชนิดของพืช พร้อมทั้งสามารถสร้างแสงที่พืชต้องการรวมไปถึงปรับอุณหภูมิและความชื้น และอากาศให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยที่เกษตรกรไม่ต้องมาดูแลตลอดเวลา นอกจากนี้เครื่องนี้สามารถแสดงข้อมูลผ่านเว็บไซต์ รวมไปถึงแจ้ง

เตือนการเจริญเติบโตของพืชเป็นระยะ จากการแก้ปัญหาดังกล่าวยังส่งผลให้สามารถใช้ทรัพยากรน้ำ สารละลายธาตุอาหารได้อย่างคุ้มค่าและยังสามารถควบคุมปัจจัยทางด้านศัตรูพืชได้อีกด้วยเนื่องจากการปลูกแบบระบบปิดและจะส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรมีคุณภาพและปริมาณที่สูงขึ้น

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิจัยและพัฒนาระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ
2. เพื่อทดสอบความแม่นยำในการให้น้ำและสารละลายธาตุอาหาร
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพผลผลิตระหว่างผักที่ปลูกในระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติกับผักที่ปลูกในระบบไร้ดินแบบปกติ
4. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำและสารละลายธาตุอาหารระหว่างผักที่ปลูกในระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติกับผักที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิคส์แบบปกติ

ขอบเขตการวิจัย

1. ประเมินประสิทธิภาพผลผลิตระหว่างการปลูกพืชแบบระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติกับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์แบบธรรมดา
2. ประเมินประสิทธิภาพปริมาณการใช้น้ำและสารละลายธาตุอาหารระหว่างการปลูกพืชแบบระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติกับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์แบบธรรมดา

ข้อจำกัด

ระบบที่พัฒนาขึ้นจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าระบบปกติ โดยพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนั้นมาจากอุปกรณ์ที่สร้างแสงแดดเทียม (LED grow light) และอุปกรณ์ที่ให้ความเย็นภายในตู้ปลูก สำหรับการทดลองนั้นผู้วิจัยจะทดลองกับผักสลัดกรีนโอ๊ค จำนวน 16 ต้น โดยแต่ละต้นมีระยะห่าง 20 เซนติเมตร นับจากจุดศูนย์กลาง ซึ่งอุปกรณ์ให้แสงจะครอบคลุมผักทั้ง 16 ต้นพอดี

สมมติฐานการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ โดยตรวจวัดและควบคุมปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น ค่าอุณหภูมิในอากาศและในน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าความเป็นกรด-ด่าง รวมไปถึงการควบคุมปริมาณแสง อุณหภูมิ ความชื้น และอากาศภายในพื้นที่เพาะปลูกได้ ยิ่งไปกว่านั้นระบบสามารถผสมน้ำกับสารละลายธาตุอาหารในสัดส่วนที่เหมาะสมต่อพืชไฮโดรโปนิคส์ จากการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้น จะส่งผลให้พืชผักมีผลผลิตและคุณภาพสูงขึ้น ระบบอัตโนมัติจะทำให้ลดเวลาการดูแลพืช รวมไปถึงการบริหารทรัพยากรน้ำและปุ๋ยอย่างคุ้มค่า การทำงานของระบบในแต่ละส่วนจะติดต่อกันผ่านเครือข่ายไร้สาย

คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ)

ผักไฮโดรโปนิคส์	การปลูกพืชในน้ำที่มีส่วนประกอบของธาตุอาหารที่ละลายอยู่
เซ็นเซอร์โหนด	อุปกรณ์เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่มีเซ็นเซอร์ตรวจวัดติดอยู่
ค่า PAR	Photosynthetically Active Radiation คือ ค่าของแสงในช่วง 400-700nm เป็นช่วงแสงที่มีประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงของพืช
ค่า PPF	Photosynthetic Photon Flux คือ การวัดค่าปริมาณแสงของแหล่งกำเนิดแสงที่มีความสามารถในการผลิตค่า PAR ต่อวินาที ($\mu\text{mol}/\text{second}$)
ค่า PPF D	Photosynthetic Photon Flux Density เป็นการวัดปริมาณแสงที่ของพืช ที่เป็นปริมาณที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงจำนวนเท่าใด ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
ค่า DLI	Daily Light Integral คือ ค่าของแสงที่พืชได้รับต่อวัน ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$)
ตู้ปลูก	เป็นส่วนที่พัฒนาขึ้นสำหรับการปลูกผัก โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ อุปกรณ์แสงแดดเทียม ตัวทำความเย็น แปลงปลูก เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น ท่อสำหรับเก็บน้ำ เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ ป้อนน้ำ และตู้ควบคุมการทำงาน

ถังผสมปุ๋ย

เป็นส่วนใหญ่พัฒนาขึ้นสำหรับการผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ มี Dosing pump สำหรับดูดสารละลายธาตุอาหาร A และ B มี Solenoid valve ควบคุมการจ่ายน้ำรวมไปถึงเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ นอกจากนี้ยังมีเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำและปั้มน้ำในถังผสม

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถเพิ่มผลผลิตจากการปลูกพืชในระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ
2. สามารถลดเวลาในการดูแลพืชที่ปลูกแบบไฮโดรโปนิคส์
3. สามารถใช้ทรัพยากรน้ำและสารละลายธาตุอาหารได้อย่างคุ้มค่า
4. สามารถใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ปัจจัยที่มีต่อผลผลิตได้



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponic)

เป็นการปลูกพืชแบบหนึ่งที่นิยมมากในปัจจุบันเนื่องจากการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์นั้นจะเป็นการปลูกพืชแบบไร้ดินทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัจจัยต่าง ๆ ที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการปลูกพืชแบบทั่วไป ยกตัวอย่างเช่น สภาพดินปลูกที่ไม่เหมาะสม สภาพอากาศแปรปรวน รวมไปถึงขนาดของพื้นที่ในการปลูก เป็นต้น ซึ่งการควบคุมปัจจัยทางสภาพแวดล้อมได้อย่างถูกต้องและแม่นยำจะส่งผลให้พืชมีผลผลิตที่ดีและมีคุณภาพสูงขึ้น ข้อดีสำหรับการปลูกพืชไร้ดิน คือ เกษตรกรสามารถปลูกพืชในสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการปลูกพืชได้ซึ่งสามารถปลูกพืชได้ตลอดปี สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเตรียมดินปลูกและลดภาระในการกำจัดวัชพืช นอกจากนี้พืชจะเจริญเติบโตเร็วและให้ผลผลิตที่มากกว่าการปลูกแบบธรรมดา ยิ่งไปกว่านั้นเกษตรกรยังสามารถใช้น้ำและธาตุอาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในทางกลับกันข้อเสียของการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ คือ การใช้ต้นทุนในการผลิตสูง อีกทั้งยังต้องมีผู้เชี่ยวชาญและมีประสบการณ์ในการควบคุมดูแลอย่างใกล้ชิด นอกจากนี้วัสดุปลูกบางชนิดยังย่อยสลายยาก เช่น โนเตรท ซึ่งอาจจะส่งผลกับคุณภาพน้ำได้ โดยทั่วไปพืชจะพยายามใช้เอมไซม์ในพืชมาเร่งปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนไนเตรทให้เป็นแอมโมเนียและกรดอะมิโนซึ่งกระบวนการนี้จะมีแสงแดดเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการนี้ ซึ่งถ้าควบคุมอากาศให้เหมาะสมจะทำให้ไนเตรทของพืชลดน้อยลง สำหรับผักที่นิยมปลูกแบบไร้ดิน แบ่งเป็นหลายกลุ่ม ดังนี้ กลุ่มผักสลัดไฮโดรโปนิคส์ เช่น บัตเตอร์เฮด กรีนโอ๊ค เรดโอ๊ค กรีนคอส เรดคอรอล เป็นต้น และกลุ่มผักสวนครัว เช่น ผักคะน้า ผักบุ้งจีน กวางตุ้ง ผักกาดขาวโกลน ผักกาดฮ่องเต้ ผักโขม เป็นต้น

ปัจจัยที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีนั้นมีหลายปัจจัย เช่น แสง น้ำ ธาตุอาหาร อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งการปลูกพืชบนดินจะมีปัจจัยเหล่านี้ครบแต่ดินในแต่ละพื้นที่จะมีคุณสมบัติไม่แน่นอนทำให้ปัจจัยที่กล่าวมาสามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับการปลูกพืชไร้ดินนั้นพืชจะได้รับสารละลายที่มีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช ซึ่งพืชสามารถดูดซึมน้ำไปใช้ได้ทันทีเพราะมีการปรับค่าการนำไฟฟ้าและความเป็นกรดต่างให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมแล้ว สารละลายนี้เรียกว่า “สารละลายธาตุอาหารพืช” ที่เป็นการละลายมาจากปุ๋ยเคมีในน้ำ ส่วนการปลูกพืชโดยทั่วไปจะมีสารอาหารในน้ำและในดินผสมกันจะเรียกว่า “สารอาหารในดิน” รากของพืชจะสัมผัสกับสารละลายดังกล่าวเพื่อดูดเอาไปใช้ในการเจริญเติบโต

สำหรับการจัดการสารละลายในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ จำเป็นต้องมีการควบคุมค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) และความเป็นกรดต่าง (pH) เพื่อให้พืชสามารถดูดซึม

สารอาหารได้อย่างเหมาะสม ยิ่งไปกว่านั้นยังต้องควบคุมอุณหภูมิและออกซิเจนในสารละลายธาตุอาหารอีกด้วย กรณีที่ค่าความเป็นกรดต่างสูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้เกิดตะกอน ซึ่งหากสารละลายมีความเป็นกรดมากสามารถปรับสมดุลได้โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO₃) แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH₄OH) เป็นต้น หากสารละลายมีความเป็นด่างมาก ใช้กรดซัลฟูริก (H₂SO₄) กรดไนตริก (HNO₃) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดฟอสฟอริก (H₃PO₄) กรดอะซิติก (CH₃COOH) เป็นต้น

ในส่วนของการควบคุมค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายนั้น ต้องคำนึงถึงระยะการเติบโตของพืช โดยที่พืชอยู่ในระยะแรกของการปลูกจะมีความต้องการค่าการนำไฟฟ้าต่ำ และจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีความเจริญเติบโต ซึ่งพืชแต่ละชนิดจะมีความต้องการด้านการนำไฟฟ้าต่างกัน เช่น ผักสลัดต้องการสารละลายธาตุอาหารที่มีค่าการนำไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 0.5 – 2.0 เป็นต้น นอกจากนี้ค่าการนำไฟฟ้าในสารละลายจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิสูงจะทำให้ค่าการนำไฟฟ้าสูงขึ้น

ระบบที่ใช้ในการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์มี 5 ระบบ คือ

1) NFT (Nutrient Film Technique) เป็นการปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นบาง ๆ เหมือนแผ่นฟิล์มซึ่งจะไหลบนรางปลูกอย่างต่อเนื่อง

2) NFLT (Nutrient Flow Technique) การปลูกแบบระบบให้สารละลายธาตุอาหารไหลผ่านรากพืชแบบแผ่นหนาอย่างต่อเนื่อง รากพืชจะได้รับออกซิเจนขณะน้ำไหลผ่าน

3) DFT (Deep Flow Technique) เป็นระบบที่ปลูกพืชโดยรากแช่อยู่ในสารละลายลึกประมาณ 15 เซนติเมตร ถึง 20 เซนติเมตร โดยจะมีการปลูกพืชบนแผ่นโฟมหรือวัสดุที่สามารถลอยน้ำได้ ซึ่งระบบนี้จะต้องใช้ปั้มน้ำในการดูดสารละลายแบบหมุนเวียนเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจน

4) DRFT (Dynamic Root Floating Technique) เป็นการปลูกพืชโดยให้รากแช่อยู่ในสารละลาย และให้อากาศไหลผ่านรากพืชที่ระดับความลึกประมาณ 4 เซนติเมตร ซึ่งสารละลายจะไหลลงถึงบรรจุและจะไหลเวียนขึ้นมาที่ถาดปลูก ขณะที่สารละลายไหลเวียนขึ้นมาจะผ่านหัวพ่นอากาศเพื่อใช้สำหรับเติมอากาศลงสารละลาย

5) FAD (Food and Drain) เป็นการปลูกพืชที่เป็นการผสมระหว่างระบบ NFT และระบบ DFT โดยให้สารละลายธาตุอาหารท่วมภาชนะปลูกและรากพืชอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง จากนั้นจึงระบายออกตามช่วงเวลาสลับกันไปเรื่อย ๆ (เกษตรโพกัส: คู่มือการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ เทคนิคการเพาะเลี้ยงและการจัดการอย่างมืออาชีพ พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: นีออน บุ๊ค มีเดีย; 2558.)

อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things)

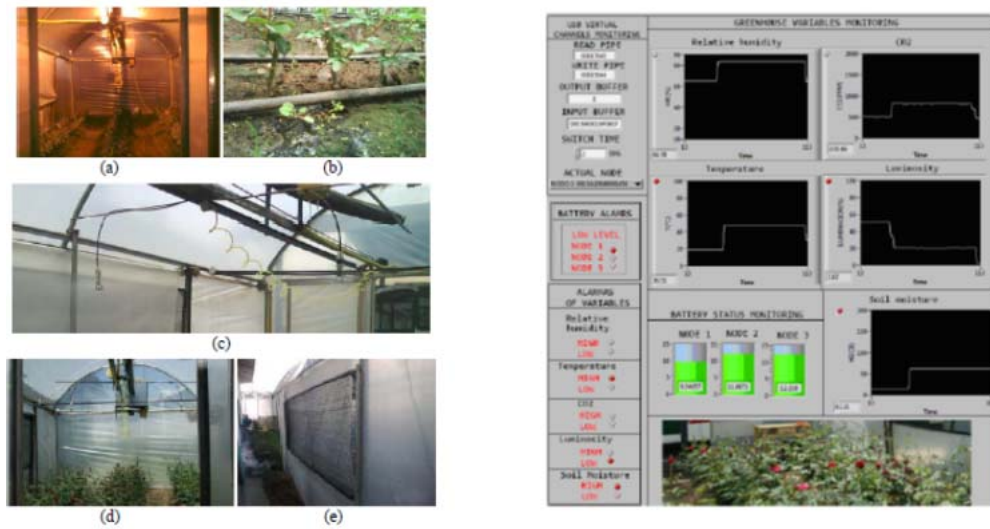
เป็นเครือข่ายของวัตถุ อุปกรณ์หรือสิ่งของที่ถูกฝังไปด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซอฟต์แวร์ เซ็นเซอร์ และเครือข่ายที่สามารถเชื่อมต่อได้ ซึ่งเป็นการเปิดกว้างในเรื่องของข้อมูลให้สามารถเก็บ

รวบรวมและแลกเปลี่ยนข้อมูลกันและกันได้ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งจะยอมให้สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้สามารถรับรู้และถูกควบคุมจากระยะไกลผ่านเครือข่ายที่มีอยู่ในปัจจุบันได้ซึ่งถือเป็นการสร้างโอกาสสำหรับการบูรณาการระหว่างสิ่งของทั่วไปกับระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจจะส่งผลให้มีการเพิ่มประสิทธิภาพ ความแม่นยำ และเกิดผลดีในเชิงเศรษฐกิจ วัตถุประสงค์แต่ละสิ่งจะมีเอกลักษณ์เฉพาะตัวโดยสามารถระบุข้อมูลเฉพาะผ่านอุปกรณ์ฝังตัวได้ และสามารถทำงานร่วมกันผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตที่มีอยู่เช่น LAN Wi-Fi 3G 4G เป็นต้น ซึ่งผู้เชี่ยวชาญได้คาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2020 จะมีจำนวนอุปกรณ์ที่เป็น IoT ประมาณ 5 หมื่นล้านอุปกรณ์ (en.wikipedia.org. Internet of things, [cited 2016 Sep 5])

การใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาใช้ร่วมกับเกษตรกรรมจะทำให้สามารถแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ให้กับเกษตรกรได้ ซึ่งจะทำให้กลายเป็นการเกษตรที่มีความแม่นยำสูงและตรงต่อความต้องการของพืชหรือสัตว์ ยิ่งไปกว่านั้นเกษตรกรสามารถใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ได้อย่างคุ้มค่าและเหมาะสมกับพื้นที่ทำการเกษตรมากที่สุด อีกทั้งยังสามารถดูแลรักษาได้อย่างใกล้ชิดผ่านทางอุปกรณ์คอมพิวเตอร์โดยมีสื่อกลางในการส่งข้อมูลคือระบบเครือข่ายที่เข้าถึงได้ ซึ่งผลผลิตที่ได้จะตรงกับความต้องการของเกษตรกรผู้ดูแลเนื่องจากสามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนตัวแปรได้ตามความต้องการ สำหรับงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ IOT กับเกษตรกรรม มีดังนี้

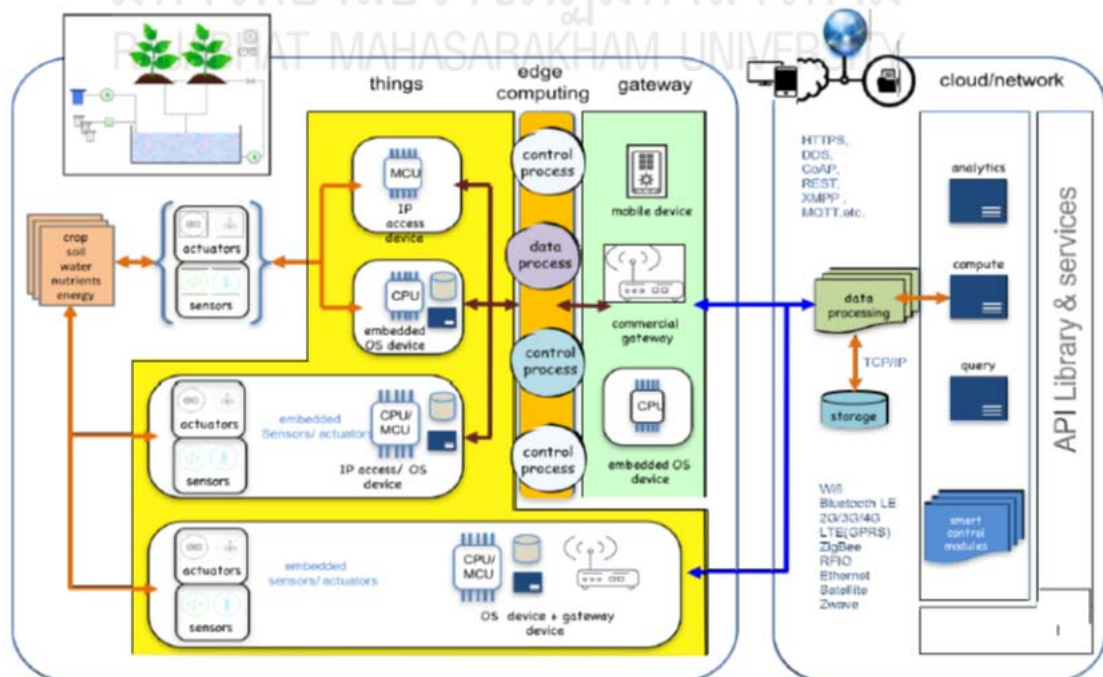
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(Mayra Erazo et al, 2015) ได้ออกแบบและใช้งานเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับตรวจจับโรงเรือนที่ปลูกกุหลาบ ดังภาพที่ 2.1 โดยใช้ในการสื่อสารตามมาตรฐาน ZigBee สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณความชื้นในดิน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ค่าความสว่าง อีกทั้งยังได้ควบคุมระบบน้ำ อากาศ และแสงในโรงเรือน ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดต้นทุนต่ำและประหยัดพลังงานสำหรับเกษตรกรในฟาร์มขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ผลการวิจัยพบว่าหลังจากสามเดือนที่ระบบได้ถูกใช้งาน ระบบที่นำเสนอได้แสดงให้เห็นประสิทธิภาพในการป้องกันโรคของดอกกุหลาบและเพิ่มประสิทธิภาพของสีกลีบดอกโดยพบว่าระดับแสงในโรงเรือนส่งผลต่อเฉดสีของกุหลาบ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้ทำการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อป้องกันกุหลาบเสียหายจากการเป็นน้ำแข็งอีกด้วย



ภาพที่ 2.1 โรงเรือนเพาะปลูกกัญชาและโปรแกรมที่ใช้ในการตรวจวัด (Mayra Erazo et al, 2015)

(Francisco Javier Ferrández-Pastor et al, 2016) ได้ทำการพัฒนา Ubiquitous Sensor Network (USN) โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อเสนอโปรแกรมประยุกต์ในการทำเกษตรกรรมที่แม่นยำ แพลตฟอร์มที่สร้างขึ้นสามารถรักษาพื้นที่เพาะปลูกได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิ ความสว่าง ความชื้น ความเป็นกรดต่างและค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ โดยระบบของงานวิจัยนี้แสดงได้ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ระบบ USN ที่พัฒนาขึ้น (Francisco Javier Ferrández-Pastor et al, 2016)

ผลการวิจัยพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นใช้ทรัพยากรน้ำลดลงถึง 20 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ระบบที่พัฒนาขึ้นยังสามารถติดตั้งเซ็นเซอร์ได้หลากหลายชนิดซึ่งสามารถออกแบบให้มีภูมิและเงื่อนไขที่แตกต่างกันได้ ยกตัวอย่าง เช่น สั่งให้ควบคุมแสงหรือปั้มน้ำ เป็นต้น

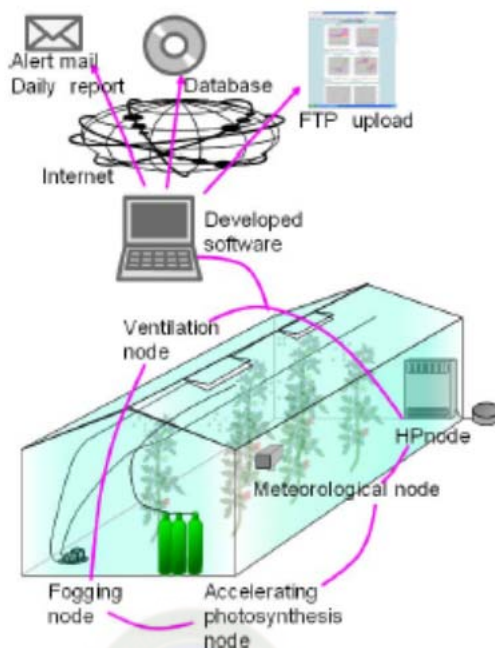
(Sri Jahnvi Vytla et al, 2012) ได้สร้างระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายอัจฉริยะสำหรับโรงเรือนอัตโนมัติ ดังภาพที่ 2.3 ระบบนี้จะแสดงผลตามเวลาจริง โดยแสดงค่าอุณหภูมิ ความชื้น และค่าความชุ่มชื้นภายในดินของโรงเรือน ระบบอัตโนมัติจะทำหน้าที่ควบคุมภายใต้เงื่อนไขของอัลกอริทึมที่ได้กำหนดไว้ สำหรับการควบคุมพัดลมจะขึ้นอยู่กับค่าของอุณหภูมิ การควบคุมสปริงเกอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความชื้น และการควบคุมปั้มน้ำจะขึ้นอยู่กับค่าความชุ่มชื้นภายในดิน ซึ่งการส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายจะใช้มาตรฐาน ZigBee โดยใช้ชิพ CC2530 ที่อยู่บนมาตรฐาน IEEE802.15.4 ที่ใช้พลังงานต่ำมากในขณะประมวลผล เซ็นเซอร์ไหนจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์และสั่งการตามเงื่อนไขที่กำหนดพร้อมทั้งส่งข้อมูลกลับไป Gateway ทุก ๆ 2 วินาที เพื่อแสดงผลผ่านทางเว็บแอปพลิเคชันและเก็บข้อมูลในลักษณะ Log ไฟล์ สำหรับงานที่จะทำต่อไปของงานวิจัยนี้ คือการหาค่าที่เหมาะสมที่ใช้ในการควบคุมระบบโรงเรือนและเพิ่มตัวแปรจากเซ็นเซอร์ชนิดอื่นที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช



Parameter	Value obtained from sensor	Position of load control switch
Temperature	$\geq 30^{\circ}\text{C}$	ON
	$< 30^{\circ}\text{C}$	OFF
Humidity	$\leq 45\% \text{ RH}$	ON
	$> 45\% \text{ RH}$	OFF
Soil moisture	0 (DRY)	ON
	1 (WET)	OFF

ภาพที่ 2.3 การแสดงผลบนเว็บและเงื่อนไขในการควบคุมโรงเรือน (Sri Jahnvi Vytla et al, 2012)

(Ken-ichiro Yasuba et al, 2011) ได้พัฒนาระบบเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติสำหรับโรงเรือนเพาะปลูกมะเขือเทศในประเทศญี่ปุ่นโดยใช้เครือข่ายท้องถิ่น (LAN) ดังภาพที่ 2.4 การติดต่อสื่อสารของงานวิจัยนี้เป็นระบบ Ubiquitous Environmental Controlling System (UECS) ที่มีการส่งข้อมูลแบบ UDP Packet และควบคุมอุปกรณ์ในโรงเรือนซึ่งระบบนี้จะส่งข้อมูลทุก ๆ 1 นาที และเก็บข้อมูลในฐานข้อมูล PostgreSQL ระบบจะแสดงผลออกมาเป็นรูปภาพ มีอีเมลแจ้งเตือน มีการรายงานสรุปผลในแต่ละวัน นอกจากนี้ยังมีการคำนวณสถานะของน้ำและอากาศ

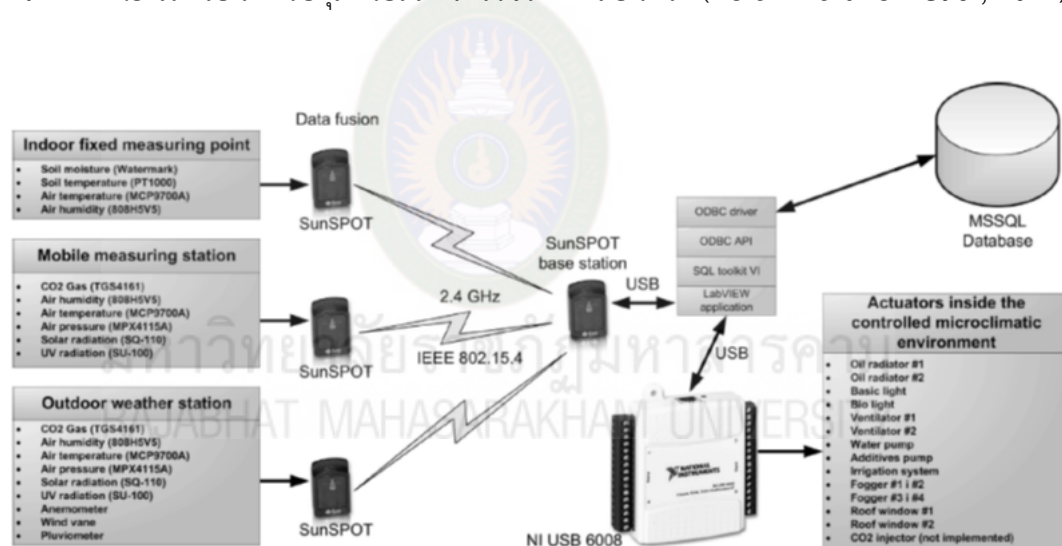


ภาพที่ 2.4 ระบบเก็บข้อมูลแบบอัตโนมัติสำหรับโรงเรือน (Ken-ichiro Yasuba et al, 2011)

(Goran Martinovi et al, 2014) ได้พัฒนาระบบควบคุมสภาพอากาศในโรงเรือนที่ควบคุมด้วยสถานีตรวจวัดที่เคลื่อนที่ได้ ดังภาพที่ 2.5 และ 2.6 งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ความต้องการสำหรับการพัฒนาโมเดลของการจัดการสิ่งแวดล้อม ซึ่งใช้เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายในการเก็บข้อมูลของตัวแปรสภาพอากาศ ยิ่งไปกว่านั้นยังได้พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) โดยใช้ Fuzzy Multiple Criteria Decision และวางแผนการจัดการที่เป็นตัวเลือกที่เหมาะสมสำหรับโรงเรือนซึ่งได้เปรียบเทียบกับโมเดลที่พัฒนาขึ้นกับระบบปกติ ผลของการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า การใช้ระบบที่นำเสนอทำให้สภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนคงที่และยังใช้พลังงานน้อย นอกจากนี้ระบบที่พัฒนาขึ้นยังมีความแม่นยำและทนทานสูง ในการทดลองได้ใช้พืชทดลอง 3 ชนิด คือ มะเขือเทศ พริกชี้ฟ้าและแตงกวา ผลการทดลองพบว่า ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของผลผลิตสำหรับระบบที่นำเสนอได้น้ำหนักเท่ากับ 215 กรัม 140 กรัม และ 80 กรัม ตามลำดับ ในขณะที่วิธีการแบบปกติได้น้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 185 กรัม 120 กรัม และ 60 กรัม ตามลำดับ ในส่วนของจำนวนผลผลิตของระบบที่นำเสนอมีจำนวนเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 18 ผล 17 ผล และ 15 ผล ตามลำดับ ในขณะที่วิธีการแบบปกติมีจำนวนเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 11 ผล 12 ผล และ 12 ผล ตามลำดับ ซึ่งระบบที่นำเสนอ นั้นส่งผลให้ผลผลิตมีคุณภาพและมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น



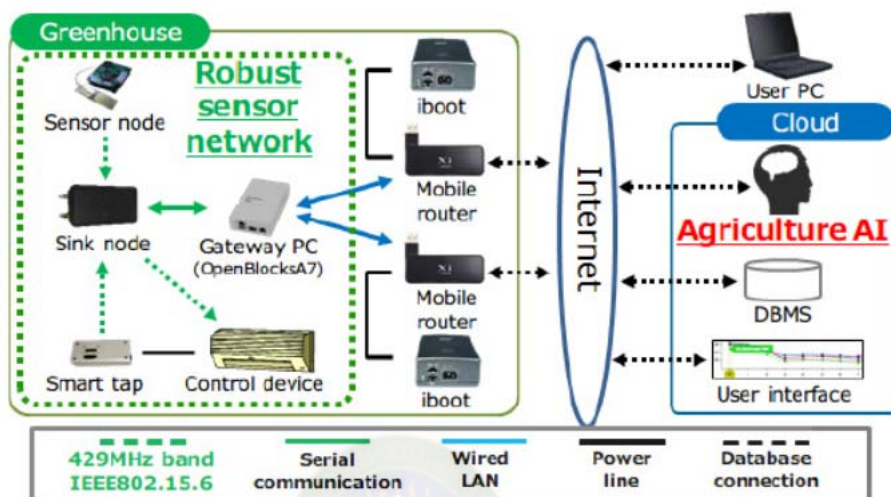
ภาพที่ 2.5 โรงเรือนที่ควบคุมด้วยสถานีตรวจวัดที่เคลื่อนที่ได้ (Goran Martinovi et al, 2014)



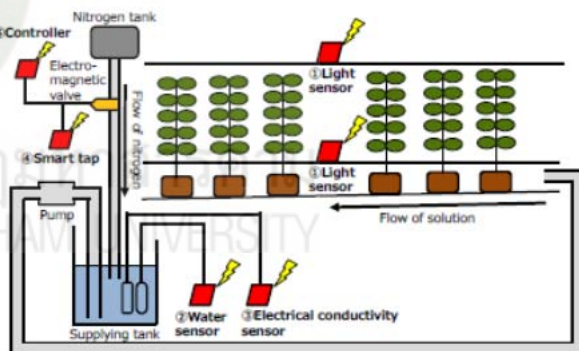
ภาพที่ 2.6 โครงสร้างที่ใช้ในการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน (Goran Martinovi et al, 2014)

(Yukimasa Kanedaa et al, 2015) ได้พัฒนาระบบโรงเรือนที่ควบคุมได้บนวิธีการ Sliding Window based Support Vector Regression (SW-SVR) ดังภาพที่ 2.7 และ 2.8 ซึ่งเป็นการทำนายข้อมูลเพื่อนำมาใช้ในการปลูกพืช ระบบโรงเรือนแบบอัตโนมัติจะเก็บสะสมข้อมูลที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืชและใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน ผลการทดลองพบว่าการทำนายด้วยวิธีการ SW-SVR ให้ผลการทำนายที่ถูกต้องและแม่นยำ ซึ่ง SW-SVR นั้นลดจำนวนความผิดพลาดของการทำนายการดูดซึมน้ำไนโตรเจนถึง 59.44 เปอร์เซ็นต์ และข้อมูลที่ใช้ในการ

เรียนรู้ยังลดลงอีกโดยเฉลี่ย 43.07 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำตาดของมะเขือเทศที่ปลูกโดยระบบที่นำเสนอเพิ่มขึ้นถึง 1.54 เท่า เมื่อเทียบกับการปลูกมะเขือเทศแบบวิธีปกติ



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างของระบบที่ควบคุมสภาพแวดล้อมในโรงเรือน (Yukimasa Kanedaa et al, 2015)

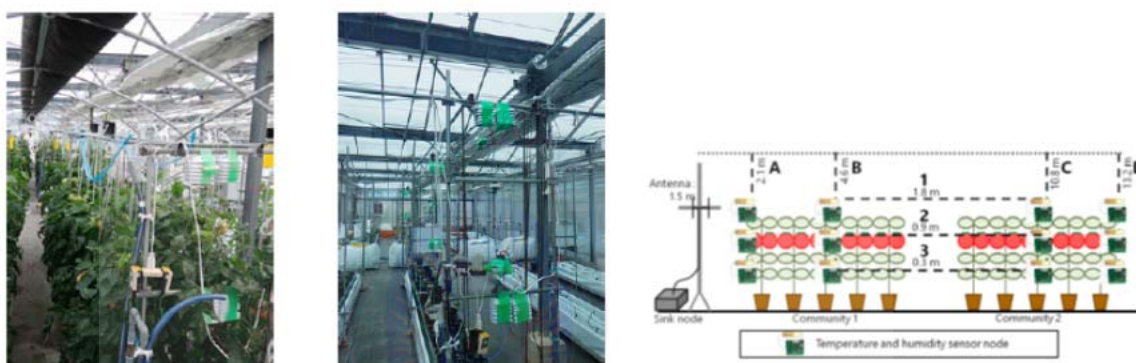


ภาพที่ 2.8 เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในโรงเรือน (Yukimasa Kanedaa et al, 2015)

(M. D. Pabiania et al, 2011) ได้เสนอระบบการควบคุมแบบไร้สายที่เชื่อถือได้สำหรับการปลูกมะเขือเทศแบบไร้ดิน โดยการทดลองเป็นการเปรียบเทียบการใช้ย่านความถี่ 400 MHz กับ 2.4 GHz โดยคุณลักษณะของอุปกรณ์ทั้งสองชนิดแสดงได้ดังภาพที่ 2.9 และเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งแสดงดังภาพที่ 2.10

Specification	2.4 GHz Band Wireless Module	400 MHz Band Wireless Module
Chip	CC2420 (Texas Instruments)	CC430F5137 (Texas Instruments)
Frequency (Bandwidth)	2405–2480 MHz (5 MHz interval 16ch)	429.25–429.75 MHz (12.5 kHz interval 40ch)
Protocol	Based on IEEE 802.15.4 standard	Based on IEEE 802.15.6 standard
Bit rate	250 kbps	7200 bps
Transmit power	10 mW	10 mW
Power supply	3-volt DC	3-volt DC

ภาพที่ 2.9 เปรียบเทียบคุณลักษณะของโมดูล 400 MHz กับ 2.4 GHz (M. D. Pabiania et al, 2011)



ภาพที่ 2.10 เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในโรงเรือน (M. D. Pabiania et al, 2011)

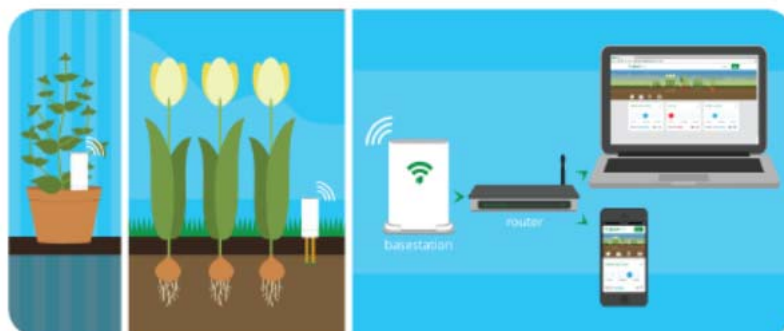
ผลการทดลองพบว่าการใช้ย่านความถี่ 400 MHz นั้นพืชจะได้รับผลกระทบน้อยกว่าย่านความถี่ 2.4 GHz ในด้านอัตราการสูญเสียข้อมูล (Packet Error Rate: PER) นั้นย่าน 400 MHz มีอัตราการสูญเสียข้อมูลน้อยกว่าย่าน 2.4 GHz ซึ่งในส่วนโมดูลของ 400 MHz นั้นมีฟังก์ชันการส่งข้อมูลใหม่เมื่อข้อมูลส่งไปไม่ถึง (Retransmission) สำหรับในโมดูล 2.4 GHz ไม่มีฟังก์ชันนี้ งานวิจัยนี้จึงไม่นำการส่งข้อมูลใหม่มาคิดเป็นข้อมูลอัตราผิดพลาดในการส่งข้อมูล

นอกจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์แล้ว ในปัจจุบันยังมีการนำแอปพลิเคชันเกี่ยวกับระบบการเกษตรอัจฉริยะที่พัฒนาเสร็จแล้วมาเชิงพาณิชย์บนเว็บไซต์ ยกตัวอย่างเช่น

Plantlink

เป็นระบบที่เรียกเซ็นเซอร์ว่าลิงค์และมีสถานีฐานซึ่งข้อมูลจะถูกส่งไปยังเราเตอร์ในบ้านและเราเตอร์จะทำหน้าที่ติดต่อกับระบบคลาวด์ ดังภาพที่ 2.11 โดยอุปกรณ์จะมีเซ็นเซอร์วัดค่าความชื้นในดินที่จะแจ้งเตือนเมื่อพืชต้องการน้ำและสั่งให้สปริงเกอร์รดน้ำต้นไม้เองซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนด

วันและเวลา เพื่อสร้างเป็นตารางประจำวันในการรดน้ำต้นไม้ได้ นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถรับข้อมูลจากพืชผ่านทางอีเมล ข้อความหรือการแจ้งเตือนบนอุปกรณ์มือถือ



ภาพที่ 2.11 ระบบ Plantlink (<https://myplantlink.com/>)

Harvestgeek

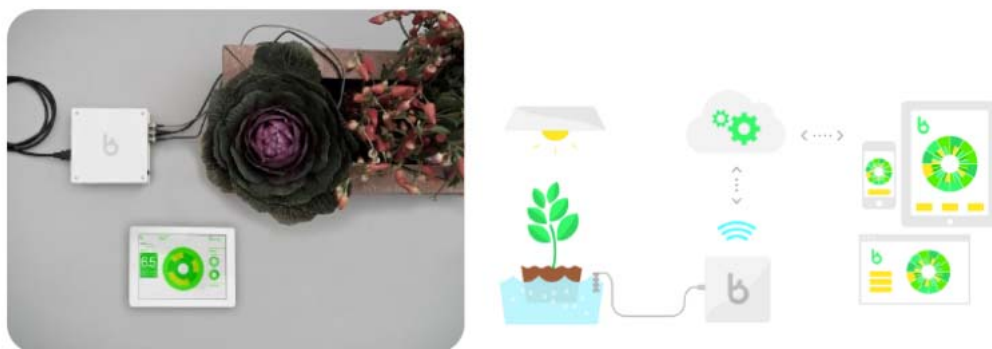
เป็นระบบที่มีหลักการทำงานคล้ายกับระบบ Plantlink คือ ใช้เซ็นเซอร์ ฮับหรือเราท์เตอร์ และการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตกับระบบคลาวด์เพื่อแสดงข้อความตามเวลาจริง ดังภาพที่ 2.12 อุปกรณ์จะมี SensorStation ที่ทำหน้าที่ในการวัดอุณหภูมิของอากาศและน้ำ ความชื้นและค่าความเข้มแสง ค่าความชุ่มชื้นภายในดิน ค่าความเป็นกรดด่าง และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ภายในสวน โรงเรือนหรือระบบไฮโดรโปนิคส์ ซึ่งในระบบจะมี HarvestBot ที่จะช่วยในการส่งข้อมูลมายังผู้ใช้ตามเวลาจริง



ภาพที่ 2.12 ระบบ Harvestgeek (<http://www.harvestgeek.com/>)

Bitponics

หลักการคล้ายกับระบบ Harvestgeek โดยเป็นระบบช่วยเหลือในการทำสวนแบบพื้นฐานซึ่งออกแบบมาให้ปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ได้ง่าย ดังภาพที่ 2.13 ระบบจะเชื่อมต่อกับระบบคลาวด์และมีเซ็นเซอร์ที่ใช้ในระบบคือ เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าความเป็นกรดต่าง เช่น เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น นอกจากนี้ยังมีปลั๊กสำหรับต่อไฟและมีปั้มน้ำเพื่อให้สามารถควบคุมจากระยะไกลหรือตั้งเวลาได้



ภาพที่ 2.13 ระบบ Bitponics (www.bitponics.com/)

กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้มีแนวคิดสำหรับการพัฒนาระบบปลูกพืชอัตโนมัติ ที่นอกจากจะช่วยให้เกษตรกรลดเวลาในการปลูกพืชหรือดูแลพืชแล้ว ยังสามารถควบคุมตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตของพืชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม เพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ โดยปัจจัยที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืชนั้น จะประกอบไปด้วย แสง อุณหภูมิ น้ำและปุ๋ย แต่เนื่องจากการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบปกติ นั้น ตัวแปรที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชดังกล่าวจะไม่คงที่ เช่น ในแต่ละวันพืชอาจจะได้รับแสงไม่เพียงพอ อุณหภูมิไม่เหมาะสมต่อการปลูก ปริมาณน้ำและปุ๋ยที่ไม่เพียงพอ สำหรับการปลูกพืชไร้ดินหรือการปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์แบบปกติในปัจจุบันนั้น แม้ว่าจะมีการควบคุมบางตัวแปรแล้ว แต่ยังไม่สามารถครอบคลุมตัวแปรทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่น ปริมาณแสงที่ได้รับอาจจะไม่เพียงพอในบางวัน อุณหภูมิในประเทศเขตร้อนยังมีอุณหภูมิที่สูงการควบคุมอุณหภูมิจึงทำได้ยาก การให้น้ำและปุ๋ย แม้ว่าจะมีระบบที่สนับสนุนให้เพียงพอ แต่เกษตรกรยังขาดความแม่นยำในการผสมปุ๋ยน้ำที่เหมาะสม รวมไปถึงบางระบบจะใช้ปริมาณน้ำและปุ๋ยค่อนข้างมากเกินความจำเป็น เป็นต้น



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างสำหรับวิจัยนี้ คือ ผักสลัดกรีนโอ๊ค (Green Oak Lettuce) ซึ่งผู้วิจัยจะทดสอบระหว่างการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติและการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบปกติ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้เก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในตู้ปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ โดยจะควบคุมสภาพแวดล้อมภายในตู้ปลูกให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของผักสลัดกรีนโอ๊ค ซึ่งจะเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตั้งแต่เริ่มปลูกจนกระทั่งเก็บเกี่ยวผลผลิต

เครื่องมือในการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้สร้างระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ โดยระบบที่สร้างขึ้นจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ตู้ปลูก และถังผสมปุ๋ย รายละเอียดของแต่ละส่วนสามารถอธิบายได้ ดังนี้

1) ตู้ปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ (Plant Cabinet)

ในส่วนของตู้ปลูกพืช วัสดุหลักจะใช้อะลูมิเนียมหนา 1.2 มิลลิเมตร เป็นโครงตู้ ซึ่งจะช่วยป้องกันวัสดุเป็นสนิมที่เกิดจากความชื้นภายในตู้ปลูกผักและเพิ่มความแข็งแรงทนทานของตู้ปลูกผักภายในตู้ปลูกผักประกอบไปด้วยส่วนให้แสงแดดเทียม ส่วนทำความเย็น ส่วนระบายอากาศ ส่วนของแปลงปลูก ส่วนของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ส่วนของเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ และส่วนของท่อเก็บน้ำและปุ๋ย ขนาดของตู้ที่ออกแบบนั้นจะกว้าง 100 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร และสูงจากพื้น 110 เซนติเมตร ซึ่งพื้นที่ในบริเวณแปลงปลูกจะมีขนาด 1 ตารางเมตร สามารถปลูกผักสลัดได้จำนวน 16 ต้น แต่ละต้นมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเท่ากับ 20 เซนติเมตรเท่า ๆ กัน วัสดุที่ใช้ยึดผักจะใช้โฟมตัดและวัสดุที่ใช้ทำท่อเก็บน้ำนั้น จะใช้ท่อ PVC เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2 นิ้ว เชื่อมต่อกันเพื่อให้ระดับน้ำทุกต้นเท่ากันเสมอ สำหรับตู้ปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ตู้ปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ

2) ถังผสมปุ๋ย (Stock Solution Tank)

ในส่วนของถังผสมปุ๋ย วัสดุหลักจะใช้อะลูมิเนียมเป็นโครงตู้เช่นเดียวกับตู้ปลูก สำหรับถังผสมปุ๋ยนั้นจะประกอบไปด้วยถังเก็บปุ๋ย A และถังเก็บปุ๋ย B ที่มีขนาดเท่ากัน คือ กว้าง 10 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตร และสูง 10 เซนติเมตร สำหรับถังเก็บปุ๋ยน้ำได้ประมาณ 1.5 ลิตร และจะมีช่องสำหรับรับน้ำจากแหล่งจ่ายน้ำลงไปสู่ถังเก็บปุ๋ย ในส่วนของถังเก็บปุ๋ยน้ำจะมีขนาด กว้าง 35 เซนติเมตร ยาว 35 เซนติเมตร และสูง 25 เซนติเมตร ซึ่งจะสามารถเก็บปุ๋ยน้ำที่ผสมแล้วได้ประมาณ 30 ลิตร สำหรับถังผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ถังผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

LED Grow Light

เป็นอุปกรณ์ที่สร้างแสงแดดเทียมในตู้ปลูกผัก ซีแสงแดดเทียมจะช่วยให้พืชสังเคราะห์แสงได้ใกล้เคียงกับแสงแดดตามธรรมชาติ อุปกรณ์นี้จะมีหลอด LED จำนวน 100 ชิ้น เป็นชิพแบบ Double Chips หลอดไฟ LED ทั้งหมด ซึ่ง LED แบบ full spectrum โดยมีความยาวแสงดังนี้ แสงสีแดง จำนวน 65 หลอด มีความยาวแสงประมาณ 630 นาโนเมตร ถึง 660 นาโนเมตร แสงสีฟ้าจำนวน 17 หลอด มีความยาวแสง 460 นาโนเมตร แสงสีส้มจำนวน 4 หลอด มีความยาวแสง 610 นาโนเมตร แสงสีขาว มีความยาวแสง 14000K จำนวน 12 หลอด อินฟราเรดความยาวแสง 730 นาโนเมตร 1 หลอดและ แสงยูวี ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร 1 หลอด อุปกรณ์นี้จะใช้พลังงาน 1,000 วัตต์ ใช้แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ และใช้กระแสไฟฟ้า 600 มิลลิแอมป์ สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ LED grow light โดยมีคุณลักษณะดังตารางที่ 3.1 และอุปกรณ์ที่สร้างแสงแดดเทียม แสดงดังภาพที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 คุณลักษณะและรายละเอียดของ LED grow light

คุณลักษณะ	รายละเอียด
Number of LED	100 pieces
Chip Type	Double Chips
Power	1000 Watts
Weight	2.8 Kg
Size	39 cm x 27 cm x 15 cm
Input Voltage	AC85~264 V
Lux	1 m / 31400, 1.5 m / 12530, 2 m / 3230
Working Current	600 mA
Lifespan	50,000 Hours
Working Frequency	50/60 Hz
Color/Wavelength	Full Spectrum
Working Temperature	-20 degree to 40 degree
Lighting Area (Sqm)	8 Sqm to 10 Sqm / 1 M – 2 M
Noise Level	50 DB
Lumen	110V:26890 / 220V: 26789

คุณลักษณะ	รายละเอียด
LED Color	Red: 630nm, 660nm: 65 Leds / Blue: 460nm: 17 Leds / Orange: 610nm: 4 Leds / White: 14000K: 12 Leds / IR: 730nm: 1 Led / UV: 410nm: 1 Led



ภาพที่ 3.3 LED grow light

(ที่มาของภาพ: <https://indoorgrowledlights.com/best-cob-led-grow-lights/>)

สำหรับตัวแปรที่สำคัญสำหรับ LED grow light ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช มีดังนี้

1) PAR หรือ Photosynthetically Active Radiation เป็นค่าที่บอกถึงปริมาณของความยาวแสง (Wavelength) ในช่วง 400-700nm ของแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งค่าความยาวแสงในช่วงดังกล่าว เป็นช่วงความยาวแสงที่มีประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงของพืช

2) PPF หรือ Photosynthetic Photon Flux เป็นการวัดความสามารถในการสร้าง PAR ของแหล่งกำเนิดแสงต่อวินาที ($\mu\text{mol}/\text{second}$) โดยเป็นการวัดประสิทธิภาพของแหล่งกำเนิดแสงเท่านั้น ไม่ได้เป็นค่าที่วัดว่าพืชรับได้ตามจำนวนของแหล่งกำเนิดแสงหรือไม่

3) PPF/D หรือ Photosynthetic Photon Flux Density เป็นการวัดจำนวนของแสงที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงที่พืชได้รับ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่สำคัญในการเลือก LED grow light และการวางระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากระยะห่างจากแหล่งกำเนิดแสงมีผลต่อค่า PPF/D

4) DLI หรือ Daily Light Integral เป็นค่าของแสงแดดที่พืชได้รับต่อวัน ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$) ค่านี้เป็นค่าที่สามารถบอกได้ว่า พืชต้องการแสงในแต่ละวันประมาณเท่าใด เพื่อให้พืชสามารถเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ ในงานวิจัยนี้ได้คำนวณระยะห่างและค่า PPF/D ของ LED grow light พบว่า ค่าเฉลี่ยที่ระยะห่าง 60 เซนติเมตรระหว่างแหล่งกำเนิดแสงและพืช จะมีค่า PPF/D เฉลี่ยประมาณ $400 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสม และจะใช้เป็นข้อมูลในการสร้างตู้ปลูกผักของงานวิจัยนี้

สำหรับสูตรคำนวณ DLI เป็นดังนี้

$$DLI = \frac{PFFD \times t}{10^6} \quad (1)$$

โดยที่ DLI คือ ค่าของแสงแดดที่พืชได้รับต่อวัน ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$)

PFFD คือ จำนวนของแสงที่จำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงที่พืชได้รับ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

t คือ เวลาที่รับแสงต่อวัน (s)

ซึ่งถ้าหากว่าให้แสงเป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะทำให้ได้ค่า DLI เท่ากับ 17.28 (ซึ่งค่า DLI เท่ากับ 17 เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับการปลูกผักสลัด) ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะให้แสงกับพืชตั้งแต่ 06.00น. ถึง 18.00น.

แผ่นเพลเทียร์ (Peltier)

เป็นอุปกรณ์ที่สร้างความเย็น ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นความเย็นโดยใช้หลักการของเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric) จากการปล่อยความร้อนออกมาด้านหนึ่งและให้ความเย็นอีกด้านหนึ่ง โดยแผ่นเพลเทียร์ที่ใช้ในการทดลองมีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตรและยาว 20 เซนติเมตร ประกอบไปด้วยเพลเทียร์จำนวน 4 ชนิด ใช้กำลังไฟฟ้า 240 วัตต์ แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 20 แอมป์ คุณสมบัติและรายละเอียดของแผ่นเพลเทียร์ แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติและรายละเอียดของแผ่นเพลเทียร์

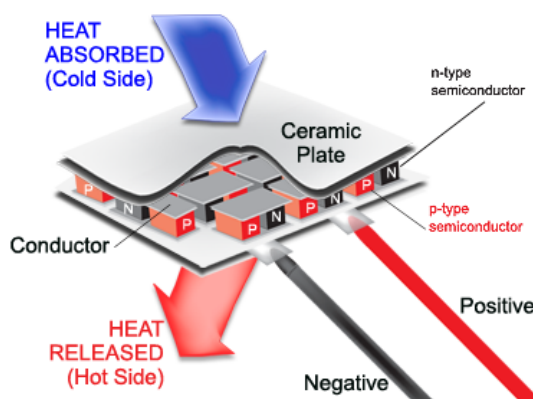
คุณลักษณะ	รายละเอียด
Size	20 cm x 20 cm
Number of Peltier	4 pieces
Power	240 Watts
Input Voltage	DC 12V
Working Current	20 A
Number of Fan	4 pieces



ภาพที่ 3.4 แผ่นเพลเทียร์ขนาด 20 cm x 20 cm

(ที่มาของภาพ: <https://th.aliexpress.com/item/Free-Shipping-Water-cooling-DIY-cooler-large-heatsink-200-200mm-4chip-peltier-module-200W-more-powerful/1779228891.html?fbclid=IwAR0Z6VLDacbPY8AeaJY3RljEUCDLZ7VEZF7kulzja5lx1bozCJpS9DmkvEQ>)

หลักการทำงานของแผ่นเพลเทียร์นั้น จะเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยจะอาศัยการเดินทางของอิเล็กตรอนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะทำให้เกิดขั้วไฟฟ้าและความต่างศักย์ สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้ประโยชน์จากด้านที่เป็นความเย็น กล่าวคือ ผู้วิจัยจะจ่ายกระแสให้กับแผ่นเพลเทียร์และจะใช้พัดลมดูดลมเย็นออกจากด้านที่มีความเย็นกระจายให้ครอบคลุมตู้ปลูก ภาพที่ 3.5 แสดงการทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก



ภาพที่ 3.5 การทำงานของแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก

(ที่มาของภาพ: <https://frozentec.com/technology-principal/>)

Plastic Solenoid Valve

เป็นวาล์วน้ำอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของน้ำ อุปกรณ์ประกอบไปด้วยท่อขนาด 0.5 นิ้ว อุปกรณ์นี้จะใช้ไฟกระแสตรง และมีมอเตอร์โซลินอยด์ (ZE-4F180) ขนาด 12 โวลต์ สำหรับเปิดหรือปิดการทำงาน ภาพที่ 3.6 แสดงภาพของอุปกรณ์ Plastic Solenoid Valve



ภาพที่ 3.6 Plastic Solenoid Valve

(ที่มาของภาพ: <https://www.lazada.co.th/products/12v-12-nc-plastic-electric-solenoid-valve-magnetic-i125122258-s131184485.html>)

งานวิจัยนี้จะใช้โซลินอยด์วาล์ว สำหรับการเปิดปิดการจ่ายน้ำในระบบ โดยโซลินอยด์วาล์วจะติดตั้งกับสายยางในส่วนการจ่ายน้ำเข้าถังผสมปุ๋ย และติดตั้งระหว่างถังผสมปุ๋ยกับตู้ปลูก ซึ่ง NodeMCU จะส่งสัญญาณไปยังรีเลย์เพื่อควบคุมการเปิดปิดวาล์ว

NodeMCU

เป็นอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถสื่อสารแบบไร้สายได้ โมดูลประกอบไปด้วย ESP8266-12E ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 32 bit หน่วยความจำแบบแฟลชความจุ 4 MB และโมดูล Wi-Fi ที่มีเสาอากาศแบบ PCB อยู่ในตัว สามารถเชื่อมต่อกับขาสัญญาณต่าง ๆ ได้ เช่น GPIO, PWM, I2C SPI และ ADC เป็นต้น อุปกรณ์ดังกล่าวใช้ไฟเลี้ยง 5V มีวงจรควบคุมไฟเลี้ยงสำหรับอุปกรณ์ 3.3V และใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุด 800mA นอกจากนี้ยังมี I/O Digital (3.3V) จำนวน 16 ขา และใช้ USB สำหรับเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์เพื่อเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน ภาพที่ 3.7 แสดงโมดูล NodeMCU



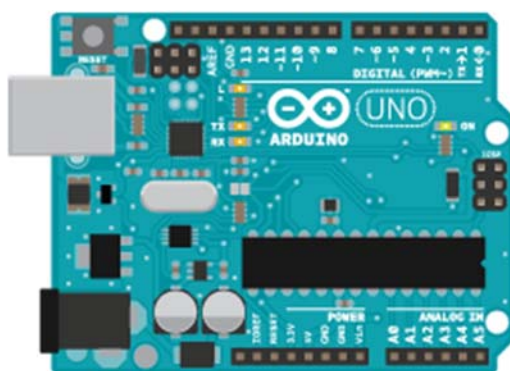
ภาพที่ 3.7 NodeMCU

(ที่มาของภาพ: <https://shop.pimoroni.com/products/nodemcu-v2-lua-based-esp8266-development-kit>)

งานวิจัยนี้ใช้ NodeMCU สำหรับรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์เพื่อนำมาควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในตู้ปลูก เช่น LED grow light, แผ่นเพเลเทียร์, dosing pump, solenoid valve, ปั๊มน้ำและปั๊มอากาศ เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำหน้าที่อ่านค่าเซ็นเซอร์ตามจุดต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ เซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ เป็นต้น

Arduino UNO R3

เป็นอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์บางชนิด ก่อนที่จะส่งต่อไปให้กับ NodeMCU อุปกรณ์ดังกล่าวใช้ชิพ ATmega328 (ความถี่ 16 MHz) มีหน่วยความจำแฟลช 32 KB และแรม 2 KB ใช้ไฟเลี้ยงระหว่าง 7 ถึง 12 V มีระดับแรงดันไฟฟ้า 5 V (TTL) สามารถเชื่อมต่อกับ Digital I/O ได้ 14 pin และมี Analog Input 6 pin ภาพที่ 3.8 แสดงภาพของไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3



ภาพที่ 3.8 Arduino UNO R3

(ที่มาของภาพ: <https://www.arduino.cc/>)

รีเลย์ (Relay)

เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการเปิดหรือปิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้ Relay 2 ชนิดเพื่อควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆ

1) ส่วนควบคุมการเปิด/ปิด การให้ความเย็นในตู้ปลูก ในส่วนนี้จะใช้รีเลย์ 12VDC 20A 250VAC 1 Channel G4A-1A-PE OMRON Solid State Relay ซึ่งสามารถใช้กับโหนดได้แรงดันไฟฟ้า DC และ AC รับแรงดันสูงสุด 20A เพื่อควบคุมการทำงานของแผ่นเพลทเทียร์ ภาพที่ 3.9 แสดงภาพของโมดูล Relay 20A



ภาพที่ 3.9 โมดูล Relay 20A

(ที่มาของภาพ: <https://www.ebay.com.au/p/12vdc-20a-250vac-1-Channel-G4a-1a-pe-Omron-Solid-State-Relay-Module-for-Arduino/14004751620>)

2) ส่วนควบคุมการเปิดหรือปิดการให้แสงสว่างและส่วนอื่นๆ ในส่วนนี้จะใช้โมดูลรีเลย์ 1 Channel ที่ใช้กับโหนดได้แรงดันไฟฟ้า DC และ AC รับแรงดันได้สูงสุด 10A เพื่อควบคุมการเปิดหรือปิดของอุปกรณ์ เช่น LED Grow Light, Solenoid valve, Dosing pump เป็นต้น ภาพที่ 3.10 แสดงภาพของโมดูล Relay 10A



ภาพที่ 3.10 โมดูล Relay 10A

(ที่มาของภาพ: <https://www.thaieasyelec.com/products/components-th/1-channels-relay-module-high-low-level-trigger-detail.html>)

เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (Temperature and Humidity Sensor)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ปลูก เซ็นเซอร์ที่อยู่ในบริเวณตู้ปลูกจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลติดต่อสื่อสารกับส่วนให้ความเย็นของตู้ปลูกโดยส่งข้อมูลไร้สายเพื่อสื่อสารกัน ซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในตู้ปลูกมีความเย็นที่เหมาะสมสำหรับปลูกพืช รายละเอียดของเซ็นเซอร์นั้น แสดงดังตารางที่ 3.3 และสำหรับภาพที่ 3.11 แสดงเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

ตารางที่ 3.3 คุณลักษณะและรายละเอียดของเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

คุณลักษณะ	รายละเอียด
Operating voltage	3 V to 5 V
Power	2.5 mA (max current use during conversion (while requesting data))
Accuracy	Good for 0-100% humidity readings with 2-5% Good for -40 to 125°C temperature readings $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Sampling Rate	No more than 0.5 Hz (once every 2 seconds)
Size	15.1 mm x 25 mm x 7.7 mm



ภาพที่ 3.11 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

(ที่มาของภาพ: <https://www.thaieasyelec.com/products/sensors/humidity-temperature/grove-temperature-humidity-sensor-pro-dht22-detail.html>)

เซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ

เป็นเซ็นเซอร์สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำ ขนาด 0.5 นิ้ว โดยมี Flow rate range 1~30 ลิตรต่อนาที สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ แสดงได้ดังตารางที่ 3.4 และสำหรับภาพที่ 3.12 แสดงเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ (G1/2 Water Flow sensor)

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติและรายละเอียดของเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ

คุณลักษณะ	รายละเอียด
Working voltage	5 V - 24 V
Maximum current	15 mA (DC 5V)
Weight	43 g
Flow rate range	1~30 L/min
Operating temperature	0 °C~80 °C
Liquid temperature	<120 °C
Operating humidity	35% ~ 90% RH
Operating pressure	under 1.2Mpa
Store temperature	-25 °C ~ +80° °C
Store humidity	25% ~ 90%RH



ภาพที่ 3.12 G1/2 Water Flow sensor

(ที่มาของภาพ: <https://www.thaieasyelec.com/products/sensors/g1-2-water-flow-sensor-detail.html>)

เซ็นเซอร์ตรวจวัดน้ำ (Water Sensor)

เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจจับน้ำ โดยลักษณะของเซ็นเซอร์จะมีเส้นสายทองแดงหลายเส้นบนแผ่น PCB เมื่อมีน้ำมาแตะบนลายทองแดงนี้ จะเกิด Short circuit ขึ้น ทำให้สามารถตรวจจับน้ำได้ สำหรับเซ็นเซอร์ตรวจจับน้ำ แสดงได้ดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 Water Sensor

(ที่มาของภาพ: <https://www.thaieasyelec.com/products/sensors/liquid-air-level-flow/grove-water-sensor-detail.html>)

งานวิจัยนี้ใช้เซ็นเซอร์ดังกล่าวเพื่อวัดระดับน้ำในท่อ PVC ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุม Plastic Solenoid Valve เพื่อรักษาระดับน้ำในที่พักน้ำให้คงที่และให้เพียงพอต่อความต้องการของพืช สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์

เซ็นเซอร์วัดค่าความปั่นกรด-ต่าง

เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดความเป็นกรดหรือด่างในน้ำ สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ แสดงได้ดังตารางที่ 3.5 และสำหรับภาพที่ 3.14 แสดงเซ็นเซอร์วัดค่าความปั่นกรด-ต่าง

ตารางที่ 3.5 คุณลักษณะและรายละเอียดของเซ็นเซอร์วัดค่าความปั่นกรด-ต่าง

คุณลักษณะ	รายละเอียด
Voltage	5 V
Size	43 mm x 32 mm
Measuring Range	0 - 14 PH
Measuring Temperature	0 - 60 °C
Accuracy	± 0.1 pH (25 °C)
Response Time	≤ 1min



ภาพที่ 3.14 Analog pH Meter Pro

(ที่มาของภาพ: <https://www.amazon.com/DFROBOT-Industrial-Real-Time-Electrode-Controllers/dp/B01D01PP0U>)

เซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ

เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ แสดงได้ดังตารางที่ 3.6 และสำหรับภาพที่ 3.15 แสดงเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ

ตารางที่ 3.6 คุณลักษณะและรายละเอียดของเซ็นเซอร์วัดค่าการนำไฟฟ้าในน้ำ

คุณลักษณะ	รายละเอียด
Supply Voltage	3.0 V ~ 5.0 V
Output Voltage	0 V ~ 3.4 V
Measurement Accuracy	±5% F.S.
Support Detection Range	0 ~ 20 ms/cm
Recommended Detection Range	1 ~ 15 ms/cm
Temperature Range	0 ~ 40 °C



ภาพที่ 3.15 Gravity: Analog Electrical Conductivity Sensor
(ที่มาของภาพ: <https://www.thaieasyelec.com/products/sensors/gravity-analog-electrical-conductivity-sensor-meter-for-arduino-detail.html>)

การตรวจสอบ เครื่องมือการวิจัย

การตรวจสอบความถูกต้องของระบบที่พัฒนาขึ้นนั้น ผู้วิจัยจะตรวจสอบความแม่นยำในส่วนต่างๆ ได้แก่ ส่วนควบคุมการให้แสงแบบอัตโนมัติ ส่วนควบคุมความเย็นอัตโนมัติ และส่วนควบคุมการผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

การสร้างระบบปลูกผักแบบอัตโนมัติ

สำหรับการสร้างตู้ปลูกผักแบบอัตโนมัติจะแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่

1) ส่วนควบคุมการให้แสงแบบอัตโนมัติ

ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย LED Grown Light ขนาด 1,000 วัตต์ ที่เป็นตัวสร้างแสงแดดเทียมที่มีลักษณะใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์ และจะมี NodeMCU ที่ทำหน้าที่ควบคุมการเปิดปิดแสงดังกล่าวโดย NodeMCU จะติดต่อสื่อสารกับอินเทอร์เน็ตเพื่อดึงเวลาในปัจจุบัน ซึ่งหากอยู่ในช่วงเวลาที่จำเป็นต้องให้แสงกับพืชแล้ว NodeMCU จะควบคุม Relay ให้ปิดการทำงานของอุปกรณ์ที่ให้แสง ในทางกลับกันหากอยู่ในช่วงเวลาที่ต้องให้แสงแล้ว อุปกรณ์ให้แสงจะเปิดขึ้นมาโดยอัตโนมัติ งานวิจัยนี้กำหนดให้ช่วงการให้แสงแดดอยู่ระหว่าง 06.00น. ถึง 18.00น. สำหรับ Code เทียมแสดงได้ภาพที่ 3.16

```

begin
  connect to Wi-Fi;
  while connected then
    config time zone GMT +7 from timer server;
    get current time;
    if current time => 06.00 and current time <= 18.00 then
      switch on LED grow light;
    else
      switch off LED grow light;
    end
  end
  delay 3600 seconds;
end

```

ภาพที่ 3.16 Pseudo code ของ LED grow light node

2) ส่วนควบคุมความเย็นอัตโนมัติ

ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยแผ่นเพลเทียร์ ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร และยาว 20 เซนติเมตร ทำหน้าที่ให้ความเย็นภายในตู้ปลูก โดยจะมี NodeMCU ควบคุมการเปิดหรือปิดตัวทำความเย็นซึ่งจะควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม ซึ่งอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 20 องศาเซลเซียส ถึง 25 องศาเซลเซียส เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิภายในตู้ปลูกจะส่งข้อมูลค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิทุก ๆ 5 นาที นอกจากนี้ แผ่นเพลเทียร์จะมีพัดลมสำหรับดูดความเย็นออกจากตัวเพลเทียร์ให้ครอบคลุมพื้นที่แปลงปลูกผัก สำหรับ Code เทียมของส่วนควบคุมความเย็นอัตโนมัติ แสดงได้ดังภาพที่ 3.17 และภาพที่ 3.18 ตามลำดับ

```

begin
  receive temperature value from sensor node every 5 minutes;
  if temperature <= 20 then
    switch off peltier;
  else if temperature >= 25 then
    switch on peltier;
  end
end

```

ภาพที่ 3.17 Pseudo code ของ peltier node

```

begin
  query sensor value every 10 second;
  average temperature value;
  if timer == 300 seconds then
    send average temperature value to peltier node;
    set timer to zero;
  else
    increase timer by one;
  end
end

```

ภาพที่ 3.18 Pseudo code ของ temperature sensor node

3) ส่วนควบคุมการผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติ

ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย Dosing pump จำนวน 2 ตัว สำหรับดูดสารละลาย A และ B และมีโซลินอยด์วาล์ว จำนวน 2 ตัว ติดตั้งกับสายยางที่ต่อเข้ากับตู้ผสมปุ๋ย และอีกส่วนติดตั้งที่ด้านข้างของตู้ผสมปุ๋ย ซึ่งส่วนนี้จะเชื่อมต่อกับตู้ปลูกเพื่อให้น้ำในแปลงปลูก สำหรับการผสมปุ๋ยนั้นเมื่อระบบปล่อยน้ำเข้ามาในตู้ผสมปุ๋ยจำนวน 12 ลิตรแล้ว ส่วนของ Dosing pump จะปล่อยสารละลาย A จำนวน 0.06 ลิตรลงในน้ำ (อัตราส่วนของปุ๋ย A B เท่ากับ 5 ซีซี ต่อ น้ำ 1 ลิตร) และปั๊มอากาศที่ติดตั้งไว้ในส่วนเก็บน้ำจะเริ่มทำงาน โดยจะทำหน้าที่กวนน้ำกับสารละลายให้เข้ากันประมาณ 10 นาที หลังจากนั้น Dosing pump จะปล่อยสารละลาย B จำนวน 0.06 ลิตรลงในน้ำ และปั๊มอากาศจะทำงานอีกประมาณ 10 นาที ซึ่งหลังจากกระบวนการนี้ pH และ EC Sensor จะทำการวัดค่า โดยค่า pH ของปุ๋ยจะได้ประมาณ 6.5 (ค่า pH ที่เหมาะสมในการปลูกผักสลัดจะอยู่ระหว่างค่า pH 6 ถึง pH 7) และค่า EC จะได้ประมาณ 1.3 (ค่า EC ที่เหมาะสมในการปลูกผักสลัดจะอยู่ระหว่าง 1.1 ถึง 1.7) เมื่อผสมปุ๋ยเสร็จเรียบร้อยแล้ว ส่วนผสมปุ๋ยจะปล่อยน้ำไปยังตู้ปลูก โดยมีเซ็นเซอร์วัดปริมาณการไหลของของเหลวหลังจากที่ส่งปุ๋ยเข้าไปในตู้ปลูกอีกด้วย และในส่วนของตู้ปลูกจะมีเซ็นเซอร์ที่ทำหน้าที่วัดระดับของของเหลวเพื่อควบคุมระดับของปุ๋ยให้คงที่เสมอ สำหรับ Code เทียมสำหรับส่วนควบคุมการผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติ แบ่งเป็น 3 ส่วน ซึ่งแสดงได้ดังนี้

3.1 สถานะของน้ำในแปลงปลูกว่างและถังปุ๋ยว่าง

เมื่อ NodeMCU ดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลแล้วพบว่าสถานะของแปลงปลูกไม่มีน้ำและถังเก็บปุ๋ยว่างแล้ว ระบบจะเปิด solenoid valve เพื่อปล่อยน้ำจากสายยางลงในถังปุ๋ยจนกว่าเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำจะแจ้งเตือนว่าน้ำถึงระดับที่ต้องการแล้ว (ประมาณ 12 ลิตร) ระบบจะปิด solenoid valve หลังจากนั้นจะเริ่ม Dosing pump ที่ถังปุ๋ย A จะทำงาน โดยจะดูดปุ๋ยจากที่เก็บลงสู่ถังปุ๋ยหลักที่มีน้ำอยู่ โดยจะใช้เวลาในการทำงานประมาณ 60 วินาที ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณปุ๋ยเท่ากับ 60 ซีซี ซึ่งเป็น

อัตราส่วนที่ใช้สำหรับผสมปุ๋ย (ปุ๋ย 5 ซีซี ต่อ น้ำ 1 ลิตร) จากนั้นระบบจะเปิดปั้มน้ำเพื่อผสมน้ำและปุ๋ย A ให้เข้ากัน โดยจะใช้เวลาประมาณ 5 นาที หลังจากนั้นระบบจะทำงานในส่วนของ Dosing pump ที่ถังปุ๋ย B โดยใช้เวลาประมาณ 60 วินาที และปั้มน้ำจะทำงานอีกครั้งโดยใช้เวลาอีก 5 นาที หลังจาก ที่ปั้มน้ำหยุดทำงานแล้ว Solenoid Valve ในส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างถังปุ๋ยและตู้ปลูกจะทำงาน โดย จะปล่อยน้ำไปจนกว่าเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำที่ตู้ปลูกจะแจ้งเตือน สำหรับ Code เทียมของส่วนผสมปุ๋ย ในขณะที่น้ำในแปลงปลูกว่างและถังปุ๋ยว่าง แสดงได้ดังภาพที่ 3.19

```

begin
  get status from database;
  if mode == W and status == empty and tank == empty then
    while water sensor not detected then
      switch on solenoid valve (water);
    end
    switch off solenoid valve (water);
    set mode to A;
  end
  if mode == A and status == empty and tank == empty then
    switch on dosing pump (A) 60 seconds then switch off;
    set mode to B;
  end
  if mode == B and status == empty and tank == empty then
    switch on water pump 300 seconds;
    switch on dosing pump (B) 60 seconds then switch off;
    set state to W;
    switch on water pump 300 seconds then switch off;
    while water sensor (plant) not detected then
      switch on solenoid valve (fertilizer);
    end
    switch off solenoid valve (fertilizer);
  end
end

```

ภาพที่ 3.19 Pseudo code ของส่วนผสมปุ๋ยในขณะที่น้ำในแปลงปลูกว่างและถังปุ๋ยว่าง

3.2 สถานะของน้ำในแปลงปลูกต้องการเติมและถังปุ๋ยว่าง

เมื่อ NodeMCU ดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลแล้วพบว่าสถานะของแปลงปลูกต้องการเติมปุ๋ยและ ถังเก็บปุ๋ยว่างแล้ว ระบบจะดำเนินการเหมือนกับสถานะของน้ำในแปลงปลูกว่างและถังปุ๋ยว่าง กล่าวคือจะผสมปุ๋ยและน้ำเก็บไว้ในถังปุ๋ยชั่วคราว จนกว่าแปลงปลูกจะแจ้งเตือนให้เติมปุ๋ย สำหรับ Code เทียมของส่วนผสมปุ๋ยในขณะที่น้ำในแปลงปลูกต้องการเติมและถังปุ๋ยว่าง แสดงได้ดังภาพที่ 3.20

```

begin
  get status from database;
  if mode == W and status == fill and tank == empty then
    while water sensor not detected then
      switch on solenoid valve (water);
    end
    switch off solenoid valve (water);
    set mode to A;
  end
  if mode == A and status == fill and tank == empty then
    switch on dosing pump (A) 60 seconds then switch off;
    set mode to B;
  end
  if mode == B and status == fill and tank == empty then
    switch on water pump 300 seconds;
    switch on dosing pump (B) 60 seconds then switch off;
    set state to W;
    switch on water pump 300 seconds then switch off;
  end
end

```

ภาพที่ 3.20 Pseudo code ของส่วนผสมปุ๋ยในขณะที่น้ำในแปลงปลูกต้องการเติมและถังปุ๋ยว่าง

3.3 สถานะของน้ำในแปลงปลูกต้องการเติมและถังปุ๋ยมีปุ๋ย

เมื่อ NodeMCU ดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลแล้วพบว่าสถานะของแปลงปลูกต้องการเติมปุ๋ยและถังเก็บปุ๋ยว่างแล้ว ระบบจะเปิดปั๊มน้ำเพื่อกวนน้ำประมาณ 5 นาที ก่อนที่จะปล่อยน้ำไปยังตู้ปลูก ซึ่งระบบจะปล่อยน้ำไปจนกว่าเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำจะแจ้งเตือนว่าน้ำเต็มแล้ว จึงจะหยุดปล่อยปุ๋ย สำหรับ Code เทียมของส่วนผสมปุ๋ยในขณะที่น้ำในแปลงปลูกต้องการเติมและถังปุ๋ยมีปุ๋ย แสดงได้ดังภาพที่ 3.21

```

begin
  get status from database;
  if status == fill and tank == full then
    switch on water pump 300 seconds then switch off;
    while water sensor (tank) not detected then
      switch on solenoid valve (fertilizer);
    end
    switch off solenoid valve (fertilizer);
  end
end

```

ภาพที่ 3.21 Pseudo code ของส่วนผสมปุ๋ยในขณะที่น้ำในแปลงปลูกต้องการเติมและถังปุ๋ยมีปุ๋ย

4) ส่วนเก็บข้อมูลและแสดงผลข้อมูล

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ รวมไปถึงค่าสถานะต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ และจะมีส่วนที่แสดงผลข้อมูลตามเวลาจริง (Real-time) โดยสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

4.1) ส่วนเก็บข้อมูล

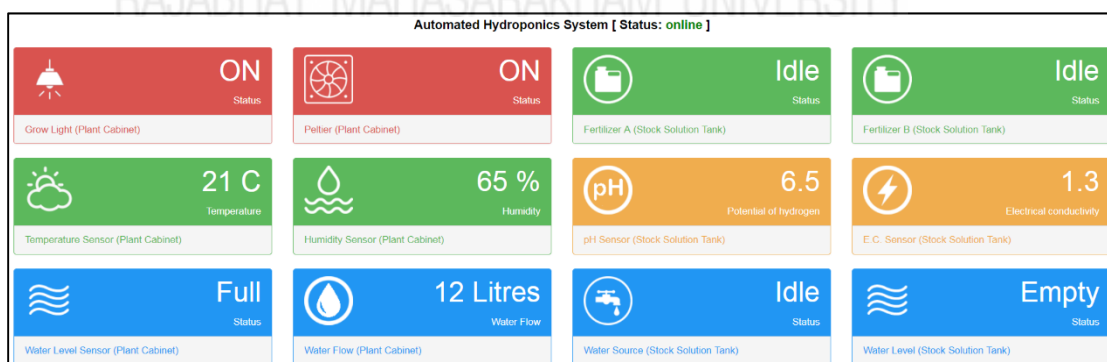
สำหรับส่วนเก็บข้อมูลนั้น จะใช้ฐานข้อมูล MySQL ซึ่งจะเก็บข้อมูลจากแต่ละเซ็นเซอร์โหนดในระบบ ข้อมูลที่เก็บเพื่อแสดงผลและสถานะต่าง ๆ ได้ดังนี้

- ค่าสถานะ ได้แก่ สถานะของการเปิดปิดแสงแดดเทียม สถานะของการเปิดปิดแผ่นทำความเย็น สถานะของระดับน้ำในตู้ปลูก สถานะของการเปิดปิดปั๊มอากาศของท่อเก็บน้ำในตู้ปลูก สถานะของการเปิดหรือปิดโซลินอยด์วาล์วระหว่างตู้ปลูกและถังปุ๋ย สถานะของระดับน้ำในถังปุ๋ย สถานะของการเปิดปิดปั๊มน้ำในถังปุ๋ย สถานะของการเปิดปิดโซลินอยด์วาล์วที่ปล่อยน้ำในถังปุ๋ย และสถานะของการทำงานของ Dosing pump ในถังปุ๋ย A และถังปุ๋ย B

- ค่าจากเซ็นเซอร์ ได้แก่ ค่าอุณหภูมิและความชื้นในตู้ปลูก ค่าความเป็นกรดต่างของปุ๋ยน้ำ และค่าการนำไฟฟ้าของปุ๋ยน้ำ ค่าปริมาณน้ำที่ไหลจากถังปุ๋ยลงสู่ตู้ปลูก

4.2) ส่วนแสดงผลข้อมูล

สำหรับส่วนนี้จะรับข้อมูลจาก NodeMCU แล้วแสดงผลบนเว็บไซต์ตามเวลาจริง ซึ่งในส่วนนี้จะแสดงสถานะต่างๆ ของตู้ปลูกผักและถังผสมปุ๋ย รวมไปถึงค่าที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ในขณะนั้น สำหรับส่วนแสดงผลข้อมูลแสดงดังภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 ส่วนแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์

ส่วนเก็บข้อมูลและส่วนแสดงผลข้อมูลนั้น จะทำงานร่วมกันโดยเมื่อเครื่องเซิร์ฟเวอร์ค่าจากเซ็นเซอร์ไหนแล้ว จะแสดงผลข้อมูลและเก็บค่าที่ได้รับลงในฐานข้อมูลทันที ซึ่งเซ็นเซอร์ไหนจุดจะใช้ประโยชน์จากการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลเพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการทำงานของระบบ

5) ฐานข้อมูล

ระบบนี้จะใช้ฐานข้อมูล MySQL เก็บค่าจาก NodeMCU ที่อยู่ตามอุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อบันทึกค่าและเก็บสถานะที่จำเป็นในการประมวลผล ซึ่งฐานข้อมูลในระบบนี้แบ่งออกเป็น 11 ตาราง ดังนี้

5.1) ตารางเก็บค่าการเปิดปิดแสงแดดเทียม (table_led_grow_light)

ในส่วนนี้จะเก็บค่าสถานะของการเปิด (ON) หรือปิด (OFF) ของ LED grow light และเก็บค่าเวลาที่บันทึกลงในฐานข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อมูลมายังฐานข้อมูลทุก ๆ 1 ชั่วโมง เมื่อมีการตรวจสอบความถูกต้องของเวลาจาก NodeMCU ที่ติดอยู่กับ LED grow light รายละเอียดฟิลด์ข้อมูลในตารางมีดังนี้

id_led	status	datetime
--------	--------	----------

5.2) ตารางเก็บค่าการเปิดปิดส่วนทำความเย็น (table_peltier)

ในส่วนนี้จะเก็บค่าสถานะของการเปิด (ON) หรือปิด (OFF) ของเพลเทียร์และเก็บค่าเวลาที่บันทึกลงในฐานข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อมูลทุกครั้งที่เพลเทียร์เปลี่ยนสถานะ รายละเอียดฟิลด์ข้อมูลในตารางมีดังนี้

id_peltier	status	datetime
------------	--------	----------

5.3) ตารางเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้น (table_temperature)

ในส่วนนี้จะเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นจากเซ็นเซอร์ที่อยู่ในแปลงปลูกและเก็บค่าเวลาที่บันทึกลงในฐานข้อมูล ระบบจะบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 นาที แต่จะมีการตรวจสอบว่าค่าอุณหภูมิที่วัดได้เป็นค่าที่ซ้ำกับค่าล่าสุดหรือไม่ ถ้าเป็นค่าเดิมจะไม่บันทึกลงฐานข้อมูล รายละเอียดฟิลด์ข้อมูลในตารางมีดังนี้

id_temp	temperature	humidity	datetime
---------	-------------	----------	----------

5.4) ตารางเก็บค่าระดับน้ำในตู้ปลูก (table_water_level)

ในส่วนนี้จะเก็บค่าสถานะของระดับน้ำในตู้ปลูก เช่น น้ำเต็ม (Full) หรือเติมน้ำ (Fill) และเก็บค่าเวลาที่บันทึกลงในฐานข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อมูลทุกครั้งที่ระดับน้ำเปลี่ยนสถานะ รายละเอียดฟิลด์ข้อมูลในตารางมีดังนี้

id_water_level	status	datetime
----------------	--------	----------

5.5) ตารางเก็บค่าปริมาณปุ๋ยน้ำในตู้ปลูก (table_water)

ในส่วนนี้จะเก็บค่าปริมาณน้ำที่ปล่อยลงตู้ปลูก โดยเป็นค่าที่ของเหลวไหลผ่านเซ็นเซอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ และเก็บค่าเวลาที่บันทึกลงในฐานข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อมูลทุกครั้งที่มีของเหลวไหลผ่านเซ็นเซอร์ รายละเอียดฟิลด์ข้อมูลในตารางมีดังนี้

id_water	value	datetime
----------	-------	----------

5.6) ตารางเก็บค่าสถานะของถังสารละลายธาตุอาหาร A (table_solution_a)

ในส่วนนี้จะเก็บสถานการณ์ทำงาน (Working) หรือ รอกการทำงาน (Idle) ของถังสารละลายธาตุอาหาร A และเก็บค่าเวลาที่บันทึกลงในฐานข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อมูลทุกครั้งที่ Dosing pump เปลี่ยนสถานะ รายละเอียดฟิลด์ข้อมูลในตารางมีดังนี้

id_solution_a	status	datetime
---------------	--------	----------

5.7) ตารางเก็บค่าสถานะของถังสารละลายธาตุอาหาร B (table_solution_b)

ในส่วนนี้จะเก็บสถานการณ์ทำงาน (Working) หรือ รอกการทำงาน (Idle) ของถังสารละลายธาตุอาหาร B และเก็บค่าเวลาที่บันทึกลงในฐานข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อมูลทุกครั้งที่ Dosing pump เปลี่ยนสถานะ รายละเอียดฟิลด์ข้อมูลในตารางมีดังนี้

id_solution_b	status	datetime
---------------	--------	----------

5.8) ตารางเก็บค่าความเป็นกรด-ด่าง (table_ph)

ในส่วนนี้จะเก็บค่าความเป็นกรดหรือด่างของสารละลายธาตุอาหารที่อยู่ในถังผสมปุ๋ย และเก็บค่าเวลาที่บันทึกลงในฐานข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อมูลทุกครั้งเมื่อมีของเหลวสัมผัสกับเซ็นเซอร์ รายละเอียดฟิลด์ข้อมูลในตารางมีดังนี้

id_ph	value	datetime
-------	-------	----------

5.9) ตารางเก็บค่าการนำไฟฟ้า (table_ec)

ในส่วนนี้จะเก็บค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารที่อยู่ในถังผสมปุ๋ย และเก็บค่าเวลาที่บันทึกลงในฐานข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อมูลทุกครั้งเมื่อมีของเหลวสัมผัสกับเซ็นเซอร์ รายละเอียดฟิลด์ข้อมูลในตารางมีดังนี้

id_ec	value	datetime
-------	-------	----------

5.10) ตารางเก็บค่าสถานะของการปล่อยน้ำจากต้นน้ำ (table_water_source)

ในส่วนนี้จะเก็บสถานะการทำงาน (Working) หรือ รอการทำงาน (Idle) ของแหล่งจ่ายน้ำ และเก็บค่าเวลาที่บันทึกลงในฐานข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อมูลทุกครั้งที่ Solenoid Valve เปลี่ยนสถานะ รายละเอียดฟิลด์ข้อมูลในตารางมีดังนี้

id_water_source	status	datetime
-----------------	--------	----------

5.11) ตารางเก็บค่าปริมาณปุ๋ยน้ำในถังผสมปุ๋ย (table_solution)

ในส่วนนี้จะเก็บค่าสถานะของระดับน้ำในถังผสมปุ๋ย เช่น น้ำเต็ม (Full) หรือเติมน้ำ (Fill) และเก็บค่าเวลาที่บันทึกลงในฐานข้อมูล ซึ่งจะเก็บข้อมูลทุกครั้งที่ระดับน้ำเปลี่ยนสถานะ รายละเอียดฟิลด์ข้อมูลในตารางมีดังนี้

id_solution	status	datetime
-------------	--------	----------

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลจะวัดจากความสมบูรณ์ของผักระหว่างการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบระบบอัตโนมัติกับระบบปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบปกติ ซึ่งจะวิเคราะห์ปริมาณน้ำและปุ๋ยที่ใช้ในการปลูกทั้งระบบ และการควบคุมตัวแปรที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช

การทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

1) การทดสอบระบบควบคุมการให้แสงแดดเทียม

ผู้วิจัยจะทดสอบการเปิดและปิดการให้แสงแดดเทียมตามเงื่อนไข ซึ่งจะให้แสงแดดตั้งแต่เวลา 06.00น. ถึง 18.00น. โดย NodeMCU จะเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตและจะตรวจสอบเวลาให้เป็นเวลาปัจจุบันทุก ๆ 1 ชั่วโมง

2) การทดสอบระบบควบคุมการให้ความเย็น

ผู้วิจัยจะทดสอบการควบคุมอุณหภูมิในตู้ปลูกให้เหมาะสม โดยในตู้ปลูกจะต้องรักษาอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส ในส่วนนี้จะมี NodeMCU และเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในตู้ปลูก ซึ่งจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลไปยัง NodeMCU ที่ติดอยู่กับแผ่นเพลทเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้พอเหมาะ

3) การทดสอบระบบควบคุมการผสมปุ๋ย

ผู้วิจัยจะทดสอบการผสมสารละลายอัตโนมัติ โดยจะวัดค่า pH และ EC จากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งกับ NodeMCU ให้ได้ค่าที่เหมาะสมต่อการปลูกก่อนที่จะปล่อยเข้าสู่ตู้ปลูก

การเปรียบเทียบปริมาณการใช้ปุ๋ยระหว่างการปลูกแบบปกติและการปลูกตู้ผักแบบอัตโนมัติ

ผู้วิจัยจะทดสอบปริมาณการใช้ปุ๋ยของทั้งสองระบบ โดยจะวัดปริมาณการใช้ปุ๋ยในระบบทั้งหมดตั้งแต่ช่วงลงแปลงปลูกจนกระทั่งการเก็บเกี่ยวผลผลิต ซึ่งจะสามารถวัดปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบได้อีกด้วย

การเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างการปลูกแบบปกติและการปลูกตู้ผักแบบอัตโนมัติ

ผู้วิจัยจะทดสอบผลผลิตของทั้งสองระบบ โดยจะวัดน้ำหนักและขนาดของใบ ซึ่งจะเปรียบเทียบจากค่าเป็นค่าเฉลี่ยของจำนวนต้นที่ปลูกทั้งหมด

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการประกอบตู้ปลูก โดยนำส่วนความคุมการให้แสงแบบอัตโนมัติ ส่วนควบคุมความเย็นอัตโนมัติ และส่วนควบคุมการผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติมาใช้ร่วมกัน โดยตู้ปลูกผักสูงประมาณ 110 เซนติเมตร มีความกว้างและยาวด้านละ 100 เซนติเมตร ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดลองปลูกผักเป็นเวลา 25 วัน โดยเปิดระบบไว้และเฝ้าสังเกตการณ์เจริญเติบโตของผัก จากผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

การให้แสง

ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดให้แสงจาก LED grow light เปิดปิดได้ตามช่วงเวลาที่กำหนด โดยกำหนดให้เริ่มให้แสงแดดเทียมที่เวลา 06.00น. และหยุดให้แสงในเวลา 18.00น. ซึ่งการกำหนดเวลานั้น ผู้วิจัยได้ให้ NodeMCU เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตเพื่อดึงเวลาปัจจุบันมาเปรียบเทียบกับซึ่งการให้แสงในตู้ปลูกผักนั้นเป็นการให้แสงที่สม่ำเสมอตลอดเวลา โดยที่ผู้วิจัยได้คำนวณระยะห่างที่เหมาะสมระหว่าง LED grow light และผักที่อยู่ในบริเวณแปลงปลูก ซึ่งได้ระยะห่างประมาณ 60 เซนติเมตร และระยะของแสงแดดเทียมที่สามารถครอบคลุมพื้นที่ปลูกผักจำนวน 16 ต้น

การควบคุมความเย็น

ระบบควบคุมความเย็นที่ออกแบบมานั้นจะทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งในบริเวณพื้นที่ปลูกผัก สำหรับอุณหภูมิที่ควบคุมจะอยู่ระหว่าง 20 ถึง 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการปลูกผัก ในส่วนการทำงานของระบบนั้น เมื่อภายในตู้ปลูกอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียส ส่วนการให้ความเย็นจะตัดการจ่ายไฟเพื่อรักษาอุณหภูมิในตู้ปลูก ซึ่งระบบนี้จะทำงานอีกครั้งเมื่ออุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

การควบคุมการให้ปุ๋ย

ในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการผสมปุ๋ย และส่วนของการให้ปุ๋ย

1) ส่วนของการผสมปุ๋ยนั้น ระบบจะควบคุมการให้ปุ๋ย A และน้ำก่อนลงมาในบ่อพัก ระบบจะใช้ปั้มน้ำเพื่อกวนน้ำกับปุ๋ยให้ผสมกัน หลังจากนั้นจะปล่อยปุ๋ยที่ผสมชุดแรกไปยังบ่อพักบ่อที่สอง

และปล่อยปุ๋ย B มาผสมและกวนน้ำกับปุ๋ยให้เข้ากันอีกครั้ง ซึ่งระยะเวลาในการผสมปุ๋ยน้ำจำนวน 12 ลิตร จะใช้เวลาประมาณ 10 นาที และปุ๋ยในส่วนนี้จะรอการปล่อยลงแปลงผักต่อไป

2) ส่วนของการให้ปุ๋ย ระบบจะติดต่อสื่อสารกับเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำในบริเวณแปลงปลูก ซึ่งเมื่อของน้ำลดลงถึงระดับของเซ็นเซอร์แล้ว NodeMCU ในส่วนที่ติดอยู่กับโซลินอยด์วาล์วจะปล่อยน้ำและปุ๋ยลงมาในบริเวณท่อที่เก็บน้ำในตู้ปลูก

ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ โดยทดสอบความแม่นยำในการให้น้ำและสารละลายธาตุอาหาร ผู้วิจัยได้ประเมินประสิทธิภาพผลผลิตระหว่างผักที่ปลูกในระบบอัตโนมัติและแบบปกติ รวมไปถึงการประเมินประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำและสารละลายธาตุอาหารทั้งสองระบบ ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ ดังหัวข้อต่อไปนี้

ความแม่นยำในการให้น้ำและสารละลายธาตุอาหาร

จากการทดลองระบบผสมสารละลายอัตโนมัติ โดยอัตราส่วนที่ใช้ คือ ปุ๋ย A และ ปุ๋ย B จำนวนอย่างละ 5 ซีซี ต่อน้ำ 1 ลิตร ซึ่งการผสมสารละลายจะผสมปุ๋ย A และน้ำเข้าด้วยกันก่อน จากนั้นจะใช้แรงดันจากปั๊มอากาศผสมปุ๋ยให้เข้ากันประมาณ 5 นาที จากนั้นจะปล่อยปุ๋ย B มาผสมเป็นขั้นตอนสุดท้าย และโดยใช้แรงดันจากปั๊มอากาศผสมปุ๋ยให้เข้ากันอีก 5 นาที ในระหว่างการผสมสารละลายจะมีเซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรดด่าง และเซ็นเซอร์วัดค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายเพื่อตรวจวัดค่าให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตลอดเวลา จากผลการทดลองพบว่า ระบบสามารถผสมปุ๋ยอัตโนมัติโดยมีค่า pH เฉลี่ยประมาณ 6.5 และค่า EC เฉลี่ยประมาณ 1.3 รายละเอียดในตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่า pH และ EC ที่ผสมจากระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติ และระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบปกติ

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบระหว่างค่า pH และ EC ที่ผสมจากระบบอัตโนมัติและระบบปกติ

ครั้งที่	ระบบอัตโนมัติ		ระบบปกติ	
	ค่า pH	ค่า EC	ค่า pH	ค่า EC
1	6.5	1.3	5.6	1.8
2	6.6	1.3	5.8	1.7
3	6.5	1.2	5.7	1.9
4	6.4	1.3	6.0	1.6
5	6.5	1.3	5.7	1.7
6	6.5	1.3	5.8	1.8
7	6.6	1.3	5.8	1.9
8	6.5	1.4	5.6	1.8
9	6.4	1.3	5.9	1.8
10	6.5	1.3	5.7	1.6
ค่าเฉลี่ย	6.5	1.3	5.76	1.76

ปริมาณน้ำที่ใช้

สำหรับพื้นที่ปลูกนั้น ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มีท่อเก็บน้ำและสารละลายธาตุอาหาร โดยท่อ PVC แต่ละท่อนั้นจะมีส่วนที่เชื่อมต่อกันเพื่อรักษาระดับน้ำให้เท่ากัน ซึ่งท่อทั้งหมดนั้นจะมีปริมาตรรวมทั้งสิ้นประมาณ 12 ลิตร โดยอัตราการไหลของน้ำจากส่วนผสมไปยังท่อเก็บน้ำนั้น มีอัตราการไหลของน้ำประมาณ 30 วินาทีต่อลิตร ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 6 นาที น้ำจะเต็มท่อปลูก แต่สำหรับการให้น้ำระหว่างปลูกนั้น จะมีเซ็นเซอร์ตรวจจับระดับน้ำเพื่อให้ปล่อยน้ำออกมาให้ระดับน้ำคงที่เสมอ

จากการทดลองวัดปริมาณน้ำที่ใช้ของระบบปกติ พบว่า ระบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นใช้น้ำทั้งระบบเฉลี่ยประมาณ 126.91 ลิตร โดยเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดค่าปริมาณการไหลของน้ำตั้งแต่เริ่มต้นระบบจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการ ส่วนการปลูกผักในระบบปกตินั้นจะใช้น้ำเฉลี่ยประมาณ 80 ถึง 100 ลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการให้น้ำของเกษตรกร

ปริมาณปุ๋ยที่ใช้

จากการทดลองวัดปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในนั้น ระบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นใช้ปุ๋ย A และ ปุ๋ย B ทั้งระบบเฉลี่ยประมาณ 1.27 ลิตร ส่วนการปลูกผักในระบบปกตินั้นจะใช้ปุ๋ย A และ ปุ๋ย B เฉลี่ยประมาณ 0.8 ถึง 1.0 ลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแม่นยำในการให้น้ำของเกษตรกร

ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้

จากการทดลองวัดปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในนั้น เนื่องจากระบบอัตโนมัติจะมีการให้แสงแดดเทียมและระบบทำความเย็น รวมไปถึงไฟเลี้ยงสำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซ็นเซอร์ พัดลม ปั๊มอากาศและปั๊มน้ำต่างๆ ทำให้ระบบอัตโนมัติจะใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงกว่ามาก โดยระบบอัตโนมัติจะใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน เฉลี่ยเท่ากับ 1,261 วัตต์ต่อวัน ส่วนระบบปกตินั้น จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากการปั๊มน้ำตลอดทั้งวัน โดยใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน เฉลี่ยเท่ากับ 50 วัตต์ต่อวัน

คุณภาพของผลผลิต

ผลการทดลองพบว่า คุณภาพของผลผลิตของผักที่ปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบปกติ นั้น จะมีขนาดของใบและลำต้นที่ใหญ่กว่าระบบปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์แบบปกติ จากการควบคุมค่า pH ให้อยู่ระหว่าง 6 ถึง 7 และค่า E.C. ให้อยู่ระหว่าง 1.1 ถึง 1.7 ภาพที่ 4.1 แสดงผลผลิตของผักกรีนโอ๊ค ระหว่างระบบอัตโนมัติและระบบปกติ และตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างระบบอัตโนมัติและระบบปกติ



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างผักที่ปลูกในระบบปกติ (ซ้าย) และผักที่ปลูกในระบบอัตโนมัติ (ขวา)

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบผลผลิตระหว่างระบบอัตโนมัติและระบบปกติ

	น้ำหนักของผัก (g)	น้ำหนักของผัก (g)	ขนาดใบที่ใหญ่ที่สุด กว้าง x ยาว (cm)	ขนาดใบที่ใหญ่ที่สุด กว้าง x ยาว (cm)
ผักกรีนโอ๊ค	ระบบอัตโนมัติ	ระบบปกติ	ระบบอัตโนมัติ	ระบบปกติ
ต้นที่ 1	105	70	20 x 17	11 x 14
ต้นที่ 2	100	80	19 x 18	14 x 15
ต้นที่ 3	110	80	21 x 18	16 x 16
ต้นที่ 4	110	60	20 x 20	12 x 13
ต้นที่ 5	100	90	17 x 19	20 x 15
ต้นที่ 6	105	80	19 x 20	18 x 12
ต้นที่ 7	95	70	18 x 16	16 x 13
ต้นที่ 8	115	80	22 x 19	15 x 16
ต้นที่ 9	95	80	18 x 17	17 x 16
ต้นที่ 10	100	60	19 x 19	12 x 11
ต้นที่ 11	100	80	20 x 18	18 x 13
ต้นที่ 12	110	60	22 x 17	13 x 12
ต้นที่ 13	100	70	20 x 18	16 x 12
ต้นที่ 14	95	90	17 x 19	18 x 14
ต้นที่ 15	115	90	23 x 18	18 x 15
ต้นที่ 16	100	90	19 x 17	18 x 14
ค่าเฉลี่ย	103.44	76.88	19.63 x 18.13	15.75 x 13.81

ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ

สำหรับประสิทธิภาพโดยรวมของระบบนั้น ระบบสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ การทำงานในแต่ละส่วนนั้นสามารถทำงานได้อย่างเป็นอิสระแยกออกจากกัน โดยส่วนต่าง ๆ ของระบบจะใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่ตรวจวัดได้มาประมวลผลข้อมูล ทำให้สภาพแวดล้อมภายในตู้ปลูกผัก มีปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชอย่างสม่ำเสมอ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่าระบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องตามที่ต้องการ ออกแบบไว้ ในส่วนของการให้แสงแดดเทียมนั้นสามารถให้แสงได้ตรงตามเวลาที่กำหนดโดยผู้วิจัย กำหนดให้ระบบเปิดแสงแดดเทียมในเวลา 06.00น. ถึง 18.00น. เป็นเวลา 12 ชั่วโมงต่อวัน การควบคุมอุณหภูมินั้นก็ก็สามารถควบคุมอุณหภูมิในช่วง 20 องศา ถึง 25 องศา และการให้น้ำและสารละลายธาตุอาหารนั้น ระบบสามารถผสมน้ำและสารละลายธาตุอาหารได้อย่างแม่นยำ โดยค่าเฉลี่ยของค่า pH อยู่ระหว่าง 6 ถึง 7 และค่า EC อยู่ระหว่าง 1.1 ถึง 1.7 การควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผักได้คงที่นั้น จะส่งผลให้ผลผลิตที่ได้จากการปลูกผักในระบบอัตโนมัติมีผลผลิตที่ดีกว่าระบบปกติ ยิ่งไปกว่านั้นการใช้ทรัพยากรน้ำและสารละลายนั้นมากกว่าระบบปกติ ประมาณ 26.91 เปอร์เซ็นต์ ยิ่งไปกว่านั้นการนำระบบอัตโนมัติมาใช้สำหรับปลูกผักในชีวิตประจำวัน จะทำให้ลดเวลาสำหรับการผสมและเติมน้ำกับสารละลายเข้าในแปลงปลูก ลดเวลาการดูแลผักในระหว่างวัน การลดปัญหาปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของผักไม่คงที่ เช่น ปริมาณแสงแดดไม่เพียงพอในแต่ละวัน ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปแต่ละวัน การผสมสารละลายที่ต้องใช้เวลาและความแม่นยำ รวมไปถึงสามารถป้องกันปัญหาศัตรูพืชที่เข้ามารบกวนในแปลงผักได้ ผู้วิจัยได้วัดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบนี้ พบว่า ภาพรวมของระบบนั้น มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าพลังงานประมาณ 454 หน่วย ซึ่งเมื่อคำนวณเป็นค่าไฟฟ้าแล้วพบว่า เมื่อปลูกแต่ละรอบ (ประมาณ 30 วัน) จะใช้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าประมาณ 1,100 บาทต่อเดือน (โดยคำนวณจากค่าไฟฟ้าในอัตราที่สูงสุดหน่วยละ 2.4226 บาท)

อภิปรายผล

การพัฒนาระบบอัตโนมัติสำหรับปลูกผักนั้นจะต้องวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของผัก เช่น แสง อุณหภูมิ น้ำและปุ๋ย เป็นต้น ในงานวิจัยนี้จะไม่ใช้แสงแดดจากธรรมชาติ ซึ่งแสงแดดที่ให้ผักนั้นจะเป็นแสงแดดเทียมหรือเรียกอุปกรณ์นี้ว่า LED grow light ซึ่งการเลือกชนิดของอุปกรณ์ดังกล่าวนี้ ต้องดูค่า LUX, Spectrum (Wave Length), PAR และ PPFD ที่เหมาะสมต่อผักแต่ละชนิด นอกจากนี้ยังต้องคำนวณระยะห่างของแสงแดดเทียมให้เหมาะสมกับผักแต่ละชนิดด้วย สำหรับในงานวิจัยนี้จะใช้ระยะห่างระหว่าง LED grow light กับผักสลัดกรีนโอ๊คประมาณ 60 เซนติเมตร

การควบคุมอุณหภูมินั้น งานวิจัยนี้ได้ใช้แผ่นเพลเทียร์ที่เป็นแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งจะให้ความเย็นเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปในวงจร โดยจะใช้พัดลมภายในตู้ปลูกเพื่อนำพาความเย็นออกจากแผ่นเพลเทียร์ ให้กระจายความเย็นให้ครอบคลุมบริเวณพื้นที่ปลูก ซึ่งในบริเวณพื้นที่ปลูกนั้นจะมีเซ็นเซอร์ที่วัดค่าอุณหภูมิและความชื้นเพื่อส่งต่อมายัง NodeMCU ที่ติดอยู่กับส่วนควบคุมความเย็น เพื่อทำหน้าที่วิเคราะห์ค่าที่ได้รับและตัดสินใจเปิดหรือปิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับแผ่นเพลเทียร์ และส่วนสุดท้ายเป็นส่วนที่ทำหน้าที่ผสมปุ๋ยและน้ำให้มีค่า pH และ EC เหมาะสม โดยในส่วนนี้จะทำให้ได้ค่า pH และ EC ที่ใกล้เคียงกันทุกครั้ง รวมไปถึงการควบคุมการจ่ายน้ำในแปลงปลูกผักได้อย่างแม่นยำและเพียงพอต่อความต้องการของผัก ซึ่งจะทำให้ใช้ทรัพยากรน้ำคุ้มค่ามากที่สุด สำหรับท่อที่พักน้ำนั้นถูกออกแบบมาให้ใช้ปริมาณน้ำได้อย่างเหมาะสมกับระบบมากที่สุดอีกด้วย การควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชให้คงที่และเหมาะสมนั้น จะทำให้ผลผลิตมีคุณภาพมากกว่าการปลูกพืชแบบปกติ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

ผลการวิจัยนั้นจะเน้นเป็นการทำระบบอัตโนมัติโดยควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของผักให้คงที่มากที่สุด ทำให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพมากที่สุด สำหรับการนำผลการวิจัยไปใช้นั้นสามารถศึกษาระบบปลูกผักแบบอัตโนมัติและแยกส่วนการนำไปใช้ได้ เช่น การให้แสงแบบอัตโนมัติ จาก LED grow light การให้ความเย็นโดยใช้แผ่น Peltier การผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติ โดยมีเซ็นเซอร์ pH และ EC เป็นตัวตรวจจับ ซึ่งทั้ง 3 ส่วนนี้ ถือเป็นการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชได้ดี

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

การวิจัยในครั้งต่อไปนั้น สามารถพัฒนาต่อยอดได้หลายด้าน เช่น การหาเวลาในการให้แสงแดดเทียมที่เหมาะสมที่สุด การหาค่า pH หรือ EC ที่เหมาะสมที่สุด การหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุด โดยเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้สำหรับการเปลี่ยนแปลงในแต่ละปัจจัย นอกจากนี้ยังสามารถต่อยอดในด้านของการออกแบบระบบการให้น้ำและท่อเก็บน้ำให้สามารถประหยัดน้ำมากยิ่งขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นการนำเทคโนโลยีของการเรียนรู้ของเครื่องโดยผสมองค์ความรู้สำหรับการปลูกพืชแต่ละชนิดเข้าไปในระบบ จะทำให้ระบบมีความฉลาดและปลูกผักได้หลายชนิดโดยระบบจะเป็นตัวกำหนดปัจจัยสำหรับการปลูกพืชแบบอัตโนมัติ เป็นต้น

บรรณานุกรม

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

- Hirofumi Ibayashi, Yukimasa Kaneda, Jungo Imahara, Naoki Oishi, Masahiro Kuroda and Hiroshi Mineno. A Reliable Wireless Control System for Tomato Hydroponics. *Sensors* 2016; 16(5): 644.
- Mayra Erazo, David Rivas, Milton Pérez, Omar Galarza and Víctor Bautista, editors. Design and Implementation of a Wireless Sensor Network for Rose Greenhouses Monitoring. ICARA 2015. Proceeding of the 6th International Conference on Automation, Robotics and Applications; 2015 Feb 17-19; Queenstown, New Zealand; 2015. p. 256-61.
- rancisco Javier Ferrández-Pastor, Juan Manuel García-Chamizo, Mario Nieto-Hidalgo, Jerónimo Mora-Pascual and José Mora-Martínez. Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture. *Sensors* 2016; 16(8): 1141.
- Ken-ichiro Yasuba, Hidehito Kurosaki, Masuyuki Takaichi and Katsumi Suzuki. Development of an automatic data collection and communication system for greenhouse in Japan. SICE 2011. Proceeding of SICE Annual Conference; 2011 Sep 13-18; Tokyo, Japan; 2011. p. 2806-7.
- Yukimasa Kanedaa, Hirofumi Ibayashib, Naoki Oishic, Hiroshi Minenoa. Greenhouse environmental control system based on SW-SVR. KES-2015. Proceeding of 19th International Conference on Knowledge Based and Intelligent Information and Engineering Systems; 2015 Sep 7-9; Singapore; 2015. p. 860-69.
- Goran Martinovic and Janos Simon. Greenhouse microclimatic environment controlled by amobile measuring station. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences* 2014; 70-71: 61-70.
- V. Sri Jahnvi & Shaik Fayaz Ahamed. Smart Wireless Sensor Network for Automated Greenhouse. *IETE Journal of Research* 2015; 61(2): 180-85.

- Kristof Vermeulen, Jean-Marie Aerts, Jan Dekock, Peter Bleyaert, Daniël Berckmans, Kathy Steppe. Automated leaf temperature monitoring of glasshouse tomato plants by using a leaf energy balance model. *Computers and Electronics in Agriculture* 2012; 87: 19-31.
- Yi-Yu Huang, Chien-Teh Chend, Yen-Chi Tsai. Reduction of temperatures and temperature fluctuations by hydroponic green roofs in a subtropical urban climate. *Energy and Buildings* 2016; 129: 174-185.
- Rodica LAZĂR, R. LĂCĂTUȘU, Nineta RIZEA. The influence of water source for preparing the nutrient solutions used for cucumbers irrigation in hydroponic greenhouse. *Research Journal of Agricultural Science* 2015; 47(3): 97-101.
- M.D. Pabiania, F. S. Caluyo, N. B. Linsangan. Wireless Data Acquisition and pH and Conductivity Levels Prediction using Genetic Algorithm for Hydroponics. WCECS 2011. *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science* 2011; 2011 Oct 19-21; San Francisco, USA; 2011; 2193(1): 23-8.
- Shafeena T. Smart Aquaponics System: Challenges and Opportunities. *European Journal of Advances in Engineering and Technology* 2016; 3(2): 52-5.
- Hak-Jin Kim, Won-Kyung Kim, Mi-Young Roh, Chang-Ik Kang, Jong-Min Park, Kenneth A. Sidduth. Automated sensing of hydroponic macronutrients using a computer-controlled system with an array of ion-selective electrodes. *Computers and Electronics in Agriculture* 2013; 93: 46-54.
- Seungjun Leea and Jiyong Leea. Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia Horticulturae* 2015; 195: 206-16.
- Guilherme Lages Barbosa, Francisca Daiane Almeida Gadelha, Natalya Kublik, Alan Proctor, Lucas Reichelm, Emily Weissinger, Gregory M. Wohlleb and Rolf U. Halden. Comparison of Land, Water, and Energy Requirements of Lettuce Grown Using Hydroponic vs. Conventional Agricultural Methods. *Public Health* 2015; 12: 6879-91.

- Sam E. Wortman, Crop physiological response to nutrient solution electrical conductivity and pH in an ebb-and-flow hydroponic system. *Scientia Horticulturae* 2015; 194: 34-42.
- Mairton G. da Silva, Tales M. Soares, Hans R. Gheyi, Itamar de S. Oliveira, José A. da Silva Filho & Francicleiton F. do Carmo. Frequency of recirculation of nutrient solution in hydroponic cultivation of coriander with brackish water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 2016; 20(5): 447-54.
- Damianos Neocleousa, Dimitrios Savvas. NaCl accumulation and macronutrient uptake by a melon crop in a closed hydroponic system in relation to water uptake. *Agricultural Water Management* 2016; 165: 22-32.
- Chunjie Lia,d, Yang Dong, Yuehua Lei, Deyi Wu, Pei Xu. Removal of low concentration nutrients in hydroponic wetlands integrated with zeolite and calcium silicate hydrate functional substrates. *Ecological Engineering* 2015; 82: 442-50.
- hydroponics Ryan W. Dickson, Paul R. Fisher, William R. Argo, Daniel J. Jacques, Jerry B. Sartain, Laurie, E. Trenholm, Thomas H. Yeager. Solution Ammonium: Nitrate ratio and cation/anion uptake affect acidity or basicity with floriculture species in hydroponics. *Scientia Horticulturae* 2016; 200: 36-44.
- R.M. GIURGIU, G.A. MORAR, Adelina DUMITRAS, Păunita BOANCA, B.M. DUDA, Cristina MOLDOVAN. Study regarding the suitability of cultivating medicinal plants in hydroponic systems in controlled environment 2014; 46(2): 84-92.
- Jihae Park, Jeong-hyun Yoon, Stephen Depuydt, Jung-Woo Oh, Youn-min J, Kyungtae Kim, Murray T. Brown, Taejun Han. The sensitivity of a hydroponic lettuce root elongation bioassay to metals, phenol and wastewaters. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 2016; 126: 147-53.
- Yueh-Hsin Wu and Ya-Hui Kuo. Using TAM to investigate consumer acceptance of hydroponic vegetables grown using led light. *The International Journal of Organizational Innovation* 2016; 8(4): 260-72.



ภาคผนวก

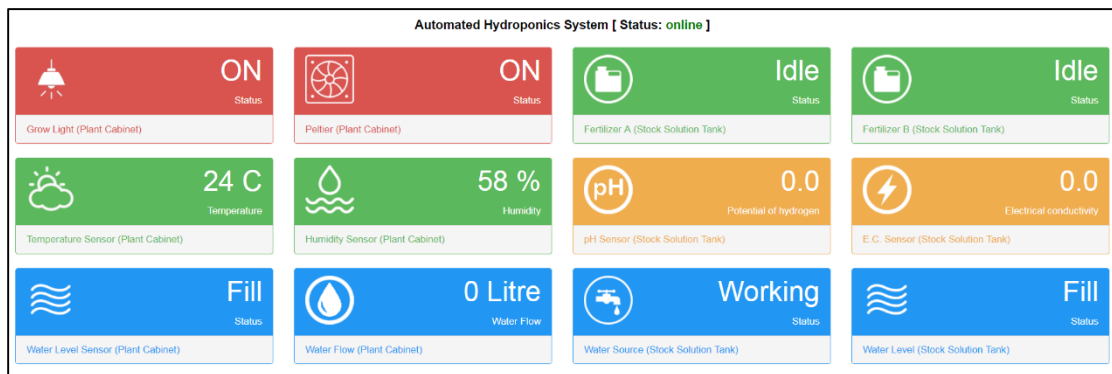
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



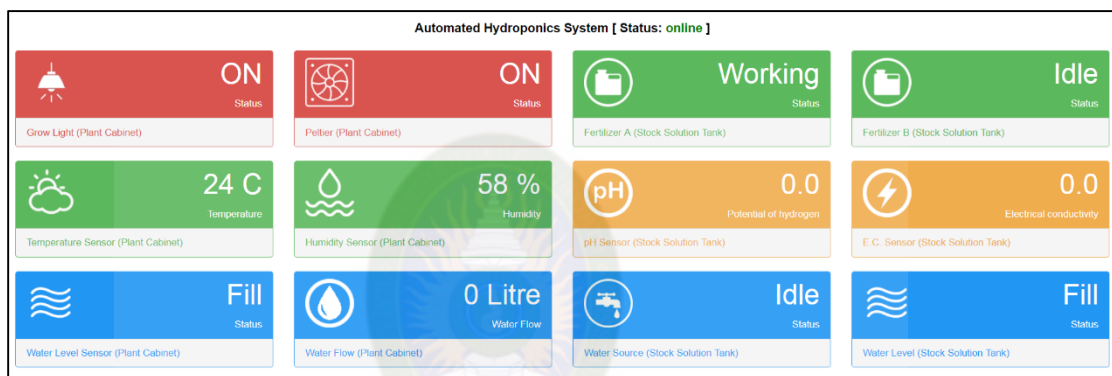
ภาคผนวก ก

การแสดงผลบนเว็บไซต์เมื่อระบบทำงาน

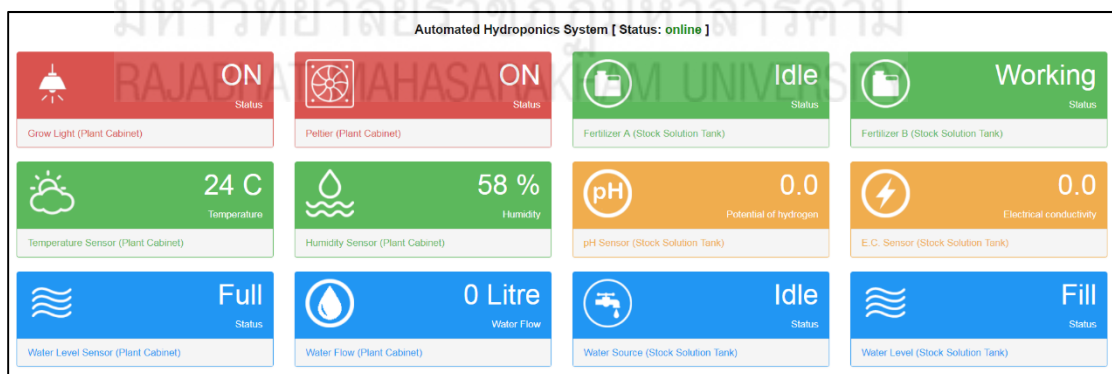
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



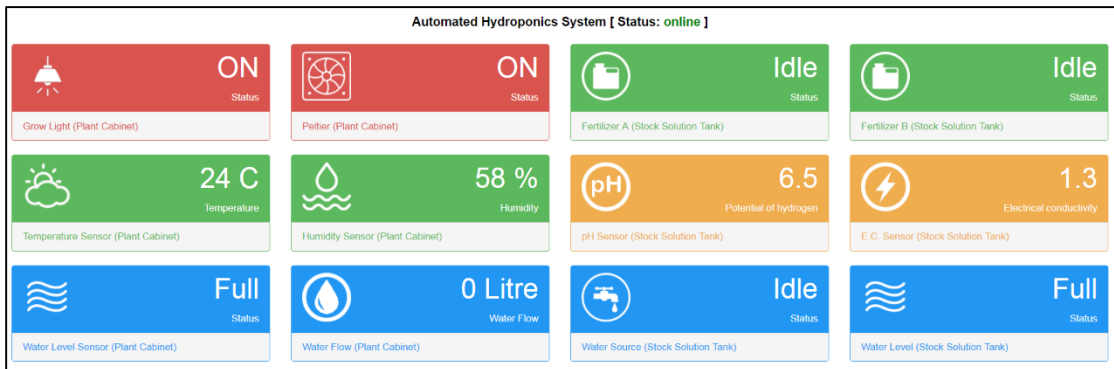
ภาพที่ ก-1 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่กำลังปล่อยน้ำลงถังผสมปุ๋ย



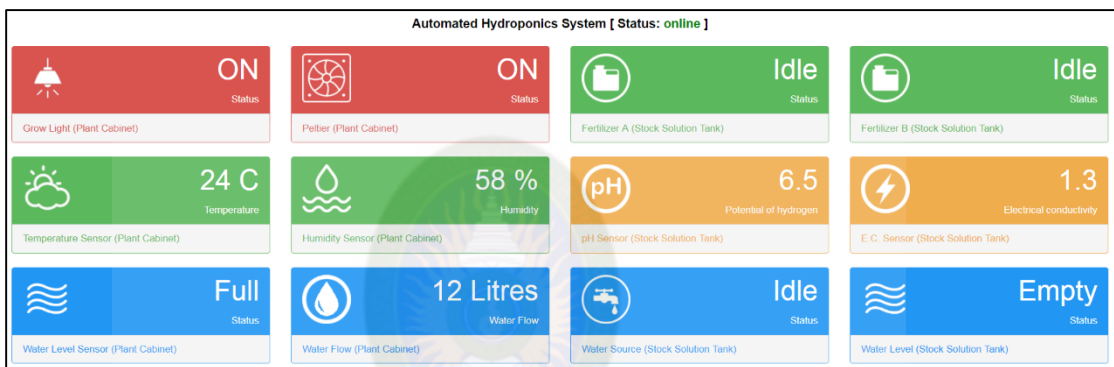
ภาพที่ ก-2 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่กำลังผสมปุ๋ย A



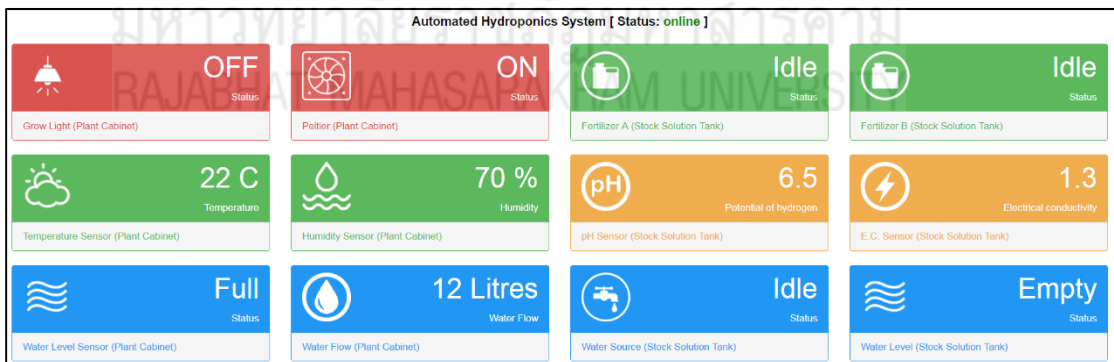
ภาพที่ ก-3 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่กำลังผสมปุ๋ย B



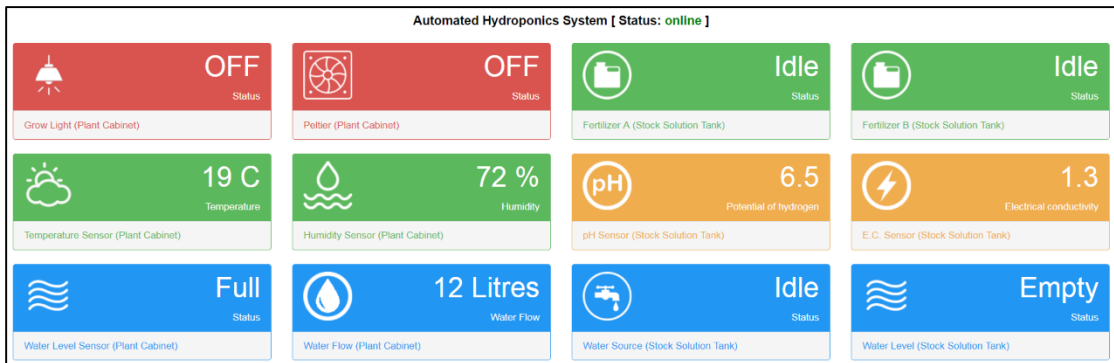
ภาพที่ ก-4 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่สารละลายในถังผสมปุ๋ยเต็ม



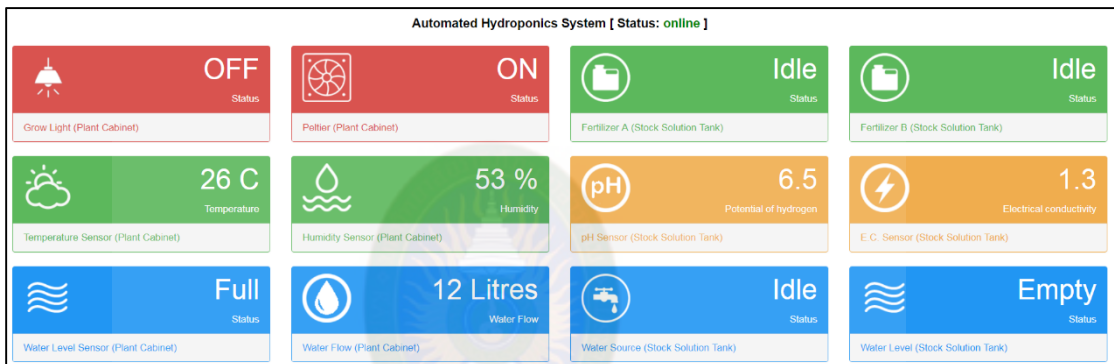
ภาพที่ ก-5 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่ปล่อยสารละลายจากถังผสมปุ๋ยมายังตู้ปลูก



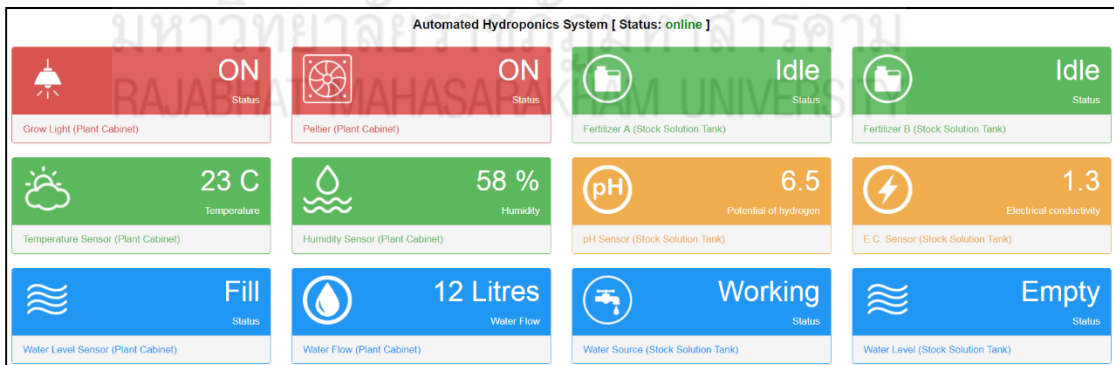
ภาพที่ ก-6 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีในเวลา 18.01น. ถึง 05.59น.



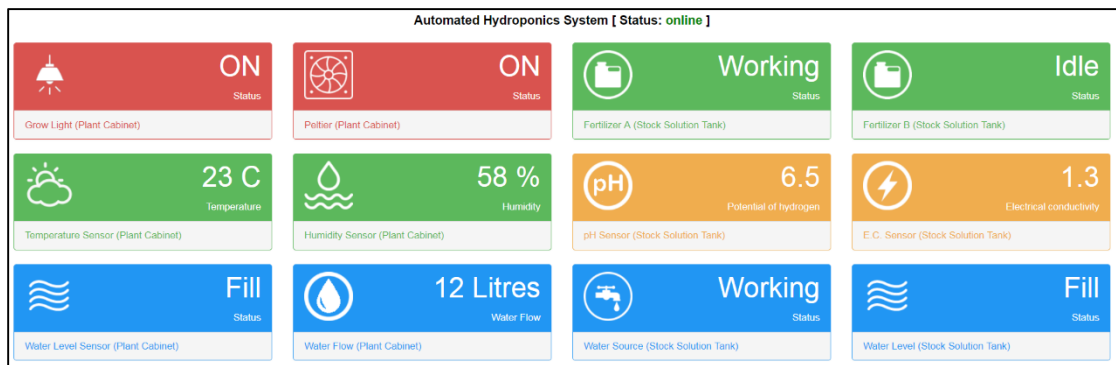
ภาพที่ ก-7 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่มีความเย็นต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส



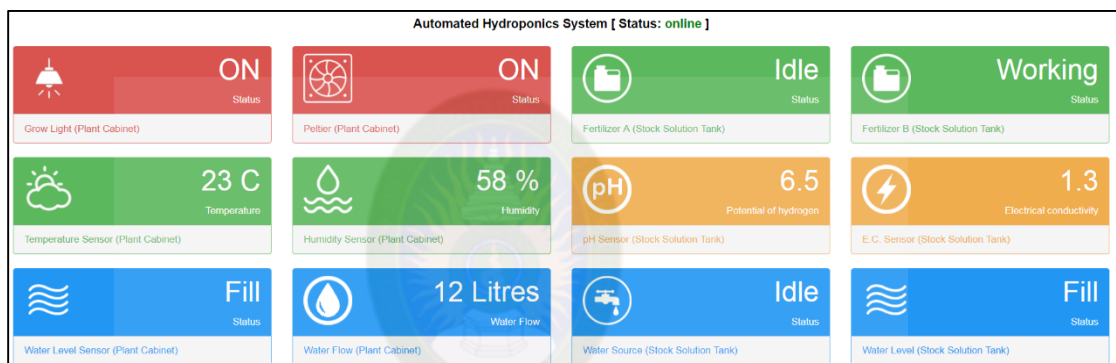
ภาพที่ ก-8 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่มีความเย็นสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส



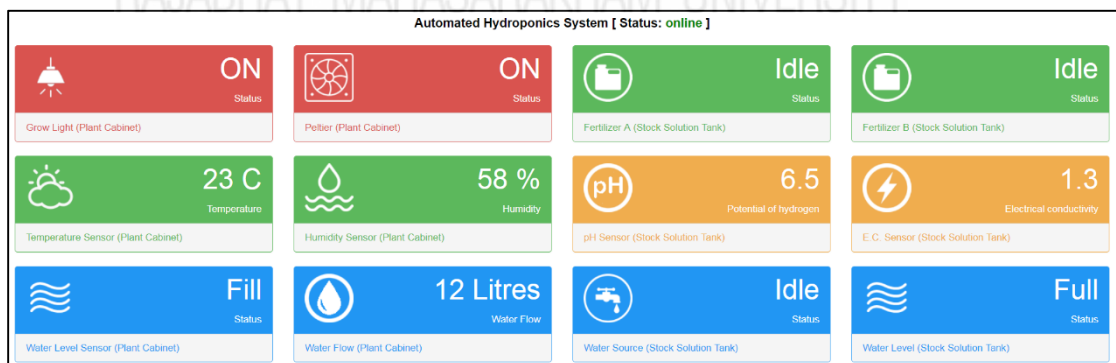
ภาพที่ ก-9 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่สารละลายในตู้ปลูกต่ำกว่าระดับที่ตั้งไว้



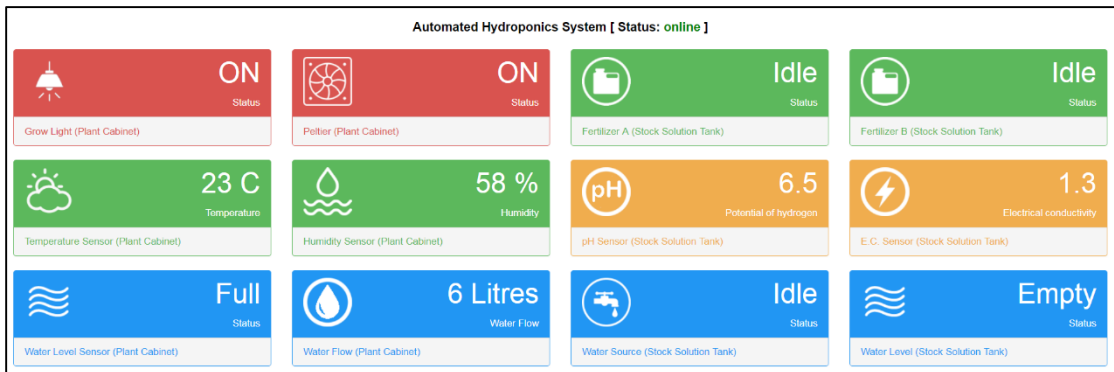
ภาพที่ ก-10 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณี que เริ่มผสมสารละลายธาตุอาหาร A ใหม่



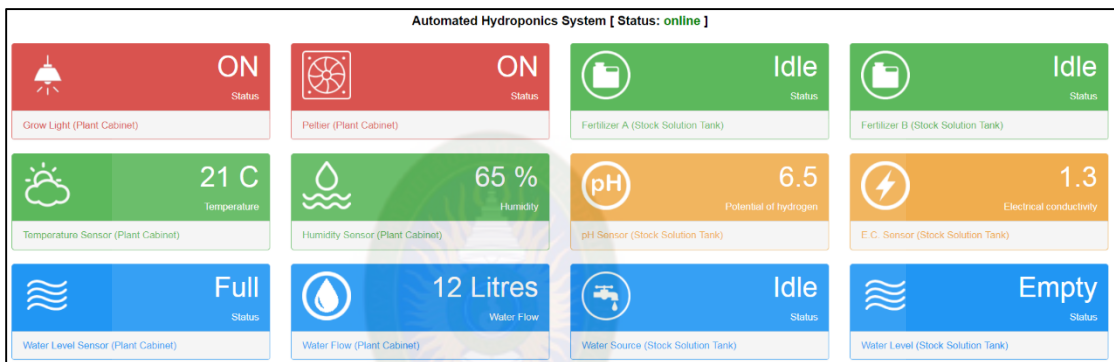
ภาพที่ ก-11 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณี que เริ่มผสมสารละลายธาตุอาหาร B ใหม่



ภาพที่ ก-12 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณี que สารละลายที่เติมใหม่ในถังผสมปุ๋ยเต็ม



ภาพที่ ก-13 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่เติมสารละลายลงในตู้ปลูกใหม่



ภาพที่ ก-14 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บไซต์ในกรณีที่ระบบทำงานปกติ



ภาคผนวก ข

ภาพตัวอย่างของตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิกส์แบบอัตโนมัติ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



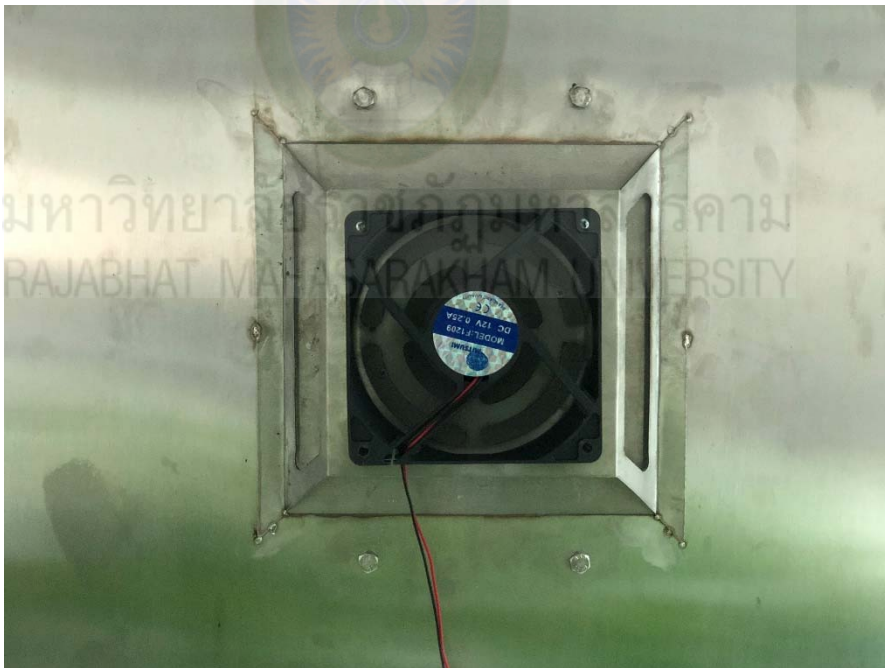
ภาพที่ ข-1 ตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติและถังผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติ



ภาพที่ ข-2 ด้านหลังตู้ปลูกผักไฮโดรโปนิคส์แบบอัตโนมัติและถังผสมปุ๋ยแบบอัตโนมัติ



ภาพที่ ข-3 LED Grow Light ที่ติดตั้งอยู่บนตู้ปลูก



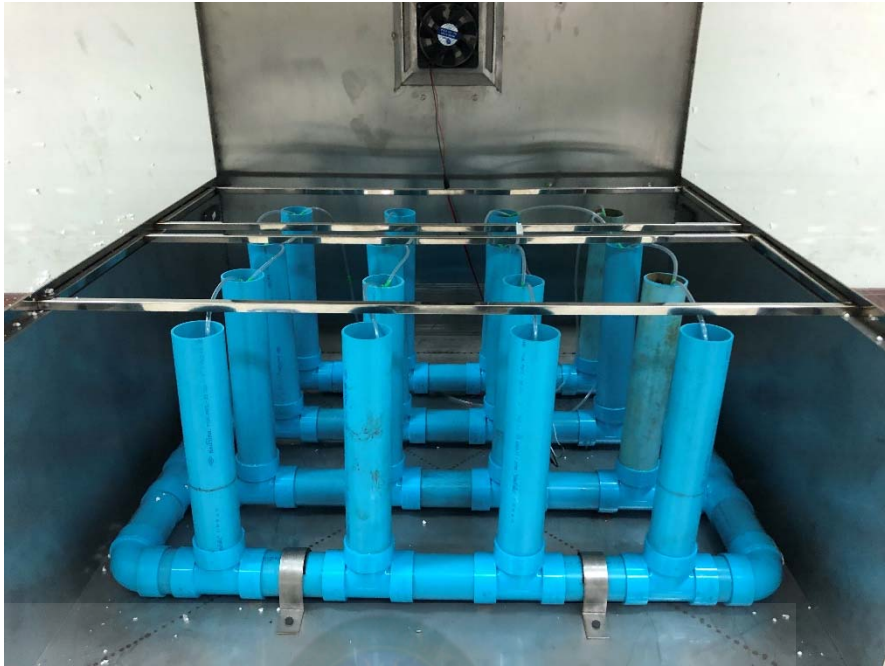
ภาพที่ ข-4 ส่วนทำความเย็นภายในตู้ปลูก



ภาพที่ ข-5 ระบบถ่ายเทอากาศภายในตู้ปลูก



ภาพที่ ข-6 ส่วนให้ความเย็นและท่อเก็บพักน้ำ



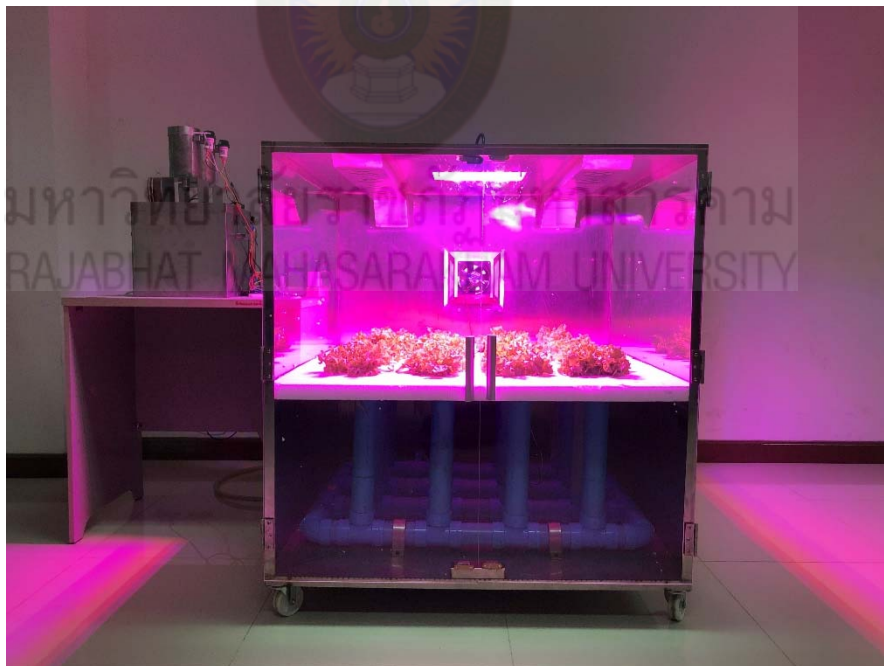
ภาพที่ ข-7 ท่อ PVC และปั๊มอากาศ



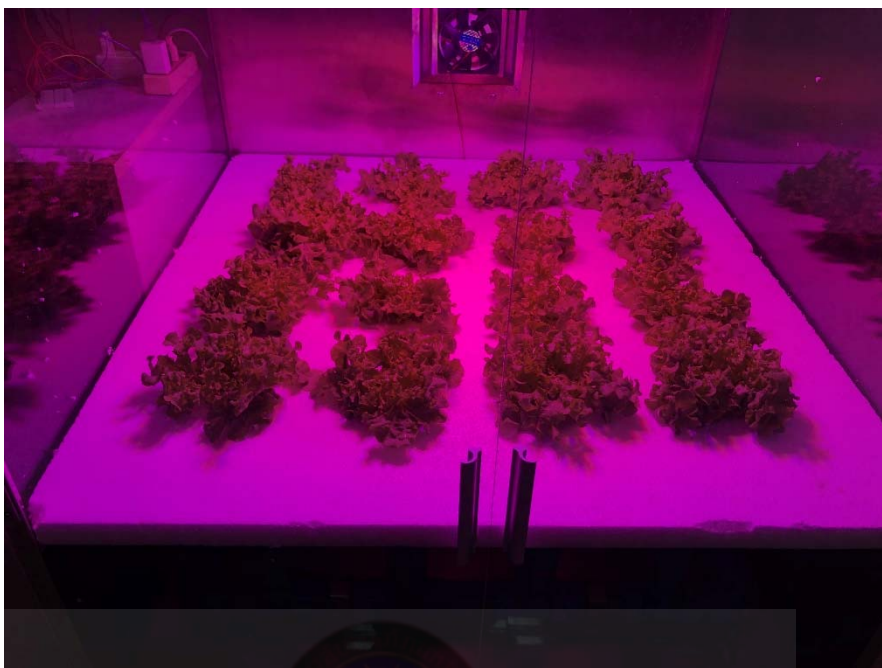
ภาพที่ ข-8 ถังผสมปุ๋ยที่ทำงานร่วมกับกับตู้ปลูก



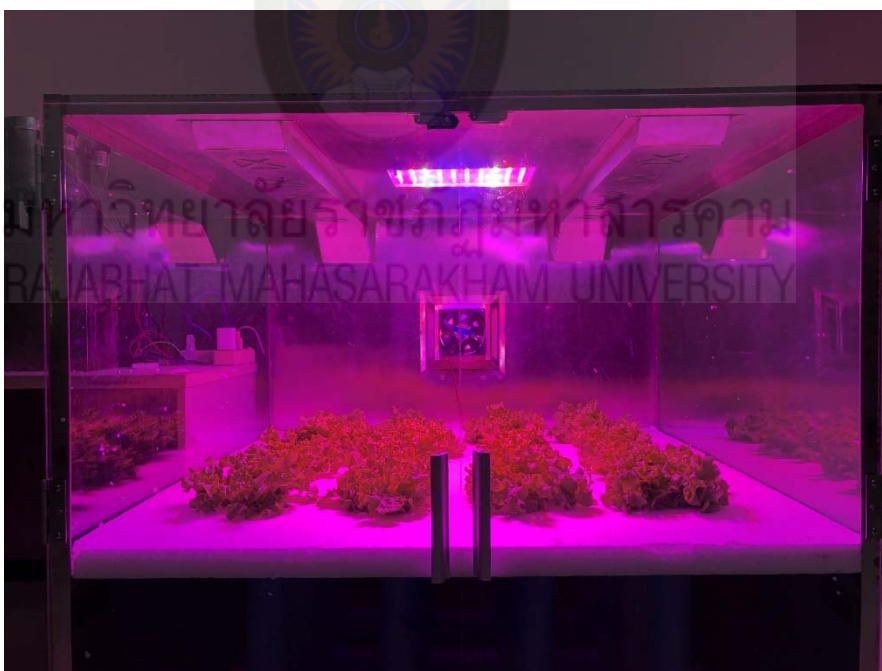
ภาพที่ ข-9 ถังเก็บสารละลายธาตุอาหาร A และสารละลายธาตุอาหาร B



ภาพที่ ข-10 ตู้ปลูกผักแบบอัตโนมัติในขณะที่ให้แสงเทียม



ภาพที่ ข-11 ผักสลัดกรีนโอ๊คกำลังเจริญเติบโตในตู้ปลูกผัก



ภาพที่ ข-12 การให้แสงเทียม การควบคุมความชื้น และการระบายอากาศภายในตู้ปลูก



ภาพที่ ข-13 ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะที่กำลังเจริญเติบโตในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 1



ภาพที่ ข-14 ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 2



ภาพที่ ข-15 ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 3



ภาพที่ ข-16 ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 4



ภาพที่ ข-17 ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 5



ภาพที่ ข-18 ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 6



ภาพที่ ข-19 ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 7



ภาพที่ ข-20 ผักสลัดกรีนโอ๊คระยะเก็บเกี่ยวในตู้ปลูกผัก ภาพที่ 8



ภาพที่ ข-21 ตัวอย่างผักที่ปลูกในระบบปกติ (ซ้าย) และระบบอัตโนมัติ (ขวา)



ภาพที่ ข-22 ผักสลัดกรีนโอ๊คที่พร้อมเก็บเกี่ยว

ประวัติผู้วิจัย

1. ข้อมูลเบื้องต้น

ชื่อ-นามสกุล นายภาคย์ สธนเสาวภาคย์

ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ตำแหน่งบริหาร รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา

ตำแหน่งทางวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์

สังกัด/หน่วยงาน 1) คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2) สถาบันวิจัยและพัฒนา

ที่อยู่หน่วยงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม 80 ถนนนครสวรรค์

ตำบล ตลาด อำเภอ เมืองมหาสารคาม จังหวัด มหาสารคาม 44000

2. ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	สาขา	มหาวิทยาลัย	ปีที่จบการศึกษา
วศ.ม.	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2552
วศ.บ.	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2548

3. ประวัติการทำงาน

ช่วงปีที่ทำงาน	ตำแหน่ง	หน่วยงาน
2553 - 2558	อาจารย์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2554 - 2556	ประธานหลักสูตรวิศวกรรมเครือข่าย คอมพิวเตอร์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2555 - 2556	ประธานหลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2556 - 2557	รองคณบดีฝ่ายกิจการนักศึกษาและ บริการวิชาการ	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2557 - 2558	รองคณบดีฝ่ายวางแผนพัฒนาและวิจัย	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2559 - ปัจจุบัน	คณะกรรมการประจำคณะ วิศวกรรมศาสตร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
2560 - ปัจจุบัน	รองผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	สถาบันวิจัยและพัฒนา

4. ผลงานวิจัย

Satanasaowapak P, Khunboa C, “imRPL: Improved RPL protocol for Mobility Node on 6LoWPAN”. Journal of Science and Technology Maha Sarakham University; 2017; 37(3). P. 414-423. [in Thai]

Maikami N, Sanrak C, Sriwantha S, Satanasaowapak P, “Design and Develop Smart Street Lighting System Based on Wireless Sensor Network”; In: ICSSS2017. Proceeding of the 7th International Conference on Sciences and Social Sciences; 2018 January 11-12; Maha Sarakham. THAILAND; 2018. P. 86-91. [in English]

Satanasaowapak P, “Real-Time Home Monitoring System using Wireless Sensor Network”. Journal of Science and Technology Maha Sarakham University; 2017; 36(3). P. 277-284. [in Thai]

Satanasaowapak P, “The impact of transmission time interval on the performance of wireless sensor network”. In: I-Tech Con 2017. Proceeding of 3rd National Conference of Industrial Technology; 2017 July 20-21; Maha Sarakham. THAILAND; 2017. P. 133-135. [in Thai]

Pirom A, Satanasaowapak P, Kampheew P. “3D Game Development: Where are exit?”. In: The 2nd National Conference on Technology and Innovation Management (NCTIM 2016); 2016 March 30-31; Maha Sarakham. THAILAND; 2016. P. 15-20. [in Thai]

Satanasaowapak P, Kanyakam S. "The Meta-Heuristic Algorithms for Solving the Traveling Salesman Problem (TSP)". In: 3rd STGMS & 2nd ICAS. Proceedings of the 3rd International Conference on Science and Technology for Sustainable Development of the Greater Mekong Sub-Region; 2010 March 24-25; Laungprabang. LAO; 2010. P. 55. [in English]

Satanasaowapak P, Khunboa C. "Indoor Object Location using IEEE 802.15.4". In: ECTI-CARD 2009. Proceeding of the 1st Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology; 2009 May 4-5; Bangkok. THAILAND; 2009. P. 149-154. [in Thai]