



การเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนในการเพาะปลูกหน่อไม้ฝรั่งด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

สิริวิช ทัดสวน¹ และ ภาณุวัฒน์ แตระกุล^{2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

² สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: panuwatt@sau.ac.th

วันที่รับบทความ: 6 พฤษภาคม 2565; วันที่ทบทวนบทความ: 20 มิถุนายน 2565; วันที่ตอบรับบทความ: 27 กรกฎาคม 2565

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 15 ธันวาคม 2565

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบการบริหารจัดการน้ำในไร่หน่อไม้ฝรั่งบนพื้นที่ 6,760 ตารางเมตร ด้วยระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เพื่อเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนรวมถึงป้องกันความเสียหายอันเนื่องมาจากน้ำท่วมภายในไร่หน่อไม้ฝรั่ง โดยมีขั้นตอนการทำงานคือใช้ตัวรับรู้ความชื้นดิน ตัวรับรู้ความชื้นและอุณหภูมิแวดล้อม ตัวรับรู้น้ำฝน ตัวรับรู้ความเร็วลม การออกแบบและสร้างชุดควบคุมการทำงานปั้มน้ำบ่อบาดาล สร้างชุดควบคุมการทำงานปั้มน้ำระบายน้ำฝนทิ้ง สร้างชุดจ่ายน้ำระบบสปริงเกอร์ ออกแบบระบบการส่งน้ำเข้าภายในพื้นที่บริเวณไร่หน่อไม้ฝรั่งด้วยท่อ PVC จากนั้นออกแบบและเขียนโปรแกรม Arduino IDE เพื่อติดต่อกับโมดูลเอ็มซียู ESP8266 ที่มีชิป WiFi คลื่นความถี่ 2.4 GHz ผังด้านเน็ตเวิร์กใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตฟายเป็นตัวควบคุม แสดงผล (แดชบอร์ดและพีดี) และเก็บข้อมูลต่างๆ เพื่อให้เกษตรกรทราบข้อมูลได้อย่างทันทีทันใด ผลลัพธ์จากการเก็บข้อมูลตลอดระยะเวลา 60 วัน ทำให้ทราบว่าระบบการให้น้ำภายในไร่หน่อไม้ฝรั่งให้มีความชื้นอย่างสม่ำเสมอด้วยระบบการสปริงเกอร์ที่ใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเป็นตัวควบคุมให้ผลผลิตมากกว่าการให้น้ำแบบปล่อยน้ำไหลตามร่องในพื้นที่ทดสอบวิธีการละ 1 ไร่เท่าๆ กัน เมื่อเสร็จแล้วไปคำนวณเทียบกับพื้นที่จริงที่ 4.22 ไร่ เทียบผลผลิต 4 รอบ กรณีดีที่สุดการใช้ระบบ IoT สามารถให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น 12.8% ลดต้นทุน 99,246 บาท/ปีและใช้ระยะเวลาการคืนทุนเพียง 1.04 ปีเท่านั้น

คำสำคัญ: หน่อไม้ฝรั่ง; อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง; โมดูลเอ็มซียู ESP8266; เน็ตฟาย



Increasing Yield and Reducing the Cost of Cultivation of Asparagus with the Internet of Things

Siriwich Tadsuan¹ and Panuwat Taerakul^{2*}

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Southeast Asia University

² Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Southeast Asia University

* Corresponding author, E-mail: panuwatt@sau.ac.th

Received: 6 May 2022; Revised: 20 June 2022; Accepted: 27 July 2022

Online Published: 15 December 2022

Abstract: This research is the designing and constructing of a watering management system on a 6,760 square meter asparagus farming area using the Internet of Things approach to increase productivity, reduce cost, and prevent flooding as well. Processes in this study include utilizing multiple sensors such as soil moisture sensor, ambient humidity and temperature sensor, rainfall sensor and wind speed sensor, designing and developing a groundwater pump control system, a rainfall drainage pump control system, a water distribution control for a sprinkler system, and a plumbing system on the farm area using PVC pipe. In addition, there is also the creation and development of an Arduino IDE script for communicating with the microcontroller, Node MCU ESP8266, with a 2.4 GHz WiFi chip. A NETPIE Cloud Server is utilized for controlling and displaying (Dashboard and Feed) multiple data to simultaneously inform farmers. In conclusion, results from 60 days of data collection suggest that the asparagus watering system which can regulate soil moisture using a sprinkler process controlled by the Internet of Things can promote more productivity than that of the conventional system on the same plantation area of 1 Rai. Of this result, in comparison with the real plantation area by scaling up to 4.22 Rai with a production of 4 crops per year, the calculation shows that the best practice of the IoT system can increase productivity by 12.8% and reduce cost by 99,246 baht per year implying that the return period is only 1.04 year.

Keywords: Asparagus; Internet of Things; Node MCU ESP8266; NETPIE



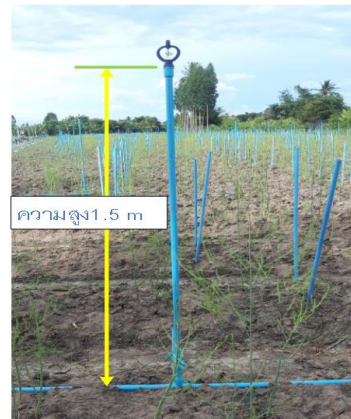
1. บทนำ

หน่อไม้ฝรั่งอุดมไปด้วยสารอาหารหลากหลายชนิด ถึงขนาดในวันที่ 24 พฤษภาคม ของทุกๆ ปี จัดให้เป็น วันเฉลิมฉลองวันหน่อไม้ฝรั่งแห่งชาติของประเทศ สหรัฐอเมริกา [1] ดังนั้น การดูแลรักษา [2] และการพัฒนาด้านการเก็บเกี่ยวผลผลิตจึงเป็นเรื่องสำคัญเป็นอย่างมาก [3-4] ในส่วนของการบริหารจัดการน้ำ [5] ได้ออกแบบใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการให้พลังงานกับปั๊มน้ำที่ใช้จ่ายน้ำในไร่หน่อไม้ฝรั่ง โดยได้แสดงผลจากการทดสอบการใช้พลังงานในแต่ละเดือน ซึ่งมีปริมาณที่แตกต่างกัน และจาก [6] ได้มีการแนะนำควรให้น้ำที่ผิวหน้าดินชั้นน้อยทำให้เปียกแฉะ แต่ถ้าให้น้ำน้อยเกินไปดินจะแห้ง จะทำให้ต้นหน่อไม้ฝรั่งมีเส้นใยมากหน่อจะเหี่ยวทำให้คุณภาพด้อยลง ในการให้น้ำแบ่งได้ 3 ประเภท (1) ใช้เรือนต์วิ่งไปตามร่องน้ำ (2) ใช้วิธีเปิดน้ำให้ไหลในร่องระบายน้ำข้างแถวปลูกดังรูปที่ 1 และ (3) ใช้ระบบสปริงเกอร์แสดงดังรูปที่ 2

ณ ปัจจุบันได้มีการใช้ระบบควบคุมและติดตามด้วยระบบ IoT ในงานเกษตรอย่างแพร่หลาย [7] โดยให้ความสำคัญกับเรื่องการควบคุมและติดตามน้ำมากถึง 23% [8] จากข้อมูลอ้างอิง [9] ใช้ระบบน้ำหยดกับไร่หน่อไม้ฝรั่งที่มีพื้นที่ทุ่งโล่งขนาดใหญ่ โดยควบคุมระบบปั๊มน้ำระยะไกลในไร่หน่อไม้ฝรั่งของบริษัท AT&T ซึ่งผลที่ได้ทำให้สามารถประหยัดปริมาณการใช้น้ำลงได้ ข้อมูลอ้างอิง [10] ได้มีการใช้ระบบ IoT มาช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการให้น้ำของหน่อไม้ฝรั่ง ข้อมูลอ้างอิง [11] ได้เปรียบเทียบระบบการให้น้ำกับไร่หน่อไม้ฝรั่งแบบสปริงเกอร์ มีแนวโน้มการให้ผลผลิตที่ดีกว่าระบบน้ำหยด แต่ในการ



รูปที่ 1 การให้น้ำโดยเปิดน้ำให้ไหลตามร่องระบายน้ำ



รูปที่ 2 การให้น้ำโดยใช้ระบบสปริงเกอร์

เปรียบเทียบการให้น้ำแบบใช้วิธีเปิดน้ำให้ไหลในร่องระบายน้ำข้างแถวปลูกเทียบกับใช้ระบบสปริงเกอร์ที่สามารถควบคุมแบบทางไกลด้วย IoT นั้นยังไม่มีการทำวิจัย ซึ่งจุดนี้มีความสำคัญในด้านการตัดสินใจในเรื่องการบริหารจัดการน้ำภายในไร่เป็นอย่างมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จะศึกษาค่าการลงทุน ค่าประหยัด และระยะเวลาการคืนทุนจากการเปรียบเทียบทั้งสองกรณี ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจลงทุนเพื่อพัฒนาระบบการจัดการน้ำภายในไร่ได้เป็นอย่างดี



2. การดำเนินงานวิจัย

ไร้หน่อไม้ฝรั่งที่มีอายุ 6 ปีเป็นกรณีศึกษา มีพื้นที่ 4.22 ไร่ ถ้าผลการวิจัยผลน่าพึงพอใจแสดงว่าสามารถนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์กับพื้นที่ขนาดเท่ากันหรือน้อยกว่าได้ เนื่องจากที่ดำเนินงานได้แก่ ติดตั้งระบบการส่งน้ำและจ่ายน้ำด้วยสปริงเกอร์ ระบบสายส่งไฟฟ้ากำลังภายในไร่ วงจรควบคุมมอเตอร์วาล์วน้ำ การวัดความชื้นดิน วัดอุณหภูมิอากาศ ความชื้นอากาศ ความเร็วลม และดูเสถียรภาพการทำงานของ Node MCU ESP8266 และการสื่อสารด้วยสัญญาณ WiFi กับเราเตอร์อินเทอร์เน็ตบ้านว่ารองรับกับงานที่มี I/O พอร์ตมากๆ ได้หรือไม่

ในส่วนเฉพาะเรื่องของการหาปริมาณผลผลิตที่เก็บเกี่ยวได้จากวิธีการให้น้ำที่แตกต่างกัน จะแยกใช้พื้นที่ทำวิจัยจำนวนแค่ 2 ไร่ที่อยู่ติดๆ กัน(การให้น้ำแบบไหลตามร่อง 1 ไร่ และการให้น้ำด้วยสปริงเกอร์ 1 ไร่) ในทางปฏิบัติไม่สามารถแยกออกเป็นพื้นที่ละ 2.11 ไร่ได้ สาเหตุเพราะเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่เกินที่จะควบคุมตัวแปรหลายๆ ตัวให้เท่ากันหรือใกล้เคียงกันได้ เช่น ชนิดสายพันธุ์ จำนวนเหง้า/พื้นที่ แสงแดด แรงลมที่พัดต้นประเภทของดิน ค่า PH ของดิน เป็นต้น ข้อมูลเฉพาะของพื้นที่ทดสอบแสดงดังตารางที่ 1

2.1 การออกแบบระบบการส่งน้ำ

จากรูปที่ 3 การออกแบบให้สปริงเกอร์ทำงานทีละกลุ่ม โดยเริ่มจากกลุ่มที่ 1 มีจำนวนสปริงเกอร์ 3 แถว ส่วนกลุ่มที่ 2 ถึงกลุ่มที่ 6 มีจำนวนสปริงเกอร์ 4 แถว กลุ่มที่ 7 ถึงกลุ่มที่ 9 มีจำนวนสปริงเกอร์ 4 แถว ส่วนกลุ่มที่ 10 และกลุ่มที่ 11 มีจำนวนสปริงเกอร์ 3 แถว การออกแบบระบบส่งน้ำ [12] แสดงดังสมการที่ (1) และสมการที่ (2)

ตารางที่ 1 ข้อมูลเฉพาะของพื้นที่ทดสอบทั้งสอง

ข้อมูล	สปริงเกอร์	ร่องน้ำ
สายพันธุ์หน่อไม้ฝรั่ง [2]	บรีอคอิมปรีฟ	บรีอคอิมปรีฟ
พื้นที่ทดสอบ(ไร่)	1	1
จำนวนเหง้า อายุ 6 ปี	2,271	2,308
ประเภทดิน	ร่วนปนทราย	ร่วนปนทราย
ค่าPHเฉลี่ยของดิน	6.9	6.9
(วัดกระจายทั่วพื้นที่ 9 จุด)		

$$V = 0.849 \times C \times R^{0.63} \times S^{0.54} \quad (1)$$

เมื่อ V = ความเร็วในเส้นท่อ, เมตร/วินาที

R = รัศมีไฮดรอลิก (Hydraulic Radius)

ในกรณีที่กลมมีค่าเท่ากับ d/4, เมตร

S = ความชันของพลังงาน (Hydraulic Gradient), เมตร/เมตร

C = ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของผิวภายในท่อ (ท่อ PVC มีค่าเท่ากับ 150)

$$S = \frac{h_L}{L} = \frac{10.67 \times Q^{1.852}}{C^{1.852} \times d^{4.8704}} \quad (2)$$

เมื่อ

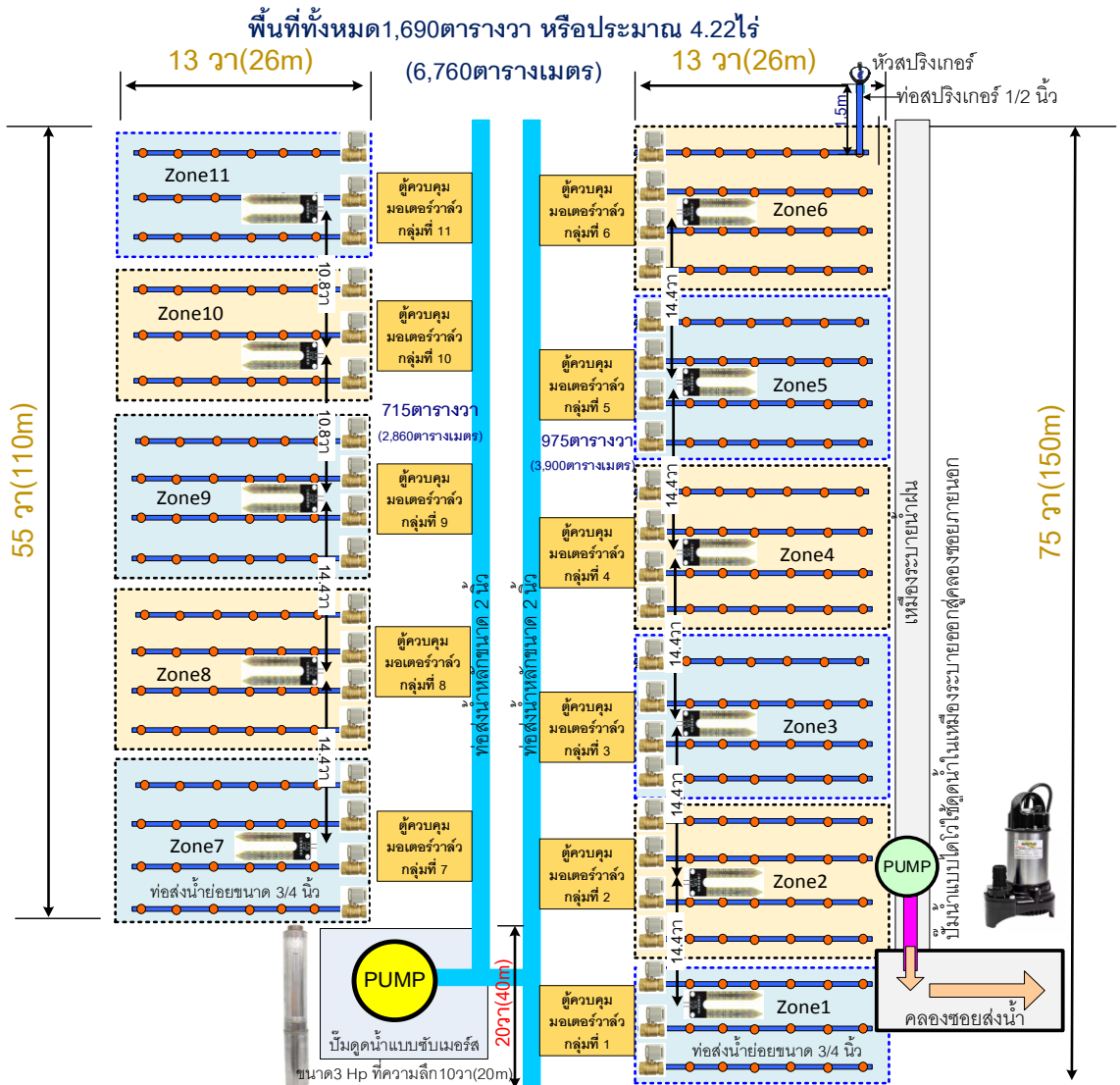
h_L = การสูญเสียพลังงานในเส้นท่อ, เมตร

L = ความยาวของท่อ, เมตร

Q = อัตราการไหลของน้ำในเส้นท่อ, ลบ.ม./วินาที

d = เส้นผ่านศูนย์กลางด้านในของท่อ, เมตร

จากสมการที่ (1) และสมการที่ (2) สามารถคำนวณหาความชันของพลังงาน การสูญเสียพลังงานในเส้นท่อและความเร็วในเส้นท่อ แสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 3 แปลนการวางระบบการให้น้ำด้วยระบบสปริงเกอร์ภายในไร่น้อยไม้ฝรั่ง



ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบระบบส่งน้ำในไร่นาผลไม้ฝรั่ง

ท่อขนาด (นิ้ว)	ความยาว (เมตร)	อัตราการไหล* (ลบ.ม./ ชม.)	ความชันของ พลังงาน (เมตร/เมตร)	การสูญเสียพลังงานใน เส้นท่อ (เมตร)	ความเร็วในเส้นท่อ (เมตร/วินาที)
2	116.0	12,000	0.053	6.120	1.661
3/4	26.0	3,000	0.482	12.53	2.957
1/2	1.5	500	0.126	0.189	1.111

*หมายเหตุ: การคำนวณอัตราการไหลเพื่อหาการสูญเสียพลังงานสูงสุด ดำเนินการจากจุดจ่ายน้ำที่อยู่ห่างจากเครื่องสูบน้ำมากที่สุดและประเมินให้หัวจ่ายแต่ละหัวให้มีอัตราการไหลเท่ากับ 500 ลิตรต่อชั่วโมง และในท่อหลักซึ่งมีขนาด 2 นิ้ว สามารถจ่ายน้ำให้กับหัวจ่าย 1 ชุด สามารถรองรับท่อส่งน้ำย่อย ขนาด ¾ นิ้ว จำนวน 4 แถว แต่ละแถวมีหัวจ่ายทั้งหมด 6 หัวจ่าย

ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบในตารางที่ 2 สามารถนำไปคำนวณหาขนาดกำลังมอเตอร์ของเครื่องสูบน้ำ [13] ดังสมการที่ (3)

$$P = \frac{\rho \times Q \times H}{102 \times \eta} \quad (3)$$

P = กำลังไฟฟ้า, kW

ρ = ความหนาแน่นของน้ำ, กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

H = พลังงานที่ต้องการทั้งหมด, เมตร

η = ประสิทธิภาพของเครื่องสูบน้ำ (กำหนดให้ = 70%)

กำหนดให้มีแรงดันน้ำที่ออกจากหัวปล่อยเท่ากับ 2 บาร์ หรือเท่ากับ 20 เมตร และหัวปล่อยแต่ละหัวมีท่อตั้งขึ้นในแนวตั้ง 1.5 เมตร ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้น

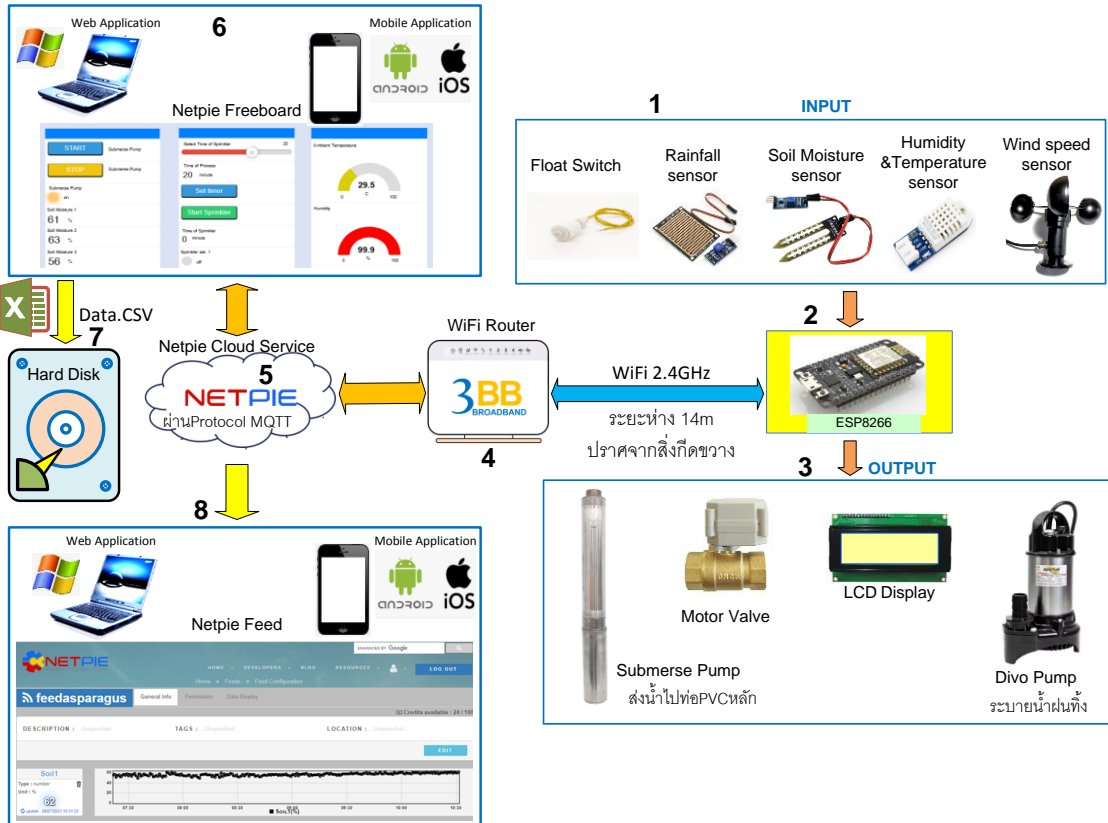
$$P = \frac{(1,000)(12/3,600)(6.12 + 12.53 + 0.189 + 1.5 + 20)}{(102)(0.7)}$$

P = 1.883 kW

ดังนั้น กำลังที่ต้องการเท่ากับ 1.883 กิโลวัตต์ หรือเท่ากับ 2.52 แรงม้าเลือกที่ใกล้เคียง 3 Hp (ประมาณ 2.2 kW)

2.2 การออกแบบระบบควบคุมสปริงเกอร์และการระบายน้ำทิ้งด้วยอินเตอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

จากรูปที่ 4 ได้นำ Node MCU ESP8266 ที่นิยมใช้งานด้าน IoT [14] เป็นตัวประมวลผลและควบคุมการทำงานทั้งหมด โดยมีภาคอินพุตที่ประกอบด้วยตัวรับรู้ต่างๆ ได้แก่ ตัวรับรู้ความชื้นดิน ตัวรับรู้ความชื้นและอุณหภูมิอากาศ ตัวรับรู้น้ำฝน ตัวรับรู้ความเร็วลม สวิตช์ลูกลอย ส่วนภาคเอาต์พุตประกอบด้วยจอแสดงผลแบบ LCD ชุดควบคุมการทำงานปั้มน้ำบ่อบาดาล ชุดควบคุมการทำงานปั้มน้ำระบายน้ำฝนที่ชุดควบคุมการเปิดปิดสปริงเกอร์ด้วยมอเตอร์วาล์วฝั่งด้านเน็ตเวิร์กใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตพาย [15] ที่สามารถสื่อสารผ่านโปรโตคอล MQTT [16-17] กับเว็บแอปพลิเคชัน หรือโมบายแอปพลิเคชันได้ทั้งระบบ ios และ Android เพื่อให้สามารถใช้งานเน็ตพายฟรีบอร์ดและเน็ตพายพีดีได้ ส่วนภาคการสื่อสารจาก Node MCU ESP8266 ใช้สัญญาณ WiFi คลื่นความถี่ 2.4 GHz [18] ซึ่งกินพลังงานต่ำ [19] ไปยังเราเตอร์ของผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต 3BB



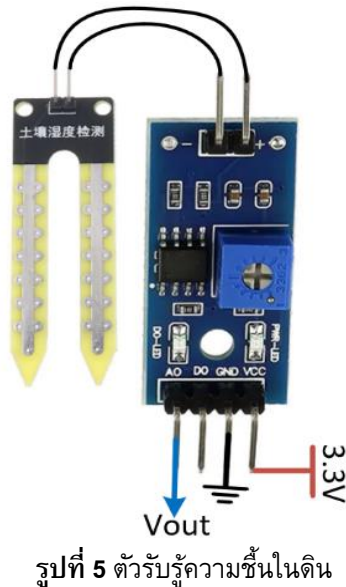
รูปที่ 4 แผนผังของระบบการควบคุมและติดตามการจัดการน้ำภายในไร่หน่อไม้ฝรั่งด้วยระบบ IoT

2.2.1 การออกแบบฮาร์ดแวร์

การวัดความชื้นของดินกับพีชชนิดต่างๆ ด้วยตัวรับรู้ความชื้นดินที่ต่อร่วมกับ Node MCU ESP8266 [20] จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 5 ใช้หลักการการนำไฟฟ้า โดยใช้ดินระหว่างหัวโพรบแบบก้ามปูเป็นตัวความต้านทาน ค่าความชื้นของดินจะ

แปรผกผันกับแรงดันไฟฟ้าขาออกจากวงจรขยาย ส่วนรูปที่ 6 เป็นการเก็บข้อมูลหาความสัมพันธ์ของความชื้นสัมพัทธ์ดินเทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาออกของตัวรับรู้ เมื่อใช้วิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least-square Method) ได้ค่าดังสมการที่ (4)

$$\%Soil\ Moisture = 198.572923715544 - 208.426028539074 \times V + 097.501431504861 \times V^2 - 016.113293254545 \times V^3 \quad (4)$$



รูปที่ 6 การทดสอบหาความสัมพันธ์ของดินเทียบกับแรงดันไฟฟ้าขาออก

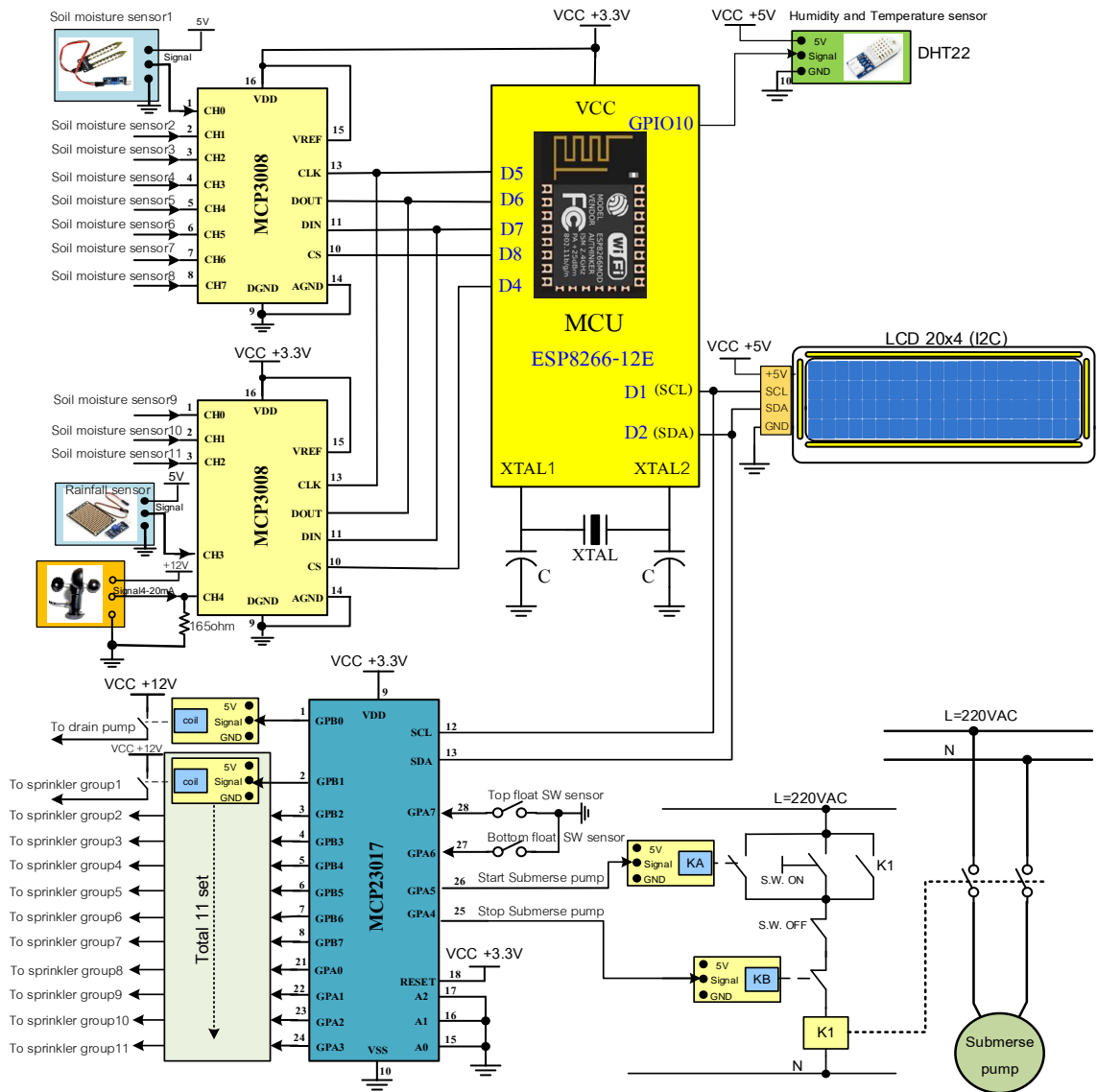
จากรูปที่ 7 นอกจากใช้ Node MCU ESP8266 เป็นตัวควบคุมระบบแล้วยังใช้ IC เบอร์ MCP 3008

เป็นตัวแปลงสัญญาณ ADC ขนาด 10 บิต รับค่าจากตัวรับรู้อ่างๆ และ IC เบอร์ MCP 23017 เป็นตัวขยาย I/O พอร์ต ในกรณีที่เกิดสัญญาณอินเทอร์เนตขาดหายชั่วคราวจะออกแบบซอฟต์แวร์ให้มีการเชื่อมต่อใหม่ แต่ถ้าสัญญาณขาดหายนานหรือมีการซ่อมแซมปรับปรุงระบบ ยังสามารถมีระบบทำงานด้วยมือ โดยการควบคุมจากปุ่มสวิตช์ ON/OFF สำรองไว้อีกด้วย

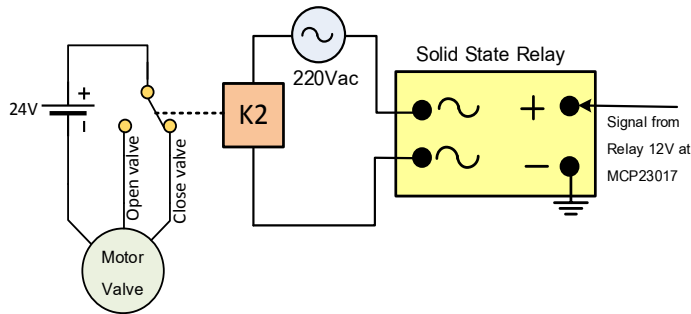
ส่วนรูปที่ 8 เป็นวงจรการควบคุมการทำงานของมอเตอร์วาล์วที่รับสัญญาณจากภาคควบคุมของรูปที่ 7 ส่วนรูปที่ 9 เป็นภาพถ่ายหน้างานจริงขณะมีการวัดความชื้นของหัวโพรบที่ความลึก 10 cm จากผิวดิน ซึ่งเป็นระดับเดียวกับรากหน่อไม้ฝรั่ง และการจ่ายน้ำของสปริงเกอร์ที่ถูกควบคุมจากมอเตอร์วาล์ว

2.3 การออกแบบซอฟต์แวร์

ฝั่งด้านเน็ตเวิร์กได้ใช้คลาวด์เซิร์ฟเวอร์ของเน็ตฟาย [15] โดยที่เน็ตฟายจะมี MQ TELEMETRY TRANSPORT (MQTT) เป็นโพรโตคอลสื่อสารถูกนำมาใช้ในการสื่อสารแบบ M2M หรือ IoT ซึ่งเหมาะสมกับอุปกรณ์ปลายทางที่มีขนาดเล็ก/พลังงานจำกัด หรือในการสื่อสารระยะไกลที่ต้องการใช้งานความกว้างแถบความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ โมเดลการสื่อสารของโพรโตคอลแสดงดังรูปที่ 10 ประกอบด้วย 2 ส่วน คือไคลเอนต์และโบรกเกอร์ โดยที่โบรกเกอร์เป็นจุดศูนย์กลางในการรับส่งข้อความระหว่างไคลเอนต์ [15] โดยไคลเอนต์ที่เป็น Node MCUESP8266 มีฟังก์ชัน onMsgHandler ผ่านค่าที่ Subscribe เข้ามา ส่วน microgear.publish และ microgear.writeFeed ใช้ในการ Publish ค่าออกไปยังไคลเอนต์ที่เป็นโน้ตบุ๊กและโทรศัพท์เคลื่อนที่



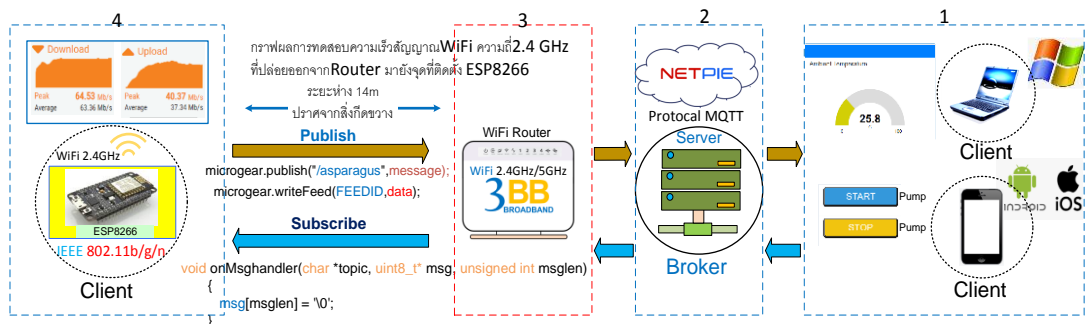
รูปที่ 7 วงจรควบคุมโดยใช้ Node MCU ESP266 ประมวลผลการจัดการภายในไร่หน่อไม้ฝรั่งด้วยระบบ IoT



รูปที่ 8 วงจรการควบคุมการทำงานของมอเตอร์วาล์วที่จ่ายน้ำให้กับสปริงเกอร์



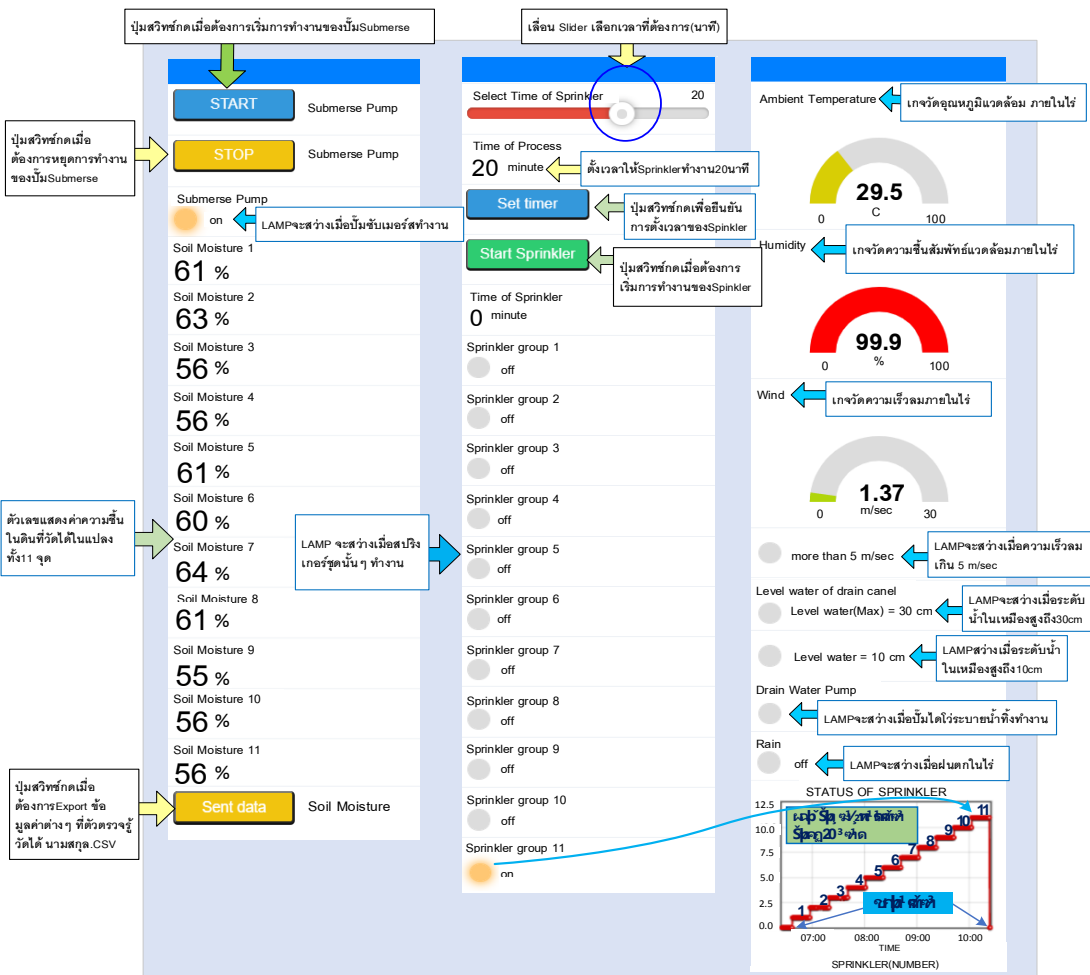
รูปที่ 9 การวัดความชื้นของหัวโพรบตัวรับรู้และการจ่ายน้ำของสปริงเกอร์ตลอดแนวจำนวน 6 หัวจ่าย



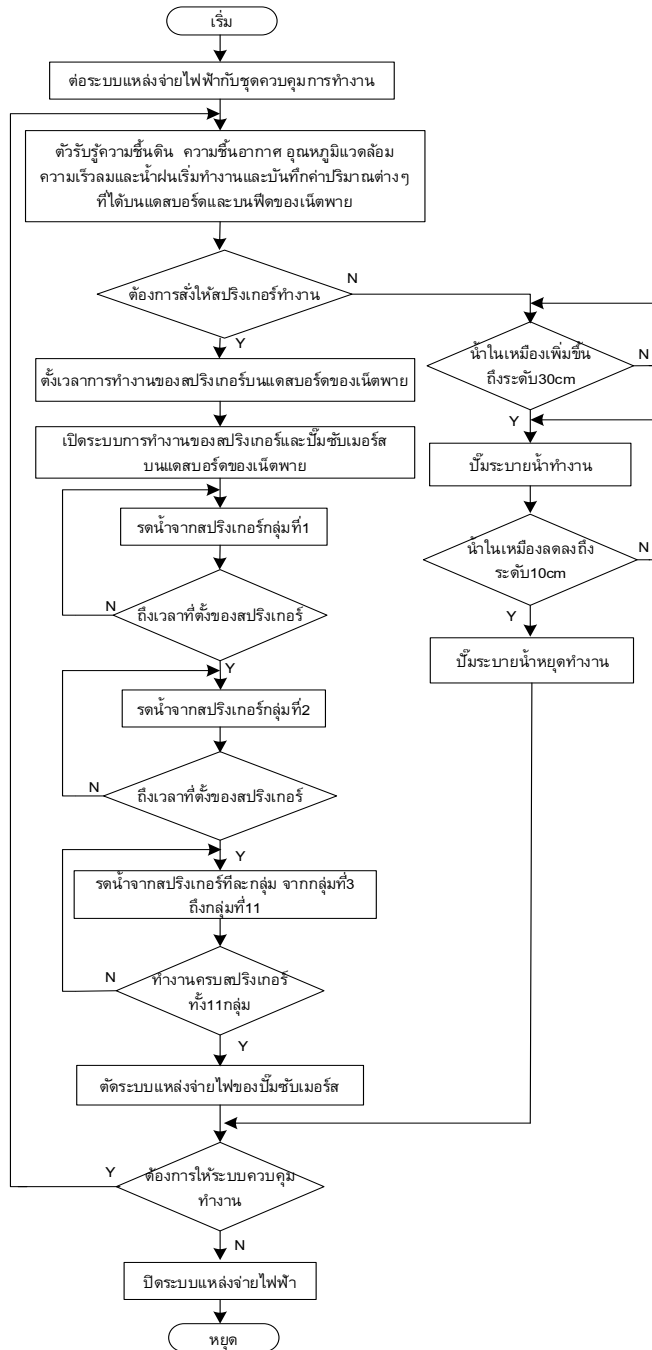
รูปที่ 10 การสื่อสารของโปรโตคอล MQTT ของเน็ตพาย

ในการทดสอบระบบสื่อสารโดยใช้สัญญาณ WiFi 2.4 GHz จากเราเตอร์อินเทอร์เน็ตบ้าน 3BB ไปยัง Node MCU ESP8266 ที่ระยะห่าง 14 เมตร ปรากฏจากสิ่งกีดขวาง ได้อัตราการส่งถ่ายข้อมูลที Upload ได้ค่าสูงสุด 40.37 Mbps และค่าเฉลี่ยที่ 37.34 Mbps ส่วนที่ Download ได้ค่าสูงสุด 64.53 Mbps และค่าเฉลี่ยที่ 63.36 Mbps ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดจากมาตรฐาน IEEE 802.11n[18]

(รองรับ สูงสุด ต้อง ไม่เกิน 300 Mbps และมีความสามารถในการส่งคลื่นสัญญาณได้ระยะประมาณ 70 เมตรในโครงสร้างปิดและ 250 เมตรในที่โล่งแจ้ง) รูปที่ 11 เป็นการใช้งานวิดิเจ็ทต่างๆ บนแดสบอร์ดของแพลตฟอร์มเน็ตพาย และจากรูปที่ 12 เป็นแผนผังการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ออกแบบ ซึ่งนำไปสู่การออกแบบโค้ดโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์โปรแกรม Arduino IDE [21]



รูปที่ 11 วิดิเจ็ทต่างๆ ของระบบการควบคุมและติดตามขณะเก็บผลการทำงาน



รูปที่ 12 ผังงานการทำงานของซอฟต์แวร์ที่ออกแบบ



3. ขั้นตอนและผลการทดสอบ

การทดสอบจะแบ่งได้ 2 กรณี คือกรณีที่ 1 หาปริมาณความแตกต่างของผลผลิตที่ได้จากการให้น้ำด้วยวิธีการใช้สปริงเกอร์เทียบกับวิธีปล่อยน้ำไหลตามร่อง โดยใช้พื้นที่ทดสอบวิธีการละ 1 ไร่ โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 กรณีที่ 2 ทดสอบการให้น้ำแบบเติมพื้นที่ 4.22 ไร่ด้วยวิธีการใช้สปริงเกอร์เทียบกับการปล่อยน้ำตามร่อง เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายต่างๆ ได้แก่ ค่าแรงงาน ค่าไฟฟ้าและค่าน้ำบาดาล

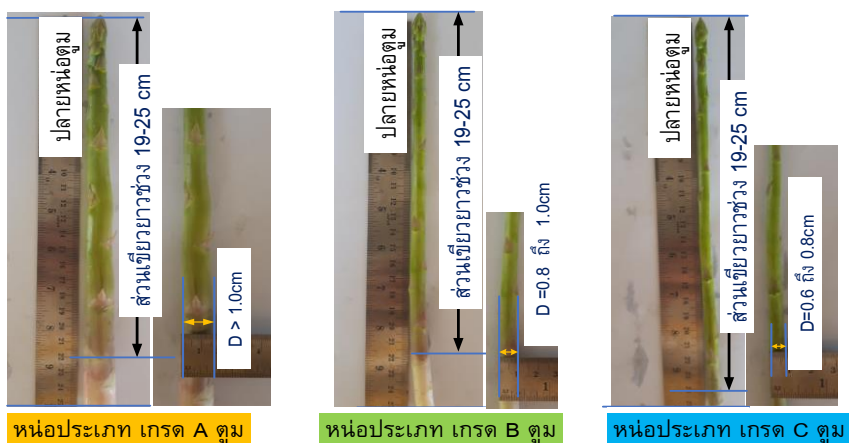
3.1 ขั้นตอนการทดสอบ

กรณีที่ 1 ให้น้ำหน่อไม้ฝรั่งจากวิธีทั้งสองแบบที่ช่วงเวลาเช้าของแต่ละวันเป็นระยะเวลา 60 วันต่อเนื่อง โดยวิธีการใช้สปริงเกอร์จะใช้เวลา 52 นาที ความชื้นดินที่วัดได้ประมาณ 60% ส่วนวิธีการปล่อยน้ำไหลตามร่องจะปล่อยน้ำแบบ 2 วันต่อ 1 ครั้ง (ถ้าปล่อยที่เวลามากกว่า 2 วันความชื้นจะต่ำกว่า 60%) ส่วนเกณฑ์การแบ่งเกรดหน่อไม้ฝรั่งแบบหน่อเขียวแสดงดังรูปที่ 13 [22] ผลการทดสอบน้ำหนักหน่อไม้ฝรั่งของแต่ละเกรดแสดงดังรูปที่ 13 ถึงรูปที่ 16 และราคาขาย

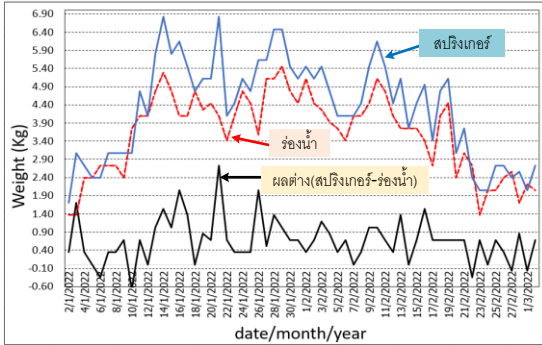
แสดงดังรูปที่ 17 ถึงรูปที่ 21 ส่วนตารางที่ 3 เป็นการเปรียบเทียบน้ำหนักและราคาขายที่ได้จากการทดสอบพื้นที่ 1 ไร่ และค่าที่ได้จากการพยากรณ์กรณีที่ใช้พื้นที่เต็ม 4.22 ไร่/รอบ และไร่/ปี (โดยปกติใน 1 ปี สามารถเก็บผลผลิตได้ 4 รอบ รอบละ 2-2.5 เดือน)

การวิจารณ์ผลในเรื่องน้ำหนักของหน่อไม้ฝรั่ง: จากการให้น้ำแบบระบบสปริงเกอร์จะทำให้น้ำกระจายทั่วบริเวณดินมีความชื้นที่สม่ำเสมอกันทั้งไร่ ต่างจากการให้น้ำไหลตามร่องน้ำ ซึ่งดินจะแฉะบริเวณที่ลุ่มหรือหน้าอาจจะไหลขึ้นไปไม่ถึงกรณีที่เป็นที่ดอน

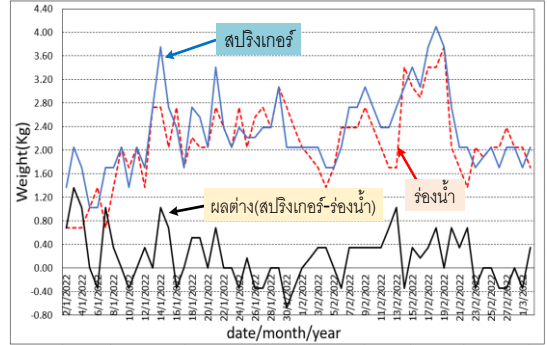
จากรูปที่ 14 เห็นได้ว่าตลอดระยะเวลา 60 วัน การใช้ระบบสปริงเกอร์จะให้น้ำหนักของหน่อเกรด A ตูมมากกว่าการให้น้ำไหลตามร่องอย่างชัดเจน ส่วนรูปที่ 15 จำนวนน้ำหนักของหน่อ A ตูมจากการใช้ระบบสปริงเกอร์ก็ยังมีแนวโน้มมากกว่าแบบให้น้ำตามร่อง แต่รูปที่ 16 จำนวนน้ำหนักของหน่อ C ตูมจากการให้น้ำตามร่องมากกว่าแบบใช้ระบบสปริงเกอร์และจากรูปที่ 17 น้ำหนักรวมการใช้น้ำจากระบบสปริงเกอร์มากกว่าการให้น้ำไหลตามร่อง รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3



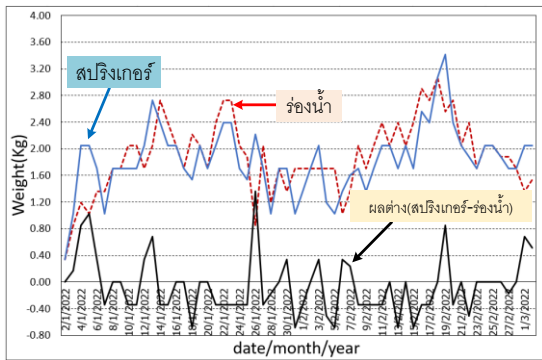
รูปที่ 13 เกณฑ์การแบ่งเกรดหน่อไม้ฝรั่งแบบหน่อเขียว



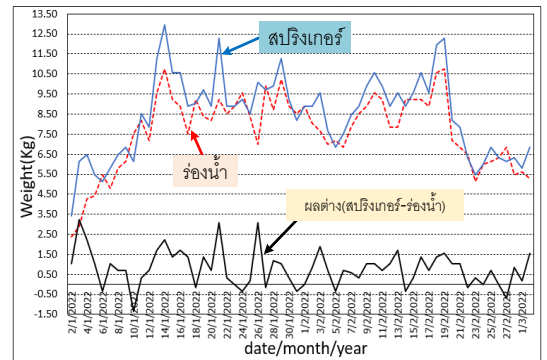
รูปที่ 14 น้ำหนักหน่อไม้ฝรั่งเกรด A ตุ่ม



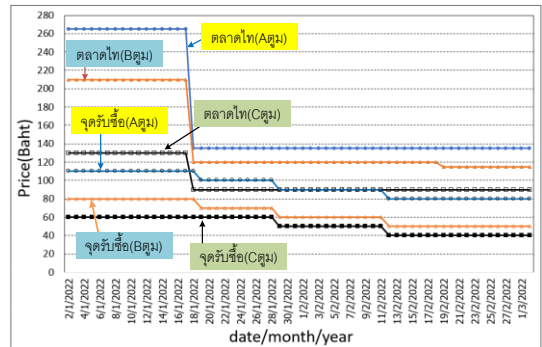
รูปที่ 15 น้ำหนักหน่อไม้ฝรั่งเกรด B ตุ่ม



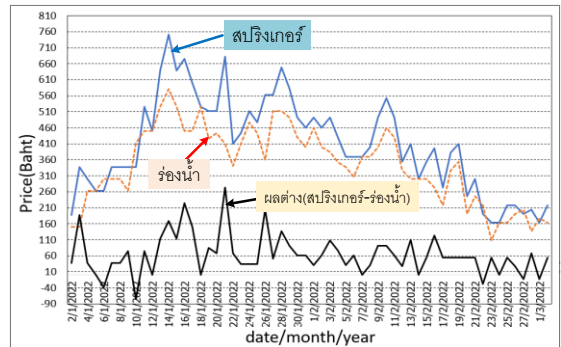
รูปที่ 16 น้ำหนักหน่อไม้ฝรั่งเกรด C ตุ่ม



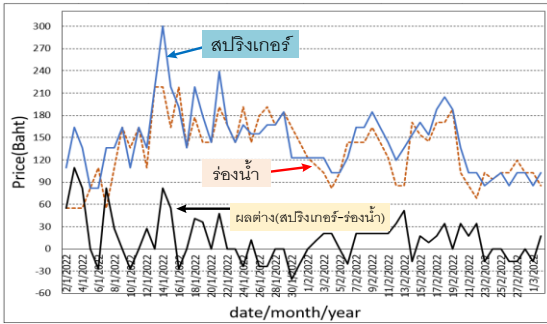
รูปที่ 17 รวมน้ำหนักหน่อไม้ฝรั่งเกรด A, B, C ตุ่ม



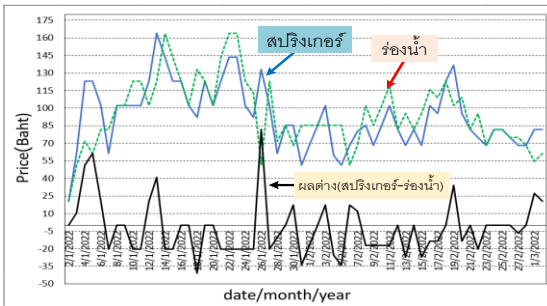
รูปที่ 18 ราคาหน่อไม้ฝรั่งจากตลาดไทและจากจุดรับซื้อ



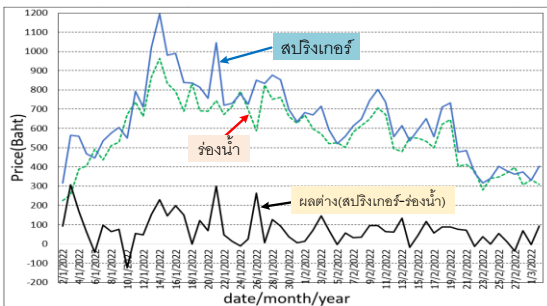
รูปที่ 19 ราคาหน่อไม้ฝรั่งเกรด A ตุ่มจากจุดรับซื้อ



รูปที่ 20 ราคาหน่อไม้ฝรั่งเกรด B ตูมจากจุดรับซื้อ



รูปที่ 21 ราคาหน่อไม้ฝรั่งเกรด C ตูมจากจุดรับซื้อ



รูปที่ 22 ราคารวมหน่อไม้ฝรั่งเกรด A, B, C ตูม

การวิจัยผลในเรื่องราคาของหน่อไม้ฝรั่ง: ในการรับซื้อหน่อไม้ฝรั่งจากชาวไร่ ปกติจะมีพ่อค้าคนกลางเปิดจุดรับซื้อบริเวณพื้นที่ที่มีการเพาะปลูก โดยในสภาวะปกติที่หน่อไม้ฝรั่งยังไม่ขาดแคลน การกำหนดราคาจะต่ำกว่าแต่มีแนวโน้มขึ้นลงตามราคาท้องตลาดเหมือนกัน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบราคาจากทั้ง 2 แหล่ง โดยใช้ฐานข้อมูลจากราคาที่ตลาดไท [23] จากรูปที่ 18 เห็นได้ว่าช่วงต้นปีเป็นช่วงที่หน่อไม้ขาดแคลนจะมีราคาแพงมาก แต่ราคาที่จุดรับซื้อไม่ได้แปรเปลี่ยนในอัตราส่วนเหมือนกับในสถานการณ์ปกติจากข้อมูลวิจัยชุดนี้ ถ้าได้นำไปบริหารจัดการในเรื่องเศรษฐศาสตร์ให้ดี จะทำให้เกษตรกรสามารถเพิ่มรายรับได้อีกมาก เช่น ถ้านำไปขายที่ตลาดไทจะได้ราคาที่สูงกว่าขายที่จุดรับซื้อตามไร่ แต่ต้องคำนึงถึงรายจ่ายที่เกิดขึ้นตามมาด้วย เช่น ค่าแรงงาน ค่าขนส่งสินค้า ค่าเช่าพื้นที่ ค่าตู้แช่เย็นผัก ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ ค่าประกันความเสี่ยงในการขนส่ง อื่นๆ มาประกอบรวมด้วย

จากรูปที่ 19 ถึง 22 และตารางที่ 3 เห็นได้ว่าผลต่างราคากรณีที่เป็นเกรด A ตูม กรณีจากการใช้ระบบสปริงเกอร์มีค่ามากกว่าแบบการให้น้ำไหลตามร่องถึง 3,786 บาท/ไร่/รอบ (ซึ่งมีค่าต่างจากหน่อ B ตูมและ C ตูม ที่ราคาแตกต่างกันไม่มากนัก) และถ้าพยากรณ์เต็มพื้นที่ 4.22 ไร่ จะสามารถเพิ่มรายได้ได้อีก 63,908 บาท/ปี แต่ทั้งนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่ต้องนำมาพิจารณาอีก เช่น ราคาท้องตลาด โรคพืช ศัตรูพืช สภาพแวดล้อม ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นอากาศ แสงสว่าง แร่ลุ่ม คุณภาพดิน และภัยธรรมชาติ อื่นๆ



3.2 ขั้นตอนการทดสอบ กรณีที่ 2

ทดสอบการให้น้ำแบบเติมพื้นที่ 4.22 ไร่ ด้วยวิธีการควบคุมด้วยระบบ IoT ดังรูปที่ 10 โดยเปิดสปริงเกอร์กลุ่มละ 20 นาที ความชื้นดินที่วัดได้จากตัวรับรู้ 11 ตัว แสดงค่าในแดชบอร์ดดังรูปที่ 11 มีค่าอยู่ในช่วง 55-64% และยังมีบันทึกเก็บในพีดีของเน็ตพายเพื่อดูค่าย้อนหลังได้อีกด้วย

การวิจารณ์ผลในเรื่องค่าต้นทุน: ข้อมูลการใช้ปริมาณน้ำและจำนวนพลังงานไฟฟ้าดังตารางที่ 4 ส่วนตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากทั้งสองวิธีการเห็นได้ว่าจะประหยัดค่าแรงงานได้ 90,000 บาท ค่าไฟฟ้าได้ 9,246 บาทส่วนค่าน้ำบาดาลและค่าอนุรักษ์น้ำ

บาดาลจะยกเว้นเพราะเป็นท้องที่ที่เพาะปลูกและไม่มีน้ำประปาใช้ [24] ดังนั้นการใช้สปริงเกอร์เมื่อนำค่าผลผลิตที่เพิ่มขึ้น 74,120 บาท จากตารางที่ 3 รวมกับผลต่าง 99,246 บาท จากตารางที่ 5 มีค่าเท่ากับผลประโยชน์ 173,366 บาท/ปี เมื่อนำค่านี้ไปหารค่าการลงทุนที่ใช้แบบการให้น้ำด้วยสปริงเกอร์ (180,000 บาท) จะได้ค่าระยะเวลาการคืนทุน [25] ดังสมการที่ (5) มีค่าเท่ากับ 1.04 ปี ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำสามารถคืนทุนได้เร็วเหมาะแก่การลงทุนได้ทันที

$$\text{ระยะเวลาการคืนทุน} = \frac{\text{ค่าการลงทุน}}{\text{ค่าประหยัด}} \quad (5)$$

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบน้ำหนักและราคาหน่วยไม่ฝรั่งที่ได้จากการทดสอบบนพื้นที่ 1 ไร่และได้จากการพยากรณ์บนพื้นที่ 4.22 ไร่

ข้อมูล	A ตุ่ม	B ตุ่ม	C ตุ่ม	รวม
น้ำหนัก kg./ไร่ (สปริงเกอร์)	258	139	110	507
น้ำหนัก kg./ไร่ (ร่องน้ำ)	218	127	113	458
ผลต่างน้ำหนัก/ไร่	40	12	-3	49
ผลต่างน้ำหนัก/4.22ไร่/รอบ	168.8	50.64	-12.66	206.76
ผลต่างน้ำหนัก/4.22ไร่/4รอบ	675.2	202.5	-50.6	827.1
ราคา บาท/ไร่/รอบ (สปริงเกอร์)	24,437	8,745	5,592	38,774
ราคา บาท/ไร่/รอบ (ร่องน้ำ)	20,651	7,993	5,739	34,383
ผลต่างราคา/ไร่/รอบ	3,786	752	-147	4,391
ผลต่างราคา/4.22ไร่/รอบ	15,977	3,173	-620	18,530
ผลต่างราคา/4.22ไร่/4รอบ	63,908	12,692	-2,480	74,120



ตารางที่ 4 เปรียบเทียบการใช้ปริมาณน้ำและไฟฟ้าจากการทดสอบทั้งสองวิธีการ

ข้อมูล	สปริงเกอร์	ร่องน้ำ
จำนวนเวลาให้น้ำ/1ไร่/วัน	52นาที (ควบคุมความชื้นดินประมาณ 60%)	2 วัน / 1ครั้ง ครั้งละ 3 ชั่วโมง = 1.5 ชั่วโมง/วัน
ปริมาณน้ำ/1ไร่/วัน	10.4 ลบ.ม. (ทดสอบ 1นาที่=200ลิตร)	18 ลบ.ม. (ทดสอบ1นาที่= 200ลิตร)
ปริมาณน้ำ/4.22ไร่/วัน	43.888 ลบ.ม.	75.96 ลบ.ม.
ปริมาณน้ำ/4.22ไร่/10เดือน	13,166.4ลบ.ม.	22,788 ลบ.ม.
พลังงานไฟฟ้า/4.22ไร่/วัน(ปั๊มน้ำ 2.2 kW)	8.046 หน่วย	13.926 หน่วย
พลังงาน/4.22ไร่/10เดือน	2,414 หน่วย	4,178 หน่วย

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายจากทั้งสองวิธีการ

ข้อมูล	สปริงเกอร์	ร่องน้ำ	ผลต่าง
ค่าแรง(บาท/วัน)	0	*300	300
ค่าแรง(บาท/10เดือน)	0	90,000	90,000
ค่าไฟฟ้า(บาท/วัน) (ประมาณหน่วยละ 4 บาท)[26]	32.18	63	30.82
ค่าไฟฟ้า(บาท/10เดือน)	9,654	18,900	9,246
ค่าธรรมเนียมน้ำ (บาท/10เดือน)	0	0	0
ผลรวมค่าใช้จ่าย/10เดือน	9,654	108,900	99,246

*หมายเหตุ: ค่าแรงงาน กรณีที่ใช้วิธีปล่อยน้ำตามร่อง เนื่องจากเป็นพื้นที่ขนาด 4.22 ไร่ แต่การให้ปั๊มน้ำขนาด 2.2kW มีอัตราการไหล 200 ลิตร/นาที่ ไม่สามารถจ่ายน้ำไปเต็มพื้นที่ในวันเดียวกันได้ เพราะต้องใช้เวลารวมถึง 12.66 ชม(4.22ไร่x3ชม.) ในทางปฏิบัติจะแบ่งพื้นที่การให้น้ำเป็น 2 แปลง สลับกันวันละแปลง ซึ่งหมายความว่าต้องเสียค่าจ้างทุกวันวันละ 300 บาท



4. บทสรุป

การนำระบบควบคุมระยะไกลด้วยอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาช่วยในการจัดการน้ำ สามารถช่วยเพิ่มผลผลิตให้ได้ขนาดหน่อเกรด A ตูมได้มากขึ้น และยังสามารถช่วยลดต้นทุนในเรื่องของค่าแรงงานได้สูงมาก หรือช่วยแก้ปัญหาเรื่องการขาดแคลนแรงงาน รวมทั้งแก้ปัญหาการทำงานที่ไม่มีประสิทธิภาพของคนงานที่บางครั้งปล่อยให้หน้าขังร่องมากเกินไปจนเป็นเหตุให้ต้นเกิดเป็นโรคเชื้อรา แต่ถ้าให้น้ำน้อยเกินไปจะทำให้หน่อมีเส้นใยมากขาดคุณค่าทางโภชนาการ เมื่อใช้ระบบสปริงเกอร์จะช่วยให้ดินเปียกชื้นอย่างสม่ำเสมอทั้งพื้นที่ อีกทั้งยังช่วยไล่เพลี้ย [22] ที่เกาะตามต้นโดยการเปิดน้ำรดที่ระยะเวลานั้นๆ และยังสามารถลดความเสียหายจากน้ำท่วมไร้อันเนื่องมาจากฝนตกปริมาณมากได้อีกด้วย

ค่าปริมาณต่างๆ ที่ได้จากตัวรับรู้ ข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากในการเริ่มต้นเรียนรู้ถึงพฤติกรรมของหน่อไม่ฝรั่งว่าชอบหรือไม่ชอบกับสภาพแวดล้อมอย่างไร ซึ่งเป็นแนวทางการปรับปรุงการรดน้ำให้ดินมีความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมแล้วหยุดการรดน้ำ หรือรดน้ำเพิ่มเพียงเล็กน้อย เมื่อได้ข้อมูลสำคัญที่เกี่ยวข้องมีปริมาณมากพอก็นำไปสู่การใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI: Artificial Intelligence) ในการช่วยจัดการเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและปริมาณสูงโดยใช้ต้นทุนที่ต่ำ ซึ่งแนวทางปฏิบัติทั้งหมดนี้จะนำไปสู่เกษตรกรแม่นยำได้เป็นอย่างดี

5. ข้อเสนอแนะ

ในกรณีที่ไม่มีสะดวกด้วยรูปแบบการสื่อสารแบบไร้สายด้วยคลื่นสัญญาณ WiFi ยังมีรูปแบบการสื่อสาร

แบบไร้สายด้วยรูปแบบอื่นๆ [27] จากข้อมูลที่ [28] ใช้การสื่อสารทางไกลแบบ LoRa มาใช้ควบคุมการทำงานของสปริงเกอร์อย่างอัตโนมัติ แต่ปัจจัยที่ต้องนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือก [27] ได้แก่ แถบความถี่ของสัญญาณ อัตราข้อมูล ระยะทางในการส่งข้อมูล การใช้พลังงาน และราคาอุปกรณ์ ส่วนในเรื่องของตัวรับรู้ความชื้นดินที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ทนต่อสภาพการกัดกร่อนที่ผิวทองแดงต่ำ อาจเปลี่ยนหัวโพรบเป็นรุ่นที่เป็นแท่งตัวนำสแตนเลสกลมที่ทนต่อการกัดกร่อนได้สูง แต่ราคาจะมีค่าสูงกว่าแบบเดิมมาก

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการวิจัยที่กรุณาให้ความเห็นชอบในการอนุมัติงบประมาณ โดยโครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากบริษัทอุตสาหกรรมท่อน้ำไทย จำกัด และมหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ ปีการศึกษา 2563 ตามสัญญาขอรับทุนอุดหนุนการวิจัยหมายเลข ST001/2564

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] <https://nationaltoday.com/national-asparagus-day/> (Accessed on 5 January 2022)
- [2] <http://www.doa.go.th/research/attachment.php?aid=1991> (Accessed on 7 January 2022)
- [3] M. Peebles, J.J. Barnett, M. Duke and S.H. Lim, Robotic harvesting of asparagus using machine learning and time-of-flight imaging, 16th IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Proceeding, 2020, 1359-1364.



- [4] A. Leu, M. Razavi, L. Langstadtler, D.R. Durrant, H. Raffel, C. Schenck, A. Graser, and B. Kuhfuss, Robotic green asparagus selective harvesting, *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 2017, 22(6), 2401-2409.
- [5] M.S. Kyi, L. Maw and H.M. Tun, Study of solar PV sizing of water pumping system for irrigation of asparagus, *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2016, 5(6), 71-75.
- [6] https://www.doa.go.th/share/attachment.php?a_id=2791 (Accessed on 7 January 2022)
- [7] S.I. Hassan, M.M. Alam, U. Illahi, M.A. Ghamdi, S.H. Almotiri and M. Mohd, A Systematic review on monitoring and advanced control strategies in smart agriculture, *IEEE Access*, 2021, 9(08), 32517-32548.
- [8] E.S. Mohamed, A. Belal, S.K. Elmabod, M. Shirbeny, A. Gad and M. Zahran, Smart farming for improving agricultural management, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 2021, 24(3), 971-981.
- [9] https://about.att.com/newsroom/smart_farming_gives_boost_to_organic_asparagus.html (Accessed on 10 January 2022)
- [10] A.M. Soonapse, F. Altobelli, A.D. Marta, M. Ciarletti, Ploovium: a decision support system for increasing water use efficiency of irrigated crops, 2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor), Proceeding, 2020, 328-332.
- [11] <https://www.doa.go.th/research/showthread.php?tid=913> (Accessed on 9 March 2022)
- [12] G. S. Williams, *Hydraulic Table*, John Wiley and Sons, New York, USA, 2018.
- [13] Er.R.K. Rajput, *Electrical Machines in SI Units.*, Laxmi Publications Ltd., New Delhi, India, 2016.
- [14] https://www.handsontec.com/pdf_learn/esp8266-V10.pdf (Accessed on 20 January 2022)
- [15] <https://netpie.io/tutorials> (Accessed on 3 March 2022)
- [16] A. Minteer, *Analytics for the Internet of Things (IoT)*, Packt Publishing Ltd., Birmingham, UK, 2017.
- [17] S.V. Mukherji, R. Sinha, S. Basak and S.P. Kar, Smart agriculture using internet of things and MQTT protocol, 2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (Com-IT-Con), Proceeding, 2019, 14-16.



- [18] https://th.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 (Accessed on 12 March 2022)
- [19] O. JiHye , D.-H. Noh and Y.-H. Sohn, Empirical test of Wi-Fi environment stability for smart farm platform, 4th International Conference on Computer Applications and Information Processing Technology (CAIPT), Proceeding, 2017, 1-5.
- [20] P. Singh and S. Saikia, Arduino-based smart irrigation using water flow sensor, soil moisture sensor, temperature sensor and ESP8266 WiFi module, 2016 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), Proceeding, 2016, 1-4.
- [21] <https://www.arduino.cc/en/main/software>. (Accessed on 15 March 2022)
- [22] http://www3.rdi.ku.ac.th/exhibition/Techno_ku60/res-25/index25.html (Accessed on 16 March 2022)
- [23] <https://talaadthai.com/product-search/result?q=%E0%B8%AB%E0%B8%99%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%89%E0%B8%9D%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B9%88%E0%B8%87> (Accessed on 1 January 2022)
- [24] <http://www.dgr.go.th/th/newsAll/124/3737> (Accessed on 3 April 2022)
- [25] <https://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sec/Lom14/04-01-02.html> (Accessed on 2 April 2022)
- [26] <https://www.mea.or.th/profile/109/111> (Accessed on 4 April 2022)
- [27] V. Moysiadis, P. Sarigiannidis, V. Vitsas and A. Khelifi, Smart farming in Europe, Computer Science Review, 2021, 39, 1-22.
- [28] A. Nursyahid, T. Aprilian, T.A. Setyawan, Helmy, A. S. Nugroho and D. Susilo, Automatic sprinkler system for water efficiency based on LoRa network, 6th International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE), Proceeding, 2019, 1-6.