



การพัฒนาระบบรดน้ำผักอัตโนมัติด้วยการแบ่งรดทีละส่วนโดยใช้ปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์

แสงเพชร อนุชัยภูมิ และ สันติ ชวนนอก*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: santi.c@nrru.ac.th

วันที่รับบทความ: 3 กรกฎาคม 2568; วันที่ทบทวนบทความ: 9 ตุลาคม 2568; วันที่ตอบรับบทความ: 29 ตุลาคม 2568

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 11 ธันวาคม 2568

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้นำเสนอระบบรดน้ำผักอัตโนมัติแบบแบ่งโซน ซึ่งออกแบบมาเพื่อลดภาระงานที่ต้องทำตามเวลาอย่างสม่ำเสมอ โดยใช้ปั๊มน้ำจากปั๊มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดซับเมอร์ซีบีแอล กำลัง 750 วัตต์ ร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์ 330 วัตต์ จำนวน 3 แผง ระบบนี้ประกอบด้วยบอร์ดควบคุมหลักที่วัดปริมาณน้ำด้วยตัวรับรู้อัตราการไหล เพื่อส่งข้อมูลไปยังชุดควบคุมโซเลนอยด์วาล์วขนาด 1 นิ้วจำนวน 4 ชุด สำหรับการจ่ายน้ำแบบแบ่งโซน วาล์วแต่ละชุดถูกควบคุมผ่านการสื่อสารไร้สาย LoRa ในรูปแบบการสื่อสารแบบจุดเดียวสู่หลายจุด ซึ่งช่วยลดการเดินสายและเพิ่มความยืดหยุ่นในการติดตั้ง ปริมาณน้ำในแต่ละโซนถูกกำหนดผ่านโค้ดโปรแกรม ระบบนี้รองรับสปริงเกอร์ 6 ตัวต่อโซน โดยติดตั้งแต่ละตัวห่างกัน 4 เมตร ซึ่งเป็นระยะ 2 เท่าของรัศมีการกระจายน้ำตามแนวทางที่เกษตรกรนิยมใช้ ครอบคลุมพื้นที่ 96 ตารางเมตรต่อโซน รวมพื้นที่ 384 ตารางเมตร โดยอัตราการให้น้ำอยู่ระหว่าง 42 ถึง 54 ลิตรต่อนาที่ ภายใต้ความเข้มแสงอาทิตย์ 600 ถึง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ช่วยเพิ่มผลผลิตของแรงงาน ประหยัดพลังงาน ส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาด และสามารถประยุกต์ใช้กับระบบน้ำหยดได้ การพัฒนาในอนาคต อาทิ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของวงจรควบคุมวาล์วน้ำเพื่อขยายระยะเวลาการใช้งานแบตเตอรี่ การเพิ่มกำลังปั๊มและขนาดวาล์วเพื่อเพิ่มพื้นที่รดน้ำต่อโซน

คำสำคัญ: ระบบรดน้ำผักอัตโนมัติ; รดน้ำพืชแบบแบ่งโซน; ควบคุมวาล์วน้ำระยะไกล

Development of An Automatically Vegetables Irrigation Based on Partitioned Areas Using Solar-powered Pump

Sangphet Ngonchaiyaphum and Santi Chuannok*

Department of Industrial Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Nakhon Ratchasima Rajabhat University

* Corresponding author, E-mail: santi.c@nrru.ac.th

Received: 3 July 2025; Revised 9 October 2025; Accepted: 29 October 2025

Online Published: 11 December 2025

Abstract: This research presents a zone-automatic vegetable irrigation system designed to reduce timely basis task. The system utilizes water from a 750-watt submersible solar-powered pump energized with three 330-watt solar panels. This system consists of main board that measures water volume using a flow rate sensor, providing data to control four sets of 1-inch solenoid valves for zone-by-zone irrigation. Each valve is controlled via LoRa wireless communication in a direct point-to-multipoint topology, which minimizes wiring and enhances installation flexibility. Water volume for each zone is defined in codes. The system supports six sprinklers per zone, each spaced 4 meters apart-twice the typical spray radius used by local farmers-covering 96 square meters per zone, totaling 384 square meters across four zones. Experimental results show water flow rates ranging from 42 to 54 liters per minute under solar irradiance levels of 600 to 1000 watts per square meter. The developed system increases labor productivity, conserves energy, promotes clean energy usage, and is adaptable to drip irrigation systems. Future development includes optimizing energy efficiency for the valve-controlled circuitry to extend battery life and increasing pump capacity and valve size to expand irrigation coverage per zone.

Keywords: Automatic vegetable watering system; Water plants by zones; Remotely control water valves



1. บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่เกษตรกรรมที่กว้างขวางและอุดมสมบูรณ์ ประชากรจำนวนมากจึงประกอบอาชีพเกษตรกร ทั้งในรูปแบบอาชีพหลักและอาชีพเสริม อย่างไรก็ตาม เกษตรกรที่ทำกิจกรรมมักประสบปัญหาในการจัดสรรเวลาในการดูแลแปลงเพาะปลูก โดยเฉพาะการรดน้ำพืชผลในพื้นที่กว้างพร้อมกันอาจส่งผลต่อแรงดันน้ำที่ลดลง เพื่อลดปัญหาดังกล่าว แนวคิดเรื่องเกษตรอัจฉริยะ (Smart Farming) ได้รับการพัฒนา โดยใช้เทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการ ลดต้นทุน และเพิ่มผลผลิต หนึ่งในตัวอย่างคือ FAARM series พัฒนาโดยเนคเทค ซึ่งประกอบด้วย FAARM SENSE สำหรับติดตามสภาพแวดล้อม และระบบ FAARM FiT สำหรับควบคุมกระบวนการเกษตร [1] นอกจากนี้ เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสาทรพสิ่ง (IoT) ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในระบบให้น้ำอัจฉริยะที่ช่วยเพิ่มผลิตผลหล่อไม่ฝรั้งโดยอาศัยการตรวจวัดสภาพแวดล้อม [2] รวมถึงการประยุกต์ใช้เครือข่ายสื่อสารไร้สายอย่าง LoRa และ LoRaWAN เพื่อส่งข้อมูลจากตัวรับรู้ในพื้นที่เกษตรกรรมไปยังศูนย์ควบคุม [3] ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน เช่น การติดตั้งระบบเทปน้ำหยดอัตโนมัติในการปลูกพริกหยวกในประเทศปารากวัย ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบตรวจสอบผ่านการสื่อสาร LoRaWAN [4] และระบบควบคุมการรดน้ำมะเขือเทศด้วยตัวรับรู้วัดความชื้นในดินร่วมกับบอร์ด Vinduino และ LoRa [5] ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำและลดภาระของเกษตรกร มีการพัฒนาระบบควบคุมการให้น้ำพืชโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับโมดูลรับ-ส่งสัญญาณ

LoRa และวงจรควบคุมดีซีแลตซิงโซเลนอยด์ (DC latching solenoid) โดยใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ D-size เพื่อเพิ่มเสถียรภาพและประหยัดพลังงาน [6]

ในส่วนของผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญต่อการลดต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำ ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้นำแผงโซลาร์เซลล์มาใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานมอเตอร์กระแสตรงในปั้มน้ำขนาดเล็ก [7] และได้พัฒนาระบบเลือกแหล่งพลังงานระหว่างแผงโซลาร์เซลล์กับไฟฟ้ากระแสสลับของการไฟฟ้าเพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่องแม้ไม่มีแสงแดดแต่ใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ให้มากที่สุด [8] และได้ดำเนินการวัดสมรรถนะของระบบเลือกแหล่งพลังงานผ่านเครือข่าย LoRa [9] ในแนวทางเดียวกับ Viswanatha [10]

จากงานวิจัย [1-10] ทำให้เกิดแนวคิดว่าหากใช้วิธีการแบ่งพื้นที่การใช้น้ำออกเป็นโซนจะช่วยลดกำลังของปั้มและจำนวนแผงโซลาร์เซลล์ลงได้ และการนำดีซีแลตซิงโซเลนอยด์มาใช้เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วน้ำผ่านการสื่อสารไร้สาย LoRa ในรูปแบบการสื่อสารแบบจุดเดียวสู่หลายจุด (Point-to-Multipoint) ที่มีข้อได้เปรียบ ZigBee ทั้งปัจจัยระยะทางการรับ-ส่ง ความง่ายในการพัฒนาซอฟต์แวร์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และความคุ้มค่าต้นทุน จะเพิ่มความสะดวกในการปรับเปลี่ยนโครงสร้าง (Layout) ระบบให้น้ำในแปลงเพาะปลูก และลดความเสี่ยงอันตรายจากไฟฟ้าเมื่อเทียบกับการใช้ เอซีโซเลนอยด์ (AC solenoid) รวมทั้งลดการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่ใช้ควบคุมโซเลนอยด์ ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อยอดระบบ WATER FIT สำหรับการให้น้ำเพื่อการเพาะปลูก ที่วิจัยและพัฒนาโดยเนคเทค โดยการพัฒนาแบบรดน้ำผักอัตโนมัติด้วย



สปริงเกลอร์ที่ละโซน โดยใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์เป็นแหล่งพลังงานสำหรับปั๊มน้ำชนิดขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ เพื่อเพิ่มความดันน้ำให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของสปริงเกลอร์ ส่วนการเปิด-ปิดวาล์วน้ำได้เลือกใช้วาล์วประเภทโกลบอลวาล์วชนิดใช้พลังงานต่ำที่เปิด-ปิดน้ำโดยอาศัยความแตกต่างของความดันที่มาจากน้ำด้านเข้า (Inlet) กับความดันที่เกิดจากสปริงและน้ำใน Bonnet Chamber ด้วยเหตุนี้ ระบบควบคุมวาล์วน้ำใช้ดีซีแลตซิงโซเลนอยด์แม่ใช้พลังงานต่ำ แต่สังเกตว่า ผู้ผลิตวาล์วน้ำชนิดนี้มักกำหนดค่าความดันน้ำต่ำสุด-สูงสุดในการใช้งาน

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงการออกแบบ-ทดสอบ การเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ที่หาซื้อได้ง่ายและต้นทุนไม่สูง ส่งผลให้ไม่สามารถหาข้อมูลสเปกของอุปกรณ์บางตัวสำหรับการคำนวณออกแบบได้ จึงได้ใช้วิธีเทียบเคียงข้อมูลสเปกที่เผยแพร่โดยผู้ผลิตรายอื่น และการวัดทดสอบช่วยในการออกแบบ ซึ่งมี 2 ส่วน ได้แก่

1. ส่วนประกอบทางไฟฟ้า ซึ่งครอบคลุมอุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์ บอร์ดส่ง-รับสัญญาณ LoRa วงจรควบคุมดีซีแลตซิงโซเลนอยด์ และวงจรแปลงผันแบบเพิ่มระดับแรงดัน (Boost Converter)

2. ส่วนประกอบทางชลศาสตร์ (Hydraulics) ได้แก่ ปั๊มน้ำ วาล์วน้ำ ระบบท่อและสปริงเกลอร์

2.1 การออกแบบโครงสร้างระบบโดยรวม

ส่วนประกอบโดยรวมของระบบรดน้ำอัตโนมัติด้วยการแบ่งรดที่ละโซนโดยใช้ปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์ประกอบด้วยกล่องควบคุมปั๊มน้ำระบบออฟกริดที่รับ

พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์เพื่อขับปั๊มน้ำ ซึ่งใช้มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านเป็นต้นกำลัง บอร์ดควบคุมหลักเชื่อมต่อกับตัวรับรู้อัตราการไหลของน้ำกับบอร์ดส่งสัญญาณ LoRa เพื่อส่งข้อมูลไปยังบอร์ดควบคุมวาล์วน้ำผ่านบอร์ดรับสัญญาณ LoRa เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วน้ำ ขนาด 1 นิ้วด้วยดีซีแลตซิงโซเลนอยด์ จำนวน 4 ชุด สำหรับการจ่ายน้ำในแต่ละโซนด้วยสปริงเกลอร์ 6 ตัว แสดงดังรูปที่ 1

วัตถุอัตราการไหล



รูปที่ 1 โครงสร้างระบบโดยรวม



2.2 ระบบควบคุมการทำงานโดยรวม

รูปที่ 2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมทางไฟฟ้าของระบบรดน้ำแบบอัตโนมัติโดยแบ่งหน้าที่โซนโดยมีตัวรับรู้อัตราการไหลของน้ำ ไมโครคอนโทรลเลอร์ บอร์ดส่ง-รับสัญญาณ LoRa และโกลบวาล์วที่ถูกควบคุมด้วยดีซีรีเลย์ซึ่งโซเลนอยด์

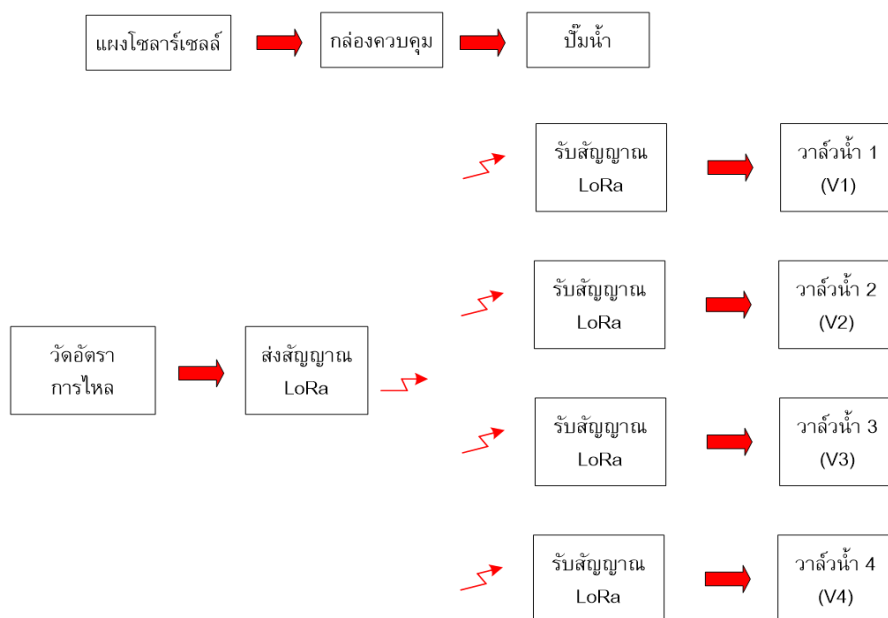
2.3 ภาคส่งสัญญาณ LoRa

รูปที่ 3 แสดงบล็อกไดอะแกรมภาคส่งสัญญาณ LoRa ที่ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งรับสัญญาณจากตัวรับรู้อัตราการไหล รุ่น YF-DN50 ผ่านขา D9 เพื่อคำนวณค่าปริมาณน้ำและส่งข้อมูลผ่านขา D10 ถึง D13 สู่บอร์ดส่งสัญญาณ LoRa ที่มีชิปเบอร์ SX1278 เป็นส่วนประกอบหลักไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านบอร์ดรับสัญญาณ LoRa สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วน้ำตามค่าปริมาณน้ำที่

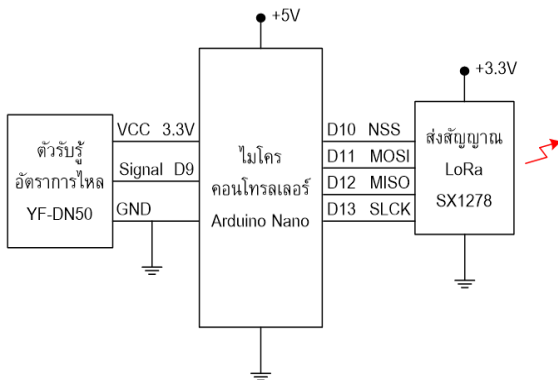
กำหนดไว้ในแต่ละโซน การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภาคส่งสัญญาณ LoRa แสดงดังรูปที่ 4

2.4 ภาครับสัญญาณ LoRa และควบคุมวาล์วน้ำ

ภาครับสัญญาณ LoRa ประกอบไปด้วย บอร์ดรับสัญญาณ LoRa ที่ใช้ชิปเบอร์ SX1278 ทำหน้าที่รับ-ส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล SPI กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านขา D10 ถึง D13 ของ Arduino Nano ซึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณพัลส์ออกจากขา D2 และขา D3 เข้าสู่ขาอินพุต IN1 และ IN2 ของวงจร H-bridge ที่อยู่ภายในไอซีเบอร์ DRV8833 โดยมีวงจรแปลงผันแบบเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 9 โวลต์ ชนิดลิเทียมไอออนขนาดความจุ 650 มิลลิแอมแปร์-ชั่วโมง ซึ่งจ่ายแรงดันจริงในย่าน 7.4 ถึง 8.4 โวลต์ ให้เป็น 10.8 โวลต์ ต่อกับขาไฟเลี้ยงวงจร H-bridge ผ่านความต้านทาน R1 เพื่อควบคุมการเปิด-ปิด



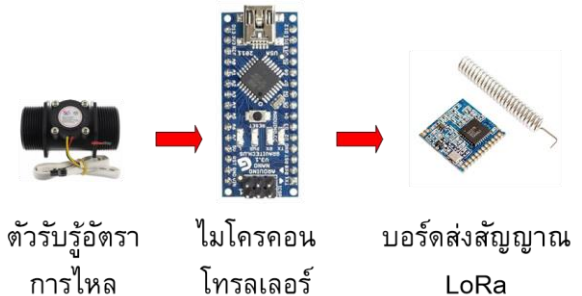
รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมโดยรวม



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมภาคส่งสัญญาณ LoRa

วาล์วน้ำด้วยดีซีแลตซิงโซเลนอยด์ซึ่งต่ออยู่กับเอาต์พุตของวงจร H-bridge ตามรูปที่ 5 ส่วนวงจรแปลงผันแบบเพิ่มระดับที่ใช้งานเป็นบอร์ดสำเร็จรูปและมีไอซีเบอร์ XL6009 เป็นส่วนประกอบหลัก

การหาค่าความจุตัวเก็บประจุ C1 อาศัยวิธีการวัดสัญญาณกระแสไฟฟ้าและแรงดันที่ตกคร่อมดีซีแลตซิงโซเลนอยด์ เพื่อนำมาใช้เป็นเกณฑ์เลือกค่าตัวเก็บประจุ โดยอาศัยรูปร่างสัญญาณกระแสตามที่กล่าวในารวิจัย [11] จากรูปที่ 6 แสดงผลการวัดกระแสและแรงดันที่ตกคร่อมโซเลนอยด์เมื่อ C1 มีค่า 1000 และ 2,200 ไมโครฟารัด การลดลงก่อนการเพิ่มขึ้นอีกครั้งของกระแส (Solenoid_Valve_I) ถูกใช้เป็นเกณฑ์พิจารณาระดับแรงดันที่เพียงพอต่อการเปลี่ยนสถานะของดีซีแลตซิงโซเลนอยด์ กล่าวคือ เมื่อพิจารณารูปที่ 6 ส่วนที่พื้นหลังสีดำ ซึ่งแสดงผลของ C1 มีค่าความจุระบุ 1000 ไมโครฟารัด ระดับแรงดันที่ตกคร่อมโซเลนอยด์ (Solenoid_Valve_V) ลดลงประมาณ 4 โวลต์ ส่วนรูปสัญญาณบนพื้นหลังสีขาวในรูปที่ 6 แสดงผลการวัดสัญญาณเมื่อ C1 มีค่าความจุระบุ 2,200 ไมโครฟารัด



รูปที่ 4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภาคส่งสัญญาณ LoRa

พบว่าขณะที่ก้านโซเลนอยด์เอาชนะแรงยึด แรงดันลดลงเพียง 2 โวลต์ และเมื่อนำผลการวัดแรงดันและค่าประจุที่ได้จากการคำนวณจากสัญญาณกระแส โดยใช้ฟังก์ชันคำนวณปริพันธ์ในออสซิลโลสโคป Tektronix รุ่น MDO3024 ในช่วงเวลา 16.86 มิลลิวินาที มาพิจารณาเลือกค่าความจุโดยอาศัยสมการ (1)

$$\Delta q = C * \Delta v \quad (1)$$

เมื่อ

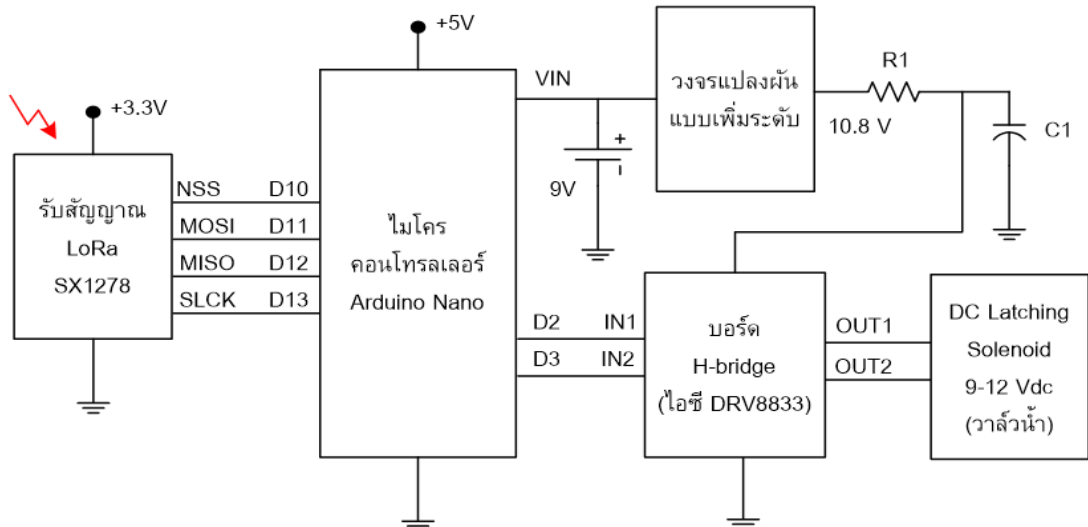
Δq = ค่าประจุไฟฟ้าที่ถูกใช้เพื่อเปิด-ปิดวาล์ว (คูลอมบ์)

C = ค่าความจุของตัวเก็บประจุ (ฟารัด)

กรณี $C1 = 1,000$ กับ $2,200$ ไมโครฟารัด ผลการวัดประจุ (Δq) ค่าคำนวณแรงดันและผลการวัด (Δv) มีผลดังในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าแรงดันตกคร่อมโซเลนอยด์

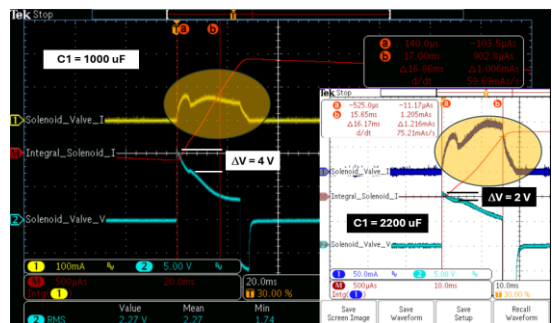
C1 (ฟารัด)	Δq (คูลอมบ์)	Δv (คำนวณ/วัด)
$1,000 * 10^{-6}$	$1.0 * 10^{-3}$	1.0 โวลต์ / 7.0 โวลต์
$2,200 * 10^{-6}$	$1.2 * 10^{-3}$	0.5 โวลต์ / 5.0 โวลต์



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมภาครับสัญญาณ LoRa และควบคุมวาล์วน้ำ

จากตารางที่ 1 พบว่า ผลการวัดสัญญาณทั้ง 2 กรณีไม่สอดคล้องกับการคำนวณ ตามสมการ (1) และด้วยข้อเท็จจริงที่ออสซิลโลสโคปสามารถวัดแรงดันได้แม่นยำสูงกว่าการวัดกระแสในย่าน 100 ถึง 150 มิลลิแอมป์ ด้วยโพรบวัดกระแส Tektronix รุ่น A622 ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนออฟเซตคงที่ (Fixed Offset Error) ± 50 มิลลิแอมป์ ผู้วิจัยจึงได้ใช้ผลการวัดแรงดันที่ลดลง ณ เวลาที่ก้านโซเลนอยด์หลุดพ้นจากแรงยึดในการเลือกตัวเก็บประจุ C1 เท่ากับ 2,200 ไมโครฟารัด

สำหรับตัวต้านทาน R1 ถูกเลือกค่าจาก 3 ปัจจัย ได้แก่ 1) จำกัดกระแสชั่วขณะจากแบตเตอรี่ที่เป็นผลจากตัวเก็บประจุ C1 กับตัวเก็บประจุด้านออกของวงจรแปลงผันถูกอัดประจุแบบเรโซแนนซ์ผ่านไดโอดและตัวเหนี่ยวนำ 2) จำกัดกระแส 1 ใน 10 ของค่าที่วงจรจ่ายได้สูงสุด 2 แอมป์ จะได้ (10.8 โวลต์/0.2 แอมป์) R1 ประมาณ 50 โอห์ม 3) ระยะเวลาในการอัดประจุ C1 ให้ทันต่อความถี่ของการเปิด-ปิดวาล์ว



รูปที่ 6 รูปสัญญาณกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมดีซีแลตซิงโซเลนอยด์ขณะเปิดวาล์วน้ำ

การประมาณระยะเวลาจ่ายพลังงานของแบตเตอรี่ 9 โวลต์ ชนิดลิเทียมไอออนขนาดความจุ 650 มิลลิแอมป์-ชั่วโมง ซึ่งจ่ายแรงดันจริงในย่าน 7.4 ถึง 8.4 โวลต์ โดยหาผลค่ากระแสรวมในวงจรต่างๆ ที่ทำหน้าที่ควบคุมวาล์วน้ำ โดยแสดงในหน่วยมิลลิแอมป์ในวงเล็บปีกกา ดังนี้ 1) วงจรแปลงผัน ไอซี XL6009 {5.0} 2) วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบด้วย

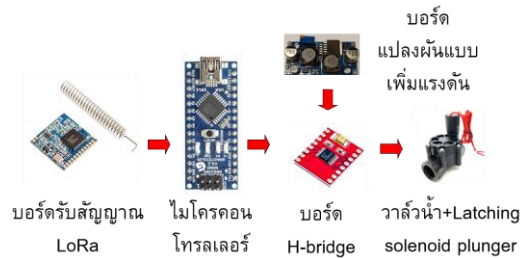


ATmega328P 16 MHz, Active mode {9.5} ไอซี LM1117-5.0 {10.0} ไอซี CH340G {0.2} และ LED สีแดง {3.0} 3) วงจรรับสัญญาณ LoRa ไอซี SX1278 {10.8} และ 4) วงจร H-Bridge ไอซี DRV8833 {3.0} เท่ากับ $(5.0 + 9.5 + 10.0 + 0.2 + 3.0 + 10.8 + 3.0)$ รวม 41.5 มิลลิแอมแปร์ อาศัย สเปกของ แบตเตอรี่ Soshine 9 โวลต์ 650 มิลลิแอมแปร์-ชั่วโมง ที่เผยแพร่บนอินเทอร์เน็ต เมื่อจ่ายกระแส 50 มิลลิแอมแปร์ กระทั่งแรงดันลดลงจาก 8.4 เหลือ 7 โวลต์ (ซึ่งเป็นแรงดันต่ำสุดที่ไอซี LM1117-5.0 ยังรักษาระดับแรงดันได้) สามารถจ่ายพลังงานได้ นานกว่า 11 ชั่วโมง ส่วนระยะเวลาที่ประมาณจากประจุที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสถานะวาล์ว คือ 150 มิลลิแอมแปร์ นานกว่า 3 ชั่วโมง แปลงเป็นจำนวนครั้งจากความกว้างของพัลส์ 16.6 มิลลิวินาทีได้ จำนวน 635,264 ครั้ง

จากรูปที่ 7 ไมโครคอนโทรลเลอร์รับค่าปริมาณน้ำจากข้อมูลที่ได้รับมาจากบอร์ดส่ง-รับสัญญาณ LoRa ทุกๆ 1 วินาที เพื่อควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วน้ำตามปริมาณน้ำสำหรับแต่ละโซนที่ถูกกำหนดไว้ในโค้ดโปรแกรม

2.5 การประกอบติดตั้งอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ LoRa

การประกอบติดตั้งอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณ LoRa ตามรูปที่ 8 เริ่มจากแบตเตอรี่ 9 โวลต์ชนิดอัดประจุใหม่ได้ บรรจุในใส่ แบตเตอรี่ที่มีสวิตช์เปิด-ปิดแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีวงจรแปลงผันแบบลดระดับแรงดันไฟฟ้าเป็น 5 โวลต์และ 3.3 โวลต์ อีกส่วนหนึ่งผ่านวงจรแปลงขึ้นแรงดันไฟฟ้าเป็น 10.8 โวลต์เพื่อเลี้ยงวงจร H-bridge สำหรับขับดีซีมอเตอร์โซเลนอยด์ที่ใช้ควบคุมวาล์วน้ำ



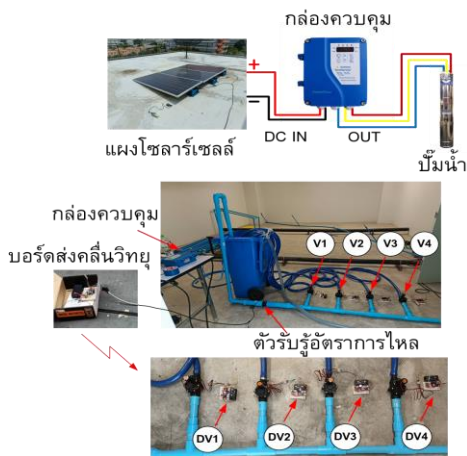
รูปที่ 7 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ควบคุมวาล์วน้ำ



รูปที่ 8 ลักษณะการประกอบติดตั้งอุปกรณ์บอร์ดส่งและรับสัญญาณ LoRa

2.6 การประกอบติดตั้งอุปกรณ์ระบบสูบน้ำสำหรับทดลองในห้องปฏิบัติการ

จัดวางอุปกรณ์ตามรูปที่ 9 โดยแบ่งออกเป็นระบบสูบน้ำจากปั๊มน้ำร่วมกับแผงโซลาร์เซลล์แบบออฟกริดและวาล์วน้ำพลังงานต่ำที่ถูกควบคุมผ่านดีซีแลตซิงโซเลนอยด์ซึ่งมีโครงสร้างเป็นโกลบวาล์ว จำนวน 4 ตัว ที่แม้จะสั่งซื้อได้สะดวกและราคาถูกแต่ไม่สามารถหาข้อมูลสเปกได้ จึงอาศัยค่าประมาณโดยใช้ข้อมูลของวาล์วชนิด-ขนาดเดียวกันของผู้ผลิต Rainbird [12] คือ รุ่น I100-PGA9V GLOBE 2.5CM ซึ่งระบุค่า สูญเสียความดัน (Pressure Loss) ในช่วงอัตราการไหล 50 ถึง 100 ลิตร/นาที เท่ากับ 0.41 – 0.43 บาร์



รูปที่ 9 การติดตั้งอุปกรณ์ระบบสูบน้ำ

โดยเลือกใช้ค่าประมาณในช่วง คือ 0.42 บาร์ (4.30 เมตร) หรือ 6.1 PSI ช่วงความดันด้านเข้าที่สามารถเปิด-ปิดน้ำได้ คือ 15 ถึง 150 PSI ใช้วิธีการสูบน้ำแบบหมุนวนกลับในถัง ระดับความสูงของปั๊มน้ำ (Pump Head) 1 เมตร ใช้แบตเตอรี่ 9 โวลต์ จ่ายพลังงานให้กับบอร์ดควบคุมหลักที่ใช้ส่งข้อมูลปริมาณน้ำผ่านสัญญาณ LoRa และวงจรต่างๆ ที่ใช้รับสัญญาณ LoRa และควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วแต่ละตัว (DV1-DV4) ตัวรับรู้อัตราการไหลถูกเชื่อมต่อกับบอร์ดส่งสัญญาณ LoRa ด้วยสายสัญญาณยาว 3 เมตร ส่วนแผงโซลาร์เซลล์ได้ต่อสายมายังกล่องควบคุมปั๊มยาวประมาณ 10 เมตร

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยปริมาณทางไฟฟ้าและอัตราการไหลของวาล์วตัวที่ 1 ณ ค่าความเข้มแสงต่างๆ

ความเข้มแสง (W/m ²)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	อัตราการไหล (l/min)
1000	711	94.0	7.5	56.2
600	412	100.4	4.1	45.2
200	144	90.1	1.6	27.3

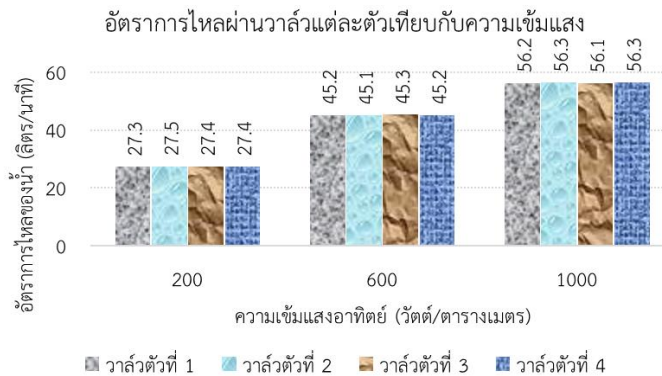
3. ผลการทดลอง

การศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบรดผักอัตโนมัติด้วยการแบ่งรดที่ละส่วนโดยใช้ปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและการทดสอบใช้งานในพื้นที่จริง การทดลองได้ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ของการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 การทดลองวัดอัตราการไหลของน้ำตามความเข้มแสงอาทิตย์ในห้องปฏิบัติการ

มีวัตถุประสงค์การทดลองเพื่อ 1) วัดอัตราการไหลของน้ำที่ได้จากปั๊มเทียบกับค่าที่ระบุบน Nameplate โดยนำค่าการสูญเสียความดันที่เกิดจากวาล์วน้ำท่อพีวีซี และสายยาง มาคิดร่วมด้วย 2) บันทึกค่ากำลังไฟฟ้า กระแสและแรงดันที่แสดงบนจอแสดงผลของกล่องควบคุมปั๊มตามความเข้มแสงอาทิตย์เป็นตัวแปรต้น ดำเนินการทดลองภายใต้ความเข้มแสงอาทิตย์ 3 ค่า ได้แก่ 1,000 600 และ 200 วัตต์/ตารางเมตร (โดยประมาณ) ทดลองและบันทึกค่าซ้ำ 3 ครั้ง ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 10

ผลการทดลองพบว่า เมื่อค่าความเข้มแสงอาทิตย์ 1,000 วัตต์/ตารางเมตร กำลังไฟฟ้าที่แสดงบนหน้าปัดของกล่องควบคุมปั๊มมีค่าเฉลี่ย 711 วัตต์ ปั๊มให้อัตราการไหล ประมาณ 56 ลิตร/นาที่ เมื่อค่า



รูปที่ 10 อัตราการไหลผ่านวาล์วน้ำแต่ละตัว

ความเข้มแสงลดลงเหลือ 600 วัตต์/ตารางเมตร และ 200 วัตต์/ตารางเมตร ได้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 412 และ 144 วัตต์ อัตราไหลของน้ำ ประมาณ 45 และ 27 ลิตร/นาที ตามลำดับ

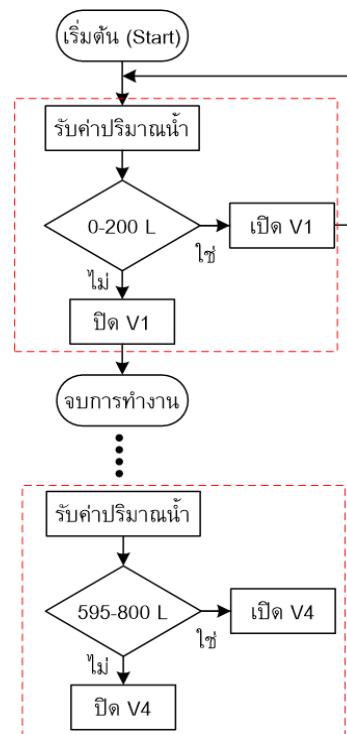
จากรูปที่ 10 เมื่อพิจารณาผลการวัดอัตราการไหลผ่านวาล์วน้ำแต่ละตัวตามความเข้มแสงอาทิตย์ ณ ความเข้มแสง 200 วัตต์/ตารางเมตร ปริมาณน้ำผ่านสปริงเกอร์แต่ละตัวจะมีค่าเพียง 4.5 ลิตร/นาที (27 หารด้วย 6) ซึ่งต่ำกว่าสเปก คือ 9.17 ลิตร/นาที ถึงร้อยละ 50 จึงอาจไม่พอต่อการทำงานของสปริงเกอร์

การทดสอบการควบคุมดีซีแลตซิงโซเลนอยด์เพื่อเปิด-ปิดวาล์วน้ำผ่านบอร์ดส่ง-รับสัญญาณ LoRa พบว่าสามารถควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วตามปริมาณน้ำที่กำหนดสำหรับแต่ละวาล์วหรือแต่ละโซนได้ถูกต้องตามลำดับ ดังนี้

วาล์ว (V1) = 0 – 200 วาล์ว (V2) = 195 – 400

วาล์ว (V3) = 395 – 600 วาล์ว (V4) = 595 – 800
สังเกตว่า วาล์ว 2 ตัวถูกควบคุมให้เปิดน้ำพร้อมกันระหว่างช่วงรอยต่อของปริมาณน้ำที่กำหนดไว้สำหรับแต่ละโซน เพื่อป้องกันไม่ให้ความดันช่วงเปลี่ยนสถานะ

ของวาล์วน้ำสูงเกินไป รายละเอียดแสดงผังงาน (Flowchart) รูปที่ 11 ซึ่งรองรับเฉพาะการเปลี่ยนโซนอัตโนมัติ



รูปที่ 11 ผังงานการเปิด-ปิดวาล์วน้ำ



ส่วนการทดสอบระยะเวลาที่แบตเตอรี่ 9 โวลต์สามารถจ่ายกระแสเลี้ยงอุปกรณ์ในภาครับ LoRa และวงจรควบคุมวาล์วน้ำได้ประมาณ 12 ชั่วโมง ใกล้เคียงกับประมาณการ 11 ชั่วโมง ที่แสดงในหัวข้อ 2.4

3.2 การประกอบติดตั้งอุปกรณ์ระบบรดน้ำสำหรับทดสอบ ณ พื้นที่ปลูกผัก ตำบลพุดซา

จัดวางอุปกรณ์ต่างๆ ตามรูปที่ 14 โดยวัดปริมาณน้ำด้วยตัวรับรู้อัตราการไหลรุ่น YF-ND50 ซึ่งไม่สามารถหาข้อมูลการสูญเสียความดันของน้ำที่ไหลผ่านตัววัดได้วิเคราะห์ข้อมูลที่เผยแพร่สำหรับมิเตอร์น้ำขนาดต่างๆ ของผู้ผลิต Rainbird [13] ที่มีโครงสร้างหลักการทำงานเหมือนกับ YF-ND50 ประกอบกับข้อมูลที่เผยแพร่สำหรับมิเตอร์ รุ่น HC-150-FLOW และ HC-200-FLOW ของผู้ผลิต Hunter เมื่อพิจารณาอัตราการไหล 54-58 ลิตร/นาที ค่าสูญเสียความดันของตัวรับรู้อัตราการไหล รุ่น YF-ND50 มีค่าน้อยมากจึงตัดทิ้งได้

รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราการไหล กับ Total Dynamic Head (TDH) ของปั๊มที่มีหน่วยเป็นเมตร ที่ระบุค่าบน Nameplate โดยมีสมการความสัมพันธ์ระหว่าง Head (H) กับ Flow rate (Q) คือ

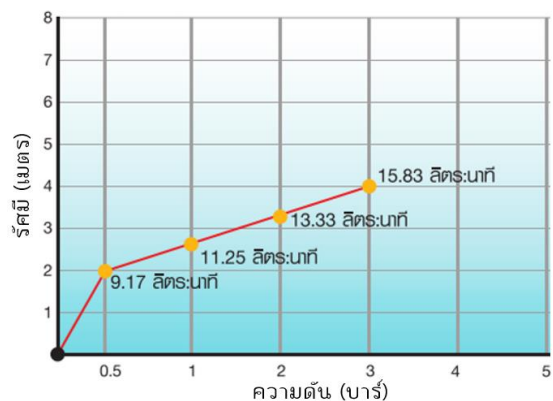
$$H = -0.0015 \cdot Q^2 - 1.4478 \cdot Q + 96.87$$

เมื่อ แทน Q เท่ากับ 54 ลิตร/นาที ซึ่งเป็นอัตราการไหลต่ำสุดสำหรับสปริงเกลอร์ 6 ตัวๆ ละ 9 ลิตร/นาที ส่งผลให้ $H = (-4.37 - 78.18 + 96.87) = 14.31$ เมตร ซึ่งใช้เพื่อออกแบบระบบท่อและสปริงเกลอร์

ด้วยปัจจัยแหล่งจำหน่ายที่ส่งผลต่อการจัดหา-จัดซื้อ ท่อน้ำที่เลือกใช้ใน ระบบ สปริงเกลอร์ ประกอบด้วยสายยางขนาด 1 นิ้ว ร่วมกับท่อและข้อต่อพีวีซีตามมาตรฐาน มอก. 17-2561 ซึ่งเป็นท่อสำหรับ



รูปที่ 12 Nameplate ของปั๊มชนิดขับเคลื่อนด้วยแบตเตอรี่



รูปที่ 13 คุณลักษณะของสปริงเกลอร์ รุ่น 303-C1

ระบบประปาในครัวเรือน แทนการใช้ท่อพีวีซีสี่เหลี่ยมสำหรับภาคเกษตรโดยตรง ในการหาค่าสูญเสียความดันในระบบสปริงเกลอร์ที่เกิดจากท่อและสายยางได้อ้างอิงโนโมกราฟที่สร้างจากสูตรของ Hazen-Williams ที่เผยแพร่โดยผู้ผลิตท่อน้ำในประเทศรายใหญ่ [14] ส่วนสายยางใช้ข้อมูลที่เผยแพร่โดย Dultmeier [15] ดังผลในตารางที่ 3 โดยแสดงตัวอย่างการประมาณค่าความดันสูญเสียในท่อเมนย่อยขนาด 1 นิ้ว ความยาว 10 เมตร (5 ช่วงๆ ละ 2 เมตร) โดยแสดงค่าในวงเล็บปีกกา “{ }” ที่กันด้วยเครื่องหมาย “|” เรียงลำดับ ดังนี้ “{อัตราการไหลลิตรต่อนาที | ค่าความดันสูญเสียต่อความยาวท่อ 100 เมตร | ค่าความดันสูญเสียในท่อยาว 2 เมตร}” ซึ่งผลการคำนวณในแต่ละช่วงของท่อ ได้แก่



ช่วงที่ 1 {45|5.68|0.114} ช่วงที่ 2 {36|2.72|0.054} ช่วงที่ 3 {27|1.60|0.032} ช่วงที่ 4 {18|0.78|0.016} และ ช่วงที่ 5 {9| 0.25|0.005} ผลรวมความดันสูญเสีย (0.114+ 0.054+ 0.032+ 0.016+ 0.005) ประมาณ 0.22 เมตร ส่วนสายยางขนาด 1 นิ้ว ยาว 5.8 ม. ความดันสูญเสีย เมื่ออัตราการไหล 54 ลิตร/นาที ประมาณ 6.78 PSI ต่อ 100 ฟุต แปลงเป็น 0.27 เมตร

เงื่อนไข การคำนวณ

- 1) เสดความดัน (Pressure Head) ที่สปริงเกอร์ รุ่น 303-C1 ใช้เพื่อกระจายน้ำ 9 ลิตร/นาที ประมาณ 0.5 บาร์ หรือ 7.25 PSI ดังรูปที่ 13
- 2) ค่า TDH ของปั๊ม 14.31 เมตร เมื่ออัตราการไหล ประมาณ 54 ลิตร/นาที
- 3) สภาพจริงของแปลงทดสอบรดน้ำผัก ส่งผลให้สามารถละเลยค่า Elevation Head
- 4) ไม่นำ Velocity Head ในระบบท่อมาคิด

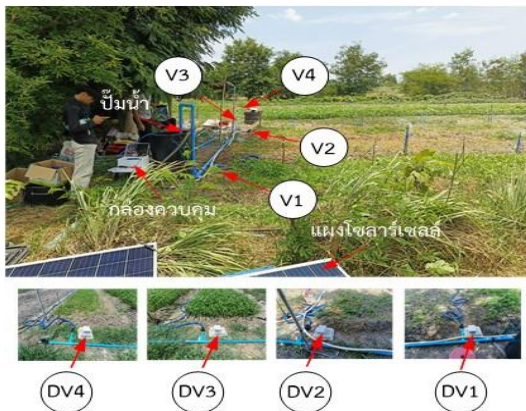
ตารางที่ 3 ค่าความดันสูญเสียในระบบสปริงเกอร์

ส่วนประกอบ	ตำแหน่งสปริงเกอร์	
	ใกล้ที่สุด	ไกลที่สุด
ท่อเมน (Main Line) 1.25" (7.5 ม.)	ตัดทิ้ง	0.14 ม.
ท่อเมนย่อย (Lateral Line) 1" (รวม 10ม.)	0.22 ม.	0.22 ม.
วาล์วน้ำ	4.30 ม.	4.30 ม.
ตัวรับรู้อัตราการไหล	ตัดทิ้ง	ตัดทิ้ง
ข้อต่อต่างๆ	0.07 ม.	0.21ม.
สายยาง 1" (ยาว 5.8 ม.)	0.27 ม.	0.27 ม.
ผลรวมความดันสูญเสีย	4.86 ม.	5.14 ม.
ความดันน้ำด้านเข้าสปริงเกอร์ (อย่างต่ำ 0.5 บาร์)	9.45ม. = 0.93 บาร์	9.17ม. = 0.90 บาร์

3.3 การทดสอบระบบรดน้ำผักในพื้นที่ปลูกผักจริง ณ ตำบลพุดซา

จัดวางอุปกรณ์ดังรูปที่ 14 ใช้วิธีเติมน้ำใส่ถังพักน้ำ ที่วางในระดับเดียวกับระบบสปริงเกอร์ และจุ่มปั๊มน้ำลงในถังพัก ต่อตัวรับรู้อัตราการไหลของน้ำเข้ากับท่อเมนขนาด 1.25 นิ้ว และแยกเป็นโซนโดยต่อวาล์วน้ำขนาด 1 นิ้วแยกจากท่อเมนจำนวน 4 ตัว มีบอร์ดควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วน้ำ (DV1 ถึง DV4) ต่อกับท่อเมนย่อยขนาด 1 นิ้ว ของแต่ละโซน ซึ่งติดตั้งสปริงเกอร์จำนวน 6 ตัว โดยต่อแยกจากท่อเมนย่อยด้วยท่อขนาด 1/2 นิ้ว ยาว 60 เซนติเมตร แต่ละตัวห่างกัน 2 เมตร แต่ละแถวห่างกันประมาณ 2 เมตร ซึ่งทำให้ได้รูปร่างพื้นที่การให้น้ำเป็นรูปสี่เหลี่ยม

ดำเนินการวัดปริมาณน้ำผ่านสปริงเกอร์ตำแหน่งที่อยู่ใกล้ปั๊มน้ำ และ ตำแหน่งที่อยู่ไกลที่สุด โดยใช้มิเตอร์น้ำซึ่งถูกติดตั้งในแนวตั้ง ดังรูปที่ 15



รูปที่ 14 การทดลองการควบคุมสปริงเกลอร์
แต่ละโซนในพื้นที่จริง

ส่วนผลการทดลองวัดปริมาณน้ำผ่านสปริงเกลอร์ของแต่ละโซนด้วยมิเตอร์น้ำ ในระยะเวลา 5 นาที เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ 1,000 วัตต์/ตารางเมตร พบว่าได้ค่าปริมาณน้ำประมาณ 41-43 ลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันทั้งโซนที่ 1 และโซนที่ 4 ทั้งสปริงเกลอร์ตัวแรกและตัวท้ายของแต่ละโซน เมื่อวิเคราะห์ผลทดสอบเทียบกับการออกแบบ สาเหตุที่ปริมาณน้ำได้ต่ำกว่าค่าที่ออกแบบ คือ 45 ลิตรในระยะเวลา 5 นาที (9 ลิตร/นาที) อาจเนื่องมาจาก การวางมิเตอร์น้ำที่ถูกออกแบบให้ใช้งานโดยวางในแนวนอน แต่ถูกติดตั้งในแนวตั้งในการทดสอบ เนื่องจาก ต้องเพิ่มข้อต่อท่อและยากต่อการทำให้แข็งแรงมั่นคง ทั้งนี้ค่าสูญเสียความดันในมิเตอร์น้ำดังแสดงในรูปที่ 16 ในช่วงอัตราการไหลที่ใช้งาน 9 ถึง 16 ลิตร/นาที ซึ่งมีค่าต่ำจึงสามารถตัดทิ้งได้

ในการทดสอบการควบคุมวาล์วน้ำในพื้นที่จริง ได้ลดปริมาณน้ำแต่ละโซนจากเดิมประมาณ 200 ลิตร/โซน เป็น 50 ลิตร/โซน เพื่อลดเวลาในการรอการเปลี่ยนโซน

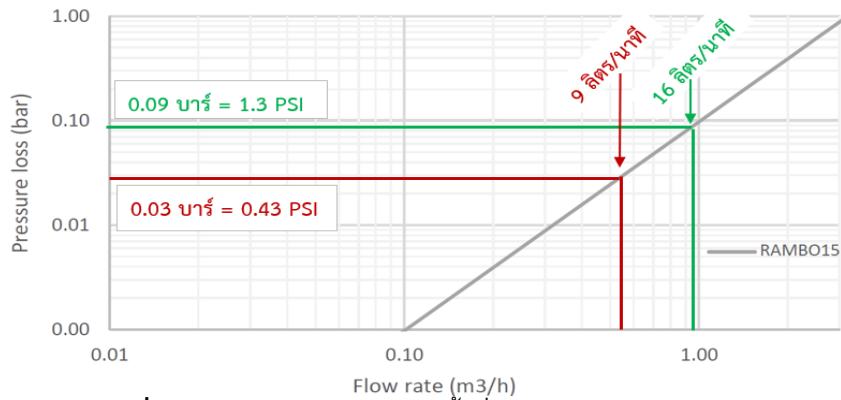


รูปที่ 15 การวัดปริมาณน้ำ
สปริงเกลอร์แถวที่ 1

รูปที่ 17 แสดงผลการวัดรัศมีการกระจายน้ำผ่านวาล์วน้ำแต่ละโซนตามความเข้มแสงอาทิตย์พบว่า เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ 1,000 วัตต์/ตารางเมตร มีค่ามากที่สุดที่ 320 เซนติเมตร และต่ำสุดที่ 55 เซนติเมตร แต่มีลักษณะการกระจายของน้ำไม่สม่ำเสมอ เมื่อความเข้มแสง 200 วัตต์/ตารางเมตร

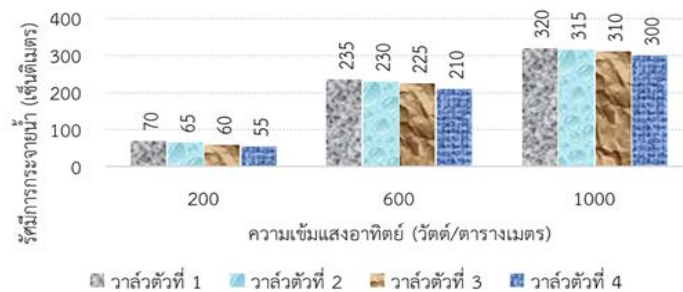
ผลการทดลองระยะทางในการควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วน้ำเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ในการรดน้ำผักได้ไม่น้อยกว่า 1 ไร่ ทำการทดลองโดยใช้บอร์ดส่งที่ต่อกับตัวรับรู้อัตราการไหลและเครื่องรับสัญญาณ LoRa และวงจรต่างๆ ที่ใช้ควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วน้ำจำนวน 1 ชุด โดยได้ใช้วิธีวางเครื่องส่งอยู่กับที่และวางเครื่องรับตามแนวขอบเขต จำนวน 4 ตำแหน่งครอบคลุมพื้นที่ 2 ไร่ 2 งาน (ใช้ App Ling บนไอแพดในการวัดพื้นที่) ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์การทดลองแสดงดังรูปที่ 18 ผลทดสอบการรับ-ส่งสัญญาณควบคุมวาล์วน้ำครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่า 2 ไร่

Pressure loss graph



รูปที่ 16 แสดงค่าสูญเสียความดันน้ำที่ผ่านมิเตอร์ รุ่น RAMBO15

การทำงานของหัวสปริงเกอร์เทียบกับความเข้มแสงอาทิตย์



รูปที่ 17 รัศมีการกระจายน้ำผ่านวาล์วแต่ละตัว



รูปที่ 18 การจัดวางการทดลองระยะรับส่งสัญญาณควบคุมวาล์วน้ำ



4. บทสรุป

ระบบรดน้ำอัตโนมัติด้วยการแบ่งรดทีละส่วนโดยใช้ปั๊มน้ำโซลาร์เซลล์กำลัง 750 วัตต์ (สูบน้ำได้สูงสุด 3,780 ลิตร/ชั่วโมง เฮดสูงสุด 95 เมตร เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ 1,000 วัตต์/ตารางเมตร ใช้เพิ่มความดันให้เพียงพอสำหรับสปริงเกอร์ ที่ต้องการน้ำ 9 ลิตร/นาที่ (ความดัน 0.5 บาร์) ได้ 6 ตัว รัศมีการกระจายน้ำแต่ละตัวประมาณ 320 เซนติเมตร เมื่อสปริงเกอร์แต่ละตัวถูกติดตั้งห่างกัน 4 เมตร ซึ่งเป็น 2 เท่าของรัศมีการกระจายน้ำตามแนวทางที่เกษตรกรปฏิบัติกันทั่วไป ครอบคลุมพื้นที่ 96 ตารางเมตร/โซน โดยอัตราการให้น้ำอยู่ระหว่าง 42 ถึง 54 ลิตร/นาที่ ในช่วงความเข้มแสงอาทิตย์ 600 ถึง 1000 วัตต์/ตารางเมตร ระบบรดน้ำผักด้วยสปริงเกอร์ 4 โซน ครอบคลุมพื้นที่ 384 ตารางเมตร และสามารถขยายพื้นที่ได้โดยเพิ่มจำนวนวาล์วและอุปกรณ์แต่ละโซน โดยระบบปั๊มน้ำและระบบควบคุมหลักยังคงเดิม โดยมีความต้องการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ในโหมดพลังงานต่ำและสามารถประมวลผลและแสดงผลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อ่านได้จากตัวรับรู้ มาใช้เป็นเงื่อนไขในการทำงานของระบบโดยอัตโนมัติมากขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ประจำปีงบประมาณ 2566

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] <https://www.nectec.or.th/en/innovation/product-innovation/faarmseries.html>. (Accessed on 15 June 2024)
- [2] S. Tadsuan and P. Taerakul, Increasing yield and reducing the cost of cultivation of asparagus with the internet of things, The Journal of Industrial Technology, 2022, 18(3), 70-88. (in Thai)
- [3] M.Z.S. Hadi, D.A. Altarin and M. Yuliana, Smart agriculture system design to realize food sustainability based on LoRa Communication, IEEE International Conference on Communication, Networks and Satellite (COMNETSAT), Proceeding, 2023, 591-596.
- [4] J.M. Manzano, J. Bareiro, G.B. Cáceres, J.R. Salvador and P. Millán, Irrigation control by mimicry, IFAC PapersOnLine, 2022, 55(32), 147-152.
- [5] H. Zhang, H. Long, F.D. Gioia, D. Choi, A. Elia and P. Heinemann, LoRaWAN based internet of things (IoT) system for precision irrigation in plasticulture fresh-market tomato, Smart Agricultural Technology, 2022, 2(1), 100053.
- [6] M. Usmonov and F. Gregoretti, Design and implementation of a LoRa based wireless control for drip irrigation systems, Shanghai: 2nd International Conference on Robotics and Automation Engineering (ICRAE), Proceeding, 2017, 248-253.



- [7] S. Ngonchaiyaphum and S. Chuannok, Using tiny PV for designing module for switching loads to PV Panel when Solar Irradiance is Enough, The 43th Electrical Engineering Conference (EECON-43), Proceeding, 2020, 537-540. (in Thai)
- [8] S. Ngonchaiyaphum and S. Chuannok, Electric supply switching system for operating solar pump set stably enough for deploying in village water supply system, The 45th Electrical Engineering Conference (EECON-45), Proceeding, 2022, 408-411. (in Thai)
- [9] S. Ngonchaiyaphum and S. Chuannok, Solar water pump power source switching monitoring system via LoRa network, The 45th Electrical Engineering Conference (EECON-45), Proceeding, 2022, 342-345. (in Thai)
- [10] V. Viswanatha, A.C. Ramachandra, R.R.S. Venkata, P.K. Ashwini, R.M. Srinivasa and M.B. Sathisha, Implementation of IoT in Agriculture: A Scientific Approach for Smart Irrigation, 2022 IEEE 2nd Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon), Proceeding, 2022, 1-6.
- [11] M. Balakrishnan and N.K. Navaneeth, Detection of plunger movement in DC solenoids, Texas Instruments, 2015, SSIY001.
- [12] <https://www.rainbird.com/sites/default/files/media/documents/2022-02/2022-02-16-d42076-pga-series-technical-spec.pdf>. (Accessed on 16 October 2024)
- [13] https://www.rainbird.com/sites/default/files/media/documents/2018-01/ref_PressureLossThroughWaterMeters.pdf. (Accessed on 18 October 2024)
- [14] <https://thaipipe.co.th/demos/product/content-01/01/pic-b/04.pdf>. (Accessed on 25 October 2024)
- [15] <https://assets.dultmeier.com/assets/pdfs/tech-library/02Water8.pdf>. (Accessed 25 October 2024)