

การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับระบบฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน

Development of Algorithm for Smart Cricket Farms with Deep Sleep Mode

เอกรัฐ ชะอู่มเอียด¹ สิทธิพงษ์ เพ็งประเดิม² และ เดือนแรม แพงเกี้ยว^{1*}

Accarat Chaoumead¹, Sittipong Pengpraderm² and Duanraem Phaengkiao^{1*}

Received: 30 June 2022, Revised: 25 June 2023, Accepted: 7 July 2023

บทคัดย่อ

นวัตกรรมการฟาร์มอัจฉริยะเป็นนวัตกรรมที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับงานด้านการเกษตรสมัยใหม่มากขึ้น เนื่องจากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านการผลิต ลดต้นทุน และการควบคุมคุณภาพการผลิต ใช้สำหรับการตรวจสอบข้อมูลและควบคุมสถานะแวดล้อมที่เป็นตัวแปรสำคัญในการเพาะปลูกพืช การใช้งานลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างมาก เนื่องจากระบบควบคุมฟาร์มอุปกรณ์ถูกใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมที่สามารถลดการพลังงานไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 สำหรับใช้งานในระบบสมาร์ทฟาร์ม โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มอุปกรณ์จากระบบสมาร์ทฟาร์มเดิม ใช้วิธีการปรับปรุงชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของเอาต์พุตจากระบบฟาร์มอัจฉริยะเดิมด้วยอัลกอริทึมตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของอินพุต ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ตามช่วงเวลาในแต่ละฤดูกาลร่วมกับโหมดประหยัดพลังงาน (Deep Sleep Mode; DSM) นอกจากนั้นยังออกแบบให้สามารถทำงานร่วมกับระบบฐานข้อมูลและแสดงผลผ่านหน้าเว็บเบราว์เซอร์ผ่านเครือข่ายไร้สาย เพื่อตรวจสอบการทำงานแบบเรียลไทม์ จากผลการทดสอบเปรียบเทียบด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างระบบฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปกับระบบสมาร์ทฟาร์มที่พัฒนาขึ้นระยะเวลา 40 วัน กรณีศึกษาเลี้ยงจิ้งหรีด พบว่า ระบบสมาร์ทฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 42.25 kWh และระบบสมาร์ทฟาร์มที่พัฒนาขึ้นใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 21.04 kWh ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบสมาร์ทฟาร์มที่พัฒนาขึ้นลดลง 21.21 kWh เมื่อเทียบกับสมาร์ทฟาร์มเดิมคิดเป็นร้อยละ 50.20 และการเจริญเติบโตของจิ้งหรีดที่เลี้ยงในทั้งสองระบบมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นเมื่อนำไปใช้ควบคุมการทำงานของระบบสมาร์ทฟาร์มสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ฟาร์มอัจฉริยะ, ประหยัดพลังงาน, อัลกอริทึม, โหมดประหยัดพลังงาน

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิชญ์โลก อำเภอเมืองพิชญ์โลก จังหวัดพิชญ์โลก 65000

¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok, Muang Phitsanulok, Phitsanulok 65000, Thailand.

² สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ดาก อำเภอเมือง จังหวัดดาก 63000

² Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Muang, Tak 63000, Thailand.

* ผู้รับผิดชอบประสานงาน ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail): duanraem@rmutl.ac.th, duanraemp@gmail.com

ABSTRACT

Smart farming is an agricultural innovation that has been increasingly applied to modern agriculture because it can increase production efficiency, reduce costs, and control production quality. It can also be used for monitoring environmental control data which is an important variable in plant cultivation. Since the control system is operated 24 hours a day, such applications consume a lot of electricity. Therefore, this research aimed to develop an algorithm that could reduce power consumption by at least 20% for use in a smart farm system without changing or adding equipment from the original smart farm. An improved algorithm was used to control the output from the original smart farm system with an algorithm to monitor changes in inputs such as temperature and humidity over time in each season, in combination with Deep Sleep Mode (DSM). In addition, it was designed to be compatible with database systems and to display web pages through a wireless network browser to monitor the operation in real time. From a 40-day comparative test on electricity usage between the original smart farm system and the developed smart farm system, it was found that the original smart farm system consumed 42.25 kWh of electricity and the proposed smart farm system consumed 21.04 kWh. The electric power consumption of the developed smart farms system decreased by 21.21 kWh, representing a 50.20% reduction compared to the original smart farms system. In addition, crickets raised in both systems showed similar growth. Therefore, it can be concluded that the algorithm developed, when applied to control the operation of the smart farm system, can effectively reduce electricity consumption.

Key words: smart farm, energy saving, algorithm, deep sleep mode (DSM)

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์เทคโนโลยีการสื่อสาร โทรคมนาคมและเครือข่ายคอมพิวเตอร์มีความเจริญก้าวหน้าไปมาก รวมถึงมีการใช้งานเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายอย่างแพร่หลาย และมีการประยุกต์ใช้งานด้านการเกษตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งการนำเครือข่ายไร้สายมาประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบสภาพแวดล้อม อาทิ อุณหภูมิ ความชื้น สัมพัทธ์ ปริมาณแสง ความร้อน ฯลฯ ซึ่งทำให้การตรวจสอบสภาพแวดล้อมมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Zhang *et al.*, 2002; Lakshmisudha *et al.*, 2016; Ahmed *et al.*, 2018; Thongpan and Therengphak, 2020) วิทยาการของการสื่อสารไร้สายถูกรวมเข้ากับ

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เน้นการลดต้นทุนของอุปกรณ์ให้มีต้นทุนต่ำลง ขนาดเล็กลง และใช้พลังงานต่ำ ระบบฟาร์มอัจฉริยะเป็นหนึ่งในนวัตกรรมทางการเกษตรที่ประยุกต์และบูรณาการหลายศาสตร์ร่วมกันอย่างเป็นระบบเพื่อนำไปใช้งานในภาคเกษตรกรรมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในด้านการลดต้นทุน การเพิ่มผลผลิต และเพิ่มศักยภาพด้านการควบคุมคุณภาพการผลิต ใช้สำหรับการตรวจสอบข้อมูลและควบคุมสถานะแวดล้อมที่เป็นตัวแปรสำคัญในการเพาะปลูกพืช การเลี้ยงสัตว์ หรือฟาร์มอัจฉริยะอื่น ๆ การใช้พลังงานไฟฟ้าในการควบคุมฟาร์มแบ่งการใช้พลังงานเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของอุปกรณ์อินพุต อุปกรณ์เอาต์พุตและส่วนของชุด

ประมวลผล การใช้งานลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างมาก เนื่องจากอุปกรณ์ในระบบควบคุมถูกใช้งานตลอด 24 ชั่วโมง (Jeepet and Sudharatna, 2017; Boonchieng *et al.*, 2018; Kanjanawanishkul *et al.*, 2020) ที่ผ่านมามีการใช้วิธีการที่หลากหลายสำหรับการจัดการฟาร์มอัจฉริยะเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ส่วนใหญ่เน้นการติดตามการทำงานและปรากฏการณ์ทางกายภาพ (Namhormchan and Muangchan, 2020) เช่น การลดใช้พลังงานของโรงเรือนเพาะปลูกพืชระบบปิดด้วยเทคนิคทางความเย็นและการออกแบบอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการใช้งานในโรงเรือนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพด้านพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Tudose *et al.*, 2016; Xu *et al.*, 2017) การควบคุมการรับค่าของเซนเซอร์ด้วยวิธีการกำหนดค่าของ duty cycle สำหรับอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน และการควบคุมการทำงานด้วยโหมดประหยัดพลังงาน (Deep Sleep Mode; DSM) เป็นรูปแบบการควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบควบคุมที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ โดยมีเพียงส่วนของนาฬิกาแบบเรียลไทม์ (Real Time Clock; RTC) เท่านั้นที่ใช้พลังงาน (Doshi *et al.*, 2019) ซึ่งการใช้โหมดประหยัดพลังงานสำหรับการอ่านค่าสภาพแวดล้อมในฟาร์มของแต่ละช่วงเวลาเพื่อเก็บข้อมูลค่าสภาพแวดล้อมของโรงเรือนและการใช้โหมดทำงานดังกล่าวสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบได้ เนื่องจากการควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยโหมดประหยัดพลังงานจะใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 0.02 mA เท่านั้น ซึ่งระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ปกติจะใช้กระแสไฟฟ้า 120 mA – 170 mA (CircuitDigest, 2019)

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมที่สามารถลดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้งานในระบบฟาร์มอัจฉริยะ ภูมิศึกษาฟาร์มจึงหรีด

โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มอุปกรณ์จากระบบฟาร์มอัจฉริยะเดิม ใช้วิธีการปรับปรุงชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของเอาต์พุตจากระบบฟาร์มอัจฉริยะเดิมด้วยอัลกอริทึมตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของอินพุต ได้แก่ อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ตามช่วงเวลาในแต่ละฤดูกาลร่วมกับโหมดประหยัดพลังงาน ซึ่งทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมสภาพแวดล้อม ค่าพลังงานไฟฟ้าและการเจริญเติบโตของพืชระหว่างระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป (Simple Mode; SM) กับระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน (Deep Sleep Mode; DSM) นอกจากนั้นยังออกแบบให้สามารถทำงานร่วมกับระบบฐานข้อมูลและแสดงผลผ่านหน้าเว็บเบราว์เซอร์ผ่านเครือข่ายไร้สาย เพื่อตรวจสอบสถานะการทำงานและความแม่นยำของระบบฟาร์มอัจฉริยะอีกด้วย

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้นำเสนออัลกอริทึมสำหรับลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในฟาร์มอัจฉริยะ ภูมิศึกษาฟาร์มจึงหรีด โดยมีปัจจัยที่ควบคุมได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ สายพันธุ์พืช ปริมาณน้ำ การทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมสภาพแวดล้อม ค่าพลังงานไฟฟ้าและการเจริญเติบโตของพืชระหว่างระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปกับระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน แสดงรายละเอียดดังนี้

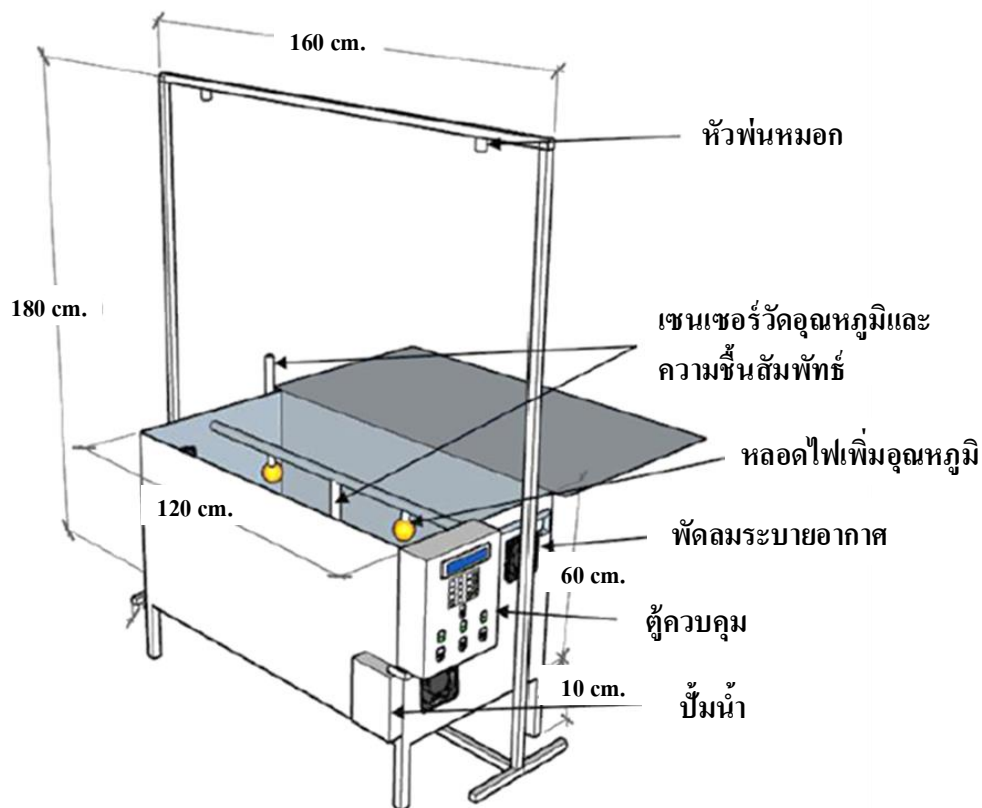
1. ต้นแบบระบบเลี้ยงจึงหรีดในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมจากระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปและทำการทดสอบกับต้นแบบระบบเลี้ยงจึงหรีดขนาดมาตรฐาน 120 x 60 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 1 โดยระบบควบคุมทั้งสองระบบมีอุปกรณ์อินพุตจำนวน 8 อินพุต ประกอบด้วย เซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายใน

ตัวที่ 1 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายในตัวที่ 2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายในตัวที่ 3 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิภายนอก เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในตัวที่ 1 เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในตัวที่ 2 เซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ภายในตัวที่ 3 และเซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์ภายนอก และอุปกรณ์เอาต์พุต จำนวน 3 เอาต์พุต ประกอบด้วย หลอดเพิ่มอุณหภูมิ บั๊มพ่นหมอก และพัดลม แสดงอุปกรณ์รับข้อมูล อุปกรณ์ประมวลผล และอุปกรณ์เอาต์พุตดังตารางที่ 1 โดยทั้งสองระบบกำหนดตัวแปรและเงื่อนไขของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ดังนี้

- อุณหภูมิเฉลี่ยภายในมากกว่า 30 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในน้อยกว่า 50 %RH จะสั่งให้อุปกรณ์เอาต์พุต ได้แก่ พัดลมและบั๊มพ่นหมอกทำงาน เพื่อลดอุณหภูมิและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์

- อุณหภูมิเฉลี่ยภายในน้อยกว่า 25 องศาเซลเซียสและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยภายในมากกว่า 60 %RH จะสั่งให้อุปกรณ์เอาต์พุต ได้แก่ หลอดเพิ่มอุณหภูมิและพัดลมทำงาน เพื่อเพิ่มอุณหภูมิและลดความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 1 ต้นแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป กรณีศึกษา ฟาร์มจิ้งหรีด

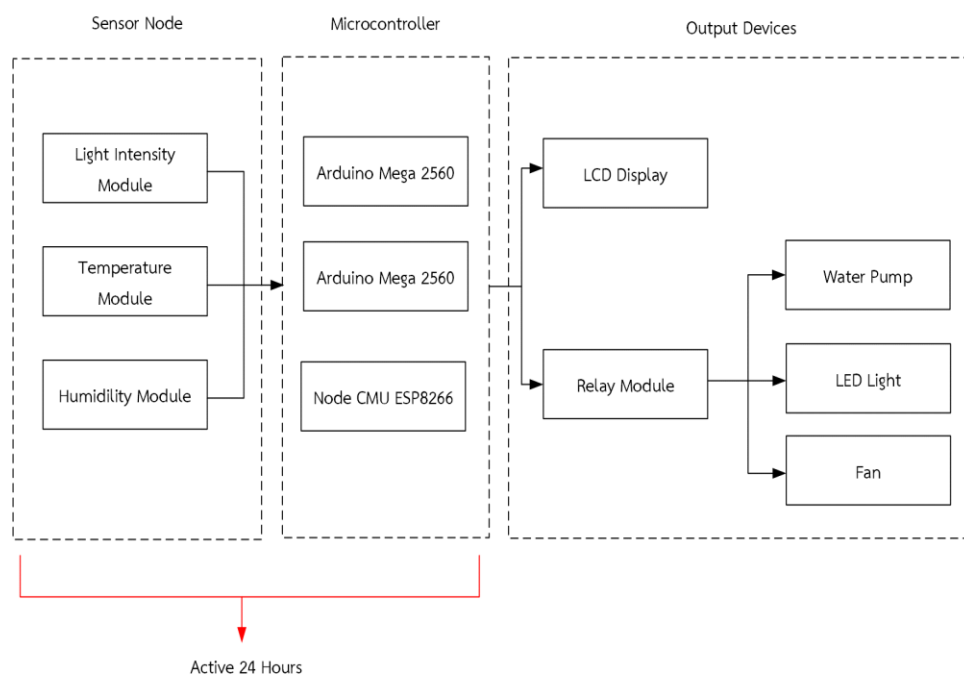
ตารางที่ 1 คุณลักษณะของอุปกรณ์ระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป

อุปกรณ์	คุณลักษณะ
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นรุ่น DHT 22	แรงดันไฟฟ้า 3.3-6 Vdc , กระแสไฟฟ้า 1-1.5 mA ความชื้นสัมพัทธ์ 0-100% RH ($\pm 2\%$ RH) อุณหภูมิอากาศ $-40 - 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)
บอร์ดอาคุยโน้ รุ่น ESP8266 Node MCU V3	ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP-8266 32 bit แรงดันไฟฟ้า 4.5-10 Vdc ADC Range 0-3.3 V
หลอดเซรามิกให้ความร้อน	แรงดันไฟฟ้า 220 Vac, กำลังไฟฟ้า 100 W
พัดลมระบายอากาศ	แรงดันไฟฟ้า 12 Vdc, กระแสไฟฟ้า 100 mA, กำลังไฟฟ้า 1.2 W
ปั้มน้ำ	แรงดันไฟฟ้า 12 Vdc, กระแสไฟฟ้า 5 A, กำลังไฟฟ้า 60 W แรงดันน้ำสูงสุด 8 บาร์

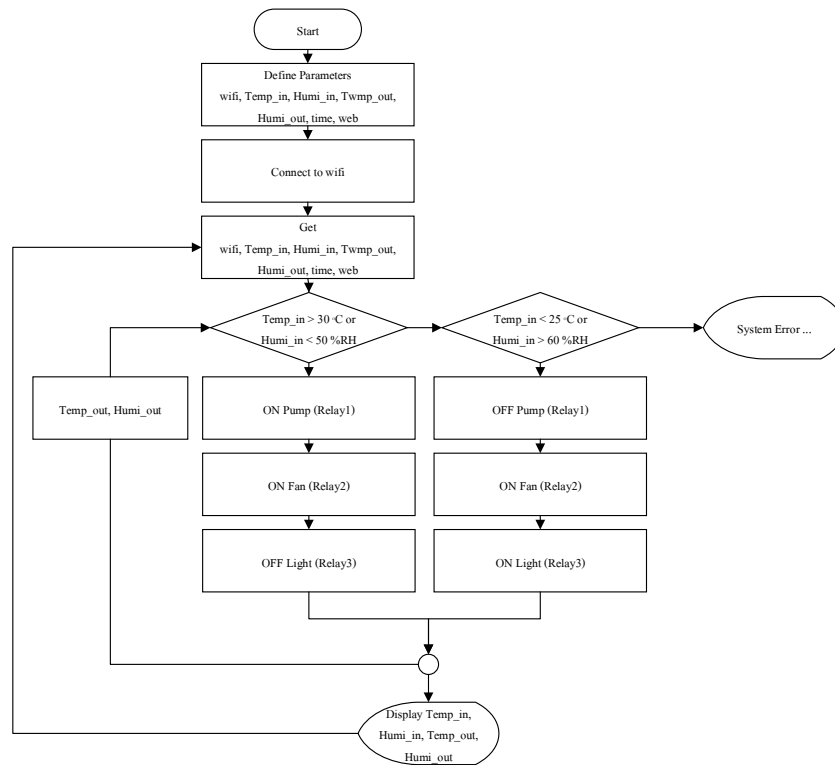
2. อัลกอริทึมของระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป

ระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปแสดงผังการทำงานดังภาพที่ 2 (ก) ซึ่งแบ่งอุปกรณ์เป็น 3 ส่วน ได้แก่ อุปกรณ์รับข้อมูล อุปกรณ์ประมวลผลและอุปกรณ์เอาต์พุต และแผนผังการไหลของอัลกอริทึม

ระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปดังภาพที่ 2 (ข) ซึ่งระบบจะทำงานตลอด 24 ชั่วโมง เพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมภายในตามเงื่อนไขที่กำหนด



(ก) ผังการทำงานการทำงานของระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป



(ข) แผนผังการไหลของอัลกอริทึม

ภาพที่ 2 ระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป กรณีศึกษา ฟาร์มจิ้งหรีด

3. อัลกอริทึมสำหรับระบบฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน

ในส่วนนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงชุดคำสั่งควบคุมการทำงานของเอาต์พุตจากระบบฟาร์มอัจฉริยะเดิมด้วยอัลกอริทึมตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของอินพุต ได้แก่ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ตามช่วงเวลาในแต่ละฤดูกาลร่วมกับโหมดประหยัดพลังงาน (Deep Sleep Mode; DSM) ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนั้นยังออกแบบให้สามารถทำงานร่วมกับระบบฐานข้อมูลและแสดงผลผ่านหน้าเว็บเบราว์เซอร์ผ่านเครือข่ายไร้สาย เพื่อตรวจสอบการทำงานแบบเรียลไทม์ แสดงผังการทำงานดังภาพที่ 3 (ก) และแผนผังการไหลของอัลกอริทึมระบบฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงานดังภาพที่ 3 (ข) โดยทางคณะผู้จัดทำอ้างอิงค่าสภาพแวดล้อมจากเกณฑ์การเลี้ยงจิ้งหรีดอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงจิ้งหรีด คืออุณหภูมิ

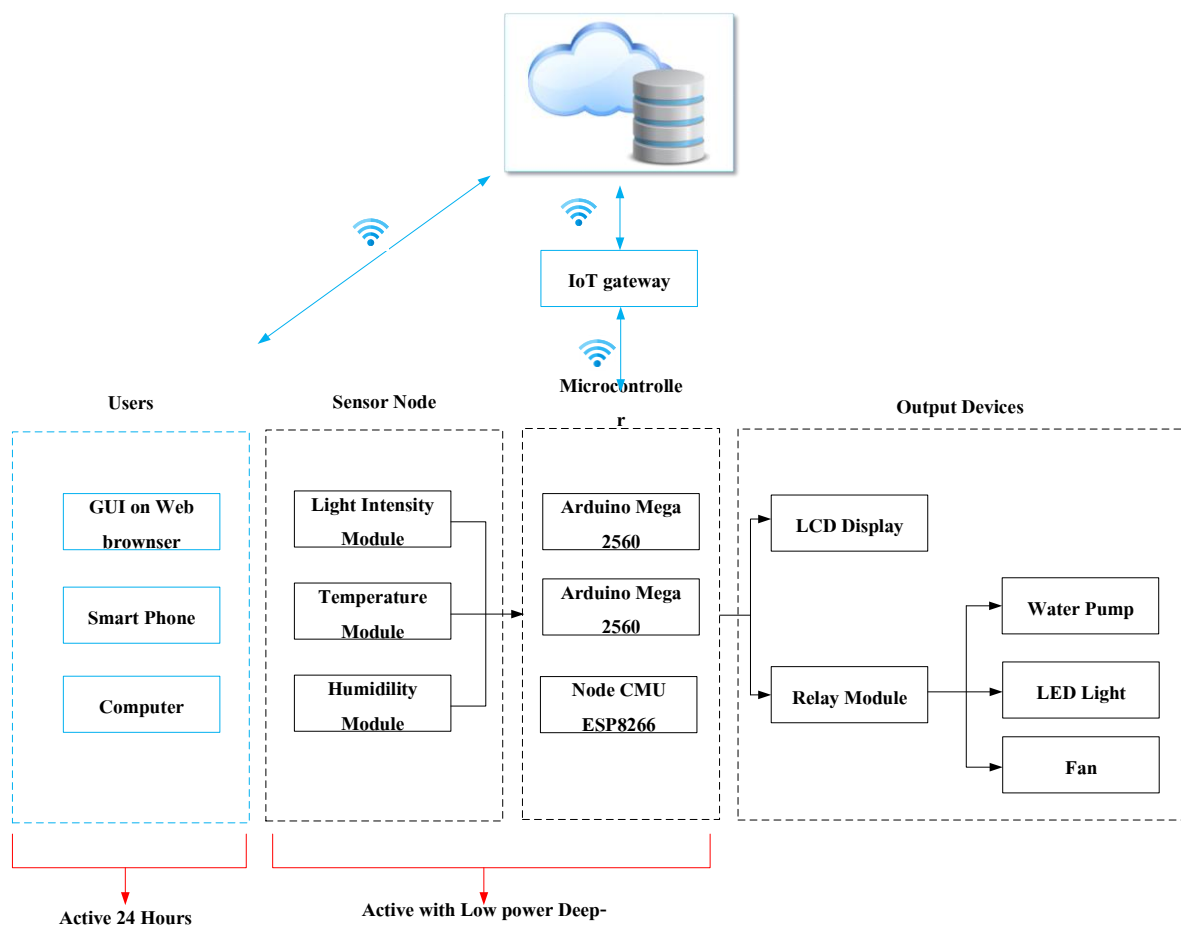
25-30 องศาเซลเซียส ซึ่งจิ้งหรีดจะสามารถกินและวางไข่ได้ หากอุณหภูมิต่ำหรือสูงกว่าข้อมูลข้างต้นจิ้งหรีดจะกินอาหารได้น้อย ซึ่งส่งผลกระทบต่อเจริญเติบโต (Department of Livestock Development, 2021) จากการศึกษาค่าอุณหภูมิและความชื้นย้อนหลังของจังหวัดพิษณุโลกในเดือนตุลาคม ปี 2563 ถึง เดือนตุลาคม ปี 2564 (Meteorological Department, 2021) สามารถสรุปการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ คือ ฤดูร้อนและฤดูหนาวมีการเปลี่ยนแปลงของค่าอุณหภูมิและความชื้นที่อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันมีช่วงเวลาการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไม่เกิน 3 ชั่วโมงต่อวัน ต่างจากฤดูฝนที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกันเกิน 7 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้น จึงพัฒนาอัลกอริทึมส่วนของเงื่อนไขเวลาในการเข้าสู่โหมดประหยัดพลังงาน โดยแบ่งออกเป็น 2 ฤดูกาล ได้แก่ ฤดูร้อนและฤดูฝน แสดงช่วงเวลาดังนี้

ฤดูร้อน :

- เวลา 09.00 - 10.59 น. เข้าสูั่ DSM 30 minutes
- เวลา 11.00 - 13.59 น. เข้าสูั่ DSM 60 minutes
- เวลา 14.00 - 17.59 น. เข้าสูั่ DSM 120 minutes
- เวลา 18.00 - 20.59 น. และ 00.00 - 02.59 น. เข้าสูั่ DSM 150 minutes
- เวลา 21.00 - 23.59 น. และ 03.00 - 08.59 น. เข้าสูั่ DSM 180 minutes

ฤดูฝน :

- เวลา 00.00 - 01.59 น. และ 09.00 - 12.59 น. เข้าสูั่ DSM 60 minutes
- เวลา 02.00 - 08.59 น. และ 13.00 - 23.59 น. เข้าสูั่ DSM 120 minutes



(ก) ผังการทำงานของระบบฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน



(ข) แผนผังการไหลของอัลกอริทึมระบบฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน

ภาพที่ 3 ระบบฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน กรณีศึกษา ฟาร์มจิ้งหรีด

4. การวัดการเจริญเติบโตของจิ้งหรีด

ในงานวิจัยนี้ทำการวัดการเจริญเติบโตของจิ้งหรีดเปรียบเทียบระหว่างระบบฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปกับระบบฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน กรณีฟาร์มเลี้ยงจิ้งหรีด ซึ่งใช้จิ้งหรีดสายพันธุ์ทองดำ และทำการวัดการเจริญเติบโตของจิ้งหรีดเป็นระยะเวลา 40 วัน ดังนี้

- การวัดขนาดตัวจิ้งหรีดด้วยเครื่องวัดคาลิเปอร์ดิจิตอล (Digimatic Caliper) มีค่าความแม่นยำ ± 0.02 mm. สุ่มครั้งละ 27 ตัว แบ่งการวัดขนาดตัวออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 วันที่ 10 ของการเลี้ยง ระยะที่ 2 วันที่ 20 ของการเลี้ยง ระยะที่ 3 วันที่ 30 ของการเลี้ยง และระยะที่ 4 วันที่ 40 ของการเลี้ยง

- การชั่งน้ำหนักตัวจิ้งหรีดด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล รุ่น GR-200 ค่าความผิดพลาด ≤ 0.1 mg สุ่มครั้งละ 27 ตัว แบ่งการวัดขนาดตัวออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 วันที่ 10 ของการเลี้ยง ระยะที่ 2 วันที่ 20 ของการเลี้ยง ระยะที่ 3 วันที่ 30 ของการเลี้ยง และระยะที่ 4 วันที่ 40 ของการเลี้ยง

- การชั่งน้ำหนักรวมของจิ้งหรีด โดยทำการชั่ง ณ วันที่ 40 ของการเลี้ยง



(ก) การติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะ

ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับระบบฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงานที่นำเสนอแบ่งผลการวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมสภาพแวดล้อม ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า และผลการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของจิ้งหรีด ระหว่างระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป (Simple Mode; SM) กับระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน (Deep Sleep Mode; DSM) ซึ่งจากการออกแบบระบบดังกล่าวผู้ใช้งานสามารถติดตามผลจากสภาพแวดล้อมและสามารถตรวจสอบข้อมูลผ่านมือถือสมาร์ทโฟนได้แบบเรียลไทม์บนเว็บไซต์ ThinkSpeak โดยทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 40 วัน ภาพที่ 4(ก) แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั้งสองระบบ และภาพที่ 4(ข) แสดงลักษณะการแสดงผลข้อมูลค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่วัดบน ThinkSpeak โดยสร้างช่องรับค่าเซนเซอร์จาก API keys ของเซนเซอร์วัดค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การเชื่อมต่อเซนเซอร์และระบบแสดงผลข้อมูลออนไลน์บน ThinkSpeak เชื่อมต่อแบบ HTTP การส่งข้อมูลทุก ๆ 10 นาที และแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟเส้น



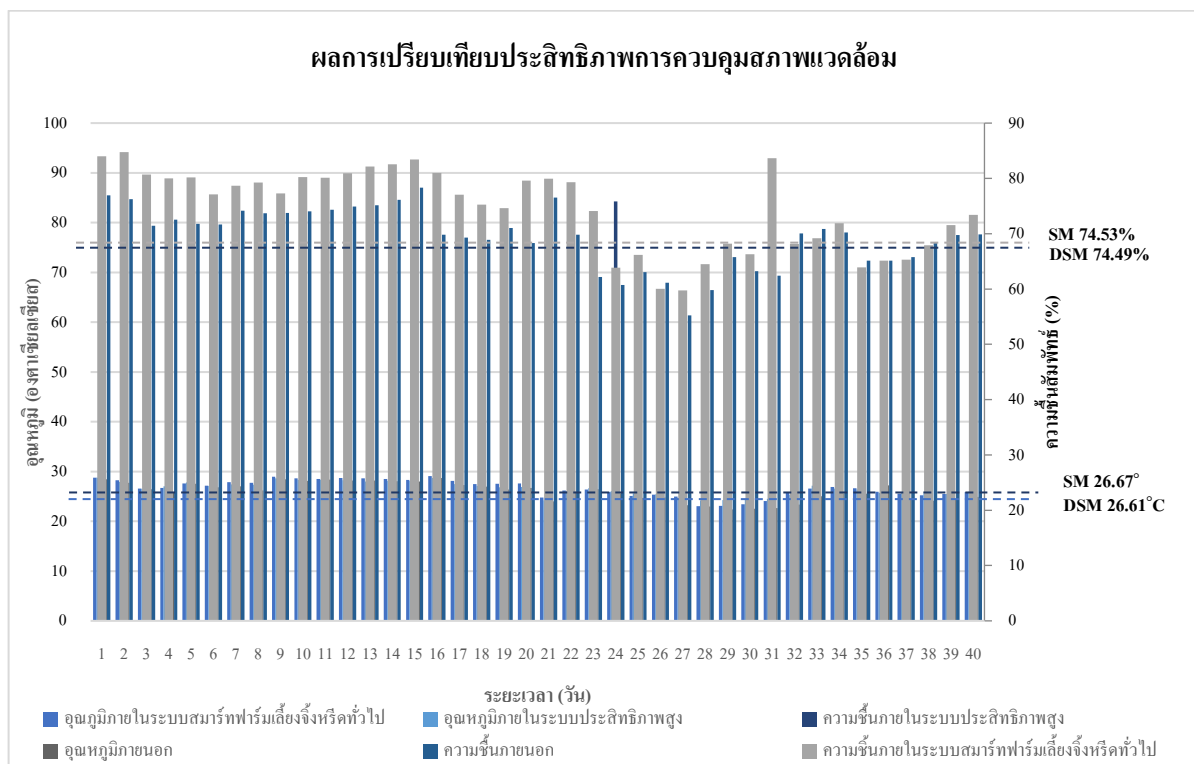
(ข) การแสดงผลข้อมูลออนไลน์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์

ภาพที่ 4 ผลการพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับระบบฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน

1. ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมสภาพแวดล้อม

ในส่วนนี้ทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมสภาพแวดล้อมระหว่างระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป (Simple Mode; SM) กับระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน (Deep Sleep Mode; DSM) ระยะเวลา 40 วัน แสดงผลดังภาพที่ 5 โดยค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในด้วยการควบคุมระบบฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปมีค่าเท่ากับ 26.67 องศาเซลเซียส และ 74.53% ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายในของระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน มีค่าเท่ากับ 26.61 องศาเซลเซียส และ 74.49%

ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองระบบมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกันและเมื่อพิจารณาจากเงื่อนไขที่กำหนดสำหรับการควบคุมสภาพแวดล้อม ภูมิศึกษา ฟาร์มเลี้ยงจิ้งหรีด พบว่าทั้งสองระบบมีประสิทธิภาพสำหรับการควบคุมสภาพแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Antony *et al.* (2020) ซึ่งรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งาน IoT สำหรับการวัดผลในฟาร์ม กรณีของการนำ IoT ที่ประสบความสำเร็จไปใช้ในประเทศต่าง ๆ ซึ่งแสดงถึงความสำเร็จในการนำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมสภาพแวดล้อม เพื่อรักษาอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ปริมาณแสง ฯลฯ ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานหรือลักษณะฟาร์มนั้น ๆ ได้เหมาะสม

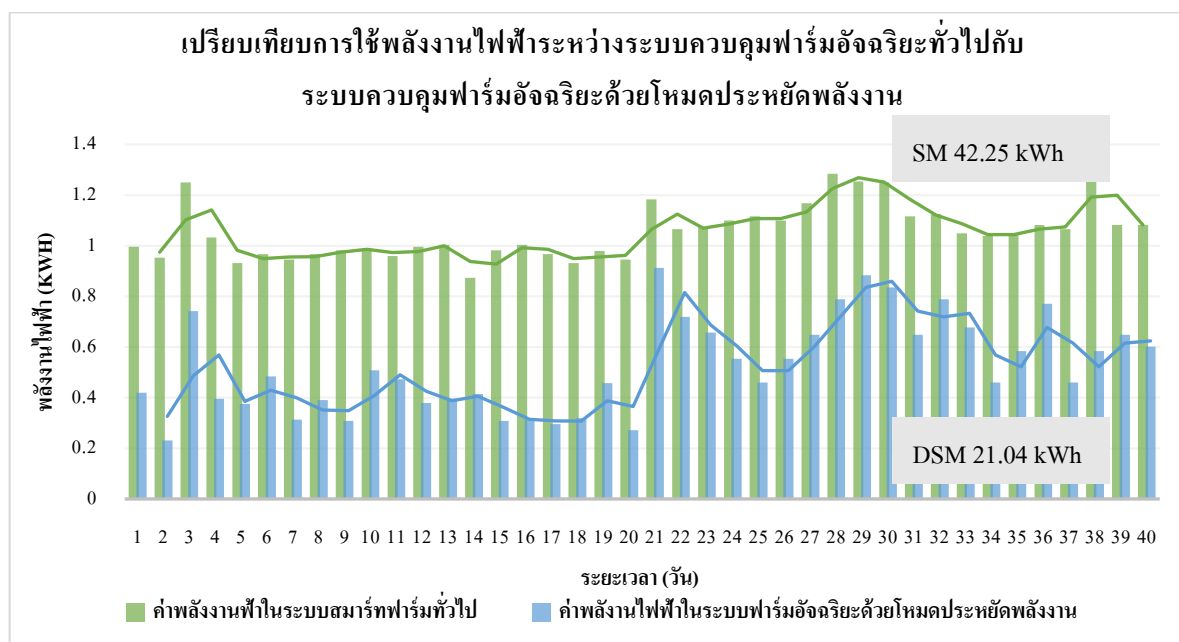


ภาพที่ 5 การควบคุมสภาพแวดล้อมระหว่างระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป (SM) กับระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน (DSM)

2. ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า

จากผลการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปกับระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะที่พัฒนาอัลกอริทึมขึ้นด้วยวัตต์ต่ออวาร์มิเตอร์ (Watt-hour Meter) ความแม่นยำ $\pm 5\%$ ระยะเวลา รวม 40 วัน พบว่า ระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 42.25 kWh และระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะที่พัฒนาอัลกอริทึมขึ้นใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 21.04 kWh และเมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปกับระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน พบว่า ระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงานใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง 21.21 kWh คิดเป็น 50.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบ

ควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าของทั้งสองระบบ ดังภาพที่ 6 ซึ่งผลการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อควบคุมการทำงานด้วยอัลกอริทึมด้วยโหมดประหยัดพลังงานให้ผลสอดคล้องกับงานวิจัยประยุกต์ใช้โหมดประหยัดพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ IoT สำหรับระบบอัตโนมัติในบ้านเพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของการสื่อสารไร้สายและกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ (Kuzminykh *et al.*, 2019) และศึกษาการใช้ RESTful เพื่อส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ไปยัง IoT Ticket และใช้โหมดประหยัดพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากโหมดทำงานดังกล่าวใช้กระแสไฟฟ้าเพียง $20 \mu A$ ซึ่งทำให้สามารถลดการใช้พลังงานจาก 4.5 วัตต์ต่อชั่วโมง เหลือเพียง 0.031 วัตต์ต่อชั่วโมงเท่านั้น (Giang, 2020)



ภาพที่ 6 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป (SM) กับระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน (DSM)

3. ผลการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของจิ้งหรีด

การวัดการเจริญเติบโตของจิ้งหรีดใช้การวัดขนาดและน้ำหนักตัวของจิ้งหรีด ทำการวัดขนาดด้วยเครื่องวัดคาลิเปอร์ดิจิตอล (Digimatic Caliper) มีค่าความแม่นยำ ± 0.02 mm. และชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล รุ่น GR-200 ค่าความผิดพลาด ≤ 0.1 mg ในแต่ละระยะการเจริญเติบโตด้วยวิธีการสุ่ม (Jansom, 2020) เมื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของ

ขนาดตัวจิ้งหรีดและน้ำหนักตัวจิ้งหรีดระหว่างระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปกับระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมคประหยัดพลังงานในแต่ละระยะการเจริญเติบโต ได้แก่ ระยะที่ 1 (วันที่ 0-10) ระยะที่ 2 (วันที่ 11-20) ระยะที่ 3 (วันที่ 21-30) และระยะที่ 4 (วันที่ 31-40) แสดงลักษณะของขนาดตัวและน้ำหนักดังภาพที่ 7 และผลการทดลองดังตารางที่ 2

การสุ่มวัดขนาดตัวของจิ้งหรีดที่เลี้ยงระบบการเพาะเลี้ยง					ช่วงวัย	ระบบฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป (กรัม)	ระบบเลี้ยงจิ้งหรีดแบบประสิทธิภาพสูง (กรัม)		
ช่วงวัย	ระบบฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป (มิลลิเมตร)		ระบบเลี้ยงจิ้งหรีดแบบประสิทธิภาพสูง (มิลลิเมตร)		ช่วงวัย	ระบบฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป (กรัม)		ระบบเลี้ยงจิ้งหรีดแบบประสิทธิภาพสูง (กรัม)	
ระยะ 10 วัน						ระยะ 10 วัน			
ระยะ 20 วัน					ระยะ 20 วัน				
ระยะ 30 วัน					ระยะ 30 วัน				
ระยะ 40 วัน					ระยะ 40 วัน				

ภาพที่ 7 ผลการวัดการเจริญเติบโตของจิ้งหรีดระยะเวลา 40 วัน

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของจิ้งหรีด

ระยะการเจริญเติบโต	ขนาด				ผลต่าง (cm.)	น้ำหนัก				ผลต่าง (cm.)
	ระบบ SM		ระบบ DSM			ระบบ SM		ระบบ DSM		
	(cm.)		(cm.)			(g.)		(g.)		
	$\bar{x}$	<i>S.D.</i>	$\bar{x}$	<i>S.D.</i>		$\bar{x}$	<i>S.D.</i>	$\bar{x}$	<i>S.D.</i>	
ระยะที่ 1	0.59	0.05	0.61	0.05	0.02	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.00
ระยะที่ 2	1.96	0.18	1.99	0.15	0.03	0.30	0.09	0.30	0.08	0.00
ระยะที่ 3	2.79	0.50	2.97	0.43	0.18	0.46	0.20	0.53	0.19	0.07
ระยะที่ 4	3.49	0.42	3.59	0.48	0.10	0.70	0.23	0.72	0.21	0.02

จากผลการสุ่มวัดการเจริญเติบโตของกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 4 ระยะ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการเจริญเติบโตของจิ้งหรีดที่เลี้ยงในระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปกับระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงานมีความต่างของขนาดตัวเฉลี่ย ($\bar{x}$) เท่ากับ 0.02, 0.03, 0.18 และ 0.10 เซนติเมตร ตามลำดับ และมีความต่างของน้ำหนักตัวเฉลี่ย ($\bar{x}$) เท่ากับ 0.00, 0.00, 0.07 และ 0.02 กรัม ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาน้ำหนักรวมของจิ้งหรีดที่เลี้ยงในระบบทั้งสองระบบ พบว่า น้ำหนักรวมของจิ้งหรีดในระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป น้ำหนักรวม 1.98 กิโลกรัม และระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงานน้ำหนักรวม 1.86 กิโลกรัม ซึ่งมีน้ำหนักรวมใกล้เคียงกัน

สรุป

การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับระบบฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน กรณีศึกษาฟาร์มจิ้งหรีด มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป งานวิจัยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการควบคุมสภาพแวดล้อม การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า และการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของจิ้งหรีดระหว่างระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป (Simple Mode; SM) กับระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงาน (Deep Sleep Mode; DSM) ผลการทดสอบประสิทธิภาพการควบคุมสภาพแวดล้อม พบว่า ระบบทั้งสองมีประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ได้ตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบด้านการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่า ระบบฟาร์มอัจฉริยะที่ใช้อัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสามารถลด

การใช้พลังงานไฟฟ้าลง 21.21 kWh คิดเป็น 50.20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าของระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป พลังงานลดลงเนื่องจากในช่วงที่ระบบเข้าสู่การทำงานด้วยโหมดประหยัดพลังงาน นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาการเจริญเติบโตของจิ้งหรีดจากการทดสอบเลี้ยงทั้งหมด 40 วัน ในระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปและระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงานพบว่า ขนาดของจิ้งหรีดของการเลี้ยงทั้งสองระบบมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน และเมื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารวมที่ใช้เลี้ยงจิ้งหรีดต่อน้ำหนักจิ้งหรีดระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไปกับระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงานใช้พลังงานไฟฟ้าต่อกิโลกรัมเท่ากับ 21.34 kWh/kg. และ 11.56 kWh/kg ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อกิโลกรัมแล้ว พบว่า ระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะด้วยโหมดประหยัดพลังงานใช้พลังงานไฟฟ้าต่อกิโลกรัม ลดลง 9.78 kWh/kg คิดเป็น 45.83 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อกิโลกรัมของระบบควบคุมฟาร์มอัจฉริยะทั่วไป ดังนั้น จึงสามารถสรุปได้ว่าอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นเมื่อนำไปใช้ควบคุมการทำงานของระบบฟาร์มอัจฉริยะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับฟาร์มเกษตรอัจฉริยะอื่น ๆ เช่น ฟาร์มเลี้ยงสุกร ฟาร์มเลี้ยงไก่ ฟาร์มปลูกผัก เพื่อลดการใช้พลังงานในระบบฟาร์มอัจฉริยะได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิชญ์ โลก และหน่วยวิจัยเทคโนโลยีและนวัตกรรมการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก
ที่สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ และสถานที่ดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- Ahmed, N., De, D. and Hussain, I. 2018. Internet of Things (IoT) for smart precision agriculture and farming in rural areas. **IEEE Internet of Things Journal** 5(6): 4890-4899.
- Antony, A.P., Leith, K., Jolley, C., Lu, J. and Sweeney, D.J. 2020. A Review of Practice and Implementation of the Internet of Things (IoT) for Smallholder Agriculture. **Sustainability** 12(9): 1-19.
- Boonchieng, E., Chieochan, O. and Soakeaeew, A. 2018. Smart Farm: Applying the use of NodeMCU, IOT, NETPIE and LINE API for a Lingzhi Mushroom Farm in Thailand. **The IEICE Transactions on Communication** 101(B): 16-23.
- CircuitDigest. 2019. **Arduino Sleep Modes and How to use them to Save the Power.** How to use arduino sleep modes. Available Source: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-sleep-modes-and-how-to-use-them-to-reduce-power-consumption>, December 10, 2021.
- Department of Livestock Development. 2021. **The People's Guide to Raising Crickets.** Available Source: <https://region6.dld.go.th/webnew/images/Z016.pdf>, May 29, 2023.
- Doshi, J., Patel, T. and Bharti, S.K. 2019. Smart Farming using IoT, a solution for optimally monitoring farming conditions. **Procedia Computer Science** 160: 746-751.
- Giang, L.T.H. 2020. IoT Ticket Using RESTful. Bachelor of Engineering (Technology and Communication), Vaansan Ammattikorkeakoulu, VAMK University of Applied Sciences.
- Jansom, T. 2020. The Effect of Different Diets on the Growth, Reproductive Rate and Protein Content of the Two-spotted Cricket (*Gryllus bimaculatus* de Geer). Master of Science (Entomology), Kasetsart University.
- Jeepet, S. and Sudharatna, Y. 2017. Industrial 4.0 technology adoption applying to small agriculture farm. Master of Business Administration, Kasetsart University. (in Thai)
- Kanjanawanishkul, K., Kaewsihawong, J., Uttaracha, W. and Yangyuen, S. 2020. Smart Cricket Farming Based on Internet of Things. **Farm Engineering and Automation Technology Journal** 6(2): 98-112. (in Thai)
- Lakshmisudha, K., Hegde, S., Kale, N. and Iyer, S. 2016. Smart Precision Based Agriculture Using Sensors. **International Journal of Computer Applications** 146(11): 36-38.
- Kuzminykh, I., Carlsson, A. and Yevdokymenko, M. 2019. A Performance Evaluation of Sensor Nodes in the Home Automation System based on Arduino, pp. 1-6. **In Problems of Info communications. Science and Technology 2019 International Scientific-Practical Conference.** Kyiv, Ukraine.
- Meteorological Department. 2021. **Agrometeorological Report October 2020.** Weather Report No. 551.586-02-2021. Available Source: <http://www.arcims.tmd.go.th>, October, 20, 2021.

Namhormchan, T. and Muangchan, N. 2020. Energy Conservation in the Closed-System Greenhouse.

EDU Heritage Journal Science and Technology 14(1): 1-13. (in Thai)

Thongpan, N. and Therengphak, T. 2020. Automatic Watering Systems via Wireless Sensor Network. **Journal of Inovative Technology Management Rajabhat Maha Sarakham University** 3(1): 36-43. (in Thai)

Tudose, D. S., Marin, A. and Geanta, M. 2016. Adaptive duty- cycling algorithms for efficient energy harvesting in wireless sensor networks, pp. 1-6. *In 2016 15th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research.* University Politehnica Bucharest, Romania.

Xu, L., O'Hare, G.M.P. and Collier, R. 2017. A smart and balanced energy-efficient multihop clustering algorithm (smart-beem) for mimo iot systems in future networks. **M D P I Sensors (Basel)** 17(7): 1574-1597.

Zhang, N., Wang, M. and Wang, N. 2002. Precision agriculture-a worldwide overview. **Computers and electronics in agriculture** 36 (2-3): 113-132.