การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง และตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อการควบคุมสภาพแวดล้อมในการปลูกสตรอเบอรี

Application of Internet of Things Technology and Fuzzy Logic in Controlling the Environment for Strawberry Cultivation

ปาณิสรา หาดขุนทด[1*], เกศสุดา โภคานิตย์[2] และธนากร แสงกุดเลาะ[3]

Panisara Hadkhuntod[1*], Katesuda Phokanit[2] and Thanakorn Sangkudluo[3]

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม[1*] มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ[2] มหาวิทยาลัยนเรศวร[3]

Pibulsongkram Rajabhat University[1*], Chaiyaphum Rajabhat University[2], Naresuan University[3]

e-mail: Panisara.h@psru.ac.th[1*], Kate_2523@windowslive.com[2], Thanakorns@nu.ac.th[3]

Received: March, 2025; Revised: Auguest 6, 2025; Accepted: Auguest 19, 2025

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง และตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อการควบคุมสภาพแวดล้อมของการปลูกสตรอเบอรี และเปรียบเทียบผลผลิตและการใช้ทรัพยากรระหว่างการปลูกด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นกับการเพาะปลูกแบบดั้งเดิม กลุ่มตัวอย่างแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มทดลองเป็นสตรอเบอรีที่ปลูกโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น และกลุ่มควบคุมเป็น สตรอเบอรีที่ปลูกแบบดั้งเดิม ตัวแปรที่ศึกษา คือ การเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูง ค่าเฉลี่ยความกว้างของทรงพุ่ม ค่าเฉลี่ยจำนวนดอกต่อต้น ค่าเฉลี่ยจำนวนผลต่อต้น และอัตราการให้น้ำ ผลการวิจัยพบว่า ระบบที่พัฒนาประกอบด้วยเซ็นเซอร์เก็บข้อมูล ระบบประมวลผลกลาง อุปกรณ์ควบคุม และระบบแสดงผลผ่านมือถือ สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และต้นสตรอเบอรีในแปลงทดลองมีอัตราการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่าการปลูกแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ ระบบสามารถลดปริมาณการใช้น้ำลงได้ถึง 24.23% ในขณะที่ยังคงรักษาผลผลิตให้อยู่ในระดับสูง การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของเทคโนโลยีอัจฉริยะในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรและลดการใช้ทรัพยากร ระบบที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ดีกว่าการเพาะปลูกแบบดั้งเดิม เนื่องจากสามารถตรวจวัดและควบคุมสภาพแวดล้อมได้แบบเรียลไทม์ ช่วยรักษาสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสตรอเบอรีตลอดเวลา ลดความคลาดเคลื่อนจากสภาพอากาศภายนอก อีกทั้งการใช้ตรรกศาสตร์คลุมเครือช่วยให้การตัดสินใจควบคุมปัจจัยต่าง ๆ มีความยืดหยุ่นและแม่นยำ ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตดี ใช้น้ำน้อยลง และให้ผลผลิตสูงอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง ตรรกศาสตร์คลุมเครือ ควบคุมสภาพแวดล้อม สตรอเบอรี

Abstract

This experimental research aimed to develop a system that integrates the Internet of Things (IoT) and fuzzy logic to control the environment in strawberry cultivation. The study compared yield and resource use between strawberries grown with the developed system and those grown using traditional methods. Two groups were established: the experimental group (using the system) and the control group (traditional farming). Variables studied included plant

height, canopy width, number of flowers and fruits per plant, and irrigation rate. The developed system consisted of sensors, a central processing unit, control devices, and a mobile monitoring interface. It effectively controlled environmental conditions in real-time. Results showed that strawberries grown with the system had significantly greater growth and yield. Moreover, the system reduced water usage by 24.23% while maintaining high productivity. This demonstrates the system's potential to enhance agricultural output and optimize resource use. Fuzzy logic improved decision-making by enabling flexible, accurate environmental control and minimizing the impact of external weather conditions. Overall, the smart system provided a more efficient and sustainable alternative to traditional cultivation.

Keywords: Internet of Things (IoT), Fuzzy Logic, Environmental Control, Strawberry

บทนำ

สตรอเบอรีเป็นพืชเศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทย โดยเฉพาะในภาคเหนือ เช่น จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นแหล่งปลูกหลักของประเทศ มีผลผลิตในปี 2566 รวม 19,049 ตัน โดยอำเภอสะเมิงมีผลผลิตมากที่สุดถึง 10,025 ตัน จากพื้นที่ปลูก 6,977 ไร่ เพิ่มขึ้นจากปี 2565 ร้อยละ 23.621 (ธนเดช วงเขียว, 2566) สตรอเบอรีมีคุณค่าทางโภชนาการสูง อุดมด้วยวิตามินซีและสารต้านอนุมูลอิสระ (ธาวิดา ศิริสัมพันธ์, 2560) และสามารถแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์หลากหลาย ช่วยสร้างรายได้ให้เกษตรกรหลายพันครอบครัวทั่วประเทศ

แม้จังหวัดพิษณุโลกจะจัดเทศกาลกินสตรอเบอรีที่ภูหินร่องกล้า ซึ่งบ่งชี้ว่ามีการปลูกสตรอเบอรีในพื้นที่สูงของจังหวัด แต่การปลูกสตรอเบอรีไม่สามารถทำได้ทุกพื้นที่ เนื่องจากพืชชนิดนี้มีความไวต่อสภาพแวดล้อมสูง โดยต้องการอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 17–20 องศาเซลเซียส หากอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้ผลผลิตลดลง นอกจากนี้ยังต้องการแสงแดดเข้มข้นประมาณ 4,000 แรงเทียน และมีช่วงเวลาได้รับแสงอย่างน้อย 8 ชั่วโมงต่อวัน ในด้านน้ำและความชื้น สตรอเบอรีมีระบบรากตื้นจึงต้องการน้ำสม่ำเสมอ แต่ไม่ควรแฉะจนเกินไป เพราะจะทำให้รากเน่าและเกิดโรคได้ง่าย ดินที่เหมาะสมควรเป็นดินร่วนปนทราย ระบายน้ำดี มี pH ระหว่าง 5.5–6.5 และมีอินทรียวัตถุเพียงพอ เช่น ปุ๋ยคอกหรือเศษใบไม้หมัก (คงกฤช อินทแสน, ม.ป.ป.) อีกทั้งยังมีศัตรูพืชที่สำคัญ เช่น โรคแอนแทรคโนส ที่เกิดได้ทุกส่วนของต้น หนอนด้วงขาวที่กัดรากจนพืชชะงักการเจริญเติบโต และหนอนกระทู้ผักที่กัดกินใบจนเหลือแต่ก้านใบ การปลูกในพื้นที่ที่ไม่ตรงตามสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจึงส่งผลให้ผลผลิตต่ำ เสี่ยงต่อโรคและแมลง และอาจไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนทางการเกษตร

ปัจจุบันการปลูกสตรอเบอรีในไทยเผชิญปัญหาด้านสภาพอากาศและศัตรูพืช นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยแม่โจ้จึงพัฒนาระบบปิดร่วมกับ IoT โดยใช้แสงเทียมและเซ็นเซอร์ควบคุมสภาพแวดล้อมในตู้คอนเทนเนอร์ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสง และคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้สามารถปลูกสตรอเบอรีได้ทุกฤดู ลดการใช้สารเคมี และได้ผลผลิตที่มีคุณภาพ (“หุ่นยนต์ AI,” 2567; “ตู้ปลูกสตรอว์เบอร์รี,” 2563) นอกจากนี้ยังมีการใช้ Fuzzy Logic ซึ่งเป็นระบบตรรกะที่รองรับค่าความจริงแบบยืดหยุ่น (Zadeh, 1965) มาช่วยควบคุมสภาพแวดล้อม โดยใช้โครงสร้างสำคัญ เช่น Rule Base และ Inference Engine เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์และปรับระบบควบคุมให้อัตโนมัติและแม่นยำ เหมาะกับการจัดการข้อมูลที่ไม่แน่นอน ช่วยให้สตรอเบอรีเจริญเติบโตดีภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่งและตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อการควบคุมสภาพแวดล้อมในการปลูกสตรอเบอรี เพื่อให้สามารถปลูกสตรอเบอรีได้ในทุกฤดูกาลและทุกสภาพอากาศ และช่วยลดการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และเพิ่มผลผลิตได้มากขึ้น อีกทั้งการใช้ ตรรกศาสตร์คลุมเครือจะช่วยให้ระบบสามารถปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมได้อย่างยืดหยุ่นและเหมาะสมตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศและปัจจัยต่างๆ ที่มีความไม่แน่นอน เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และแสงสว่าง โดยไม่ต้องพึ่งพาข้อมูลที่แน่นอนหรือถูกต้อง 100% ซึ่งเหมาะสมกับการควบคุมสภาพแวดล้อมที่มีความไม่แน่นอนสูงในกระบวนการปลูกสตรอเบอรี นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรต่างๆ เช่น น้ำและพลังงาน โดยการควบคุมสภาพแวดล้อมในระดับที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้ผลผลิตที่ได้มีคุณภาพสูงและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง (IoT) และตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) ในการควบคุมสภาพแวดล้อมของการปลูกสตรอเบอรี
2. เปรียบเทียบผลผลิตและการใช้ทรัพยากรระหว่างการปลูกด้วยระบบที่พัฒนาขึ้น กับการเพาะปลูกแบบดั้งเดิม

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

สตรอเบอรี (Fragaria x ananassa Duch.) เป็นพืชในวงศ์ Rosaceae ได้จากการผสมระหว่าง F. virginiana และ F. chiloensis เป็นไม้ล้มลุกอายุหลายปี แต่นิยมปลูกใหม่ทุกปี จัดอยู่ในกลุ่มไม้ผลกึ่งร้อน ต้องการอุณหภูมิเฉลี่ย 17–20°C แสงแดดเข้ม 4,000 แรงเทียน วันละอย่างน้อย 8 ชั่วโมง ระบบรากตื้นจึงต้องการน้ำสม่ำเสมอแต่ไม่แฉะ ดินที่เหมาะสมควรเป็นดินร่วนปนทราย ระบายน้ำดี มีค่า pH 5.5–6.5 และอินทรียวัตถุเพียงพอ เช่น ปุ๋ยคอกหรือใบไม้หมัก (คงกฤช อินทแสน, ม.ป.ป.)

อินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) คือระบบที่เชื่อมต่ออุปกรณ์และสรรพสิ่งต่าง ๆ เข้ากับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้อุปกรณ์เหล่านั้นสามารถสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูล และถูกควบคุมจากระยะไกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยถูกนำไปใช้ในหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น ยานยนต์ สุขภาพ การผลิต และเครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งช่วยให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างชาญฉลาดและอัตโนมัติ เพิ่มความสะดวกสบายและประสิทธิภาพในการใช้งาน (วิวัฒน์ มีสุวรรณ์, 2559)

ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) เป็นศาสตร์การคำนวณที่ช่วยจัดการกับข้อมูลที่ไม่แน่นอนและคลุมเครือ โดยถูกคิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี 1965 ซึ่งแตกต่างจากตรรกะแบบดั้งเดิมที่แบ่งแยกชัดเจน ฟัซซีลอจิกใช้แนวคิดของฟัซซีเซต (Fuzzy Set) เพื่อแสดงความไม่ชัดเจน เช่น การแบ่งช่วงวัยของคนที่ไม่มีขอบเขตแน่นอน ฟัซซีลอจิกได้รับการพัฒนาและนำไปประยุกต์ใช้ในหลายสาขา เช่น การแพทย์ อุตสาหกรรม ทหาร และเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยเฉพาะในประเทศญี่ปุ่นที่เริ่มใช้อย่างจริงจังก่อนสหรัฐอเมริกา ปัจจุบันฟัซซีลอจิกได้รับความสนใจมากขึ้นในสหรัฐอเมริกา และถูกนำไปใช้ในโครงการสำคัญ เช่น โครงการอวกาศของ NASA และระบบทหาร เนื่องจากสามารถจัดการกับข้อมูลที่ซับซ้อนและไม่แน่นอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับการพัฒนาระบบอัจฉริยะต่าง ๆ (Zadeh, 1965)

Thomopoulos และคณะ (2024) งานวิจัยนี้พัฒนาโรงเรือนอัจฉริยะขนาดเล็กที่ใช้ระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก ร่วมกับเทคโนโลยี IoT เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมจุลภาคที่ควบคุมตนเองได้อัตโนมัติ รองรับการปลูกพืชอย่างมีประสิทธิภาพในยุคที่เผชิญกับปัญหาประชากรเพิ่ม สภาพอากาศแปรปรวน และการขยายตัวของเมือง โดยผลการศึกษาชี้ว่าระบบสามารถตรวจสอบและปรับสภาพแวดล้อมได้แบบเรียลไทม์ ช่วยส่งเสริมการเติบโตของพืชอย่างยั่งยืน

Tayyaba และคณะ (2020) งานวิจัยนี้นำเสนอระบบบ้านอัจฉริยะที่ออกแบบมาเพื่อช่วยให้ผู้พิการทางสายตาสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพ โดยอาศัยการประมวลผลจากอุปกรณ์อัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) และการสื่อสารแบบไร้สายซึ่งกำลังได้รับความนิยมมากขึ้น ระบบนี้ใช้ข้อมูลจากเซนเซอร์และบลูทูธซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์ IoT เป็นอินพุตเข้าสู่ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิก เพื่อจำลองสถานการณ์และตัดสินใจตามกฎที่ออกแบบไว้ให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้พิการทางสายตา ผลลัพธ์ของการประมวลผลจะถูกส่งต่อผ่านอุปกรณ์ IoT เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางและเคลื่อนที่ได้อย่างปลอดภัย ระบบนี้เน้นความสะดวกในการใช้งานและความสามารถในการนำทางที่แม่นยำ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของผู้พิการทางสายตาในยุคดิจิทัล

Morchid และคณะ (2025) งานวิจัยนี้เสนอระบบชลประทานอัจฉริยะที่ใช้ IoT ฟัซซีลอจิก และคลาวด์คอมพิวติ้ง เพื่อจัดการน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบประกอบด้วยเซนเซอร์ ESP32 เชื่อมต่อกับ ThingSpeak วิเคราะห์ข้อมูลสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ พร้อมใช้ MATLAB จำลองการตัดสินใจในการรดน้ำ ผลลัพธ์พบว่าสามารถลดการสูญเสียน้ำ รักษาความชื้นในดินใกล้ระดับเป้าหมาย และมีต้นทุนต่ำเพียง 32 ดอลลาร์ ถือเป็นทางเลือกที่เหมาะสมต่อการเกษตรอย่างยั่งยืนในอนาคต

Yuwono และคณะ (2020) นำเสนอระบบเตือนภัยน้ำท่วมล่วงหน้าที่ผสาน ฟัซซีลอจิก กับ IoT โดยรับข้อมูลจากปริมาณฝนและระดับน้ำ เพื่อประเมินสถานะภัยน้ำท่วมอย่างแม่นยำ ระบบใช้กฎฟัซซี 8 กฎ แบ่งสถานะออกเป็น 5 ระดับ ได้แก่ ปกติ ปานกลาง 1 ปานกลาง 2 ฉุกเฉิน 1 และฉุกเฉิน 2 ระบบนี้ช่วยให้ประชาชนเตรียมตัวได้ตามระดับความเสี่ยง และหน่วยงานรัฐสามารถตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าโมเดลฟัซซีที่พัฒนา สามารถประเมินสถานการณ์ได้แม่นยำ ช่วยลดผลกระทบจากภัยพิบัติได้อย่างมีประสิทธิผล

Artetxe และคณะ (2024) พัฒนาระบบชลประทานอัจฉริยะที่ผสาน ฟัซซีลอจิก LoRa และ คลาวด์ เพื่อควบคุมความชื้นในดินอย่างแม่นยำ โดยใช้ LoRa สำหรับการสื่อสารระยะไกล และรับข้อมูลพยากรณ์อากาศผ่านคลาวด์ ทดสอบระบบด้วยแบบจำลอง Hardware-in-the-Loop พบว่าสามารถลดการใช้น้ำได้ รวม 27.17% (23.1% จากฟัซซีลอจิก และ 4.07% จากข้อมูลพยากรณ์อากาศ) แสดงถึงศักยภาพของเทคโนโลยีอัจฉริยะในการจัดการน้ำเพื่อเกษตรกรรมอย่างยั่งยืนในแนวทาง BCG Economy

วัสดุอุปกรณ์

1. NodeMCU ESP8266: ไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อม Wi-Fi ควบคุมเซ็นเซอร์ ส่งข้อมูลขึ้นคลาวด์ พัฒนาได้ง่าย เหมาะสำหรับ IoT
2. DHT22: เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ แม่นยำ เหมาะสำหรับควบคุมสภาพแวดล้อม
3. DS18B20: เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในดินหรือน้ำ แบบ 1-Wire ต่อหลายตัวได้ ทนทาน
4. Relay: ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น ปั๊มน้ำ ทำงานอัตโนมัติ ลดแรงงาน
5. ปั๊มน้ำสำหรับระบบให้น้ำหยด ควบคุมแรงดัน สม่ำเสมอ แม่นยำ
6. Wi-Fi Module (4G): เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่านมือถือ ใช้งานได้แม้ไม่มี Wi-Fi
7. ระบบให้น้ำหยด: ให้น้ำตรงโคนต้น ประหยัดน้ำ ลดโรคจากความชื้น
8. โรงเรือนและระบบปรับอากาศ: ควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม ปลูกได้ตลอดปี
9. ระบบประมวลผลกลาง: วิเคราะห์ข้อมูลเซ็นเซอร์สั่งการอุปกรณ์แบบเรียลไทม์ เพิ่มความแม่นยำในการปลูก

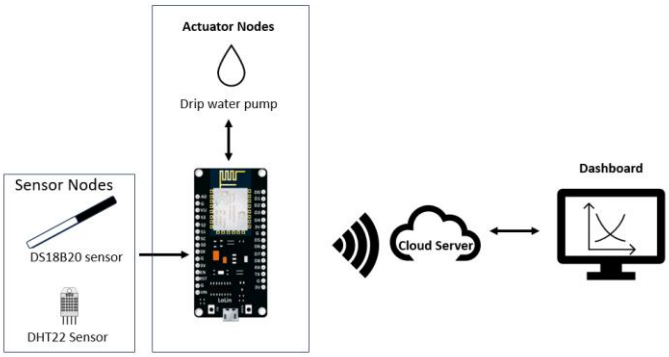
วิธีดำเนินการวิจัย

1. การกำหนดขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการวิจัย พื้นที่ศึกษา: อำเภอวังทอง จังหวัดพิษณุโลก
กลุ่มตัวอย่าง กลุ่มทดลอง คือ สตรอเบอรี ที่ปลูกโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น และกลุ่มควบคุม คือ สตรอเบอรีที่ปลูกแบบดั้งเดิม

ตัวแปรที่ศึกษา: การเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูง ค่าเฉลี่ยความกว้างของทรงพุ่ม ค่าเฉลี่ยจำนวนดอกต่อต้น ค่าเฉลี่ยจำนวนผลต่อต้น และอัตราการให้น้ำ

2. การออกแบบโครงสร้างของระบบฮาร์ดแวร์ มีการออกแบบโครงสร้างสถาปัตยกรรมการรับส่งข้อมูลดังนี้



ภาพที่ 1 The Main Elements of Technology

ระบบควบคุมการปลูกสตรอเบอรีอัจฉริยะถูกออกแบบด้วยสถาปัตยกรรมแบบกระจาย แบ่งออกเป็น 3 ชั้นหลัก ได้แก่ ชั้นอุปกรณ์เก็บข้อมูล (Sensor Layer) ใช้เซ็นเซอร์ DHT22 และ DS18B20 ร่วมกับ NodeMCU ESP8266 เพื่อรวบรวมข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นในอากาศ และในดิน แล้วส่งผ่าน Wi-Fi ชั้นประมวลผลกลาง (Cloud Layer) ใช้ Cloud Server กับฐานข้อมูล MariaDB และระบบ Fuzzy Logic ในการวิเคราะห์ข้อมูลและตัดสินใจ เช่น ควบคุมการให้น้ำชั้นอุปกรณ์ควบคุมและแสดงผล (Actuator & Interface Layer) ประกอบด้วยรีเลย์ ปั๊มน้ำ และระบบแสดงผลผ่านเว็บ/มือถือ ให้เกษตรกรควบคุมและติดตามข้อมูลแบบเรียลไทม์ ระบบนี้ช่วยให้การจัดการสภาพแวดล้อมการปลูกเป็นไปอย่างแม่นยำและอัตโนมัติ เพิ่มประสิทธิภาพและความสะดวกในการเพาะปลูก

3. การออกแบบระบบ Fuzzy Logic

การสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function): กำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกสำหรับอินพุต เช่น อุณหภูมิ (ต่ำ ปานกลาง สูง) และความชื้น (แห้ง พอดี เปียก) เพื่อให้สามารถแปลงข้อมูลจากเซ็นเซอร์เข้าสู่ระบบ Fuzzy Logic สำหรับการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ในกรณีที่คุณต้องการให้อุณหภูมิ (ระหว่าง 17-20 องศาเซลเซียส) และความชื้นในดิน (ระหว่าง 60-70%) เป็นช่วงที่เหมาะสม (คงกฤช อินทแสน, ม.ป.ป.) เราสามารถใช้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่ให้ค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดในช่วงที่กำหนด และค่าความเป็นสมาชิกลดลงเมื่อออกจากช่วงนั้น ดังนี้

3.1 อุณหภูมิ ช่วงที่เหมาะสม (Optimal): ตั้งแต่ 17-20 องศาเซลเซียส ใช้ฟังก์ชัน Triangular หรือ Trapezoidal ที่มีค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดที่ 20 องศาเซลเซียส

ฟังก์ชัน Triangular ที่มีช่วง 17-20 องศาเซลเซียส

$$\mu_{\text{optimal}}(T) = \begin{cases} 0 & \text{ถ้า } T < 17 \\ \frac{T-17}{3} & \text{ถ้า } 17 \leq T \leq 20 \\ 0 & \text{ถ้า } T > 20 \end{cases} \quad (1)$$

ค่าความเป็นสมาชิกจะเพิ่มขึ้นจาก 0 ที่ 17 องศาเซลเซียส ไปยังสูงสุดที่ 20 °C (ความเป็นสมาชิก = 1) แล้วลดลงกลับเป็น 0 ที่ 20 °C

3.2 ความชื้นในดิน ช่วงที่เหมาะสม (Optimal): ตั้งแต่ 60-70% ใช้ฟังก์ชัน Triangular หรือ Trapezoidal ที่มีค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดที่ 70%

ฟังก์ชัน Triangular ที่มีช่วง 60-70%

$$\mu_{\text{optimal}}(M) = \begin{cases} 0 & \text{ถ้า } M < 60 \\ \frac{M-60}{10} & \text{ถ้า } 60 \leq M \leq 70 \\ 0 & \text{ถ้า } M > 70 \end{cases} \quad (2)$$

ค่าความเป็นสมาชิกจะเพิ่มขึ้นจาก 0 ที่ 60% ไปยังสูงสุดที่ 70% (ความเป็นสมาชิก = 1) แล้วลดลงกลับเป็น 0 ที่ 70% (Ross, 2010)

3.3 การสร้างฐานกฎ (Rule Base): กำหนดฐานกฎ IF-THEN ตามความรู้เชิงประสบการณ์และการศึกษาข้อมูลจากการทดลองที่ผ่านมา จำนวนกฎทั้งหมดในฐานกฎ IF-THEN ที่กำหนดจากฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอุณหภูมิและความชื้นในดินจะขึ้นอยู่กับจำนวนสถานะของตัวแปรแต่ละตัว (อุณหภูมิและความชื้น) และการรวมกันของแต่ละสถานะ โดยในกรณีนี้

อุณหภูมิ (Temperature)

ต่ำ (Cool) <17 °C

ปานกลาง (Medium) 17–20 °C

สูง (Hot) < 20 °C

ความชื้นในดิน (Soil Moisture)

แห้ง (Dry) < 60%

พอดี (Adequate) 60–70%

เปียก (Wet) > 70%

การคำนวณจำนวนกฎ

หากเรานำสถานะของแต่ละตัวแปรมาผสมกัน เราจะได้จำนวนกฎทั้งหมดคือ

จำนวนกฎ = (จำนวนสถานะของอุณหภูมิ)×(จำนวนสถานะของความชื้น) (3)

ในกรณีนี้

จำนวนกฎ = 3(สถานะอุณหภูมิ)×3(สถานะความชื้น) = 9 กฎ (4)

ดังนั้น จำนวนกฎทั้งหมดจะมีทั้งหมด 9 กฎ ดังนี้

กฎที่ 1 IF อุณหภูมิเป็น "ต่ำ" AND ความชื้นเป็น "แห้ง" THEN การควบคุมเป็น "มาก"

กฎที่ 2 IF อุณหภูมิเป็น "ต่ำ" AND ความชื้นเป็น "พอดี" THEN การควบคุมเป็น "พอดี"

กฎที่ 3 IF อุณหภูมิเป็น "ต่ำ" AND ความชื้นเป็น "เปียก" THEN การควบคุมเป็น "น้อย"

กฎที่ 4 IF อุณหภูมิเป็น "ปานกลาง" AND ความชื้นเป็น "แห้ง" THEN การควบคุมเป็น "มาก"

กฎที่ 5 IF อุณหภูมิเป็น "ปานกลาง" AND ความชื้นเป็น "พอดี" THEN การควบคุมเป็น "พอดี"
กฎที่ 6 IF อุณหภูมิเป็น "ปานกลาง" AND ความชื้นเป็น "เปียก" THEN การควบคุมเป็น "น้อย"
กฎที่ 7 IF อุณหภูมิเป็น "สูง" AND ความชื้นเป็น "แห้ง" THEN การควบคุมเป็น "มาก"
กฎที่ 8 IF อุณหภูมิเป็น "สูง" AND ความชื้นเป็น "พอดี" THEN การควบคุมเป็น "พอดี"
กฎที่ 9 IF อุณหภูมิเป็น "สูง" AND ความชื้นเป็น "เปียก" THEN การควบคุมเป็น "น้อย"
ดังนั้น จะมีทั้งหมด 9 กฎ ที่ครอบคลุมทุกการผสมผสานระหว่างอุณหภูมิและความชื้นในดิน

3.4 การแปลงข้อมูล (Fuzzification) ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ (อุณหภูมิ และความชื้น) จะถูกแปลงเป็นค่าฟัซซีตามฟังก์ชันความเป็นสมาชิกที่กำหนดในขั้นตอนก่อนหน้า เพื่อให้สามารถนำไปใช้กับระบบ Fuzzy Logic ได้การกำหนดระยะเวลาที่ให้น้ำ

เราสามารถกำหนดช่วงเวลาที่ให้น้ำตามระดับฟัซซีได้ ดังนี้

น้อย = 5-10 นาที
ปานกลาง = 15-20 นาที
มาก = 25-30 นาที

การอนุมาน (Inference) ระบบจะใช้ฐานกฎที่ได้ออกแบบไว้ในการประมวลผลข้อมูลฟัซซีที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ โดยการใช้กฎเชิงตรรกะ Fuzzy เพื่อตัดสินใจว่า ระบบจะต้องทำการปรับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น อย่างไรเพื่อให้ได้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุด

ตัวอย่าง จากข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์ อุณหภูมิ = 17°C (Medium) และ ความชื้น = 65% (Adequate) จะใช้ฐานกฎที่เกี่ยวข้องในการคำนวณเวลาที่ต้องให้น้ำ

การประมวลผลกฎ:

กฎที่ 5 (IF อุณหภูมิ = Medium AND ความชื้น = Adequate THEN ให้น้ำ = ปานกลาง): กฎนี้จะให้เวลาน้ำในช่วง 15-20 นาที.

จากนั้นเราจะคำนวณเวลาให้น้ำตามผลของกฎนี้

การรวมค่าฟัซซี (Aggregation):

การประมวลผลของกฎที่เกี่ยวข้องทั้งหมดที่มีค่าฟัซซีในระดับ "ปานกลาง" จะมีค่าฟัซซีประมาณ 1.0 (เนื่องจากทั้งอุณหภูมิและความชื้นในระดับ "ปานกลาง" และ "พอดี" จะตรงตามกฎที่ 5)

3.5 การแปลงกลับ (Defuzzification) หลังจากที่การประมวลผลเสร็จสิ้น ระบบจะทำการแปลงผลลัพธ์ที่ได้จากการอนุมานกลับไปเป็นค่าที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง (เช่น อุณหภูมิที่ต้องการ, ระดับความชื้นที่ต้องการ) เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ ขั้นตอนนี้จะนำค่าฟัซซีที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย (หรือใช้วิธี Centroid Method) เพื่อแปลงเป็นค่าจริงที่ใช้ในระบบ ในกรณีนี้

เวลาที่ให้น้ำ = 15-20 นาที
โดยเฉลี่ยจากช่วงเวลานี้จะได้
เวลาที่ให้น้ำ = 17.5 นาที

4. การพัฒนาและเขียนโปรแกรม

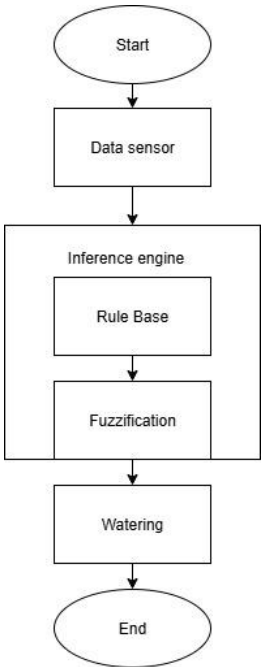
การออกแบบและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันด้วย PHP และ MariaDB พร้อมการใช้ Fuzzy Logic เป็นกระบวนการที่ประกอบไปด้วยขั้นตอนหลายประการ เพื่อให้เว็บแอปพลิเคชัน สามารถจัดการข้อมูลจากเซ็นเซอร์และแสดงผลข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งช่วยในการตัดสินใจในการให้น้ำตามค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการวัดของเซ็นเซอร์ เช่น อุณหภูมิ และความชื้น โดยกระบวนการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน นี้ประกอบด้วย 7 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การออกแบบฐานข้อมูล

ขั้นตอนแรกในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน คือการออกแบบฐานข้อมูล ซึ่งการออกแบบฐานข้อมูลจะต้องคำนึงถึงข้อมูลที่ต้องการเก็บ รวมไปถึงข้อมูลจากเซ็นเซอร์ อุณหภูมิ และความชื้นในดิน ข้อมูลเหล่านี้จะต้องเก็บในตารางที่เหมาะสมใน MariaDB สำหรับเก็บข้อมูลเชิงตัวเลข อุณหภูมิและความชื้นในดิน นอกจากนี้ยังต้องมีตารางสำหรับบันทึกผลการคำนวณเวลาให้น้ำที่ได้จาก Fuzzy Logic เพื่อให้ข้อมูลทั้งหมดสามารถใช้งานได้ในอนาคต

ขั้นตอนที่ 2 การพัฒนา PHP Scripts

หลังจากออกแบบฐานข้อมูลแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการพัฒนา PHP Scripts ที่จะทำหน้าที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MariaDB เพื่อดึงข้อมูลจากเซ็นเซอร์ อุณหภูมิ และความชื้นหลังจากนั้นจะมีการใช้ Fuzzy Logic เพื่อคำนวณและแปลงข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ให้เป็นค่าฟัซซี เพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดในการให้น้ำ โดยกำหนดขั้นตอนการทำงานดังนี้



ภาพที่ 2 System Flowchart

จากภาพที่ 2 เมื่อได้ข้อมูลจากเซนเซอร์แล้ว ระบบจะนำข้อมูลเหล่านี้เข้าสู่กระบวนการประมวลผลผ่าน "ฐานกฎ" (Rule Base) ซึ่งเป็นชุดของกฎเกณฑ์ที่ผู้พัฒนาระบบกำหนดไว้ล่วงหน้า เช่น หากความชื้นต่ำและอุณหภูมิสูง ระบบควรสั่งการให้รดน้ำในปริมาณมาก หรือถ้าความชื้นอยู่ในระดับปานกลางและอุณหภูมิต่ำ ก็อาจไม่จำเป็นต้องรดน้ำเลย จากนั้นข้อมูลจะเข้าสู่ขั้นตอนที่เรียกว่า "การฟัซซิฟิเคชัน" (Fuzzification) ซึ่งเป็นการแปลงค่าตัวเลขจากเซนเซอร์ให้กลายเป็นค่าคำอธิบายทางภาษาธรรมชาติ เช่น จากค่าความชื้น 30% แปลงเป็นระดับ “ต่ำ” หรือ “ปานกลาง” เพื่อให้ระบบสามารถวิเคราะห์และตัดสินใจได้อย่างยืดหยุ่นไม่ตายตัวตาม

ค่าเฉพาะเจาะจง เมื่อผ่านกระบวนการวิเคราะห์เสร็จสิ้น ระบบจะดำเนินการ "รดน้ำ" โดยพิจารณาจากผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการฟัซซี เพื่อให้แน่ใจว่าพืชจะได้รับน้ำในปริมาณที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 3 การออกแบบหน้าเว็บ

การออกแบบหน้าเว็บเป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อให้ผู้ใช้สามารถรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์และดูผลการคำนวณจาก Fuzzy Logic ได้ง่ายและสะดวก หน้าเว็บจะต้องใช้ HTML, CSS, และ JavaScript เพื่อสร้างอินเตอร์เฟซที่ตอบสนองได้ดีและมีความสวยงาม โดยสามารถแสดงผลข้อมูล เช่น อุณหภูมิ ความชื้น นอกจากนี้ยังต้องมีฟังก์ชันที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนการตั้งค่า หรือดูข้อมูลในรูปแบบที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณ Fuzzy Logic

การคำนวณโดยใช้ Fuzzy Logic เป็นกระบวนการที่สำคัญในการตัดสินใจว่าในแต่ละสถานการณ์ควรให้น้ำเป็นเวลาเท่าไหร่ โดยการใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และระดับแสง ระบบจะทำการแปลงข้อมูลเหล่านี้เป็นค่าฟัซซีและประมวลผลเพื่อหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด

ขั้นตอนที่ 5 การบันทึกข้อมูลการให้น้ำ

หลังจากการคำนวณและการตัดสินใจเกี่ยวกับการให้น้ำแล้ว ข้อมูลที่ได้จะถูกบันทึกลงในฐานข้อมูล MariaDB เพื่อให้สามารถตรวจสอบประวัติการทำงานในอนาคตได้ ข้อมูลการให้น้ำนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการวิเคราะห์และปรับปรุงการทำงานของระบบในระยะยาว โดยระบบจะเก็บข้อมูลการให้ปริมาณน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อให้สามารถทำการประเมินและปรับการใช้น้ำได้อย่างเหมาะสม

ขั้นตอนที่ 6 การทดสอบและปรับปรุงระบบ

หลังจากที่ระบบได้รับการพัฒนาเสร็จสมบูรณ์แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบการทำงานของเว็บแอปพลิเคชัน ทดสอบการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ การคำนวณเวลาการให้น้ำ และการแสดงผลข้อมูลผ่านหน้าเว็บ ทดสอบเพื่อให้แน่ใจว่าเว็บแอปพลิเคชัน สามารถทำงานได้ถูกต้องในหลากหลายอุปกรณ์ และสามารถรองรับการใช้งานของผู้ใช้จำนวนมาก ระบบจะต้องสามารถแสดงผลข้อมูลในเวลาจริง (Real-Time) และให้ผู้ใช้สามารถติดตามผลได้อย่างต่อเนื่อง

ขั้นตอนที่ 7 การแสดงผลข้อมูลและการใช้งาน

ขั้นตอนสุดท้ายคือการแสดงผลข้อมูลที่คำนวณจาก Fuzzy Logic บนหน้าเว็บ โดยผู้ใช้สามารถดูข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมการให้น้ำ เช่น อุณหภูมิ และความชื้น รวมทั้งสามารถโต้ตอบกับระบบเพื่อปรับตั้งค่าการทำงานให้เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้ การแสดงผลข้อมูลจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องและแม่นยำในการจัดการทรัพยากรน้ำและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำการเกษตร

5. การทดลองและประเมินผล

5.1 การทดลองจะดำเนินการในพื้นที่ที่ใช้เทคโนโลยี IoT และ Fuzzy Logic ในการควบคุมสภาพแวดล้อมของการปลูกสตรอเบอรี โดยจะติดตั้งเซ็นเซอร์และระบบควบคุมในแปลงปลูกจริง และตรวจสอบการปรับสภาพแวดล้อม ดังนี้

รายละเอียดของวิธีการดำเนินการวันและเวลา: การทดลองจะเริ่มตั้งแต่ มิถุนายน-ตุลาคม 2567 โดยจะทำการควบคุมและติดตามสภาพแวดล้อมทุกวันในช่วงเวลา 6:00-18:00 น.

สถานที่ทดลอง: สถานที่ทดลองจะตั้งอยู่ในพื้นที่การเกษตรที่เหมาะสมในเขตพื้นที่ของ จ.พิษณุโลก ซึ่งมีการควบคุมการใช้เทคโนโลยี IoT และ Fuzzy Logic ในการปลูกสตรอเบอรี

การปลูกและการดูแลรักษา: ปลูกแบบใส่กระถางโดยใช้ดินปลูก ระยะระหว่างต้น 25-30 cm โดยปลูกเป็น 3 แถว แถวละ 3 ต้น โดยใช้ไหลขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10-13 mm มีระบบจัดการน้ำ เพื่อควบคุมความชื้น และอุณหภูมิในดิน ให้น้ำแบบน้ำหยด (สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง, 2558)

วิธีการบันทึกข้อมูล: ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในแปลงทดลอง (อุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณแสง) จะถูกบันทึกในระบบออนไลน์ทุก 1 นาที ผ่านระบบฐานข้อมูลที่เชื่อมต่อกับ IoT ในการเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมและการตอบสนองของระบบ Fuzzy Logic

5.2 การประเมินผล: จะมีการประเมินผลลัพธ์ โดยการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้น และผลผลิตของสตรอเบอรีระหว่างการใช้เทคโนโลยี IoT and Fuzzy Logic และวิธีการปลูกแบบดั้งเดิม

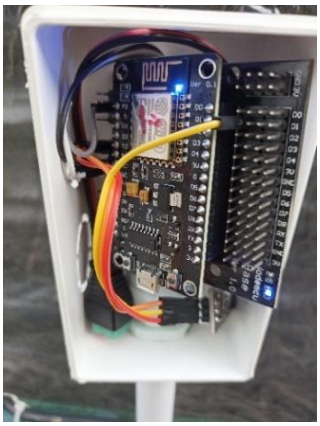
6. การวิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

6.1 การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้เทคนิคทางสถิติ การทดสอบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม T-test เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการปลูกโดยใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นกับวิธีการแบบดั้งเดิม

6.2 การสรุปผล การสรุปผลการวิจัยจะเป็นการประเมินประสิทธิภาพของการใช้เทคโนโลยี IoT and Fuzzy Logic ในการปรับปรุงผลผลิตและคุณภาพของสตรอเบอรี โดยพิจารณาการเจริญเติบโตทั้งในด้านความสูง ค่าเฉลี่ยความกว้างของทรงพุ่ม ค่าเฉลี่ยจำนวนดอกต่อต้น และค่าเฉลี่ยจำนวนผลต่อต้น

ผลการวิจัย

1. ผลของการพัฒนาเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตประสานสรรพสิ่ง และตรรกศาสตร์คลุมเครือ เพื่อการควบคุมสภาพแวดล้อมในการปลูกสตรอเบอรี มีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ ดังนี้



ภาพที่ 3 กล่องควบคุม

1.1 อุปกรณ์เก็บข้อมูล (Sensor Nodes) อุปกรณ์เก็บข้อมูลทำหน้าที่วัดค่าปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสตรอเบอรี เช่น อุณหภูมิ และความชื้นในดิน โดยใช้ DHT22 Sensor สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ และ DS18B20 Sensor สำหรับวัดค่าความชื้นในดิน ข้อมูลจากเซ็นเซอร์เหล่านี้จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ที่เขียนบนArduino IDE ด้วยภาษา C/C++ซึ่งจะประมวลผลข้อมูลเบื้องต้นและส่งต่อไปยังระบบประมวลผลกลางผ่านเครือข่ายผ่านสัญญาณ Wi-Fi

1.2 ระบบประมวลผลกลาง (Cloud Server) เมื่อได้รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ระบบจะทำการแปลงค่าตัวเลขให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์โดยใช้ Fuzzy Logic กระบวนการนี้เริ่มจากการทำ Fuzzification เพื่อนำค่าต่าง ๆ มาจัดกลุ่มให้อยู่ในระดับที่เข้าใจง่าย และค่าความชื้นดิน จากนั้นระบบจะใช้ Inference Engine เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและกำหนดการควบคุมที่เหมาะสม เช่น การให้น้ำเป็นเวลากี่นาที ระบบ

ประมวลผลระบบนี้ถูกติดตั้งและรันบนเซิร์ฟเวอร์ที่มีโดเมนเนม dsp.psru.ac.th ใช้ระบบปฏิบัติการ Ubuntu ซึ่งเป็น Linux ที่มีความเสถียรและเหมาะสำหรับงานเซิร์ฟเวอร์ ใช้ Apserv เป็นซอฟต์แวร์เซิร์ฟเวอร์เว็บ เพื่อให้บริการเว็บและแอปพลิเคชัน ที่พัฒนาด้วยภาษา PHP HTML และ Javascript ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้น ร่วมกับระบบฐานข้อมูลใช้ MariaDB เพื่อเก็บข้อมูลเซ็นเซอร์ และข้อมูลผลวิเคราะห์ต่าง ๆ

1.3 อุปกรณ์ควบคุม (Actuator Nodes) เมื่อระบบได้ผลการวิเคราะห์จาก Fuzzy Logic แล้ว ค่าที่เหมาะสมจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ควบคุม ESP8266 เพื่อปรับสภาพแวดล้อมของแปลงเพาะปลูกให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และจะทำการสั่งปั๊มน้ำอัตโนมัติ ทำหน้าที่ให้น้ำตามค่าความชื้นในดินที่วัดได้ อุปกรณ์เหล่านี้สามารถรับคำสั่งจากระบบผ่านเครือข่าย Wi-Fi และทำงานร่วมกับเซ็นเซอร์เพื่อให้สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมได้อัตโนมัติ

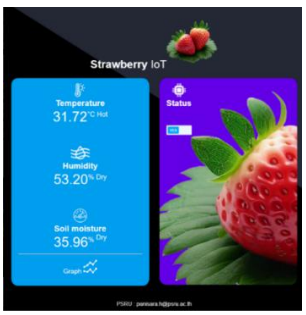
1.4 การแสดงผล (Dashboard) เพื่อให้เกษตรกรสามารถติดตามและควบคุมฟาร์มได้จากระยะไกล ระบบนี้มีการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันหรือแอปพลิเคชันบนมือถือ โดยใช้ภาษา PHP และฐานข้อมูล MariaDB ที่ช่วยให้สามารถดูข้อมูลและสั่งการอุปกรณ์ได้แบบเรียลไทม์ ฟังก์ชันหลักของแอปพลิเคชัน ได้แก่

1.4.1 การแสดงผลข้อมูลเซ็นเซอร์ (Sensor Data Display) แสดงผลอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นในดิน ในรูปแบบตัวเลขทศนิยม 2 ตำแหน่ง และระบุสถานะตามการวิเคราะห์ของตรรกศาสตร์คลุมเครือ

1.4.2 สถานะของระบบ (System Status) มีไอคอนสถานะพร้อมข้อความ "YES" แสดงว่าอุปกรณ์ IoT กำลังทำงานปกติ และ ข้อความ "NO" แสดงว่าอุปกรณ์ IoT ไม่ทำงาน

1.4.3 มีปุ่ม "Graph" ที่น่าจะใช้ดูแนวโน้มของค่าต่าง ๆ ในรูปแบบกราฟ

การควบคุมผ่านแอปพลิเคชันมือถือ แอปพลิเคชันนี้สามารถใช้ในการตรวจสอบข้อมูลสภาพแวดล้อมของแปลงสตรอเบอรีแบบเรียลไทม์ผ่านมือถือ นอกจากนี้ยังอาจมีฟีเจอร์สำหรับควบคุมอุปกรณ์ เช่น การเปิด-ปิดระบบให้น้ำ ตามค่าความชื้นในดิน การแจ้งเตือน (Alerts) เมื่ออุณหภูมิหรือความชื้นถึงระดับที่อาจส่งผลกระทบต่อพืช และการดูแนวโน้มข้อมูลย้อนหลัง เพื่อปรับปรุงการจัดการแปลงปลูก ดังแสดงให้เห็นใน ภาพที่ 4 และ 5



ภาพที่ 4 Graphic User Interface



ภาพที่ 5 Graph

จากภาพที่ 4 แสดงข้อมูลกราฟอุณหภูมิ และความชื้นในระยะเวลา 24 ชม. และส่วนล่างจะบอกข้อมูลในรูปแบบตารางสามารถดาวโหลดข้อมูลลงมาได้ โดยที่ระบบจะเป็นเพียงการแสดงข้อมูลและการสั่งงานเบื้องต้น เพื่อให้ง่ายต่อผู้ใช้งานจึงไม่มีระบบหลังบ้านระบบจึงสามารถใช้งานได้อย่างรวดเร็วและไม่ซับซ้อน

2. ผลการเปรียบเทียบผลผลิตและการใช้ทรัพยากรระหว่างการปลูกด้วยระบบที่พัฒนาขึ้นกับการเพาะปลูกแบบดั้งเดิม หลังจากทดลองปลูกสตรอเบอรีเป็นระยะเวลา 4 เดือน แล้วทำการเปรียบเทียบการเจริญเติบโต ปรากฏผลดังนี้

กลุ่มควบคุม กลุ่มทดลอง



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของสตรอเบอรี

ตารางที่ 1

การเจริญเติบโตของสตรอเบอรี

การเจริญเติบโต/กลุ่ม	ควบคุม	ทดลอง	t-statistic	p-value
ค่าเฉลี่ยความสูง	8.24	13.44	4.03	0.002*
ค่าเฉลี่ยความกว้างของทรงพุ่ม	21.65	27.27	2.68	0.020*
ค่าเฉลี่ยจำนวนดอกต่อต้น	5.48	13.94	3.13	0.013*
ค่าเฉลี่ยจำนวนผลต่อต้น	3.90	9.51	6.00	0.009*
อัตราการให้น้ำต่อครั้ง	30	22.73	-5.14	0.001*

*มีนัยสำคัญทางสถิติที่ประดับ .05

จากตารางที่ 1 การศึกษาการเจริญเติบโตของพืชระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกตัวแปรที่วิเคราะห์ ค่าเฉลี่ยความสูงของพืชในกลุ่มทดลองอยู่ที่ 13.44 ซึ่งสูงกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าเฉลี่ย 8.24 อย่างมีนัยสำคัญ (t = 4.03, p = 0.002) นอกจากนี้ ค่าเฉลี่ยความกว้างของทรงพุ่มในกลุ่มทดลองก็สูงกว่ากลุ่มควบคุมเช่นกัน โดยมีค่าเฉลี่ย 27.27 เทียบกับ 21.65 ในกลุ่มควบคุม (t = 2.68, p = 0.020)

สำหรับผลผลิต พบว่ากลุ่มทดลองให้จำนวนดอกต่อต้นมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ย 13.94 ดอกต่อต้น ในขณะที่กลุ่มควบคุมมีเพียง 5.48 ดอกต่อต้น (t = 3.13, p = 0.013) เช่นเดียวกันจำนวนผลต่อต้นในกลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ย 9.51 ซึ่งมากกว่ากลุ่มควบคุมที่มีค่าเฉลี่ย 3.90 อย่างมีนัยสำคัญ (t = 6.00, p = 0.009) อัตราการให้น้ำต่อครั้งในกลุ่มทดลองกลับต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยกลุ่มควบคุมได้รับน้ำเฉลี่ย 30 มิลลิลิตร ต่อครั้ง ในขณะที่กลุ่มทดลองได้รับเพียง 12.48 มิลลิลิตร ซึ่งค่า p เท่ากับ 0.001 และค่า t เป็นลบ (-4.72) แสดงให้เห็นว่าแม้ใช้น้ำน้อยลง คิดเป็น 24.23 % แต่พืชในกลุ่มทดลองยังสามารถเติบโตได้ดีและให้ผลผลิตสูงกว่า

สรุปผลการวิจัย

ผลพัฒนาเทคโนโลยี IoT และตรรกศาสตร์คลุมเครือ ในการควบคุมสภาพแวดล้อมของการปลูกสตรอเบอรี พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัด วิเคราะห์ และปรับสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประกอบด้วยเซ็นเซอร์เก็บข้อมูล ระบบประมวลผลกลาง อุปกรณ์ควบคุม และระบบแสดงผลผ่านมือถือ

ผลการทดลองพบว่าพืชในกลุ่มทดลองมีการเจริญเติบโตและผลผลิตสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าเฉลี่ยความสูง ความกว้างทรงพุ่ม จำนวนดอก และจำนวนผลต่อต้นสูงกว่า ขณะที่อัตราการใช้น้ำลดลง 24.23% ระบบที่ใช้ผสานเทคโนโลยี IoT กับ ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) ทำให้สามารถตรวจวัดสภาพแวดล้อมและปรับการให้น้ำแบบเรียลไทม์ได้อย่างแม่นยำ ส่งผลให้พืชได้รับน้ำตามความต้องการในแต่ละช่วงเวลาอย่างเหมาะสม ส่งเสริมการเติบโต เพิ่มผลผลิต และลดการใช้น้ำเกินจำเป็น ช่วยประหยัดต้นทุน และสนับสนุนการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

การอภิปรายผล

ผลพัฒนาเทคโนโลยี IoT และตรรกศาสตร์คลุมเครือในการควบคุมสภาพแวดล้อมของการปลูกสตรอเบอรี พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัด วิเคราะห์ และปรับสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยประกอบด้วยเซ็นเซอร์เก็บข้อมูล ระบบประมวลผลกลาง อุปกรณ์ควบคุม และระบบแสดงผลผ่านมือถือ วิธีการที่ใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic) ในการควบคุมสภาพแวดล้อมของการปลูกสตรอเบอรีให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีเดิมด้วยเหตุผลสำคัญดังนี้

1. การเก็บข้อมูลและวิเคราะห์แบบเรียลไทม์ ระบบ IoT สามารถเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำ ทำให้สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ทันที ต่างจากวิธีเดิมที่อาจพึ่งพาการวัดค่าหรือการตัดสินใจจากมนุษย์ที่มีความล่าช้าและไม่แม่นยำ

2. การจัดการข้อมูลที่คลุมเครือและซับซ้อนด้วย Fuzzy Logic ตรรกศาสตร์คลุมเครือช่วยให้ระบบสามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความไม่แน่นอน เช่น ความชื้นที่เปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา และไม่จำเป็นต้องกำหนดเกณฑ์ตายตัวเหมือนวิธีแบบดั้งเดิม ทำให้ระบบตัดสินใจให้น้ำอย่างเหมาะสมและยืดหยุ่นตามสภาพจริง

3. การควบคุมแบบอัตโนมัติและแม่นยำ ระบบสามารถสั่งงานอุปกรณ์ควบคุมการให้น้ำโดยอัตโนมัติและปรับเปลี่ยนได้ตามผลวิเคราะห์ทันที ลดความผิดพลาดจากมนุษย์ และลดการให้น้ำเกินความจำเป็น ซึ่งส่งผลดีต่อการประหยัดน้ำและเพิ่มประสิทธิภาพการเพาะปลูก

4. ความสามารถในการขยายและประยุกต์ใช้ในพื้นที่ต่าง ๆ ระบบที่ใช้ Cloud Computing และฐานข้อมูลกลาง ทำให้สามารถบริหารจัดการแปลงปลูกหลายแห่งพร้อมกันได้ และยังง่ายต่อการปรับปรุงหรือพัฒนาต่อยอดในอนาคต

ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีกว่าในกลุ่มทดลองเมื่อเทียบกับกลุ่มควบคุม โดยค่าเฉลี่ยความสูงของพืชในกลุ่มทดลองมีค่าที่สูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.002$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลุ่มทดลองมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่า ในขณะเดียวกัน ค่าเฉลี่ยความกว้างของทรงพุ่มในกลุ่มทดลองก็สูงกว่ากลุ่มควบคุม ($p = 0.020$) ซึ่งบ่งชี้ว่าการเจริญเติบโตในด้านความกว้างของทรงพุ่มก็ได้รับผลที่ดีกว่าเช่นกัน

นอกจากนี้ ผลผลิตของพืชในกลุ่มทดลองก็มีจำนวนดอกต่อต้นและจำนวนผลต่อต้นมากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.013$ และ $p = 0.009$ ตามลำดับ) ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากลุ่มทดลองไม่เพียงแต่เติบโตได้ดี แต่ยังสามารถให้ผลผลิตที่สูงกว่าได้อย่างชัดเจน

ในส่วนของการให้น้ำ พบว่ากลุ่มทดลองมีอัตราการให้น้ำที่ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญ ($p = 0.001$) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของกลุ่มทดลองในการปรับตัวเพื่อประหยัดน้ำ โดยการใช้น้ำน้อยลงแต่ยังคงสามารถรักษาการเจริญเติบโตและผลผลิตที่สูงได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Cruz และคณะ (2022) ที่พัฒนาระบบจัดการฟาร์มสตรอเบอรีด้วยเทคโนโลยี Edge Computing และ IoT เพื่อรวบรวม วิเคราะห์ และทำนายข้อมูลเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต รวมถึงงานของ Krishnan และคณะ (2020) ที่เสนอระบบชลประทานอัจฉริยะควบคุมจากระยะไกลด้วย GSM และ Fuzzy Logic ช่วยประหยัดน้ำและพลังงาน และ García และคณะ

(2020) ที่สรุปแนวโน้มระบบชลประทานอัจฉริยะโดยใช้ IoT จัดการน้ำ ดิน และสภาพอากาศ ด้วยข้อมูลและการวิเคราะห์ที่ละเอียด ระบบช่วยลดการใช้น้ำลงถึง 24.23% ในขณะที่ผลผลิตเพิ่มขึ้น และงานวิจัยอื่น ๆ ที่มีการใช้ Fuzzy Logic ในการพัฒนา IoT (Thomopoulos et al., 2024; Tayyaba et al., 2020; Morchid et al., 2025; Yuwono et al., 2020; Artetxe et al., 2024) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการจัดการทรัพยากรอย่างเหมาะสมไม่เพียงแต่ลดต้นทุน แต่ยังช่วยเพิ่มผลผลิตอย่างยั่งยืน

ผลการศึกษานี้อาจแสดงถึงความสามารถในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้น้ำในการเกษตร โดยการลดการใช้น้ำโดยไม่กระทบต่อผลผลิต การลดลงของปริมาณน้ำที่ใช้ต่อครั้งในกลุ่มทดลองสะท้อนถึงการบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการเกษตรที่ยั่งยืน เนื่องจากการใช้น้ำอย่างเหมาะสมช่วยลดต้นทุนและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ผลการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเพาะปลูกพืชชนิดอื่นที่ต้องการการจัดการสภาพแวดล้อมที่แม่นยำ เช่น พืชเรือนกระจก หรือพืชที่ปลูกในระบบไฮโดรโปนิกส์

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำวิจัยไปใช้

1. ควรศึกษาผลกระทบจากการใช้เทคโนโลยี IoT และตรรกศาสตร์คลุมเครือต่อผลผลิตและคุณภาพของสตรอเบอรีในระยะยาว เพื่อยืนยันประสิทธิภาพและความยั่งยืนของระบบ

2. ส่งเสริมการสนับสนุนจากภาครัฐและองค์กรต่าง ๆ ในการใช้เทคโนโลยี IoT ในภาคเกษตร เพื่อช่วยให้เกษตรกรเข้าถึงเทคโนโลยีที่ทันสมัยและสามารถนำไปใช้ได้จริง

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

1. ควรเพิ่มตัวแปรด้านสารอาหารในดินและระดับแสงที่เหมาะสมเพื่อศึกษาผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืชเพิ่มเติม

2. สามารถพัฒนาโมเดลการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการควบคุมปัจจัยแวดล้อม

3. ควรทำการศึกษาในหลากหลายสภาพแวดล้อมการปลูกสตรอเบอรีที่มีความแตกต่างกัน เช่น อุณหภูมิความชื้น หรือปัจจัยทางภูมิศาสตร์ เพื่อทดสอบความยืดหยุ่นของเทคโนโลยีที่พัฒนา

เอกสารอ้างอิง

คงกฤช อินทแสน. (ม.ป.ป.). *สตรอเบอรี่.* ศูนย์ส่งเสริมการเกษตรที่สูง จังหวัดกาญจนบุรี. https://esc.doae.go.th/wp-content/uploads/2015/02/stawberry.pdf

ตู้ปลูกสตรอว์เบอร์รี ใช้แสงเทียม สดใหม่ ไร้สารเคมี. (2563, 3 มีนาคม). ผู้จัดการออนไลน์. https://mgronline.com/science/detail/963000002121

ธนเดช วงเขียว. (2566, 20 กุมภาพันธ์). *เกษตรชวนแอ่วงาน สตรอว์เบอร์รี และของดีอำเภอสะเมิง ครั้งที่ 20 ประจำปี 2566.* สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่. https://chiangmai.doae.go.th/province/?p=13401

ธาวิดา ศิริสัมพันธ์. (2560, 9 พฤศจิกายน). *กำเนิด สตรอเบอรี่ ผลไม้ข้ามชาติ.* ข่าวสด. https://www.technologychaoban.com/bullet-news-today/article_36531

วิวัฒน์ มีสุวรรณ์. (2559). อินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง (Internet of Thing) กับการศึกษา. *วารสารวิชาการนวัตกรรมสื่อสารสังคม, 4*(2), 83-92.

สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง. (2558, 11 กุมภาพันธ์). *การปลูกสตรอเบอรี่พันธุ์พระราชทาน 80*. อิสซู. https://issuu.com/hrdi/docs/strawberry-variety80/34

หุ่นยนต์ AI ช่วยตรวจสอบ ดูแล และเพิ่มคุณภาพการเก็บเกี่ยวสตรอว์เบอร์รี. (2567, 27 มิถุนายน). กรุงเทพธุรกิจ. https://www.bangkokbiznews.com/corporate-moves/tech/innovation/1133225

Artetxe, E., Barambones, O., Martín Toral, I., Uralde, J., Calvo, I., & del Rio, A. (2024). Smart IoT irrigation system based on Fuzzy Logic, LoRa, and Cloud Integration. *Electronics, 13*(10), Article 1949. https://doi.org/10.3390/electronics13101949

Cruz, M., Mafra, S., Teixeira, E., & Figueiredo, F. (2022). Smart strawberry farming using edge computing and IoT. *Sensors, 22*(15), Article 5866. https://doi.org/10.3390/s22155866

García, L., Parra, L., Jimenez, J. M., Lloret, J., & Lorenz, P. (2020). IoT-based smart irrigation systems: an overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture. *Sensors, 20*(4), Article 1042. https://doi.org/10.3390/s20041042

Krishnan, R. S., Julie, E. G., Robinson, Y. H., Raja, S., Kumar, R., Thong, P. H., & Son, L. H. (2020). Fuzzy Logic based smart irrigation system using Internet of Things. *Journal of Cleaner Production, 25*, Article 119902. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119902

Morchid, A., Said, Z., Abdelaziz, A. Y., Siano, P., & Qjidaa, H. (2025). Fuzzy Logic-based IoT system for optimizing irrigation with Cloud Computing: Enhancing water sustainability in smart agriculture. *Smart Agricultural Technology, 11*(2025), Article 100979. https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100979

Ross, T. J. (2010). *Fuzzy Logic with engineering applications* (3rd ed.). Wiley.

Tayyaba, S., Ashraf, M. W., Alquthami, T., Ahmad, Z., & Manzoor, S. (2020). Fuzzy-based approach using IoT devices for smart home to assist blind people for navigation. *Sensors, 20*(13), Article 3674. https://doi.org/10.3390/s20133674

Thomopoulos, V., Tolis, F., Blounas, T.-F., Tsipianitis, D., & Kavga, A. (2024). Application of Fuzzy Logic and IoT in a small-scale smart greenhouse system. *Smart Agricultural Technology, 8*(2024), Article 100446. https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100446

Yuwono, T., Ruzardi, R. N., Mohamed, R., & Ismail, M. (2020). The model of Fuzzy Logic in IoT system as decision support system for determining flood disaster status. *Journal of Physics: Conference Series*, *1529*(2020), Article 052029. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1529/5/052029

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control, 8*, 338-353.