แอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกเมล่อนในโรงเรือน โดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและการควบคุมฟัซซี่

Automatic Control System Application for Melon Growth in Greenhouse Using IoT and Fuzzy Control

ไพฑูรย์ ศรีนิล[1*] ธารารัตน์ พวงสุวรรณ[1] อุไรวรรณ บัวตูม[1] และ สุมิตร คุณเจตน์[2]
Phaitoon Srinil[1] Tharatat Puangsuwan[1] Uraiwan Buatoom[1] and Sumit Kunjet[2]
[1]สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี
[2]สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา วิทยาเขตจันทบุรี
[1]Department of Information Technology, Faculty of Science and Arts, Burapha University, Chanthaburi Campus
[2]Department of Agricultural Technology, Science and Arts Faculty, Burapha University Chanthaburi Campus
วันที่ส่งบทความ : 2 กุมภาพันธ์ 2564 วันที่แก้ไขบทความ : 4 มิถุนายน 2564 วันที่ตอบรับบทความ : 23 กรกฎาคม 2564
Received: 2 February 2021, Revised: 4 June 2021, Accepted: 23 July 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติบนสมาร์ทโฟนสำหรับควบคุมการปลูกเมล่อนในโรงเรือนด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในโรงเรือน การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ การพัฒนาสมาร์ทโฟนแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ และการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยที่ตัวควบคุมฟัซซี่ถูกออกแบบและสร้างจากข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นเมล่อนที่ได้จากการทดลองปลูกจริงในโรงเรือนโดยผู้เชี่ยวชาญ สำหรับส่วนของการพัฒนาสมาร์ทโฟนแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติได้ใช้เทคโนโลยี Node-Red ร่วมกับเทคโนโลยี IoT และส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ มีการทดสอบโดยนำค่าน้ำหนักและค่าความหวานของผลเมล่อนที่ได้จากการปลูกด้วยแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติเปรียบเทียบกับผลเมล่อนที่ได้จากการปลูกจริงโดยผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ จากผลการทดสอบทางสถิติด้วย z-test พบว่าผลผลิตเมล่อนจากทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือกล่าวได้ว่า แอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นมานี้สามารถทำงานทดแทนแรงงานคนที่เป็นผู้เชี่ยวชาญได้

คำสำคัญ : ระบบควบคุมฟัซซี่ การปลูกเมล่อนในโรงเรือน อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

[*]ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: phaitoon@buu.ac.th

Abstract

This research presents a smartphone application for the automatic control of a melon growth in the greenhouse. The development process includes four main parts: greenhouse environmental data observing, fuzzy controller design, smartphone application of control system development, and system performance testing. The fuzzy controller is designed and performed based on the experiment of growing melon in the greenhouse controlled by the agriculture expert. The smartphone application is developed using the Node-RED and IoT technologies. Compared to the melon yields' system performance with the traditional process, statistical results with z-test showed no significant difference in melon yield from both melon's weight and sweetness values at a significance level of 0.05. Hence, this approach can also be applied to monitor the melon's growth in the greenhouse same as a human expert.

Keywords: Fuzzy control system, Melon growth in greenhouse, Internet of things

1. บทนำ

เมล่อนมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cucumis melo L.* อยู่ในตระกูล Cucurbitaceae [1] เป็นพืชที่มีดอกตัวผู้ตัวเมีย และดอกสมบูรณ์เพศในต้นเดียวกัน เกสรผสมข้ามโดยแมลงและลม [2] มีถิ่นกำเนิดในแถบทวีปแอฟริกา เจริญเติบโตได้ดีในสภาพร้อนแห้ง แสงแดดจัด และสามารถปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมของประเทศไทยได้ดี แต่ติดโรคได้ง่ายจึงต้องดูแลเป็นพิเศษ [3] ผลสุกเมล่อนใช้รับประทาน มีกลิ่นหอม รสหวาน เป็นที่นิยมของผู้บริโภค ดังนั้นเมล่อนจึงเป็นพืชที่เกษตรกรให้ความสนใจมากชนิดหนึ่ง เนื่องจากเป็นพืชที่มีราคาสูงและเป็นที่ต้องการของตลาด [4] อีกทั้งปัจจุบันประเทศไทยยังมีเกษตรกรผู้เพาะปลูกเมล่อนจำนวนไม่มาก เนื่องมาจากเมล่อนเป็นพืชที่อ่อนแอต่อโรคและแมลงศัตรูพืช และต้องใช้ต้นทุนในปลูกค่อนข้างสูง [4]-[5] นอกจากนี้เมล่อนยังต้องการการดูแลเอาใจใส่และการจัดการแปลงเป็นอย่างดีอีกด้วย เพราะมันเป็นพืชอ่อนแอต่อสภาพแวดล้อมที่นับวันจะยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น [6] ดังนั้นการนำเมล่อนมาปลูกในโรงเรือนเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดปัญหาในการจัดการแปลง การระบาดของโรคพืช และการระบาดของแมลงศัตรูพืชได้ แต่ต้องมีการควบคุมสภาพอากาศภายในโรงเรือนและการควบคุมการให้น้ำที่เหมาะสม โดยปกติเกษตรกรจะนิยมการให้แบบหยด โดยแบ่งเป็นช่วงเวลาประมาณวันละ 1-3 ครั้งต่อวัน ในวันที่อากาศร้อนจัด เกษตรกรอาจเพิ่มปริมาณการให้น้ำมากเกินไปจนเป็นสาเหตุให้เมล่อนเกิดโรคได้ เนื่องมาจากเมล่อนเป็นพืชที่ต้องการน้ำในปริมาณที่ไม่มากและไม่น้อยเกินไป ดังนั้นการปลูกเมล่อนจึงเป็นเรื่องที่ไม่ง่ายนักสำหรับเกษตรมือใหม่ การนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยดูแลการปลูก การจัดการโรงเรือน เพื่อลดเวลาในการดูแล ลดต้นทุน เพิ่มคุณภาพและปริมาณผลผลิต จึงเป็นหัวข้อปัญหาที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง

จากงานวิจัยที่นำเสนอโดย พรชัย แสงอังศุมาลี [7] ได้พัฒนาระบบน้ำหยดจากท่อขนาดจิ๋วทำให้ปริมาณการให้น้ำมีความสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น นราธิป ทองปาน และธนาพัฒน์ เที่ยงภักดิ์ [8] ได้พัฒนาระบบ

รดน้ำอัตโนมัติผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยระบบสามารถสั่งเปิดปิดวาล์วน้ำได้ตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ แต่ระบบสามารถส่งการควบคุมได้เพียงแค่ 120 เมตรเท่านั้น ธนากร น้ำหอมจันทร์ และอติกร เสรีพัฒนานนท์ [9] ได้พัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้ด้วย PLC รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร [10] ใช้เทคโนโลยี IoT และ Deep Learning มาใช้สำหรับควบคุมการทำงานของระบบในโรงเรือนแบบอัตโนมัติ โดยกำหนดรูปแบบการทำงานไว้ใน โปรไฟล์จำนวน 3 รูปแบบ คือ การควบคุมสำหรับผักระยะต้นเล็ก การควบคุมสำหรับผักระยะต้นกลาง และการควบคุมสำหรับผักระยะต้นใหญ่ การตัดสินใจที่จะเลือกใช้การควบคุมจากโปรไฟล์ในรูปแบบใดจะใช้การวิเคราะห์การเจริญเติบโตของผัก ว่าอยู่ในระยะต้นเล็ก ต้นกลาง หรือต้นใหญ่ ด้วยเครื่องมือจดจำลักษณะรูปร่าง Inter Tensorflow Deep Learning บน AWS Cloud

จากงานวิจัยในปัจจุบันพบว่า ส่วนใหญ่จะมีการออกแบบตัวควบคุมการจัดการโรงเรือนโดยใช้ฐานความรู้จากผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ อาทิเช่น ในงานวิจัยของ รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร [10] มีการกำหนดรูปแบบการควบคุมไว้ในโปรไฟล์โดยผู้เชี่ยวชาญ เป็นต้น ซึ่งองค์ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญดังกล่าวมีโอกาสผิดพลาดได้ อีกทั้งไม่อาจรับประกันได้ว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสภาพอากาศได้ในทุกพื้นที่ของประเทศไทย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติสำหรับการปลูกเมล่อนในโรงเรือน โดยออกแบบตัวควบคุมบนฐานข้อมูลการเจริญเติบโตของเมล่อนจากการปลูกโดยผู้เชี่ยวชาญในพื้นที่จริง ซึ่งจะทำให้ระบบควบคุมอัตโนมัติที่ได้ สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้ได้จริงภายใต้สภาพแวดล้อมของพื้นที่จริง อีกทั้งระบบที่พัฒนาขึ้นมานี้เป็นแอปพลิเคชันที่ทำงานบนสมาร์ทโฟนและส่งควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ต ทำให้สามารถใช้งานได้สะดวกในทุกพื้นที่

โครงสร้างของบทความนี้แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ 1) บทนำ กล่าวถึงที่มาของปัญหาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2) วิธีการทดลอง กล่าวถึงขั้นตอนการวางแผนการทดลองและสมมุติฐาน 3) ผลการทดลองและวิจารณ์ และ 4) สรุปผลการทดลอง

2. วิธีการทดลอง

การดำเนินการทดลองแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ประกอบด้วย 1) การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในโรงเรือน ข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นเมล่อน และรูปแบบการให้น้ำที่เหมาะสม เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ 2) การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ 3) พัฒนาแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ และ 4) ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.1 การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในโรงเรือน ข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นเมล่อน และรูปแบบการให้น้ำที่เหมาะสม

วิธีดำเนินการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

1. จัดเตรียมโรงเรือนสำหรับการทดลองขนาด 6x12 เมตร จำนวน 2 โรงเรือน

2. ติดตั้งระบบน้ำหยดและระบบพ่นหมอก ติดตั้งระบบควบคุมการเปิด-ปิดน้ำ ติดตั้งมาตรวัดปริมาณน้ำ เครื่องวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง และความชื้นดิน ที่สามารถเฝ้าติดตามและควบคุมการทำงานแบบออนไลน์ผ่านอินเทอร์เน็ต

3. เตรียมต้นเมล่อนที่มีความสมบูรณ์ย้ายมาปลูกในโรงเรือนโดยใช้ถุงหรือกระถางขนาด 12 นิ้ว วางกระถางแบบคู่ ระยะห่างระหว่างกระถางในแถว 50 ซม. ระยะห่างภายในแถวคู่ 80 ซม. และระยะห่างระหว่างแถวคู่เท่ากับ 150 ซม.

4. บันทึกข้อมูลสภาพแวดล้อมในโรงเรือน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง ความชื้นดิน และรูปแบบการให้น้ำ โดยรูปแบบการให้น้ำได้กำหนดการทดลองออกเป็น 2 การทดลอง คือ การทดลองในต้นเมล่อนระยะก่อนออกดอก (อายุ 15-40 วัน) และการทดลองในต้นเมล่อนระยะติดผล (อายุ 41-80 วัน) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 : การทดลองให้น้ำเมล่อนในระยะอายุก่อนออกดอก (อายุ 15-40 วัน) จำนวน 2 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ๆ ละจำนวน 5 ต้น จำนวน 2 รอบการผลิต

กรรมวิธีที่ 1 ให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด 1 ครั้ง ตอนเช้า ปริมาณ 2 ลิตร/ต้น

กรรมวิธีที่ 2 ให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด 2 ครั้ง ตอนเช้า 1 ลิตร/ต้น และตอนเย็น 1 ลิตร/ต้น

การทดลองที่ 2 : การทดลองการให้น้ำเมล่อนในระยะอายุติดผล (อายุ 41-80 วัน) จำนวน 2 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 3 ซ้ำ ๆ ละจำนวน 5 ต้น จำนวน 2 รอบการผลิต

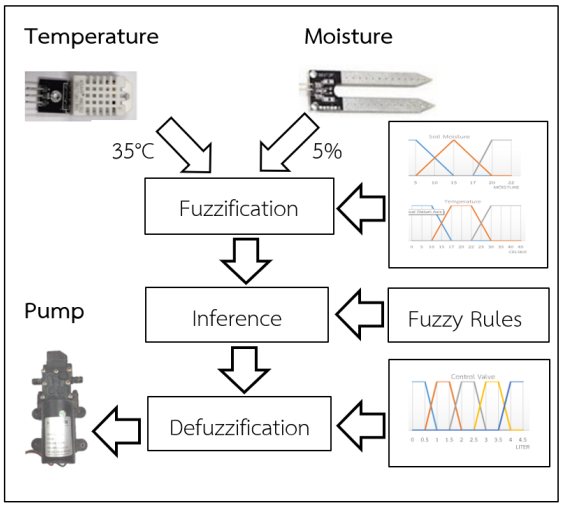
กรรมวิธีที่ 1 ให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด 2 ครั้ง ตอนเช้า 3 ลิตร/ต้น และเย็น 3 ลิตร/ต้น

กรรมวิธีที่ 2 ให้น้ำด้วยระบบน้ำหยด 3 ครั้ง ตอนเช้า 2 ลิตร/ต้น เที่ยง 2 ลิตร/ต้น และเย็น 2 ลิตร/ต้น

5. เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นเมล่อนของทั้ง 2 กรรมวิธีการให้น้ำ เลือกข้อมูลจากกรรมวิธีที่ดีที่สุดไปใช้ในการกระบวนการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่

2.2 การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่

ตัวควบคุมฟัซซี่ [11]-[13] ทำงานอยู่บนฐานของฟัซซี่โลจิก (Fuzzy Logic) [14] หรือตรรกศาสตร์คลุมครือ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยใช้หลักเหตุผล ซึ่งคล้ายกับวิธีคิดและการตัดสินใจของมนุษย์ หรืออาจกล่าวได้ว่าฟัซซี่โลจิกเป็นส่วนหนึ่งของระบบปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ในการทดลองนี้ได้นำตัวควบคุมฟัซซี่ในรูปแบบของ Mamdani และ Assilian [15] มาใช้ตัดสินใจในการให้น้ำต้นเมล่อน รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างการทำงานของระบบควบคุมฟัซซี่ ตัวอย่างการทำงานของระบบ เช่น เริ่มต้นด้วยการอ่านอุณหภูมิได้ค่า 35 องศาเซลเซียส และอ่านค่าความชื้นดินที่ 16% เข้าสู่กระบวนการฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification) เพื่อแปลงเป็นฟัซซี่โลจิกก่อนนำเข้าสู่กระบวนการวินิจฉัย (Inference) เพื่อตัดสินใจตามหลักเหตุผลจากฐานความรู้กฎฟัซซี่ (Fuzzy Rules) เมื่อได้ค่าตัดสินใจแล้วจะดำเนินการตามกระบวนการดิฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) เพื่อแปลงค่ากลับไปเป็นค่าการกระทำ ตัวอย่างเช่น ได้ค่าการกระทำเป็น “สั่งให้ปั๊มน้ำทำงานเพื่อรดน้ำเมล่อนต้นละ 2.86 ลิตร” เป็นต้น



รูปที่ 1. โครงสร้างการทำงานของระบบควบคุมฟัซซี่

วิธีดำเนินการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

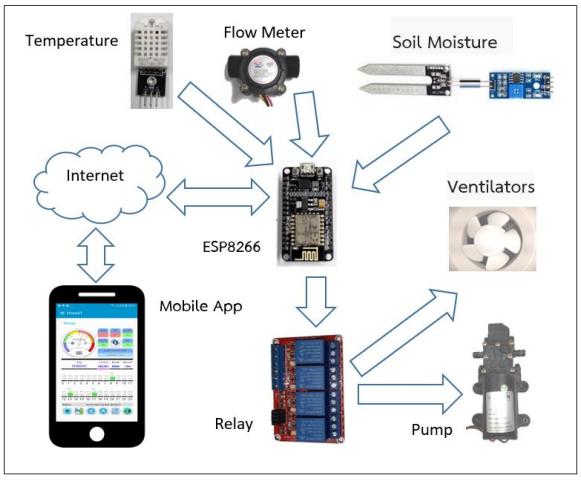
1. ทำความสะอาดข้อมูล (Data Cleaning) ข้อมูลสำหรับนำไปใช้ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ต้องนำมาทำความสะอาด เพื่อให้ได้ชุดข้อมูลที่สมบูรณ์ เช่น การจัดการข้อมูลสูญหาย (Missing Data) การจัดการข้อมูลแปลกแยก (Outlier) เป็นต้น แต่เนื่องจากขนาดของชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดลองนี้ มีขนาดไม่ใหญ่มากนักจึงสามารถตรวจสอบข้อมูลสูญหายได้ด้วยตา ส่วนข้อมูลแปลกแยกจัดการโดยใช้โปรแกรม Rapidminer 9.5

2. ออกแบบค่าของตัวแปรภาษา (Linguistic Value) หรือฟัซซี่เซ็ต (Fuzzy Set) สำหรับนำไปใช้ในกระบวนการฟัซซีฟิเคชันของระบบควบคุมฟัซซี่ โดยการออกแบบจะพิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนที่ผ่านมา ได้แก่ ข้อมูลอุณหภูมิภายในโรงเรือน ข้อมูลความชื้นดิน และข้อมูลการให้น้ำ

3. ออกแบบกฎฟัซซี่สำหรับนำไปใช้ในกระบวนการวินิจฉัยของระบบควบคุมฟัซซี่

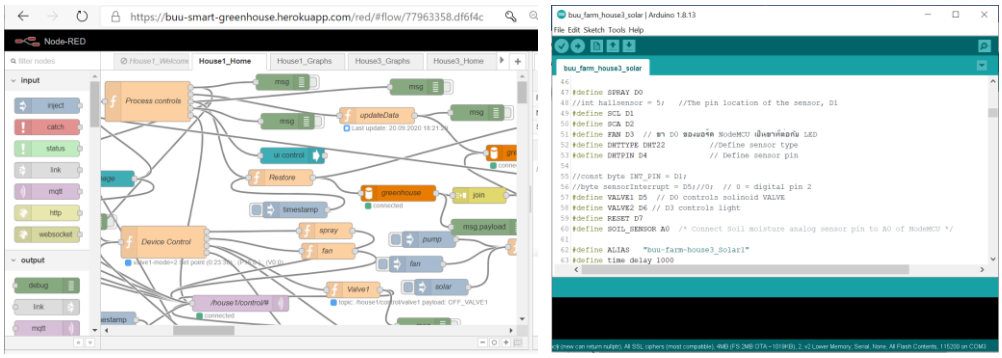
2.3 การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ

แอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ คือ แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่มีตัวควบคุมฟัซซี่ทำงานอยู่เบื้องหลัง โดยที่แอปพลิเคชันสามารถส่งการควบคุมระยะไกลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อจัดการการปลูกเมล่อนในโรงเรือนได้ สามารถติดตามดูสภาพอากาศภายในโรงเรือนได้ สามารถบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลและเรียกดูรายงานย้อนหลังได้ อาทิเช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง ความชื้นดิน และปริมาณการให้น้ำต้นเมล่อน เป็นต้น โครงสร้างการทำงานของแอปพลิเคชัน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2. โครงสร้างการทำงานของแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ

จากรูปที่ 2 แอปพลิเคชันที่นำเสนอในงานวิจัยนี้พัฒนาด้วยเทคโนโลยี Node-RED และ IoT โดยแอปพลิเคชันสามารถสื่อสารข้อมูลกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ที่ติดตั้งอยู่ภายในโรงเรือนสำหรับอ่านข้อมูลสภาพแวดล้อมจากอุปกรณ์เซนเซอร์ ได้แก่ เซนเซอร์อุณหภูมิ เซนเซอร์ความชื้นสัมพัทธ์ เซนเซอร์ตรวจการไหลของน้ำ เซนเซอร์ความเข้มแสง และเซนเซอร์ความชื้นดิน เมื่อแอปพลิเคชันได้รับข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ก็จะนำส่งให้ตัวควบคุมฟัซซี่ที่อยู่ในแอปพลิเคชันทำการประมวลผล จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลส่งกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 เพื่อสั่งการให้ปั๊มน้ำรดน้ำต้นเมล่อนในปริมาณที่เหมาะสม รูปที่ 3 (ก) และ 3 (ข) แสดงการพัฒนาแอปพลิเคชันด้วยโปรแกรม Node-RED และการพัฒนาโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 สำหรับควบคุมอุปกรณ์ IoT โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE



(ก) การพัฒนาแอปพลิเคชันด้วย Node-RED (ข) การพัฒนาโปรแกรมด้วย Arduino IDE

รูปที่ 3. การพัฒนาแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติและโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266

2.4 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ

วิธีดำเนินการทดลอง มีรายละเอียดดังนี้

1. ปลูกเมล่อนในโรงเรือนจำนวน 2 ชุดในเวลาเดียวกัน ชุดที่ 1 ใช้แอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติเป็นตัวควบคุมดูแล และชุดที่ 2 ให้ผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์เป็นผู้ควบคุมดูแล

2. เมื่อผลผลิตเมล่อนเก็บเกี่ยวได้ บันทึกค่าน้ำหนักและค่าความหวานของผลเมล่อนที่ได้จากการปลูกด้วยแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติและผลเมล่อนที่ได้จากการปลูกโดยผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์

3. นำข้อมูลน้ำหนักและค่าความหวานของผลเมล่อนจากการปลูกด้วยแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ และการปลูกด้วยผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วย z-test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่าง ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ดังแสดงตามสมการที่ 1

$$Z = \frac{\overline{x_1} + \overline{x_2}}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (1)$$

เมื่อ

$\overline{x_a}$ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรกลุ่ม a

s_a^2 คือ ค่ายกกำลังสองของความแปรปรวนของประชากรกลุ่ม a

n_a คือ จำนวนประชากรตัวอย่างกลุ่ม a

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

จุดประสงค์ของการศึกษานี้ เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่สามารถส่งการควบคุม บันทึกและรายงานภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนผ่านอินเทอร์เน็ต โดยฟังก์ชันการทำงานของแอปพลิเคชันมี 3 โหมดการทำงาน ได้แก่ การควบคุมด้วยมือ การตั้งโปรแกรมทำงานล่วงหน้า และการควบคุมอัตโนมัติ ในโหมดการควบคุมอัตโนมัติ จัดเป็นฟังก์ชันการทำงานที่เป็นหัวใจหลักของการนำเสนอในงานวิจัยนี้ ผลการทดลองวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้ คือ 1) การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในโรงเรือน ข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นเมล่อน และรูปแบบการให้น้ำ 2) การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ และ 3) การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 การเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมในโรงเรือน ข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นเมล่อน และรูปแบบการให้น้ำ

ข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือนถูกตรวจวัดโดยอุปกรณ์เซนเซอร์แล้วนำส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ที่ติดตั้งอยู่ภายในโรงเรือน เพื่อส่งต่อข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปบันทึกลงฐานข้อมูลที่ติดตั้งอยู่บนเซิร์ฟเวอร์ รูปที่ 4 (ก) แสดงการบันทึกข้อมูลและดึงข้อมูลสภาพอากาศจากฐานข้อมูลมาแสดงตามช่วงเวลาที่ระบุ รูปที่ 4 (ข) แสดงหน้าจอของตัวแอปพลิเคชันสำหรับผู้เชี่ยวชาญใช้ในการควบคุมการให้น้ำต้นเมล่อน ทั้งนี้แอปพลิเคชันจะบันทึกเวลาและปริมาณการให้น้ำของผู้เชี่ยวชาญลงฐานข้อมูลทุกครั้ง รูปที่ 4 (ค) แสดงรายงานการให้น้ำ

ของผู้เชี่ยวชาญตามช่วงเวลาที่ระบุ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำไปพิจารณาร่วมกับข้อมูลสภาพอากาศและความชื้นดินในขั้นตอนการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ ซึ่งจะกล่าวถึงในขั้นตอนถัดไป

(ก) รายงานสภาพอากาศ (ข) หน้าจอการควบคุม (ค) รายงานการให้น้ำ

รูปที่ 4. หน้าจอของแอปพลิเคชันระบบควบคุม

ในช่วงระยะเวลาที่ผู้เชี่ยวชาญทำการปลูกเมล่อนในโรงเรือนทดลอง ผู้เชี่ยวชาญจะบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นเมล่อนจำนวน 30 ต้น จากการปลูก 2 รอบการผลิต รอบการผลิตละ 3 ซ้ำ ๆ ละ 5 ต้น โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ช่วงอายุ ได้แก่ ต้นเมล่อนระยะก่อนออกดอก (อายุ 15-40 วัน) และต้นเมล่อนระยะติดผล (อายุ 41-80 วัน) ปัจจัยที่พิจารณา ได้แก่ ค่าขนาดยอด (ขนย.) ความกว้างใบ (คกบ.) ความยาวใบ (คยบ.) และปริมาณคลอโรฟิลล์ในใบ (ครฟ.) ทำการบันทึกสัปดาห์ละ 1 ครั้ง ดังตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นเมล่อนจากรูปแบบการให้น้ำทั้ง 2 กรรมวิธี

ตารางที่ 1. ตัวอย่างข้อมูลการเจริญเติบโตของต้นเมล่อนจากรูปแบบการให้น้ำทั้ง 2 กรรมวิธี

ต้นเมล่อนระยะก่อนออกดอก (อายุ 15-40 วัน)								
รูปแบบการให้น้ำกรรมวิธีที่ 1					รูปแบบการให้น้ำกรรมวิธีที่ 2			
ต้นที่	ขนย.1	คกบ.1	คยบ.1	ครฟ.1	ขนย.2	คกบ.2	คยบ.2	ครฟ.2
1	0.3	16.7	13.3	39.1	0.2	15.3	13.2	32.4
2	0.3	17.3	13.6	38.0	0.2	16.5	12.6	30.9
...	...	...	...	...	...	...	...	...
30	0.2	16.2	12.7	36.3	0.2	16.3	11.8	33.0
ต้นเมล่อนระยะติดผล (อายุ 41-80 วัน)								
รูปแบบการให้น้ำกรรมวิธีที่ 1					รูปแบบการให้น้ำกรรมวิธีที่ 2			
ต้นที่	ขนย.1	คกบ.1	คยบ.1	ครฟ.1	ขนย.2	คกบ.2	คยบ.2	ครฟ.2
1	0.2	19.3	15.7	40.3	0.3	20.5	16.9	38.7
2	0.3	19.3	15.3	41.1	0.4	20.3	16.0	36.5
...	...	...	...	...	...	...	...	...
30	0.3	18.3	15.0	35.0	0.3	18.6	15.1	34.5

หลังจากบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตจนเมล่อนอายุครบ 80 วัน นำข้อมูลที่ได้มาทดสอบสมมุติฐานค่าความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของการปลูกเมล่อนทั้ง 2 กรรมวิธี ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยตั้งสมมุติฐานดังนี้

H0: ค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีที่ 1 = ค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีที่ 2

H1: ค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีที่ 1 ≠ ค่าเฉลี่ยของกรรมวิธีที่ 2

ทำการทดสอบสมมุติฐานด้วย z-test ดังสมการที่ (1) ด้วยฟังก์ชัน Z-test: Two Sample for Means ของ Data Analysis โปรแกรม Microsoft Excel ตารางที่ 2 แสดงผลการทดสอบการเจริญเติบโตของต้นเมล่อนระยะก่อนออกดอก (อายุ 15-40 วัน) จากการปลูกด้วยกรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 2 เมื่อ ขนย.1 คือ ขนาดยอดเมล่อนที่ปลูกด้วยกรรมวิธีที่ 1 และ ขนย.2 คือ ขนาดยอดเมล่อนที่ปลูกด้วยกรรมวิธีที่ 2 เป็นต้น จากการทดสอบพบว่าค่า P(Z<=z) two-tail ของการทดสอบบนปัจจัย ขนย. คกบ. คยบ. และ ครฟ. มีค่าเป็น 0.0001, 0.0001, 0.0000 และ 0.0000 ตามลำดับ ซึ่งล้วนมีค่าน้อยกว่า 0.05 (Alpha) แสดงว่าปฏิเสธ (Reject) สมมุติฐาน H0 (Null hypothesis) หรือกล่าวได้ว่าการเจริญเติบโตของต้นเมล่อนระหว่างการปลูกด้วยกรรมวิธีที่ 1 และกรรมวิธีที่ 2 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ตารางที่ 3 แสดงผลสรุปการทดสอบทางสถิติการเจริญเติบโตต้นเมล่อนระยะติดผล (อายุ 41-80 วัน) ผลการทดสอบพบว่าค่า P(Z<=z) two-tail ของการทดสอบบนปัจจัย ขนย. คกบ. คยบ. และ ครฟ. มีค่าเป็น 0.0001, 0.0000, 0.0000 และ 0.8687 ตามลำดับ ซึ่งในสามปัจจัยแรกมีค่าน้อยกว่า 0.05

(Alpha) แสดงว่าปฏิเสธสมมุติฐาน H0 ยกเว้นในปัจจัย ครฟ. ที่มีค่ามากกว่า 0.05 ทำให้ไม่สามารถปฏิเสธ H0 ได้ หรือไม่สามารถแยกความแตกต่างได้

ตารางที่ 2. ผลการทดสอบ z-test การเจริญเติบโตของต้นเมล่อนระยะก่อนออกดอก (อายุ 15-40 วัน)

	ขนย.1	**ขนย.2**	**คกบ.1**	**คกบ.2**	**คยบ.1**	**คยบ.2**	**ครฟ.1**	**ครฟ.2**
Mean	0.2333	0.1867	16.4600	15.5100	13.0100	12.2267	35.2133	31.9333
Known Variance	0.0023	0.0019	0.7294	1.0982	0.2451	0.6117	0.2389	3.1257
Observations	30	30	30	30	30	30	30	30
Hypothesized Mean	0		0		0		0	
z	3.9441		3.8490		4.6352		9.7942	
P(Z<=z) one-tail	0.0000		0.0001		0.0000		0.0000	
z Critical one-tail	1.6449		1.6449		1.6449		1.6449	
P(Z<=z) two-tail	**0.0001**		**0.0001**		**0.0000**		**0.0000**	
z Critical two-tail	1.9600		1.9600		1.9600		1.9600	

ตารางที่ 3. ผลการทดสอบ z-test การเจริญเติบโตของต้นเมล่อนระยะติดผล (อายุ 41-80 วัน)

	ขนย.1	**ขนย.2**	**คกบ.1**	**คกบ.2**	**คยบ.1**	**คยบ.2**	**ครฟ.1**	**ครฟ.2**
Mean	0.2700	0.3167	18.0900	19.4133	14.9066	15.5966	36.4733	36.5667
Known Variance	0.0022	0.0021	0.4878	0.5212	0.19030	0.38790	7.3834	2.1795
Observations	30	30	30	30	30	30	30	30
Hypothesized Mean	0		0		0		0	
z	-3.8979		-7.2158		-4.9702		-0.1653	
P(Z<=z) one-tail	0.0000		0.0000		0.0000		0.4343	
z Critical one-tail	1.6449		1.6449		1.6449		1.6449	
P(Z<=z) two-tail	**0.0001**		**0.0000**		**0.0000**		**0.8687**	
z Critical two-tail	1.9600		1.9600		1.9600		1.9600	

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นทำให้ทราบรูปแบบการให้น้ำที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ โดยเลือกรูปแบบการให้น้ำ 2 ครั้งต่อวัน ทั้งในเมล่อนระยะก่อนออกดอกหรือมีอายุ 15-40 วัน และเมล่อนระยะติดผลหรือมีอายุมากกว่า 40 วัน

3.2 การออกแบบระบบควบคุมฟัซซี่

จากข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้นดิน และรูปแบบการให้น้ำที่เหมาะสมจากการทดลองปลูกเมล่อนในพื้นที่จริง ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ เพื่อเป็นการถอดองค์ความรู้จากผู้เชี่ยวชาญ ในงานวิจัยนี้ใช้กฎฟัซซี่ในรูปแบบของ Mamdani และ Assilian [15] ดังแสดงในสมการที่ 2

$$\text{IF } x_1 \text{ is } A_1 \text{ AND } \ldots \text{ AND } x_n \text{ is } A_n \text{ THEN } Y_1 \text{ is } B_1 \quad (2)$$

เมื่อ x_i คือ ตัวแปรทางอินพุท A_i คือ ค่าของตัวแปรภาษา (Linguistic Variable) ทางอินพุท หรือฟัซซี่เซ็ตทางอินพุท Y_i คือ ตัวแปรภาษาทางเอาท์พุท และ B_i คือ ค่าของตัวแปรภาษาทางเอาท์พุท หรือฟัซซี่เซ็ตทางเอาท์พุท

ค่าความแข็งแรงของกฎฟัซซี่ (Firing Strength) สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ 3

$$w_j = \prod_{i=1}^{n} A_i(x_i) \tag{3}$$

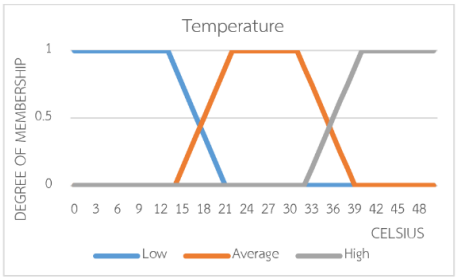
เมื่อ w_j คือ ค่าความแข็งแรงของกฎฟัซซี่ j และ $A_i(x_i)$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของ x_i ในฟัซซี่เซ็ต A_i

ค่าเอาท์พุทของการดิฟัซซิฟิเคชัน (ดูรูปที่ 1) สามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการที่ 4

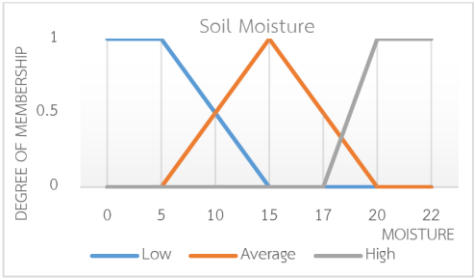
$$COG = \frac{\int_a^b B(x)x dx}{\int_a^b B(x)dx} \tag{4}$$

เมื่อ COG คือ ค่า Center Of Gravity หรือจุดศูนย์ถ่วงของฟัซซี่เซ็ต B บนช่วงระหว่าง a ถึง b

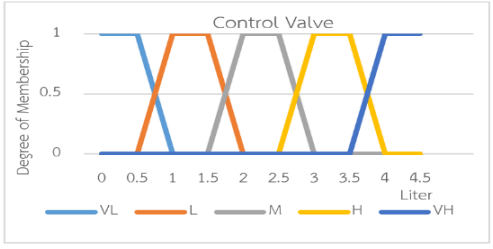
รูปที่ 5 (ก) และรูปที่ 5 (ข) แสดงตัวแปรภาษาทางอินพุท สำหรับนำไปใช้ในกระบวนการฟัซซีฟิเคชัน ได้แก่ ตัวแปรภาษาอุณหภูมิ (Temperature) และตัวแปรภาษาความชื้นดิน (Soil Moisture) โดยที่ค่าของตัวแปรภาษาประกอบด้วย Low Average และ High รูปที่ 5 (ค) แสดงตัวแปรภาษาทางเอาท์พุทสำหรับนำไปใช้ในกระบวนการดิฟัซซิฟิเคชัน คือ ตัวแปรภาษาวาล์วควบคุม (Control Valve) ค่าของตัวแปรภาษาประกอบด้วย VL (Very Low), L (Low), M (Medium), H (High) และ VH (Very High)



(ก) ตัวแปรภาษาอุณหภูมิ



(ข) ตัวแปรภาษาความชื้นดิน



(ค) ตัวแปรภาษาวาล์วควบคุม

รูปที่ 5. ตัวแปรภาษาสำหรับนำไปใช้ในระบบควบคุมฟัซซี่

ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างกฎฟัซซี่ได้จากการออกแบบโดยใช้ข้อมูล การเจริญเติบโตของต้นเมล่อน ข้อมูลความชื้นดิน ข้อมูลอุณหภูมิ และข้อมูลการให้น้ำต้นเมล่อนของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งกฎฟัซซี่ดังกล่าวจะนำไปใช้ในกระบวนการวินิจฉัยของระบบฟัซซี่ ดังรูปที่ 1 โดยตัวแปรภาษาทางอินพุทมีจำนวน 2 ตัว คือ อุณหภูมิ (Temperature: TM) และความชื้นในดิน (Soil Moisture: SM) ตัวแปรภาษาทางเอาท์พุทมีจำนวน 1 ตัว คือ วาล์วควบคุม (Control Valve: CV) ตัวอย่างการใช้งานกฎฟัซซี่ในรูปแบบ IF-THEN ของตารางที่ 4 เช่น R1: IF TM is Low AND SM is Low THEN CV is M เป็นต้น

ตารางที่ 4. กฎฟัซซี่สำหรับใช้ในกระบวนการวินิจฉัยการเจริญเติบโตของต้นเมล่อนภายในโรงเรือนทดลอง

#Rule		**R1**	**R2**	**R3**	**R4**	**R5**	**R6**	**R7**	**R8**	**R9**
Input	**TM**	Low	Low	Low	Average	Average	Average	High	High	High
	SM	Low	Average	High	Low	Average	High	Low	Average	High
Output	**CV**	M	L	VL	H	M	L	VH	H	M

ตัวอย่างการใช้งานกฎฟัซซี่ กรณีศึกษาการควบคุมการให้น้ำเมล่อนในโรงเรือน เช่น เมื่ออุณหภูมิมีค่า 35 องศาเซลเซียส และความชื้นดินมีค่า 16% จะสามารถคำนวณค่าความแข็งแรงของกฎฟัซซี่ ตามสมการที่ (3) ได้ดังนี้

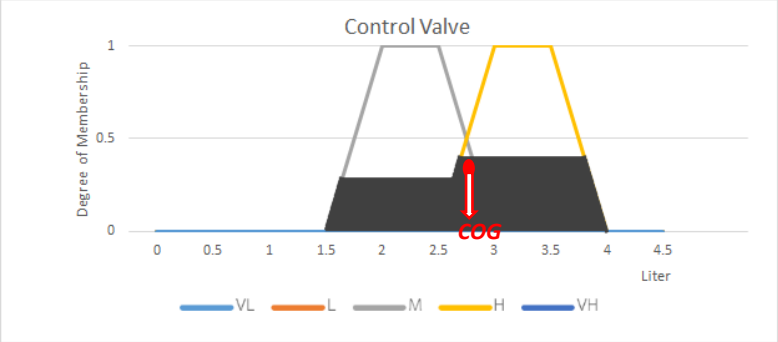
$$
\begin{aligned}
w_1 &= TM_{Low}(35) \times SM_{Low}(16) &&= 0.0 \times 0.0 = 0.0 \\
w_2 &= TM_{Low}(35) \times SM_{Average}(16) &&= 0.0 \times 0.8 = 0.0 \\
w_3 &= TM_{Low}(35) \times SM_{High}(16) &&= 0.0 \times 0.0 = 0.0 \\
w_4 &= TM_{Average}(35) \times SM_{Low}(16) &&= 0.3 \times 0.0 = 0.0 \\
w_5 &= TM_{Average}(35) \times SM_{Average}(16) &&= \mathbf{0.3} \times \mathbf{0.8} = \mathbf{0.24} \\
w_6 &= TM_{Average}(35) \times SM_{High}(16) &&= 0.3 \times 0.0 = 0.0 \\
w_7 &= TM_{High}(35) \times SM_{Low}(16) &&= 0.4 \times 0.0 = 0.0 \\
w_8 &= TM_{High}(35) \times SM_{Average}(16) &&= \mathbf{0.4} \times \mathbf{0.8} = \mathbf{0.32} \\
w_9 &= TM_{High}(35) \times SM_{High}(16) &&= 0.4 \times 0.0 = 0.0
\end{aligned}
$$

จากค่าความแข็งแรงของกฎฟัซซี่ พบว่ามีเพียงกฎฟัซซี่ R5 และ R8 เท่านั้นที่มีค่าความแข็งแรงมากกว่า 0.0 หรือมีเพียงกฎฟัซซี่ R5 และ R8 เท่านั้น ที่ตอบสนองต่อเหตุการณ์นี้ ดังนั้นสามารถเขียนในรูปของกฎ IF-THEN ได้ดังนี้

R5: IF TM is Average (**0.3**) AND SM is Average (**0.8**) THEN CV is M (**0.24**)

R8: IF TM is High (**0.4**) AND SM is Average (**0.8**) THEN CV is H (**0.32**)

จากกฎฟัซซี่ R5 จะได้ค่าของตัวแปรภาษา CV เป็น M ที่ค่าความเป็นสมาชิก (Degree of Membership) 0.24 และจากกฎฟัซซี่ R8 จะได้ค่าของตัวแปรภาษา CV เป็น H ที่ค่าความเป็นสมาชิก 0.32 จากนั้นนำค่าที่ได้มาทำการดิฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีหาค่าจุดศูนย์ถ่วง รูปที่ 6 แสดงค่า COG ของพื้นที่ใต้กราฟแรเงาดำ ซึ่งเป็นตัวแทนของตัวแปรภาษา CV จากการคำนวณตามสมการที่ (4) ได้ค่า $COG = 2.86$ สามารถแปลความหมายได้ว่า ถ้าหากอากาศมีอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และดินมีความชื้น 16% ให้รดน้ำเมล่อนต้นละ 2.86 ลิตร



รูปที่ 6. การดิฟัซซิฟิเคชันด้วยวิธีการหาค่าจุดศูนย์ถ่วง

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชัน

หลังจากได้สร้างตัวควบคุมฟัซซี่หรือฟังก์ชันการควบคุมอัตโนมัติของแอปพลิเคชันเรียบร้อยแล้ว ทำให้แอปพลิเคชันสามารถควบคุมการให้น้ำแก่ต้นเมล่อนได้อย่างอัตโนมัติ หรือเรียกว่าแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ จากนั้นนำแอปพลิเคชันที่ได้ไปใช้ในการปลูกเมล่อนจริงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการทำงาน เมื่อเมล่อนที่ปลูกสามารถเก็บเกี่ยวผลผลิตได้ ทำการบันทึกข้อมูลน้ำหนักและค่าความหวานของผลเมล่อนที่ได้จากการปลูกด้วยแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ เปรียบเทียบกับน้ำหนักและค่าความหวานของผลเมล่อนที่ได้จากการปลูกโดยผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ เพื่อทดสอบว่าข้อมูลทั้ง 2 กลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ โดยใช้ z-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยตั้งสมมุติฐานดังนี้

H0: ค่าเฉลี่ยของแอปพลิเคชัน = ค่าเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญ

H1: ค่าเฉลี่ยของแอปพลิเคชัน ≠ ค่าเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญ

เมื่อ ค่าเฉลี่ยของแอปพลิเคชัน คือ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักและค่าความหวานของผลเมล่อนที่ได้จากการปลูกด้วยแอปพลิเคชันระบบอัตโนมัติ และค่าเฉลี่ยของผู้เชี่ยวชาญ คือ ค่าเฉลี่ยน้ำหนักและค่าความหวานของผลเมล่อนที่ได้จากการปลูกโดยผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์

ตารางที่ 5. ตัวอย่างข้อมูลน้ำหนักและค่าความหวานของผลเมล่อน

ผลผลิตจากการปลูกด้วยระบบอัตโนมัติ			ผลผลิตจากการปลูกด้วยผู้เชี่ยวชาญ	
ลำดับ	น้ำหนัก (กก.)	ความหวาน (Brix)	น้ำหนัก (กก.)	ความหวาน (Brix)
1	0.9	13	1.1	15
2	1.2	14	1.2	15
...	...	...	...	...
30	1	14	0.8	13

ตารางที่ 6. ผลลัพธ์การวิเคราะห์ z-test บนปัจจัยน้ำหนักและค่าความหวานของผลผลิตเมล่อน

	น้ำหนัก 1	**น้ำหนัก 2**	**ความหวาน 1**	**ความหวาน 2**
Mean	1.0500	1.0567	14.2333	13.9667
Known Variance	0.0516	0.0556	0.4609	0.7230
Observations	30	30	30	30
Hypothesized Mean Difference	0		0	
z	-0.1115		1.3424	
P(Z<=z) one-tail	0.4556		0.0897	
z Critical one-tail	1.6449		1.6449	
P(Z<=z) two-tail	**0.9112**		**0.1795**	
z Critical two-tail	1.9600		1.9600	

ตารางที่ 5 แสดงข้อมูลน้ำหนักและค่าความหวานของผลเมล่อนที่ได้จากการปลูกด้วยแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ และจากการปลูกโดยผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ ตารางที่ 6 แสดงผลการทดสอบสมมุติฐานความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของผลผลิตเมล่อนจากทั้ง 2 กลุ่มโดยพิจารณาปัจจัยน้ำหนักและค่าความหวานโดยใช้ z-test ผลการทดสอบพบว่าค่า P(Z<=t) two-tail มีค่าเป็น 0.9112 และ 0.1795 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่า 0.05 (Alpha) แสดงว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมุติฐาน H0 ได้ หรือกล่าวได้ว่าทั้งปัจจัยน้ำหนักและค่าความหวานของผลเมล่อนที่ได้จากการปลูกด้วยแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ และจากการปลูกโดยผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติที่ทำงานบนสมาร์ทโฟน สำหรับการปลูกเมล่อนในโรงเรือนระยะไกลผ่านอินเทอร์เน็ต โดยผู้วิจัยได้พยายามถอดองค์ความรู้ในการปลูกเมล่อนจากผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ เพื่อนำองค์ความรู้ดังกล่าวมาใส่ในตัวควบคุมฟัซซี่ และใช้เป็นฟังก์ชันการทำงานของแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ โดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการให้แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมานี้สามารถตัดสินใจควบคุมการให้น้ำต้นเมล่อนด้วยรูปแบบและปริมาณที่เหมาะสมได้

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติ ใช้การเปรียบเทียบค่าน้ำหนักและค่าความหวานของผลผลิตเมล่อนที่ปลูกโดยแอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติกับผลผลิตที่ปลูกโดยผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ พบว่า ผลผลิตจากทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญบนการทดสอบทางสถิติ z-test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งหมายความว่า แอปพลิเคชันระบบควบคุมอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นมานี้ สามารถควบคุมการให้น้ำต้นเมล่อนได้เทียบเท่ากับการปลูกโดยผู้เชี่ยวชาญที่เป็นมนุษย์ หรืออาจจะกล่าวได้ว่าแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นมานี้ สามารถทำงานทดแทนผู้เชี่ยวชาญหรือสามารถใช้ทดแทนแรงงานคนได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัย เงินรายได้ส่วนงาน เงินกองทุนวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยบูรพา ปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

เอกสารอ้างอิง (References)

[1] Nath, P. 1976. Vegetables for Tropical Region. Private Limited, Delhi, New Delhi.

[2] จานุลักษณ์ ขนบดี. 2541. การผลิตเมล็ดพันธุ์ผัก. พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. [Chanulak Khanobdee. 1998. Seed Production. 2nd ed, Odeon Store Publisher, Bangkok. (in Thai)]

[3] ปรีชา เพ็งคล้าย. 2554. ผลของความเข้มข้นไนโตรเจนในปุ๋ยทางน้ำต่อการเจริญเติบโต ผลผลิต และ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ของเมล่อนปลูกในโรงเรือน. ปัญหาพิเศษภาควิชาพืชสวน, คณะเกษตรกำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [Preecha Pengklay. 2011. Effect of Nitrogen Concentrations in Fertigation on Growth Yield and Total Soluble Solid Content of Greenhouse Grown Melon. B.S. (Agric.) Special Project, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture at Kamphaeng Sean, Kasetsart University. (in Thai)]

[4] คำนึง คำอุดม. 2543. แตงแคนตาลูป. พิมพ์ครั้งที่ 4, สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม, กรุงเทพฯ. [Khamnueng Khamudom. 2000. Cantaloupe. 1st ed, Tankasettakhum Publisher, Bangkok. (in Thai)]

[5] สุนารี โสภาคำ, อัมภาวรรณ สุขรี่, ประภาพร สีระคุณ, ครรชิตพล เวียงเงิน และอรรถศาสตร์ วิเศียรศาสตร์. 2560. การวิเคราะห์ระยะคืนทุนของการปลูกแคนตาลูปในโรงเรือน. *วารสารแก่นเกษตร*. 45(ฉบับพิเศษ 1), 1430-1435. [Sunaree Sophakham, Ampawan Surkee, Praphaphon Seerakhun, Khanchitpon Wiangngoen and Attasart Wiseansart. 2017. Payback Period Analysis of Cantaloupe Cultivation in Greenhouse. *Khon Kaen Agriculture Journal*. 45(SUPPL. 1), 1430-1435. (in Thai)]

[6] นิรนาม. 2558. แนวทางใหม่ปลูกเมล่อนไฮโดรโพนิกส์ในโรงเรือน. *วารสารเคหการเกษตร*. 39(5), 72-77. [Niranam. 2015. New methodology for hydroponic melon growth in greenhouses. *Kehakaset Magazine*. 39(5), 72-77. (in Thai)]

[7] พรชัย แสงอังสุมาลี. 2541. การออกแบบและการใช้งานระบบน้ำหยดสำหรับพืชสวนครัว โดยใช้หัวจ่ายน้ำแบบท่อขนาดจิ๋ว. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมชลประธาน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. [Pornchai Saengungsumalee. 1998. Design and operation of drip irrigation for small vegetable area using micro-tube. M.Eng. (Irrigation Engineering) Thesis, Graduate School, Kasetsart University. (in Thai)]

[8] นราธิป ทองปาน และธนาพัฒน์ เที่ยงภักดิ์. 2559. ระบบรดน้ำอัตโนมัติผ่านเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย. *วารสารวิชาการการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศและนวัตกรรม คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*, 3(1), 35-43. [Narathip Thongpan and Tanapat Thaingpak.

2016. Automatic Watering Systems via Wireless Sensor Network. Journal of Innovation Technology Management Rajabhat Maha Sarakham University, 3(1), 35-43. (in Thai)]

[9] ธนากร น้ำหอมจันทร์ และอติกร เสรีพัฒนานนท์. 2557. ระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในโรงเรือนเพาะปลูกพืชไร้ดินแบบทำความเย็นด้วยวิธีการระเหยของน้ำร่วมกับการสเปรย์ละอองน้ำแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบควบคุมเชิงตรรกะแบบโปรแกรมได้. *วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย (ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี)*, 8(1), 98-111. [Thanakorn Namhormchan and Athikorn Sareephattananon. 2014. PLC-Based Automatic Control System of Temperature and Relative Humidity in Soilless Culture Greenhouse with an Evaporative Cooling System and Fogging System. *EAU Heritage Journal (Science and Technology)*. 8(1), 98-111. (in Thai)]

[10] รัฐศิลป์ รานอกภานุวัชร. 2561. ระบบควบคุมโรงเรือนผักไฮโดรโปรนิกส์อัตโนมัติโดยใช้เทคโนโลยี IoT และเครื่องมือการเรียนรู้เชิงลึก. *วารสารวิทยาการและเทคโนโลยีสารสนเทศ*, 8(2), 74-82. [Ratthaslip Ranokphanuwat. 2018. Greenhouse Hydroponics Automation System using IoT technology and Deep Learning tool. Journal of Information Science and Technology. 8(2), 74-82. (in Thai)]

[11] Takagi, T. and Sugeno, M. 1985. Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 15(1), 116-132.

[12] Zadeh, L.A. 1975. The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning-II. *Information Sciences*, 8(4), 301-357.

[13] Kevin, M.P. and Stephen, Y. 1998. Fuzzy Control. Addison Wesley Longman, California USA.

[14] Zadeh, L.A. 1975. Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Systems. World Scientific Publishing, NJ USA.

[15] Mamdani, E.H. and Assilian, S. 1975. An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13.