JIT Mahasarakham University, Thailand http://jit.it.msu.ac.th

Journal of Applied Informatics and Technology, 5 (2), 196-221

Research Article

ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม

Artificial Intelligence Model for Cooperative Organic Farming

อัตภาพ มณีเติม[1*], ศิริวรรณ แดงฉ่ำ[2]

Attapap Maneetoem[1*], Siriwan Dangcham[2]

[1] สาขาวิชาการจัดการสารสนเทศทางธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เพชรบุรี 76000 ประเทศไทย

[2] สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เพชรบุรี 76000 ประเทศไทย

[1] Business Information Management, Faculty of Management Science, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi 76000, Thailand

[2] Agricultural, Faculty of Agricultural Technology, Phetchaburi Rajabhat University, Phetchaburi 76000, Thailand

* Corresponding author: Attapap Maneetoem, E-mail: attapap.man@mail.pbru.ac.th

Received:
7 July 2023
Revised:
9 October 2023
Accepted:
15 October 2023

คำสำคัญ:

ระบบปัญญาประดิษฐ์, เกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม, แอปพลิเคชันสินค้าเกษตรอินทรีย์

Keywords:

Artificial intelligence, Cooperative organic farming, Organic products application

บทคัดย่อ: การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อพัฒนาตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม 2) เพื่อพัฒนาตัวแบบเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วย NB-IoT 3) เพื่อพัฒนาตัวแบบแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ เครื่องมือและวิธีการวิจัยตัวแบบระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ได้ประยุกต์ตามวงจรพัฒนาระบบแบบเกลียว กลุ่มผู้ใช้ระบบสารสนเทศประกอบด้วย กลุ่มเกษตรเครือข่ายเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมจังหวัดเพชรบุรี ผลการวิจัยพบว่า 1) ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (AI-COF) มีลักษณะผสมผสานกันระหว่างเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์ มี 3 ส่วน คือ (1) เครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วย NB-IoT (2) ชุดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น และกล้องถ่ายภาพการเจริญเติบโตของพืช (3) แอปพิเคชั่นผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์เป็นหน้าร้านการขายสินค้า สั่งปลูกพืชผักที่ผู้บริโภคต้องการ 2) ผลประเมินคุณภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (1) ด้านประสิทธิภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม อยู่ในระดับมาก ที่ระดับค่าเฉลี่ย 4.13 ส่วนเบี่ยงเบน 0.54 (2) ด้านประสิทธิภาพของเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วย NB-IoT อยู่ในระดับมาก ที่ระดับค่าเฉลี่ย 4.18 ส่วนเบี่ยงเบน 0.57 (3) ด้านประสิทธิภาพตัวแบบแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ อยู่ในระดับมาก ที่ระดับค่าเฉลี่ย 3.55 ส่วนเบี่ยงเบน 0.64 (4) ด้านประโยชน์ต่อการในไปใช้เพาะปลูก อยู่ในระดับมาก

ที่ระดับค่าเฉลี่ย 4.18 ส่วนเบี่ยงเบน 0.54 (5) ด้านประโยชน์ต่อกลุ่มเกษตรอินทรีย์ อยู่ในระดับมาก ที่ระดับค่าเฉลี่ย 3.76 ส่วนเบี่ยงเบน 0.55 และคุณภาพโดยรวมทุกด้านอยู่ในระดับมาก ที่ระดับค่าเฉลี่ย 3.96 ส่วนเบี่ยงเบน 0.57 สามารถนำผลการวิจัยตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมไปประยุกต์ใช้ยังกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตพืชชนิดอื่นให้ได้ตามความต้องการของผู้บริโภค

Abstract: The objectives of this research were to: 1) Design and develop artificial intelligence system model for cooperative organic farming (AI-COF). 2) To develop a model for measuring and analyzing factors in organic agriculture cultivation using NB-IoT. 3) To develop an application for producers and consumers of organic products. Tools and methods for developing a geographic information system are applied in the spiral model of system development life cycle. The system user group consists of the Phetchaburi Cooperative Organic Farming Network Agricultural Group. The research results were as follows: 1) the AI-COF is a combination of electronic sensors. There are 3 parts. (1) Measurement and analysis tools for organic agriculture cultivation factors with NB-IoT. (2) Temperature and humidity sensor kit and camera for plant growth monitoring. (3) The application for producers and consumers of organic agricultural products serves as a storefront for purchasing products and allows consumers to request specific vegetables to be grown. 2) Evaluation the model quality of the AI-COF. (1) The efficiency of the participatory organic agriculture cultivation AI system model is high, with an average level of 4.13 and a standard deviation of 0.54. (2) The efficiency of the measurement and analysis tools of planting factors with NB-IoT was at a high level with an average level of 4.18 and a standard deviation of 0.57 (3). Performance of the application for producers and consumers is at a high level with an average level of 3.55 and a standard deviation of 0.64. (4) Benefits to use in cultivation is at a high level with an average level of 4.18 and a standard deviation of 0.54. (5) Benefits to organic farming groups is at a high level with an average level of 3.76 and a standard deviation of 0.55 and the overall quality in every aspect is at a high level with an average level of 3.96 and a standard deviation of 0.57. The research results of the artificial intelligence system for participatory organic farming can be applied to groups of farmers who produce other types of crops in order to meet the needs of consumers.

1. บทนำ

ปัญหาการทำการเพาะปลูกพืชของประเทศไทยที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน เกษตรกรผู้ผลิตสินค้าเกษตรอินทรีย์ประสบปัญหาการเพาะปลูกที่ไม่ได้ตามที่วางแผนไว้ ผลผลิตเสียหายจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทุกปี ผลผลิตไม่เพียงพอ คุณภาพผลผลิตไม่ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค เพราะมีปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม คือ อุณภูมิ ความชื้น ธาตุอาหาร การควบคุมปัจจัยให้เหมาะสมกับพืชแต่ละชนิด และความต้องการของผู้บริโภคที่ต้องการบริโภคของพืชผักที่แตกต่างชนิดและปริมาณ อีกทั้งความแม่นยำในการคาดการณ์ค่าปัจจัยการเพาะปลูกล่วงหน้า ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยมีแนวคิดในการออกแบบ ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์

สำหรับผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ สามารถจับคู่เกษตรกรผู้ผลิตกับผู้บริโภค สามารถผลิตตามคำสั่งปลูก เก็บสถิติการผลิตสู่การนำไปพยากรณ์การผลิตในอนาคตได้ ส่งผลให้เกษตรกรนำส่งผลผลิตได้ตรงตามความต้องการผู้บริโภค

การรับรองแบบมีส่วนร่วม (Participatory Guarantee Systems: PGS) เป็นการรับประกันคุณภาพผลผลิตอินทรีย์โดยชุมชนที่เหมาะสมกับสภาพภูมิสังคมวิถีชีวิตวัฒนธรรมและการเกษตรของท้องถิ่นโดยมีเป้าหมายการผลิตเพื่อจำหน่ายในชุมชนหรือจำหน่ายตรงเน้นกระบวนการมีส่วนร่วมของผู้มีส่วนได้ส่วนเสียได้แก่ผู้ผลิตผู้ประกอบการ นักพัฒนา นักวิชาการและผู้บริโภค ซึ่งอยู่นอกระบบการรับรองโดยบุคคลที่ 3 หรือหน่วยตรวจรับรอง PGS เป็นกระบวนการที่ไม่มีสูตรสำเร็จขึ้นอยู่กับแต่ละกรณีเป็นการพัฒนากระบวนการรับประกันความเป็นอินทรีย์ในระดับชุมชน โดยอาศัยกระบวนการทางสังคมการมีส่วนร่วมพบปะแลกเปลี่ยน ความซื่อสัตย์ ไว้วางใจโปร่งใส ความเชื่อมั่น และมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาจากเวทีของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย โดยให้มีเอกสารหรือให้เกษตรกร กรอกแบบฟอร์มน้อยที่สุด (Rice Departmemt, 2022)

ณรงค์ คงมาก (Kongmark, 2020) เกษตรกรผู้บุกเบิกการทำเกษตรอินทรีย์ที่ใช้ระบบการรับรองมาตรฐานแบบมีส่วนร่วม (Participatory Organic Guarantee Systems: PGS) คือ การประกอบการธุรกิจเพื่อสังคม ดำเนินงานตามแผนธุรกิจของบริษัทภายใต้ปรัชญา “สัมมาชีพ” และ “ธุรกิจเพื่อสังคม” (Social Enterprise) เกิดเป็น วิสาหกิจชุมชนเพื่อความยั่งยืน (Sustainable Community Enterprise: SCE) โดยแผนงานหลักประการหนึ่ง คือ การส่งเสริมการผลิต การตลาดของผลผลิตจากครัวเรือนและชุมชนที่ประกอบการสัมมาชีพ ซึ่งกลุ่มเป้าหมายคือ ครัวเรือน องค์กรชุมชน วิสาหกิจชุมชน ในชนบท ซึ่งส่วนใหญ่เป็นชุมชนเกษตรกรรม และเครือข่ายผู้ประกอบการทั้งในพื้นที่จังหวัด ภูมิภาคและระดับประเทศโดยใช้แนวทาง D-CORA สื่อความหมายว่า D คือ Big Data หมายถึงการบริหารจัดการระบบข้อมูลเกษตรอินทรีย์ในพื้นที่ทุกจังหวัดในประเทศไทย โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ประยุกต์ CO คือ Collaboration หมายถึง การทำงานบนพื้นที่ฐานความร่วมมือของทุกภาคีที่มีส่วนได้ส่วนเสีย ในห่วงโซ่เศรษฐกิจสินค้าเกษตรอินทรีย์และกระบวนการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ R คือ Relation Change หมายถึง การทำงานร่วมกันที่นำไปสู่การสร้างความสัมพันธ์ใหม่ ระหว่างทุกภาคี ได้แก่ การพัฒนาระบบการค้าที่เป็นธรรมร่วมกัน ผู้ผลิต ผู้ค้า ผู้บริโภค ร่วมกันกำหนดราคาสินค้าเกษตรอินทรีย์ และ A คือ Area Base หมายถึง การทำงานโดยใช้พื้นที่จังหวัด เป็นตัวตั้ง บูรณาการงานร่วมกันในพื้นที่จังหวัด โดยไม่ยึดถือภารกิจงานของหน่วยงานตนเองเท่านั้น โดยใช้กระบวนการชุมชนผู้ผลิต ชุมชนผู้ประกอบการ และภาคประชาสังคมในพื้นที่เป็นกลไกในการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ที่เรียกว่า SCE-PGS

นิสิต องอาจ (Ongate, 2021) ศึกษาการออกแบบต้นแบบเครื่องควบคุมความชื้นในดินพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนการเกษตรด้านการเจริญเติบโตของพืชผัก กับของ Popovic *et al.* (2017) ศึกษาวิธีการทำการเกษตรแบบแม่นยำที่ใช้การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) การสื่อสารไร้สาย คลาวด์คอมพิวติ้ง (Cloud Computing) ระบบอัจฉริยะ กับ Zanella *et al.* (2014) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีเครือข่ายที่มีอยู่ในปัจจุบันสำหรับการใช้งาน IoTs คล้ายกับของ Zamora *et al.* (2019) ศึกษาออกแบบ พัฒนาและการประเมินผลผ่านระบบเอดจ์ (Edge) และคลาวด์ (Cloud) ในการทำฟาร์มเกษตรอัจฉริยะ และ Neupane, Horanont, & Duy Hung (2019) ศึกษาเทคนิคการประมวลผลภาพด้วยปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ในการเกษตร โดยใช้ AI พยากรณ์และประมาณการผลผลิตแปลงปลูกกล้วยในประเทศไทย Boulent

et al. (2019) ศึกษากระบวนการการระบุโรคพืชอัตโนมัติจากภาพถ่าย กับ Hobart *et al.* (2020) ศึกษาการระบุความสูงการเจริญเติบโตของกำแพงต้นไม้ โดยใช้โฟโตแกรมเมทรี (Photogrammetry) หรือลักษณะภาพถ่ายต้นพืช Yang *et al.* (2020) ศึกษาแนวทางการประมวลผลที่มีประสิทธิภาพสำหรับการสร้างฟีโนไทป์ของต้นกล้า โดยวิเคราะห์ปริมาณจุดสีความเข้มสูง ด้วยการประมวลผลข้อมูลจากภาพ 3 มิติ บนคลาวด์ Tovar *et al.* (2018) ศึกษาวิเคราะห์ภาพถ่ายลักษณะรูปแบบการเจริญเติบโตของเมล็ดพืชจากไมโครคอมพิวเตอร์ราสเบอรี่พาย (Raspberry Pi) ที่มีราคาต่ำ Saiysing (2020) พัฒนาระบบฐานข้อมูลสินค้าสมาร์ทฟาร์ม ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านหนองบัวชุม เป็นกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกและแปรรูปมะม่วงสายรุ้ง และ Maneetoem, Pratoomta, & Kingthong (2020) ศึกษาและพัฒนาระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ แหล่งเพาะปลูกพืชและไม้ผล เพื่อการผลิตอาหารและการท่องเที่ยวเชิงเกษตร จังหวัดเพชรบุรี เป็นต้น

ปัญหาการผลิตพืชอินทรีย์ที่ไม่เป็นไปตามความต้องการของกลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกพืชอินทรีย์และผู้บริโภคพืชผักอินทรีย์ที่กล่าวในข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ทดลองสร้างตัวแบบเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์พื้นที่แปลงเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วย NB-IoT สามารถนำเสนอภาพการเจริญเติบโตของพืชในแปลงเพาะปลูก ปัจจัยการเพาะปลูก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด ธาตุอาหารหลักในดิน 3 ชนิด (1) N คือไนโตรเจน (Nitrogen) (2) P คือ ฟอสฟอรัส (Phosphorus) และ (3) K คือโพแทสเซียม (Potassium) หรือค่า NPK โดยสามารถควบคุมการทำงานได้จากระยะไกลผ่านแอปพลิเคชัน แบบ Automatic หรือ Manual เช่น เปิด/ปิดไฟฟ้าส่องสว่าง เปิด/ปิด น้ำ/หัวพ่นหมอก และพัฒนาตัวแบบแอปพลิเคชันสำหรับผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ เกษตรกรผู้ผลิตสามารถใช้บริหารจัดการแปลงเพาะปลูก เช่น ชนิดพืช วันปลูกวันเก็บเกี่ยว สถานะปัจจัยการผลิต อุณหภูมิ ความชื้น แสง ธาตุอาหาร มูลค่าผลผลิต ต้นทุน/กำไร รายรับ/รายจ่าย ผู้บริโภคสามารถเห็นสถานะการเจริญเติบโตของแปลงเพาะปลูกตั้งแต่การเพาะเมล็ด จนถึงการเก็บเกี่ยวก่อนนำส่งถึงผู้บริโภคสั่งเพาะปลูกพืชที่ต้องการได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Thing: IoT)

อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง (Internet of Thing) อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง หรือ อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง หรือ ไอโอที (IoT) หมายถึงเครือข่ายของวัตถุ อุปกรณ์พาหนะ สิ่งปลูกสร้าง และสิ่งของอื่นๆ ที่มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Circuit) ซอฟต์แวร์ (Software) ตัวเซ็นเซอร์ (Sensors) และการเชื่อมต่อกับเครือข่ายฝังตัว (Embedded Networks) และทำให้วัตถุเหล่านั้นสามารถเก็บบันทึกและแลกเปลี่ยนข้อมูลได้ อินเทอร์เน็ตในทุกสิ่ง บางทีเรียก IoE: Internet of Everything เป็นการหลอมรวมสิ่งต่างๆ เชื่อมโยงทุกสิ่งทุกอย่างสู่โลกอินเทอร์เน็ต ทำให้มนุษย์สามารถสั่งการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (SIAMBC, 2021) เช่น การเปิด-ปิด อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า รถยนต์ โทรศัพท์มือถือ เครื่องมือสื่อสาร เครื่องมือทางการเกษตร อาคาร บ้านเรือน เครื่องใช้ในชีวิตประจำวันต่างๆ ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต และ NB-IoT ย่อมาจาก Narrowband Internet of Things (SIAMBC, 2022) เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนามาเพื่อให้อุปกรณ์ต่างๆ สามารถเชื่อมต่อเข้าหากันได้เป็นมาตรฐานระบบโครงข่ายที่ใช้พลังงานต่ำ ใช้ความเร็วอินเทอร์เน็ตน้อย ทำให้ประหยัดปริมาณการรับส่งข้อมูล (Bandwidth) สามารถใช้ได้ทั้งในอาคารและนอกอาคาร สามารถพัฒนาเครือข่ายบริการ IoT ได้อย่างรวดเร็ว เพราะออกแบบอุปกรณ์ให้ใช้ร่วมกับ โครงข่าย 4G - 5G ใน

ปัจจุบัน เพียงแค่มีซิม (Sim) ติดตั้งในอุปกรณ์ไวไฟเราเตอร์ (Wi-Fi Router) ก็ทำให้เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ เครือข่าย NB-IoT ที่มีขนาดเล็ก ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ และไม่ได้ต้องการใช้อินเทอร์เน็ตที่แรงมาก ส่งข้อมูล (Uplink) ในขนาดที่เหมาะสม จึงช่วยทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่ของอุปกรณ์ IoT อยู่ได้นาน รัศมีครอบคลุมของเครือข่ายต่อสถานีฐาน สามารถกระจายได้หลายกิโลเมตร รวมถึงใช้ในตัวอาคารก็ยังรับสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 OpenCV

OpenCV ปัจจุบันเวอร์ชัน 4.8.0 เป็นไลบรารีโอเพ่นซอร์สที่มีอัลกอริทึมการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Opensource Computer Vision Library) หลายร้อยอัลกอริทึมให้นักพัฒนาประยุกต์ใช้งาน และไลบรารีซอฟต์แวร์การเรียนรู้ของเครื่องคอมพิวเตอร์ (Machine Learning) สร้างขึ้นเพื่อจัดเตรียมโครงสร้างพื้นฐานทั่วไปสำหรับแอปพลิเคชันคอมพิวเตอร์วิชันและไลบรารีที่เป็นเชิงพาณิชย์ สามารถใช้เร่งความเร็วในการรับรู้ของเครื่องคอมพิวเตอร์ (Machine Perception) (OpenCV, 2011) โดยผู้วิจัยใช้วิธีการประมวลผลภาพด้วยเทคนิควิธีการวิเคราะห์โครงสร้างและตัวบ่งชี้รูปร่าง (Structural Analysis and Shape Descriptors) (OpenCV, 2023) ในการวิเคราะห์รูปภาพออกเป็นส่วนที่มีความหมายและเป็นเนื้อข้อมูลเดียวกัน ซึ่งการวิเคราะห์รูปทรงหรือโครงสร้างอาจขึ้นอยู่กับสี ความเข้ม พื้นผิว หรือคุณสมบัติอื่นๆ ช่วยให้คอมพิวเตอร์มีการรับรู้และการวิเคราะห์ข้อมูลค่าสีในภาพพืชที่ถ่ายมา คำนวณพื้นที่สีเขียวในภาพพืชว่ามีจำนวนสะสมปริมาณมากน้อยเท่าใดตามขั้นตอนดังนี้

1. Import cv2 library

2. เรียกใช้ฟังก์ชันอ่านภาพ cv2.imread()

3. เรียกใช้ฟังก์ชันแปลงภาพจาก ภาพสีจาก BGR2HSV cv2.cvtColor(img, cv2.COLOR_BGR2HSV)

4. เรียกใช้ฟังก์ชันเลือกพื้นที่ช่วงสีในภาพ cv2.inRange()

5. เรียกใช้ฟังก์ชันคำนวณหาผลการ AND บิตข้อมูล (bit mask) ในอะเรย์ที่เก็บช่วงสีในภาพ cv2.bitwise_and()

6. เรียกใช้ฟังก์ชันคำนวณเกณฑ์ของข้อมูลอะเรย์ในภาพเกรย์สเกล (Gray Scale) (ขาวดำเทา) ของภาพที่ทำการ mask ไว้ cv2.threshold(imgGRAY, thresh=3, maxval=253, type=THRESH_BINARY)

7. เรียกใช้ฟังก์ชันค้นหารูปทรงภายนอกของภาพที่ threshold โดยการประมาณค่าแบบง่าย cv2.findContours(img_threshold,mode=cv2.RETR_EXTERNAL, method=cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

8. เรียกใช้ฟังก์ชันค้นหารูปทรงภายในของภาพที่ threshold โดยการประมาณค่าแบบง่าย cv2.findContours(img_threshold,mode=cv2.RETR_TREE, method=cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

9. เรียกใช้ฟังก์ชันวาดเส้นล้อมรอบพื้นที่สีเขียว cv2.drawContours()

10. เรียกใช้ฟังก์ชันคำนวณหาค่าพื้นที่สีเขียวในพื้นที่ ที่ตีเส้นล้อมรอบไว้ cv.contourArea() ได้ออกมาเป็นค่าพื้นที่สีที่ได้กำหนดเกณฑ์ไว้ข้างต้น

11. บันทึกรูปภาพที่ผ่านวิเคราะห์เพื่อเรียกดูผ่านเว็บไซต์

2.3 PlantCV

โครงการ PlantCV ไลบารี (PlantCV, 2023) ประกอบด้วยฟังก์ชันแบบโมดูล (modular) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับพืช และระบบการถ่ายภาพหลากหลายประเภทวิธีการใช้งานแต่ละฟังก์ชันในบริบทของขั้นตอนการประมวลผลภาพทั้งหมดในปัจจุบัน โดย PlantCV รองรับการวิเคราะห์ภาพสีมาตรฐาน

ระบบ RGB ภาพมาตรฐานระดับสีเทา (grayscale) เช่น ภาพอินฟราเรดระยะใกล้ (near-infrared: NIR) ภาพอินฟราเรดความร้อน (thermal infrared) ภาพระดับสีเทาจากระบบสร้างภาพคลอโรฟิลล์เรืองแสง (chlorophyll fluorescence imaging systems: PSII) และภาพไฮเปอร์สเปกตรัม (hyperspectral) Noah & Malia (2022) ผู้บริหารโครงการและทีมนักวิจัยได้พัฒนาชุดซอฟต์แวร์วิเคราะห์ภาพถ่ายที่สามารถวิเคราะห์ภาพถ่ายลักษณะรูปแบบของพืชที่เรียกลักษณะนี้ว่า ฟีโนไทป์ปิ้ง (Phenotyping) คือ ลักษณะปรากฏหรือรูปแบบปรากฏ หมายถึงลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏให้เห็นได้หรือตรวจสอบได้โดยไม่ต้องตรวจลงไปถึงระดับพันธุกรรม ลักษณะเหล่านี้ เช่น รูปร่าง การพัฒนา คุณสมบัติทางสรีรวิทยา คุณสมบัติทางชีวเคมี พฤติกรรม หรือผลที่เกิดจากพฤติกรรม ลักษณะปรากฏเหล่านี้เป็นผลจากการแสดงออกของพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต Schuhl *et al.* (2022) พัฒนาปรับลดความซับซ้อนของขั้นตอนการใช้งาน PlantCV ไลบารี ในการวิเคราะห์วัตถุจำนวนหลายรายการในภาพ ช่วยในการลดขั้นตอนการทำงานลดลง Gutierrez *et al.* (2021) ได้เสนอวิธีการแบ่งส่วนต้นกล้าจากรูปภาพถ่ายพืชที่ทับซ้อนกันในแต่ละช่วงเวลาสามารถจำแนกต้นกล้าที่ปลูกเรียงกันจากถาดเพาะปลูกโดยระบุเป็นสีของต้นกล้าแต่ละต้น Kirwan *et al.* (2023) สถาปัตยกรรมทางเกษตร ชื่อ “Growbox” ตู้เพาะปลูกพืชที่ใช้วิธีการจำแนกโรคที่เชื่อถือได้และมีประสิทธิภาพในการตรวจหาโรคพืชภายในการทำฟาร์มในเมือง โดยใช้ไลบารีของ PlantCVการตรวจพบปัญหาโรคพืชตั้งแต่เนิ่นๆ เช่น โรคคลอโรซีส (chlorosis) โรคปลายใบไหม้ (tip burn) ซึ่งช่วยในการบรรเทาการสูญเสียของพืชผล โดยผู้วิจัยใช้วิธีการประมวลผลภาพด้วยเทคนิควิเคราะห์ลักษณะขนาดและรูปร่างของวัตถุ (Analyze the Size and Shape Characteristics of Objects) ข้อขนาดและรูปร่างจะแสดงคุณสมบัติเชิงตัวเลขสำหรับพืช เมล็ด ใบ ฯลฯ แต่ละต้น เป็นอย่างไร ตามขั้นตอนดังนี้

1. Import plantcv library

2. เรียกใช้ฟังก์ชันอ่านภาพ pcv.readimage()

3. เรียกใช้ฟังก์ชันแปลงภาพจาก ภาพสีจาก RGB2GRAY pvc.rgb2gray_lab()

4. เรียกใช้ฟังก์ชันกรองภาพบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มของพิกเซล pvc.laplace_fillter()

5. เรียกใช้ฟังก์ชันวิธีการกรองที่ใช้ในการระบุและเน้นขอบ/คุณลักษณะของการไล่ระดับสีแกน x pcv.scharr_filter(img=gray_img, dx=0, dy=1, scale=1) และ ระดับสีแกน y pcv.scharr_filter(img=gray_img, dx=0, dy=1, scale=1)

6. เรียกใช้ฟังก์ชันสร้างภาพไบนารีจากภาพสีเทาตามค่าเกณฑ์ เป้าหมายวัตถุสามารถระบุเป็นมืดหรือสว่างได้ pvc.threshold.binary(img=gray_img, threshold=128, object_type=light)

7. เรียกใช้ฟังก์ชันกำหนดพื้นที่ส่วนที่ต้องการ pvc.roi.rectangle()

8. เรียกใช้ฟังก์ชันกรองวัตถุ (ขอบเขตที่เชื่อมต่อของพิกเซลที่ไม่ใช่ศูนย์) ภายในขอบเขตที่สนใจ ตัดวัตถุเหล่านั้นไปยังขอบเขตที่สนใจหรือรวมวัตถุที่ทับซ้อนกับขอบเขตที่สนใจ pvc.roi.filter()

9. เรียกใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์ขนาดและรูปร่างจะแสดงคุณสมบัติเชิงตัวเลขสำหรับพืช เมล็ด ใบ ฯลฯ แต่ละต้น pvc.analyze.size ()

10. บันทึกรูปภาพที่ผ่านวิเคราะห์เพื่อเรียกดูผ่านเว็บไซต์

2.4 โหนดเรด (Node-RED)

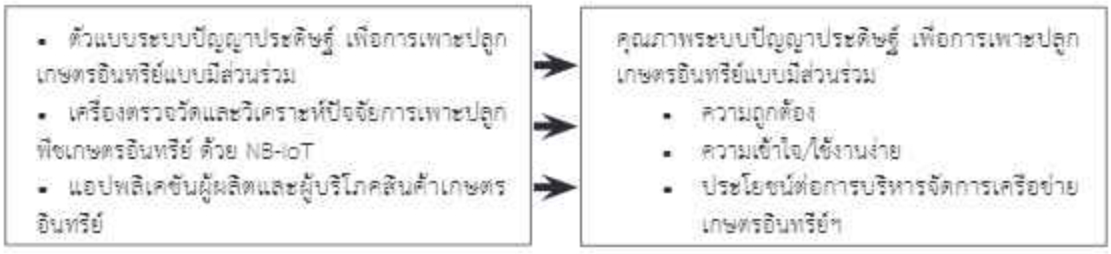
โหนดเรด (Node-RED) (Node-RED, 2022) ซึ่งเป็นเว็บแอปพลิเคชัน สำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ (Application Program Interface: API) โดยสามารถเขียนโปรแกรมในรูปแบบภาพผังเส้นทางการทำงาน (Flow Chart) นำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบอุปกรณ์ IoT ใช้ภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) ในฝั่ง client และ Node.js เป็น open-source และ cross-platform JavaScript runtime environment ในฝั่ง server มี 2 ส่วน (1) ส่วนแก้ไขโฟลว์บนเบาว์เซอร์ที่ทำให้ง่ายต่อการเชื่อมต่อโฟลว์สำหรับการทำงานกับโหนดคำสั่ง (nodes) ซึ่งมีหลายโหนดคำสั่งที่สามารถเรียกใช้ได้จากหน้าต่างเครื่องมือ (palette) คือ โหนดคำสั่งตั้งเวลาการทำงาน (Common time stamp) โหนดฟังก์ชันเตรียมคิวรี่ข้อมูล (Query Function) โหนดคำสั่งเชื่อมต่อฐานข้อมูล (Data base storage) โหนดเชื่อมต่อการส่งข้อมูลสื่อสาร (Modbus) โหนดการแสดงข้อมูลผ่านแดชบอร์ด (Dashboard) และโหนดการเชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุต เอาต์พุต (GPIO Raspberry Pi) โดยผู้วิจัยได้ใช้ node-red ในการเฝ้าดูค่าสถิติการเพาะปลูก เช่น ค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น ค่าธาตุอาหารในดิน โดยผู้ใช้สามารถเรียกดูได้ผ่านทางเบาว์เซอร์

2.5 กระบวนการพัฒนาระบบสารสนเทศ (System Development Life Cycle: SDLC)

กระบวนการพัฒนาระบบสารสนเทศ (System Development Life Cycle: SDLC) แบบเกลียวรอบ (Spiral) มีลักษณะการทำงานเป็นวงจร แต่ละรอบจะกำหนดขั้นตอนหรือระยะเวลาเท่าใดก็ได้ ไม่ได้กำหนดตายตัว จึงเป็นรูปแบบที่นิยมใช้ ซึ่งมีการทดลองใช้ระบบสารสนเทศ และทดสอบคุณภาพระบบ 4 ขั้นตอน (Kromkroam, 2009) (1) ขั้นวิเคราะห์ (Analysis) และออกแบบ (Design) ศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility Study) โดยติดต่อประสานงานลงพื้นที่ไปยังแปลงเครือข่ายเกษตรอินทรีย์ 2 แห่ง จากนั้นออกแบบ เลือกบอร์ด NB-IoT ที่เหมาะสมกับแต่ละแปลงเพาะปลูก (2) ขั้นพัฒนา (Construction) และการติดตั้ง (Install) โดยติดตั้งระบบการใช้เครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วย NB-IoT ส่งข้อมูลผลการตรวจวิเคราะห์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตมายังเครื่องแม่ข่ายของคณะวิทยาการจัดการ (3) ขั้นทดลอง (Experimental) และทำสอบ (Testing) โดยนำเอาระบบไปทดลองกับกลุ่มตัวอย่าง เพื่อประเมินคุณภาพของระบบสารสนเทศ และ (4) ปรับปรุง/บำรุงรักษาระบบ (Maintenance) และนำข้อเสนอแนะจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ทดลองใช้มาปรับปรุงและจัดทำเป็นคู่มือการใช้งานต่อไป

3. ขอบเขตการวิจัย

1. ขอบเขตด้านตัวแปรและเนื้อหา การวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยใช้การวิจัยแบบการทดลองและประเมินคุณภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม ด้วยวัฏจักรการพัฒนาระบบสารสนเทศ และประเมินคุณภาพของระบบสารสนเทศ ตามหลักการเชื่อมต่อประสานผู้ใช้



ภาพประกอบ 1 กรอบการวิจัยตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม

2. ขอบเขตด้านประชากรที่วิจัย ผู้วิจัยใช้วิธีการเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) (Bunreang, 2000) เป็นการวิจัยกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตพืชอินทรีย์ แบบมีส่วนร่วม จังหวัดเพชรบุรี และจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ประกอบด้วย ด้วยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เกษตรกร 70 คน ผู้เชี่ยวชาญอาจารย์สาขาด้านเกษตร 5 คน และผู้เชี่ยวชาญอาจารย์สาขาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 5 คน รวมจำนวน 80 คน

3. ขอบเขตด้านสถานที่วิจัย เป็นการสำรวจเก็บข้อมูล หาความต้องการของระบบ และพัฒนา เฉพาะ 2 พื้นที่ คือ ศูนย์สาธิตเกษตรอินทรีย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี และวิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์วิถีพอเพียง ตำบลช่องสะแก จังหวัดเพชรบุรี พัฒนาระบบและเขียนรายงานที่มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

4. ขอบเขตด้านระยะเวลาที่วิจัย ใช้เวลาในการวิจัย 12 เดือนเป็นอย่างน้อย มกราคมถึงธันวาคม 2564 มีขั้นตอนการวิจัยปรับประยุกต์ตามวงจรแบบเกลียว (Spiral)

5. ขอบเขตด้านระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

5.1 ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ สำหรับผู้ผลิตและผู้บริโภคเกษตรอินทรีย์ 1 ระบบ

5.2 เครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วย NB-IoT จำนวน 1 ชุด สำหรับพื้นที่แปลงเพาะปลูก คือ (1) ศูนย์สาธิตเกษตรอินทรีย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 2 เดือน และ (2) วิสาหกิจชุมชนเกษตรอินทรีย์วิถีพอเพียง ตำบลช่องสะแก จังหวัดเพชรบุรี 2 เดือน

5.3 ตัวแบบแอปพลิเคชันสำหรับผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ 1 ระบบ

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์ แบบมีส่วนร่วม เป็นการวิจัยและพัฒนา (R&D) ตามวัฏจักรการพัฒนาระบบสารสนเทศแบบเกลียว (Spiral Model SDLC) (Satzinger, Jackson, & Burd, 2002) ผู้วิจัยได้ดำเนินขั้นตอนดังภาพประกอบ 2 และอธิบายรายละเอียดของทุกขั้นตอนดังนี้

4.1 ขั้นวิเคราะห์ (Analysis) และออกแบบ (Design) ตัวแบบระบบ AI-COF

ผู้วิจัยมีแนวคิดการสร้างและพัฒนา ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (Artificial Intelligence model for Cooperative Organic Farming: AI-COF) โดยวิเคราะห์ผู้เกี่ยวข้องกับระบบ คือ เกษตรกรกลุ่มเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (ผู้ผลิต) (CoOp. Farmer) ทำหน้าที่ปลูกพืชผักอินทรีย์ตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์และเกษตรปลอดภัย และผู้บริโภคพืชผักอินทรีย์ (Consumer) อธิบายดังภาพประกอบ 3

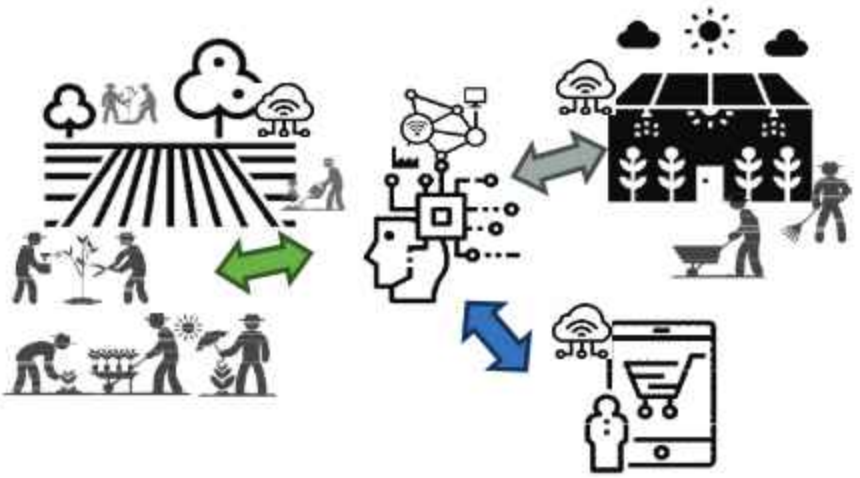
แนวคิดการวิจัยจาก ภาพประกอบ 2 เมื่อผู้บริโภค (ลูกค้า) สั่งปลูกพืชผักชนิดที่ต้องการ ผ่านแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ (AI-COF Application: AI-COF App) จะแจ้งเตือนผ่าน AI-COF App. แสดงรายละเอียดการสั่งปลูกชนิดพืชผัก ปริมาณน้ำหนักที่ต้องการ วันที่สั่งปลูก จำนวนเงินที่จองปลูกล่วงหน้า พร้อมที่อยู่ในการจัดส่ง จากนั้นเกษตรกรจะดำเนินการเพาะปลูกตังรายการผู้บริโภคสั่งปลูก ในระหว่างเวลาการเพาะปลูกถึงวันเก็บเกี่ยว AI-COF App. จะแสดงภาพการเจริญเติบโตจากวิเคราะห์ภาพด้วยปัญญาประดิษฐ์ ค่าปัจจัยการเพาะปลูก อุณหภูมิ ความชื้น แสง ธาตุอาหาร จำนวนวันที่เพาะปลูก วันที่คาดว่าจะเก็บเกี่ยว เมื่อครบกำหนดการเก็บเกี่ยว AI-COF App. แจ้งเตือนยังเกษตรกรให้เก็บเกี่ยวพืชผักและนำส่งผลผลิตไปยังลูกค้านำไปบริโภคได้อย่างมั่นใจว่าปลอดภัยจากสารเคมี เป็นไปตามมาตรฐานเกษตรอินทรีย์และมาตราฐานเกษตรปลอดภัย เพราะผู้บริโภคได้เฝ้าดูกระบวนการเพาะปลูกในแปลงสั่งปลูกได้ทุกวันตลอดเวลา

1. ขั้นวิเคราะห์ (Analysis) และ ออกแบบ (Design) ตัวแบบระบบ AI-COF
   - 1.1 กำหนดขั้นตอนการวิจัยตัวแบบปัญญาประดิษฐ์ ตามวงจร spiral
   - 1.2 วิเคราะห์ออกแลผู้เกียวข้องกับระบบ และศึกษาความเป็นไปได้
   - 1.3 กำหนดประชากรที่วิจัย และระบุตัวแปรในการประเมินคุณภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ฯ โดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง เกษตรกร 70 คน ผู้เชียวชาญด้านเกษตร 5 คน และผู้เชียวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 5 คน
   - 1.4 เลือกพื้นที่แปลงผักยกโต๊ะกางมุ้ง 2 พื้นที่
   - 1.5 ผู้วิจัยออกแบบตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม AI-COF

2. ขั้นพัฒนา (Construction) การติดตั้ง (Installation) ฮาร์ดแวร์/ซอฟต์แวร์ตัวแบบระบบ AI-COF
   - 2.1 สำรวจจัดหา สร้างและพัฒนาเครื่องมือ ติดตั้งเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ AI-COF
   - 2.2 พัฒนาโมเดลการวิเคราะห์ภาพถ่าย (Image processing) ด้วยคอมพิวเตอร์ในการใช้ OpenCV และ PlantCV ไลบรารี
   - 2.3 สำรวจจัดหา สร้างและพัฒนาระบบสารสนเทศ เว็บแอปพลิเคชันผู้ผลิตสินค้าเกษตรอินทรีย์ ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลปัจจัยการเพาะปลูก
   - 2.4 สร้างและพัฒนาระบบสารสนเทศเว็บแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ 1 ระบบ

3. ขั้นทดลอง (Experimental) ทดสอบ (Testing) และปรับปรุง/บำรุงรักษาระบบ (Maintenance)
   - 3.1 การทดลองและทดสอบตัวแบบระบบ AI-COF เวอร์ชันแรก (Version 1) แบบห้องปฏิบัติการ (in door testing)
   - 3.2 การทดลองและทดสอบตัวแบบระบบ AI-COF แปลงปลูกจริง (outdoor testing)
   - 3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล แบบประเมินคุณภาพ ตัวแบบระบบ AI-COF ครั้งที่ 1 ผู้เชียวชาญด้านเกษตร ผู้เชียวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ
   - 3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล แบบประเมินคุณภาพ ตัวแบบระบบ AI-COF ครั้งที่ 2 ผู้ผลิตและผู้บริโภค
   - 3.5 ปรับปรุงแก้ไขตัวแบบระบบ AI-COF ให้เกิดเป็นเวอร์ชันใหม่ให้ดียิ่งขึ้นทุกๆ 2 เดือน

ภาพประกอบ 2 ขั้นตอนการวิจัยตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม



ภาพประกอบ 3 แนวคิดการวิจัยตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (Artificial intelligence model for cooperative organic farming: AI-COF)

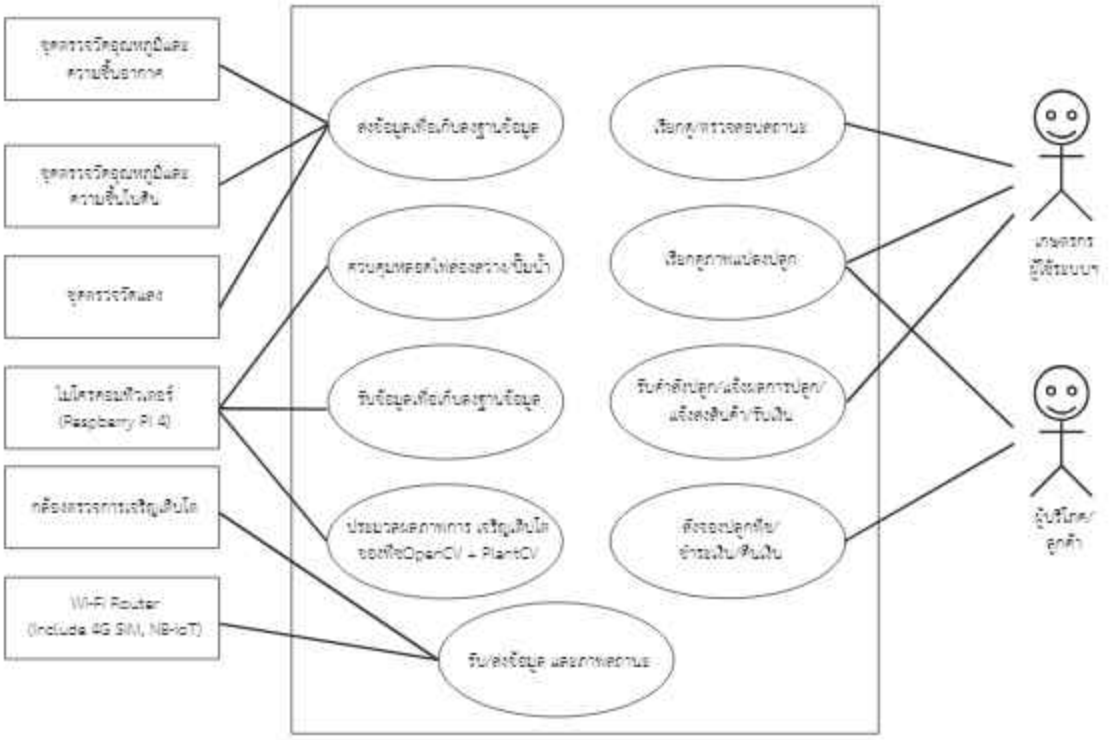
ภาพประกอบ 4 วัฏจักรการวิจัยตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม ตามวัฏจักรการพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) แบบเกลียว

1. ขอบเขตด้านระยะเวลาที่วิจัยมีขั้นตอนการวิจัยที่ประยุกต์ตามวงจรพัฒนาระบบ (System Development Life Cycle: SDLC) แบบเกลียว (Spiral) ซึ่งมีลดกระบวนการวิจัย พัฒนา และทดสอบคุณภาพของระบบสารสนเทศ อยู่ 3 ขั้นตอน คือ 1) วิเคราะห์ (Analysis) และ ออกแบบ (Design) 2) พัฒนา (Construction) และติดตั้ง (Install) 3) ทดลอง (Experimental) ทดสอบ (Testing) และปรับปรุง/บำรุงรักษาระบบ (Maintenance) ดังภาพประกอบ 4

2. ผู้วิจัยความเป็นไปได้ (Feasibility Study) การพัฒนาตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (1) ด้านการตลาด พืชผักอินทรีย์ ผักปลอดภัยเป็นสินค้าที่ผู้บริโภคนิยมและต้องการซื้อหามาปริโภค ยอมจ่ายเงินซื้อด้วยราคาที่แพงกว่า เพราะเห็นว่าปลอดภัยจากสารเคมีรับประทานแล้วดีต่อสุขภาพ (2) ด้านเทคนิค การผลิตชุดตรวจวัดการเจริญเติบโตของพืชผัก สามารถใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก เซนเซอร์ และอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับกานพัฒนาตัวแบบฯ สามารถจัดหาได้ในผ่านเว็บไซต์ และมีราคาที่ไม่แพงมากนัก (3) การดำเนินงานในพื้นที่ศูนย์สาธิตเกษตรอินทรีย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่มีความพร้อม สะดวก ซึ่งเหมาะสมเป็นอย่างมาก (4) ด้านการเงิน โครงการวิจัยได้รับการสนับสนุนบางส่วนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี สามารถที่จะดำเนินการพัฒนาตัวแบบ AI-COF นี้ได้สำเร็จ

3. ผู้วิจัยได้ดำเนินการ กำหนดตัวแปรในการประเมินคุณภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม คือ (1) ด้านประสิทธิภาพของตัวแบบระบบ AI-COF (1) ด้านต้นทุนตัวแบบระบบ AI-COF (2) ความถูกต้อง (3) ความเข้าใจและใช้งานได้ง่าย (4) ด้านประโยชน์ต่อการนำไปใช้เพาะปลูก ในประเด็น (5) ประโยชน์ต่อกลุ่มเกษตรอินทรีย์ ด้วย มาตราประมาณค่า (Rating scale) 5 ระดับ (Bunreang, 2000) และนำไปให้ผู้ใช้ประเมินคุณภาพด้านต่างๆ จากนั้นนำข้อประเมินมาปรับปรุงระบบสารสนเทศฯ ให้ดียิ่งขึ้น

4. ผู้วิจัยเลือกพื้นที่แปลงผักยกโต๊ะกางมุ้ง ศูนย์เรียนรู้การเกษตรตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี พิกัด ลองจิจูด (Longitude) 13.0720637 ละติจูด (Latitude) 99.9820817 ด้วยมีความพร้อมในผลิตพืชผักอินทรีย์ตลอดปี มีไฟฟ้า ระบบจ่ายน้ำ รองรับในการติดตั้งชุดต้นแบบเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการ

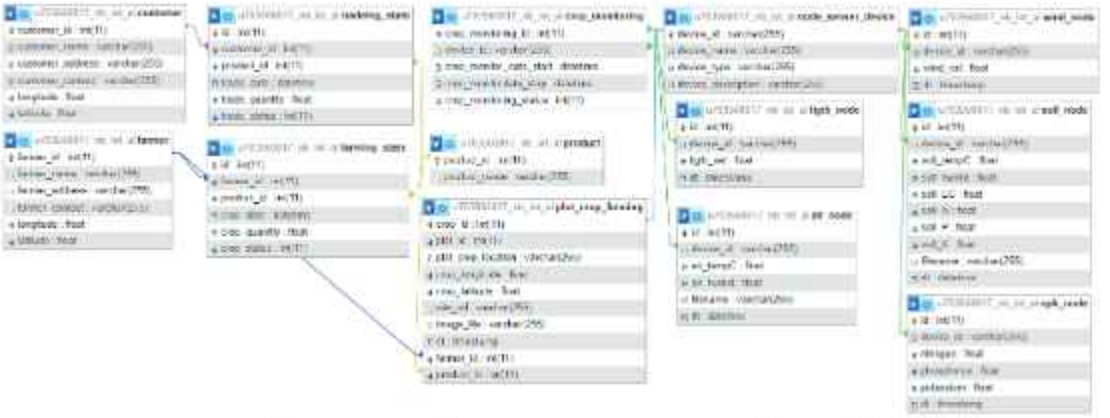


ภาพประกอบ 5 Use Case Diagram ของตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม

เพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ เป็นชุดตรวจจับการเจริญเติบโตของพืช เป็นเซนเซอร์พลังงานต่ำเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตระยะไกล้ (NB-IoT)

5. ผู้วิจัยออกแบบยูสเคสไดอะแกรม (Use Case Diagram) ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม ดังภาพประกอบ 5

อธิบายแผนภาพการใช้งานของตัวแบบระบบฯ จะมีผู้เกี่ยวข้องดังนี้ ฝั่งขวาคือเกษตรกรผู้ผลิตที่เป็นผู้ใช้ระบบและผู้ให้ที่เป็นผู้บริโภคหรือลูกค้า ฝั่งซ้ายคือ ไมโครคอมพิวเตอร์ และเซนเซอร์ตรวจวัดค่าปัจจัยการผลิต ในส่วนระบบจะมีฟังก์ชันการทำงานหลักอยู่ 9 ฟังก์ชัน ดังนี้ (1) อ่านค่าจากเซนเซอร์เก็บลงฐานข้อมูล (2) รับข้อมูลจากเซนเซอร์เก็บลงฐานข้อมูล (3) ประมวลค่าจากเซนเซอร์ควบคุมการเปิด-ปิดไฟส่องสว่างและปั๊มน้ำ (4) ประมวลผลภาพการเจริญเติบโตของพืชด้วยไลบรารี OpenCV และ PlantCV (5) รับส่งข้อมูลและภาพสถานะ (6) เรียกดูผ่านเว็บแอปพลิเคชันตรวจสอบสถานะ (7) เรียกดูภาพแปลงผ่านเว็บแอปพลิเคชัน (8) สั่งจองปลูกพืชและชำระเงิน (9) รับคำสั่งปลูก แจ้งผลการปลูก แจ้งสถานการณ์ส่งสินค้า



ภาพประกอบ 6 คลาสไดอะแกรม (Class Diagram) เครื่องตรวจวัด
และวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์

```sql
SELECT tradeing_stats.customer_id,customer.customer_name, tradeing_stats.product_id,
product.product_name, tradeing_stats.trade_quantity, farming_stats.farmer_id,farmer.farmer_name
FROM tradeing_stats
INNER JOIN  farming_stats ON farming_stats.product_id=tradeing_stats.product_id
INNER JOIN  customer ON customer.customer_id=tradeing_stats.customer_id
INNER JOIN  product ON product.product_id=tradeing_stats.product_id
INNER JOIN  farmer ON farmer.farmer_id=farming_stats.farmer_id
ORDER BY tradeing_stats.trade_quantity DESC LIMIT 10;
```

customer_id	customer_name	product_id	product_name	trade_quantity	farmer_id	farmer_name
2	นางสาวนวรัตน์ ประทุมลา	934	ผลส (Cos) อินทรีย์	20	4	นางสาวศิริวรรณ แดงจำ
1	นายอัดภาพ มณีเดิม	955	ผักบุ้งจีน (Chinese morning glory)	20	3	นายเกษม มหาวัตร์
1	นายอัดภาพ มณีเดิม	955	ผักบุ้งจีน (Chinese morning glory)	20	3	นายเกษม มหาวัตร์
1	นายอัดภาพ มณีเดิม	891	โหระพา (Basil) อินทรีย์	15	5	นายสุพจน์ กลันพวง
1	นายอัดภาพ มณีเดิม	891	โหระพา (Basil) อินทรีย์	15	1	นายพัลลภ มังมี
1	นายอัดภาพ มณีเดิม	891	โหระพา (Basil) อินทรีย์	15	1	นายพัลลภ มังมี
1	นายอัดภาพ มณีเดิม	891	โหระพา (Basil) อินทรีย์	15	1	นายพัลลภ มังมี
2	นางสาวนวรัตน์ ประทุมลา	935	กรีนโอ๊ค (Green Oak) อินทรีย์	10	4	นางสาวศิริวรรณ แดงจำ
2	นางสาวนวรัตน์ ประทุมลา	935	กรีนโอ๊ค (Green Oak) อินทรีย์	10	4	นางสาวศิริวรรณ แดงจำ
1	นายอัดภาพ มณีเดิม	891	โหระพา (Basil) อินทรีย์	2	1	นายพัลลภ มังมี

ภาพประกอบ 7 คำสั่ง SQL Query แสดงผลการจับคู่ผู้ผลิตและ
ผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ (AI-COF Application: AI-COF App)

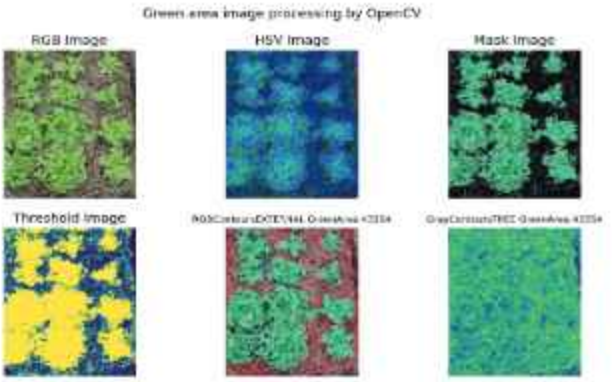
4.2 ขั้นพัฒนา (Construction) การติดตั้ง (Installation) ฮาร์ดแวร์/ซอฟต์แวร์ตัวแบบระบบ AI-COF

ผู้วิจัยใช้เครื่องมือทางคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการติดตั้ง และทดสอบระบบ AI-COF มีดังนี้ (1) เครื่องคอมพิวเตอร์ประมวลผลบุคคล 1 เครื่อง (2) เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายแบบคลาวด์ (Could Server) 1 ระบบ (3) เครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ 1 ชุด (4) ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม 1 ระบบ

1. ผู้วิจัยสำรวจจัดหาและพัฒนาเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ได้ชุดตัวแบบการตรวจวัดการเจริญเติบโตของพืช 1 ชุด ออกแบบให้มีคุณลักษณะประกอบด้วย (1) เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นของดินในแปลงปลูก

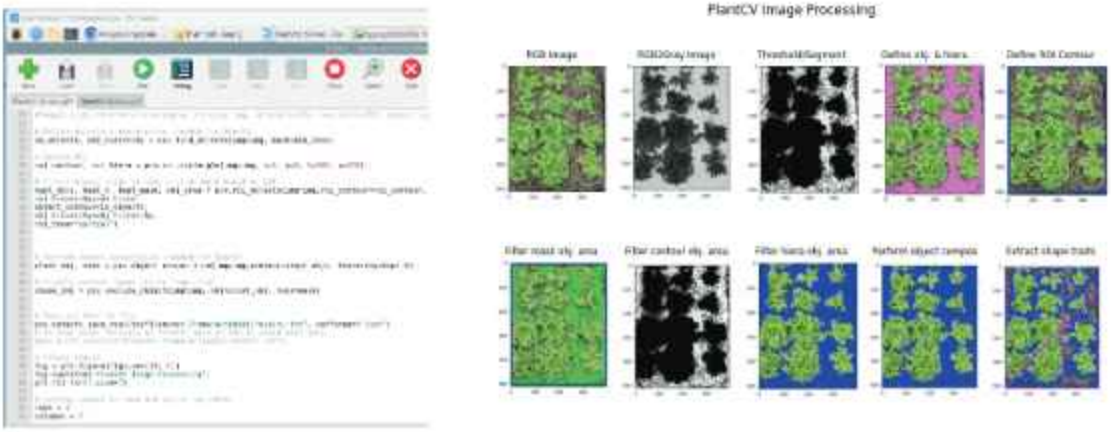
(2) เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นของอากาศบริเวณแปลงปลูก (3) เซนเซอร์ตรวจวัดธาตุอาหาร NPK ในแปลงปลูก (4) ไมโครคอมพิวเตอร์ Raspberry Pi4 ที่ทำหน้าที่บันทึกค่าที่วัดได้จะเซนเซอร์ 3 ตัว (5) กล้องถ่ายภาพการเจริญเติบโตของพืชแบบปรับ 3 แกน X Y Z ได้ (6) กล้องยูเอสบี (USB Camara) 1 ตัว (7) บอร์ดรีเลย์สั่งเปิด-ปิดไฟฟ้า 1 บอร์ด (8) USB Camara เพื่อภาพถ่ายพืชในแปลงปลูก พร้อมส่งค่าปัจจัยการปลูกไปยังแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ (AI-COF App)

ภาพประกอบ 8 ชุดอุปกรณ์ตัวแบบการตรวจวัดการเจริญเติบโตของพืช



(a) (b)

ภาพประกอบ 9 (a) การใช้ไลบรารี OpenCV วิเคราะห์หาพื้นที่สีเขียวของพืช (b) และการวิเคราะห์พื้นที่สีเขียวของพืช



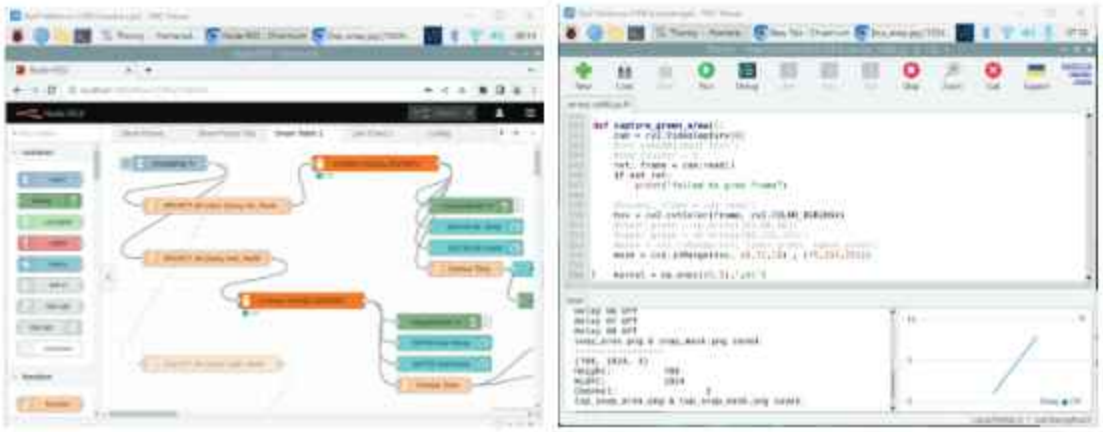
(a) (b)

ภาพประกอบ 10 (a) การใช้ไลบรารี PlantCV ในการหาขนาดรูปร่างของพืช
(b) ผลการวิเคราะห์ขนาดรูปร่างของพืชในแปลงเพาะปลูก

2. ผู้วิจัยได้พัฒนาโมเดลการวิเคราะห์ประมวลผลภาพถ่าย (Image Processing) ด้วยคอมพิวเตอร์ในโดยใช้ ฟังก์ชันคำสั่งจากไลบรารี OpenCV ในการหาปริมาณพื้นที่สีเขียวในภาพถ่ายแปลงเพาะปลูกตามภาพประกอบ 9(a) ได้ผลการประมวลตามภาพประกอบ 9(b) และไลบรารี PlantCV ในการหาขนาดรูปร่างของพืชในแปลงเพาะปลูก ตามภาพประกอบ 10(a) ได้ผลการประมวลตามภาพประกอบ 10(b)

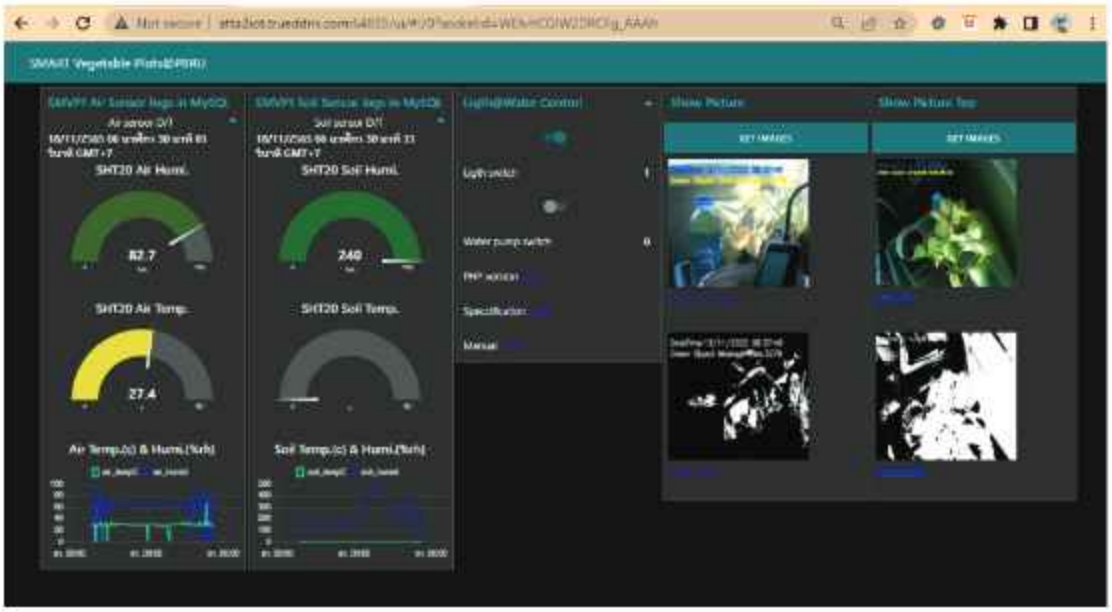
3. พัฒนาส่วนที่ 2 สำหรับกลุ่มเกษตรกรแปลงผักอินทรีย์ใช้เฝ้าดูแปลงปลูกผัก และส่วนที่ใช้สำหรับผู้บริโภคในการสั่งปลูกสั่งซื้อ โดยผู้วิจัยเขียนโปรแกรมภาษาไพธอน (Python) เวอร์ชัน 3.9.0 เขียนฟังก์ชันสคริปต์ (Script Function) เพื่อเก็บบันทึกค่าปัจจัยการเพาะปลูก (1) ฟังก์ชัน อ่านค่าอุณหภูมิ อ่านค่าความชื้น อ่านค่า NPK จากเซนเซอร์ พร้อม (2) ฟังก์ชันบันทึก ทั้ง 3 ค่า ลงฐานข้อมูล MySQL (3) ฟังก์ชันถ่ายภาพมุมด้านข้าง มุมด้านบนของต้นพืช เก็บไว้สำหรับประมวลผลภาพถ่ายการเจริญเติบโตของพืช โดยใช้ไลบรารี่ OpenCV และ PlantCV ประมวลผลภาพถ่ายต่อไป

ผู้วิจัยได้ติดตั้งส่วนต่อประสานผู้ใช้ (User interface: UI) ที่เป็นเว็บแอปพลิเคชันผู้ผลิตสินค้าเกษตรอินทรีย์ ด้วยซอฟต์แวร์รหัสเปิด (Open Source) ที่URL http://atta2IoT.trueddns.com:64833/ (2) ส่วนแสดงผลสถานะการเพาะปลูกผ่านหน้าเว็บแดชบอร์ด (Dashboard) บนเครื่องแม่ข่าย (Server) ซึ่งเรียกส่วนนี้เป็นส่วนบริการเฝ้าดูค่าปัจจัยการผลิตและรูปภาพการเจริญเติบโตของพืชผักบนแปลงปลูก ที่ URL http://atta2IoT.trueddns.com:64833/ui แสดงในภาพประกอบ 11 (a) และภาพประกอบ 12 จากนั้นผู้วิจัยได้ติดตั้งปลั๊กอินโฟลว์ (Plugin Flow) การรับส่งข้อมูลสื่อสารตามมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-484 Modbus สำหรับเขียนโปรแกรมอ่านค่าเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นมาประมวลผลตามเงื่อนไขค่าอุณหภูมิสูงสุดต่ำสุด ความชื้นสูงสุดต่ำสุด พร้อมส่งสัญญาณสั่งให้บอร์ดรีเลย์ทำงานเปิด-ปิดปั๊มน้ำ ตามเงื่อนไขที่โปรแกรมคำสั่ง Python ฟังก์ชันสคริป แสดงในภาพประกอบ 11 (b) กำหนดไว้



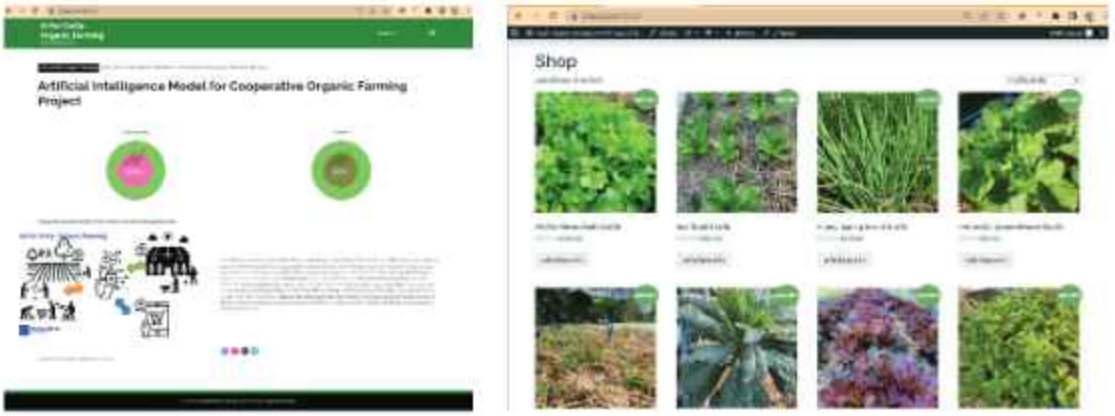
(a) (b)

ภาพประกอบ 11 (a) Node-RED flow (b) Python ฟังก์ชันสคริปต์ (script function)



ภาพประกอบ 12 เว็บแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสำหรับเรียกดูสถานะการปลูก

4. เมื่อได้แอปพลิเคชันส่วนบริการผู้ผลิตแล้ว ผู้วิจัยได้ติดตั้งส่วนต่อประสานผู้ใช้ให้เป็นเว็บแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ 1 ระบบ ด้วยการติดตั้งซอฟต์แวร์รหัสเปิด (open Source) เวิร์ดเพส (WordPress) ซึ่งพัฒนาด้วยภาษาพีเอชพี (PHP) คู่กับฐานข้อมูล MySQL ติดตั้งปลั๊กอินเพิ่มเติม (Plugin) อีคอมเมิร์ซ e-Commerce สำหรับการบริหารจัดการการซื้อขายสินค้าอินทรีย์ บนเครื่องแม่ข่ายคลาวด์เซิฟร์เวอร์ (Cloud Server) ซึ่งเรียกส่วนนี้เป็นส่วนบริการหน้าเว็บ (Front End) สำหรับเกษตรกรบริหารจัดการลงขายสินค้าอินทรีย์ ช่องทางชำระเงินผ่านหลังเว็บไซต์ (Back End) ผู้บริโภค/ลูกค้าจะสั่งปลูกสั่งซื้อสินค้าอินทรีย์ผ่านหน้าเว็บไซต์ AI-COF App ที่ URL https://www.attapap.com/shop แสดงดังภาพประกอบ 13



ภาพประกอบ 13 เว็บแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์สำหรับการสั่งปลูกและสั่งซื้อ

4.3 ขั้นทดลอง (Experimental) ทดสอบ (Testing) และปรับปรุง/บำรุงรักษาระบบ (Maintenance) ฮาร์ดแวร์/ซอฟต์แวร์ ต้นแบบระบบ AI-COF

1. การทดลองและทดสอบใช้เครื่องมือและระบบสารสนเทศ ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม เวอร์ชันแรก (Version 1) แบบห้องปฏิบัติการ (Indoor Testing) เมื่อได้ตามคุณสมบัติของแต่ละฟังก์ชันการทำงานผู้วิจัยได้ทดลองสั่งปลูกสั่งซื้อรายการสินค้าเกษตรอินทรีย์ผ่านทางหน้าเว็บไซต์ AI-COF App จำนวน มากกว่า 10 รายการสินค้า เพื่อให้เป็นตัวอย่างในการสั่งซื้อสั่งปลูกของลูกค้าที่บริโภคสินค้าอินทรีย์ แสดงผ่านหน้าเว็บ จากนั้นทดลองเลือกสินค้าลงตะกร้าสินค้าออนไลน์ (Shopping Cart) เลือกช่องทางชำระเงิน แจ้งสถานการณ์ส่งสินค้าเกษตรอินทรีย์ออนไลน์ เป็นที่น่าพอใจ สามารถทำงานได้ จากนั้นผู้วิจัยเชิญให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ร่วมทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบปัญญาประดิษฐ์ฯ พร้อมเก็บบันทึกข้อผิดพลาด ปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อนำมาแก้ไขปรับปรุงเป็นเวอร์ชันใหม่ และดำเนินการปรับปรุงแก้ไข ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของตัวแบบปัญญาประดิษฐ์ฯ ให้ดียิ่งขึ้นไป ตามวัฏจักร spiral

2. ทดสอบตัวแบบ AI-COF แบบห้องปฏิบัติการได้ตามคุณสมบัติของแต่ละฟังก์ชันการทำงานเป็นที่น่าพอใจ สามารถทำงานได้ ผู้วิจัยถึงจะนำตัวแบบ AI-COF ไปที่แปลงปลูกจริง (Outdoor Testing) จากนั้นผู้วิจัยเชิญให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตร 5 คน และผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ 5 คน ร่วมทดสอบประสิทธิภาพของตัวแบบปัญญาประดิษฐ์ฯ โดยการส่งไฟล์เอกสาร ยูสเคสไดอะแกรม (Use Case Diagram) คลาสไดอะแกรม (Class Diagram) คอมโพแนนท์ไดอะแกรม (Componence Diagram) และถ่ายภาพการติดตั้งอุปกรณ์ตัวแบบปัญญาประดิษฐ์ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพและให้ข้อเสนอแนะ

3. ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลตัวแบบระบบ AI-COF ครั้งที่ 1 ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและประเมินผลการวิจัย มีดังนี้ (1) ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม และ (2) แบบประเมินคุณภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม โดยลงพื้นที่ศูนย์เกษตรอินทรีย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี แจกแบบประเมินคุณภาพตัวแบบระบบ AI-COF พร้อมนำผลการสำรวจที่ได้กลับมาเป็นข้อมูลในการพัฒนาตัวแบบระบบ AI-COF โดยนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำผลการประเมินคุณภาพตัวแบบระบบ AI-COF ด้วยวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหา ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบน

มาตรฐาน ตามรายการในแต่ละด้านของแบบประเมินคุณภาพฯ และบรรยายตีความหมายพร้อมความคิดเห็นของผู้ตอบแบบประเมินฯ

4. ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลประเมินคุณภาพของตัวแบบระบบ AI-COF ครั้งที่ 2 ด้วยขั้นตอน (1) ออกหนังสือขอความอนุเคราะห์ จากคณะวิทยาการจัดการ (2) ติดต่อประสานงานกับกลุ่มเกษตรกร ผู้เชี่ยวชาญด้านการเกษตร ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และส่งแบบประเมินคุณภาพ (3) นำกลับมาเป็นข้อมูลวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงตัวแบบระบบ AI-COF เวอร์ชันใหม่ต่อไป จากนั้นผู้วิจัยใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินคุณภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม ที่เก็บจากความคิดเป็นของกลุ่มผู้ใช้คือเกษตรกร ผู้บริโภค (ลูกค้า) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตรอินทรีย์ และด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ด้วยสถิติต่อไปนี้ (1) สถิติพรรณนา (Descriptive) ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (2) สถิติในการหาคุณภาพแบบสอบถามในการวิจัยการวัดความน่าเชื่อถือเชิงเนื้อหา (Content Analysis) จากร้อยละของการลงความเห็นร่วมกันของผู้เชี่ยวชาญ (3) การวิเคราะห์หาความเชื่อมั่น (Reliability) ซึ่งค่าความเชื่อมั่น 0.85 ขึ้นไปแสดงว่าแบบสอบถามนั้นมีความเชื่อถือได้สูง ถือว่าแบบสอบถามนั้นสามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลได้

5. ผู้วิจัยส่งแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสำหรับเรียกดูสถานะการปลูก ที่ URL http://atta2IoT.trueddns.com:64833/ui และเว็บแอปพลิเคชันการสั่งซื้อสั่งปลูกของลูกค้าที่บริโภคสินค้าอินทรีย์ ที่ URL https://www.attapap.net/shop/ พร้อมแบบประเมินคุณภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (ออนไลน์) กับกลุ่มผู้ใช้ที่เป็นเกษตรกรผู้ผลิต และผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ และทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของตัวแบบปัญญาประดิษฐ์ฯ และปรับปรุงแก้ไขตัวแบบระบบ AI-COF ตามรอบการพัฒนาแบบเกลียว โดยปรับปรุงให้เกิดเป็นเวอร์ชันใหม่ให้ดียิ่งขึ้นทุกๆ 2 เดือน

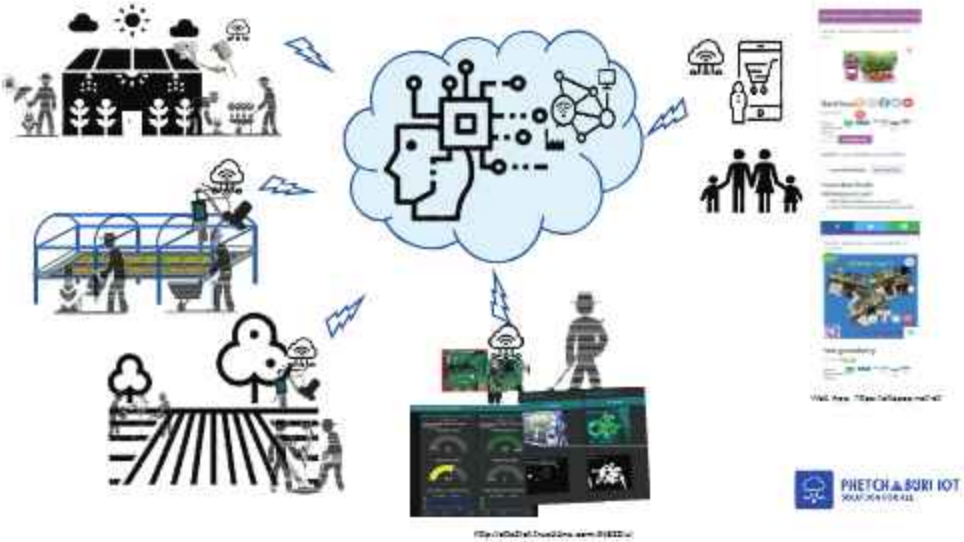
5. ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์ แบบมีส่วนร่วม (AI-COF) ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการศาสตร์ทางคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ ศาสตร์ทางการเกษตร เป็นลักษณะผสมผสานกันระหว่าง เครื่องมือตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม มีลักษณะผสมผสานกันระหว่างเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ เซนเซอร์ที่เรียกว่าโหนดไมโครคอนโทรลเลอร์ การส่งผ่านข้อมูลแบบอนุกรม RS-485 Modbus และผ่านเครือข่าย Wi-Fi หรืออินเทอร์เน็ตระยะไกล้ (NB-IoT) เก็บข้อมูลปัจจัยการเพาะปลูก ค่าอุณหภูมิ ความชื้น ธาตุอาหารในดินลงในฐานข้อมูลของไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กเพื่อให้ไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กเรียนรู้ข้อมูล (Machine Learning) ว่าค่าปัจจัยใดมีค่าลดลงตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เช่นกรณี ความชื้นลดลง อุณหภูมิสูงขึ้น แสงแดดแรงขึ้น ไมโครคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กจะสั่งให้เปิดปั๊มน้ำ กางม่านกรองแสงแดด เมื่อได้ค่าอุณหภูมิ ความชื้นที่ต้องการก็จะสั่งให้ปิดปั๊มน้ำ เป็นต้น หรือกรณีธาตุอาหารในดินลดลง นำค่าจากเซนเซอร์ และเก็บภาพถ่ายแปลงเพาะปลูกไว้ พร้อมส่งไปให้ไมโครคอมพิวเตอร์ประมวลผลภาพพื้นที่สีเขียวของพืช และรูปร่างของกานใบของพืชในแปลงปลูก พร้อมแสดงภาพให้เกษตรกรและผู้บริโภคสามารถตัดสินใจการควบคุมการเพาะปลูกให้น้ำให้ปุ๋ย หรือ เปิด-ปิดไฟส่องสว่างได้เองโดยไม่ต้องให้เกษตรกรตัดสินใจ

พร้อมด้วยการบันทึกภาพพืชผักจากกล้องถ่ายภาพ นำไปประมวลผลภาพ (Image Processing) ด้วยเทคนิคตรวจจับสีเขียวของพืชผักว่ามีจำนวนมากน้อยเพิ่มขึ้นจากเดิมเท่าไร ขนาดของใบพืช ขนาดของลำต้น จำนวนของดอก ผล หรือ ฝัก หรืออื่นๆ ตามแต่ผู้วิจัยจะนำมาใช้เป็นปัจจัยการวิเคราะห์ ขั้นตอน

สุดท้ายที่ระบบ AI-COF ก็จะนำเอาข้อมูลที่ได้เรียนรู้ไว้มาตัดสินใจเอง แจ้งเตือนไปยังเกษตรให้ทำการเก็บเกี่ยวผลผลิต และนำส่งไปให้ผู้บริโภค ในขณะเดียวกันระบบ AI-COF ก็แจ้งเตือนวันเวลาและสถานะการเก็บเกี่ยว กำหนดส่งสินค้า วันที่จะได้รับสินค้า จำนวนเงินที่ต้องชำระเพิ่ม ไปยังผู้บริโภค ดังแสดงในภาพประกอบ 14

2. ผลการพัฒนาตัวแบบเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ด้วย NB-IoT ผู้วิจัยได้ทดสอบภาคสนามยังสถานที่จริง ณ ศูนย์เรียนรู้การเกษตรตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ติดตั้งตัวแบบเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วย NB-IoT ดังภาพประกอบ 15(a) และ15(b) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในดิน ภาพประกอบ 16(a) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ภาพประกอบ 16(b)



ภาพประกอบ 14 AI-NB-IoT for SCE-PGS CoOp Organic Farming Project V.2.1

ภาพประกอบ 15 เครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วย NB-IoT

(a)

(b)

ภาพประกอบ 16 (a) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ (b) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในดิน

(a)

(b)

ภาพประกอบ 17 (a) ภาพถ่ายกล้องมุมด้านข้างขนานกับต้นพืช (b) ภาพถ่ายกล้องมุมด้านบนขนานกับต้นพืช

กล้องถ่ายภาพสำหรับเก็บบันทึกภาพการเจริญเติบโตของพืชผักแบบบนพื้นแปลงมุมด้านข้างขนานกับต้นพืช ภาพประกอบ 17(a) และสามารถนำไปติดตั้งถ่ายภาพแบบมุมด้านบนต้นพืช ดังภาพประกอบ 17(b)

3. ผลการพัฒนาตัวแบบแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ ผู้วิจัยได้ทดสอบแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์เป็นหน้าร้านการขายสินค้า สั่งปลูกพืชผักที่ผู้บริโภคต้องการ และสามารถเลือกสินค้าลงตะกร้าสินค้า (Shopping Cart) ชำระเงินผ่านบัตรเครดิต/เดบิต หรือโอนเงินสั่งปลูกล่วงหน้า ที่ URL https://attapap.com/shop

(a) (b)

ภาพประกอบ 18 (a) หน้าเว็บไซต์ร้านค้าผู้บริโภค (b) หน้าเพจการคำนวณเงินค่าสินค้า

ภาพประกอบ 19 หน้าเว็บไซต์รายงานสถานการณ์เจริญเติบโตของพืช

4. ผลการประเมินคุณภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญด้านเกษตรด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และกลุ่มเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม แสดงดังตาราง 1

ตาราง 1 ผลประเมินคุณภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (AI-COF)

ประเด็นการประเมิน	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
1. ด้านประสิทธิภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (AI-COF)		
1.1 ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ฯ มีความถูกต้อง สามารถในการใช้งานได้จริง	3.96	0.47
1.2 ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ฯ สามารถเข้าใจได้ง่าย สามารถในการใช้งานได้จริง	3.83	0.62
1.3 ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ฯ ใช้งบประมาณในการออกแบบ/สร้าง/และติดตั้งด้วยงบประมาณ 70,000 บาท ซึ่งประกอบด้วย 1) เครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วย NB-IoT (Pi 4 data logger) 2) ชุดแสดงผลสถิติผ่านอินเตอร์เน็ต (IoT) และแสดงภาพแปลงปลูก เพื่อเฝ้าดูการเติบโต 4) แอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ มีความเหมาะสมในด้านงบประมาณ	4.13	0.57
1.4 ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ฯ ใช้งบประมาณในการออกแบบ/สร้าง/และติดตั้งด้วยงบประมาณ 70,000 บาท ซึ่งประมาณการเพาะปลูก/ผลผลิต/รายได้ และคำนวณจุดคุ้มทุนแล้ว มีความเหมาะสม	4.53	0.52
	4.13	0.54
2. ด้านประสิทธิภาพของเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วย NB-IoT ได้ตลอดวัน (24 ชั่วโมง)		
2.1 ชุดจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ อินเวอร์เตอร์ และแผงโซล่าเซลล์ สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าในเวลากลางวัน ตลอดช่วงเวลาที่มีแสงแดดได้ และสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าในเวลากลางคืน ในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแดดได้ตลอดเวลากลางคืน	4.66	0.47
2.2 ชุดตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิในอากาศ ช่วงอุณหภูมิในอากาศ 0-50 องศาเซลเซียล และความชื้นในอากาศ แสดงค่า 0-100% แสดงข้อความที่จอ LCD และส่งข้อมูลไปเก็บยัง Pi 4 (Data logger)	4.53	0.62
2.3 ชุดตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นในดิน เซนเซอร์วัดอุณหภูมิในอากาศ ช่วงอุณหภูมิในอากาศ 0-50 องศาเซลเซียล และความชื้นในอากาศ แสดงค่า 0-100% แสดงข้อความที่จอ LCD และส่งข้อมูลไปเก็บยัง Pi 4 (Data logger)	4.16	0.47
2.4 ชุดตรวจวัดความเข้มแสง/ชุดเก็บข้อมูล (Pi 4 data logger) สามารถเก็บค่าจากเซนเซอร์แสง 0-65535 (lux) ลงฐานข้อมูล และ เรียกดูสถิติค่าแสดงแดด อุณหภูมิ ความชื้นย้อนหลังเป็นกราฟแสงผล ด้วยบราว์เซอร์	4.66	0.72
2.5 ชุดตรวจวัดธาตุอาหาร NPK (Pi 4 data logger) สามารถเก็บค่าจากเซนเซอร์ 0-100 ลงฐานข้อมูล และ เรียกดูสถิติค่าแสดงแดด อุณหภูมิ ความชื้นย้อนหลังเป็นกราฟแสงผล ด้วยบราว์เซอร์	3.84	0.77

ตาราง 1 ผลประเมินคุณภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (AI-COF) (ต่อ)

ประเด็นการประเมิน	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
2.6 ชุดแสดงสถิติแสดงภาพแปลงปลูก (PI Zero) เพื่อเฝ้าดูการเติบโต 2.6.1 ชุดเก็บข้อมูลสถิติฯ สามารถเก็บค่าจากเซนเซอร์ ลงฐานข้อมูล และเรียกดูค่าย้อนหลังเป็นกราฟแสดงผลผ่านบราวเซอร์ 2.6.2 ชุดเก็บข้อมูลสถิติฯ สามารถควบคุมการเปิด/ปิด ปั๊มน้ำอัตโนมัติ ตามเงื่อนไขอุณหภูมิ/ความชื้น/แสงสว่าง 2.6.3 ผู้ใช้สามารถควบคุมการเปิด/ปิดน้ำ ด้วยมือ (manual) ผ่านบราวเซอร์ 2.6.4 ผู้ใช้สามารถเฝ้าดูภาพการเติบโตของแปลงผักยกโต๊ะผ่านโทรศัพท์สมาร์ตโฟน	3.26	0.37
	4.18	0.57
3. ด้านประสิทธิภาพตัวแบบแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์		
3.1 ตัวแบบแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ สามารถแสดงรายการสินค้า ดำเนินสั่งซื้อ/สั่งจองเกษตรอินทรีย์ และชำระเงินผ่านระบบฯ ได้	3.66	0.47
3.2 ตัวแบบแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ ใช้งานได้ง่ายสามารถนำไปใช้กับกลุ่มเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม ยังแปลงเพาะปลูกพืชผักพื้นที่อื่นๆ ได้	3.24	0.87
3.3 ตัวแบบแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ มีประโยชน์ต่อการใช้เฝ้าดูการเจริญเติบโตของแปลงผัก เพื่อนำไปสู่การประชาสัมพันธ์การขายผ่านตลาดออนไลน์	3.56	0.57
3.4 ตัวแบบแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ มีประโยชน์ต่อการใช้สถิติที่เป็นปัจจัยการเพาะปลูกผัก ค่าแสง อุณหภูมิ ความชื้น ที่แม่นยำของผักแต่ละชนิด มาเป็นข้อมูลในการเพาะปลูกครั้งต่อไป	3.76	0.67
	3.55	0.64
4. ด้านประโยชน์ต่อการไปใช้เพาะปลูก		
4.1 ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ฯ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม สามารถนำไปติดตั้งและใช้กับแปลงเพาะปลูกพืชผักพื้นที่อื่นๆ ได้	3.66	0.42
4.2 ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ฯ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม มีประโยชน์ต่อการใช้เฝ้าดูการเจริญเติบโตของแปลงผัก เพื่อนำไปสู่การประชาสัมพันธ์การขายผ่านตลาดออนไลน์ และออฟไลน์	4.24	0.53
4.3 ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ฯ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม มีประโยชน์ต่อการใช้สถิติที่เป็นปัจจัยการเพาะปลูกผัก ค่าแสง อุณหภูมิ ความชื้น ที่แม่นยำของผักแต่ละชนิด มาเป็นข้อมูลในการเพาะปลูกครั้งต่อไป	4.66	0.67
	4.18	0.54

ตาราง 1 ผลประเมินคุณภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (AI-COF) (ต่อ)

ประเด็นการประเมิน	ค่าเฉลี่ย (Mean)	ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
5. ด้านประโยชน์ต่อกลุ่มเกษตรอินทรีย์		
5.1 ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ฯ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม สามารถนำไปติดตั้งและใช้กับแปลงเพาะปลูกพืชผักพื้นที่อื่นๆ มีประโยชน์ต่อกลุ่มเกษตรอินทรีย์ของท่าน	3.76	0.57
5.2 ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม มีประโยชน์ต่อการใช้เฝ้าดูการเจริญเติบโตของแปลงผัก เพื่อนำไปสู่การประชาสัมพันธ์การขายผ่านตลาดออนไลน์ และออฟไลน์ ของกลุ่มเกษตรอินทรีย์ของท่าน	3.87	0.67
5.3 ตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ เพื่อการเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม มีประโยชน์ต่อการใช้สถิติที่เป็นปัจจัยการเพาะปลูกผัก ค่าแสง อุณหภูมิ ความชื้น ที่แม่นยำของผักแต่ละชนิด มาเป็นข้อมูลในการเพาะปลูกครั้งต่อไป	3.66	0.41
	3.76	0.55
เฉลี่ยทั้ง 5 ด้าน	3.96	0.57

สรุปผลการประเมินประสิทธิภาพโดยการทดสอบจากผู้ใช้ ทั้ง 5 ด้าน ค่าเฉลี่ย 3.96 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.57 แต่ละด้านตามลำดับดังนี้ 1) ด้านประสิทธิภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม (AI-COF) ค่าเฉลี่ย 4.13 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.54 2) ด้านประสิทธิภาพของเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์ปัจจัยการเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วย NB-IoT ค่าเฉลี่ย 4.18 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.57 3) ด้านประสิทธิภาพตัวแบบแอปพลิเคชันผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ ค่าเฉลี่ย 3.55 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.64 4) ด้านประโยชน์ต่อการไปใช้เพาะปลูก ค่าเฉลี่ย 4.18 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.57 และ 5) ด้านประโยชน์ต่อกลุ่มเกษตรอินทรีย์ ค่าเฉลี่ย 3.76 ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.55 โดยมีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม คือ ควรมีการขยายผลงานวิจัยสู่กลุ่มเกษตรกรเพิ่มขึ้น เพื่อนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์กลับกลุ่มเกษตรอินทรีย์ในพื้นที่อื่นๆ

ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุงแก้ไข (Maintenance) เพื่อหาความเหมาะสม ตามสภาพแวดล้อมจริงของพื้นที่แปลง โดยเพิ่มมุมองในการเก็บภาพมากขึ้น และเขียนสคริปต์เพื่อเรียกใช้ไลบรารี PlantCV เพื่อวิเคราะห์การประมวลผลภาพการเจริญเติบโตของต้นพืชทุกมุมของภาพถ่าย เพื่อให้ได้ค่าความแม่นยำของแสงสีเขียวของพืชมากขึ้น

6. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์การเพาะปลูกเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วม AI-COF ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดสอบตามคุณลักษณะและคุณสมบัติที่ได้กำหนดประสิทธิภาพของระบบตรวจวัด ตรงตามคุณลักษณะ และตรงตามคุณสมบัติที่กำหนดไว้ สามารถจับคู่เกษตรกรผู้ผลิตกับผู้บริโภค สามารถผลิตตามคำสั่งปลูก เก็บสถิติการผลิตสู่การนำไปพยากรณ์การผลิตในอนาคต นำส่งผลผลิตได้ตรงตามความต้องการผู้บริโภค ผลการประเมินประสิทธิภาพตัวแบบระบบปัญญาประดิษฐ์ มีผลการประเมินที่ค่าเฉลี่ย 3.96 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.57 อยู่ในระดับมาก

ตัวแบบเครื่องตรวจวัดและวิเคราะห์พื้นที่แปลงเพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ ด้วย NB-IoT สามารถนำเสนอภาพการเจริญเติบโตของพืชในแปลงเพาะปลูก ปัจจัยการเพาะปลูก เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสงแดด ธาตุอาหารในดิน สามารถควบคุมการทำงานได้จากระยะไกลผ่านแอปพลิเคชัน แบบ Automatic หรือ Manual โดยสามารถปิด/เปิดหลอดไฟส่องสว่าง สามารถปิด/เปิดปั๊มน้ำหัวพ่นหมอก ผ่านโทรศัพท์สมาร์ทโฟนของเกษตรกรได้ มีผลการประเมินที่ค่าเฉลี่ย 4.18 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.57 อยู่ในระดับมาก

ตัวแบบแอปพลิเคชันสำหรับผู้ผลิตและผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์ เกษตรกรผู้ผลิตสามารถใช้บริหารจัดการแปลงเพาะปลูก เช่น ชนิดพืช วันปลูก วันเก็บเกี่ยว สถานะปัจจัยการผลิต อุณหภูมิ ความชื้น แสง ธาตุอาหาร มูลค่าผลผลิต ต้นทุน/กำไร รายรับ/รายจ่าย ผู้บริโภคสามารถเห็นสถานะการเจริญเติบโตของแปลงเพาะปลูกตั้งแต่การเพาะเมล็ด จนถึงการเก็บเกี่ยวก่อนนำส่งถึงผู้บริโภคสั่งเพาะปลูกพืชที่ต้องการได้ มีผลการประเมินที่ค่าเฉลี่ย 3.55 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.64 อยู่ในระดับมาก

ผลที่ได้ในการนำวิจัยไปใช้ประโยชน์ต่อเกษตรกรผู้ผลิตพืชอื่นๆ ที่มีมูลค่าสูง หรือในพื้นที่กลุ่มแปลงเกษตรอินทรีย์ทั่วประเทศ เกษตรกรผู้ผลิตสามารถใช้บริหารจัดการแปลงเพาะปลูก เช่น ชนิดพืช วันปลูกวันเก็บเกี่ยว สถานะปัจจัยการผลิต อุณหภูมิ ความชื้น แสง ธาตุอาหาร มูลค่าผลผลิต ต้นทุน/กำไร รายรับ/รายจ่าย และประโยชน์สำหรับผู้บริโภคสินค้าเกษตรอินทรีย์มีความสะดวกในการสั่งปลูกพืชได้ตามความต้องการ และยังสามารถเห็นสถานะการเจริญเติบโตของแปลงเพาะปลูกตั้งแต่การเพาะเมล็ด จนถึงการเก็บเกี่ยวก่อนนำส่งถึงผู้บริโภคสั่งเพาะปลูกพืชที่ต้องการได้

ข้อเสนอแนะสำหรับทำวิจัยเพื่อต่อยอดครั้งต่อไปควรต้องให้เห็นการวิเคราะห์ประมวลผลภาพการเจริญเติบโตของต้นพืชทุกมุมของภาพถ่ายเพื่อให้ได้ค่าความแม่นยำมากขึ้น และ ควรมีการขยายผลงานวิจัยสู่กลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตพืชผักอินทรีย์ยังกลุ่มเกษตรกรอื่นเพิ่มขึ้น เพื่อนำผลของการวิจัยตัวแบบระบบตรวจวัดแสง อุณหภูมิ และความชื้นพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่านอินเทอร์เน็ต สำหรับแปลงผักยกโต๊ะไปใช้ประโยชน์ เพื่อใช้ชุดตรวจวัดในการตัดสินใจการให้น้ำ การพ่นหมอกเพื่อลดอุณหภูมิให้มีระดับสภาพแวดล้อมคงที่เป็นเครื่องมือที่แม่นยำในการเฝ้าดูการเจริญเติบโตของพืชผักในแปลงผักยกโต๊ะของเกษตรกรรวมทั้งช่วยลดเวลาในการจัดเก็บข้อมูลสถิติการเพาะปลูกเพื่อได้ค่าอุณหภูมิ ความชื้นและแสงแดดที่เหมาะสมของพืชผักแต่ละชนิดให้กับเกษตรกร/กลุ่มเกษตรกรผู้ปลูกผักอินทรีย์ในจังหวัดเพชรบุรีและจังหวัดใกล้เคียง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี สนับสนุนทุนวิจัย ในการสร้างตัวแบบแบบระบบ (AI-COF) พร้อมสถานที่ทดลอง และนักศึกษาสาขาวิชาเกษตรศาสตร์ และอาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน และเกษตรกรผู้เข้าศึกษาดูงานที่เป็นผู้ใช้และผู้ทดสอบระบบ

เอกสารอ้างอิง

Boulent, J., Foucher, S., Theau, J., & St-Charles, P.-L. (2019). Convolutional neural networks for the automatic identification of plant diseases. *Frontiers in Plant Science, 10*. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00941

Bunreang, K. (2000). *Education Research Methodology*. Bangkok: P.N. Printing. [InThai]

Gutierrez Ortega, J. A., Fahlgren, N., Gehan, M., & Castillo, S. E. (2021). Segmentation of overlapping plants in multi-plant image time series. *Earth and Space Science Open Archive*. https://doi.org/10.1002/essoar.10508337.2

Hobart, M., Pflanz, M., Weltzien, C., & Schirrmann, M. (2020). Growth height determination of tree walls for precise monitoring in apple fruit production using UAV photogrammetry. *Remote Sensing, 12*(10). https://doi.org/10.3390/rs12101656

Kirwan, R. F., Abbas, F., Atmosukarto, I., Loo, A. W. Y., Lim, J. H., & Yeo, S. (2023). Scalable agritech growbox architecture. *Frontiers in the Internet of Things. 2*. https://doi.org/10.3389/friot.2023.1256163

Kongmark, N. (2020). *Organic agriculture standards manual SCE-PGS*. Phetchaburi: [n.p.]. [InThai]

Kromkroam, K. (2009). *Object-oriented system analysis and design with UML*. Bangkok: KTP. [InThai]

Maneetoem, A., Pratoomta, N., & Kingthong, W. (2020). The development of geographic information systems for crop cultivation and food production and agricultural tourism in Phetchaburi Province. *Journal of Applied Informatics and Technology, 2*(1), 1-18. https://doi.org/10.14456/jait.2020.1 [InThai]

Neupane, B., Horanont, T., & Duy Hung, N. (2019). Deep learning based banana plant detection and counting using high-resolution red-greenblue (RGB) images collected from unmanned aerial vehicle (UAV). *PLOS ONE, 14*(10). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223906

Noah, F. & Malia, G. (2022). *Plant phenotyping using computer vision*. Retrieved 20 October, 2022, from https://plantcv.danforthcenter.org/

Node-RED. (2022). *About Node-RED*. Retrieved 20 October, 2022, from https://nodered.org

Ongate, N. (2021). Prototype design of solar soil moisture controller to be used as an alternative energy for agriculture against the growth of vegetables in Khao Kho District, Phetchabun Province. *SNRU Journal of Science and Technology, 13*(1), 20-28. https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/snru_journal/article/view/242652 [InThai]

OpenCV. (2011). *What about OpenCV?*. Retrieved 20 October, 2022, from https://opencv.org/

OpenCV. (2023). *Image processing: Structural analysis and shape descriptors*. Retrieved 20 October, 2022. Retrieved from https://docs.opencv.org/3.4/d3/dc0/group__imgproc__shape.html

PlantCV. (2023). *Analyze the size and shape characteristics of objects*. Retrieved 20 October, 2022. Retrieved from https://plantcv.readthedocs.io/en/stable/analyze_size/

Popovic, T., Latinovic, N., Pesic, A., Zecevic, Z., Krstajic, B., & Djukanovic, S. (2017). Architecting an IoT-enabled platform for precision agriculture and ecological monitoring: A case study. *Computers and Electronics in Agriculture, 140*, 255-265. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.06.008

Rice Departmemt. (2022). *What participatory gurantree system: PGS ?*. Retrieved 20 October, 2022. Retrieved from http://www.pgs-organic.org/sub1content.asp?id=14294 [InThai]

Saiysing, J. (2020). The development of smart farm solution machine in a community enterprise: A group of growers and the rainbow mango processing, Ban Nong Bua Chum, Tambon Nong Hin, Nong Kung Sri District, Kalasin Province. *SNRU Journal of Science and Technology, 13*(1), 11-19. https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/snru_journal/article/view/240724 [InThai]

Satzinger, J. W., Jackson, R. B., & Burd, S. D. (2002). *Systems Analysis and Design in a Changing World* (2nd ed.). Boston, Massachusetts: Thomdon Learning.

Schuhl, H., Peery, J. D., Gutierrez, J., Gehan, A. M., & Fahlgren, N. (2022). *Simplifying PlantCV workflows with multiple objects*. North American Plant Phenotyping Network (NAPPN). https://doi.org/10.22541/au.166758437.76129704/v1

SIAMBC. (2021). What is IoT?. Retrieved 20 October, 2022, from https://siambc.com/iot [InThai]

SIAMBC. (2022). *What NB-IoT?*. Retrieved 20 October, 2022, from https://siambc.com/nb-IoT [InThai]

Tovar, J. C. *et al*. (2018). Raspberry Pi-powered imaging for plant phenotyping. *Applications in Plant Sciences, 6*(3), e1031. https://doi.org/10.1002/aps3.1031

Yang, S., Zheng, L., Gao, W., Wang, B., Hao, X., Mi, J., & Wang, M. (2020). An efficient processing approach for colored point cloud-based high-throughput seedling phenotyping. *Remote Sensing, 12*(10), 1-21. https://doi.org/10.3390/rs12101540

Zamora-Izquierdo, M. A., Santa, J., Martinez, J., Martinez, V., & Skarmeta, A. (2019). Smart farming IoT platform based on edge and cloud computing. *Biosystems Engineering, 177*, 4-17. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.10.014

Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M. (2014). Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things Journal, 1*(1), 22-23. doi:10.1109/JIOT.2014.2306328