



การพัฒนาชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว: กรณีศึกษาในพื้นที่
อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์

Development of an Embedded System-Based Brown Planthopper (BPH) Kit:
A Case Study in Mueang District, Phetchabun

สนธยา วันชัย*

Sontaya Wanchai

Received : August 20, 2025

Revised : November 27, 2025

Accepted : March 18, 2026

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัยครั้งนี้เพื่อพัฒนาชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัวและการวัดประสิทธิภาพ ผลการสำรวจข้อมูลการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในพื้นที่ที่มีการระบาดใน 6 ตำบลได้แก่ ตำบลสะเดียง ท่าพล ดงมูลเหล็ก นายนม ห้วยใหญ่และระวิง ข้อมูลปี 2563-2566 มีการระบาดอยู่ในระดับปานกลาง เครื่องมือชุดตรวจจับประกอบด้วย Node MCU ESP8266 อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่ กล้องวงจรปิด จอภาพแสดงผล LCD และหน่วยความจำ การวัดประสิทธิภาพแบ่งการทดลองเป็น 10 ครั้ง หากแยกเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่จำนวน 1-2 ตัวสามารถแยกได้ 100% แต่หากพบมากกว่า 2 ตัวต่อครั้งจะไม่สามารถตรวจสอบได้ทั้งหมด ค่าเฉลี่ยที่คัดแยกได้อยู่ที่ร้อยละ 70 การติดตั้งชุดตรวจจับไว้ที่แปลงนา ช่วงกลางฤดูฝน (มิถุนายน-พฤศจิกายน) เมื่อต้นข้าวเริ่มเจริญเติบโตเป็นช่วงที่เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเริ่มระบาด ผลการตรวจจับทั้ง 6 ตำบล ได้ดังนี้ ตรวจจับได้ทั้งหมดได้ 219 ตัว เฉลี่ย 36.5 ตัวต่อตำบล พบเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวน 28 ตัว เฉลี่ย 4.67 ตัวต่อตำบล แยกเป็นตำบลสะเดียง 6 ตัว (12.0%) ท่าพล 3 ตัว (7.9%) ดงมูลเหล็ก 7 ตัว (19.4%) นายนม 5 ตัว (12.5%) ห้วยใหญ่ 4 ตัว (15.4%) และระวิง 3 ตัว (10.3%) การตรวจพบเพลี้ยกระโดดแต่ละตำบลมีความแตกต่างกันมากและมีจำนวนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในปริมาณน้อย

คำสำคัญ : เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล / อุปกรณ์ตรวจจับ / ระบบสมองกลฝังตัว

*อาจารย์ประจำสาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

Lecturer Department of Computer Technology, Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology,

Phetchabun Rajabhat University(Corresponding Author) e-mail : pansiriwat@pcru.ac.th

ABSTRACT

The objective of this research is to design and develop a brown planthopper detection kit using an embedded system and as well as to analyze performance measurement survey results of brown planthopper outbreak data with outbreak numbers in six sub-districts, including Sa Deang, Tha Phol, Dong Mun Lek, Na Yom, Huai Yai and Ra Wing. This study used data from 2020-2023, which indicate a moderate outbreak volume. Brown planthopper detection kit was with embedded system consisting of Node MCU ESP8266, motion detector, CCTV camera, LCD display and memory. The performance of the detection system was evaluated through 10 experiments. The identification accurate was 100% when one to two brown planthoppers were detected. If more than two brown planthoppers appeared at a time, they not all could detected. The average separation rate is 70%. The detection kits were installed in rice fields, In the middle of the rainy season (June-November). When the rice plants begin to grow, which is when the brown planthopper outbreak begins. The results of the inspections in all six sub-districts are as follows: The brown planthopper detection device detected a total of 219 insects, averaging of 36.5 insects per sub-district. Among these 28 were brown planthoppers, an averaging 4.67 insects per sub-district. Consist of Sa Diang Subdistrict, 6 individuals (12%); Tha Phol Subdistrict, 3 individuals (7.9%); Dong Mun Lek Subdistrict, 7 individuals (19.4%); Na Yom Subdistrict, 5 individuals (12.5%); Huai Yai Subdistrict, 4 individuals (15.4%); and Ra Wing Subdistrict, 3 individuals (10.3%). The frequency of brown planthopper detection varied significantly across sub-districts, although the overall number remained low.

Keywords : Brown Planthopper (BPH) / Detection Device / Embedded System

บทนำ

จังหวัดเพชรบูรณ์เป็นจังหวัดที่อยู่ในเขตภาคเหนือตอนล่าง ของประเทศไทย จังหวัดเพชรบูรณ์ เป็นจังหวัดที่มีแนวเขตติดต่อระหว่างภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางประมาณเส้นรุ้งที่ 16 องศาเหนือกับเส้นแวงที่ 101 องศาตะวันออกมีพื้นที่ประมาณ 12,668,416 ตารางกิโลเมตรหรือประมาณ 7,617,760 ไร่ ส่วนที่กว้างที่สุดของจังหวัดจากด้านตะวันออกถึงตะวันตกกว้าง 55 กิโลเมตรส่วนที่ยาวที่สุดวัดจากเหนือสุดถึงใต้สุดยาว 296 กิโลเมตรและสูงจากระดับน้ำทะเลประมาณ 114 เมตรโดยอยู่ห่างจากกรุงเทพมหานคร 349 กิโลเมตรตามทางหลวงหมายเลข 21 (สำนักงานจังหวัดเพชรบูรณ์, 2565) อาชีพหลักของประชาชนได้แก่อาชีพเกษตรกรรม ผลผลิตหลักได้แก่ ข้าวนาปี ข้าวนาปรัง ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์มันสำปะหลัง สับปะรด และ (สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์, 2563) ปริมาณผลผลิตที่ได้ เช่น ในปี 2563 ข้าวนาปี ได้ 674,172 ตัน ข้าวโพดเลี้ยง

สัตว์ ได้ 580,600 ตัน มันสำปะหลังโรงงาน ได้ 919,600 ตัน โดยเฉพาะข้าวนั้น กระบวนการผลิตข้าวเป็นห่วงโซ่ที่ส่งผลกระทบต่อผลผลิตที่จะได้ในอนาคต แต่ก็มีอุปสรรคอื่นได้แก่แมลงศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายให้แก่ข้าวมหากษัตริย์สามารถตรวจเจอแมลงศัตรูพืชที่จะเข้ามาทำลายต้นข้าวก่อนก็จะสามารถป้องกันความเสียหายต่อผลผลิตที่ออกมาได้

แมลงศัตรูพืช เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล *Nilaparvata lugens* (Stål) เป็นแมลงจำพวกปากดูด ตัวเต็มวัยมีลำตัวสีน้ำตาลถึงสีน้ำตาลปนดำ มีรูปร่าง 2 ลักษณะ คือ ชนิดปีกยาว (Macropterous Form) และชนิดปีกสั้น (Brachypterous Form) ชนิดมีปีกยาวสามารถเคลื่อนย้ายและอพยพไปในระยะทางไกลและไกล โดยอาศัยกระแสลมช่วย ตัวเต็มวัยเพศเมียจะวางไข่เป็นกลุ่ม ส่วนใหญ่วางไข่ที่กาบใบข้าว หรือเส้นกลางใบ โดยวางไข่เป็นกลุ่ม เรียงแถวตามแนวตั้งฉากกับกาบใบข้าว บริเวณที่วางไข่จะมีรอยขีดเป็นสีน้ำตาล ไข่มีลักษณะรูปกระสวยโค้ง คล้ายกล้วยหอม มีสีขาวขุ่น ตัวอ่อนมี 5 ระยะ ระยะตัวอ่อน 16-17 วัน ตัวเต็มวัยเพศเมียชนิดปีกยาวมีขนาด 4-4.5 มิลลิเมตร วางไข่ประมาณ 100 ฟอง เพศผู้มีขนาด 3.5-4 มิลลิเมตร เพศเมียชนิดปีกสั้นวางไข่ประมาณ 300 ฟอง ตัวเต็มวัยมีชีวิตประมาณ 2 สัปดาห์ ในหนึ่งฤดูปลูกข้าวเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสามารถเพิ่มปริมาณได้ 2-3 อายุขัย (Generation) (สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2564) การป้องกันสามารถเลือกสายพันธุ์ข้าวที่ต้านทานต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล หรือ ใช้การระบายน้ำออกจากแปลงนาเพื่อลดการระบาดของหาคันพบเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลได้รวดเร็วเท่าไรก็สามารถป้องกันและกำจัดได้เร็วเท่านั้น การตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลสามารถทำได้หลายวิธีเช่น มองด้วยตาเปล่า ใช้กับดักแสงไฟสำหรับการล่อแมลง กับดักกาวเหนียว การใช้สารป้องกันการระบาดของ การใช้ศัตรูทางธรรมชาติ (ตัวมวนเขียวจุดไข่ เป็นตัวห้ำ, แมงมุมสุนัขป่า หรือแมงมุมหมาป่า, ตัวเต่าลาย) หรือการใช้อุปกรณ์ตรวจจับแมลงร่วมกับเทคโนโลยี IOT ช่วยตรวจปริมาณเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่ระบาดในนาข้าวได้

ระบบสมองกลฝังตัว หมายถึง ระบบคอมพิวเตอร์ที่ถูกออกแบบให้ทำงานเฉพาะหน้าที่ใดหน้าที่หนึ่งภายในอุปกรณ์หรือระบบขนาดใหญ่ โดยประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ทำงานร่วมกันเพื่อควบคุม ตรวจสอบ หรือประมวลผลการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ เช่น เครื่องใช้ไฟฟ้า รถยนต์ เครื่องมือแพทย์ หรือระบบอัตโนมัติในภาคอุตสาหกรรม ระบบสมองกลฝังตัวมักใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ เป็นหน่วยประมวลผลหลัก และทำงานภายใต้ทรัพยากรที่จำกัด เช่น หน่วยความจำ พลังงาน และความเร็วในการประมวลผล นอกจากนี้ยังมักต้องทำงานแบบ Real-time เพื่อควบคุมหรือโต้ตอบกับสภาพแวดล้อมทางกายภาพผ่านอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต เช่น เซนเซอร์และแอคชูเอเตอร์ (Gillis and Lutkevich, 2024) โดยความสามารถของระบบสมองกลฝังตัวสามารถเพิ่มความสามารถในการตรวจสอบสิ่งที่มีขนาดเล็ก เช่น เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยอุปกรณ์เซนเซอร์และมีความรวดเร็วในการตรวจจับและรายงานผลปริมาณการตรวจพบหลังผ่านการประมวลผลแล้วด้านการตรวจสอบจำนวนปริมาณเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในแปลงนาของเกษตรกรที่เขตอำเภอเมืองจังหวัดเพชรบูรณ์ ปริมาณการตรวจพบจะอยู่ในระดับปานกลางและยังใช้วิธีการ ตรวจสอบจากการดูด้วยตาบริเวณต้นข้าว ใช้ตาข่ายกวาดที่ต้นข้าว เพื่อเก็บตัวอย่างของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

สำหรับงานวิจัยการพัฒนาชุดตรวจจับเปลือกกระโดดสีน้ำตาลพบว่ามีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุดตรวจจับเปลือกกระโดดสีน้ำตาล เช่น 1) การตรวจจับเปลือกกระโดดสีน้ำตาล (Nilaparvata Lugens Stål) โดยใช้เทคโนโลยีการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) (He et al., 2020) งานวิจัยนำเสนอ ขั้นตอนวิธีการตรวจจับแบบสองชั้น (Two-layer Detection Algorithm) โดยใช้เทคโนโลยี Deep Learning ในการตรวจจับเปลือกกระโดดสีน้ำตาล ขั้นตอนวิธีที่ใช้ทั้งสองชั้นคือ Faster R-CNN (Regions with Convolutional Neural Network Features) เพื่อให้สามารถใช้ทรัพยากรการประมวลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีการเลือกใช้เครือข่ายการสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction Network) ที่แตกต่างกันในแต่ละชั้น นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงโครงสร้างของเครือข่ายตรวจจับในชั้นที่สอง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของผลลัพธ์การตรวจจับ ผลการตรวจจับของขั้นตอนวิธีแบบสองชั้นถูกนำไปเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีตรวจจับแบบชั้นเดียว รวมถึงเปรียบเทียบกับ YOLO v3 ซึ่งเป็นเครือข่ายตรวจจับวัตถุแบบ Deep Learning เช่นกัน ผลการทดลองพบว่า ขั้นตอนวิธีแบบสองชั้นให้ผลการตรวจจับที่ดีกว่าขั้นตอนวิธีแบบชั้นเดียวอย่างมีนัยสำคัญ ในการทดสอบกับจำนวนเปลือกกระโดดสีน้ำตาลที่แตกต่างกัน ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอมี ค่า Recall เฉลี่ย 81.92% และค่า Accuracy เฉลี่ย 94.64% ในขณะที่ YOLO v3 มีค่า Recall เฉลี่ย 57.12% และ Accuracy เฉลี่ย 97.36% สำหรับการทดลองกับเปลือกกระโดดสีน้ำตาลในช่วงอายุที่แตกต่างกัน ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอมี Recall เฉลี่ย 87.67% และ Accuracy เฉลี่ย 92.92% ขณะที่ YOLO v3 มี Recall เฉลี่ย 49.60% และ Accuracy เฉลี่ย 96.48%. 2) การจำแนกชนิดเปลือกกระโดดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึกแบบ CNN โดยใช้ชุดข้อมูลภาพความหนาแน่นสูง (Ibrahim et al., 2023) งานวิจัยนี้พัฒนาระบบ Machine Vision สำหรับจำแนกชนิดเปลือกกระโดด โดยใช้เทคนิค Deep Convolutional Neural Network (CNN) จากชุดข้อมูลภาพความหนาแน่นสูงจำนวน 7,328 ภาพที่เก็บจากกับดักแสง ผลการทดลองพบว่า โมเดล ResNet-50 ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด โดยมีค่า Accuracy 97.28% แสดงให้เห็นว่าเทคนิค Deep Learning สามารถใช้ในการจำแนกชนิดแมลงศัตรูพืชในนาข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ 3) การระบุชนิดและนับจำนวนเปลือกกระโดดสีน้ำตาลในนาข้าวโดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพ (Shah et al., 2019) เสนอเทคนิคการประมวลผลภาพร่วมกับปัญญาประดิษฐ์ เพื่อเป็นทางเลือกในการระบุชนิดและนับจำนวนแมลงศัตรูพืช กระบวนการตรวจจับที่เสนอประกอบด้วย 4 ขั้นตอนต่อเนื่อง ได้แก่ การรับภาพ (Image Acquisition) การแบ่งส่วนภาพ (Image Segmentation) การสกัดคุณลักษณะ (Feature Extraction) และการตรวจจับ (Detection) โดยใช้ตัวจำแนกแบบ k-nearest neighbour (kNN) และพัฒนาโปรแกรมด้วย MATLAB ผลการจำลองด้วยภาพแมลงจำนวน 10 ภาพ พบว่าวิธี kNN ให้ประสิทธิภาพดีกว่า Decision Tree ภาพที่ได้นำไปประมวลผลนับจำนวนเปลือกกระโดด

จากสภาพปัญหาการเข้าทำลายต้นข้าวนาปีและข้าวนาปรังของเปลือกกระโดดสีน้ำตาลที่จะทำให้เกิดผลผลิตข้าวต่อปีมีปริมาณน้อยลง โดยกระบวนการที่จะแก้ไขเบื้องต้นได้แก่การเลือกสายพันธุ์ข้าวที่ต้านทานหรือเข้าฆ่าแมลงในการกำจัดเปลือกกระโดดสีน้ำตาล หากเกษตรกรตรวจพบเปลือกกระโดดสีน้ำตาลเร็วเท่าไรเกษตรกรจะสามารถป้องกันได้เร็วเท่านั้น อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ยังเน้นการประมวลผลภาพในห้องปฏิบัติการ หรือใช้กับดักแสงไฟแบบดั้งเดิม ยังขาดงานวิจัยที่พัฒนาระบบตรวจจับแบบฝังตัวที่สามารถใช้งานจริงในแปลงนาและ

รายงานผลแบบเรียลไทม์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาระบบต้นแบบที่สามารถใช้งานภาคสนามได้จริงและด้วยข้อดีของระบบสมองกลฝังตัวที่สามารถออกแบบชุดตรวจจับเพลิงกระโดดสีน้ำตาล ด้วยการใช้อุปกรณ์โมดูลกล้องเชื่อมต่อกับ Node MCU (ESP8266) นำภาพที่ได้จากการถ่ายไปเข้ากระบวนการประมวลผลภาพเปรียบเทียบกับตัวเพลิงกระโดดสีน้ำตาลและให้แสดงผลจำนวนที่ตรวจพบการระบาด รายงานผลการระบาดของเพลิงกระโดดสีน้ำตาลด้วยความรวดเร็ว เพื่อให้เกษตรกรรับมือได้อย่างทันเวลาและยังส่งผลต่อผลผลิตข้าวที่จะได้ในแต่ละรอบการผลิต ส่งผลให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นในอนาคตและระบบต้นแบบสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือเฝ้าระวังการระบาดของเพลิงกระโดดสีน้ำตาลในแปลงนาระดับชุมชนได้

วิธีดำเนินการวิจัย

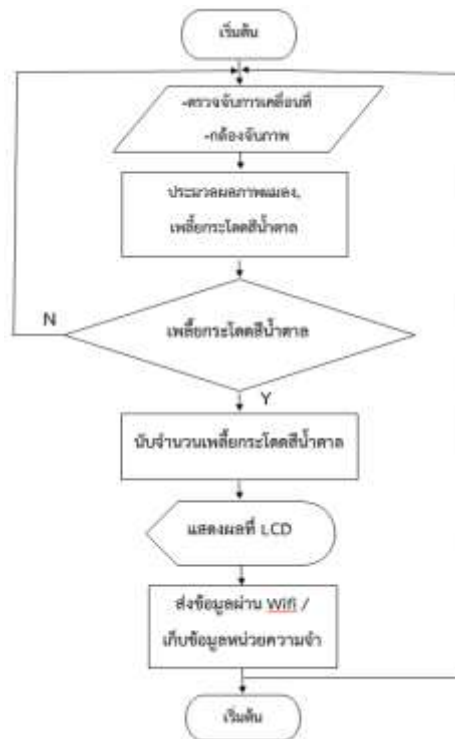
วิธีดำเนินการวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดตรวจจับเพลิงกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการดำเนินการวิจัยเป็นขั้นตอนดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลสภาพปัญหาการระบาดของแมลงเพลิงกระโดดสีน้ำตาลที่มีผลต่อการผลิตข้าวของเกษตรกรในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ทั้ง 17 ตำบลโดยการเดินทางไปยังเขตบริเวณแต่ละตำบลและทำการสอบถามข้อมูลจากเกษตรกรในพื้นที่และสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมจากหน่วยงาน สำนักงานเกษตรอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ หลังจากได้สอบถามข้อมูลจากเกษตรกรทั้ง 17 ตำบล ผลสรุปพื้นที่ที่มีการระบาดของเพลิงกระโดดสีน้ำตาลที่มีจำนวนการระบาดน้อยได้แก่ตำบล 1. ตำบลในเมือง 2. ตำบลตะเภา 3. ตำบลบ้านโคก 4. ตำบลป่าเลา 5. ตำบลนาจั่ว 6. ตำบลบ้านโคก 7. ตำบลชนไพร 8. ตำบลนาป่า 9. ตำบลวังชมพู 10. ตำบลน้ำร้อน และ 11. ตำบลห้วยสะแก ส่วนตำบลที่พบเพลิงกระโดดสีน้ำตาลมีเพียง 6 ตำบล ได้แก่ 1. ตำบลสะเตียง 2. ตำบลท่าพล 3. ตำบลดงมูลเหล็ก 4. ตำบลนายม 5. ตำบลห้วยใหญ่ และ 6. ตำบลระวิง ผู้วิจัยจึงได้เลือกทั้ง 6 ตำบลเป็นกลุ่มตัวอย่างสำหรับทดลองติดตั้งชุดตรวจจับเพลิงกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว เพื่อการเก็บข้อมูลจำนวนเพลิงกระโดดสีน้ำตาล

2. นำข้อมูลผลการสำรวจแมลงศัตรูพืช (ศัตรูข้าว) จากสำนักงานเกษตรอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ (สำนักงานเกษตรอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์, 2567) ดังตารางที่ 2 และข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่พบเกษตรกรและข้อมูลที่ได้รับจากเกษตรกรอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ มาตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เพื่อนำข้อมูลไปรวมกำหนดพื้นที่และกำหนดจุดการติดตั้งชุดตรวจจับเพลิงกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว

3. ออกแบบและสร้างชุดตรวจจับเพลิงกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว แบ่งส่วนประกอบออกเป็น ส่วนระบบสมองกลฝังตัว ส่วนระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวของแมลง เพลิงกระโดดสีน้ำตาล ส่วนกล้องบันทึกภาพเพลิงกระโดดสีน้ำตาลภายในแปลงนา ส่วนแสดงผลหน้าจอ LCD และส่วนพลังงานไฟฟ้าสำหรับอุปกรณ์และวงจรในชุดตรวจจับเพลิงกระโดดสีน้ำตาล

การพัฒนาชุดตรวจจับเพลิงกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัวตามผังการทำงานในภาพที่ 1 ประกอบไปด้วย

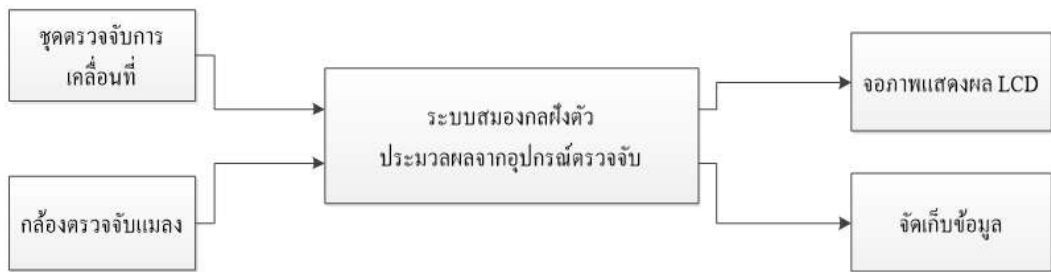


ภาพที่ 1 ผังการทำงานชุดตรวจจับเพื่อยกระดับน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว

จากภาพที่ 1 การทำงานชุดตรวจจับเพื่อยกระดับน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว เริ่มจากใช้อุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนที่ (Ultrasonic HC-SR04) เมื่อมีการเคลื่อนที่ในระยะที่กำหนดในโปรแกรม กล้องจะทำการบันทึกภาพแมลงที่ได้ และทำการประมวลผลภาพที่ได้โดยเปรียบเทียบกับภาพเดิมของเพื่อยกระดับน้ำตาลต้นแบบที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นจะทำการนับจำนวนเพื่อยกระดับน้ำตาล และแสดงผลไปยังจอภาพ LCD พร้อมทั้งส่งข้อมูลผ่านตัวส่งสัญญาณ Wifi ที่รับสัญญาณจากระบบอินเทอร์เน็ตจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ต่อไปยังส่วนการเก็บข้อมูลในหน่วยความจำ เมื่อเสร็จสิ้นระบบจะตรวจจับต่อไป แต่หากไม่ใช่เพื่อยกระดับน้ำตาลชุดตรวจจับจะทำการตรวจจับแมลงใหม่อีกครั้ง

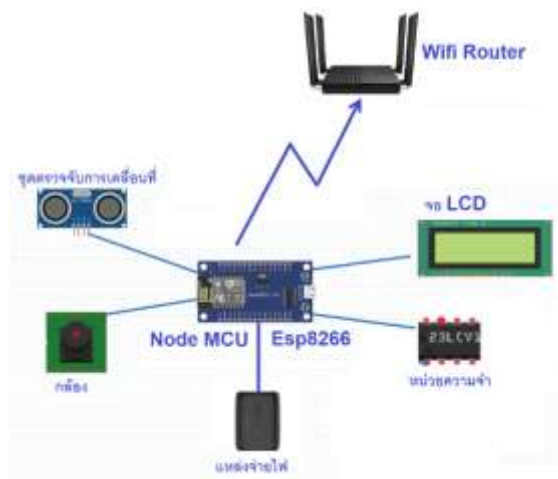
ส่วนการการออกแบบ การสร้างและการประเมินประสิทธิภาพชุดตรวจจับเพื่อยกระดับน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว แบ่งได้ดังนี้

3.1 ออกแบบชุดตรวจจับเพื่อยกระดับน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว จากที่ได้ศึกษาข้อมูลพื้นฐานการระบาดของเพื่อยกระดับน้ำตาลในเขตอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์ ตามโคะแกรม ประกอบด้วยชุดตรวจจับการเคลื่อนที่ (Ultrasonic HC-SR04) กล้องตรวจจับแมลง (Camera) ระบบสมองกลฝังตัว (Node MCU ESP8266) สำหรับการประมวลผลจากอุปกรณ์ตรวจจับ จอภาพแสดงผล LCD (LED I2C ขนาด 16 ตัวอักษร x 2 บรรทัด) และหน่วยความจำสำหรับจัดเก็บข้อมูล ดังภาพที่ 2



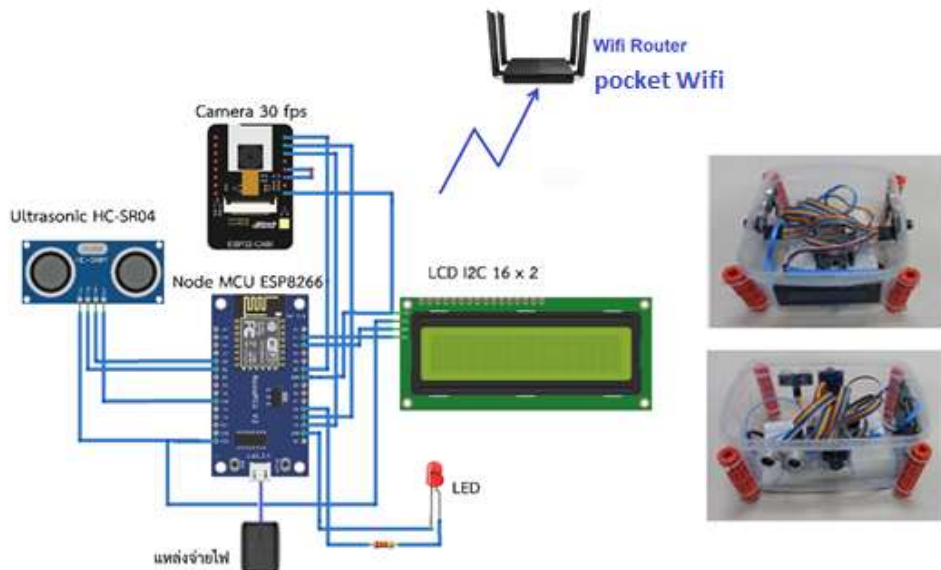
ภาพที่ 2 การออกแบบชุดตรวจจับสนามเคลื่อนที่และระดับน้ำด้วยระบบสมองกลฝังตัว

3.2 จากภาพที่ 2 ได้ออกแบบชุดตรวจจับสนามเคลื่อนที่และระดับน้ำประกอบด้วย ระบบสมองกลฝังตัวประมวลผลจากอุปกรณ์ตรวจจับสนาม ชุดตัวจับสนามเคลื่อนที่ กล่องตรวจจับสนามแมลง จอแสดงผลและส่วนการจัดเก็บข้อมูล จากข้อมูลที่ได้ลงพื้นที่เพื่อสอบถามข้อมูลพื้นฐานจากเกษตรกรและได้นำข้อมูลการออกแบบชุดตรวจจับสนามเคลื่อนที่และระดับน้ำมา แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบชุดตรวจจับสนามเคลื่อนที่และระดับน้ำด้วยระบบสมองกลฝังตัว

จากภาพที่ 3 หลังจากได้นำส่วนประกอบของชุดตรวจจับสนามเคลื่อนที่และระดับน้ำด้วยระบบสมองกลฝังตัว ประกอบไปด้วย 1. ชุดตรวจจับสนามเคลื่อนที่ด้วยชุด Ultrasonic 2. กล่องตรวจจับสนามแมลง 3. ระบบสมองกลฝังตัว Node MCU ESP 8266 สำหรับการประมวลผลจากอุปกรณ์ตรวจจับสนาม 4. จอภาพแสดงผล LCD 5. หน่วยความจำสำหรับจัดเก็บข้อมูล 6. แหล่งจ่ายไฟ Power Bank สำหรับการป้อนพลังงานให้กับอุปกรณ์ทุกส่วนและ 7. ตัวรับส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ตจากชุดอุปกรณ์ Pocket Wi-Fi โดยใช้วงจรการเชื่อมต่อ Node MCU (ESP8266) กับอุปกรณ์ Ultrasonic, Camera, จอภาพแสดงผล LCD แสดงดังภาพที่ 3 และกำหนดคุณสมบัติอุปกรณ์ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 4 วงจรชุดตรวจจับเพลิงกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว

ตารางที่ 1 คุณสมบัติอุปกรณ์ชุดตรวจจับเพลิงกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว

รายการอุปกรณ์	คุณสมบัติ
Node MCU ESP8266	ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 32-bit Tensilica L106 ความเร็ว 80-160 MHz ₂ , รองรับ Wi-Fi มาตรฐาน 802.11 b/g/n ความถี่ 2.4 GHz ₂ และสามารถทำงานได้ทั้งในโหมด Station, SoftAP หรือ SoftAP+Station ,หน่วยความจำ SRAM 64 KB และ Flash Memory 4 MB, พอร์ต GPIO (General Purpose Input/Output) ที่สามารถใช้ควบคุมอุปกรณ์ภายนอกได้หลายแบบ เช่น PWM SPI I2C UART ADC
Camera Module (OV7670)	เทคโนโลยีเซ็นเซอร์ CMOS, ความละเอียดสูงสุด VGA (640 x 480 pixels), ขนาดเซ็นเซอร์ 1/6 นิ้ว อัตราเฟรมสูงสุด 30 เฟรมต่อวินาที (FPS) ที่ความละเอียด VGA, การเชื่อมต่อ SCCB (Serial Camera Control Bus) อินเทอร์เฟซ I2C
Ultrasonic HC-SR04	ช่วงการวัดระยะทาง 2-400 cm. (บางโมดูลอาจจะไปได้ถึง 450 cm.), ความแม่นยำ ±3 cm., มุมการวัด < 15°, อินเทอร์เฟซพินดิจิทัล (Trigger และ Echo)

ตารางที่ 1 (ต่อ)

รายการอุปกรณ์	คุณสมบัติ
LCD I2C 16x2	จอ LCD (Liquid Crystal Display) ขนาด 16x2 แสดงผล 16 ตัวอักษร ใน 2 บรรทัด การเชื่อมต่อแบบ I2C (Inter-Integrated Circuit) ทำให้ใช้สายเชื่อมต่อ น้อยลง ใช้ 4 สาย VCC, GND, SDA และ SCL ชิปควบคุม I2C ใช้ชิป PCF8574 ซึ่งทำหน้าที่เป็น I/O Expander เพื่อแปลงสัญญาณ I2C ให้เป็นสัญญาณที่ใช้ควบคุม LCD ได้
Pocket Wi-Fi	พ็อคเก็ตไวไฟ/ โมบายไวไฟพกพา สำหรับเอาไปใช้งานที่ทุ่งนา (เหมาะกับใส่ ซิมมือถือ 4G/5G แล้วแชร์ Wi-Fi ให้โทรศัพท์/โน้ตบุ๊ก)

เมื่อสร้างชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัวเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้กำหนดการ ทดสอบประสิทธิภาพชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยการทดสอบการตรวจจับภาพ (Shah et al., 2019) ด้วยกล้องและทำการประเมินความน่าจะเป็นของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวน 4 ระดับได้แก่การวัดจำนวน เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวน 1 ตัว 2 ตัว 3 ตัว และ 4 ตัว และกำหนดการทดสอบทั้งหมด 10 ครั้ง และบันทึก ผลการทดสอบประสิทธิภาพดังตารางที่ 3



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 การวัดประสิทธิภาพชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว

(ก) ภาพเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 2 ตัว (ข) ภาพหลังการใช้ชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจับภาพได้

จากภาพเมื่อกล้องจับภาพได้จะใช้ขั้นตอนวิธี Optical Flow (Lucas-Kanade Method) ตรวจสอบ ภาพแมลงนำมาเปรียบเทียบกับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลซึ่งเป็นข้อมูลที่มีอยู่และทำการนับจำนวนเพลี้ยกระโดดสี น้ำตาลอีกครั้งโดยกำหนดขั้นตอนการฝึกจำลอง (Model Training) ตามขั้นตอนคือ 1.ป้อน Training data เข้า โมเดล 2.ปรับ Hyperparameter และใช้เทคนิค Grid search / Random search สำหรับการตรวจเพื่อ กำหนดทดสอบแบบจำลองการจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

4. การทดสอบชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองฝังตัว ในพื้นที่ปลูกข้าวในเขตอำเภอเมือง ช่วงฤดูการปลูกข้าว เดือน มิถุนายน-พฤศจิกายน (ตามเขตแต่ละพื้นที่ 6 ตำบล) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การติดตั้งชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองฝังตัวในแปลงนา ทั้ง 6 ตำบล

การทดสอบแบบจำลอง (Model Evaluation) แบบ Classification ได้กำหนดการทดสอบดังนี้ ตาราง Confusion Matrix , สัดส่วนความถูกต้องของโมเดล Accuracy , ความเที่ยงตรงของการทำนายคลาส Positive (Precision), ความสามารถในการจับ Positive จริง (Recall) และค่ากลางแสดงความสมดุล F1-score ด้วยสูตรการคำนวณดังนี้

1. Confusion Matrix

	Predicted Positive (โมเดลทำนายเป็นเพลี้ย)	Predicted Negative (โมเดลทำนายไม่เป็นเพลี้ย)
Actual Positive (เป็นเพลี้ย)	TP	FN
Actual Negative (ไม่เป็นเพลี้ย)	FP	TN

ความหมายแต่ละค่า

TP (True Positive) = ทำนายว่าเป็นเพลี้ย และจริง ๆ เป็นเพลี้ย

TN (True Negative) = ทำนายว่าไม่เป็นเพลี้ย และจริง ๆ ไม่เป็น

FP (False Positive) = ทำนายว่าเป็นเพลี้ย แต่จริง ๆ ไม่เป็น

FN (False Negative) = ทำนายว่าไม่เป็นเพลี้ย แต่จริง ๆ เป็น

2. Accuracy สัดส่วนความถูกต้องของโมเดล

$$\text{สูตร Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$$

3. Precision ค่าความเที่ยงตรง

$$\text{สูตร Precision} = \frac{TP}{TP+FP}$$

4. Recall ความไว

$$\text{สูตร Recall} = \frac{TP}{TP+FN}$$

5. F1-score

$$\text{สูตร} \quad F1 = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

ผลการวิจัย

จากการฝึกจำลอง (Model Training) ตามขั้นตอนคือ 1. ป้อน Training data เข้าโมเดล 2. ปรับ Hyperparameter และใช้เทคนิค Grid search / Random search สำหรับการตรวจเพื่อกำหนดทดสอบแบบจำลองการจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยกำหนดภาพสำหรับการทดลองจำนวนทั้งหมด 300 ภาพ โดยเป็นภาพเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวน 100 ภาพและภาพแมลงอื่นๆ 200 ภาพ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Confusion Matrix

	Predicted Positive	Predicted Negative
	(โมเดลทำนายเป็นเพลี้ย)	(โมเดลทำนายไม่เป็นเพลี้ย)
Actual Positive (เป็นเพลี้ย)	TP = 80	FN = 20
Actual Negative (ไม่เป็นเพลี้ย)	FP = 30	TN = 170

ตารางที่ 3 ผลการฝึกจำลอง (Model Training)

Image	Accuracy	Precision	Recall	F1-score
300	0.83	0.73	0.80	0.76

จากตารางที่ 3 ผลการฝึกจำลอง (Model) สัดส่วนความถูกต้องของโมเดล Accuracy ร้อยละ 83 (0.83), ความเที่ยงตรงของการทำนายคลาส Positive (Precision) ร้อยละ 73 (0.73), ความสามารถในการจับ Positive จริง (Recall) ร้อยละ 80 (0.80) และค่ากลางแสดงความสมดุล F1-score ร้อยละ 76 (0.76)

ผลการสำรวจข้อมูลจากเกษตรกรในเขตพื้นที่ 17 ตำบล ในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์และข้อมูลปี 2563-2566 รายงานปี 2566/67 จากสำนักงานเกษตรอำเภอเมืองเพชรบูรณ์ ข้อมูลศัตรูข้าว (แมลงศัตรูข้าว โรคข้าว วัชพืชนาข้าวและสัตว์ศัตรูข้าว) ปริมาณระดับการระบาดของอยู่ในระดับปานกลางแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการสำรวจข้อมูลศัตรูข้าว (แมลงศัตรูข้าว)

ประเภท	ชนิด	ระดับการระบาด		
		น้อย	ปานกลาง	มาก
แมลงศัตรูข้าว	เพลี้ยจักจั่นปีกลายหยัก	/		
	หนอนห่อใบข้าว	/		
	หนอนกอ	/		
	เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล		/	

ที่มา (สำนักงานเกษตรอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์, 2567)

ผลการลงพื้นที่จริงใน 6 ตำบลที่ได้เลือกเป็นกลุ่มตัวอย่าง การวัดประสิทธิภาพชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองซ้ำจำนวน 10 รอบและได้บันทึกผลการทดลองชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว แสดงในตารางที่ 5 โดยกำหนดกลุ่มตัวอย่างสำหรับการทดสอบประสิทธิภาพจำนวน 1-4 ตัวต่อรอบข้อจำกัดเนื่องจากไม่ได้ออกแบบให้กล่องเคลื่อนที่ได้ ติดตั้งแบบคงที่ ทำให้ภาพที่กล้องจับภาพ จะไม่สามารถแยกความแตกต่างเมื่อมีการทับซ้อนของภาพเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

ตารางที่ 5 ผลการวัดประสิทธิภาพชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว

รอบที่	การวัดประสิทธิภาพชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (จำนวนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลต่อรอบ)				ร้อยละ (%)	นับด้วยตามนุษย์ (จำนวน)
	1 ตัว	2 ตัว	3 ตัว	4 ตัว		
1	/	/	/		75	4 ตัว
2	/	/		/	75	4 ตัว
3	/	/			50	4 ตัว
4	/	/	/		75	4 ตัว
5	/	/		/	75	4 ตัว
6	/	/	/		75	4 ตัว
7	/	/			50	4 ตัว
8	/	/		/	75	4 ตัว
9	/	/	/		75	4 ตัว
10	/	/		/	75	4 ตัว
เฉลี่ย					70.00	

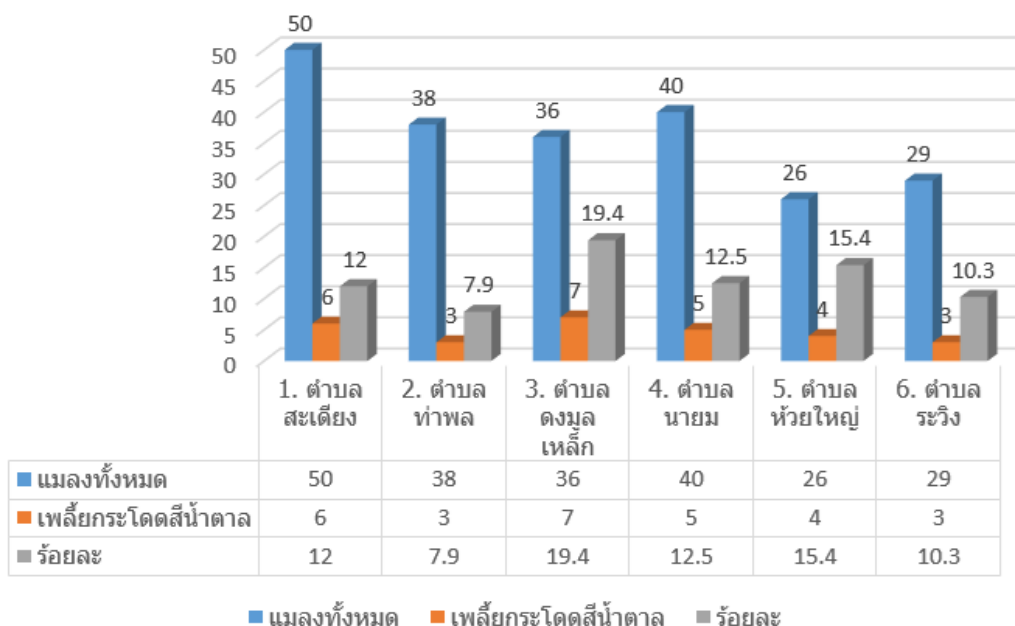
จากตารางที่ 5 ผลการวัดประสิทธิภาพชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัวแบ่งการทดลองเป็น 10 ครั้งแต่ละรอบจำนวนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลมีทั้งหมด 4 ตัว โดยแบ่งเป็นการทดสอบตามลำดับและมีการวางตำแหน่งเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่แตกต่างกันแต่ละรอบ ผลสรุปชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว สามารถตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวน 1-2 ตัว แยกแยะได้ทั้งหมด 100% แต่หากตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในปริมาณจำนวน 2 ตัวขึ้นไป จะไม่สามารถตรวจสอบได้ทั้งหมด ค่าเฉลี่ยประมาณ 70% หากมีการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในปริมาณที่มาก ชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจะตรวจได้ในปริมาณจำนวนเล็กน้อยเท่านั้น โดยการติดตั้งชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ผู้วิจัยใช้วิธีการติดตั้งบริเวณแปลงนาของเกษตรกรในช่วงระยะเวลาการปลูกข้าวของเกษตรกร ไม่ได้จำกัดพื้นที่ที่จะตรวจตามสภาพจริงเมื่อมีแมลงต่างๆ และเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลผ่านชุดตรวจจับได้ ผลการตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว อำเภอเมืองจังหวัดเพชรบูรณ์ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจากพื้นที่ 6 ตำบล

ตำบลที่ติดตั้งชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล	จำนวนแมลงทั้งหมด (ตัว)	เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (ตัว)	ร้อยละ (%)	ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) เทียบแมลงทั้งหมด	S.D.
1. ตำบลสะเดียง	50	6	12.0	5.0	2.36
2. ตำบลท่าพล	38	3	7.9	3.8	1.48
3. ตำบลดงมูลเหล็ก	36	7	19.4	3.6	1.96
4. ตำบลนายนม	40	5	12.5	4.0	2.16
5. ตำบลห้วยใหญ่	26	4	15.4	2.6	0.97
6. ตำบลระวิง	29	3	10.3	2.9	1.37
รวม	219	28			
เฉลี่ย	36.50	4.67	12.93		

จากตารางที่ 6 ผลการติดตั้งตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่แปลงนาใน 6 ตำบลที่เลือกเป็นกลุ่มตัวอย่าง ตั้งแต่ช่วงกลางฤดูฝนเมื่อต้นข้าวเริ่มเจริญเติบโตซึ่งเป็นช่วงที่เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเริ่มระบาด (จากข้อมูลที่ได้รับจากเกษตรกร) โดยกำหนดการติดตั้งและทดสอบชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลช่วงเดือนมิถุนายน-พฤศจิกายน พ.ศ. 2567 ให้ครบทั้ง 6 ตำบล จากตารางที่ 6 ใช้เครื่องมือตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล โดยตรวจจับแมลงได้ทั้งหมดได้ 219 ตัวเฉลี่ย 36.5 ตัวต่อตำบลและพบเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวน 28 ตัว เฉลี่ย 4.67 ตัวต่อตำบล โดยเทียบผลการพบเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลเทียบกับแมลงทั้งหมด แยกได้เป็นตำบลสะเดียง จำนวน 6 ตัว คิดเป็นร้อยละ 12.0 ตำบลท่าพล จำนวน 3 ตัว คิดเป็นร้อยละ 7.9 ตำบลดงมูลเหล็ก จำนวน 7 ตัว คิดเป็นร้อยละ 19.4 ตำบลนายนม จำนวน 5 ตัว คิดเป็นร้อยละ 12.5 ตำบลห้วยใหญ่

จำนวน 4 ตัว คิดเป็นร้อยละ 15.4 และตำบละวัง จำนวน 3 ตัว คิดเป็นร้อยละ 10.3 โดยจำนวนครั้งที่พบเพลี้ยกระโดดแต่ละตำบลมีความแตกต่างกันมากและมีจำนวนเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลจำนวนค่อนข้างน้อย



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบผลการตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล 6 ตำบล

อภิปรายผล

จากการออกแบบและพัฒนาชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว การออกแบบจะนำข้อมูลที่ได้จากเกษตรกรมาร่วมในการเลือกส่วนประกอบวงจรชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว พัฒนาจากระบบเดิมที่ใช้การดักแมลงด้วยหลอดไฟฟ้า (วันทนา ศรีรัตนศักดิ์ และคณะ, 2551) แต่ที่ได้สอบถามเกษตรกรยังไม่พบการระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในปริมาณที่มากจนควบคุมไม่ได้ (สำนักงานเกษตรอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์, 2567) ส่วนวัดประสิทธิภาพชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว การทดลองของผู้วิจัยกำหนดจุดการติดตั้งและเลือกตำแหน่งพื้นที่การติดตั้งชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว ลงในแปลงนาของเกษตรกรในบางพื้นที่เกษตรกรไม่ได้ให้ความร่วมมือและปริมาณเพลี้ยกระโดดไม่ได้ระบาดมาก หากมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวที่สามารถติดต่อประสานเพื่อทดลองในเวลาที่ยาวนานขึ้นหรือมีแปลงนาทดลองการตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลที่ใช้การตรวจจากภาพที่มีความละเอียดสูง (Ibrahim et al., 2023) และมีปริมาณภาพที่มากจะทำให้การตรวจจับเพลี้ยกระโดดมีความถูกต้องแม่นยำขึ้นและการวัดประสิทธิภาพชุดตรวจจับเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยระบบสมองกลฝังตัว จะใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น การตรวจสอบรูปร่างของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลด้วยการใช้ภาพจากกล้องผ่านขั้นตอนวิธี

ตรวจสอบภาพ หากจำนวนเพิกษะโดดสีน้ำตาล 1-2 ตัวตรวจสอบได้ ส่วนเพิกษะโดดสีน้ำตาลมากกว่า 2 ตัวขึ้นไปเกิดจากการกำหนดขั้นตอนวิธียังไม่ครอบคลุมและแยกความแตกต่างภาพได้เต็มประสิทธิภาพ (He et al., 2020) อีกสาเหตุที่พบคือภาพถ่ายที่ไม่เสถียร ภาพทับซ้อน แสงสว่างที่ได้จากภาพ ที่จะทำให้ขั้นตอนวิธีสำหรับการตัดสินใจจำนวนเพิกษะโดดสีน้ำตาล (Shah et al., 2019) และสามารถนำผลที่ได้จากการทดสอบมาพยากรณ์ปริมาณเพิกษะโดดสีน้ำตาลในเขตอำเภอเมืองจังหวัดเพชรบูรณ์ได้ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่างๆ จากคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ผู้ทรงคุณวุฒิและความร่วมมือช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณอาจารย์สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และเจ้าหน้าที่ประจำคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือและขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- วันทนา ศรีรัตนศักดิ์ ชัยรัตน์ จันทร์หนู และชวนชม ตีร์ศมี. (2551). การคาดการณ์การระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลในจังหวัดชัยนาทโดยใช้กับดักแสงไฟ. *วารสารวิชาการข้าว*, 2(2), 52-60.
<https://li03.tci-thaijo.org/index.php/TRRJ/article/view/55/72>
- สำนักงานเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์. (2563). ข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรจังหวัดเพชรบูรณ์. สืบค้นเมื่อ 20 มีนาคม 2565, จาก <https://phetchabun.doae.go.th/province/?p=195>
- สำนักงานเกษตรอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์. (2567). ข้อมูลปริมาณผลผลิตข้าวและศัตรูข้าว ปีการผลิต 2566/2567. สำนักงานเกษตรอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์.
- สำนักงานจังหวัดเพชรบูรณ์. (2565). ประวัติจังหวัดเพชรบูรณ์. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2565, จาก https://www.phetchabun.go.th/main/content_history.php#contact.
- สำนักงานวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว. (2564). องค์ความรู้เรื่องข้าว ศัตรูข้าวและการป้องกันกำจัด: เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (*brown planthopper, BPH*). สืบค้นเมื่อ 4 กรกฎาคม 2565, จาก <http://webold.ricethailand.go.th/rkb/disease%20and%20insect/index.php-file=content.php&id=46.htm>
- Gillis, A. S., and Lutkevich, B. (2024). What is an embedded system? *TechTarget*. Retrieved June 17, 2025, from <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/embedded-system>
- Ibrahim, M. F., Khairunniza-Bejo, S., Hanafi, M., Jahari, M., Saad, F. S. A., and Bookeri, M. A. M. (2023). Deep CNN-Based Planthopper Classification Using a High-Density Image Dataset. *Agriculture*, 13(6), 1155. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061155>
- He, Y., Zhou, Z., Tian, L., Liu, Y., and Luo, X. (2020). Brown rice Planthopper detection based on deep learning. *Precision Agriculture*, 21(6), 1385-1402. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09726-2>.
- Shah, N. A. N., Osman, M. K., Othman, N. A., Ahmad, F., and Ahmad, A. R. (2019). Identification and Counting of Brown Planthopper in Paddy Field using Image Processing Techniques. *Procedia Computer Science*, 163, 580-590. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.12.140>.