

การพัฒนาระบบบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตร: กรณีศึกษาร้านมานอช โดรนเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร

Development of Agricultural Drone Service Management System: A Case Study of Manoch Drone Agriculture in Kamphaeng Phet Province.

ภูมินทร์ ตันอุตม์ ณัฐพล นกน้อย และสุรินทร์ เพชรไทย^{1*}

Bhoomin Tanut, Nuttapon Noknoi and Surin Petchthai^{1*}

¹สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร จังหวัดกำแพงเพชร 65000

¹Department of Computer Science, Faculty of Science and Technology, Kamphaeng Phet Rajabhat University,
Kamphaeng Phet 65000, Thailand

*Corresponding author E-mail: surin_p@kpru.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตร กรณีศึกษาร้านมานอช โดรนเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร และ 2) ประเมินประสิทธิภาพของระบบผ่านการทดสอบซอฟต์แวร์ การพัฒนาระบบดำเนินการตามวงจร SDLC โดยใช้ภาษา PHP ร่วมกับ HTML5, JavaScript และระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL โดยเชื่อมต่อกับ Google Maps API สำหรับระบบภูมิสารสนเทศ และ Line Notify API สำหรับการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ เครื่องมือที่ใช้ทดสอบระบบ ได้แก่ Apache JMeter สำหรับทดสอบประสิทธิภาพ และ OWASP ZAP สำหรับทดสอบความปลอดภัย การวิจัยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา (ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าร้อยละ) และสถิติเชิงอนุมาน (Paired t-test) ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05 ระบบประกอบด้วยฟังก์ชันหลัก 5 ส่วน ได้แก่ การจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน การจองคิวออนไลน์ การจัดการตารางให้บริการ การชำระเงิน และระบบแผนที่แสดงพิกัดพื้นที่ให้บริการ การประเมินประสิทธิภาพดำเนินการตามมาตรฐานการทดสอบซอฟต์แวร์ ครอบคลุมการทดสอบด้านฟังก์ชัน ประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และการใช้งาน โดยผู้เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ 3 คน และกลุ่มตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยเจ้าของร้าน 2 คน และผู้ให้บริการ 20 คน ผลการประเมินพบว่าระบบมีประสิทธิภาพการทำงานร้อยละ 98.5 สามารถลดเวลาการจองคิวจาก 17.50 นาที เหลือ 4.00 นาที (ลดลงร้อยละ 77.10) ขจัดการจองซ้ำซ้อนได้อย่างสมบูรณ์ (ลดลงร้อยละ 100) ลดความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลจากร้อยละ 12.00 เหลือเพียงร้อยละ 0.50 (ลดลงร้อยละ 95.80) และเพิ่มความพึงพอใจของผู้ใช้บริการจากค่าเฉลี่ย 3.44 เป็น 4.78 (เพิ่มขึ้นร้อยละ 38.90) ผลการเปรียบเทียบทุกรายการมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < .001$ ระบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับธุรกิจให้บริการโดรนทางการเกษตรอื่น เพื่อพัฒนาการให้บริการให้มีประสิทธิภาพและมาตรฐานสูงขึ้น

คำสำคัญ : โดรนเกษตร, ระบบการจองออนไลน์, การทดสอบซอฟต์แวร์

Abstract

This research aimed to 1) develop an agricultural drone service management system for Manoch Agricultural Drone in Kamphaeng Phet Province and 2) evaluate system efficiency through software testing. Research tools included development tools PHP, HTML5, JavaScript, MySQL database management system, Google Maps API, and Line Notify API; and testing tools Apache

JMeter for performance testing and OWASP ZAP for security testing. Data were analyzed using descriptive statistics (mean, standard deviation, percentage) and inferential statistics (Paired t-test) at the .05 significance level. The research findings according to the objectives revealed that 1) The system developed using SDLC methodology consists of five main functions: user management, online booking, service scheduling, payment processing, and mapping of service locations; and 2) The evaluation results by three computer experts and a sample group of 2 business owners and 20 service users demonstrated 98.5% operational efficiency, reducing booking time from 17.50 to 4.00 minutes, completely eliminating duplicate bookings, decreasing data recording errors from 12.00% to 0.50%, and improving user satisfaction from an average of 3.44 to 4.78. All comparative results showed statistical significance at $p < .001$ level. This system can be implemented by other agricultural drone service providers to enhance service standards in the industry.

Keywords : Agricultural Drone, Online Booking System, Software Testing

บทนำ

ภาคเกษตรกรรมไทยกำลังเผชิญความท้าทายหลายประการ ทั้งการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศที่รุนแรงขึ้น การลดลงของแรงงานภาคเกษตร และความผันผวนของราคาผลผลิต (Pathak et al., 2020) สถานการณ์เหล่านี้ผลักดันให้เกษตรกรต้องปรับตัวโดยนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิต เทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) หรือโดรน ได้รับการยอมรับว่าเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีสำคัญที่กำลังได้รับความนิยมในภาคเกษตรกรรม การศึกษาของ Yallappa et al. (2023) พบว่า การใช้โดรนในการฉีดพ่นสารเคมีสามารถลดต้นทุนแรงงานได้ถึงร้อยละ 35-45 ลดการใช้สารเคมีร้อยละ 15-30 และเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพื้นที่เพาะปลูกได้ร้อยละ 20-30 เมื่อเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม สอดคล้องกับงานวิจัยของไชยรัช เมฆแก้ว (2025) ที่พบว่าความสะดวกรวดเร็วและประสิทธิภาพในการทำงานเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในการใช้อากาศยานไร้คนขับเพื่อการเกษตรในประเทศไทย อย่างไรก็ตาม การลงทุนในเทคโนโลยีโดรนยังคงเป็นอุปสรรคสำคัญสำหรับเกษตรกรรายย่อย เนื่องจากโดรนมีราคาเริ่มต้นที่ 150,000 - 500,000 บาท ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและขนาดของเครื่อง ทำให้ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนสำหรับเกษตรกรที่มีพื้นที่ขนาดเล็ก วรรณ ปิยะมาตา และสาหร่ายทอง วุฒิยา (2023) ได้วิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนโดยใช้เทคโนโลยีโดรนและพบว่าพื้นที่เพาะปลูกต้องมีขนาดเพียงพอจึงจะคุ้มค่าต่อการลงทุน ด้วยเหตุนี้ ธุรกิจการให้บริการโดรนทางการเกษตรจึงเติบโตอย่างรวดเร็วเพื่อตอบสนองความต้องการของเกษตรกรรายย่อย

จากการศึกษากรณีของร้านมานอช โดรนเกษตร ซึ่งเป็นผู้ให้บริการโดรนเกษตรรายใหญ่ในจังหวัดกำแพงเพชร พบว่ายังใช้วิธีการจัดการแบบดั้งเดิมผ่านการจดบันทึกลงกระดาษและการสื่อสารทางวาจา ก่อให้เกิดปัญหาสำคัญหลายประการ ได้แก่ การจองซ้ำซ้อนเนื่องจากไม่มีระบบจัดการแบบเรียลไทม์ ความผิดพลาดในการระบุพื้นที่ที่หมักนำไปสู่การให้บริการผิดพลาด ความล่าช้าในการให้บริการจากขั้นตอนการลงทะเบียน การชำระเงิน และการประสานงานที่ใช้เวลานาน และการขาดการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ไม่สามารถนำข้อมูลมาวางแผนธุรกิจและปรับปรุงการให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากปัญหาดังกล่าว การพัฒนาระบบบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตรในรูปแบบดิจิทัลจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยระบบที่พัฒนาขึ้นได้นำเทคโนโลยีระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการระบุพื้นที่

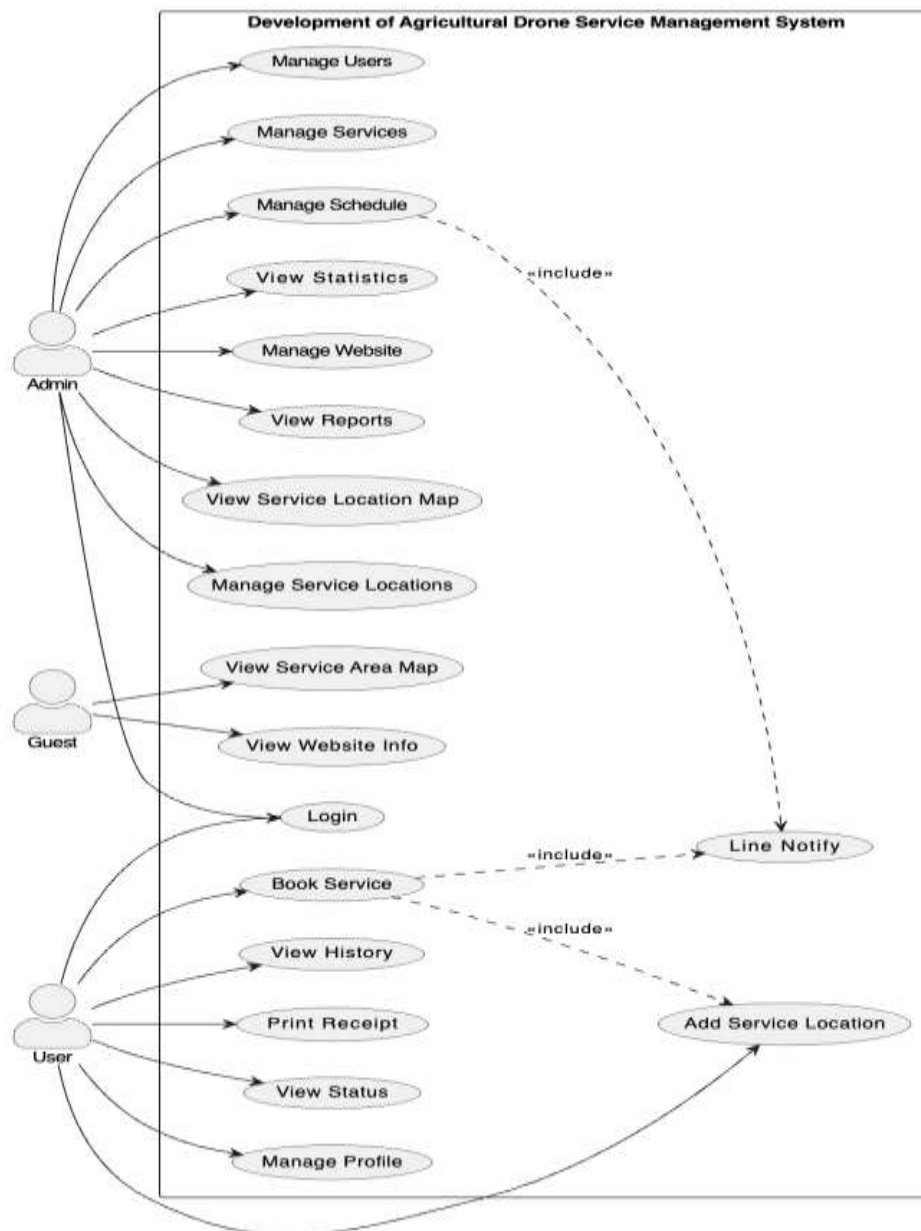
ให้บริการ พร้อมทั้งระบบการจองคิวออนไลน์ที่ช่วยป้องกันการจองซ้ำซ้อนและจัดการตารางงาน ผู้ใช้บริการสามารถเรียกดูข้อมูลปฏิทินการให้บริการ ราคา และทำการจองคิวได้ด้วยตนเอง นอกจากนี้ ระบบยังมีการแสดงประวัติพื้นที่ที่เคยให้บริการบนแผนที่ ช่วยให้ผู้ใช้บริการสามารถวางแผนเส้นทางและจัดการคิวงานได้อย่างเป็นระบบ มีระบบแจ้งเตือนผ่าน Line Notify เพื่อการติดตามสถานะงานแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยยกระดับคุณภาพการให้บริการและสร้างความพึงพอใจแก่ผู้ใช้บริการ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาระบบบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตร กรณีศึกษาร้านมาโนช โดรนเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร และ 2) ประเมินประสิทธิภาพของระบบผ่านการทดสอบซอฟต์แวร์ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสามารถและความพึงพอใจในการให้บริการโดรนในภาคการเกษตร

วิธีการดำเนินการวิจัย

การพัฒนาระบบบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตร กรณีศึกษาร้านมาโนช โดรนเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร ใช้วิธีการพัฒนาตามวงจรการพัฒนาแบบ (SDLC) แบบ Modified Waterfall Model ซึ่งเป็นรูปแบบการพัฒนาซอฟต์แวร์ที่เหมาะสมกับโครงการขนาดเล็กถึงกลาง โดยประยุกต์จากแบบจำลองน้ำตก (Waterfall) มีความยืดหยุ่นในการพัฒนาและการย้อนกลับเพื่อปรับปรุงในขั้นตอนก่อนหน้าได้ (Pressman and Maxim, 2023) โดยแบ่งการดำเนินงานเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

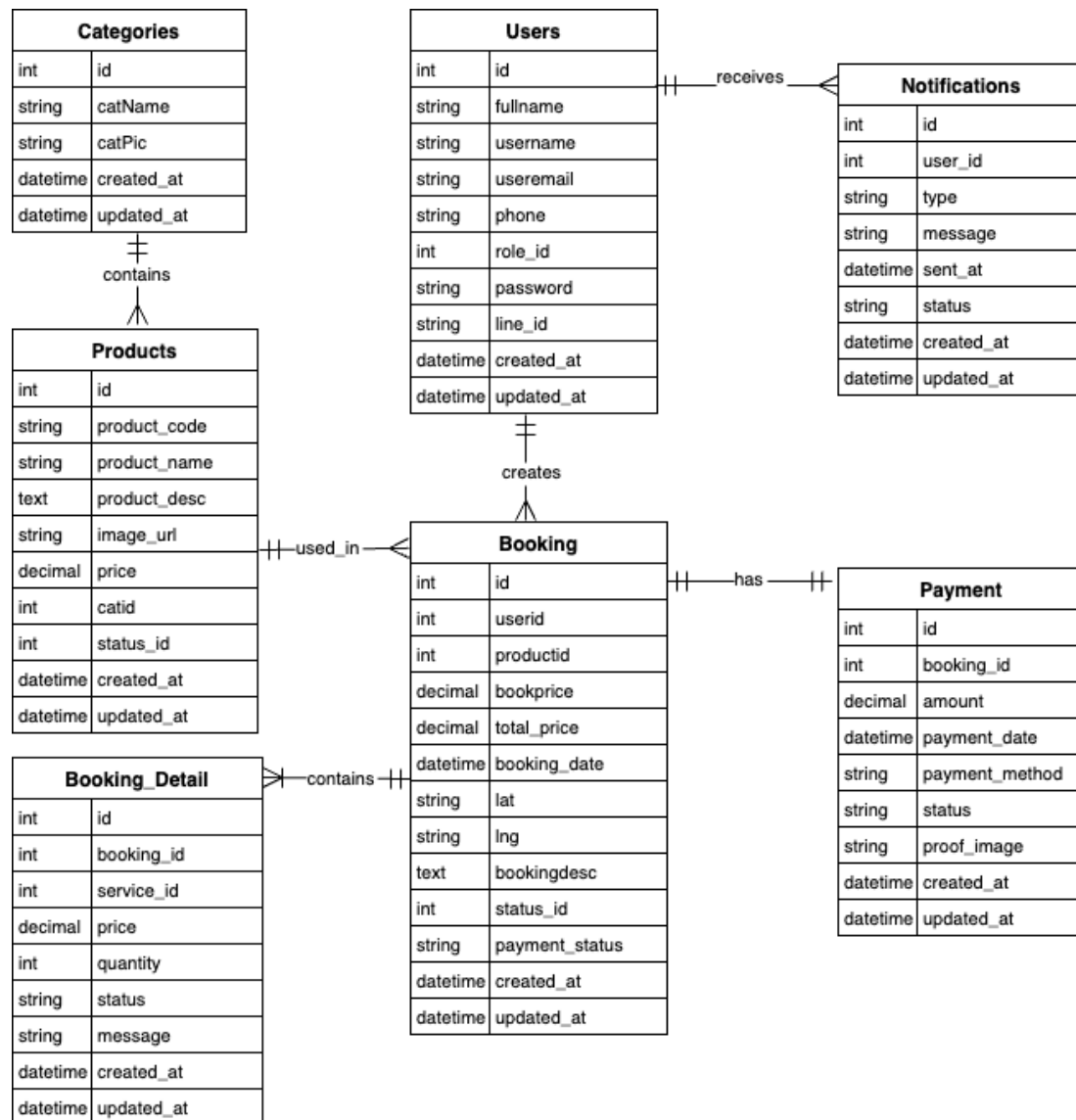
1. ขั้นตอนการศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการ

การดำเนินการในขั้นตอนนี้เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้งานโดยการสัมภาษณ์เจ้าของกิจการและผู้ใช้บริการเกี่ยวกับกระบวนการทำงานปัจจุบัน ปัญหาและอุปสรรคในการให้บริการ ความต้องการระบบใหม่ และศึกษาขั้นตอนการทำงานปัจจุบันของร้านมาโนช โดรนเกษตร นอกจากนี้ได้ดำเนินการออกแบบแผนภาพระบบเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ (Use Case Diagram) และแผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Entity Relationship Diagram) สำหรับฐานข้อมูล



ภาพที่ 1 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ (Use Case Diagram)

จากภาพที่ 1 แสดงการออกแบบแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้งานกับระบบ (Use Case Diagram) เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการจากผู้ใช้ โดยมีผู้เกี่ยวข้องกับระบบ (Actors) 3 ส่วน ได้แก่ 1) เจ้าของร้านที่มีสิทธิ์จัดการระบบทั้งหมด (Admin) 2) ผู้ใช้บริการที่ลงทะเบียนในระบบ (User) และ 3) ผู้เยี่ยมชมเว็บไซต์ทั่วไป (Guest)



ภาพที่ 2 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Entity Relationship Diagram : ERD)

จากภาพที่ 2 แสดงการออกแบบแผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล (Entity Relationship Diagram : ERD) ของระบบบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตร กรณีศึกษาร้านมาโนช โดรนเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร ประกอบด้วย 7 เอนทิตีหลัก ได้แก่ 1) Users จัดเก็บข้อมูลผู้ใช้งานระบบ ทั้งผู้ดูแลระบบและลูกค้า โดยมีการเก็บข้อมูลพื้นฐาน ข้อมูลการติดต่อ และระดับสิทธิ์การใช้งาน 2) Categories จัดหมวดหมู่บริการโดรนเกษตร เพื่อให้ง่ายต่อการค้นหาและจัดการ 3) Products เก็บรายละเอียดบริการต่างๆ เช่น การฉีดพ่นสารเคมี การหว่านเมล็ด โดยระบุรหัส ชื่อบริการ ราคา และรายละเอียดประกอบ 4) Booking บันทึกการจองใช้บริการ ประกอบด้วยข้อมูลลูกค้า บริการที่เลือก พิกัดพื้นที่ ราคา และสถานะการจอง 5) Booking_Detail รายละเอียดการจองเพิ่มเติม เช่น จำนวน ราคาต่อหน่วย และข้อความประกอบการจอง 6) Payment ข้อมูลการชำระเงิน วิธีการชำระ หลักฐานการโอน และสถานะการชำระ และ 7) Notifications ระบบแจ้งเตือนต่างๆ เช่น การยืนยันการจอง สถานะการชำระเงิน โดยความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตีถูกออกแบบให้รองรับการทำงานแบบอัตโนมัติ ตั้งแต่การจองจนถึงการชำระเงิน โดยคำนึงถึงความสะดวกของผู้ใช้งานและประสิทธิภาพในการบริหารจัดการ

2. ขั้นตอนการออกแบบและพัฒนาระบบ

การดำเนินการพัฒนาระบบบริหารจัดการบริการโทรทางการเกษตร กรณีศึกษาร้านมาโนช โทรเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร ในขั้นตอนนี้ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับความต้องการของผู้ใช้งาน โดยพัฒนาระบบด้วยโปรแกรมภาษา PHP, HTML5, CSS, JavaScript เชื่อมต่อฐานข้อมูลด้วย MySQL โดยมีการประยุกต์ใช้ Google Maps API สำหรับสร้างระบบแผนที่และการระบุพิกัด และพัฒนาระบบแจ้งเตือนผ่าน Line Notify API เพื่อการติดตามสถานะงานแบบเรียลไทม์ นอกจากนี้ยังใช้ Figma ในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้แบบ Low-fidelity และ High-fidelity Prototype

3. ขั้นตอนการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพ

การดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพระบบ (Testing) เกิดขึ้นหลังจากพัฒนาระบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพื่อตรวจสอบว่าระบบสามารถใช้งานได้ถูกต้องตามฟังก์ชันการใช้งาน และตรวจสอบให้มั่นใจว่าการทำงานของระบบตรงตามความต้องการ และตอบโจทย์ผู้ใช้งาน การทดสอบระบบดำเนินการตามกระบวนการทดสอบซอฟต์แวร์ โดยแบ่งการทดสอบเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่ การทดสอบเชิงฟังก์ชัน (Functional Testing) การทดสอบประสิทธิภาพ (Performance Testing) การทดสอบความปลอดภัยของระบบ (Security Test) และการทดสอบการใช้งาน (Usability Testing) ซึ่งดำเนินการโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านคอมพิวเตอร์ จำนวน 3 คน ซึ่งใช้วิธีการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง ประกอบด้วย 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาซอฟต์แวร์ จำนวน 2 คน และ 2) ผู้เชี่ยวชาญด้านการทดสอบซอฟต์แวร์ จำนวน 1 คน โดยเป็นอาจารย์สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร การออกแบบกรณีทดสอบ (Test Case Design) ออกแบบครอบคลุมทั้งกรณีปกติ และกรณีผิดพลาด โดยแต่ละฟังก์ชันได้รับการออกแบบกรณีทดสอบ ตามความซับซ้อนของฟังก์ชัน โดยอ้างอิงจากเอกสารข้อกำหนดความต้องการของระบบ (Requirements Specification) และกรณีการใช้งานจริง (Use Cases) ที่ได้รวบรวมในขั้นตอนการศึกษาและวิเคราะห์ความต้องการ ครอบคลุมทุกฟังก์ชันการทำงานของระบบ สำหรับการทดสอบระบบได้ดำเนินการตามขั้นตอนของการทดสอบระบบ (Software Testing) โดยใช้เทคนิคการทดสอบแบบกล่องดำ (Black Box Testing) และกล่องขาว (White Box Testing) ร่วมกับการทดสอบภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ โดยทดสอบแบบ Manual Testing และทดสอบแบบ Automated Testing โดยใช้เครื่องมือทดสอบอัตโนมัติเพื่อจำลองการใช้งานในสถานะต่างๆ

4. ขั้นตอนการปรับปรุงและติดตามผล

การประเมินประสิทธิภาพของระบบได้ศึกษาเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการใช้งาน โดยเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล 4 ด้าน คือ ด้านการบันทึกข้อมูล ด้านระยะเวลาในการจองคิว ด้านการจองซ้ำซ้อน และด้านการค้นหาประวัติการให้บริการ การวิจัยนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลจากผู้ใช้งานจริงจำนวน 22 ราย ประกอบด้วย เจ้าของร้านมาโนช โทรเกษตร 2 คน และผู้ใช้บริการมาโนช โทรเกษตร 20 คน โดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจงจากผู้ที่มีประสบการณ์ใช้บริการมากกว่า 2 ครั้งและเคยใช้งานทั้งระบบเดิมและระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่ ขนาดกลุ่มตัวอย่างนี้กำหนดตามแนวคิดของ Nielsen (2000) ที่แนะนำว่าในการทดสอบการใช้งานระบบ (Usability Testing) การใช้ผู้ทดสอบเพียง 5 คน สามารถค้นพบปัญหาการใช้งานได้ถึงร้อยละ 85 และหากเพิ่มผู้ทดสอบเป็น 15-20 คน จะสามารถพบปัญหาการใช้งานได้ถึงร้อยละ 95-98 ซึ่งเพียงพอต่อการประเมินความสามารถในการใช้งานระบบ และยังคงคำนึงถึงข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลจากผู้ให้บริการจริงที่มีจำนวนจำกัดในช่วงเวลาทำวิจัย การวิเคราะห์ข้อมูลประกอบด้วย 2 ส่วนคือ 1) การวิเคราะห์เชิงปริมาณ ใช้สถิติเชิงพรรณนา ซึ่งประกอบด้วยค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าร้อยละ และใช้สถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ Paired t-test เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยก่อนและหลังการใช้ระบบ ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ .05

และ 2) การวิเคราะห์เชิงคุณภาพจากการสอบถามความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบ โดยเกณฑ์การประเมิน 5 ระดับ (บุญชม ศรีสะอาด, 2553)

ค่าเฉลี่ย 4.51 - 5.00 แสดงถึง ความพึงพอใจระดับมากที่สุด

ค่าเฉลี่ย 3.51 - 4.50 แสดงถึง ความพึงพอใจระดับมาก

ค่าเฉลี่ย 2.51 - 3.50 แสดงถึง ความพึงพอใจระดับปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.51 - 2.50 แสดงถึง ความพึงพอใจระดับน้อย

ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.50 แสดงถึง ความพึงพอใจระดับน้อยที่สุด

การเก็บข้อมูลเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่ ดำเนินการดังนี้

1) ระยะเวลาในการจองคิว ระบบเดิมใช้วิธีการจับเวลาการจองคิวจากผู้ใช้งาน 20 คน แต่ละคนทำการจองคิว 3 ครั้ง รวม 60 ครั้ง ตั้งแต่เริ่มต้นติดต่อ (โทรศัพท์หรือเดินทางมาที่ร้าน) จนถึงได้รับการยืนยันการจอง บันทึกลงเวลาทุกขั้นตอนและคำนวณค่าเฉลี่ย ระบบใหม่เก็บข้อมูลโดยการจับเวลาการจองคิวผ่านระบบออนไลน์ของผู้ใช้บริการกลุ่มเดียวกัน 20 คน คนละ 3 ครั้ง รวม 60 ครั้ง ตั้งแต่เริ่มเข้าสู่ระบบจนถึงได้รับการยืนยันการจองและคำนวณค่าเฉลี่ย

2) เวลาในการค้นหาประวัติ ระบบเดิมเก็บข้อมูลโดยการจับเวลาการค้นหาประวัติการให้บริการจากแฟ้มเอกสารกระดาษโดยเจ้าของร้าน 2 คน คนละ 10 ครั้ง รวม 20 ครั้ง ตั้งแต่เริ่มค้นหาจนพบข้อมูลที่ต้องการและหาค่าเฉลี่ย ระบบใหม่เก็บข้อมูลโดยการจับเวลาการค้นหาประวัติผ่านระบบออนไลน์โดยเจ้าของร้านกลุ่มเดียวกัน 2 คน คนละ 10 ครั้ง รวม 20 ครั้ง และหาค่าเฉลี่ย

3) อัตราการจองซ้ำซ้อน ระบบเดิมเก็บข้อมูลโดยการตรวจสอบบันทึกการจองย้อนหลัง 3 เดือน สูตรการคำนวณ (จำนวนการจองซ้ำซ้อน / จำนวนการจองทั้งหมด) $\times 100$ ระบบใหม่ทดสอบการจองซ้ำซ้อนในระบบใหม่โดยจำลองการจองพร้อมกันจากผู้ใช้งาน 5 คน ในเวลาเดียวกัน จำนวน 20 สถานการณ์ รวม 100 ครั้ง

4) อัตราความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล ระบบเดิมสุ่มตรวจสอบบันทึกการจอง 100 รายการ โดยตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลสำคัญ 5 รายการ ได้แก่ ชื่อผู้จอง วันเวลาที่จอง ที่อยู่/พิกัด ประเภทบริการ และราคา สูตรการคำนวณ (จำนวนรายการที่มีข้อผิดพลาด / จำนวนรายการทั้งหมด) $\times 100$ ระบบใหม่ตรวจสอบข้อมูลการจองด้วยวิธีเดียวกัน

5) การคำนวณค่าร้อยละการพัฒนา (%) สูตรการคำนวณ คือ [(ค่าระบบใหม่ - ค่าระบบเดิม) / ค่าระบบเดิม] $\times 100$ โดยค่าที่เป็นบวกแสดงถึงการเพิ่มขึ้น และค่าที่เป็นลบแสดงถึงการลดลง

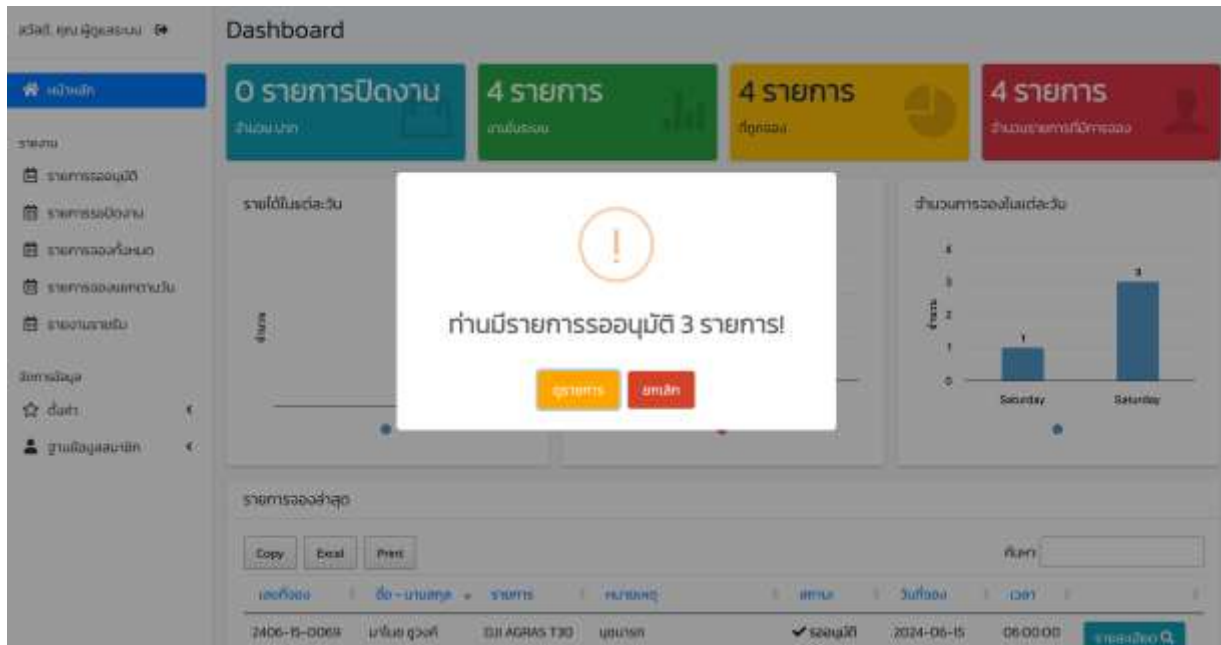
ผลการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการสรุปผลการวิจัยสอดคล้องตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

1. ผลการพัฒนาระบบบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตร กรณีศึกษาร้านมาโนช โดรนเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร ได้พัฒนาระบบตามขอบเขตที่กำหนดไว้ มีความสอดคล้องกับกระบวนการทำงานจริงของร้านมาโนช โดรนเกษตร โดยเน้นความสะดวกในการใช้งาน การจัดการข้อมูล และการประมวลผลที่รวดเร็ว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตร โดยแบ่งผู้ใช้งานออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของผู้ดูแลระบบ ส่วนของผู้ใช้งาน และส่วนของผู้ใช้งานทั่วไป

1.1 ส่วนของผู้ดูแลระบบ (Admin) สำหรับเจ้าของร้าน ประกอบด้วยฟังก์ชันการจัดการข้อมูลผู้ใช้งานและการกำหนดสิทธิ์การเข้าถึง การจัดการข้อมูลการให้บริการ ได้แก่ การกำหนดประเภทบริการ ราคา และรายละเอียดต่าง ๆ การจัดการปฏิทินการจองคิว การจัดการข้อมูลทั่วไปของเว็บไซต์ ประกอบด้วย ข้อมูล

ร้านค้า ข้อมูลปฏิทินการจอง และแผนที่ที่เคยให้บริการ การจัดการสถานะต่าง ๆ ได้แก่ สถานะการจอง สถานะการชำระเงิน และสถานะการดำเนินการ การดูสถิติการจองคิวและสถิติการใช้บริการ ตรวจสอบพื้นที่การให้บริการ การเรียกดูรายละเอียดการจอง การเรียกดูรายงานสรุปต่าง ๆ การรับการแจ้งเตือนผ่านระบบ Line Notify



ภาพที่ 3 การจัดการส่วนของผู้ดูแลระบบ

จากภาพที่ 3 แสดงการจัดการส่วนของผู้ดูแลระบบ สามารถดูรายการรออนุมัติจากผู้ขอใช้บริการ การดูสถิติการจองคิวและสถิติการใช้บริการ การเรียกดูรายละเอียดการจอง การเรียกดูรายงานสรุปต่างๆ กรณีที่มีการปิดงานระบบจะคำนวณจำนวนเงินที่ดำเนินการเสร็จเรียบร้อยแล้ว

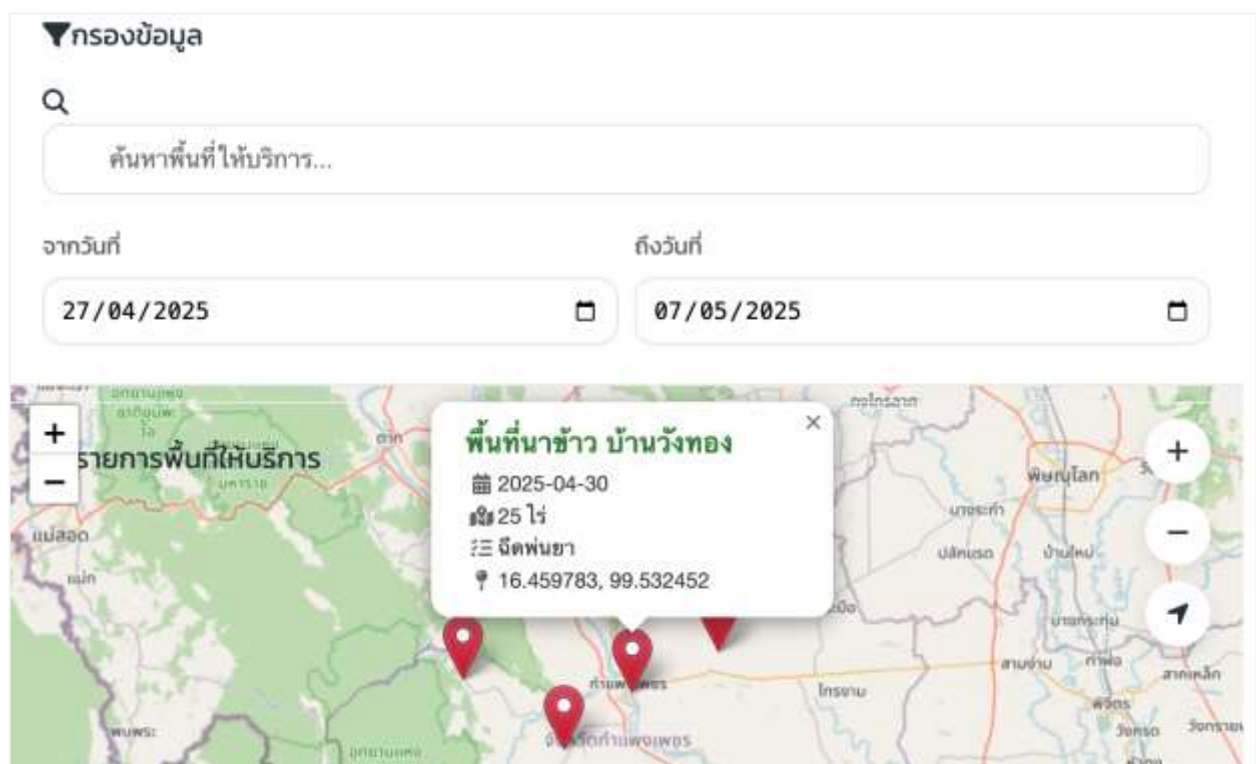
1.2 ส่วนของผู้ใช้งาน (User) สำหรับผู้ใช้บริการ ประกอบด้วยฟังก์ชันการเข้าสู่ระบบและจัดการข้อมูลส่วนตัว การจองและยกเลิกการจองบริการ การดูประวัติการจองและปฏิทินการจองคิว ตรวจสอบพื้นที่การให้บริการ การติดตามสถานะการจอง การชำระเงิน และการดำเนินการ การพิมพ์ใบเสร็จรับเงิน การรับการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify การเข้าถึงข้อมูลทั่วไปของเว็บไซต์

1.3 ส่วนของผู้ใช้งานทั่วไป (Guest) สามารถเข้าถึงข้อมูลทั่วไปของเว็บไซต์ เช่น ข้อมูลร้านค้า ปฏิทินการจอง และตรวจสอบพื้นที่การให้บริการ



ภาพที่ 4 รายละเอียดการจองคิวของผู้ใช้งาน

จากภาพที่ 4 แสดงรายละเอียดการจองของผู้ใช้งาน สามารถดูรายละเอียดการจอง ตรวจสอบใบเสร็จการชำระเงิน ชำระเงิน และสามารถยกเลิกการจองได้

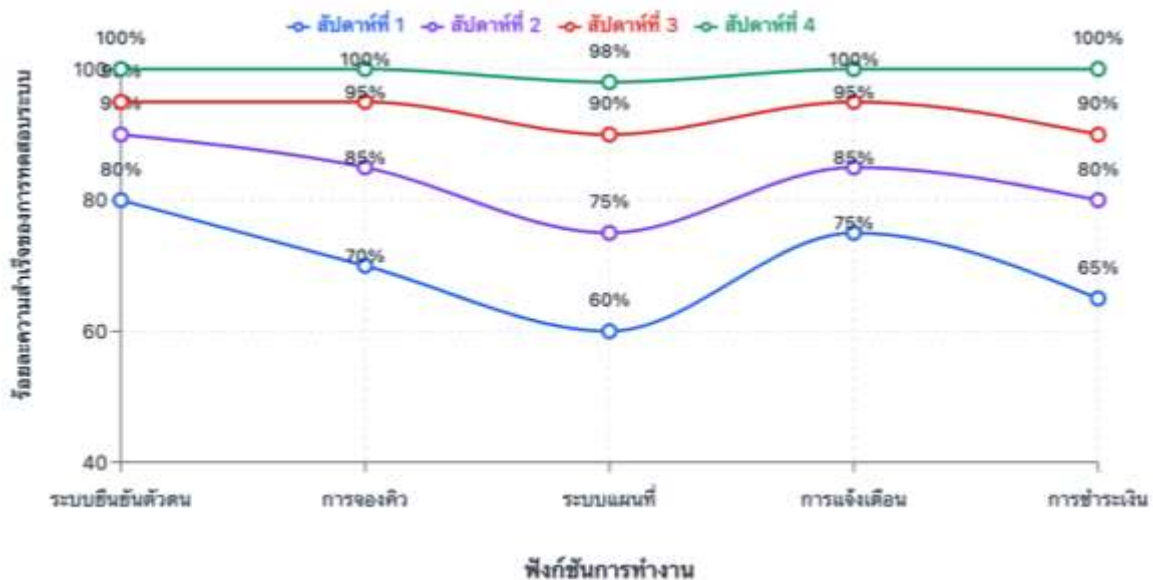


ภาพที่ 5 ตำแหน่งของพื้นที่ให้บริการ

จากภาพที่ 5 แสดงตำแหน่งของแผนที่ที่ให้บริการ ของผู้ใช้งานทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนของผู้ดูแลระบบ ส่วนของผู้ใช้งาน และส่วนของผู้ใช้งานทั่วไป สามารถดูตำแหน่งพื้นที่ที่เคยให้บริการได้ โดยสามารถค้นหาด้วยคำสำคัญ แสดงตัวกรองข้อมูล (Filter) ตามช่วงเวลา และเมื่อคลิกที่พิกัดบนแผนที่จะแสดงรายละเอียดชื่อของพื้นที่ให้บริการ วันที่ จำนวนพื้นที่ ลักษณะการให้บริการ และตำแหน่งพิกัด

2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตร กรณีศึกษาบ้านมาโนช โดรนเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร

2.1 การทดสอบฟังก์ชันการทำงาน (Functional Testing) ประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น โดยใช้กระบวนการทดสอบซอฟต์แวร์ ครอบคลุมการทดสอบฟังก์ชันการทำงานสำหรับผู้ใช้งานทุกระดับ ตั้งแต่ผู้ดูแลระบบ ผู้ให้บริการ และผู้ใช้งานทั่วไป



ภาพที่ 6 ร้อยละความสำเร็จของการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบรายสัปดาห์จำแนกตามฟังก์ชันการทำงาน

จากภาพที่ 6 แสดงร้อยละความสำเร็จของการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบรายสัปดาห์ จำแนกตามฟังก์ชันการทำงาน จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ดำเนินการเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่าระบบมีพัฒนาการของประสิทธิภาพการทำงานในเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญ โดยสามารถวิเคราะห์แยกตามองค์ประกอบของระบบได้ ดังนี้ 1) ในด้านระบบยืนยันตัวตน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเริ่มต้นที่ร้อยละ 80 ในสัปดาห์แรก และมีพัฒนาการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนบรรลุประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 100 ในสัปดาห์ที่ 4 สะท้อนให้เห็นถึงความสำเร็จในการพัฒนาและการแก้ไขข้อบกพร่องของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ 2) สำหรับระบบการจองคิว ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเริ่มต้นที่ร้อยละ 70 และมีการพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และ 3 จนสามารถบรรลุประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 100 ในสัปดาห์สุดท้าย แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการปรับปรุงและพัฒนาระบบอย่างเป็นระบบ 3) ในส่วนของระบบแผนที่ แม้จะมีประสิทธิภาพเริ่มต้นที่ร้อยละ 60 ซึ่งเป็นค่าต่ำสุด เมื่อเทียบกับระบบอื่น แต่มีพัฒนาการที่ดีขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสามารถบรรลุประสิทธิภาพที่ร้อยละ 98 ในสัปดาห์สุดท้าย ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ 4) ระบบการแจ้งเตือนแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเริ่มต้นที่ร้อยละ 75 และมีการพัฒนาอย่างเป็นระบบและต่อเนื่องจนสามารถบรรลุประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 100 ในสัปดาห์สุดท้าย สะท้อนให้เห็นถึงความสำเร็จในการพัฒนาระบบ และ 5) ด้านระบบการชำระเงิน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพเริ่มต้นที่ร้อยละ 65 และมีพัฒนาการที่โดดเด่นในช่วงสัปดาห์ที่ 2 และ 3 จนสามารถบรรลุประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 100 ในสัปดาห์สุดท้าย จากการวิเคราะห์ในภาพรวม สามารถสรุปได้ว่าการ

พัฒนาระบบประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยทุกระบบย่อยมีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าร้อยละ 98 ในสัปดาห์สุดท้าย และส่วนใหญ่สามารถบรรลุประสิทธิภาพสูงสุดที่ร้อยละ 100



ภาพที่ 7 รายงานสรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

จากภาพที่ 7 แสดงรายงานสรุปประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยการทดสอบฟังก์ชันการทำงาน (Functional Testing) ครอบคลุม 5 ระบบย่อยหลัก ประกอบด้วย ระบบยืนยันตัวตนและการจัดการสิทธิ์ผู้ใช้งาน มีอัตราความสำเร็จ 98.50% ระบบจองคิว มีอัตราความสำเร็จสูงสุดที่ 99.20% ระบบการชำระเงิน 98.70% ระบบการแจ้งเตือนผ่าน Line Notify 98.90% และระบบแผนที่และการระบุพิกัดพื้นที่ให้บริการ 97.80% ซึ่งเป็นระบบที่มีอัตราความสำเร็จต่ำสุด อัตราความสำเร็จโดยรวมของระบบคำนวณได้ 98.50% โดยใช้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามจำนวนเทสเคส (Test Cases) ของแต่ละระบบจากทั้งหมด 201 เทสเคส ซึ่งประกอบด้วยระบบยืนยันตัวตน 25 เทสเคส ระบบการจองคิว 51 เทสเคส ระบบแผนที่ 40 เทสเคส ระบบการแจ้งเตือน 35 เทสเคส และระบบการชำระเงิน 50 เทสเคส ซึ่งตัวอย่างเทสเคสที่สำคัญสำหรับแต่ละฟังก์ชัน เช่น ระบบการยืนยันตัวตน ทดสอบการเข้าสู่ระบบ ระบบการจองคิวทดสอบการจองซ้ำซ้อน การยกเลิกการจอง ระบบแผนที่ทดสอบความแม่นยำในการระบุพิกัด ระบบการแจ้งเตือนทดสอบการส่งการแจ้งเตือนในสถานการณ์ต่าง ๆ ระบบการชำระเงิน ทดสอบการคำนวณค่าบริการ การยืนยันการชำระเงิน เป็นต้น สูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ร้อยละความสำเร็จ} = (\text{จำนวนเทสเคสที่ผ่าน} / \text{จำนวนเทสเคสทั้งหมด}) \times 100$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก} = \sum (\text{ร้อยละความสำเร็จ} \times \text{จำนวนเทสเคส} / \text{จำนวนเทสเคสทั้งหมด})$$

จากการวิเคราะห์ในภาพรวม อัตราความสำเร็จโดยรวมของระบบคำนวณได้ร้อยละ 98.50 โดยใช้ค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามจำนวนเทสเคสของแต่ละระบบ ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับดีเยี่ยม ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ($\geq 98\%$) และสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญ การประเมินประสิทธิภาพของระบบในงานวิจัยนี้ใช้เกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้น โดยอ้างอิงจากแนวปฏิบัติที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปในอุตสาหกรรมซอฟต์แวร์ รวมถึงประสบการณ์จากการพัฒนาระบบภายในองค์กร ซึ่งมักพิจารณาว่าระบบที่มีอัตราการผ่านของเทสเคสมากกว่า 80% ถือว่าอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้สำหรับการนำไปใช้งานจริง (Guru99, n.d.; Institute of Electrical and Electronics Engineers [IEEE], 2008) ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดระดับการประเมินไว้ 5 ระดับ ได้แก่ ดีเยี่ยม ($\geq 98\%$) ดีมาก (95–97.9%) ดี (90–94.9%) พอใช้ (85–89.9%) และควรปรับปรุง ($< 85\%$) โดยจากการประเมินพบว่า ระบบที่มีอัตราการผ่านของเทสเคสมากกว่า 98% มักมีข้อผิดพลาดในสภาพการใช้งานจริงน้อย

กว่า 2% ซึ่งสะท้อนถึงระดับความน่าเชื่อถือที่สูง และสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาระบบคุณภาพสูง (IEEE, 2008)

2.2 การทดสอบประสิทธิภาพ (Performance Testing) การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการทดสอบประสิทธิภาพของระบบโดยมุ่งเน้นไปที่ความสามารถในการรองรับผู้ใช้งานจำนวนมาก ความเร็วในการตอบสนอง และความเข้ากันได้กับอุปกรณ์หลากหลายประเภท โดยใช้ Apache JMeter เป็นเครื่องมือหลักในการทดสอบ โดยได้ออกแบบเทสแพลนให้ครอบคลุมการจำลองสถานการณ์การใช้งานระบบในสภาวะจริง ได้แก่ การล็อกอินเข้าสู่ระบบ การค้นหาข้อมูลต่าง ๆ กระบวนการสร้างรายการใหม่ และการออกรายงานที่จำเป็น ในการจำลองสถานการณ์ผู้ใช้งานจำนวนมากได้กำหนดค่า Thread Group แบบ Ramp-up period 60 วินาที เพื่อให้การเพิ่มจำนวนผู้ใช้งานเป็นไปอย่างค่อยเป็นค่อยไปและสมจริง โดยเริ่มจากจำนวนน้อยและค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึง 200 คน ตามเป้าหมาย การทดสอบดำเนินการอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 30 นาที เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนและน่าเชื่อถือ ระหว่างการทดสอบ ได้มีการวัดค่าตัวชี้วัดหลักที่สำคัญ ได้แก่ เวลาตอบสนอง (Response Time) ปริมาณงานที่ระบบสามารถรองรับได้ (Throughput) และ อัตราความผิดพลาดที่เกิดขึ้น (Error Rate) นอกจากนี้ มีการทดสอบครอบคลุมการใช้งานบนอุปกรณ์และบราวเซอร์ที่หลากหลาย และใช้ JMeter ร่วมกับ Script ทดสอบ Responsive Design เพื่อประเมินความสามารถในการแสดงผลบนอุปกรณ์ขนาดหน้าจอต่าง ๆ ทั้ง Desktop, Tablet และ Mobile ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถรองรับผู้ใช้งานพร้อมกันได้สูงสุด 200 คน อย่างไรก็ตามเมื่อจำนวนผู้ใช้เพิ่มขึ้นเป็น 220 คน ระบบเริ่มแสดงอาการตอบสนองช้าลงอย่างชัดเจน โดยมีเวลาตอบสนองเฉลี่ย 1.80 วินาที และระบบสามารถแสดงผลได้อย่างถูกต้องและเหมาะสมบนทุกขนาดหน้าจอที่ทำการทดสอบ ไม่ว่าจะเป็น Desktop, Tablet หรือ Mobile รวมถึงการใช้งานบราวเซอร์ที่หลากหลาย โดยไม่พบปัญหาการซ้อนทับหรือการแสดงผลที่ผิดเพี้ยนบนอุปกรณ์

2.3 การทดสอบความปลอดภัยของระบบ (Security Test) ดำเนินการโดยใช้เครื่องมือ OWASP ZAP (Zed Attack Proxy) ซึ่งเป็นเครื่องมือโอเพนซอร์ส ผลการทดสอบพบว่าระบบผ่านการทดสอบความปลอดภัยในประเด็นสำคัญ 5 ด้าน ได้แก่ 1) ระบบมีการป้องกัน SQL Injection และ Cross-Site Scripting (XSS) โดยใช้เทคนิค Prepared Statements สำหรับการเชื่อมต่อฐานข้อมูล การกำหนดนโยบาย Content-Security Policy และการกรองข้อมูล Input/Output 2) ระบบมีกลไกการตรวจสอบสิทธิ์ที่เหมาะสมในทุกระดับการเข้าถึง พร้อมการจัดการ Session ที่มีความปลอดภัย รวมถึงการตั้งค่า Secure Cookies และการกำหนดเวลาหมดอายุที่เหมาะสม ซึ่งช่วยป้องกันการเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาตและการขโมย Session 3) ระบบได้ทดสอบด้านการเข้ารหัสข้อมูลสำคัญโดยใช้ฟังก์ชันการแฮชที่ปลอดภัย Bcrypt สำหรับรหัสผ่าน ซึ่งมีคุณสมบัติด้านความปลอดภัยแบบ brute force นอกจากนี้ยังมีการตรวจสอบและจำกัดประเภทไฟล์ที่อัปโหลดได้ 4) ระบบมีการควบคุมการเข้าถึงข้อมูลอย่างเหมาะสม ไม่เปิดเผยข้อมูลที่สำคัญในข้อความแสดงความผิดพลาด และมีการบันทึกกิจกรรม (Logging) ที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลสำคัญอย่างครบถ้วน ทำให้สามารถตรวจสอบย้อนหลังและตรวจจับพฤติกรรมที่น่าสงสัยได้ 5) ระบบได้รับการตรวจสอบและแก้ไขการตั้งค่าที่ไม่ปลอดภัยด้วย OWASP ZAP โดยมีการปรับแต่ง HTTP Headers เพื่อความปลอดภัย การปิดบริการที่ไม่จำเป็น และการอัปเดตซอฟต์แวร์และไลบรารีให้เป็นเวอร์ชันล่าสุด เพื่อป้องกันช่องโหว่ที่อาจเกิดจากซอฟต์แวร์

2.4 การทดสอบการใช้งาน (Usability Testing) การประเมินความสามารถในการใช้งานครอบคลุมการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานจริง

2.4.1 ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านคอมพิวเตอร์ จำนวน 3 คน ประกอบด้วย 1) ผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาซอฟต์แวร์ จำนวน 2 คน และ 2) ผู้เชี่ยวชาญด้านการทดสอบซอฟต์แวร์ จำนวน 1 คน ประเมินความสามารถในการใช้งานระบบ โดยมีประเด็นการประเมิน ได้แก่ 1) การมองเห็นสถานะของระบบ

2) ความสอดคล้องระหว่างระบบและความเป็นจริง 3) การควบคุมและเสรีภาพของผู้ใช้ 4) ความสม่ำเสมอและมาตรฐาน และ 5) การป้องกันข้อผิดพลาด โดยผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยรวม ($\bar{X}$ = 4.57, S.D. = 0.29) เมื่อพิจารณาเป็นรายด้านพบว่า ด้านที่ได้คะแนนสูงสุดคือ ความสม่ำเสมอและมาตรฐาน ($\bar{X}$ = 4.71, S.D. = 0.25) รองลงมาคือ การป้องกันข้อผิดพลาด ($\bar{X}$ = 4.70, S.D. = 0.24) และความสอดคล้องระหว่างระบบและความเป็นจริง ($\bar{X}$ = 4.67, S.D. = 0.28) ตามลำดับ

2.4.2 ผลการวัดประสิทธิภาพการใช้งานจริง ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลการใช้งานจริง จำนวน 22 ราย ประกอบด้วย เจ้าของร้านมาโนช โตรนเกษตร 2 คน และผู้ใช้บริการมาโนช โตรนเกษตร 20 คน โดยคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจงจากผู้ที่มีประสบการณ์ใช้บริการมากกว่า 2 ครั้งและเคยใช้งานทั้งระบบเดิมและระบบที่พัฒนาขึ้นใหม่ โดยเปรียบเทียบระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่ใน 4 ด้าน ได้แก่ 1) ระยะเวลาในการจองคิว 2) เวลาในการค้นหาประวัติ 3) อัตราการจองซ้ำซ้อน และ 4) อัตราความผิดพลาดในการบันทึก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่

	ระบบเดิม	ระบบใหม่	การพัฒนา (%)	นัยสำคัญทางสถิติ
ระยะเวลาในการจองคิว (นาท)	17.50	4.00	-77.10	$p < .001$
เวลาในการค้นหาประวัติ (นาท)	10.00	< 1.00	-90.00	$p < .001$
อัตราการจองซ้ำซ้อน (%)	15.00	0.00	-100.00	$p < .001$
อัตราความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูล (%)	12.00	0.50	-95.80	$p < .001$
คะแนนความพึงพอใจ (ค่าเฉลี่ย)	3.44	4.78	+38.90	$p < .001$

หมายเหตุ: เครื่องหมายลบ (-) ในคอลัมน์การพัฒนา (%) แสดงถึงค่าที่ลดลงจากระบบเดิม ในขณะที่เครื่องหมายบวก (+) แสดงถึงค่าที่เพิ่มขึ้น ผลการเปรียบเทียบทั้งหมดแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < .001$

จากตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่ ใช้การทดสอบ Paired t-test เพื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยสองกลุ่มที่ไม่เป็นอิสระต่อกัน (ก่อนและหลังใช้ระบบ) ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ผลการทดสอบทุกรายการมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < .001$ แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่ได้เกิดจากความบังเอิญ แต่เป็นผลมาจากการพัฒนาระบบใหม่อย่างมีนัยสำคัญ สามารถวิเคราะห์การพัฒนาประสิทธิภาพของระบบได้ ดังนี้

1) ด้านความรวดเร็วในการให้บริการ ระบบใหม่สามารถลดระยะเวลาในการจองคิวจาก 17.50 นาที เหลือเพียง 4.00 นาที คิดเป็นการลดเวลาลงถึงร้อยละ 77.10 นอกจากนี้ ยังลดเวลาในการค้นหาประวัติจาก 10 นาที เหลือน้อยกว่า 1 นาที คิดเป็นการลดเวลาลงถึงร้อยละ 90.00 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

2) ด้านความถูกต้องแม่นยำระบบใหม่สามารถจัดปัญหาการจองซ้ำซ้อนได้อย่างสมบูรณ์ จากเดิมที่มีอัตราการจองซ้ำซ้อนถึงร้อยละ 15.00 และลดความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลจากร้อยละ 12.00 เหลือเพียงร้อยละ 0.50 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก

3) ด้านความพึงพอใจของผู้ใช้บริการ ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ย 3.34 เป็นค่าเฉลี่ย 4.78 คิดเป็นการเพิ่มขึ้นร้อยละ 38.90 โดยปัจจัยสำคัญมาจากระบบการแจ้งเตือนอัตโนมัติที่ช่วยให้ผู้ใช้บริการติดตามสถานะได้สะดวกขึ้น ไม่จำเป็นต้องโทรสอบถามเหมือนระบบเดิม สำหรับการประเมินโดย

ผู้ใช้งานจริงดำเนินการหลังจากที่ระบบได้รับการปรับปรุงตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ โดยกลุ่มตัวอย่างประกอบด้วยเจ้าของร้าน 2 คน และผู้ใช้บริการ 20 คน ทำการประเมินความพึงพอใจการใช้งานระบบใน 5 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านความสามารถในการเรียนรู้ใช้งาน 2) ด้านประสิทธิภาพในการใช้งาน 3) ด้านความสะดวกในการจดจำขั้นตอนการใช้งาน 4) ด้านความผิดพลาดในการใช้งาน และ 5) ด้านความพึงพอใจต่อระบบโดยรวม การเก็บรวบรวมข้อมูลความพึงพอใจดำเนินการใน 2 ช่วง คือ ก่อนและหลังการใช้ระบบใหม่

อภิปรายผล

การพัฒนาระบบบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตร กรณีศึกษาร้านมาโนช โดรนเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ทั้งในด้านการพัฒนาระบบและการประเมินประสิทธิภาพ ผลการวิจัยสามารถอภิปรายตามประเด็นสำคัญได้ดังนี้

การพัฒนาระบบบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตร กรณีศึกษาร้านมาโนช โดรนเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร ระบบที่พัฒนาขึ้นได้มีการบูรณาการเทคโนโลยีที่เหมาะสมหลายด้านเข้าด้วยกัน ได้แก่ การใช้ PHP, HTML5, JavaScript และ MySQL เป็นเทคโนโลยีพื้นฐาน ร่วมกับ Google Maps API สำหรับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และ Line Notify API สำหรับการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ การเลือกใช้เทคโนโลยีเหล่านี้เน้นความยืดหยุ่นในการพัฒนาและมีความเหมาะสมกับโครงการขนาดเล็กถึงกลาง โดยแบ่งการทำงานเป็น 5 ระบบย่อย ได้แก่ ระบบยืนยันตัวตน ระบบจองคิว ระบบแผนที่ ระบบการแจ้งเตือน และระบบการชำระเงิน ช่วยให้การพัฒนาและการบำรุงรักษาระบบมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถแก้ไขส่วนใดส่วนหนึ่งได้โดยไม่กระทบกับระบบโดยรวมสอดคล้องกับหลักการออกแบบสถาปัตยกรรมซอฟต์แวร์แบบแยกส่วนตามแนวคิดของ IEEE (2008)

ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบพบว่าประสิทธิภาพโดยรวมสูงถึงร้อยละ 98.5 ซึ่งอยู่ในระดับดีเยี่ยมตามเกณฑ์ที่กำหนด ($\geq 98\%$) และสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ที่ร้อยละ 80 อย่างมีนัยสำคัญ การที่ระบบมีประสิทธิภาพสูงเช่นนี้เป็นผลมาจากการทดสอบและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องตลอด 4 สัปดาห์ สอดคล้องกับหลักการพัฒนาซอฟต์แวร์ของ IEEE (2008) ที่เน้นการทดสอบและปรับปรุงอย่างเป็นระบบ การทดสอบประสิทธิภาพด้วย Apache JMeter พบว่าระบบสามารถรองรับผู้ใช้งานพร้อมกันได้สูงสุด 200 คน ซึ่งเพียงพอต่อการให้บริการในธุรกิจขนาดเล็กถึงกลาง อย่างไรก็ตาม การที่ระบบเริ่มแสดงอาการตอบสนองช้าลงเมื่อมีผู้ใช้ 220 คน สะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพที่ต้องปรับปรุงหากต้องการขยายการให้บริการในอนาคต ในด้านความปลอดภัย ผลการทดสอบด้วย OWASP ZAP แสดงให้เห็นว่าระบบมีการป้องกันภัยคุกคามที่สำคัญ ได้แก่ SQL Injection, Cross-Site Scripting และการเข้าถึงโดยไม่ได้รับอนุญาต ซึ่งเป็นความเสี่ยงที่พบบ่อยในระบบเว็บแอปพลิเคชัน การใช้เทคนิค Prepared Statements และการเข้ารหัสข้อมูลด้วย Bcrypt สอดคล้องกับมาตรฐานความปลอดภัยในปัจจุบัน (IEEE, 2008) ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่พบว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกด้าน ($p < .001$) โดยเฉพาะการลดระยะเวลาในการจองคิวจาก 17.50 นาที เหลือ 4.00 นาที (ลดลงร้อยละ 77.10) และการขจัดปัญหาการจองซ้ำซ้อนได้อย่างสมบูรณ์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang et al. (2023) ที่พบว่าการประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลในการจัดการตารางงานโดรนเกษตรสามารถลดระยะเวลาดำเนินการได้ร้อยละ 65-80 ความพึงพอใจของผู้ใช้บริการที่เพิ่มขึ้นจากค่าเฉลี่ย 3.44 เป็น 4.78 (เพิ่มขึ้นร้อยละ 38.90) สะท้อนให้เห็นถึงการยอมรับเทคโนโลยีของผู้ใช้ สอดคล้องกับงานวิจัยของรองชัย วะสุวรรณ และเจษฎา วงศ์แสนสุขเจริญ (2022) ที่พบว่าการรับรู้ประโยชน์และความง่ายในการใช้งานเป็นปัจจัยสำคัญต่อการยอมรับเทคโนโลยีการเกษตรอัจฉริยะในภาคเหนือของประเทศไทย

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีข้อจำกัดที่สำคัญสองประการ ประการแรกคือ ระบบยังไม่รองรับการทำงานแบบออฟไลน์ในกรณีที่สัญญาณอินเทอร์เน็ตไม่เสถียร ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่พบได้บ่อยในพื้นที่การเกษตร ประการ

ที่สองคือ การพึ่งพา LINE Notify เพียงช่องทางเดียวในการแจ้งเตือนอาจเป็นข้อจำกัดสำหรับผู้ใช้งานบางกลุ่ม โดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังจากที่ LINE ได้ประกาศยุติการให้บริการ LINE Notify งานวิจัยนี้เสนอแนวทางการแก้ปัญหา ดังนี้ 1) การปรับเปลี่ยนไปใช้ LINE Message API ซึ่งยังคงให้บริการและมีฟังก์ชันที่รองรับการแจ้งเตือนในรูปแบบที่หลากหลายมากกว่า LINE Notify เช่น การส่งข้อความแบบมีปฏิสัมพันธ์ (Interactive Message) การแนบภาพ การแนบลิงก์ และการสร้างปุ่มกดเพื่อดำเนินการต่อ ซึ่งจะเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารกับผู้ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น และ 2) การพัฒนาระบบแจ้งเตือนแบบ Push Notification ผ่าน Progressive Web App (PWA) ซึ่งสามารถส่งการแจ้งเตือนไปยังอุปกรณ์ของผู้ใช้โดยตรง โดยไม่ต้องพึ่งพาแพลตฟอร์มภายนอก ทำให้มีความเสถียรและควบคุมได้มากขึ้น อีกทั้งยังสามารถทำงานแบบออฟไลน์บางส่วนได้

สำหรับข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อยอด ควรมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) ในการพยากรณ์ความต้องการใช้บริการและการจัดตารางงานอัตโนมัติ รวมถึงการพัฒนาระบบให้รองรับการทำงานแบบออฟไลน์และเพิ่มช่องทางการแจ้งเตือนที่หลากหลาย เช่น SMS หรือ Email เพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้ที่แตกต่างกัน นอกจากนี้ ควรพัฒนาการเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบสารสนเทศทางการเกษตรอื่นๆ เพื่อยกระดับการให้บริการแบบครบวงจร และเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรทางการเกษตรในภาพรวม

สรุปผล

การพัฒนาระบบบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตร กรณีศึกษาร้านมาโนช โดรนเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบ ผลการวิจัยสามารถสรุปตามวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1) ผลการพัฒนาระบบบริหารจัดการบริการโดรนทางการเกษตร กรณีศึกษาร้านมาโนช โดรนเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร ได้ดำเนินการพัฒนาระบบตามวงจรการพัฒนาระบบ (SDLC) แบบ Modified Waterfall Model โดยระบบที่พัฒนาขึ้นมีฟังก์ชันการทำงานครบถ้วนตามความต้องการของผู้ใช้งาน ประกอบด้วย การจัดการข้อมูลผู้ใช้ การจองคิวออนไลน์ การจัดการตารางการให้บริการ การชำระเงิน การแจ้งเตือนผ่าน Line Notify และระบบแผนที่แสดงพิกัดพื้นที่ให้บริการ ระบบพัฒนาด้วยภาษา PHP ร่วมกับ HTML5, JavaScript และ MySQL โดยเชื่อมต่อกับ Google Maps API และ Line Notify API

2) ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น พบว่า ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมสูงถึงร้อยละ 98.5 จากการทดสอบซอฟต์แวร์ครอบคลุมการทดสอบฟังก์ชันการทำงาน การทดสอบประสิทธิภาพ การทดสอบความปลอดภัย และการทดสอบการใช้งาน ระบบสามารถลดระยะเวลาในการจองคิวจาก 17.50 นาที เหลือเพียง 4.00 นาที คิดเป็นการลดลงร้อยละ 77.10 ขจัดปัญหาการจองซ้ำซ้อนได้อย่างสมบูรณ์ และลดความผิดพลาดในการบันทึกข้อมูลจากร้อยละ 12.00 เหลือเพียงร้อยละ 0.50 นอกจากนี้ ระบบยังช่วยเพิ่มความพึงพอใจของผู้ใช้บริการจากค่าเฉลี่ย 3.44 เป็น 4.78 จากคะแนนเต็ม 5.00 ซึ่งอยู่ในระดับมากที่สุด ผลการเปรียบเทียบทุกรายการมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ $p < .001$ แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ไขปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณร้านมาโนช โดรนเกษตร จังหวัดกำแพงเพชร ที่ช่วยให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะ และข้อมูลสำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้ พร้อมทั้งขอขอบคุณโปรแกรมวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ที่ให้การสนับสนุนการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ธงชัย วะจะสุวรรณ และ เจษฎา วงศ์แสนสุขเจริญ. 2565. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการยอมรับเทคโนโลยีการเกษตรอัจฉริยะในภาคเหนือของประเทศไทย. *วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. 30: 82-95.
- บุญชม ศรีสะอาด. 2553. *การวิจัยเบื้องต้น*. พิมพ์ครั้งที่ 8. สุวีริยาสาส์น, กรุงเทพฯ.
- วรมน ปิยะมาตา และ วุฒิยา สาหร่ายทอง. 2566. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนใช้เทคโนโลยีโดรนเพื่อปลูกข้าว กรณีศึกษาตำบลนาหนองไผ่ อำเภอชุมพลบุรี จังหวัดสุรินทร์. *วารสารสังคมศาสตร์ปัญญาพัฒนา*. 5: 395-408.
- Guru99. (n.d.). *Test planning in software testing*. แหล่งข้อมูล: <https://www.guru99.com/test-planning.html>. ค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2568.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2008. *IEEE standard for software and system test documentation (IEEE Std 829-2008)*. IEEE. แหล่งข้อมูล: <https://jmpovedar.files.wordpress.com/2014/03/ieee-829.pdf>. ค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2568.
- Nielsen, J. 2000. *Why you only need to test with 5 users*. Nielsen Norman Group. แหล่งข้อมูล: <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users>. ค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2568.
- Pathak, H., G. Kumar, S.D. Mohapatra, B.B. Gaikwad, and J. Rane. 2020. Use of drones in agriculture: potentials, problems and policy needs. *ICAR-National Institute of Abiotic Stress Management*. 300: 4-15.
- Pressman, R. S., and B. R. Maxim. 2023. *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. 9th Edition. McGraw-Hill Education.
- Yallappa, D., R. Kavitha, A. Surendrakumar, B. Suthakar, A.P. Mohan Kumar, B. Kannan, and M.K. Kalarani. 2023. Influence of the downwash airflow in Hexacopter drone on the spray distribution pattern of boom sprayer. *Journal of Applied and Natural Science*. 15: 391-400.