

การพัฒนาเทคโนโลยี การตรวจวัดและควบคุมแบบไร้สาย สำหรับการเกษตรสมัยใหม่

DEVELOPMENT OF WIRELESS MEASUREMENT AND CONTROL TECHNOLOGY FOR MODERN AGRICULTURE

เฉลิมชัย เอี่ยมสะอาด¹, กนกพร ลิ้มวิภูวัฒน์², ธีรพัชส ประสานสารกิจ³,
มนิยา ตันเปาว์⁴, ธัญลักษณ์ นนทะศรี⁵, ฉันทนา ยูวะนิยม⁶,
สุวิมล ทองพุย⁷, สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร⁸, วินัย วิริยะอลงกรณ์⁹,
อุษณีย์ พิชกรรม¹⁰, อารักษ์ ธีรอำพน¹¹, ศุภกร ทาโบราณ¹²,
สิริวรรณ สุนทรสารทูล¹³

Chalermchai Eiamsaard¹, Kanokporn Limvipuwat²,
Therapatt Prasansarakij³, Maneeya Tanpao⁴, Thanyaluck Nontasri⁵,
Chantana Yuvaniyama⁶, Suwimon Thongphui⁷, Suchila Techawongstien⁸,
Winai Wiriya-alongkorn⁹, Aussanee Pichakum¹⁰, Arak Theera-umpon¹¹,
Supakon Thaboran¹², Siriwan Sunthonsaratoon¹³

สถาบันการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร ปทุมธานี 12120^{1 ถึง 7 และ 12 ถึง 13}

มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอนแก่น 40002⁸

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290⁹

มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400¹⁰

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี นครราชสีมา 30000¹¹

Agricultural Technology and Innovation Management Institute,

Pathum Thani 12120 Thailand^{1 to 7 and 12 to 13}

Khon Kaen University, Khon Kaen 40002 Thailand⁸

Maejo University, Chiang Mai 50290 Thailand⁹

Mahidol University, Bangkok 10400 Thailand¹⁰

Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima 30000 Thailand¹¹

Corresponding E-mail : chalermchai.mt@gmail.com

Received Date March 19, 2024

Revised Date April 30, 2025

Accepted Date May 1, 2025

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ไร้สายลอร่าแวนในการตรวจวัดและควบคุมสภาวะแวดล้อม รวมถึงความต้องการของพืช สำหรับเทคโนโลยีเกษตรสมัยใหม่ ได้แก่ วัดความเข้มแสง วัดอุณหภูมิ วัดความชื้น อากาศ วัดความชื้นดิน และวงจรอิเล็กทรอนิกส์รับ-ส่งข้อมูลและประมวลผล ให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลเกิน 15 เมตร โดยสัญญาณเสถียร จากนั้นนำข้อมูลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อถอดสูตรการผลิตพืชทดสอบ ใช้วิธีวิจัยเชิงทดลองในแปลงเกษตร 5 แห่ง แบ่งเป็นแบบแปลงเปิด 3 แห่ง ทดสอบปลูกทุเรียน ลำไย และเมล็ดพันธุ์เมลอน และแบบโรงเรือน 2 แห่ง ทดสอบปลูกเมลอนและมะเขือเทศ ผลการศึกษาพบว่า การนำอุปกรณ์ไร้สายไปใช้ในการปลูกพืชทดสอบ สามารถเพิ่มผลผลิตและลดค่าใช้จ่ายให้เกษตรกรได้ โดยใช้ น้ำลดลงร้อยละ 48.27 ในการปลูกทุเรียน ร้อยละ 37.91 ในการผลิตเมล็ดพันธุ์เมลอน และร้อยละ 26.36 ในการปลูกลำไย อีกทั้ง ลดค่าแรงงานในการให้น้ำและปุ๋ย ร้อยละ 75 ในการปลูกเมลอน และร้อยละ 66 ในการปลูกมะเขือเทศ ตามลำดับ ซึ่งเกษตรกรมีความพึงพอใจร้อยละ 88 ของการใช้งานอุปกรณ์ทดลอง ทั้งนี้ อุปกรณ์ไร้สายที่ใช้ในการทดลอง เป็นไปตามประกาศ กสทช. เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน 920-925 เมกะเฮิรตซ์

คำสำคัญ: ระบบการให้น้ำตามความต้องการของพืช เทคโนโลยีเกษตรสมัยใหม่ ลอร่าแวน

Abstract

This article studies the development of a prototype LoRaWAN wireless device for measurement and control of the environment and crop requirement in modern agricultural technology. The device was aimed to measure light intensity, air humidity, and soil moisture. Electronic circuit was also designed for data receiving, transmitting, and processing at over 15 meters distance with a stable signal. The data was then analyzed to have functions suitable for producing plants. The experimental research was conducted in five areas--three open farms for durian, longan, and melon seeds, and two greenhouses for melon and tomato. The results showed that the wireless device could effectively increase production while reducing cost. Water consumption was reduced by 48.27 percent in durian production, 37.91 percent in melon seed production, and 26.36 percent in longan production. Labor costs for irrigation and fertilization were reduced by 75 percent in melon production and 66 percent in tomato production. It was found that farmers in the experiment were satisfied with the device at 88 percent. The wireless device used in the experiment was in line with the NBTC's announcement regarding the use of the 920-925 MHz frequency band.

Keywords: irrigation system based on crop requirement, modern agricultural technology, LoRaWAN

1. บทนำ

การเพิ่มพูนความรู้ในการสร้างสูตรการปลูกพืชตามความต้องการของพืช (crop requirement) และเทคโนโลยีเกษตรอัจฉริยะ (smart farming) คือ เทคโนโลยีระบบติดตามข้อมูลและควบคุมสภาวะแวดล้อมในการปลูกพืชและควบคุมการให้น้ำพืชโดยใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ (sensor technology) เป็นองค์ความรู้และเทคโนโลยีสำคัญที่เกษตรกรควรได้รับการถ่ายทอด ซึ่งสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) มีความเชี่ยวชาญในการนำเทคโนโลยีเซนเซอร์แบบมีสายสัญญาณ ควบคู่กับการให้น้ำพืชแบบกำหนดเวลา (timer) ทดลองใช้ในแปลงทดลองปลูกพืชขนาดเล็กมาแล้ว อีกทั้งยังมีเทคโนโลยีโรงเรือนและระบบควบคุมต่าง ๆ (smart knock-down greenhouse) เพื่อช่วยควบคุมปัจจัยการผลิตและยกระดับผลผลิตที่มีความปลอดภัย รวมถึงเทคโนโลยีระบบควบคุมน้ำในพืชไร่หรือพืชสวน เพื่อทำให้การให้น้ำแก่พืชมีความแม่นยำสามารถให้น้ำตามความต้องการของพืชและความสามารถของดินที่จะอุ้มน้ำได้ (เฉลิมชัย เอี่ยมสะอาด และคณะ, 2564; 2566)

จากการขยายผลเทคโนโลยีเกษตรสมัยใหม่ที่ผ่านมามีพบว่า ข้อจำกัดของอุปกรณ์ในการใช้งาน คือ ระยะทางในการส่งสัญญาณระหว่างตัวเซนเซอร์และอุปกรณ์ประมวลผล ซึ่งส่งสัญญาณได้ไกลสุดประมาณ 15 เมตรตามความยาวของสายเซนเซอร์ ทำให้ต้องเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมสำหรับอ่านค่าเซนเซอร์ โดยกรณีเกษตรกรแปลงใหญ่จะทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ควบคุมมากขึ้น นอกจากนี้ เทคโนโลยีเกษตรสมัยใหม่ยังเป็นเรื่องใหม่

ของเกษตรกรไทย เทคโนโลยียังอยู่ในสถาบันการศึกษาหรือหน่วยวิจัย เกษตรกรเข้าถึงได้ยาก รวมถึงยังไม่มีแหล่งเรียนรู้เทคโนโลยีเกษตรสมัยใหม่ที่พร้อมให้เกษตรกรเรียนรู้ปฏิบัติจริง บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งจากงานวิจัย เรื่อง การพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจวัดและควบคุมแบบไร้สายสำหรับการเกษตรสมัยใหม่เพื่อเพิ่มพูนองค์ความรู้ และการพัฒนาเกษตรกรอัจฉริยะ ซึ่งเป็นการพัฒนาต้นแบบในแปลงสาธิต และพัฒนาหลักสูตรที่ครอบคลุม ทั้งด้านการผลิตพืช การใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ที่พัฒนาจากงานวิจัยและด้านการตลาด จากนั้นอบรมถ่ายทอดความรู้แก่เกษตรกร พร้อมทั้งสร้างเกษตรกรแกนนำที่จะขยายผลได้ ทั้งนี้ บทความนี้นำเสนอเฉพาะประเด็นการพัฒนาต้นแบบในแปลงสาธิต กล่าวคือ ต้นแบบอุปกรณ์การวัดความต้องการของพืชแบบไร้สายที่สามารถส่งสัญญาณได้ไกลขึ้น มีความเสถียรของสัญญาณมากขึ้นในระดับที่เกษตรกรสามารถใช้ประโยชน์เชิงธุรกิจได้จริงและเข้าถึงเทคโนโลยีมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ไร้สายแบบลอราแวน (LoRaWAN) ในการตรวจวัดและควบคุมสภาวะแวดล้อมรวมถึงความต้องการของพืชสำหรับเทคโนโลยีเกษตรสมัยใหม่ ให้ส่งสัญญาณได้ไกลเกิน 15 เมตร และมีความเสถียรของสัญญาณมากขึ้น ตลอดจนทดสอบความทนทานและความปลอดภัยในการใช้งาน

2.2 เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลและนำมาถอดสูตรการเพาะปลูกพืชทดสอบจากโปรแกรมประยุกต์ที่มีฟังก์ชันเทคโนโลยีการให้น้ำที่ตรวจวัดได้จากค่าความชื้นดิน

3. วิธีการศึกษา

ผู้วิจัยใช้วิธีวิจัยเชิงทดลอง พัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบด้วยเทคโนโลยีไร้สายสำหรับการเกษตรแบบแม่นยำ 5 ระบบ ในการตรวจวัดและควบคุมสภาวะแวดล้อม รวมถึงความต้องการของพืช ได้แก่ วัดความเข้มแสง วัดอุณหภูมิ วัดความชื้นอากาศ วัดความชื้นดิน และวงจรอิเล็กทรอนิกส์รับ-ส่งข้อมูลและประมวลผล โดยใช้เซนเซอร์ (sensor) ส่งสัญญาณไร้สายแบบลอราแวน ให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลเกิน 15 เมตร มีความเสถียรของสัญญาณมากขึ้น สามารถนำค่าที่ได้จากเซนเซอร์มาควบคุมอุปกรณ์ที่ใช้ในการปลูกพืช หากเซนเซอร์พบค่าที่ไม่เหมาะสมในการปลูกพืช สามารถแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์ (LINE application) เก็บข้อมูลเซนเซอร์ด้วยคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ (cloud server) เพื่อประยุกต์ให้เหมาะสมกับการปลูกพืชในระบบแปลงเปิด (open farm) และระบบโรงเรือน (greenhouse) สำหรับเกษตรกรรายย่อยและเกษตรกรแปลงใหญ่ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.1 ประเมินพื้นที่ โดยพิจารณาคัดเลือก 5 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ผลิตทุเรียน สวนบัวแก้ว จังหวัดระยอง พื้นที่ผลิตลำไย จังหวัดเชียงใหม่ โรงเรือนผลิตมะเขือเทศ AGRITEC Station สวทช. อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี พื้นที่ผลิตเมล็ดพันธุ์เมลอน จังหวัดมหาสารคาม และโรงเรือนปลูกเมลอน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต วิทยาเขตสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี แบ่งเป็นแปลงเปิด 3 แห่ง และโรงเรือน 2 แห่ง ตลอดจนสำรวจความต้องการของเกษตรกรก่อนออกแบบพัฒนาเครื่องมือ

3.2 ออกแบบเทคโนโลยีการตรวจวัดและควบคุมแบบไร้สาย รวมทั้งทดสอบการใช้งานในห้องปฏิบัติการ

3.3 ติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดและควบคุม (ผลิตภัณฑ์ยี่ห้อฟาร์มรักษน้ำรุ่น LRW-01 ผลิตโดย บริษัท พรีเมียม ดาตาเทค จำกัด) โดยใช้เทคโนโลยีแบบไร้สาย ส่งข้อมูลจากเซนเซอร์ผ่านโมดูลลอราแวนเข้าสู่เกตเวย์ (gateway) และส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต (internet) ไปเก็บข้อมูลไว้ที่คลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อใช้ใน 5 พื้นที่เป้าหมาย เพื่อทดสอบความเสถียรและความเหมาะสมในการใช้งานในพื้นที่จริง ประกอบด้วย

1) เซนเซอร์วัดความเข้มแสงแบบไร้สาย เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศแบบไร้สาย และเซนเซอร์วัดความชื้นดินแบบไร้สาย

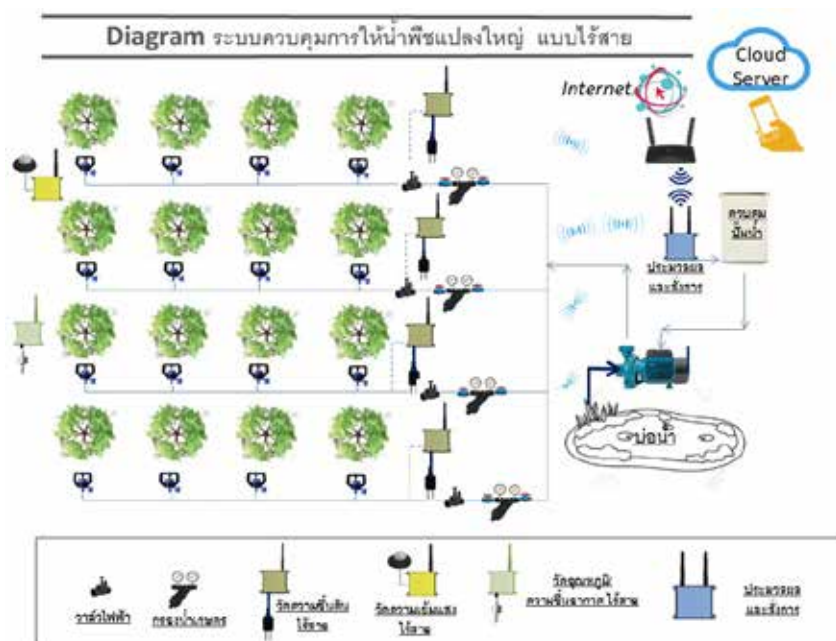
2) อุปกรณ์ประมวลผล (transmitter)

3) ซอฟต์แวร์ (software) ตั้งค่าควบคุมการสั่งการทั้งแบบอัตโนมัติผ่านค่าเซนเซอร์แบบสั่งการโดยการตั้งเวลาและแบบสั่งการตรง (manual) ผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่สำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น ป้อนน้ำ โซลินอยด์วาล์ว ม่านพรางแสง สปริงหมอก

4) อุปกรณ์ไฟฟ้าและสื่อสาร

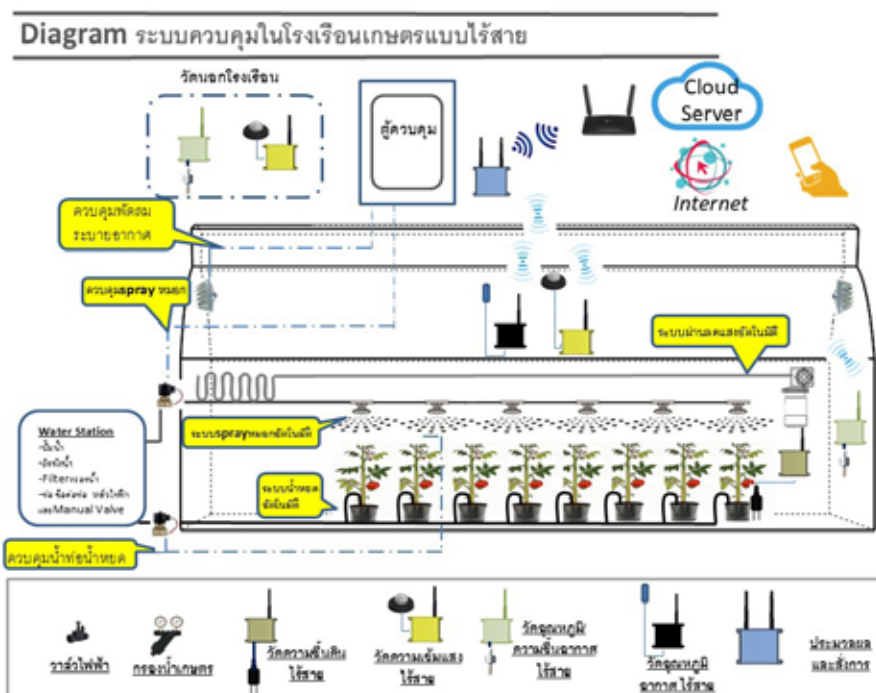
5) อุปกรณ์ระบบจ่ายน้ำ

โดยการทำงานของอุปกรณ์แบ่งเป็น 2 ระบบ แสดงดังภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ดังนี้



ภาพที่ 1 ระบบควบคุมการให้น้ำพืชแบบไร้สายสำหรับการปลูกพืชระบบแปลงเปิด

ระบบแปลงเปิด: ระบบการให้น้ำจะถูกควบคุมโดยค่าเซนเซอร์วัดความชื้นดินที่ถูกส่งไปยังกล่องประมวลผลเพื่อสั่งการ และกล่องควบคุมปั้มน้ำที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานและวาล์วไฟฟ้า (solenoid valve) ให้ควบคุมการให้น้ำในแปลงย่อยหลายส่วนในพื้นที่แปลงใหญ่เดียวกันจากฟังก์ชันการให้น้ำโดยการตั้งเวลาหรือให้น้ำตามค่าความชื้นดินที่ได้จากเซนเซอร์วัดความชื้นดิน โดยใช้ปั้มน้ำขนาดเล็กเพียงตัวเดียวและเก็บข้อมูลสถานะแวดล้อมต่าง ๆ



ภาพที่ 2 ระบบควบคุมการให้น้ำพืชแบบไร้สายสำหรับการปลูกพืชระบบโรงเรือน

ระบบโรงเรือน: ระบบควบคุมใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์ในการเก็บข้อมูลและควบคุมสถานะแวดล้อมต่าง ๆ ในโรงเรือน ได้แก่

- 1) เซนเซอร์วัดความเข้มแสงด้านนอกและด้านในโรงเรือน เพื่อให้ทราบถึงค่าการส่งผ่านแสงผ่านพลาสติกหลังคาโรงเรือน และควบคุมการเปิด-ปิดม่านพรางแสง
- 2) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศด้านนอกและด้านในโรงเรือน เพื่อใช้บริหารจัดการอุณหภูมิในโรงเรือนให้เหมาะสมกับการเพาะปลูก เช่น การสปริงเกอร์หมอก
- 3) เซนเซอร์วัดความชื้นดิน เพื่อใช้บริหารจัดการการให้น้ำแก่พืชที่เหมาะสม
- 4) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิใต้หลังคาโรงเรือน เพื่อใช้บริหารจัดการอุณหภูมิในโรงเรือนให้เหมาะสม

อุปกรณ์ต้นแบบจะถูกทดสอบทั้งระดับห้องปฏิบัติการและภาคสนาม จากนั้นจึงเก็บข้อมูลความเสถียรของอุปกรณ์และวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกของระบบปฏิบัติการ โดยบันทึกข้อมูลการผลิตและการจัดการพืชของเกษตรกร รวมทั้งข้อมูลผลผลิตและคุณภาพของผลผลิตด้วยการเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์หรือเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์ และนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ร่วมกับข้อมูลสภาพแวดล้อมที่ระบบบันทึกไว้ที่ฐานข้อมูล เพื่อหาค่าความต้องการของพืชที่เหมาะสมและติดตามผลอย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง

ใช้วิธีวิจัยเชิงทดลองในแปลงสาธิต 5 พื้นที่ ทดสอบปลูกพืช 5 ชนิด พื้นที่ละ 1 ชนิด โดยแปลงเปิด 3 แห่ง ทดสอบปลูกทุเรียน ลำไย และเมล็ดพันธุ์เมลอน และแบบโรงเรือน 2 แห่ง ทดสอบปลูกเมลอนและมะเขือเทศ ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2564 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2566

4. การทบทวนวรรณกรรม

เทคโนโลยีการตรวจวัดความต้องการของพืชเป็นระบบที่ช่วยวัดความต้องการของพืชสำหรับการเกษตรแบบแม่นยำเพื่อประยุกต์ให้เหมาะสมกับการปลูกพืชในระบบแปลงเปิดและระบบโรงเรือน เพราะโดยหลักการให้น้ำแก่พืชต้องให้น้ำตามความต้องการของพืชอย่างเหมาะสม (กรมชลประทาน, 2554) และตามความสามารถของดินที่จะอุ้มน้ำไว้ได้ ดังนั้น เทคโนโลยีการตรวจวัดความต้องการของพืชจะช่วยควบคุมปัจจัยการผลิตต่าง ๆ โดยเฉพาะน้ำที่มีจำกัดและลดความสูญเสียของผลผลิตได้ทันที่ เนื่องจากเกษตรกรจะรับทราบสถานการณ์ของสภาพแวดล้อมได้ตลอดเวลาจึงแก้ปัญหาได้รวดเร็วและเหมาะสม ซึ่งจะช่วยยกระดับผลผลิตให้มีประสิทธิภาพ (ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี, ม.ป.ป.) ที่ผ่านมาเกษตรกรไม่มีการวัดสภาพแวดล้อมและการคำนวณปริมาณความต้องการน้ำ จึงทำให้ไม่สามารถให้น้ำตามความต้องการของพืชได้อย่างเหมาะสม โดยเทคโนโลยีการตรวจวัดความต้องการของพืชสามารถสั่งการได้ทั้งแบบอัตโนมัติ (auto) แบบตั้งเวลา และแบบสั่งการได้ทันทีนอกเงื่อนไขอัตโนมัติ โดยสั่งการผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ และข้อมูลต่าง ๆ สามารถแสดงผลในรูปแบบตัวเลขกราฟ และไฟล์เอกเซล (excel) โดยจะถูกจัดเก็บไว้ในพื้นที่จัดเก็บข้อมูลคลาวด์เซิร์ฟเวอร์เพื่อความสะดวกและปลอดภัยของข้อมูล ซึ่งเกษตรกรสามารถนำมาประมวลผลเป็นข้อมูลความต้องการของพืชเพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปโดยการเก็บบันทึกค่าสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการเติบโตของพืช ประกอบด้วย ข้อมูลความชื้นในดิน ความชื้นและอุณหภูมิอากาศ และความเข้มแสง เพื่อนำไปบริหารจัดการระบบการให้น้ำได้อย่างเหมาะสม

5. กรอบแนวคิด/สมมติฐานการวิจัย

จากการถ่ายทอดเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตรอัจฉริยะให้แก่เกษตรกรที่ผ่านมาของสถาบันการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรมเกษตร (สท.) สวทช. พบว่า มีข้อจำกัดของอุปกรณ์ในการใช้งานที่สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติพัฒนาขึ้นก่อนหน้านี้ คือ ระยะทางในการส่งสัญญาณระหว่างตัวเซนเซอร์และอุปกรณ์ประมวลผล ซึ่งส่งได้ไกลสุดประมาณ 15 เมตร ตามความยาวของสายเซนเซอร์เท่านั้น เนื่องจากระยะทางที่ไกลเกินกว่านั้นจะมีผลต่อค่าความแม่นยำ และจุดที่วัดค่าห่างไกลจากอุปกรณ์ควบคุมทำให้ต้องเพิ่มอุปกรณ์ควบคุมสำหรับอ่านค่าเซนเซอร์ ซึ่งในกรณีเกษตรแปลงใหญ่จะทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายอุปกรณ์อ่านค่า

และควบคุมมากขึ้น ดังนั้น การศึกษานี้จึงต้องการพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์การวัดความต้องการของพืชแบบไร้สาย เพื่อให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลขึ้น โดยค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์เซนเซอร์จะถูกส่งผ่านสัญญาณแบบไร้สายไปยังอุปกรณ์ประมวลผลและสั่งการควบคุม และใช้ซอฟต์แวร์ตั้งค่าควบคุมการสั่งการทั้งแบบอัตโนมัติและแบบสั่งการตรงผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ ข้อมูลต่าง ๆ จะถูกจัดเก็บไว้ที่พื้นที่จัดเก็บข้อมูลคลาวด์ อีกทั้งยังต้องพัฒนาแหล่งเรียนรู้เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่เกษตรกร

6. ผลการศึกษา

6.1 การพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ การทดสอบในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม ความเสถียร อุปกรณ์ และซอฟต์แวร์

6.1.1 การออกแบบคุณลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์ต้นแบบ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ไร้สาย ดังนี้

- 1) ใช้เซนเซอร์วัดความชื้นดินเป็นตัวแทนความต้องการน้ำของพืช ใช้ควบคุมการปิด-เปิดน้ำอัตโนมัติ
- 2) กำหนดโปรแกรมการให้น้ำพืชได้อย่างน้อยวันละ 5 โปรแกรม (ครั้ง) ตั้งช่วงเวลาให้น้ำอิสระ
- 3) เลือกวันในการให้น้ำได้ (วันจันทร์-วันอาทิตย์)
- 4) ตั้งค่าสั่งการควบคุมการให้น้ำได้โดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่หรือคอมพิวเตอร์
- 5) เก็บบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นอากาศ ความเข้มแสง และความชื้นดิน ดูข้อมูลย้อนหลังได้ 1 ปี
- 6) ข้อมูลที่เก็บบันทึกสามารถประมวลผลและนำข้อมูลออกมาได้ในรูปแบบตัวเลขและกราฟ
- 7) บริหารจัดการระบบได้ทุกที่ที่มีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
- 8) ระบบควบคุม 3 แบบในเครื่องเดียวกัน (อัตโนมัติ หรือตั้งเวลา หรือสั่งการตรง) ประกอบด้วย
 - ระบบอัตโนมัติ ควบคุมการให้น้ำแบบใช้เซนเซอร์ร่วมกับการตั้งเวลาให้น้ำ เป็นระบบให้น้ำพืชที่แม่นยำ (precision farming) เหมาะกับเงื่อนไขการให้น้ำที่มีข้อมูลปริมาณน้ำที่พืชต้องการเทียบกับค่าความชื้นดินและทราบความถี่ในการให้น้ำ
 - ระบบตั้งเวลา ควบคุมการให้น้ำแบบตั้งเวลา เป็นการให้น้ำพืชตามประสบการณ์เดิมที่เคยให้ตามช่วงเวลาเพื่อเตรียมการเก็บข้อมูลสำหรับใช้ระบบอัตโนมัติต่อไป
 - ระบบสั่งการตรง ควบคุมการให้น้ำแบบสั่งพิเศษจากโทรศัพท์นอกพื้นที่ และสามารถเปลี่ยนเงื่อนไขการให้น้ำพืชที่ตั้งไว้ ทั้งนี้ ขึ้นกับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้ในสถานการณ์ต่าง ๆ
 - สามารถอ่านค่าเซนเซอร์ระยะไกลได้มากกว่า 200 เมตร



ภาพที่ 3 ตู้รับ-ส่งสัญญาณ อุปกรณ์ตู้ควบคุมปั้มน้ำ และตู้ router

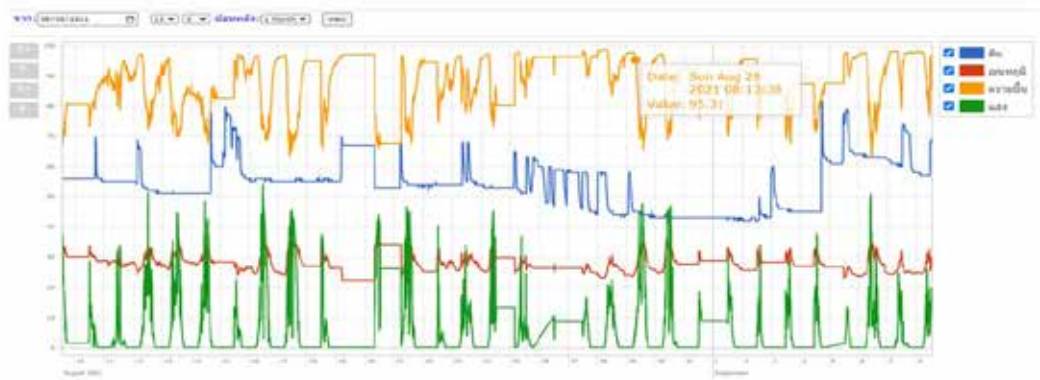


ภาพที่ 4 ตู้เซนเซอร์ประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงการ

6.1.2 การทดสอบต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการ (lab test) และภาคสนาม (field test)

การทำงานของอุปกรณ์เริ่มจากเซนเซอร์ทั้งหมดจะส่งข้อมูลมาที่ตัวรับ-ส่งข้อมูลและประมวลผล จากนั้นตัวรับ-ส่งข้อมูลจะสื่อสารกับตัวด้วยสัญญาณวิทยุ (Wi-Fi) และข้อมูลจะส่งผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตไปที่เซิร์ฟเวอร์ และถูกส่งต่อไปที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งอ่านค่าได้จากซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งในโทรศัพท์ จากนั้นทดสอบการตั้งเวลาให้น้ำพืชจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้การรับ-ส่งข้อมูลและประมวลผลจะส่งสัญญาณที่ได้ไปที่ตัวควบคุมการทำงานของปั๊ม ปั๊มจะเริ่มทำงานและเมื่อสิ้นสุดเวลาที่ตั้งไว้ ปั๊มจะหยุดทำงาน

อุปกรณ์ต้นแบบได้ถูกส่งไปทดสอบที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) สวทช. ซึ่งให้บริการวิเคราะห์ทดสอบมาตรฐานผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบความทนทานของอุปกรณ์ต้นแบบ ทดสอบความปลอดภัยในการใช้งานระบบ และให้มีคุณสมบัติตรงตามประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เรื่อง หลักเกณฑ์การอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่ย่าน 920-925 เมกะเฮิรตซ์ ซึ่งอุปกรณ์ต้นแบบได้ผ่านการทดสอบทั้งหมด



ภาพที่ 5 ค่าเซนเซอร์วัดความชื้นดิน เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศ และเซนเซอร์วัดความเข้มแสงเป็นเวลา 1 เดือน

ผลการทดสอบการใช้งานอุปกรณ์ในภาคสนามในช่วง 1 เดือนแรก แสดงดังภาพที่ 5 พบว่า ข้อมูลของเซนเซอร์ที่สามารถอ่านค่าได้ปกติ ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลจากเซนเซอร์วัดความชื้นดิน เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศ และเซนเซอร์วัดความเข้มแสง และเซนเซอร์ต่าง ๆ ดังกล่าวจะเก็บข้อมูลทุก ๆ 5 นาที

6.1.3 ความเสถียรอุปกรณ์ภายหลังการติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบในพื้นที่ดำเนินการทั้งหมด 5 พื้นที่

ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลความเสถียรของอุปกรณ์เป็นระยะเวลา 3 เดือน คือ ช่วงเดือนมิถุนายนถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2565 โดยข้อมูลที่ได้จากการบันทึกของระบบจะอยู่ในรูปแบบของจำนวนครั้งในการส่งข้อมูล ระบบจะมีการส่งข้อมูลทุก ๆ 5 นาที โดยข้อมูลที่ได้จะมีจำนวน 288 ครั้งต่อวัน พบว่า ทั้ง 5 พื้นที่ดำเนินการมีค่าเฉลี่ยในการส่งข้อมูลมากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี แต่ยังพบอัตราการสูญหายของข้อมูลอยู่บ้าง ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่มาจากโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ระบบไฟฟ้าที่ไม่เสถียร ซึ่งได้มีการแก้ไขตามสาเหตุที่เกิดขึ้น เช่น เปลี่ยนแหล่งจ่ายไฟเป็นโซลาร์เซลล์

6.1.4 ซอฟต์แวร์

ผู้วิจัยได้วิจัยและพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ (application software) ชุดนี้ขึ้นโดยเฉพาะ แสดงดังภาพที่ 6 เพื่อให้มีฟังก์ชันที่เหมาะสม ดังนี้

- 1) สามารถรับส่งข้อมูลไปบันทึกในฐานข้อมูลแบบออนไลน์โดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่
- 2) สามารถตั้งค่าควบคุมแบบออนไลน์โดยใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่เชื่อมต่อระบบกับอินเทอร์เน็ตในการสื่อสารข้อมูล ตั้งค่าอัปเปอร์ (upper) และโลว์เวอร์ ลิมิต (lower limit) พร้อมทั้งตั้งค่ากำหนดเวลาเพื่อสั่งการได้
- 3) ตั้งค่าความถี่ในการบันทึกข้อมูลได้ ปรับความละเอียดในการดูข้อมูล และเลือกช่วงเวลาดูข้อมูลได้
- 4) สามารถเปิด-ปิดการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ได้ กรณีที่ค่าเซนเซอร์มีค่าสูงหรือต่ำกว่า พร้อมทั้งเมื่อค่ากลับมาปกติ
- 5) มีการแจ้งเตือนหากไม่ได้รับข้อมูลจากเซนเซอร์ไร้สาย
- 6) มีการแจ้งเตือนหากข้อมูลที่ได้รับจากเซนเซอร์มีความผิดปกติหรือเกิดข้อผิดพลาด (error) ที่เซนเซอร์
- 7) สามารถตั้งชื่อ เปลี่ยนชื่อ ย้ายการแจ้งเตือน จากเซนเซอร์หรือเอาต์พุต (output) ไปที่ยูสเซอร์ (user) ได้
- 8) เมื่อสั่งงานอยู่ในโหมดอัตโนมัติ (auto) ระบบจะทำงานตามโปรแกรมที่ตั้งค่าไว้ โดยไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต
- 9) เลือกดูข้อมูลแสดงผลค่าเซนเซอร์แบบกราฟและส่งออก (export) เป็นตัวเลขได้
- 10) แสดงข้อมูลสถิติที่เซนเซอร์อ่านค่าในรูปแบบกราฟ และส่งออกข้อมูลตัวเลขได้สามารถแจ้งเตือน อัปเปอร์และโลว์เวอร์ ลิมิตได้
- 11) ติดตั้งบอร์ดอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งสำหรับอ่านค่าเซนเซอร์และส่งสัญญาณควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ สื่อสารด้วยสายไฟในการรับ-ส่งข้อมูล
- 12) ฟังก์ชันอัตโนมัติสามารถตั้งค่าการให้น้ำโดยใช้ค่าความชื้นดินร่วมกับการตั้งเวลาให้น้ำได้ สามารถตั้งค่าการให้น้ำโดยตั้งเวลาได้น้อย 5 โปรแกรมต่อวัน เลือกวันในการให้น้ำได้ เพื่อลดการสูญเสียน้ำ อันมีสาเหตุมาจากการให้น้ำครั้งเดียวทำให้พืชดูน้ำไปใช้ไม่ทัน
- 13) ฟังก์ชันพิเศษ สั่งการให้น้ำจากโทรศัพท์ได้ทันที ข้ามเงื่อนไขฟังก์ชันอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ
- 14) แจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์ได้ทั้งรายบุคคลและกลุ่ม และให้บริการซอฟต์แวร์บนโทรศัพท์ เป็นระยะเวลา 1 ปี



ภาพที่ 6 ตัวอย่างภาพบนโทรศัพท์ของซอฟต์แวร์ที่ใช้อ่านค่าหรือส่งข้อมูลเพื่อเชื่อมต่อเซนเซอร์

6.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อกวดสูตรการผลิตพืช

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อกวดสูตรการผลิตพืชทดสอบ จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ ทูเรียน ลำไย มะเขือเทศ เมล็ดพันธุ์เมลอน และเมลอนผลสด โดยสรุปผลการศึกษาดังนี้

6.2.1 ทูเรียน

จากการศึกษาวิธีการให้น้ำทุเรียนตามค่าความชื้นดินผ่านเทคโนโลยีการให้น้ำ พบว่า ต้นทุเรียน มีอัตราการหลุดร่วงของดอกและผลทุเรียนลดลง อีกทั้งผลผลิตและองค์ประกอบของทุเรียน ได้แก่ น้ำหนักผล ความยาวผล ความกว้างผล ความหนาเปลือก น้ำหนักเนื้อ และน้ำหนักเมล็ดมีค่ามากที่สุด เมื่อเทียบกับการให้น้ำตามวิธีเกษตรกร ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 แม้ว่าการศึกษาลักษณะของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ความหนาเนื้อ และสัดส่วนที่บริโภคได้จะไม่มี ความแตกต่างกันมากนัก แต่กลับพบว่า วิธีการให้น้ำตามค่าความชื้นดิน (2.20 °Brix, 17.43 มิลลิเมตร และร้อยละ 28.67) มีแนวโน้มสูงกว่าการให้น้ำตามวิธีเกษตรกร (1.60 °Brix, 16.00 มิลลิเมตร และร้อยละ 24.11) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Masri et al. (2011) รายงานว่า ความชื้นดินมีผลอย่างมากต่อการติดดอกของต้นทุเรียน หากมีการให้น้ำไม่เพียงพอเป็นระยะเวลานานและต่อเนื่องจะทำให้ต้นทุเรียนไม่สามารถกระตุ้นการผลิตดอกได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การขาดแคลนน้ำที่รุนแรงหรือให้น้ำในปริมาณที่มากเกินไปอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พืชออกดอกลดลงและมีจำนวนดอกน้อยลงอีกด้วย (Johnson et al., 1992) การติดตั้งระบบตรวจวัดและควบคุมแบบไร้สายช่วยลดต้นทุนในการผลิตทุเรียน ณ สวนบัวแก้ว จังหวัดระยอง โดยสามารถลดแรงงานในการให้น้ำและปุ๋ยในช่วงระยะออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยว ลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายแก่ผลผลิตพืช เช่น ให้น้ำมากเกินไปจนเกิดโรครากเน่า และประหยัดน้ำได้ถึง 59.39 ลิตรต่อต้นต่อวัน หรือคิดเป็นร้อยละ 48.27 (จากเดิม 123.04 ลิตรต่อต้นต่อวัน เป็น 63.65 ลิตรต่อต้นต่อวัน)

ตารางที่ 1 อัตราการหลุดร่วงของดอกและผลทุเรียน

กรรมวิธี	อัตราการหลุดร่วงของดอก (%)			อัตราการหลุดร่วงของผล (%)
	ระยะกระตุบถึงระยะหูกำไล	ระยะหูกำไลถึงระยะทางแย้	ระยะกระตุบถึงระยะทางแย้	
T1: ให้น้ำตามค่าความชื้นดิน	40.32	64.15	78.60	80.70
T2: ให้น้ำตามวิธีเกษตรกร	67.05	63.75	88.06	87.29

ตารางที่ 2 ผลผลิตและองค์ประกอบของทุเรียน

กรรมวิธี	น้ำหนักผล (กก.)	ความยาวผล (เซนติเมตร)	ความกว้างผล (เซนติเมตร)	ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (°Brix)	น้ำหนักแห้งเนื้อ (%)
T1: ให้น้ำตามค่าความชื้นดิน	3.02 a ^{1/}	23.90 a	19.00 a	2.20	37.16
T2: ให้น้ำตามวิธีเกษตรกร	1.62 b	18.20 b	16.00 b	1.60	38.18
F-test	**2/	**	**	ns	ns
CV (%)	9.61	6.35	3.19	48.17	4.67
กรรมวิธี	ความหนาเปลือก (มิลลิเมตร)	ความหนาเนื้อ (มิลลิเมตร)	น้ำหนักเนื้อ (กิโลกรัม)	น้ำหนักเมล็ด (กิโลกรัม)	สัดส่วนที่บริโภคได้ (เนื้อทุเรียน; %)
T1: ให้น้ำตามค่าความชื้นดิน	23.15 a	17.43	0.87 a	0.19 a	28.67
T2: ให้น้ำตามวิธีเกษตรกร	18.03 b	16.00	0.37 b	0.09 b	24.11
F-test	*	ns	**	**	ns
CV (%)	15.64	7.20	21.66	14.60	23.21

^{1/} เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)

^{2/} ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ, * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และ ** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

6.2.2 ลำไย

จากการศึกษาวิธีการให้น้ำต้นลำไยตามค่าความชื้นดินผ่านเทคโนโลยีการให้น้ำ พบว่า แปลงที่ติดตั้งระบบการให้น้ำ ต้นลำไยมีจำนวนการติดผลและผลผลิตมีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ติดตั้งระบบ แม้ว่าการศึกษาลักษณะของผลผลิต น้ำหนักเนื้อ และของแข็งละลายได้ในน้ำ จะไม่มีความแตกต่างกัน แต่กลับพบว่า แปลงที่ติดตั้งระบบให้ค่าที่มีแนวโน้มสูงกว่าแปลงที่ไม่ติดตั้งระบบ จะเห็นได้ว่า การให้น้ำผ่านระบบ นอกจากจะให้ผลผลิตที่ดีกว่าแล้ว ยังช่วยลดการสูญเสียน้ำที่เกินความต้องการของต้นลำไย นอกจากนี้ ระบบยังช่วยลดต้นทุนในการผลิตลำไย ณ ศูนย์เรียนรู้การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าเกษตร แปลงลำไย ตำบลแม่หวดพระอำเภอมะนัง จังหวัดเชียงใหม่ โดยลดแรงงานและเวลาในการให้น้ำและปุ๋ยในช่วงระยะออกดอกจนถึงเก็บเกี่ยว เนื่องจากเกษตรกรต้องเดินเปิดน้ำที่ละโซน ซึ่งมีวาล์วน้ำกระจายอยู่ทั่วสวนลำไย จากเดิมใช้เวลาดูแล 7 วันต่อสัปดาห์

เหลือเพียง 4 วันต่อสัปดาห์ ทำให้ลดค่าจ้างแรงงานเพื่อรดน้ำลงได้ร้อยละ 43 หรือคิดเป็นมูลค่า 53,040 บาทต่อปี (คิดจากค่าแรงงานขั้นต่ำจังหวัดเชียงใหม่ 340 บาทต่อวันต่อคน) และเกษตรกรสามารถใช้เวลาที่เหลือไปทำการเกษตรอื่น ๆ เพื่อให้มีรายได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย และลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายแก่ผลผลิต เพราะควบคุมการให้น้ำตามความต้องการของพืชได้ และประหยัดน้ำได้ถึง 1,903.2 ลิตรต่อต้นต่อปี คิดเป็นร้อยละ 26.36 (จากเดิม 7,219.20 ลิตรต่อต้นต่อปี เป็น 5,316.00 ลิตรต่อต้นต่อปี) อีกทั้ง ผลผลิตลำไยเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 30.08 ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตของลำไยที่ให้น้ำด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 2 กรรมวิธี

กรรมวิธี	น้ำหนักผล	ความกว้างผล	ความยาวผล	ผลผลิตเฉลี่ยต่อต้น
	กรัม	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	กิโลกรัม
T1: แปลงที่ไม่ติดตั้งระบบการให้น้ำอัจฉริยะ	11.36	29.07	25.27	34.47
T2: แปลงที่ติดตั้งระบบการให้น้ำอัจฉริยะ	11.12	28.99	25.35	75.95
F-test	ns	ns	ns	*
CV (%)	6.51	5.94	5.14	40.97

1 ns ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ, * มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P \leq 0.01$)

2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)

6.2.3 มะเขือเทศ

จากการศึกษาความถี่ในการให้น้ำที่เหมาะสมและเปรียบเทียบวัสดุปลูกที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะเขือเทศภายใต้โรงเรือน พบว่า การให้น้ำ 12 ครั้งต่อวันร่วมกับการปลูกในวัสดุผสม ทำให้ต้นมะเขือเทศมีค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเถา ความยาวใบ และความกว้างใบสูงที่สุด ความหนาเปลือกและความหนาเนื้อมีค่ามากที่สุดเมื่อปลูกในวัสดุผสม อีกทั้งการให้น้ำ 8 ครั้งต่อวันทำให้ต้นมะเขือเทศมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้สูงที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Daundasekera and P. A. W. A. N. K. (2010) ที่รายงานว่า ปริมาณน้ำที่ลดลงทำให้การสะสมน้ำในผลและน้ำหนักผลผลิตลดลง แต่จะเพิ่มปริมาณของแข็งที่ละลายได้ แม้ว่าการศึกษาลักษณะผลผลิตจะไม่มี ความแตกต่างกัน แต่กลับพบว่า ผลผลิตที่ได้จากการให้น้ำ 12 ครั้ง ในวัสดุทั้งสองชนิด (623.57 และ 624.11 กรัมต่อต้น) มีแนวโน้มของผลผลิตสูงกว่าการให้น้ำ 8 ครั้ง ในวัสดุทั้งสองชนิด (561.72 และ 567.05 กรัมต่อต้น) ดังตารางที่ 4 สำหรับการลดต้นทุนในการผลิตมะเขือเทศ ณ โรงเรือน AGRITEC Station ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอกลองหลวง จังหวัดปทุมธานี พบว่า สามารถลดค่าแรงงานในการให้น้ำและปุ๋ย ตั้งแต่ช่วงระยะการเจริญเติบโตจนถึงเก็บเกี่ยวได้ถึงร้อยละ 66 โดยลดจากเดิม 70 เหลือเพียง 24 คนต่อชั่วโมง (man-hour) ต่อรอบการผลิต (4 เดือน) หรือลดไป 46 คนต่อชั่วโมง หรือคิดเป็นมูลค่า 2,066 บาทต่อรอบการผลิต (คิดจากค่าแรงงานขั้นต่ำจังหวัดปทุมธานี 353 บาทต่อวันต่อคน) และลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายแก่ผลผลิต ช่วยเพิ่มการติดผลสม่ำเสมอได้ตลอดข้อ ทำให้สามารถขายผลผลิตได้ในราคาที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยจำนวนผล ผลผลิต และผลผลิตรวมของมะเฟืองเทศที่ปลูกด้วยวิธีการให้น้ำในเวลาที่ 2 กรรมวิธีที่แตกต่างกันภายใต้การปลูกในถุงพลาสติกโดยใช้วัสดุปลูกที่แตกต่างกัน 2 กรรมวิธี

ปัจจัย	จำนวนผล (ผลต่อดัน)	ผลผลิต (กรัมต่อดัน)	ผลผลิตรวม (กรัม)
Main plot: ความถี่การให้น้ำ			
A1 ให้น้ำ 8 ครั้งต่อวัน	156.98	564.39	2,732.00
A2 ให้น้ำ 12 ครั้งต่อวัน	171.26	623.84	2,876.90
Sub plot: วัสดุปลูก			
B1 วัสดุผสม	168.29	592.65	2,720.90
B2 ทราย	159.94	595.58	2,888.00
Main plot x Sub plot			
A1×B1	158.13	561.72	2,808.06
A1×B2	155.82	567.05	2,655.30
A2×B1	178.44	623.57	2,633.30
A2×B2	164.07	624.11	3,120.60

6.2.4 เมล็ดพันธุ์เมลอน

จากการศึกษาวิธีการให้น้ำที่เหมาะสมต่อการผลิตเมล็ดพันธุ์เมลอนผ่านเทคโนโลยีการให้น้ำในแปลงเปิดพบว่า แปลงสาธิตซึ่งมีการให้น้ำตามความต้องการของเมล็ดพันธุ์เมลอน ทำให้ร้อยละความงอก ดัชนีความงอก เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความกว้างใบ ความยาวใบ น้ำหนักแห้งราก และน้ำหนักสดราก มีค่ามากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแปลงผลิต ซึ่งมีการตั้งค่าการให้น้ำตามวิธีของเกษตรกร แม้ว่าการศึกษาลักษณะความสูงต้น ความยาวราก น้ำหนักแห้ง-สดของลำต้นและใบจะไม่มี ความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 5 แต่กลับพบว่า แปลงสาธิตมีแนวโน้มสูงกว่าแปลงผลิต ดังนั้น การให้น้ำผ่านระบบ นอกจากจะให้คุณภาพเมล็ดพันธุ์ที่ดีกว่าแล้ว ยังช่วยลดการสูญเสียน้ำที่เกินความต้องการของต้นเมลอนได้ สำหรับการลดต้นทุนในการผลิตเมล็ดพันธุ์เมลอน ณ แปลงเมล็ดพันธุ์เมลอน ตำบลบ้านหนองโก อำเภอกระบือ จังหวัดมหาสารคาม ประกอบด้วย การลดแรงงาน และเวลาในการให้น้ำและปุ๋ยในช่วงระยะการเจริญเติบโตจนถึงระยะเก็บเกี่ยว และประหยัดน้ำได้ถึง 26.54 ลิตรต่อดันต่อปี คิดเป็นร้อยละ 37.91 (จากเดิม 70 ลิตรต่อดัน เป็น 43.46 ลิตรต่อดัน)

ตารางที่ 5 ความงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าเมล็ดพันธุ์เมลอนที่ได้รับน้ำที่แตกต่างกัน 2 กรรมวิธี

กรรมวิธี	ความงอก (%)	ดัชนี ความงอก (ต้นต่อวัน)	ความสูง (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	เส้นผ่าน ศูนย์กลาง ลำต้น (มิลลิเมตร)	ความกว้างใบ (เซนติเมตร)	ความยาวใบ (เซนติเมตร)
T1: แปลงผลิต ^{1/}	36.66 b ^{3/}	4.70 b	8.06 b	7.66	2.40 b	1.93 b	1.68 b
T2: แปลงสาธิต	62.66 a	10.22 a	9.68 a	9.02	2.81 a	2.72 a	2.64 a
F-test	**2/	**	*	ns	**	**	**
CV (%)	11.97	16.67	4.97	14.16	3.42	4.49	7.40

^{1/} T1: แปลงผลิต คือ การตั้งค่าการให้น้ำตามวิธีเกษตรกร และ T2: แปลงสาธิต คือ การตั้งค่าการให้น้ำตามความต้องการของพืช

^{2/} ns ไม่แตกต่างทางสถิติ *, ** แสดงนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และร้อยละ 99 ตามลำดับ

^{3/} เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)

6.2.5 เมลอน

จากการศึกษาความถี่ของการให้น้ำ (โดยปริมาณน้ำรวมที่ให้เท่ากัน) และวัสดุปลูกที่แตกต่างกัน ในการปลูกเมลอนภายใต้สภาพโรงเรือน พบว่า การให้น้ำในความถี่ 4 ครั้งต่อวัน ร่วมกับการปลูกในขุยมะพร้าวผสมมะพร้าวสับ ทำให้ต้นเมลอนมีค่าความยาวเถา เส้นผ่านศูนย์กลางเถา จำนวนใบ ความกว้างใบ ความยาวผล ความกว้างผล และร้อยละน้ำหนักผลผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ และการให้น้ำความถี่ 8 ครั้งต่อวัน ร่วมกับการปลูกในขุยมะพร้าวผสมมะพร้าวสับ ส่งผลให้ต้นเมลอนในระยะเก็บเกี่ยวผลผลิตมีค่าความหนาเนื้อและร้อยละเนื้อสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ ดังตารางที่ 6 สำหรับการลดต้นทุนในการผลิตเมลอนผลสดในโรงเรือน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต วิทยาเขตสุพรรณบุรี พบว่า สามารถลดค่าแรงงานในการให้น้ำและปุ๋ยตั้งแต่ช่วงระยะการเติบโตจนถึงเก็บเกี่ยวได้มากถึงร้อยละ 75 โดยลดจำนวนแรงงานจากเดิม 56 คนต่อชั่วโมง เหลือเพียง 14 คนต่อชั่วโมง และลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายแก่ผลผลิต

ตารางที่ 6 องค์ประกอบผลผลิต

ปัจจัย	ความหนาเนื้อ	ความหนาเปลือก	ร้อยละเนื้อ	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้
	(เซนติเมตร)		(ร้อยละ)	(°Brix)
A: การให้น้ำ				
A1 ให้น้ำ 4 ครั้งต่อวัน	3.40 b ^{2/}	6.18	45.93 b	14.88
A2 ให้น้ำ 8 ครั้งต่อวัน	3.82 a	6.56	51.97 a	14.81
F-test	*1/	ns	*	ns
B: วัสดุปลูก				
B1 ทราย	3.46 b	6.42	47.59	15.00
B2 ขุยมะพร้าวผสมมะพร้าวสับ	3.76 a	6.33	50.31	14.69
F-test	*	ns	ns	ns
ปัจจัย A×B				
A1×B1	3.19 b	6.48	43.76	15.13
A1×B2	3.61 ab	5.88	48.10	14.63
A2×B1	3.73 ab	6.35	51.43	14.87
A2×B2	3.91 a	6.77	52.52	14.75
F-test	*	ns	ns	ns
CV (%)	9.17	11.16	6.06	5.07

^{1/} เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Least Significant Difference (LSD)

^{2/} ns ไม่แตกต่างกันทางสถิติ * แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ** แตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

7. การอภิปรายผล

เทคโนโลยีการตรวจวัดความต้องการของพืช เป็นระบบที่ช่วยวัดความต้องการของพืชสำหรับการเกษตรแบบแม่นยำ เพื่อประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับการปลูกพืชในระบบแปลงเปิดและระบบโรงเรือน เพราะโดยหลักการให้น้ำแก่พืช ต้องให้ตามความต้องการของพืชอย่างเหมาะสมและตามความสามารถของดินที่จะอุ้มน้ำไว้ได้ ดังนั้น

เทคโนโลยีการตรวจวัดความต้องการของพืชจะช่วยควบคุมปัจจัยการผลิตต่าง ๆ โดยเฉพาะทรัพยากรน้ำ ที่ในปัจจุบันมีอยู่อย่างจำกัด และเป็นการลดความสูญเสียของผลผลิตได้อย่างทันทั่วทั้งที่ ทั้งนี้ เทคโนโลยีตรวจวัดความต้องการของพืชที่ใช้ในระบบแปลงเปิด และในระบบโรงเรือนในการศึกษารุ่นนี้ได้ติดตั้งระบบให้สอดคล้องกับการดูแลและบริหารจัดการแปลงตามการผลิตทั้ง 5 ชนิดพืชได้ โดยในแปลงเปิดเป็นไม้ผล และในโรงเรือนเป็นพืชผัก ระบบสามารถตรวจวัดสภาพแวดล้อมและควบคุมการบริหารจัดการน้ำและปุ๋ยได้เหมือนกัน

งานวิจัยได้พัฒนาต้นแบบอุปกรณ์การตรวจวัดความต้องการของพืชและควบคุมการเกษตรแบบไร้สาย ให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลขึ้น เมื่อเทียบกับระบบที่ใช้ตามความยาวของสายเซนเซอร์มากกว่า 15 เมตร และมีความเสถียรของสัญญาณมาก โดยขึ้นค่าเฉลี่ยในการส่งข้อมูลมากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี เนื่องจากเปลี่ยนระบบรับส่งข้อมูลจากเซนเซอร์โดยใช้สายสัญญาณที่มีข้อจำกัดความยาวเกิน 15 เมตร มาเป็นระบบไร้สาย รับส่งข้อมูลผ่านลอราแวนและอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ด้วยระบบนี้สามารถสื่อสารทางไกลและมีช่องรับสัญญาณมากขึ้น ทำให้ไม่มีข้อจำกัดในการรับส่งข้อมูล และมีความเสถียรของสัญญาณมากขึ้นด้วย ใช้วิธีวิจัยเชิงทดลอง ในพื้นที่ทดสอบ 5 แห่ง และพืชทดสอบ 5 ชนิด พบว่า ระบบประสบความสำเร็จอย่างดี สามารถตรวจวัดความต้องการของพืช สามารถสั่งการได้ทั้งแบบอัตโนมัติ แบบตั้งเวลา และแบบสั่งการได้ทันทีนอกเงื่อนไขอัตโนมัติ โดยสั่งการผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่และข้อมูลต่าง ๆ สามารถแสดงผลออกมาในรูปแบบตัวเลข กราฟ และจัดเก็บไว้ที่พื้นที่จัดเก็บข้อมูลคลาวด์เพื่อความสะดวกและปลอดภัยในการเรียกใช้ข้อมูลย้อนหลัง

จากการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานเทคโนโลยีการตรวจวัดและควบคุมแบบไร้สายร่วมกับเกษตรกร เกษตรกรพบว่า ระบบใช้งานได้ดี ง่ายต่อการใช้งาน และสามารถให้น้ำแก่พืชต้องให้น้ำได้ตามความต้องการของพืชอย่างเหมาะสม ส่งผลให้เพิ่มผลผลิตเช่นในกรณีลำไยที่มีจำนวนการติดผลและผลผลิตมีค่าสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงที่ไม่ได้ติดตั้งระบบ ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายแก่ผลผลิตเช่นในกรณีวิธีการให้น้ำทุเรียนตามค่าความชื้นดินผ่านเทคโนโลยีการให้น้ำอัจฉริยะ ทำให้ต้นทุเรียนมีอัตราการหลุดร่วงของดอกและผลทุเรียนลดลง และในกรณีการให้น้ำผ่านระบบยังช่วยลดการสูญเสียน้ำที่เกินความต้องการของต้นเมลอนทำให้เมล็ดพันธุ์มีคุณภาพดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยประหยัดน้ำและเวลาในการให้น้ำและใส่ปุ๋ยดังตัวอย่างการผลิตผลมะเขือเทศ และผลเมลอนในโรงเรือน อีกทั้งยังสามารถเป็นแหล่งเรียนรู้แก่ผู้สนใจได้เป็นอย่างดี

8. ข้อสรุป

จากผลการวิจัย พบว่า การปฏิบัติงานด้านเกษตรสมัยใหม่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แต่การใช้อุปกรณ์ดังกล่าวมีข้อจำกัดด้านคุณสมบัติในการใช้งานที่ต้องพัฒนาและปรับปรุงให้เหมาะกับบริบททางการเกษตรในประเทศไทย ซึ่งมีสภาพอากาศร้อน ความชื้นสูง และอุปกรณ์ในระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งจะต้องใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ที่เกษตรกรมีอยู่แล้วได้โดยง่าย เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย เช่น ตัวควบคุมปั้มน้ำ นอกจากนี้ การปรับพฤติกรรมของเกษตรกรให้เกิดการยอมรับ และเชื่อมั่นในการใช้ระบบเกษตรสมัยใหม่มีส่วนสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาการเกษตรให้เกิดความเปลี่ยนแปลงนำไปสู่การเกษตรสมัยใหม่ เพื่อเตรียมความพร้อมในการเผชิญกับความเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้ รวมไปถึงการตกค้างของสารเคมีที่มาจากการใช้ปุ๋ยหรือยากำจัดศัตรูพืชที่มากเกินไป ความจำเป็น ซึ่งจะส่งผลเสียต่อผู้บริโภคทั้งในเรื่องราคาที่สูงขึ้นและคุณภาพผลผลิตที่ลดลง

งานวิจัยสามารถสรุปผลการวิจัยตามเป้าหมายและตัวชี้วัดของงานวิจัย ดังนี้

8.1 สามารถพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบระบบตรวจวัดและควบคุมแบบไร้สายที่ส่งสัญญาณได้ไกลและมีความเสถียร อีกทั้งสามารถควบคุมและใช้งานผ่านระบบซอฟต์แวร์ที่สะดวกและใช้งานง่าย ช่วยให้การจัดการสภาพแวดล้อมในการปลูกพืชแม่นยำมากขึ้น ประกอบด้วยต้นแบบระบบสำหรับแปลงเปิด จำนวน 3 ชุด และต้นแบบระบบสำหรับโรงเรือน จำนวน 2 ชุด

8.2 สามารถพัฒนาพื้นที่ติดตั้งอุปกรณ์ต้นแบบให้เป็นแหล่งเรียนรู้ที่มีอุปกรณ์ต้นแบบวัดความต้องการของพืชและสั่งการควบคุมแบบไร้สาย เพื่อให้เกษตรกรหรือผู้สนใจเข้าไปศึกษาดูงาน รวม 5 พื้นที่ โดยเกษตรกรแกนนำทั้งหมดมีความพึงพอใจในการใช้งานระบบตรวจวัดและควบคุมไร้สายมากกว่าร้อยละ 88

8.3 สามารถลดค่าใช้จ่ายหรือเพิ่มรายได้ให้เกษตรกรที่ร่วมโครงการได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ดังนี้

8.3.1 พื้นที่ผลิตทุเรียน สวนบัวแก้ว จังหวัดระยอง พบว่า สามารถลดแรงงานในการให้น้ำและปุ๋ย ลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายแก่ผลผลิต เช่น ให้น้ำมากเกินไปจนเกิดโรคจากเชื้อรา อีกทั้งยังสามารถประหยัดน้ำ ได้ถึง 59.39 ลิตรต่อต้นต่อวัน หรือร้อยละ 48.27

8.3.2 พื้นที่ผลิตลำไย จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า สามารถลดแรงงานในการให้น้ำและปุ๋ย จาก 7 วัน เหลือเพียง 4 วันต่อสัปดาห์ ทำให้ลดค่าจ้างแรงงานเพื่อรดน้ำลงได้ร้อยละ 43 หรือคิดเป็นมูลค่า 53,040 บาทต่อปี และเกษตรกรสามารถใช้เวลาที่เหลือไปทำการเกษตรอื่น ๆ เพื่อเพิ่มรายได้ได้อีกด้วย และลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายแก่ผลผลิต สามารถควบคุมการให้น้ำตามความต้องการของพืชและประหยัดน้ำ ได้ถึง 1,903.2 ลิตรต่อต้นต่อปี หรือร้อยละ 26.36 ขณะที่ผลผลิตลำไยเพิ่มขึ้นร้อยละ 30.08

8.3.3 โรงเรือนผลิตมะเขือเทศ AGRITEC Station สวทช. อำเภอลองหลวง จังหวัดปทุมธานี พบว่า สามารถลดค่าแรงงานในการจัดการให้น้ำและปุ๋ยตั้งแต่ช่วงการเจริญเติบโตจนถึงระยะเก็บเกี่ยวได้ร้อยละ 66 ต่อรอบการผลิต (4 เดือน) หรือคิดเป็นมูลค่า 2,066 บาทต่อรอบการผลิต ลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายแก่ผลผลิต เพราะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอากาศให้ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสม ช่วยเพิ่มการติดผลสม่ำเสมอ ได้ตลอดข้อ ทำให้สามารถขายผลผลิตได้ในราคาที่สูงขึ้น

8.3.4 พื้นที่ผลิตเมล็ดพันธุ์เมลอน จังหวัดมหาสารคาม พบว่า สามารถลดแรงงานและเวลาในการให้น้ำและปุ๋ยได้ และประหยัดน้ำได้ถึง 26.54 ลิตรต่อต้นต่อปี คิดเป็นร้อยละ 37.91

8.3.5 โรงเรือนปลูกเมลอน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต วิทยาเขตสุพรรณบุรี จังหวัดสุพรรณบุรี พบว่า สามารถลดค่าแรงงานในการจัดการให้น้ำและปุ๋ยตั้งแต่ช่วงการเจริญเติบโตจนถึงระยะเก็บเกี่ยวได้ร้อยละ 75 ทำให้มีเวลาดูแลรักษาและจัดการส่วนอื่น ๆ ในโรงเรือน เช่น ตรวจหัวจ่ายน้ำ ตรวจสอบโรคนต้นพืช หรือตัดแต่งกิ่ง และช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหายแก่ผลผลิต เพราะควบคุมการให้น้ำตามความต้องการของพืช และควบคุมสภาพแวดล้อมให้ใกล้เคียงกับสภาพที่เหมาะสมได้

9. ข้อเสนอแนะ

9.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาในอนาคต

9.1.1 เกษตรกรสามารถนำองค์ความรู้ด้านสภาพแวดล้อมจากระบบตรวจวัดและควบคุมแบบไร้สายที่ใช้ในการปลูกพืชทั้ง 5 แห่ง เป็นแนวทางในการปลูกพืชได้ อย่างไรก็ตามเกษตรกรยังต้องมีการปรับค่าหรือควบคุมสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับพื้นที่นั้น ๆ เนื่องจากสภาพแวดล้อมในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน เช่น ค่าความชื้นดินที่จะผันแปรไปตามคุณสมบัติในการอุ้มน้ำของดินแต่ละชนิด

9.1.2 การสร้างความเชื่อมั่นและยอมรับในการใช้ระบบเกษตรสมัยใหม่นั้น มีส่วนสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาเกษตรสมัยใหม่ ซึ่งอาจต้องอาศัยความร่วมมือจากหน่วยงานภาครัฐให้เข้ามามีส่วนร่วมในการขับเคลื่อนให้เกษตรกรสามารถเข้าถึง และเข้าใจการใช้งานระบบเกษตรสมัยใหม่เพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตสินค้าเกษตรของไทยให้มากขึ้น

9.1.3 ต้องให้ความรู้กับเกษตรกรเรื่องความเสี่ยงและการจัดการความเสี่ยง เนื่องจากการไม่เข้าใจความเสี่ยงทำให้บางครั้งเกษตรกรลงทุนเพิ่มเติมโดยได้ผลลัพธ์ไม่คุ้มค่าการลงทุน รวมทั้งต้องให้ความรู้กับเกษตรกรในเรื่องเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นที่เกี่ยวกับจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนด้วย

9.1.4 การพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจวัดและควบคุมแบบไร้สายสำหรับการเกษตรสมัยใหม่เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้ภาคการเกษตรของไทยมีเครื่องมือสมัยใหม่ที่จะช่วยบริหารจัดการการทำการเกษตรให้มีความแม่นยำมากขึ้น มีข้อมูลสภาพอากาศจากเซนเซอร์ในระบบที่สามารถวัดค่าออกมาเป็นตัวเลข สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อวางแผนการปลูกได้อย่างแม่นยำมากขึ้น ซึ่งจากการศึกษาการใช้งานแสดงให้เห็นว่า เทคโนโลยีการตรวจวัดและควบคุมแบบไร้สายสำหรับการเกษตรสมัยใหม่สามารถใช้งานจริงได้ดี อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีดังกล่าวยังสามารถพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น และสร้างการใช้งานที่ครอบคลุมการใช้งานที่จำเป็นอื่น ๆ ของภาคการเกษตร เช่น การให้ปุ๋ยทางน้ำ การเพิ่มเซนเซอร์ตรวจวัดค่า pH แต่ทั้งนี้เทคโนโลยีเกษตรสมัยใหม่ยังเป็นเรื่องใหม่ของเกษตรกรไทย ดังนั้น หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต้องเร่งสร้างความเข้าใจให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนเกษตรกรเพื่อสร้างความยั่งยืนและเพิ่มขีดความสามารถทางการแข่งขันให้แก่เกษตรกรของไทยสู่ตลาดโลกต่อไป

9.2 ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายต่อกิจการสื่อสารดิจิทัล

9.2.1 เทคโนโลยีการตรวจวัดและควบคุมแบบไร้สายเป็นเทคโนโลยีที่อุปกรณ์ในระบบสื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ดังนั้น ความเสถียรของสัญญาณอินเทอร์เน็ตจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการใช้งาน ภาครัฐควรกำหนดให้มีการขยายโครงข่ายสัญญาณให้ครอบคลุมทุกพื้นที่ในประเทศ เพื่อให้การใช้งานเทคโนโลยีมีประสิทธิภาพ

9.2.2 เทคโนโลยีเกษตรสมัยใหม่ยังเป็นเรื่องใหม่ของเกษตรกรไทย ซึ่งการสร้างแรงจูงใจในการใช้งานเทคโนโลยีดังกล่าว ภาครัฐควรพิจารณาสนับสนุนการใช้เทคโนโลยีทางด้านดิจิทัลให้กับเกษตรกรที่สนใจ เช่น กำหนดให้ผู้ประกอบการออกแพ็คเกจซิมการ์ด (SIM card) สำหรับเกษตรกรที่สนใจใช้เทคโนโลยีเกษตรสมัยใหม่ เป็นซิมการ์ดที่มีความเร็วไม่สูงมากและอยู่ในราคาที่เกษตรกรสามารถจับต้องได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากเงินกองทุนวิจัยและพัฒนาการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ และได้รับความร่วมมืออย่างดียิ่งจากเครือข่ายเกษตรกรในพื้นที่ดำเนินงาน มหาวิทยาลัยสวนดุสิต วิทยาเขตสุพรรณบุรี สำนักงานเกษตรจังหวัดระยอง สำนักงานเกษตรจังหวัดเชียงใหม่ เครือข่ายเกษตรกรรุ่นใหม่จังหวัดมหาสารคาม และได้รับการสนับสนุนจากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางที่เป็นคณะที่ปรึกษาโครงการประกอบด้วย ศ. ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร ผศ. ดร.วินัย วิริยะอลงกรณ์ รศ. ดร.อุษณีย์ พิษกรรม และ ผศ. ดร.อารักษ์ อีรอำพน ผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

รายการเอกสารอ้างอิง

- กรมชลประทาน. (2554, กรกฎาคม). *คู่มือการคำนวณการใช้น้ำของพืช ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิงและค่าสัมประสิทธิ์พืช*. http://water.rid.go.th/hwm/cropwater/iwmd/pdf/rev_cwr_manual.pdf
- เฉลิมชัย เอี่ยมสะอาด, กนกพร ลิ้มวิวัฒน์, และ ชีรพัชส ประสานสารกิจ. (2564). รายงานการวิจัยเรื่อง โครงการขยายผลงานวิจัยเทคโนโลยีเกษตรสมัยใหม่แบบครบวงจรสู่ชุมชนเกษตรกร. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.).
- เฉลิมชัย เอี่ยมสะอาด, กนกพร ลิ้มวิวัฒน์, ชีรพัชส ประสานสารกิจ, ฉันทนา ยูวะนิยม, สุวิมล ทองผุย, สิริวรรณ สุนทรสารทูล, มณียา ตันเปาว์, ธิญลักษณ์ นนทะศรี, ศุภกร ทาโบราณ, สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร, วินัย วิริยะอลงกรณ์, อุษณีย์ พิษกรรม, และ อารักษ์ ชีรอำพน. (2566). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการการพัฒนาเทคโนโลยีการตรวจวัดและควบคุมแบบไร้สายสำหรับการเกษตรสมัยใหม่เพื่อเพิ่มพูนองค์ความรู้และการพัฒนาเกษตรกรอัจฉริยะ. กองทุนวิจัยและพัฒนาโครงการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคม เพื่อประโยชน์สาธารณะ (กสทช.).
- ศูนย์วิจัยพืชสวนจันทบุรี. (ม.ป.ป.). *การจัดการน้ำในสวนทุเรียน สำหรับชาวสวนยุคใหม่*. https://www.doa.go.th/hc/chanthaburi/?page_id=1920
- Daundasekera, M., & P. A. W. A. N. K., S. (2010, October). Effect of post-harvest calcium chloride vacuum infiltration on the shelf life and quality of tomato (cv. 'Thilina'). *Ceylon Journal of Science (Biological Sciences)*, 39(1), 35–44. <https://doi.org/10.4038/cjsbs.v39i1.2351>
- Johnson, R. S., Handley, D. F., & DeJong, T. M. (1992). Long term response of early maturing peach trees to postharvest water deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(6), 881–886. https://dejong.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk8456/files/inline-files/66-Johnson-Handley-DeJong-JASHS-water-stress-JASHS-1992_0.pdf
- Masri, M., Pengguguran, P. D., Durio, P. D., Murr, Z., Pelbagai, B., & Tanah, R. A. (2011). Flowering, fruit set and fruitlet drop of durian (*Durio Zibethinus* Murr.) under different soil moisture regimes. *Journal of Agricultural, Food, and Environmental Sciences*, 27(1), 9-16. <http://jtafs.mardi.gov.my/jtafs/27-1/Durian.pdf>