

LoRa-Based Agricultural Sensor Data System on IoT

ระบบส่งข้อมูลตัวรับรู้การเกษตรผ่านลอราบนไอโอที

Sittichok Aunkaew^{1,*}, and Poramet Inprom²

สิทธิโชค อุ่นแก้ว^{1,*}, และ ประเมศวร์ อินพรหม²

Received: 15 March 2025;

Revised: 20 April 2025;

Accepted: 21 April 2025;

Published: 22 April 2025;

Abstract

This article investigates the potential of Long Range (LoRa) technology for transmitting environmental data from agricultural sensor nodes—specifically temperature, relative humidity, light intensity, and soil moisture—to a LoRa gateway, which subsequently forwards the data to the IoT Thingsboard platform via an internet connection. The objective is to develop a foundational system for smart agriculture applications, particularly in rural or farmland areas with limited internet connectivity. The prototype system integrates multiple sensor types, including DHT22, light intensity sensors, rainfall sensors, and soil moisture sensors, with LoRa modules and an ESP-32 microcontroller. Field experiments demonstrated that the LoRa-based communication system operates reliably within a maximum range of 200 meters; beyond this distance, signal loss becomes evident. The DHT22 sensor exhibited an average deviation of 0.73°C in temperature and 7.47% in relative humidity. The light intensity sensor showed an average error of 2.90% compared to a reference instrument. Rainfall and soil moisture sensors produced values consistent with actual water levels and soil depth, respectively. The results suggest that the proposed prototype is feasible for real-world implementation in smart farming systems, particularly in areas with limited digital infrastructure. The system offers a low-cost, energy-efficient solution that can support autonomous environmental monitoring and contribute to sustainable agricultural development.

Keywords: LoRa, IoT, Smart Agriculture

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งศึกษาศักยภาพของเทคโนโลยีลอราในการรับส่งข้อมูลจากโหนดตรวจวัดสิ่งแวดล้อมทางการเกษตร อาทิ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง และความชื้นในดินไปยังเกตเวย์เพื่อส่งต่อข้อมูลสู่แพลตฟอร์มไอโอทีริงบอร์ดผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานของระบบเกษตรอัจฉริยะในบริบทพื้นที่ชนบทหรือไร่นาที่มีข้อจำกัดด้านการเชื่อมต่อ

^{1,*} Assistant Professor, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla 90000, Thailand; ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 90000 ประเทศไทย; Email: sittichoka@rmutsv.ac.th

² Student, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla 90000, Thailand; นักศึกษา สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 90000 ประเทศไทย; Email: poramet.in@rmutsvmail.com

*Corresponding authors: Sittichok Aunkaew (sittichoka@rmutsv.ac.th)



อินเทอร์เน็ตระบบต้นแบบประกอบด้วยตัวรับรู้หลายชนิด ได้แก่ ดีเอชที22 ตัวรับรู้ความชื้นแสง ตัวรับรู้ปริมาณน้ำฝน และตัวรับรู้ความชื้นในดิน ร่วมกับมอดูลลอรา และไมโครคอนโทรลเลอร์อีแอลพี32 ผลการทดลองภาคสนามพบว่า การรับส่งข้อมูลผ่านลอรามีความเสถียรในระยะไม่เกิน 200 เมตร โดยหากเกินกว่านี้จะเริ่มเกิดสัญญาณขาดหาย ตัวรับรู้ดีเอชที22 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของอุณหภูมิ 0.73 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 7.47 ขณะที่ตัวรับรู้ความชื้นแสงมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 2.90 เมื่อเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน ตัวรับรู้ปริมาณน้ำฝนและความชื้นในดินให้ค่าที่สัมพันธ์กับระดับปริมาณน้ำและความลึกของการฝังตัวรับรู้ตามลำดับ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบต้นแบบมีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในระบบเกษตรอัจฉริยะ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่โครงสร้างพื้นฐานทางดิจิทัลยังไม่เอื้ออำนวย

คำสำคัญ: ลอรา, ไอโอที, เกษตรอัจฉริยะ

1. บทนำ (Introduction)

ปัจจุบันเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีการพัฒนาและนำไปใช้อย่างแพร่หลายในหลากหลายสาขา อาทิ เมืองอัจฉริยะ (Smart City), ระบบพลังงานและสิ่งแวดล้อม (Energy and Environment), การดูแลสุขภาพ (Healthcare IoT) และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคการเกษตร ซึ่งรู้จักกันในชื่อ “การเกษตรอัจฉริยะ” (Smart Agriculture) แนวคิดของการเกษตรอัจฉริยะ คือการนำเทคโนโลยีดิจิทัลและระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยในการบริหารจัดการ การเพาะปลูก และการดูแลรักษาพืชผลอย่างเป็นระบบ โดยใช้อุปกรณ์ตัวรับรู้ที่ใช้ตรวจวัดสภาพแวดล้อม (Sensors) และอุปกรณ์ควบคุม (Actuators) ที่สามารถเชื่อมต่อและสื่อสารกันผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อให้สามารถรับข้อมูลแบบเรียลไทม์ วิเคราะห์สถานะแวดล้อม และสั่งการอัตโนมัติจากระยะไกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งจำเป็นต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐานด้านการสื่อสารข้อมูลที่มีความเสถียรเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลจากพื้นที่ปฏิบัติงานมายังศูนย์กลางได้อย่างต่อเนื่อง ในพื้นที่ชนบทหรือไร่นาที่มีข้อจำกัดด้านสัญญาณอินเทอร์เน็ต การเลือกใช้เทคโนโลยีการสื่อสารระยะไกลที่ใช้พลังงานต่ำ เช่น เทคโนโลยีลอราจึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาระบบเกษตรอัจฉริยะที่เข้าถึงได้ในทุกภูมิภาค

การผสานเทคโนโลยีการสื่อสารระยะไกลที่ใช้พลังงานต่ำอย่างเทคโนโลยีลอราเข้ากับแพลตฟอร์มไอโอที ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในภาคเกษตรกรรม เนื่องจากความสามารถในการส่งข้อมูลในระยะไกลหลายกิโลเมตรด้วยพลังงานต่ำ ต้นทุนที่คุ้มค่า และความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ชนบทหรือไร่นาที่มีข้อจำกัดด้านการเข้าถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Adelantado et al., 2017) ความสามารถของเทคโนโลยีลอราในการรักษาความเสถียรของสัญญาณแม้ในสภาพแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวาง (Non-Line-of-Sight: NLOS) ทำให้เหมาะสำหรับการเฝ้าติดตามพื้นที่เพาะปลูกขนาดใหญ่ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยยังพบข้อจำกัดด้านการลดทอนของสัญญาณ โดยเฉพาะเมื่อระยะทางเกินกว่า 200 – 300 เมตร ในพื้นที่ที่มีพืชพรรณหนาแน่น ซึ่งนำไปสู่ความไม่ต่อเนื่องของข้อมูลและประสิทธิภาพที่ลดลง (Adelantado et al., 2017) ในแง่ของการใช้งานจริงเทคโนโลยีลอราสามารถบูรณาการร่วมกับอุปกรณ์ตัวรับรู้ตรวจวัดสิ่งแวดล้อม เช่น ตัวรับรู้อุณหภูมิและความชื้น (DHT22) ตัวรับรู้ความชื้นในดินแบบคาปาซิทีฟ และตัวรับรู้ความชื้นแสง เพื่อใช้ในระบบเกษตรอัจฉริยะ (Khedo et al., 2010) แต่อุปกรณ์เหล่านี้ยังมีข้อจำกัดในด้านความแม่นยำของข้อมูล โดยเฉพาะเมื่อไม่ได้รับการสอบเทียบอย่างเหมาะสม ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของข้อมูลและการตัดสินใจในระบบอัตโนมัติ การสอบเทียบตัวรับรู้อย่างสม่ำเสมอจึงเป็นประเด็นที่จำเป็นและท้าทายต่อการประยุกต์ใช้งานในระยะยาว แพลตฟอร์มไอโอทีบนคลาวด์ เช่น ธิงส์บอร์ด (Thingsboard) บลิงก์ (Blynk) และบริการอะเมซอนไอโอที (AWS IoT) มีบทบาทสำคัญในการประมวลผล แสดงผล และวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญของระบบเกษตรอัจฉริยะ โดยเกตเวย์ ลอราทำหน้าที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างโหนดตัวรับรู้กับแพลตฟอร์มเหล่านี้ (Jaywant et al., 2024) อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติยังพบปัญหาความแออัดของข้อมูลที่เกตเวย์ รวมถึงการจัดการพลังงานของอุปกรณ์ปลายทางที่อาศัยแบตเตอรี่ ซึ่งกลายเป็นข้อจำกัดสำคัญ โดยเฉพาะสำหรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่ไม่สามารถเข้าถึงแหล่งพลังงานได้อย่างต่อเนื่อง

งานวิจัยหลายฉบับเสนอแนวทางลดข้อจำกัดดังกล่าว โดยแนะนำให้ใช้โปรโตคอลการสื่อสารแบบปรับตัว การกำหนดช่วงเวลาการส่งข้อมูลแบบยืดหยุ่นเพื่อลดการใช้พลังงาน และการรวมการประมวลผลล่วงหน้าที่เกิดเว่ยเพื่อลดภาระของระบบโดยรวม (Bor et al., 2016) นอกจากนี้ ระบบที่ใช้เทคโนโลยียังถูกนำไปใช้สำเร็จในบริบทต่าง ๆ เช่น การเกษตรแม่นยำ การเฝ้าติดตามเรือนกระจก และระบบชลประทานอัจฉริยะ ตัวอย่างเช่น การพัฒนาเครือข่ายลอรา-จีเอสเอ็ม (LoRa-GSM) แบบไฮบริดในพื้นที่ที่มีการเข้าถึงอินเทอร์เน็ตไม่สม่ำเสมอ (Bor et al., 2016) และแนวโน้มในอนาคตยังชี้ไปสู่การเสริมสร้างความปลอดภัยของข้อมูล การเพิ่มความเข้ากันได้ระหว่างอุปกรณ์ และการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการวิเคราะห์เชิงพยากรณ์เพื่อเพิ่มศักยภาพในภาคการเกษตร

ผู้วิจัยจึงได้นำระบบส่งข้อมูลตัวรับรู้การเกษตรผ่านลอราบนไอโอที เพื่อแก้ปัญหาในพื้นที่บริเวณจุดวัดตัวรับรู้ทางการเกษตรที่อินเทอร์เน็ตเข้าไม่ถึง โดยการนำข้อมูลมาถอดเล็งขึ้นเพื่อเป็นสัญญาณเครือข่ายวิทยุผ่านมอดูลลอราใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินานโน (Arduino Nano) ที่ซึ่งใช้เทคนิคการแพร่กระจายคลื่นที่ใช้คลื่นความถี่เชิงเส้นแบบคลื่นความถี่กว้างแบบมอดูเลตเพื่อเข้ารหัสข้อมูล (Chirp Spread Spectrum) เป็นเทคนิคเฉพาะของลอราที่ช่วยให้สัญญาณสามารถแพร่กระจายไปได้ไกลและต้านทานสัญญาณรบกวนได้ดี โดยจะมีมอดูลลอราตัวรับสัญญาณที่เรียกว่าเกตเว่ยที่อยู่ในวงของอินเทอร์เน็ตใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี-32 (ESP-32) ทำหน้าที่รับสัญญาณเครือข่ายลอราผ่านมอดูลลอราแล้วจึงส่งข้อมูลไปยังแพลตฟอร์มไอโอทีจึงบอร์ดทำให้ผู้ใช้สามารถรับข้อมูลที่แสดงผลผ่านแผงควบคุมจึงบอร์ด (Thingsboard Dashboard) ได้

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบส่งข้อมูลจากตัวรับรู้การเกษตรผ่านเทคโนโลยีลอราบนแพลตฟอร์มไอโอทีสำหรับพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาในด้านการส่งข้อมูลระยะไกล ความแม่นยำของตัวรับรู้ และการแสดงผลผ่านแพลตฟอร์ม

3. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

งานวิจัยนี้มีกรอบแนวคิดในการออกแบบและพัฒนาระบบส่งข้อมูลจากตัวรับรู้ทางการเกษตรผ่านเครือข่ายลอราบนแพลตฟอร์มไอโอที เพื่อแก้ไขปัญหาการสื่อสารข้อมูลในพื้นที่เกษตรขนาดใหญ่ที่ระบบอินเทอร์เน็ตทั่วไปไม่สามารถครอบคลุมได้อย่างทั่วถึง โดยระบบจะใช้เพียงเกตเวย์อินเทอร์เน็ตจุดเดียว (Single Internet Gateway) ในการรับส่งข้อมูลจากหลายโหนดที่กระจายอยู่ทั่วพื้นที่เพาะปลูกโดยกรอบแนวคิดมีลักษณะดัง Figure 1.

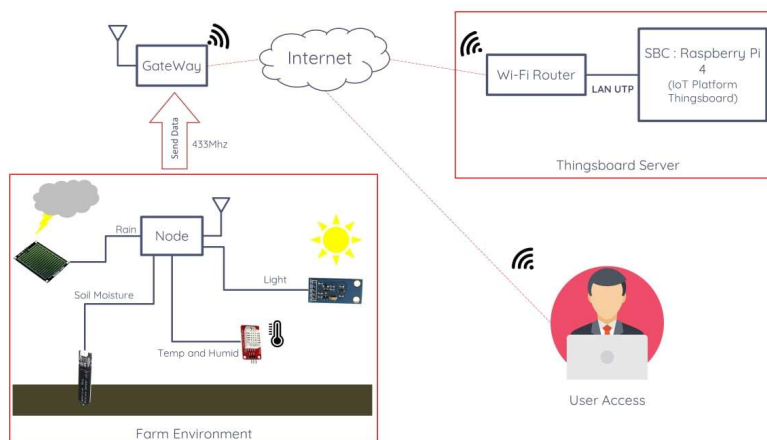


Figure 1. The Conceptual framework diagram of LoRa-based agricultural sensor data system on IoT.

จาก Figure 1. จะเห็นว่า การออกแบบนี้มุ่งเน้นให้สามารถส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ครอบคลุมระยะไกล โดยใช้พลังงานต่ำ และสามารถนำข้อมูลที่เก็บได้ไปใช้ในการวิเคราะห์และบริหารจัดการภาคเกษตรแบบเรียลไทม์ เพื่อสนับสนุนแนวคิดเกษตรแม่นยำอย่างยั่งยืน องค์ประกอบหลักของกรอบแนวคิดดัง Figure 1. ประกอบด้วย (1) โหนดตัวรับรู้ข้อมูล (Sensor Node) ทำหน้าที่ตรวจวัดข้อมูลสิ่งแวดล้อมและพารามิเตอร์ทางการเกษตร เช่น ความชื้นในดิน อุณหภูมิ ปริมาณน้ำฝน ฯลฯ โดยใช้ตัวรับรู้ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และมอดูลออรา (2) เกตเวย์ลอรา (LoRa Gateway) ทำหน้าที่เป็นจุดศูนย์กลางในการรวบรวมข้อมูลจากหลายโหนดและส่งต่อข้อมูลไปยังระบบคลาวด์ผ่านอินเทอร์เน็ต (3) แพลตฟอร์มไอโอทีอิงบอร์ด (Thingsboard IoT Platform) ใช้ในการจัดเก็บ แสดงผล และวิเคราะห์ข้อมูล และ (4) การเข้าถึงของผู้ใช้งาน (User Access) ผู้ใช้งาน เช่น เกษตรกร นักวิจัย หรือผู้บริหารฟาร์ม สามารถเข้าถึงข้อมูลได้ผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต หรือคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจด้านการเกษตร

4. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

ระบบส่งข้อมูลตัวรับรู้การเกษตรผ่านลอราบนไอโอที (LoRa-Based Agricultural Sensor Data System on IoT) ผู้วิจัยได้ศึกษาวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เข้าใจแนวคิด เทคโนโลยีลอราและไอโอที และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องก่อนหน้านี้ โดยสามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อหลักดังนี้

4.1 เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตและเกษตรอัจฉริยะ (Internet of Things and Smart Agriculture)

เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรือไอโอทีได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในภาคการเกษตรซึ่งมีผลกระทบโดยตรงกับประเทศไทยที่ถือว่าเป็นประเทศที่มีประชากรมีเกษตรกรรม ดังนั้นหากนำเทคโนโลยีนี้มาช่วยให้สามารถตรวจวัด วิเคราะห์ และควบคุมกระบวนการทางการเกษตรได้แบบเรียลไทม์ (Realtime) ผ่านอุปกรณ์ตัวรับรู้และระบบอัตโนมัติ ซึ่งเกษตรกรไทยน่าต้องทำการศึกษาเช่นเดียวกับผู้วิจัยที่ได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องแสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีไอโอทีสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร ลดต้นทุน และเพิ่มผลผลิตได้อย่างมีนัยสำคัญ พบว่ามีการวิจัยได้วิจัยเกี่ยวกับไอโอทีที่มีบทบาทสำคัญต่อการเกษตร โดยช่วยให้สามารถตรวจสอบและควบคุมระบบแบบเรียลไทม์ Morchid et al. (2024) ได้นำเสนอ ระบบตรวจจับไฟไหม้ที่ใช้โพรโทคอลเอ็มคิวทีที (MQTT) เพื่อช่วยป้องกันความเสี่ยงด้านสิ่งแวดล้อมในภาคเกษตร ซึ่งระบบนี้มีความแม่นยำร้อยละ 98.77 และสามารถตอบสนองได้ภายใน 2 วินาที ในทำนองเดียวกัน Ahmed & Shakoor (2025) ได้เน้นถึงบทบาทของไอโอที ปัญญาประดิษฐ์และข้อมูลมหัต (Big Data) ในการ ตรวจสอบและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทางการเกษตรเป็นแนวทางสู่การเกษตรที่ปล่อยคาร์บอนเป็นศูนย์ Hasan et al. (2024) ได้ศึกษาการผสมผสานบล็อกเชนและไอโอทีเพื่อเพิ่มความโปร่งใสในห่วงโซ่อุปทานสินค้าเกษตร โดยช่วยยืนยันแหล่งที่มาและความยั่งยืนของอาหาร ในขณะที่ Sharma et al. (2024) ได้เสนอระบบไอโอทีที่ใช้การสำรวจระยะไกล (Remote Sensing) และระบบภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อช่วยตรวจวัดความชื้นในดินและเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้ทรัพยากรทางการเกษตร

4.2 เกษตรแม่นยำและการตรวจสอบดิน

เกษตรแม่นยำได้นำไอโอทีมาช่วยตรวจวัดคุณภาพดิน ปรับปรุงการใช้น้ำ และเพิ่มผลผลิต Zhang et al. (2024) ได้ศึกษาเทคโนโลยีตรวจวัดความชื้นในดินผ่านอากาศยานไร้คนขับ (UAV) และเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย (WSN) ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบชลประทานได้อย่างมีนัยสำคัญ Islam et al. (2023) ได้พัฒนาระบบไอโอทีที่ขับเคลื่อนด้วยการเรียนรู้เครื่องจักร (Machine Learning: ML) สำหรับติดตามสารอาหารในดิน และให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเลือกพืชที่เหมาะสม Ahmed & Shakoor (2025) เน้นย้ำว่าการใช้ไอโอทีในการจัดการไนโตรเจนแบบเรียลไทม์ สามารถช่วยลดการใช้ปุ๋ยและเพิ่มผลผลิตของพืชได้ Rose et al. (2025) ได้พัฒนาระบบเซนโดรมิเตอร์ (Dendrometer) บนไอโอทีสำหรับวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลำต้นของต้นไม้แบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยปรับปรุงการจัดการทรัพยากรน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.3 การใช้ตัวรับรู้ที่เกี่ยวข้อง

ระบบเกษตรอัจฉริยะผ่านไอโอทีและไมโครคอนโทรลเลอร์งานวิจัยโดย Sharma et al. (2024) ได้กล่าวถึงการใช้ไอโอทีและตัวรับรู้ตรวจวัดความชื้นในดินที่สามารถทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อตรวจสอบความชื้นแบบเรียลไทม์ และแจ้งเตือนเกษตรกรเมื่อดินแห้งเกินค่าที่กำหนดระบบตรวจสอบสภาพอากาศและดินผ่านแพลตฟอร์มอิงบอร์ด งานวิจัยโดย Morchid et al. (2025) พัฒนาระบบชลประทานอัจฉริยะที่ใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นในดิน เช่น ดีเอชที22 (DHT22) และตัวรับรู้ความชื้นดินแบบคาปาซิทีฟร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์เอสพี-32 ซึ่งสามารถส่งข้อมูลผ่านเซิร์ฟเวอร์ (Server-Sent Events: SSE) ไปยังแพลตฟอร์มอิงบอร์ด เพื่อให้เกษตรกรสามารถติดตามและควบคุมระบบชลประทานจาก

ระยะไกลได้ระบบเกษตรแม่นยำที่ใช้ลอรารุ่น AI Thinker Ra-02 งานของ Liopa-Tsakalidi et al. (2024) นำเสนอระบบชลประทานอัจฉริยะบนฐานเครือข่ายลอราบริเวณกว้าง (LoRaWAN) โดยใช้มอดูลรุ่น AI Thinker Ra-02 เพื่อส่งข้อมูลระยะไกลจากตัวรับรู้ตรวจวัดดินไปยังคลาวด์ โดยการใช้พลังงานต่ำทำให้สามารถใช้งานได้ในพื้นที่ขนาดใหญ่ เช่น สวนมะกอกขนาด 22 เฮกตาร์ การวัดปริมาณแสงและฝนในระบบเกษตรอัจฉริยะ งานวิจัยของ Shahab et al. (2025) ได้กล่าวถึงการใช้ตัวรับรู้ความเข้มแสง (GY-30) และตัวรับรู้วัดปริมาณน้ำฝน (MH) ในการตรวจสอบสภาพแวดล้อมของพืชในฟาร์มอัจฉริยะโดยข้อมูลที่เก็บรวบรวมจะถูกส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์แพลตฟอร์มอิงบอร์ด เพื่อช่วยตัดสินใจเรื่องการชลประทานและปริมาณแสงที่เหมาะสมสำหรับพืชการใช้อินเตอร์เฟซจอยอินทรี (OLED) แสดงผลข้อมูลจากตัวรับรู้ไอโอทีและงานวิจัยของ Pouomogne et al. (2024) ได้ออกแบบระบบติดตามผลทางการเกษตรโดยใช้อินเตอร์เฟซจอยอินทรี (OLED) เพื่อแสดงค่าต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้นในดิน และค่าความเข้มแสง เพื่อให้เกษตรกรสามารถตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ทางการเกษตรได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องเข้าถึงอุปกรณ์เซิร์ฟเวอร์

4.4 ความจำเป็นในการศึกษาครั้งนี้และเหตุผลในการเลือกใช้เทคโนโลยี LoRa

แม้ว่างานวิจัยหลายฉบับจะเสนอระบบเกษตรอัจฉริยะที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไอโอทีร่วมกับเครือข่ายไร้สายรูปแบบต่าง ๆ เช่น ไวไฟ (Wi-Fi) จีเอสเอ็ม (GSM) หรือซิกบี (Zigbee) ทว่ายังมีข้อจำกัดในด้านระยะทางการส่งสัญญาณ การใช้พลังงาน และความเสถียรของระบบในพื้นที่ห่างไกล (Hasan et al., 2024; Morchid et al., 2025) ด้วยเหตุนี้ เทคโนโลยีลอราจึงได้รับความนิยมมากขึ้นในช่วงหลัง เนื่องจากสามารถส่งข้อมูลในระยะไกลด้วยพลังงานต่ำ และมีต้นทุนในการติดตั้งต่ำกว่าระบบที่ใช้โครงข่ายเซลลูลาร์อย่างไรก็ตาม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องยังพบข้อจำกัดที่สำคัญ เช่น ปัญหาการสูญเสียสัญญาณในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางหรือพืชพรรณหนาแน่น การจัดการพลังงานของโหนดตัวรับรู้ที่ใช้แบตเตอรี่ รวมถึงความจำเป็นในการสอบเทียบตัวรับรู้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำและเชื่อถือได้ (Morchid et al., 2025; Pouomogne et al., 2024) ช่องว่างเหล่านี้ทำให้เกิดความท้าทายต่อการนำไปใช้งานจริงในพื้นที่เกษตรขนาดใหญ่และในระยะยาว ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาและทดลองระบบส่งข้อมูลจากตัวรับรู้การเกษตรผ่านเครือข่ายลอราโดยเน้นการออกแบบที่คำนึงถึงปัจจัยด้านพลังงาน ความเสถียรของการสื่อสาร และความแม่นยำของข้อมูลที่ตรวจวัดได้ เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงในสภาพแวดล้อมที่หลากหลายของภาคเกษตรกรรมไทย อีกทั้งยังมีเป้าหมายเพื่อสนับสนุนการเปลี่ยนผ่านสู่เกษตรแม่นยำอย่างยั่งยืน โดยไม่จำเป็นต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐานที่มีต้นทุนสูง

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

5.1 การออกแบบ

ส่วนนี้จะกล่าวถึงการออกแบบบล็อกไดอะแกรมของระบบส่งข้อมูลตัวรับรู้ที่ใช้สำหรับงานด้านการเกษตรผ่านลอราบนไอโอทีทั้งหมด และส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้อีกด้วยซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1) ส่วนของโหนดส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายลอรา ส่วนนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนนาโน (Arduino Nano) เป็นตัวควบคุมขนาดเล็กที่มีต้นทุนต่ำใช้กำลังไฟฟ้าน้อยทำหน้าที่อ่านค่าอินพุตตัวรับรู้ (Sensors) ต่าง ๆ ได้แก่ ตัวรับรู้อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (Temp and Humid) ตัวรับรู้วัดน้ำฝน (Rain) ตัวรับรู้ความเข้มแสง (Light) และตัวรับรู้ความชื้นในดิน (Soil Moisture) จากนั้นนำข้อมูลที่อ่านค่าจากตัวรับรู้ได้มาทำการประมวลผลและแปลงค่าให้อยู่ในรูปแบบที่จะส่งไปยังเครือข่ายลอราด้วยสัญญาณคลื่นความถี่ 433 เมกะเฮิร์ต (MHz) โดยใช้มอดูลลอรา (LoRa Module) ที่มีการต่อประสานกับไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนนาโนด้วยเกณฑ์วิธีการต่อประสานอุปกรณ์ต่อพ่วงแบบอนุกรม (Serial Peripheral Interface: SPI) ระบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (PSU) สำหรับชุดอุปกรณ์จะอาศัยมอดูลแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ (HLK-PM01) เพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูยโนนาโนและอุปกรณ์ต่อพ่วงทั้งหมดดัง Figure 2.

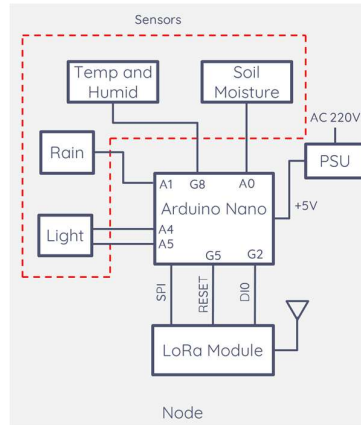


Figure 2. Diagram of the data transmission node through LoRa network.

2) ส่วนของเกตเวย์ข้อมูลผ่านเครือข่ายลอรา ส่วนนี้ต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เอสพี-32 เพราะต้องเชื่อมต่อไปยังประตูอินเทอร์เน็ต (Internet Gateway) และยังมีหน้าที่สำคัญคือ การควบคุมมอดูลลอรา (LoRa Module) ที่มีการต่อประสานกับไมโครคอนโทรลเลอร์เอสพี-32 ด้วยเกณฑ์วิธีการต่อประสานอุปกรณ์ต่อพ่วงแบบอนุกรม เพื่อให้สามารถรับข้อมูลบนเครือข่ายลอราจากโหนดส่งข้อมูลใน Figure 1 ผ่านคลื่นความถี่ 433 เมกะเฮิร์ต เมื่อได้รับข้อมูลจากโหนดส่งข้อมูลแล้วทำการแปลงข้อมูลที่รับมาแสดงผลบนมอดูลจอไดโอดเปล่งแสงอินทรีย์ (OLED) พร้อมทั้งส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังแพลตฟอร์มไอโอทีอิงบอร์ดผ่านประตูอินเทอร์เน็ต และยังมีมอดูลปุ่มกด (Button) เพื่อรับค่าจากผู้ใช้ในการกดข้อมูลต่าง ๆ อีกด้วย รวมทั้งระบบแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (PSU) สำหรับชุดอุปกรณ์ก็ยังอาศัยมอดูลแปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต เป็นไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ (HLK-PM01) เช่นเดียวกันกับโหนดส่งข้อมูล เพื่อเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์เอสพี32 และอุปกรณ์ต่อพ่วงทั้งหมดดัง Figure 3.

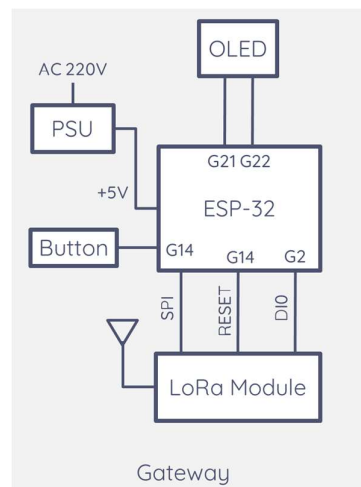


Figure 3. Diagram of the data gateway in a LoRa network.

3) ส่วนของแพลตฟอร์มไอโอทีอิงบอร์ดหรือเซิร์ฟเวอร์ (Thingsboard Platform/ Server) ส่วนนี้ใช้คอมพิวเตอร์บอร์ดเดี่ยว (Single Board Computer: SBC) รุ่น ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi 4) ที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการราสเบียน (Raspbian) มาติดตั้งอิงบอร์ดซึ่งเป็นโปรแกรมแบบรหัสเปิด (Open Source) เมื่อติดตั้งเสร็จทำการตั้งค่าตาม

ต้องการแล้วจึงเปิดการส่งต่อพอร์ต (Port Forwarding) บนอุปกรณ์จัดเส้นทางอินเทอร์เน็ต (Router) เพื่อให้สามารถเข้าใช้งานถึงบอร์ดผ่านอินเทอร์เน็ตต่างเครือข่ายได้ดัง Figure 4.

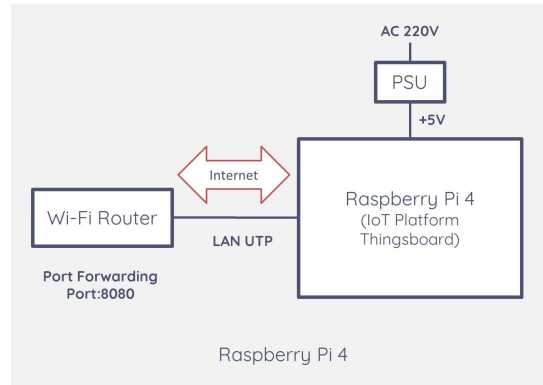


Figure 4. IoT platform: Thingsboard or server.

5.2 การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

จากบล็อกไดอะแกรมต่าง ๆ นำมาออกแบบส่วนประกอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ของระบบส่งข้อมูลตัวรับรู้การเกษตรผ่านลอราบนไอโอทีที่แผนภาพเค้าร่างวงจรของโหนดส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายลอร่า ดัง Figure 5. และแผนภาพเค้าร่างวงจรของเกตเวย์ข้อมูลผ่านเครือข่ายลอร่า Figure 6. และลายแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board: PCB) ดัง Figure 7. ถูกออกแบบด้วยโปรแกรม KiCad 8 ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ที่สเปคสำหรับงานด้านการออกแบบอิเล็กทรอนิกส์อัตโนมัติ (Electronic Design Automation: EDA)

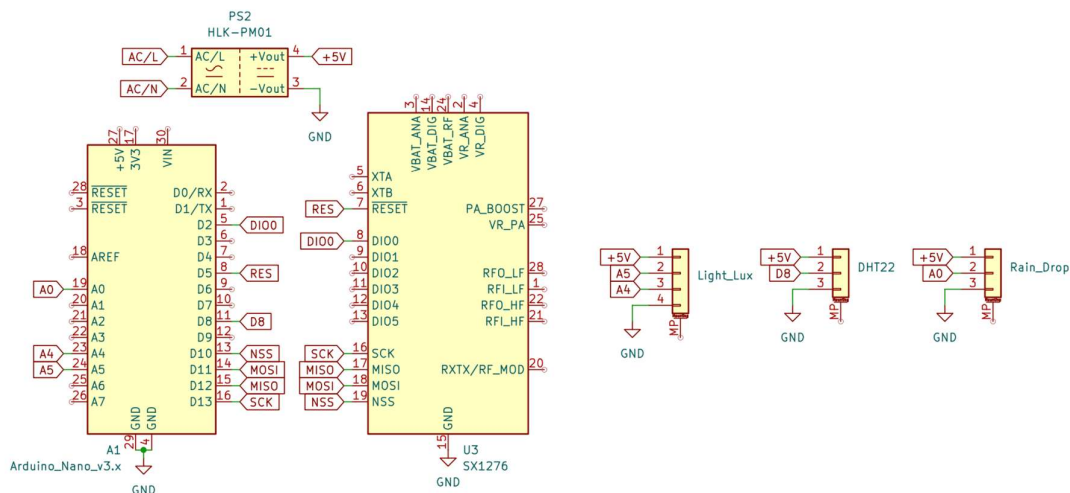


Figure 5. Circuit schematic of the data transmission node through LoRa network.

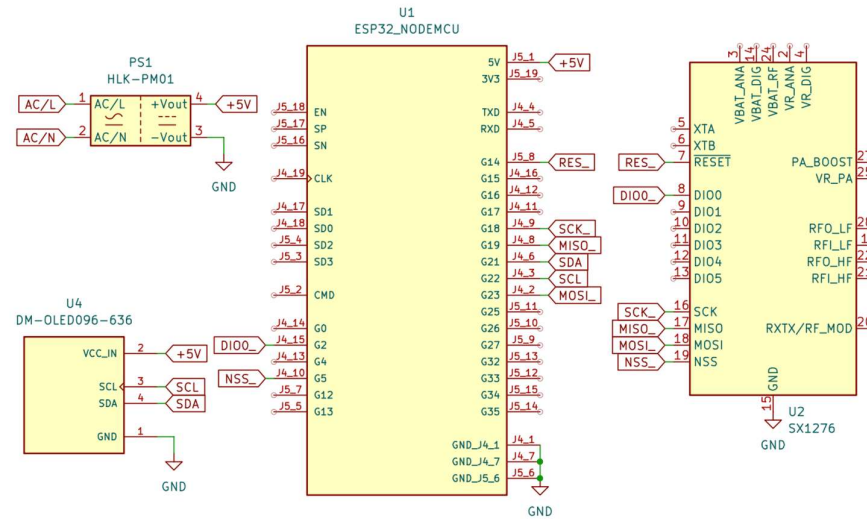


Figure 6. Circuit schematic of the data gateway in a LoRa network

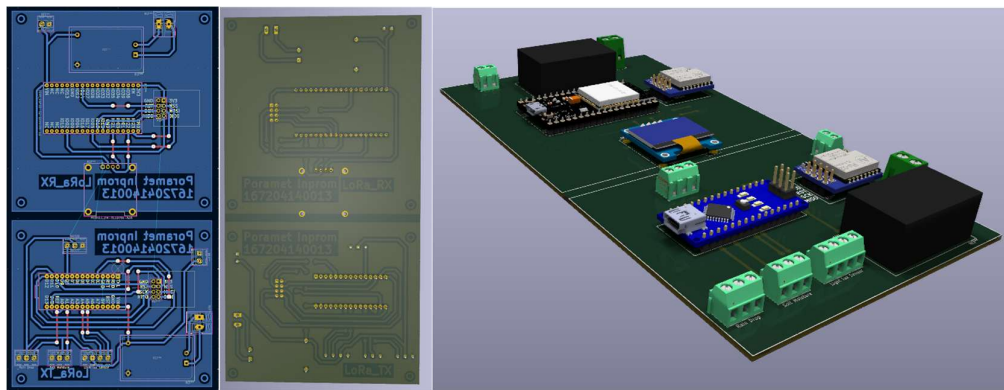


Figure 7. Printed circuit board and 3D board of the system.

5.3 การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ส่วนนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1) ส่วนผังงานของโหนดส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายลอรา 2) ส่วนผังงานการตรวจสอบการเชื่อมต่อไร้สาย และ 3) ส่วนผังงานของเกตเวย์รับข้อมูลผ่านเครือข่ายลอราและแพลตฟอร์มไอโอทีอิงบอร์ดรายละเอียดดังนี้

1. ผังงานของโหนดส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายลอรา การทำงานจะทำการรับค่าตัวรับรู้ต่าง ๆ นำมาประมวลผลและมอดูเลตข้อมูลเพื่อส่งผ่านเครือข่ายลอราไปยังเกตเวย์ที่ทำหน้าที่รับเครือข่ายลอราดัง Figure 8 (a).
2. ผังงานการตรวจสอบการเชื่อมต่อไร้สายเป็นขั้นตอนสำคัญของการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรือไอโอทีเพื่อให้มั่นใจว่าระบบสามารถเชื่อมต่อไปยังโลกอินเทอร์เน็ต และข้อมูลสามารถจะส่งไปนำเสนอบนแพลตฟอร์มไอโอทีดัง Figure 8(b).
3. ผังงานของเกตเวย์รับข้อมูลผ่านเครือข่ายลอราและแพลตฟอร์มไอโอทีอิงบอร์ด ส่วนนี้ได้จากการตรวจสอบการเชื่อมต่อไร้สายและแพลตฟอร์มไอโอทีอิงบอร์ดก่อนทำการส่งข้อมูลไปยังแพลตฟอร์มนี้เพื่อให้ผู้ใช้อ่านค่าในแดชบอร์ดได้ดัง Figure 9.

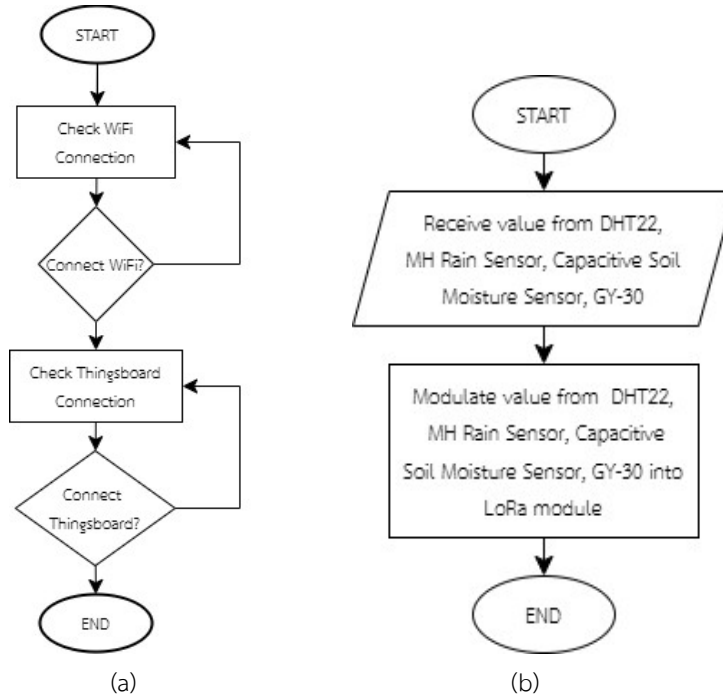


Figure 8. LoRa network.

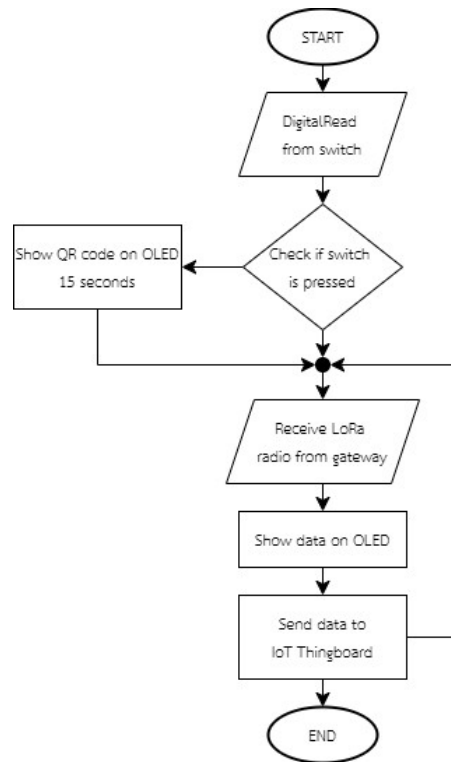


Figure 9. Flowchart of data gateway reception via LoRa network and IoT platform (ThingsBoard).

5.4 การสร้างระบบส่งข้อมูลตัวรับรู้การเกษตรผ่านลอราบนไอโอที

1. การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับระบบส่งข้อมูลตัวรับรู้การเกษตรผ่านลอราบนไอโอทีจะใช้แผ่นวงจรพิมพ์ที่ออกแบบไว้ในหัวข้อ 5.2 (Figure 7.) นำมาพิมพ์ลงบนกระดาษโฟโต้ด้วยเครื่องพิมพ์เลเซอร์ ดัง Figure 10(a) และนำมาถ่ายหมึกลงบนแผ่นทองแดงที่เตรียมไว้ใช้แอซิดอนผสมแอลกอฮอล์อัตราส่วน 1:5 หากลายแผ่นวงจรพิมพ์บางติดแผ่นทองแดงไม่หมดให้ใช้ปากกาหมึกถาวรวาดลายเพิ่มเติมดัง Figure 10(b) จากนั้นนำแผ่นทองแดงที่มีลายวงจรพิมพ์สมบูรณ์แล้วจึงนำมากัดลายทองแดงส่วนที่ไม่ต้องการออกด้วยน้ำยากัดแผ่นทองแดงด้วยการเทน้ำยาลงในภาชนะให้พองมแผ่นทองแดงใช้วิธีการเขย่าภาชนะไปมา เพื่อกัดลายวงจรพิมพ์จนเหลือเพียงแผ่นลายวงจรพิมพ์ดัง Figure 11.

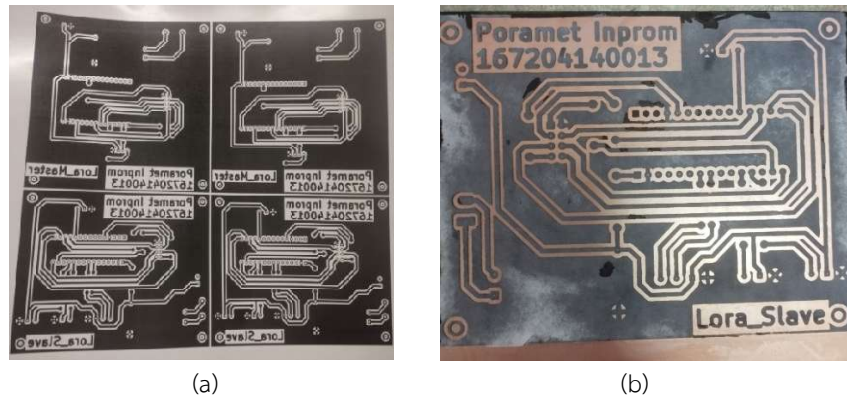


Figure 10. Printed circuit layout on photo paper (a), transferring the printed circuit board (b).

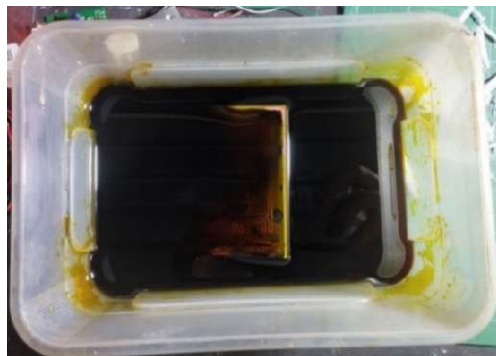


Figure 11. Etching copper traces using PCB etchant on a copper.



Figure 12. Drilling holes in the PCB (a), component installation on the PCB (b).

2. การติดตั้งอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ เมื่อได้แผ่นวงจรพิมพ์แล้วนำไปเจาะรูตามที่ยกแบบไว้ด้วยเครื่องเจาะใช้ดอกเจาะขนาด 1 มิลลิเมตร เพื่อให้สามารถใส่ขาอุปกรณ์ดัง Figure 12(a) จากนั้นทำการบัดกรีและติดตั้งอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ดัง Figure 12(b) ตรวจสอบความถูกต้องเพื่อป้องกันความเสียหายจากไฟฟ้าลัดวงจรด้วยมัลติมิเตอร์ดัง Figure 13(a) เมื่อตรวจสอบความสมบูรณ์แล้วทำการทดลองระบบส่งข้อมูลตัวรับรู้การเกษตรผ่านลอราบนไอโอทีดัง Figure 13(b) และพัฒนาระบบบนสิ่งแวดล้อมการพัฒนาเบ็ดเสร็จแพลตฟอร์มไอโอ (Platform IO IDE) บนวิซวลสตูดิโอโค้ด การทดสอบระบบด้วยการใช้สิ่งแวดล้อมการพัฒนาเบ็ดเสร็จแพลตฟอร์มไอโอบนวิซวลสตูดิโอโค้ด (Visual Studio Code) นำผังการทำงานจาก Figure 8. ถึง Figure 9. มาเขียนเป็นชุดคำสั่งภาษาซีพลัสพลัส (C++) และบรรจุขึ้นชุดคำสั่ง (Upload) ของไมโครคอนโทรลเลอร์อาดูอินโนนาโนที่เป็นภาคส่งข้อมูลและไมโครคอนโทรลเลอร์ไรส์กายอีเอสพี-32 ซึ่งเป็นภาครับข้อมูลและประตูทางออกอินเทอร์เน็ตของระบบดัง Figure 14.

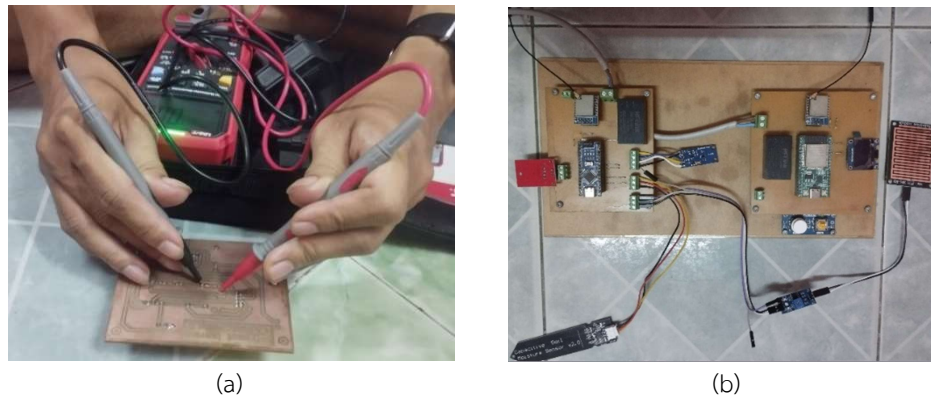


Figure 13. Circuit testing with a multimeter (a), LoRa-based agricultural sensor data system (b).

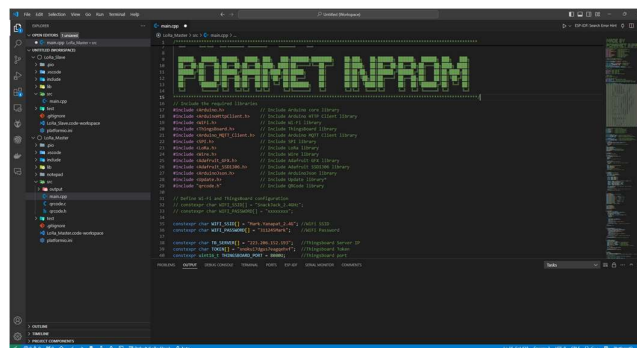


Figure 14. Integrated Development Environment (IDE) of PlatformIO on Visual Studio Code

6. ผลการวิจัย (Results)

การทดลองนี้ได้ศึกษาหาระยะการส่งข้อมูลของมอดูลลอราในสภาพแวดล้อมจริง และทดลองตัวรับรู้ที่ใช้ในระบบส่งข้อมูลตัวรับรู้การเกษตรผ่านลอราบนไอโอที

6.1 ผลการทดลองหาระยะทางต่อค่าตัวบ่งชี้ความแรงของสัญญาณ (RSSI) ของมอดูลลอรา

การทดลองนี้ได้ทดลองหาระยะทาง (เมตร) ต่อค่าตัวบ่งชี้ความแรงสัญญาณ (RSSI) ของมอดูลลอรา (dBm) โดยมีระยะห่างระหว่างโหนดตัวส่ง และเกตเวย์รับข้อมูล 10, 50, 70, 100, 120, 140, 160, 180, 200 เมตร ทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยดัง Table 1.

Table 1. Distance per Received Signal Strength Indicator (RSSI).

Time	Distance (Meter)/ Signal Strength Indicator (dBm)									
	Distance	10	50	70	100	120	140	160	180	200
1		- 39	- 63	- 80	- 88	- 97	- 101	- 100	- 100	-
2		- 42	- 66	- 79	- 88	- 100	- 100	- 101	- 100	-
3		- 40	- 60	- 82	- 87	- 96	- 99	- 100	- 101	-
AVG.		- 40	- 63	- 80	- 88	- 98	- 100	- 100	- 100	-

6.2 ผลการเปรียบเทียบตัวรับรู้อุณหภูมิและความชื้นในอากาศดีเอชที22 กับ Xiaomi LYWD03MMC

การทดลองนี้ได้เปรียบเทียบตัวรับรู้อุณหภูมิและความชื้นในอากาศดีเอชที22 กับ Xiaomi LYWD03MMC โดยเก็บค่าอุณหภูมิ (°C) และความชื้น (%) ในสภาพแวดล้อมเดียวกันทั้งสองรุ่น นำมาเปรียบเทียบหาความคลาดเคลื่อน (%) ระหว่างสองรุ่น ทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยดัง Table 2.

Table 2. Comparison of Relative Humidity and Temperature Sensors: DHT22 vs. Xiaomi LYWD03MMC.

Time	Measurement	Xiaomi LYWD03MMC	DHT22	Error (%)
1	Temperature (°C)	31.8	31.5	0.95
	Humidity (%)	74.0	81.7	9.3
2	Temperature (°C)	30.2	30.3	0.33
	Humidity (%)	80.0	86.2	7.19
3	Temperature (°C)	32.3	32.6	0.92
	Humidity (%)	70.0	74.4	5.91
AVG.	Temperature (°C)	31.43	31.47	0.73
	Humidity (%)	74.67	80.77	7.47

6.3 ผลการทดลองมอดูลตัวรับรู้วัดน้ำฝน

การทดลองนี้ได้ทดลองมอดูลตัวรับรู้วัดน้ำฝนมาวัดกับปริมาณน้ำที่มีความลึก 1, 3, 5 เซนติเมตร โดยเก็บค่าร้อยละปริมาณน้ำ ทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยดัง Table 3.

Table 3. The experimental results of the rain gauge module in relation to the amount of water.

Time	Depth (cm.)	Values (%)
1	1	88.00
	3	90.00
	5	91.00
2	1	86.00
	3	90.00
	5	91.00
3	1	87.00
	3	89.00
	5	91.00
AVG.	1	87.00
	3	89.67
	5	91.00

6.4 ผลการทดลองมอดูลตัวรับรู้วัดน้ำฝน

ผลการเปรียบเทียบตัวรับรู้วัดความเข้มแสงกับเครื่องมือวัดความเข้มแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงการทดลองนี้ได้เปรียบเทียบตัวรับรู้วัดความเข้มแสงกับเครื่องมือวัดความเข้มแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสง โดยเก็บค่าความเข้มแสง (Lux) ของทั้งสองรุ่นในสภาพแวดล้อมเดียวกัน นำมาเปรียบเทียบหาความคลาดเคลื่อน (%) ระหว่างสองรุ่นทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยดัง Table 4.

Table 4. The comparison of the light intensity sensor readings with the light intensity measurement instrument using the same light source.

ครั้งที่	GY-30	Light instrument	Error (%)
1	1045.00	1002.00	4.29
2	1188.00	1199.00	0.91
3	1236.00	1281.00	3.51
AVG.	1156.33	1160.67	2.90

6.5 ผลการทดลองตัวรับรู้ความชื้นในดิน

การทดลองนี้ได้ทดลองตัวรับรู้ความชื้นในดิน โดยเก็บค่าร้อยละความชื้นในดินที่มีความลึก 2, 4, 6 เซนติเมตร ทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยดัง Table 5.

Table 5. The experimental results of the soil moisture sensor.

Time	Depth (cm.)	Values (%)
1	2	92.00
	4	93.00
	6	93.00
2	2	91.00
	4	93.00
	6	93.00
3	2	91.00
	4	93.00
	6	93.00
AVG.	2	91.33
	4	93.00
	6	93.00

6.6 ผลการทดลองส่งข้อมูลจากเกตเวย์ไปยังแพลตฟอร์มไอโอทีริงบอร์ด

จากการทดลองการส่งข้อมูลจากอินเทอร์เน็ตเกตเวย์พบว่าสามารถส่งข้อมูลไปยังแพลตฟอร์มไอโอทีริงบอร์ดและข้อมูลที่รับได้ครบถ้วนและตรงพร้อมแสดงผลข้อมูลบนจอไดโอดเปล่งแสงอินทรีดัง Figure 15.

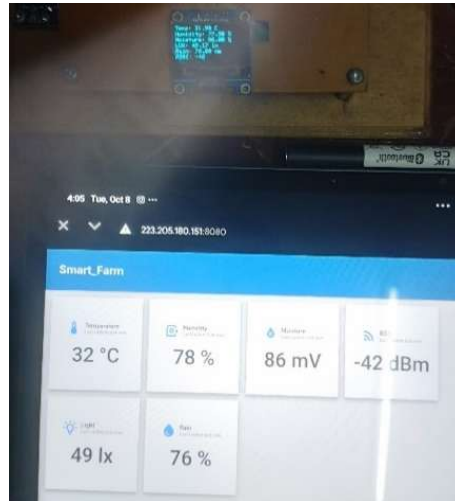


Figure 15. The experimental results of data transmission from the gateway to the Thingsboard IoT platform compared with the display screen.

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

การรับส่งข้อมูลระยะทางต่อค่าตัวบ่งชี้ความแรงของสัญญาณของมอดูลลอราสามารถส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพในระยะไม่เกิน 200 เมตรในพื้นที่เปิด โดยระยะนี้คุณภาพการรับส่งข้อมูลจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ การเปรียบเทียบตัวรับรู้สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นระหว่างดีเอสที22 และบริษัท เสียวหมี่ จำกัด (Xiaomi) รุ่น LYWD03MMC พบค่าความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิเฉลี่ย 0.73 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยร้อยละ 7.47 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการใช้งานทั่วไปในภาคสนามสอดคล้องกับผลการศึกษาดิเอ็ม Morchid et al. (2024) ส่วนตัวรับรู้สำหรับตรวจวัดน้ำฝนให้ผลตอบสนองเชิงบวกกับระดับน้ำที่เพิ่มขึ้น แสดงถึงศักยภาพในการใช้เป็นดัชนีเบื้องต้นของปริมาณน้ำ ส่วนตัวรับรู้ที่ใช้ตรวจวัดความเข้มแสง พบว่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 2.90 ขณะที่ตัวรับรู้ความชื้นในดินมีความไวต่อระดับความลึกในการฝังตัวตัวรับรู้ โดยความชื้นในดินที่วัดได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความลึก ดังนั้นจึงควรกำหนดระดับความลึกที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการประมวลผลข้อมูล นอกจากนี้ การส่งข้อมูลจากเกตเวย์ไปยังแพลตฟอร์มไอโอทีอิงบอร์ด สามารถดำเนินการได้อย่างถูกต้องครบถ้วน รวมถึงแสดงผลผ่านหน้าจอไดโอดเปล่งแสงอินทรีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงให้เห็นถึงความพร้อมของระบบในการประยุกต์ใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสาร

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ระบบส่งข้อมูลจากตัวรับรู้การเกษตรผ่านเครือข่ายลอราบนแพลตฟอร์มไอโอทีสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ แม้ในสภาพแวดล้อมที่มีข้อจำกัดด้านการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยระบบมีความเสถียรในการส่งข้อมูลในระยะทางไม่เกิน 200 เมตร ความแม่นยำของตัวรับรู้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับการเก็บข้อมูลภาคสนามตาม Morchid et al. (2024) และสามารถบูรณาการกับแพลตฟอร์มอิงบอร์ดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จุดเด่นของระบบคือความสามารถในการทำงานแบบอัตโนมัติในพื้นที่ห่างไกล เช่น พื้นที่ชนบทหรือไร่ นา ที่มักไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ตครอบคลุม การเลือกใช้พลังงานทางเลือก เช่น เซลล์สุริยะร่วมกับเครือข่ายลอราซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้โครงข่ายสื่อสารความเร็วสูง ช่วยให้ระบบสามารถดำเนินงานต่อเนื่องได้โดยไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐานราคาสูง การออกแบบนี้จึงสอดคล้องกับแนวคิดของการพัฒนาเกษตรอัจฉริยะอย่างยั่งยืนในบริบทของประเทศไทย

อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดที่ยังต้องพัฒนาเพิ่มเติม ได้แก่ ระยะทางการส่งข้อมูลที่ยังจำกัด ความคลาดเคลื่อนของตัวรับรู้บางประเภท และความเสถียรของพลังงานในช่วงที่มีแสงแดดน้อย การปรับปรุงองค์ประกอบเหล่านี้ร่วมกับการเพิ่มจำนวน

โหนดตรวจวัด และการทดสอบระบบในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย จะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและขยายขอบเขตการใช้งานของระบบในอนาคต

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการแก้ไขข้อจำกัดด้านระยะทาง ความแม่นยำของตัวรับรู้ และการใช้พลังงาน รวมถึงการเพิ่มฟังก์ชันที่ทันสมัย เช่น การวิเคราะห์ข้อมูลและความปลอดภัย เพื่อให้ระบบนี้สามารถใช้งานได้จริงในบริบทของเกษตรอัจฉริยะในประเทศไทยได้จริง การพัฒนาต่อในอนาคตควรเน้นการทดสอบที่มากขึ้นในทุกมิติและในสภาพแวดล้อมจริง การขยายผลสู่แปลงเกษตรขนาดใหญ่ และการสนับสนุนเกษตรกรให้สามารถนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

10. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

11. เอกสารอ้างอิง (References)

- Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melia-Segui, J., & Watteyne, T. (2017). Understanding the Limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), 34–40. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600613>.
- Ahmed, N., & Shakoar, N. (2025). Advancing Agriculture through IoT, Big Data, and AI: A Review of Smart Technologies Enabling Sustainability. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100848. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100848>.
- Bor, M., Vidler, J., & Roedig, U. (2016, February 15-17). LoRa for the Internet of Things. *International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks (EWSN) 2016*, 361-366. Junction Publishing.
- Hasan, H. R., Musamih, A., Salah, K., Jayaraman, R., Omar, M., Arshad, J., & Boscovic, D. (2024). Smart Agriculture Assurance: IoT and Blockchain for Trusted Sustainable Produce. *Computers and Electronics in Agriculture*, 224, 109184. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109184>.
- Islam, M. R., Oliullah, K., Kabir, M. M., Alom, M., & Mridha, M. F. (2023). Machine Learning Enabled IoT System for Soil Nutrients Monitoring and Crop Recommendation. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100880. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100880>.
- Jaywant, A. P., & Desai, A. S. (2024, September 18-20). Cloud-Integrated Precision Agriculture with LoRaWAN and ESP32. *2024 5th International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*, 619–624. Kongunadu College of Engineering and Technology. <https://doi.org/10.1109/ICOSEC61587.2024.10722074>.
- Khedo, K. K., Perseedoss, R., & Mungur, A. (2010). A Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System. *International Journal of Wireless & Mobile Networks*, 2(2), 31–45. <https://doi.org/10.5121/ijwmn.2010.2203>.
- Liopa-Tsakalidi, A., Thomopoulos, V., Barouchas, P., Boursianis, A. D., & Goudos, S. K. (2024). A LoRaWAN-based IoT Platform for Smart Irrigation in Olive Groves. *Smart Agricultural Technology*, 9, 100673. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100673>.
- Morchid, A., Et-taibi, B., Oughannou, Z., Alami, R. E., Qjidaa, H., Jamil, M. O., Boufounas, E.-M., & Abid, M. R. (2025). IoT-enabled Smart Agriculture for Improving Water Management: A Smart Irrigation Control Using Embedded Systems and Server-Sent Events. *Scientific African*, 27, e02527. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02527>.



- Morchid, A., Jebabra, R., Qjidaa, H., El Alami, R., & Jamil, M. O. (2024). Agri-tech Innovations for Sustainability: A Fire Detection System Based on MQTT Broker and IoT to Improve Environmental Risk Management. *Results in Engineering*, 24, 103683. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103683>.
- Pouomogne, F. T., Tsefack, M. B. S., Knorn, S., Fotsin, H. B., Kouanou, A. T., & Tchamda, A. R. (2024). Community Farm Monitoring Toolkit: Design and Implementation of a Low-cost Tool for Sustainable Community based Agricultural Projects in Africa. *IFAC-PapersOnLine*, 58(25), 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.10.235>.
- Rose, T., Ali, N., & Dong, Y. (2025). Design and Development of an IoT-based Dendrometer System for Real-time Trunk Diameter Monitoring of Christmas Trees. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100765. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100765>.
- Shahab, H., Naeem, M., Iqbal, M., Aqeel, M., & Ullah, S. S. (2025). IoT-driven Smart Agricultural Technology for Real-time Soil and Crop Optimization. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100847. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100847>.
- Sharma, N., Bhattacharjee, S., Garg, R. D., Sharma, K., & Salim, M. (2024). Sustainable Management and Agriculture Resource Technology System Using Remote Sensing Descriptors and IoT. *Geomatica*, 76(2), 100040. <https://doi.org/10.1016/j.geomat.2024.100040>.
- Zhang, X., Feng, G., & Sun, X. (2024). Advanced Technologies of Soil Moisture Monitoring in Precision Agriculture: A Review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101473. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101473>.