

# การพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมต้นทุนต่ำโดยใช้เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRaWAN กรณีศึกษาหมู่บ้านธารปราสาท

## Development of a Low-Cost Flood Warning System using IoT Technology and LoRaWAN Network: A Case Study of Ban Tharn Prasat Village

ณัฐวัฒน์ พิณรัตน์<sup>1</sup> กรวุฒิ โชติพนัส<sup>1</sup> ศุภศักดิ์ เอี่ยมสะอาด<sup>1</sup> ธนศักดิ์ พิทยากร<sup>1</sup> และพรศิริ จงกล<sup>1</sup>

Nattawat Pinrath<sup>1</sup>, Kronwut Chotipanus<sup>1</sup>, Supasak Eiamsaard<sup>1</sup>,

Thanasak Phittayakorn<sup>1</sup> and Pornsiri Jongkol<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<sup>1</sup>Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

Received: April 2, 2025

Revised: May 12, 2025

Accepted: May 19, 2025

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมแบบเรียลไทม์ โดยใช้เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRa WAN เพื่อใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ประสบปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก ระบบที่พัฒนาประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำแบบอัลตราโซนิก จำนวน 3 ตัวและเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย LoRaWAN ไปยังเกตเวย์ Raspberry Pi เพื่อบันทึกลงฐานข้อมูลบนคลาวด์ (Google Sheets) และแสดงผลผ่านแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์ บน Looker Studio ระบบใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับแบตเตอรี่ ทำให้สามารถทำงานต่อเนื่องได้แม้ไฟฟ้าดับ และมีการแจ้งเตือนผ่าน LINE Application โดยอัตโนมัติ เมื่อระดับน้ำเกินเกณฑ์ที่กำหนด เพื่อเตือนโรงเรียนและชุมชน ให้เตรียมรับมือภัยน้ำท่วมล่วงหน้า โดยจัดทำเป็นชิ้นงาน ต้นแบบ (Prototype) เพื่อเก็บผลการทดลองเป็นจำนวนระยะเวลาแบบสุ่ม 20 วัน ที่แสดงให้เห็นว่า ระบบสามารถตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณฝนได้อย่างต่อเนื่องและแม่นยำโดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7% มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการเก็บข้อมูลเป็นจำนวน 20 วัน ได้อยู่ที่ 39.71 ข้อมูลถูกส่งแบบเรียลไทม์และการแจ้งเตือนภัยทำได้อย่างทันทั่วทั้ง ส่งผลให้โรงเรียนและชุมชนได้รับข้อมูลเพื่อป้องกันความเสียหายจากน้ำท่วมได้รวดเร็วขึ้น ระบบที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนต่ำ ใช้พลังงานต่ำ และมีความน่าเชื่อถือในการสื่อสารระยะไกล อีกทั้งดูแลรักษาง่ายและรองรับการใช้งานในพื้นที่ห่างไกลที่โครงสร้างพื้นฐานการสื่อสารจำกัดได้เป็นอย่างดี ช่วยลดผลกระทบจากน้ำท่วมและเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและการรับมือภัยพิบัติในพื้นที่ศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ

**คำสำคัญ:** อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ระบบแจ้งเตือนน้ำท่วม ระบบแจ้งเตือน

## Abstract

This research aims to develop a real-time flood early warning system using IoT technology and a LoRaWAN network for deployment in rural areas frequently affected by recurrent floods. The developed prototype system consists of three ultrasonic water level sensors and a rain gauge sensor, connected to a microcontroller that transmits data via the LoRaWAN network to a Raspberry Pi gateway. The gateway records the data onto a cloud database (Google Sheets) and displays the results on a real-time dashboard via Looker Studio. The system is powered by a solar panel coupled with a battery, enabling continuous operation even during power outages. It automatically sends alerts through the LINE Application when the water level exceeds a predefined threshold, warning schools and communities to prepare for the flood hazard in advance. Experimental results, gathered over a random 20-day period, demonstrate that the system can continuously and accurately measure water levels and rainfall amounts, achieving an average error of 7%. The standard deviation of the data collected over the 20 days was 39.71. Data was transmitted in real-time, and the flood alerts were delivered promptly, resulting in schools and communities receiving information faster to mitigate flood damage. The developed system is low-cost, low-power consumption, and offers reliable long-range communication. Furthermore, it is easy to maintain and excellently supports deployment in remote areas with limited communication infrastructure. It significantly helps reduce the impact of floods and enhances the efficiency of water resource management and disaster response in the study area.

**Keywords:** Internet of Things, Flood Early Warning System, warning system



## บทนำ

จากปัญหาน้ำท่วมที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งในหลายพื้นที่ทั่วโลก รวมถึงในประเทศไทย การใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อการเฝ้าระวังและแจ้งเตือนภัยพิบัติจึงมีความสำคัญมากขึ้น แนวทางการแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมด้วยเทคโนโลยี IoT และ LoRaWAN พบว่า ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายและ Internet of Things: IoT มาใช้ในการติดตามสถานการณ์น้ำท่วมและแจ้งเตือนภัยล่วงหน้าอย่างแพร่หลาย ทั้งในระดับสากลและในประเทศไทย เช่น งานวิจัยของ Onboonuea and Tinapron (2023) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซนเซอร์วัดฝุ่น PM10 และ PM2.5 โดยใช้เทคโนโลยี IoT ในการตรวจวัดและแจ้งเตือนเซนเซอร์ที่ศึกษา ได้แก่ PM3003 PM5003 PM7003 และ GP2Y1010AU0F พบว่า PMS5003 และ PMS7003 มีความแม่นยำและการป้องกันสัญญาณรบกวนที่ดีกว่า ขณะที่ GP2Y1010AU0F มีราคาถูกและเหมาะสำหรับการใช้งานพื้นฐาน การเลือกเซนเซอร์ขึ้นอยู่กับงบประมาณ

และสภาพแวดล้อมของการใช้งาน แม้การศึกษานี้จะเน้นที่การตรวจวัดฝุ่นละออง แต่ก็สะท้อนถึงศักยภาพของ IoT ในการเฝ้าระวังภัยพิบัติด้านสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทำให้เกิดอุทกภัยรุนแรงบ่อยครั้งขึ้น จึงเพิ่มความจำเป็นของระบบตรวจวัดและเตือนภัยแบบเรียลไทม์ ระบบ IoT เพื่อการเฝ้าระวังน้ำท่วมมักประกอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดระดับน้ำ ปริมาณน้ำฝน ติดตั้งในจุดเสี่ยง แล้วส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายไปยังศูนย์กลางเพื่อประมวลผลและแจ้งเตือนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและประชาชนในพื้นที่ เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRaWAN ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในฐานะโครงข่ายสื่อสารสำหรับระบบ IoT ที่เหมาะสมกับงานเตือนภัยน้ำท่วมเนื่องจากสามารถส่งข้อมูลได้ระยะไกลครอบคลุมพื้นที่กว้างและใช้พลังงานต่ำ ทำให้อุปกรณ์เซ็นเซอร์สามารถทำงานต่อเนื่องได้นานโดยไม่ต้องบำรุงรักษาบ่อยครั้ง ด้วยคุณสมบัติที่สามารถส่งข้อมูลครอบคลุมระยะไกลหลายกิโลเมตรโดยใช้พลังงานต่ำมาก ทำให้ LoRaWAN เหมาะอย่างยิ่งสำหรับ

ติดตั้งในพื้นที่ห่างไกล เช่น พื้นที่ชนบทที่ขาดโครงข่ายโทรคมนาคมพื้นฐาน

Sandhya et al. (2023) ได้นำเสนอระบบเตือนภัยน้ำท่วมที่ผสานการทำงานระหว่างเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ LoRaWAN โดยใช้โมดูล GSM ส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ขึ้นคลาวด์และส่งข้อความ SMS เตือนภัยไปยังหน่วยงานและชาวบ้าน ขณะเดียวกันก็ติดตั้งเซนเซอร์พร้อมโมดูล LoRaWAN ไว้ตามหมู่บ้านที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมเพื่อให้สามารถกระจายสัญญาณเตือนเป็นวงกว้างในพื้นที่ที่อาจไม่มีสัญญาณโทรศัพท์หรือไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องในยามเกิดภัยพิบัติ แนวทางนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ชนบทของประเทศไทยเช่นกัน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีปัญหาสัญญาณโทรศัพท์และไฟฟ้าไม่เสถียร การผสมผสานเทคโนโลยีดังกล่าวช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นว่าการแจ้งเตือนจะเข้าถึงชุมชนได้อย่างทั่วถึงที่แม้โครงสร้างพื้นฐานบางส่วนล้มเหลว และยังเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรเทคโนโลยีที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

นอกจากนี้ ในบริบทของประเทศไทยเองก็มีการวิจัยและพัฒนาระบบเตือนภัยน้ำท่วมโดยใช้ IoT และ LoRaWAN เช่นกัน ตัวอย่างเช่น โครงการขอนแก่นสมาร์ทซิตี้ ได้มีการติดตั้งเซ็นเซอร์ LoRaWAN ภายในท่อระบายน้ำในเขตเมืองเพื่อติดตามพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมซ้ำซาก และเมื่อระดับน้ำสูงขึ้น เซ็นเซอร์จะส่งข้อมูลแจ้งเตือนไปยังศูนย์ควบคุมเพื่อเตรียมการป้องกันล่วงหน้า กรณีศึกษาที่น่าสนใจอีกเรื่องคือ แม้ในเขตเมืองก็สามารถใช้เทคโนโลยี LoRa ในการบริหารจัดการปัญหาน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถต่อยอดสู่พื้นที่ชนบทได้หากปรับให้เหมาะสมกับบริบทท้องถิ่น

กรณีศึกษาในครั้งนี้เลือกพื้นที่โรงเรียนบ้านธารปราสาทเป็นพื้นที่นำร่อง เนื่องจากลักษณะพื้นที่ตรงกับข้อจำกัดของระบบเตือนภัยเดิมที่ใช้ในพื้นที่เมือง โรงเรียนบ้านธารปราสาทตั้งอยู่ในตำบลธารปราสาท อำเภอโนนสูง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นพื้นที่ชนบทที่มีคลองธารปราสาทไหลผ่านทางด้านหลังของโรงเรียน ในช่วงฤดูฝน คลองธารปราสาทมักมีระดับน้ำสูงขึ้นจากการระบายน้ำจากพื้นที่ต้นน้ำและปริมาณฝนที่ตกหนักในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคม ซึ่งส่งผลให้เกิดน้ำท่วมซ้ำซากเป็นประจำทุกปี สถิติย้อนหลังระบุว่าในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา โรงเรียนได้รับผลกระทบจากน้ำท่วมไม่ต่ำกว่า 3 ครั้งต่อปี โดยเฉพาะในปี 2564 และ 2565 ซึ่งระดับน้ำที่ท่วมขังสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 50-80 เซนติเมตร ส่งผลให้ห้องเรียนและอุปกรณ์การเรียนได้รับความเสียหายเป็นวงกว้าง

ปัญหาน้ำท่วมดังกล่าวส่งผลกระทบต่อโรงเรียนในหลายด้าน ทั้งการหยุดเรียนของนักเรียน ความเสียหายต่ออุปกรณ์และทรัพย์สินของโรงเรียน รวมถึงปัญหาด้านความปลอดภัยของนักเรียนและบุคลากร นอกจากนี้ น้ำท่วมยังส่งผลกระทบต่อชุมชนโดยรอบ ทำให้เส้นทางคมนาคมถูกตัดขาด และประชาชนต้องอพยพไปยังพื้นที่ปลอดภัยเพื่อช่วยบรรเทาปัญหาดังกล่าว การมีระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อให้โรงเรียนสามารถจัดการรับมือกับสถานการณ์ได้อย่างทันท่วงที และช่วยแจ้งเตือนประชาชนในหมู่บ้านให้สามารถเตรียมความพร้อมและลดผลกระทบจากน้ำท่วมได้ เนื่องจากตำแหน่งที่ตั้งของโรงเรียนบ้านธารปราสาทอยู่ในพื้นที่ห่างไกล การเข้าถึงสัญญาณอินเทอร์เน็ต Wi-Fi และเครือข่ายโทรศัพท์มือถือเป็นไปได้ยาก อีกทั้งในช่วงน้ำท่วม ระบบไฟฟ้าอาจถูกตัดขาดชั่วคราว ซึ่งอาจทำให้ระบบแจ้งเตือนที่ต้องพึ่งพาเครือข่ายอินเทอร์เน็ตแบบดั้งเดิมหรือไฟฟ้าภายนอกไม่สามารถทำงานได้ นอกจากนี้ โรงเรียนยังมีข้อจำกัดด้านงบประมาณ ทำให้ระบบที่ติดตั้งต้องมีต้นทุนต่ำและสามารถดูแลรักษาได้ง่าย

ด้วยข้อจำกัดเหล่านี้ ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมที่พัฒนาขึ้นจึงต้องมีคุณสมบัติที่สามารถทำงานได้อย่างอิสระ สามารถส่งข้อมูลระยะไกลโดยไม่ต้องพึ่งพาสัญญาณอินเทอร์เน็ต Wi-Fi มีแหล่งพลังงานภายในตัว และสามารถแจ้งเตือนภัยให้กับโรงเรียนและชุมชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมที่พัฒนาขึ้นนี้จะสามารถช่วยลดผลกระทบจากน้ำท่วมที่เกิดขึ้นเป็นประจำในโรงเรียนบ้านธารปราสาทและชุมชนโดยรอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบสามารถทำงานได้โดยอัตโนมัติและมีต้นทุนต่ำ สามารถดูแลรักษาได้ง่าย และสามารถแจ้งเตือนภัยได้อย่างทันท่วงทีผ่านช่องทางที่เข้าถึงได้ง่าย เช่น LINE Application ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำและการรับมือกับภัยพิบัติในอนาคต ระบบนี้จึงไม่เพียงแต่เหมาะกับโรงเรียนบ้านธารปราสาทเท่านั้น แต่ยังเป็นแนวทางต้นแบบที่สามารถขยายผลไปยังพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมอื่น ๆ ที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานเช่นเดียวกัน

ระบบ IoT ยังต้องเผชิญกับความท้าทายด้านความมั่นคงปลอดภัย อุปกรณ์หลายชนิดมีช่องโหว่ที่อาจถูกโจมตี เช่น การปลอมเครื่องแม่ข่าย การดักจับข้อมูล และการใช้รหัสผ่านที่ไม่ปลอดภัย OWASP ระบุ 10 ช่องโหว่หลัก เช่น การยืนยันตัวตนที่อ่อนแอและการอัปเดต

ซอฟต์แวร์ที่ไม่มีป้องกัน ตัวอย่างเช่น มัลแวร์ Mirai ที่ใช้ช่องโหว่ในการโจมตี DDoS แนวทางป้องกันคือการเข้ารหัสข้อมูลและการตั้งค่าความปลอดภัยตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ (Boonmee, 2018)

การประมวลผลบนคลาวด์ (Cloud Computing) ในฐานะโครงสร้างพื้นฐานสำหรับ Internet of Things: IoT โดยเน้นบทบาทของคลาวด์ในการเพิ่มศักยภาพของอุปกรณ์อัจฉริยะให้สามารถประมวลผลและแลกเปลี่ยนข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ คลาวด์ช่วยให้ IoT สามารถเข้าถึงทรัพยากรคอมพิวเตอร์ ประมวลผลข้อมูลแบบกระจาย และรองรับปริมาณข้อมูลขนาดใหญ่ โมเดลบริการคลาวด์ประกอบด้วย IaaS PaaS และ SaaS ซึ่งช่วยให้องค์กรสามารถใช้ทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์โดยไม่ต้องลงทุนโครงสร้างพื้นฐานเอง นอกจากนี้ ยังกล่าวถึง XaaS (Everything as a Service) ซึ่งเป็นแนวโน้มสำคัญในอนาคตที่อุปกรณ์ IoT จะไม่เพียงเป็นผู้ใช้บริการคลาวด์ แต่ยังเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างการประมวลผลอีกด้วย (Thumkanon, Asavasaksakul, Pokudom & Pokudom, 2017)

### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมแบบเรียลไทม์ โดยใช้เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRaWAN สำหรับพื้นที่ชนบทที่ประสบปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก
2. เพื่อออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนโดยใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกและเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำฝนที่สามารถส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย LoRaWAN
3. เพื่อพัฒนาและติดตั้งระบบบันทึกและแสดงผลข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนแบบเรียลไทม์บน Looker Studio โดยใช้ฐานข้อมูลบนคลาวด์ (Google Sheets)

### แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### เทคโนโลยี LoRa และการประยุกต์ใช้ในระบบ IoT

LoRa ย่อมาจาก Long Range เป็นรูปแบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้เทคนิคที่เรียกว่า CSS: Chirp Spread Spectrum Modulation ซึ่งได้รับการพัฒนาโดย Semtech Corporation (Pires et. al, 2024) ข้อดีของเทคโนโลยีนี้คือสามารถส่งข้อมูลได้ในระยะไกล 5-20 กิโลเมตร ในพื้นที่ชนบทและใช้พลังงานต่ำ ทำให้เหมาะสมกับการติดตั้ง

ในพื้นที่ห่างไกล LoRa มีขนาดแบนด์วิดท์ (Bandwidth) 125/250 kHz และสามารถส่งข้อมูลได้สูงสุด 50 kbit/s โดยมีขนาดข้อความสูงสุด 243 ไบต์ ต่อการส่งหนึ่งครั้ง

การเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีการสื่อสารแบบ LPWAN อื่น ๆ เช่น Sigfox และ NB-IoT แสดงให้เห็นว่า LoRa มีข้อได้เปรียบในแง่ของความสามารถในการรองรับการสร้างเครือข่ายส่วนตัว การป้องกันการรบกวนสัญญาณที่สูง และระยะทางในการส่งข้อมูลที่สูงกว่า NB-IoT ในพื้นที่ชนบท นอกจากนี้ ยังมีการเข้ารหัสความปลอดภัยแบบ AES 128 บิต ซึ่งดีกว่า Sigfox ที่ไม่มีการเข้ารหัส SENDRA (Sandra et al., 2023)

LoRaWAN เป็นโปรโตคอลเครือข่ายที่พัฒนาขึ้นบนพื้นฐานของ LoRa โดยกำหนดวิธีการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในเครือข่าย LoRa เปรียบเสมือนชั้นฮาร์ดแวร์ ในขณะที่ LoRaWAN เป็นชั้นซอฟต์แวร์ที่กำหนดวิธีการใช้งานฮาร์ดแวร์ ระบบเครือข่าย LoRaWAN ประกอบด้วยองค์ประกอบพื้นฐาน 4 ส่วนหลัก ได้แก่ อุปกรณ์ปลายทาง อุปกรณ์เกตเวย์ เน็ตเวิร์คเซิร์ฟเวอร์ และแอปพลิเคชันเซิร์ฟเวอร์ (Padmavathi et al, 2024) ประเทศไทยใช้ ย่านความถี่ 920-925 MHz สำหรับเครือข่าย LoRaWAN ซึ่งเป็นช่วงความถี่ที่กำหนดโดยสำนักงาน กสทช. เพื่อให้สามารถใช้งานได้ถูกต้องและไม่มีการรบกวนกับเครือข่ายสื่อสารอื่น ๆ อุปกรณ์ LoRa และ LoRaWAN ที่นำมาใช้ในประเทศไทยจึงต้องรองรับความถี่นี้เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

#### แนวคิดการใช้ระบบ IoT ในการแจ้งเตือนภัยน้ำท่วม

Perera et al. (2020) นำเสนอระบบเตือนภัยน้ำท่วมอัจฉริยะที่ใช้ ESP32 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก ร่วมกับเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำแบบอัลตราโซนิกที่มีความแม่นยำสูง และโมดูล GSM สำหรับส่ง SMS แจ้งเตือนโดยตรงถึงผู้ใช้งาน ระบบนี้ยังใช้ API สภาพอากาศเพื่อรับข้อมูลปริมาณน้ำฝนล่วงหน้า ช่วยให้สามารถคาดการณ์สถานการณ์น้ำท่วมได้แม่นยำยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีการแสดงข้อมูลผ่านแอปพลิเคชัน Blynk ทำให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบสถานการณ์ได้ตลอดเวลา ระบบนี้มีข้อดีคือความแม่นยำสูง การแจ้งเตือนแบบทันที และการประยุกต์ใช้ข้อมูลพยากรณ์ล่วงหน้าได้ดี อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของระบบนี้ คือ ความจำเป็นในการพึ่งพาเครือข่าย GSM ซึ่งอาจมีต้นทุนรายเดือน และไม่ครอบคลุมบางพื้นที่ห่างไกล Rani et al. (2020) พัฒนาระบบตรวจสอบและเตือนภัยน้ำท่วมที่เน้นความประหยัด

ต้นทุน โดยใช้เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำแบบ float switch ที่มีราคาถูกแต่ทนทาน ร่วมกับ Arduino Uno และโมดูล Wi-Fi เพื่อส่งข้อมูลไปยังเซิร์ฟเวอร์ ระบบนี้มีจุดเด่นที่แอปพลิเคชันมือถือที่ใช้งานง่าย ช่วยให้ประชาชนทั่วไปสามารถเข้าถึงข้อมูลและการแจ้งเตือนได้สะดวก จุดแข็งของงานวิจัยนี้คือ เหมาะกับชุมชนขนาดเล็กที่มีงบประมาณจำกัด เน้นใช้งานง่าย และติดตั้งรวดเร็ว แต่จุดอ่อนของระบบคือความแม่นยำของเซ็นเซอร์ float switch ต่ำกว่าประเภทอื่น และ Wi-Fi มีข้อจำกัดเรื่องระยะทางและความเสถียรของสัญญาณ Arridha et al. (2020) นำเสนอระบบที่ใช้โมเดล machine learning วิเคราะห์ข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายชนิด เช่น เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำ ความเร็วกระแส น้ำ และปริมาณน้ำฝน เพื่อคาดการณ์น้ำท่วมล่วงหน้า ระบบนี้ใช้เทคนิค Random Forest ซึ่งให้ความแม่นยำสูงในการทำนายสถานการณ์น้ำท่วม และสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้อย่างต่อเนื่องเมื่อมีข้อมูลใหม่เพิ่มเติม จุดเด่นของระบบนี้คือ การวิเคราะห์เชิงลึกที่แม่นยำและสามารถเรียนรู้จากข้อมูลในระยะยาวได้ แต่ข้อเสียคือต้องการเซิร์ฟเวอร์ที่มีความสามารถประมวลผลสูงและข้อมูลจำนวนมากเพื่อฝึกโมเดล Kaur et al. (2021) ทำการเปรียบเทียบระบบเตือนภัยน้ำท่วม IoT ต่าง ๆ โดยวิเคราะห์ข้อดีข้อเสียของแต่ละระบบ และระบุความท้าทายสำคัญด้านการประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะในพื้นที่ห่างไกลที่ต้องพึ่งพาพลังงานแบตเตอรี่หรือพลังงานแสงอาทิตย์ บทความนี้ยังเสนอแนวทางการแก้ปัญหา เช่น การใช้เทคโนโลยี Low Power Wide Area Network: LPWAN และการออกแบบวงจรประหยัดพลังงาน จุดเด่นของบทความนี้คือ การให้ภาพรวมแนวโน้มระบบ IoT อย่างรอบด้าน โดยเฉพาะปัญหาและแนวทางด้านพลังงาน แต่ข้อจำกัดคือไม่ได้ลงรายละเอียดระบบต้นแบบที่สามารถใช้งานได้จริง Adu-Manu et al. (2017) ทำการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบเกี่ยวกับระบบเตือนภัยน้ำท่วม IoT โดยครอบคลุมทั้งด้านฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ และโครงสร้างพื้นฐานเครือข่าย บทความนี้ชี้ให้เห็นช่องว่างในการวิจัยที่สำคัญ โดยเฉพาะด้านการประหยัดพลังงานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย และเสนอแนะแนวทางการวิจัยในอนาคต เช่น การพัฒนาโปรโตคอลการสื่อสารที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จุดแข็งคือการวิเคราะห์เชิงลึกครอบคลุมทุกองค์ประกอบของระบบ IoT แต่ข้อจำกัดคือไม่สามารถประเมินประสิทธิภาพเชิงปฏิบัติได้จริง เนื่องจากไม่ได้ทดสอบในภาคสนาม PreventionWeb (2024) นำเสนอแนวคิดใหม่ในการใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI) วิเคราะห์

ภาพจากกล้องวงจรปิดเพื่อตรวจวัดระดับน้ำแบบเรียลไทม์ ระบบนี้ใช้เทคนิค Deep Learning ในการประมวลผลภาพและระบุระดับน้ำจากภาพถ่าย ซึ่งช่วยเพิ่มความแม่นยำและความรวดเร็วในการแจ้งเตือน โดยไม่จำเป็นต้องติดตั้งเซ็นเซอร์เพิ่มเติม นอกจากนี้ยังสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางทางน้ำและประเมินความเสี่ยงจากน้ำท่วมได้อีกด้วย จุดเด่นของระบบนี้คือ การใช้เทคโนโลยีขั้นสูงที่สามารถลดความซับซ้อนของฮาร์ดแวร์ในภาคสนาม ข้อเสียคือระบบต้องใช้กล้องความละเอียดสูงและหน่วยประมวลผลภาพที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งอาจไม่เหมาะกับพื้นที่ชนบทหรือขาดงบประมาณ

### กรอบแนวคิดการวิจัย

ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมที่พัฒนาขึ้นจะประกอบด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำโดยใช้ เซ็นเซอร์อัลตราโซนิก เพื่อตรวจสอบระดับน้ำในคลองธารปราสาทแบบเรียลไทม์ ข้อมูลที่วัดได้จะถูกประมวลผลและส่งผ่านเครือข่าย LoRaWAN ซึ่งสามารถส่งข้อมูลระยะไกลได้โดยใช้พลังงานต่ำ และสามารถทำงานได้ในพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต Wi-Fi ระบบจะใช้ Raspberry Pi เป็น LoRaWAN Gateway ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์และส่งต่อไปยัง Google Sheets ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อจัดเก็บข้อมูลและแสดงผลใน Looker Studio ซึ่งช่วยให้สามารถติดตามระดับน้ำและแนวโน้มของน้ำท่วมได้อย่างชัดเจน ระบบนี้ยังมีการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่รองรับการแจ้งเตือนผ่าน LINE Application โดยหากระดับน้ำในคลองสูงเกินค่าที่กำหนด ระบบจะส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังโรงเรียนและชุมชน เพื่อให้สามารถดำเนินการมาตรการป้องกันและลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ การแจ้งเตือนจะถูกออกแบบให้สามารถส่งข้อมูลไปยังหน่วยงานที่เกี่ยวข้องพร้อมกับชุมชนบ้านธารปราสาท

### สมมติฐานการวิจัย

ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมแบบเรียลไทม์ที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนได้อย่างถูกต้องและแม่นยำซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ทางวิชาการอยู่ที่ 5-10%

การใช้เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRaWAN สามารถส่งข้อมูลระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนแบบเรียลไทม์

ได้ซึ่งสามารถแจ้งเตือนได้ภายในไม่เกิน 5 นาที ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนต่ำและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในพื้นที่ชนบทที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสาร

## วิธีดำเนินการวิจัย

### ออกแบบระบบอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ (End-Device/Node)

อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำในระบบเครือข่าย LoRaWAN (แสดงดังภาพ 1) ทำหน้าที่เป็น End-Device หรือ Node โดยประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดระดับน้ำแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Sensor) จำนวน 3 ตัว และเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลกลางของระบบ และใช้โมดูลสื่อสาร LoRa (RFM95W) สำหรับส่งข้อมูลไปยังศูนย์ประมวลผล อุปกรณ์ได้รับพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ผ่านแบตเตอรี่ขนาด 12V 40Ah เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง

ระบบตรวจวัดระดับน้ำถูกออกแบบให้ใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกจำนวน 3 ตัว ซึ่งถูกติดตั้งตามตำแหน่งที่กำหนดไว้ (แสดงในภาพ 2) เพื่อวัดระดับน้ำที่มีความแม่นยำมากขึ้น หลักการทำงานของเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก คือ การปล่อยคลื่นเสียงความถี่สูง (40 kHz) และวัดเวลาที่เสียงสะท้อนกลับมาหลังจากกระทบพื้นผิวน้ำ โดยเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกทั้งสามตัวเชื่อมต่อโดยตรงกับ ESP32 ซึ่งประมวลผลข้อมูลที่ได้รับและคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่งของน้ำและเซ็นเซอร์โดยใช้สมการที่ (1) หลังจากนั้น ระยะทางดังกล่าวถูกนำไปใช้คำนวณระดับน้ำ โดยพิจารณาตำแหน่งการติดตั้งเซ็นเซอร์ และค่าความสูงของระดับน้ำจะแสดงในภาพ 2

สำหรับงานวิจัยนี้ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในการวัดระดับน้ำ ระบบใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกจำนวน 3 ตัว โดยมีข้อดี คือ สามารถลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลผ่านการคำนวณค่าเฉลี่ยของค่าระดับน้ำที่วัดได้จากแต่ละเซ็นเซอร์ ส่งผลให้ได้ค่าที่มีความแม่นยำสูงขึ้น นอกจากนี้ระบบยังสามารถลดผลกระทบจากการสะท้อนผิดพลาดของคลื่นเสียง (false echo) ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากสิ่งกีดขวางหรือความไม่สม่ำเสมอของผิวน้ำ อีกทั้งยังรองรับสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย โดยสามารถลดผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น ลม คลื่นน้ำ หรือสิ่งกีดขวางที่อาจส่งผลต่อค่าการวัด

ระบบคำนวณระดับน้ำจากเซ็นเซอร์แต่ละตัวอย่างอิสระ โดยใช้การแก้ไขเชิงตรีโกณมิติเพื่อนำค่าระยะทางที่วัดได้มาคำนวณเป็นระดับความสูงของน้ำ (Li) ผ่านสมการที่ (2) สมการนี้พิจารณาความแตกต่างของมุมติดตั้งเซ็นเซอร์และระยะทางการวัดเพื่อปรับปรุงค่าระดับน้ำให้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น วิธีนี้ช่วยให้สามารถใช้เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งในมุมที่ต่างกันเพื่อสร้างแบบจำลองระดับน้ำที่แม่นยำและเชื่อถือได้มากขึ้น ระบบที่นำเสนอสามารถเพิ่มความแม่นยำ ลดผลกระทบจากปัจจัยภายนอก และปรับปรุงคุณภาพของข้อมูลผ่านการแก้ไขเชิงตรีโกณมิติ ทำให้ได้ค่าระดับน้ำที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงมากยิ่งขึ้น

$$d = \frac{v}{2t} \quad (1)$$

โดยที่

$d$  คือ ระยะทาง (เมตร)

$v$  คือ ความเร็วของเสียงในอากาศ (343 เมตร/วินาที)

$t$  คือ เวลา (วินาที)

ระดับน้ำจริงถูกกำหนดโดย:

$$L_i = H_i - d_i \times \cos(\theta_i) \quad (2)$$

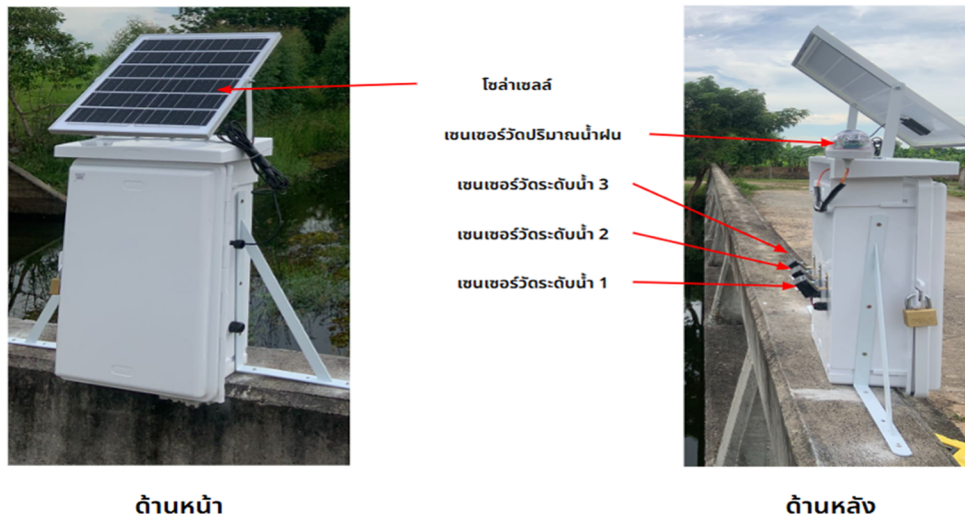
โดยที่

$L_i$  คือ ระดับน้ำที่คำนวณได้จากเซ็นเซอร์  $i$  (เมตร)

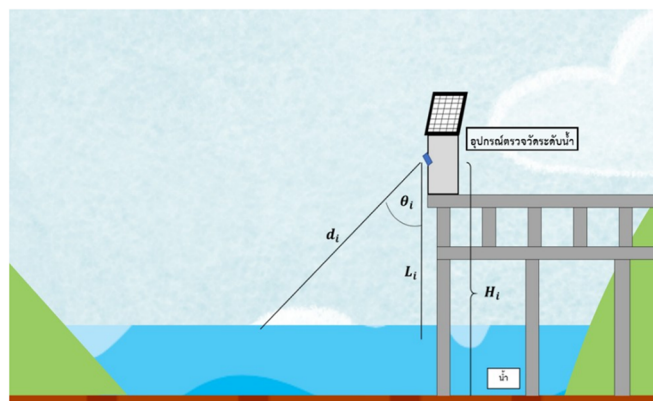
$H_i$  คือ ความสูงของเซ็นเซอร์  $i$  (เมตร)

$d_i$  คือ ระยะทางที่วัดได้ของ Sensor  $i$  (เมตร)

$\theta_i$  คือ มุมของเซ็นเซอร์เทียบกับแกนแนวดิ่ง



ภาพ 1 แสดงการออกแบบของอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ (end-device/node)



ภาพ 2 แสดงการคำนวณระดับน้ำ

### ออกแบบระบบการแจ้งเตือนระดับน้ำท่วม

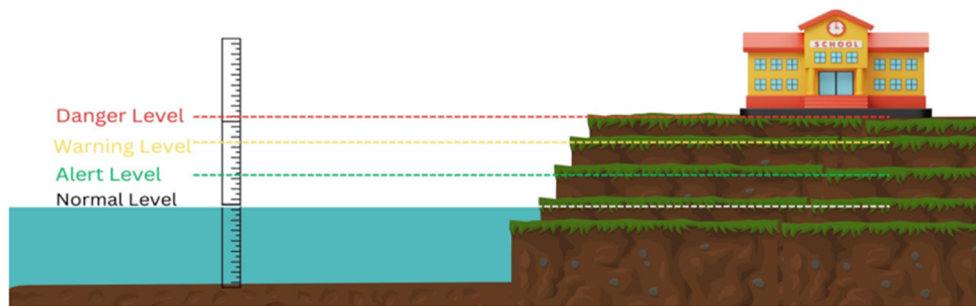
การออกแบบระบบการแจ้งเตือนน้ำท่วม โดยการใช้การแจ้งเตือนผ่าน Line Application โดยใช้ค่าความสูงของระดับน้ำอ้างอิงจากสถานที่จริง โดยที่แบ่งระดับน้ำออกเป็น 4 ระดับ อ้างอิงจากความสูงของเซ็นเซอร์ ดังภาพ 3 โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับ โดยอ้างอิงจากสำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 4 ได้กำหนดเกณฑ์ระดับน้ำออกเป็น 4 ระดับ ได้แก่ ภาวะปกติ เฝ้าระวัง เตือนภัย และภาวะวิกฤติ ซึ่งสอดคล้องกับระดับมาตรฐานสากลที่แบ่งเป็น Normal Level Alert Level Warning Level และ Danger Level

**ระดับปกติ** ระดับน้ำอยู่ในสภาวะปกติ ไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วม กำหนดให้เป็นระดับน้ำที่ต่ำกว่าระดับตลิ่ง โดยอาจกำหนดเป็นค่าห่างจากตลิ่ง 15 เมตร และใช้สีเขียวหรือสีฟ้าเพื่อแสดงระดับนี้นบนแดชบอร์ด

**ระดับเฝ้าระวัง** ระดับน้ำเริ่มสูงขึ้นและควรเฝ้าระวัง แต่ยังไม่ถึงขั้นเตือนภัย กำหนดให้เป็นระดับที่สูงกว่าระดับปกติแต่ยังต่ำกว่าระดับตลิ่ง โดยมักกำหนดที่ประมาณ 60-70% ของระดับตลิ่งในที่นี้ คือ 10 เมตร ใช้สีเหลืองเพื่อแสดงระดับนี้นบนแดชบอร์ด

**ระดับเตือนภัย** ระดับน้ำสูงจนมีความเสี่ยงที่จะเกิดน้ำท่วม ควรเตรียมพร้อมรับสถานการณ์ ในที่นี้ คือ 1 เมตร ใช้สีแดงเพื่อแสดงระดับนี้นบนแดชบอร์ด

**ระดับอันตราย** ระดับน้ำสูงถึงขั้นวิกฤติ มีความเสี่ยงต่อการเกิดน้ำท่วมรุนแรง จำเป็นต้องอพยพ ในที่นี้ คือ น้ำล้นตลิ่งใช้สีแดงเพื่อแสดงระดับนี้นบนแดชบอร์ด



ภาพ 3 แสดงเกณฑ์ระดับน้ำ

### ออกแบบระบบการวัดปริมาณน้ำฝน

เซ็นเซอร์ RG-15 Rain Gauge เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณน้ำฝนที่ใช้เทคโนโลยี Laser-Based Sensing เพื่อวัดปริมาณน้ำฝนโดยไม่ต้องใช้กลไกทางกลเหมือนกับมาตรวัดน้ำฝนแบบดั้งเดิม (tipping bucket) อุปกรณ์นี้ใช้เลเซอร์อินฟราเรด และอัลกอริทึมการประมวลผลเพื่อวัดปริมาณฝนที่ตกลงมา โดยอาศัยหลักการสะท้อนของแสงเลเซอร์เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของน้ำฝนที่ตกลงบนพื้นผิวเซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์ RG-15 สามารถตรวจจับความเข้มข้นของน้ำฝน (rainfall intensity) และปริมาณน้ำฝนสะสม (total accumulated rainfall) ได้อย่างแม่นยำ และสามารถแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในหน่วยมิลลิเมตรต่อชั่วโมง (mm/hr) หรือมิลลิเมตรต่อวัน (mm/day) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์แนวโน้มของปริมาณน้ำฝน และการแจ้งเตือนภัยน้ำท่วม โดยในการทดลองได้กำหนดเกณฑ์แบ่งระดับปริมาณน้ำฝน เพื่อช่วยประเมินสถานการณ์ และออกแบบระบบแจ้งเตือนล่วงหน้า โดยแบ่งออกเป็น 4 ระดับหลัก ดังนี้

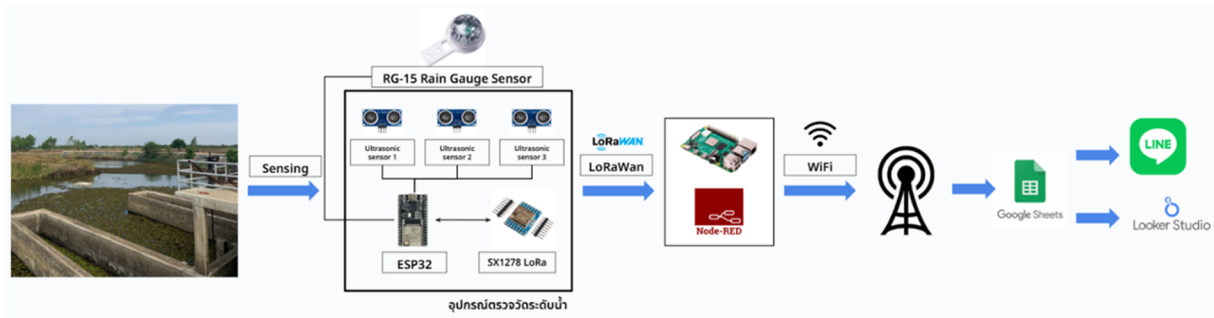
1. ระดับปกติ (normal level): ปริมาณฝนต่ำกว่า 50 มม./วัน
2. ระดับเฝ้าระวัง (alert level): ปริมาณฝนระหว่าง 50-100 มม./วัน อาจเริ่มส่งผลให้ระดับน้ำในคลองหรือพื้นที่ลุ่มต่ำเพิ่มขึ้น
3. ระดับเตือนภัย (warning level): ปริมาณฝนระหว่าง 101-150 มม./วัน มีแนวโน้มว่าน้ำในคลองหรือพื้นที่เสี่ยงน้ำท่วมอาจเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ควรแจ้งเตือนให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องและชุมชนเตรียมพร้อมรับมือกับสถานการณ์น้ำท่วม

4. ระดับอันตราย (danger level): ปริมาณฝนมากกว่า 150 มม./วัน มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดน้ำท่วมฉับพลัน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีลุ่มต่ำหรือไม่มีระบบระบายน้ำที่ดี

### แนวคิดและเงื่อนไขการแจ้งเตือนน้ำท่วม

ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมถูกออกแบบให้สามารถแจ้งเตือนโดยอ้างอิงจากค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำฝน โดยใช้เกณฑ์ต่อไปนี้:

1. ระบบจะทำการแจ้งเตือนหากเข้าเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งดังต่อไปนี้
  - ระดับน้ำอยู่ในช่วงเฝ้าระวัง (alert level) และปริมาณน้ำฝนอยู่ในระดับเตือนภัย (warning level)
  - ระดับน้ำอยู่ในช่วงเตือนภัย (warning level)
  - ระดับน้ำอยู่ในช่วงเตือนภัย (warning level) และปริมาณน้ำฝนเกินระดับเฝ้าระวัง (alert level)
  - ระดับน้ำอยู่ในช่วงอันตราย (danger level)
  - ปริมาณน้ำฝนอยู่ในระดับอันตราย (danger level)
2. เมื่อเกิดสถานการณ์ที่เข้าเงื่อนไข ระบบจะดำเนินการแจ้งเตือนโดยอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชัน LINE ไปยังบุคลากรในโรงเรียน หน่วยงานภาครัฐ และประชาชนในพื้นที่เสี่ยง



ภาพ 4 แสดงสถาปัตยกรรมการทำงานของระบบ

### กระบวนการส่งข้อมูลในระบบตรวจวัดระดับน้ำ

ระบบตรวจวัดระดับน้ำที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ทำงานโดยการเก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์และส่งข้อมูลไปยังศูนย์ประมวลผลผ่านเครือข่าย LoRaWAN กระบวนการส่งข้อมูลของระบบดำเนินการตามลำดับขั้นตอน ดังที่แสดงในภาพ 4 โดยสามารถแบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การรวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ (ขั้นตอนการตรวจวัดข้อมูล)

อุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำได้รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งเป็นหน่วยประมวลผลกลางของระบบ โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- ESP32 อ่านค่าจากเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก 3 ตัว และเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน (RG-15 Rain Gauge Sensor)
- ข้อมูลจากเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกถูกประมวลผลเพื่อคำนวณระดับน้ำ โดยใช้สมการที่ (1) และ (2)
- ค่าระดับน้ำที่ได้จากเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ตัวจะถูกนำมาเฉลี่ยและปรับแก้ด้วยวิธีการทางตรีโกณมิติ เพื่อลดค่าคลาดเคลื่อนในการวัด
- ESP32 ทำการตรวจสอบปริมาณน้ำฝนสะสมที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ RG-15 และรวมข้อมูลเข้ากับค่าระดับน้ำเพื่อเตรียมส่งข้อมูล

2. การส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย LoRaWAN

- ข้อมูลที่ได้รับการประมวลผลจะถูกเข้ารหัสและส่งไปยังโมดูล LoRa (SX1278)
- โมดูล LoRa ใช้คลื่นความถี่ 433 เมกะเฮิรตซ์ (MHz) ในการส่งข้อมูล
- การส่งข้อมูลใช้โปรโตคอล LoRaWAN Class A ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานของระบบ

- สัญญาณ LoRaWAN มีระยะการส่งข้อมูลประมาณ 1 กิโลเมตร ในสภาพแวดล้อมที่ใช้งาน

- เมื่อการส่งข้อมูลสำเร็จ ระบบจะเข้าสู่โหมดพัก (deep sleep mode) เพื่อลดการใช้พลังงาน

3. Raspberry Pi เป็นเกตเวย์ของระบบ LoRaWAN (ขั้นตอนการรับข้อมูลและเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต)

ระบบนี้ใช้ Raspberry Pi เป็น LoRaWAN Gateway ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำและเซิร์ฟเวอร์คลาวด์ โดยมีการทำงานดังนี้

- Raspberry Pi รับข้อมูล LoRaWAN จาก ESP32 ผ่าน HAT โมดูล LoRaWAN ที่ใช้ SX130x-based concentrator
- ใช้แพลตฟอร์ม Node-RED เป็นตัวกลางในการประมวลผลฟอร์แมต และส่งข้อมูลไปยัง Google Sheets
- Raspberry Pi เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่าน WiFi เพื่อส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์

4. การบันทึกข้อมูลลง Google Sheets (ขั้นตอนการจัดเก็บข้อมูลบนระบบคลาวด์)

- Node-RED ทำหน้าที่นำข้อมูลที่ได้รับจาก LoRaWAN Network Server และจัดเก็บลงใน Google Sheets
- Google Sheets ทำหน้าที่เป็นฐานข้อมูลบนระบบคลาวด์ที่สามารถเข้าถึงได้แบบเรียลไทม์
- ข้อมูลถูกจัดเก็บในรูปแบบตารางข้อมูล ซึ่งแสดงให้เห็นค่าระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนในแต่ละช่วงเวลา (แสดงในภาพ 5)

- Google Sheets รองรับการเชื่อมต่อกับ API ภายนอก เพื่อส่งข้อมูลไปยังแพลตฟอร์มวิเคราะห์ข้อมูล Looker Studio

5. การแสดงผลข้อมูลผ่าน Looker Studio (ขั้นตอนการแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์)

1. ข้อมูลจาก Google Sheets ถูกนำเข้าไปแสดงผลใน Looker Studio (Google Data Studio)

2. Looker Studio ช่วยให้สามารถสร้างแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์ เพื่อแสดงแนวโน้มของระดับน้ำและปริมาณน้ำฝน

3. ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูลผ่านกราฟแสดงแนวโน้มระดับน้ำ และ แผนภูมิแสดงปริมาณน้ำฝนสะสม

4. ระบบสามารถตั้งค่าแดชบอร์ดแบบโต้ตอบ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเลือกช่วงเวลาหรือพื้นที่ที่ต้องการดูข้อมูลได้

6. การแจ้งเตือนผ่าน LINE Application (ขั้นตอนการแจ้งเตือนอัตโนมัติผ่านแอปพลิเคชัน LINE)

- หากค่าระดับน้ำที่วัดได้เกินค่าที่กำหนด ระบบจะทำการแจ้งเตือนโดยอัตโนมัติ

- Google Apps Script หรือ Webhook API จะทำหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลใน Google Sheets และส่งข้อความแจ้งเตือนไปยัง LINE Application

- ข้อความแจ้งเตือนมีรูปแบบเป็นข้อความอัตโนมัติจาก LINE Bot

## ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยโรงเรียนบ้านธารปราสาทและชุมชนโดยรอบ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาน้ำท่วมซ้ำซาก รวมถึงผู้มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วม เช่น ครู เจ้าหน้าที่โรงเรียน ผู้นำชุมชน อาสาสมัครป้องกันภัยพิบัติ และประชาชนในพื้นที่ การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มแบบเจาะจง (purposive sampling) โดยพิจารณาพื้นที่ที่มีประวัติการเกิดน้ำท่วมและข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสาร

## เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### เครื่องมือฮาร์ดแวร์

1. เซ็นเซอร์วัดระดับน้ำแบบอัลตราโซนิก 3 ตัว และเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน

2. ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ESP32) และ LoRa Module

3. Raspberry Pi เป็นเกตเวย์รับ-ส่งข้อมูล

4. แผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ สำหรับจ่ายพลังงานให้ระบบ

### เครื่องมือซอฟต์แวร์

1. Arduino IDE/ PlatformIO สำหรับพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์

2. Google Sheets และ Looker Studio สำหรับบันทึกและแสดงผลข้อมูล

3. LINE Notify API สำหรับแจ้งเตือนภัยน้ำท่วม

## การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น (1) ข้อมูลจากระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วม (2) ข้อมูลค่าระดับน้ำและปริมาณฝนเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของระบบ ซึ่งสุ่มเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลาทั้งหมด 20 วัน

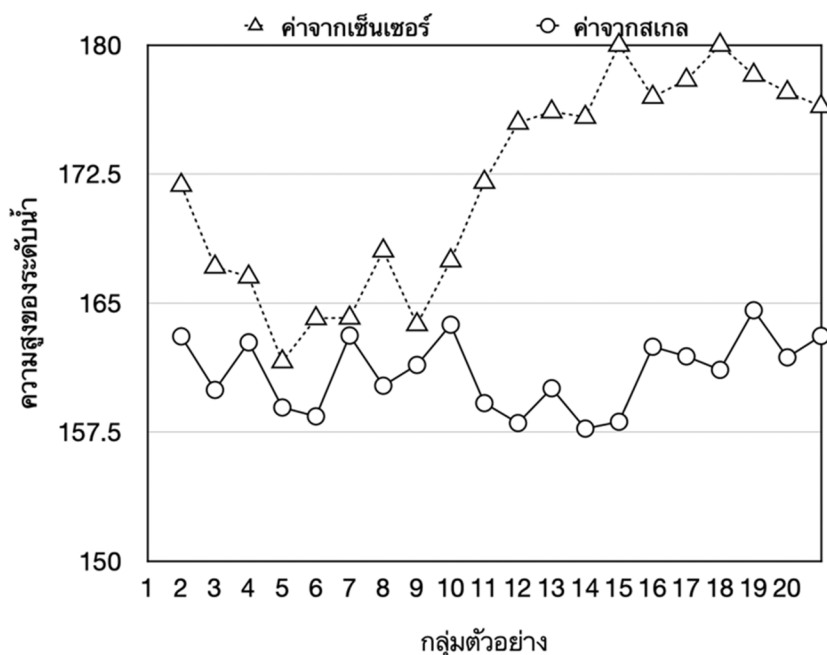
## ผลการวิจัย

ความแม่นยำของระบบเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์เปรียบกับค่ามาตรวัดน้ำที่ติดตั้งในแม่น้ำโดยเก็บผลการทดลองเปรียบเทียบโดยใช้วิธีการสุ่มวัดจำนวน 20 วันอยู่ในเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคมอยู่ในช่วงปลายฤดูฝนตามข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา พบว่า ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 7% และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการเก็บข้อมูลเป็นจำนวน 20 วัน ได้อยู่ที่ 39.71 ดังแสดงในภาพ 5

ตัวชี้วัดความสำเร็จของระบบถูกกำหนดจาก 2 เกณฑ์หลัก ได้แก่ (1) ความแม่นยำของค่าระดับน้ำที่วัดได้ โดยต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 10% เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรวัดน้ำที่ติดตั้งภาคสนาม และ (2) ความสามารถในการแจ้งเตือนภัยได้อย่างรวดเร็ว โดยต้องสามารถส่งการแจ้งเตือนไปยังผู้เกี่ยวข้องผ่านแอปพลิเคชัน LINE ภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที หลังจากค่าระดับน้ำหรือปริมาณฝนเกินค่าที่กำหนด ระบบที่พัฒนานี้สามารถทำงานได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยเฉพาะในการทดสอบการแจ้งเตือนซึ่งสามารถแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์อย่างถูกต้อง ดังแสดงในภาพ 6

จากภาพ 6 แสดงถึงโครงสร้างของข้อมูลที่จัดเก็บใน Google Sheets ซึ่งแบ่งออกเป็น 9 ชุดข้อมูล (ชีต) ตามประเภทของข้อมูลที่บันทึก โดยชีตที่ 1-3 ใช้สำหรับบันทึกค่าระดับน้ำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ในตำแหน่งต่าง ๆ ชีตที่ 4 เป็นค่าระดับน้ำเฉลี่ย ชีตที่ 5 ใช้บันทึกปริมาณน้ำฝนที่วัดได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด ชีตที่ 6 เก็บข้อมูลเกี่ยวกับวันที่และเวลาที่ฝนตก เพื่อใช้วิเคราะห์แนวโน้มของปริมาณน้ำฝนในแต่ละช่วงเวลา ชีตที่ 7 บันทึกปริมาณน้ำฝนสะสมทั้งหมดและความชื้นของฝน ซึ่งสามารถใช้เป็นข้อมูลสำคัญในการ

ติดตามสภาพอากาศและคาดการณ์แนวโน้มของปริมาณฝนในพื้นที่ ระบบการจัดเก็บข้อมูลนี้ช่วยให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์และแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากภาพ 7 แสดงปริมาณค่าเฉลี่ยของน้ำที่วัดได้ในแต่ละช่วงเวลาในระยะเวลา 1 เดือน ซึ่งจากการเก็บข้อมูลพบว่า ระบบสามารถบันทึกค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดระดับน้ำ โดยใช้ความถี่ในการเก็บ 1 วันต่อครั้งได้โดยไม่พบความผิดพลาดเนื่องจากการเชื่อมต่อ



ภาพ 5 แสดงการเปรียบเทียบค่าจาก Sensor และค่าจาก Scale

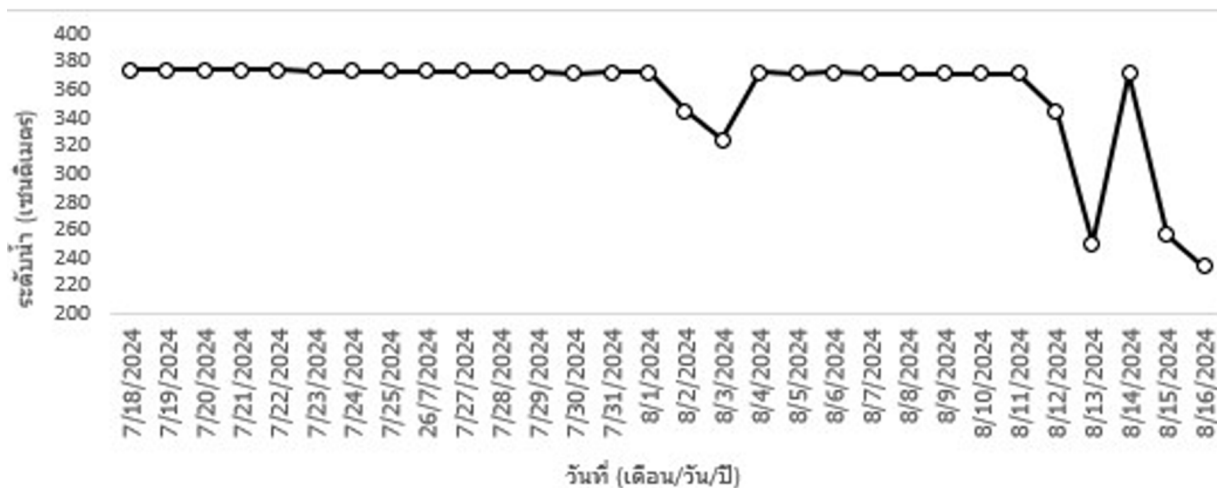
Tarnprasat

ไฟล์ แก้ไข ดู แชร์ รูปแบบ ข้อมูล เครื่องมือ ส่วนขยาย ความช่วยเหลือ

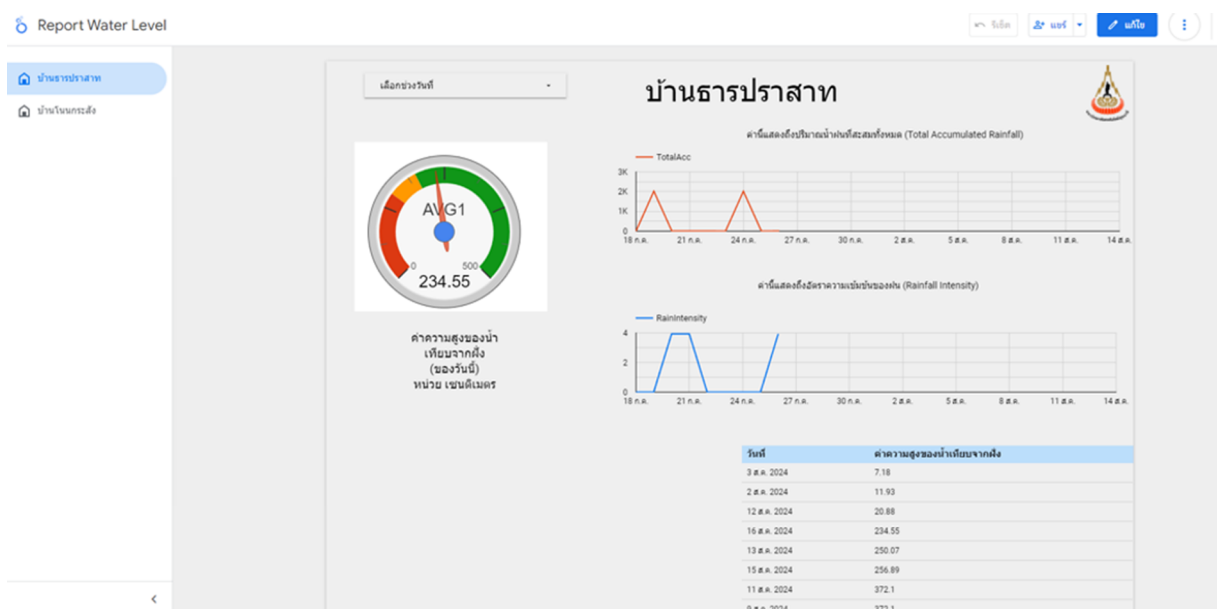
ค้นหา

100% \$ % 123 456 789 10111213141516171819202122232425262728293031323334353637383940414243444546474849505152535455565758596061626364656667686970717273747576777879808182838485868788899091929394959697989910010110210310410510610710810911011111211311411511611711811912012112212312412512612712812913013113213313413513613713813914014114214314414514614714814915015115215315415515615715815916016116216316416516616716816917017117217317417517617717817918018118218318418518618718818919019119219319419519619719819920020120220320420520620720820921021121221321421521621721821922022122222322422522622722822923023123223323423523623723823924024124224324424524624724824925025125225325425525625725825926026126226326426526626726826927027127227327427527627727827928028128228328428528628728828929029129229329429529629729829930030130230330430530630730830931031131231331431531631731831932032132232332432532632732832933033133233333433533633733833934034134234334434534634734834935035135235335435535635735835936036136236336436536636736836937037137237337437537637737837938038138238338438538638738838939039139239339439539639739839940040140240340440540640740840941041141241341441541641741841942042142242342442542642742842943043143243343443543643743843944044144244344444544644744844945045145245345445545645745845946046146246346446546646746846947047147247347447547647747847948048148248348448548648748848949049149249349449549649749849950050150250350450550650750850951051151251351451551651751851952052152252352452552652752852953053153253353453553653753853954054154254354454554654754854955055155255355455555655755855956056156256356456556656756856957057157257357457557657757857958058158258358458558658758858959059159259359459559659759859960060160260360460560660760860961061161261361461561661761861962062162262362462562662762862963063163263363463563663763863964064164264364464564664764864965065165265365465565665765865966066166266366466566666766866967067167267367467567667767867968068168268368468568668768868969069169269369469569669769869970070170270370470570670770870971071171271371471571671771871972072172272372472572672772872973073173273373473573673773873974074174274374474574674774874975075175275375475575675775875976076176276376476576676776876977077177277377477577677777877978078178278378478578678778878979079179279379479579679779879980080180280380480580680780880981081181281381481581681781881982082182282382482582682782882983083183283383483583683783883984084184284384484584684784884985085185285385485585685785885986086186286386486586686786886987087187287387487587687787887988088188288388488588688788888989089189289389489589689789889990090190290390490590690790890991091191291391491591691791891992092192292392492592692792892993093193293393493593693793893994094194294394494594694794894995095195295395495595695795895996096196296396496596696796896997097197297397497597697797897998098198298398498598698798898999099199299399499599699799899910001001100210031004100510061007100810091010101110121013101410151016101710181019102010211022102310241025102610271028102910301031103210331034103510361037103810391040104110421043104410451046104710481049105010511052105310541055105610571058105910601061106210631064106510661067106810691070107110721073107410751076107710781079108010811082108310841085108610871088108910901091109210931094109510961097109810991100110111021103110411051106110711081109111011111112111311141115111611171118111911201121112211231124112511261127112811291130113111321133113411351136113711381139114011411142114311441145114611471148114911501151115211531154115511561157115811591160116111621163116411651166116711681169117011711172117311741175117611771178117911801181118211831184118511861187118811891190119111921193119411951196119711981199120012011202120312041205120612071208120912101211121212131214121512161217121812191220122112221223122412251226122712281229123012311232123312341235123612371238123912401241124212431244124512461247124812491250125112521253125412551256125712581259126012611262126312641265126612671268126912701271127212731274127512761277127812791280128112821283128412851286128712881289129012911292129312941295129612971298129913001301130213031304130513061307130813091310131113121313131413151316131713181319132013211322132313241325132613271328132913301331133213331334133513361337133813391340134113421343134413451346134713481349135013511352135313541355135613571358135913601361136213631364136513661367136813691370137113721373137413751376137713781379138013811382138313841385138613871388138913901391139213931394139513961397139813991400140114021403140414051406140714081409141014111412141314141415141614171418141914201421142214231424142514261427142814291430143114321433143414351436143714381439144014411442144314441445144614471448144914501451145214531454145514561457145814591460146114621463146414651466146714681469147014711472147314741475147614771478147914801481148214831484148514861487148814891490149114921493149414951496149714981499150015011502150315041505150615071508150915101511151215131514151515161517151815191520152115221523152415251526152715281529153015311532153315341535153615371538153915401541154215431544154515461547154815491550155115521553155415551556155715581559156015611562156315641565156615671568156915701571157215731574157515761577157815791580158115821583158415851586158715881589159015911592159315941595159615971598159916001601160216031604160516061607160816091610161116121613161416151616161716181619162016211622162316241625162616271628162916301631163216331634163516361637163816391640164116421643164416451646164716481649165016511652165316541655165616571658165916601661166216631664166516661667166816691670167116721673167416751676167716781679168016811682168316841685168616871688168916901691169216931694169516961697169816991700170117021703170417051706170717081709171017111712171317141715171617171718171917201721172217231724172517261727172817291730173117321733173417351736173717381739174017411742174317441745174617471748174917501751175217531754175517561757175817591760176117621763176417651766176717681769177017711772177317741775177617771778177917801781178217831784178517861787178817891790179117921793179417951796179717981799180018011802180318041805180618071808180918101811181218131814181518161817181818191820182118221823182418251826182718281829183018311832183318341835183618371838183918401841184218431844184518461847184818491850185118521853185418551856185718581859186018611862186318641865186618671868186918701871187218731874187518761877187818791880188118821883188418851886188718881889189018911892189318941895189618971898189919001901190219031904190519061907190819091910191119121913191419151916191719181919192019211922192319241925192619271928192919301931193219331934193519361937193819391940194119421943194419451946194719481949195019511952195319541955195619571958195919601961196219631964196519661967196819691970197119721973197419751976197719781979198019811982198319841985198619871988198919901991199219931994199519961997199819992000200120022003200420052006200720082009201020112012201320142015201620172018201920202021202220232024202520262027202820292030203120322033203420352036203720382039204020412042204320442045204620472048204920502051205220532054205520562057205820592060206120622063206420652066206720682069207020712072207320742075207620772078207920802081208220832084208520862087208820892090209120922093209420952096209720982099210021012102210321042105210621072108210921102111211221132114211521162117211821192120212121222123212421252126212721282129213021312132213321342135213621372138213921402141214221432144214521462147214821492150215121522153215421552156215721582159216021612162216321642165216621672168216921702171217221732174217521762177217821792180218121822183218421852186218721882189219021912192219321942195219621972198219922002201220222032204220522062207220822092210221122122213221422152216221722182219222022212222222322242225222622272228222922302231223222332234223522362237223822392240224122422243224422452246224722482249225022512252225322542255225622572258225922602261226222632264226522662267226822692270227122722273227422752276227722782279228022812282228322842285228622872288228922902291229222932294229522962297229822992300230123022303230423052306230723082309231023112312231323142315231623172318231923202321232223232324232523262327232823292330233123322333233423352336233723382339234023412342234323442345234623472348234923502351235223532354235523562357235823592360236123622363236423652366236723682369237023712372237323742375237623772378237923802381238223832384238523862387238823892390239123922393239423952396239723982399240024012402240324042405240624072408240924102411241224132414241524162417241824192420242124222423242424252426242724282429243024312432243324342435243624372438243924402441244224432444244524462447244824492450245124522453245424552456245724582459246024612462246324642465246624672468246924702471247224732474247524762477247824792480248124822483248424852486248724882489249024912492249324942495249624972498249925002501250225032504250525062507250825092510251125122513251425152516251725182519252025212522252325242525252625272528252925302531253225332534253525362537253825392540254125422543254425452546254725482549255025512552255325542555255625572558255925602561256225632564256525662567256825692570257125722573257425752576257725782579258025812582258325842585258625872588258925902591259225932594259525962597259825992600260126022603260426052606260726082609261026112612261326142615261626172618261926202621262226232624262526262627262826292630263126322633263426352636263726382639264026412642264326442645264626472648264926502651265226532654265526562657265826592660266126622663266426652666266726682669267026712672267326742675267626772678267926802681268226832684268526862687268826892690269126922693269426952696269726982699270027012702270327042705270627072708270927102711271227132714271527162717271827192720272127222723272427252726272727282729273027312732273327342735273627372738273927402741274227432744274527462747274827492750275127522753275427552756275727582759276027612762276327642765276627672768276927702771277227732774277527762777277827792780278127822783278427852786278727882789279027912792279327942795279627972798279928002801280228032804280528062807280828092810281128122813281428152816281728182819282028212822282328242825282628272828282928302831283228332834283528362837283828392840284128422843284428452846284728482849285028512852285328542855285628572858285928602861286228632864286528662867286828692870287128722873287428752876287728782879288028812882288328842885288628872888288928902891289228932894289528962897289828992900290129022903290429052906290729082909291029112912291329142915291629172918291929202921292229232924292529262927292829292930293129322933293429352936293729382939294029412942294329442945294629472948294929502951295229532954295529562957295829592960296129622963296429652966296729682969297029712972297329742975297629772978297929802981298229832984298529862987298829892990299129922993299429952996299729982999300030013002300330043005300630073008300930103011301230133014301530163017301830193020302130223023302430253026302730283029303030313032303330343035303630373038303930403041304230433044304530463047304830493050305130523053305430553056305730583059306030613062306330643065306630673068306930703071307230733074307530763077307830793080308130823083308430853086308730883089309030913092309330943095309630973098309931003101310231033104310531063107310831093110311131123113311431153116311731183119312031213122312331243125312631273128312931303131313231333134313531363137313831393140314131423143314431453146314731483149315031513152315331543155315631573158315931603161316231633164316531663167316831693170317131723173317431753176317731783179318031813182318331843185318631873188318931903191319231933194319531963197319831993200320132023203320432053206320732083209321032113212321332143215321632173218321932203221322232233223432253226322732283229323032313232323332343235323632373238323932403241324232433244324532463247324832493250325132523253325432553256325732583259326032613262326332643265326632673268326932703271327232733274327532763277327832793280328132823283328432853286328732883289329032913292329332943295329632973298329933003301330233033304330533063307330833093310331133123313331433153316331733183319332033213322332333243325332633273328332933303331333233333334333533363337333833393340334133423343334433453346334733483349335033513352335333543355335633573358335933603

ภาพ 6 แสดงภาพการเก็บข้อมูล DataSheet Nodered



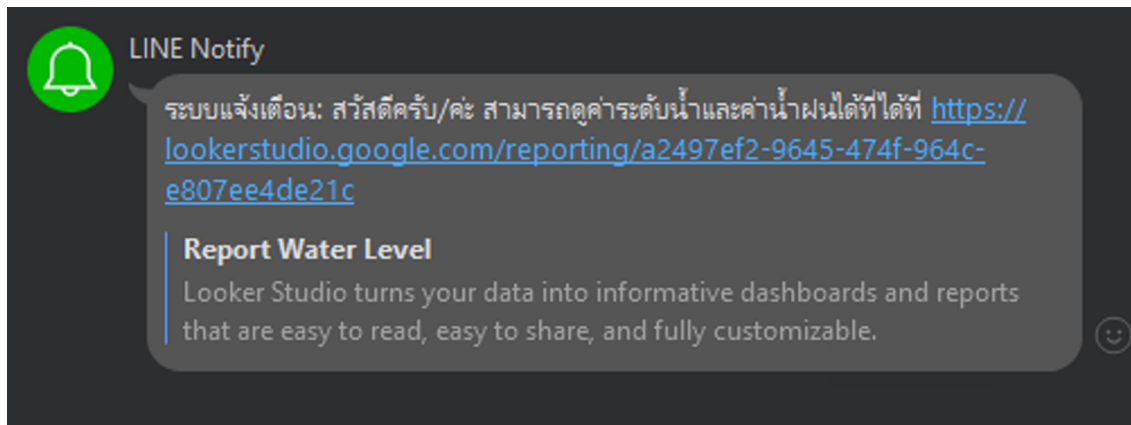
ภาพ 7 แสดงภาพการเก็บข้อมูลปริมาณน้ำในระหว่างระยะเวลา 1 เดือน



ภาพ 8 แสดงภาพการเก็บข้อมูล Dashboard ใน Looker Studio

ภาพ 8 แสดงการแสดงผลข้อมูลปริมาณน้ำฝนในระบบแดชบอร์ด จาก Dashboard บ้านธารปราสาท ที่แสดงในภาพ ระบบถูกออกแบบมาเพื่อติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนในพื้นที่ โดยมีองค์ประกอบสำคัญดังนี้: มาตรวัดระดับน้ำ (water level gauge) แสดงค่าความสูงของระดับน้ำ ณ ปัจจุบัน เทียบจากฝาย หน่วยเป็นเซนติเมตร มีการใช้มาตรวัดสีแบบเขียว-เหลือง-แดง เพื่อบ่งชี้ระดับความปลอดภัยของน้ำตามหลักมาตรฐาน โดยอ้างอิงจากสำนักงานทรัพยากรน้ำภาค 4 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนสะสม (total accumulated

rainfall) กราฟเส้นแสดงข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่สะสมทั้งหมดในแต่ละช่วงเวลา ในช่วงถัดมา ปริมาณน้ำฝนที่สะสมไม่มีการเพิ่มขึ้นชัดเจน กราฟแสดงอัตราการความเข้มข้นของฝน (rainfall Intensity) แสดงอัตราการตกของฝนในแต่ละวัน ตารางแสดงค่าความสูงของระดับน้ำ (water level data table) บันทึกค่าความสูงของระดับน้ำตามวันที่วัด นอกจากนี้ เมื่อทดสอบการแจ้งเตือนการเตือนภัยน้ำท่วมพบว่า ระบบสามารถแจ้งเตือนการเตือนภัยฝนน้ำท่วมไปยังผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องได้อย่างถูกต้อง ดังแสดงในภาพ 9



ภาพ 9 แสดงการแจ้งเตือนผ่าน Line Application

## การอภิปรายผล

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมต้นทุ่นต่ำโดยใช้เทคโนโลยี IoT และเครือข่าย LoRaWAN เพื่อช่วยให้โรงเรียนและชุมชนในพื้นที่เสี่ยงสามารถเตรียมพร้อมรับมือกับน้ำท่วมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกสำหรับตรวจวัดระดับน้ำ และเซ็นเซอร์วัดปริมาณน้ำฝน ซึ่งเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลและส่งผ่านเครือข่าย LoRaWAN ไปยังเกตเวย์ Raspberry Pi ข้อมูลที่ได้รับจะถูกบันทึกลง Google Sheets และแสดงผลแบบเรียลไทม์ผ่าน Looker Studio พร้อมทั้งมีระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติผ่าน LINE Application เพื่อให้หน่วยงานและประชาชนสามารถติดตามสถานการณ์น้ำท่วมได้อย่างทันทั่วถึง

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำฝนได้อย่างต่อเนื่อง และมีความแม่นยำสูงในการตรวจจับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำ โดย ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 7% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Syamsi et al. (2024) ที่ศึกษาเรื่อง Water Level Monitoring for Flood Early Mitigation Based on IoT พบว่า ระบบที่ออกแบบโดยใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกและพลังงานแสงอาทิตย์สามารถรักษาค่า

ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยได้ที่ไม่เกิน 10% ในสภาพแวดล้อมภาคสนาม ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ในงานติดตามและแจ้งเตือนระดับน้ำในพื้นที่ห่างไกล (Syamsi et al., 2024)

นอกจากนี้มาตรฐานจาก World Meteorological Organization: WMO ยังระบุว่า ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์วัดน้ำฝนที่ใช้ในงานภาคสนามสามารถยอมรับได้ในช่วง  $\pm 5\%$  ถึง  $\pm 10\%$  ขึ้นอยู่กับสภาพฝนและความถี่ในการเก็บข้อมูล (WMO, 2008)

จากข้อมูลนี้ จึงสรุปได้ว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7% นั้น อยู่ในช่วงมาตรฐานที่ยอมรับได้ทั้งตามงานวิจัยภาคสนามและเกณฑ์สากล ซึ่งเพียงพอสำหรับการใช้งานในระดับชุมชนที่ต้องการต้นทุนต่ำแต่สามารถแจ้งเตือนภัยได้ทันทั่วถึง

ระบบแจ้งเตือนภัยผ่าน LINE Application ก็ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถแจ้งเตือนได้รวดเร็วเมื่อระดับน้ำถึงเกณฑ์ที่กำหนด อีกทั้งการใช้เครือข่าย LoRaWAN ทำให้สามารถส่งข้อมูลระยะไกลได้อย่างเสถียร แม้ในพื้นที่ที่ไม่มีสัญญาณอินเทอร์เน็ต ระบบนี้ยังใช้พลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ร่วมกับแบตเตอรี่ ซึ่งสามารถจ่ายพลังงานให้กับระบบได้ต่อเนื่องในทุกช่วงเวลา

## ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาประสิทธิภาพของระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมต้นทุนต่ำควรคำนึงถึงการเพิ่มช่องทางการแจ้งเตือนหลายรูปแบบ เพื่อให้สามารถเข้าถึงกลุ่มผู้ใช้งานได้ครอบคลุมและมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ควรเพิ่มการแจ้งเตือนผ่าน SMS หรือการติดตั้งสัญญาณไซเรนควบคู่กับการแจ้งเตือนผ่าน LINE Application เพื่อให้สามารถแจ้งเตือนล่วงหน้าได้แม้ในกรณีที่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตหรือสัญญาณโทรศัพท์มือถือขัดข้อง นอกจากนี้ ควรพิจารณาการนำเทคนิคการวิเคราะห์เชิงคาดการณ์ (predictive analytics) มาใช้โดยอาศัยข้อมูลปริมาณน้ำฝนและสภาพอากาศล่วงหน้า เพื่อให้สามารถคาดการณ์แนวโน้มระดับน้ำและแจ้งเตือนภัยได้เร็วขึ้น รวมถึงการพัฒนาการสื่อสารสำรอง เช่น การใช้โมดูล GSM เพื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตในกรณีฉุกเฉิน ซึ่งจะช่วยให้ระบบสามารถส่งข้อมูลและแจ้งเตือนภัยได้อย่างต่อเนื่องแม้เครือข่ายหลักขัดข้อง

งานวิจัยนี้ถึงแม้ว่าระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการตรวจจับระดับน้ำและแจ้งเตือนภัยได้อย่างทันท่วงที แต่ยังมีข้อจำกัดที่ควรได้รับการปรับปรุง โดยปัจจุบันระบบอาศัยเครือข่ายอินเทอร์เน็ตในการส่งข้อมูลขึ้นคลาวด์และแจ้งเตือนผ่าน LINE Application ซึ่งอาจทำให้การแจ้งเตือนล่าช้าหรือไม่สามารถเข้าถึงผู้ใช้งานได้ในกรณีที่การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตขาดหาย ดังนั้นควรพัฒนากลไกการรับเมื่อเครือข่ายล้มเหลว เช่น การเก็บข้อมูลในหน่วยความจำภายในของอุปกรณ์เป็นระยะ หรือการใช้ระบบแจ้งเตือนภัยในพื้นที่ เช่น การติดตั้งสัญญาณไฟหรือเสียงเตือน ณ จุดติดตั้ง เพื่อให้สามารถแจ้งเตือนในกรณีฉุกเฉินได้ทันที นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของสัญญาณ LoRa อาจได้รับผลกระทบจากปัจจัยทางกายภาพ เช่น ระยะทาง สิ่งกีดขวาง หรือระดับความสูงของเซ็นเซอร์เหนือน้ำ ซึ่งอาจลดคุณภาพของสัญญาณเมื่อเกิดน้ำท่วม ดังนั้นควรเลือกตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ให้เหมาะสม เช่น การยก

เสาสัญญาณให้สูงพ้นผิวน้ำ หรือการเพิ่มตัวทวนสัญญาณ (repeater) เพื่อขยายระยะทางการสื่อสารให้ครอบคลุมพื้นที่เสี่ยงภัยได้มากขึ้น นอกจากนี้ อุปกรณ์เซ็นเซอร์และระบบพลังงานควรได้รับการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เช่น การทำความสะอาดเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกและการตรวจสอบสถานะแบตเตอรี่ เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่องในระยะยาว

สำหรับแนวทางการใช้งานในอนาคต ควรขยายผลการทดลองไปสู่การใช้งานจริงในพื้นที่เสี่ยงต่อน้ำท่วมแห่งอื่น เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบและปรับปรุงให้เหมาะสมกับบริบทที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น อาจนำระบบไปทดลองใช้ในหมู่บ้านโนนกระสังซึ่งมีลักษณะทางภูมิศาสตร์คล้ายคลึงกัน เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมเพิ่มเติม ระบบแจ้งเตือนภัยน้ำท่วมแบบเรียลไทม์สามารถเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการบริหารจัดการน้ำและบรรเทาผลกระทบจากภัยพิบัติ ดังนั้นควรพิจารณาการเชื่อมโยงระบบเข้ากับแพลตฟอร์มแจ้งเตือนภัยของภาครัฐ เช่น กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัยหรือสำนักงานทรัพยากรน้ำ เพื่อให้สามารถแจ้งเตือนภัยได้อย่างครอบคลุมในระดับพื้นที่ที่กว้างขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการภัยพิบัติร่วมกับหน่วยงานภายนอก และจัดให้มีการฝึกอบรมผู้ที่อาศัยในชุมชนให้มีความรู้และความเข้าใจในการดูแลรักษาระบบได้ด้วยตนเอง

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม และกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (รหัสโครงการ NRIIS 195621)



## References

- Adu-Manu, K., Tapparello, C., & Heinzelman, W. (2017). Wireless sensor networks for flood monitoring: A systematic review. *Sensors*, 17(11), 2541. <https://doi.org/10.3390/s17112541>
- Arridha, R., Sukaridhoto, S., & Rizal, S. (2020). Real-time potable water quality monitoring using machine learning models. *2020 International Electronics Symposium (IES)* (pp. 234-240). IEEE.

- Allahbakhshian-Farsani, P., Vafakhah, M., & Khosravi-Farsani, H. (2020). Regional flood frequency analysis through some machine learning models in semi-arid regions. *Water Resources Management*, 34, 2887–2909. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02589-2>
- Boonmee, S. (2018). IoT security. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 12(1), 59–67. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/114401> (in Thai)
- Kaur, M., Kaur, P. D., & Sood, S. K. (2021). Energy efficient IoT-based cloud framework for early flood prediction. *Natural Hazards*, 109, 2053–2076. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04910-7>
- Padmavathi, B. (2024). LoRa-Powered water management system for real time monitoring and control in gated communities. In *2024 3rd International Conference on Automation, Computing and Renewable Systems (ICACRS)* (pp. 114–122). IEEE
- Perera, S., Silva, R., & Fernando, N. (2020). Intelligent flood warning system using IoT technology. *Proceedings of the International Conference on Smart Technologies* (pp. 45–52). IEEE
- Onboonuea, T., & Tinapron, S. (2023). Study of the Performance and Design of Dust Sensors. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 17(3), 26–37. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/265947>
- Pires, L. M., & Gomes, J. (2024). River Water Quality Monitoring Using LoRa-Based IoT. *Designs*, 8(6), 127. <https://doi.org/10.3390/designs8060127>
- Rani, D. S., Jayalakshmi, G. N., & Baligar, V. P. (2020). Low Cost IoT based Flood Monitoring System Using Machine Learning and Neural Networks: Flood Alerting and Rainfall Prediction. *2020 2nd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)* (pp. 261–267). Bangalore, India: IEEE.
- Sandhya, E., Sk, K. S., Mantena, S. V., Desanamukula, V. S., Koteswararao, C., Vemula, S. R., & Vemula, M. (2025). Enhancing security and efficiency in Mobile Ad Hoc Networks using a hybrid deep learning model for flooding attack detection. *Scientific Reports*, 15(1), 818. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84421-0>
- Sendra, S., Parra-Boronat, L., Jimenez, J. M., García-García, L., & Lloret, J. (2023). LoRa-based network for water quality monitoring in coastal areas. *Mobile Networks and Applications (Online)*, 28(1), 65–81. <https://doi.org/10.1007/s11036-022-01994-8>
- Thumkanon, C., Asavasaksakul, S., Pokudom, N., & Pokudom, K. (2017). Cloud computing: Infrastructure for the Internet of Things. *EAU Heritage Journal Science and Technology*, 11(1), 30–37. Retrieved from <https://he01.tci-thaijo.org/index.php/EAUHJSci/article/view/84518>
- Syamsi, A., Budi, S., Sari, R., & Prasetyo, A. (2024). Water level monitoring for flood early mitigation based on Internet of Things (IoT). ResearchGate. <https://doi.org/10.51967/tepi.v5i2.2504>
- World Meteorological Organization (WMO). (2008). Guide to meteorological instruments and methods of observation (WMO-No.8). Geneva: World Meteorological Organization

