

การพัฒนาระบบมาตรอัจฉริยะสำหรับตรวจวัดการใช้งานพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยเทคโนโลยีไอโอที

Development of Smart Electric Energy Consumption Metering in Building with IoT

วรภัทร แดงขวัญทอง Pornnapa Inchan และ ศรีณู ดวงสุวรรณ

Worapat Deangkwanthong Pornnapa Inchan and Sarun Duangsuwan *

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

Department of Engineering, Electrical Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,
Prince of Chumphon Campus, Chumphon, Thailand,

*Corresponding Author E-mail: sarun.du@kmitl.ac.th

Received: 17/02/25, Revised: 10/03/25, Accepted: 11/03/25

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ดังนั้นการพัฒนาระบบมาตรอัจฉริยะสามารถช่วยให้ผู้ใช้งานตรวจสอบและควบคุมปริมาณการใช้พลังงานได้สะดวก บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระบบมาตรอัจฉริยะตรวจวัดการใช้งานพลังงานไฟฟ้าในอาคาร โดยใช้เทคโนโลยีไอโอทีช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร ระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วย ชุดวัดค่าไฟฟ้าแบบอัจฉริยะที่สามารถตรวจจับข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำแบบเรียลไทม์พร้อมทั้งส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายด้วยการสื่อสารระยะไกล ข้อมูลที่ได้รับจะถูกประมวลผลและถูกแสดงผลหน้ารายงานออนไลน์ ผลการทดสอบจะดำเนินการแสดงตัวอย่างผลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคาร A โดยผลการทดสอบจะแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถตรวจวัดและรายงานข้อมูลได้อย่างแม่นยำและมีประสิทธิภาพ สามารถช่วยให้ผู้ใช้งานคำนวณค่าไฟฟ้าในแต่ละวันได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: มาตรอัจฉริยะ เทคโนโลยีไอโอที การใช้งานไฟฟ้า การจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารสมัยใหม่

Abstract

Electricity consumption in buildings has been continuously increasing. Efficient energy management is important. Developing a smart meter system can assist users in monitoring and controlling energy consumption more conveniently. This paper presents the development of a smart meter system for measuring electricity usage in buildings, utilizing IoT technology to enhance energy management efficiency. The developed system consists of an intelligent power measurement unit capable of accurately detecting real-time energy consumption data. The collected data is transmitted over long distances to a database via a wireless communication network. The received data

is then processed and displayed in an online report. The testing phase includes a case study of energy consumption in Building A. The test results demonstrate that the system can measure and report energy consumption data accurately and efficiently, enabling users to calculate daily electricity costs appropriately.

Keywords: Smart meter, IoT technology, electric energy consumption, smart building energy management

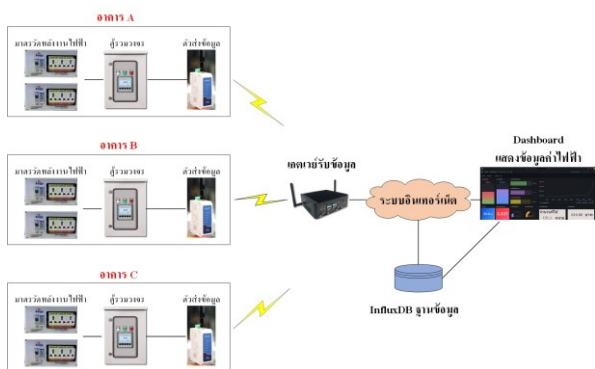
1. บทนำ

ในยุคดิจิทัลที่เทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในภาคครัวเรือนและอุตสาหกรรม ความต้องการในการจัดการและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจึงกลายเป็นเรื่องสำคัญ มาตรวัดไฟฟ้าแบบดั้งเดิมมีข้อจำกัดในการแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์และไม่สามารถให้ข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับรูปแบบการใช้พลังงาน การพัฒนาระบบมาตรอัจฉริยะที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งหรือไอโอที (IoT) สามารถตอบสนองต่อความต้องการนี้ได้ โดยช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบการใช้พลังงานได้อย่างละเอียดถี่ถ้วน ซึ่งจะส่งผลให้สามารถปรับปรุงพฤติกรรมการใช้พลังงานและลดค่าใช้จ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ [1]

งานวิจัยที่น่าสนใจในการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ในการตรวจวัดและจัดการพลังงานไฟฟ้า ได้แก่ งานวิจัยอ้างอิงลำดับที่ [2]-[3] มุ่งเน้นการพัฒนาโซลูชันมาตรวัดอัจฉริยะต้นทุนต่ำสำหรับประเทศกำลังพัฒนา โดยเน้นการใช้วัสดุและเทคโนโลยีที่สามารถเข้าถึงได้ง่าย จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือ การเน้นการลดต้นทุน ในขณะที่งานวิจัยที่นำเสนอมีความแตกต่างในด้านการรวมระบบซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและการเชื่อมต่อกับระบบคลาวด์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก ต่อมางานวิจัยอ้างอิงลำดับที่ [4]-[5] เน้นการพัฒนาแพลตฟอร์ม IoT สำหรับการจัดการพลังงานในอาคารสำนักงาน

โดยมีการใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูงเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น แตกต่างจากงานวิจัยลำดับที่ [6] นำเสนอการสร้างระบบต้นทุนต่ำที่สามารถปรับใช้ได้ง่ายในหลากหลายบริบท ทั้งภาคครัวเรือนและอุตสาหกรรมขนาดเล็ก งานวิจัยอ้างอิงลำดับที่ [7] งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้เซ็นเซอร์อัจฉริยะร่วมกับระบบคลาวด์ในการติดตามการใช้พลังงานในบ้านอัจฉริยะ โดยเน้นไปที่การแสดงผลข้อมูลให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ผ่านแอปพลิเคชันมือถือ นอกจากนี้งานวิจัยลำดับที่ [8] มุ่งเน้นเฉพาะการใช้งานในบ้านอัจฉริยะ ในขณะที่งานวิจัยลำดับที่ [9] ขยายการใช้งานไปถึงภาคอุตสาหกรรมขนาดเล็กและการใช้ฮาร์ดแวร์ต้นทุนต่ำเพื่อความยืดหยุ่นในการใช้งาน ต่อมางานวิจัยลำดับที่ [10] งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่การตรวจวัดการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ในพื้นที่ที่อยู่อาศัย โดยใช้เทคโนโลยี IoT ในการเก็บข้อมูลและแสดงผลผ่านแพลตฟอร์มออนไลน์ จุดเด่นของงานวิจัยลำดับที่ [10] เป็นการมุ่งเน้นการปรับปรุงพฤติกรรมการใช้พลังงานของผู้บริโภค ต่อมางานวิจัยลำดับที่ [11] ไม่เพียงแต่มุ่งเน้นการตรวจวัด แต่ยังรวมถึงการวิเคราะห์เชิงลึกและการเสนอแนวทางในการปรับปรุงการใช้พลังงานอย่างยั่งยืน งานวิจัยอ้างอิงลำดับที่ [12] มุ่งเน้นการวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) เพื่อค้นหารูปแบบการใช้พลังงานและเสนอแนวทางการปรับปรุง ความแตกต่างจากงานวิจัยลำดับที่ [13] คือ การใช้ฮาร์ดแวร์ต้นทุนต่ำและระบบที่สามารถนำไปใช้ได้ทันทีโดยไม่ต้องพึ่งพาการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ที่ซับซ้อน

ในงานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาแบบมาตรฐานอัจฉริยะที่ใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ชุดมาตรวัดพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ LoRa MiniLink DTU อุปกรณ์เกตเวย์ Mini industrial server และซอฟต์แวร์เปิด (Open source) เช่น ฐานข้อมูล InfluxDB และโปรแกรม Node-Red ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษา รูปที่ 1 แสดงระบบที่พัฒนาขึ้นยังสามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำและส่งข้อมูลไปยังแพลตฟอร์มคลาวด์เพื่อการวิเคราะห์และแสดงผลในเวลาจริงการบูรณาการระบบนี้กับแพลตฟอร์มการจัดการพลังงานแบบเรียลไทม์และการใช้พลังงานหมุนเวียนจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานและส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนในระยะยาว



รูปที่ 1 โค้ดระบบมาตรฐานอัจฉริยะคำนวณค่าไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยี IoT

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 การสื่อสาร LoRa

เทคโนโลยี LoRa [14] ถือว่าเป็นหนึ่งในเทคโนโลยี IoT ที่หลักที่ส่งเสริมการขับเคลื่อนอุตสาหกรรม 4.0 เมืองอัจฉริยะ [15] และเกษตรกรรม 4.0 เนื่องจากแนวโน้มของภาคอุตสาหกรรม เมืองและเกษตรกรรมต้องการใช้งานเซ็นเซอร์ที่สามารถติดตามข้อมูลได้ตลอดเวลารองรับการเชื่อมต่อแบบเครือข่ายคลาวด์ (Cloud network) และรองรับการประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องหลังได้ (Post-data processing and data analytics) ทั้งนี้ องค์ประกอบของเทคโนโลยี LoRa ที่สำคัญจะต้องประกอบไปด้วย 4 ส่วน ได้แก่

- 1) เซ็นเซอร์ (Sensor)
- 2) หน่วยประมวลผล (Processing unit)
- 3) เครือข่ายคลาวด์ (Cloud network)
- 4) แอปพลิเคชันการใช้งาน (Application)

เซ็นเซอร์ (Sensor) หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับสภาวะต่างๆ ของเครื่องจักร สิ่งของ วัตถุหรือค่าสภาวะแวดล้อมที่เกิดขึ้น ณ ขณะนั้น เช่น อุณหภูมิ ความร้อน ความชื้น ความเข้มแสง ก๊าซ และอื่นๆ เป็นต้น เซ็นเซอร์จะทำหน้าที่วัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณแอนะล็อกก่อนที่จะส่งข้อมูลไปยังหน่วยประมวลผลเพื่อทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปของดิจิทัล

หน่วยประมวลผล (Processing unit) หมายถึง โมดูลสื่อสารสำหรับเทคโนโลยี LoRa ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์และควบคุมการรับส่งข้อมูลไปยังเครือข่ายคลาวด์ โดยโมดูลการสื่อสารระยะไกลจะใช้สัญญาณจากโครงข่ายการสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile network) เป็นหลัก เช่น โมดูล Narrowband-IoT (NB-IoT) ที่ใช้งานย่านความถี่เดิมของระบบ GSM 2G หรือ โมดูล LoRa และ Sigfox ที่ใช้โครงข่ายสาธารณะ (Public network) โดยความถี่ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานในประเทศไทย คือ ย่านความถี่ 920 MHz – 925 MHz ในแบบ Unlicensed ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 จากสำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช)

เครือข่ายคลาวด์ (Cloud network) หมายถึง การเข้าถึงเครือข่ายคอมพิวเตอร์หรือเน็ตเวิร์กขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์หลายภาคส่วนเพื่อให้บริการเครือข่ายด้านอินเทอร์เน็ต ซึ่งเบื้องหลัง (Backend) ของเครือข่ายคลาวด์ ก็คือ การประมวลผลคลาวด์หรือคลาวด์คอมพิวติ้ง (Cloud computing) ที่เชื่อมต่อการสื่อสารข้อมูลตั้งแต่ชั้น Network layer ไปจนถึง Application layer

แอปพลิเคชัน (Application) ถือว่าเป็นส่วนแสดงผลที่สำคัญของเทคโนโลยี LoRa ที่จะต้องแสดงข้อมูลสถานะของเซ็นเซอร์ ข้อมูลของเวลา และข้อมูลต่างๆ ที่ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อตรวจสอบหรือติดตาม ปัจจุบันมีการพัฒนาซอฟต์แวร์แอปพลิเคชันต่างๆ มากมายสำหรับงานบริการด้านนี้ แอปพลิเคชันที่ได้รับความนิยมมากในภาคอุตสาหกรรม

คือ Grafana ซึ่งเป็นฟรีแวร์ (Freeware) ที่มีการออกแบบส่วนของการเชื่อมต่อกับหน่วยประมวลผลและเซิร์ฟเวอร์ไอโอทีได้ง่าย

มาตรฐานการใช้งานย่านความถี่ LoRa ในประเทศไทยอนุญาตให้ใช้งานที่ความถี่ 920 MHz – 925 MHz การทำงานของ LoRa จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ

1) ส่วนของเซิร์ฟเวอร์เชื่อมต่อกับ LoRa โมดูลตัวส่งข้อมูล และส่วนของ LoRaWAN ซึ่งทำหน้าที่เป็น Gateway โมดูลตัวรับข้อมูลค่าจากเซิร์ฟเวอร์ในระยะไกล

2) ส่วนของ Network server และ Application server ทำหน้าที่บริหารจัดการข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์และนำไปแสดงผลบนซอฟต์แวร์แอปพลิเคชัน

โมดูล LoRa ใช้การส่งข้อมูลแบบสเปกตรัมสัญญาณด้วยเทคนิค Chirp spread spectrum (CSS) modulation เพื่อรองรับเรื่องพลังงานที่ต่ำและอัตราของแบตเตอรี่ได้นาน อุปกรณ์มีความซับซ้อนของภาควิทยุ น้อยและภาควิทยุของ LoRa สามารถรับสัญญาณได้ต่ำสุดถึง -130 dBm (Received signal sensitivity)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วข้อมูลของการมอดูเลชันแบบ CSS จะถูกกำหนดด้วยอัตราเร็วชิรป์ (Chirp rate) และอัตราสัญลักษณ์ (Symbol rate) ดังนั้น อัตราเร็วข้อมูลคำนวณได้จาก $R = SF \times \frac{B}{2^{SF}} \times \frac{4}{4+CR}$ เมื่อ SF คือ Spread factor (SF) ซึ่งจะกำหนดที่ 7-12 และ CR คือ Chirp rate มีค่าอยู่ที่ 1-4 ส่วน B คือ แบนด์วิดท์ที่ใช้งานของ LoRa โมดูล เช่น 125 kHz เป็นต้น ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของค่า SF อัตราเร็วข้อมูล และระยะทางของการใช้งาน LoRa ที่แบนด์วิดท์ 125 kHz

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของค่า SF อัตราเร็วข้อมูล และระยะทางของการใช้งาน LoRa

ค่า SF	อัตราเร็วข้อมูล	ระยะทาง (km)
7	5,470	2
8	3,125	4
9	1,760	6
10	980	8
11	440	10
12	290	14

2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

รูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์ Mini industrial server (MIS) ทำหน้าที่เป็นเกตเวย์รับข้อมูลจากชุดมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าจากอาคาร A-C



รูปที่ 2 เกตเวย์รับข้อมูล MIS

โดยจะประมวลผลข้อมูลรวมทั้งหมดส่งผ่านระบบอินเทอร์เน็ตไปยังแพลตฟอร์มฐานข้อมูล InfluxDB ข้อดีของ MIS คือ ฮาร์ดแวร์มี

เสถียรภาพสูงสำหรับงานไอโอทีในภาคอุตสาหกรรม รับข้อมูลได้ในระยะไกลไม่ต่ำกว่า 1 กิโลเมตร และใช้งานที่ความถี่ 920 – 925 MHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานสำหรับอุปกรณ์ไอโอทีในประเทศไทย



รูปที่ 3 ตัวส่งข้อมูล MiniLink DTU รุ่น S93-DTU

รูปที่ 3 แสดงอุปกรณ์ MiniLink DTU รุ่น S93-DTU ทำหน้าที่ส่งข้อมูลจากมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ MIS โดยจะใช้คลื่นวิทยุ ย่านความถี่ 920 – 925 MHz ซึ่งเป็นอุปกรณ์ชนิดการสื่อสารแบบระยะไกล Long-range wide area network (LoRaWAN) ใช้กำลังส่งข้อมูลที่ 14 dBm รองรับการทำงานเชื่อมต่อด้วยโพรโทคอล Modbus RS485 และใช้ไฟเลี้ยงที่ 12 - 24 โวลต์กระแสตรง



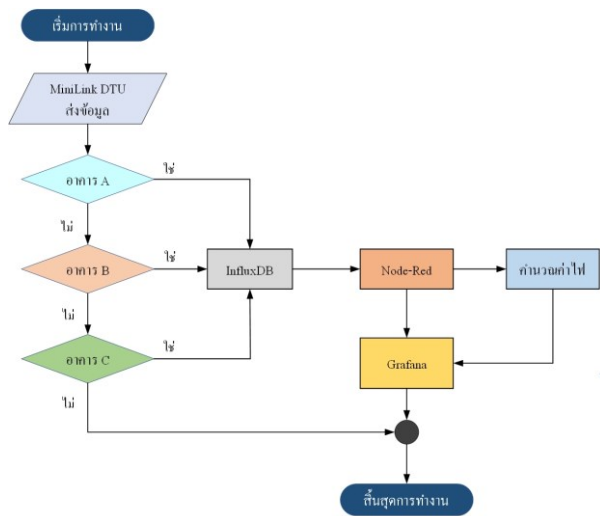
รูปที่ 4 ชุดมาตรวัดพลังงานไฟฟ้า

รูปที่ 4 แสดงอุปกรณ์ชุดมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าที่รองรับการสื่อสารด้วยโพรโทคอล Modbus RS485 โดยสามารถอ่านค่าพลังงานไฟฟ้า เช่น ระดับกำลัง (Power) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) และกระแสไฟฟ้า (Current) ซึ่งสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ตัวรวมจอร์เดมของอาคาร A-C ได้

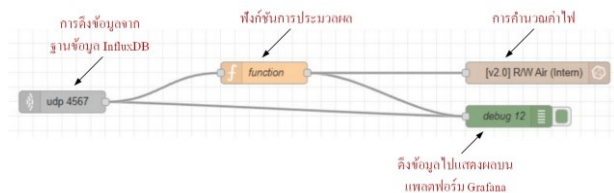
2.3 การทำงานของระบบ

รูปที่ 5 แสดง Flowchart การทำงานของระบบมาตรฐานอัจฉริยะวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากอาคาร A-C เริ่มต้นการทำงานอุปกรณ์ MiniLink DTU จะส่งข้อมูลจากชุดมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าที่ประกอบด้วยค่ากำลัง แรงดัน และกระแสไฟฟ้าของการใช้งานภายในอาคาร A-C เมื่อข้อมูลส่งผ่านเรียบร้อยแล้วจะถูกบันทึกในระบบฐานข้อมูล InfluxDB ซึ่งเป็นฐานข้อมูลชนิดแบบ Time series คือ ข้อมูลถูกส่งเวลาใดก็จะทำการบันทึก ณ ขณะนั้นหรือเป็นการทำงานแบบเรียลไทม์ จากนั้นซอฟต์แวร์ที่ถูกนำมาใช้ควบคุมการแสดงผลระหว่างฐานข้อมูล InfluxDB และแพลตฟอร์ม Grafana ที่แสดงผลแบบ Dashboard คือ โปรแกรม Node-Red ทำหน้าที่เชื่อมต่อข้อมูลที่ถูกรับมาบันทึกใน InfluxDB มาประมวลผลหรือคำนวณค่าไฟ จากนั้นจึงจะสามารถแสดงผลข้อมูลได้บนแพลตฟอร์ม Grafana

รูปที่ 6 แสดงโปรแกรม Node-Red ควบคุมการแสดงผลค่าปริมาณการใช้งานไฟฟ้า โดยการอาศัยคำสั่งฟังก์ชันการประมวลผลแสดงดังรูปที่ 7 ส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญในการอ่านค่าข้อมูลไฟฟ้าจากชุดมาตรอัจฉริยะ



รูปที่ 5 Flowchart การทำงานของระบบ



รูปที่ 6 โปรแกรม Node-Red ควบคุมการแสดงผลค่าปริมาณการใช้งานไฟฟ้า

คำสั่งประกาศตัวแปรการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูล InfluxDB

```

1 var b = msg.payload;
2 if(b[1].toString()=="1"){
3   msg.payload = {
4     measurement: "testModbus",
5     fields: {
6       "Voltage": Buffer.from([b[2], b[3], b[4], b[5]]).rea
7       "current": Buffer.from([b[14], b[15], b[16], b[17]]
8       "Active Power": Buffer.from([b[26], b[27], b[28],
9       "Apparent Power": Buffer.from([b[38], b[39], b[40],
10      "Reactive Power": Buffer.from([b[50], b[51], b[52],
11      "Power Factor": Buffer.from([b[62], b[63], b[64],
12      "Phase Angle": Buffer.from([b[74], b[75], b[76], b
13    }, tags: {
14      "nid": b[0].toString()
15    }
16
  
```

แสดงข้อมูลค่าไฟฟ้าทั้งหมดจากชุดมาตรอัจฉริยะ

ข้อมูลค่าไฟฟ้าทั้งหมด

คำสั่งแสดงให้เป็นค่าตัวเลข

รูปที่ 7 คำสั่งในฟังก์ชันการประมวลผลของโปรแกรม Node-Red

2.4 การคำนวณค่าไฟฟ้า

ปรกติการคิดค่าไฟฟ้าจากข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะคำนวณจากหน่วยการใช้งาน ดังสมการที่ (1) - (3)

หน่วยที่ 1 - 150

$$\text{ค่าไฟ} = 3.2484 \times \text{จำนวน unit ใช้งาน} \quad (1)$$

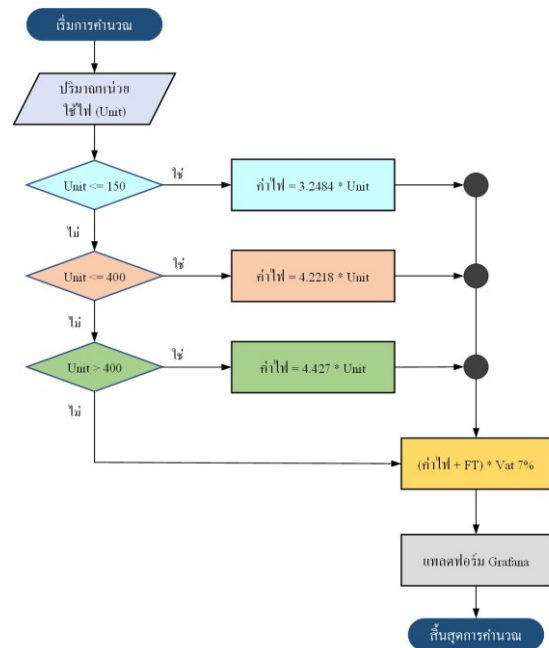
หน่วยที่ 151 - 400

$$\text{ค่าไฟ} = 4.2218 \times \text{จำนวน unit ใช้งาน} \quad (2)$$

หน่วยที่ > 400

$$\text{ค่าไฟ} = 4.4270 \times \text{จำนวน unit ใช้งาน} \quad (3)$$

การแสดงผลข้อมูลค่าไฟสามารถคำนวณได้จากจำนวนปริมาณหน่วยการใช้งานไฟฟ้า สามารถเขียน Flowchart ได้ดังแสดงรูปที่ 8



รูปที่ 8 Flowchart การคำนวณค่าไฟ

การคำนวณค่าไฟสามารถคำนวณได้โดยหากจำนวนหน่วยตั้งแต่ 1-150 จะคูณด้วยค่า 3.2484 หากมากกว่า 151-400 หน่วยจะคูณด้วย 4.2218 และหากจำนวนหน่วยใช้ไฟมากกว่า 400 หน่วยจะคูณด้วย 4.427 เป็นต้น จากนั้นค่าไฟฐานจะถูกนำไปบวกกับค่าไฟฟ้าผันแปร (FT) ซึ่งจะอยู่ที่ 0.3972 และคูณกับค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม Vat 7% จากนั้น จะแสดงผลปริมาณการใช้งานไฟฟ้าบนแพลตฟอร์ม Grafana

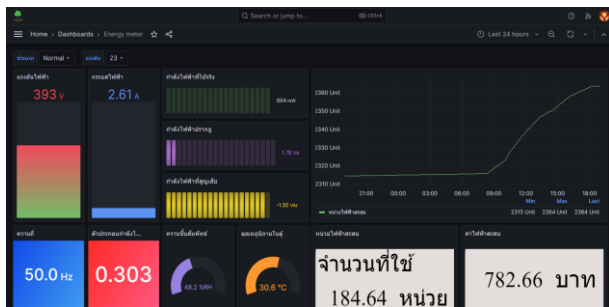
2.5 การออกแบบหน้าแสดงผล

รูปที่ 9 เป็นหน้าแสดงผลข้อมูล โดยประกอบด้วยข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าใช้งาน กำลังไฟฟ้าปรากฏ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ และค่าไฟฟ้าทั้งหมด

3. ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบจะแสดงข้อมูลจากตัวอย่างตัวจริงรวมที่ติดตั้งชุดมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าและส่งข้อมูลผ่านอุปกรณ์ MiniLink DTU รุ่น S93-DTU แบบไร้สายไปยังชุดเกตเวย์รับข้อมูล MIS โดยรูปที่ 10 แสดงตัวอย่างตัวจริงรวมของอาคาร A ซึ่งภายในจะมีชุดมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าติดตั้งไว้ รวมถึงติดตั้งเซนเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิภายในด้วยเช่นกัน

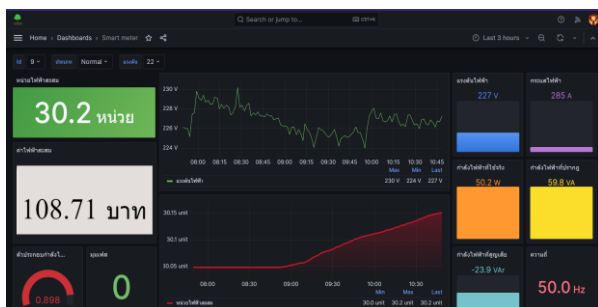
ตัวอย่างข้อมูลการใช้งานปริมาณไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ของอาคาร A สามารถแสดงผลได้บนแพลตฟอร์ม Grafana ดังรูปที่ 11 จากรูปพิจารณาปริมาณการใช้งานไฟฟ้าที่เวลา 8.00 น. – 10.45 น. โดยจะมีหน่วยการใช้งานอยู่ที่ 30.2 หน่วย และสามารถแสดงผลการคำนวณค่าไฟฟ้า ณ ขณะนั้นได้ 108.71 บาท นอกจากนี้ แสดงข้อมูลกราฟสถิติการใช้งานและแนวโน้มของหน่วยการใช้งานให้ผู้ตรวจสอบสามารถอ่านค่าข้อมูลพลังงานไฟฟ้าได้สะดวก โดยสถานที่ที่ทดสอบ ได้แก่ อาคาร A (ตึกอาคารเรียนรวม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร



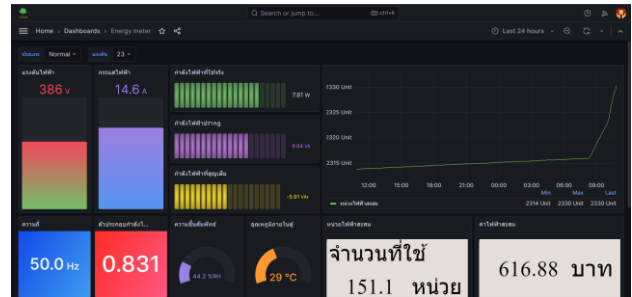
รูปที่ 9 ตัวอย่างหน้าแสดงผลรวมข้อมูลบนแพลตฟอร์ม Grafana



รูปที่ 10 ตัวอย่างตู้จรวรวมของอาคาร A



รูปที่ 11 ตัวอย่างปริมาณการใช้งานไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ของอาคาร A



รูปที่ 12 ตัวอย่างปริมาณการใช้งานไฟฟ้าภาพรวมรายวันของอาคาร A

ตารางที่ 2 ความแตกต่างกับงานวิจัยที่มีมาก่อนหน้า

เปรียบเทียบ	งานวิจัยที่ [9]	งานวิจัยที่ [11]	งานวิจัยนี้
โมดูลการสื่อสาร	WiFi	WiFi	LoRa
แอปพลิเคชัน	Mobile-based	Mobile-based	Web-based
การคำนวณค่าไฟ	ไม่มี	ไม่มี	มี
ระบบฐานข้อมูล	Google	Google	InfluxDB
อุปกรณ์รองรับไฟฟ้ระบบ 3 เฟส	ไม่ได้	ไม่ได้	ได้
ระบบแจ้งเตือน	ไม่มี	ไม่มี	Line Notify

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่ [9] และ [11] ตามลำดับ รูปที่ 12 แสดงผลปริมาณการใช้งานไฟฟ้าภาพรวมรายวันของอาคาร A สังเกตได้ว่าจำนวนหน่วยการใช้งานไฟฟ้าทั้งหมดคืออยู่ที่ 151.1 หน่วย และคิดเป็นค่าไฟทั้งหมด 616.88 บาท จากตัวอย่างหน้าแสดงผลข้อมูลบนแพลตฟอร์ม Grafana สามารถช่วยให้ผู้ใช้งานทราบจำนวนหน่วยการใช้งานไฟฟ้ารายวันหรือรายเดือนทั้งหมดได้ง่าย

ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถให้ข้อมูลที่แม่นยำและเป็นประโยชน์ต่อการบริหารจัดการพลังงาน โดยสามารถแจ้งเตือนการใช้พลังงานที่เกินค่ามาตรฐาน รวมถึงสามารถช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าให้กับองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากข้อมูลการทดสอบที่ได้ พบว่าแนวโน้มการใช้พลังงานมีรูปแบบที่สอดคล้องกับเวลาการใช้งานอาคาร การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเร่งด่วน และลดลงในช่วงเวลาว่าง การใช้เทคโนโลยีไอโอทีที่สามารถช่วยให้เกิดการปรับปรุงระบบพลังงานแบบอัตโนมัติได้

ระบบมาตรอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นมีประโยชน์ในการช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานได้อย่างง่ายดาย ช่วยลดการใช้พลังงานที่ไม่จำเป็น และสนับสนุนแนวทางการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนในอนาคต อาจมีการพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อรองรับ AI ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก การควบคุมอัตโนมัติของเครื่องใช้ไฟฟ้าในอาคาร และการพัฒนาระบบแจ้งเตือนการใช้พลังงานผิดปกติผ่านแอปพลิเคชันมือถือ เพื่อเพิ่มความสะดวกและประสิทธิภาพในการบริหารจัดการพลังงาน

4. สรุป

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาแบบมาตรอัจฉริยะตรวจวัดปริมาณ การ ใช้งาน ไฟ ฟ้ ใน อาคาร ด้วย เทคโนโลยี ไอ โอ ที

โดยองค์ประกอบของระบบจะประกอบด้วย ชุดมาตรวัดพลังงานไฟฟ้า อุปกรณ์ส่งข้อมูล MiniLink DTU อุปกรณ์เกตเวย์รับข้อมูล MIS และระบบบริหารจัดการข้อมูลซึ่ง ได้แก่ ระบบฐานข้อมูล InfluxDB โปรแกรม Node-Red และแพลตฟอร์ม Grafana เป็นต้น ข้อดีของการพัฒนาระบบนี้เหมาะสมต่อนำมาใช้รายงานปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารขนาดใหญ่ซึ่งอุปกรณ์จะมีความเสถียรภาพและประสิทธิภาพสูง และช่วยให้สามารถบริหารจัดการพลังงานได้อย่างแม่นยำ

เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Wannoi, W. Srimuang, W. Wongsas, and N. Wannoi, "A smart power meter with breaker capacity monitoring and load control system for home energy management with IoT technology," *PKRU SciTech Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 23–36, 2023.
- [2] S. Barker, D. Irwin, and P. Shenoy, "Pervasive energy monitoring and control through low-bandwidth power line communication," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 4, no. 5, pp. 1349–1359, 2017.
- [3] R. Medina-Gracia, A. Castro, J. Garrido-Zafra, A. Moreno-Munoz, E. Caete-Carmona, "Power quality sensor for smart appliance's self-diagnosing functionality," *IEEE Sensors Journal*, vol. 19, no. 20, pp. 9486–9495, 2019.
- [4] G. Bedi, G. K. Venayagamoorthy, and R. Singh, "Development of an IoT-driven building environment for prediction of electric energy consumption," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 6, pp. 4912–4921, 2020.
- [5] M. Usman Saleem, M. Rehan Usman, M. Azfar Yaqub, A. Liotta, and A. Asim, "Smarter grid in the 5G Era: Integrating the internet of things with a cyber-physical system," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 34002–340018, 2024.
- [6] M. S. F. M. Yunus, S. H. Yusoff, S. N. M. Sapihie, N. S. I. Razali, "Smart meter based on IoT platform," in *Proc. Int. Conf. on Computer and Communication Engineering (ICCCE)*, 2023.
- [7] M. A. H. S. Midul, S. H. Pranta, A. S. I. Biddut, S. I. Siam, M. R. Hazari, and M. A. Mannan, "Design and implementation of IoT-based smart energy meter to augment residential energy consumption," in *Proc. Int. Conf. on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques (ICREST)*, 2023.
- [8] H. F. Chinchero, and J. M. Alonso, "Development of an IoT-based electrical consumption measurement and analysis system for smart homes and buildings," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 2021.
- [9] L. M. Dagsa, C. M. L. Cillo, J. L. T. Raper, and J. L. B. Montil, "IoT-enabled energy consumption monitoring and control system for a single-phase building," in *Proc. Second Int. Conf. on Advances in Computational Intelligence and Communication (ICACIC)*, 2023.
- [10] V. V. Gavhane, M. R. Kshirsagar, G. M. Kale, S. Katangle, S.B. Deosarkar, and S. L. Nalbalwar, "IoT based energy meter with smart monitoring of home appliances," in *Proc. Int. Conf. for Convergence in Technology (I2CT)*, 2021.
- [11] V. P. Natarajan, N. Aggarapu, S. L. Metta, and S. T. Kota, "IoT based energy management system for buildings," in *Proc. Int. Conf. on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*, 2024.
- [12] A. Berouine, F. Lachhab, Y. Nait Malek, M. Bakhouya, and R. Ouladsine, "A smart metering platform using big data and IoT technologies," in *Proc. Int. Conf. of Cloud Computing Technologies and Applications (CloudTech)*, 2017.
- [13] R. Salazar, R. Valencia, P. Catota, C. T. Pozo, and L. D. Andagoya-Alba, "Real-time monitoring and measurement of electrical variables using IoT," in *Proc. Int. Conf. on Computer and Communication Engineering (ICCCE)*, 2023.
- [14] A. Haidine, A. Aqqal, and A. Dahbi, "Performance evaluation of low-power wide area based on LoRa technology for smart metering," in *Proc. Int. Conf. on Wireless Networks and Mobile Communications (WINCOM)*, 2018.
- [15] N. Sriphyat, N. Threesinghawong, and S. Chaimool, "Smart sensors and IoT-based LoRaWAN integration for water metering in smart cities," *Thailand Electrical Engineering Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 6 –11, 2024.