A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology
การพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Terapong Songputh[1*], Suwitchaboon Boonchuay[2], and Jirawat Bonwat[3]
ธีรพงศ์ สงผัด[1*], สุวิชชาบูรณ์ บุญช่วย[2], และ จิรวัฒน์ บุญวาส[3]

Received: 15 June 2025;
Revised: 2 August 2025;
Accepted: 7 August 2025;
Published: 20 August 2025;

Abstract
This research aimed to develop an electricity consumption monitoring system using Internet of Things (IoT) technology and to evaluate its performance. The developed system integrates three PZEM-004T sensors to measure key electrical parameters, including voltage, current, power, energy accumulation, frequency, and power factor. These sensors are connected to an ESP32 microcontroller, which collects and transmits data wirelessly to Google Sheets using Google Apps Script. The collected data is then visualized in interactive graphs via Google Looker Studio. A purposive sample of 10 experts was selected to evaluate the system using a questionnaire. Data was analyzed using mean and standard deviation. The results indicate that the system effectively captures real-time energy consumption data and presents clear trends through a user-friendly dashboard, supporting systematic energy-saving planning. The overall performance was rated at the highest level ($\bar{x}$ = 4.58, S.D. = 0.18), reflecting high accuracy, stability, and suitability for implementation in educational and office environments. The findings suggest that the system can be effectively applied in organizational energy management to enhance efficiency and significantly reduce long-term energy costs. Furthermore, it serves as a concrete and effective prototype for IoT-based energy monitoring system development.
Keywords: Electricity Consumption Monitoring System, Internet of Things, ESP32, Google Looker Studio

บทคัดย่อ
การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งและประเมินประสิทธิภาพของระบบดังกล่าว โดยระบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยเซ็นเซอร์ PZEM-004T จำนวน 3 ตัว ซึ่งสามารถวัดค่าทางไฟฟ้า ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานสะสม ความถี่

[1,*] Assistant Professor, Program in Computer Technology and Digital, Faculty of Liberal Arts and Sciences, Sisaket Rajabhat University, Sisaket 33000, Thailand; ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และดิจิทัล คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ 33000 ประเทศไทย; Email: teerapong.song@gmail.com

[2] Student, Program in Computer Technology and Digital, Faculty of Liberal Arts and Sciences, Sisaket Rajabhat University, Sisaket 33000, Thailand; นักศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และดิจิทัล คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ 33000 ประเทศไทย; Email: borpet011@gmail.com

[3] Student, Program in Computer Technology and Digital, Faculty of Liberal Arts and Sciences, Sisaket Rajabhat University, Sisaket 33000, Thailand; นักศึกษา สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และดิจิทัล คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ 33000 ประเทศไทย; Email: booesan@gmail.com

*Corresponding authors: Terapong Songputh (teerapong.song@gmail.com)

Citation:
Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

และตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้ได้ทำการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์กับอีเอสพี32 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรับข้อมูลและส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย ไปยังกูเกิลชีต โดยใช้กูเกิลแอปสคริปต์ เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูล และนำข้อมูลที่ได้ไปแสดงผลในรูปแบบกราฟผ่านกูเกิลลูเคอร์สตูดิโอ กลุ่มตัวอย่างได้แก่ ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 10 คน โดยการคัดเลือกแบบเจาะจง เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ แบบสอบถาม สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการดำเนินการพัฒนาระบบพบว่าสามารถวัดและเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องแบบเรียลไทม์ ระบบสามารถแสดงแนวโน้มการใช้พลังงานของอาคารได้อย่างชัดเจนผ่านแดชบอร์ด ที่ใช้งานง่าย และสนับสนุนการวางแผนลดการใช้พลังงานอย่างเป็นระบบ และระบบมีค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับ “มากที่สุด” ($\bar{x}$ = 4.58, S.D. = 0.18) ซึ่งสะท้อนถึงความถูกต้อง ความเสถียร และความเหมาะสมในการใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมของอาคารเรียนหรือสำนักงาน ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านการจัดการพลังงานขององค์กรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนด้านพลังงานในระยะยาวได้อย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ยังเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบตรวจวัดพลังงานที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง อย่างเป็นรูปธรรมและมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, อีเอสพี32, กูเกิลลูเคอร์สตูดิโอ

1. บทนำ (Introduction)

พลังงานไฟฟ้าเป็นทรัพยากรสำคัญที่มีบทบาทอย่างยิ่งต่อการดำเนินชีวิตและการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสังคมในทุกระดับ โดยเฉพาะในบริบทของสถานศึกษาและอาคารสำนักงานซึ่งมีการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งวัน การบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นแนวทางที่สำคัญในการลดต้นทุนค่าใช้จ่าย และส่งเสริมความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม (Saha et al., 2024) ในปัจจุบัน แนวโน้มการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในด้านการจัดการพลังงาน เนื่องจากสามารถตรวจวัดและรายงานข้อมูลการใช้พลังงานได้แบบเรียลไทม์ ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์และตัดสินใจเชิงระบบได้อย่างแม่นยำ (Huang et al., 2023)

เทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ถูกนำมาประยุกต์ใช้ทั้งในภาคอุตสาหกรรมและในภาคการศึกษาในประเทศไทย เช่น งานวิจัยของ Apiruchpinyo & Chaochaikong (2022) รายงานว่าการพัฒนาระบบตรวจวัดพลังงานในอาคารเรียน โดยใช้บอร์ดอีเอสพี32 ร่วมกับแอปพลิเคชันบลิง (Blynk) เพื่อควบคุมและแสดงผลการใช้พลังงานผ่านเครือข่ายไร้สาย รวมถึงการพัฒนาซอฟต์แวร์เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ PZEM-004T และบอร์ด โหนดเอ็มซียู สำหรับการวัดกำลังไฟฟ้าและจัดเก็บข้อมูลบนคลาวด์อย่างมีเสถียรภาพ อีกทั้ง Chunpungsuk & Lertbumroongchai (2018) ยังได้รายงานว่าการประยุกต์ใช้ระบบ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ในโครงการจัดการพลังงานนิเวศพอเพียงระดับสถานศึกษา เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ควบคู่กับการประหยัดพลังงาน ในด้านเทคโนโลยีฮาร์ดแวร์บอร์ดอีเอสพี32 ร่วมกับเซ็นเซอร์วัดพลังงาน เช่นเซ็นเซอร์ PZEM-004T และเซ็นเซอร์ ACS712 ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการพัฒนาระบบตรวจวัดไฟฟ้า โดยสามารถตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และตัวประกอบกำลังได้อย่างแม่นยำ ข้อมูลที่ได้สามารถส่งผ่าน Wi-Fi ไปยังระบบฐานข้อมูล เช่น กูเกิลชีต หรือแอปพลิเคชันมือถือ เพื่อจัดเก็บและประมวลผล (Yasa et al., 2023)

แม้จะมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ในการตรวจวัดและบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าในหลายบริบท แต่ยังขาดระบบที่สามารถเชื่อมโยงกระบวนการทั้งหมดอย่างครบวงจร ทั้งการวัดค่าทางไฟฟ้า การส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ การจัดเก็บบนคลาวด์ และการแสดงผลผ่านแดชบอร์ดในรูปแบบที่วิเคราะห์และนำไปใช้ได้จริง โดยเฉพาะการใช้บอร์ดอีเอสพี32 ร่วมกับเซ็นเซอร์ PZEM-004T และการบูรณาการกับเครื่องมือโอเพนซอร์ส เช่น กูเกิลแอปสคริปต์ และกูเกิลลูเคอร์สตูดิโอ ยังมีการศึกษาน้อย นอกจากนี้ งานวิจัยส่วนใหญ่ยังขาดการประเมินประสิทธิภาพของระบบในมิติเชิงปฏิบัติ เช่น ความแม่นยำ ความเสถียร และความเหมาะสมในการใช้งานจริง งานวิจัยนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาระบบ

Citation:
Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

ต้นแบบที่สามารถตรวจวัด จัดเก็บ และแสดงผลข้อมูลการใช้พลังงานได้อย่างเป็นระบบ พร้อมทั้งประเมินประสิทธิภาพของระบบดังกล่าว เพื่อสนับสนุนการบริหารจัดการพลังงานในระดับองค์กรได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย (Research Objectives)

1. เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

3. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง (Literature Review)

การพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เป็นแนวทางที่ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา โดยเฉพาะในบริบทของการบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เนื่องจาก อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เป็นเทคโนโลยีที่เปิดโอกาสให้สามารถเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ที่หลากหลาย ส่งต่อข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย และนำไปวิเคราะห์เชิงลึกในรูปแบบที่ผู้ใช้สามารถเข้าถึงได้แบบเรียลไทม์ (Huang et al., 2023)

3.1 แนวคิดเกี่ยวกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) หมายถึง ระบบเครือข่ายที่เชื่อมโยงวัตถุทางกายภาพ อุปกรณ์ หรือสิ่งของต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ต โดยอุปกรณ์เหล่านี้สามารถตรวจจับข้อมูลจากสภาพแวดล้อม (เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แสง เสียง หรือการเคลื่อนไหว) ประมวลผลข้อมูล และส่งต่อข้อมูลไปยังอุปกรณ์อื่นหรือระบบฐานข้อมูลส่วนกลางเพื่อการวิเคราะห์หรือควบคุมการทำงาน (Yasa et al., 2023) องค์ประกอบหลักของระบบ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ประกอบด้วย 3 ส่วนสำคัญ ได้แก่ 1) อุปกรณ์ปลายทาง (Things หรือ Edge Devices) เป็นวัตถุที่ฝังตัวด้วยเซ็นเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น บอร์ดอีเอสพี32, Arduino, Raspberry Pi ซึ่งสามารถตรวจจับข้อมูลจากสภาพแวดล้อม และเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ 2) เครือข่าย (Network) ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์และศูนย์กลางข้อมูล เช่น Wi-Fi, LoRa, ZigBee, NB-IoT หรือ ESP-NOW 3)แพลตฟอร์มประมวลผลและจัดเก็บข้อมูลทำหน้าที่จัดเก็บ วิเคราะห์ และแสดงผลข้อมูล เช่น Blynk, Firebase, Things Board, Node-RED หรือ MQTT Broker ซึ่งออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยอาศัยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตในสรรพสิ่ง จะทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้จากระยะไกลผ่านอุปกรณ์พกพา มีระบบจัดการข้อมูลผ่านเว็บไซต์อย่างปลอดภัย (Songputh & Rungkaew, 2022) แนวคิดของ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มุ่งเน้นการทำให้วัตถุต่าง ๆ “ชาญฉลาด” ด้วยความสามารถในการสื่อสารและตัดสินใจโดยอัตโนมัติ ซึ่งช่วยลดการพึ่งพาแรงงานมนุษย์ เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และนำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมใหม่ในหลากหลายภาคส่วน เช่น การใช้ บอร์ดอีเอสพี32 ร่วมกับเซ็นเซอร์ PZEM-004T สามารถวัดค่าทางไฟฟ้า เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแส กำลังไฟฟ้า และพลังงานสะสมได้อย่างแม่นยำ และสามารถส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ไปยังระบบคลาวด์

3.2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประเมินระบบ

การประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศ (Information System Evaluation) เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญในการตรวจสอบคุณภาพ ความเหมาะสม และความสามารถของระบบในการตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน โดยทั่วไป การประเมินประสิทธิภาพระบบจะพิจารณาจากหลายมิติหลัก ได้แก่ ความถูกต้อง เสถียรในการทำงาน ความเหมาะสมในบริบทของการใช้งานจริง ความสามารถในการเข้าถึงและใช้งาน รวมถึงความสามารถในการนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในการตัดสินใจและการจัดการ ทั้งนี้ Napitupulu (2020) ได้พัฒนาแบบวัดการยอมรับระบบ e-Participation โดยเน้นการประเมินความตรงของเนื้อหาด้วยผู้เชี่ยวชาญ 10 คน ผ่านดัชนี Aiken’s V และ Coefficient H ผลการประเมินพบว่าแบบวัดจำนวน 64 ข้อมีความตรงของเนื้อหาในระดับสูง เหมาะสำหรับใช้วัดความพึงพอใจของผู้ใช้ในระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยเน้นความสำคัญของการตรวจสอบความตรงของเนื้อหาอย่างเป็นระบบก่อนนำเครื่องมือไปใช้จริงในงานวิจัยด้าน IS/IT โดยในงานวิจัยฉบับนี้ ได้ออกแบบแบบประเมินขึ้นเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีประเมินระบบที่พัฒนาขึ้นโดยใช้แนวคิดเรื่อง การประเมินผลตามเกณฑ์ของประสิทธิภาพระบบสารสนเทศ ยังถูกนำมาใช้ในการออกแบบแบบสอบถามเพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินระบบในประเด็นสำคัญ ได้แก่ ความถูกต้องของการตรวจวัดข้อมูลไฟฟ้า ความเสถียรในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย ความเหมาะสมกับบริบทของสถานศึกษา ความสะดวกในการใช้งานระบบแดชบอร์ด และศักยภาพในการสนับสนุนการตัดสินใจเชิงบริหาร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ใช้บอร์ดอีเอสพี8266 และเซ็นเซอร์ PZEM-004T ในการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า พร้อมการรายงานผ่านระบบคลาวด์ เช่น มหาวิทยาลัยนครพนม และ

Citation:
Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

มหาวิทยาลัยราชภัฏสุราษฎร์ธานี (Chaiyong & Sonasang, 2022) ที่ประเมินค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงต่ำกว่า 1% และระบุถึงความเสถียรของการรายงานแบบเรียลไทม์

3.3 โมเดลการพัฒนาระบบแบบแอดดี้ (ADDIE)

โมเดลการพัฒนาระบบแบบแอดดี้ เป็นกรอบแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ โดยแบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ (Analysis) การออกแบบ (Design) การพัฒนา (Development) การนำไปใช้ (Implementation) และการประเมินผล (Evaluation) ซึ่งช่วยให้ผู้พัฒนาสามารถควบคุมคุณภาพและติดตามความก้าวหน้าของระบบได้ในทุกขั้นตอน โมเดลนี้มีรากฐานจากทฤษฎีระบบ (Systems Theory) ที่มองการพัฒนาเป็นองค์ประกอบที่เชื่อมโยงกัน จึงสามารถปรับปรุงได้อย่างยืดหยุ่นและต่อเนื่อง (ELM Learning, 2024) การนำแอดดี้โมเดล มาใช้ในงานวิจัยและการพัฒนานวัตกรรมอย่างแพร่หลาย เช่น การพัฒนาสื่อการเรียนรู้ เทคโนโลยีเสมือนจริง ระบบสารสนเทศ และระบบ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยเฉพาะด้านการจัดการพลังงานและเกษตรอัจฉริยะที่ใช้แอดดี้โมเดล ตั้งแต่การวิเคราะห์ความต้องการผู้ใช้ การออกแบบระบบเครือข่าย การพัฒนาโปรแกรม การทดสอบ และการประเมินผล ในภาพรวม แอดดี้โมเดล มีจุดเด่นด้านความครอบคลุม ชัดเจน และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับหลากหลายบริบท โดยเฉพาะเมื่อผสานกับเทคโนโลยีดิจิทัลและ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง งานวิจัยนี้ได้นำแอดดี้โมเดล มาเป็นแนวทางในการพัฒนา โดยเฉพาะการวิเคราะห์บริบทของการใช้พลังงานในสถานศึกษา การออกแบบระบบตรวจวัดด้วยบอร์ดอีเอสพี32 และเซ็นเซอร์ PZEM-004T การพัฒนาโปรแกรมฝังตัวและระบบฐานข้อมูล ตลอดจนการประเมินประสิทธิภาพระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งเป็นการดำเนินงานที่มีความครอบคลุมและสอดคล้องกับแอดดี้โมเดล อย่างเหมาะสม

3.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Saha et al. (2024) มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดและควบคุมการใช้พลังงานและสิ่งแวดล้อมในภาคอุตสาหกรรมโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ร่วมกับคลาวด์คอมพิวติ้ง ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจวัดข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายประเภท เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และข้อมูลพลังงานไฟฟ้า แล้วส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านโพรโทคอล MQTT ไปยังฐานข้อมูลคลาวด์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบมีความแม่นยำในการวัดสูง ประมวลผลข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความยืดหยุ่นในการนำไปประยุกต์ใช้กับระบบอุตสาหกรรมจริง โดยเฉพาะการติดตามและลดการใช้พลังงาน รวมถึงการแจ้งเตือนเมื่อมีการใช้พลังงานเกินกำหนด ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพลังงานในภาคการผลิตได้อย่างยั่งยืน

Apiruchpinyo & Chaochaikong (2022) มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง โดยศึกษากรณีอาคารศรีโคตรบูรณ์ มหาวิทยาลัยนครพนม ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถติดตามและควบคุมการใช้พลังงานผ่านแอปพลิเคชันบลิง ได้แบบเรียลไทม์ โดยสามารถสั่งเปิด-ปิดอุปกรณ์ ติดตามข้อมูลพลังงานในรูปแบบกราฟ และส่งออกข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งานจริง พบว่าระบบมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับ “มากที่สุด” โดยเฉพาะในด้านการทำงานของระบบ ความปลอดภัย และความพึงพอใจในการใช้งาน แสดงให้เห็นว่า อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สามารถประยุกต์ใช้เพื่อบริหารจัดการพลังงานในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพและตอบโจทย์การใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมการศึกษา ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถควบคุมและตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าได้จากระยะไกลแบบเรียลไทม์ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น และมีระบบรายงานผลการใช้พลังงานในรูปแบบกราฟิก ซึ่งสะดวกต่อการวิเคราะห์ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้เสถียรและมีความแม่นยำในการควบคุมและรายงานข้อมูล สะท้อนถึงศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในสภาพแวดล้อมจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Seepan & Trongtorkarn (2024) มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ พัฒนา และประเมินระบบเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าระบบสามเฟสที่สามารถตรวจวัดและรายงานผลแบบเรียลไทม์ได้ทั้งในรูปแบบออนไลน์และบนหน้าจอเครื่องมือ โดยใช้โมดูล PZEM-004TV3 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ESP8266 ระบบดังกล่าวสามารถแสดงผลพารามิเตอร์ ได้แก่ แรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า พลังงานและความถี่ ทั้งผ่าน LCD 20×4 และ แอปพลิเคชันออนไลน์ การประเมินประสิทธิภาพระบบแบ่งเป็น 3 กรณีศึกษา ได้แก่ การวัดกับโหลดคงที่ กับโหลดมอเตอร์สามเฟส และในการใช้งานจริงภายในอาคารปฏิบัติการเป็นเวลา 26 วัน โดยผลการทดลองในช่วง 8 ชั่วโมง พบว่าค่าพลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 6.88 kWh มีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยไม่เกิน ±1.75% เมื่อเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน (PQA824 และ EPM 07S) และค่าสหสัมพันธ์สูงถึง 0.98 ซึ่งสะท้อนถึงความแม่นยำสูง ขณะที่การวัดใช้งานจริงระยะเวลาทดลอง 26 วัน ระบบสามารถบันทึกได้รวม 297.97 kWh ซึ่งคิดเป็น

Citation:
Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

ค่าไฟประมาณ 938.07 บาท งานนี้เน้นย้ำถึงประสิทธิภาพของระบบต้นแบบที่ใช้ชิ้นส่วนต้นทุนต่ำ มีความแม่นยำสูงเทียบเคียงกับอุปกรณ์มาตรฐาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานที่ต้องการเครื่องมือวัดพลังงานระบบสามเฟสต้นทุนต่ำ เช่น สถานศึกษา องค์กร หรือหน่วยปฏิบัติงานด้านอุตสาหกรรม ซึ่งมีประโยชน์ทั้งในด้านการจัดการพลังงานและสนับสนุนนโยบายการอนุรักษ์พลังงานของสถาบัน

Chunpungsuk & Lertbumroongchai (2018) ได้ประยุกต์ใช้ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ในระบบจัดการพลังงานนิเวศพอเพียงสำหรับสถานศึกษา โดยเน้นทั้งการใช้งานจริงและการส่งเสริมการเรียนรู้ การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบจัดการพลังงานตามแนวทาง “นิเวศพอเพียง” ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง สำหรับสถานศึกษา โดยออกแบบระบบที่สามารถติดตาม ควบคุม และประเมินการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ผ่านการเชื่อมโยงอุปกรณ์ตรวจวัดกับระบบฐานข้อมูลออนไลน์ ผลการวิจัยพบว่าระบบสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดการใช้พลังงานได้จริง และสร้างความตระหนักในการมีส่วนร่วมของบุคลากรในสถานศึกษาต่อการจัดการพลังงานอย่างยั่งยืน ระบบที่พัฒนาขึ้นเน้นการบูรณาการเทคโนโลยีกับบริบทเชิงสังคมและสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสม อันสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจพอเพียง

อย่างไรก็ตามจากการวิจัยที่กล่าวมายังขาดการบูรณาการระบบอย่างสมบูรณ์ตลอดกระบวนการ ตั้งแต่การตรวจวัดการส่งผ่านข้อมูล การจัดเก็บ และการแสดงผลข้อมูล ตลอดจนขาดกระบวนการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญ งานวิจัยฉบับนี้จึงมีจุดเด่นสำคัญในฐานะระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นอย่างครบวงจร โดยครอบคลุมทั้งในมิติของฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์และการสื่อสารข้อมูล การแสดงผลข้อมูลเชิงภาพผ่านแพลตฟอร์ม และการประเมินผลระบบด้วยเกณฑ์ที่หลากหลายโดยผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน ซึ่งองค์ประกอบดังกล่าวไม่ปรากฏรวมกันอย่างครบถ้วนในงานวิจัยที่ผ่านมาอย่างชัดเจน จึงสะท้อนถึง “องค์ความรู้ใหม่” ที่เสริมเติมช่องว่างขององค์ความรู้เดิม และสามารถประยุกต์ใช้ในระดับปฏิบัติการได้อย่างเป็นรูปธรรม

4. กรอบแนวคิดงานวิจัย (Conceptual Framework)

การวิจัยนี้มีพื้นฐานแนวคิดจากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีกรอบแนวคิด ดัง Figure 1.

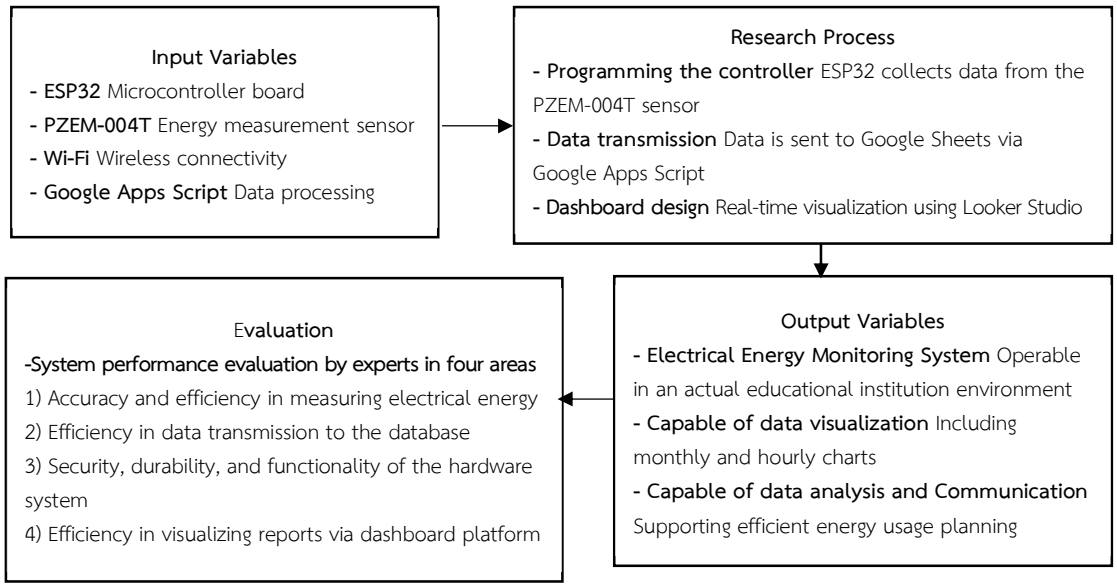


Figure 1. Conceptual Framework

จากรูปภาพ Figure 1. พบว่า มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ ฮาร์ดแวร์สำหรับตรวจวัดข้อมูล ซอฟต์แวร์สำหรับรับ-ส่งและจัดเก็บข้อมูล และระบบแสดงผลสำหรับการตัดสินใจ ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการวิจัยและนำไปสู่การ

Citation:
Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

ประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้น ซึ่งการวิจัยนี้ใช้กรอบแนวคิดแบบ Input-Process-Output Model ควบคู่กับโมเดลการพัฒนาระบบแบบแอดดี้โมเดล ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ การออกแบบ การพัฒนา การนำไปใช้ และการประเมินผล เพื่อให้การดำเนินงานวิจัยมีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจนและเป็นระบบ

1. ตัวแปรต้น (Input Variables) ในขั้นตอน Analysis และ Design ของแอดดี้โมเดล งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์บริบทการใช้พลังงานในสถานศึกษา เพื่อระบุปัญหาและความต้องการใช้งานระบบตรวจวัดพลังงาน จากนั้นจึงออกแบบระบบโดยคัดเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม ได้แก่ บอร์ดอีเอสพี32 เซ็นเซอร์ PZEM-004T การเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย และ กูเกิลแอปสคริปต์ โดยพิจารณาถึงประสิทธิภาพ ความแม่นยำ ความเสถียร และต้นทุนที่เหมาะสมกับบริบทสถานศึกษา

2. กระบวนการวิจัย (Process/Method) สอดคล้องกับขั้นตอน Development และ Implementation ในแอดดี้โมเดล โดยได้พัฒนาโปรแกรมควบคุม บอร์ดอีเอสพี32 ให้สามารถรับและประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์ PZEM-004T จากนั้นส่งข้อมูลไปยังกูเกิลชีต ด้วย กูเกิลแอปสคริปต์ และออกแบบ แดชบอร์ด บน กูเกิลลูเคอร์สตูดิโอ เพื่อนำเสนอข้อมูลแบบเรียลไทม์ กระบวนการพัฒนาได้รับการดำเนินการอย่างเป็นระบบตามหลักวิศวกรรมซอฟต์แวร์ เพื่อให้เกิดการนำไปใช้ได้จริง

3. ตัวแปรตาม (Output Variables) หมายถึง ผลลัพธ์จากการพัฒนาในขั้นตอน Implementation คือ ระบบที่สามารถวัดและแสดงผลการใช้พลังงานได้อย่างครบถ้วน ทั้งในระดับการใช้งานทั่วไปและการวิเคราะห์เชิงลึก ซึ่งประกอบด้วยสามด้านหลัก ได้แก่ ระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าที่สมบูรณ์และสามารถใช้งานได้จริงในสถานศึกษา ความสามารถในการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบที่หลากหลาย ทั้งรายงานรายวัน รายเดือน และช่วงเวลาเฉพาะ และความสามารถในการวิเคราะห์แนวโน้มการใช้พลังงานเพื่อสนับสนุนการวางแผนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ผลลัพธ์เหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงความสามารถของระบบในการตอบสนองความต้องการของสถานศึกษาในการจัดการพลังงานอย่างเป็นระบบ

4. การประเมินผล (Evaluation) สอดคล้องโดยตรงกับขั้นตอน Evaluation ของแอดดี้โมเดล โดยมีการประเมินระบบใน 4 ด้าน ดังนี้ 1) ด้านแม่นยำถูกต้องและประสิทธิภาพในการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า 2) ด้านประสิทธิภาพการส่งข้อมูลเข้าฐานข้อมูล 3) ด้านความปลอดภัยความคงทนและการทำงานของระบบฮาร์ดแวร์ และ 4) ด้านประสิทธิภาพการดูรายงาน แดชบอร์ด จากแพลตฟอร์ม โดยผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ตรง ซึ่งเป็นกลไกสำคัญในการควบคุมคุณภาพของระบบ การประเมินนี้ทำหน้าที่เป็นกลไกการควบคุมคุณภาพและการปรับปรุงระบบอย่างต่อเนื่อง

ความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ ในกรอบแนวคิดแสดงลักษณะของระบบแบบเปิด (Open System) ที่มีการไหลของข้อมูลแบบเชิงเส้นจากตัวแปรต้นไปสู่กระบวนการและตัวแปรตาม พร้อมทั้งมีกลไกการป้อนกลับ (Feedback Loop) จากการประเมินผลไปยังการปรับปรุงกระบวนการและตัวแปรต้น ความสัมพันธ์นี้ช่วยให้ระบบมีความยืดหยุ่นและสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเป็นหลักการสำคัญของการพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีคุณภาพและยั่งยืน

5. วิธีดำเนินงานวิจัย (Research Methodology)

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา (Research and Development) โดยมีเป้าหมายเพื่อออกแบบและพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในสถานศึกษา โดยอาศัยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง เป็นเครื่องมือหลักในการตรวจวัดและจัดการข้อมูลแบบเรียลไทม์ การดำเนินงานวิจัยได้รับการออกแบบให้สอดคล้องกับโมเดลการพัฒนาแบบ ADDIE Model (ELM Learning, 2024) โดยสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 กลุ่มเป้าหมาย/ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มเป้าหมายของการวิจัยนี้ คือ ระบบการใช้พลังงานในอาคารเรียนของมหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ ซึ่งมีลักษณะการใช้พลังงานที่ต่อเนื่องและหลากหลายประเภท จึงเหมาะสมสำหรับการทดลองใช้งานระบบต้นแบบ โดยติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดสอบการวัดค่าพลังงานการใช้ไฟฟ้าที่มีการจ่ายไฟฟ้าไป 3 ห้อง ได้แก่ ห้องประชุม ห้องพักอาจารย์ และห้องทำงานสำหรับนักศึกษา เพื่อวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าแต่ละห้อง สำหรับการประเมินผลระบบได้เลือกใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 10 คน ซึ่งมีความเชี่ยวชาญด้านระบบฝังตัวและเทคโนโลยีดิจิทัลและเจ้าหน้าที่ประจำคณะศิลปะศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการอาคารเรียน โดยใช้การคัดเลือกแบบเจาะจง เพื่อให้ความเห็นต่อความถูกต้อง ความเสถียร และความเหมาะสมของระบบที่พัฒนาขึ้น

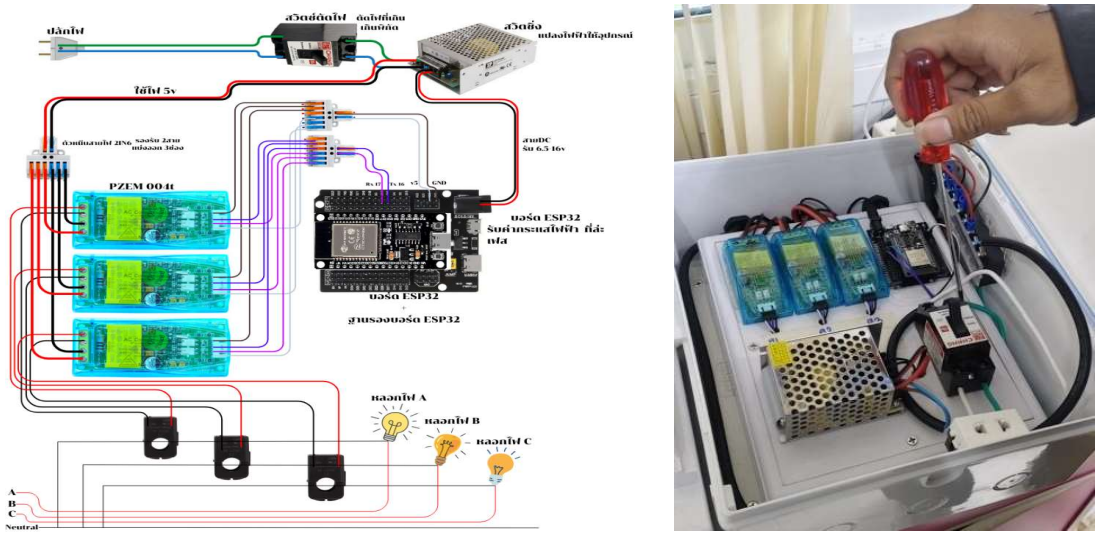
Citation:
Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

5.2 เครื่องมือการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องมือที่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่

1. เครื่องมือสำหรับการพัฒนาระบบ

ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่เชื่อมโยงกันเพื่อทำหน้าที่ตรวจวัดและส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ไปยังระบบคลาวด์ โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ ดัง Figure 2.



(a) (b)

Figure 2. Devices and sensor connection (a) and a fully functional device (b).

ระบบต้นแบบได้รับการออกแบบให้สามารถตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับโหลดจำนวน 3 ช่อง โดยใช้เซ็นเซอร์ PZEM-004T จำนวน 3 ตัว ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี32 ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกับระบบคลาวด์ผ่านเครือข่าไร้สาย ได้ดัง Figure 2. (a) แสดงรายละเอียดการออกแบบวงจรการเชื่อมต่อของระบบ โดยประกอบด้วย 1) เซ็นเซอร์ PZEM-004T จำนวน 3 ตัว เชื่อมต่อกับ บอร์ดอีเอสพี32 ผ่านพอร์ตอนุกรมแบบแยกอิสระ โดยใช้การเชื่อมต่อแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) เป็นวิธีการสื่อสารแบบอนุกรม ที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 2) การแยกโหลดไฟฟ้าออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ หลอดไฟ A, B และ C เพื่อใช้เป็นโหลดจำลองในระบบ 3) รีเลย์และเบรกเกอร์ ถูกติดตั้งเพื่อความปลอดภัยของวงจร 4) ชุดแปลงไฟ AC-DC ใช้เพื่อจ่ายแรงดันไฟเลี้ยง 5V ให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด นอกจากนั้น Figure 2. (b) แสดงการติดตั้งระบบจริงในกล่องควบคุม โดยมีการจัดวางอุปกรณ์ให้สามารถตรวจสอบและบำรุงรักษาได้สะดวก ตัวระบบมีการเดินสายไฟแยกระหว่างแรงสูงและวงจรควบคุมอย่างชัดเจน

จากนั้นได้ดำเนินการตรวจสอบ ความแม่นยำของการวัดทางไฟฟ้า ด้วยวิธีการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากระบบต้นแบบกับ เครื่องมือมาตรฐานอ้างอิง โดยใช้วิธีสอบเทียบค่าและวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อน (Error %) เพื่อประเมินความถูกต้องของระบบอย่างเป็นรูปธรรม การประเมินนี้ครอบคลุมตัวแปรสำคัญ ได้แก่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานสะสม และค่าความถี่ โดยวัดในช่วงเวลาเดียวกันภายใต้โหลดไฟฟ้าที่ควบคุมได้ (เช่น หลอดไฟ 100W พัดลม และคอมพิวเตอร์) และบันทึกค่าที่ได้เปรียบเทียบกันอย่างน้อย 10 รอบการวัดต่อรายการ

2. เครื่องมือสำหรับการประเมินผลระบบ

งานวิจัยนี้ได้จัดทำแบบประเมินประสิทธิภาพของระบบขึ้นโดยเฉพาะ เพื่อใช้วัดความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญด้านระบบฝังตัวและการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลในบริบทของการจัดการพลังงาน โดยแบบประเมินประกอบด้วย 4 ด้าน ดังนี้ 1)ด้านแม่นยำถูกต้องและประสิทธิภาพในการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า 2)ด้านประสิทธิภาพการส่งข้อมูลเข้าฐานข้อมูล 3) ด้านความปลอดภัยความคงทนและการทำงานของระบบฮาร์ดแวร์ 4)ด้านประสิทธิภาพการดูรายงาน แดชบอร์ด จาก

Citation: Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

แพลตฟอร์ม ซึ่งทดสอบความเที่ยงตรงแบบสอบถาม ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน โดยให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาความเหมาะสมของแต่ละข้อและคำนวณค่า CVI ด้วยวิธี IOC: Item Objective Congruence Index (Rovinelli & Hambleton, 1977)

5.3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีลำดับขั้นตอนที่สอดคล้องกับแอดดี้โมเดล ดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยเริ่มต้นด้วยการศึกษาปัญหาและความต้องการของระบบ โดยเน้นบริบทการใช้พลังงานไฟฟ้าในสถานศึกษา และตรวจสอบความเป็นไปได้ในการนำเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง มาประยุกต์ใช้เพื่อตรวจวัดพลังงานได้แบบเรียลไทม์

2. การออกแบบ มีการออกแบบโครงสร้างระบบ โดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนวัดค่าไฟฟ้า ส่วนควบคุม และส่วนเก็บและแสดงผลข้อมูล

3. การพัฒนา ได้พัฒนาโปรแกรมโดยใช้ภาษา C++ บนโปรแกรมอาดุยโน่ (Arduino IDE) ให้บอร์ดอีเอสพี32 อ่านค่าจากเซ็นเซอร์ และส่งข้อมูลไปยังกูเกิลชีต ผ่านกูเกิลแอปสคริปต์ โดยตั้งเวลาให้ส่งข้อมูลทุก 5 นาที และออกแบบแดชบอร์ดใน กูเกิลลูเคอร์สตูดิโอ เพื่อแสดงผลแบบกราฟ

4. การนำไปใช้ ระบบต้นแบบถูกนำไปติดตั้งในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย และทำการทดลองใช้งานจริงต่อเนื่องเป็นเวลา 5 วัน เพื่อรวบรวมข้อมูลพลังงานในสภาพแวดล้อมจริง

5. การประเมินผล ได้ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินประสิทธิภาพของระบบผ่านแบบสอบถามที่จัดทำขึ้น โดยวิเคราะห์ความเห็นด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

5.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ข้อมูลเชิงเทคนิคได้จากการบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าโดยระบบต้นแบบ ซึ่งเก็บข้อมูลทุก 5 นาที เป็นเวลา 5 วัน และข้อมูลจากแบบสอบถามได้จากการให้ผู้เชี่ยวชาญตอบแบบประเมินหลังจากทดลองใช้งานระบบ

5.5 สถิติที่ใช้ในการวิจัย/การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามจะถูกวิเคราะห์ด้วย สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อแสดงความแปรปรวนของข้อมูล ซึ่งการแปลผลค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถามในระดับความคิดเห็น 5 ระดับ ดังนี้

1) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.51 - 5.00 หมายถึง ระดับมากที่สุด
2) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.51 - 4.50 หมายถึง ระดับมาก
3) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.51 - 3.50 หมายถึง ระดับปานกลาง
4) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.51 - 2.50 หมายถึง ระดับน้อย
5) ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.00 - 1.50 หมายถึง ระดับน้อยที่สุด

6. ผลการวิจัย (Results)

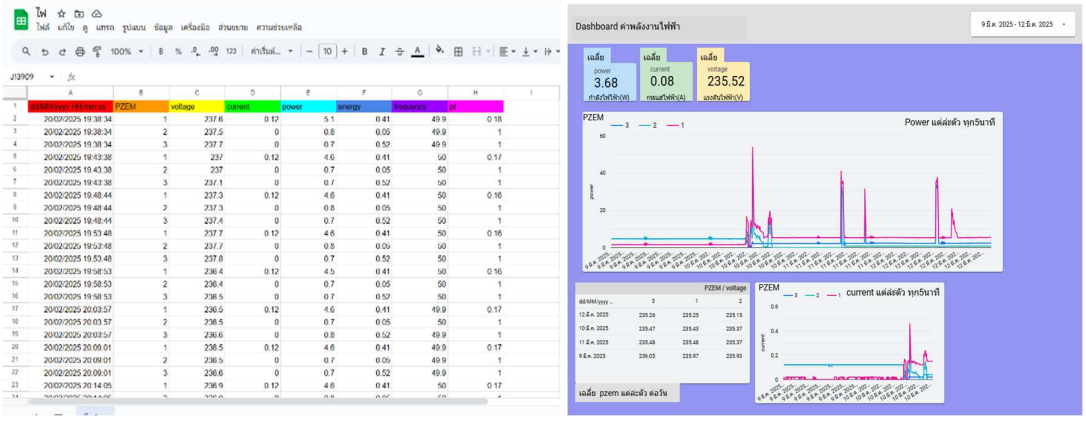
6.1 ผลการวิจัยการพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

การประเมินความแม่นยำของระบบดำเนินการโดยการสอบเทียบกับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานที่มีความแม่นยำ ±0.5% ซึ่งได้รับการรับรองจากห้องปฏิบัติการพลังงาน โดยใช้โหลดไฟฟ้าหลากหลายประเภท ได้แก่ โหลดต้านทาน (หลอดไฟ 60W) โหลดเหนี่ยวนำ (พัดลม 50W) และโหลดไม่เชิงเส้น (คอมพิวเตอร์ 120W) เพื่อสะท้อนการใช้งานจริง ทั้งนี้การทดสอบดำเนินการภายใต้สภาพโหลดคงที่ โดยวัดค่าจากทั้งระบบต้นแบบและเครื่องมือมาตรฐานพร้อมกันในช่วงเวลาเดียวกัน ทำซ้ำการวัด 10 ชุดต่อประเภทโหลด ผลการเปรียบเทียบพบว่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันอยู่ในช่วง 0.6-1.0% กำลังและพลังงานสะสม 0.8-1.2% และความถี่น้อยกว่า 1.0% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้สำหรับต้นแบบทางวิศวกรรมและงานวิจัยระดับเบื้องต้น ระบบถูกทดสอบใช้งานจริงจำนวน 10 รอบ ภายใต้เงื่อนไขจริงที่หลากหลาย ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถวัดค่าทางไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องครบถ้วนทุกรอบ สะท้อนถึงความเสถียรในการทำงานอย่างต่อเนื่องและความน่าเชื่อถือของระบบ

ซึ่งผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบภายใต้เงื่อนไขการใช้งานจริง เพื่อทดสอบความสามารถของระบบต้นแบบในการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าและการทำงานอย่างต่อเนื่อง ความสำเร็จที่โดดเด่นของระบบคือความสามารถในการส่งข้อมูล

Citation:
Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

อย่างสม่ำเสมอและต่อเนื่อง โดยระบบสามารถส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์เข้าสู่กูเกิลชีต ได้ตามรอบเวลาที่กำหนดทุก 5 นาที อย่างแม่นยำ การทดสอบระยะยาวเป็นเวลา 10 วันแสดงให้เห็นถึงความเสถียรในการดำเนินงานโดยไม่พบข้อผิดพลาดหรือการสูญหายของข้อมูลใด ๆ ผลลัพธ์นี้ยืนยันถึงความเหมาะสมของสถาปัตยกรรมระบบและการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานระยะยาว ข้อจำกัดเดียวที่พบคือการหยุดทำงานชั่วคราวเมื่อเกิดไฟฟ้าดับ ซึ่งเป็นข้อจำกัดตามธรรมชาติของระบบที่อาศัยแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลัก และสามารถแก้ไขได้ด้วยการเพิ่มระบบสำรองไฟฟ้า ดัง Figure 3.



(a) (b)

Figure 3. Data logging to Google Sheet (a) and dashboard visualization via Looker Studio (b)

6.2 ผลการวิจัยการประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

งานวิจัยนี้ได้ประเมินประสิทธิภาพของระบบโดยอาศัยแบบประเมินที่ประกอบด้วย 4 ด้านหลัก ได้แก่ ด้านความแม่นยำและประสิทธิภาพในการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ด้านประสิทธิภาพการส่งข้อมูลเข้าฐานข้อมูล ด้านความปลอดภัยและความทนทานของฮาร์ดแวร์ และด้านการแสดงผลข้อมูลผ่านแดชบอร์ด โดยประเมินจากผู้เชี่ยวชาญผลการประเมินสรุปได้ดังนี้

Table 1. The evaluation results of the efficiency of an electrical energy consumption monitoring system using Internet of Things.

ID	Evaluation Item	$\bar{x}$	S.D.	Level
1. Accuracy and Efficiency in Electrical Energy Measurement				
1	The system can accurately measure voltage.	4.00	0.75	High
2	The system can accurately measure current.	4.00	0.82	High
3	The system can accurately measure electrical power.	4.50	0.58	High
4	The system can accurately measure the power factor.	4.50	0.55	High
5	The system can quickly detect voltage fluctuations.	4.00	0.71	High
6	The system can continuously measure energy without interruption.	4.50	0.52	High
7	The system can accurately measure electrical frequency.	5.00	0.00	Highest
8	The system can record measurement data.	4.50	0.61	High
9	The system can display measurement data in an easy-to-understand format.	4.50	0.67	High
	Mean	**4.38**	**0.25**	**High**

Citation: Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

Table 1. The evaluation results of the efficiency of an electrical energy consumption monitoring system using Internet of Things. (Cont.)

ID	Evaluation Item	$\bar{x}$	S.D.	Level
2. Efficiency of Data Transmission to the Database				
1	The system can transmit data to the database quickly.	5.00	0.00	Highest
2	The system can transmit data to the database stably.	4.50	0.53	High
3	Electrical status data transmitted to the database is complete and accurate.	4.50	0.58	High
4	Stored data in the database is well-organized and easily retrievable.	4.50	0.67	High
5	The system can sufficiently store historical data with backups.	4.50	0.71	High
6	The system can handle large volumes of data simultaneously.	4.50	0.76	High
7	The system can connect to the network stably.	5.00	0.00	Highest
	Mean	**4.64**	**0.19**	**Highest**
3. Security, Durability, and Hardware Performance				
1	Hardware is safe for users.	5.00	0.00	Highest
2	Hardware is durable against environmental conditions.	5.00	0.00	Highest
3	Hardware has short-circuit protection.	5.00	0.00	Highest
4	Hardware has overload protection.	5.00	0.00	Highest
5	Hardware has long service life.	4.50	0.71	High
6	Hardware is easy to maintain.	4.50	0.76	High
	Mean	**4.83**	**0.20**	**Highest**
4. Efficiency of Dashboard Reporting from the Platform				
1	The platform displays data clearly and understandably.	5.00	0.00	Highest
2	The platform provides appropriate graphical representations.	4.00	0.89	High
3	The platform can export data to Excel or CSV files.	4.50	0.67	High
4	The platform can display historical data.	4.00	0.82	High
5	The platform can be accessed from various devices.	5.00	0.00	Highest
6	The platform provides real-time data updates.	4.50	0.58	High
	Mean	**4.50**	**0.15**	**High**
	Mean in Overall	**4.58**	**0.18**	**Highest**

จาก Table 1. การประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ผลการประเมินแสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย = 4.58, S.D. = 0.18) ซึ่งสะท้อนถึงความสำเร็จของการพัฒนาระบบในทุกมิติ เมื่อพิจารณาแต่ละด้าน พบว่าด้านความปลอดภัยความคงทนและการทำงานของระบบฮาร์ดแวร์ได้รับการประเมินสูงสุด (ค่าเฉลี่ย = 4.83, S.D. = 0.20) แสดงให้เห็นถึงความเชื่อมั่นของผู้ใช้งานต่อความปลอดภัยและเสถียรภาพของระบบ รองลงมาคือด้านประสิทธิภาพการส่งข้อมูลเข้าฐานข้อมูล (ค่าเฉลี่ย = 4.64, S.D. = 0.19) ซึ่งบ่งชี้ถึงความสามารถในการจัดการข้อมูลและการเชื่อมต่อเครือข่ายที่มีประสิทธิภาพ ในด้านการแสดงผลและการใช้งาน ระบบมีประสิทธิภาพการดูรายงาน แดชบอร์ด อยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.50, S.D. = 0.15) โดยโดดเด่นในการแสดงผลข้อมูลที่ชัดเจนและการรองรับอุปกรณ์หลากหลายชนิด แต่ยังมีพื้นที่ในการปรับปรุงด้านการแสดงผลแบบกราฟิก ส่วนด้านแม่นยำถูกต้องและประสิทธิภาพในการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด (ค่าเฉลี่ย = 4.38, S.D. = 0.25) แม้ว่าจะยังคงอยู่ในระดับมาก แต่ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูงที่สุดบ่งชี้ถึงความแตกต่างของความเห็นในการประเมินด้านนี้ การวิเคราะห์ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเผยให้เห็นรูปแบบที่น่าสนใจ รายการที่ได้คะแนนเต็ม (ค่าเฉลี่ย = 5.00) มีค่า S.D.

Citation:
Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

= 0.00 แสดงถึงความเห็นพ้องต้องกันสูง ในขณะที่รายการที่มีคะแนนต่ำกว่ามีค่า S.D. สูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการประเมินที่ระบุว่าความซับซ้อนของเทคโนโลยีมักส่งผลต่อความหลากหลายของการรับรู้ของผู้ใช้งาน การที่ระบบสามารถวัดค่าความถี่ไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ การแสดงผลข้อมูลที่ชัดเจน และการเข้าถึงจากอุปกรณ์หลากหลายชนิดได้รับการประเมินในระดับมากที่สุดพร้อมความเห็นพ้องต้องกันสูง แสดงให้เห็นถึงจุดแข็งหลักของระบบ

ผลการศึกษานี้ให้ข้อเสนอแนะว่าแม้ระบบจะมีประสิทธิภาพโดยรวมในระดับสูง แต่ยังมีพื้นที่ในการปรับปรุง โดยเฉพาะในด้านการวัดค่าไฟฟ้าพื้นฐานและการแสดงผลแบบกราฟิก การพัฒนาต่อยอดควรมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มความแม่นยำในการวัดและการปรับปรุงการนำเสนอข้อมูลให้มีความน่าสนใจและเข้าใจง่ายมากยิ่งขึ้น เพื่อให้ระบบสามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างครบถ้วนและมีประสิทธิภาพสูงสุด

7. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

7.1. ผลการพัฒนาระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

ระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นใช้บอร์ดอีเอสพี32 ร่วมกับเซ็นเซอร์ PZEM-004T สำหรับตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานสะสม พร้อมส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย ด้วย กูเกิลแอปสคริปต์ ไปยังกูเกิลชีต และนำเสนอข้อมูลในรูปแบบกราฟผ่าน กูเกิลลูเคอร์สตูดิโอ ระบบสามารถทำงานได้ต่อเนื่องและมีความแม่นยำในการวัดค่าสำคัญ ทั้งยังรองรับการเปลี่ยนเครือข่ายไร้สาย ได้โดยไม่เกิดข้อผิดพลาด ยกเว้นในกรณีไฟฟ้าดับ ซึ่งส่งผลต่อการทำงานชั่วคราว

7.2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบ

การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในภาพรวมอยู่ในระดับ “มากที่สุด” โดยแบ่งผลการประเมินตามด้านได้ดังนี้

1) ด้านความแม่นยำในการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า ระดับ “มาก” ด้วยค่าเฉลี่ย 4.38 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.31 ซึ่งสะท้อนว่าระบบสามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในหลายตัวแปร เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ตัวประกอบกำลัง และความถี่ ได้อย่างถูกต้องในระดับดี อย่างไรก็ตาม ค่าคะแนนในบางตัวชี้วัด เช่น การวัดแรงดันและกระแสอยู่ที่ 4.00 ซึ่งยังไม่ถึงระดับ “มากที่สุด” อาจเนื่องมาจากปัจจัยด้านความแม่นยำของเซ็นเซอร์ PZEM-004T ที่มีความคลาดเคลื่อน ±1% ความแปรปรวนของแรงดันและสัญญาณรบกวน ในสภาพแวดล้อมจริงอาจส่งผลต่อความเสถียรของการวัด ส่งผลให้ผู้ประเมินยังไม่ให้คะแนนในระดับสูงสุด

2) ด้านประสิทธิภาพการส่งข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล ระดับ “มากที่สุด” ด้วยค่าเฉลี่ย 4.64 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.23 แสดงถึงความเสถียรของระบบในการรับ-ส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย เช่น เครือข่ายไร้สายโดยไม่มีการสูญหายของข้อมูล ระบบสามารถจัดเก็บข้อมูลย้อนหลัง การสำรองข้อมูล และเรียกดูข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งสะท้อนถึงการออกแบบระบบฐานข้อมูลและโครงสร้างการส่งข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ อุปกรณ์ บอร์ดอีเอสพี32 ที่ใช้ในระบบมีความสามารถในการเชื่อมต่อ เครือข่ายไร้สายที่เสถียร อีกทั้งการออกแบบฐานข้อมูลให้รองรับการสืบค้นได้ง่ายและข้อมูลไม่ซ้ำซ้อน

3) ด้านความปลอดภัยและความคงทนของระบบฮาร์ดแวร์ ระดับ “มากที่สุด” ด้วยค่าเฉลี่ย 4.83 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.24 แสดงถึงความเห็นพ้องของผู้ประเมินว่า ฮาร์ดแวร์ที่ใช้มีความปลอดภัยและทนทาน เช่น การมีระบบป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร ระบบป้องกันโอเวอร์โหลดและการเลือกใช้อุปกรณ์มาตรฐานสูง เช่น บอร์ดอีเอสพี32 ที่สามารถทำงานต่อเนื่องในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี นอกจากนี้ การออกแบบให้บำรุงรักษาได้ง่ายและมีอายุการใช้งานยาวนาน ยังช่วยเพิ่มความเชื่อมั่นในด้านความปลอดภัยและความคงทนของระบบในระยะยาว

4) ด้านประสิทธิภาพการดูรายงานผ่านแดชบอร์ด ระดับ “มาก” ด้วยค่าเฉลี่ย 4.50 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.23 ถือว่าเพียงพอในการใช้งานทั่วไป แต่คะแนนยังไม่ถึงระดับ “มากที่สุด” โดยเฉพาะในด้านการแสดงผลแบบกราฟิกและข้อมูลย้อนหลัง ซึ่งได้รับเพียง 4.00 ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากข้อจำกัดด้านความยืดหยุ่นของแพลตฟอร์ม เช่น การใช้แพลตฟอร์มแสดงผลที่มีฟีเจอร์จำกัด การออกแบบ UI ที่ยังไม่สอดคล้องกับผู้ใช้หลากหลายกลุ่ม หรือยังขาดความสามารถในการปรับแต่งการแสดงผลตามความต้องการเฉพาะกลุ่ม อีกทั้งการ Export ข้อมูลหรือรองรับ Mobile Responsiveness แม้ทำได้ แต่ยังมีข้อจำกัดด้านประสบการณ์ใช้งาน (UX) เมื่อเทียบกับระบบระดับ Enterprise ที่มีความลื่นไหลและปรับตัวตามอุปกรณ์ได้ดีกว่า

Citation:
Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

จากการวิเคราะห์ พบว่า ระบบมีจุดเด่นชัดเจนด้านการส่งข้อมูลและความปลอดภัยของฮาร์ดแวร์ ขณะที่ยังสามารถพัฒนาเพิ่มเติมในด้านการเพิ่มความแม่นยำในการวัดค่าพลังงาน และการออกแบบแดชบอร์ดให้สอดคล้องกับการใช้งานจริงที่หลากหลายมากขึ้น ทั้งนี้ ค่าเฉลี่ยรวมทั้งระบบอยู่ที่ 4.58 และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานรวม 0.35 จัดอยู่ในระดับ “มากที่สุด” ซึ่งยืนยันได้ว่าระบบมีความพร้อมและเหมาะสมสำหรับการใช้งานจริงในระดับภาคสนามหรือเชิงวิจัย

8. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นการพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งโดยผลการดำเนินงานแสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างแม่นยำ มีความเสถียร และสามารถแสดงผลข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในแง่ของการวัดค่าทางไฟฟ้า การส่งข้อมูลเข้าสู่ระบบฐานข้อมูลออนไลน์ ตลอดจนความสามารถในการแสดงผลข้อมูลผ่านแดชบอร์ดแบบโต้ตอบ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบและอภิปรายผลร่วมกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

ระบบตรวจวัดพลังงานที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีความสามารถในการวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และพลังงานสะสมของระบบไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำและต่อเนื่อง ความแม่นยำดังกล่าวเกิดจากการเลือกใช้เซ็นเซอร์ PZEM-004T ที่ออกแบบเฉพาะทางสำหรับวัดค่าพลังงานไฟฟ้า และการประมวลผลด้วยบอร์ดอีเอสพี32 ที่รองรับการเชื่อมต่อไร้สายและการคำนวณแบบเรียลไทม์ แม้ระบบจะมีความแม่นยำโดยรวมอยู่ในระดับ “มาก” แต่ค่าความคลาดเคลื่อน ±1% ของเซ็นเซอร์และปัจจัยแวดล้อม เช่น สัญญาณรบกวนหรือความผันผวนของแรงดันไฟฟ้า อาจส่งผลต่อความเสถียรของการวัดในบางช่วงเวลา อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ในส่วนนี้สอดคล้องกับงานของ Apiruchpinyo & Chaochaikong (2022) ที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการใช้บอร์ดอีเอสพี32 ร่วมกับแอปพลิเคชันบลิง ในการตรวจวัดและควบคุมการใช้พลังงานในอาคารเรียนแบบเรียลไทม์ และสอดคล้องกับงานของ Hantoro & Setiawidayat (2023) พัฒนาระบบการตรวจวัดและควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบสามเฟส โดยใช้เทคโนโลยีเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อส่งและแสดงผลข้อมูลเชิงพลังงาน ระบบนี้สามารถตรวจวัดแรงดัน กระแส และพลังงานแบบเรียลไทม์ พร้อมควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าได้จากระยะไกล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรม ทั้งยังมีการทดสอบประสิทธิภาพของระบบวัดเมื่อเทียบกับมาตรฐาน พบว่ามีความเที่ยงตรงสูงและสามารถใช้งานได้ต่อเนื่อง

ด้านประสิทธิภาพของการส่งข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูล ระบบที่พัฒนาสามารถส่งข้อมูลเข้าสู่กูเกิลชีทผ่านโพรโทคอล HTTP ได้ตรงตามช่วงเวลาที่กำหนดทุก 5 นาที ความสำเร็จในจุดนี้เกิดจากการตั้งค่ากำหนดช่วงเวลาบนบอร์อีเอสพี32 ที่มีความแม่นยำสูงและการใช้กูเกิลชีตในการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลบนคลาวด์ ทำให้ลดปัญหาการค้างของข้อมูลและการสูญหายจากสัญญาณขาดช่วง ระบบยังสามารถจัดเก็บข้อมูลย้อนหลังและสำรองข้อมูลได้อย่างเป็นระบบ ซึ่งผลลัพธ์สอดคล้องกับแนวทางของ Apiruchpinyo & Chaochaikong (2022) ที่ยืนยันว่าการส่งข้อมูลพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่คลาวด์สามารถดำเนินได้อย่างต่อเนื่องในระบบเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ด้านความปลอดภัยและความคงทนของฮาร์ดแวร์ ระบบได้รับการประเมินในระดับ “มากที่สุด” ซึ่งสะท้อนถึงการออกแบบที่คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ใช้งาน โดยมีการแยกวงจรไฟฟ้าแรงสูงและแรงต่ำ ติดตั้งรีเลย์และเบรกเกอร์คุณภาพสูง การเลือกใช้บอร์ดอีเอสพี32 ซึ่งทนต่ออุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าได้ดี ทำให้ระบบสามารถทำงานต่อเนื่องแม้ในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย ซึ่งผลการประเมินนี้สอดคล้องกับงานของ Yasa et al., (2023) ที่ระบุว่าบอร์ดอีเอสพี32 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความคงทนและเหมาะกับงานด้านพลังงานที่ต้องการความเสถียรในการประมวลผลภาคสนาม ตลอดจนงานของ Choochart (2022) ที่มีการประยุกต์ใช้อีเอสพี32 ร่วมกับเซ็นเซอร์ที่หาซื้อง่าย พร้อมการออกแบบระบบแบบครบวงจร สามารถผลักดันให้สถาบันการศึกษาหรือองค์กรขนาดกลางมีเครื่องมือจัดการพลังงานแบบ IoT ที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่า ใช้งานจริงได้ทันทีในบริบทของประเทศไทย

ด้านของการแสดงผลข้อมูลผ่านแดชบอร์ด ระบบสามารถแสดงผลข้อมูลจากกูเลซีทผ่านแดชบอร์ดของลูคเกอร์สะตูดิโอได้อย่างเข้าใจง่ายและมีความสวยงาม โดยมีการแสดงทั้งแบบกราฟและตาราง ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์แนวโน้มการใช้พลังงานในระยะสั้นและระยะยาว สำหรับการประเมินผลการใช้งานแดชบอร์ดทางธุรกิจหรือองค์กร Hjelle et al. (2024) ให้ผลลัพธ์ว่าแดชบอร์ดช่วยให้การตัดสินใจมีคุณภาพมากขึ้น และส่งเสริมการตีความข้อมูลอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตาม ฟีเจอร์บางอย่างของของลูคเกอร์สะตูดิโอเช่น ความสามารถในการออกรายงานเฉพาะช่วงเวลา หรือปรับแต่งรูปแบบให้ลึก

Citation:
Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

ระดับผู้ใช้ขั้นสูง ยังมีข้อจำกัดเมื่อเทียบกับเครื่องมือเพาเวอร์บีไอ (Power BI) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ผู้ประเมินบางส่วนให้คะแนนไม่ถึงระดับสูงสุด

นอกจากนี้ จุดเด่นที่สะท้อนองค์ความรู้ใหม่ของงานวิจัยนี้คือ การออกแบบระบบที่มีความครบวงจร ตั้งแต่การตรวจวัด การส่งข้อมูล และการแสดงผล โดยบูรณาการทั้งฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงการสอบเทียบค่าทางเทคนิคเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานภายใต้โหลดควบคุม ซึ่งยังไม่ปรากฏอย่างเป็นระบบในงานวิจัยก่อนหน้า การนำเสนอระบบในลักษณะนี้จึงเป็นต้นแบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานราชการ สถานศึกษา หรือระดับครัวเรือนได้จริง โดยมีความพร้อมด้านต้นทุน เทคโนโลยี และความสามารถในการนำไปใช้งานต่อยอดได้อย่างยั่งยืน

9. ข้อเสนอแนะงานวิจัย (Recommendation)

จากผลการวิจัยมีประสิทธิภาพในระดับ “มากที่สุด” อย่างไรก็ตาม เพื่อพัฒนาระบบให้ครอบคลุมและยั่งยืนมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้เสนอแนวทางใน 2 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านงานวิจัยต่อไป ควรขยายระบบให้รองรับทั้งไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส เพิ่มศักยภาพด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ ศึกษาผลกระทบระยะยาวจากการใช้งาน และทดลองใช้ในพื้นที่ที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อประเมินความเหมาะสมของระบบในบริบทที่หลากหลาย 2) ด้านการใช้งานจริง ควรพัฒนาเครื่องมือสนับสนุน เช่น คู่มือหรือแอปพลิเคชัน เพิ่มการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้าอัตโนมัติ และส่งเสริมการใช้งานในระดับชุมชนหรือองค์กร เพื่อให้ระบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงและเกิดประโยชน์อย่างเป็นรูปธรรม

10. เอกสารอ้างอิง (References)

Apiruchpinyo, N., & Chaochaikong, S. (2022). Electrical Power Management System in Buildings via the Internet of Things: A Case Study of Srikodtraboon Building of Nakhon Phanom University. *Udon Thani Rajabhat University Journal of Sciences and Technology, 10*(3), 43-62. (In Thai)

Chaiyong, W., & Sonasang, S. (2022). Applications of Energy Monitoring Using the IoT. *SNRU Journal of Science and Technology, 14*(2), 1-9. https://doi.org/10.55674/snrujst.v14i2.245041.

Choochart, K. (2022). *Development of the Internet of Things Platform System for Electricity Usage Monitoring Case study: Srivitsawavitthaya Buildings, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya*. [Master's dissertation, Prince of Songkla University]. PSU Knowledge Bank. http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2016/17921. (In Thai)

Chunpungsuk, C., & Lertbumroongchai, K. (2018). Sufficient Ecosystem Management via IoT for Educational Institutions. *Journal of Vacational and Technical Education, 8*(15), 25-31. (In Thai)

ELM Learning. (2024). *What is ADDIE? Your Complete Guide to the ADDIE Model*. https://elmlearning.com/hub/instructional-design/addie-model.

Hantoro, C. D., & Setiawidayat, S. (2023). Monitoring and Control of 3 Phase Electrical Energy Internet of Things (IoT) Based. *European Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 7*(3), 80-86. https://doi.org/10.24018/ejece.2023.7.3.522.

Hjelle, S., Mikalef, P., Altwaijry, N., & Parida, V. (2024). Organizational Decision Making and Analytics: An Experimental Study on Dashboard Visualizations. *Information & Management*, *61*(6), 104011. https://doi.org/10.1016/j.im.2024.104011.

Huang, G.-L., Anwar, A., Loke, S. W., Zaslavsky, A., & Choi, J. (2023). *IoT-based Analysis for Smart Energy Management*. arXiv. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2311.18643.

Napitupulu, D. (2020). User-Acceptance Instrument Development: A Content Validity Study in the e-Participation Context. *Journal of Applied Research and Technology*, *18*(1), 34-43. https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2020.18.1.931.

Citation:
Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.

Rovinelli, R. J., & Hambleton, R. K. (1977). *On the Use of Content Specialists in the Assessment of Criterion-Referenced Test Item Validity*. https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED121845.pdf.

Saha, N., Aulia, M. M., Rahman, Md. M., & Khan, M. S. A. (2024). *IoT-Driven Cloud-based Energy and Environment Monitoring System for Manufacturing Industry*. arXiv. https://doi.org/10.48550/ARXIV.2404.11771.

Seepan, K., & Trongtorkarn, M. (2024). Design and Development of 3 Phase Energy Meters for Energy Monitoring: Case Study of Suratthani Rajabhat University's Industrial Technology Laboratory Department. *Journal of Industrial Education, 18*(2), 10-25. (In Thai)

Songputh, T., & Rungkaew, J. (2022). The Internet of Things for Controlling use of Electricity through the Internet Network. *Science and Technology Journal of Sisaket Rajabhat University, 2*(1), 22-30. (In Thai)

Yasa, K. A., Purbhawa, I. M., Yasa, I. M. S., Teresna, I. W., Nugroho, A., & Winardi, S. (2023). IoT-based Electrical Power Recording using ESP32 and PZEM-004T Microcontrollers. *Journal of Computer Science and Technology Studies*, *5*(4), 62-68. https://doi.org/10.32996/jcsts.2023.5.4.7.

Citation:
Terapong Songputh, T., Boonchuay, S., & Bonwat, J. (2025). A Development Electrical Energy Measure System Using Internet of Things Technology. *Journal of Computer and Creative Technology, 3*(2), 230-243. https://doi.org/10.14456/jcct.2025.18.