

การพัฒนาาระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยการประยุกต์ใช้สมองกลฝังตัว Raspberry Pi
เพื่อการบันทึกข้อมูลและเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย
Development of Energy Monitoring System with the Application of Embedded
Raspberry Pi to Record Data and Link to Server

วันวิเศษ อภิชาติ¹ นรากรณ์ สงกิตติโรจน์¹ พันธุ์พล สินธูยา² วรจิตต์ เศรษฐพรศักดิ์¹
หทัยทิพย์ สินธูยา¹ และ อำนาจ โกวรรณ^{3,*}

Wanwiset Aphichat¹, Narakorn Songkittirote¹, Panlop Sintuya², Worajit Setthapun¹,
Hathaithip Sintuya¹ and Umnaj Kowan^{3,*}

¹สาขาวิชาพลังงานและสิ่งแวดล้อมชุมชน วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180

²สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรอินทรีย์ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180

³สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ เชียงใหม่ 50180

¹Community Energy and Environment Program, Asian Development College for Community Economy
and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50180

²Organic Agriculture Innovation Program, Asian Development College for Community Economy and
Technology, Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50180

³Computer Science Program, Asian Development College for Community Economy and Technology,
Chiang Mai Rajabhat University, Chiang Mai 50180

* Corresponding author, e-mail: umnaj@cmru.ac.th, Tel.: 095-1451598

Received: 8 October 2021, Revised: 1 November 2021, Accepted: 4 November 2021, Published online: 25 December 2021

Abstract

Nowadays, the energy consumption monitoring system is very important because the monitoring system can track and collect energy consumption data for energy management analysis and increase energy efficiency. This research developed a power tracking system for homes and buildings. The PZEM-016 energy monitoring module is used in conjunction with the embedded Raspberry Pi to measure the electrical consumption data for homes and buildings. There is a backup memory storage system that can store data if the data cannot be sent to the host computer system. The web application was also developed over the local network by collecting data using Influx DB and MySQL databases to optimize the performance of the system. The web application can display real-time and historical energy consumption data. The test result from measuring device accuracy revealed that the reading error of the voltage is 1.28% and the current is 0.16%. The performance of the backup database is 100% and the average historical data transmission is at 9%7. Therefore, this research had developed the energy

monitoring system with embedded Raspberry pi with IoT technology. The system will increase the efficiency of energy data storage capability with the ease of user through the web application.

Keywords: Energy monitoring system, Energy consumption database, IoT

บทคัดย่อ

ระบบติดตามการใช้พลังงานมีความสำคัญอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากระบบติดตามสามารถจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อวิเคราะห์การบริหารจัดการพลังงานเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบติดตามพลังงานไฟฟ้าสำหรับบ้านและอาคาร โดยใช้งานโมดูลตรวจวัดพลังงาน PZEM-016 ร่วมกับสมองกลฝังตัว Raspberry Pi ในการตรวจวัดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าของบ้านและอาคาร โดยมีระบบเก็บข้อมูลหน่วยความจำสำรองที่สามารถเก็บข้อมูลในกรณีที่ไม่สามารถส่งข้อมูลทางไฟฟ้าไปยังระบบคอมพิวเตอร์แม่ข่าย อีกทั้งระบบนี้มีเว็บแอปพลิเคชันผ่านเครือข่าย Local network โดยใช้ระบบฐานข้อมูล Influx DB และ MySQL ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ และเว็บแอปพลิเคชันสามารถแสดงผลข้อมูลการบริโภคพลังงานไฟฟ้าแบบ Real-Time และข้อมูลย้อนหลัง โดยผลการทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 28.1% และกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 16.0% โดยมีประสิทธิภาพของระบบฐานข้อมูลสำรองที่สามารถเก็บข้อมูลได้ 100% และการส่งข้อมูลย้อนหลังเฉลี่ยอยู่ที่ 97% งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบติดตามพลังงานไฟฟ้าด้วยสมองกลฝังตัว Raspberry pi ด้วยเทคโนโลยีไอโอที จะเพิ่มความสามารถด้านการเก็บข้อมูลการบริโภคพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายต่อผู้ใช้งานผ่านทางเว็บแอปพลิเคชัน

คำสำคัญ: ระบบติดตามพลังงานไฟฟ้า ระบบจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้า IoT

บทนำ

ในปัจจุบันมีความต้องการด้านพลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การใช้ทรัพยากรด้านการผลิตพลังงานมีต้นทุนเพิ่มขึ้นในขณะที่ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้ในการผลิตพลังงานมีปริมาณลดลง ทำให้มีแนวคิดด้านการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพ การตรวจสอบและตรวจวัดการใช้พลังงานมีความสำคัญในการนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและการประหยัดพลังงาน การติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีสร้างเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่สามารถติดตามการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า โดยการนำเทคโนโลยีไอโอทีประยุกต์ใช้กับเซ็นเซอร์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า [1-3] ซึ่งการใช้ระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้ามีความนิยมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการตรวจวัดข้อมูลพลังงานเนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ มีราคาต้นทุนที่ต่ำ และสามารถพัฒนาโปรแกรมชุดคำสั่งในการตรวจวัดการใช้พลังงานได้ แต่การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยังไม่สามารถตอบโจทย์ในการพัฒนาระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าในการจัดการข้อมูลที่ซับซ้อนได้ เนื่องจากทำให้เกิดปัญหาในการส่งข้อมูลกับการอ่านข้อมูลทางไฟฟ้า [4-5] ในกรณีที่ระบบไม่สามารถเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ต จะทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่อ่านค่าได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดถึงแม้จะมีการเก็บข้อมูลสำรองในหน่วยความจำ (SD Card) แต่เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่สามารถส่งข้อมูลจากหน่วยความจำสำรองมายังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายได้ ทำให้ไม่สามารถส่งข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ครบถ้วนและสมบูรณ์ไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย อีกทั้งปัจจัยด้านความร้อนของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะส่งผลให้มีการทำงานที่ผิดปกติและเกิดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า [6]

งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยการประยุกต์ใช้สมองกลฝังตัว Raspberry Pi เพื่อการบันทึกข้อมูลและเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์แม่ข่ายที่มีประสิทธิภาพในการตรวจวัดข้อมูลบริโภคการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านและอาคาร ระบบเก็บข้อมูลหน่วยความจำสำรองที่สามารถรวบรวมข้อมูลกรณีไม่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดย

สามารถส่งข้อมูลกลับไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเมื่อเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต รวมไปถึงการใช้เว็บแอปพลิเคชันผ่านเครือข่าย Local network ที่มีลักษณะการทำงานแบบ Stand Alone เพื่อรองรับกรณีความไม่เสถียรของสัญญาณอินเทอร์เน็ต หรือการที่ผู้ใช้สามารถเข้าถึงเว็บแอปพลิเคชันในขณะที่สัญญาณอินเทอร์เน็ตขาดหายไป ในการพัฒนาระบบติดตามของงานวิจัยนี้ได้นำสมองกลฝังตัว Raspberry pi ทำงานร่วมกับระบบปฏิบัติการ Raspbian โดยใช้ภาษา JavaScript ทำงานใน Node-red ที่เป็น Visual tools สำหรับระบบ IoT รวมไปถึงการใช้งานฐานข้อมูล Influx DB และ MySQL ที่ทำงานร่วมกันเพื่อเพิ่มความรวดเร็วในการแสดงผลข้อมูลและการเก็บข้อมูล ทำให้ระบบติดตามไฟฟ้าสามารถแสดงผลข้อมูลการบริโภคพลังงานไฟฟ้า สถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านเว็บแอปพลิเคชันได้อย่างรวดเร็ว และมีความเสถียรภาพสูง การออกแบบพัฒนาเทคโนโลยีข้างต้นจะสามารถทำให้การนำข้อมูลมาบริหารจัดการภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการวิจัย

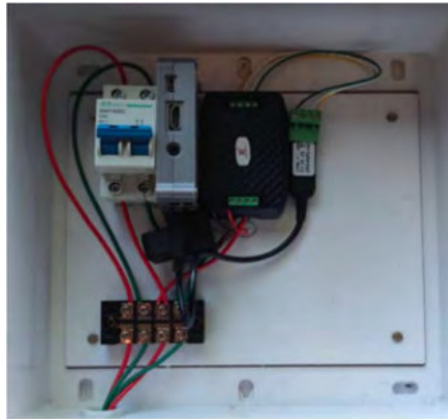
หลักการการทำงานของระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยสมองกลฝังตัว Raspberry pi จะทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจวัดภาระทางไฟฟ้าและทำงานร่วมกับเว็บแอปพลิเคชัน ที่ทำงานอยู่ Local Network ที่มีลักษณะการทำงานแบบ Stand Alone และคอมพิวเตอร์แม่ข่าย ทั้งนี้การออกแบบระบบจะถูกพัฒนาให้รองรับความไม่เสถียรของระบบสัญญาณอินเทอร์เน็ต สามารถส่งข้อมูลย้อนหลังกลับมายังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเมื่อเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต และระบบติดตามไฟฟ้าสามารถแสดงผลข้อมูลการบริโภคการใช้พลังงานไฟฟ้า สถิติการใช้พลังงานไฟฟ้า และการแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน เพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลมาบริหารจัดการภาระการใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านและอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ

การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์

ในการออกแบบการทำงานของระบบ Hardware ใช้สมองกลฝังตัว Raspberries PI ทำงานร่วมกับชุดอุปกรณ์ตรวจวัดภาระทางไฟฟ้า ในการจัดเก็บข้อมูลบริโภคพลังงานไฟฟ้า โดยส่งข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ตและจัดเก็บข้อมูลในหน่วยความจำสำรอง Local network การออกแบบพัฒนาการเชื่อมต่อการทำงานของอุปกรณ์ติดตามไฟฟ้า โดยการออกแบบพัฒนาการ Raspberries PI ทำงานร่วมกับโมดูลอ่านข้อมูล (RS485 USB) เชื่อมต่อกับชุดตรวจวัดไฟฟ้ากระแสสลับ (PZEM-016) และอ่านข้อมูลผ่าน Modbus protocol ดังภาพที่ 1 และ 2



ภาพที่ 1 การออกแบบการเชื่อมต่อ Hardware ระบบติดตามการใช้พลังงาน

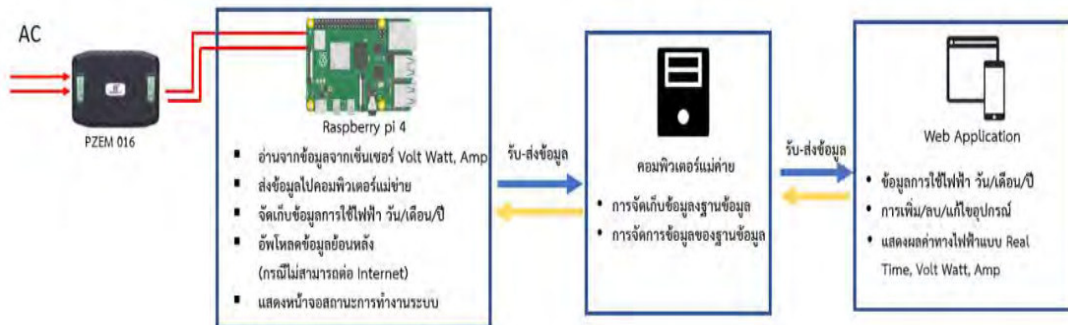


ภาพที่ 2 ภาพอุปกรณ์ระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าด้วยสมองกลฝังตัว Raspberry pi

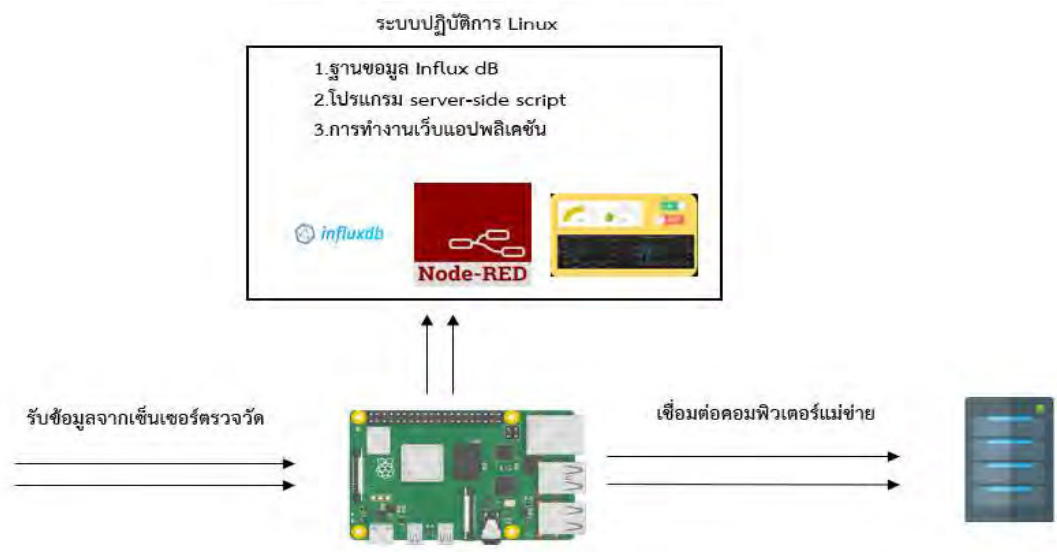
การออกแบบระบบซอฟต์แวร์

ในส่วนการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้แบ่งการพัฒนา ระบบดังนี้ 2

1. การพัฒนาซอฟต์แวร์บน Raspberries PI โดยพัฒนาการใช้ชุดคำสั่งโปรแกรม Node-red ที่ทำงานอยู่ในระบบปฏิบัติการ Raspbian ในการอ่านข้อมูลเซ็นเซอร์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าผ่านโปรโตคอล Modbus ในการอ่านข้อมูลและพัฒนาชุดคำสั่งการส่งข้อมูลไปยังระบบอินเทอร์เน็ตแบบ Real-Time ไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย รวมถึงการจัดเก็บข้อมูลในระบบฐานข้อมูล Influx DB ทุกๆ 1 นาที ดังภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 3 การออกแบบหลักการทำงานระบบซอฟต์แวร์

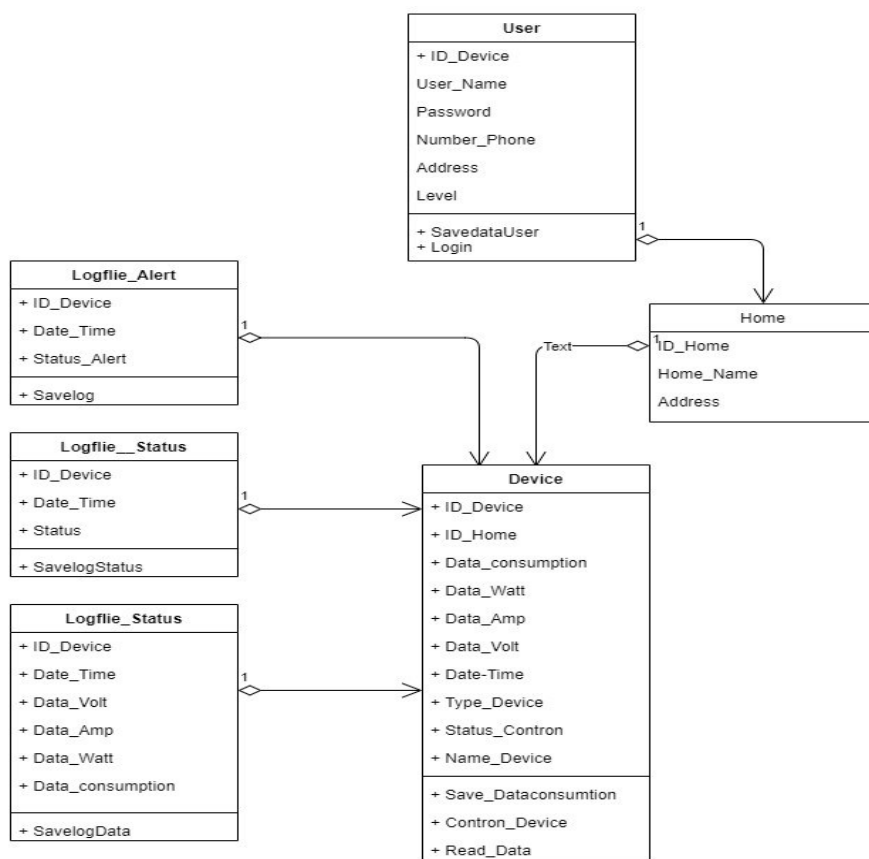


ภาพที่ 4 ฟังก์ชันการทำงานของฐานข้อมูลบน Raspberry Pi

2. การพัฒนาซอฟต์แวร์บนระบบคอมพิวเตอร์แม่ข่าย โดยการพัฒนาการใช้ชุดคำสั่งโปรแกรม node red ในการรับข้อมูล Real time มาจัดเก็บในระบบฐานข้อมูล Influx DB และรับข้อมูลจากไฟล์ json ผ่านโปรแกรมชุดคำสั่ง API ในกรณีรับข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลังจาก Raspberries Pi

การออกแบบระบบฐานข้อมูล

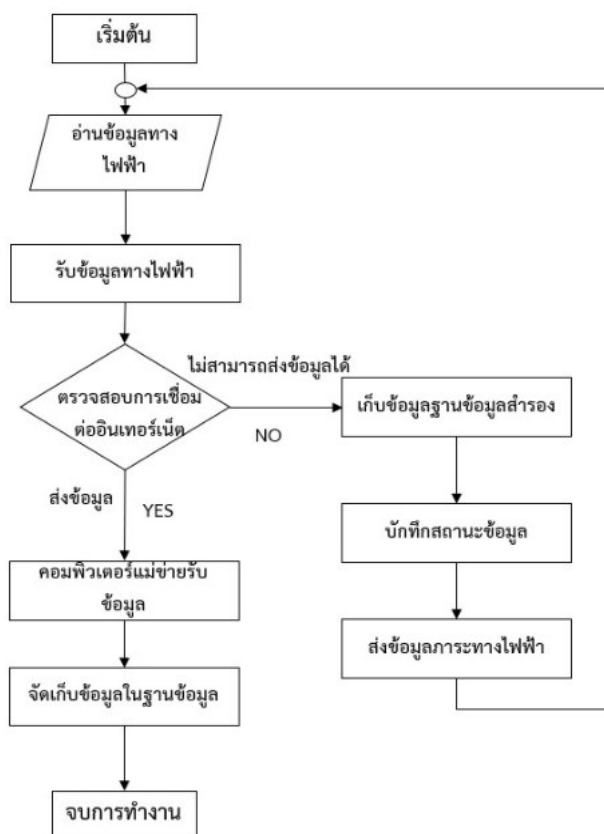
ในการออกแบบระบบฐานข้อมูลใช้แผนภาพโครงสร้าง ในการจำลองการออกแบบฐานข้อมูลในการรองรับการทำงานการเก็บข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แม่ข่ายและฐานข้อมูลสำรองบน Raspberry pi [7] โดยออกแบบตารางเก็บข้อมูล 6 ตาราง ดังนี้ 1. ตารางข้อมูลผู้ใช้ระบบจะเก็บข้อมูลผู้ใช้ในการเข้าสู่ระบบระบบเว็บแอปพลิเคชัน 2. ตารางข้อมูลบ้านจะเก็บข้อมูลรหัสของบ้านในการเลือกติดต่อกับฐานข้อมูล 3. ตารางข้อมูลอุปกรณ์ตรวจวัดจะเก็บข้อมูลค่าภาระทางไฟฟ้า 4. ตารางข้อมูลการแจ้งเตือนสถานะการขาดการเชื่อมต่อกับระบบ 5. ตารางข้อมูลสถานะการทำงานระบบอุปกรณ์และ 6. ตารางเก็บข้อมูลในกรณีไม่ สามารถเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตจะทำการเก็บข้อมูลวันที่ เวลา และข้อมูลภาระทางไฟฟ้าเมื่อเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต API ชุดคำสั่งจะเรียกดึงข้อมูลในการส่งข้อมูลผ่านคอมพิวเตอร์แม่ข่าย



ภาพที่ 5 การออกแบบระบบฐานข้อมูลระบบติดตามการใช้พลังงาน

การออกแบบเงื่อนไขการทำงานชุดคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลัง

การทำงานการเก็บข้อมูลของระบบได้ทำการเริ่มจากการอ่านข้อมูลภาระทางระบบไฟฟ้า เมื่ออ่านข้อมูลได้นำไปตรวจสอบสถานะระบบอินเทอร์เน็ต เมื่อมีระบบอินเทอร์เน็ตจะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายแต่เมื่อตรวจสอบไม่พบอินเทอร์เน็ตระบบจะทำการเก็บข้อมูลสำรองในระบบปฏิบัติการและจำสถานะ วัน/เวลา/ปี ช่วงเวลานั้น ๆ เมื่อระบบสามารถเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตได้อีกครั้ง ระบบจะทำการส่งข้อมูลเป็นไฟล์ในรูปแบบของ JSON ผ่านโปรโตคอล HTTP ให้กับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เมื่อส่งไฟล์ข้อมูลเสร็จแล้ว API ในระบบฐานข้อมูลจะทำการเช็คข้อมูลโดยใช้ระบบฐานข้อมูล MySQL ในการบันทึกข้อมูลชื่ออุปกรณ์ รหัสอุปกรณ์ และส่งข้อมูลผ่าน API ชุดคำสั่งแปลงข้อมูลในการใช้พลังงานไฟฟ้าจัดเก็บข้อมูลในระบบฐานข้อมูล (Influx DB)



ภาพที่ 6 Flowchart แสดงการทำงานของระบบเงื่อนไขการทำงานชุดคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลัง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการทดลองจากการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็นทั้งหมด 3 ส่วน ได้แก่ 1. ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า 2. ผลการทดสอบเงื่อนไขการทำงานชุดคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลัง และ 3. เว็บแอปพลิเคชันระบบติดตามการใช้พลังงาน

1. ผลการทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า

การทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดทดสอบเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพการใช้งาน ว่าสามารถใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าได้หรือไม่ [8, 9] โดยการทดสอบความเที่ยงตรงได้ทดสอบการเปรียบเทียบการตรวจวัดค่าแรงดันและค่ากระแสไฟฟ้ากับมิเตอร์มาตรฐาน KEW SNAP 200 ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 จากผลของตารางการทดสอบความเที่ยงตรงของอุปกรณ์ตรวจวัดความผิดพลาดในการอ่านข้อมูลแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 1.28 % และ กระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 0.16 % จากผลดังกล่าวสามารถใช้อุปกรณ์ตรวจวัดสามารถตรวจวัดไฟฟ้า PZEM-016 ได้ตามตาราง ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า

NO.	Meter KEW SNAP200 (V)	PZEM-016 (V)	Difference (V)
1	238.5	239.7	1.2
2	239.6	241	1.4
3	239.2	240.4	1.2
4	238.7	239.9	1.2
5	237.3	238.6	1.3
6	238.0	239.4	1.4
7	239.0	240.2	1.2
8	237.6	238.9	1.3
9	238.4	239.6	1.2
10	239.2	240.6	1.4

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบการตรวจวัดกระแสไฟฟ้า

NO.	Meter KEW SNAP200 (A)	PZEM-016 (A)	Difference (A)
1	5.1	5.28	0.18
2	5.2	5.37	0.17
3	4.9	5.07	0.17
4	5.2	5.36	0.16
5	5.3	5.48	0.18
6	5.2	5.39	0.19
7	5.0	5.15	0.15
8	4.8	4.96	0.16
9	5.1	5.26	0.16
10	5.0	5.17	0.17

2. ผลการทดสอบเงื่อนไขการทำงานการจับเก็บข้อมูลระบบฐานข้อมูลชุดคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลัง

การทดสอบเงื่อนไขการทำงานชุดคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลังทดสอบให้ทราบถึงประสิทธิภาพการทำงานของชุดคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลังว่าสามารถทำงานตามเงื่อนไขการทำงานหรือไม่ โดยการทดสอบจะดำเนินการตัดระบบอินเทอร์เน็ตของ Raspberry pi ป้อนตัวอย่างชุดข้อมูลภาระทางไฟฟ้า ในการบันทึกข้อมูลลงระบบฐานข้อมูลสำรองบน Raspberry pi และเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตให้กับ Raspberry pi ดังตารางที่ 3 จากผลการทดลองดังกล่าว การทดสอบชุดคำสั่งข้อมูลการบริโภคไฟฟ้าในการบันทึกข้อมูลลงระบบฐานข้อมูลสำรองบน Raspberry pi ระบบสามารถเก็บข้อมูลบนระบบฐานข้อมูลได้ 100% และการส่งข้อมูลย้อนหลังมายังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายสามารถเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลเฉลี่ยคิดเป็น 97% ของตัวอย่างชุดข้อมูล จึงทำให้เงื่อนไขคำสั่งการส่งข้อมูลย้อนหลังในการเก็บข้อมูลระบบหน่วยความจำสำรองและระบบฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แม่ข่ายสามารถทำงานได้อย่างดีเยี่ยม

ตารางที่ 3 ตารางการทดสอบการเก็บข้อมูลบนระบบฐานข้อมูลสำรองและฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

NO.	ชุดตัวอย่างทดสอบ ข้อมูล	ฐานข้อมูลบนคอมพิวเตอร์แม่	
		เก็บข้อมูลฐานข้อมูลสำรอง	ข่าย
1	60 นาที	100 %	98 %
2	360 นาที	100 %	98 %
3	720 นาที	100 %	98 %
4	1140 นาที	100 %	97.5 %
5	2880 นาที	100 %	97.5 %
6	3600 นาที	100 %	97 %
8	10,080 นาที	100 %	97 %
9	20,160 นาที	100 %	96 %
9	30,240 นาที	100 %	96 %
10	43,200 นาที	100 %	95 %

3. เว็บแอปพลิเคชันระบบติดตามการใช้พลังงาน

การพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ใช้ภาษา HTML, Javascript ร่วมกับการทำงานโปรแกรมระบบเบื้องหลัง Node-RED ในการบันทึกข้อมูลร่วมไปถึงการดึงข้อมูลจากระบบระบบฐานข้อมูลมาสรุปผลการบริโภคพลังงานไฟฟ้าแสดงข้อมูลการบริโภคพลังงานไฟฟ้าแบบ Real-Time รวมไปถึงการแสดงผลกราฟข้อมูลย้อนหลังจากระบบฐานข้อมูล โดยจะแสดงผลข้อมูลแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า การสรุปผลการใช้ไฟฟ้ารายวัน การใช้ไฟฟ้าทั้งหมด และเว็บแอปพลิเคชันสามารถ download ข้อมูลเป็นไฟล์ CSV ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

สรุปผลการวิจัย

การออกแบบระบบติดตามและจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าด้วยสมองกลฝังตัว Raspberry pi ด้วยเทคโนโลยี IoT ระบบนี้เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดพลังงานและติดตามการใช้พลังงานผ่านเว็บแอปพลิเคชันโดยระบบสามารถตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าโดยความผิดพลาดการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้า 28.1% และกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 16.0% โดยระบบตรวจวัดพลังงานมีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในระบบฐานข้อมูลสำรองบนสมองกลฝังตัว Raspberry Pi และส่งข้อมูลย้อนหลังไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่ายและแสดงผลข้อมูลผ่านเว็บแอปพลิเคชัน จากผลงานวิจัยครั้งนี้จึงสรุปได้ว่าระบบติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถเก็บข้อมูลภาระทางไฟฟ้าได้แม่นยำและมีประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูล รวมไปถึงการสรุปผลข้อมูลเว็บแอปพลิเคชันที่สามารถทำงานรองรับกับระบบฐานข้อมูลในการทำงานรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจาก NICOP Grant, Office of Naval Research, USA และการสนับสนุนจากวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ที่ช่วยสนับสนุนสถานที่และอุปกรณ์สำหรับทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] G. Bedi, G. K. Venayagamoorthy, R. Singh, R. R. Brooks and K. Wang, “Review of Internet of Things (IoT) in Electric Power and Energy Systems”, **IEEE Internet of Things Journal**, 2018, 5(2), 847-870.
- [2] W. T. Hartman, A. Hansen, E. Vasquez, S. El-Tawab and K. Altaii, “Energy monitoring and control using Internet of Things (IoT) system”, In **Proceedings of 2018 Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS)**, 2018, 13-18.
- [3] T. Karthick, S. Charles Raja, J. J. D. Nesamalar and K. Chandrasekaran, “Design of IoT based smart compact energy meter for monitoring and controlling the usage of energy and power quality issues with demand side management for a commercial building”, **Sustainable Energy, Grids and Networks**, 2021, 26.
- [4] S. M. Patil, M. Vijayalashmi and R. Tapaskar, “IoT based solar energy monitoring system”, In **Proceedings of 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS)**, 2017, Chennai, India. 1574-1579.
- [5] N. M. Morshed, et al., “Microcontroller based home automation system using Bluetooth, GSM, Wi-Fi and DTMF”, In **Proceedings of 2015 International Conference on Advances in Electrical Engineering**, 2015, Dhaka, Bangladesh. 101-104.
- [6] J. B. Samson, K. A. Fredrick, M. N. Sathiya, R. C. Joy, W. J. Wesley and S. S. Samuel, “Smart energy monitoring using raspberrypi”, In **Proceedings of the 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)**, 2019, Erode, India, 845-849.
- [7] M. D. Mudaliar and N. Sivakumar, “IoT based real time energy monitoring system using Raspberry Pi”, **Internet of Things**, 2020, 12.

- [8] D. Santos and J. C. Ferreira, “IoT power monitoring system for smart environments”, *Sustainability*, 2019, 11(19), 5355.
- [9] A. V. Prabu, Y. S. Chandra, G. S. Kumar and S. Zeenath, “Residential energy management system using IoT”, *Materials Today: Proceedings*, 2021.
- [10] K. Chooruang and K. Meekul, “Design of an IoT energy monitoring system”, **In Proceedings of 2018 International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE)**, 2018, Bangkok, Thailand, 1-4.