

การพัฒนาต้นแบบระบบคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้จริงผู้จำหน่ายสินค้า ตลาดถนนคนดอย อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย

Development of a Prototype for an Electricity Billing System Based on Actual Consumption for Vendors at the Khon Doi Walking Street Market in Mae Chan District, Chiang Rai Province

ศุภวัฒน์ ลาวันยวิสุทธิ์¹, ประพนธ์ เด่นดวง², กวี ขยันดี³ และ ปุมิพงษ์ ดวงตั้ง^{3*}
Supawat Lawanwisut¹, Prapon Denduang², Kavee Khayandee and Pumipong Duangtang^{3*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศและการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

²สาขาวิชาคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

³สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

¹Department of Communication Engineering and Information, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

²Department of Computer, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

³Department of Computer Engineering, Faculty of Digital Technology, Chiang Rai Rajabhat University

*Email: pumipong@crru.ac.th

Received: August 22, 2025; Revised: November 17, 2025; Accepted: November 24, 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาต้นแบบระบบคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้จริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนดอย อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย เพื่ออำนวยความสะดวกในการจัดเก็บค่าไฟฟ้าจากผู้จำหน่ายสินค้าภายในตลาดอย่างถูกต้อง เป็นไปตามปริมาณการใช้งานจริงรวมถึงการบริหารจัดการตลาดอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง IoT มาเป็นส่วนหลักในการออกแบบระบบในด้าน hard ware โดยใช้โพรโทคอล MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) ในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์กับฐานข้อมูลและ เว็บแอปพลิเคชัน โดยสามารถแสดง ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แบบทันทีที่และประมวลผลอัตโนมัติและมีการบันทึกข้อมูลต่างๆ ลงในฐานข้อมูลซึ่งสามารถเรียกดู ข้อมูลย้อนหลังผ่านระบบออนไลน์ เมื่อทำการพัฒนาต้นแบบระบบคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้จริงผู้จำหน่ายสินค้า ตลาดถนนคนดอย อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงรายเรียบร้อยแล้วทำการทดสอบการทำงานของระบบในแต่ละส่วนเพื่อทดสอบ ประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละด้าน พบว่าจากทำประสิทธิภาพการทำงานของระบบต้นแบบพบว่าระบบมีประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยร้อยละ 97.45 หลังจากนั้นคณะผู้วิจัยได้นำต้นแบบระบบคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้จริงผู้จำหน่ายสินค้า ตลาดถนนคนดอย อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย ให้กลุ่มตัวอย่างเพื่อประเมินความพึงพอใจของระบบต้นแบบในแต่ละด้าน จำนวน 30 คน พบว่าค่าเฉลี่ยโดยรวมในทุกด้านคิดเป็นร้อยละความพึงพอใจเท่ากับ 4.48 มีความพึงพอใจในระดับมาก

คำสำคัญ : อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง, เว็บแอปพลิเคชัน, ตลาดถนนคนดอย

Abstract

This research presents the development of a prototype for an electricity billing system based on actual consumption for vendors at the Khon Doi Walking Street Market in Mae Chan District, Chiang Rai Province. This system aims to facilitate accurate electricity fee collection from market vendors based on their actual usage, as well as to improve efficient market management. The system design primarily utilizes Internet of Things (IoT) technology. For the hardware aspect, the MQTT protocol is used to transmit data between devices and the database/web application. The system can display various parameters in real-time and process them automatically. It also records data in a database, which allows for viewing historical data

online. After the development of the prototype was completed, its performance was tested in each component to evaluate its efficiency. The average operational efficiency of the prototype system was found to be 97.45%. Subsequently, the researchers had 30 sample participants evaluate their satisfaction with each aspect of the prototype system. The overall average satisfaction score was found to be 4.48, which is a high level of satisfaction.

Keywords: Internet of Things, web application, Khon Doi Walking Street Market

1. บทนำ

ตลาดนัดชุมชนแม่จัน หรือ ถนนคนเดินถนนคนดอย อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย เป็นตลาดนัดขนาดใหญ่ระดับต้นของจังหวัดเชียงรายภายใต้การบริหารจัดการโดยเทศบาลตำบลแม่จัน โดยตลาดจะเปิดให้จำหน่ายสินค้าในทุกเย็นวันศุกร์ของสัปดาห์ตั้งแต่ 16.00 น. เป็นต้น ถนนคนเดินถนนคนดอยเป็นตลาดนัดที่เปิดโอกาสให้ผู้จำหน่ายสินค้าจากภายในและภายนอกเขตพื้นที่มาจำหน่ายสินค้าจุดเด่นของตลาดมีความหลากหลายของประเภทสินค้าที่นำมาจำหน่าย ทั้งสินค้าอุปโภคบริโภค อาหารต่างๆ มากมาย นอกจากนี้ยังมีผู้จำหน่ายสินค้าที่มาจากพื้นที่สูงนำผลผลิตทางการเกษตร พืชผัก ผลไม้ตามฤดูกาล และผลิตภัณฑ์จากหลากหลายชนเผ่าบนพื้นที่สูงมาจำหน่ายในตลาดเป็นจำนวนมากจึงเป็นที่มาของชื่อตลาด “ถนนคนเดินถนนคนดอย” ดังรูปที่ 1 เนื่องด้วยตลาดมีจำนวนผู้มาจำหน่ายสินค้าเป็นจำนวนมากทางเทศบาลตำบลแม่จันได้ทำการบริหารจัดการพื้นที่จำหน่ายสินค้าออกเป็นล็อคเพื่อความเป็นระเบียบและการจัดเก็บค่าบำรุงและบริหารจัดการตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีล็อคสำหรับผู้จำหน่ายสินค้าประมาณ 1,500 ล็อค โดยผู้จำหน่ายสินค้าจะมีจำนวนล็อคสำหรับจำหน่ายสินค้าที่แตกต่างกันไป ในการบริหารจัดการตลาดสำหรับการจับจองพื้นที่สำหรับจำหน่ายสินค้านั้นทางเทศบาลได้เปิดให้ผู้ที่ต้องการจำหน่ายสินค้ามาลงทะเบียนผู้จำหน่ายสินค้า เลือกพื้นที่และจำนวนล็อคที่ต้องการ แล้วทำการออกบัตรผู้จำหน่ายสินค้าให้และมีการอัปเดตข้อมูลผู้จำหน่ายสินค้าทุกปี ดังนั้นทางเทศบาลตำบลแม่จันจะมีข้อมูลผู้จำหน่ายสินค้ากับล็อคจำหน่ายสินค้าสำหรับบริหารจัดการการจัดเก็บค่าบำรุงตลาด



รูปที่ 1 ถนนคนเดินถนนคนดอย อำเภอแม่จัน

ในการจัดเก็บค่าบำรุงตลาดของผู้จำหน่ายสินค้าจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ค่าล็อคจำหน่ายสินค้าโดยคิดตามจำนวนล็อคที่ผู้ขายได้ลงทะเบียนไว้และค่าไฟฟ้า ในการจัดเก็บค่าบำรุงตลาดของผู้จำหน่ายสินค้า โดยพนักงานจากเทศบาลจะเป็นผู้เดินเก็บค่าบำรุงรักษาตลาดและค่าไฟฟ้าของผู้จำหน่ายสินค้า ในการจัดเก็บค่าไฟฟ้าของผู้จำหน่ายสินค้าจะทำการจัดเก็บตามจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าและประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ผู้จำหน่ายสินค้านำมาใช้ภายในล็อคจำหน่ายสินค้าของตนเอง จากที่ผ่านมาในการจัดเก็บค่าไฟฟ้านั้นเมื่อพนักงานจากเทศบาลมาทำการจัดเก็บผู้จำหน่ายสินค้าจะไม่นำอุปกรณ์ที่ตนเองใช้มาติดตั้งหรือแสดงทั้งหมด หลังจากพนักงานจัดเก็บค่าไฟฟ้าเรียบร้อยแล้วผู้จำหน่ายสินค้าจะนำอุปกรณ์ไฟฟ้ามาติดตั้งเพิ่มเติมเพื่อหลีกเลี่ยงการจัดเก็บค่าไฟฟ้า โดยพบว่าอุปกรณ์ที่ผู้จำหน่ายสินค้าไม่แสดงให้พนักงานจัดเก็บค่าบำรุงเป็นอุปกรณ์ที่มีการใช้กำลังงานไฟฟ้าสูงซึ่งจะมีอัตราการเก็บค่าไฟฟ้าสูง จากปัญหาดังกล่าวทำให้เทศบาลแม่จันผู้รับผิดชอบตลาดต้องแบกรับค่าใช้จ่ายในส่วนค่าไฟฟ้าสูง ดังนั้นเพื่อเป็นการบริหารจัดการจัดเก็บค่าไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ การนำเทคโนโลยีมาช่วยในการบริหารจัดการเก็บค่าไฟฟ้าจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงของผู้จำหน่ายสินค้า

ปัจจุบันเทคโนโลยีสำหรับการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างต่อเนื่องตามวัตถุประสงค์การใช้งานในด้านต่างๆ เช่น การพัฒนาระบบตรวจสอบปริมาณไฟฟ้าสำหรับอพาร์ท เม้นท์ขนาดเล็กเพื่อช่วยให้สามารถคำนวณปริมาณไฟฟ้าได้อย่างถูกต้องและตรวจสอบความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้าของห้องพักในแต่ละห้องรวมถึงความผิดปกติของระบบไฟฟ้าของแต่ละห้องผ่านเว็บแอปพลิเคชัน [1] การออกแบบและสร้างเครื่องตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านแบบไร้สายเพื่อให้ผู้ใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ตรวจสอบและเฝ้าติดตามค่ากระแสไฟฟ้า ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านได้อย่างมีประสิทธิภาพ เครื่องต้นแบบสามารถเก็บรวบรวมและตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้โดยนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Thing: IOT) ด้วยการเชื่อมต่อข้อมูลระบบ

เซนเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้ากับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น [2] การพัฒนาการตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและเชื่อมต่อข้อมูลกับแพลตฟอร์ม IoT เพื่อเชื่อมโยงระบบฐานข้อมูลแล้วนำมาประมวลผลในรูปแบบต่างๆ ตามรูปแบบการใช้งาน การพัฒนาระบบตรวจวัดและการจัดการพลังงานภายในอาคารผสมผสานร่วมกับ IoT เป็นอีกนวัตกรรมที่ได้รับความนิยมพัฒนาเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [3-6] นอกจากการตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าแล้วยังมีการออกแบบระบบการควบคุมปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เพื่อนำมาช่วยในการกำหนดเป้าหมายของการประหยัดพลังงาน [7-8] การพัฒนามอเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะภายใต้แนวคิด IoT ที่มีความสามารถในการจัดเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าในรูปแบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ชาญฉลาดนอกจากจะเป็นแหล่งข้อมูลให้กับผู้ให้บริการรวมถึงผู้ใช้บริการเพื่อบริหารจัดการการควบคุมและการบริหารจัดการพลังงานได้เป็นอย่างดีมีประสิทธิภาพ [9-10] ในการพัฒนาระบบดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยส่วนใหญ่จะถูกออกแบบบนพื้นฐานการนำเทคโนโลยี IoT เป็นกลไกหลักในการออกแบบ ที่ประกอบด้วยด้านเซนเซอร์ตรวจวัดหรือตรวจจับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้สำหรับการประมวลผลหรือรับส่งข้อมูลระหว่างเซนเซอร์กับฐานข้อมูล รวมถึงการออกแบบระบบฐานข้อมูลเพื่อเชื่อมต่อในส่วนการประมวลผลในรูปแบบของแพลตฟอร์มต่างๆ นั้นเอง จากงานวิจัยที่นำเสนอก่อนหน้านี้พบว่าได้มีการพัฒนาระบบตรวจวัดไฟฟ้าสำหรับอาคารและที่พักเป็นส่วนใหญ่ แต่ยังไม่มีการประยุกต์ใช้กับตลาดชุมชนหรือตลาดนัดที่มีการเปลี่ยนแปลงผู้ค้าและพื้นที่รวมถึงการใช้ไหลดอยู่บ่อยครั้ง โดยหากได้มีการพัฒนาระบบที่สามารถจัดเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์และสามารถเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลของหน่วยงานที่กำลังทำและจะทำให้การบริหารจัดการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการพัฒนาระบบคิดคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้งานจริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนเดิน อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย โดยการนำระบบ IoT มาเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาระบบวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้จำหน่ายสินค้าตามจริงเพื่อการบริหารจัดการสำหรับการเรียกเก็บค่าไฟฟ้าของผู้จำหน่ายสินค้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบระบบคิดคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้งานจริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนเดิน อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงราย

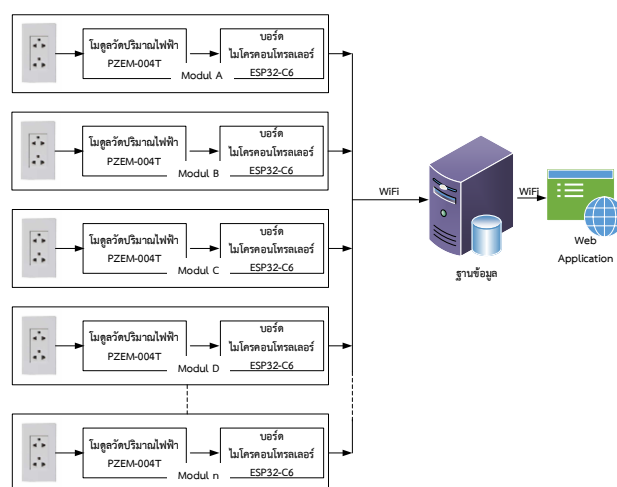
3. การออกแบบและพัฒนาระบบ

ในการออกแบบระบบคิดคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้งานจริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนเดิน อำเภอแม่จัน จังหวัดเชียงรายแบ่งการออกแบบออกเป็น 2 ส่วนหลัก ประกอบด้วยส่วนที่เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าและหน้าเว็บแอปพลิเคชันแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมถึงการคำนวณค่าไฟฟ้าของผู้จำหน่ายสินค้า

3.1 การออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณไฟฟ้า

จากรูปที่ 1 แสดงไดอะแกรมการออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณไฟฟ้า จะประกอบด้วยโมดูลตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้า PZEM-004T ที่สามารถวัดระดับแรงดันได้ตั้งแต่ 80 – 260 โวลต์ และกระแสได้สูงสุด 100 แอมแปร์ และบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32-C6 ในการตรวจวัดค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้จำหน่ายสินค้า โดยโมดูลจำนวน 1 ชุดจะใช้ตรวจวัดและคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าของผู้จำหน่ายสินค้าแต่ละเจ้า ในการออกแบบระบบสามารถเพิ่มจำนวนโมดูลในการตรวจวัดได้ตามจำนวนที่ต้องการ

ในการทำงานของโมดูลการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า 1 โมดูล เมื่อมีการใช้ไฟฟ้าเกิดขึ้นชุดโมดูลตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าจะทำการตรวจวัดและส่งข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32-C6 ซึ่งจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากโมดูลตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าแล้วทำการส่งค่าไปยังฐานข้อมูลผ่านระบบ Wi-Fi ฐานข้อมูลจะทำการจัดเก็บข้อมูล และเชื่อมข้อมูลระหว่าง web Application สำหรับการแสดงผลค่าปริมาณไฟฟ้าและการคำนวณค่าไฟฟ้าที่จัดเก็บผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์และบนมือถือ



รูปที่ 2 ไดอะแกรมระบบคิดคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้งานจริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนเดิน

ในการออกแบบการรับส่งข้อมูลระหว่างโมดูลตรวจวัดปริมาณไฟฟ้ากับระบบฐานข้อมูลผ่านโปรโตคอล MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) ซึ่ง MQTT เป็นโปรโตคอลที่ใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างเครื่องต่อเครื่อง เช่น เซอร์เวอร์และอุปกรณ์สวมใส่ และอุปกรณ์ IoT เป็นต้น โดยมีจุดเด่นในการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายที่มีข้อจำกัดด้านทรัพยากรที่มีแบนด์วิดท์จำกัด MQTT จึงเป็นที่นิยมในงานพัฒนาระบบ IoT โดยนำ MQTT เป็นโปรโตคอลในการรับส่งข้อมูล เนื่องจากใช้งานง่ายและสามารถสื่อสารข้อมูล IoT ได้อย่างมีประสิทธิภาพ MQTT รองรับการส่งข้อความจากอุปกรณ์ไปยังคลาวด์และจากคลาวด์ไปยังอุปกรณ์ได้อีกด้วย [11]

3.2 Web Application

หลังจากออกแบบในส่วนอุปกรณ์ตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าเพื่อเชื่อมต่อข้อมูลเรียบร้อยแล้วได้ทำการออกแบบส่วนของ web application โดยในการออกแบบในส่วนของการทำงานเพื่อแสดงผลผ่าน web application บนมือถือหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงโดยแผนการออกแบบในรูปที่ 3



รูปที่ 3 โค้ดโปรแกรม web application ระบบคิดคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้งานจริงสำหรับผู้จำหน่ายสินค้า

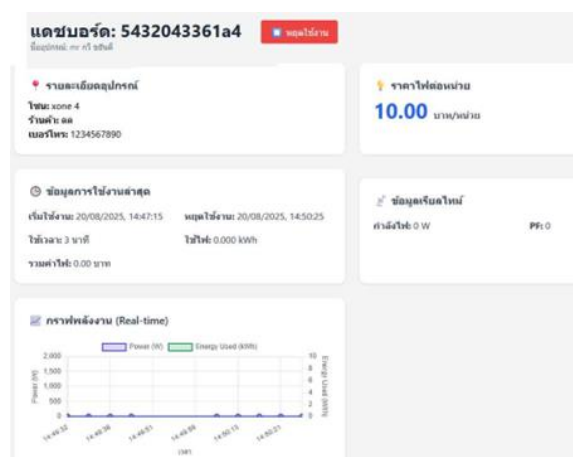
จากรูปที่ 3 แสดงโค้ดโปรแกรมการทำงานของระบบโดยเริ่มจากผู้ใช้งานลงทะเบียนและลงชื่อเข้าสู่ระบบเพื่อเชื่อมต่อกับโมดูลวัดปริมาณไฟฟ้า โมดูลจะทำการเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลและ web application ผ่านโปรโตคอล MQTT ซึ่งส่วนประกอบของ web application จะประกอบไปด้วย ระบบลงทะเบียนเพื่อใช้งานระบบและเชื่อมต่อบริษัทเพื่อเข้าใช้งานไฟฟ้าผ่านระบบที่พัฒนาขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4 ประกอบไปด้วย ชื่อ - สกุล ชื่อร้านค้า เลขบัตรประจำตัวประชาชน เบอร์โทรศัพท์ และ โฉนที่จำหน่ายสินค้า โดยการลงทะเบียนจะต้องได้รับอนุมัติจากผู้ดูแลระบบก่อน เนื่อง

ด้วยระบบจะเชื่อมโยงกับระบบฐานข้อมูลของผู้จำหน่ายสินค้าของถนนคนเดินคนดอย ดังนั้นผู้จำหน่ายสินค้าภายในตลาดจะมีรายชื่อบริษัทข้อมูลหลักของเทศบาลตำบลแม่จัน ซึ่งเป็นผู้บริหารจัดการตลาด เมื่อข้อมูลการลงทะเบียนได้รับการตรวจสอบเรียบร้อยแล้วจากผู้ดูแลระบบจะได้รับการยืนยันการลงทะเบียน

รูปที่ 4 ระบบลงทะเบียนเพื่อใช้งาน

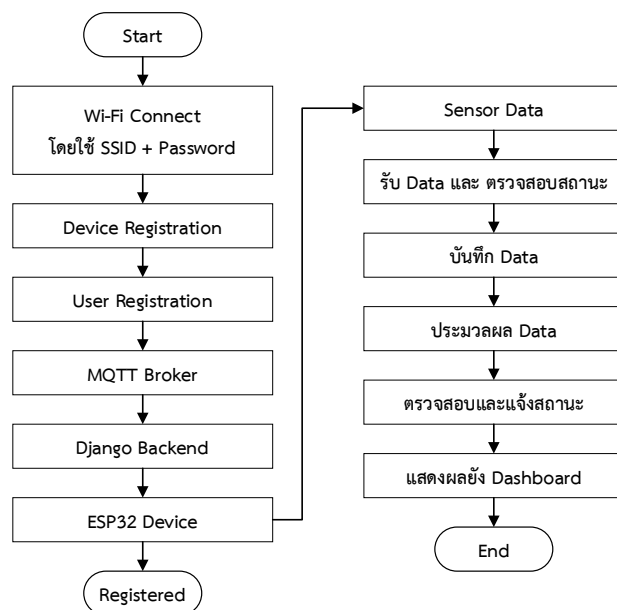
เมื่อดำเนินการได้รับอนุมัติการลงทะเบียนเรียบร้อยแล้วผู้จำหน่ายจะสามารถใช้งานระบบคิดคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้งานจริงสำหรับผู้จำหน่ายสินค้าถนนคนดอยได้ ในการเริ่มต้นใช้งานระบบผู้จำหน่ายสินค้าทำการเข้าสู่ระบบเมื่อเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้วให้ทำการสแกน QR code ที่อยู่บนชุดโมดูลตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าอัตโนมัติ ระบบจะทำการเชื่อมต่อข้อมูลกับชุดโมดูลตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าอัตโนมัติ และจะทำการแสดงข้อมูลต่างๆ บนหน้า web application ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยหน้าจอแสดงผลจะประกอบไปด้วย ข้อมูลผู้จำหน่ายสินค้าตามที่ได้ลงทะเบียนไว้ ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าแบบทันที (real time) โดยจะแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าสะสมตั้งแต่เริ่มเชื่อมต่อกับระบบ เวลาที่ใช้ และค่าไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีส่วนการแสดงกราฟข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง และแสดงราคาไฟฟ้าต่อหน่วยซึ่งในส่วนนี้ผู้บริหารจัดการตลาดสามารถเป็นผู้กำหนดราคาไฟฟ้าต่อหน่วยได้ เริ่มต้นใช้งานระบบผู้จำหน่ายสินค้าทำการเข้าสู่ระบบ เมื่อเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้วให้ทำการสแกน QR code ที่อยู่บนชุดโมดูลตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าอัตโนมัติ ระบบจะทำการเชื่อมต่อ

ข้อมูลกับชุดโมดูลตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าอัตโนมัติ และจะทำการแสดงข้อมูลต่างๆ บนหน้า web application ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยหน้าจอแสดงผลจะประกอบไปด้วย ข้อมูลผู้จำหน่ายสินค้าตามที่ได้ลงทะเบียนไว้ ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าแบบทันที (real time) โดยจะแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าสะสมตั้งแต่เริ่มเชื่อมต่อกับระบบ เวลาที่ใช้ และค่าไฟฟ้าที่ใช้ในปัจจุบัน นอกจากนี้ยังมีส่วนการแสดงกราฟข้อมูลการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง และแสดงราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยซึ่งในส่วนนี้ผู้บริหารจัดการตลาดสามารถเป็นผู้กำหนดราคาไฟฟ้าต่อหน่วยได้



รูปที่ 5 หน้า web application แสดงข้อมูลการใช้งานระบบ

ระบบได้ออกแบบให้ผู้จำหน่ายสินค้าสามารถหยุดการใช้ไฟฟ้าโดยการกดเลือกหยุดใช้งานบนหน้า web application เพื่อให้ระบบหยุดทำงาน เมื่อระบบหยุดทำงานชุดตรวจวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจะสั่งหยุดจ่ายไฟฟ้าทันที หลังจากนั้นจะทำการสรุปยอดค่าไฟฟ้าให้ผู้จำหน่ายสินค้าได้ทราบ รวมถึงผู้ดูแลระบบได้ทราบยอดค่าไฟฟ้าเพื่อทำการออกใบเสร็จเพื่อจัดเก็บค่าไฟฟ้าต่อไป ในการหยุดการทำงาน ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบให้ระบบหยุดทำงานอัตโนมัติเมื่อผู้ใช้งานไม่มีการใช้ไฟฟ้าภายใน 5 นาที ระบบจะทำการตัดกระแสไฟฟ้าแล้วทำการประมวลผลสรุปค่าไฟฟ้าที่ใช้ไปก่อนหน้านี้โดยอัตโนมัติ หากต้องการใช้งานต่อหลังจากระบบหยุดทำงาน ผู้ใช้งานจะต้องทำการเข้าสู่ระบบและสแกน QR code เพื่อเริ่มการใช้งานใหม่ หลังจากสิ้นสุดการใช้งานระบบก็จะประมวลผลสรุปผลค่าใช้ไฟฟ้าโดยรวมยอดจากยอดก่อนหน้านี้ ผู้ใช้งานจะทราบค่าไฟฟ้ายอดรวมของวันนั้นๆ และทางผู้ดูแลระบบก็จะดำเนินการออกใบเสร็จเพื่อเก็บเงินค่าไฟฟ้าให้กับผู้จำหน่ายไฟฟ้า ดังแสดง flowchart การพัฒนาระบบทั้งหมดในรูปที่ 6



รูปที่ 6 โฟลว์ชาร์ตการพัฒนาระบบคิดคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้งานจริงของผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนเดิน

จากโฟลว์ชาร์ตในการทำงานระบบมีส่วนประกอบการทำงาน 2 ส่วน ได้แก่ การลงทะเบียนอุปกรณ์ และการรับ - ส่งข้อมูลการใช้พลังงาน ในส่วนที่แรกการลงทะเบียนและเริ่มต้นใช้งาน (Device Registration & Usage Start) ผู้ใช้ (User) จะเริ่มต้นโดยการสแกน QR Code ที่ตัวอุปกรณ์ จากนั้นกรอกข้อมูลส่วนตัวในฟอร์มลงทะเบียน เช่น ชื่อ-นามสกุล, ชื่อร้านค้า, หมายเลขบัตรประชาชน, เบอร์โทรศัพท์ และโซนที่ตั้งร้านอุปกรณ์ ESP32 เมื่อเปิดเครื่องและเชื่อมต่อ Wi-Fi สำเร็จ ระบบทำการประกาศตัวตน MQTT จะรับข้อมูลการเชื่อมต่อและส่งต่อไปยัง Django ทันทีแล้วทำการสร้างทะเบียนอุปกรณ์ (Device record) ขึ้นในระบบ จากนั้น เมื่อผู้ใช้กรอกฟอร์มลงทะเบียนสำเร็จระบบจะทำการเชื่อมโยงข้อมูลผู้ใช้กับอุปกรณ์และสร้าง UsageSession สำหรับการใช้งานครั้งนี้ และส่งข้อความ confirm_registration กลับไปยัง MQTT และเมื่อ ESP32 รับข้อความยืนยันจาก MQTT Broker จากนั้นจึงเปลี่ยนสถานะเป็น "Registered" ซึ่งอาจแสดงผลผ่าน LED หรือ Buzzer และเริ่มกระบวนการรับ ข ส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์

ในส่วนที่สองการส่งและประมวลผลข้อมูลพลังงาน (Sensor Data Transmission & Processing) ESP32 จะอ่านค่าจากเซ็นเซอร์วัดพลังงานอย่างต่อเนื่อง และส่งข้อมูลในรูปแบบ Real-Time ไปยัง MQTT Broker เมื่อรับข้อมูลจากอุปกรณ์และจะส่งต่อไปยัง Django Backend ทันที Django Backendแล้วดำเนินการตรวจสอบว่าอุปกรณ์มีสถานะ is_registered และ is_active, บันทึกข้อมูลและอัปเดตข้อมูลใน UsageSession โดยคำนวณปริมาณพลังงาน

สะสมและค่าใช้จ่ายแบบเรียลไทม์และทำการประมวลผลแล้วผ่าน WebSocket ไปยัง Dashboard ของผู้ใช้และผู้ดูแลระบบเพื่อแสดงผล

3.3 การออกการโปรแกรมในการคำนวณค่าไฟฟ้าตามจริง

ในการคำนวณปริมาณกำลังไฟฟ้ารวมของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่อใช้งาน ค่ารวมได้จากการนำค่ากำลังงานไฟฟ้าจากโหนดแต่ละตัวบวกมารวมกัน เช่น หลอดไฟฟ้าขนาด 20 วัตต์ต่อใช้งานจำนวน 3 หลอด ค่ากำลังงานไฟฟ้ารวมจะเท่ากับ 60 วัตต์ เมื่อต้องการคิดคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงซึ่งมีหน่วยเป็น “ยูนิท หรือ กิโลวัตต์ - ชั่วโมง (kWh)” โดยคำนวณได้จากกำลังงานไฟฟ้ารวมคูณด้วยจำนวนชั่วโมงหารด้วย 1,000 จะได้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงนั่นเอง จากข้างต้นหลอดไฟฟ้าจำนวน 3 หลอดขนาด 20 วัตต์หากใช้งานต่อเนื่อง 5 ชั่วโมง ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงจะเท่ากับ 0.3 ยูนิท หรือ 0.3 หน่วย หากคำนวณค่าไฟฟ้าจริงหน่วยเป็นบาทต่อหน่วย ก็จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดราคาในการจัดเก็บค่าไฟฟ้าหากกำหนดราคา 20 ต่อหน่วย ค่าไฟฟ้าจะเท่ากับ 6 บาท ระบบคิดคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้งานจริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนเดินได้ออกแบบเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างไปยังฐานข้อมูลกลางของผู้บริหารจัดการตลาด ซึ่งตลาดถนนคนเดินคนดอยหน่วยงานที่รับผิดชอบคือเทศบาลตำบลแม่จัน ได้มีระบบฐานข้อมูลผู้จำหน่ายสินค้าอยู่แล้วระบบที่นำเสนอจะทำการส่งข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าที่จัดเก็บได้ไปบันทึกลงบนฐานข้อมูลของทางเทศบาล เพื่อทำการสรุปยอดการจัดเก็บค่าไฟฟ้าในแต่ละวันและสรุปข้อมูลย้อนหลังได้ผ่านระบบฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้นมา

ในด้านการพัฒนาโปรแกรมเพื่อระบบการรับส่งข้อมูลจากโมดูลวัดกำลังงานไฟฟ้า ESP32 จะทำการรับค่าพลังงานจากโมดูลทุก 5 นาที แล้วทำการส่งข้อมูลไปยัง Django ผ่าน MQTT โดยเมื่อ Django ได้รับข้อมูลล่าสุดจะทำการคำนวณปริมาณค่าไฟต่อช่วงเวลาปัจจุบัน โดยทำการคำนวณทุกครั้งได้รับค่าจากโมดูลทุก 5 วินาที Django ที่ได้ออกแบบการคำนวณตามสูตรคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณใช้จริงที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ และเมื่อหยุดใช้งานระบบจะทำการประมวลผลค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่เริ่มต้นการทำงานจนสิ้นสุดการทำงานออกมาผ่านหน้า dashboard บน web application ในการพัฒนาโปรแกรมได้กำหนดเงื่อนไขในการหยุดการทำงาน 2 แบบ คือผู้ใช้หยุดการทำงานเองบน web application ระบบจะสั่งให้โมดูลหยุดการทำงานแบบอัตโนมัติและทำการประมวลผลค่าใช้ไฟฟ้าจริง และในกรณีที่สองเมื่อผู้ค้าทำการหยุดใช้ไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 5 นาที

ระบบจะทำการตัดการทำงานแบบอัตโนมัติและทำการประมวลผลสรุป โดยในกรณีที่สองนี้ผู้ดูแลสามารถกำหนดการตัดทำงานแบบอัตโนมัติเมื่อมีการใช้ไฟฟ้าเกินที่ได้ตามผู้บริหารจัดการระบบต้องการ นอกจากนี้ระบบได้ออกแบบให้เมื่อผู้ใช้งานหยุดใช้งานแล้วต้องการใช้งานต่ออีกครั้งเมื่อทำการล็อกอินเข้าระบบผ่าน web application โดยใช้ user และ password ของตนเองระบบจะทำการประมวลผลปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อจากเดิมอัตโนมัติ ดังแสดงตัวอย่างโปรแกรมที่คณะผู้วิจัยได้พัฒนาในรูปแบบที่ 7

```
powerapp > mqtt_client.py ...
1 import threading
2 import paho.mqtt.client as mqtt
3 from django.utils.timezone import now
4 from .models import Device, UsageSession, EnergyLog
5 import json
6 from channels.layers import get_channel_layer
7 from asgiref.sync import async_to_sync
8
9 # ----- CONFIG -----
10 MQTT_BROKER = "broker.emqx.io"
11 MQTT_PORT = 1883
12 MQTT_TOPIC_PREFIX = "marketwatt/register/"
13 MQTT_TOPIC_DATA_PREFIX = "marketwatt/data/"
14 RATE_PER_KWH = 4.50 # บาท/หน่วย
15 # -----
16
17 mqtt_client = mqtt.Client()
18 device_sessions = {} # เก็บ session ของแต่ละ device ในหน่วยความจำ
19
20
21 def calculate_tou_cost(energy_used):
22     """คำนวณค่าไฟแบบง่าย (TODO: ปรับเป็น TOU ถ้าต้องการ)"""
23     return energy_used * RATE_PER_KWH
24
25
26 def on_connect(client, userdata, flags, rc):
27     print(f"[MQTT] Connected with result code {rc}")
28     client.subscribe(MQTT_TOPIC_PREFIX + "#")
29     client.subscribe(MQTT_TOPIC_DATA_PREFIX + "#")
30
31
32 def on_message(client, userdata, msg):
33     topic = msg.topic
34     payload = msg.payload.decode()
35
36     if topic.startswith(MQTT_TOPIC_PREFIX):
37         handle_register_message(topic, payload)
38
39
40 powerapp > models.py > EnergyLog
41 from django.db import models
42 from django.utils.timezone import now
43 from datetime import timedelta
44
45 class Device(models.Model):
46     device_id = models.CharField(max_length=32, unique=True)
47     registered_at = models.DateTimeField(auto_now_add=True)
48     is_registered = models.BooleanField(default=False) # [x] เพิ่ม field นี้
49     is_active = models.BooleanField(default=False) # กำลังใช้งานหรือไม่
50     active_since = models.DateTimeField(null=True, blank=True) # เวลาเริ่มใช้งานจริง
51     is_online = models.BooleanField(default=False)
52     last_seen = models.DateTimeField(null=True, blank=True)
53     first_name = models.CharField(max_length=100)
54     last_name = models.CharField(max_length=100)
55     shop_name = models.CharField(max_length=100, blank=True)
56     citizen_id = models.CharField(max_length=13, blank=True)
57     phone_number = models.CharField(max_length=20, blank=True)
58
59     zone = models.ForeignKey('Zone', on_delete=models.SET_NULL, null=True, blank=True)
60
61     PREFIX_CHOICES = [
62         ('mr', 'นาย'),
63         ('mrs', 'นาง'),
64         ('ms', 'นางสาว'),
65         # เพิ่มได้ตามต้องการ
66     ]
67
68     num = models.CharField(max_length=5, choices=PREFIX_CHOICES, blank=True, null=True)
69
70     def __str__(self):
71         return self.device_id
72
73
74 class EnergyLog(models.Model):
75     device = models.ForeignKey(Device, on_delete=models.CASCADE, related_name='energy_logs')
76     timestamp = models.DateTimeField(auto_now_add=True)
77     power = models.FloatField()
78     energy = models.FloatField() # พลังงานรวม
79     unit_rate = models.FloatField(default=4.72) # บาทต่อหน่วยไฟฟ้า
80     ft_rate = models.FloatField(default=0.93) # ค่า Ft ต่อหน่วย
81     vat_rate = models.FloatField(default=0.07) # VAT 7%
82
83     def calculate_cost(self):
84         settings = SettingsModel.load()
85         unit_rate = float(settings.price_per_kwh)
```

รูปที่ 7 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมของระบบ

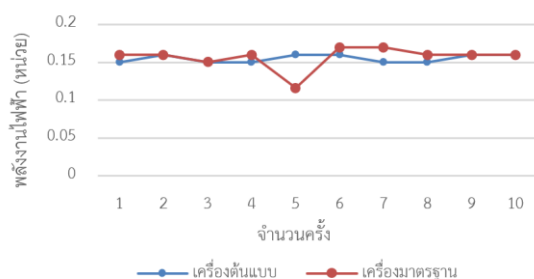
4. ผลการทดสอบ

4.1 การทดสอบการทำงานชุดโมดูลตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าจำนวน 1 ชุด

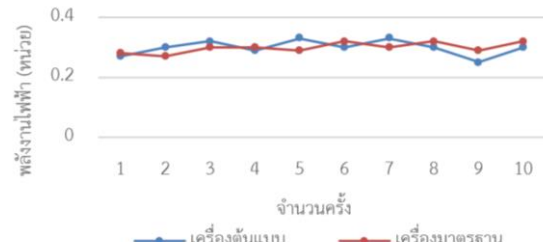
ในการทดสอบการทำงานชุดโมดูลตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าคณะผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งชุดโมดูลสำหรับตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าในห้องปฏิบัติการ ค่าแรงดันไฟฟ้าบ้าน $220\text{VAC} \pm 10\text{V}$ โดยทำการติดตั้งมิเตอร์ไฟฟ้าแบบดิจิทัลมาตรฐานเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการตรวจวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบที่ได้พัฒนาขึ้น โดยแสดงผลการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยทำการติดตั้งระบบแล้วทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า โดยทำการต่อโหลดไฟฟ้าเป็นหลอดไฟฟ้าขนาด 18 วัตต์ จำนวน 3 หลอด โดยคิดค่ากำลังไฟฟ้ารวมเท่ากับ 54 วัตต์ โดยมีค่ากำลังงานในการใช้ไฟฟ้าจริงต่อชั่วโมงเท่ากับ 0.054 หน่วย ในการทดสอบทำการทดสอบแบ่งออกเป็น 4 ช่วงระยะเวลา โดยทำการทดลองซ้ำ จำนวน 10 ครั้ง โดยกำหนดเวลาทดสอบออกเป็น 3 ชั่วโมง 5 ชั่วโมง 7 ชั่วโมง และ 10 ชั่วโมง เมื่อคำนวณปริมาณการใช้กำลังงานไฟฟ้าจริงที่ 3 ชั่วโมง มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงเท่ากับ 0.162 หน่วย ที่ 5 ชั่วโมง มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงเท่ากับ 0.27 หน่วย ที่ 7 ชั่วโมงมีปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงเท่ากับ 0.378 หน่วย และที่ 10 ชั่วโมง มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าจริงเท่ากับ 0.54 หน่วย โดยทำการทดสอบระหว่างเครื่องต้นแบบที่นำเสนอผ่านหน้า web application กับมิเตอร์ไฟฟ้าแบบดิจิทัลมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 8 และผลการทดสอบเปรียบเทียบระหว่างเครื่องต้นแบบและค่าที่คำนวณได้ ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพหาได้จากสมการที่ 1

$$\text{ประสิทธิภาพ} = (\text{ค่าวัดได้} / \text{ค่าที่คำนวณ}) \times 100\% \quad (1)$$

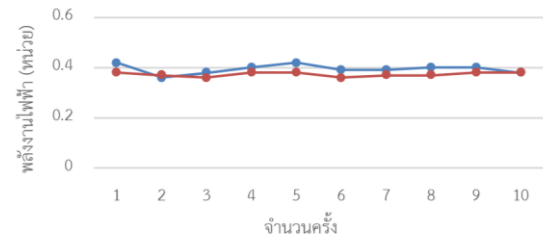
โดยค่าประสิทธิภาพของระบบโดยสรุปดังแสดงใน ตารางที่ 1



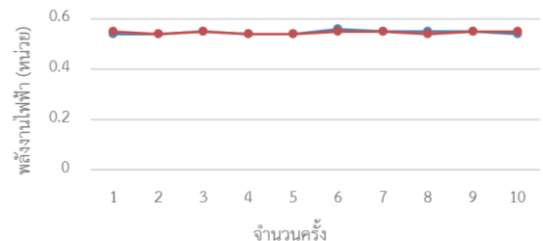
ก. 3 ชั่วโมง



ข. 5 ชั่วโมง



ค. 7 ชั่วโมง



ง. 10 ชั่วโมง

รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบผลการทดสอบการทำงานเครื่องต้นแบบกับเครื่องมาตรฐาน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการชุดโมดูลตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นกับมิเตอร์ไฟฟ้าแบบดิจิทัล

รอบการทดสอบ (ชั่วโมง)	จำนวนครั้ง	ประสิทธิภาพ (%)
3	10	98.43
5	10	98.67
7	10	97.51
10	10	95.22
เฉลี่ย		97.45

จากผลการทดสอบการทำงานของระบบเมื่อทำการทดลองการใช้ระบบคิดคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้งานจริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนดอยในส่วนประสิทธิภาพการทำงานของชุดตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าที่แสดงผลบนหน้า web application เปรียบเทียบกับการวัดด้วยมิเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้จริงตามมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยแบ่งการทดสอบออกเป็นรอบในการทดสอบจำนวน 4 รูปแบบ โดยทำการต่อโหลดอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อทดสอบเป็นหลอดไฟฟ้า

ขนาด 10 วัตต์จำนวน 3 หลอด เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการตรวจวัด พบว่าในการทดสอบการทำงานของระบบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ประสิทธิภาพและความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 98.43 ที่เวลา 5 ชั่วโมง ประสิทธิภาพและความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 98.67 ที่เวลา 7 ชั่วโมง ประสิทธิภาพและความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 97.51 และที่เวลา 10 ชั่วโมง ประสิทธิภาพและความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 95.22 โดยมีประสิทธิภาพและความถูกต้องเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 97.45

4.2 การทดสอบการทำงานของชุดโมดูลตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าจำนวน 5 ชุด

ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของชุดโมดูลตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าจำนวน 5 ชุด พร้อมกัน โดยทำการทดลองด้วยการทำงานของโมดูลตรวจวัดและคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ซึ่งกำหนดจำนวนการทำงานของระบบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง และ 5 ชั่วโมง โดยทำการต่อโหลดอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อทดสอบเป็นหลอดไฟฟ้าขนาด 18 วัตต์จำนวน 3 หลอด ต่อเข้ากับชุดโมดูลตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าจำนวน 5 ชุด หลังจากนั้นทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง โดยทำการทดสอบเช่นเดียวกันกับการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมา จากการคำนวณค่าปริมาณไฟฟ้าจริงจากการคำนวณเท่ากับ 0.162 หน่วย และ 0.27 หน่วยตามลำดับ จากการทดสอบพบว่าการทำงานของระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และพบว่าการแสดงค่าปริมาณไฟฟ้าทั้ง 5 ชุด ที่ได้ทำการทดสอบแสดงค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าบนหน้า web application ที่มีค่าใกล้เคียงกัน จากการทดสอบพบว่าระบบมีประสิทธิภาพและความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 98.75 หลังจากนั้นได้ทำการกำหนดจำนวนชั่วโมงในการทดสอบเป็น 5 ชั่วโมง โดยทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง พบว่าประสิทธิภาพและความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 98.60 โดยมีค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 98.67 ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการทำงานของชุดโมดูลตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าจำนวน 5 ชุด พร้อมกัน

รอบการทดสอบ (ชั่วโมง)	จำนวนครั้ง	ประสิทธิภาพ (%)
3	10	98.75
5	10	98.60
เฉลี่ย		98.67

4.3 การทดสอบการทำงานของชุดโมดูลตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าจำนวน 10 ชุด

ในการทดสอบการทำงานของชุดโมดูลตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าจำนวน 10 ชุด พร้อมกัน โดยทำการทดลอง

ด้วยการทำงานของโมดูลตรวจวัดและคำนวณปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ซึ่งกำหนดจำนวนการทำงานของระบบเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยทำการต่อโหลดอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อทดสอบเป็นหลอดไฟฟ้าขนาด 18 วัตต์ จำนวน 3 หลอด กับชุดโมดูลตรวจวัดปริมาณไฟฟ้าทั้ง 10 ชุด เหมือนกัน จากนั้นทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง พบว่าการทำงานของระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และพบว่าการแสดงค่าปริมาณไฟฟ้าทั้ง 10 ชุด แสดงค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าบนหน้า web application ที่ใกล้เคียงกัน จากการทดสอบพบว่าระบบมีประสิทธิภาพและความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 98.89 และ 98.64 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 98.76 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการทำงานของชุดโมดูลตรวจวัดการใช้ปริมาณไฟฟ้าจำนวน 10 ชุด พร้อมกัน

รอบการทดสอบ (ชั่วโมง)	จำนวนครั้ง	ประสิทธิภาพ (%)
3	10	98.89
5	10	98.64
เฉลี่ย		98.76

4.3 การประเมินความพึงพอใจต่อระบบ

การประเมินความพึงพอใจการพัฒนาต้นแบบระบบคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้จริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนเดิน หลังจากทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ทางด้าน hard ware เรียบร้อยแล้ว โดยมีค่าความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหา (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน โดยให้ผู้เชี่ยวชาญทดลองใช้และประเมินระบบโดยใช้แบบประเมินประสิทธิภาพที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นซึ่งผ่านการตรวจสอบคุณภาพ มีค่าค่าเฉลี่ยรวม IOC เท่ากับ 0.97 คณะผู้วิจัยได้นำระบบที่เสร็จสมบูรณ์ไปให้กลุ่มตัวอย่างในการประเมินความพึงพอใจในด้านต่างๆ โดยเป็นกลุ่มตัวอย่างชนิดเจาะจง จำนวน 30 ตัวอย่าง ประกอบไปด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนานวัตกรรมด้านเทคโนโลยีดิจิทัล จำนวน 2 คน คณาจารย์สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จำนวน 3 ท่าน บุคลากรเทศบาลตำบลแม่จันผู้รับผิดชอบและปฏิบัติงานในการบริหารจัดการตลาดจำนวน 5 ท่าน และผู้จำหน่ายสินค้าในตลาดจำนวน 20 ท่าน โดยแบ่งผลการประเมินความพึงพอใจออกเป็น 5 ด้าน คือ ด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบด้านอุปกรณ์ hard ware ด้านรูปแบบและความสมบูรณ์ web applicationด้านความสมบูรณ์ของระบบในภาพรวม และด้านประโยชน์การใช้งานที่ได้รับ ซึ่งในการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินความพึง

พอใจมาทำการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) โดยใช้เกณฑ์การวิเคราะห์ช่วงค่าเฉลี่ยเลขคณิตของแบบสอบถามแบบลิเคิร์ตสเกล แบ่งระดับความพึงพอใจออกเป็น 5 ระดับ เป็นดังนี้ [12]

4.51 – 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจมากที่สุด

3.51 – 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจมาก

2.51 – 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจปานกลาง

1.51 – 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อย

1.00 – 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

ตารางที่ 4 ความพึงพอใจต่อระบบคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้จริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนดอย อำเภอมะจัน จังหวัดเชียงราย

ด้าน	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1. ด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบด้านอุปกรณ์ hard ware	4.49	0.48
2. ด้านรูปแบบและความสมบูรณ์ web application	4.38	0.40
3. ด้านความสมบูรณ์ของระบบในภาพรวม	4.31	0.42
4. ด้านประโยชน์การใช้งานที่ได้รับ	4.76	0.41
เฉลี่ย	4.48	0.47

จากตารางที่ 4 พบว่าจากผลการประเมินความพึงพอใจต่อระบบคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้จริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนดอย อำเภอมะจัน จังหวัดเชียงราย จากกลุ่มตัวอย่าง 30 คน พบว่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุดอยู่ 1 ด้าน คือด้านประโยชน์การใช้งานที่ได้รับ มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.76 และความพึงพอใจในระดับมาก จำนวน 3 ด้าน ด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบด้านอุปกรณ์ hard ware ด้านรูปแบบและความสมบูรณ์ web application และด้านความสมบูรณ์ของระบบในภาพรวม มีค่าเฉลี่ยความพึงพอใจเท่ากับ 4.49 4.38 และ 4.31 ตามลำดับ มีค่าความพึงพอใจเฉลี่ยโดยรวมในทุกด้านคิดเป็นร้อยละความพึงพอใจเท่ากับ 4.48 มีความพึงพอใจในระดับมาก

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาต้นแบบระบบคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้จริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนดอย อำเภอมะจัน จังหวัดเชียงราย เพื่ออำนวยความสะดวก

สะดวกในการจัดเก็บค่าไฟฟ้าจากผู้จำหน่ายสินค้าภายในตลาดอย่างถูกต้องโดยการนำเทคโนโลยี IoT มาเป็นส่วนหลักสำหรับการออกแบบระบบในด้าน hard ware โดยใช้โปรโตคอล MQTT ในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์กับฐานข้อมูลและ web application เมื่อทำการพัฒนาต้นแบบระบบคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้จริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนดอย อำเภอมะจัน จังหวัดเชียงรายเรียบร้อยแล้วทำการทดสอบการทำงานของระบบในแต่ละส่วนเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน โดยการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

ในการทดสอบรูปแบบแรกดำเนินการทดสอบระบบคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้จริงจำนวน 1 ชุด กำหนดช่วงเวลาในการทดสอบออกเป็น 5 ช่วงเวลา คือ 3, 5, 7 และ 10 ชั่วโมง โดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 10 รอบ พบว่าระบบที่นำเสนอมีประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยร้อยละ 97.45 รูปแบบที่ทำการทดสอบการต่อโหลดในการทดสอบเช่นเดียวกันกับแบบแรกแต่ทำการต่อโหลดสำหรับการทดสอบชุดตรวจวัดและแสดงผลพร้อมกันจำนวน 5 ชุด พบว่าระบบที่นำเสนอมีประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยร้อยละ 98.67 และในการทดสอบรูปแบบสุดท้าย คณะผู้วิจัยได้ทำการต่อทดสอบชุดตรวจวัดและแสดงผลจำนวน 10 ชุดพร้อมกัน พบว่าระบบที่นำเสนอมีประสิทธิภาพการทำงานเฉลี่ยร้อยละ 98.76

เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของระบบเรียบร้อยแล้วหลังจากนั้นคณะผู้วิจัยได้นำต้นแบบระบบคำนวณค่าไฟฟ้าตามปริมาณการใช้จริงผู้จำหน่ายสินค้าตลาดถนนคนดอย อำเภอมะจัน จังหวัดเชียงราย ให้กลุ่มตัวอย่างเพื่อประเมินความพึงพอใจของระบบต้นแบบในแต่ละด้านจำนวน 30 คน พบว่าค่าเฉลี่ยโดยรวมในทุกด้านคิดเป็นร้อยละความพึงพอใจเท่ากับ 4.48 มีความพึงพอใจในระดับมาก

6. ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

งานวิจัยนี้เป็นการทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการในการพัฒนาครั้งต่อไปควรมีการนำไปทดสอบระบบจริงในพื้นที่และควรพัฒนาระบบการออกใบเสร็จในการจัดเก็บค่าไฟฟ้าจากผู้ค้า โดยมีการเชื่อมโยงกับระบบฐานข้อมูลผ่าน web application

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเทศบาลตำบลแม่จัน อำเภอมะจัน จังหวัดเชียงรายที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล สถานที่ในการทดสอบ รวมถึงการสนับสนุนในด้านต่างๆ สำหรับการดำเนินงานวิจัยนี้จนบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Klubcharoen, "The implementation of Electrical Measurement system for small apartment," M.S. thesis, Department of Information Technology and Management, School of Information Technology and Innovation, Bangkok University, Bangkok, 2018 (in Thai).
- [2] S. Inkamchur, "Design and development of electrical current measurement system by wireless sensor networks," M.S. thesis, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Bangkok, 2017(in Thai).
- [3] K. Choochart, "Development of the Internet of Things Platform system for Electricity Usage Monitoring Case study: Srivitsawavittaya Buildings, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya," M.S. thesis, Department of Industrial Management, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University, Songkla, 2022 (in Thai).
- [4] K. Narat, T.Klampong and G. Khongklin "A Current usage monitoring and storage apparatus," M.S. thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok, 2015 (in Thai).
- [5] T. Siramongkolkan, "Displaying of Electrical Energy Consumption Through Application on Smartphone Controlled by Microcontroller," in Proceeding of The11th National and the 9th International Conference on Research and Innovation: The Development of Community Economy with BCG Model, *Khon Kaen, Thailand*, May. 26, 2024, pp. 309-321 (in Thai).
- [6] N. Apiruchpinyo and S. Chaochaikong, "Electrical Power Management System in Buildings Via the internet of Things: A Case Study of Srikodtraboon Building of Nakhon Phanom University," *Udon Tani Rajabhat University Journal of Science and Technology*, vol. 10, no.3, pp. 43-62, Sep-Dec. 2022.
- [7] C. Kosoom, P. Kosoom, K. Yookaew and P. Tammanitassana, "Vertical Beam Adjustable Antenna for Internet of Things Applications," *Journal of Science and Technology Thonburi University*, vol. 6, no.1, pp. 13-27, Jan -Jun. 2022.
- [8] K. Nontasud and P. Tunjaya, "The Automatic Control of Electrical Power Consumption in Office by Using Internet of Things Technology: Case Study of Eastern Asia University," *EAU Heritage Journal of Science and Technology*, vol. 13, no. 1, pp. 159-171, Jan-Apr.2019.
- [9] J. Junkunchon, K. Kunyamee and J.Youtsuwan, "Development of smart electricity meters under the concept of the Internet of Things," *Academic Journal of Science and Applied Science*, vol. 10, no. 2, pp. 37-46, Jul-Dec.2021.
- [10] P.Maneechot, W. Wongpanyo and B. Vichanpol, "Development of Smart Meter for Electricity Consumption Management in Energy Park, Kamphaengphet Rajabhat University," *Academic Journal Uttaradit Rajabhat University*, vol. 15, no. 1, pp. 51-65, Jan-Jun. 2020.
- [11] Steve. Beginners Guide ToThe MQTT Protocol. [Online]. (2016). [Cited June 19, 2025]. Available: <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt/>
- [12] G. Norman, *Likert scales, Levels of measurement and the "Laws" of statistics*. Advances in Health Sciences Education, 2010, pp. 625-632.