ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563

บทความวิจัย

การสร้างและหาประสิทธิภาพมิเตอร์อัจฉริยะวัดค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งภาคครัวเรือนและอุตสาหกรรม แบบ Real Time

Developing and Finding Efficiency of Smart Meter for Real Time Monitoring Electricity usage of Household and Industrial Sectors

ประสาน ภัทรประสงค์[1] สุทธิพันธ์ สุวรรณรัตน์[2] และสมยศ สุวรรณรัตน์[3]
Prasarn Pattaraprasong[1] Sutthiphan Suwannarat[2] and Somyot Suwannarat[3]

[1-3] แผนกวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคพะเยา จังหวัดพะเยา 56000
Electrical Power Department, Phayao Technical College, Phayao 56000
[1] Corresponding Author: E-mail: Teelectrical56@gmail.com

Received: 8 Jan. 2020 ; Revised: 11 Apr. 2020 ; Accepted: 11 May 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) สร้างมิเตอร์อัจฉริยะวัดค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งภาคครัวเรือนและอุตสาหกรรมแบบ Real Time 2) ทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของมิเตอร์อัจฉริยะ และ 3) ศึกษาความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อมิเตอร์อัจฉริยะ โดยผู้วิจัยได้นำมิเตอร์อัจฉริยะที่สร้างเสร็จสมบูรณ์ให้ผู้เชี่ยวชาญประเมิน และนำไปทดสอบกับมิเตอร์ที่ได้มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพ

ผลจากการทดสอบมิเตอร์อัจฉริยะ สามารถวัดค่าได้ใกล้เคียงกับมิเตอร์ที่ได้มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ใช้ในปัจจุบันโดยมีค่าผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.816% และการประเมินความพึงพอใจในการสร้างมิเตอร์อัจฉริยะของผู้เชี่ยวชาญพบว่า ด้านการออกแบบอุปกรณ์ ด้านประสิทธิภาพในการทำงาน และด้านความพึงพอใจภาพรวมของการใช้งานมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง

คำสำคัญ : มิเตอร์อัจฉริยะ โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ

Abstract

The purposes of this research were to: 1) construct the smart meter for real time monitoring electricity usage of household and industrial sectors, 2) find the efficiency of the smart meter, and 3) study the satisfaction of the experts on the smart meter. The developed smart meter was evaluated by experts for its operation efficiency based on the standard of the Provincial Electricity Authority.

The results of the research showed that the smart meter could measure the energy consumption similar to the standard meter of the Provincial Electricity Authority with the mean errors of 0.816%. The study of users' satisfaction on the smart meter in structure design, the efficiency, and the general satisfaction were on an average at medium level.

Keywords : Smart Meter, Smart Grid

1. บทนำ

ในสภาวะปัจจุบันการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการใช้งานเป็นเรื่องที่สำคัญเนื่องจากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกวันและการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีดั้งเดิมได้สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จึงทำให้มนุษย์แสวงหาพลังงานทางเลือกอื่น เช่น พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ทำให้การพัฒนาระบบไฟฟ้าทั่วโลกมุ่งเน้นไปที่ระบบไฟฟ้าที่เป็นโครงข่ายอัจฉริยะ (Smart Grid) ซึ่งเป็นโครงข่ายที่นำเอาเทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศมาบริหารจัดการเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม เช่น การแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใกล้เคียงเวลาจริง (Real – Time) เป็นต้น โดยสิ่งเหล่านี้ต้องอาศัยเทคโนโลยีการสื่อสารและเทคโนโลยีการวัดที่ทันสมัย องค์ประกอบสำคัญ อย่างหนึ่งของระบบไฟฟ้าแบบสมาร์ทกริด คือโครงสร้างพื้นฐานของมิเตอร์ แม้ปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะมีการปรับเปลี่ยนวิธีการอ่านมิเตอร์จากการใช้พนักงาน มาเป็นการอ่านมิเตอร์แบบอัตโนมัติ AMR แต่มีข้อจำกัดการติดตั้งมิเตอร์ ระบบ AMR จะติดตั้งกับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ที่มีการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 30 kW. หรือติดตั้งหม้อแปลงเฉพาะราย 100 kVA. ขึ้นไป [1] และมีการวิจัยพัฒนามิเตอร์อัจฉริยะมากมาย แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้าน IoT มีความก้าวหน้ามากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงแนวคิดที่จะสร้างมิเตอร์อัจฉริยะขึ้นโดยมิเตอร์อัจฉริยะที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นจะมีความสามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ใกล้เคียงเวลาจริง (Real – Time) ตลอด 24 ชั่วโมง จัดเก็บข้อมูลความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลาลงใน Data Logger ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในตัวเครื่องวัด ตรวจเช็คกระแสไฟฟ้ารั่วแล้วแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นบนโทรศัพท์มือถือสมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ฟรีในชื่อแอปพลิเคชัน Smart Meter พร้อมกับตัดกระแสไฟฟ้าภายในบ้าน เรียกดูข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังและพล็อตกราฟแสดงช่วงเวลาความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวัน เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับพฤติกรรม การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าและนำไปบริหารการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านอย่างมีประสิทธิภาพ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

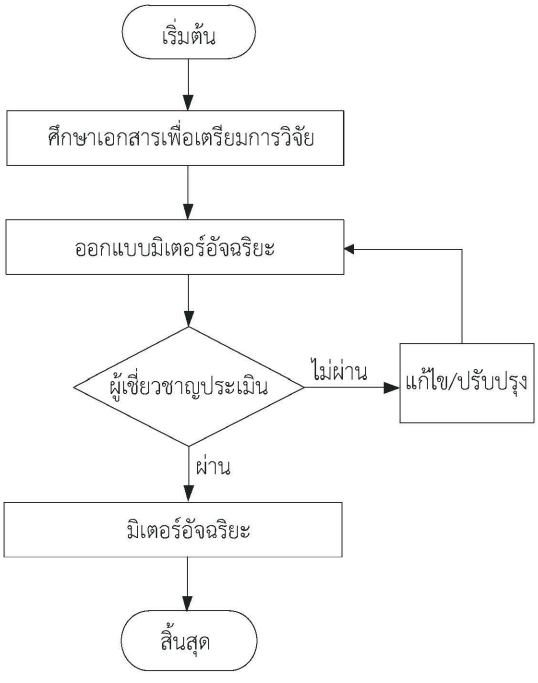
2.1 เพื่อสร้างมิเตอร์อัจฉริยะวัดค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งภาคครัวเรือนและอุตสาหกรรมแบบ Real Time

2.2 เพื่อทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของมิเตอร์อัจฉริยะ

2.3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อมิเตอร์อัจฉริยะ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพมิเตอร์อัจฉริยะสำหรับใช้ในการวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

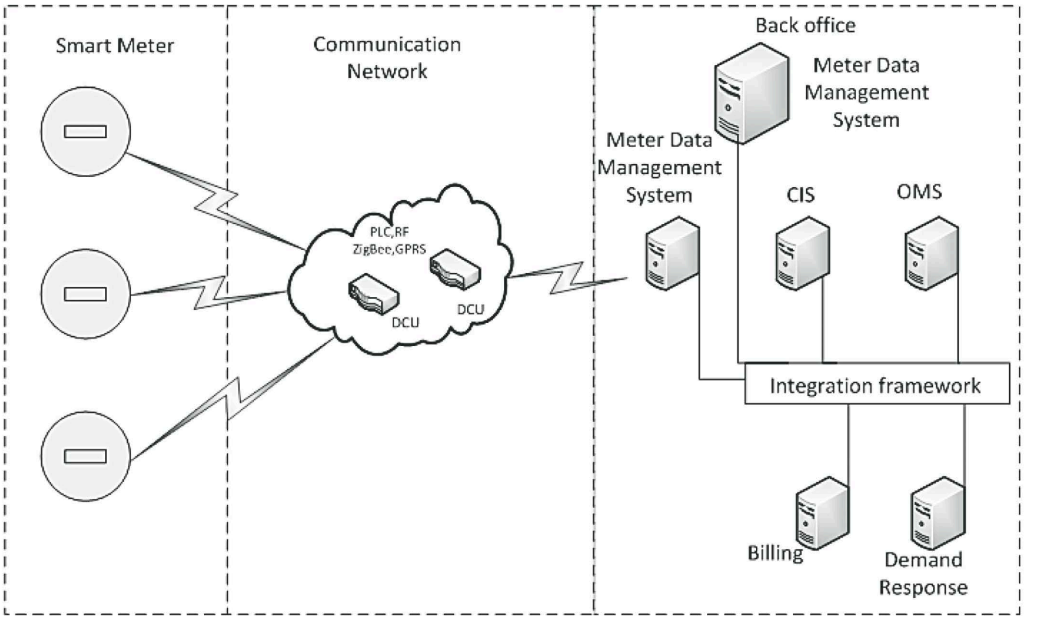


ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter)

3.1 ศึกษาเอกสารเพื่อเตรียมการวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

1) ศึกษาโครงสร้างพื้นฐานระบบมิเตอร์ชั้ นสูง (Advance Metering Infrastructure: AMI)

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาโครงสร้างพื้นฐานระบบมิเตอร์ชั้นสูงในระบบสมาร์ทกริดมีส่วนประกอบที่สำคัญโดยในภาพรวมของโครงสร้างพื้นฐานระบบมิเตอร์ขั้นสูงแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ภาพรวมของโครงสร้างพื้นฐานระบบมิเตอร์ขั้นสูง

จากภาพที่ 2 จะเห็นได้ว่าโครงสร้างพื้นฐานระบบมิเตอร์ขั้นสูงประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ มิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter) เครือข่ายระบบสื่อสาร (Communication Network) และส่วนจัดการข้อมูลมิเตอร์ (Meter Data Management System : MDMS) หรือที่เรียกว่า Back Office โดยในส่วนของมิเตอร์อัจฉริยะจะทำหน้าที่ตรวจวัดข้อมูลทางระบบไฟฟ้า แล้วรับ – ส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายระบบสื่อสารทั้งเป็นแบบผ่านสายตัวนำ (Wire) และแบบไร้สาย (Wireless) และในส่วนของ Back Office นั้นเป็นการจัดการข้อมูลจากมิเตอร์อัจฉริยะเพื่อนำไปประมวลผลและใช้งานข้อมูลร่วมกับส่วนงานอื่นๆต่อไป [2]

2) ศึกษาระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยการใช้ไฟฟ้าและบริการ พ.ศ. 2562 หมวดที่ 5 การใช้ไฟฟ้า ข้อ 44 ความเที่ยงตรงของมิเตอร์และอุปกรณ์ประกอบมิเตอร์ ดังนี้

ข้อ 44.1 ระบบการจ่ายไฟฟ้าแรงดันไม่เกิน 33,000 โวลต์ กำหนดให้มิเตอร์มีระดับความเที่ยงตรง (Accuracy class) = 2.0 หรือดีกว่า

ข้อ 44.2 ระบบการจ่ายไฟฟ้าแรงดัน 64,000 โวลต์ ขึ้นไป กำหนดให้มิเตอร์มีระดับความเที่ยงตรง (Accuracy class) = 0.2 หรือดีกว่า [3]

3) ศึกษาอัตราสำหรับการคำนวณค่าไฟฟ้า

ในการคำนวณค่าไฟฟ้าของ กฟภ. สำหรับบ้านพักที่อยู่อาศัยตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องรวมทั้งวัด สำนักสงฆ์ และสถานประกอบการศาสนากิจ ของทุกศาสนา โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียวจะมีอัตราการคำนวณ 2 อัตรา ได้แก่ อัตราปกติ (Progressive Rate) กับอัตราช่วงเวลาของการใช้งาน (Time of Use Rate: TOU) ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตราปกติเท่านั้น

แบบอัตราปกติ (Progressive Rate) การใช้อัตราปกติ คือ ค่าไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับหน่วยการใช้ไฟฟ้า หากใช้ไฟฟ้ามากเท่าใดการนำอัตราสำหรับการคำนวณค่าไฟฟ้าจะสูงไปด้วย แบ่งออกเป็น 2 ประเภท [4]

3.1) การใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน จะมีค่าบริการ 8.19 บาทต่อเดือน

ตารางที่ 1 อัตราสำหรับคำนวณค่าไฟฟ้าแบบปกติที่ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

จำนวนหน่วยของการใช้ไฟฟ้า	อัตราที่ใช้คำนวณ (บาท/หน่วย)
5 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 – 5)	0
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 6 – 15)	1.3576
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16 – 25)	1.5445
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26 – 35)	1.7968
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36 – 100)	2.1800
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101 – 150)	2.2734
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400)	2.7781
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.9780

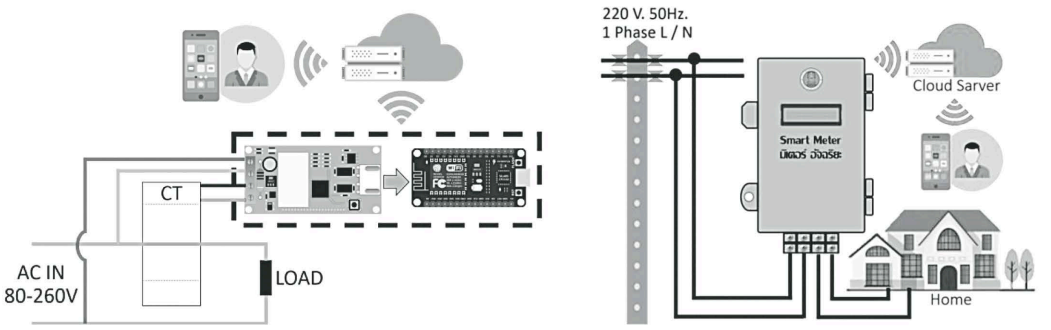
3.2) การใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน จะมีค่าบริการ 40.90 บาทต่อเดือน

ตารางที่ 2 อัตราสำหรับคำนวณค่าไฟฟ้าแบบปกติที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยต่อเดือน

จำนวนหน่วยของการใช้ไฟฟ้า	อัตราที่ใช้คำนวณ (บาท/หน่วย)
150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 – 150)	1.8047
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 – 400)	2.7781
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.9780

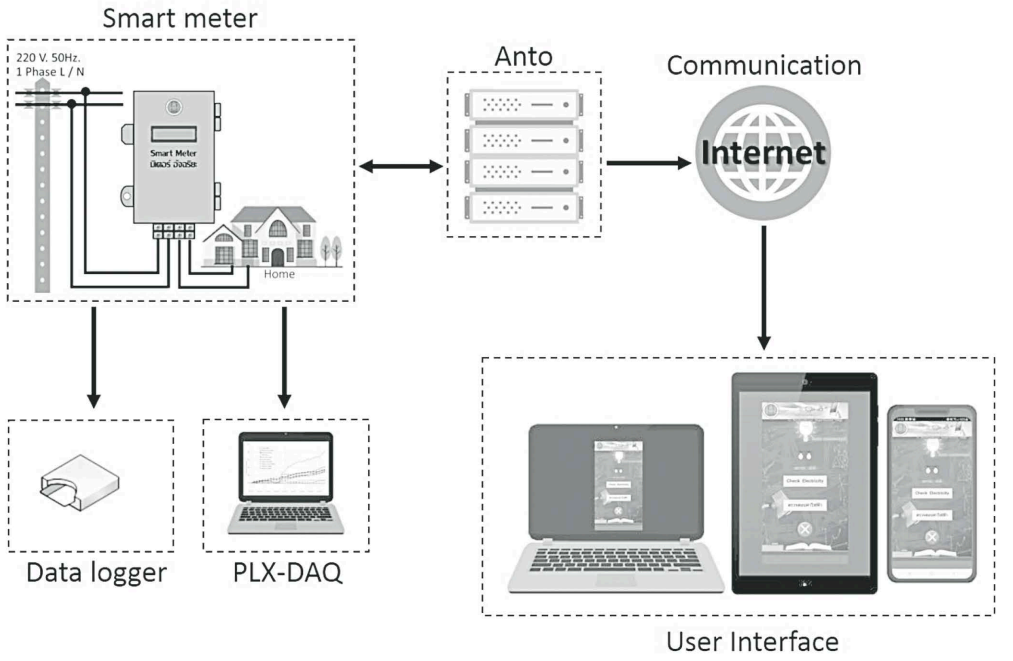
3.2 การออกแบบมิเตอร์อัจฉริยะ

การออกแบบมิเตอร์อัจฉริยะจะประกอบไปด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนของตัวเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าและส่วนของแอปพลิเคชันที่ติดตั้ง ใน Smart Phone โดยตัวเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจะถูกติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งเสาไฟฟ้าเพื่อรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคผ่านตัวเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าเข้าไปยังบ้านพักอาศัย โดยที่ตัวเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจะทำการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า (KWh) แล้วส่งค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ผ่านช่องทางสื่อสารไร้สาย Wireless ผ่านบอร์ด NodeMCU ESP 8266 ไปยัง Cloud Platform ที่มีชื่อเรียกว่า Anto.io แล้วทำการแจ้งปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันมายัง Smart Phone และเก็บข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลาลงใน Data logger และนำค่าพลังงานไฟฟ้ามาพล็อตกราฟเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม PLX-DAQ



ภาพที่ 3 หลักการทำงานของมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter)

1) โครงสร้างการเชื่อมต่อระบบมิเตอร์อัจฉริยะ



ภาพที่ 4 โครงสร้างการเชื่อมต่อระบบมิเตอร์อัจฉริยะ

จากภาพที่ 4 จะเห็นว่าโครงสร้างการเชื่อมต่อระบบมิเตอร์อัจฉริยะจะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ ส่วนของเครื่องวัดไฟฟ้า (Smart Meter) ส่วนของสื่อกลางในการสื่อสารระหว่าง Hardware เข้าสู่ Internet (Platform Anto) ส่วนของเครือข่ายระบบสื่อสาร (Communication) ส่วนจัดเก็บข้อมูล (Data Logger) และส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) มีรายละเอียดของแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

1.1) ส่วนของเครื่องวัดไฟฟ้า จะถูกติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งเสาไฟฟ้าเพื่อรับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคผ่านตัวเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าเข้าไปยังบ้านพักอาศัยโดยที่ตัวเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจะทำการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า (KWh) โดยใช้โมดูล PZEM -004T แล้วส่งค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ผ่านช่องทางสื่อสารไร้สาย Wireless ผ่านบอร์ด NodeMCU ESP 8266 ไปยัง Anto

1.2) ส่วนของสื่อกลางในการสื่อสารระหว่าง Hardware เข้าสู่ Internet (Platform Anto) เป็นสื่อกลางในการสื่อสาร ให้ใช้บริการฟรี เป็นเสมือนตัวกลางในการสื่อสารระหว่างตัวเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ากับผู้ใช้งาน (User Interface) ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

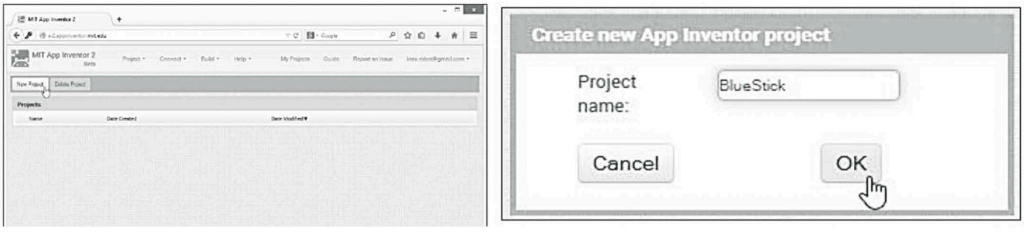
1.3) ส่วนของเครือข่ายระบบสื่อสาร (Communication) ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่าง Anto กับผู้ใช้งาน (User Interface) ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ตลอดเวลาและผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าแอปพลิเคชันที่ติดตั้งในสมาร์ทโฟนตรวจสอบข้อมูลมิเตอร์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต

1.4) ส่วนจัดเก็บข้อมูล (Data Logger) จะถูกติดตั้งอยู่ในเครื่องวัดจะทำหน้าที่จัดเก็บความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา และนำค่าพลังงานไฟฟ้า มาพล็อตกราฟแสดงความต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวัน

1.5) ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าไปใช้แอปพลิเคชัน ในส่วนของการแสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยการใช้ Smart Phone หรืออุปกรณ์สื่อสารที่ติดตั้งแอปพลิเคชัน และเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้

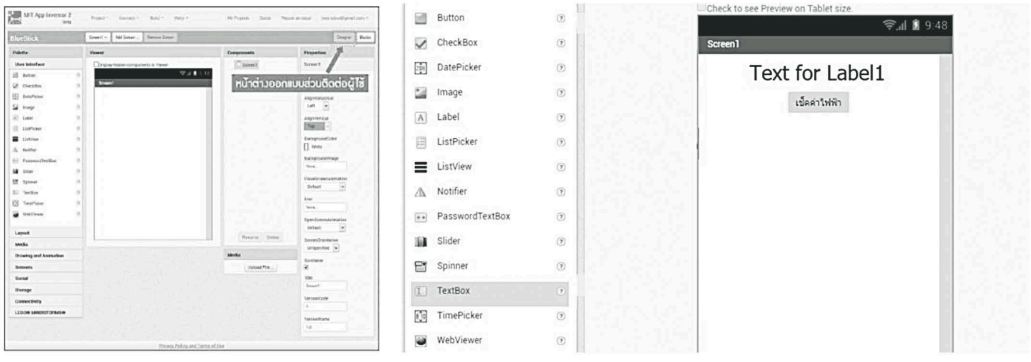
2) การออกแบบหน้าแอปพลิเคชันการใช้งานสำหรับมิเตอร์อัจฉริยะ

ขั้นตอนที่ 1 กดเลือก New Project เพื่อสร้าง Application 2 ใหม่ขึ้นมา และทำการตั้งชื่อว่า Smart Meter แล้วกดปุ่ม Ok



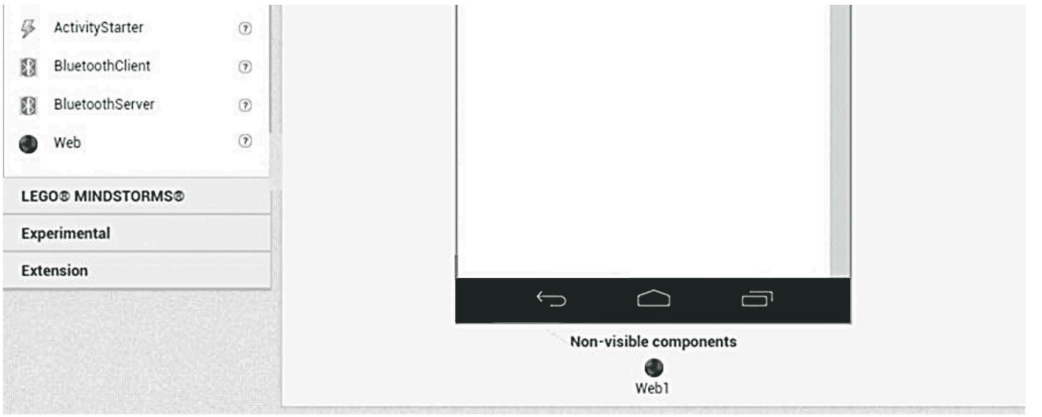
ภาพที่ 5 แสดงหน้าต่างการตั้งชื่อ

ขั้นตอนที่ 2 กดเลือก Designer เพื่อสร้าง Text Box และ เมนูปุ่มกดต่าง ๆ



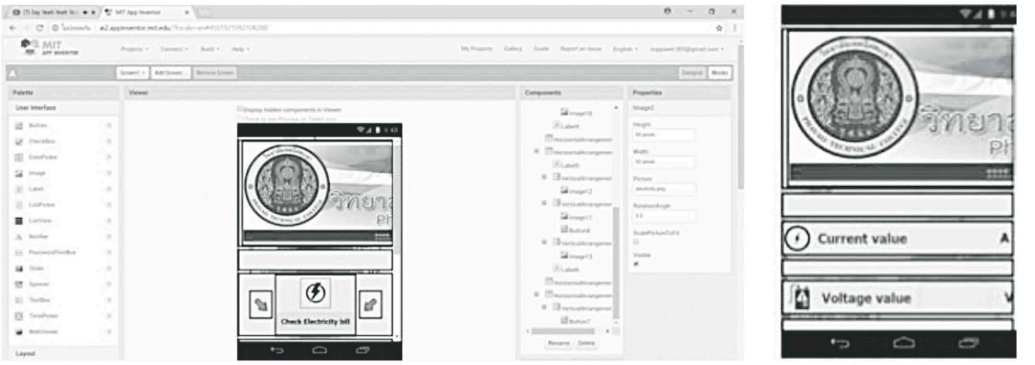
ภาพที่ 6 แสดงการสร้างเมนูปุ่มกด

ขั้นตอนที่ 3 ทำการลากฟังก์ชันที่หัวข้อ Connectivity เลือก Web แล้ววางในหน้าต่าง

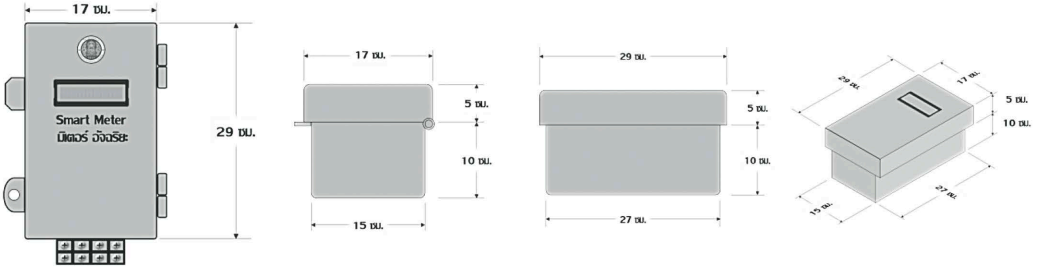


ภาพที่ 7 แสดงฟังก์ชันการเชื่อมต่อ Web

ขั้นตอนที่ 4 สร้างหน้าต่างของแอปพลิเคชัน



ภาพที่ 8 แสดงหน้าต่างของแอปพลิเคชัน



ภาพที่ 9 แบบร่างมิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter)

3.3 การหาคุณภาพมิเตอร์อัจฉริยะโดยผู้เชี่ยวชาญ

นำมิเตอร์อัจฉริยะให้ผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นผู้ที่มีประสบการณ์และความชำนาญในเรื่องของระบบไฟฟ้า ประเมินเครื่องมิเตอร์อัจฉริยะโดยตอบแบบสอบถาม เพื่อทราบความคิดเห็นเกี่ยวกับมิเตอร์อัจฉริยะที่สร้างขึ้นสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดแก่ผู้ใช้งาน โดยกำหนดความคิดเห็นเป็นมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ให้น้ำหนักคะแนนเป็น 5 ระดับคือ [5]

5 คือ เห็นด้วยในระดับดีมากที่สุด
4 คือ เห็นด้วยในระดับดีมาก
3 คือ เห็นด้วยในระดับปานกลาง
2 คือ เห็นด้วยในระดับน้อย
1 คือ เห็นด้วยในระดับน้อยที่สุด

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพมิเตอร์อัจฉริยะ ในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ได้แก่ การวิเคราะห์ผลของแบบประเมินความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) เป็นการวัดการกระจายอีกชนิดหนึ่ง มองในรูปเส้นตรงมีทิศทาง เกิดจากการถอดรากที่สองของความแปรปรวน [4]

4. ผลการวิจัย

จากการดำเนินการสร้างมิเตอร์อัจฉริยะ โดยผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการสร้างมิเตอร์อัจฉริยะโดยได้ทำการรวบรวมผลการดำเนินการและการทดสอบหาประสิทธิภาพของมิเตอร์อัจฉริยะซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลจากการสร้างมิเตอร์อัจฉริยะ

มิเตอร์อัจฉริยะสามารถใช้กับระบบไฟฟ้า 1 เฟส โดยจะส่งค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ผ่านช่องทางสื่อสารแบบไร้สายไปยัง Smart Phone และเก็บค่ากำลังไฟฟ้าลงใน Data Logger เพื่อให้สามารถเรียกดูปริมาณการใช้ไฟฟ้าแบบ Real Time และย้อนหลังได้นอกจากนี้ยังสามารถตรวจเช็คกระแสไฟฟ้ารั่วและแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า

4.2 ผลจากการทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของมิเตอร์อัจฉริยะ

ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลการทดสอบส่งค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตัวส่งและอุปกรณ์ตัวรับ

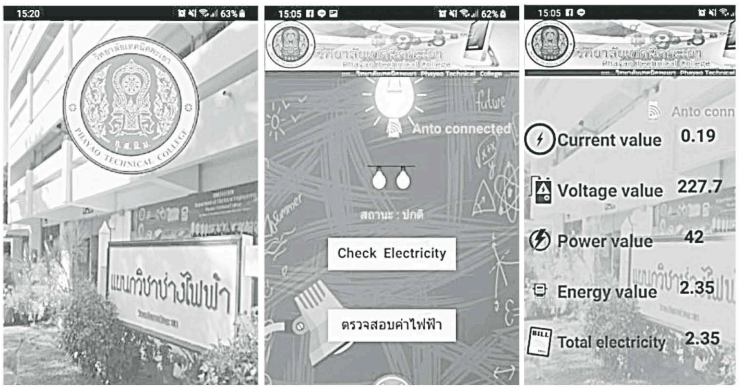
ชั่วโมง	ค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตัวส่ง (มิเตอร์)			ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตัวรับ (Smart Phone)			ผลการทดลอง
	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า	แรงดันไฟฟ้า	กระแสไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้า	
1	235.2	0.19	1.45	235.2	0.19	1.45	ส่งได้
2	235.2	0.19	1.45	235.2	0.19	1.45	ส่งได้
3	235.2	0.19	1.45	235.2	0.19	1.45	ส่งได้
4	237.6	0.20	1.65	237.6	0.20	1.65	ส่งได้
5	237.6	0.20	1.65	237.6	0.20	1.65	ส่งได้
6	237.2	0.20	1.65	237.2	0.20	1.65	ส่งได้
7	237.2	0.20	1.65	237.2	0.20	1.65	ส่งได้
8	237.2	0.20	1.65	237.2	0.20	1.65	ส่งได้
9	239.8	0.20	1.67	239.8	0.20	1.67	ส่งได้
10	239.8	0.20	1.67	239.8	0.20	1.67	ส่งได้

จากตารางที่ 3 ผลการส่งค่าและรับค่าพลังงานไฟฟ้าผ่านมิเตอร์อัจฉริยะ พบว่าสามารถรับค่าได้ตรงตามที่ส่งมาและนำค่าที่วัดได้บันทึกใน Data Logger มาแสดงลงบนกราฟ ได้ตรงตามค่าที่แสดงบนหน้าจอแสดงผล LCD ของตัวรับข้อมูล

ตารางที่ 4 ตารางแสดงผลการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเพื่อหาประสิทธิภาพของมิเตอร์อัจฉริยะเปรียบเทียบกับ มิเตอร์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ชั่วโมง	มิเตอร์อัจฉริยะ (Kwh)	มิเตอร์ ที่ได้มาตรฐาน (Kwh)	ค่าผิดพลาด (%)
1	1.62	1.60	1.25
2	1.64	1.62	1.23
3	1.67	1.65	1.21
4	1.69	1.68	0.60
5	1.71	1.70	0.60
6	1.96	1.95	0.51
7	1.98	1.97	0.50
8	2.10	2.08	0.96
9	2.20	2.21	0.45
10	2.33	2.35	0.85
	ค่าเฉลี่ย (%)		0.816

จากตารางที่ 4 ผลการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของมิเตอร์อัจฉริยะเปรียบเทียบกับมิเตอร์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจำนวน 10 ชั่วโมง พบว่า ค่าความผิดพลาดน้อยสุดคือชั่วโมงที่ 9 อยู่ที่ 0.45% ค่าความผิดพลาดสูงสุดคือครั้งที่ 1 อยู่ที่ 1.25% และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 0.816% โดยมีค่าความผิดพลาด น้อยกว่า 2.0% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ยอมรับได้ ตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ว่าด้วยการใช้ไฟฟ้าและบริการ พ.ศ. 2562 หมวดที่ 5 การใช้ไฟฟ้า ข้อ 44 ความเที่ยงตรงของมิเตอร์และอุปกรณ์ประกอบมิเตอร์ที่ได้กำหนดไว้



ภาพที่ 10 แอปพลิเคชันที่ติดตั้งอยู่ใน Smart Phone

4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ เมื่อผู้วิจัยได้ทำการสร้างมิเตอร์อัจฉริยะเสร็จ ได้นำไปให้ผู้เชี่ยวชาญเพื่อทำการประเมินความพึงพอใจ จำนวน 5 คน

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาความพึงพอใจผู้เชี่ยวชาญมิเตอร์อัจฉริยะ

รายการการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านการออกแบบอุปกรณ์			
อุปกรณ์มีความปลอดภัยในการใช้	4.0	0.47	ดีมาก
มีความสวยงาม	4.2	0.78	ดีมาก
วัสดุอุปกรณ์ที่เหมาะสม	3.4	0.51	ปานกลาง
ความทนทาน	3.9	0.31	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	3.87	0.19	ปานกลาง
ด้านประสิทธิภาพการทำงาน			
สะดวกในการใช้งาน	3.3	0.48	ปานกลาง
ความรวดเร็วในการทำงาน	3.7	0.67	ปานกลาง
ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้อง	4.1	0.56	ดีมาก
เทคโนโลยีทันสมัย	3.5	0.70	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ย	3.65	0.10	ปานกลาง
ด้านความพึงพอใจภาพรวมของการใช้งาน			
อุปกรณ์สามารถนำไปใช้งานได้จริง	4.7	0.48	ดีมาก
อุปกรณ์สามารถใช้งานได้ง่าย	3.4	0.69	ปานกลาง
การออกแบบมีความเหมาะสม	3.8	0.63	ปานกลาง
ลดค่าใช้จ่ายได้จริง	4.0	0.81	ดีมาก
ค่าเฉลี่ย	3.97	0.13	ปานกลาง

จากตารางที่ 5 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ด้านการออกแบบอุปกรณ์มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง ด้านประสิทธิภาพในการทำงาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง และด้านความพึงพอใจภาพรวมของการใช้งานมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษามิเตอร์อัจฉริยะ (Smart Meter) โดยตัวเครื่องวัดที่ติดตั้งเสาไฟฟ้าจะทำการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า (KWh) แล้วส่งค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ผ่านช่องทางสื่อสารไร้สาย Wriless ผ่านบอร์ด NodeMCU ESP 8266 มายังอุปกรณ์ตัวรับ (Smart Phone) แล้วทำการเก็บข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาลงใน Data Logger และพล็อตกราฟเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมการใช้พลังงาน ได้ผลสรุปดังนี้

5.1 มิเตอร์อัจฉริยะสามารถวัดปริมาณความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบ Real Time หรือเรียกดูข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังได้

5.2 มิเตอร์อัจฉริยะสามารถส่งค่าพลังงานไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์ตัวรับมายังอุปกรณ์ตัวส่งผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้ [6]

5.3 มิเตอร์อัจฉริยะสามารถวัดค่าได้ใกล้เคียงกับมิเตอร์ที่ได้มาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ใช้ในปัจจุบันโดยมีค่าผิดพลาด 0.816% ซึ่งมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่า 2.5% อยู่ในมาตรฐานของการไฟฟ้า

5.4 การประเมินความพึงพอใจในการสร้างมิเตอร์อัจฉริยะของผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบอุปกรณ์มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง ด้านประสิทธิภาพในการทำงาน มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง และด้านความพึงพอใจภาพรวมของการใช้งานมีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในด้านต่างๆ ของมิเตอร์อัจฉริยะให้มีความสมบูรณ์ และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อเป็นแนวทางการวิจัยในอนาคต ดังต่อไปนี้

1) ควรมีการแจ้งเตือนหากมีการใช้กระแสไฟฟ้าเกินที่ได้กำหนดไว้ และสามารถบ่งบอกได้ถึงอุปกรณ์ที่มีการใช้กระแสไฟฟ้าเกินจากที่ตั้งค่าไว้

2) ควรมีการศึกษามาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับมิเตอร์อัจฉริยะ เพื่อจะได้เข้าใจมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยจำเป็นต้องศึกษามาตรฐานที่ใช้ในประเทศต่าง ๆ

3) การวิจัยในอนาคตควรศึกษาในเรื่องของเทคโนโลยีการใช้งาน IoT ในการบริการ IFTTT ส่งข้อมูลแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์และการเก็บข้อมูลไว้ใน Google Sheet

4) ควรมีการออกแบบมิเตอร์อัจฉริยะให้เหมือนกับเฟอร์นิเจอร์ เพื่อการตกแต่งบ้าน

เอกสารอ้างอิง

[1] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2554). [ออนไลน์]. โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid). [สืบค้นเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2562]. จาก http://161.200.85.41/pea-smartgrid/index.php/smart-grid.

[2] ประดิษฐ์ เฟื่องฟู. (2554). [ออนไลน์]. ระบบ Advanced Metering Infrastructure (AMI) สำหรับโครงข่ายไฟฟ้า. [สืบค้นเมื่อวันที่ 4 เมษายน 2562]. จาก http://161.200.85.41/pea-smartgrid/paper/ppt/ppt-AMI-dr.pradit.pdf.

[3] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2552). [ออนไลน์]. ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. [สืบค้นเมื่อวันที่ 7 พฤษภาคม 2563]. จาก http://www.oic.go.th/FILEWEB/CABINFOCENTER6/DRAWER079/GENERAL/DATA 0001/00001953.PDF.

[4] กระทรวงพลังงาน. (2555). [ออนไลน์]. อัตราค่าไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. [สืบค้นเมื่อวันที่ 6 ตุลาคม 2561]. จาก http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html.