

## การพัฒนารูปแบบเครื่องมือวัดไฟฟ้าสมาร์ทมิเตอร์

### Develop and a smart electrical measuring instrument, the Smart Multimeter

ธีรวัฒน์ ดีบ้าย<sup>1</sup> ชัยอตุลย์ เรียนสอน<sup>1</sup> ชัชวาลย์ แสงแก้ว<sup>1</sup> มนตรี ธีระตระกูล<sup>1</sup> ไชยรัตน์ สุวรรณอำไพ<sup>1</sup>

ธราธิป ภูระหงษ์<sup>2\*</sup> และ พงษ์ศักดิ์ คำแบ่ง<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า วิทยาลัยเทคนิคน่าน สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 2

<sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยนครพนม

<sup>3</sup>บริษัทอาซิฟา จำกัด (มหาชน) เลขที่ 5 หมู่ 1 ตำบลคอกกระบือ อำเภอเมืองสมุทรสาคร จังหวัดสมุทรสาคร

Email : tharathip2563@gmail.com and Theerawat110916@gmail.com

#### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารูปแบบเครื่องมือวัดไฟฟ้าสมาร์ทมิเตอร์และหาประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดไฟฟ้าสมาร์ทมิเตอร์ สามารถวัดค่าแรงดัน, กระแส, ความถี่, ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์, กำลังไฟฟ้า ด้วยจอแสดงผลขนาด 4.0 inch SPI serial screen backplane module ผลความคลาดเคลื่อนของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องมือวัดไฟฟ้าสมาร์ทมิเตอร์เปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณค่ากระแสและแรงดันพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของหน่วยพลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ย 7.26 % ผลความคลาดเคลื่อนของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องมือวัดไฟฟ้าสมาร์ทมิเตอร์เปรียบเทียบกับวิธีการวัดค่ากระแสและแรงดันด้วยมัลติมิเตอร์พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันเฉลี่ย 0.708 % และค่าความคลาดเคลื่อนของกระแสเฉลี่ย 0.469 % ความพึงพอใจของเครื่องมือวัดไฟฟ้าสมาร์ทมิเตอร์ด้านลักษณะการใช้งานพบว่าผู้ประเมินมีความคิดเห็นต่อเครื่องมือวัดไฟฟ้าสมาร์ทมิเตอร์ ภาพรวมเห็นว่ามี ความเหมาะสมในระดับดี ค่าเฉลี่ย 4.03 และมีด้านลักษณะทางกายภาพ โดยภาพรวมเห็นว่ามี ความเหมาะสมในระดับดี ค่าเฉลี่ย 3.88

**คำสำคัญ:** สมาร์ทมิเตอร์

#### Abstract

This research aims to develop and evaluate the performance of a Smart Multimeter measuring instrument, the Smart Multimeter. The device is capable of measuring voltage, current, frequency, power factor, and electrical power, and features a 4.0-inch SPI serial screen backplane module for display. The power measurement accuracy of the smart multimeter was evaluated by comparing calculated voltage and current values, revealing an average total energy deviation of 7.26%. When comparing measured values using a standard multimeter, the smart multimeter exhibited an average voltage deviation of 0.708% and an average current deviation of 0.469%. Regarding user satisfaction, evaluators rated the usability aspects of the smart multimeter at a good level with

an average score of 4.03, and its physical characteristics were also rated at a good level with an average score of 3.88.

**Keywords:** Smart Multimeter

#### 1. บทนำ

ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานมีสูงขึ้นเป็นอย่างมาก เป็นไปอย่างก้าวกระโดด การใช้พลังงานทดแทน (Renewable) เข้ามามีส่วนร่วมในการใช้พลังงานในชีวิตประจำวันเกี่ยวกับของระบบไฟฟ้าอัจฉริยะ กำลังเข้าสู่สังคม การใช้รถไฟฟ้ากำลังเกิดขึ้นในเมืองต่างๆ ปัจจุบันได้มีการนำแผงโซลาร์เซลล์เข้ามาผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้ในตอนกลางวันและประจุลงแบตเตอรี่เพื่อเก็บไว้ใช้ในเวลาค่ำคืนเพื่อการลดการใช้พลังงานจากที่มาผลิตพลังงานหลักของประเทศ (Centralize Power Grid) ด้านการพัฒนาการใช้พลังงาน การคิดค้นเครื่องมือวัดไฟฟ้าแบบดิจิทัลวัดได้มีหลากหลายทั้งราคาถูกและแพงแตกต่างกัน ผู้วิจัยมีแนวคิดเอาโปรเซสเซอร์ นักพัฒนาซอฟต์แวร์มาใช้ในส่วนของการสื่อสาร ส่งข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์วัดค่าพลังงานนำไปเก็บยังระบบเซิร์ฟเวอร์ หรือระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ และแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ สามารถนำอุปกรณ์วัดค่าพลังงานที่สามารถแปลงค่าที่ได้จากการวัดจากระบบออนไลน์มาเป็นดิจิทัลมาทำงานร่วมกับโปรเซสเซอร์การรวบรวมและนำเสนอข้อมูลสู่ระบบเซิร์ฟเวอร์ หรือระบบคลาวด์เซิร์ฟเวอร์ได้ สามารถลดต้นทุน การใช้พลังงานหรือการผลิตพลังงานการเพิ่มประสิทธิภาพและเพิ่มมูลค่าของอุปกรณ์วัดค่าพลังงานจากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหา ดังกล่าวโดยใช้แนวความคิด “ออกแบบและสร้างสมาร์ทมิเตอร์”

#### 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดไฟฟ้าสมาร์ทมิเตอร์
- 2.2. เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดไฟฟ้าสมาร์ทมิเตอร์
- 2.3. เพื่อหาความเหมาะสมด้านการใช้งานของเครื่องมือวัดไฟฟ้าสมาร์ทมิเตอร์

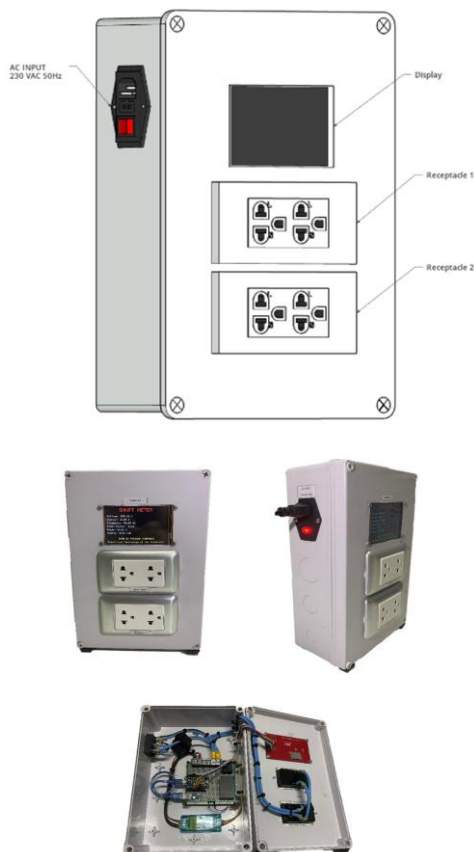
### 3. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องสารถีอัตโนมัติ เพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องสารถีอัตโนมัติ เพื่อหาความเหมาะสมด้านการใช้งานของเครื่องสารถีอัตโนมัติ

#### 3.1 เครื่องสารถีอัตโนมัติ มีขั้นตอนการออกแบบดังนี้

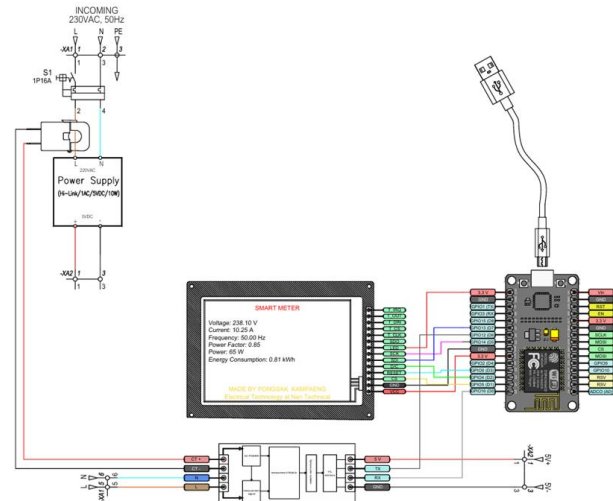
ขั้นตอนที่ 1 ผู้วิจัยมีการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีแนวคิดมุ่งเน้นนำอุปกรณ์ด้าน IoT สามารถในการทำงานในด้านการรับ-ส่ง ข้อมูลด้วยระบบการสื่อสารแบบไร้สายเป็นอุปกรณ์หลัก และใช้อุปกรณ์สำหรับวัดค่าพลังงานที่มีความสามารถในการรับ-ส่ง พื้นฐานแบบดิจิทัลมาเป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์การวัดค่าพลังงาน เพื่อส่งค่าที่วัดได้ให้กับอุปกรณ์หลักในการส่งค่า เพื่อบันทึกในระบบฐานข้อมูลซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวจะมุ่งเน้นอุปกรณ์ที่มีราคาถูก

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ในโครงการแล้วจึงได้ดำเนินการออกแบบและสั่งซื้ออุปกรณ์ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 โครงสร้างและส่วนประกอบของเครื่องสารถีอัตโนมัติ

ขั้นตอนที่ 3 ทำการออกแบบการต่อวงจรของเครื่องสารถีอัตโนมัติ



ภาพที่ 2 วงจรของเครื่องสารถีอัตโนมัติ

### 4. ผลการวิจัย

การออกแบบและสร้างสารถีอัตโนมัติ ผู้วิจัยนำเสนอผลการวิเคราะห์ผลการสร้างเครื่องสารถีอัตโนมัติ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องสารถีอัตโนมัติ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเหมาะสมด้านการใช้งานเครื่องสารถีอัตโนมัติ

#### 4.1 ผลการสร้างเครื่องสารถีอัตโนมัติ

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องจึงมีแนวคิดมุ่งเน้นนำอุปกรณ์ด้าน IoT ในการทำงานในด้านการรับ-ส่ง ข้อมูลด้วยระบบการสื่อสารแบบไร้สายเป็นอุปกรณ์หลักสำหรับวัดค่าพลังงานในการรับ-ส่ง เป็นอุปกรณ์เซ็นเซอร์การวัดค่าพลังงาน เพื่อส่งค่าที่วัดได้ให้กับอุปกรณ์หลักในการส่งค่าบันทึกในระบบฐานข้อมูล ตัวเครื่องสามารถวัดค่าแรงดัน, กระแส, ความถี่, ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์, กำลังไฟฟ้า, และค่าพลังงานที่ใช้เฉลี่ย ออกแบบโดยใช้กล่องพักสายขนาด สูง 300 มม. x กว้าง 200 มม. x ลึก 104 มม. อุปกรณ์ภายในประกอบด้วย จอแสดงผลขนาด 4.0 inch SPI serial screen backplane module with at least 4 IO drivers, โมดูลแปลงไฟ AC-DC HLK-10M05 Power Supply Module AC-DC 220 VAC to 5VDC, NodeMCU ESP8266 V2 CH9102 LUA Wifi based ESP8266-12E, โมดูลวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า PZEM-004T AC Digital Power Energy Meter Module V3.0 100A

#### 4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพของเครื่องสารถีอัตโนมัติ

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสารถีอัตโนมัติ ครอบคลุมผลการวิเคราะห์การทำงานตามเงื่อนไขการทำงาน โดยการจ่ายโหลดที่เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้พัลลคมขนาด 65 วัตต์ และอุปกรณ์ชาร์จมือถือขนาด 20 วัตต์ แล้ววัดความแม่นยำของการวัดค่าหน่วยพลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องที่วัดได้พร้อมบันทึกผลลงในตารางที่ 1

#### ตารางที่ 1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสมาร์ทมิเตอร์

| ครั้งที่ | เครื่องสมาร์ทมิเตอร์       | ตรวจวัดด้วยแคลมป์มิเตอร์   |        |          | ค่าความคลาดเคลื่อน (%) |
|----------|----------------------------|----------------------------|--------|----------|------------------------|
|          | (ตรวจวัด)                  | (คำนวณ)                    |        |          |                        |
|          | หน่วยพลังงานไฟฟ้ารวม (kWh) | หน่วยพลังงานไฟฟ้ารวม (kWh) |        |          |                        |
|          |                            | E                          | I      | kWh      |                        |
| 1        | 0.907 kWh                  | 234.80 V                   | 0.66 A | 0.8 kWh  | 13.375 %               |
| 2        | 1.056 kWh                  | 235.20 V                   | 0.47 A | 0.95 kWh | 11.157 %               |
| 3        | 1.186 kWh                  | 234.70 V                   | 0.61 A | 1 kWh    | 18.60 %                |
| 4        | 1.456 kWh                  | 234.90 V                   | 0.68 A | 1.2 kWh  | 21.33 %                |
| 5        | 1.604 kWh                  | 234.80 V                   | 0.51 A | 1.5 kWh  | 6.93 %                 |
| 6        | 1.809 kWh                  | 234.60 V                   | 0.66 A | 1.7 kWh  | 6.41 %                 |
| 7        | 2.024 kWh                  | 230.30 V                   | 0.65 A | 2 kWh    | 1.20 %                 |
| 8        | 2.385 kWh                  | 232.60 V                   | 0.58 A | 2.2 kWh  | 8.40 %                 |
| 9        | 2.646 kWh                  | 234.80 V                   | 0.49 A | 2.5 kWh  | 5.84 %                 |
| 10       | 2.903 kWh                  | 235.50 V                   | 0.57 A | 2.7 kWh  | 7.51 %                 |
| 11       | 3.217 kWh                  | 233.50 V                   | 0.68 A | 3.1 kWh  | 3.77 %                 |
| 12       | 3.639 kWh                  | 234.60 V                   | 0.64 A | 3.5 kWh  | 3.97 %                 |
|          | 2.069 kWh                  | 1.929 kWh                  |        |          | 7.26 %                 |

ตารางที่ 1 พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ จ่ายโหลดที่เป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้พัลลภขนาด 65 วัตต์ และอุปกรณ์ขาร์จมือถือขนาด 20 วัตต์ แล้ววัดความแม่นยำของการวัดค่าหน่วยพลังงานไฟฟ้ารวมของเครื่องที่วัดได้พร้อมบันทึกผลลงในตารางค่าหน่วยกำลังไฟฟ้ารวมเฉลี่ย 2.069 kWh เมื่อวัดเทียบกับ Clamp Meters โดยมีค่าแรงดันและกระแสเข้ามาคำนวณหาหน่วยกำลังไฟฟ้ารวมเฉลี่ย 1.929 kWh และมีค่าความคลาดเคลื่อนของหน่วยพลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ย 7.26 %

4.3 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ ครอบคลุมผลการวิเคราะห์การทำงานตามเงื่อนไขการทำงาน โดยการจ่ายโหลดเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้า แล้ววัดความแม่นยำของการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า

#### ตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการวัดด้วยเครื่องสมาร์ทมิเตอร์

| ช่วงเวลา (นาท) | วัดด้วยเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ |           |
|----------------|-----------------------------|-----------|
|                | แรงดัน (V)                  | กระแส (A) |
| 10             | 230.20 V                    | 0.66 A    |
| 20             | 232.40 V                    | 0.61 A    |
| 30             | 233.50 V                    | 0.68 A    |
| 40             | 232.60 V                    | 0.53 A    |
| 50             | 234.80 V                    | 0.46 A    |
| 60             | 235.60 V                    | 0.47 A    |
| ค่าเฉลี่ย      | 233.18 V                    | 0.57 A    |

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของการวัดด้วยเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ และค่าความคลาดเคลื่อน (%)

| ช่วงเวลา (นาท) | วัดด้วยดิจิตอลมิเตอร์  |           |
|----------------|------------------------|-----------|
|                | แรงดัน (V)             | กระแส (A) |
| 10             | 234.80 V               | 0.64 A    |
| 20             | 235.20 V               | 0.64 A    |
| 30             | 234.70 V               | 0.68 A    |
| 40             | 234.90 V               | 0.51 A    |
| 50             | 234.80 V               | 0.47 A    |
| 60             | 234.60 V               | 0.49 A    |
| ค่าเฉลี่ย      | 234.83 V               | 0.57 A    |
| ช่วงเวลา (นาท) | ค่าความคลาดเคลื่อน (%) |           |
|                | แรงดัน (V)             | กระแส (A) |
| 10             | 1.998 %                | 3.030 %   |
| 20             | 1.205 %                | 4.590 %   |
| 30             | 0.514 %                | 0.294 %   |
| 40             | 0.989 %                | 3.208 %   |
| 50             | 0 %                    | 2.391 %   |
| 60             | 0.424 %                | 3.404 %   |
| ค่าเฉลี่ย      | 0.708 %                | 0.469 %   |

ตารางที่ 2 พบว่า การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ จ่ายโหลดที่ 60 นาที่ ค่าแรงดันเฉลี่ย 233.18 โวลต์ ค่ากระแสเฉลี่ย 0.57 แอมป์ โดยเทียบกับการวัดด้วยดิจิตอลมิเตอร์ จ่ายโหลดที่ 60 นาที่ ค่าแรงดันเฉลี่ย 234.83 โวลต์ ค่ากระแสเฉลี่ย 0.57 แอมป์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันเฉลี่ย 0.708 % และค่าความคลาดเคลื่อนของกระแสเฉลี่ย 0.469 % โดยแบ่งการจ่ายโหลดออกเป็น 6 ช่วงเวลา

4.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความเหมาะสมด้านการใช้งานเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ การวิเคราะห์ข้อมูลประเมินความเหมาะสมด้านการใช้งานของเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ ครอบคลุมลักษณะทางกายภาพ และลักษณะการใช้งาน ดังนี้

#### 4.4.1 การประเมินลักษณะการใช้งาน ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 พบว่าผู้ประเมินมีความคิดเห็นต่อเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ ด้านลักษณะการใช้งานโดยภาพรวมเห็นว่ามีความเหมาะสมในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 4.03) ในรายงานพบว่ามีความคิดเห็นในระดับดี จำนวน 5 ข้อ เรียงตามลำดับค่าเฉลี่ยได้แก่ ข้อที่ 2 ความสะดวกในการใช้งาน, ข้อที่ 6 การส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์ ราบรื่นหรือไม่ มีความเหมาะสมในด้านดี (ค่าเฉลี่ย 4.40) ข้อที่ 5 อุปกรณ์มีความเสถียรในการใช้งานในระยะยาวหรือไม่ มีความเหมาะสมในด้านดี (ค่าเฉลี่ย 4.20) และค่าเฉลี่ยเท่ากัน ได้แก่ ข้อที่ 1 ระบบความปลอดภัยของเครื่อง และข้อที่ 4 ความเร็วในการแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ มีความเหมาะสมในด้านดี (ค่าเฉลี่ย 4.00) ความคิดเห็นระดับปานกลางจำนวน 2 ข้อ เรียงตามลำดับค่าเฉลี่ยได้แก่

ข้อที่ 3 ความแม่นยำในการวัดค่าทางไฟฟ้า มีความเหมาะสมในด้านปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 3.80) และข้อ 7 ง่ายต่อการบำรุงรักษา มีความเหมาะสมในด้านปานกลาง (ค่าเฉลี่ย 3.40)

ตารางที่ 3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะการใช้งานของเครื่องสมาร์ทมิเตอร์

| ลำดับ                    | รายการประเมิน                                  | $\bar{x}$ | S.D.  | แปลผล |
|--------------------------|------------------------------------------------|-----------|-------|-------|
| 1                        | ระบบความปลอดภัยของเครื่อง                      | 4.00      | 0.707 | ดี    |
| 2                        | การใช้งานได้สะดวก                              | 4.40      | 0.548 | ดี    |
| 3                        | แม่นยำในการวัดค่าทางไฟฟ้า                      | 3.80      | 0.837 | ดี    |
| 4                        | ความเร็วในการแสดงผลข้อมูลแบบเรียลไทม์          | 4.00      | 0.707 | ดี    |
| 5                        | อุปกรณ์มีความเสถียรในการใช้งานในระยะยาวหรือไม่ | 4.20      | 0.837 | ดี    |
| 6                        | การส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์ ราบรื่นหรือไม่     | 4.40      | 0.548 | ดี    |
| 7                        | ง่ายต่อการบำรุงรักษา                           | 3.51      | 0.548 | ดี    |
| ผลรวมด้านลักษณะการใช้งาน |                                                | 4.03      | 0.326 | ดี    |

4.4.2 การประเมินลักษณะทางกายภาพ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปรากฏดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเครื่องสมาร์ทมิเตอร์

| ลำดับ                    | รายการประเมิน                                    | $\bar{x}$ | S.D.  | แปลผล |
|--------------------------|--------------------------------------------------|-----------|-------|-------|
| 1                        | ขนาดของเครื่องมีความเหมาะสมหรือไม่               | 3.80      | 0.837 | ดี    |
| 2                        | ความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล | 4.20      | 0.837 | ดี    |
| 3                        | ความสามารถในการอัปเดตข้อมูลผ่านเครือข่าย         | 3.80      | 0.387 | ดี    |
| 4                        | วัสดุที่ใช้ แข็งแรง ทนทานหรือไม่                 | 3.80      | 0.387 | ดี    |
| 5                        | หน้าจอแสดงผล แสดงข้อมูลครบถ้วน ชัดเจนหรือไม่     | 3.80      | 0.387 | ดี    |
| ผลรวมด้านลักษณะทางกายภาพ |                                                  | 3.88      | 0.502 | ดี    |

จากตารางที่ 4 พบว่าผู้ประเมินมีความคิดเห็นต่อเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ ด้านลักษณะทางกายภาพโดยภาพรวมเห็นว่าเป็นความเหมาะสมใน

ระดับดี (ค่าเฉลี่ย 3.88) ในรายงานพบว่ามีความคิดเห็นในระดับดี จำนวน 5 ข้อ เรียงตามลำดับค่าเฉลี่ยได้แก่ ข้อที่ 2 ความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล มีความเหมาะสมในด้านดี (ค่าเฉลี่ย 4.20) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากัน 4 ข้อได้แก่ ข้อที่ 1 ขนาดของเครื่องมีความเหมาะสมหรือไม่ ข้อที่ 3 ความสามารถในการอัปเดตข้อมูลผ่านเครือข่าย, ข้อที่ 4 วัสดุที่ใช้ แข็งแรง ทนทานหรือไม่, ข้อที่ 5 หน้าจอแสดงผล แสดงข้อมูลครบถ้วน ชัดเจนหรือไม่ มีความเหมาะสมในด้านดี (ค่าเฉลี่ย 3.80)

## 5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีผลการวิเคราะห์ข้อมูลสมรรถนะของเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ผลความคลาดเคลื่อนของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องสมาร์ทมิเตอร์เปรียบเทียบกับผลการคำนวณค่ากระแสและแรงดันพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของหน่วยพลังงานไฟฟ้ารวมเฉลี่ย 7.26 % และผลการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าพบว่า ผลความคลาดเคลื่อนของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องสมาร์ทมิเตอร์เปรียบเทียบกับผลการวัดค่ากระแสและแรงดันด้วยมัลติมิเตอร์พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนของแรงดันเฉลี่ย 0.708 % และค่าความคลาดเคลื่อนของกระแสเฉลี่ย 0.469 % มีผลความพึงพอใจของเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ ด้านลักษณะการใช้งานพบว่าผู้ประเมินมีความคิดเห็นต่อเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ ภาพรวมเห็นว่าเป็นความเหมาะสมในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 4.03) และมีด้านลักษณะทางกายภาพโดยภาพรวมเห็นว่าเป็นความเหมาะสมในระดับดี (ค่าเฉลี่ย 3.88) การสร้างเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ จึงทำให้เครื่องสมาร์ทมิเตอร์ มีประสิทธิภาพสูง ผลประสิทธิภาพของเครื่องสมาร์ทมิเตอร์ มีความแม่นยำสูง การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการส่งข้อมูลไปยัง Data Base ควรมีการพัฒนาให้เครื่องสามารถวัดไฟฟ้า 3 เฟส และให้เครื่องสามารถ Monitor ค่าไฟฟ้าผ่านมือถือได้ คำนวณค่าไฟฟ้าได้ สามารถเปลี่ยนเครือข่ายเองได้โดยไม่ต้อง Upload Code ใหม่

## 6. อ้างอิง

- [1] จักรพงษ์ โนอั้ว และคณะ. (2566). เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าอัจฉริยะ สำหรับการติดตามสมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2566
- [2] ธนกร ศิริมงคลกานต์ (2567). การแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์. การประชุมวิชาการและการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 11 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 9 มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (NEUNIC 2024 ).
- [3] Tan, H.R., C. Lee, and V. Mok. Automatic power meter reading system using GSM network. in 2007 International Power Engineering Conference (IPEC 2007). 2007. IEEE.