



การพัฒนาระบบเฝ้าระวังและรายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊มระบบสระว่ายน้ำในอุตสาหกรรมโรงแรม

หาญพล มิตรวงศ์ วีระยุทธ สุดสมบูรณ์* ฉัตรชัย แก้วดี และ วีรพล ปานศรีนวล

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล

ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 9477 6487 อีเมล: weerayute_sud@nstru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2025.12.001

รับเมื่อ 20 พฤษภาคม 2568 แก้ไขเมื่อ 21 สิงหาคม 2568 ตอรับเมื่อ 12 กันยายน 2568 เผยแพร่ออนไลน์ 9 ธันวาคม 2568

© 2026 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบเฝ้าระวังและรายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊มของระบบสระว่ายน้ำในอุตสาหกรรมโรงแรม เพื่อทดสอบประสิทธิภาพและเพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ระบบได้รับการออกแบบโดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งร่วมกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้น และกระแสไฟฟ้า โดยสามารถส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ไปยังคลาวด์ (Cloud) และแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Telegram ผลการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำของเซ็นเซอร์อุณหภูมิ ความชื้น และกระแสไฟฟ้า เฉลี่ยที่ 96.90% 97.36% และ 97.17% ตามลำดับ ในแง่ของประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักรพบว่าเวลาเฉลี่ยในการซ่อมบำรุงลดลง 70.29% เวลาเฉลี่ยระหว่างความเสียหายเพิ่มขึ้น 37.39% อัตราความเสียหายลดลง และอัตราการใช้งานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นเป็น 99.16% นอกจากนี้ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญโดยรวมพบว่าระบบมีผลประสิทธิภาพอยู่ในระดับดี โดยเฉพาะในด้านการลดเวลาในการซ่อม ความแม่นยำในการรายงานข้อมูลและการลดต้นทุนการบำรุงรักษามีผลการประเมินอยู่ในระดับดีมาก ผลการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมพบว่าระบบใช้ต้นทุนรวม 8,948 บาท สามารถสร้างมูลค่าผลตอบแทนได้ถึง 18,603 บาทต่อปี และระบบสามารถคืนทุนได้ภายในเวลาเพียง 5 เดือน 24 วัน ระบบนี้จึงเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้จริงในงานบำรุงรักษาสระว่ายน้ำในโรงแรมหรือสถานที่ที่ต้องการการดูแลอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงาน

คำสำคัญ: ระบบเฝ้าระวังอัจฉริยะ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ อุตสาหกรรมโรงแรม

การอ้างอิงบทความ: หาญพล มิตรวงศ์, วีระยุทธ สุดสมบูรณ์, ฉัตรชัย แก้วดี, วีรพล ปานศรีนวล และ สิทธิชัย แก้วเกื้อกุล, “การพัฒนาระบบเฝ้าระวังและรายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊มระบบสระว่ายน้ำในอุตสาหกรรมโรงแรม,” วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 36, ฉบับที่ 1, หน้า 1-12, เลขที่บทความ 261-058002, ม.ค.-มี.ค. 2569, doi: 10.14416/j.kmutnb.2025.12.001.



The Development of an Intelligent Monitoring and Reporting System for Swimming Pool Pump Motor Maintenance in the Hotel Industry

Hanphon Mitwong, Weerayute Sudsomboon*, Chatchai Kaewdee and Weeraphol Pansrinual
Industrial Technology Program, Faculty of Industrial Technology, Nakhon Si Thammarat Rajabhat University,
Nakhon Si Thammarat, Thailand

Sittichai Kaewkuekool

Department of Production Technology Education, Faculty of Industrial Education and Technology, King Mongkut's University of
Technology Thonburi, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 9477 6487, E-mail: weerayute_sud@nstru.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2025.12.001

Received 20 May 2025; Revised 21 August 2025; Accepted 12 September 2025; Published online: 9 December 2025

© 2026 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research aims to design and develop an intelligent monitoring and reporting system for swimming pool pump motor maintenance in the hotel industry, evaluate its performance, and conduct an engineering economic analysis. The system was designed using Internet of Things (IoT) technology integrated with temperature, humidity, and current sensors. It can transmit real-time data to the cloud and send alerts via the Telegram application. The development and performance testing results revealed that the system's temperature, humidity, and current sensors achieved average accuracies of 96.90%, 97.36%, and 97.17%, respectively. Regarding maintenance performance, the average repair time decreased by 70.29%, the mean time between failures increased by 37.39%, the failure rate decreased, and machine utilization improved to 99.16%. In addition, expert evaluations rated the overall system performance as good. Specifically, the system received very good ratings for reducing repair time, improving data reporting accuracy, and lowering maintenance costs. The engineering economic analysis showed that the total cost of the system was 8,948 baht, with potential annual benefits valued at 18,603 baht. The payback period was only 5 months and 24 days. Therefore, this system is suitable for real-world application in swimming pool maintenance for hotels or other facilities that require efficient and energy-saving maintenance solutions.

Keywords: Intelligent Monitoring System, Internet of Things (IoT), Predictive Maintenance, Hotel Industry

Please cite this article as: H. Mitwong, W. Sudsomboon, C. Kaewdee, W. Pansrinual, and S. Kaewkuekool, "The development of an intelligent monitoring and reporting system for swimming pool pump motor maintenance in the hotel industry," *The Journal of KMUTNB*, vol. 36, no. 1, pp. 1–12, ID. 261-058002, Jan.-Mar. 2026 (in Thai), doi: 10.14416/j.kmutnb.2025.12.001.

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการโรงแรมเป็นส่วนหนึ่งในภาคอุตสาหกรรม การท่องเที่ยวและบริการที่พึ่งพาโครงสร้างพื้นฐานของอาคารอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นระบบปรับอากาศ ระบบไฟฟ้า ระบบสุขาภิบาล ระบบรักษาความปลอดภัย และระบบอำนวยความสะดวกอื่น ๆ เพื่อรองรับการให้บริการลูกค้าอย่างมีประสิทธิภาพ จากข้อมูลการสำรวจของสมาคมผู้ปฏิบัติงานช่างและพัฒนาฝีมือช่างภาคใต้พบว่าโรงแรมมีการนำเทคโนโลยีติดตามและรายงานผลการบำรุงรักษาเพียง ร้อยละ 28.57 ในขณะที่ร้อยละ 71.43 ยังคงพึ่งพากระบวนการบำรุงรักษาแบบดั้งเดิมที่ขาดระบบติดตามแบบเรียลไทม์ ซึ่งเป็นความท้าทายสำคัญของอุตสาหกรรมการโรงแรมในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ การขาดระบบตรวจสอบและติดตามสถานะการทำงานของระบบแบบเรียลไทม์ส่งผลต่อประสิทธิภาพการจัดการและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ เมื่อตรวจสอบความสำคัญของระบบต่าง ๆ ภายในโรงแรมพบว่าระบบที่ต้องการการดูแลและติดตามผลมากที่สุด ได้แก่ ระบบประปา คัดเป็นร้อยละ 31.00 รองลงมา คือ ระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้า คัดเป็นร้อยละ 23.00 ระบบสุขาภิบาล คัดเป็นร้อยละ 15.00 และระบบซักรีด คัดเป็นร้อยละ 8.00 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อรองรับการบำรุงรักษามีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับโรงแรม

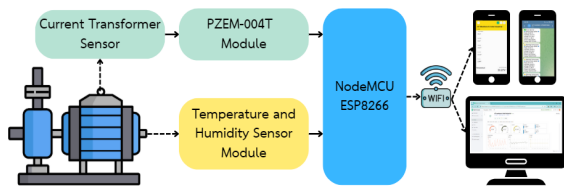
เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things) เป็นเทคโนโลยีสำคัญที่ช่วยพัฒนาระบบอัจฉริยะในภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น ในภาคเกษตรกรรม เทคโนโลยีนี้ถูกนำมาใช้ร่วมกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดความชื้นในดินเพื่อควบคุมระบบรดน้ำอัตโนมัติ [1] ขณะที่ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาใช้ในการติดตามการทำงานของเครื่องจักรและวางแผนการบำรุงรักษาอย่างมีประสิทธิภาพ [2] มีตัวอย่างการประยุกต์ใช้อย่างชัดเจน เช่น การพัฒนาระบบควบคุมเครื่องทำความเย็น (Chiller) ที่ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งทำงานร่วมกับตัวควบคุมแบบโปรแกรมได้ (PLC) ซึ่งสามารถควบคุมได้ทั้งแบบอัตโนมัติและแมนนวลผ่านจอควบคุม [3] แสดงว่าการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

ช่วยให้อุตสาหกรรมการผลิตตรวจสอบสถานะการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แบบเรียลไทม์สามารถแจ้งเตือนความผิดปกติได้อย่างแม่นยำ ลดความเสี่ยงในการเสียหายและช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ [4] สำหรับอุตสาหกรรมการโรงแรม เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งถูกนำมาใช้ในหลายด้าน เช่น ระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวหรือการปรากฏตัวของบุคคลภายในอาคารอัจฉริยะ [5], [6] รวมถึงแจ้งเตือนอัคคีภัยที่อาศัยเซ็นเซอร์ตรวจจับความร้อน คว้น และก๊าซ เพื่อให้สามารถแจ้งเตือนล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำ [7], [8] อีกทั้งยังมีการบูรณาการเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเข้ากับแบบจำลองข้อมูลอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบทำความร้อน การระบายอากาศ และการปรับอากาศ (HVAC) ช่วยลดการใช้พลังงานและเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้งาน [9] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเกี่ยวกับระบบประปาในโรงแรมยังไม่ถูกศึกษาอย่างครอบคลุม โดยเฉพาะในบริบทของโรงแรมที่มีข้อจำกัดทั้งด้านงบประมาณและทรัพยากรบุคคล มีเพียงบางงานวิจัยเท่านั้นที่เริ่มนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาใช้กับระบบปั๊มน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการและลดการใช้พลังงาน [10] รวมถึงการพัฒนาระบบบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์สำหรับเครื่องสูบน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้เซ็นเซอร์และวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ [11] นอกจากนี้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบปั๊มของอาคารอัจฉริยะ [12] งานวิจัยฉบับนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อออกแบบและพัฒนาระบบเผื่อระวังและรายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊มของระบบประปาในอุตสาหกรรมการโรงแรมด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบต้นแบบ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักรในระบบประปาและประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของระบบ และเพื่อวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมของระบบที่พัฒนาขึ้น

2. วิธีการทดลอง

2.1 ระบบเผื่อระวังและรายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊มของระบบประปาในอุตสาหกรรมการโรงแรม

กรอบแนวคิดการออกแบบและพัฒนาระบบเผื่อระวัง



รูปที่ 1 ระบบเฝ้าระวังและรายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์

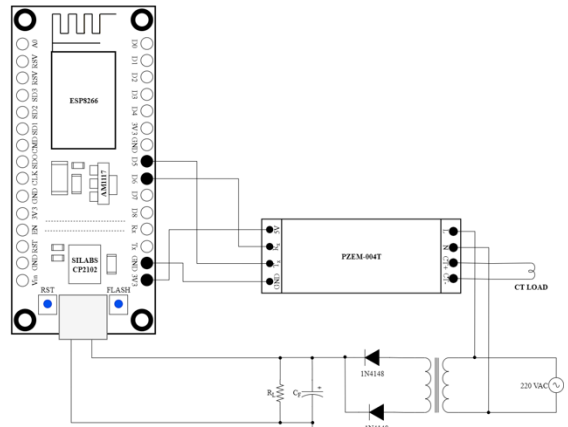
และรายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์ ประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ ภาคกำลังไฟฟ้า ภาคตรวจวัด ภาคประมวลผล และภาคแสดงผลรายงานผล ดังรูปที่ 1 โดยภาคกำลังไฟฟ้าทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟสำหรับปั้มน้ำ อุปกรณ์ควบคุม และอุปกรณ์ตัดต่อวงจรรวมถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ ภาคตรวจวัดทำหน้าที่วัดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ เช่น แรงดัน กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ภาคประมวลผลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์โนดเอ็มซียู (NodeMCU) ทำหน้าที่รวบรวมและประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์และส่งข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย (Wi-Fi) และภาคแสดงผลรายงานผลใช้แพลตฟอร์มรายงานผลบนสมาร์ทโฟนและคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

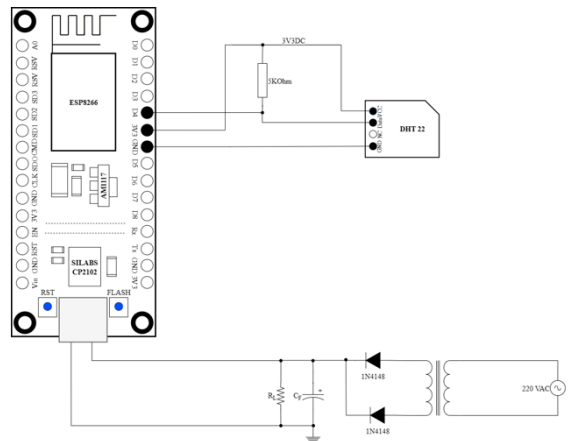
การเลือกใช้อุปกรณ์ในการพัฒนาระบบต้นแบบพิจารณาจากอุปกรณ์ที่มีการใช้งานง่าย ราคาประหยัด และมีความแม่นยำสูง โดยแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 ภาคตรวจวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าใช้หม้อแปลงกระแส (Current Transformer; CT) ร่วมกับโมดูลวัดค่าทางไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ PZEM-004T สามารถวัดแรงดันในช่วง 80–260 โวลต์ ($\pm 0.5\%$) กระแสไฟฟ้าสูงสุดถึง 100 แอมแปร์ และค่ากำลังไฟฟ้าข้อมูลจะถูกส่งผ่านพอร์ต UART ไปยังขา RX(D5) และ TX(D6) ของโนดเอ็มซียู ดังรูปที่ 2

2.2.2 ภาคตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ใช้เซ็นเซอร์ DHT22 ซึ่งมีความแม่นยำสูง สามารถวัดอุณหภูมิในช่วง -40 ถึง 80°C ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) และความชื้นสัมพัทธ์ในช่วง 0 – $100\%\text{RH}$ (± 2 – $5\%\text{RH}$) ข้อมูลจะถูกส่งผ่านขา Data ไปยังขา D4 ของโนดเอ็มซียู ดังรูปที่ 3



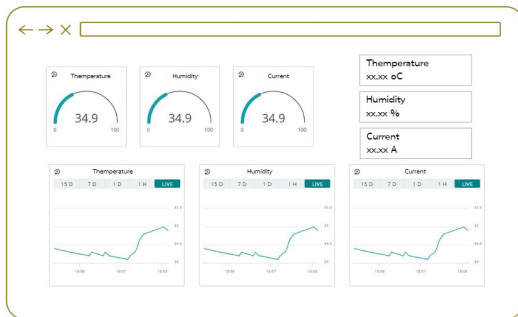
รูปที่ 2 ภาคตรวจวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้ากระแสสลับ



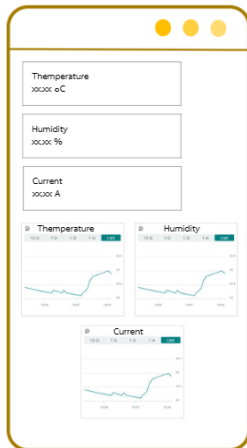
รูปที่ 3 ภาคตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

2.2.3 ภาคประมวลผลสัญญาณใช้โนดเอ็มซียู (ESP8266) ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายในตัว สามารถรับข้อมูลจากภาคตรวจวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ภาคตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์และส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ไปยังคลาวด์เพื่อแสดงผล รวมถึงแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Telegram

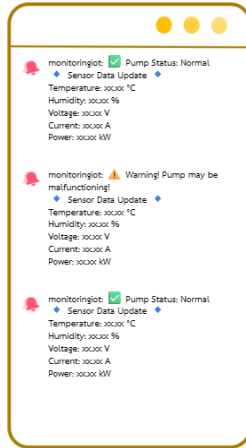
2.2.4 ภาคแสดงผลและรายงานผลประกอบด้วยระบบแคชบอร์ดที่สามารถเข้าถึงได้ผ่านคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน และแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์จากภาคประมวลผลสัญญาณ นอกจากนี้ยังสามารถส่งการแจ้งเตือนกรณีมอเตอร์ปั้มน้ำเมื่อเกิดการชำรุดหรือข้อมูลมีแนวโน้มสูงขึ้นหรือต่ำกว่าค่าที่



(ก) ส่วนรายงานผลคอมพิวเตอร์



(ข) ส่วนรายงานผลสมาร์ทโฟน



(ค) ส่วนแจ้งเตือนสมาร์ทโฟน

รูปที่ 4 ภาคแสดงผลและรายงานผล

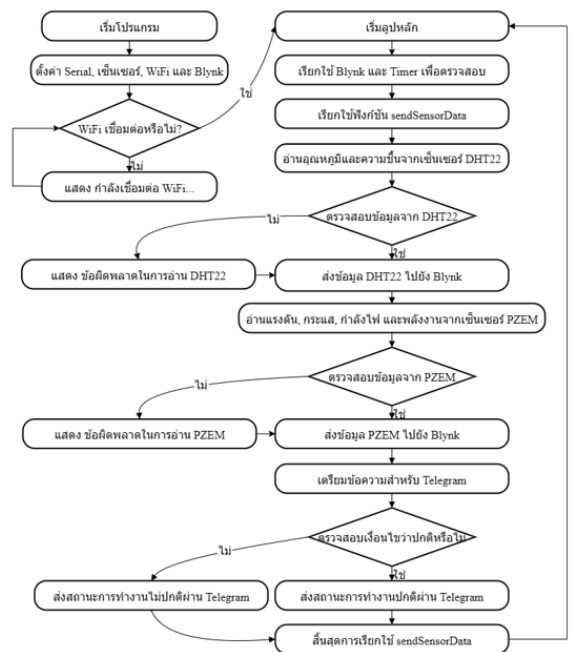
กำหนดผ่านแอปพลิเคชัน Telegram โดยออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ ดังรูปที่ 4 (ก)-(ค)

2.3 โปรแกรมควบคุมที่ใช้ในการทดลอง

โปรแกรมควบคุมของระบบต้นแบบเขียนด้วยภาษา C ผ่าน Arduino IDE มีโฟลว์ชาร์ต (Flowchart) การทำงาน ดังรูปที่ 5

2.3.1 ส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นและการเชื่อมต่อระบบ
เครือข่ายไร้สาย ทำหน้าที่ตั้งค่าพารามิเตอร์ เช่น ชื่อและรหัสผ่านของเครือข่ายไร้สาย รวมถึงโทเคน (Token) สำหรับเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชัน Blynk และ Telegram และตัวจับเวลาเฝ้าระวัง (Watchdog Timer)

2.3.2 ส่วนการอ่านข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ทำหน้าที่อ่านค่าจากโมดูล PZEM-004T และ DHT22 เพื่อแปลงข้อมูลสำหรับการประมวลผลและเก็บไว้ในตัวแปรที่กำหนด



รูปที่ 5 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของระบบที่พัฒนาขึ้น

2.3.3 ส่วนรายงานผล ทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่ถูกรวบรวมในตัวแปรและส่งต่อแสดงผลบนแดชบอร์ดแบบเรียลไทม์ทั้งบนคอมพิวเตอร์และสมาร์ทโฟน

2.3.4 ส่วนการแจ้งเตือน ทำหน้าที่แจ้งเตือนในกรณีที่มีมอเตอร์บีมชำรุดหรือหยุดทำงานหากพบค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นศูนย์และสามารถแจ้งเตือนในกรณีที่มีมอเตอร์บีมควรได้รับการบำรุงรักษาโดยพิจารณาจากค่าที่สูงหรือต่ำเกินกว่าขอบเขตที่กำหนดไว้ ระบบจะแจ้งเตือนข้อความไปยังแอปพลิเคชัน Telegram เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าดำเนินการบำรุงรักษาได้อย่างทันที

2.4 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองของระบบเฝ้าระวังและรายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์บีมที่พัฒนาขึ้น มี 8 ขั้นตอน ดังนี้

2.4.1 ศึกษาทฤษฎี แนวคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง การแสดงผลแบบแดชบอร์ดและระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ รวมถึงศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดำเนินงานบำรุงรักษาในอุตสาหกรรมโรงแรม

2.4.2 สังเคราะห์ข้อมูลและกำหนดกรอบการพัฒนาสำหรับการออกแบบระบบต้นแบบของระบบเฝ้าระวังและรายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊มด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งที่เหมาะสมกับบริบทของโรงแรม

2.4.3 ออกแบบระบบต้นแบบของระบบเฝ้าระวังและรายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊ม โดยคำนึงถึงความเหมาะสมในการใช้งานจริง

2.4.4 เสนอโครงสร้างระบบที่ออกแบบต่ออาจารย์ที่ปรึกษา เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ความเหมาะสม และความเป็นไปได้ของระบบ พร้อมนำข้อเสนอแนะไปปรับปรุง

2.4.5 พัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบดำเนินการประกอบอุปกรณ์ต้นแบบและเขียนโปรแกรมควบคุมให้ใช้งานได้จริง

2.4.6 ทดสอบระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้น เพื่อตรวจสอบความแม่นยำ (Accuracy) กับเครื่องมือวัดมาตรฐาน จำนวน 30 ครั้ง ดังสมการที่ (1) และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊ม ได้แก่ ระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซม (MTTR) ระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างความชำรุด (MTBF) อัตราการเสีย (Failure Rate) และอัตราการใช้งานของเครื่องจักร (Inherent Availability) ดังสมการที่ (2)–(5) [13], [14] รวมถึงวิเคราะห์ระยะเวลาดำเนินการ

$$\%Accuracy = 100 - \left(\left| \frac{X_{mea} - X_t}{X_t} \right| \times 100 \right) \quad (1)$$

เมื่อ X_{mea} คือ ค่าที่ได้จากการวัด

X_t คือ ค่าจริง

$$MTTR = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \quad (2)$$

$$MTBF = \frac{\sum_{i=1}^n BF_i}{n} \quad (3)$$

$$FR = \frac{1}{MTBF} \quad (4)$$

$$AI = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ $MTTR$ คือ ระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซม

$MTBF$ คือ ระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างความชำรุด

FR คือ อัตราการเสีย

AI คือ อัตราการใช้งานของเครื่องจักร

T_i คือ เวลาทั้งหมดที่หยุดทำงาน

BF_i คือ ระยะเวลาทั้งหมดที่เครื่องจักรทำงาน

n คือ จำนวนครั้งที่เครื่องจักรชำรุด

2.4.7 ประเมินผลการใช้งานระบบจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา

2.4.8 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาในอนาคต

3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

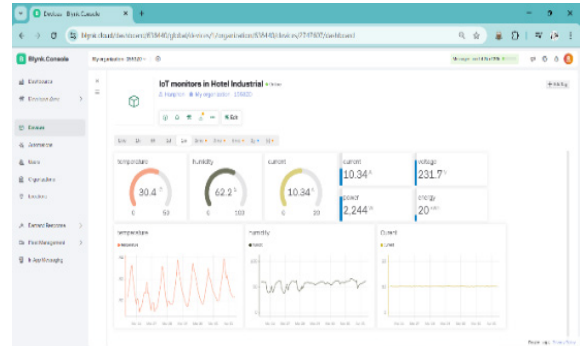
3.1 ผลการพัฒนากระบวนการต้นแบบของระบบเฝ้าระวังและรายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊ม

ผลการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบและโปรแกรมควบคุมของระบบต้นแบบแสดงดังรูปที่ 6 สำหรับผลการพัฒนาระบบแสดงผลและรายงานผ่านคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 7 และสมาร์ทโฟนแสดงดังรูปที่ 8 รวมถึงผลการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Telegram ดังรูปที่ 9

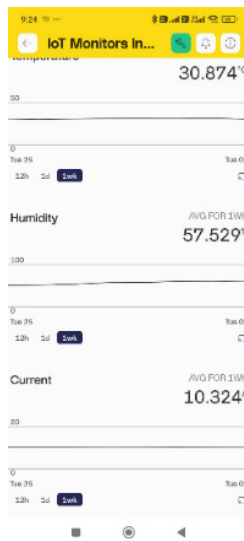
ผลการทดลองประสิทธิภาพการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊มก่อนและหลังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าอย่างชัดเจน สามารถลดระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซม 70.29% ลดอัตราการเสีย 26.79% เพิ่มระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างความชำรุด 37.39% และอัตราการใช้งานของเครื่องจักร 3.03% นอกจากนี้ระบบต้นแบบสามารถลดเวลาตรวจเช็คคลง 83.33% เพราะระบบสามารถตรวจเช็คแบบเรียลไทม์ รายงานผลและแจ้งเตือนกรณีที่มีมอเตอร์ปั๊มชำรุดหรือหยุดทำงานและกรณีที่มีมอเตอร์ปั๊มควรได้รับการบำรุงรักษา ต่างจากระบบเดิมที่ใช้การตรวจสอบด้วยสายตาและบันทึกด้วยมือซึ่งมีโอกาสผิดพลาดสูง



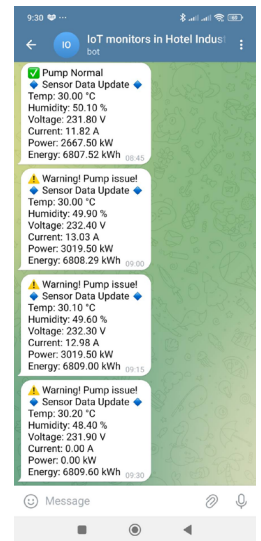
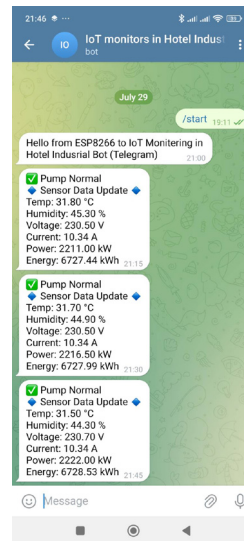
รูปที่ 6 อุปกรณ์ต้นแบบระบบเฝ้าระวังที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 7 ระบบรายงานผลบนคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 8 ระบบรายงานผลบนสมาร์ทโฟนที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 9 ระบบแจ้งเตือนบนสมาร์ทโฟนที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊ม

พารามิเตอร์	ก่อน	หลัง	เพิ่ม/ลด
MTTR (ชั่วโมง)	7.00	2.08	-4.92
MTBF (ชั่วโมง)	179.00	245.92	+66.92
FR (ครั้งต่อชั่วโมง)	0.0056	0.0041	-0.0015
AI (เปอร์เซ็นต์)	96.24	99.16	+2.92

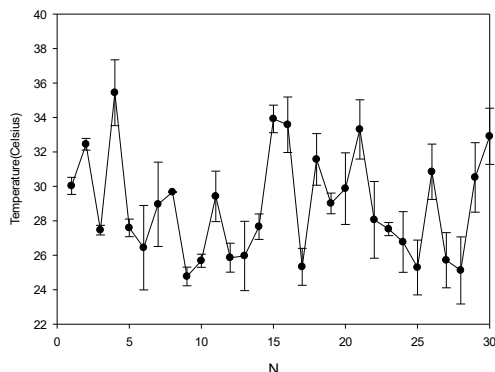
3.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพระบบต้นแบบ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพระหว่างระบบต้นแบบกับเครื่องมือวัดมาตรฐานสำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้น (UT333) และวัดกระแสไฟฟ้า (UT202A+) เพื่อวิเคราะห์

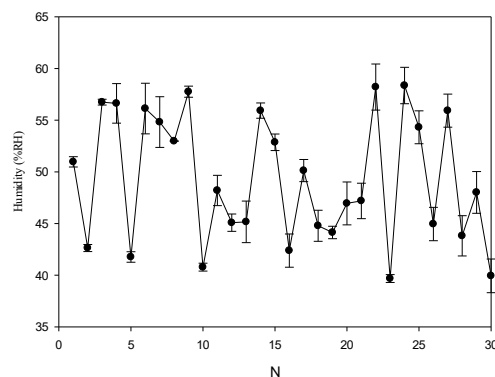
ความแม่นยำของการวัดค่าอุณหภูมิและความชื้น ดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ขณะที่การกระแสไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 12

ผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบต้นแบบพบว่าความแม่นยำของการวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 96.90% 97.36% และ 97.17% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ภายในช่วงความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ $\pm 5\%$ แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถแสดงข้อมูลที่มีความถูกต้องและน่าเชื่อถือเพียงพอสำหรับการใช้งานจริง

ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญพบว่า ค่าเฉลี่ยหลังการใช้งานระบบอยู่ในระดับดี โดยเฉพาะด้านการลดเวลาในการดำเนินการซ่อมบำรุงรวมถึงความแม่นยำ



รูปที่ 10 ความแม่นยำของการวัดค่าอุณหภูมิ

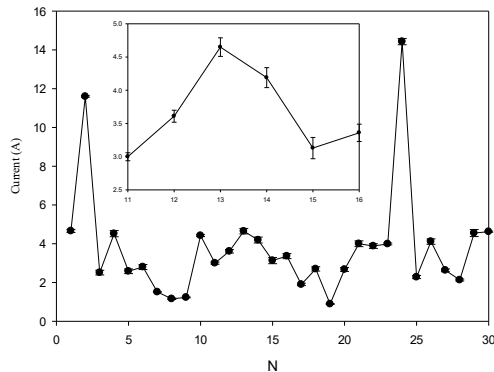


รูปที่ 11 ความแม่นยำของการวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์

ในการรายงานข้อมูลและการติดตามสถานะการซ่อมบำรุงที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับดีมาก ขณะที่ด้านความสามารถในการปรับตัวในโรงแรม ความสะดวกในการใช้งาน การจัดการซ่อมบำรุงที่หลากหลาย การแจ้งเตือนข้อผิดพลาด และการเข้าถึงข้อมูลระบบมีค่าเฉลี่ยอยู่ระดับดี

3.3 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน

ผลวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของระบบต้นแบบตามหลักเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ดังตารางที่ 2 พบว่าระบบต้นแบบมีต้นทุนครั้งแรก ประมาณ 6,250 บาท ในขณะที่ต้นทุนรายปีมีค่าประมาณ 2,698 บาท ดังนั้นต้นทุนรวมปีแรกประมาณ 8,948 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับในแต่ละปีมีค่าประมาณ 18,603.16 บาท ใช้เวลาคืนทุนประมาณ 5 เดือน 24 วัน



รูปที่ 12 ความแม่นยำของการวัดค่ากระแสไฟฟ้า

ตารางที่ 2 ต้นทุนและผลตอบแทนของระบบต้นแบบ

ต้นทุน/ผลตอบแทน	รายการ	ค่าประมาณ (บาท)
ต้นทุนลงทุนครั้งแรก	เซ็นเซอร์อุณหภูมิและความชื้น	200.00
	เซ็นเซอร์วัดกระแส	300.00
	บอร์ดควบคุม	250.00
	อุปกรณ์ประกอบ	2,000.00
	ค่าแรงติดตั้ง	1,500.00
	ค่าฝึกอบรม	2,000.00
	รวมต้นทุนลงทุนครั้งแรก	6,250.00
ต้นทุนรายปี	ค่าบำรุงเซิร์ฟเวอร์/คลาวด์	1,500.00
	ค่าบำรุงรักษาระบบ	800.00
	ค่าเสื่อมราคาอุปกรณ์ (15%)	398.00
	รวมต้นทุนรายปี	2,698.00
ผลตอบแทนต่อปี	ลดเวลาการตรวจเช็ค	9,855.00
	ลดเวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซม	3,188.16
	ยืดอายุการใช้งานอุปกรณ์	5,560.00
	รวมผลประโยชน์ต่อปี	18,603.16

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการบำรุงรักษาอื่นหลัง 1 ปี จำนวน 1 เครื่อง ก่อนติดตั้งระบบต้นแบบกับมอเตอร์ปั๊มของโรงแรมแห่งหนึ่งที่เป็นสมาชิกในสมาคมผู้บริหารงานช่างและพัฒนาฝีมือช่างภาคใต้ พบว่า มีต้นทุนค่าใช้จ่ายรวมต่อปี 69,400 บาท โดยหลังติดตั้งระบบต้นแบบสามารถลดต้นทุนได้ 13.91% หรือประมาณ 9,655.16 บาทในปีแรก และลด

ต้นทุนได้ 22.92% หรือประมาณ 15,905.16 บาทในปีถัดไป อย่างไรก็ตาม ยังมีความเสี่ยงจากการเปลี่ยนแปลงราคา ค่าบริการเซิร์ฟเวอร์ในอนาคต ซึ่งอาจเพิ่มขึ้นตามนโยบาย ผู้ให้บริการหรือความต้องการผู้ใช้ จึงควรพิจารณาต้นทุนอย่าง สม่ำเสมอ และวางแผนสำรองเพื่อลดผลกระทบต่อความคุ้มค่า

ของระบบในระยะยาว

จากการเปรียบเทียบองค์ประกอบของระบบที่พัฒนา ขึ้นกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [3], [15]–[19] ดังแสดงใน ตารางที่ 3 พบว่าระบบมีความแตกต่างด้านอุปกรณ์ที่เลือกใช้ และมีจุดเด่นด้านต้นทุนและประสิทธิภาพการทำงาน

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบเทคโนโลยีระบบเฝ้าระวังและรายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊มที่พัฒนาขึ้นกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รายละเอียด/อุปกรณ์		งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง						
		This work	[3]	[15]	[16]	[17]	[18]	[19]
เครื่องจักร	มอเตอร์	•			•	•		
	เครื่องทำความเย็น		•	•				
	เครื่องกรองน้ำ						•	•
ไมโครคอนโทรลเลอร์	Arduino UNO		•			•		
	Raspberry Pi		•					
	PLC						•	
	ESP8266	•		•	•			•
	ESP32						•	
เซ็นเซอร์ที่ใช้	Temperature	•	•	•	•	•		•
	Humidity	•		•				
	Current	•			•	•		
	Flow Meter		•					
	CO ₂			•				
	C ₂ H ₄			•				
	vibration				•			
	Speed					•		
	pH						•	•
	Pressure						•	•
	Conductivity							•
	Level							•
การสื่อสาร	Wi-Fi	•		•	•	•	•	•
	Serial Port		•					
การแสดงผลและ การแจ้งเตือน	Node-Red		•					
	NETPIE				•			
	Blynk	•					•	
	ThingSpeak			•				
	Web-based					•		•
	Telegram	•						
ต้นทุน		ต่ำ	สูง	สูง	ปานกลาง	ปานกลาง	สูง	ปานกลาง
พลังงาน		ต่ำ	สูง	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำ	สูง	ต่ำ

โดยในส่วนของระบบที่พัฒนาขึ้นนี้เน้นการติดตามและบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊มน้ำ สอดคล้องกับงานวิจัย [16] และ [17] ขณะที่บางงานเน้นอุปกรณ์อื่น เช่น ซิลเลอร์ [3], [15] หรือเครื่องกรองน้ำ [18], [19] สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบเลือกใช้ ESP8266 ซึ่งมีข้อดีด้านราคาประหยัด พลังงานต่ำ และรองรับการเชื่อมต่อไร้สาย ปรากฏในงานวิจัย [15], [16], [19] เช่นกัน ขณะที่บางงานยังใช้ Arduino UNO หรือ Raspberry Pi ซึ่งมีต้นทุนสูงกว่าและใน [18] ใช้ ESP32 กับ PLC ที่เหมาะกับระบบอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ด้านเซ็นเซอร์ ระบบใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ความชื้น และกระแสไฟฟ้า เพียงพอสำหรับตรวจสอบการทำงานของมอเตอร์ และตรงกับงานวิจัย [3], [15]–[17] ส่วนบางงานใช้เซ็นเซอร์เพิ่มเติม เช่น แรงดัน ความสั่นสะเทือน ค่าพีเอช (pH) ความเร็ว และ CO₂ เพื่อรองรับระบบที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น สำหรับการสื่อสารระบบนี้ใช้ Wi-Fi ซึ่งเป็นเทคโนโลยียอดนิยมในงานวิจัย [3], [16]–[19] ต่างจาก [15] ที่ใช้ Serial Port ซึ่งเหมาะกับระบบควบคุมแบบปิด ด้านการแสดงผลและแจ้งเตือน ระบบเลือกใช้ Blynk และ Telegram ซึ่งแสดงผลแบบเรียลไทม์และแจ้งเตือนผ่านอุปกรณ์พกพาสะดวกกว่างานวิจัย [15]–[18] ที่ใช้ Node-RED, NETPIE, ThingSpeak หรือ Web-based ที่อาจต้องอาศัยทักษะทางเทคนิคเพิ่มเติม ทั้งนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นมีต้นทุนรวมต่ำ เนื่องจากใช้อุปกรณ์ราคาย่อมเยาและติดตั้งง่ายต่างจาก [15], [18], [19] ที่มีต้นทุนสูงจากการใช้อุปกรณ์ขั้นสูงและระบบซับซ้อน อีกทั้งยังใช้พลังงานต่ำ สอดคล้องกับแนวโน้มการพัฒนาาระบบอัจฉริยะที่มุ่งเน้นประสิทธิภาพด้านพลังงาน

4. สรุปผลการทดลอง

จากการดำเนินการออกแบบ พัฒนา และทดสอบระบบ รายงานผลการบำรุงรักษามอเตอร์ปั๊มน้ำสำหรับระบบสระว่ายน้ำ ในอุตสาหกรรมโรงแรมพบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและตอบสนองความต้องการใช้งานจริงในโรงแรมได้เป็นอย่างดี โดยระบบสามารถส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดไปยังแพลตฟอร์มออนไลน์และแจ้งเตือน

ผ่านแอปพลิเคชัน Telegram แบบเรียลไทม์ ทำให้สามารถติดตามสถานะของอุปกรณ์และดำเนินการบำรุงรักษาได้อย่างรวดเร็วและทันท่วงที

ผลการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญต่อระบบที่พัฒนาขึ้นชี้ให้เห็นว่าระบบมีจุดเด่นด้านความสะดวกในการใช้งาน ความแม่นยำในการแสดงผลข้อมูลและการแจ้งเตือนที่สามารถลดความล่าช้าในการตัดสินใจซ่อมบำรุง ในด้านความคุ้มค่าระบบที่พัฒนาขึ้นมีโครงสร้างต้นทุนที่เหมาะสม ใช้งานสะดวกและอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในท้องตลาด ทำให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้จริงในเชิงพาณิชย์ อีกทั้งยังสามารถต่อยอดพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อรองรับการบำรุงรักษาระบบอื่น ๆ ภายในโรงแรมในอนาคตได้อย่างยืดหยุ่น นอกจากนี้ระบบที่พัฒนาขึ้นยังได้มีการนำตัวจับเวลาเผื่อระวังเข้ามาใช้งาน ซึ่งเป็นกลไกที่ฝังอยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ช่วยตรวจจับความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทำงานของระบบ เช่น กรณีที่โปรแกรมหยุดทำงานโดยไม่คาดคิดหรือเกิดปัญหาในการเชื่อมต่อเครือข่าย ซึ่งส่งผลให้ไม่สามารถรับส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ได้อย่างต่อเนื่องและทำให้การแจ้งเตือนผ่านแพลตฟอร์มล่าช้าหรือไม่ทำงาน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในสถานการณ์จริง จึงได้มีการทดลองใช้งานระบบเป็นระยะเวลา 7 วัน โดยให้ระบบทำงานตลอด 24 ชั่วโมง และจำลองเหตุการณ์ที่ทำให้ระบบค้าง เพื่อสังเกตการตอบสนองพบว่าเมื่อระบบประสบกับภาวะค้างหรือไม่ตอบสนอง ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถสั่งรีเซ็ตให้กลับมาทำงานได้โดยไม่ต้องแก้ไขจากผู้ใช้งานอย่างไรก็ตามจากการนำไปทดลองใช้งานพบว่าผู้ใช้งานบางรายอาจไม่ได้ปฏิบัติตามรูปแบบการใช้งานที่กำหนดไว้ เช่น การไม่เปิดแอปพลิเคชันเพื่อตรวจสอบการแจ้งเตือน หรือไม่ตอบสนองต่อข้อความเตือนทันที อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบลดลงในบางกรณี ดังนั้นควรมีแนวทางอบรมหรือให้คำแนะนำการใช้งานที่ชัดเจนแก่สมาคมผู้บริหารงานช่างและพัฒนาฝีมือช่างภาคใต้ เพื่อให้ระบบสามารถตอบสนองและทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพตามที่ออกแบบไว้

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Suwanrit, W. Sudsomboon, C. Kaewdee, and W. Pansrinuan, "Development of an automatic water dispensing control system for durian orchards via smartphone application," *Journal of Academic Institute of Vocational Education Southern Region 1*, vol. 9, no. 1, pp. 50–59, 2024 (in Thai).
- [2] S. Tadsuan and P. Taerakul, "Design and development of a compost production system controlled by the Internet of Things," *The Journal of Industrial Technology*, vol. 20, no. 1, pp. 16–31, 2024 (in Thai).
- [3] S. Payakthong, S. Maithomklang, and N. Paenoi, "Development of real-time monitoring and control system for chillers using Internet of Things technology," *Journal of Industrial Technology and Engineering, Pibulsongkram Rajabhat University*, vol. 5, no. 1, pp. 11–29, 2023 (in Thai).
- [4] A. Manowong and P. Klomjit, "Improving data collection and production control of packaging using the Internet of Things (IoT) in line with Total Productive Maintenance (TPM) principles," *Kasem Bundit Engineering Journal*, vol. 14, no. 3, pp. 19–34, 2024 (in Thai).
- [5] P. Tipaksorn, A. Wiwek, and A. Pairote, "A cloud-based AIoT application in smart building," *Rajamangala University of Technology Lanna Engineering Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 52–61, 2022 (in Thai).
- [6] S. Songmuang, "Smart security system on Raspberry Pi with face recognition and object detection," *Kasem Bundit Engineering Journal*, vol. 14, no. 3, pp. 35–53, 2024 (in Thai).
- [7] W. Ponpatcharapong and P. Khampliw, "Fire alarm system by using economic thermal imaging and true photography," *Journal of Technology Management, Rajabhat Maha Sarakham University*, vol. 9, no. 1, pp. 73–82, 2022 (in Thai).
- [8] K. Deemet, S. Buakao, T. Nityaprapha, and T. Aksorn, "Smoke detectors and fire alarms via Line Notify," *Rattanakosin Journal of Science and Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 87–97, 2023 (in Thai).
- [9] V. Villa, B. Naticchia, G. Bruno, K. Aliev, P. Piantanida, and D. Antonelli, "IoT open-source architecture for the maintenance of building facilities," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 12, pp. 5374, 2021.
- [10] A. Jones and C. Brown, "Smart pumps: The future of water management," *Journal of Water Technology*, vol. 15, no. 2, pp. 123–145, 2024.
- [11] D. Smith, E. Garcia, and F. Lee, "IoT-enabled predictive maintenance for industrial pumps," *Engineering Reports*, vol. 8, no. 4, pp. 567–589, 2023.
- [12] G. Williams, "Energy efficiency in pumping systems: An IoT approach," *Sustainable Energy Journal*, vol. 20, no. 1, pp. 78–92, 2022.
- [13] S. Preangprom, S. Tumrongsuk, and W. Anuntajalearchork, "Increasing production efficiency by maintenance planning: A case study of a conveyor belt machine in the receiving-distribution room," *The Journal of KMUTNB*, vol. 31, no. 2, pp. 251–258, 2021 (in Thai).
- [14] R. Niyomrath, B. Muangmeesri, S. Siritongthaworn,



- S. Korbuakaew, P. Kaewsaiha, and P. Prapanapapome, "Application of Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) on machine maintenance for grinding stone production," *Journal of Industrial Technology and Engineering, Pibulsongkram Rajabhat University*, vol. 6, no. 3, pp. 335–353, 2024 (in Thai).
- [15] M. Mohammed, K. Riad, and N. Alqahtani, "Design of a smart IoT-based control system for remotely managing cold storage facilities," *Sensors*, vol. 22, no. 13, pp. 1–29, 2022.
- [16] K. Rueangrit, N. Chayavanich, C. Prapanavarat, and E. Mujjalinvimut, "Fault detection and protection development while motor working with platform of NETPIE," *SAU Journal of Science and Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 1–21, 2020 (in Thai).
- [17] P. Triwong, C. Tangsiriworakul, J. Songboonkaew, and C. Manop, "Low-cost remote monitoring system for electric motor condition using Arduino," *Journal of Engineering*, vol. 29, no. 4, pp. 65–74, 2019 (in Thai).
- [18] J. Songbunkaew, M. Rattanakorn, and Y. Watthanathanasarn, "Development of water purifier monitoring and maintenance system via internet system," *Journal of Thonburi University (Science and Technology)*, vol. 3, no. 1, pp. 54–65, 2019 (in Thai).
- [19] I. M. Khalil and H. N. Abdulrazzak, "Monitoring of water purification process based on IoT," *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 2278–2834, 2019.