

ระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT เพื่อการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

Real-time IoT-based Temperature Monitoring and Analysis System for Refrigeration Equipment for Preventive Maintenance

ชัยณรงค์ จันทรธูม¹, ศุภลักษณ์ บาทโพธิ์², เมธากร ทองขาวบัว³, อรรหาวิ เจ๊ะสะแม⁴

¹สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยธนบุรี, chainarong_it@thonburi-u.ac.th

²สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยธนบุรี, suphalak.bp@gmail.com

³สาขาวิชาวิทยาการข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยธนบุรี, maytagorn@thonburi-u.ac.th

⁴สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลมีเดีย, มหาวิทยาลัยธนบุรี, Jehsamae_cc@thonburi-u.ac.th

บทคัดย่อ

เครื่องทำความเย็นมีบทบาทสำคัญในการรักษาคุณภาพของสินค้าในหลากหลายอุตสาหกรรม ไม่ว่าจะเป็นอาหาร ยารักษาโรค หรือกระบวนการผลิตต่างๆ อย่างไรก็ตาม เมื่อเครื่องทำความเย็นประสบปัญหาจากการทำงานที่ไม่ได้เต็มประสิทธิภาพ หรือ เกิดปัญหาไม่สามารถทำความเย็นได้จะส่งผลกระทบทำให้สินค้าเสียหาย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT ด้วยการประยุกต์ใช้ ESP32 และ DS18B20 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ซึ่งระบบสามารถตรวจสอบการทำงานของเครื่องทำความเย็นได้แบบเรียลไทม์ โดยการใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ วิเคราะห์แนวโน้ม และมีฟังก์ชันการแจ้งเตือนอัตโนมัติเมื่อค่าที่วัดได้เกินขีดจำกัดที่กำหนด ทำให้ทีมช่างสามารถทราบได้ทันทีว่าจุดติดตั้งในสถานที่ใดเกิดปัญหา ทำให้สามารถเข้าพื้นที่แก้ไขได้ทันที่ นอกจากนี้ยังช่วยลดภาระงานการบันทึกการวัดและตรวจสอบอุณหภูมิด้วยมือของพนักงาน ซึ่งอาจก่อให้เกิดข้อผิดพลาดได้ การนำระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT มาใช้ จะช่วยลดความเสียหายของสินค้าจากปัญหาเครื่องทำความเย็นทำงานผิดปกติ เพิ่มความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมให้ดีขึ้น

คำหลัก: อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ตรวจสอบวัดอุณหภูมิ เครื่องทำความเย็น

Abstract

Cooling systems are vital in maintaining product quality across various industries, including food, pharmaceuticals, and manufacturing processes. However, when cooling systems experience problems from inefficient operation or inability to cool properly, this can result in product damage. For this reason, the research team has developed a real-time cooling system

temperature monitoring and analysis system using IoT, applying ESP32 and DS18B20 to enhance preventive maintenance efficiency. The system can monitor cooling system operations in real time by using DS18B20 temperature sensors and ESP32 microcontrollers. Furthermore, it can record temperature data, analyze trends, and provide immediate alerts when abnormal temperatures are detected, allowing the technical team to instantly identify which installation location is experiencing problems and enabling timely on-site resolution. Additionally, it reduces the workload of manual temperature measurement and monitoring by employees, which could lead to errors. Implementing this real-time cooling system temperature monitoring and analysis system using IoT will help reduce product damage from abnormal cooling system operation, increase customer satisfaction, and improve overall operational efficiency.

Keywords: Internet of Things, Temperature Monitoring, Cooling System

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในโลกของอุตสาหกรรมสมัยใหม่ เทคโนโลยีการทำความเย็นถือเป็นหัวใจสำคัญของการรักษาคุณภาพและความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ในหลากหลายภาคส่วน ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมยาและเวชภัณฑ์ หรือแม้แต่กระบวนการผลิตที่ต้องการการควบคุมอุณหภูมิที่แม่นยำ การรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมไม่เพียงแต่ช่วยยืดอายุผลิตภัณฑ์ แต่ยังเป็นการประกันคุณภาพและความปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค แม้กระทั่งในธุรกิจขนาดเล็กและขนาดกลาง เช่น ร้านอาหาร ร้านเครื่องดื่ม ร้านสะดวกซื้อ และซูเปอร์มาร์เก็ต จำเป็นต้องใช้ระบบทำความเย็นเพื่อรักษาคุณภาพของสินค้าและบริการ ด้วยความสำคัญอันยิ่งยวดนี้ การเกิดการทำงานที่ไม่เป็นไปตามประสิทธิภาพที่กำหนดในระบบทำความเย็นแม้เพียงชั่วขณะ ก็อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อสินค้าเสียหายที่มีมูลค่าสูง ส่งผลต่อความสูญเสียทางการเงินและความเชื่อมั่นของลูกค้า

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วยเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) โดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 เพื่อยกระดับประสิทธิภาพในการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงและความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากความผิดปกติของระบบทำความเย็น ระบบนี้ออกแบบมาให้สามารถติดตามและบันทึกข้อมูลอุณหภูมิแบบเรียลไทม์ วิเคราะห์แนวโน้มการทำงานของเครื่อง และแจ้งเตือนทันทีเมื่อตรวจพบอุณหภูมิที่สูงผิดปกติ ซึ่งช่วยให้ทีมช่างหรือผู้ดูแลระบบสามารถเข้าแก้ไขปัญหาได้อย่างทันท่วงที นอกจากนี้ ระบบยังช่วยลดภาระงานของพนักงานในการบันทึกอุณหภูมิด้วยมือทุกชั่วโมง ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความเสี่ยงต่อข้อผิดพลาดอันเกิดจากข้อจำกัดของมนุษย์ การประยุกต์ใช้แอปพลิเคชันตรวจวัดอุณหภูมิด้วยเทคโนโลยี IoT นี้ อาศัยอุปกรณ์เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 ร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งทำงานร่วมกันเพื่อตรวจวัดอุณหภูมิแบบเรียลไทม์ บันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบ และส่งการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน ระบบดังกล่าวไม่เพียงแต่ช่วยลดข้อผิดพลาดจากการบันทึกข้อมูลด้วยมือเท่านั้น แต่ยังช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถวางแผนการบำรุงรักษาเครื่อง

ทำความเข้าใจได้อย่างมีประสิทธิภาพและเหมาะสมตามระยะเวลา ด้วยการนำเทคโนโลยี IoT มาประยุกต์ใช้ในการติดตามอุณหภูมิเครื่องทำความเย็น จึงเป็นการยกระดับมาตรฐานการดำเนินธุรกิจ ลดความเสี่ยงของการเสียหายของสินค้า เพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมขององค์กร

วัตถุประสงค์

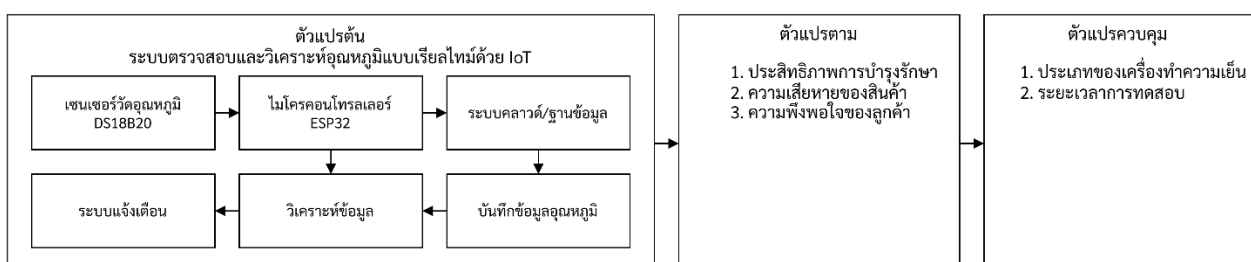
1. เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วยเทคโนโลยี Internet of Things (IoT) โดยการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 เพื่อยกระดับประสิทธิภาพในการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
2. เพื่อบันทึกข้อมูลการวัดอุณหภูมิของเครื่องทำความเย็น หรือ ตู้แช่สินค้า
3. เพื่อวิเคราะห์การทำงานของเครื่องทำความเย็น สำหรับการบำรุงรักษา
4. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาขึ้นในด้านความแม่นยำและความเร็วในการแจ้งเตือน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มความแม่นยำและประสิทธิภาพในการตรวจสอบอุณหภูมิ ด้วยระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วยเทคโนโลยี Internet of Things (IoT)
2. ลดความเสียหายของสินค้าและเพิ่มประสิทธิภาพการแก้ไขปัญหา
3. ขยายการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น ใช้ตรวจสอบอุณหภูมิตู้เย็นและห้องเย็นสำหรับเก็บรักษา ยา เวชภัณฑ์ และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ หรือ เก็บสารเคมี หรืออุณหภูมิในโรงเรือนเพาะเห็ด เป็นต้น

กรอบแนวคิด

แนวคิดและทฤษฎีที่สอดคล้องกับแผนภาพกรอบแนวคิดนี้ เน้นการบูรณาการเทคโนโลยี IoT, Real-Time Monitoring, Preventive Maintenance, Data Analytics, Sensor Technology, Cloud Computing, Alert System, และ Microcontroller Technology เพื่อพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและลดความเสียหายของสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

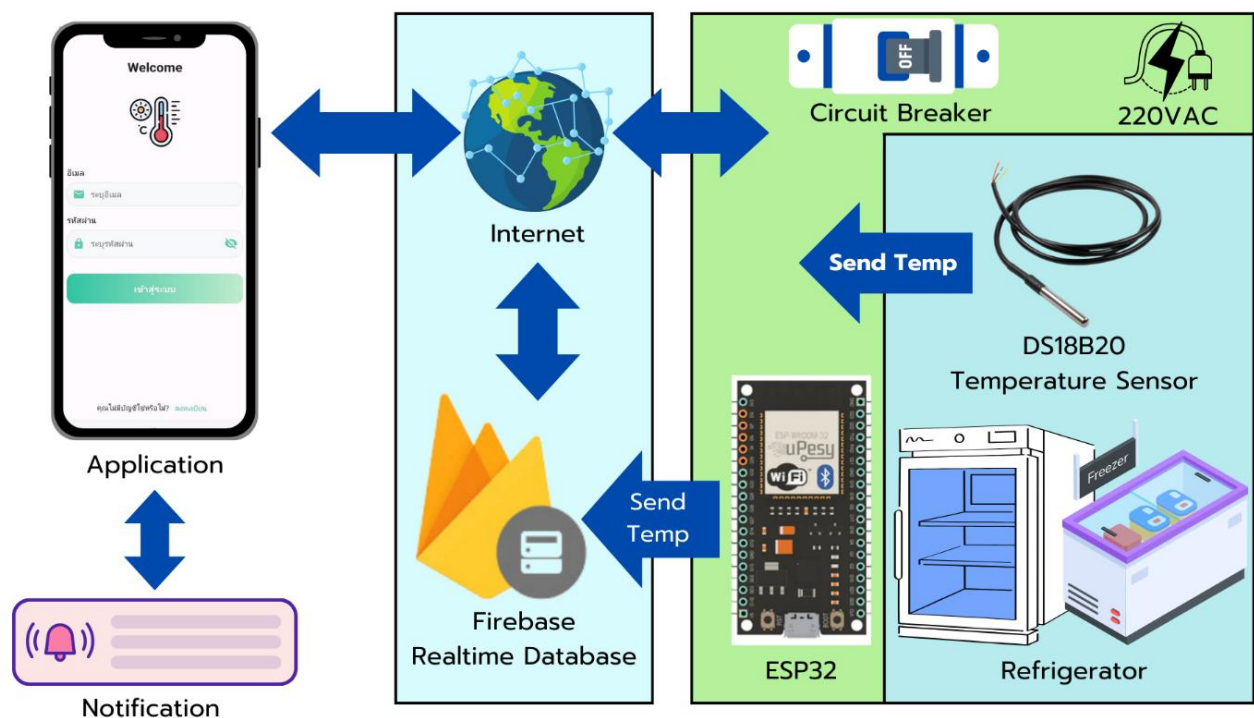


ภาพ 1 กรอบแนวคิดงานวิจัย

สมมติฐาน

H_0 : ระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและความพึงพอใจของลูกค้า

H_1 : ระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT มีผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าอย่างมีนัยสำคัญ



ภาพ 2 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบ

จากภาพ 2 สามารถอธิบายโครงสร้างสถาปัตยกรรมของระบบ ซึ่งสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน คือ เซนเซอร์และอุปกรณ์ ฐานข้อมูล และแอปพลิเคชัน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 เซนเซอร์และอุปกรณ์ จะเริ่มต้นเมื่อมีการจ่ายไฟให้วงจรทำงาน เมื่อมีไฟเลี้ยงวงจร เซนเซอร์จะคอยตรวจจับอุณหภูมิภายในเครื่องทำความเย็นหรือตู้แช่ตลอดเวลา แล้วส่งค่าไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 โดยกำหนดไว้ให้ส่งค่าทุกๆ 10 นาที (สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามรูปแบบการตรวจเช็คอุณหภูมิของแต่ละร้าน) ซึ่งเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งข้อมูลค่าอุณหภูมิที่วัดได้ไปยัง Cloud Storage ของ Firebase เพื่อเก็บข้อมูลแบบ Real-Time

ส่วนที่ 2 ฐานข้อมูล Firebase Real-Time Database เป็น NoSQL Cloud Database ที่เก็บข้อมูลในรูปแบบของ JSON และมีการ sync ข้อมูลแบบ Real-Time โดยข้อมูลล่าสุดที่ถูกจัดเก็บจะถูกเรียกใช้งานด้วยการแสดงผลบนหน้าจอแอปพลิเคชันทั้งรูปแบบเป็นตัวเลข และกราฟ

ส่วนที่ 3 แอปพลิเคชัน ใช้ในการกำหนดค่าอุณหภูมิ ตรวจสอบ และวิเคราะห์ผลข้อมูล โดยสามารถกำหนดเป็นช่วงของอุณหภูมิที่ต้องการได้ในแต่ละเซนเซอร์ พร้อมทั้งแสดงผลอุณหภูมิในรูปแบบตัวเลขและกราฟได้ ในกรณีอุณหภูมิไม่อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้หรือมีแนวโน้มขึ้นหรือลงจากที่กำหนดไว้ แอปพลิเคชันจะประเมินสถานะการทำความเย็นและมีข้อความแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ และช่างทราบเพื่อเข้าแก้ไขต่อไป

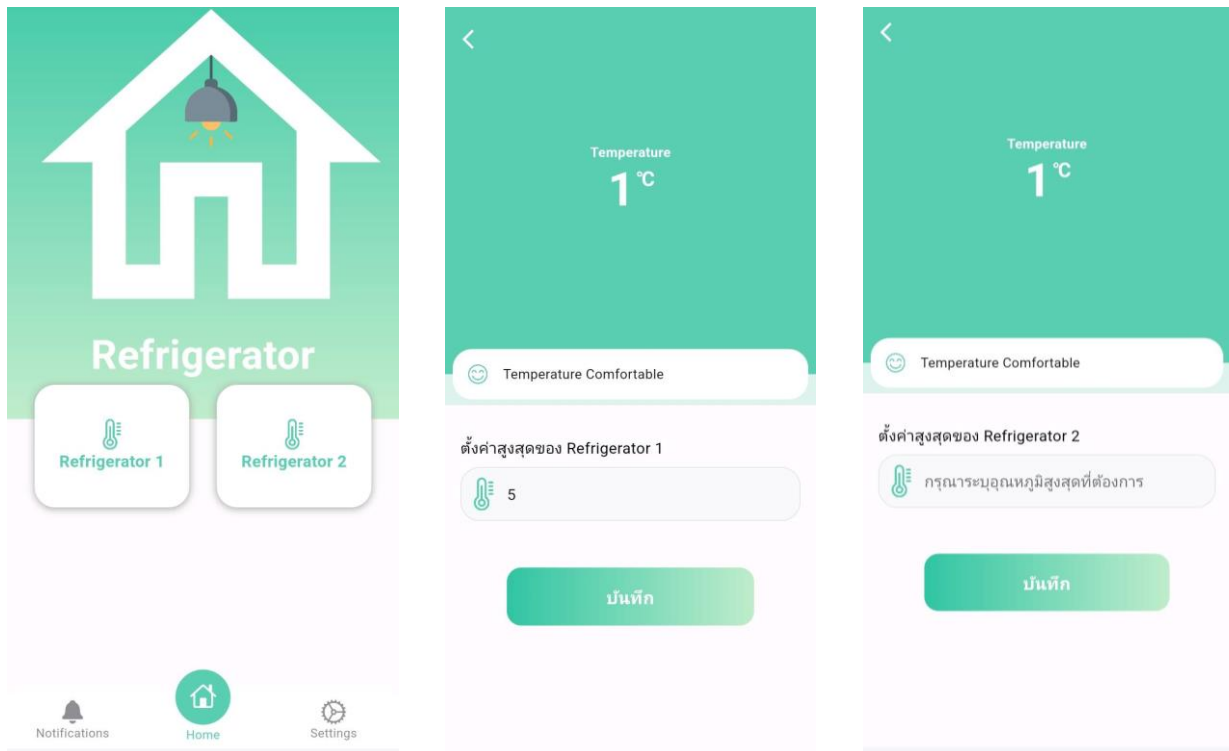
วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เครื่องทำความเย็นหรือตู้แช่ จำนวน 20 เครื่อง ที่ใช้งานในร้านค้า 5 แห่ง โดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง คือ เครื่องทำความเย็นที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 10 ปี และร้านค้าที่ยินดีให้ความร่วมมือในการทดสอบระบบ
2. ขนาดตัวอย่าง ใช้เครื่องทำความเย็นหรือตู้แช่ จำนวน 10 เครื่อง จาก 5 ร้านค้า
3. ตัวแปร ตัวแปรอิสระ ได้แก่ ระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT (ใช้เซนเซอร์ DS18B20 และ ESP32) ตัวแปรตาม ได้แก่ ประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ความเสียหายของสินค้า ความพึงพอใจของลูกค้า ตัวแปรควบคุม ได้แก่ สภาพแวดล้อมการทำงานของเครื่องทำความเย็น (อุณหภูมิและความชื้น) ประเภทของเครื่องทำความเย็น และระยะเวลาการทดสอบ (3 เดือน)
4. ออกแบบและพัฒนาระบบ
5. การเก็บรวบรวมข้อมูล โดยมีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล ดังนี้
 - ติดตั้งเซนเซอร์และชุดควบคุมบนเครื่องทำความเย็นแต่ละเครื่องในกลุ่มตัวอย่าง
 - ระบบจะบันทึกอุณหภูมิของเครื่องทำความเย็นทุก 10 นาที และส่งข้อมูลไปยังระบบคลาวด์
 - วิเคราะห์ข้อมูลผ่านแอปพลิเคชันเพื่อตรวจสอบแนวโน้มการทำงานของเครื่องทำความเย็น และแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิผิดปกติ
 - บันทึกจำนวนครั้งและเวลาที่ทีมช่างเข้าซ่อมบำรุงเครื่องทำความเย็น
 - บันทึกปริมาณสินค้าเสียหายก่อนและหลังการทดสอบระบบ
 - แจกแบบสอบถามความพึงพอใจให้กับผู้ใช้งานหลังการทดสอบระบบ
6. เครื่องมือที่ใช้
 - เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20
 - ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32
 - ระบบคลาวด์สำหรับบันทึก
 - แอปพลิเคชันที่ใช้งานและวิเคราะห์ข้อมูล
 - แบบสอบถามความพึงพอใจของลูกค้า
7. ระยะเวลาการทดสอบ 3 เดือน
8. วิเคราะห์ข้อมูล

- สถิติเชิงพรรณนา ค่าเฉลี่ย (Mean) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิที่วัดได้
- สถิติเชิงอนุมาน การทดสอบค่า t-test เพื่อเปรียบเทียบความเสียหายของสินค้าก่อนและหลังการทดสอบระบบ
- การวิเคราะห์ความพึงพอใจ ใช้ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเพื่อวิเคราะห์ผลแบบสอบถามความพึงพอใจ

ผลการวิจัย

1. ผลการพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT เพื่อการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน



ภาพ 3 หน้าจอแสดงอุณหภูมิของเซนเซอร์

2. ผลการทดสอบการทำงานของระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์

การทดสอบระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT บนเครื่องทำความเย็นจำนวน 10 เครื่อง จาก 5 ร้านค้า เป็นระยะเวลา 3 เดือน ได้ผลดังตารางต่อไปนี้

ตาราง 1 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

ร้านค้า	รหัสเครื่อง	อายุการใช้งาน (ปี)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (°C)
ร้านที่ 1	A-01	2	2.1	0.4

ร้านค้า	รหัสเครื่อง	อายุการใช้งาน (ปี)	อุณหภูมิเฉลี่ย (°C)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (°C)
	A-02	3	3.2	1.1
ร้านที่ 2	B-01	3	2.3	0.5
	B-02	7	3.5	1.2
ร้านที่ 3	C-01	4	2.4	0.6
	C-02	5	2.9	0.9
ร้านที่ 4	D-01	2	2.0	0.3
	D-02	2	2.8	0.8
ร้านที่ 5	E-01	3.5	2.2	0.5
	E-02	6	3.8	1.3
ค่าเฉลี่ยรวม			2.7	0.8

2.1 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่วัดได้ จากการบันทึกอุณหภูมิทุก 10 นาที พบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของเครื่องทำความเย็นทั้ง 10 เครื่อง มีค่าเฉลี่ยที่ 2.7°C (S.D. = 0.8°C) โดยพบว่าเครื่องทำความเย็นที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 6 ปี มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่สูงกว่าและมีค่าความแปรปรวนมากกว่าเครื่องที่มีอายุน้อยกว่า 5 ปี อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

2.2 การตรวจจับอุณหภูมิผิดปกติ ระบบสามารถตรวจจับอุณหภูมิผิดปกติได้ทั้งสิ้น 32 ครั้ง ตลอดระยะเวลา 3 เดือน แบ่งเป็น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอย่างฉับพลัน 18 ครั้ง (56.25%) สาเหตุเกิดจากคอมเพรสเซอร์ ระบบทำความเย็น และไฟดับ การลดลงของอุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่กำหนด 9 ครั้ง (28.13%) เกิดจากการปรับตั้งค่าเทอร์โมสแตท และความแปรปรวนของอุณหภูมิที่ผิดปกติ 5 ครั้ง (15.62%) เกิดจากระบบควบคุมและเซนเซอร์ที่ติดตั้ง

3. ประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

3.1 จำนวนครั้งในการซ่อมบำรุง ทำการเปรียบเทียบจำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงระหว่างช่วงเวลาก่อนและหลังการติดตั้งระบบ พบว่า ก่อนติดตั้งระบบมีการซ่อมบำรุงทั้งสิ้นจำนวน 10 ครั้ง (รวมทั้ง 5 ร้านช่วง 3 เดือน) หลังติดตั้งระบบมีการซ่อมบำรุงทั้งสิ้นจำนวน 8 ครั้ง (รวมทั้ง 5 ร้านช่วง 3 เดือน) คิดเป็นการลดลงของการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขร้อยละ 20

3.2 ระยะเวลาเฉลี่ยในการรอซ่อมบำรุง ก่อนติดตั้งระบบ 142 นาที/ครั้ง (S.D. = 38.5 นาที) หลังติดตั้งระบบ: 68 นาที/ครั้ง (S.D. = 22.3 นาที) คิดเป็นการลดลงของระยะเวลาซ่อมบำรุงร้อยละ 52.11

4. ความเสียหายของสินค้า

จากการเปรียบเทียบมูลค่าความเสียหายของสินค้ายก่อนและหลังการติดตั้งระบบ โดยใช้การทดสอบค่า t-test พบว่า มูลค่าความเสียหายของสินค้ายก่อนติดตั้งระบบ 9,850 บาท (S.D. = 1,320 บาท) มูลค่าความเสียหาย

ของสินค้าหลังติดตั้งระบบ 3,260 บาท (S.D. = 780 บาท) ที่ค่า $t = 3.85$, $p < 0.01$ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งระบบส่งผลให้มูลค่าความเสียหายของสินค้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คิดเป็นการลดลงร้อยละ 66.90

5. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ พบว่าระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ($r = 0.78$, $p < 0.01$) และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเสียหายของสินค้า ($r = -0.82$, $p < 0.01$) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

6. ความพึงพอใจของลูกค้า

ตาราง 2 จากการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

รายการประเมิน	ระดับความพึงพอใจ		
	μ	σ	แปลผล
1. ความสะดวกในการใช้งานแอปพลิเคชัน	4.35	0.62	มาก
2. ความถูกต้องในการแจ้งเตือน	4.42	0.58	มาก
3. ความรวดเร็วในการแจ้งเตือน	4.68	0.47	มากที่สุด
4. ประโยชน์ต่อการบำรุงรักษา	4.75	0.44	มากที่สุด
5. ความคุ้มค่าของระบบ	4.22	0.71	มาก
ความพึงพอใจโดยรวม	4.48	0.56	มาก

จากตารางผลการสำรวจความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ พบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจสูงที่สุดในด้าน "ประโยชน์ต่อการบำรุงรักษา" ที่ค่าเฉลี่ย 4.75 (S.D. = 0.44) อยู่ในระดับ "มากที่สุด" แสดงให้เห็นว่าระบบมีประโยชน์อย่างยิ่งในการช่วยดูแลรักษาอุปกรณ์หรือระบบที่เกี่ยวข้อง รองลงมาคือ "ความรวดเร็วในการแจ้งเตือน" ที่ค่าเฉลี่ย 4.68 (S.D. = 0.47) อยู่ในระดับ "มากที่สุด" เช่นกัน ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพของระบบในการแจ้งเตือนที่ทันท่วงที "ความพึงพอใจโดยรวม" อยู่ที่ค่าเฉลี่ย 4.48 (S.D. = 0.56) ระดับ "มาก" สะท้อนว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในภาพรวมของระบบในระดับสูง "ความถูกต้องในการแจ้งเตือน" ได้ค่าเฉลี่ย 4.42 (S.D. = 0.58) ระดับ "มาก" แสดงว่าระบบมีความแม่นยำในการแจ้งเตือนที่ดี "ความสะดวกในการใช้งานแอปพลิเคชัน" มีค่าเฉลี่ย 4.35 (S.D. = 0.62) ระดับ "มาก" บ่งชี้ว่าแอปพลิเคชันมีการออกแบบที่ใช้งานง่าย "ความคุ้มค่าของระบบ" ได้คะแนนต่ำที่สุด ที่ค่าเฉลี่ย 4.22 (S.D. = 0.71) แต่ยังคงอยู่ในระดับ "มาก" ซึ่งอาจเป็นประเด็นที่ควรปรับปรุงมากที่สุด แม้ว่าจะได้คะแนนดีก็ตาม

โดยภาพรวม ผลการสำรวจแสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพสูงในการบำรุงรักษาและการแจ้งเตือน ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจในระดับมากถึงมากที่สุดในทุกด้าน โดยเฉพาะในด้านประโยชน์ต่อการบำรุงรักษาและความรวดเร็วในการแจ้งเตือน ส่วนด้านที่อาจพิจารณาปรับปรุงเพิ่มเติมคือเรื่องความคุ้มค่าของระบบ

7. ผลการทดสอบสมมติฐาน

ทดสอบด้วยวิธี Paired t-test เพื่อเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการติดตั้งระบบ พบว่า จำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงก่อนติดตั้งระบบ เฉลี่ย 10 ครั้ง (S.D. = 2.35) หลังติดตั้งระบบ เฉลี่ย 8 ครั้ง (S.D. = 1.82) ค่าสถิติ $t(9) = 3.47, p < 0.01$ จำนวนครั้งในการซ่อมบำรุงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 คิดเป็นการลดลงร้อยละ 20 ระยะเวลาเฉลี่ยในการซ่อมบำรุงก่อนติดตั้งระบบ เฉลี่ย 142 นาที/ครั้ง (S.D. = 38.5 นาที) หลังติดตั้งระบบ เฉลี่ย 68 นาที/ครั้ง (S.D. = 22.3 นาที) ค่าสถิติ $t(9) = 5.21, p < 0.001$ ระยะเวลาในการซ่อมบำรุงลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 คิดเป็นการลดลงร้อยละ 52.11 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ยังแสดงให้เห็นว่า การใช้ระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันในภาพรวม ($r = 0.78, p < 0.01$) โดยมีความสัมพันธ์เชิงลบกับจำนวนครั้งในการซ่อมบำรุง ($r = -0.72, p < 0.01$) และระยะเวลาในการซ่อมบำรุง ($r = -0.81, p < 0.01$)

การวิเคราะห์มูลค่าความเสียหายของสินค้าก่อนและหลังการติดตั้งระบบด้วยวิธี Paired t-test พบว่า ก่อนติดตั้งระบบ เฉลี่ย 9,850 บาท (S.D. = 1,320 บาท) และหลังติดตั้งระบบ เฉลี่ย 3,260 บาท (S.D. = 780 บาท) ค่าสถิติ: $t(9) = 3.85, p < 0.01$ มูลค่าความเสียหายของสินค้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 คิดเป็นการลดลงร้อยละ 66.90 นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ยังพบว่า การใช้ระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT มีความสัมพันธ์เชิงลบกับมูลค่าความเสียหายของสินค้า ($r = -0.82, p < 0.01$) และประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีความสัมพันธ์เชิงลบกับความเสียหายของสินค้า ($r = -0.75, p < 0.01$)

การวิเคราะห์ระดับความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบด้วยวิธี One Sample t-test เปรียบเทียบกับเกณฑ์ระดับมาก (3.51) พบว่า ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจโดยรวม 4.48 (S.D. = 0.56) ค่าสถิติ $t(49) = 12.28, p < 0.001$ ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อระบบในระดับมาก ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำของระดับมากอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.001 เมื่อพิจารณาความพึงพอใจในแต่ละด้าน พบว่า ความสะดวกในการใช้งานแอปพลิเคชัน 4.35 (S.D. = 0.62) อยู่ในระดับมาก ความถูกต้องในการแจ้งเตือน 4.42 (S.D. = 0.58) อยู่ในระดับมาก ความรวดเร็วในการแจ้งเตือน 4.68 (S.D. = 0.47) อยู่ในระดับมากที่สุด ประโยชน์ต่อการบำรุงรักษา 4.75 (S.D. = 0.44) อยู่ในระดับมากที่สุด และความคุ้มค่าของระบบ 4.22 (S.D. = 0.71) อยู่ในระดับมาก

จากผลการทดสอบสมมติฐานทั้งหมดข้างต้น สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับสมมติฐานรอง (H_1) ซึ่งสรุปได้ว่า ระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT มีผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าอย่างมีนัยสำคัญ

การวิจัยนี้ยังพบความสัมพันธ์ที่น่าสนใจระหว่างอายุการใช้งานของเครื่องทำความเย็นกับความแปรปรวนของอุณหภูมิ ($r = 0.69, p < 0.05$) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าเครื่องทำความเย็นที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 5 ปี มีแนวโน้มที่จะมีความแปรปรวนของอุณหภูมิสูงกว่า และอาจต้องการการเฝ้าระวังมากขึ้น

ดังนั้นระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT จึงเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ลดความเสียหายของสินค้า และสร้างความพึงพอใจให้แก่ผู้ใช้งาน ซึ่งนำไปสู่การประหยัดทรัพยากรและต้นทุนในระยะยาว

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT โดยมีผลลัพธ์ที่สำคัญ คือ การตรวจสอบอุณหภูมิ อุณหภูมิเฉลี่ยของเครื่องทำความเย็น 10 เครื่อง 2.7°C (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.8°C) เครื่องทำความเย็นที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 5 ปี มีความแปรปรวนของอุณหภูมิสูงอย่างมีนัยสำคัญ การปรับปรุงประสิทธิภาพการบำรุงรักษา การลดลงของค่าการซ่อมบำรุงก่อนติดตั้งระบบ 10 ครั้ง และหลังติดตั้งระบบลดลงเหลือ 8 ครั้ง ทำให้อัตราการลดลงเป็นร้อยละ 20 ของการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข การลดลงของระยะเวลาการซ่อมบำรุง ก่อนติดตั้งระบบใช้เวลา 142 นาทีต่อครั้ง และหลังติดตั้งระบบ 68 นาทีต่อครั้ง ลดลงร้อยละ 52.11 ของเวลาการซ่อมบำรุง การลดความเสียหายของสินค้า มูลค่าความเสียหายของสินค้ายกก่อนติดตั้งระบบประเมินราคา 9,850 บาท หลังติดตั้งระบบ 3,260 บาท ลดลงร้อยละ 66.90 ความพึงพอใจของลูกค้าจาก 5 ระดับ พบว่าความพึงพอใจโดยรวม 4.48 และรายการที่คะแนนประเมินสูงสุด 2 อันดับแรก คือ ประโยชน์ต่อการบำรุงรักษา 4.75 (พอใจมากที่สุด) และความรวดเร็วในการแจ้งเตือน 4.68 (พอใจมากที่สุด) และจากผลการทดสอบสมมติฐานทั้งหมดข้างต้น สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก (H_0) และยอมรับสมมติฐานรอง (H_1) ซึ่งสรุปได้ว่า ระบบตรวจสอบและวิเคราะห์อุณหภูมิเครื่องทำความเย็นแบบเรียลไทม์ด้วย IoT มีผลเชิงบวกต่อประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าอย่างมีนัยสำคัญ

การวิจัยนี้ยังพบความสัมพันธ์ที่น่าสนใจระหว่างอายุการใช้งานของเครื่องทำความเย็นกับความแปรปรวนของอุณหภูมิ ($r = 0.69$, $p < 0.05$) ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าเครื่องทำความเย็นที่มีอายุการใช้งานมากกว่า 5 ปี มีแนวโน้มที่จะมีความแปรปรวนของอุณหภูมิสูงกว่า และอาจต้องการการเฝ้าระวังมากขึ้น

อภิปรายผล

การวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบตรวจสอบอุณหภูมิและบำรุงรักษาโดยใช้เทคโนโลยี Internet of Things (IoT) และไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ผลการวิจัยพบว่าเครื่องทำความเย็นที่มีอายุการใช้งานเกิน 5 ปี มีความแปรปรวนของอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพสินค้าและเพิ่มการใช้พลังงาน การค้นพบนี้สอดคล้องกับงานของ Wu et al. (2019) ที่ศึกษาเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของระบบทำความเย็น โดยระบุว่าอายุการใช้งานที่ยาวนานส่งผลให้ประสิทธิภาพการควบคุมอุณหภูมิลดลง และแนะนำให้ใช้เซนเซอร์ตรวจสอบแบบต่อเนื่องเพื่อป้องกันความเสียหาย (Wu et al., 2019) การพัฒนาระบบในงานวิจัยนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Babiuch et al. (2019) ที่พิสูจน์ว่า ESP32 เหมาะสำหรับการประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์ในระบบ IoT ด้วยความแม่นยำสูง (Babiuch et al.,

2019) และสามารถแจ้งเตือนได้ทันทีเมื่อพบปัญหา หรือมีแนวโน้มการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ อีรพงศ์ สงผัด และคณะ (2566) นอกจากนี้ ยังพบว่าเซนเซอร์ DS18B20 มีความแม่นยำสูง อ้างอิงจากงานของ Koestoer et al. (2019) ที่พบว่า สามารถลดข้อผิดพลาดของเซนเซอร์จาก $\pm 3.00\%$ เหลือ $\pm 0.85\%$ (Koestoer et al., 2019) ทำให้การเลือกใช้งานเซนเซอร์ DS18B20 สามารถได้ผลการตรวจจับที่แม่นยำ ผลลัพธ์จากการวิจัย พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นลดความถี่การซ่อมบำรุงลง 20% ลดระยะเวลาการซ่อมบำรุงลง 52.11% และลดมูลค่าความเสียหายของสินค้าลง 66.90% ซึ่งบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการควบคุมอุณหภูมิ และการแจ้งเตือนล่วงหน้า ผู้ใช้งานรายงานความพึงพอใจสูงในด้านความรวดเร็วของการแจ้งเตือนและประโยชน์ต่อการบำรุงรักษา ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Crispin P. and Noguerra, Jr. (2023) ที่เน้นว่าการออกแบบระบบที่คำนึงถึงผู้ใช้เป็นศูนย์กลางช่วยเพิ่มการยอมรับและประสิทธิภาพ (Crispin P. and Noguerra, Jr. (2023)) อย่างไรก็ตาม การวิจัยนี้มีข้อจำกัดในการทดสอบที่เน้นเฉพาะอุตสาหกรรมทำความเย็น ซึ่งอาจไม่ครอบคลุมสภาพแวดล้อมที่มีความผันผวนสูงและการติดตั้งยังต้องให้ผู้ชำนาญเข้าติดตั้งผู้ใช้งานไม่สามารถติดตั้งได้เอง การออกแบบให้เป็นการทำงานแบบไร้สายและเชื่อมต่อเครือข่ายได้ง่ายจะช่วยให้ผู้ใช้งานสะดวกมากขึ้น ตามงานวิจัยของ สายรักษ์ พรไกรเนตร (2014)

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังเสนอแนะแนวทางสำหรับการพัฒนาต่อไป รวมถึงการบูรณาการเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องจักร (Machine Learning) เพื่อการทำนายการบำรุงรักษา การพัฒนาระบบแจ้งเตือนที่มีความแม่นยำมากขึ้น และการขยายขอบเขตการวิจัยไปยังอุตสาหกรรมอื่นๆ ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและการประยุกต์ใช้ในวงกว้าง

เอกสารอ้างอิง

- อีรพงศ์ สงผัด, รุ่งจิตรา ม่วงศรี, และธิดารัตน์ คำจันทร์. (2566). ระบบจัดเก็บข้อมูลและแจ้งเตือนอุณหภูมิตู้เก็บวัคซีน. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ*. 3(1). 12-21.
- สายรักษ์ พรไกรเนตร, ชัยณพพงษ์ นาถึง, โสภภาพรรณ สุวรรณสว่าง, หฤทัย ดั้นสกุล, และธวัชชัย ทองเหลียม. (2014). *ชุดวัดอุณหภูมิแบบไร้สาย*. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมครั้งที่ 6, 424-428.
- Babiuch, M., Foltýnek, P., & Smutný, P. (2019, July). *Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing*. 2019 20th International Carpathian Control Conference (ICCC).
<https://doi.org/10.1109/CarpathianCC.2019.8765944>

- Crispin P. and Noguerra, Jr. (2023). User-Centered Design Principles for Effective Information System Development. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology (IJARSCT)*: International Open-Access, Double-Blind, Peer-Reviewed, Refereed, Multidisciplinary Online Journal, 826-830
- Farooqui, T., Rana, T., & Jafari, F. (2019). *Impact of Human-Centered Design Process (HCDP) on Software Development Process*. 2019 2nd International Conference on Communication, Computing and Digital Systems (C-CODE), 110–114. <https://doi.org/10.1109/C-CODE.2019.8680978>
- Koestoer, R. A., et al. (2019). *A simple method for calibration of temperature sensor DS18B20 waterproof in oil bath based on Arduino data acquisition system*. AIP Conference Proceedings, 2062, 020006.
- Ramesh Saha, Biswas, S., Sarmah, S., Karmakar, S., & Das, P. (2021). A Working Prototype Using DS18B20 Temperature Sensor and Arduino for Health Monitoring. *SN Computer Science*, 2(1). <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00434-2>
- Wu, X., et al. (2019). Performance analysis of refrigeration systems under varying load conditions. *Applied Thermal Engineering*, 158, 113765.