

## การพัฒนาระบบเฝ้าระวังอุณหภูมิสำหรับตู้แช่เก็บตัวอย่าง The Development of Temperature Monitoring System for Freezer

สัตยา บุญรัตน์ชู<sup>1\*</sup> ทรงสุดา พรหมทอง<sup>1</sup> และฮัมดัน มะเซ็ง<sup>1</sup>  
Sathaya Bunratthoo<sup>1\*</sup> Songsuda Promthong<sup>1</sup> and Humdan Maseng<sup>1</sup>

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือ พัฒนาระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสำหรับตู้แช่เก็บตัวอย่างทางวิทยาศาสตร์และสารเคมีมาตรฐานของสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ โดยใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ DS18B20 และตัวตรวจวัดอุณหภูมิชนิด Resistance Temperature Detector (RTD) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ถูกใช้สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิแล้วส่งต่อข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สายไปจัดเก็บในเซิร์ฟเวอร์ฐานข้อมูลหลักขององค์กร ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟตามเวลาจริง และเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตโดยใช้โปรแกรมภาษาพีเอชพี ช่วยให้ผู้ใช้สามารถตรวจสอบความเสถียรด้านอุณหภูมิของตัวอย่างที่ถูกจัดเก็บภายในตู้แช่เก็บตัวอย่างในระยะยาวได้เป็นอย่างดี การพัฒนาได้ประยุกต์ใช้หลักการโคเซ็นในการแจ้งเตือนด้วยสีและเสียงเพื่อให้ผู้ใช้สามารถมองเห็นได้ชัดเจนในทันทีถึงความผิดปกติของอุณหภูมิ ระบบแจ้งเตือนสามารถส่งสัญญาณแจ้งเตือนแก่ผู้ใช้ผ่านแอปพลิเคชันไลน์ เมื่ออุณหภูมิออกนอกช่วงในระยะเวลาที่กำหนด ระบบที่พัฒนาขึ้นช่วยให้สามารถจัดเก็บตัวอย่างและสารเคมีได้ดีขึ้นโดยไม่ต้องใช้แรงงานคนในการติดตามและบันทึกข้อมูล นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้เฝ้าระวังตู้แช่เก็บเลือดสำหรับหน่วยคลังเลือดโรงพยาบาลสงขลานครินทร์อีกด้วย

**คำสำคัญ:** ระบบเฝ้าระวังอุณหภูมิ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ระบบแจ้งเตือน

### Abstract

The objective of this research is to develop a temperature monitoring and alarm systems for scientific samples and chemical freezers of the Office of Scientific Instruments and Testing using a DS18B20 temperature sensor and a Resistance Temperature Detector (RTD). The ESP8266 microcontroller is used to measure the temperature and then transmit the data via a wireless network to store it on the corporate main database server. The developed system can display the data in real-time graphs and retrieve historical data via the Internet using PHP programming language. The improved systems allow the user to ensure the stability of the samples temperature stored in the sample freezer over the long term. The development applied Kaizen principles in visual and sound alerts to provide users with immediate visibility of abnormal temperature. The notification system can send notification messages to users through the LINE application when the temperature is out of range for a specified period of time. The improved systems allow for better storage of samples and chemicals without the need for human to track and record data. In addition, this invention can use to monitor the temperature of the blood cabinet bank unit of Songklanagarind Hospital.

**Keywords:** temperature monitoring system, microcontroller, alarm system

<sup>1</sup> สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90110

<sup>1</sup> Office of Scientific Instrument and Testing, Prince of Songkla University, Hat Yai Campus, Songkla, 90110

\*Corresponding author: e-mail: sathaya.b@psu.ac.th

Received: November 3, 2021, Accepted: November 27, 2021, Published: May 8, 2022



## บทนำ

สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ให้บริการทดสอบตัวอย่างทางวิทยาศาสตร์ด้วยเครื่องมือวิจัยทางวิทยาศาสตร์ ในแต่ละปีมีตัวอย่างมากมายที่ส่งมาทดสอบจากนักวิจัยและหน่วยงานเอกชน จึงจำเป็นต้องมีการจัดเก็บตัวอย่างรอทดสอบและสารเคมีในตู้แช่เก็บตัวอย่างตามสภาวะที่แตกต่างกันตามข้อกำหนดของตัวอย่างและสารเคมีนั้น ๆ สำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบมีการจัดเก็บตัวอย่างและสารเคมีที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันดังนี้ 20°C, 4°C, -15°C และ -55°C รวม 12 ตู้ และหน่วยคลังเลือดโรงพยาบาลสงขลานครินทร์มีตู้แช่เย็นเก็บเลือดที่อุณหภูมิแตกต่างกันตามส่วนประกอบของเลือดดังนี้ 4°C, -25°C และ -60°C รวม 20 ตู้ เดิมไม่มีการเฝ้าระวังอุณหภูมิของตู้แช่เย็นดังกล่าว ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของตัวอย่างทดสอบ เลือด และสารเคมีที่จัดเก็บ หากอุณหภูมิของตู้แช่เย็นไม่เป็นไปตามที่กำหนด หากเจ้าหน้าที่ไม่ทราบถึงความผิดปกติและไม่ได้ดำเนินการแก้ไขอย่างทันท่วงที เพื่อแก้ปัญหาเรื่องการบันทึกและเฝ้าระวังอุณหภูมิจึงกำหนดให้เจ้าหน้าที่คอยตรวจวัดและตรวจสอบอุณหภูมิเป็นประจำทุกเดือน ซึ่งพบปัญหาคือต้องใช้เวลาในการตรวจวัดอุณหภูมิมถึง 60 นาทีต่อครั้ง เนื่องจากในขั้นตอนการตรวจวัดจะต้องรอให้อุณหภูมิที่วัดได้แสดงค่าคงที่ก่อนการบันทึก อีกทั้งในบางเดือนเจ้าหน้าที่อาจลืมตรวจวัดอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาโดยการสุ่มตรวจวัดอุณหภูมิทุกเดือนไม่สามารถแก้ปัญหานี้ได้ทั้งหมด หากอุณหภูมิผิดปกติในช่วงเวลาที่ไม่ได้ตรวจวัด จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น วิศวกร และนักวิทยาศาสตร์ ได้กำหนดแผนในการแก้ปัญหาโดยตั้งเป้าหมายคือ สร้างระบบเฝ้าระวังอุณหภูมิแบบเวลาจริงที่สามารถตรวจสอบอุณหภูมีย้อนกลับได้ตลอดเวลา มีระบบแจ้งเตือนทันทีที่อุณหภูมิออกนอกช่วงที่กำหนดไว้ เพื่อใช้ในการออกแบบและพัฒนาระบบเฝ้าระวังและบันทึกอุณหภูมิสำหรับตู้แช่เก็บตัวอย่าง คณะผู้วิจัยได้สืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

กฤษญาและคณะ (2563) ได้พัฒนาระบบตรวจวัดอุณหภูมิห้องเซิร์ฟเวอร์ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพลิง โดยใช้เซ็นเซอร์ (Sensor) แบบ DHT11 ทำการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ได้ ส่งผ่านระบบเครือข่ายแบบไร้สายไปยังโปรแกรม Blyn บนโทรศัพท์มือถือ เพื่อแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นที่วัดค่าได้แบบเวลาจริงมีการจัดเก็บบันทึกค่าของอุณหภูมิที่วัดได้ในแต่ละช่วงเวลา โดยสามารถนำข้อมูลออกมาวิเคราะห์ได้ในภายหลังและหากพบว่าอุณหภูมิภายในห้องเซิร์ฟเวอร์สูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ก็จะมีการแจ้งเตือนในทันทีไปยัง Line Notify ที่กำหนดไว้

ธีรยุทธ (2554) ได้พัฒนาเครื่องบันทึกเพื่อตรวจติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต้นทุนต่ำสำหรับงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย โดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (SHT11) ระบบฐานเวลาจริง (DS1307) ระบบแสดงผลบนหน้าจอ LCD (Liquid Crystal Display16x2) ระบบแสดงผลและบันทึกบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมแบบ RS232 (Visual Basic 2008) และระบบประมวลผลกลาง (P89V51RD2) ผลการทดสอบความแม่นยำและความเที่ยงตรงในการใช้งานเปรียบเทียบกับเครื่องรุ่น Testo 608-H1 พบว่าในส่วนของอุณหภูมิหน่วยเป็น °C มีความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.9 เปอร์เซ็นต์ และในส่วนของความชื้นสัมพัทธ์หน่วย %RH (Relative Humidity) มีความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 2.0 เปอร์เซ็นต์ซึ่งอยู่ในช่วงที่ไม่สูงมากนัก

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ได้มีการศึกษาและพัฒนาระบบตรวจวัดอุณหภูมิโดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ สามารถจัดเก็บข้อมูลและแจ้งเตือนผ่านระบบอินเทอร์เน็ตได้ แต่ระบบที่พัฒนาส่วนใหญ่เน้นการตรวจวัดสภาพแวดล้อมในสภาพอุณหภูมิห้อง ไม่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิตู้แช่เย็นที่อุณหภูมิต่ำติดลบได้ ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาระบบเฝ้าระวังและบันทึกอุณหภูมิสำหรับตู้แช่เก็บตัวอย่างและขยายผลไปยังตู้แช่เก็บเลือดของคลังเลือด โดยใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิ DS18B20 และ RTD ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 เพื่อตรวจวัดอุณหภูมิในช่วง -55°C ถึง 20°C ให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริงของสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ

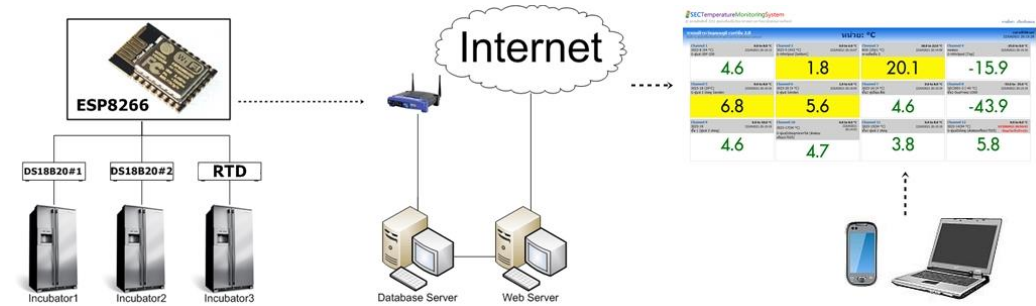
## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อสร้างระบบบันทึกอุณหภูมิสำหรับตู้แช่เก็บตัวอย่างบันทึกข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง
2. เพื่อสร้างระบบตรวจสอบและแจ้งเตือนอุณหภูมิสำหรับตู้แช่เก็บตัวอย่าง
3. เพื่อเป็นแนวทางให้หน่วยงานอื่นนำไปพัฒนาต่อยอดได้

## ระเบียบวิธีวิจัย

### 1. ออกแบบการทำงานของระบบ

การออกแบบระบบเริ่มต้นจากออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 อ่านค่าอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 และเซ็นเซอร์ RTD แล้วส่งผ่านข้อมูลอุณหภูมิผ่านเครือข่ายไร้สายไปจัดเก็บยังมายเอสคิวแอลเซิร์ฟเวอร์ ข้อมูลถูกจัดเก็บแยกตามช่องตรวจวัดของแต่ละตู้แช่เย็นแต่ละตู้ แล้วนำไปแสดงผลโดยใช้โปรแกรมภาษาพีเอชที ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเรียกดูได้ผ่านระบบอินเทอร์เน็ตด้วยเว็บเบราว์เซอร์โดยใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์หรือสมาร์ทโฟน ดังภาพที่ 1

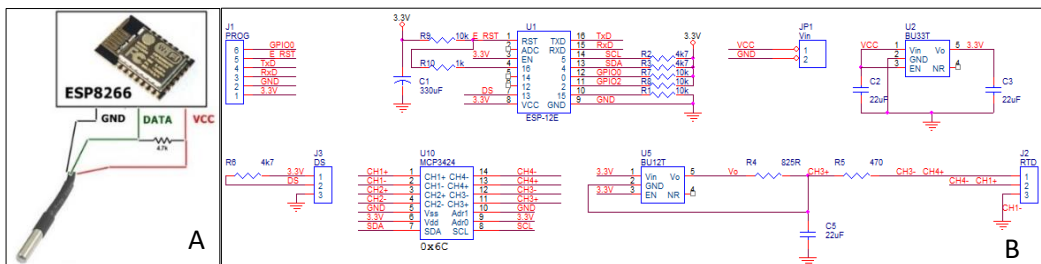


ภาพที่ 1 การทำงานของระบบเฝ้าระวังอุณหภูมิสำหรับตู้แช่เก็บตัวอย่างในภาพรวม

### 2. ออกแบบการวัดและส่งผ่านอุณหภูมิ

การออกแบบการตรวจวัดอุณหภูมิเลือกใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 สำหรับการวัดอุณหภูมิของตู้แช่เย็นเก็บตัวอย่างในช่วงอุณหภูมิใช้งาน 20°C, 4°C และ -15°C โดย DS18B20 สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -55°C ถึง 125°C ความแม่นยำ 0.5°C ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน การอ่านอุณหภูมิจาก DS18B20 จะใช้สัญญาณข้อมูลเพียงเส้นเดียวในการเชื่อมต่อค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จะเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต ซึ่งทำให้สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้ละเอียดถึง 0.0625°C วงจรตรวจวัดอุณหภูมิของ DS18B20 แสดงดังภาพที่ 2A ในกรณีที่อุณหภูมิที่ต้องการตรวจวัดต่ำกว่า -55°C ซึ่งเป็นตู้แช่เก็บตัวอย่างแบบ Deep freeze จะใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ Resistance Temperature Detector (RTD) เป็นตัวตรวจวัดโดยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ RTD นั้นสามารถใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -200°C ถึง 400°C อย่างไรก็ตามการใช้งาน RTD มีต้นทุนที่ค่อนข้างสูงกว่าเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 และต้องใช้วงจรตรวจวัดที่ซับซ้อน

การออกแบบวงจรตรวจวัดโดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ RTD แสดงดังภาพที่ 2B การออกแบบได้ใช้วงจรคงค่ากระแสเพื่อจ่ายให้แก่ RTD โดย R4 ทำหน้าที่กำหนดค่ากระแสให้แก่ RTD โดยกำหนดค่าไว้ที่ 1.5 มิลลิแอมแปร์ R5 ทำหน้าที่ที่ตรวจวัดกระแสที่จ่ายจริงให้แก่ RTD และใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล MCP3424 อ่านค่าแรงดันในแต่ละช่องแล้วคำนวณกลับเป็นค่าอุณหภูมิโดย ESP8266 จะทำหน้าที่อ่านและคำนวณค่าโดยอ้างอิงจากตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าความต้านทานของ RTD Maritime (2004)



ภาพที่ 2 การวัดอุณหภูมิด้วยเซ็นเซอร์ DS18B20 (A) การวัดอุณหภูมิด้วยเซ็นเซอร์ RTD (B)

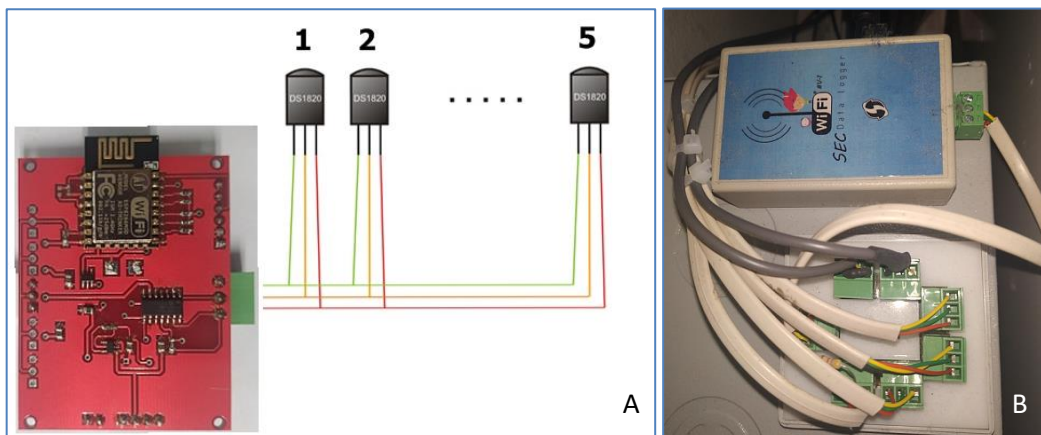
การพัฒนาโปรแกรมโดยใช้ Arduino ได้พัฒนาชุดคำสั่งให้ ESP8266 อ่านค่าจาก DS18B20 และถูกส่งผ่านข้อมูลด้วย HTTP GET โพรโทคอล ตัวอย่างโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 3

```

118 void update_data(void)
119 {
120     WiFiClient client;
121     const int httpPort = 80;
122     IP.toCharArray(host, 16);
123     if (!client.connect(host, httpPort)) {
124         Serial.println("connection failed"); return; }
125     client.print(String("GET /incubator_system/index_update.php?") + key + " HTTP/1.1\r\n" +
126                 "User-Agent: SECINC3\r\n" +
127                 "Host: " + host + "\r\n" +
128                 "Connection: close\r\n\r\n");
129 }
    
```

ภาพที่ 3 ตัวอย่างโปรแกรมส่งผ่านข้อมูลอุณหภูมิโดย ESP8266

ข้อมูลจาก DS18B20 ซึ่งประกอบไปด้วยหมายเลขประจำตัวของ DS18B20 และอุณหภูมิที่อ่านได้ โดยหมายเลขประจำตัวนี้กำหนดโดยผู้ผลิตซึ่งไม่ซ้ำกันขนาด 64 บิต ผู้วิจัยใช้หมายเลขนี้เป็นหมายเลขระบุรหัสอ้างอิงของตู้แช่เย็น ข้อมูลที่ถูกส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์จะอยู่ในรูปแบบ ds\_mac=0011223344556677&ds\_temp=04.25 ข้อมูลทั้งหมดนี้ถูกเก็บในตัวแปร key รหัสความปลอดภัยจะถูกกำหนดโดย User-Agent ในบรรทัดที่ 126 ของตัวอย่างโปรแกรม และจะถูกตรวจสอบด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยภาษาพีเอชพีในฝั่งของเซิร์ฟเวอร์ หากค่าต่างๆ ทั้ง ds\_mac และ User-Agent ไม่ตรงกับฐานข้อมูลที่กำหนดไว้ ข้อมูลจะไม่ถูกบันทึก วิธีการนี้จึงช่วยรักษาความปลอดภัยของข้อมูลได้อีกระดับหนึ่งนอกเหนือจากรหัสความปลอดภัยของเครือข่าย WiFi เช่น เซอร์วิคอุณหภูมิแบบ DS18B20 สามารถเชื่อมต่อแบบเครือข่ายเข้าด้วยกันได้โดยใช้สัญญาณเพียงเส้นเดียว เมื่อรวมแหล่งจ่ายไฟด้วยก็จะใช้สายสัญญาณทั้งหมดเพียงสามเส้นและสามารถเชื่อมต่อได้ไม่จำกัด อุปกรณ์ตามข้อกำหนดของผู้ผลิต แต่ด้วยข้อจำกัดทางไฟฟ้า คุณภาพของสายสัญญาณที่ใช้และความยาวของสาย จากการทดสอบใช้งานจริงพบว่า ควรเชื่อมต่อไม่เกิน 6 อุปกรณ์ต่อ 1 เครือข่าย หากมากกว่านั้นพบว่า บางครั้งไม่สามารถอ่านข้อมูลอุณหภูมิของทุกอุปกรณ์ได้ โดยแผนผังการเชื่อมต่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 กับ DS18B20 แสดงดังภาพที่ 4A และการติดตั้งอุปกรณ์จริงโดยติดตั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 ไว้ภายนอกตู้แช่เย็น แสดงดังภาพที่ 4B



ภาพที่ 4 แผนผังการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ (A) การติดตั้งอุปกรณ์จริง (B)

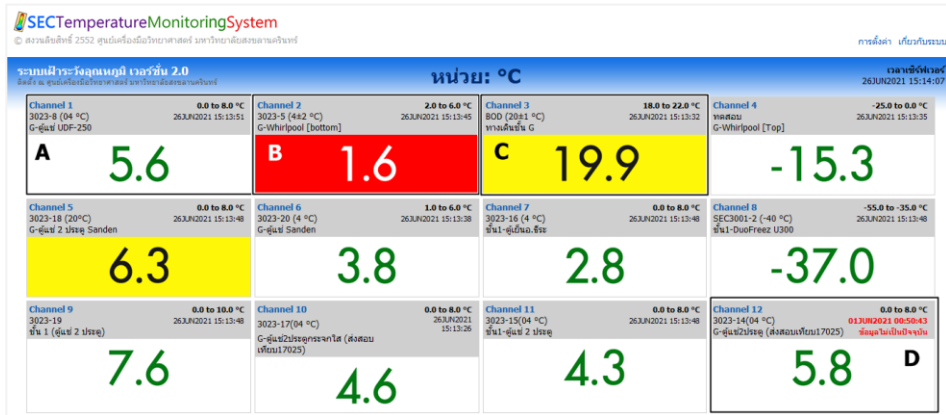
การออกแบบหัววัดอุณหภูมิได้ออกแบบโดยให้หัววัดอุณหภูมิบรรจุในปลอกหุ้มสแตนเลสและปิดผนึกด้วยกาวยีพ็อกซีเพื่อกันน้ำ การติดตั้งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิในตัวแช่เย็นโดยติดตั้งไว้ตรงกลางของตู้แช่เย็นเพื่อเป็นตัวแทนของอุณหภูมิ แสดงดังภาพที่ 5A กรณีที่ต้องการวัดอุณหภูมิโดยใช้สารละลายเป็นตัวแทนของตัวอย่างที่จัดเก็บเพื่อให้อุณหภูมิที่อ่านได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิของตัวอย่างมากที่สุดสามารถใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิบรรจุในสารละลายซึ่งเป็นตัวแทนของตัวอย่าง ดังแสดงในภาพที่ 5B ในกรณีที่อุณหภูมิของตู้แช่เย็นต่ำมาก (อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C) โดยเฉพาะตู้แช่เย็นแบบ Deep freezer จะติดตั้งโดยสอดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิผ่านทางช่องสำหรับสอบเทียบอุณหภูมิทางด้านหลังตู้แช่เย็น เนื่องจากอุณหภูมิใช้งานที่ต่ำมากหากสอดเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิผ่านประตูจะทำให้ความเย็นรั่วไหลและขอบยางประตูจะเสียหายได้ในระยะยาว ดังแสดงในภาพที่ 5C จำนวนเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิต่อตู้แช่เย็นขึ้นกับขนาดความจุโดยทั่วไปตู้แช่เย็นขนาดไม่เกิน 8 ลูกบาศก์ฟุตใช้เพียงเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิเดียวก็เพียงพอ



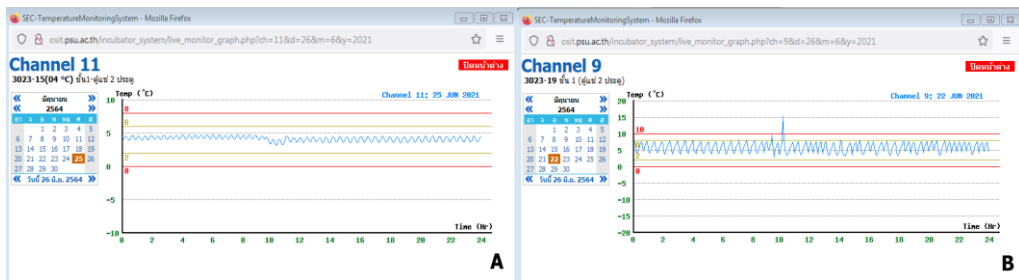
ภาพที่ 5 ตำแหน่งการวางเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิกึ่งกลางตู้แช่ (A) ในสารละลาย (B) ผ่านช่องสำหรับสอบเทียบของตู้แช่ -55°C (C)

### 3. ออกแบบการบันทึกและแสดงผลข้อมูล

ออกแบบการบันทึกและแสดงผลข้อมูลโดยพัฒนาโปรแกรมให้ ESP8266 อ่านค่าอุณหภูมิและตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล จากนั้นส่งผ่านข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สาย ออกแบบให้เซิร์ฟเวอร์รับข้อมูลผ่านทางโปรแกรมพีเอชพี ข้อมูลที่ส่งผ่านจะประกอบไปด้วยข้อมูลของอุณหภูมิ หมายเลขของตู้แช่และรหัสความปลอดภัยเพื่อป้องกันการโจมตีระบบจากผู้ไม่หวังดี การออกแบบตารางของข้อมูลได้ออกแบบแยกตารางของแต่ละตู้แช่เย็นเพื่อให้การประมวลผลข้อมูลมีความรวดเร็วลดเวลาจากการกรองข้อมูลของมายเอสคิวแอลเซิร์ฟเวอร์ ในส่วนของการแสดงผลข้อมูล ได้พัฒนาโปรแกรมแสดงผลในรูปแบบกราฟและตารางโดยใช้หลักการโคเซ็น เพื่อให้ผู้ใช้งานสังเกตเห็นความผิดปกติของอุณหภูมิได้ทันที กล่าวคือ กรณีอุณหภูมิปกติใช้ตัวอักษรสีเขียวพื้นหลังสีขาว กรณีอุณหภูมิใกล้ออกนอกช่วงใช้ตัวอักษรสีดำพื้นหลังสีเหลือง กรณีอุณหภูมิออกนอกช่วงที่กำหนดใช้ตัวอักษรสีขาวพื้นหลังสีแดง และกรณีข้อมูลอุณหภูมิไม่ถูกส่งมาเกินกว่าเวลาที่กำหนดไว้แสดงด้วยตัวอักษรสีแดงว่าข้อมูลไม่เป็นปัจจุบัน พร้อมแสดงเวลาที่ได้รับข้อมูลล่าสุดแสดงดังภาพที่ 6 นอกจากนี้การแสดงผลข้อมูลย้อนหลังแสดงผลในรูปแบบกราฟและเรียกดูข้อมูลย้อนหลังในช่วงวันที่ต้องการได้ง่ายโดยใช้อินเทอร์เน็ตแบบปฏิทิน โดยข้อมูลจะถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลหลักขององค์กร สามารถย้อนดูได้ไม่จำกัด แสดงดังภาพที่ 7



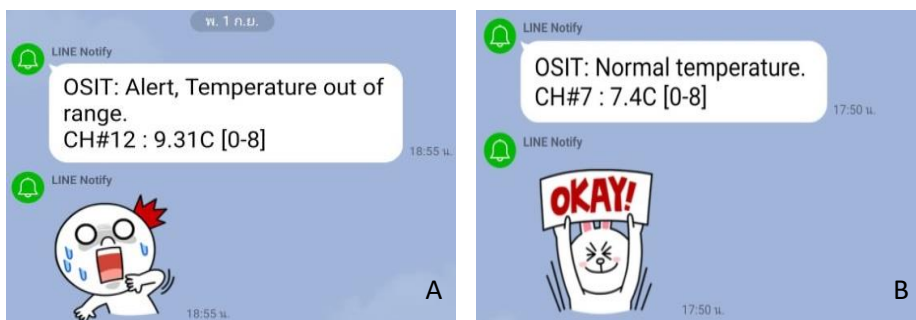
ภาพที่ 6 การแสดงผลข้อมูล อุณหภูมิปกติ (A) อุณหภูมิใกล้ออกนอกช่วง (B) อุณหภูมิออกนอกช่วง (C) ข้อมูลไม่เป็นปัจจุบัน (D)



ภาพที่ 7 ตัวอย่างแสดงกราฟอุณหภูมีย้อนหลังตู้แช่ 11 (A) ตู้แช่ 9 (B)

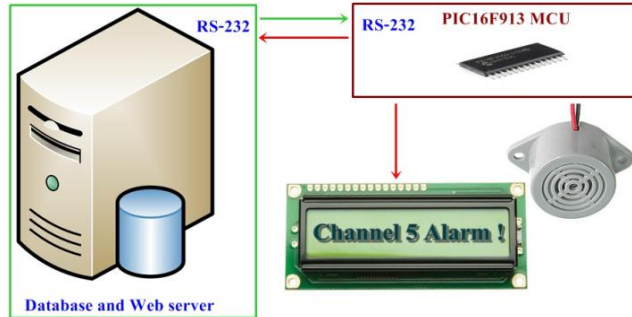
#### 4. ออกแบบระบบแจ้งเตือน

การออกแบบระบบแจ้งเตือนออกแบบไว้สองระบบ ระบบแรกออกแบบการแจ้งเตือนด้วย LINE Notify โดยแจ้งเตือนไปยังสมาร์ตโฟนของผู้ใช้งาน ทำได้โดยเข้าสู่ระบบเพื่อออก TOKEN โดยเข้าไปที่ <https://notify-bot.line.me/my/> ป้อนชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านจากนั้นคลิกออก Token และเลือกกลุ่มไลน์ที่ต้องการให้ระบบแจ้งเตือนส่งข้อความถึงทุกคนที่อยู่ในกลุ่มไลน์ เมื่อระบบตรวจพบอุณหภูมิออกนอกช่วงตามระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้จะส่งสัญญาณแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ ดังภาพที่ 8A ซึ่งจะแสดงทั้งข้อความแจ้งเตือนและสติ๊กเกอร์เพื่อให้สังเกตเห็นความผิดปกติได้อย่างชัดเจน เมื่อระบบตรวจพบอุณหภูมิกลับสู่สภาวะปกติจะส่งสัญญาณแจ้งเตือนและสติ๊กเกอร์ ดังภาพที่ 8B



ภาพที่ 8 ข้อความแจ้งเตือนเมื่ออุณหภูมิออกนอกช่วงที่กำหนด (A) เมื่ออุณหภูมิกลับสู่สภาวะปกติ (B)

ระบบที่สอง คือ การออกแบบการแจ้งเตือนด้วยเสียงกระดิ่งไฟฟ้าและจอแสดงผลแอลซีดีซึ่งติดตั้งไว้ในห้องปฏิบัติการ เมื่ออุณหภูมิออกนอกช่วงที่กำหนดไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F913 จะส่งงานกระดิ่งไฟฟ้าทำให้เกิดเสียงแจ้งเตือนขึ้น เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบซึ่งปกติจะปฏิบัติงานอยู่ในบริเวณนั้นจะได้ยินเสียงแจ้งเตือนและสามารถแก้ปัญหาได้ทันทีทั้งนี้ การออกแบบการแจ้งเตือนแสดงด้วยเสียงกระดิ่งไฟฟ้าและหน้าจอแอลซีดีดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การออกแบบการแจ้งเตือนด้วยเสียงกระดิ่งไฟฟ้าและหน้าจอแอลซีดี

### ผลการวิจัย

ผลการทดลองบันทึกและแสดงผลอุณหภูมิในรูปแบบตารางพบว่า ระบบสามารถแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิได้อย่างชัดเจนสามารถตรวจสอบความผิดปกติของอุณหภูมิที่ทำการตรวจวัดในแต่ละช่องได้อย่างรวดเร็วด้วยหลักการโคเซ็นโดยการชี้ขั้วด้วยสีของตัวอักษรและพื้นหลังที่เปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่อ่านได้ของแต่ละช่อง แสดงดังภาพที่ 10 สามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังได้โดยการคลิกเลือกช่องที่ต้องการ ข้อมูลย้อนหลังจะถูกแสดงในรูปแบบกราฟ ดังภาพที่ 11

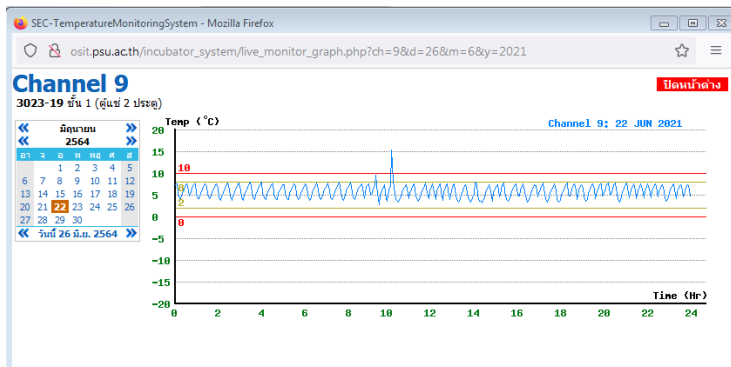
SEC Temperature Monitoring System

รายงานการตรวจอุณหภูมิ เวอร์ชัน 2.0

หน่วย: °C

Channel 1	Channel 2	Channel 3	Channel 4
3023-8 (04 °C) C-จุด 1 (จุด 2 ชั้น)	3023-9 (04 °C) C-Whisper (bottom)	3131-1 (20 °C) C-80214	3023-10 (20-29-01) C-Whisper (Top)
4.3	3.4	19.9	-13.4
Channel 5	Channel 6	Channel 7	Channel 8
3023-18 (4 °C) C-จุด 2 (ชั้น Garden)	3023-20 (4 °C) C-จุด 3 Garden	3023-16 (4 °C) C-จุด 1 (จุด 2 ชั้น)	SEC3001-2 (48 °C) C-จุด 1 (จุด 2 ชั้น)
2.6	4.3	0.2	-55.2
Channel 9	Channel 10	Channel 11	Channel 12
3023-19 (จุด 1 (ชั้น 2 ชั้น))	3023-17 (04 °C) C-จุด 2 (ชั้น 2 ชั้น) (สถานะ 3023-17025)	3023-15 (04 °C) C-จุด 2 (ชั้น 2 ชั้น)	3023-14 (04 °C) C-จุด 2 (ชั้น 2 ชั้น) (สถานะ 3023-17025)
5.3	4.7	4.4	3.3

ภาพที่ 10 การแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิรูปแบบตาราง ชี้ขั้วด้วยสีของตัวอักษรและพื้นหลัง



ภาพที่ 11 การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟ

ผลการทดลองทวนสอบค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ ใช้วิธีเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐานดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 51II ซึ่งได้ส่งสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 และสามารถวัดอุณหภูมิในช่วง -200 °C ถึง 1,372 °C ทำการวัดค่าและเปรียบเทียบผลการตรวจวัดอุณหภูมิของแต่ละช่องที่เวลาเดียวกัน ผลการทดลองทวนสอบอุณหภูมิของตู้แช่เย็นทั้ง 12 ตู้ ที่มีช่วงการควบคุมการใช้งานที่ต่างกันโดยการตรวจวัดอุณหภูมิที่เวลาเดียวกันจุดตรวจวัดเดียวกันแสดงดังตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนโดยรวมไม่เกิน 0.5 °C

**ตารางที่ 1** เปรียบเทียบข้อมูลของอุณหภูมิที่วัดได้จากระบบเฝ้าระวังที่สร้างขึ้นกับดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ FLUKE 51 II

ช่องตรวจวัด	อุณหภูมิ (°C)			
	ช่วงการควบคุม	ระบบเฝ้าระวังที่สร้างขึ้น	FLUKE 51II	ค่าความคลาดเคลื่อน
Channel 1	2-6	5.1	4.9	0.2
Channel 2	0-8	1.9	2.2	-0.3
Channel 3	19-21	20.1	19.9	0.2
Channel 4	(-20) - (-10)	-13.7	-14.1	0.4
Channel 5	2-6	5.0	4.5	0.5
Channel 6	2-6	6.1	5.7	0.4
Channel 7	2-6	3.2	3.5	-0.3
Channel 8	< -20	-54.6	-54.9	-0.3
Channel 9	2-6	5.3	4.9	0.4
Channel 10	2-6	4.4	4.2	0.2
Channel 11	2-6	4.4	4.9	-0.5
Channel 12	3.8	3.6	0.2	2-6

จากข้อมูลของอุณหภูมิที่วัดได้จากระบบเฝ้าระวังอุณหภูมิสำหรับตู้แช่เก็บตัวอย่างที่พัฒนาขึ้นจะเห็นว่ามีการจัดเก็บตัวอย่างตามอุณหภูมิที่แตกต่างกันและช่วงการยอมรับของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยช่องตรวจวัดที่ 3 ซึ่งเป็นช่องที่ตรวจวัดอุณหภูมิของตู้บ่มปีโอติมีช่วงของการควบคุมที่ค่อนข้างแคบซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของวิธีมาตรฐานในการทดสอบค่าบีโอดีในน้ำและน้ำเสีย (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2017) ช่องตรวจวัดที่ 2 เป็นตู้เย็นธรรมดาใช้ในการจัดเก็บตัวอย่างและสารเคมีสำหรับงานทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีช่วงการควบคุม 0-8 องศา ซึ่งกว้างกว่าช่องตรวจวัดที่ 1 3 5 6 7 9 10 11 และ 12 ตามลำดับ ควบคุมที่ 2-6 องศา โดยตู้แช่เย็นเหล่านี้มีการดัดแปลงระบบควบคุมใหม่เป็นแบบดิจิทัลแทนระบบเดิมซึ่งเป็นแบบแอนะล็อกเทอร์โมสแตทเพื่อให้สามารถควบคุมอุณหภูมิที่แม่นยำขึ้น สำหรับช่องตรวจวัดที่ 8 เป็นตู้แช่แบบ deep freezer ซึ่งจะใช้เก็บตัวอย่างทางด้าน ชีวโมเลกุลมีช่วงการยอมรับที่ค่อนข้างกว้างที่สุด

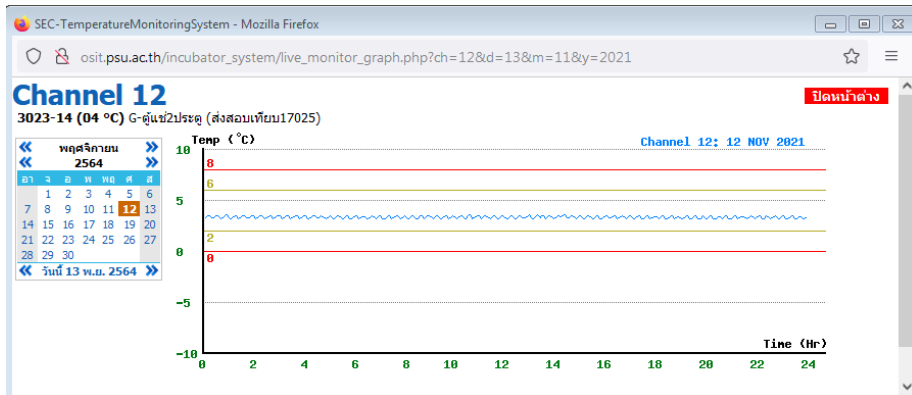
### สรุปผลการวิจัย

การวิจัยและพัฒนาระบบเฝ้าระวังอุณหภูมิสำหรับตู้แช่เก็บตัวอย่างโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP8266 อ่านค่าอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ DS18B20 และเซ็นเซอร์ RTD สามารถตรวจวัดอุณหภูมิของตู้แช่เย็นเก็บตัวอย่างครอบคลุมอุณหภูมิในช่วงใช้งานได้เป็นอย่างดี ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่วัดได้จากระบบที่พัฒนาขึ้นกับเครื่องมือวัดมาตรฐานดิจิทัลเทอร์โมมิเตอร์ยี่ห้อ FLUKE รุ่น FLUKE 51II แตกต่างกันไม่เกิน 0.5 °C ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานสำหรับสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ สามารถบันทึกอุณหภูมิได้ตลอด 24 ชั่วโมงโดยไม่ต้องใช้แรงงานคน สามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังในรูปแบบกราฟได้ไม่น้อยกว่า 3 ปีหรือไม่จำกัด สามารถส่งสัญญาณแจ้งเตือนอุณหภูมิผ่านระบบไลน์ได้ทันทีเมื่ออุณหภูมิออกนอกช่วงตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้เฝ้าระวังตู้แช่เก็บเลือดสำหรับหน่วยคลังเลือดโรงพยาบาลสงขลานครินทร์อีกหน่วยงานหนึ่งด้วย



## อภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสำหรับตู้แช่เก็บตัวอย่างที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถตรวจวัดอุณหภูมิของตู้แช่เก็บตัวอย่างครอบคลุมอุณหภูมิในช่วงใช้งาน  $4^{\circ}\text{C}$   $20^{\circ}\text{C}$   $-15^{\circ}\text{C}$  และ  $-55^{\circ}\text{C}$  ได้เป็นอย่างดี โดยช่วงอุณหภูมิใช้งาน  $4^{\circ}\text{C}$   $20^{\circ}\text{C}$  และ  $-15^{\circ}\text{C}$  ใช้ตัวตรวจวัดอุณหภูมิแบบ DS18B20 ซึ่งมีราคาไม่แพงและเพียงพอต่อการใช้งาน กรณีที่ใช้งานในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า  $-55^{\circ}\text{C}$  ได้เลือกใช้ตัวตรวจวัดแบบ RTD ซึ่งจะให้ค่าที่แม่นยำและทนต่อสภาวะที่ใช้งาน ระบบเฝ้าระวังและแจ้งเตือนอุณหภูมิสำหรับตู้แช่เก็บตัวอย่างที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถบันทึกอุณหภูมิได้ตลอด 24 ชั่วโมง สามารถเรียกดูข้อมูลย้อนหลังในรูปแบบกราฟได้ไม่จำกัด ทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบคุณภาพของตัวอย่างและสารเคมี รวมถึงเลือดที่ถูกจัดเก็บไว้ย้อนหลังเพื่อตัดสินใจดำเนินการในขั้นตอนที่เหมาะสมต่อไปตามข้อกำหนดในการจัดเก็บของตัวอย่าง สารเคมี และเลือดนั้นๆ ระบบสามารถแจ้งเตือนอุณหภูมิผ่านระบบไลน์ได้ทันทีทั้งที่เมื่ออุณหภูมิออกนอกช่วงตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ ในกรณีที่ไม่ต้องการให้การอ่านค่าของอุณหภูมิในตู้แช่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีการเปิดประตูของตู้แช่เย็น ดังแสดงในภาพที่ 11 ผู้ใช้งานสามารถนำเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแช่ในขวดสารละลายเช่น น้ำ หรือแอลกอฮอล์เพื่อเป็นตัวแทนของอุณหภูมิของตัวอย่างหรือสารเคมีที่จัดเก็บจะทำให้อุณหภูมิที่ตรวจวัดไม่แกว่งทันทีที่มีการเปิดประตูในระยะเวลาสั้น ๆ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของตัวแทนตัวอย่างน้ำมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำมากดังภาพที่ 12 เมื่อเทียบกับช่องตรวจวัดที่ 9 ในภาพที่ 11 ซึ่งเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิไม่ได้ถูกแช่ในขวดสารละลาย



ภาพที่ 12 การแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟของช่องตรวจวัดที่ 12 ซึ่งใช้น้ำเป็นตัวแทนของตัวอย่างน้ำที่จัดเก็บ

ผลการศึกษานี้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์การวิจัยที่ได้ตั้งไว้ นอกเหนือจากนี้ตัวตรวจวัดแบบ RTD จากการทดสอบสามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้ต่ำถึง  $-55^{\circ}\text{C}$  ยังสามารถใช้ตรวจวัดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมที่แตกต่างไปจากการใช้เซ็นเซอร์ DHT11 (กฤษญา และคณะ, 2563) และการใช้เซ็นเซอร์ SHT11 (ธีรยุทธ, 2554) อย่างไรก็ตามแม้คุณสมบัติของตัวตรวจวัดแบบ RTD จะสามารถตรวจวัดได้ต่ำถึง  $-200^{\circ}\text{C}$  แต่ด้วยข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือทำให้ผู้วิจัยไม่สามารถตรวจสอบการทำงานของวงจรตรวจวัดโดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ RTD ที่ได้ออกแบบ ว่าสามารถวัดอุณหภูมิได้ต่ำกว่า  $-55^{\circ}\text{C}$  จนถึง  $-200^{\circ}\text{C}$  หรือไม่

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้สนใจที่จะนำไปใช้งานตรวจวัดอุณหภูมิที่ต่ำมาก ๆ มีความเป็นไปได้ที่จะทวนสอบอุณหภูมิโดยใช้ไนโตรเจนเหลวเป็นตัวกลางซึ่งไนโตรเจนเหลวจะมีอุณหภูมิของจุดเดือดอยู่ที่  $-195.8^{\circ}\text{C}$  นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังสามารถต่อยอดไปใช้เฝ้าระวังหรือบันทึกข้อมูลอุณหภูมิในด้านอื่นได้อีก เช่น ห้องเย็น ห้องอบไม้ยางพารา หรืองานทางด้านเวชภัณฑ์ วิจัยเพิ่มเติมต่อไปคือการศึกษถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปว่าส่งผลต่อตัวอย่างที่จัดเก็บไว้อย่างไรเพื่อจะได้หาช่วงการแจ้งเตือนที่เหมาะสม ตามที่ Shuyi *et al.* (2021) ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บแช่เยือกแข็งต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์จากเนื้อวัว เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัยต่อไป

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้อำนวยการสำนักเครื่องมือฯ หัวหน้าฝ่ายฯ ของสำนักเครื่องมือวิทยาศาสตร์และการทดสอบ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่สนับสนุนให้บุคลากรปรับปรุงพัฒนางานและต่อยอดเป็นผลงานวิจัย รวมทั้งอำนวยความสะดวกในการใช้งานเครื่องมือต่าง ๆ ในการสร้างงานวิจัย

## เอกสารอ้างอิง

- กฤษฎา แก้วผุดผ่อง, โสมรัศมี พิบูลย์มณี และปิยวัฒน์ ขวนวารี. 2563. การพัฒนาระบบตรวจวัดอุณหภูมิห้องเซิร์ฟเวอร์ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตเพื่อสรรพสิ่ง. หน้า 28-38. ใน: การประชุมวิชาการระดับชาติ PULINET ครั้งที่ 10: Library Transformation in a Disrupted World. สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- ธีรยุทธ เสี่ยมศักดิ์. 2554. การพัฒนาเครื่องบันทึกเพื่อตรวจติดตามอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต้นทุนต่ำสำหรับงานสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและความปลอดภัย. Naresuan University Journal. 19(3): 85-91.
- Maritime, K. 2004. Relation Temperature vs. Resistance According to IEC751 / ITS-90. [Online]. Available: [https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/tsiec751\\_ce.pdf](https://www.kongsberg.com/globalassets/maritime/km-products/product-documents/tsiec751_ce.pdf). (Retrieved October, 2021).
- Shuyi, Q., Li, X., Wang, H., Mehmood, W., Zhang, C. and C. Blecker. 2021. Effects of Frozen Storage Temperature and Duration on Changes in Physicochemical Properties of Beef Myofibrillar Protein. [Online]. Available: <https://www.hindawi.com/journals/jfq/2021/8836749>. (Retrieved October, 2021).
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 2017. 5210 Biochemical oxygen demand (BOD). 23<sup>rd</sup> ed. ISBN 978-0-87553-287-5. USA. 1545 pages.