

การออกแบบและพัฒนาต้นแบบหูฟังอัจฉริยะสำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้มจากการวิเคราะห้สัญญาณชีพ

รัตนสุดา สุกตัญญู^{1*} มินา อยู่เย็น² สุนิศา จิตสุนทรชัยกุล³ ชีรฉัตรย์ ปานกลาง⁴
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา^{1*234}

อีเมล : rattanasuda.su@bsru.ac.th^{1*}

วันที่รับบทความ 4 พฤษภาคม 2569

วันแก้ไขบทความ 16 มิถุนายน 2569

วันที่ตอบรับบทความ 24 มิถุนายน 2569

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่อง “การออกแบบและพัฒนาต้นแบบหูฟังอัจฉริยะสำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้มจากการวิเคราะห้สัญญาณชีพ” มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) พัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบหูฟังอัจฉริยะที่สามารถตรวจวัดสัญญาณชีพที่เกี่ยวข้องกับภาวะฮีทสโตรก ได้แก่ อุณหภูมิร่างกาย อัตราการเต้นของหัวใจ และความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด โดยใช้เทคโนโลยีอุปกรณ์สวมใส่ 2) ออกแบบและพัฒนาระบบประมวลผลข้อมูลสัญญาณชีพแบบเรียลไทม์ สำหรับวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของภาวะฮีทสโตรกตามเกณฑ์มาตรฐานทางสรีรวิทยา ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน 3) พัฒนาระบบตรวจจับการล้มร่วมกับระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ ผ่านเสียงพูดจากอุปกรณ์สวมใส่ และการส่งข้อความผ่านแอปพลิเคชัน LINE ไปยังผู้ดูแลหรือบุคคลใกล้ชิด เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยหูฟังอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น โดยการบูรณาการ การทำงานของเซนเซอร์ MAX30100 สำหรับวัดอัตราการเต้นของหัวใจและระดับออกซิเจนในเลือด เซนเซอร์อินฟราเรด GY-906 สำหรับวัดอุณหภูมิร่างกาย และเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว MPU6050 ร่วมกับระบบเว็บแอปพลิเคชันสำหรับแสดงผลและแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และร้อยละของค่าความคลาดเคลื่อน

ผลการวิจัยพบว่า ระบบหูฟังอัจฉริยะสามารถตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจและระดับออกซิเจนในเลือดได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือมาตรฐาน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.44% และ 0.82% ตามลำดับ สำหรับการวัดอุณหภูมิร่างกายบริเวณใบหู พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 0.04°C เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรดมาตรฐาน และมีความเหมาะสมมากกว่าตำแหน่งอื่นของร่างกาย นอกจากนี้ ระบบสามารถตรวจจับการล้มได้อย่างถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 95 และสามารถแจ้งเตือนไปยังผู้ใช้งานผ่านแอปพลิเคชันภายในเวลาเฉลี่ยไม่เกิน 5 วินาที แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ในการเฝ้าระวังสุขภาพและป้องกันภาวะฮีทสโตรกได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ ภาวะฮีทสโตรก การตรวจวัดสัญญาณชีพ อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Design and Development of a Smart Earphone for Real-Time Detection of Heatstroke Risk and Falls Using Vital Sign Monitoring

Rattanasuda Supadanaison^{1*}, Meena Yooyen², Sunisa Jitsoonthonchaiyakul³,
Theerathawan Panklang⁴

Faculty of Science and Technology, Ban Somdej Chaopraya Rajabhat University ^{1*,2,3,4}

E-mail : rattanasuda.su@bsru.ac.th^{1*}

Received 4 May 2026

Revised 16 June 2026

Accepted 24 June 2026

Abstract

This research focuses on the design and development of a smart earphone prototype for heatstroke and fall detection based on vital sign analysis. The objectives of this study are: 1) to develop a smart earphone prototype capable of monitoring vital signs related to heatstroke, including body temperature, heart rate, and blood oxygen saturation (SpO₂), using wearable technology; 2) to design and develop a real-time vital sign data processing system for analyzing and assessing heatstroke risk based on physiological standard criteria through a web application; and 3) to develop a fall detection system integrated with an automatic alert mechanism, including voice notification from the wearable device and message alerts via the LINE application to caregivers or nearby individuals. The research instruments consist of the developed smart earphone system, which integrates multiple sensors, including the MAX30100 sensor for heart rate and SpO₂ measurement, the GY-906 infrared sensor for body temperature monitoring, and the MPU6050 motion sensor for fall detection. The system is connected to a web application for real-time data visualization and alert notification. The statistical methods used for data analysis include mean and percentage error.

The results indicate that the proposed smart earphone system can measure heart rate and blood oxygen saturation with high accuracy compared to standard medical devices, with average errors of 1.44% and 0.82%, respectively. For body temperature measurement at the ear, the system achieved the lowest average error of 0.04°C compared to a standard infrared thermometer, demonstrating higher suitability than other body locations. In addition, the fall detection function achieved an average accuracy of 95%, and the system was able to send alert notifications to users within an average time of less than 5 seconds. These findings demonstrate that the developed system is effective for health monitoring and heatstroke prevention applications.

Keywords : Heatstroke, Vital Sign Monitoring, Internet of Things (IoT)

1. บทนำ

ภาวะลมแดดหรือฮีทสโตรก (Heatstroke) เป็นภาวะฉุกเฉินทางการแพทย์ที่เกิดจากร่างกายไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้อุณหภูมิแกนกลางร่างกายสูงเกิน 40 องศาเซลเซียส ร่วมกับความผิดปกติของระบบประสาทส่วนกลาง เช่น สับสน หมดสติ หรือชัก หากไม่ได้รับการช่วยเหลืออย่างทันทีงที่อาจนำไปสู่ภาวะอวัยวะล้มเหลวและเสียชีวิตได้ (ธราธร คุรงค์พันธุ์, 2562)

ปัญหาภาวะฮีทสโตรกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ทำให้หลายพื้นที่ทั่วโลกเผชิญกับอุณหภูมิสูงจัดและคลื่นความร้อนบ่อยครั้งขึ้น โดยเฉพาะประเทศในเขตร้อน เช่น ประเทศไทย ซึ่งมีสภาพอากาศร้อนชื้นเกือบตลอดปี ส่งผลให้ประชาชนมีความเสี่ยงต่อการเจ็บป่วยจากความร้อนเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะผู้ที่ทำงานหรือทำกิจกรรมกลางแจ้งเป็นเวลานาน เช่น เกษตรกร คนงานก่อสร้าง นักกีฬา ทหาร นักเรียน หรือผู้เข้าร่วมกิจกรรมภาคสนาม (Habibi et al, 2024) การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (climate change) ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกเพิ่มสูงขึ้น โลกเกิดภาวะอากาศร้อนจัด (extreme heat) บ่อยขึ้นและมีช่วงเวลาที่นานขึ้น ทำให้พบอุบัติการณ์การเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องเนื่องจากอากาศร้อน (heat-related illnesses) เพิ่มสูงขึ้นการเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องเนื่องจากภาวะอากาศร้อนเป็นสาเหตุของการเสียชีวิตประมาณ 240 คนต่อปี (สมคิด โพธิ์ชนะพันธุ์, 2560) โดยปัจจัยเสี่ยงของการเกิดฮีทสโตรกประกอบด้วย อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูง ความชื้นสัมพัทธ์สูง การขาดน้ำ การพักผ่อนไม่เพียงพอ การสวมใส่เสื้อผ้าที่ระบายนอากาศไม่ดี รวมถึงโรคประจำตัว เช่น โรคหัวใจ โรคเบาหวาน หรือภาวะอ้วน ซึ่งส่งผลให้ร่างกายระบายความร้อนได้ลดลง ทั้งนี้พบว่าการเสียชีวิตในระหว่างการแข่งขันกีฬาและการวิ่งมาราธอนเกี่ยวข้องกับการเกิดการเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องมาจากภาวะอากาศร้อนสูงกว่าสาเหตุของโรคหัวใจ 10 เท่า การเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องเนื่องจากภาวะอากาศร้อนเป็นความผิดปกติที่เกิดจากการเสียสมดุลของกลไกการควบคุมอุณหภูมิ (thermoregulation) เมื่อร่างกายอยู่ในภาวะแวดล้อมที่ความร้อนสูง สามารถจำแนกโดยเรียงลำดับจากความรุนแรงน้อยไปมากคือ ผดร้อนหรือผดเหือง (Heat rash) การบวมแดด (Heat Edema) ตะคริว (Heat cramps) ลมแดด (Heat syncope) ภาวะกล้ามเนื้อลายสลายตัวเฉียบพลัน (Rhabdomyolysis) เพลียแดด (Heat exhsustion) และโรคลมแดด (สิทธิชัย ตันติภาสวสิน, 2566, Yoneda et al. 2024) ดังนั้นการเฝ้าระวังสุขภาพอย่างต่อเนื่องจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะระบบที่สามารถตรวจจับความผิดปกติและแจ้งเตือนได้แบบทันที จะช่วยลดความรุนแรงของเหตุการณ์และเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงการช่วยเหลืออย่างรวดเร็ว

ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (Internet of Things: IoT) ระบบเซนเซอร์อัจฉริยะ และปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) มาใช้ในการเฝ้าระวังสุขภาพและตรวจวัดสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ เช่น การวัดอุณหภูมิ ความชื้น อัตราการเต้นของหัวใจ ระดับออกซิเจนในเลือด ตลอดจนระบบแจ้งเตือนเมื่อเกิดความเสี่ยง ซึ่งช่วยลดโอกาสการเกิดภาวะฮีทสโตรกได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถประยุกต์ใช้เพื่อตรวจจับการล้มและเหตุฉุกเฉินทางสุขภาพได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่น ตัน และคณะ (Tan et al. 2024) ได้ศึกษาการใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิบริเวณใบหูร่วมกับอุปกรณ์สวมใส่ เพื่อประเมินภาวะความเครียดจากความร้อนของร่างกายในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง ผลการศึกษาพบว่า การวัดอุณหภูมิบริเวณใบหูมีความแม่นยำสูง และสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิร่างกายได้ดี จึงเหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในระบบเฝ้าระวังภาวะฮีทสโตรกแบบเรียลไทม์ ต่อมา โรเจอร์ เฟอร์นันโด อัลโด โบนิฟาซิโอ และคณะ (Bonifacio et al, 2025) ได้ทบทวนงานวิจัยเกี่ยวกับการคาดการณ์ภาวะความเครียดจากความร้อนในภาคอุตสาหกรรมและงานกลางแจ้ง โดยใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์สวมใส่ ระบบ IoT และแบบจำลองการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) ผลการศึกษาพบว่า การใช้ข้อมูลอุณหภูมิร่างกาย อัตราการเต้นของหัวใจ ความชื้นสัมพัทธ์ และลักษณะกิจกรรมการทำงานสามารถช่วยประเมินระดับความเสี่ยงล่วงหน้าได้อย่างแม่นยำ และช่วยลดการเกิดอุบัติเหตุจากความร้อนในสถานประกอบการได้นอกจากนี้ อามีน รากิอูย และคณะ (Rghioui et al, 2021) ได้นำเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งด้านสุขภาพ (e-Health) โดยเชื่อมต่อเซนเซอร์ชีวภาพเข้ากับเครือข่าย

อินเทอร์เน็ต เพื่อเฝ้าติดตามสัญญาณชีพของผู้ใช้งานอย่างต่อเนื่อง เช่น ชีพจร อุณหภูมิร่างกาย และการเคลื่อนไหว พร้อมส่งข้อมูลไปยังแพทย์หรือผู้ดูแลได้ทันที งานวิจัยดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าระบบนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลผู้สูงอายุ ผู้ป่วยโรคเรื้อรัง และผู้ที่อยู่ในภาวะเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในปี 2567 ได้มีการพัฒนาเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ความอึดตัวของออกซิเจนในเลือด อุณหภูมิร่างกาย และความดันโลหิตสำหรับผู้ปกครองทางกรมมองเห็น (หัตถ์กมล คงเทพ และคณะ, 2567) โดยใช้เซนเซอร์ MAX30102 สำหรับวัดชีพจรและค่าออกซิเจนในเลือด เซนเซอร์ MAX30205 สำหรับวัดอุณหภูมิร่างกาย และเซนเซอร์ MPS20N0040D สำหรับวัดความดันโลหิต ประมวลผลด้วยบอร์ด ESP32 พร้อมแสดงผลผ่านหน้าจอและระบบเสียงพูดอัตโนมัติ เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสุขภาพเบื้องต้นได้ด้วยตนเอง ผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมาตรฐานพบว่ามีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำ โดยอัตราการเต้นของหัวใจคลาดเคลื่อนร้อยละ 2.23 ค่าออกซิเจนในเลือดร้อยละ 0.22 อุณหภูมิร่างกายร้อยละ 0.95 และความดันโลหิตอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ แสดงให้เห็นว่าระบบเซนเซอร์สุขภาพที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อัจฉริยะเพื่อเฝ้าระวังสุขภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาห่วงโซ่อุปทานอัจฉริยะสำหรับติดตามสุขภาพและแจ้งเตือนภาวะเสี่ยงแบบเรียลไทม์ในงานวิจัยนี้

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งพัฒนาต้นแบบห่วงโซ่อุปทานอัจฉริยะสำหรับเฝ้าระวังและป้องกันภาวะฮีทสโตรก รวมถึงการตรวจจับการล้ม โดยใช้เทคโนโลยีการสวมใส่อัจฉริยะ (Wearable Devices) ซึ่งได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เนื่องจากสามารถติดตั้งเซนเซอร์ได้โดยไม่รบกวนการใช้งานประจำวันซึ่งแนวคิดในการประดิษฐ์ห่วงโซ่อุปทานอัจฉริยะเพื่อแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกนี้ จะใช้อุปกรณ์ที่สามารถตรวจวัดสัญญาณชีพ ได้แก่ เซนเซอร์ MAX30100 วัดอัตราการเต้นของหัวใจ ระดับออกซิเจนในเลือด เซนเซอร์ GY-906 เพื่อวัดอุณหภูมิของร่างกายแบบไร้สัมผัสและยังสามารถตรวจจับการล้มด้วยการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเอียง 3 แกน (GY-521) ซึ่งหากระบบตรวจพบค่าความผิดปกติที่สัมพันธ์กับภาวะฮีทสโตรก จะมีการแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านเสียงพูดในหูฟัง และส่งข้อความเตือนไปยังผู้ดูแลผ่านแอปพลิเคชัน LINE ช่วยเพิ่มโอกาสในการป้องกันอันตรายได้อย่างทันทั่วทั้งที่ซึ่งมีประยุกต์ใช้เซนเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมและสัญญาณชีพร่วมกับระบบประมวลผลอัจฉริยะ เพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานหรือผู้ดูแลล่วงหน้าแบบเรียลไทม์ เหมาะสมสำหรับใช้ในกิจกรรมกลางแจ้ง สถานศึกษา พื้นที่ก่อสร้าง ภาคเกษตรกรรม หรือการดูแลผู้สูงอายุ อันจะช่วยลดความสูญเสียด้านสุขภาพ เพิ่มความปลอดภัย และยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบห่วงโซ่อุปทานอัจฉริยะที่สามารถตรวจวัดสัญญาณชีพที่เกี่ยวข้องกับภาวะฮีทสโตรก ได้แก่ อุณหภูมิร่างกาย อัตราการเต้นของหัวใจ และความอึดตัวของออกซิเจนในเลือด โดยใช้เทคโนโลยีอุปกรณ์สวมใส่

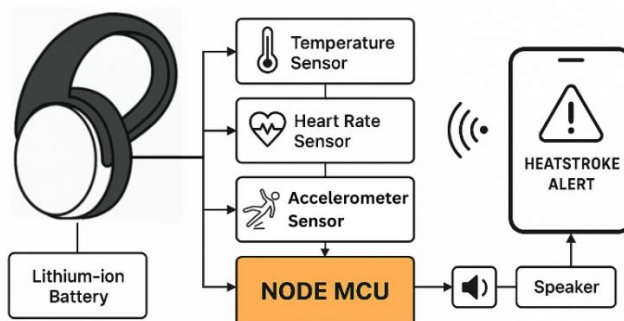
2.2 เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบประมวลผลข้อมูลสัญญาณชีพแบบเรียลไทม์ สำหรับวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของภาวะฮีทสโตรกตามเกณฑ์มาตรฐานทางสรีรวิทยา ผ่านเว็บแอปพลิเคชัน

2.3 เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับการล้มร่วมกับระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ ผ่านเสียงพูดจากอุปกรณ์สวมใส่ และการส่งข้อความผ่านแอปพลิเคชัน LINE ไปยังผู้ดูแลหรือบุคคลใกล้ชิด

3. วิธีการวิจัย

การออกแบบและพัฒนาต้นแบบห่วงโซ่อุปทานอัจฉริยะสำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้มจากการวิเคราะห์สัญญาณชีพ มีการออกแบบโดยผสมผสานเทคโนโลยีเซนเซอร์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ ความอึดตัวของออกซิเจนในเลือด อุณหภูมิ และตรวจจับการล้มภายในอุปกรณ์เดียว เพื่อตอบสนองต่อความต้องการด้านความปลอดภัยของผู้สูงอายุและผู้ที่ต้องเผชิญความเสี่ยงจากอุณหภูมิสูง โดยระบบจะตรวจจับค่าที่เกี่ยวข้องกับภาวะฮีทสโตรก

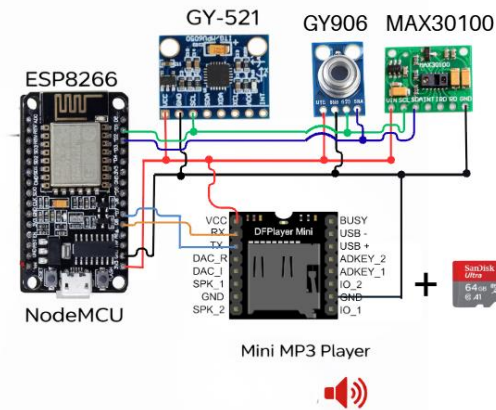
โทรกร ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ความอึดตัวของออกซิเจนในเลือด และอุณหภูมิร่างกาย พร้อมทั้งตรวจจับการล้มผ่านเซนเซอร์วัดการเคลื่อนไหวแบบ 3 แกน เมื่อตรวจพบค่าที่บ่งชี้ถึงภาวะฮีทสโตรกและอุบัติเหตุการล้ม ระบบจะประมวลผลข้อมูลและแจ้งเตือนผู้ใช้อย่างรวดเร็วผ่านลำโพงในหูฟัง พร้อมทั้งส่งสัญญาณเตือนไปยังผู้ดูแลผ่านแอปพลิเคชันไลน์เพื่อให้สามารถเข้าช่วยเหลือได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งการพัฒนาการเชื่อมต่อในภาพรวมดังนี้



รูปที่ 1 การออกแบบภาพรวม

3.1 การออกแบบวงจรและสร้างหูฟังอัจฉริยะสำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้มจากการวิเคราะห์สัญญาณชีพ

การออกแบบวงจรและสร้างหูฟังอัจฉริยะสำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้มจากการวิเคราะห์สัญญาณชีพ มีการออกแบบโดยผสมผสานเทคโนโลยีเซนเซอร์วัดอัตราการเต้นของหัวใจ ความอึดตัวของออกซิเจนในเลือดโดยใช้โมดูลเซนเซอร์วัดอัตราการเต้นของหัวใจและวัดออกซิเจนในเลือด (MAX30100) การวัดอุณหภูมิร่างกายแบบไร้สัมผัสด้วยโมดูลวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด GY-906 MLX90614 ประกอบด้วยชิพ MLX90614ESF สามารถวัดอุณหภูมิในช่วง -70 ถึง 380 องศาเซลเซียส ความละเอียดของอุณหภูมิที่วัดได้ 0.02 องศาเซลเซียส และตรวจจับการล้มด้วยโมดูลเซนเซอร์วัดความเร่งและไจโรสโคป MPU-6050 (GY521) ซึ่งการตรวจจับสัญญาณชีพและการล้มจะใช้การติดตั้งแบบเทคโนโลยีการสวมใส่โดยใช้หูฟังแบบครอบซึ่งมีลำโพงในตัว เพื่อตอบสนองต่อความต้องการด้านความปลอดภัยของผู้สูงอายุและผู้ที่ต้องเผชิญความเสี่ยงจากอุณหภูมิสูง โดยระบบจะตรวจจับค่าที่เกี่ยวข้องกับภาวะฮีทสโตรก ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ความอึดตัวของออกซิเจนในเลือด และอุณหภูมิร่างกาย พร้อมทั้งตรวจจับการล้มผ่านเซนเซอร์วัดการเคลื่อนไหวแบบ 3 แกน เมื่อตรวจพบค่าที่บ่งชี้ถึงภาวะฮีทสโตรกและอุบัติเหตุการล้ม ระบบจะประมวลผลข้อมูลและแจ้งเตือนผู้ใช้อย่างรวดเร็วผ่านลำโพงในหูฟัง พร้อมทั้งส่งสัญญาณเตือนไปยังผู้ดูแลผ่านแอปพลิเคชันไลน์เพื่อให้สามารถเข้าช่วยเหลือได้อย่างรวดเร็ว โดยวงจรเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ เป็นดังรูปที่ 2

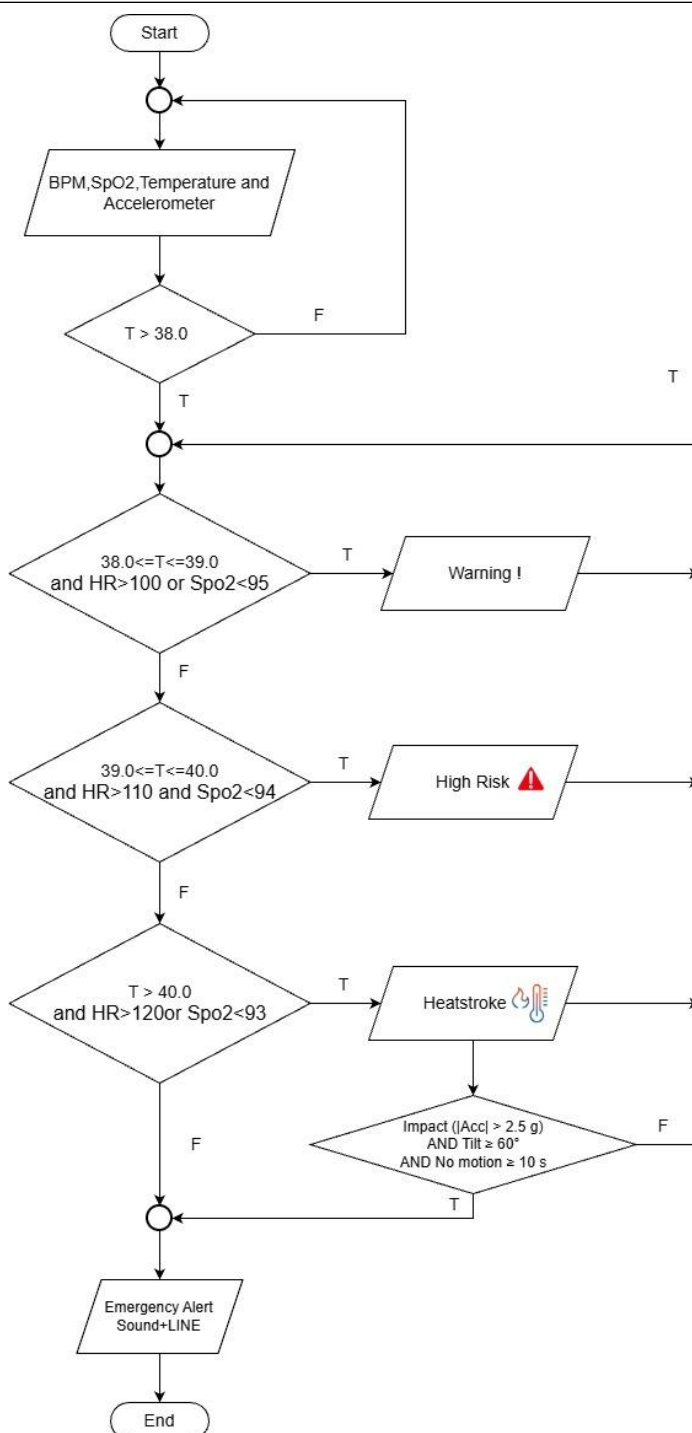


รูปที่ 2 วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์ของหูฟังอัจฉริยะสำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้มจากการวิเคราะห์สัญญาณชีพ



รูปที่ 3 อุปกรณ์สวมใส่สำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้ม

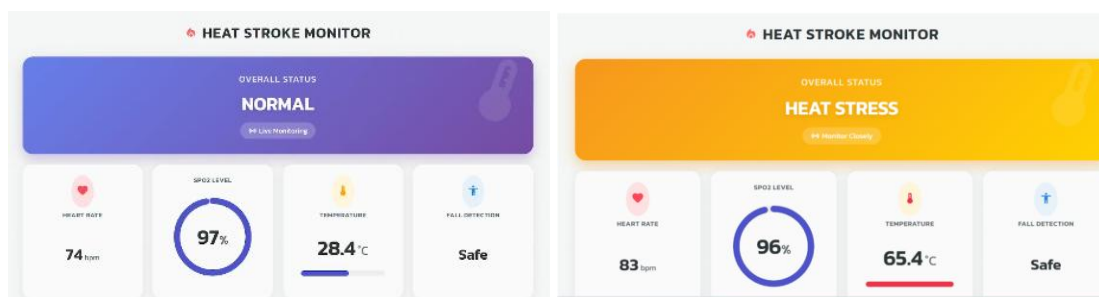
3.2 การออกแบบพัฒนาโปรแกรมทำงานต้นแบบหูฟังอัจฉริยะสำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้มจากการวิเคราะห์สัญญาณชีพ เป็นดังรูปที่ 4



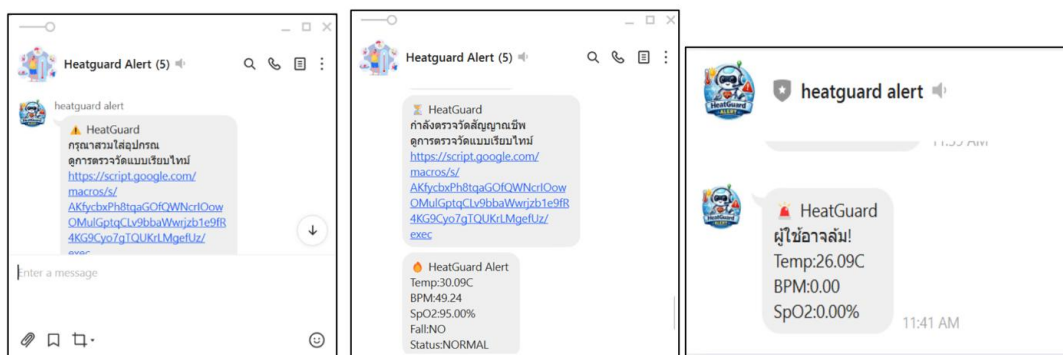
รูปที่ 4 การออกแบบพัฒนาโปรแกรมทำงานหึ่งอัจฉริยะสำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้มจากการวิเคราะห์สัญญาณชีพ

จากรูปที่ 4 การทำงานของระบบเริ่มจากการตรวจวัดสัญญาณชีพ ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO₂) และอุณหภูมิร่างกายของผู้สวมใส่ ข้อมูลจากเซนเซอร์ทั้งหมดจะถูกประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ซึ่งมีความสามารถในการเชื่อมต่อไร้สายกับเว็บแอปพลิเคชัน ที่พัฒนาโดยใช้ Google App Script และแอปพลิเคชัน LINE เมื่อค่าที่ตรวจวัดได้เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ระบบจะทำการแจ้งเตือนทันที ทั้งในรูปแบบเสียงผ่านหูฟังและการส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลหรือสมาชิกในครอบครัวผ่านแอปพลิเคชัน LINE ซึ่งมีการออกแบบอุปกรณ์สวมใส่สำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้ม

เกณฑ์การแจ้งเตือนอุณหภูมิร่างกาย อัตราการเต้นของหัวใจ และความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด ถูกกำหนดขึ้นโดยอ้างอิงจากข้อมูลทางการแพทย์ทั่วไปเกี่ยวกับภาวะไข้สูง ภาวะหัวใจเต้นเร็ว และภาวะออกซิเจนในเลือดต่ำ ร่วมกับการออกแบบระบบต้นแบบ โดยใช้ข้อมูลสัญญาณชีพที่ตรวจวัดได้จากเซนเซอร์แบบโฟโตเพลธิสโมกราฟี (Photoplethysmography: PPG) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่สามารถใช้ติดตามอัตราการเต้นของหัวใจและความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Haddad et al., 2022) ทั้งนี้ ระบบได้แบ่งระดับความเสี่ยงออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับเฝ้าระวัง ระดับเตือน และระดับฉุกเฉิน เพื่อให้สามารถประมวลผลและแจ้งเตือนผู้ใช้งานได้อย่างเหมาะสม เกณฑ์ดังกล่าวใช้สำหรับการประเมินความเสี่ยงเบื้องต้นของระบบต้นแบบเท่านั้น มิได้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการวินิจฉัยโรคหรือทดแทนการประเมินทางการแพทย์ และอาจมีการปรับปรุงให้สอดคล้องกับแนวทางทางคลินิกและผลการทดสอบกับกลุ่มผู้ใช้งานจริงในอนาคต



รูปที่ 5 ผลการตรวจวัดแบบเรียลไทม์แสดงผ่านเว็บแอปพลิเคชัน



รูปที่ 5 การแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์

3.3 การทดสอบการทำงานของต้นแบบ

หลังจากดำเนินการพัฒนาต้นแบบหูฟังอัจฉริยะสำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้มจากการวิเคราะห์สัญญาณชีพแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการทำงานของเบื้องต้นของระบบ เพื่อประเมินความสามารถในการตรวจวัดสัญญาณชีพ การประมวลผลข้อมูล และการแจ้งเตือนของอุปกรณ์ โดยการทดสอบดำเนินการภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ในห้องปฏิบัติการ และดำเนินการทดสอบโดยผู้วิจัย

การทดสอบครอบคลุมการตรวจวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO_2) อุณหภูมิร่างกาย และการตรวจจับการล้มจากเซนเซอร์ MPU6050 ข้อมูลที่ตรวจวัดได้ถูกส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังเว็บแอปพลิเคชันเพื่อแสดงผลแบบเรียลไทม์ พร้อมทั้งทดสอบการแจ้งเตือนผ่านลำโพงของหูฟัง และการส่งข้อความแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE เมื่อค่าที่ตรวจวัดได้เกินเกณฑ์ที่กำหนด

นอกจากนี้ ได้มีการเปรียบเทียบค่าการวัดจากต้นแบบกับเครื่องมืออ้างอิงมาตรฐาน ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด YUWELL รุ่น YT-1 และเครื่อง Pulse Oximeter รุ่น CMS-50DL เพื่อประเมินความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากระบบ โดยใช้การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าที่วัดได้จากต้นแบบและเครื่องมือมาตรฐาน

การศึกษาค้างนี้เป็นการพัฒนาและทดสอบต้นแบบในระดับห้องปฏิบัติการ (Prototype Development and Preliminary Testing) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบเบื้องต้น โดยผู้วิจัยเป็นผู้ทดสอบระบบด้วยตนเอง การตรวจวัดสัญญาณชีพเป็นการตรวจวัดแบบไม่รุกรานร่างกาย (Non-invasive Measurement) ไม่มีการเก็บตัวอย่างทางชีวภาพหรือการแทรกแซงทางการแพทย์ และผู้วิจัยได้ให้ความยินยอมเข้าร่วมการทดสอบโดยสมัครใจ ผลการทดสอบที่ได้ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพของต้นแบบ ก่อนนำไปศึกษาทดลองกับกลุ่มผู้ใช้งานจริงในอนาคต

4. ผลการวิจัย

จากการพัฒนาและทดสอบต้นแบบหูฟังอัจฉริยะสำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้มจากการวิเคราะห์สัญญาณชีพพบผลการทดสอบ ดังนี้

4.1 การทดสอบการวัดหาระยะที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัด เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในการวัดอุณหภูมิร่างกายบริเวณใบหู โดยเปรียบเทียบค่าที่ได้จากระบบกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรดมาตรฐานยี่ห้อ YUWELL รุ่น YT-1 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย การทดลองดำเนินการโดยกำหนดระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับตำแหน่งใบหูในช่วง 1-6 เซนติเมตร และบันทึกค่าที่วัดได้เพื่อนำมาวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบวัดหาระยะในการตรวจวัดอุณหภูมิร่างกายที่เหมาะสมบริเวณใบหู เปรียบเทียบกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ YUWELL รุ่น YT-1

ระยะ (cm)	ระบบวัดที่ใบหู (°C)	เครื่อง YUWELL YT-1 (°C)	ค่าคลาดเคลื่อน (°C)
1	36.72	36.70	0.02
2	36.70	36.70	0.00
3	36.65	36.60	0.05
4	36.58	36.60	0.02
5	36.45	36.50	0.05
6	36.30	36.50	0.20

จากการทดสอบหาระยะที่เหมาะสมในการวัดอุณหภูมิร่างกายบริเวณใบหู โดยเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากระบบกับเครื่องวัดอุณหภูมิอินฟราเรดมาตรฐาน พบว่า ที่ระยะ 1–4 เซนติเมตร ค่าที่วัดได้มีความใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐานมาก โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.00–0.05 องศาเซลเซียส เมื่อระยะเพิ่มขึ้นเป็น 5–6 เซนติเมตร พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ระยะ 6 เซนติเมตร ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนสูงถึง 0.20 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าระยะที่มากเกินไปส่งผลต่อความแม่นยำของการวัด ดังนั้น ระยะที่เหมาะสมสำหรับการวัดอุณหภูมิบริเวณใบหูด้วยเซนเซอร์อินฟราเรดในงานวิจัยนี้ 2 เซนติเมตร ซึ่งให้ค่าที่มีความแม่นยำและเสถียรใกล้เคียงกับเครื่องมือมาตรฐานมากที่สุด

4.2 การประเมินความถูกต้องของระบบวัดอุณหภูมิ ได้ทำการทดสอบโดยวัดอุณหภูมิร่างกายในตำแหน่งต่าง ๆ ได้แก่ บริเวณใบหู หน้าผาก และฝ่ามือ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับพื้นผิวผิวหนังคงที่ที่ 2 เซนติเมตร โดยกำหนดจำนวนการทดสอบในแต่ละตำแหน่งเท่ากับจำนวน 20 ครั้ง โดยผู้ทดสอบอยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกันเพื่อลดผลกระทบจากอุณหภูมิภายนอก ในแต่ละครั้งจะทำการวัดอุณหภูมิด้วยระบบหูฟังอัจฉริยะ และวัดซ้ำด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ YUWELL รุ่น YT-1 ในเวลาเดียวกัน เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิง จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่ง และหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยจากเครื่องมือมาตรฐาน เพื่อนำมาวิเคราะห์ความแม่นยำและความเหมาะสมของตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิ ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความถูกต้องของการวัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่าง ๆ ที่ระยะ 2 เซนติเมตร

ตำแหน่ง	จำนวนทดสอบ	ค่าเฉลี่ยที่วัดได้ (°C)	เครื่อง YUWELL YT-1 (°C)	ค่าคลาดเคลื่อน (°C)
ใบหู	20	36.74	36.70	0.04
หน้าผาก	20	36.91	36.80	0.11
ฝ่ามือ	20	36.82	36.60	0.22

จากผลการทดสอบการวัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่าง ๆ โดยกำหนดระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับผิวหนังเท่ากับ 2 เซนติเมตร พบว่า การวัดบริเวณใบหูให้ค่าที่ใกล้เคียงกับเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ YUWELL รุ่น YT-1 มากที่สุด โดยมีค่าคลาดเคลื่อนเพียง 0.04 °C รองลงมาคือหน้าผาก และฝ่ามือ ซึ่งมีค่าคลาดเคลื่อนสูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งของการวัดมีผลต่อความแม่นยำของเซนเซอร์อินฟราเรด

4.3 การทดสอบการวัดสัญญาณชีพ ได้แก่ อัตราการเต้นของหัวใจ (BPM) และความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO₂) ได้ทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้จากเซนเซอร์ MAX30100 ซึ่งติดตั้งบริเวณใบหู กับเครื่อง Pulse oximetry ยี่ห้อ AccuMed รุ่น CMS-50DL ซึ่งใช้เป็นเครื่องมืออ้างอิง โดยดำเนินการวัดพร้อมกันในช่วงเวลาเดียวกัน และกำหนดให้ผู้ทดสอบอยู่ในสภาวะพักเพื่อลดผลกระทบจากการเคลื่อนไหว ในการทดลองนี้ ผู้วิจัยทำหน้าที่เป็นผู้ทดสอบและเก็บข้อมูลด้วยตนเอง ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกันตลอดการทดลอง โดยทำการวัดซ้ำทั้งหมด 20 ครั้ง ภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยในแต่ละครั้งในการทดสอบ ผู้วิจัยอยู่ในสภาวะพักและอยู่ในท่านั่งนิ่งเพื่อลดผลกระทบจากการเคลื่อนไหว ทำการวัดค่าจากทั้งสองอุปกรณ์พร้อมกันจำนวน 20 ครั้ง โดยแต่ละครั้งใช้ระยะเวลาการวัด 10 วินาที เพื่อให้สัญญาณมีความเสถียรก่อนบันทึกข้อมูล จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนและวิเคราะห์ความสอดคล้องของข้อมูล ทั้งนี้แนวทางการเปรียบเทียบค่าการวัดสัญญาณชีพระหว่างตำแหน่งใบหูและปลายนิ้วสามารถทำได้ เนื่องจากทั้งสองตำแหน่งใช้หลักการวัดสัญญาณแบบโฟโตเพลธิสโมกราฟี (Photoplethysmography: PPG) เหมือนกัน โดยอาศัยการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเลือดด้วยแสง ซึ่งสามารถใช้ในการคำนวณทั้งอัตราการเต้นของหัวใจและความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดได้ โดยมีงานวิจัยก่อนหน้านี้

นี้มีการศึกษาการวัดสัญญาณชีพด้วยเซนเซอร์แบบโฟโตเพลธิสโมกราฟี (Photoplethysmography: PPG) ที่ติดตั้งในตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น ใบหูและปลายนิ้ว โดยเปรียบเทียบกับ การวัดด้วยคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (ECG) ซึ่งเป็นมาตรฐาน พบว่าเซนเซอร์ที่ติดตั้งบริเวณใบหูสามารถให้ค่าการตรวจจับชีพจรและช่วงจังหวะการเต้นของหัวใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความแม่นยำในระดับสูง (Haddad et al, 2022) อย่างไรก็ตาม ความแม่นยำของการวัดอาจขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเซนเซอร์ โดยมีรายงานว่าเซนเซอร์ที่ปลายนิ้วอาจให้ความสอดคล้องกับค่ามาตรฐานได้ดีกว่าในบางพารามิเตอร์ (Parikh et al, 2023) ทั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการเลือกตำแหน่งติดตั้งเซนเซอร์ควรพิจารณาตามลักษณะการใช้งานและสภาพแวดล้อมในการวัด

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบค่าการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (BPM) และความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO₂) ระหว่างเครื่อง Pulse Oximeter และเซนเซอร์ MAX30100 พร้อมค่าความคลาดเคลื่อน (%Error)

ครั้งที่	Pulse oximetry		MAX30100		%Error	
	BPM	SpO ₂ (%)	BPM	SpO ₂ (%)	BPM	SpO ₂
1	82	96	84	96	2.44	0.00
2	83	97	85	96	2.41	1.03
3	82	96	80	95	2.44	1.04
4	85	98	84	97	1.18	1.02
5	90	97	92	96	2.22	1.03
6	96	98	96	96	0.00	2.04
7	98	97	97	97	1.02	0.00
8	95	96	95	95	0.00	1.04
9	82	95	80	95	2.44	0.00
10	96	96	96	96	0.00	0.00
11	88	97	90	96	2.27	1.03
12	91	98	92	97	1.10	1.02
13	87	96	86	95	1.15	1.04
14	89	97	91	96	2.25	1.03
15	93	98	94	97	1.08	1.02
16	94	96	93	95	1.06	1.04
17	86	97	88	96	2.33	1.03
18	92	98	91	97	1.09	1.02
19	90	96	89	96	1.11	0.00
20	88	97	87	96	1.14	1.03
เฉลี่ย					1.44	0.82

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าอัตราการเต้นของหัวใจ (BPM) และค่าความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO₂) ที่วัดได้จากเซนเซอร์ MAX30100 มีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดจากเครื่อง Pulse Oximeter ซึ่งใช้เป็นเครื่องมืออ้างอิง โดยมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.44% สำหรับ BPM และ 0.82% สำหรับ SpO₂ ซึ่งอยู่ใน

เกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการวัดสัญญาณชีพด้วยเทคโนโลยี Photoplethysmography (PPG) ผลลัพธ์ดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Serj Haddad และคณะ (2022) ที่รายงานว่าเซนเซอร์ PPG ที่ติดตั้งบริเวณใบหูสามารถให้ประสิทธิภาพในการตรวจจับชีพจรและการประเมินช่วงจังหวะการเต้นของหัวใจได้ในระดับสูง และมีความแม่นยำเทียบเท่าหรือดีกว่าเซนเซอร์ที่ติดตั้งในตำแหน่งอื่น

4.4 การทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบตรวจจับการล้ม ดำเนินการโดยผู้วิจัยซึ่งเป็นผู้สวมใส่อุปกรณ์หูฟังอัจฉริยะที่ติดตั้งเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว MPU6050 และจำลองสถานการณ์การล้มในทิศทางต่าง ๆ ได้แก่ การล้มด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวา ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ในห้องปฏิบัติการ โดยกำหนดจำนวนการทดสอบในแต่ละรูปแบบจำนวน 20 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 80 ครั้ง ในการทดลอง ระบบจะประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์เพื่อตรวจจับเหตุการณ์การล้ม และบันทึกผลการตรวจจับในแต่ละครั้งเป็น “ตรวจจับได้” หรือ “ตรวจจับไม่ได้” พร้อมทั้งบันทึกระยะเวลาในการตรวจจับและระยะเวลาในการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE โดยระยะเวลาในการแจ้งเตือนคำนวณจากช่วงเวลาตั้งแต่ระบบตรวจพบการล้ม จนถึงเวลาที่ผู้รับได้รับข้อความแจ้งเตือน ระบบจะบันทึกเวลา (Timestamp) อัตโนมัติและส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังเซิร์ฟเวอร์เพื่อดำเนินการแจ้งเตือน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณค่าความแม่นยำ (Accuracy) ของระบบในแต่ละรูปแบบการล้ม โดยใช้สมการ $Accuracy (\%) = (\text{จำนวนครั้งที่ตรวจจับได้} \div \text{จำนวนครั้งที่ทดสอบทั้งหมด}) \times 100$ ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจจับการล้มและเวลาในการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการตรวจจับการล้มและเวลาแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันไลน์ของระบบหูฟังอัจฉริยะสำหรับการแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้มจากการวิเคราะห์สัญญาณชีพ

รูปแบบการล้ม	จำนวนทดสอบ	ตรวจจับได้	เวลาตรวจจับ (วินาที)	เวลาแจ้งเตือนผ่าน LINE (วินาที)	Accuracy
ล้มด้านหน้า	20	19	1.2	2.8	95%
ล้มด้านหลัง	20	20	1.0	2.5	100%
ล้มด้านซ้าย	20	18	1.5	3.2	90%
ล้มด้านขวา	20	19	1.3	2.9	95%

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตรวจจับการล้มร่วมกับการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE พบว่า ระบบสามารถตรวจจับการล้มได้ในทุกทิศทาง โดยมีค่าความแม่นยำ (Accuracy) อยู่ในช่วง 90–100% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 95% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับระยะเวลาในการตรวจจับการล้ม พบว่า ระบบสามารถตรวจจับเหตุการณ์ได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 1.25 วินาที ขณะที่ระยะเวลาในการแจ้งเตือนผ่าน LINE มีค่าเฉลี่ยประมาณ 2.85 วินาที แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานแบบใกล้เคียงเวลาจริง (near real-time) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ การล้มด้านหลังมีความแม่นยำสูงสุด (100%) และใช้เวลาตรวจจับสั้นที่สุด ขณะที่การล้มด้านซ้ายมีความแม่นยำต่ำสุด (90%) และใช้เวลาในการแจ้งเตือนนานที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะการเคลื่อนไหวและทิศทางของแรงที่ส่งผลต่อการตรวจจับของเซนเซอร์

5. อภิปรายผลและสรุปผล

5.1 การพัฒนาด้านแบบหูฟังอัจฉริยะสำหรับตรวจวัดสัญญาณชีพและแจ้งเตือนภาวะฮีทสโตรกและการล้ม

จากการพัฒนาด้านแบบหูฟังอัจฉริยะ พบว่า ระบบสามารถตรวจวัดสัญญาณชีพ ได้แก่ อุณหภูมิร่างกาย อัตราการเต้นของหัวใจ (BPM) และความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือด (SpO_2) ได้อย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งสามารถ

ประมวลผลข้อมูลและแสดงผลผ่านเว็บแอปพลิเคชันแบบเรียลไทม์ รวมถึงสามารถแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านเสียงจากอุปกรณ์ และส่งข้อความแจ้งเตือนไปยังผู้ดูแลผ่านแอปพลิเคชัน LINE ได้ โดยระบบสามารถใช้งานผ่านอุปกรณ์หลากหลาย เช่น โทรศัพท์มือถือ แท็บเล็ต และคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของระบบอาจได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนไหวของผู้ใช้งานและสัญญาณรบกวนจากสภาพแวดล้อม

5.2 การทดสอบความแม่นยำของการวัดสัญญาณชีพและอุณหภูมิ

จากการทดสอบพบว่า การวัดอัตราการเต้นของหัวใจและความอิ่มตัวของออกซิเจนในเลือดด้วยเซนเซอร์ MAX30100 ที่ติดตั้งบริเวณใบหู ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับเครื่อง Pulse Oximeter โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 1.44% และ 0.82% ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ของเทคโนโลยี Photoplethysmography (PPG) ในส่วนของการวัดอุณหภูมิ พบว่า บริเวณใบหูให้ค่าที่มีความแม่นยำสูงที่สุด โดยมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเพียง 0.04 °C และระยะที่เหมาะสมในการวัดคือ 2 เซนติเมตร แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งและระยะห่างของเซนเซอร์มีผลต่อความแม่นยำของการวัดอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการศึกษาที่สอดคล้องกับงานของ Serj Haddad และคณะ ที่รายงานว่าเซนเซอร์ PPG บริเวณใบหูสามารถให้ค่าการวัดที่มีความแม่นยำสูง และสามารถติดตามสัญญาณชีพได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม สอดคล้องกับ Ankit Parikh และคณะ ที่ระบุว่าความแม่นยำของการวัดอาจขึ้นอยู่กับตำแหน่งและสภาพการใช้งาน ทั้งนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นยังมีข้อจำกัดในด้านจำนวนผู้ทดสอบและสภาวะการทดลอง ในอนาคตควรเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่าง ทดสอบในสถานการณ์จริง และพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อลดสัญญาณรบกวนจากการเคลื่อนไหว เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความเสถียรของระบบให้มากยิ่งขึ้น

5.3 การทดสอบประสิทธิภาพระบบตรวจจับการล้มและการแจ้งเตือน

จากการทดลองพบว่า ระบบสามารถตรวจจับการล้มได้ในทุกทิศทาง ได้แก่ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และด้านขวา โดยมีค่าความแม่นยำเฉลี่ย 95% และสามารถแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน LINE ได้ภายในเวลาเฉลี่ยประมาณ 2.85 วินาที แสดงให้เห็นว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วในระดับใกล้เคียงเวลาจริง (near real-time) โดยการล้มด้านหลังมีความแม่นยำสูงที่สุด ขณะที่การล้มด้านซ้ายมีความแม่นยำต่ำที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากลักษณะการเคลื่อนไหวและทิศทางของแรงที่มีผลต่อการตรวจจับของเซนเซอร์

6. ข้อเสนอแนะ

ต้นแบบหูฟังอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถตรวจวัดสัญญาณชีพและแจ้งเตือนภาวะเสี่ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อจำกัดบางประการที่สามารถพัฒนาเพิ่มเติมได้ในอนาคต โดยการวัดสัญญาณชีพด้วยเซนเซอร์แบบ Photoplethysmography (PPG) ที่ติดตั้งบริเวณใบหู อาจได้รับผลกระทบจากการเคลื่อนไหวของผู้ใช้งาน การแนบของเซนเซอร์กับผิวหนัง และสัญญาณรบกวนจากแสงภายนอก ส่งผลให้ค่าที่วัดได้อาจมีความคลาดเคลื่อนในบางกรณี ดังนั้น ในการพัฒนาระบบในอนาคต ควรมีการปรับปรุงด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ร่วมกัน เช่น การออกแบบตำแหน่งยึดเซนเซอร์ให้กระชับและคงที่มากยิ่งขึ้น การเพิ่มวงจรกรองสัญญาณรบกวน หรือการพัฒนาอัลกอริทึมประมวลผลสัญญาณเพื่อลดผลกระทบจากการเคลื่อนไหว (motion artifact) นอกจากนี้ ควรเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่างในการทดลอง และทดสอบในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริง เพื่อให้ได้ผลการประเมินที่ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น อีกทั้ง ระบบสามารถต่อยอดโดยเพิ่มความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก เช่น การประเมินแนวโน้มความเสี่ยงของภาวะฮีทสโตรกแบบต่อเนื่อง หรือการเชื่อมต่อกับระบบสุขภาพอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเฝ้าระวังและดูแลผู้ใช้งานในระยะยาว

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยนี้จากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมโรค. (2568). *สถานการณ์โรคลมร้อนในประเทศไทย*. กระทรวงสาธารณสุข.
- ธราธร ดุรงค์พันธุ์. (2562). โรคลมร้อน (Heat stroke). *วารสารโรงพยาบาลชลบุรี*, 44(3), 241–247.
- สมคิด โพธิ์ชนะพันธุ์. (2560). โรคลมร้อน: ภาวะฉุกเฉินที่เป็นอันตรายต่อชีวิต. *วารสารพยาบาลทหารบก*, 18(2), 30–37.
- สิทธิชัย ตันติภาสวสิน. (2566). Heat stroke. *วารสารโรงพยาบาลชลบุรี*, 48(1), 1–5.
- หัตถ์กมล คงเทพ, สิริชชา ศรีนาค, สุเมธ อาชิต, & สุรพันธ์ ยิ้มมัน. (2567). เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ความอึดตัวของออกซิเจนในเลือด อุณหภูมิร่างกาย และความดันโลหิตสำหรับผู้ปกครองทางการมองเห็น. *วารสารเทคโนโลยีสุขภาพไทย*, 5(1), 21–23.
- Bonifacio, R. F. A., Buendia Milla, B. Y., & Rojas, J. J. H. (2025). Predicting occupational heat stress in critical sectors: A sector-based systematic review of wearable sensing, IoT platforms, and machine learning models. *Journal of Robotics and Control*, 6(5), 1–12.
- Habibi, P., Razmjouei, J., Moradi, A., et al. (2024). *Climate change and heat stress resilient outdoor workers: Findings from a systematic literature review*. BMC Public Health, 24, 1711.
- Haddad, S., Boukhayma, A., & Caizzzone, A. (2022). Ear and finger PPG wearables for night and day beat-to-beat interval detection. In *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*.
- Parikh, A., Lewis, G., GholamHosseini, H., Rashid, U., Rice, D., & Almesfer, F. (2023). Evaluation of in-ear and fingertip-based photoplethysmography sensors for measuring cardiac vagal tone relevant heart rate variability parameters. *Sensors*, 25(5), 1485.
- Rghioui, A., Sendra, S., Lloret, J., & Oumnad, A. (2021). Internet of Things for measuring human activities in ambient assisted living and e-health. *Network Protocols and Algorithms*, 13(1), 1–21.
- Tan, S. C. C., Tran, T. C. K., Chiang, C. Y. N., et al. (2024). *External auricle temperature enhances ear-based wearable accuracy during physiological strain monitoring in the heat*. Scientific Reports, 14, 12418.