

การสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็วของระบบแจ้งเตือนถุงเพิ่มความดันด้วย MicroPython และ LVGL

Rapid Prototyping of a GUI-based Alert System for Pressure Infusion Bags using MicroPython and LVGL

ศุภชัย วรพจน์พิศุทธิ์^{1*} และ อมราพร นาโควงศ์²

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
² โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระ
เกียรติ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
* ผู้รับผิดชอบบทความ
vsupacha@engr.tu.ac.th

Received: 29 May 2026
Revised: 11 Aug 2026
Accepted: 15 Aug 2026

บทคัดย่อ

การใช้ถุงเพิ่มความดันเป็นแนวทางหนึ่งในการทำหัตถการรักษาสันเลือดด้วยการสร้างแรงดันบวกภายในท่อและสายสวน แต่หากสารน้ำหมดอาจเกิดฟองอากาศซึ่งนำไปสู่ภาวะฟองอากาศอุดตันหลอดเลือด บทความนี้นำเสนอแนวทางการสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็วสำหรับระบบแจ้งเตือนระดับสารน้ำในถุงเพิ่มความดันเพื่อประเมินความเหมาะสมของแนวคิดก่อนการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ ระบบต้นแบบใช้ฮาร์ดแวร์สำเร็จรูปประกอบด้วยบอร์ด M5Stack Tab5 โหลดเซลล์ และโมดูลเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ เฟิร์มแวร์ถูกพัฒนาด้วย MicroPython และไลบรารีกราฟิก LVGL โดยใช้เว็บ UIFlow2.0 เพื่อออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้เบื้องต้น ก่อนจะปรับแก้ตรรกะการทำงานของโค้ดโดยตรง ระบบต้นแบบสามารถแสดงข้อมูลที่สำคัญ เช่น ปริมาณสารน้ำที่ได้รับทั้งหมด, ปริมาณสารน้ำที่เหลือ, ระยะเวลาที่เหลือในการใช้สารน้ำ, และจำนวนขวดของสารน้ำที่ใช้ไปแล้ว ซึ่งจะช่วยให้ความปลอดภัยในการทำหัตถการ รวมถึงสนับสนุนการตัดสินใจรักษาของแพทย์อย่างรวดเร็วและเหมาะสม การประเมินความพึงพอใจจากผู้ที่เป็นแพทย์และพยาบาลประจำห้องหัตถการ จำนวน 22 คน พบว่าความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อประสิทธิภาพของระบบต้นแบบ มีคะแนนเฉลี่ย 4.37 (S.D.= 0.60) อยู่ในระดับความพึงพอใจมาก

คำสำคัญ: การสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว ถุงเพิ่มความดันให้สารละลายทางหลอดเลือด MicroPython ไลบรารี LVGL

Abstract

The use of pressure infusion bags is a common approach in vascular procedures, creating positive pressure within the tubing and catheter system. However, when the fluid is depleted, there is a risk of air entering the system, potentially leading to air embolism. This paper presents a rapid prototyping framework for developing a fluid level alert system for pressure infusion bags, aiming to evaluate the feasibility of the concept prior to medical device development. The prototype is constructed using off-the-shelf hardware, including an M5Stack Tab5 board, a load cell, and a sensor interfacing module. The firmware is developed using MicroPython and the LVGL graphics library with the UIFlow2.0 web-based platform for initial GUI development, followed by direct refinement of the system logic within the code. The prototype system can display key information, including total infused volume, remaining fluid volume, estimated remaining infusion

time, and the number of fluid bottles used. These features enhance procedural safety and support timely and appropriate clinical decision-making. User satisfaction was evaluated among 22 physicians and nurses working in interventional procedure rooms. The results indicated a high level of satisfaction with an overall mean score of 4.37 (S.D. = 0.60).

Keywords: Rapid Prototyping; Pressure Infusion Bag; MicroPython; LVGL

1. บทนำ

ถุงเพิ่มความดันสารละลาย (Pressure Infusion Bag) คือ ถุงพลาสติกที่หุ้มถุงน้ำเกลือหรือถุงเลือดเพื่อบีบแรงการให้เลือดหรือสารละลายทางหลอดเลือดดำ มักใช้ในกรณีที่ต้องการให้สารน้ำแรงดัน [1] โดยใช้ลูกปั๊มและมาโนมิเตอร์ (Manometer) ควบคุมความดันภายในถุง ปัญหาที่พบในการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์ที่ดูแลการให้สารน้ำด้วยถุงเพิ่มความดันสารละลายคือ เวลาที่ใช้ในการให้สารน้ำจะน้อยมากเมื่อเทียบกับการให้สารน้ำผ่านการหยดด้วยแรงโน้มถ่วง ทำให้เกิดความเสี่ยงที่สารน้ำอาจจะหมดจนทำให้อากาศเล็ดลอดเข้าไปในสายส่งสารน้ำและหลอดเลือด ซึ่งเป็นอันตรายอย่างมากต่อผู้ป่วยจากภาวะหลอดเลือดอุดตันด้วยฟองอากาศ (Air Embolism) อย่างไรก็ตาม ถุงเพิ่มความดันสารละลายที่ใช้ในโรงพยาบาลส่วนใหญ่ทำจาก Thermoplastic Polyurethane (TPU), Polypropylene (PP) ซึ่งมีข้อจำกัดในแง่ความทนหลังจากผ่านการใช้งานไประยะหนึ่ง ทำให้ผู้ดูแลอาจมองเห็นระดับของถุงสารน้ำด้านในไม่ชัดเจน



รูปที่ 1 ตัวอย่างของถุงเพิ่มความดันสารละลาย

งานวิจัยนี้เกิดจากความร่วมมือของทีมวิจัยในสังกัดคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ได้รับโจทย์จากพยาบาลที่ดูแลห้องรังสีร่วมรักษาของโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ ซึ่งต้องการลดความเสี่ยงของการตรวจสอบระดับสารน้ำภายในถุงสารน้ำผิดพลาด จนอาจทำให้อากาศรั่วไหลไปอุดตันหลอดเลือดของผู้ป่วยที่อยู่ระหว่างการรับหัตถการ เจือปนของการออกแบบที่สังเคราะห์จากการสอบถามสถานการณ์การใช้งานคือ

- เป็นอุปกรณ์ที่สามารถใช้ร่วมกับถุงเพิ่มความดันสารละลายเดิมของโรงพยาบาล
- ไม่มีการปรับเปลี่ยนหรือดัดแปลงถุงเพิ่มความดันสารละลาย
- แจ้งเตือนพยาบาลที่เป็นผู้ดูแลเมื่อปริมาณสารน้ำในถุงลดลงจนถึงระดับที่ควรเปลี่ยน
- มีหน้าจอแสดงสถานะของปริมาณสารน้ำที่เหลือ ปริมาณสารน้ำสะสมที่ให้ไปแล้ว และจำนวนครั้งในการเปลี่ยนถุง
- สามารถสอบเทียบอย่างง่ายด้วยวัสดุหรืออุปกรณ์ของโรงพยาบาล

เจือปนข้างต้นนี้สะท้อนถึงข้อจำกัดในทางปฏิบัติของโรงพยาบาล ซึ่งต้องใช้เฉพาะอุปกรณ์ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานความปลอดภัยทางการแพทย์ และไม่กระทบต่อกระบวนการทำงานเดิมของพยาบาลผู้ซึ่งต้องดูแลผู้ป่วยอย่างใกล้ชิด

การสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบเฝ้าระวังการให้สารน้ำผ่านหลอดเลือดดำพบว่า งานวิจัยส่วนใหญ่จะเน้นไปที่การให้สารน้ำแบบหยดด้วยแรงโน้มถ่วงที่เป็นสถานการณ์ทั่วไป เช่น การให้น้ำเกลือ โดยมีการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ต่างๆ เช่น การใช้เซ็นเซอร์วัดความถี่ประจุ [2] ตรวจจับปริมาณสารน้ำในถุง การใช้กล้องเพื่อตรวจสอบการหยดของสารน้ำ [3] และการใช้เซ็นเซอร์วัดแรงเพื่อตรวจจับสถานะถุงสารน้ำแฟบลง [4] อย่างไรก็ตาม การสืบค้นพบว่างานวิจัยที่มุ่งเน้นสถานการณ์ของการใช้ถุงเพิ่มความดันสารละลายโดยตรงยังมีอยู่จำกัดมาก มีเพียงงานวิจัยที่พัฒนาอุปกรณ์บีบถุงสารน้ำ [5] ซึ่งวิธีการดังกล่าวยังไม่สอดคล้องกับเจือปนของการใช้งานจริงของโรงพยาบาลที่ต้องการใช้อุปกรณ์เดิม

เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือการนำเสนอแนวคิดการสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototyping) โดยประยุกต์ใช้ MicroPython และไลบรารีกราฟิก LVGL (Light and Versatile Graphics Library) เพื่อสร้างอุปกรณ์ต้นแบบให้บุคลากรทางการแพทย์ได้ประเมินความเหมาะสมในการใช้ร่วมกับกระบวนการทำงานเดิมก่อนพัฒนาเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่จะต้องผ่านกระบวนการรับรองความปลอดภัย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่มุ่งเน้นการพัฒนาวิธีตรวจวัดหรือระบบแจ้งเตือนสารน้ำ ในขณะที่งานวิจัยนี้มุ่งเน้นกระบวนการสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็วเพื่อประเมินความเป็นไปได้ของแนวคิดภายใต้สถานการณ์จำลองการใช้งาน การเลือกใช้ MicroPython และ LVGL จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความซับซ้อนและระยะเวลาในการพัฒนาเฟิร์มแวร์และส่วนติดต่อผู้ใช้ มากกว่าการนำเสนอเทคนิคใหม่สำหรับการตรวจวัดปริมาณสารน้ำ เนื้อหาในส่วนถัดไปจะอธิบายภาพรวมของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่เลือกใช้ และรายละเอียดของการออกแบบและพัฒนาเฟิร์มแวร์ตามลำดับ

2. สถาปัตยกรรมของระบบ

2.1 สถาปัตยกรรมของฮาร์ดแวร์

เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือ การสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็วจึงเน้นการเลือกใช้ฮาร์ดแวร์สำเร็จรูป (Off-the-Shelf Hardware) เมื่อพิจารณาเงื่อนไขของการแสดงสถานะของถุงสารน้ำและปริมาณสารน้ำที่จ่ายให้กับผู้ป่วย งานวิจัยนี้เลือกใช้บอร์ด M5Stack Tab5 ดังในรูปที่ 2 เป็นหน่วยควบคุมหลัก เนื่องจากมีทรัพยากรเพียงพอสำหรับการพัฒนาส่วนแสดงผลแบบกราฟิกและสะดวกในการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์



รูปที่ 2 บอร์ด M5Stack Tab5

คุณลักษณะที่สำคัญของบอร์ด M5Stack Tab5 ที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ ได้แก่

- หน่วยประมวลผล ESP32-P4 แบบ dual-core
- หน่วยความจำขนาดใหญ่ 16 MB Flash 32 MB RAM
- จอภาพแบบสัมผัสขนาด 5 นิ้ว ความละเอียด 1280x720 จดภาพ
- เชื่อมต่ออุปกรณ์เสริมผ่านหัวต่อหลายรูปแบบ
- รองรับแหล่งจ่ายไฟทั้งผ่าน USB และแบตเตอรี่

กรอบแนวคิดหลักในการตรวจสอบปริมาณสารน้ำภายในถุงสารน้ำที่ถูกหุ้มรัดด้วยถุงเพิ่มความดันสารละลายคือ การวัดน้ำหนักของถุงที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของสารละลายทางการแพทย์ส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกับน้ำ (ประมาณ 1 g/cm³) จึงสามารถประมาณปริมาตรที่ลดลงจากน้ำหนักที่หายไปได้ (1 กรัม ประมาณ 1 มิลลิลิตร) งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Load Cell แบบแขวนยานการวัด 10 kg ร่วมกับโมดูล M5Stack Unit Weight-I2C ดังในรูปที่ 3 ซึ่งภายในประกอบด้วยวงจรขยายสัญญาณ HX711 ที่มีตัวแปลงแอนะล็อกเป็นดิจิทัลความละเอียด 24 บิต และหน่วยประมวลผล STM32 การเลือกใช้โมดูลนี้ช่วยลดความซับซ้อนในการพัฒนาอย่างมาก เพราะสามารถอ่านค่าน้ำหนักดิจิทัลได้โดยตรงผ่านบัส I2C รวมทั้งมีความละเอียดในการอ่านน้ำหนักได้ละเอียดกว่า 1 กรัม เมื่อใช้ร่วมกับ Load Cell ที่ยานการวัด 10 kg

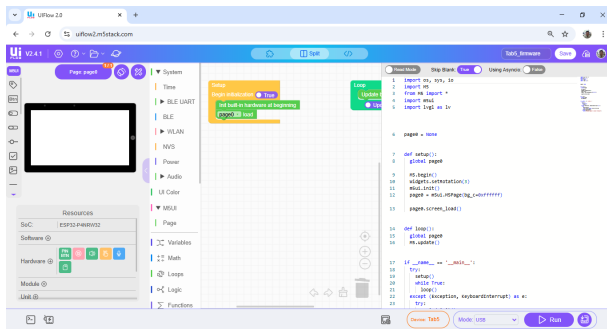


รูปที่ 3 เซ็นเซอร์ตรวจสอบปริมาตรสารน้ำในถุงสารน้ำ

2.2 สถาปัตยกรรมเฟิร์มแวร์

การพัฒนาเฟิร์มแวร์สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32-P4 มีตัวเลือกของชุดเครื่องมือพัฒนาหลายรูปแบบ เช่น การพัฒนาด้วยภาษา C/C++ โดยใช้ ESP-IDF หรือ Arduino Framework

และการพัฒนาด้วยภาษา MicroPython ในกรณีของบอร์ด M5Stack Tab5 จะมีชุดเครื่องมือพัฒนา GUI แบบเว็บของ M5Stack เองคือ UIFlow2.0 ซึ่งเป็นการรวมตัวแปลภาษา MicroPython ไลบรารี LVGL สำหรับพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้แบบกราฟิก และไลบรารีเสริมสำหรับเข้าถึงฮาร์ดแวร์ต่างๆ



รูปที่ 4 หน้าจอของเว็บ UIFlow2.0

งานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องมือพัฒนาเฟิร์มแวร์แบบเว็บของ M5Stack ที่เรียกว่า UIFlow2.0 เพราะความสะดวกในการใช้ ส่วนติดต่อผู้ใช้บนเว็บ ในการวางและปรับแต่งองค์ประกอบต่างๆ บนหน้าจอของบอร์ด M5Stack Tab5 การใช้งานของเว็บ UIFlow2.0 เป็นการลากบล็อกเชื่อมการทำงานในรูปแบบเดียวกับ MIT App Inventor โดยบล็อกที่วางลงไปจะถูกแปลงเป็นโค้ด MicroPython ขึ้นตอนในการพัฒนาเฟิร์มแวร์อย่างรวดเร็วของงานวิจัยนี้มีดังนี้

- ติดตั้งเฟิร์มแวร์ของ UIFlow2.0 ลงในหน่วยความจำของบอร์ด M5Stack Tab5
- ใช้เว็บ UIFlow2.0 เพื่อกำหนดส่วนหน้าจอและวางองค์ประกอบต่างๆในหน้าจอ
- ส่งทำงานจากเว็บ UIFlow2.0 เพื่ออัปโหลดโค้ด MicroPython ลงในบอร์ด

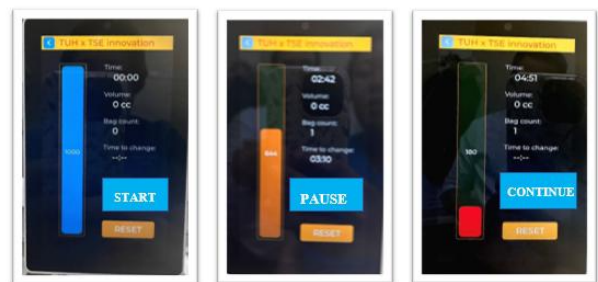
งานวิจัยนี้เลือกใช้ Thonny IDE ในการแก้ไขโค้ด MicroPython โดยตรง เพื่อให้สามารถปรับแต่งลำดับและตรรกะการทำงานของเฟิร์มแวร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

3. การออกแบบและพัฒนาเฟิร์มแวร์

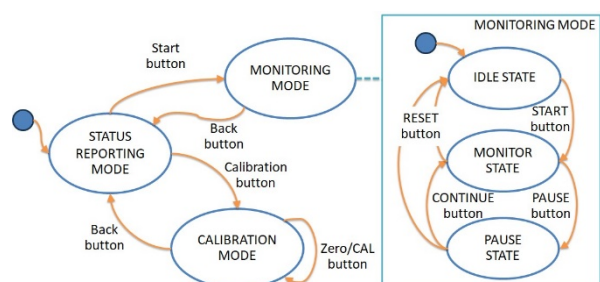
การออกแบบเฟิร์มแวร์ของอุปกรณ์ต้นแบบแบ่งออกเป็น 3 โหมด อ้างอิงการสอบถามกระบวนการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ถุงเพิ่มความดัน ได้แก่

- โหมดรายงานสถานะ (Status reporting mode) แสดงสถานะการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ คำนวณค่าที่อ่านได้ เพื่อยืนยันในเบื้องต้นว่าอุปกรณ์ยังทำงานได้ถูกต้อง
- โหมดสอบเทียบ (Calibration mode) ใช้สำหรับการสอบเทียบด้วยการวัดน้ำหนัก 2 จุด โดยวัดค่าในขณะไม่มีถุงสารน้ำแขวน (Tare) และวัดค่าของน้ำหนักแขวนที่ทราบค่า
- โหมดเฝ้าระวัง (Monitoring mode) เป็นการทำงานหลักด้วยการใช้ปุ่มกดบนหน้าจอสัมผัส เพื่อให้บุคลากรทางการแพทย์ควบคุมลำดับของกิจกรรมในระหว่างการทำหัตถการ

การออกแบบหน้าจอจะเน้นความชัดเจนในการมองจากระยะห่างประมาณ 2-5 เมตรภายในห้องที่ทำหัตถการที่มีความสว่าง จึงเลือกใช้สีดำเป็นสีพื้นและสีของข้อความ/ปุ่มกดเป็นสีขาว



รูปที่ 5 องค์ประกอบและสีของหน้าจอในโหมดเฝ้าระวัง



รูปที่ 6 ลำดับและตรรกะในการทำงานของเฟิร์มแวร์

การเชื่อมโยงเงื่อนไขการทำงานระหว่างทั้ง 3 โหมดสามารถอธิบายด้วยแผนภาพสถานะ (State machine diagram) ดังแสดงในรูปที่ 6

โหมตรายงานสถานะทำงานหลังจากการบูตอุปกรณ์ โดยจะวนรอบอ่านค่าดิจิทัลขนาด 24 บิตจากโมดูล Unit Weight-I2C ทุก 0.1 วินาที ทำการกรองความไม่แน่นอนด้วยอัลกอริทึม 5-point moving average จากนั้นจึงคำนวณด้วยสมการเชิงเส้นเพื่อแปลงค่าดิจิทัลของ HX711 เป็นค่าน้ำหนักในหน่วยกรัม ค่าน้ำหนักจะถูกอัปเดตบนหน้าจอทุก 1 วินาที เพื่อให้ผู้ใช้งานประเมินความถูกต้องได้ในเบื้องต้น หน้าจอ GUI ของโหมตนีจะมีปุ่มกด “Start” เพื่อสลับไปโหมดเฝ้าระวัง และปุ่มกด “Calibration” เพื่อสลับไปโหมดสอบเทียบ

โหมดสอบเทียบใช้สำหรับการหาสัมประสิทธิ์ของสมการเชิงเส้นที่ใช้แปลงค่าดิจิทัลเป็นค่าน้ำหนักในหน่วยกรัม หน้าจอ GUI มีส่วนที่แสดงตัวเลข 3 ค่า ได้แก่

- ค่าดิจิทัลที่อ่านได้จากโมดูล Unit Weight-I2C
- ค่าดิจิทัลที่ผ่านการหักค่าออฟเซตแล้ว
- ค่าน้ำหนักที่ถูกแปลงในหน่วยกรัม

เทคนิคการสอบเทียบใช้การหาค่าแบบ 2 จุด โดยมีปุ่มกด “Zero” สำหรับตั้งค่าออฟเซตตอนไม่ได้แขวนวัตถุกับ Load Cell ชุดของ Checkbox สำหรับเลือกที่จะสอบเทียบกับน้ำหนักเท่าไร และปุ่มกด “CALIBRATION” ซึ่งจะคำนวณหาความลาดชันของสมการเชิงเส้นจากน้ำหนักที่นำมาใช้สอบเทียบ หากผู้ใช้พบว่าค่าน้ำหนักที่แสดงมีความสอดคล้องกับน้ำหนักที่ใช้สอบเทียบ จะสามารถกดปุ่มย้อนกลับไปหน้าจอของโหมตรายงานสถานะได้

โหมดเฝ้าระวังมีการทำงานแบ่งออกเป็น 3 โหมดย่อย ได้แก่ IDLE, MONITOR, และ PAUSE ซึ่งจะถูกควบคุมตามการกดปุ่มบนหน้าจอสัมผัส หน้าจอ GUI ของโหมดนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังในรูปที่ 5

- แถบทางซ้ายแสดงปริมาตรที่ยังเหลืออยู่ในถุงสารน้ำ โดยใช้สีน้ำเงินแทนสถานะปกติ (มากกว่า 500 มิลลิลิตร) สีส้มแทนสถานะควรให้ความสนใจ (มากกว่า 200 มิลลิลิตร) และสีแดงแทนสถานะควรเปลี่ยนถุงสารน้ำเพื่อป้องกันปัญหาอากาศไหลเข้าท่อ (น้อยกว่า 200 มิลลิลิตร)

- ตัวเลขแสดงเวลาที่ผ่านไป ปริมาตรสะสมของการให้สารน้ำกับผู้ป่วย จำนวนถุงของสารน้ำ และเวลาที่คาดว่าจะเปลี่ยน
- ปุ่มกด “START” ที่สลับข้อความบนปุ่มได้เป็น “PAUSE” และ “CONTINUE” สำหรับควบคุมลำดับ และปุ่มกด “RESET” สำหรับเริ่มการทำงานใหม่

สถานะเริ่มต้นของเฟิร์มแวร์ในโหมดเฝ้าระวังคือ IDLE การใช้งานจะเริ่มจากบุคลากรทางการแพทย์เตรียมและแขวนถุงสารน้ำแล้วจึงกดปุ่ม “START” เพื่อเข้าสู่สถานะ MONITOR ที่จะวัดค่าน้ำหนักและแปลงเป็นปริมาตรเริ่มต้น ในสถานะ MONITOR ระบบจะปรับปรุงค่าปริมาตรที่แสดงบนหน้าจอและตรวจสอบเงื่อนไขการแจ้งเตือนทุก 1 วินาที โดยคำนวณปริมาตรสารน้ำที่เหลือจากการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก เมื่อปริมาตรสารน้ำที่เหลือต่ำกว่า 200 มิลลิลิตร ระบบจะส่งให้มีการแจ้งเตือนด้วยเสียง ดังนั้นช่วงเวลาระหว่างการตรวจสอบเงื่อนไขการแจ้งเตือนแต่ละครั้งจึงมีค่าสูงสุด 1 วินาที เมื่อผู้ดูแลถึงจะทำการกดปุ่ม “PAUSE” เพื่อหยุดการคำนวณปริมาตรสะสม จากนั้นเมื่อผู้ดูแลเปลี่ยนถุงสารน้ำเสร็จจะกดปุ่ม “CONTINUE” เพื่อเริ่มคำนวณปริมาตรสะสมต่อไป หากเสร็จสิ้นการทำหัตถการ ผู้ดูแลจะกดปุ่ม “RESET” เพื่อล้างค่าและเริ่มทำงานใหม่



รูปที่ 7 อุปกรณ์ต้นแบบที่ติดตั้งกับถุงเพิ่มความดันสารละลาย

4. การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ

การทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบร่วมกับถุงเพิ่มความดันได้ดำเนินการโดยผู้ร่วมวิจัยในฝ่ายการพยาบาล โรงพยาบาล

ธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ โดยแบ่งขั้นตอนการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

- การทดสอบประสิทธิภาพทางเทคนิค (Technical Validation) เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันว่านวัตกรรมทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้
- การประเมินผลโดยผู้ใช้งาน (User Evaluation) เป็นการจำลองสถานการณ์การทดลองใช้อุปกรณ์ต้นแบบ โดยไม่มีผู้ป่วยนอนอยู่บนเตียงทำหัตถการ จากนั้นจะให้ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อประสิทธิภาพของเครื่องแสดงผลการแจ้งเตือนสถานะปริมาณสารน้ำที่ได้รับขณะทำหัตถการผ่านหลอดเลือด

ประชากรทั้งหมด คือ แพทย์ผู้ทำหัตถการการรักษาก่อนที่เกี่ยวข้องกับเส้นเลือด (Vascular Interventional Radiology) ด้านรังสีร่วมรักษา (Interventional Radiology) และพยาบาลวิชาชีพประจำห้องหัตถการ ด้านรังสีร่วมรักษา (Interventional Radiology) ในห้องรังสีร่วมรักษา โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ มีทั้งหมด 22 คน ดังนี้

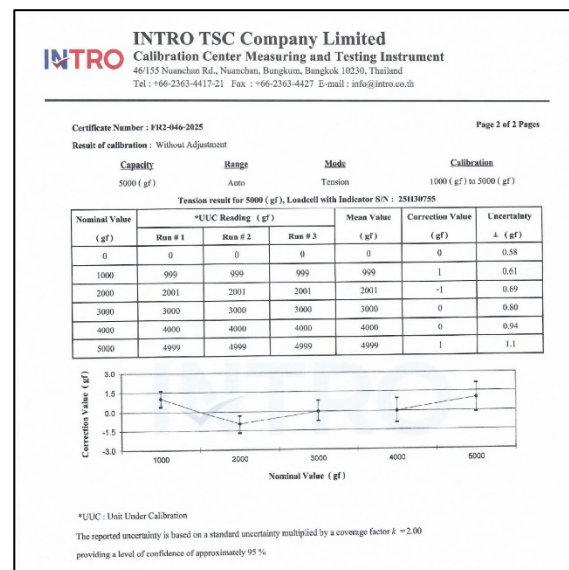
- แพทย์ผู้ทำหัตถการการรักษาก่อนที่เกี่ยวข้องกับเส้นเลือด (Vascular Interventional Radiology) ด้านรังสีร่วมรักษา (Interventional Radiology) ในห้องรังสีร่วมรักษา โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ จำนวน 7 คน
- พยาบาลวิชาชีพประจำห้องหัตถการ ด้านรังสีร่วมรักษา (Interventional Radiology) ในห้องรังสีร่วมรักษา โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ จำนวน 15 คน

เกณฑ์การคัดเข้าผู้เข้าร่วมวิจัยคือ เป็นผู้ที่มีประสบการณ์การทำงาน 1 ปีขึ้นไป

4.1 การทดสอบประสิทธิภาพทางเทคนิค

การทดสอบทางเทคนิคแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อย่อยคือ การประเมินสมรรถนะการวัด (Measurement Performance Evaluation) ของอุปกรณ์ต้นแบบ และการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบภายใต้สถานการณ์จำลองการใช้งาน (Simulated-use Testing)

การทดสอบสมรรถนะของอุปกรณ์ต้นแบบในแง่ของความตรง (Accuracy) ความแม่นยำ (Precision) และการสอบเทียบ (Calibration) ได้ดำเนินการด้วยส่งอุปกรณ์ต้นแบบไปประเมินและสอบเทียบกับบริษัท INTRO TSC Company Limited ที่ได้รับการรับรองตามข้อกำหนดของ UKAS M3003 และใช้หน่วยการวัดตามระบบหน่วยสากล (SI) อุปกรณ์ต้นแบบได้รับการสอบเทียบด้วยมวลขนาด 0 – 5000 กรัม โดยมีความไม่แน่นอนสูงสุด 1.1 กรัม ซึ่งเป็นตัวเลขที่ยอมรับได้ในการใช้งาน



รูปที่ 8 ผลการสอบเทียบอุปกรณ์ต้นแบบ

การทดสอบภายใต้สถานการณ์จำลองการใช้งาน (Simulated-use Testing) มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเหมาะสมเบื้องต้นของการติดตั้งและใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบร่วมกับถุงเพิ่มความดันสารละลายภายใต้สภาวะที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง โดยครอบคลุม

- การทดสอบน้ำหนักของถุงน้ำเกลือเต็มและน้ำหนักของถุงน้ำเกลือที่มีการลดลง
- การทดสอบการเคลื่อนย้ายและตำแหน่งของอุปกรณ์ในห้องหัตถการ

การทดสอบไม่พบการหลุดหรือความเสียหายของอุปกรณ์ต้นแบบที่ทำให้ไม่สามารถใช้งานต่อได้

4.2 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งาน

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือ แบบสอบถามความพึงพอใจต่ออุปกรณ์ต้นแบบในสถานการณ์จำลองการทำหัตถการผ่านหลอดเลือด ข้อคำถามในตอนนี้จะครอบคลุม 4 ด้านสำคัญ จำนวน 13 ข้อ ครอบคลุม

- การใช้งาน (Usability Evaluation)
- ความปลอดภัย (Safety Evaluation)
- ความคุ้มค่า (Cost-effectiveness Evaluation)
- การออกแบบ (Design Evaluation)

การตอบคำถามจะใช้มาตรวัดประเมินค่า (Rating Scale) ซึ่งแบ่งเป็น 5 ระดับ โดยคะแนน 1 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด จนถึงคะแนน 5 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมากที่สุด การแปลความหมายค่าเฉลี่ยจะอ้างอิงเกณฑ์ดังนี้

- ค่าเฉลี่ย 4.51 - 5.00 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด
- ค่าเฉลี่ย 3.51 - 4.50 หมายถึง พึงพอใจมาก
- ค่าเฉลี่ย 2.51 - 3.50 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง
- ค่าเฉลี่ย 1.51 - 2.50 หมายถึง พึงพอใจน้อย
- ค่าเฉลี่ย 1.00 - 1.50 หมายถึง ควรปรับปรุง

การตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือแบบประเมินจะผ่านการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 ท่าน คือ อาจารย์พยาบาล 1 ท่าน อาจารย์แพทย์ 1 ท่าน และผู้ควบคุมกำกับเครื่องมือและอุปกรณ์การแพทย์ในโรงพยาบาล 1 ท่าน

- ความตรงเชิงเนื้อหา (Content Validity) ตรวจสอบโดยผู้ทรงคุณวุฒิ 3 ท่าน ผลการคำนวณค่า Index of Item-Objective Congruence (IOC) ได้เท่ากับ 1.0
- ความเที่ยง (Reliability) ตรวจสอบความสอดคล้องภายใน (Internal Consistency) โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach's alpha coefficient) ได้เท่ากับ 0.96

แสดงว่าเป็นเครื่องมือในการทำวิจัยที่สอดคล้องกับเป้าหมายของงานวิจัย

ค่าเฉลี่ยโดยรวมอยู่ในระดับความพึงพอใจมาก คะแนนเฉลี่ยเท่ากับ 4.37 (S.D.= 0.60) เมื่อพิจารณารายด้าน พบว่าด้านความคุ้มค่ามีระดับความพึงพอใจมากที่สุด (Mean = 4.53,

S.D. = 0.58) ส่วนด้านการออกแบบมีระดับความพึงพอใจน้อยที่สุด (Mean = 4.21, S.D. = 0.66)

ตารางที่ 1 ค่าความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อประสิทธิผลของอุปกรณ์ต้นแบบจำแนกตามรายด้านและโดยรวม (N = 22)

หัวข้อการประเมิน	Mean	S.D.	ระดับ
การใช้งาน	4.40	0.51	มาก
ความปลอดภัย	4.36	0.61	มาก
ความคุ้มค่า	4.53	0.58	มากที่สุด
การออกแบบ	4.21	0.66	มาก
โดยรวม	4.37	0.60	มาก

การพิจารณาประสิทธิผลในด้านความคุ้มค่าพบว่า หัวข้อ (1) สามารถช่วยลดระยะเวลาในการติดตามปริมาณสารน้ำและลดความเสี่ยงจากความผิดพลาดได้ และหัวข้อ (2) สามารถช่วยลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตามปริมาณสารน้ำขณะทำการหัตถการผ่านหลอดเลือด ได้รับความพึงพอใจมากที่สุด แสดงว่าบุคลากรทางการแพทย์มองเห็นประโยชน์ของการลดความเสี่ยงในการทำงานที่สอดคล้องกับเป้าหมายของการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ

ในขณะที่ด้านการออกแบบพบว่า หัวข้อวัสดุที่ใช้ในการผลิตเครื่องแสดงผลมีความเหมาะสมและทนทาน มีค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจน้อยที่สุด (Mean = 4.05, S.D. = 0.65) ซึ่งน่าจะเกิดจากการเลือกใช้บอร์ด M5Stack Tab5 ที่มีเคสเป็นพลาสติก ดูแล้วมีความทนทานน้อยกว่าอุปกรณ์มาตรฐานทางการแพทย์ทั่วไป

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาเฟิร์มแวร์สำหรับอุปกรณ์ต้นแบบของระบบเฝ้าระวังการถูกเพิ่มความเสี่ยงอันตราย กรอบแนวคิดของการพัฒนา คือ การสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็วด้วย MicroPython และ LVGL ควบคู่กับการใช้ฮาร์ดแวร์สำเร็จรูป การเลือกใช้ UIFlow2.0 เป็นเครื่องมือขั้นต้นช่วยลดภาระในการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้ได้อย่างมาก เนื่องจากสามารถจัดวางและปรับแต่งคุณสมบัติของแต่ละองค์ประกอบผ่านหน้าเว็บ ทำให้ลดเวลาที่ต้องใช้ในการเขียนโค้ด LVGL อย่างมีนัย นอกจากนี้

การที่ได้เปิดเป้าหมายเป็น MicroPython ช่วยให้การเขียนตรรกะที่ซับซ้อนทำได้ง่ายขึ้น ทั้งในแง่ของการกำหนดฟังก์ชันตอบสนอง (Callback function) ซึ่งมีไวยากรณ์ที่กระชับกว่าภาษา C และสามารถใช้โครงสร้างข้อมูล เช่น list และ dictionary ในการจัดการสถานะและกรองข้อมูลจากเซ็นเซอร์ได้สะดวกกว่า ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ทีมพัฒนาสามารถมุ่งเน้นไปที่การแก้ปัญหาตามโจทย์ของผู้ใช้งานแทนที่จะต้องใช้เวลากับรายละเอียดการเขียนโค้ดในระดับล่าง

การลดเวลาในการพัฒนาเฟิร์มแวร์ทำให้สามารถส่งมอบอุปกรณ์ต้นแบบให้กับทีมพยาบาลของโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรตินำไปทดสอบความเหมาะสมในการใช้งานได้ตามกรอบเวลา ผู้ร่วมวิจัยสามารถดำเนินการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานอุปกรณ์ต้นแบบภายใต้สถานการณ์จำลองการทำการหัตถการหลอดเลือด จนได้ข้อสรุปจากกลุ่มบุคลากรทางการแพทย์ว่ามีความพึงพอใจในอุปกรณ์ต้นแบบในระดับมาก โดยเฉพาะมุมมองที่ระบบแจ้งเตือนสารน้ำจะช่วยลดภาระงานและยังป้องกันความเสี่ยงของสารน้ำหมดถุงที่ได้รับคามพึงพอใจในระดับมากที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ใช้เทคนิคการตรวจวัดสารน้ำด้วยเซ็นเซอร์วัดความเค็มประจุ การประมวลผลภาพ หรือเซ็นเซอร์วัดแรง งานวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดรูปแบบใหม่ แต่เลือกใช้การวัดน้ำหนักร่วมกับฮาร์ดแวร์สำเร็จรูปเพื่อให้สามารถสร้างและปรับปรุงต้นแบบได้อย่างรวดเร็ว ข้อแตกต่างสำคัญคือการออกแบบให้สามารถใช้งานร่วมกับถุงเพิ่มความดันสารละลายและกระบวนการทำงานเดิมของบุคลากรทางการแพทย์ได้โดยไม่ต้องดัดแปลงถุงเพิ่มความดันเดิม อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ต้นแบบถูกพัฒนาสำหรับการประเมินภายใต้สถานการณ์จำลอง จึงยังมีข้อจำกัดด้านวัสดุและความแข็งแรงของอุปกรณ์ รวมถึงยังไม่ได้ผ่านการประเมินตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทางการแพทย์ การพัฒนาที่กำลังดำเนินการอยู่จึงเน้นที่การออกแบบโครงสร้างและวัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งานทางการแพทย์ ตลอดจนการทดสอบด้านความปลอดภัยและสมรรถนะที่เกี่ยวข้องก่อนนำไปใช้งานจริง

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนวัตกรรมนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยจากโรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ และทุนสนับสนุนการวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการยื่นขออนุสิทธิบัตรด้วยชื่อเรื่อง ระบบติดตามสถานการณ์ให้สารน้ำ เลขที่ 2503002896 เมื่อวันที่ 6 สิงหาคม 2568

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] O. Balaban, H. Walia, D. Tumin, T. Bhalla and J. D. Tobias, "Efficacy of Rapid Fluid Administration Using Various Setups and Devices," *Pediatric Emergency Care*, Vol. 35, No. 8, pp. 539–543, 2019.
- [2] U. Salmaz, M. A. H. Ahsan and T. Islam, "High-Precision Capacitive Sensors for Intravenous Fluid Monitoring in Hospitals," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, Vol. 70, pp. 1–9, 2021.
- [3] N. Giaquinto, M. Scarpetta, M. A. Ragolia and P. Pappalardi, "Real-time drip infusion monitoring through a computer vision system," *Proc. of the 2020 IEEE Int. Symposium on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, Bari, Italy, pp. 1–5, 2020.
- [4] K. Sreekumar, J. Francis and B. R. Prathap, "Smart Intravenous Infusion Monitoring and Alert System using IoT-based Force Sensitive Resistor and Whatabot API," *Proc. of the 2023 IEEE Int. Conf. on Contemporary Computing and Communications (InC4)*, Bangalore, India, pp. 1–6, 2023.
- [5] L. Tejkl, M. Kucera, P. Kudrna and J. Rafil, "System for Automatic Pressure Control as an Alternative to the Infusion Pressure Cuff," *Proc. of the 2022 E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*, Iasi, Romania, pp. 1–4, 2022.