

การพัฒนาไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับผู้พิการทางสายตา Development of a Microcontroller-Based Cane for the Visually Impaired

พีรภัฏ พรเจริญสุข¹, ศศิ บัวทอง¹, พงศ์พศิน คำติ่ม¹, อดิศักดิ์ ทับบุรี¹, ภูมรินทร์ ทวีศรี¹, พีรวัฒน์ อาทิตยตั้ง¹, ศิลปชัย กลิ่นไกล¹,
วีระพงศ์ ทองสา¹ และกันยารัตน์ เอกเอี่ยม^{1,*}

Peeraphat Porncharoensuk¹, Sasi Buathong¹, Pongpasin Khamdee¹, Ong-ard Tubburee¹, Phummarnin
Thavitchasri¹, Peerawat Artitthang¹, Sillapachai Klinklai¹, Wiraphong Thongsa¹ and Kanyarat Ek-iam^{1,*}

¹ สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์,
ปทุมธานี, 13180, ประเทศไทย

¹Department of Industrial Electrical Technology, Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat
University under the Royal Patronage, Pathum Thani, 13180, Thailand

*Corresponding Author E-mail: kanyarat@vru.ac.th

รับบทความ (Received) : April 09, 2026 /ปรับปรุงแก้ไข (Revised) : June 19, 2026 /ตอบรับบทความ (Accepted) : June 26, 2026

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับผู้พิการทางสายตา เพื่อ
ยกระดับความปลอดภัยและความอิสระในการใช้ชีวิตประจำวัน ระบบที่พัฒนาขึ้นบูรณาการไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี 32
ร่วมกับเซนเซอร์ ประกอบด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิกสำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวางในระดับพื้นดินและระดับเหนือศีรษะ โมดูลวัดความ
เฉื่อย เอ็มพียู6050 สำหรับตรวจจับสภาวะการล้ม และโมดูลจีพีเอส สำหรับระบุพิกัดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ โดยมีการออกแบบ
อัลกอริทึมการประมวลผลสัญญาณเชิงลำดับแบบเรียลไทม์เพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านสัญญาณเสียง และส่งต่อสถานะเหตุการณ์
ฉุกเฉินไปยังผู้ดูแลผ่านแพลตฟอร์มคลาวด์ ThingsBoard ด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง ผลการทดสอบประสิทธิภาพ
พบว่า ระบบมีความแม่นยำในการตรวจจับสิ่งกีดขวางสูงสุดในช่วงระยะ 50–100 เซนติเมตร โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำ
กว่า 1.00 เซนติเมตร และสามารถตรวจจับสภาวะการล้มที่ระดับมุมเอียง 90 องศา ได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ (ร้อยละ 100) สำหรับ
ระบบระบุตำแหน่งพิกัดจีพีเอส มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.32–15.48 เมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการ
ติดตามตัวบุคคล ข้อมูลเชิงประจักษ์ชี้ให้เห็นว่าไม้เท้าที่พัฒนาขึ้นมีเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการช่วยเหลือภัยอันตรายในมุม
อับสายตาและสภาวะวิกฤต

คำสำคัญ : ผู้พิการทางสายตา, ไม้เท้า, ไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี32, การตรวจจับสิ่งกีดขวาง, อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

This research aims to design and develop a microcontroller-based cane for visually impaired individuals to enhance safety and independence in daily life. The developed system integrates an ESP32 microcontroller with multiple sensors, including ultrasonic sensors for detecting obstacles at ground level and overhead, an MPU6050 inertial measurement unit for fall detection, and a GPS module for geographic positioning. A real-time

sequential signal processing algorithm is implemented to provide alerts to users via audio signals and to transmit emergency status information to caregivers through the ThingsBoard cloud platform using Internet of Things (IoT) technology. The experimental results indicate that the system achieves high accuracy in obstacle detection within a range of 50–100 centimeters, with an average error of less than 1.00 centimeter. The fall detection system is capable of accurately identifying a fall at a tilt angle of 90 degrees with 100% accuracy. For the GPS positioning system, the average error ranges from 2.32 to 15.48 meters, which is considered acceptable for personal tracking applications. The empirical findings demonstrate that the developed smart cane is stable and effective in helping users avoid hazards in blind spots and critical situations.

Keywords: Visually impaired individuals, cane, ESP32 microcontroller, obstacle detection, Internet of Things

บทนำ

ปัญหาความบกพร่องทางการมองเห็นเป็นปัญหาสำคัญด้านสาธารณสุขของโลก โดยองค์การอนามัยโลก (World Health Organization: WHO) รายงานว่ามีประชากรมากกว่า 2.2 พันล้านคนทั่วโลกที่มีความบกพร่องทางการมองเห็นในระดับต่าง ๆ ซึ่งส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะการเคลื่อนที่และการรับรู้สภาพแวดล้อมรอบตัวอย่างปลอดภัย [1] ผู้พิการทางสายตามักประสบปัญหาในการเดินทางในพื้นที่ที่ไม่คุ้นเคย เนื่องจากไม่สามารถรับรู้สิ่งกีดขวางหรือสภาพแวดล้อมได้อย่างครบถ้วน ส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ เช่น การสะดุด การชนวัตถุ หรือการพลัดตกจากพื้นที่ต่างระดับ ไม่เท่าขาว (White Cane) เป็นอุปกรณ์พื้นฐานที่ผู้พิการทางสายตานิยมใช้ในการช่วยนำทางและตรวจจับสิ่งกีดขวางบริเวณพื้น อย่างไรก็ตาม ไม่เท่าขาวแบบดั้งเดิมยังมีข้อจำกัดในการตรวจจับวัตถุที่อยู่เหนือระดับพื้น เช่น กิ่งไม้ ป้าย หรือสิ่งกีดขวางที่อยู่ในระดับศีรษะ รวมถึงไม่สามารถแจ้งเตือนผู้ใช้งานล่วงหน้าได้ในระยะที่เหมาะสม ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาโดยการประยุกต์ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) และเทคโนโลยีเซนเซอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับสิ่งกีดขวางและการนำทาง ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เทคโนโลยีไมโครคอนโทรลเลอร์และเซนเซอร์ตรวจจับระยะทางได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีต้นทุนต่ำลง ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อัจฉริยะได้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะเซนเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic Sensor) ซึ่งสามารถตรวจจับระยะทางของวัตถุโดยใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียงความถี่สูง มีความแม่นยำสูงและไม่ขึ้นกับสีหรือพื้นผิวของวัตถุ [2] นอกจากนี้ การใช้เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว เช่น MPU6050 ซึ่งประกอบด้วย accelerometer และ gyroscope สามารถนำมาใช้ตรวจจับการเอียงหรือการล้มของอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [3-4] อีกทั้งการผสมผสานเทคโนโลยีระบบระบุตำแหน่งบนโลก (Global Positioning System: GPS) ยังช่วยเพิ่มความสามารถในการระบุตำแหน่งของผู้ใช้งานในกรณีฉุกเฉินได้อีกด้วย [5] จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า การพัฒนาไม้เท้า โดยใช้เซนเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวางร่วมกับระบบแจ้งเตือนสามารถช่วยเพิ่มความปลอดภัยและความสะดวกในการเคลื่อนที่ของผู้พิการทางสายตาได้อย่างมีนัยสำคัญ [6] อย่างไรก็ตาม ระบบที่พัฒนาขึ้นในหลายงานวิจัยยังมีข้อจำกัดด้านความแม่นยำของการตรวจจับ การแจ้งเตือนที่ไม่เหมาะสม หรือการขาดระบบติดตามตำแหน่งผู้ใช้งาน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับผู้พิการทางสายตา โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 ร่วมกับเซนเซอร์อัลตราโซนิกสำหรับตรวจจับสิ่งกีดขวาง เซนเซอร์ MPU6050 สำหรับตรวจจับการเอียงหรือการล้มของไม้เท้า และโมดูล GPS สำหรับระบุตำแหน่งของผู้ใช้งาน ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางและแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านสัญญาณเสียงได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งคาดว่าจะช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการเคลื่อนที่และยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1. วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาไม้เท้าสำหรับผู้พิการทางสายตาโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นหน่วยประมวลผลหลักของระบบ
- 1.2 เพื่อพัฒนาระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางและระบบแจ้งเตือนผู้ใช้งานโดยใช้เซนเซอร์อัลตราโซนิกและเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว
- 1.3 เพื่อทดสอบและประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบไม้เท้าที่พัฒนาขึ้นในด้านความแม่นยำในการตรวจจับสิ่งกีดขวางและความสามารถในการแจ้งเตือนผู้ใช้งาน

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา พบว่าประเด็นสำคัญมุ่งเน้นไปที่การปิดข้อจำกัดของอุปกรณ์นำทางแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะการตรวจจับสิ่งกีดขวางในระดับที่ไม่เท่าเทียมไม่สามารถเข้าถึงได้ โดยงานวิจัยของ กาญจนา จันทรประเสริฐ (2560) ได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องแจ้งเตือนสิ่งกีดขวางแบบบูรณาการ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนศีรษะ ลำตัว และส่วนขา เพื่อคุ้มครองความปลอดภัยครอบคลุมตลอดความสูงของผู้ใช้งาน ระบบดังกล่าวอาศัยหลักการสะท้อนคลื่นผ่านเซนเซอร์อัลตราโซนิก รุ่น SRF05 และ HC-SR04 ร่วมกับเซนเซอร์ตรวจจับความเคลื่อนไหว โดยกำหนดระยะแจ้งเตือนที่ 40-60 เซนติเมตร ผ่านสัญญาณเสียงและแสงสั่นสะเทือนของมอเตอร์ ซึ่งถือเป็นการยกระดับการตรวจจับในมุมอับสายตา เช่น ระดับศีรษะและหน้าแข้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6] สอดคล้องกับการศึกษาของ โสภิตา ท้วมมี และคณะ (2565) ที่พัฒนาไม้เท้าโดยเน้นการเพิ่มขีดความสามารถด้านการสื่อสารและการระบุตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงความแม่นยำในการตรวจจับสิ่งกีดขวางในระยะ 2 เมตร และเพิ่มนวัตกรรมการตรวจจับแอ่งน้ำผ่านเซนเซอร์วัดความชื้น (Humidity Sensor) เพื่อป้องกันอุบัติเหตุจากการลื่นล้ม นอกจากนี้ยังมีการบูรณาการแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนเพื่อส่งข้อความขอความช่วยเหลือแบบ Text-to-Speech และพิกัดตำแหน่งไปยังบุคคลใกล้ชิดในกรณีฉุกเฉิน ซึ่งระบบมีประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมสูงถึงร้อยละ 95.72 อย่างไรก็ตาม แม้เทคโนโลยีอัลตราโซนิกจะเป็นที่นิยมเนื่องจากมีความแม่นยำในระยะใกล้และไม่ขึ้นกับสีหรือพื้นผิวของวัตถุ แต่จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบข้อจำกัดสำคัญคือค่าความคลาดเคลื่อนจะแปรผันตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในระยะที่เกินกว่า 100 เซนติเมตรขึ้นไป รวมถึงข้อจำกัดในพื้นที่อับสัญญาณจีพีเอส หรือพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างหนาแน่น ซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำเชิงตำแหน่ง ข้อมูลเชิงประจักษ์เหล่านี้จึงเป็นพื้นฐานสำคัญในการออกแบบอัลกอริทึมการประมวลผลสัญญาณเชิงลำดับ (Sequential Processing) และการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประสิทธิภาพสูงอย่าง ESP32 เพื่อเพิ่มเสถียรภาพในการตอบสนองแบบเรียลไทม์และการเชื่อมต่อผ่านแพลตฟอร์มคลาวด์ (IoT Cloud Platform) ในงานวิจัยฉบับนี้

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับผู้พิการทางสายตา โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี 32 ร่วมกับระบบเซนเซอร์เพื่อตรวจจับสิ่งกีดขวางและแจ้งเตือนผู้ใช้งานแบบเรียลไทม์ ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย การออกแบบวงจรควบคุมของระบบ การออกแบบอัลกอริทึมการทำงานของระบบ และการออกแบบต้นแบบของอุปกรณ์

1. การออกแบบระบบการทำงาน

แผนภาพระบบการทำงานของไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับผู้พิการทางสายตา ถูกออกแบบภายใต้หลักการระบบฝังตัว (Embedded System) ที่เน้นความสามารถในการประมวลผลสัญญาณแบบทันที (Real-time Processing)

และมีเสถียรภาพในการเชื่อมต่อข้อมูล สามารถจำแนกออกเป็น 3 ส่วนหลัก ดังปรากฏในรูปที่ 1 เริ่มต้นจาก ส่วนนำเข้าข้อมูลเชิงพื้นที่และสภาวะกายภาพ (Input) ซึ่งทำหน้าที่ตรวจจับพารามิเตอร์ต่างๆจากสภาพแวดล้อมผ่านระบบเซนเซอร์ ประกอบด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิก (Ultrasonic Sensor) ที่ใช้หลักการสะท้อนของคลื่นความถี่สูงเพื่อตรวจวัดระยะห่างและระบุตำแหน่งของสิ่งกีดขวางในวิถีการเคลื่อนที่ โมดูลวัดความเฉื่อย (Inertial Measurement Unit: IMU) MPU 6050 ซึ่งบูรณาการไจโรสโคปและมาตรวัดความเร่งแบบ 3 แกน สำหรับวิเคราะห์พารามิเตอร์เชิงจลนศาสตร์ (Kinematics) เพื่อตรวจจับสภาวะการล้มอุบัติเหตุอย่างแม่นยำ และโมดูลระบุตำแหน่งบนพื้นโลก (Global Positioning System: GPS) สำหรับการรับพิกัดทางภูมิศาสตร์เพื่อใช้ในการติดตามตัวบุคคล โดยข้อมูลดิบจากส่วนนำเข้าจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลและส่งต่อผ่านโปรโตคอลการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Communication) เข้าสู่ ส่วนประมวลผลและตัดสินใจกลาง (Process) ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์อีเอสพี 32 เป็นหน่วยปฏิบัติการหลัก เนื่องจากมีสมรรถนะในการประมวลผลระดับสูง และรองรับการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สาย หน่วยประมวลผลจะทำการคัดกรองสัญญาณรบกวนและวิเคราะห์ข้อมูลตามอัลกอริทึมการตัดสินใจที่กำหนดไว้ หากข้อมูลที่ได้รับสอดคล้องกับเงื่อนไขความเสี่ยงหรือเกณฑ์ที่ตั้งไว้ ระบบจะดำเนินการส่งการไปยัง ส่วนส่งออกข้อมูลและปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้ (Output and Cloud Connectivity) ซึ่งทำหน้าที่ตอบสนองเชิงรุกผ่านช่องทางคู่ขนาน ประกอบด้วยการแจ้งเตือนด้วยเสียงตอบรับผ่านโมดูลเครื่องเล่นไฟล์เสียงและอุปกรณ์ขับสัญญาณเสียง (MP3 Module & Audio Driver) เพื่อให้ผู้ใช้งานรับทราบข้อมูลสถานะโดยไม่ต้องพึ่งพาการมองเห็น ควบคู่ไปกับการส่งผ่านข้อมูลพิกัดละติจูด-ลองจิจูดและสถานะเหตุการณ์ฉุกเฉินผ่านโปรโตคอล HTTP หรือ MQTT เข้าสู่แพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (IoT Cloud Platform) เพื่อจัดเก็บข้อมูลในระบบฐานข้อมูลและแสดงผลบนแดชบอร์ด (Dashboard) ช่วยให้ผู้ใช้ดูแลสามารถกำกับดูแล ระบุตำแหน่ง และเข้าช่วยเหลือผู้ใช้งานได้ อย่างทันทั่วทั้งที่

ultrasonic sensor
(ตรวจจับระยะ)

Microcontroller
ESP32

MP3 Module
&
Audio Driver

MPU 6050
(ตรวจจับการล้ม)

GPS Module
(ระบุตำแหน่ง)

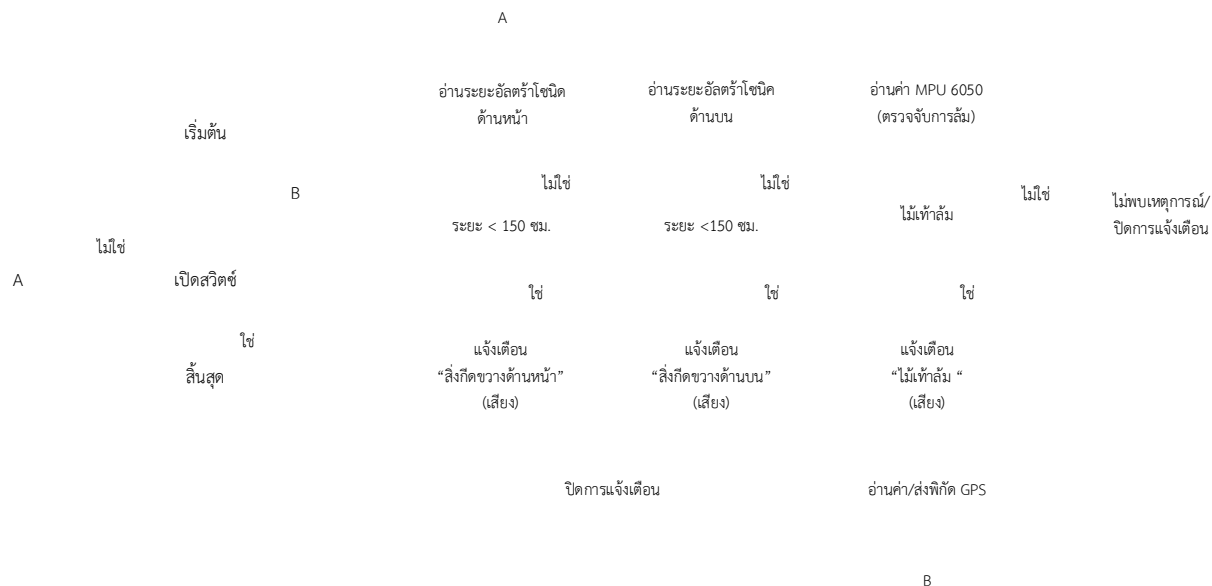
Cloud
IOT platform

รูปที่ 1 แผนภาพระบบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับผู้พิการทางสายตา

2. การออกแบบอัลกอริทึมการทำงานของระบบ

การออกแบบอัลกอริทึมการทำงานของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดลำดับขั้นตอนการประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์และการตอบสนองของระบบอย่างเป็นระบบ โดยอัลกอริทึมดังกล่าวถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้

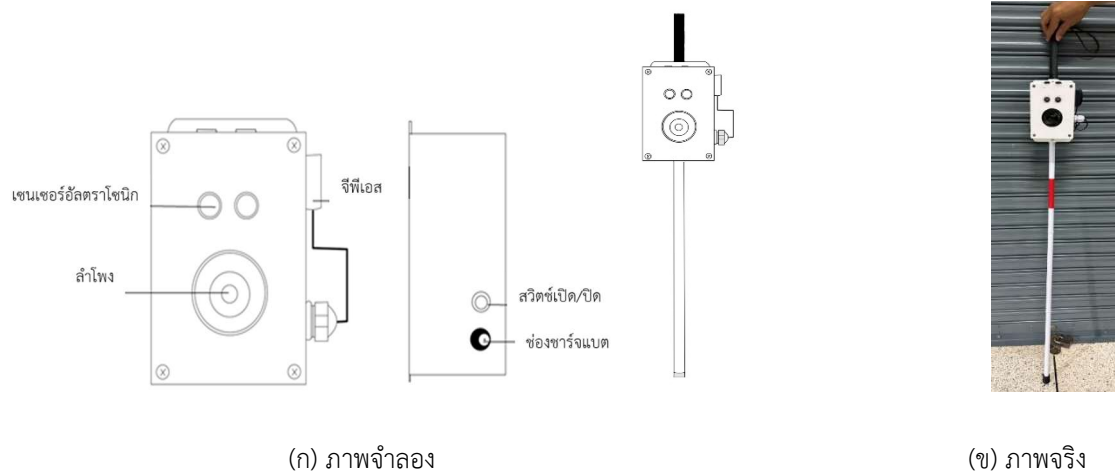
ระบบสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวาง วิเคราะห์สถานการณ์ และแจ้งเตือนผู้ใช้งานได้แบบเรียลไทม์ แผนผังลำดับการทำงานของระบบแสดงดัง รูปที่ 2 การทำงานของระบบเริ่มต้นจากการเปิดสวิตช์เพื่อจ่ายพลังงานให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ไอเอสพี 32 และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในระบบ เมื่อระบบเริ่มต้นทำงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตรวจสอบสถานะของสวิตช์เพื่อยืนยันว่าระบบอยู่ในโหมดการทำงาน หากระบบไม่อยู่ในสถานะการทำงาน โปรแกรมจะสิ้นสุดการทำงาน แต่หากระบบอยู่ในสถานะพร้อมทำงาน ระบบจะเริ่มกระบวนการตรวจสอบข้อมูลจากเซนเซอร์ต่าง ๆ ในขั้นตอนแรก ระบบจะทำการอ่านค่าระยะทางจาก เซนเซอร์อัลตราโซนิกที่ติดตั้งด้านหน้าของไม้เท้า เพื่อใช้ในการตรวจจับสิ่งกีดขวางบริเวณเส้นทางการเดินของผู้ใช้งาน หากตรวจพบวัตถุในระยะที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 150 เซนติเมตร ระบบจะประมวลผลว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้า และจะทำการส่งสัญญาณแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่าน บัสเซอร์หรือระบบเสียงจากลำโพง เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถหลีกเลี่ยงสิ่งกีดขวางได้อย่างปลอดภัย ในกรณีที่ไม่มีพบสิ่งกีดขวางด้านหน้า ระบบจะดำเนินการอ่านค่าระยะทางจาก เซนเซอร์อัลตราโซนิกที่ติดตั้งด้านหลังของไม้เท้า เพื่อใช้ในการตรวจจับวัตถุที่อยู่ในระดับศีรษะของผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ไม้เท้าแบบดั้งเดิมไม่สามารถตรวจจับได้ หากระบบตรวจพบวัตถุในระยะที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 150 เซนติเมตร ระบบจะทำการแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านสัญญาณเสียงเพื่อให้สามารถหลีกเลี่ยงอันตรายได้ หากไม่พบสิ่งกีดขวางทั้งด้านหน้าและด้านหลัง ระบบจะดำเนินการอ่านค่าการเอียงจาก เซนเซอร์เอ็มพียู 6050 เพื่อประเมินสถานะของไม้เท้า โดยใช้ข้อมูลค่าความเร่งและมุมเอียงในการวิเคราะห์ว่ามีการล้มของไม้เท้าเกิดขึ้นหรือไม่ หากระบบตรวจพบการเอียงที่เกินค่าที่กำหนด ระบบจะประมวลผลว่าเกิดเหตุการณ์ ไม้เท้าล้ม และจะทำการแจ้งเตือนผ่านระบบเสียง พร้อมทั้งทำการอ่านค่าพิกัดตำแหน่งจาก โมดูล GPS เพื่อนำไปใช้ในการติดตามตำแหน่งของผู้ใช้งาน ในกรณีที่ระบบไม่ตรวจพบสิ่งกีดขวางหรือเหตุการณ์ผิดปกติใด ๆ ระบบทำการวนลูปตรวจสอบข้อมูลจากเซนเซอร์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ระบบสามารถตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้แบบเรียลไทม์ อัลกอริทึมที่ออกแบบดังกล่าวช่วยให้ระบบไม้เท้าสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางได้ทั้งในระดับพื้นและระดับศีรษะ รวมถึงสามารถตรวจจับการล้มของไม้เท้าและส่งข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้งานในกรณีฉุกเฉิน ซึ่งช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานของผู้พิการทางสายตาได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 อัลกอริทึมการทำงานของระบบไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับผู้พิการทางสายตา

3. การออกแบบต้นแบบของอุปกรณ์

การออกแบบต้นแบบของไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับผู้พิการทางสายตา ดังแสดงใน รูปที่ 3 ซึ่งแสดงโครงสร้างโดยรวมของอุปกรณ์และตำแหน่งการติดตั้งองค์ประกอบต่าง ๆ บนตัวไม้เท้า การออกแบบดังกล่าวมุ่งเน้นให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงของผู้พิการทางสายตา โดยคำนึงถึงปัจจัยด้านความสะดวกในการใช้งาน ความแข็งแรงของโครงสร้าง น้ำหนักของอุปกรณ์ และตำแหน่งของเซนเซอร์ที่สามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางได้อย่างมีประสิทธิภาพ โครงสร้างของอุปกรณ์ประกอบด้วย ตัวไม้เท้า (Cane Body) ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักสำหรับรองรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด โดยมีการติดตั้ง กล่องอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Enclosure) บริเวณส่วนบนของไม้เท้า ภายในกล่องอุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ อีเอสพี 32 โมดูลจีพีเอส วงจรควบคุม และวงจรจ่ายพลังงาน ซึ่งถูกออกแบบให้มีขนาดกะทัดรัดและสามารถป้องกันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จากแรงกระแทกหรือสภาพแวดล้อมภายนอกได้ ในส่วนของระบบตรวจจับสิ่งกีดขวาง ได้มีการติดตั้ง เซนเซอร์อัลตราโซนิก จำนวนสองตำแหน่ง โดยตำแหน่งแรกติดตั้งบริเวณด้านหน้าของไม้เท้าเพื่อใช้ตรวจจับสิ่งกีดขวางที่อยู่ในเส้นทางการเดินของผู้ใช้งาน ส่วนตำแหน่งที่สองติดตั้งบริเวณด้านบน เพื่อใช้ตรวจจับวัตถุที่อยู่ในระดับศีรษะ เช่น กิ่งไม้ ป้าย หรือสิ่งกีดขวางที่อยู่เหนือพื้น ซึ่งเป็นปัญหาที่ไม้เท้าแบบดั้งเดิมไม่สามารถตรวจจับได้ การติดตั้งเซนเซอร์ในตำแหน่งดังกล่าวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับสิ่งกีดขวางในหลายระดับ สำหรับระบบแจ้งเตือนผู้ใช้งาน ได้ติดตั้งลำโพงไว้บริเวณด้านหน้าของกล่องอุปกรณ์ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถรับสัญญาณเสียงแจ้งเตือนได้อย่างชัดเจน โดยระบบเสียงจะถูกควบคุมผ่านโมดูล MP3 Player ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณเสียงแจ้งเตือนเมื่อระบบตรวจพบสิ่งกีดขวางหรือเหตุการณ์ผิดปกติ นอกจากนี้ อุปกรณ์ยังมีการติดตั้ง สวิตช์เปิด-ปิด และพอร์ตชาร์จแบตเตอรี่ไว้บริเวณด้านข้างของกล่องอุปกรณ์ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานและการบำรุงรักษา โดยระบบใช้แบตเตอรี่แบบชาร์จได้เป็นแหล่งพลังงานหลัก และมีการใช้วงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์เพื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในระบบ ในการออกแบบต้นแบบของอุปกรณ์นี้ ผู้วิจัยได้คำนึงถึงการออกแบบเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถถือและใช้งานไม้เท้าได้อย่างสะดวกและปลอดภัย โดยอุปกรณ์ถูกออกแบบให้มีน้ำหนักเบาและมีขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งานในชีวิตประจำวันของผู้พิการทางสายตา อีกทั้งยังสามารถติดตั้งและบำรุงรักษาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้อย่างสะดวก การออกแบบต้นแบบดังกล่าวช่วยให้ระบบไม้เท้าสามารถทำงานร่วมกันระหว่างหน่วยตรวจจับ หน่วยประมวลผล และหน่วยแจ้งเตือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการเคลื่อนที่ของผู้พิการทางสายตาในสภาพแวดล้อมจริง



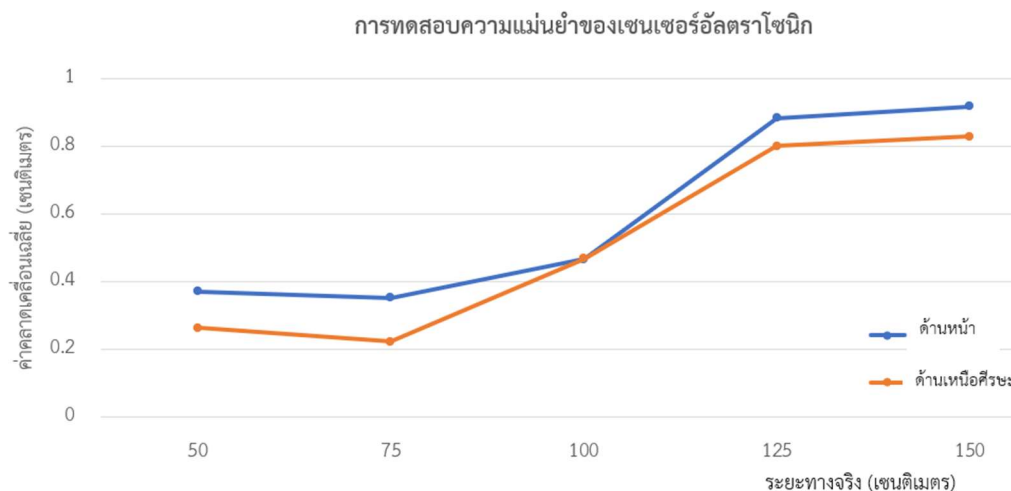
รูปที่ 3 โครงสร้างไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับผู้พิการทางสายตา

ผลการวิจัย

การทดสอบระบบไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับผู้พิการทางสายตาที่พัฒนาขึ้นมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในการตรวจจับสิ่งกีดขวาง การแจ้งเตือนผู้ใช้งาน และการตรวจจับการเอียงของไม้เท้า โดยทำการทดสอบภายใต้สภาพแวดล้อมภายในอาคารและกำหนดระยะของวัตถุทดสอบที่ระยะต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำของเซนเซอร์อัลตราโซนิก รวมถึงการประเมินการทำงานของเซนเซอร์เอ็มพียู 6050 ในการตรวจจับการเอียงของไม้เท้า

1. ผลการทดสอบการตรวจจับสิ่งกีดขวางของเซนเซอร์อัลตราโซนิก

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบความแม่นยำในการวัดระยะทางของเซนเซอร์อัลตราโซนิกที่ติดตั้งบนไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ณ ตำแหน่งด้านหน้าและด้านเหนือศีรษะ ในช่วงระยะตรวจจับตั้งแต่ 50 ถึง 150 เซนติเมตร ดังที่แสดงในรูปที่ 4 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเซนเซอร์ทั้งสองตำแหน่งมีแนวโน้มแปรผันตามระยะทางที่เพิ่มขึ้น โดยในช่วงระยะทางระหว่าง 50 ถึง 100 เซนติเมตร เซนเซอร์แสดงค่าความคลาดเคลื่อนในระดับต่ำและค่อนข้างคงที่ อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะทางในการตรวจจับเพิ่มขึ้นเกินกว่า 100 เซนติเมตร พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยมีการปรับตัวสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ระยะทางจริง 150 เซนติเมตร เซนเซอร์ตำแหน่งด้านหน้าและด้านเหนือศีรษะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 0.92 เซนติเมตร และ 0.83 เซนติเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาจากภาพรวมของผลการทดสอบ แม้ความคลาดเคลื่อนจะเพิ่มสูงขึ้นตามระยะทาง แต่ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงสุดยังคงต่ำกว่า 1.00 เซนติเมตร ผลการทดลองนี้จึงเป็นหลักฐานเชิงประจักษ์ที่ยืนยันได้ว่า ระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางที่พัฒนาขึ้นมีความแม่นยำและเสถียรภาพเพียงพอสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในไม้เท้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรับรู้สภาพแวดล้อมและความปลอดภัยให้แก่ผู้พิการทางสายตาในสภาวะการใช้งานจริง



รูปที่ 4 ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในการตรวจจับสิ่งกีดขวางของเซนเซอร์อัลตราโซนิกที่ตำแหน่งด้านหน้าและด้านเหนือศีรษะที่ระยะทางต่าง ๆ

2. การทดสอบการตรวจจับความเอียงของเซนเซอร์เอ็มพียู 6050

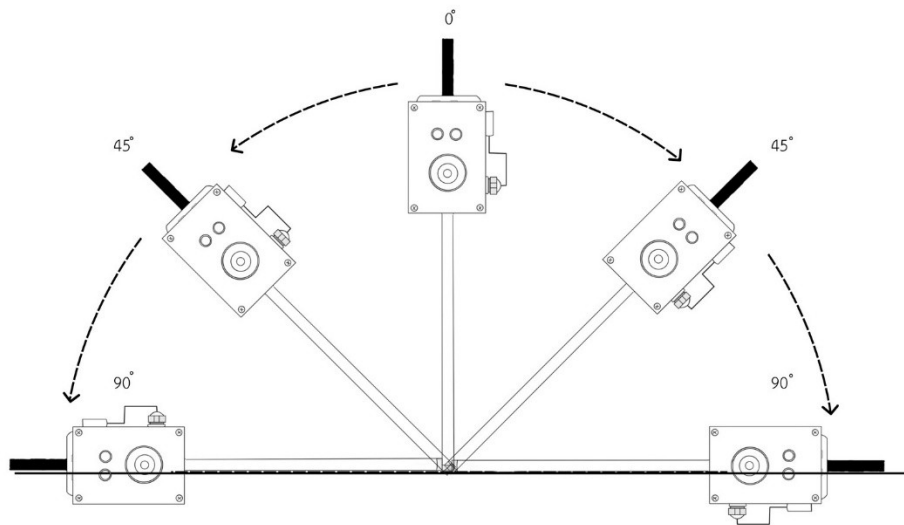
สำหรับการทดสอบความถูกต้องในการตรวจจับมุมเอียงและการทำงานของระบบตัดสินใจแจ้งเตือนเหตุฉุกเฉิน คณะผู้วิจัยได้จัดเก็บข้อมูลจากการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้งต่อหนึ่งระดับองศา เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนและประสิทธิภาพในการประมวลผล ซึ่งปรากฏผลการทดสอบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบการตรวจจับความเอียงเซนเซอร์เอ็มพียู 6050

มุมเอียงจริง (°)	ค่ามุมที่อ่านได้ (°)						ระบบตัดสินใจ (ล้ม/ไม่ล้ม)	แจ้งเตือนถูกต้อง (✓/X)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย (°)		
0	0.15	0.13	0.03	0.35	0.41	0.21	ไม่ล้ม	✓
15	15.11	15.03	15.56	15.23	15.17	15.22	ไม่ล้ม	✓
30	30.01	30.38	30.29	30.44	30.12	30.25	ไม่ล้ม	✓
45	45.18	45.32	45.27	45.03	45.33	45.23	ไม่ล้ม	✓
60	60.06	60.34	60.26	60.11	60.28	60.21	ไม่ล้ม	✓
75	75.21	75.45	75.33	75.84	75.61	75.49	ไม่ล้ม	✓
90	90.27	90.53	90.22	90.35	90.44	90.36	ล้ม	✓

การประเมินประสิทธิภาพการตรวจจับสภาวะการล้มของผู้ใช้งานด้วยเซนเซอร์เอ็มพียู 6050 ทำการทดสอบความแม่นยำในการวัดมุมเอียงตั้งแต่ระยะ 0 ถึง 90 องศา โดยทำการทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้งในแต่ละลำดับขั้นเพื่อหาค่าเฉลี่ยทางสถิติ ผลการทดลองดังปรากฏในตารางที่ 1 พบว่าเซนเซอร์มีระดับความแม่นยำสูง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย อยู่ในเกณฑ์ต่ำเพียง 0.21 ถึง 0.49 องศา ตลอดช่วงการทดสอบ เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมที่วัดได้กับการทำงานของระบบตัดสินใจ พบว่าในสภาวะที่ไม่เฝ้ามีความเอียงระหว่าง 0 ถึง 75 องศา ระบบสามารถจำแนกสภาวะเป็น "ไม่ล้ม" ได้อย่างถูกต้องแม่นยำทุกกรณีศึกษา ในขณะที่เมื่อเฝ้าทำมุมเอียงเข้าใกล้สภาวะขนานกับพื้นโลกที่ระยะ 90 องศา (ค่าเฉลี่ยจากการวัดเท่ากับ 90.36 องศา) ระบบสามารถตรวจจับและประมวลผลการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็น "ล้ม" ได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์

ผลการวิเคราะห์ยืนยันได้ว่า เซนเซอร์ MPU-6050 เมื่อทำงานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์และอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น มีเสถียรภาพและประสิทธิภาพความแม่นยำในการระบุตำแหน่งเชิงมุมที่ดี อีกทั้งยังสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงท่าทางของผู้ใช้งานเพื่อส่งสัญญาณแจ้งเตือนเหตุฉุกเฉินได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการลดความเสี่ยงและเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้พิการทางสายตาในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุล้มลงขณะเดินทาง



รูปที่ 4 องค์การเอียง

3.การทดสอบการตรวจจับและการแจ้งเตือนของระบบ

เพื่อให้แน่ใจในประสิทธิภาพการทำงานเชิงรวมของระบบ คณะผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบการตอบสนองของระบบแจ้งเตือนภายใต้เงื่อนไขการตรวจจับที่กำหนด โดยครอบคลุมทั้งการตรวจจับระยะสิ่งกีดขวางในตำแหน่งต่าง ๆ และการจำแนกทิศทางการลំของตู้ใช้งาน เพื่อประเมินความถูกต้องแม่นยำในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์เปรียบเทียบกับเกณฑ์การตัดสินใจที่ออกแบบไว้ ซึ่งผลการทดสอบการตรวจจับและการแจ้งเตือนของระบบสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบการตรวจจับและการแจ้งเตือนของระบบ

ทดสอบการตรวจจับและการแจ้งเตือน				
เงื่อนไขการทดสอบ	ระยะจริง/มุมการลัม (เซนติเมตร/องศา)	ค่าที่วัดได้ (เซนติเมตร/องศา)	เกณฑ์ การเตือน	ระบบการ เตือนจริง
ด้านหน้า	70	70.72	แจ้งเตือน	แจ้งเตือน
ด้านหน้า	200	200.67	ไม่แจ้งเตือน	ไม่แจ้งเตือน
ด้านบน	70	70.19	แจ้งเตือน	แจ้งเตือน
ด้านบน	200	200.16	ไม่แจ้งเตือน	ไม่แจ้งเตือน
การลัมด้านซ้าย	90	90.02	แจ้งเตือน	แจ้งเตือน
การลัมด้านขวา	90	90.11	ไม่แจ้งเตือน	ไม่แจ้งเตือน

จากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดได้จริงกับระบบการแจ้งเตือนของไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับผู้พิการทางสายตา ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าระบบสามารถปฏิบัติงานได้สอดคล้องกับเกณฑ์การตัดสินใจที่กำหนดไว้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ในทุกเงื่อนไขการทดสอบ ในการทดสอบระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางด้านหน้าและด้านบน ณ ระยะทาง 70 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์การแจ้งเตือน ระบบสามารถประมวลผลและส่งสัญญาณเตือนได้อย่างถูกต้อง ในขณะที่ระยะ 200 เซนติเมตร ระบบไม่มีการแจ้งเตือนซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขการประหยัดพลังงานและการลดสัญญาณรบกวนในระยะไกล นอกจากนี้ในส่วนของการทดสอบระบบตรวจจับการล้มเชิงทิศทาง พบว่าระบบสามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างการล้มด้านซ้ายและการล้มด้านขวาได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยระบบจะเลือกส่งสัญญาณแจ้งเตือนเฉพาะในกรณีการล้มด้านซ้ายตามเงื่อนไขที่ผู้วิจัยกำหนดไว้เพื่อทดสอบความแม่นยำของตัวแปรควบคุม

ผลการทดสอบในภาพรวมชี้ให้เห็นว่า ระบบประมวลผลมีการทำงานที่มีเสถียรภาพ (Robustness) โดยค่าที่วัดได้จริงมีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์การตัดสินใจอย่างมาก และระบบการแจ้งเตือนจริง (Actual Alert System) มีความถูกต้องร้อยละ 100 เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์การแจ้งเตือนเชิงทฤษฎี ข้อมูลนี้จึงยืนยันถึงความพร้อมของไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงเพื่อช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.การทดสอบความแม่นยำของระบบระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส (GPS)

การประเมินประสิทธิภาพระบบติดตามตำแหน่ง ดำเนินการทดสอบความแม่นยำของโมดูลจีพีเอส (GPS Module) โดยทำการเปรียบเทียบพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่วัดได้จากระบบกับค่าพิกัดจริง ณ สถานที่ต่าง ๆ ภายในพื้นที่ทดสอบจำนวน 5 จุด ซึ่งครอบคลุมทั้งพื้นที่โล่งแจ้งและพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างหนาแน่น เพื่อบำเหน็จค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งในหน่วยเมตร ผลการทดสอบความแม่นยำของระบบระบุตำแหน่งแสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3

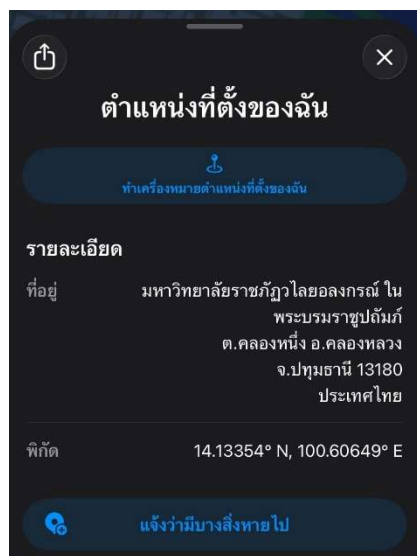
ตารางที่ 3 ตารางผลการทดสอบความแม่นยำของระบบระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส (GPS)

ลำดับ	สถานที่	ค่าจริงจากจีพีเอส		ค่าที่วัดได้		ค่าความคลาดเคลื่อน (เมตร)
		ละติจูด	ลองจิจูด	ลองจิจูด	ลองจิจูด	
1	อาคาร 9	14.13453	100.61053	14.1345530	100.6105420	2.87
2	อาคาร 8	14.13308	100.61237	14.1331240	100.6122890	10.01
3	อาคาร 100 ปี	14.13377	100.61543	14.1337090	100.6153180	13.85
4	หอพักชาย	14.13299	100.60948	14.1329700	100.6094740	2.32
5	สนามฟุตบอล	14.13354	100.60649	14.1336460	100.6065830	15.48

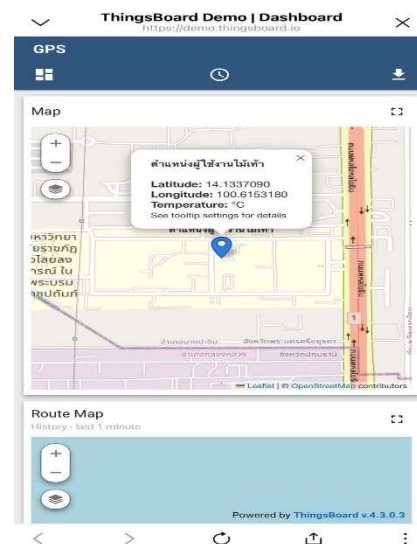
จากการวิเคราะห์พิกัดทางภูมิศาสตร์ที่ได้จากการทดสอบในสถานที่ต่าง ๆ ตามที่ปรากฏในตารางที่ 3 พบว่าความแม่นยำของระบบระบุตำแหน่งมีความผันแปรตามลักษณะสภาพแวดล้อมเชิงพื้นที่ โดยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำสุดถูกตรวจพบ ณ บริเวณหอพักชายและอาคาร 9 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 2.32 เมตร และ 2.87 เมตร ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าในสภาวะ

ที่การรับสัญญาณจากดาวเทียมมีความเสถียร ระบบสามารถระบุพิกัดได้อย่างแม่นยำสูงสุดคล้อยกับมาตรฐานของอุปกรณ์ระบุตำแหน่ง อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ทดสอบบางตำแหน่ง เช่น สนามฟุตบอลและอาคาร 100 ปี พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนมีการปรับตัวสูงขึ้นเป็น 15.48 เมตร และ 13.85 เมตร ตามลำดับ ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวอาจมีสาเหตุปัจจัยมาจากสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าในพื้นที่ หรือผลกระทบจากสัญญาณสะท้อนจากอาคารสูงข้างเคียง ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการคำนวณพิกัดของตัวรับสัญญาณ แม้ความคลาดเคลื่อนจะมีค่าสูงสุดที่ 15.48 เมตร แต่เมื่อพิจารณาในบริบทของการนำไปใช้งานร่วมกับไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อระบุตำแหน่งคร่าว ๆ ของผู้พิการทางสายตาในกรณีฉุกเฉิน ค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวยังอยู่ในเกณฑ์ที่ระบบรับส่งข้อมูลและแอปพลิเคชันแจ้งเตือนสามารถนำไปประมวลผลเพื่อติดตามตัวบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลนี้จึงยืนยันได้ว่าระบบจีพีเอสที่บูรณาการร่วมกับไม้เท้ามีความสามารถในการระบุตำแหน่งเชิงพื้นที่ได้ตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อให้การติดตามตำแหน่งของผู้พิการทางสายตามีประสิทธิภาพและสามารถตรวจสอบได้แบบเรียลไทม์ คณะผู้วิจัยได้บูรณาการระบบส่งผ่านข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์จากไม้เท้าควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เข้าสู่แพลตฟอร์มอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งดังที่แสดงในรูปที่ 5 โดยข้อมูลพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่ตรวจจับได้จากระบบจีพีเอสจะถูกส่งผ่านโปรโตคอลการสื่อสารไปยังแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนและแดชบอร์ดแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ในส่วนของแอปพลิเคชัน (รูปด้านซ้าย) คือค่าจริงจากจีพีเอสขณะที่ในส่วนของแดชบอร์ด ThingsBoard (รูปด้านขวา) ข้อมูลพิกัดที่ระบบวัดได้จะถูกนำมาแสดงผลในรูปแบบแผนที่เชิงตัวเลข (Digital Map) พร้อมระบุค่าพิกัดละติจูดและลองจิจูดที่แม่นยำสูง (เช่น Latitude: 14.1337090, Longitude: 100.6153180) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบในตารางที่ 3



(ก) ค่าจริงจากจีพีเอส



(ข) ค่าที่วัดได้

รูปที่ 5 ค่าจริงจากจีพีเอสเทียบกับค่าที่วัดได้จริง

อภิปรายผล

ระบบมีความแม่นยำในการตรวจจับสิ่งกีดขวางสูงสุดในช่วงระยะ 50 ถึง 100 เซนติเมตร โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่า 1.00 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระดับที่เพียงพอต่อการใช้งานจริง อย่างไรก็ตาม เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นเกินกว่า 100 เซนติเมตร ค่าความคลาดเคลื่อนจะปรับตัวสูงขึ้นอันเนื่องมาจากสมบัติทางกายภาพของคลื่นอัลตราโซนิกและการสูญเสียพลังงานตามระยะทาง ซึ่งสอดคล้องกับข้อจำกัดของเซนเซอร์ HC-SR04 ที่ระบุในงานวิจัยของ โสภิตา ท่วมมี และคณะ (2565) ในด้านการตรวจจับสภาวะการล้มของเซนเซอร์เอ็มพียู 6050 แสดงประสิทธิภาพในการวัดมุมเอียงได้อย่างแม่นยำ และสามารถจำแนกสภาวะการล้มที่ระดับ 90 องศา ได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ Anwar และ Aljahdali (2017) ในการใช้ตัวแปรจลนศาสตร์ระบุอุบัติเหตุ สำหรับระบบระบุตำแหน่งจีพีเอส พบค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุด 15.48 เมตร ในพื้นที่ที่มีสิ่งปลูกสร้างหนาแน่นเนื่องจากปรากฏการณ์สัญญาณสะท้อนจากอาคารสูง แต่พิกัดที่ได้ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้สำหรับการติดตามตัวผ่านแพลตฟอร์มคลาวด์

สรุปผลการวิจัย

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถบูรณาการเซนเซอร์เพื่อยกระดับความปลอดภัยในการนำทาง โดยเซนเซอร์อัลตราโซนิกสามารถตรวจจับสิ่งกีดขวางได้อย่างแม่นยำทั้งในระดับพื้นดินและระดับศีรษะ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยต่ำกว่า 1.00 เซนติเมตร ในระยะตรวจจับไม่เกิน 150 เซนติเมตร ขณะที่ระบบตรวจจับการล้มด้วยเซนเซอร์เอ็มพียู 6050 มีประสิทธิภาพในการจำแนกการล้มได้อย่างถูกต้องสมบูรณ์ที่ระดับมุมเอียง 90 องศา นอกจากนี้ ระบบระบุตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) ยังสามารถระบุตำแหน่งผู้ใช้งานเพื่อการติดตามตัวในกรณีฉุกเฉินผ่านแพลตฟอร์มคลาวด์ ThingsBoard ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้จะพบความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งเฉลี่ย 2.32 ถึง 15.48 เมตร ตามสภาพแวดล้อมทางกายภาพที่แตกต่างกัน

ข้อเสนอแนะ

จากข้อค้นพบที่ระบบมีความแม่นยำในการตรวจจับสิ่งกีดขวางระดับศีรษะและมีระบบแจ้งเตือนสภาวะวิกฤตผ่านเครือข่ายไร้สายที่มีเสถียรภาพ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องด้านการดูแลสุขภาพหรือสถานพยาบาลควรนำต้นแบบนี้มาควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับผู้พิการทางสายตาไปประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์เสริมทักษะการเคลื่อนไหว เพื่อลดความเสี่ยงจากการชนวัตถุในมุมอับสายตาและเพิ่มช่องทางการติดตามตำแหน่งกรณีเกิดอุบัติเหตุ นอกจากนี้ควรมีการจัดอบรมการใช้งานควบคู่กับแอปพลิเคชันเพื่อให้ผู้ดูแลสามารถเฝ้าระวังตรวจสอบระยะไกลได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้พบข้อจำกัดด้านค่าความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์อัลตราโซนิกเมื่อตรวจจับในระยะไกลเกิน 100 เซนติเมตร และปัญหาพิกัดจีพีเอส คลาดเคลื่อนในพื้นที่อับสัญญาณ การวิจัยในครั้งต่อไปจึงควรพิจารณาการใช้เทคโนโลยีเซนเซอร์แบบผสมผสาน (Sensor Fusion) เช่น LiDAR หรือเซนเซอร์อินฟราเรด เพื่อเพิ่มความแม่นยำในสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย อีกทั้งควรพัฒนาการแจ้งเตือนผ่านการสั่นสะเทือนสำหรับการใช้งานในพื้นที่ที่มีเสียงรบกวนสูง

References

- [1] World Health Organization, World Report on Vision, Geneva: WHO Press, 2019.
- [2] Nawar, A., Hossain, F., & Anwar, M. G. (2015). Ultrasonic Navigation System for the visually impaired & blind pedestrians. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 4(2), 13-18.
- [3] Wannakam, K., Chattunyakit, S., & Boonraksa, P. (2025). อุปกรณ์ตรวจจับสิ่งกีดขวาง เพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้พิการทางสายตา. *Rattanakosin Journal of Science and Technology*, 7(3), 271-285.

- [4] Malla, S., Sahu, P. K., Patnaik, S., & Biswal, A. K. (2023). Obstacle Detection and Assistance for Visually Impaired Individuals Using an IoT-Enabled Smart Blind Stick. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 37(3)
- [5] โสภิตา ท้วมมี หทัยรัตน์ เกตุมนิชัยรัตน์ ฉัตรลิกา เพชรณีนิลใส และ พศวัต พันธิ์โสทธิ. (2565). ไม้เท้าอัจฉริยะสำหรับช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology), 18(2), 22-39
- [6] กาญจนา จันทร์ประเสริฐ. (2559). การพัฒนาเครื่องแจ้งเตือนสิ่งกีดขวางสำหรับผู้พิการทางสายตา. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 25(1), 136-147.
- [7] Anwar, A., & Aljahdali, S. (2017). A smart stick for assisting blind people. *IOSR Journal of Computer Engineering*, 19(3), 86-90.