

# ไม่ทำอัจฉริยะด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่งและปัญญาประดิษฐ์ ในการตรวจจับสิ่งกีดขวาง

วดีนาถ วรรณสวัสดิ์กุล

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

อีเมล : wadeenat.w@lawasri.tru.ac.th

วันที่รับบทความ 17 กุมภาพันธ์ 2568

วันแก้ไขบทความ 24 มีนาคม 2568

วันที่ตอบรับบทความ 9 เมษายน 2568

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาไม่ทำอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยบูรณาการเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (Internet of Things :IoT) และปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เพื่อช่วยในการตรวจจับและแจ้งเตือนสิ่งกีดขวางและทางต่างระดับในสภาพแวดล้อมจริง เพิ่มความปลอดภัยในการเดินทางของผู้ใช้งาน ระบบประกอบด้วย ESP32-CAM ซึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ IoT สำหรับบันทึกภาพและส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย Wi-Fi ไปยังระบบประมวลผล AI ที่พัฒนาโดยใช้แพลตฟอร์ม Teachable Machine โมเดล AI ได้รับการฝึกฝนให้สามารถจำแนกสิ่งกีดขวางและทางต่างระดับจำนวน 11 ประเภท ได้แก่ (1) บันไดภายในและภายนอกอาคาร (2) พุ่มพาท (3) ทางลาดหน้าอาคารสำหรับวีลแชร์ (4) โต๊ะ เก้าอี้ ชั้นหนังสือ ภายในอาคาร (5) คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ เครื่องพิมพ์ (6) โต๊ะหินอ่อน ถังขยะ เส้าไฟฟ้า ต้นไม้ (7) รถยนต์ รถจักรยานยนต์ รถจักรยาน (8) ถนนทางเท้า (9) รั้ว ที่กั้น (10) คน สัตว์ (11) สิ่งกีดขวางอื่น ๆ ระบบได้รับการประเมินประสิทธิภาพโดยใช้ชุดข้อมูลภาพที่เก็บจากสภาพแวดล้อมจริง และแบ่งออกเป็นชุดฝึก (Training set) และชุดทดสอบ (Testing set) พร้อมประเมินผลด้วย Confusion Matrix เพื่อคำนวณค่าวัดประสิทธิภาพ ได้แก่ Accuracy, Precision, Recall และ F1-Score ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า โมเดลมีความแม่นยำ (Accuracy) ในการจำแนกประเภททางต่างระดับและสิ่งกีดขวางอยู่ที่ 97.96% และ 96.08% ตามลำดับ โดยค่าเฉลี่ยของดัชนีประสิทธิภาพอยู่ที่ Precision 96.85%, Recall 96.42% และ F1-Score 96.63% เมื่อระบบตรวจพบสิ่งกีดขวางหรือความเปลี่ยนแปลงของระดับพื้น ระบบจะประมวลผลและส่งสัญญาณแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ไปยังมอเตอร์สั่นที่ติดตั้งบนด้ามจับของไม้เท้าเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งาน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ร่วมกับ AI ในการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง และมีส่วนช่วยในการยกระดับคุณภาพชีวิตของผู้ใช้งานได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ : ไม่ทำอัจฉริยะ ผู้พิการทางสายตา ปัญญาประดิษฐ์ อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง



---

# Smart Cane with Internet of Things and Artificial Intelligence Technology for Obstacle Detection

Wadeenat Wannasawaskul

Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

E – mail : wadeenat.w@lawasri.tru.ac.th

Received 17 February 2025

Revised 24 March 2025

Accepted 9 April 2025

## Abstract

This research aims to develop a smart cane for visually impaired individuals by integrating Internet of Things (IoT) technology with Artificial Intelligence (AI) to enhance navigation safety and obstacle awareness in real-world environments. The system employs an ESP32-CAM as an IoT device for image acquisition and transmits data via Wi-Fi to an AI processing unit built using the Teachable Machine platform. The AI model was trained to classify 11 categories of obstacles and elevation changes, including: (1) indoor and outdoor stairs, (2) sidewalks, (3) wheelchair ramps, (4) indoor furniture (tables, chairs, bookshelves), (5) electronic devices (computers, televisions, printers), (6) outdoor objects (stone tables, trash bins, utility poles, trees), (7) vehicles (cars, motorcycles, bicycles), (8) roads and pavements, (9) fences and barriers, (10) people and animals, and (11) other miscellaneous obstacles. The model was trained and tested on a real-world image dataset, with performance evaluated using a confusion matrix to compute key metrics: Accuracy, Precision, Recall, and F1-Score. The results show that the model achieved an accuracy of 97.96% for elevation change detection and 96.08% for obstacle classification. The average values of the performance metrics are: Precision 96.85%, Recall 96.42%, and F1-Score 96.63%, indicating high reliability and robustness of the system in diverse environments. Upon detecting an obstacle or elevation change, the system processes the input in real-time and alerts the user via a vibration motor embedded in the cane handle. This research demonstrates the feasibility and effectiveness of combining IoT and AI technologies in the development of assistive devices, with potential to significantly improve the quality of life for visually impaired individuals.

**Keywords** : Smart cane, Visually impaired, Artificial Intelligence, Internet of Things

## 1. บทนำ

เทคโนโลยีช่วยเหลือนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา (Blind and Visually Impaired - BVI) ได้รับความสนใจอย่างมาก โดยมีการพัฒนาอุปกรณ์และระบบนำทางที่ใช้ ปัญญาประดิษฐ์ เช่น เซอร์ และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและอิสระในการเคลื่อนที่ของผู้พิการ งานวิจัยของ Tripathi et al. (2023) ทบทวนระบบช่วยเหลือนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา (BVI) โดยเน้นที่เทคโนโลยีหลักที่เกี่ยวข้องคือ การวางแผนและการนำทาง งานวิจัยจำแนกเทคโนโลยีออกเป็น (1) Vision-Based Technology ที่ใช้ AI และกล้อง เช่น Microsoft Kinect (2) Non-Vision-Based Technology ที่ใช้เซ็นเซอร์ เช่น RFID และ Ultrasonic และ (3) Hybrid-Based Technology ที่รวมทั้งสองระบบเพื่อเพิ่มความแม่นยำ เทคโนโลยี Vision-Based มีข้อจำกัดเรื่องแสง ขณะที่ Non-Vision-Based มีข้อจำกัดเรื่องระยะตรวจจับ ส่วน Hybrid-Based แม่นยำแต่มีต้นทุนสูง งานวิจัยแนะนำให้บูรณาการ AI, IoT และ Edge Computing เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและการใช้งานจริงในอนาคต งานวิจัยของ Zafar et al. (2022) วิเคราะห์อุปกรณ์ช่วยเหลือนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา (Visually impaired persons - VIPs) โดยจำแนกเป็น (1) อุปกรณ์ตรวจจับสิ่งกีดขวาง เช่น กล้อง Kinect และเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก (2) อุปกรณ์นำทาง เช่น ระบบ GPS และนำทางอัจฉริยะ (3) อุปกรณ์ไฮบริด ที่รวมระบบตรวจจับและนำทาง เช่น ไม้เท้าอัจฉริยะ และ (4) อุปกรณ์ช่วยในกิจวัตรประจำวัน (ADL Devices) เช่น เครื่องอ่านข้อความเสียง (Text-to-Speech) และอุปกรณ์ระบุสกุลเงิน งานวิจัยยังได้ทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณ เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของอุปกรณ์ในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน พบว่ายังไม่มีอุปกรณ์ใดที่สมบูรณ์แบบ และมีความท้าทายด้านความแม่นยำของเซ็นเซอร์ การลดความซับซ้อน และการทำให้เทคโนโลยีเข้าถึงง่ายขึ้น นักวิจัยเสนอให้พัฒนาอุปกรณ์ที่รวมทั้งฟังก์ชันที่หลากหลายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและปรับปรุงคุณภาพชีวิตของผู้พิการ งานวิจัยของ Chaple et al. (2024) ทบทวนการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการช่วยเหลือนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา (BVI) โดยเน้นที่ ระบบนำทางและการจดจำวัตถุ งานวิจัยสำรวจเทคโนโลยี เช่น ไม้เท้าอัจฉริยะ (Smart Stick) ที่ติดตั้ง GPS และเซ็นเซอร์ กล้อง RGB-D สำหรับจดจำวัตถุและผู้ช่วยเสียง AI (SKYE) ซึ่งช่วยให้ BVI รับรู้สภาพแวดล้อมและโต้ตอบกับอุปกรณ์อัจฉริยะ งานวิจัยยังกล่าวถึงการประยุกต์ใช้ Convolutional Neural Networks (CNN) เพื่อพัฒนาระบบนำทางและแปลข้อความเสียง แม้ว่า AI จะมีศักยภาพสูง แต่ยังคงมีความท้าทาย เช่น ความแม่นยำในการจดจำภาพ การประมวลผลแบบเรียลไทม์ ต้นทุนอุปกรณ์ และข้อจำกัดของ Text-to-Speech นักวิจัยเสนอให้พัฒนาเทคโนโลยีที่รองรับ ภาษาต่างๆ และปรับให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและการเข้าถึงของผู้พิการ

ระบบนำทางช่วยเหลือนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา (Assistive Navigation Systems - ANS) ในงานวิจัยของ Tyagi et al. (2021) โดยจำแนกเทคโนโลยีออกเป็น (1) ระบบที่ใช้เซ็นเซอร์เป็นหลัก เช่น GPS, LIDAR และ RFID ซึ่งช่วยตรวจจับสิ่งกีดขวางแต่มีข้อจำกัดด้านความแม่นยำ (2) ระบบที่ใช้การประมวลผลภาพเป็นหลัก เช่น Computer Vision และ CNNs ซึ่งให้ข้อมูลเชิงลึกแต่ต้องใช้พลังงานสูง (3) ระบบแบบไฮบริด ที่รวมเทคโนโลยีทั้งสองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแต่ยังมีต้นทุนสูง งานวิจัยแนะนำว่า AI, IoT, Cloud Computing และ Edge Computing จะเป็นกุญแจสำคัญในการพัฒนา ANS ในอนาคต แต่ยังคงมีความท้าทายด้าน พลังงาน ต้นทุน และความสามารถในการทำงานแบบเรียลไทม์ ที่ต้องได้รับการแก้ไขเพื่อให้เทคโนโลยีเข้าถึงได้ง่ายขึ้นและใช้งานได้ในทุกสภาพแวดล้อม งานวิจัยของ Lei et al. (2022) ศึกษาการ ตรวจจับช่องทางเดิน (Pedestrian Lane Detection) สำหรับระบบนำทางช่วยเหลือนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยเปรียบเทียบ วิธีดั้งเดิม (Traditional Methods), การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning-Based Methods), และวิธีไฮบริด (Hybrid Methods) งานวิจัยได้พัฒนา ฐานข้อมูล PLVP3 เพื่อใช้ประเมินโมเดล เช่น FCNs U-Net DeepLabV3+ และ HRNet ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเดลที่ใช้ Deep Learning มีความแม่นยำสูงกว่าวิธีดั้งเดิม แต่ยังคงมีปัญหาด้าน ความเร็ว ความแม่นยำในสภาพแสงน้อย และพลังงานของอุปกรณ์ งานวิจัยแนะนำให้พัฒนา เทคนิคลดข้อผิดพลาด (False Positive Reduction) การเรียนรู้แบบปรับตัว

(Adaptive Learning) และการบูรณาการ AI กับ IoT เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเทคโนโลยีในอนาคต (Lei et al., 2022)

ในขณะที่งานวิจัยของ Lin et al. (2019) นำเสนอการช่วยเหลือที่แตกต่างออกไป ในบทความนี้ได้เสนอระบบสวมใส่ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา โดยใช้การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning-Based Wearable Assistive System) เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถรับรู้สภาพแวดล้อมได้ดีขึ้น ระบบประกอบด้วย กล้อง RGBD หูฟัง หน่วยประมวลผลสำหรับการเรียนรู้เชิงลึก และอินเทอร์เฟซแบบสัมผัส ที่เชื่อมต่อกับสมาร์ทโฟน โดยใช้ Convolutional Neural Networks (CNNs) เพื่อสร้างแผนที่เชิงความหมาย (Semantic Map) และให้คำแนะนำเกี่ยวกับเส้นทางที่ปลอดภัย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถช่วยให้ผู้พิการเดินทางได้อย่างปลอดภัยทั้งในร่มและกลางแจ้ง อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของระบบยังคงอยู่ที่ความแม่นยำของกล้อง RGBD ในสภาพแสงน้อย และการใช้พลังงานสูง งานวิจัยเสนอให้พัฒนา Embedded Systems และเพิ่มเซ็นเซอร์เพิ่มเติม เช่น Sonar หรือ Bump Sensors เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัยของระบบในอนาคต ในงานวิจัยของ Kumar & Jain (2022) นำเสนอ โมเดล Deep Learning สำหรับช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาในการนำทาง โดยใช้ อุปกรณ์สวมใส่ (Wearable Model) และไม้เท้าอัจฉริยะ (Smart Stick) ที่ทำงานร่วมกันเพื่อตรวจจับเส้นทางและสิ่งกีดขวาง ระบบนี้ใช้ YOLOv5 ในการจำแนกเส้นทางเป็น ทางตรง เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา และใช้ GPS และ Ultrasonic Sensors สำหรับการนำทาง การทดลองแสดงให้เห็นว่าโมเดลมีความแม่นยำ 89.24% และสามารถทำงานแบบ เรียวลไทม์ที่ 45 FPS นักวิจัยแนะนำให้ เพิ่มขนาดชุดข้อมูล ฝึกฝน RNNs เพื่อลดเวลาในการประมวลผล และพัฒนาให้รองรับ Edge Computing งานวิจัยนี้ช่วยให้ ผู้พิการสามารถเดินทางได้อย่างปลอดภัยและเป็นอิสระมากขึ้น โดยลดข้อจำกัดของ ไม้เท้าขาและสุนัขนำทาง ในงานวิจัยของ Bhosle et al. (2022) นำเสนอระบบไม้เท้าอัจฉริยะที่ใช้ ESP32 ไมโครคอนโทรลเลอร์ เซ็นเซอร์เรดาร์ อัลตราโซนิก และ GPS เพื่อตรวจจับสิ่งกีดขวางและแปลงเป็นสัญญาณเสียง ระบบนี้มีน้ำหนักเบา กินไฟน้อย และใช้งานง่าย โดยมีระบบสั่นและเสียงเตือนเพิ่มเติมเพื่อแจ้งเตือนสิ่งกีดขวาง และในงานวิจัยของ Nataraj et al. (2024) พัฒนาระบบนำทางด้วยเสียงที่ใช้เซ็นเซอร์ ESP32-CAM และ GPS เพื่อตรวจจับวัตถุและให้ข้อมูลเสียงแบบเรียลไทม์ ระบบนี้ใช้ HC-SR04 อัลตราโซนิก NodeMCU และ OpenCV เพื่อประมวลผลภาพและแปลงเป็นเสียงแจ้งเตือน พร้อมด้วยระบบ GPS สำหรับติดตามตำแหน่งและแจ้งเตือนผู้ดูแล

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอไม้เท้าอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยจะพัฒนาระบบตรวจจับสิ่งกีดขวางโดยใช้ ESP32-CAM และโมเดล AI เพื่อให้สามารถจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง 11 ประเภท รวมถึงการแจ้งเตือนผ่านมอเตอร์สั่นสะเทือนที่ติดตั้งบนด้ามจับ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งกีดขวางได้ ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพจากอาสาสมัครทั่วไปที่มีสุขภาพแข็งแรง และสามารถปฏิบัติตามคำแนะนำในการทดสอบได้อย่างถูกต้อง เพื่อความปลอดภัยของผู้ทดสอบ

## 2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนานวัตกรรมไม้เท้าอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตา
- 2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานไม้เท้าอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตา

## 3. วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาไม้เท้าอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยมีการออกแบบกระบวนการวิจัยให้ครอบคลุมทั้งด้านปัญญาประดิษฐ์ (AI) และเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (IoT) โดยเริ่มต้นจากการพัฒนาโมเดล AI สำหรับจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง ก่อนจะนำโมเดลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบ IoT เพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านมอเตอร์สั่นที่ติดตั้งบนไม้เท้า

### 3.1 การเก็บข้อมูลภาพและการเตรียมข้อมูล

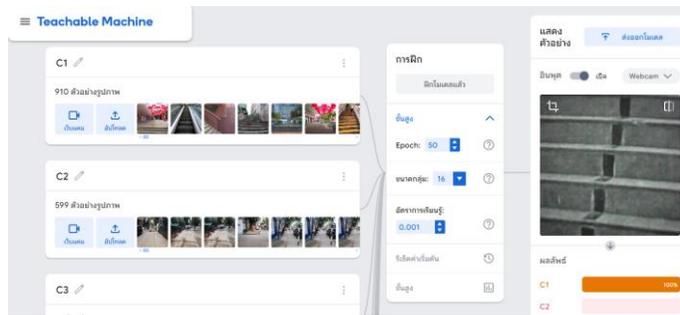
ข้อมูลภาพถ่ายถูกถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟนในสถานที่จริงทั้งในอาคารและนอกอาคาร รวมถึงพื้นที่ที่มีทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางหลากหลาย เช่น บันได ทางลาด พุตบาท เพอร์นิเจอร์ รถยนต์ และคน โดยมีการเก็บข้อมูลในสภาพแสงที่แตกต่างกัน (ภายในและภายนอกอาคาร) ข้อมูลที่รวบรวมทั้งหมดมีจำนวน 6,439 ภาพ ถูกแบ่งออกเป็น Training Set (80%) และ Test Set (20%) เพื่อใช้ในกระบวนการฝึกและทดสอบโมเดล ข้อมูลภาพถูกปรับขนาดเป็น 224x224 พิกเซล เพื่อให้เข้ากับโมเดลที่ออกแบบไว้ และทำการเพิ่มข้อมูล (Data Augmentation) เช่น การหมุนภาพ (Rotation) การสะท้อนแนวนอน (Horizontal Flip) และการปรับค่าความสว่าง (Brightness Adjustment) เพื่อเพิ่มความหลากหลายให้กับชุดข้อมูล นอกจากนี้ ยังมีการกำจัดข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์ เช่น ภาพเบลอหรือภาพที่มีแสงเกินไป ข้อมูลภาพถ่ายถูกแบ่งออกเป็น 11 คลาส มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของข้อมูลภาพถ่าย

ลำดับที่	ชื่อคลาส	คำอธิบาย	จำนวนภาพ	Training Set	Test Set
1	C1	บันไดภายในและภายนอกอาคาร	910	728	182
2	C2	พุตบาท	599	479	120
3	C3	ทางลาดหน้าอาคารสำหรับวีลแชร์	750	600	150
4	C4	โต๊ะ เก้าอี้ ชั้นหนังสือ ภายในอาคาร	770	616	154
5	C5	คอมพิวเตอร์ โทรทัศน์ เครื่องพิมพ์	540	432	108
6	C6	โต๊ะหินอ่อน ถังขยะ เส้าไฟฟ้า ต้นไม้	455	364	91
7	C7	รถยนต์ รถจักรยานยนต์ รถจักรยาน	400	320	80
8	C8	ถนน ทางเท้า	865	692	173
9	C9	รั้ว ที่กั้น	400	320	80
10	CA	คน สัตว์	200	160	40
11	CB	อื่น ๆ	550	440	115

### 3.2 การพัฒนาโมเดล AI และการประเมินผล

งานวิจัยนี้ใช้ Teachable Machine ซึ่งเป็นเครื่องมือที่พัฒนาโดย Google เพื่อสร้างโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) สำหรับการจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง โมเดลที่พัฒนาขึ้นเป็นโมเดลประเภทการจำแนกภาพ (Image Classification) โดยมีการอัปโหลดข้อมูลภาพที่ถ่ายจากกล้องสมาร์ทโฟน ซึ่งแบ่งออกเป็น 11 คลาส Teachable Machine ใช้โครงสร้างโมเดล MobileNet ซึ่งเป็นโมเดลที่ผ่านการฝึกฝนมาก่อน (Pretrained Model) และมีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานบนอุปกรณ์พกพาที่มีทรัพยากรจำกัด หลังจากการฝึกฝนเสร็จสิ้น โมเดลจะถูกส่งออก (Export) ออกมาในรูปแบบ TensorFlow Lite (.tflite) สำหรับการใช้งานในอุปกรณ์ IoT และ TensorFlow.js สำหรับการใช้งานในเว็บเบราว์เซอร์ การสร้างโมเดลด้วย Teacher Machine แสดงได้ดังรูปที่ 1 โดยการฝึกโมเดลดำเนินการโดยกำหนดรอบการฝึกฝน (Epochs) ไว้ที่ 50 รอบ และค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ถูกตั้งค่าโดยระบบอัตโนมัติ



รูปที่ 1 การสร้างโมเดลด้วย Teachable Machine

หลังจากการฝึกโมเดลเสร็จสิ้น ประสิทธิภาพของโมเดลได้รับการประเมินผ่านชุดข้อมูลทดสอบ (Test Set) ซึ่งเป็นข้อมูลที่ไม่เคยถูกใช้ในการฝึกมาก่อน เพื่อวัดความสามารถในการจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางในสถานการณ์จริง ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าโมเดลสามารถจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางได้อย่างแม่นยำ โดยค่าชี้วัดที่ใช้ในการประเมินประกอบด้วย Precision, Recall, และ F1-Score สำหรับแต่ละคลาส และผลรวมทั้งหมด โมเดลถูกวิเคราะห์เพิ่มเติมผ่าน Confusion Matrix เพื่อระบุข้อผิดพลาดในการจำแนก ซึ่งช่วยให้เข้าใจจุดอ่อนของโมเดลในบริบทของการใช้งานจริง ผลการทดสอบโมเดลแสดงได้ดังตารางที่ 2 – 3

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบโมเดลในรูปแบบ Confusion Matrix

คลาส	ผลการทำนายคลาส										
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	CA	CB
C1	180	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	110	3	0	0	0	0	7	0	0	0
C3	0	6	144	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	149	0	5	0	0	0	0	0
C5	0	0	0	0	98	0	0	0	0	0	10
C6	0	0	0	6	0	85	0	0	0	0	0
C7	0	0	0	0	0	0	77	0	0	0	3
C8	0	5	2	0	0	0	0	166	0	0	0
C9	0	0	0	3	0	0	0	0	72	0	5
CA	0	0	0	0	0	0	0	3	0	37	0
CB	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	113

ผลการทดสอบโมเดลในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง ทั้ง 11 คลาส โดยมีประสิทธิภาพสูงในหลายคลาส เช่น C1 และ CB ซึ่ง C1 มีจำนวนตัวอย่างถูกต้อง (True Positives) 180 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 182 ตัวอย่าง และ CB มีจำนวนตัวอย่างถูกต้อง 113 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 115 ตัวอย่าง มีข้อผิดพลาด (False Negatives) เท่ากันเพียง 2 ตัวอย่าง ส่วนข้อผิดพลาดส่วนใหญ่อยู่ในคลาส C2

และ C5 ซึ่งใน C2 ถูกคาดการณ์ผิดเป็น C8 ถึง 7 ตัวอย่าง ในทางกลับกัน C8 ถูกคาดการณ์ผิดเป็น C2 ถึง 5 ตัวอย่าง ส่วนใน C5 ถูกคาดการณ์ผิดเป็น CB ถึง 10 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบจากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของโมเดลในการจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวางทั้ง 11 คลาส โดยมีค่าชี้วัดหลัก ได้แก่ Precision, Recall, และ F1-Score ซึ่งสะท้อนถึงความแม่นยำและความสมบูรณ์ของการจำแนก โมเดลมีประสิทธิภาพโดยรวมที่ดี โดยเฉพาะในคลาสที่ข้อมูลมีความชัดเจน เช่น C1 ซึ่งมี Precision สูงถึง 100% และ Recall 98.90% ส่งผลให้ F1-Score อยู่ที่ 99.45% นอกจากนี้ คลาส C7 และ CA ยังมี F1-Score สูงถึง 98.09% และ 96.10% ตามลำดับ คลาส C5, C7, C9 และ CA แสดงผลลัพธ์ที่ยอดเยี่ยม โดยมี Precision เท่ากับ 100% ซึ่งหมายความว่าไม่มีข้อผิดพลาดใน FP (False Positives) อย่างไรก็ตาม โมเดลยังมีข้อจำกัดในคลาสที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เช่น CB และ C2 โดย CB มี Precision ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับคลาสอื่น ๆ ที่ 86.26% แม้ว่า Recall จะอยู่ที่ 98.26% นอกจากนี้ คลาส C2, C9 และ CB ยังมีข้อผิดพลาดในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะในกรณีที่คาดการณ์ผิดในกลุ่มคลาสที่คล้ายกัน

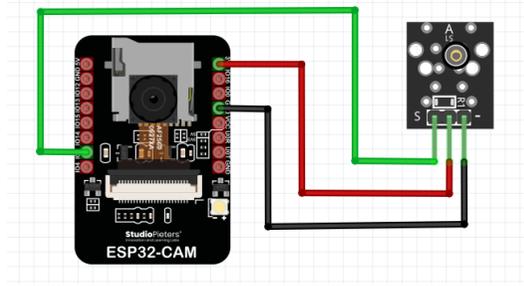
ตารางที่ 3 ผลการวัดประสิทธิภาพโมเดล

Class	TP	FP	FN	TN	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
C1	180	0	2	1111	99.85	100.00	98.90	99.45
C2	110	11	10	1162	98.38	90.91	91.67	91.29
C3	144	7	6	1136	98.99	95.36	96.00	95.68
C4	149	9	5	1130	98.92	94.30	96.75	95.51
C5	98	0	10	1185	99.23	100.00	90.74	95.15
C6	85	7	6	1195	98.99	92.39	93.41	92.90
C7	77	0	3	1213	99.77	100.00	96.25	98.09
C8	166	10	7	1110	98.69	94.32	95.95	95.13
C9	72	0	8	1213	99.38	100.00	90.00	94.74
CA	37	0	3	1253	99.77	100.00	92.50	96.10
CB	113	18	2	1160	98.45	86.26	98.26	91.87

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพโดยรวม โมเดลมีค่า F1-Score โดยเฉลี่ยสูง ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการจำแนกข้อมูลได้ดี อย่างไรก็ตาม ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในคลาสที่มีความคล้ายคลึงกันชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นในการเพิ่มข้อมูลที่มีความหลากหลายหรือการปรับปรุงโมเดลให้เหมาะสมยิ่งขึ้นสำหรับการใช้งานในสถานการณ์จริง

### 3.2 การพัฒนาระบบไม้เท้าอัจฉริยะและการทดสอบใช้งานจริง

ไม้เท้าสำหรับผู้พิการทางสายตาที่พัฒนานี้ถูกออกแบบมาเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความสะดวกสบายในการเดินทาง โดยมีการผสมผสานเทคโนโลยี IoT และ AI เพื่อช่วยในการตรวจจับทางต่างระดับและแจ้งเตือนสิ่งกีดขวาง ESP32-CAM ถูกเลือกใช้เป็นฮาร์ดแวร์หลัก เนื่องจากมีขนาดเล็ก ต้นทุนต่ำ และสามารถจับภาพพร้อมประมวลผลได้ในตัว โมดูลนี้ถูกติดตั้งบริเวณส่วนบนของไม้เท้าเพื่อจับภาพเส้นทางด้านหน้า ขณะที่มอเตอร์สั่นถูกติดตั้งใกล้กับด้ามจับเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานผ่านแรงสั่นสะเทือนเมื่อพบทางต่างระดับ วงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการพัฒนาถูกออกแบบดังรูปที่ 2



## รูปที่ 2 วงจรระบบไม้เท้าอัจฉริยะ

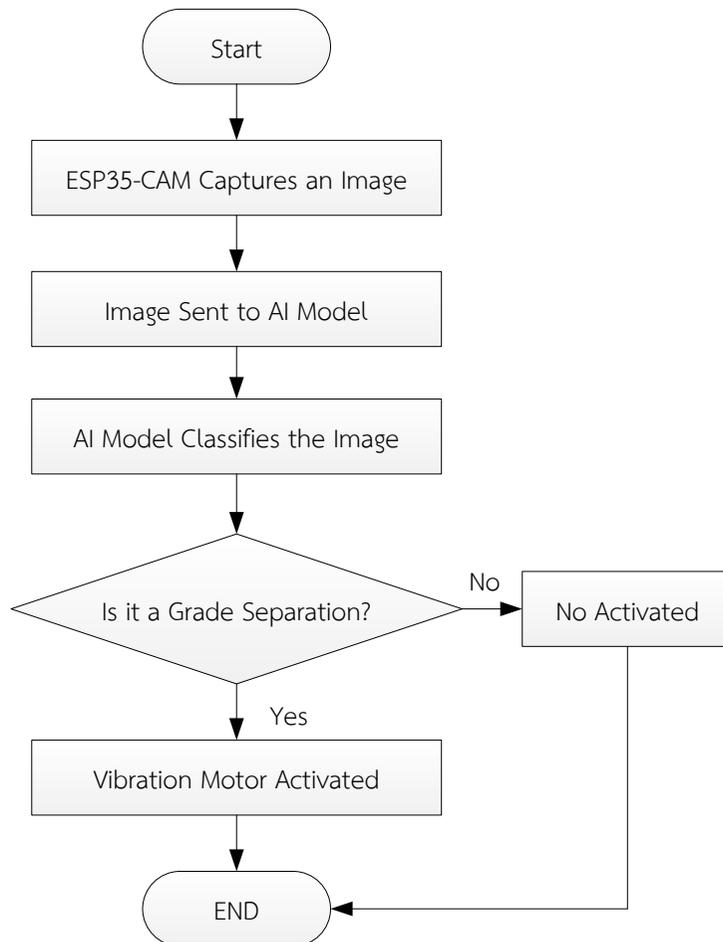
จากรูปที่ 2 มอเตอร์สันสะเทือนทำงานที่แรงดัน 2.5-3.8 V กระแส 75m A ซึ่งสามารถใช้แรงดันไฟฟ้า 3V3 จาก ESP32-CAM ได้ แต่กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมากค่อนข้างต่ำจึงต้องต่อทรานซิสเตอร์เพื่อเพิ่มกระแสขับมอเตอร์ และเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าที่มากเกินไปสามารถใส่ตัวต้านทาน 1-5 k $\Omega$  เพื่อลดทอนกระแสไฟฟ้าได้ ในขณะที่มอเตอร์หมุนอาจเกิดไฟกระชากจากแรงดันไฟฟ้าที่ขดลวดของมอเตอร์สร้างขึ้นอย่างฉับพลัน จึงต้องใช้ไดโอดต่อขนานแบบไบอัสกลับ (Reversed bias) เพื่อไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลย้อนเข้าไปที่ตัวประมวลผล และใส่ตัวเก็บประจุ 0.1  $\mu$ F เพื่อดูดซับแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าเชื่อมต่อกับขดลวดของมอเตอร์

ระบบไม้เท้าอัจฉริยะนี้ทำงานโดย ESP32-CAM จะจับภาพแบบเรียลไทม์และส่งข้อมูลไปยังโมเดล AI ที่สร้างจาก Teachable Machine โมเดลดังกล่าวสามารถจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง เช่น บันได ทางลาด พุตบาท เฟอร์นิเจอร์ รถยนต์ หรือคน เมื่อโมเดลพบทางต่างระดับในเส้นทาง ESP32-CAM จะส่งคำสั่งให้มอเตอร์สันทำงานเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งาน ระบบทั้งหมดได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่แบบพกพา และมีการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าอย่างปลอดภัยเพื่อรองรับการใช้งานในระยะยาว ในกระบวนการพัฒนา ซอฟต์แวร์สำหรับ ESP32-CAM ถูกเขียนใน Arduino IDE โดยเริ่มจากการตั้งค่าการเชื่อมต่อ Wi-Fi และการโหลดโมเดล AI ในรูปแบบ TensorFlow Lite ที่สร้างจาก Teachable Machine การทดสอบระบบดำเนินการในสภาพแวดล้อมจริงทั้งภายในอาคารและกลางแจ้ง โดยครอบคลุมระยะการตรวจจับ 1-3 เมตร และแบ่งคลาสทั้งหมด 11 คลาส ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ (1) ทางต่างระดับ (2) สิ่งกีดขวาง โดยแบ่งกลุ่มมีรายละเอียดดังตารางที่ 4

## ตารางที่ 4 รายละเอียดของข้อมูลภาพถ่าย

ลำดับที่	ชื่อคลาส	กลุ่ม
1	C1	ทางต่างระดับ
2	C2	ทางต่างระดับ
3	C3	ทางต่างระดับ
4	C4	สิ่งกีดขวาง
5	C5	สิ่งกีดขวาง
6	C6	สิ่งกีดขวาง
7	C7	สิ่งกีดขวาง
8	C8	สิ่งกีดขวาง
9	C9	สิ่งกีดขวาง
10	CA	สิ่งกีดขวาง
11	CB	สิ่งกีดขวาง

ระบบไม้เท้าอัจฉริยะนี้ถูกออกแบบมาให้สามารถตรวจจับและจำแนกทางต่างระดับในเส้นทางของผู้ใช้งาน โดยการทำงานเริ่มต้นจาก ESP32-CAM ซึ่งติดตั้งอยู่บนไม้เท้าสำหรับผู้พิการทางสายตา ทำหน้าที่จับภาพบริเวณด้านหน้าแบบเรียลไทม์ ภาพที่ได้จะถูกส่งไปยังโมเดล AI ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยใช้ Teachable Machine เพื่อทำการจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง โมเดลถูกออกแบบให้สามารถแยกกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่ ทางต่างระดับ และ สิ่งกีดขวาง หากระบบพิจารณาแล้วว่าภาพดังกล่าวเป็นทางต่างระดับ ESP32-CAM จะส่งสัญญาณไปยังมอเตอร์สั่นที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้ามจับไม้เท้าเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานทันที ระบบทั้งหมดได้รับการออกแบบให้ทำงานแบบเรียลไทม์และมีความแม่นยำสูงเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุขณะเดินทาง การใช้มอเตอร์สั่นเป็นตัวแจ้งเตือนช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถรับรู้ถึงทางต่างระดับได้โดยไม่ต้องใช้การมองเห็น ซึ่งเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานในสถานการณ์จริงที่ต้องการการตอบสนองรวดเร็ว ขั้นตอนการทำงานแสดงได้ดังแผนผังงานในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังการทำงานของระบบ

แผนผังการทำงานของระบบไม้เท้าอัจฉริยะนี้แสดงให้เห็นกระบวนการตรวจจับทางต่างระดับและการแจ้งเตือนผ่านมอเตอร์สั่น ระบบเริ่มต้นด้วยการเปิดใช้งาน (Start) และให้ ESP32-CAM ทำการจับภาพของสภาพแวดล้อมแบบเรียลไทม์ เมื่อได้ภาพแล้ว ข้อมูลจะถูกส่งไปยัง โมเดล AI ซึ่งได้รับการฝึกฝนให้สามารถจำแนกประเภทของพื้นผิวและสิ่งกีดขวางได้อย่างแม่นยำ หลังจากการประมวลผล โมเดลจะทำการจำแนกภาพและ

วิเคราะห์ว่าภาพดังกล่าวเป็นทางต่างระดับหรือไม่ หากโมเดลระบุว่าภาพที่ได้รับเป็น "ทางต่างระดับ" (Grade Separation) ระบบจะสั่งให้ มอเตอร์สั่น (Vibration Motor) ทำงานเพื่อแจ้งเตือนผู้ใช้งานให้ทราบถึงอุปสรรคที่อยู่เบื้องหน้า อย่างไรก็ตาม หากผลลัพธ์ของการจำแนกพบว่าไม่มีทางต่างระดับ ระบบจะไม่ดำเนินการใด ๆ และรอรับภาพใหม่จาก ESP32-CAM เพื่อดำเนินการตรวจสอบต่อไป กระบวนการนี้ดำเนินไปแบบ วนซ้ำ (Looping Process) เพื่อให้มั่นใจว่าผู้ใช้งานจะได้รับการแจ้งเตือนอย่างทันท่วงทีเมื่อมีสิ่งกีดขวางหรือทางต่างระดับที่ต้องระวัง

#### 4. ผลการวิจัย

หลังจากการพัฒนาไม้เท้าอัจฉริยะ ได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของระบบในสภาพแวดล้อมจริง ทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร โดยเน้นการทดสอบความสามารถในการจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง 2 กลุ่มหลัก คือ ทางต่างระดับ และ สิ่งกีดขวาง ผู้ทดสอบประกอบด้วยอาสาสมัครจำนวน 10 คน โดยในการทดสอบนี้ไม่ได้ใช้ผู้พิการทางสายตาดำเนินการ เนื่องจากข้อจำกัดด้านความปลอดภัยและจริยธรรม ซึ่งอาจเกิดอันตรายจากการที่ผู้พิการทางสายตาไม่สามารถมองเห็นสิ่งกีดขวางได้อย่างชัดเจน แม้ว่าจะมีไม้เท้าอัจฉริยะช่วยแจ้งเตือน แต่ในสภาพแวดล้อมจริง อาจมีปัจจัยอื่นๆ เช่น พื้นผิวที่ไม่เรียบ เสียงรบกวน หรือสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนไหว ซึ่งอาจทำให้เกิดอุบัติเหตุได้ ดังนั้น เพื่อความปลอดภัยของผู้ทดสอบ จึงเลือกใช้อาสาสมัครทั่วไปที่มีสุขภาพแข็งแรง และสามารถปฏิบัติตามคำแนะนำในการทดสอบได้อย่างถูกต้อง การทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทดสอบไม้เท้าอัจฉริยะด้วยอาสาสมัคร

การทดสอบดำเนินการโดยให้ผู้ทดสอบถือไม้เท้าอัจฉริยะเดินในเส้นทางที่กำหนดไว้ ซึ่งมีทั้งทางต่างระดับและมีการจัดวางสิ่งกีดขวางประเภทต่างๆ เช่น บันได ทางลาด พุตบาท เฟอร์นิเจอร์ รถยนต์ หรือคน โดยมีระยะการตรวจจับตั้งแต่ 1 ถึง 3 เมตร ผลการทดสอบในตารางที่ 5 และสามารถคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของระบบเพิ่มเติมได้ดังตารางที่ 6

**ตารางที่ 5 ผลการทดสอบไม้เท้าอัจฉริยะ**

สิ่งกีดขวาง	ทางต่างระดับ	สิ่งกีดขวาง
ทางต่างระดับ	48	2
สิ่งกีดขวาง	1	49

**ตารางที่ 6 ค่าประสิทธิภาพของระบบ**

การจำแนก	Accuracy (%)	Precision (%)	Recall (%)	F1-Score (%)
ทางต่างระดับ	97.00	97.96	96.00	96.97
สิ่งกีดขวาง	97.00	96.08	98.00	97.03

จากผลการทดสอบ พบว่าระบบไม้เท้าอัจฉริยะมีความแม่นยำในการจำแนก ทางต่างระดับ และ สิ่งกีดขวาง ในระดับที่น่าพอใจ โดยมีค่า Accuracy เท่ากันที่ 97.00% ระบบมีความสามารถในการจำแนก ทางต่างระดับ ได้แม่นยำกว่า (Precision 97.96%) ซึ่งเป็นผลมาจากการที่โมเดล AI ได้รับการฝึกฝนด้วยข้อมูลภาพถ่ายสิ่งกีดขวาง ประเภท ทางต่างระดับ ที่มีความหลากหลายมากกว่า นอกจากนี้ยังพบว่า ระบบยังมีข้อผิดพลาดในการจำแนกทางต่างระดับ อยู่บ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สิ่งกีดขวางที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับทางต่างระดับ เช่น ทางลาดสำหรับวีลแชร์ ซึ่งอาจทำให้ระบบจำแนกเป็น ถนน ได้

**5. อภิปรายผลและสรุปผล**

จากการพัฒนาไม้เท้าอัจฉริยะสำหรับผู้พิการทางสายตา พบว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง (IoT) และปัญญาประดิษฐ์ (AI) ในการตรวจจับและแจ้งเตือนทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง ระบบใช้ ESP32-CAM สำหรับบันทึกภาพและส่งข้อมูลไปประมวลผลด้วยโมเดลปัญญาประดิษฐ์ที่ได้รับการฝึกฝนให้สามารถจำแนกประเภทของสิ่งกีดขวางได้ 11 ประเภท ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่า โมเดลปัญญาประดิษฐ์มีความแม่นยำในการจำแนกทางต่างระดับอยู่ที่ 97.96% และสามารถจำแนกสิ่งกีดขวางได้อย่างถูกต้องถึง 96.08% ซึ่งสะท้อนถึงความแม่นยำของระบบ นอกจากนี้ ระบบแจ้งเตือนผ่านมอเตอร์สั่นที่ติดตั้งบนด้ามจับสามารถแจ้งเตือนผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อตรวจพบทางต่างระดับหรือสิ่งกีดขวาง การทดสอบและประเมินผลยืนยันว่าไม้เท้าอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานจริงได้ ช่วยให้ผู้ใช้พิการทางสายตามีความปลอดภัยมากขึ้นในการเดินทาง และสามารถใช้ชีวิตประจำวันได้อย่างสะดวกสบายยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเพื่อช่วยเหลือคนพิการทางสายตาซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lei (2022) ที่ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี AI ร่วมกับ IoT และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Kumar & Jain (2022) ที่ใช้ไม้เท้าอัจฉริยะด้วย YOLOv5 มีความแม่นยำ 89.24% แต่งานวิจัยนี้โมเดลมีความแม่นยำในการจำแนกประเภททางต่างระดับและสิ่งกีดขวางอยู่ที่ 97.96% และ 96.08% ตามลำดับ

ไม้เท้าอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นนี้มีศักยภาพสูงในการช่วยเหลือผู้พิการทางสายตาให้สามารถเดินทางได้อย่างปลอดภัยและสะดวกยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ยังมีแนวทางเพิ่มเติมในการพัฒนาต่อยอด โดยเฉพาะการเพิ่มระบบแจ้งเตือนด้วยเสียง การพัฒนาโมเดล AI ให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น การใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และการออกแบบให้ไม้เท้ามีความทนทานและใช้งานได้ง่ายยิ่งขึ้น การทำงานร่วมกับผู้เชี่ยวชาญด้านผู้พิการและการทดสอบในสถานการณ์จริงจะเป็นปัจจัยสำคัญในการยกระดับเทคโนโลยีนี้ให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างแพร่หลายมากขึ้นในอนาคต

## เอกสารอ้างอิง

- Bhosle, P., Pal, P., Khobragade, V., Singh, S. K., & Kenekar, P. (2022). Smart Navigation System Assistance for Visually Impaired People. *2022 International Conference on Futuristic Technologies (INCOFT)*, 1-5.
- Chaple, S., Raut, V., & Patni, J. C., et al. (2024). Artificial intelligence on visually impaired people: A comprehensive review. *Proceedings of the 2024 5th International Conference on Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks (ICICV)*, 304–308. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICICV62344.2024.00052>
- Kumar, N., & Jain, A. (2022). A deep learning-based model to assist blind people in their navigation. *Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice*, 21, 95-114.
- Lei, Y., Phung, S. L., & Bouzerdoum, A., et al. (2022). Pedestrian lane detection for assistive navigation of vision-impaired people: Survey and experimental evaluation. *IEEE Access*, 10, 101071–101089. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3208128>
- Lin, Y., Wang, K., & Yi, W., et al. (2019). Deep learning-based wearable assistive system for visually impaired people. *Proceedings of the 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshop (ICCVW)*, 2549–2557. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCVW.2019.00312>
- Nataraj, B., Prabha, K. R., Abinaya, R., Rani, R. D., & Christina, V. S. (2024). Smart Cane with Object Recognition System. *2024 5th International Conference on Smart Electronics and Communication (ICOSEC)*, 1438-1443.
- Tripathi, S., Singh, S., & Tanya, T., et al. (2023). Analysis of obstruction avoidance assistants to enhance the mobility of visually impaired person: A systematic review. *Proceedings of the 2023 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Communication (AISC)*, 134–142. IEEE. <https://doi.org/10.1109/AISC56616.2023.10085416>
- Tyagi, N., Sharma, D., & Singh, J., et al. (2021). Assistive navigation system for visually impaired and blind people: A review. *Proceedings of the 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Machine Vision (AIMV)*, 1–5. IEEE. <https://doi.org/10.1109/AIMV53313.2021.9670951>
- Zafar, S., Asif, M., & Ahmad, M. B., et al. (2022). Assistive devices analysis for visually impaired persons: A review on taxonomy. *IEEE Access*, 10, 13354–13366. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3146728>

## คุณค่าทางวิชาการ

งานวิจัยนี้เป็นตัวอย่างของการผสมผสานเทคโนโลยี อินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง (IoT) และปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ากับอุปกรณ์ช่วยเหลือทางการแพทย์ โดยนำเสนอแนวทางใหม่ในการใช้ ESP32-CAM และโมเดล AI เพื่อจำแนกทางต่างระดับและสิ่งกีดขวาง ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ช่วยเหลือผู้พิการทางสายตา และยังแสดงให้เห็นถึงแนวทางการพัฒนาอุปกรณ์ช่วยเหลือทางการแพทย์ที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ และอินเทอร์เน็ตสรรพสิ่ง ซึ่งเป็นองค์ความรู้ที่สามารถนำไปต่อยอดในงานวิจัยด้านเทคโนโลยีเพื่อสุขภาพและการช่วยเหลือผู้พิการในอนาคต