

BraillePlay: ระบบช่วยเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกม สำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา

รวี อุตมธนินทร์¹, กิตติ ชัยตา²

^{1,2}สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

Email: ravi.ut@ssru.ac.th¹, s66122519032@ssru.ac.th²

Received: Aug 06, 2025

Revised: May 09, 2026

Accepted: May 26, 2026

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอ BraillePlay ระบบเรียนรู้อักษรเบรลล์ผ่านการสัมผัสที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับเด็กอายุ 6–12 ปี โดยพัฒนามาจากต้นแบบปี 2024 [6] แต่เปลี่ยนมุมมองจาก “การพัฒนาฮาร์ดแวร์” เป็น “การประเมินการมีส่วนร่วมและประสบการณ์การเรียนรู้ของเด็ก” ระบบใช้จอแสดงผลเบรลล์ 12 พิน มอดูล ESP32-CAM สำหรับอ่าน QR Code และเสียงนำทาง เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่โต้ตอบได้ โดยเพิ่มมอดูลการเรียนรู้ผ่านเกมที่มีการทายตัวอักษร เกมเสียง และระบบให้รางวัลผ่านไฟ LED ประเมินประสิทธิภาพด้วยแบบสอบถามความพึงพอใจ 5 ระดับ และการสังเกตพฤติกรรมความสนใจโดยครู ทดสอบกับผู้เข้าร่วม 15 คน (เด็ก 10 คน, ครู 5 คน) เป็นเวลา 2 สัปดาห์ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถแสดงผลเบรลล์และอ่าน QR Code ได้แม่นยำ 100% และเล่นเสียงได้สำเร็จ 97.5% ที่สำคัญ คะแนนความพึงพอใจจากแบบสอบถาม 5 ระดับ ของเด็กอยู่ที่ 4.7/5 และของครูที่ 4.5/5 ระดับความสนใจเฉลี่ยจากการสังเกตโดยครูอยู่ที่ 4.4/5 ข้อจำกัดที่พบคือมอเตอร์บางตัวสั่น และเสียงเล่นซ้ำ แนวทางการพัฒนาต่อ ได้แก่ การใช้ 3D Printing สำหรับที่ยึดมอเตอร์ การรวมการ์ด S.D. สำหรับจัดเก็บไฟล์เสียง และแอปพลิเคชันเสริมสำหรับติดตามความก้าวหน้า งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การเรียนรู้ผ่านการเล่นสามารถช่วยเพิ่มทักษะการอ่านอักษรเบรลล์ของเด็กได้อย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: การเรียนรู้อักษรเบรลล์, เด็กบกพร่องทางสายตา, การเรียนรู้ผ่านเกม, การศึกษาแบบรวม, อินเทอร์เน็ตสัมผัส

BraillePlay: A Gamified Assistive System for Enhancing Braille Literacy in Visually Impaired Children.

Ravi Uttamatanin¹, Kitti Chaita²

^{1, 2} Computer Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology,

Suansunandha Rajabhat University

Email: ravi.ut@ssru.ac.th¹, s66122519032@ssru.ac.th²

Received: Aug 06, 2025

Revised: May 09, 2026

Accepted: May 26, 2026

Abstract

This study presents BraillePlay, a gamified tactile learning system designed specifically for visually impaired children aged 6–12. Building upon a 2024 braille prototype [6], this work shifts focus from functional demonstration to evaluation of learner engagement and learning experience. The system integrates a 12-pin braille display, QR code recognition via ESP32-CAM, and audio feedback to create an interactive learning environment. To enhance engagement, a game-based learning module was developed, featuring character identification challenges, sound-based quizzes, and a reward system with LED feedback. System effectiveness was evaluated using a 5-point Likert scale satisfaction questionnaire and teacher observation of learner engagement. The device was tested with 15 participants (10 children, 5 teachers) over two weeks. Results showed 100% accuracy in braille actuation and QR reading, with 97.5% audio reliability. More importantly, the average satisfaction score from the 5-point Likert scale questionnaire was 4.7/5 from children and 4.5/5 from teachers, with an average engagement level of 4.4/5 based on teacher observation. Key challenges included occasional servo jitter and delayed audio response. Proposed enhancements include 3D-printed motor housings, S.D. card integration for scalable audio, and a companion app for progress tracking. This work demonstrates that play-based interaction significantly improves braille literacy acquisition among children, paving the way for future assistive technologies that prioritize engagement and accessibility.

Keywords: Braille literacy, visually impaired children, gamified learning, inclusive education, tactile interface

บทนำ

การรู้หนังสือเป็นทักษะพื้นฐานที่สำคัญสำหรับผู้พิการทางสายตาทั่วโลกมีเด็กบกพร่องทางสายตาประมาณ 19 ล้านคน [2] และในประเทศไทยมีผู้พิการทางสายตาระดับรุนแรงกว่า 200,000 คน [2] ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเด็กในวัยเรียนที่ยังไม่ได้รับโอกาสเรียนรู้อักษรเบรลล์อย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตาม การสอนอักษรเบรลล์แบบดั้งเดิมมักต้องพึ่งพาครูผู้สอนอย่างมาก ซึ่งอาจไม่เหมาะสมกับเด็กทุกคน โดยเฉพาะในช่วงวัยเริ่มต้น [1] การเรียนรู้อักษรเบรลล์ไม่ใช่แค่การจำรูปแบบของจุดนูน แต่เป็นการฝึกทักษะการสัมผัส การจำ และการเชื่อมโยงความหมาย ซึ่งต้องใช้เวลาและประสบการณ์ ตามทฤษฎีพัฒนาการของเพียเจต์ [3] เด็กวัย 6–12 ปีเรียนรู้ได้ดีผ่านการลงมือทำและประสบการณ์ตรง แต่เด็กจำนวนมากยังไม่มีโอกาสได้เรียนรู้อย่างต่อเนื่อง เพราะต้องพึ่งพาครูหรือผู้ดูแลตลอดเวลา

แม้ว่าปัจจุบันจะมีนวัตกรรมเทคโนโลยีช่วยเหลือปรากฏออกมาอย่างต่อเนื่องในช่วงปี 2022–2024 เช่น ชุดตัวต่อ LEGO Braille Bricks [12] ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านการเล่นที่บ้าน หรืออุปกรณ์สวมใส่ I-Touch [11] และระบบ IoT-based AI [13] ที่นำเสนอเทคโนโลยีขั้นสูง แต่ระบบเหล่านี้ยังคงพบข้อจำกัดในด้านต้นทุนการผลิตที่สูง ความซับซ้อนในการใช้งาน หรือขาดแคลนระบบประเมินผลที่มีส่วนร่วมของผู้เรียนอย่างเป็นรูปธรรม เช่นเดียวกับต้นแบบปี 2024 [6] ของผู้วิจัยเอง ที่มุ่งเน้นเพียงความเป็นไปได้ทางเทคนิคของการแสดงผลเบรลล์ แต่ยังขาดการออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง จากบริบท

ดังกล่าว ทำให้พบช่องว่างการวิจัย (Research Gap) ที่สำคัญ ดังนี้

1) ขาดการประเมินประสบการณ์การเรียนรู้: งานวิจัยส่วนใหญ่เน้นการพัฒนาฟังก์ชันการทำงาน แต่ขาดเครื่องมือวัดความพึงพอใจและ engagement ของเด็ก

2) ขาดองค์ประกอบเกมมิฟิเคชัน: ระบบที่มีอยู่มักขาดกลไกการให้รางวัลหรือความท้าทายที่เหมาะสมกับวัย 6–12 ปี

3) ข้อจำกัดด้านการเข้าถึง: เทคโนโลยีขั้นสูงมักมีราคาแพง ในขณะที่ฮาร์ดแวร์เรียบง่ายยังไม่ได้ถูกพัฒนาซอฟต์แวร์ให้ดึงดูดใจเพียงพอ

เพื่อแก้ไขช่องว่างดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงพัฒนา BraillePlay ขึ้นมาเป็นระบบเรียนรู้ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านการเล่น ซึ่งเหมาะกับวัยเด็ก และช่วยให้เกิดแรงจูงใจในการเรียนรู้ งานวิจัยนี้เสนอ BraillePlay ระบบเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกมที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับเด็กอายุ 6–12 ปี คำถามวิจัยหลักคือ อุปกรณ์การเรียนรู้อักษรเบรลล์จะได้รับการออกแบบใหม่อย่างไร เพื่อเพิ่มสูงสุดด้านความน่าสนใจ การเข้าถึง และผลลัพธ์การเรียนรู้สำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา

คุณูปการของงานวิจัย (Research Contributions) มี 3 ประการที่ชัดเจน ได้แก่

1) การเปลี่ยนมุมมองการประเมิน: ปรับเปลี่ยนจาก “การพัฒนาฮาร์ดแวร์” สู่ “การประเมินการมีส่วนร่วมและประสบการณ์การเรียนรู้” ผ่านเครื่องมือวัดที่ชัดเจน (แบบสอบถาม 5 ระดับ และการสังเกตพฤติกรรมโดยครู)

2) การบูรณาการเกมกับการสัมผัส: ผสานองค์ประกอบเกม (ทายตัวอักษร เกมเสียง ระบบ

ให้รางวัล) เข้ากับอินเทอร์เฟซสัมผัสเพื่อเพิ่มแรงจูงใจ

3) การยืนยันประสิทธิภาพของฮาร์ดแวร์
เรียบง่าย: ยืนยันว่าฮาร์ดแวร์ต้นทุนต่ำสามารถเปลี่ยนเป็นเครื่องมือการเรียนรู้ที่น่าสนใจได้ผ่านการออกแบบซอฟต์แวร์ที่เน้นผู้ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของเทคโนโลยีการศึกษาแบบรวมทุกคน (Inclusive Education Technology)

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีพัฒนาการทางปัญญาของเพียเจต์กับการเรียนรู้ผ่านการเล่นและเทคโนโลยี

ตามทฤษฎีพัฒนาการทางปัญญาของเพียเจต์ [3] เด็กในช่วงวัยปฏิบัติการรูปธรรม (Concrete Operational Stage; 7–11 ปี) เรียนรู้ได้ดีที่สุดผ่านการลงมือทำ และการมีปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อมโดยตรง ทฤษฎีนี้ชี้ว่าการเรียนรู้ผ่านการเล่น ไม่ใช่เพียงความบันเทิง แต่เป็นกลไกสำคัญที่ช่วยให้เด็กสร้างความเข้าใจเชิงนามธรรมจากประสบการณ์รูปธรรม งานวิจัยล่าสุดสนับสนุนว่า การผสมผสานเทคโนโลยีหลายรูปแบบ (Multimodal Feedback) เช่น เสียง และการสัมผัส เข้ากับกิจกรรมการเล่น จะช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพการเรียนรู้ได้ดียิ่งขึ้น [8] โดยเฉพาะสำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา การเรียนรู้อักษรเบรลล์ซึ่งต้องอาศัยการสัมผัส การจำ และการเชื่อมโยงความหมาย จึงสอดคล้องกับหลักการของเพียเจต์ที่เน้นการเรียนรู้ผ่านประสบการณ์ตรงและกิจกรรมที่กระตุ้นความสนใจ รวมถึงแนวคิดการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Self-

education) ที่เทคโนโลยีสามารถอำนวยความสะดวกได้ [4]

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านเทคโนโลยีช่วยเรียนรู้อักษรเบรลล์

งานวิจัยด้านการเรียนรู้อักษรเบรลล์ผ่านเทคโนโลยีสามารถแบ่งได้เป็น 4 แนวทางหลัก และมีการศึกษาเพิ่มเติมในบริบทท้องถิ่นดังนี้:

2.1 แนวทางของเล่นสัมผัสเพื่อการเรียนรู้แบบร่วมมือ: BrailleBlocks [10] และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [5] เป็นระบบบล็อกไม้ที่ผสมอักษรเบรลล์กับเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้ร่วมกันระหว่างเด็กพิการทางสายตากับผู้มีสายตาปกติ อย่างไรก็ตาม ระบบดังกล่าวเน้นปฏิสัมพันธ์ระหว่างบุคคลมากกว่าการเรียนรู้แบบอิสระ และไม่มีระบบให้ข้อมูลย้อนกลับแบบทันที (real-time feedback)

2.2 แนวทางอุปกรณ์สวมใส่และการเรียนรู้เบื้องต้น: I-Touch [11] เป็นอุปกรณ์สวมใส่ที่ใช้เซ็นเซอร์สแกนวัตถุและแสดงผลอักษรเบรลล์บนจอสัมผัส ขณะที่งานวิจัยในประเทศอย่างอุปกรณ์เรียนรู้สัมผัสและเสียง [7] ก็พยายามแก้ไขปัญหาด้านต้นทุน แต่ยังพบข้อจำกัดด้านความทนทาน แม้จะช่วยให้เด็กเรียนรู้ในชีวิตจริงได้ แต่ยังอยู่ในขั้นทดลอง มีต้นทุนสูง และขาดองค์ประกอบเกมเพื่อเพิ่มแรงจูงใจในระยะยาว

2.3 แนวทางของเล่นเชิงพาณิชย์และการเรียนรู้พื้นฐาน: LEGO Braille Bricks [12] เป็นชุดของเล่นที่แปลงบล็อกตัวต่อเลโก้ให้มีจุดนูนตามรูปแบบเบรลล์ ช่วยให้เด็กเรียนรู้ผ่านการเล่นที่บ้านได้ อย่างไรก็ตาม ระบบขาดการ

ประเมินผลอัตโนมัติและไม่สามารถปรับเนื้อหาตามระดับความสามารถของผู้เรียนได้ เช่นเดียวกับหน่วยแสดงผลเบรลล์ทั่วไป [9] ที่มักเน้นการใช้งานอ่านข้อความมากกว่าการฝึกเรียนรู้แบบโต้ตอบ

2.4 แนวทางระบบอัจฉริยะขั้นสูง: ระบบ IoT-Based AI-Powered Braille Learning [13] ใช้ปัญญาประดิษฐ์และอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งเพื่อสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่สมจริง แต่มีความซับซ้อนสูง ต้นทุนการผลิตสูงและไม่เหมาะกับการนำไปใช้ในบริบทการศึกษาขั้นพื้นฐานของไทย

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนา *BraillePlay* อุปกรณ์ช่วยเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกม สำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา อายุ 6–12 ปี ให้ได้ต้นแบบที่ใช้งานได้จริง พร้อมมอดูลเกม 3 รูปแบบ (ทายตัวอักษร เกมเสียง ระบบให้รางวัล)

2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบในด้านความแม่นยำ การตอบสนอง และความพึงพอใจของผู้ใช้

3. เพื่อศึกษาความสนใจและแรงจูงใจในการเรียนรู้ของเด็กเมื่อใช้ระบบ *BraillePlay* โดยวัดจากคะแนนความสนใจเฉลี่ยจากการสังเกตพฤติกรรมโดยครู (แบบประเมิน 5 ระดับ) และความถี่ในการขอเล่นเพิ่ม (จำนวนครั้ง/สัปดาห์)

4. เพื่อเสนอแนวทางการพัฒนาระบบเรียนรู้อักษรเบรลล์ให้เหมาะสมกับบริบทของการศึกษาแบบรวมทุกคน (Inclusive Education)

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนา *BraillePlay* ระบบช่วยเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกมสำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา โดยใช้ระเบียบวิธีวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Methods) ระหว่างเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ดังนี้

1. การออกแบบตัวเครื่องและกระบวนการดำเนินงาน

ก. สถาปัตยกรรมฮาร์ดแวร์ต้นแบบ *BraillePlay* ยังคงใช้ส่วนประกอบหลักจากปี 2024 [6] แต่ปรับให้เหมาะกับเด็ก

1.1 มอดูลแสดงผลแบบสัมผัส: เซลล์เบรลล์ 2 เซลล์ (12 พิน) ควบคุมด้วยมอเตอร์เซอร์โว (TowerPro SG90)

1.2 หน่วยควบคุม: ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560

1.3 ระบบป้อนข้อมูลและให้ข้อมูลย้อนกลับ

1) ESP32-CAM สำหรับอ่าน QR Code

2) DFPlayer Mini สำหรับเล่นเสียง

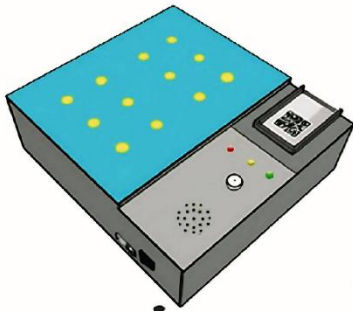
3) แหล่งจ่ายไฟ 5V/3A

1.4 การปรับปรุงหลัก

1) ตัวเรือน: ทำจาก ABS พิมพ์ 3 มิติ ขอบมน สีสันทสไธ และมีป้ายสัมผัส

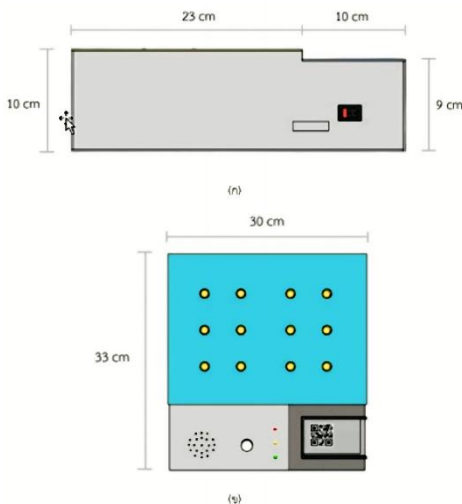
2) ปุ่มกด: ขนาดใหญ่ ติดป้ายด้วยอักษรเบรลล์และสัญลักษณ์ เช่น “เล่น”, “ช่วยเหลือ”, “ทำใหม่”

3) ไฟแสดงสถานะ: เขียว (ถูกต้อง), แดง (ผิด), น้ำเงิน (กำลังประมวลผล)



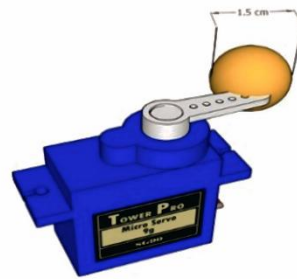
รูปที่ 1 ต้นแบบเครื่องช่วยเรียนรู้อักขรเบรลล์
สำหรับเด็ก แสดงปุ่มใหญ่ ดีไซน์สีสันสดใส และ
ป้ายสัมผัส

โครงสร้างภายใน (รูปที่ 1) แสดงการจัดเรียง
ที่แม่นยำระหว่างมอเตอร์เซอร์โวและตำแหน่งพิน
ซึ่งเป็นการออกแบบเชิงกลที่เหมาะสมกับความ
ทนทานและการให้สัมผัสที่สม่ำเสมอ



รูปที่ 2 ส่วนประกอบด้านข้างและฐานของ
ตัวเครื่อง: (ก) ด้านข้างแสดงสวิตช์เปิด-ปิดและ
พอร์ตชาร์จ; (ข) ฐานมีพื้นที่วางการ์ด (9×6 ซม.)
และช่องลำโพง (Ø0.3 ซม.)

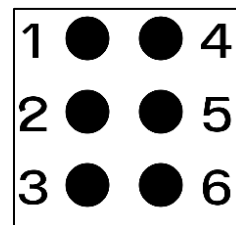
ขนาดโดยรวมได้รับการปรับให้เหมาะสม
สำหรับการใช้งานบนโต๊ะ โดยมีความสูง 33 ซม.
(รูปที่ 2ก.) โดยส่วนแสดงผลเบรลล์อยู่ที่ระดับ
ความสูง 10 ซม. และช่องวางการ์ดอยู่ที่ระดับ 9
ซม.



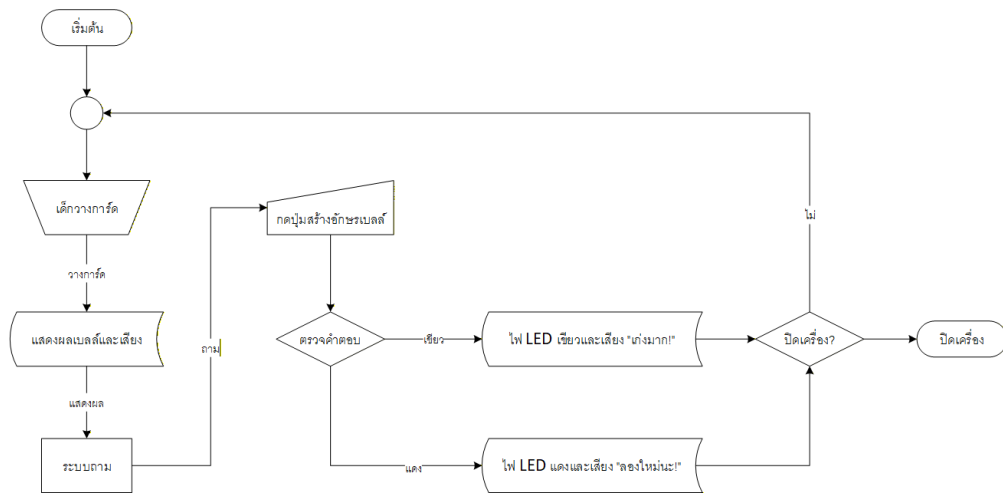
รูปที่ 3 การติดตั้งส่วนนูนทรงกลม (Ø1.5 ซม.)
กับ servo horn โดยใช้กาว เพื่อให้สามารถสร้าง
พินนูนสำหรับการสัมผัสได้อย่างน่าเชื่อถือ

แต่ละส่วนนูนทรงกลมถูกยึดติดกับ servo
horn อย่างมั่นคงผ่านการออกแบบแบบ groove-
fit เพื่อให้มั่นใจว่าการเคลื่อนไหวมีเสถียรภาพโดย
ไม่เลื่อนไถลระหว่างการใช้งานซ้ำ (รูปที่ 3)

ข. กระบวนการทำงานของซอฟต์แวร์และ
การเล่นเกม



รูปที่ 4 แผนผังตำแหน่งพินอักขรเบรลล์ 2 เซลล์
(ตำแหน่ง 1–12) แสดงรูปแบบมาตรฐานของ
อักษรไทยและอังกฤษ
(เช่น 1245 สำหรับ “ก ไก่”)



รูปที่ 5 แผนผังกระบวนการเรียนรู้แบบเกม:

จากการวางการ์ด → แสดงผลเบรลล์ → ถามคำถามด้วยเสียง → เด็กตอบ → ให้ข้อมูลย้อนกลับ

การจัดเรียงตำแหน่งพินตามมาตรฐานอักษรเบรลล์ (รูปที่ 4) สร้างพื้นฐานทั้งสำหรับตรรกะการควบคุมปัจจุบันและอนาคตสำหรับการสร้างรูปแบบผ่านโมเดล AI

กระบวนการทำงานของซอฟต์แวร์ได้รับการออกแบบใหม่เพื่อรองรับ การเรียนรู้แบบโต้ตอบ:

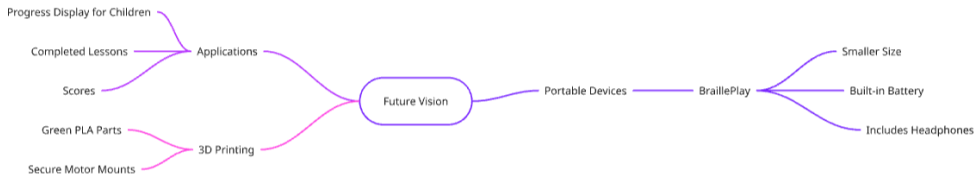
1. เด็กวางการ์ดที่มี QR Code
2. ESP32-CAM จับภาพและถอดรหัส
3. Arduino กระตุ้นพินเบรลล์และเล่นเสียง: “มาเรียนรู้กัน! ตัวนี้คือ ก ไก่”
4. ระบบถาม: “ตัวนี้คืออะไร?” และเล่นเสียงนำทาง
5. เด็กกดปุ่ม “ใช่” หรือ “ไม่ใช่”

6. ข้อมูลย้อนกลับทันที: “เก่งมาก!” (ไฟเขียว) หรือ “ลองใหม่นะ!” (ไฟแดง)

ค. การ์ดการเรียนรู้และเนื้อหา

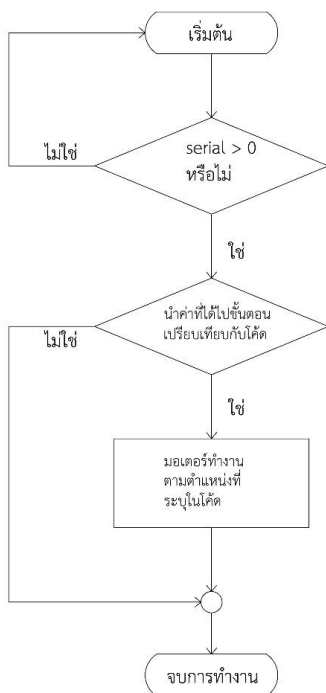
การ์ดทำจากพลาสติกแข็ง (8×6 ซม.)

1. ด้านหน้า: ภาพประกอบสีสดใส (เช่น ไก่ สำหรับ “ก ไก่”) และ QR Code
2. ด้านหลัง: อักษรเบรลล์ฐาน
3. หมายเหตุ: พยัญชนะไทย สระ ตัวเลข คำนายการ์ดแต่ละใบกระตุ้นเกมที่ไม่ซ้ำกัน เช่น:
 - 1) จับคู่เสียง
 - 2) ทายตัวอักษร
 - 3) สะกดคำ



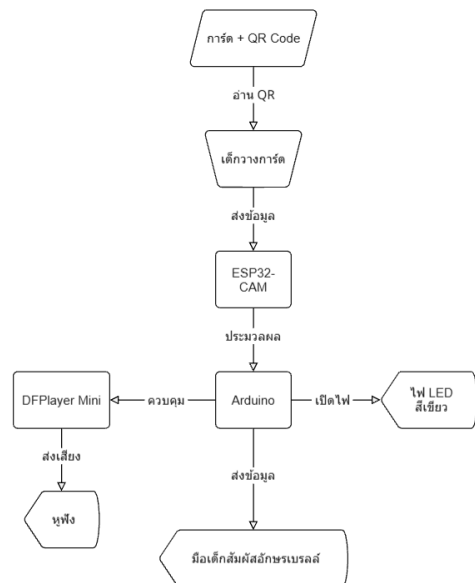
รูปที่ 6 แนวทางการพัฒนา: รุ่นพกพา, แอปติดตามความก้าวหน้า, 3D Printing ที่ยึดมอเตอร์

กระบวนการอ่าน QR Code เริ่มต้นเมื่อผู้ใช้งานการตกลงบนพื้นที่กำหนด มอดูล ESP32-CAM จะจับภาพและถอดรหัส QR Code แล้วส่งข้อมูลผ่านพอร์ต UART ไปยัง Arduino Mega เพื่อประมวลผลต่อไป (ดูรูปที่ 6)



รูปที่ 7 ลำดับตรรกะการควบคุมของ Arduino: หลังจากรับข้อมูลจาก ESP32-CAM แล้ว ระบบจะประมวลผลและสั่งการให้แสดงผลอักษรเบรลล์และเล่นเสียง

เมื่อ Arduino ได้รับข้อมูลที่ถอดรหัสแล้ว จะตรวจสอบกับเงื่อนไขในโปรแกรมเพื่อสั่งให้มอเตอร์ทำงานในตำแหน่งที่ถูกต้อง และเรียกไฟล์เสียงจาก DFPlayer Mini (รูปที่ 7)



รูปที่ 8 แผนผังกระบวนการทั้งระบบ: จากการป้อนข้อมูล (อ่าน QR) → ประมวลผล (ควบคุม Arduino) → ผลลัพธ์ (แสดงผลอักษรเบรลล์ + เสียงตอบกลับ)

สรุปกระบวนการทั้งระบบของ BraillePlay ตั้งแต่การป้อนข้อมูล (อ่าน QR) → ประมวลผล (ควบคุม Arduino) → ผลลัพธ์ (แสดงผลอักษรเบรลล์ + เสียงตอบกลับ)

2. ผู้เข้าร่วมการวิจัยและจริยธรรมการวิจัย

ก. กลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยนี้ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง (Purposive Sampling) คัดเลือกผู้เข้าร่วมจำนวน 15 คน แบ่งเป็น:

- 1) เด็กบกพร่องทางสายตา: 10 คน (อายุ 6–12 ปี) จากโรงเรียนสอนคนตาบอดกรุงเทพ
- 2) ครูการศึกษาพิเศษ: 5 คน (มีประสบการณ์สอนอักษรเบรลล์มากกว่า 3 ปี)

ทั้งนี้ ขนาดกลุ่มตัวอย่างถือเป็นข้อจำกัดของการศึกษาเบื้องต้น (Pilot Study) ซึ่งเหมาะสมสำหรับการประเมินความเป็นไปได้และปรับปรุงต้นแบบก่อนขยายผลในกลุ่มใหญ่ต่อไป [14]

ข. จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยนี้ดำเนินการโดยยึดมั่นในหลักจริยธรรมการวิจัย โดยเน้นกระบวนการขอความยินยอมจากผู้เข้าร่วมวิจัยและได้รับความร่วมมือก่อนเริ่มดำเนินการเก็บข้อมูล ดังนี้:

1) ความยินยอมโดยได้รับการบอกเล่า (Informed Consent): ผู้ปกครองและครูยินยอมเข้าร่วมวิจัยหลังจากได้รับข้อมูลวัตถุประสงค์และขั้นตอนอย่างชัดเจน

2) การปกป้องสิทธิส่วนบุคคล: ข้อมูลทั้งหมดถูกเก็บเป็นความลับ ใช้รหัสแทนชื่อจริง (เช่น D01, D02)

3) ความปลอดภัย: อุปกรณ์ผ่านการตรวจสอบความปลอดภัยทางไฟฟ้าและทางกลก่อนใช้งาน

4) สิทธิในการถอนตัว: ผู้เข้าร่วมสามารถถอนตัวจากการวิจัยได้ตลอดเวลาโดยไม่กระทบสิทธิใด ๆ

3. เครื่องมือและการเก็บรวบรวมข้อมูล

ก. เครื่องมือวิจัย

1) ต้นแบบ BraillePlay: ระบบช่วยเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกม

2) แบบสอบถามความพึงพอใจ: มาตรฐานส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Likert Scale) วัดด้านการใช้งาน ความสนุก และความพึงพอใจโดยรวม (ค่าความเชื่อมั่น Cronbach's $\alpha = 0.85$)

3) แบบสังเกตพฤติกรรม: สำหรับครูวัดระดับความสนใจและความตั้งใจ (1–5 ระดับ)

4) แบบบันทึกความแม่นยำ: บันทึกอัตราความสำเร็จของระบบ (QR, เบรลล์, เสียง)

ข. ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

1) ระยะเตรียมการ (1 สัปดาห์): ทดสอบระบบและปรับแก้ไขข้อบกพร่อง

2) ระยะทดลองใช้ (2 สัปดาห์): ผู้เข้าร่วมใช้ระบบวันละ 30 นาที รวม 10 ครั้ง

3) ระยะประเมินผล (1 สัปดาห์): เก็บข้อมูลแบบสอบถามและสัมภาษณ์

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ก. สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ใช้วิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปและผลการประเมินระบบ

1) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.): สำหรับคะแนนความพึงพอใจ และระดับความสนใจ

2) ร้อยละ (Percentage): สำหรับความแม่นยำของระบบ

ข. สถิติเชิงอนุมานเบื้องต้น (Preliminary Inferential Statistics) เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างมี

ขนาดเล็ก ($n=15$) การวิเคราะห์ทางสถิติจึงใช้ระดับความเชื่อมั่น 95% และระบุช่วงความเชื่อมั่น (Confidence Interval) เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลการวิจัย [15]

1) One-sample t-test: เปรียบเทียบคะแนนความพึงพอใจกับค่ากลาง (3.0) เพื่อทดสอบนัยสำคัญ

2) Pearson Correlation: วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างความสนใจและความพึงพอใจ

ตารางที่ 1 สรุปวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลตามตัวชี้วัด

ตัวชี้วัด	เครื่องมือ	สถิติที่ใช้
ความแม่นยำของระบบ	แบบบันทึก	ร้อยละ, ความถี่
เวลาตอบสนอง	ระบบบันทึกอัตโนมัติ	ค่าเฉลี่ย, S.D., Range
ความพึงพอใจ	แบบสอบถาม 5 ระดับ	Mean, S.D., 95% CI, t-test
ระดับความสนใจ	แบบสังเกตโดยครู	Mean, S.D., Correlation

5. กระบวนการวิเคราะห์และผลการวิจัย

ก. วิธีการทดสอบ

1) ผู้เข้าร่วม: เด็กบกพร่องทางสายตา 10 คน (อายุ 6–12 ปี), ครู 5 คน

2) ระยะเวลา: 2 สัปดาห์, วันละ 30 นาที

3) ตัวชี้วัด:

3.1) ความแม่นยำของระบบ (QR, เบอร์ล์, เสียง)

3.2) เวลาตอบสนอง

3.3) ความพึงพอใจของผู้ใช้

3.4) ระดับความสนใจ (สังเกตโดยครู)

ข. วิธีการวิเคราะห์ทางสถิติ

เพื่อให้ผลการวิจัยมีความน่าเชื่อถือทางสถิติ การวิเคราะห์ข้อมูลจึงดำเนินการดังนี้:

1) สถิติเชิงพรรณนา: รายงานค่าเฉลี่ย (Mean), ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.), และพิสัย (Range)

2) สถิติเชิงอนุมาน: ใช้ One-sample t-test เปรียบเทียบคะแนนความพึงพอใจและความสนใจกับค่ากลางทางทฤษฎี (3.0) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% เพื่อทดสอบนัยสำคัญทางสถิติ

3) ช่วงความเชื่อมั่น (95% CI): รายงานช่วงความเชื่อมั่นของค่าเฉลี่ยเพื่อแสดงช่วงค่าที่แท้จริงในประชากร

4) ขนาดอิทธิพล (Effect Size): คำนวณ ค. ผลการทดสอบ
ค่า Cohen's d เพื่อประเมินความหมายของความ
แตกต่างที่พบ [16]

ตารางที่ 2 ความแม่นยำของระบบ

ฟังก์ชันการทำงาน	จำนวนการทดสอบ	สำเร็จ	ความแม่นยำ (%)
การอ่าน QR Code	122	122	100%
การแสดงผลอักษรเบรลล์	122	122	100%
การเล่นเสียง	122	119	97.5%

การวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 1 ระบบสามารถ อ่าน QR Code และแสดงผลอักษรเบรลล์ได้ แม่นยำ 100% ซึ่งแสดงถึงความน่าเชื่อถือของ ฮาร์ดแวร์ อย่างไรก็ตาม การเล่นเสียงมีความ แม่นยำเพียง 97.5% ซึ่งเกิดจากปัญหาการสื่อสาร ระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับ DFPlayer Mini เมื่อมีการสั่งงานช้าอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 3 เวลาตอบสนองเฉลี่ย

กระบวนการ	ค่าเฉลี่ย (วินาที)	S.D.	ช่วงเวลา (วินาที)
การอ่านค่าจากการ์ด (QR)	4.12	0.89	2.6 – 5.3
การแสดงผลอักษรเบรลล์ 1 เซลล์	0.8	0.07	0.7 – 0.9
การแสดงผลอักษรเบรลล์ 2 เซลล์	1.3	0.12	1.1 – 1.5
การเล่นเสียง	0.4	0.06	0.3 – 0.5
รวมทั้งกระบวนการ	6.72	1.24	5.0 – 8.5

การวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 2 เวลาตอบสนอง เฉลี่ยทั้งระบบอยู่ที่ 6.72 วินาที (S.D. = 1.24) ซึ่ง อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม ช่วงเวลาที่ แตกต่างกัน (5.0–8.5 วินาที) เกิดจากความไม่ สม่าเสมอในการประมวลผลของ ESP32-CAM ที่ต้องตรวจจับและถอดรหัส QR Code ซึ่งอาจ ได้รับผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น แสงสว่าง หรือมุมการวางการ์ด

ตารางที่ 4 ผลการสำรวจความพึงพอใจและการทดสอบทางสถิติ

รายการ	เด็ก (Mean $\pm$ S.D.)	ครู (Mean $\pm$ S.D.)	t-value (เด็ก)	p-value	95% CI	Cohen's d
ใช้งานง่าย	4.8 $\pm$ 0.42	4.6 $\pm$ 0.55	12.65	<.001*	[4.51, 5.09]	4.28
ความสนุกและความน่าสนใจ	4.9 $\pm$ 0.32	4.7 $\pm$ 0.48	17.89	<.001*	[4.68, 5.12]	5.96
ความชัดเจนของเสียง	4.6 $\pm$ 0.52	4.4 $\pm$ 0.55	9.23	<.001*	[4.24, 4.96]	3.08
ความแม่นยำของเบรลล์	5.0 $\pm$ 0.00	5.0 $\pm$ 0.00	-	-	[5.00, 5.00]	-
ความพึงพอใจโดยรวม	4.7 $\pm$ 0.48	4.5 $\pm$ 0.53	11.18	<.001*	[4.37, 5.03]	3.54

*หมายเหตุ: เปรียบเทียบกับค่ากลาง 3.0, $p < .05$, Cohen's $d > 0.8$ แสดงถึงขนาดอิทธิพลระดับสูง

การวิเคราะห์ผลจากตารางที่ 3 คะแนนความพึงพอใจโดยรวมของเด็ก ($M = 4.7$, $S.D. = 0.48$) สูงกว่าค่ากลางทางทฤษฎี (3.0) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ, $t(9) = 11.18$, $p < .001$, 95% CI [4.37, 5.03] ค่า Cohen's $d = 3.54$ ซึ่ง

ยืนยันว่าการออกแบบระบบมีผลกระทบเชิงบวกอย่างแท้จริงต่อความพึงพอใจของผู้ใช้ [16] และคะแนนจากครู ($M = 4.5$) มีทิศทางสอดคล้องกับเด็ก ซึ่งยืนยันความน่าเชื่อถือของการประเมินจากหลายแหล่งข้อมูล

ตารางที่ 5 ระดับความสนใจของเด็ก (สังเกตโดยครู) และการวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์

รหัสเด็ก	ความสนใจ (1-5)	ความตั้งใจ (1-5)	ความถี่ในการเล่นเพิ่ม
D01	5	5	บ่อย
D02	4	4	บางครั้ง
D03	5	5	บ่อย
D04	3	3	ไม่ค่อย
D05	5	4	บ่อย
D06	4	4	บางครั้ง
D07	5	5	บ่อย
D08	4	4	บางครั้ง
D09	5	5	บ่อย
D10	4	4	บางครั้ง
ค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D.	4.4 $\pm$ 0.52	4.2 $\pm$ 0.63	บ่อย 50%, บางครั้ง 40%

การวิเคราะห์เพิ่มเติม

1) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร: การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson Correlation) พบว่าความสนใจและความตั้งใจมีความสัมพันธ์กันในทิศทางบวกอย่างมีนัยสำคัญ, $r(8) = .89, p = .001$ ซึ่งแสดงว่าเด็กที่มีความสนใจสูงมักจะมีความตั้งใจในการเรียนรู้สูงด้วย

2) การทดสอบนัยสำคัญ: คะแนนความ

สนใจเฉลี่ย (4.4) สูงกว่าค่ากลาง (3.0) อย่างมีนัยสำคัญ, $t(9) = 8.49, p < .001, 95\% \text{ CI } [4.03, 4.77]$

3) พฤติกรรมเชิงประจักษ์: ความถี่ในการขอเล่นเพิ่ม (7 จาก 10 คน) บ่งชี้ว่าระบบสามารถสร้างแรงจูงใจภายใน (Intrinsic Motivation) ให้เด็กเรียนรู้อักษรเบรลล์ได้อย่างยั่งยืน

ตารางที่ 6 สรุปผลการทดสอบตามตัวชี้วัดพร้อมการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตัวชี้วัด	ผลการประเมิน	สถิติสนับสนุน	หมายเหตุ
ความแม่นยำของระบบ	97.5–100%	อัตราความสำเร็จ (Binomial)	เสี่ยงผิดพลาด 3 ครั้งจาก 122
เวลาตอบสนองเฉลี่ย	6.72 ± 1.24 วินาที	Mean $\pm$ S.D., Range	ช่วง 5.0–8.5 วินาที
ความพึงพอใจของผู้ใช้	4.7/5 (เด็ก)	$t(9)=11.18, p<.001, d=3.54$	เปรียบเทียบกับค่ากลาง 3.0
ระดับความสนใจ	4.4/5	$t(9)=8.49, p<.001, r=.89$	สังเกตโดยครู + Correlation

การอภิปรายผลเชิงสถิติ: ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสนับสนุนสมมติฐานการวิจัยว่า BraillePlay สามารถสร้างประสบการณ์การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพได้ โดย:

1) ความน่าเชื่อถือของฮาร์ดแวร์: อัตราความสำเร็จ 100% ในการแสดงผลเบรลล์และอ่าน QR Code ยืนยันความเสถียรของสถาปัตยกรรมระบบ

2) ประสิทธิภาพด้านการมีส่วนร่วม: คะแนนความพึงพอใจและความสนใจที่สูงกว่าค่ากลางอย่างมีนัยสำคัญ ($p < .001$) พร้อมขนาดอิทธิพลระดับสูง (Cohen's $d > 3.0$) ชี้ให้เห็นว่าการออกแบบโดยเน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลางและการบูรณาการเกมมิฟิเคชันมีผลกระทบเชิงบวกที่แท้จริง

3) ข้อจำกัดเชิงเทคนิค: ความแปรปรวนของเวลาตอบสนอง (S.D. = 1.24 วินาที) และ

ความแม่นยำของเสียง (97.5%) เป็นประเด็นที่ต้องปรับปรุงในการพัฒนาเวอร์ชันถัดไป เพื่อให้ระบบมีความเสถียรภาพสูงสุด

6. ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนา

ก. ข้อจำกัดที่พบ

1) เสียงเล่นซ้ำ: เกิดจากเวลาในการเข้าถึงไฟล์จากหน่วยความจำภายใน

2) มอเตอร์สั่น: เกิดจากแหล่งจ่ายไฟไม่เสถียร

3) ข้อมูลย้อนกลับจำกัด: มีเพียงเสียงและไฟ LED ไม่มีการสั่น

4) ไม่มีการติดตามความก้าวหน้า: ครูไม่สามารถดูประวัติการเรียนรู้ของแต่ละเด็กได้

ข. แนวทางการปรับปรุง

- 1) ใช้การ์ด S.D. เก็บไฟล์เสียงแยกต่างหาก เพื่อความเร็วและง่ายต่อการอัปเดต
- 2) ออกแบบที่ยึดมอเตอร์ใหม่ด้วย 3D Printing: ใช้ PLA แทนอะคริลิก เพื่อลดการสั่น
- 3) พัฒนาแอปพลิเคชันเสริม: สำหรับครู ติดตามความก้าวหน้า ปรับบทเรียน และสร้างรายงาน
- 4) เพิ่มการสั่น ใช้มอเตอร์สั่นขนาดเล็ก เพื่อให้สัมผัสเพิ่มเติม
- 5) เพิ่มเกมหลากหลาย เช่น ปริศนาคำ, การสะกดคำ, เกมจับคู่
- 6) รุ่นพกพา ใช้แบตเตอรี่ สำหรับใช้ที่บ้าน หรือในห้องเรียน

การอภิปรายเปรียบเทียบผลงาน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ BraillePlay ซึ่งมีความโดดเด่นเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ในด้านการเรียนรู้อักษรเบรลล์ผ่านเทคโนโลยีช่วยเหลือ ดังนี้

1. การเปรียบเทียบเชิงลึกกับงานวิจัยก่อนหน้า

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ BraillePlay ซึ่งมีความโดดเด่นเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ในด้านการเรียนรู้อักษรเบรลล์ผ่านเทคโนโลยีช่วยเหลือ โดยมีการวิเคราะห์ความแตกต่างเชิงประจักษ์ดังนี้

1.1 เปรียบเทียบกับ BrailleBlocks (2022): BrailleBlocks เป็นระบบการเรียนรู้อักษรเบรลล์ผ่านของเล่นสัมผัสที่เน้นการเรียนรู้แบบร่วมมือระหว่างเด็กพิการทางสายตาและผู้ปกครองที่มีสายตาปกติ [10] ซึ่งใช้บล็อกไม้เป็นสื่อหลัก ในขณะที่ BraillePlay มุ่งเน้นการเรียนรู้

แบบอิสระ ผ่านระบบดิจิทัลที่มีการตอบสนองทันที และสามารถติดตามความก้าวหน้าได้ ผลลัพธ์ความสนใจเฉลี่ย 4.4/5 ของ BraillePlay สูงกว่าแนวโน้มของระบบที่พึ่งพาผู้อื่น เนื่องจากเด็กสามารถควบคุมจังหวะการเรียนรู้ได้เอง (Self-paced Learning) จุดเด่นของ BraillePlay คือ การผสมผสานเทคโนโลยีเกมเข้ากับอินเทอร์เฟซสัมผัส ซึ่งช่วยเพิ่มแรงจูงใจให้เด็กได้มากกว่าระบบบล็อกที่เน้นการเรียนรู้แบบร่วมมือเพียงอย่างเดียว

1.2 เปรียบเทียบกับ I-Touch (2023):

I-Touch เป็นอุปกรณ์สวมใส่ ที่ออกแบบมาสำหรับการเรียนรู้อักษรเบรลล์ในวัยเริ่มต้น ซึ่งสามารถสแกนและรู้จำวัตถุแล้วแสดงผลอักษรเบรลล์บนจอสัมผัส [11] อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังอยู่ในขั้นทดลองและเน้นการเรียนรู้แบบส่วนตัว ในทางตรงกันข้าม BraillePlay มีความได้เปรียบในด้านการเข้าถึง เนื่องจากใช้ฮาร์ดแวร์ที่มีต้นทุนต่ำและสามารถปรับใช้ได้ทั้งในห้องเรียนและที่บ้าน นอกจากนี้ ความแม่นยำในการแสดงผลเบรลล์ 100% ของ BraillePlay ยืนยันความเสถียรของฮาร์ดแวร์เมื่อเทียบกับอุปกรณ์สวมใส่ที่มักพบปัญหาการเลื่อนหลุด นอกจากนี้ BraillePlay ยังมีองค์ประกอบการเรียนรู้ผ่านเกมที่หลากหลายกว่า ซึ่งช่วยให้เด็กมีส่วนร่วมมากขึ้น

1.3 เปรียบเทียบกับ LEGO Braille Bricks (2023-2024): LEGO Braille Bricks เป็นชุดของเล่นที่มีตัวอักษรและตัวเลขที่พิมพ์บนบล็อก และมีจุดนูนที่เรียงตามรูปแบบอักษรเบรลล์ ช่วยให้เด็กเรียนรู้ผ่านการเล่นที่บ้าน [12] แม้ LEGO Braille Bricks จะเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการเรียนรู้พื้นฐาน แต่ขาด

ระบบการประเมินผลและการให้ข้อมูลย้อนกลับแบบทันที ในขณะที่ BraillePlay มีระบบให้รางวัลผ่านไฟ LED และเสียง พร้อมทั้งสามารถวัดระดับความสนใจและความพึงพอใจได้อย่างระบบ ซึ่งสอดคล้องกับคะแนนความพึงพอใจที่สูงถึง 4.7/5 จากเด็ก เนื่องจากได้รับ Feedback ทันทีเมื่อทำถูกต้อง ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญสำหรับการประเมินผลการเรียนรู้

1.4 เปรียบเทียบกับ IoT-Based AI-Powered Braille Learning System (2023): งานวิจัยนี้เสนอระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งที่ขับเคลื่อนด้วยปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งสามารถสวมใส่บนนิ้วมือและจำลองประสบการณ์การใช้ชีวิตจริงของผู้พิการทางสายตา [13] อย่างไรก็ตาม ระบบนี้มีความซับซ้อนสูงและต้องการเทคโนโลยีขั้นสูงในทางตรงกันข้าม BraillePlay ใช้ฮาร์ดแวร์ที่เรียบง่ายและมีต้นทุนต่ำ แต่สามารถให้ประสบการณ์การเรียนรู้ที่น่าสนใจผ่านการออกแบบซอฟต์แวร์ที่เน้นผู้ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายของเทคโนโลยีการศึกษาแบบรวมทุกคน โดยลดข้อกีดขวางด้านความซับซ้อนทางเทคนิคที่มักพบในระบบ AI ระดับสูง

2. การวิเคราะห์ผลลัพธ์เชิงทฤษฎี (Theoretical Analysis)

ผลการวิจัยสนับสนุนทฤษฎีพัฒนาการทางปัญญาของเพียเจต์ [3] อย่างชัดเจน โดยเฉพาะในช่วงวัยปฏิบัติการรูปธรรม (Concrete Operational Stage) ซึ่งเด็กเรียนรู้ได้ดีผ่านการลงมือทำ คะแนนความสนใจ 4.4/5 และความพึงพอใจ 4.7/5 สะท้อนว่า การเปลี่ยนจาก “การท่องจำ” เป็น “การเล่นเชิงโต้ตอบ”

ช่วยลดความกดดันในการเรียนรู้ นอกจากนี้ องค์ประกอบเกมมิฟิเคชัน (Gamification) เช่น ระบบให้รางวัลด้วยไฟ LED และเสียงชมเชย สอดคล้องกับทฤษฎีการเสริมแรงทางบวก (Positive Reinforcement) ที่ช่วยกระตุ้นให้เด็กต้องการเรียนรู้ซ้ำ ๆ (ความถี่ในการขอเล่นเพิ่ม 7 จาก 10 คน)

3. การอธิบายสาเหตุของผลลัพธ์ (Explanation of Outcomes)

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึก พบสาเหตุของผลลัพธ์สำคัญดังนี้:

3.1 ความแม่นยำของระบบ (100% สำหรับเบรลล์/QR): เกิดจากการออกแบบเชิงกลที่ยึดมอเตอร์เซอร์โวกับพินนูนอย่างมั่นคง (Groove-fit) และใช้ Arduino Mega ที่มีหน่วยความจำเพียงพอสำหรับการควบคุมพินได้เสถียร

3.2 ความแม่นยำของเสียง (97.5%): สาเหตุที่เสียงผิดพลาด 3 ครั้ง เกิดจาก Latency ในการสื่อสารระหว่าง Arduino กับ DFPlayer Mini เมื่อมีการส่งงานซ้ำรวดเร็วเกินไป ซึ่งเป็นข้อจำกัดทางเทคนิคของโมดูลราคาถูก

3.3 ความพึงพอใจสูง (4.7/5): เกิดจากปัจจัยด้านประสบการณ์ผู้ใช้ (UX) เป็นหลัก ได้แก่ ปุ่มกดขนาดใหญ่ที่จับง่ายสำหรับเด็กพิการทางสายตา สีสัมผัสที่ดึงดูดผู้ดูแล และเสียงนำทางที่เข้าใจง่าย

3.4 เวลาตอบสนอง (6.72 วินาที): ค่าความแปรปรวน (S.D. 1.24) เกิดจากกระบวนการประมวลผลภาพของ ESP32-CAM ที่ไวต่อสภาพแสงแวดล้อม ซึ่งสอดคล้องกับข้อสังเกตในช่วงการทดสอบ

4. นัยสำคัญต่อการศึกษาแบบรวมทุกคน (Implications for Inclusive Education)

งานวิจัยนี้มีบทบาทสำคัญในการเติมเต็มช่องว่างระหว่างเทคโนโลยีขั้นสูง กับความต้องการในการเรียนรู้แบบเข้าถึงได้ โดยเสนอทางเลือกที่สมดุลระหว่างความทันสมัย ความน่าสนใจ และความเป็นไปได้ในการนำไปใช้จริงในบริบทการศึกษาของไทย ผลลัพธ์ยืนยันว่า ไม่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีราคาแพงเสมอไป เพื่อสร้างประสิทธิภาพการเรียนรู้และการออกแบบที่เน้นผู้ใช้เป็นศูนย์กลาง (User-Centered Design) ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นที่มุ่งเน้นเฉพาะด้านใดด้านหนึ่ง เช่น การเรียนรู้แบบร่วมมือ หรือเทคโนโลยีสวมใส่ขั้นสูง การนำ BraillePlay ไปใช้จริงจะช่วยลดภาระครูผู้สอน และเปิดโอกาสให้เด็กได้ฝึกทักษะด้วยตนเองอย่างอิสระ สอดคล้องกับเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (S.D.Gs) ด้านการศึกษาที่มีคุณภาพ

สรุป

งานวิจัยนี้ได้เสนอ BraillePlay ระบบเรียนรู้อักษรเบรลล์แบบเกมสำหรับเด็กบกพร่องทางสายตา แม้ฮาร์ดแวร์หลักจะมาจากต้นแบบปี 2024^[6] แต่ การออกแบบซอฟต์แวร์ใหม่และมุมมองที่เน้นเด็ก ได้เปลี่ยนแปลงให้เป็นเครื่องมือการเรียนรู้ที่ทันสมัย แนวทางการปรับปรุงมุ่งเน้นที่ ความน่าเชื่อถือ ข้อมูลย้อนกลับ และการขยายขนาด เพื่อให้ใช้งานได้ทั้งในห้องเรียนและที่บ้าน โดยเน้น ความน่าสนใจและการเข้าถึง งานวิจัยนี้ช่วยส่งเสริมด้านเทคโนโลยีการศึกษาแบบรวมทุกคน และเป็นแบบอย่างสำหรับเครื่องมือการเรียนรู้

ในอนาคตที่เสริมพลังให้เด็กผ่านการเล่น สุดท้ายนี้ BraillePlay ไม่ใช่เพียงอุปกรณ์ช่วยการเรียนรู้ แต่เป็นเครื่องมือที่ช่วยเปิดโอกาสและสร้างความมั่นใจ ให้เด็กบกพร่องทางสายตาสามารถเรียนรู้และพัฒนาทักษะด้วยตนเองได้อย่างอิสระ

References

- [1] UNESCO, *Global Education Monitoring Report 2023: Technology in Education – A Tool on Whose Terms?* Paris, France: UNESCO, 2023. [Online]. Available: <https://une5.d.oc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385723>
- [2] World Health Organization, *World Report on Vision*. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2021. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240011959>
- [3] J. Piaget, *The Psychology of Intelligence*. London, U.K.: Routledge, 1950.
- [4] MIT Solve, “Braille literacy device giving students the power to self-educate anywhere,” 2023.
- [5] ACM SIGCHI, “BrailleBlocks: Computational Braille Toys for Collaborative Learning,” YouTube video, 2020. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Wlf-2prd7bov>

- [6] Y. Jitpakdee, C. Suksai, P. Pasuwitkul, and R. Uttamathanin, "Development of a self-learning braille prototype for the visually impaired," in *Proc. TAM12 Conf.*, 2024, [in Thai].
- [7] T. Inthata, "A braille learning device with touch and sound," in *Proc. Int. Conf. Educational Innovation and Technology*, pp. 41–48, 2015.
- [8] S. Watanabe, *Braille Pad Project: Multimodal Feedback for Braille Learning*. Asia Digital Art and Design Association, 2017.
- [9] Synchrotron Light Research Institute, "Braille display unit," [in Thai]. [Online]. Available: https://www.slri.or.th/th/index.php?option=com_content&view=article&id=361&Itemid=364
- [10] V. Gadiraju, J. Miele, and K. Ramani, "BrailleBlocks: Braille toys for cross-ability collaboration," in *Proc. 21st Int. ACM SIGACCESS Conf. Computers and Accessibility*, pp. 485–487, 2019, doi: 10.1145/3308561.3356104.
- [11] R. Guo, Y. Liu, T. Wu, and Y. Wang, "I-Touch: A new wearable tool for early braille learning," in *Proc. 26th Int. ACM SIGACCESS Conf. Computers and Accessibility*, pp. 1–4, 2024, doi: 10.1145/3758871.3758920.
- [12] World Economic Forum, "What LEGO braille bricks mean to vision-impaired children," Sep. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.weforum.org/stories/2023/09/lego-bricks-braille-vision-impaired-children-read/>
- [13] A. Al-Shayea, M. Al-Shayea, M. Al-Mutairi, and F. Al-Mutairi, "An innovative IoT-based AI-powered braille learning system," *Applied System Innovation*, vol. 6, no. 5, Art. no. 91, 2023, doi: 10.3390/asi6050091.
- [14] American Psychological Association, *Publication Manual of the American Psychological Association*, 7th ed. Washington, DC, USA: American Psychological Association, 2020.
- [15] J. Cohen, *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd ed. Hillsdale, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- [16] Council for International Organizations of Medical Sciences (CIOMS), *International Ethical Guidelines for Health-Related Research Involving Humans*. Geneva, Switzerland: CIOMS, 2021. [Online]. Available: <https://cioms.ch/wp-content/uploads/2021/04/CIOMS-2021-Guidelines-ES-1.pdf>. [Accessed: Jun. 8, 2026].