การพัฒนาแพลตฟอร์มแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรม ด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับครูระดับประถมศึกษาในโรงเรียนสังกัดเทศบาล

Development of an AI-Based Platform for Recommending Programming Instruction Plans for Primary School Teachers in Municipality Schools

นางสาวสุภาภัทร ทรรทุรานนท์ รหัส 166491432005 นักศึกษาระดับปริญญาเอก
สาขาวิชาเทคโนโลยีดิจิทัลมีเดีย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาและประเมินประสิทธิภาพของ AI-PINS (AI-based Programming Instruction Navigation System) แพลตฟอร์มแนะนำแผนการสอนเขียนโปรแกรมสำหรับครูประถมศึกษาในโรงเรียนสังกัดเทศบาล โดยออกแบบภายใต้กรอบทฤษฎีเชิงสถาปัตยกรรม 6 ด้าน ประกอบด้วย System Theory (IPOF), Agent Theory, Experiential & Adaptive Learning, Explainable AI (XAI), Information Theory และ Cognitive Load Theory เพื่อสร้างแพลตฟอร์มโดยมี AI-Agent Core ที่สามารถรับรู้ วิเคราะห์ และตัดสินใจจากข้อมูลการสอนจริงอย่างต่อเนื่อง ระบบประยุกต์เทคนิค DKT, CBR, RAG, Reinforcement Learning และระบบแนะนำอัจฉริยะ เพื่อสร้างแผนการสอนที่สอดคล้องกับตัวชี้วัด OBEC และบริบทผู้เรียน ส่วนการประเมินประกอบด้วยการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (IOC ≥ 0.80) การประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 15 คน และการวิเคราะห์สถิติค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน IOC และ Cronbach's Alpha ≥ 0.90 รวมถึงการประยุกต์ TAM 4.0 เพื่อวัดการยอมรับ ผลการประเมินพบว่าระบบมีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.67, S.D. = 0.13) โดยเฉพาะมิติ Intelligence Quality และ Decision Quality ($\bar{x}$ = 4.65 และ 4.80) จากประสิทธิภาพของ ML, NLP, RAG และโมดูล Explainable Decision ซึ่งมี XAI อยู่ในระบบที่อธิบายให้ผู้ใช้เข้าใจเหตุผลในการแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้และเลือกกิจกรรมผ่าน Dashboard ด้านความจำเป็นของ XAI ในระบบการศึกษา ระบบยังมีศักยภาพเรียนรู้ต่อเนื่องผ่าน MLOps Monitoring และมีความเป็นมิตรต่อผู้ใช้ ($\bar{x}$ = 4.53) รองรับปัจจัย TAM 4.0 ในโรงเรียนเทศบาล โดยสรุป AI-PINS เป็นสถาปัตยกรรมที่แข็งแรงและประเมินได้จริง ช่วยลดภาระงานครู พัฒนาการเรียนรู้แบบปรับตัวเฉพาะบุคคล และมีศักยภาพต่อการขยายผลเชิงนโยบายด้านการเรียนรู้ดิจิทัลในระดับประเทศ

คำสำคัญ แพลตฟอร์มการเรียนรู้ที่ใช้ AI (AI-Based Platform); ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence); แผนการจัดการเรียนรู้ (Learning Management Plan); ครูประถมศึกษา (Primary School Teacher); พื้นฐานการเขียนโปรแกรม (Programming Fundamentals);

1. บทนำ

การศึกษาโค้ดดิงได้รับความสำคัญในระดับโลก โดยหลายประเทศกำหนดให้เป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรการศึกษาขั้นพื้นฐาน องค์การเพื่อความร่วมมือและการพัฒนาทางเศรษฐกิจ (OECD) [1] ชี้ให้เห็นว่าการสอนโค้ดดิงตั้งแต่ระดับประถมศึกษาเป็นแนวทางสำคัญในการพัฒนาทักษะเชิงตรรกะและการแก้ปัญหาของนักเรียน [2] นโยบายของหลายประเทศ เช่น ฟินแลนด์ สิงคโปร์ และสหรัฐอเมริกา ได้บูรณาการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ากับกระบวนการเรียนการสอนโค้ดดิง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการสอนและส่งเสริมการเรียนรู้แบบปรับแต่งตามบุคคล (Personalized Learning) [3] สอดคล้องกับภารกิจของสำนักงานคณะกรรมการดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สดช.) ที่กำกับดูแลองค์กรหรือบุคคลในการพัฒนาและการใช้งาน AI เพื่อพัฒนาประเทศไทยและสร้างทรัพยากรที่สำคัญในด้านการศึกษา รองรับการขับเคลื่อนและการพัฒนาเทคโนโลยี AI ในอนาคต [4] ซึ่งประเทศไทยได้กำลังพัฒนาสู่การขับเคลื่อนยุทธศาสตร์ชาติด้านการเรียนการสอนเป็นกรอบในการพัฒนาประเทศ โดยมียุทธศาสตร์ที่ 3 เป็นการพัฒนาและเสริมสร้างศักยภาพทรัพยากรมนุษย์ มุ่งเน้นให้สถานศึกษาสร้างการเรียนรู้สู่การเรียนการสอนด้วยกิจกรรมให้เกิดผลสัมฤทธิ์เป็นรูปธรรม [5] สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน (สพฐ.) ได้กำหนดให้โค้ดดิงเป็นส่วนหนึ่งของหลักสูตรวิชาวิทยาการคำนวณ โดยเน้นให้นักเรียนพัฒนาทักษะการคิดเชิงคำนวณ (Computational Thinking) และการแก้ไขข้อผิดพลาด (Debugging Skills) [6], [7]

การยกระดับคุณภาพการศึกษาการเรียนการสอนโค้ดดิงเป็นพื้นฐานสำคัญในการต่อยอดการเขียนโปรแกรม แต่มีข้อจำกัดและปัญหาโครงสร้างของระบบการเรียนการสอน รวมถึงขาดแคลนครูที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านโค้ดดิงและปัญญาประดิษฐ์ [7], [8] ซึ่งทำให้การดำเนินงานดังกล่าว ยังขาดสมรรถนะที่เหมาะสม ประกอบด้วย 1) ครูใช้วิธีการสอนและประสบการณ์แบบเดิมนักเรียนจึงขาดทักษะในการวิเคราะห์และแก้ไขข้อผิดพลาดในทันที ครูใช้แผนการเรียนรู้ตามหลักสูตรเดียวกันแต่ออกแบบการสอนเหมือนกัน ซึ่งทำให้กิจกรมการเรียนรู้ของนักเรียนที่มีพื้นฐานน้อยอาจเรียนรู้ได้ไม่ดีเท่ากับนักเรียนที่มีพื้นฐานดีกว่า สื่อการเรียนรู้อาจไม่มีความน่าสนใจเพียงพอทำให้การพัฒนาประสิทธิภาพไม่เป็นไปอย่างที่ครูต้องการ [9], [10] 2) ระบบการเรียนรู้ที่ยังไม่รองรับตามระดับความสามารถของนักเรียน การสอนโค้ดดิงที่ต้องใช้หลักสูตรเดียวสำหรับนักเรียนทุกคน แต่เกณฑ์การให้คะแนนหรือประเมินผลการเรียนในแต่ละสถานศึกษาต่างกัน ครูจึงต้องปรับวิธีการสอนที่เพิ่มความน่าสนใจด้วยกิจกรรมเกมเป็นหลักเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดของโค้ด [11] หรือการเขียนโปรแกรมใช้โค้ดอย่างง่าย เพื่อให้นักเรียนสนใจมากขึ้นและรู้สึกสนุกสนาน [12] การที่นักเรียนให้ความสำคัญกับการเรียนโค้ดดิงจะช่วยขจัดปัญหาในการเรียนรู้ และครูสามารถปรับการเขียนแผนการจัดการเรียนรู้ที่เคยจำกัดตามขีดความสามารถของนักเรียนได้ดีขึ้น [13], [14]

ดังนั้น การพัฒนาแพลตฟอร์มแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับครูระดับประถมศึกษาในโรงเรียนสังกัดเทศบาล สามารถแนะนำวิธีการจัดการเรียนการสอนให้กับครูตามแผนการจัดการเรียนรู้ที่เป็นแนวทางแบบเดียวกัน (one-size-fits-all) [15], [16] แต่เป็นรูปแบบใหม่ที่เน้นการเพิ่มผลสัมฤทธิ์ของนักเรียน โดยมีโครงสร้างหลักร่วมกันในหน่วยการเรียนตามหลักสูตรและตัวชี้วัด [17] สาระสำคัญ มีเนื้อหาบทนำ วิธีการสอน ใบความรู้ กิจกรรม คุณลักษณะอันพึงประสงค์ จริยธรรม เกณฑ์ประเมินที่กำหนดไว้ อิงตามข้อมูลผลคะแนนย้อนหลังในหน่วยการเรียนรู้ที่ผ่านมา แล้วเพิ่มทางเลือกของกิจกรรมในระดับนักเรียนที่แตกต่างกัน เริ่มตั้งแต่การเขียนอัลกอริทึม [18], [19] การสร้างโฟลวชาร์ต [20], [21] และนำไปเขียนโปรแกรมตามตัวชี้วัดที่กำหนดในแผนการจัดการเรียนรู้ แพลตฟอร์มนี้ใช้ Agentic AI ที่พัฒนาขึ้นมาเฉพาะจากข้อมูลที่ส่งให้ระบบจดจำและบันทึกไว้ โดยที่ครูกำหนดเป้าหมายที่ต้องการให้ Agentic AI ช่วยดำเนินการตามเป้าหมายหรือเงื่อนไขตามสถานการณ์เหล่านั้น [22], [23] เป็นการแนะนำการเรียนรู้เพื่อแก้ปัญหาการเรียนการสอนเฉพาะบุคคล มี CBR แนะนำกิจกรรมที่เคยได้ผลกับนักเรียน [24], [25] ใช้ RAG ดึงข้อมูลใบงานตัวอย่างที่ตรงหัวข้อ [26] หรือข้อมูลคะแนนเดิมของนักเรียนมาใช้ในการเชื่อมโยงกับเนื้อหาการสอนของครู [27] เพื่อจัดเส้นทางการเรียนรู้ให้บรรลุวัตถุประสงค์ของเกณฑ์คะแนน ให้ระบบมีการบันทึกการปรับปรุงโมเดลเพื่ออัพเดทเป็นฐานความรู้ ซึ่งครูจะใช้เป็นระบบแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมอัตโนมัติที่สมบูรณ์ในอนาคต [28], [29]

2. วัตถุประสงค์

2.1. เพื่อพัฒนากรอบแนวคิดแพลตฟอร์มแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับครูระดับประถมศึกษาในโรงเรียนสังกัดเทศบาล

2.2. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบ โดยใช้ข้อมูลย้อนหลังและเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์

2.3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพ คุณภาพ และความพึงพอใจของระบบต้นแบบ

2.4. เพื่อศึกษาผลการใช้งานระบบแพลตฟอร์มแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับครูระดับประถมศึกษา

3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 ข้อมูลในการวิจัยนี้มุ่งพัฒนาแพลตฟอร์มแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับครูระดับประถมศึกษาในโรงเรียนสังกัดเทศบาล ตามผลคะแนนย้อนหลัง 3 ปี ประกอบด้วย

3.1.1 ข้อมูลผลคะแนนย้อนหลังนักเรียนชั้น ป.4 - ป.6 จากครูผู้สอนวิชาวิทยาการคำนวณ

3.1.2 นักเรียนที่ได้คะแนนน้อยกว่า 70 คะแนน ระดับชั้นละ 10 คน รวมทั้งสิ้น 50 คน

3.1.3 ครูผู้สอนโค้ดดิง ในโรงเรียนสังกัดเทศบาล จำนวน 10 คน

3.1.4 โรงเรียนสังกัดเทศบาลนครนนทบุรี จำนวน 5 แห่ง

3.2 ประชากร ได้แก่ ผู้บริหาร ครู และนักเรียนระดับประถมศึกษา ของโรงเรียนสังกัดเทศบาล ในจังหวัดนนทบุรี 10 แห่ง จำนวน 100 คน

3.3 กลุ่มตัวอย่าง ผู้ทดลองใช้ระบบ จำนวน 50 คน แบ่งเป็น ครู 25 คน และนักเรียน 25 คน ที่ปฏิบัติการเรียนการสอนในระดับประถมศึกษา โดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อนำมาประเมินและให้ข้อเสนอแนะต่อระบบต้นแบบที่พัฒนา

3.4 ตัวแปร ตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

3.4.1 ตัวแปรต้น คือ แพลตฟอร์มแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับครูประถมศึกษา

3.4.2 ตัวแปรตาม คือ (1) ประสิทธิภาพของระบบ (2) คุณภาพของระบบ (3) ความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ

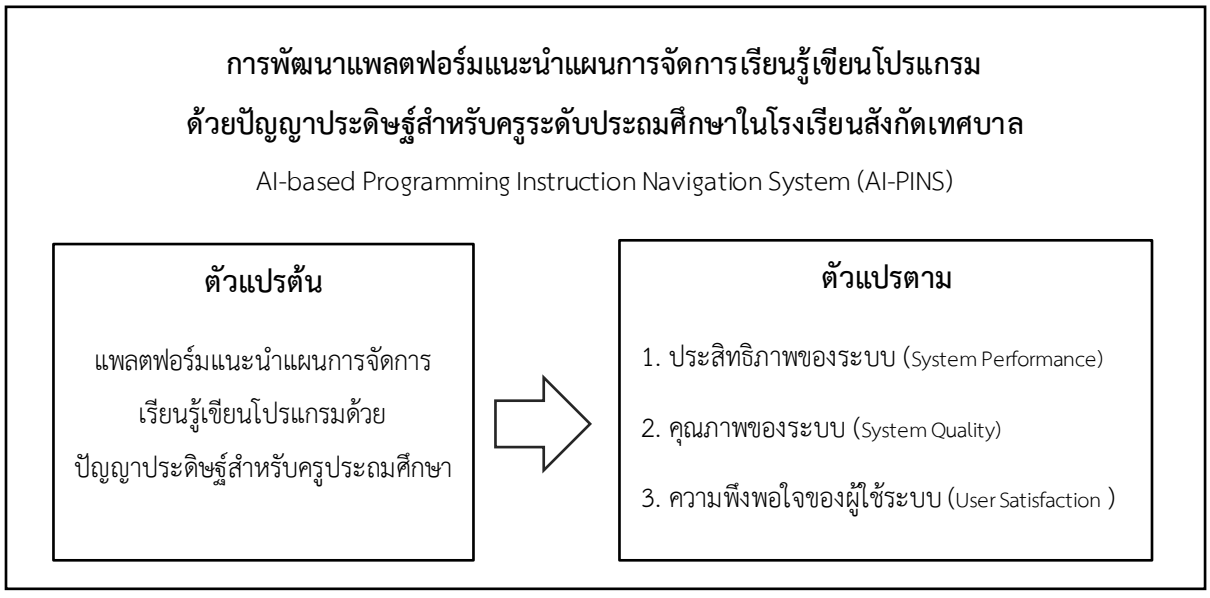
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

4.1 ครูได้กรอบแนวคิดในการพัฒนาแพลตฟอร์มแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมอัจฉริยะที่สามารถใช้เป็นเครื่องมือการจัดการเรียนรู้เพื่อพัฒนาผลการเรียนของนักเรียน

4.2 นักเรียนสามารถพัฒนาทักษะการเรียนรู้เขียนโปรแกรมที่เหมาะสมกับตนเอง และมีผลการเรียนที่ดีขึ้น

4.3 สามารถนำมาประยุกต์เพื่อพัฒนาและออกแบบเป็นระบบเฉพาะของครูผู้สอนได้ในอนาคต

5. กรอบแนวคิดการวิจัย



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยการพัฒนาแพลตฟอร์มแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับครูระดับประถมศึกษาในโรงเรียนสังกัดเทศบาล

จากภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัยในการพัฒนาแพลตฟอร์มแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับครูระดับประถมศึกษาในโรงเรียนสังกัดเทศบาล โดยมีการศึกษาผลลัพธ์ของการใช้งาน 3 องค์ประกอบ ได้แก่ คือ 1) ประสิทธิภาพของระบบ 2) คุณภาพของระบบ และ 3) ความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ

6. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ดำเนินการตามกระบวนการวิจัยและพัฒนา โดยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ดังนี้

6.1 ระยะที่ 1 การพัฒนากรอบแนวคิดแพลตฟอร์มแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับครูระดับประถมศึกษาในโรงเรียนสังกัดเทศบาล มีขั้นตอนดังนี้

6.1.1 ศึกษาหลักสูตร ตัวชี้วัด แผนการจัดการเรียนรู้ ทบทวนวรรณกรรมและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งในประเทศและต่างประเทศ

6.1.2 การออกแบบกรอบแนวคิดของระบบแนะนำการสอนอัจฉริยะ

6.1.3 กำหนดความต้องการ (Needs Analysis) ของของครูและผู้เชี่ยวชาญ

6.1.4 สร้างกรอบแนวคิด พร้อมการเชื่อมโยงข้อมูล

6.1.5 ประเมินความเหมาะสมของกรอบแนวคิดโดยผู้เชี่ยวชาญ

6.1.6 การวิเคราะห์ผลการประเมิน

6.2 ระยะที่ 2 การออกแบบและพัฒนาระบบต้นแบบ (System Design & Prototype Development) โดยอิงจากข้อมูลผลการเรียนย้อนหลัง มีขั้นตอนดังนี้

6.2.1 ศึกษาเอกสารและเทคโนโลยีตามกรอบแนวคิด

6.2.2 ออกแบบระบบต้นแบบ (System Design)

6.2.3 สร้าง Dashboard แสดงผลการศึกษาพร้อม feedback loop

6.2.4 ตรวจสอบความถูกต้องของระบบต้นแบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

6.2.5 พัฒนาระบบต้นแบบที่ใช้งานได้ (Prototype Development)

6.2.6 การตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นโดยผู้วิจัย (Researcher Internal Test)

6.2.7 ประเมินประสิทธิภาพของโครงสร้างระบบโดยผู้เชี่ยวชาญ

6.2.8 การวิเคราะห์ผลการประเมิน

6.3 ระยะที่ 3 การประเมินระบบต้นแบบโดยผู้ใช้จริง (User Evaluation) มีขั้นตอนดังนี้

6.3.1 กำหนดกลุ่มเป้าหมายผู้ใช้จริง

6.3.2 เตรียมเครื่องมือและระบบต้นแบบ /ทดสอบเชิงเทคนิค

6.3.3 ทดลองใช้งานระบบต้นแบบ (User Testing)

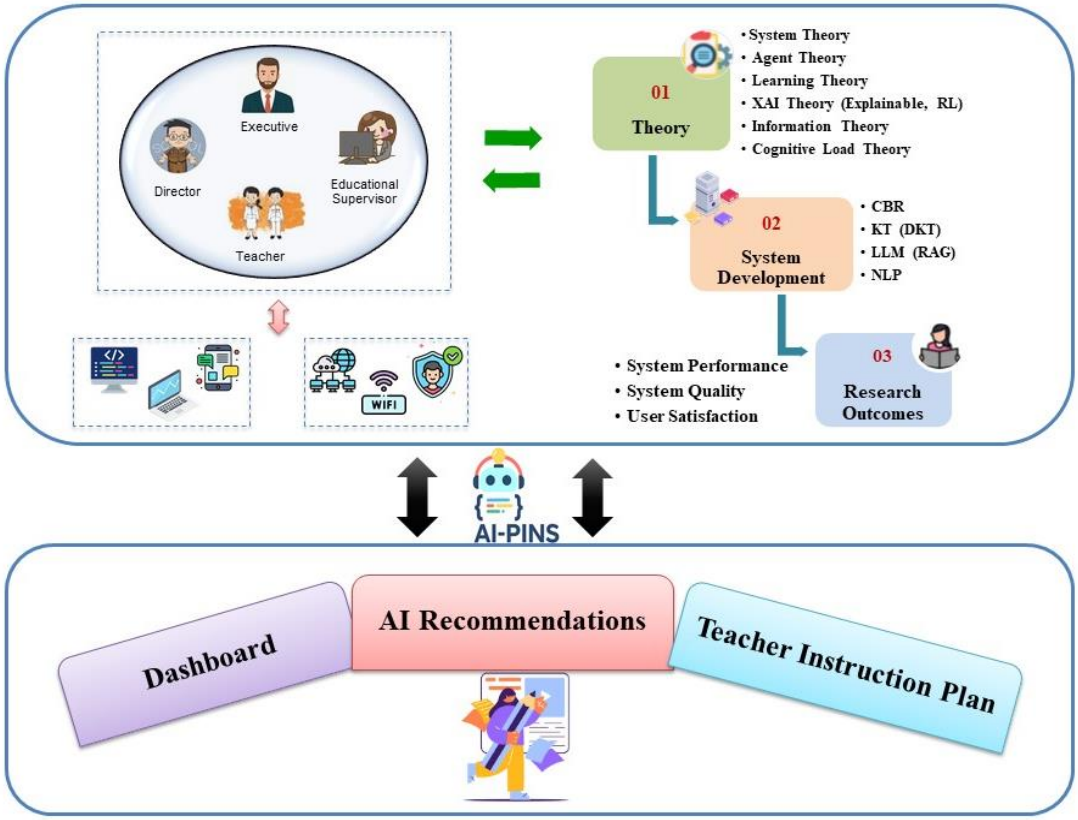
6.3.4 เก็บข้อมูลความพึงพอใจและข้อเสนอแนะการปรับปรุงระบบ

6.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

6.3.6 สรุปและรายงานผลการวิจัย

7. ผลการวิจัย

สถาปัตยกรรมระบบของแพลตฟอร์มแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับครูประถมศึกษา (System Architecture of AI-PINS) มีองค์ประกอบดังนี้



ภาพที่ 2 System Architecture Framework :
AI-PINS (AI-based Programming Instruction Navigation System)

บทความเรื่อง การพัฒนาและประเมินความเหมาะสมของแพลตฟอร์มแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับครูระดับประถมศึกษา อยู่ระหว่างการเผยแพร่วารสาร (ตีพิมพ์ใน Journal of Theoretical and Applied Information Technology ช่วงเวลาเดือนมีนาคม ถึง เดือนเมษายน ปี ค.ศ.2026)

จากภาพที่ 2 สถาปัตยกรรมระบบ AI-PINS (AI-based Programming Instruction Navigation System) ได้มีการพัฒนาเพื่อใช้แนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมด้วยปัญญาประดิษฐ์สำหรับครูระดับประถมศึกษาในโรงเรียนสังกัดเทศบาล โดยกำหนดโครงสร้างหลัก 4 โมดูล ได้แก่ 1) Theory Layer 2) System Development Layer 3) Research Outcome Layer 4) Evaluation Dimension ซึ่งเชื่อมโยงกันด้วยกลไก Feedback Loop ทำให้ระบบสามารถเรียนรู้และปรับปรุงตนเองได้อย่างต่อเนื่อง ประกอบด้วย

1. Theory Layer ทฤษฎีนี้เป็นชั้นความคิด (Conceptual Foundation) ในการพัฒนาแพลตฟอร์ม AI-PINS มีฐานทฤษฎีหลัก 6 ประการ ประกอบด้วย

1.1. System Theory (IPOF Model) แนวคิดระบบ (System Theory) เป็นการเรียนรู้พื้นฐานที่ทำให้ AI-PINS มีความเป็นระบบซึ่งแต่ละส่วนต้องทำงานเชื่อมโยงกัน กำหนดโครงสร้างการทำงานและการเชื่อมโยงระหว่างองค์ประกอบของกระบวนการ Input–Process–Output–Feedback (IPOF) ซึ่งแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์ต่อเนื่องและส่งผลต่อกัน โดยข้อมูลนำเข้าคือผลการเรียนและข้อมูลผู้สอน ส่วนกระบวนการคือการวิเคราะห์ข้อมูลด้วย AI Agent Core ผลลัพธ์คือการสร้างคำแนะนำแผนการสอน และ Feedback ใช้เพื่อปรับปรุงโมเดลในรอบถัดไป ซึ่งมีงานวิจัยยืนยันว่าโมเดล IPOF เป็นฐานที่สำคัญสำหรับการพัฒนาระบบช่วยสอนด้วย AI [30] ดังนั้นกรอบ IPOF จึงทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักในการออกแบบระบบที่เรียนรู้และพัฒนาได้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่อง

1.2. Agent Theory (Perceive–Decide–Act–Learn Cycle) เป็นทฤษฎีของ AI-Agent ที่ตัดสินใจและเรียนรู้ได้ด้วยตัวเอง มีวงจรการทำงานที่ประกอบด้วยขั้นตอน Perceive–Decide–Act–Learn ซึ่งทำให้ระบบมีความสามารถในการรับรู้ วิเคราะห์ ตัดสินใจ และเรียนรู้จากผลการใช้งานจริง เพื่อปรับปรุงคุณภาพการแนะนำอย่างต่อเนื่อง งานวิจัยด้าน agent-based learning systems ในระดับ K–12 ระบุว่าตัวแทนอัจฉริยะช่วยสนับสนุนการเรียนรู้และงานสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [31], [32] ซึ่งวงจรนี้ถูกนำมาปรับใช้ใน AI-Agent Core ของระบบ AI-PINS เพื่อให้รับรู้สถานการณ์ของการเรียนรู้ วิเคราะห์ ตัดสินใจ และเสนอแนวทางปฏิบัติที่เหมาะสมต่อบริบทโรงเรียน แนะนำการสอนแบบอัตโนมัติอย่างมีเหตุผล และปรับตัวตามข้อมูลจริงในห้องเรียนตามข้อจำกัดเชิงเวลาในตารางเรียน

1.3. Learning Theory (Experiential and Adaptive Learning) ทำหน้าที่ในการกำหนดแนวทางแนะนำของ AI-PINS ใช้แนวคิดการเรียนรู้จากประสบการณ์ (Experiential Learning) และการเรียนรู้แบบปรับตัว (Adaptive Learning) เพื่อจำลองการเรียนรู้ของครูและนักเรียนในบริบทจริงที่เหมาะสมตามพัฒนาการของเด็กประถมศึกษา ทำให้ AI-PINS สามารถสร้างแผนการสอนที่ตรงกับความต้องการได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยด้าน Knowledge Tracing และ Deep Knowledge Tracing ที่พบว่าสามารถติดตามพัฒนาการผู้เรียนและช่วยวิเคราะห์ความเข้าใจได้แม่นยำขึ้น [33], [34] นำไปสู่การเรียนรู้ที่ลึกซึ้งและส่งเสริมทักษะคิดเชิงคำนวณ (Computational Thinking) ช่วยให้ครูสามารถสะท้อนผลการสอน (Reflective Practice) ได้อย่างเป็นระบบ

1.4. Explainable AI Theory (XAI/RL) เป็นการช่วยระบบ AI-PINS แสดงเหตุผลหรือหลักฐานประกอบการแนะนำ (Evidence-based Recommendation) เช่น การอธิบายว่าเหตุใดจึงเลือกแผนการสอนหนึ่งมากกว่าอีกแผนจากคะแนนก่อนเรียนที่ต่ำกว่าเกณฑ์ในหน่วยการเรียนรู้นั้น หรือพฤติกรรมการตอบคำถามของผู้เรียนที่สะท้อนว่าต้องทบทวนแนวคิดพื้นฐาน งานวิจัยด้าน

Explainable AI for Education ระบุว่า XAI เพิ่มความโปร่งใส ความเชื่อมั่น และการยอมรับของครูในการใช้ระบบ AI ในการสอน [35], [36] ขณะเดียวกันเทคนิค Reinforcement Learning ช่วยให้ระบบเก็บสะสมผลการใช้งานจริงเพื่อพัฒนาคุณภาพคำแนะนำในรอบถัดไป [37], [38] ทำให้ AI-PINS เป็นระบบที่ทั้งอธิบายได้ โปร่งใส และปรับตัวตามข้อมูลจริงได้อย่างต่อเนื่อง

1.5. Information Theory เป็นการจัดการข้อมูลของระบบ AI-PINS เพื่อให้การบริหารคุณภาพของข้อมูล (Data Quality) ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ไม่เกิดการบิดเบือน ระบบต้องคัดกรองข้อมูลจำนวนมากจากคะแนนผู้เรียน ผลงานย้อนหลัง แผนการจัดการเรียนรู้ และกิจกรรมฝึกทักษะ เพื่อให้โมดูล AI ประมวลผลเฉพาะข้อมูลส่วนที่ช่วยต่อยอดการตัดสินใจได้จริง ซึ่งเป็นแกนสำคัญในการออกแบบ Dashboard ที่ช่วยลดภาระการคิดและเพิ่มความเข้าใจของครู งานวิจัยด้าน Visualization Literacy และ Dashboard for Teachers ระบุว่าการออกแบบที่ดีสามารถช่วยลด Cognitive Load และเพิ่มสมรรถนะในการวิเคราะห์ข้อมูลของครูได้อย่างสมบูรณ์ [39]

1.6. Cognitive Load Theory มีบทบาทสำคัญในการออกแบบประสบการณ์ใช้งานของครูบน AI-PINS ยึดหลักการลดภาระทางปัญญา (Cognitive Load) ของ Sweller เพื่อให้ระบบลดภาระงานที่ต้องใช้ความจำหรือเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล ช่วยให้การออกแบบ Dashboard และอินเทอร์เฟซมีความเข้าใจง่าย แสดงข้อมูลด้วยภาพ กราฟ และสรุปสถิติเชิงวิเคราะห์ได้ทันที ซึ่งงานวิจัยด้าน Learning Analytics Dashboards ระบุว่าการแสดงผลที่ออกแบบดีช่วยตัดสินใจได้เร็วขึ้นและลดภาระทางปัญญาอย่างมีประสิทธิภาพ [40], [41]

2. System Development Dimension (มิติการพัฒนาระบบ) ใช้ Data Management & Integration เพื่อรวบรวมและประมวลผลข้อมูลย้อนหลังของนักเรียนและครู จากนั้นเข้าสู่ AI Agent Core ที่ใช้เทคนิค AI หลายรูปแบบ ได้แก่ Deep Knowledge Tracing (DKT) [33] Case-Based Reasoning (CBR) Natural Language Processing (NLP) Retrieval-Augmented Generation (LLM+RAG) [34] Recommender System และ Reinforcement Learning [37], [38] ผลลัพธ์ระบบนำเสนอผ่านDashboard for Learning Analytics และ Instructional Recommendations for Teachers ที่รายงานผลภาพรวม เพื่อแนะนำแผนการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมตามผลการเรียนรู้ของผู้เรียนจากแบบบันทึกหลังสอน [41] มีกระบวนการหลัก 3 ขั้นตอนประกอบด้วย

2.1. Data Management & Integration ทำหน้าที่รวบรวมและบูรณาการข้อมูลจากหลายแหล่ง เช่น คะแนนย้อนหลัง แผนการสอน และตัวชี้วัดผลลัพธ์การเรียนรู้ ข้อมูลทั้งหมดจะถูกจัดเก็บในคลังข้อมูลกลาง (Data Warehouse) เพื่อให้พร้อมสำหรับการประมวลผล [41] ในกระบวนการนี้รับรองความปลอดภัยของข้อมูลด้วยการเข้ารหัสและควบคุมสิทธิ์การเข้าถึง (RBAC/ABAC)

2.2. AI Agent Core เป็นศูนย์กลางการตัดสินใจของระบบ เพื่อสร้างและแนะนำแผนการสอน [31], [41] ประกอบด้วยเทคนิคสำคัญ ได้แก่ (1) Deep Knowledge Tracing (DKT)

วิเคราะห์พัฒนาการของผู้เรียนตามเวลา สำหรับติดตามการเรียนรู้ (2) Case-Based Reasoning (CBR) ใช้กรณีคล้ายกันในการให้คำแนะนำเพื่อวิเคราะห์กรณีที่ใกล้เคียง (3) Natural Language Processing (NLP) ใช้วิเคราะห์ข้อความเพื่อทำความเข้าใจภาษาของผู้สอน (4) Retrieval-Augmented Generation (RAG/LLM) ใช้ในการดึงข้อมูลจริงมาสนับสนุนการสร้างคำตอบของโมเดล (5) Recommender System ใช้จัดลำดับความเหมาะสมของกิจกรรมและสื่อการเรียน (6) Reinforcement Learning (RL) ปรับปรุงการตัดสินใจโดยอิงจากการรับรางวัลและการบันทึกผลหลังการสอน สำหรับปรับกลยุทธ์จากผลลัพธ์การเรียนรู้ [37], [38]

2.3. System Outputs ผลลัพธ์ของระบบแบ่งเป็นสองส่วนหลัก ได้แก่ (1) Dashboard for Learning Analytics เพื่อแสดงภาพรวมผลการเรียนรู้ของนักเรียนแต่ละกลุ่ม [40], [41] (2) Instructional Recommendations for Teachers เป็นระบบแนะนำแผนการสอน กิจกรรมการสอน และสื่อการสอน โดยทั้งสองส่วนทำงานร่วมกับโมดูล XAI เพื่อให้ระบบเลือกแผนการสอนให้ครูและตรวจสอบที่มาของคำแนะนำได้ [35], [36]

2.4. Feedback & Optimization ระบบได้นำ Active Learning และ MLOps Monitoring มาใช้เพื่อการเรียนรู้และปรับปรุงโมเดลอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยข้อมูลย้อนกลับจากผู้ใช้ทำให้ระบบสามารถเรียนรู้จากการใช้งานจริง พัฒนาให้แม่นยำมากขึ้น และปรับได้ตามบริบทการใช้งาน [40], [41]

2.5. User & Environment ทำหน้าที่เชื่อมโยงระบบ AI-PINS กับสภาพแวดล้อมการทำงานจริงในโรงเรียนสังกัดเทศบาล โดยมีผู้ใช้หลัก 3 กลุ่ม คือ (1) ครูผู้สอน ใช้ AI-PINS Dashboard วิเคราะห์ผลการเรียนและปรับแผนการจัดการเรียนรู้ ผ่าน XAI เพื่อให้ครูเข้าใจและสามารถปรับการสอนได้ตรงตามหลักสูตร [30], [31], [32] (2) ศึกษานิเทศก์ เป็นผู้ประสานการเรียนรู้ระหว่างครูและนโยบาย (Advisory Layer) โดยใช้ AI-PINS วิเคราะห์คุณภาพการสอนและให้คำแนะนำเชิงกลยุทธ์ (Supervisors) [33], [34] และ (3) ผู้บริหารสถานศึกษา เป็นผู้ใช้ในระดับนโยบาย (Strategic Level) โดยใช้ระบบ AI-PINS Decision Support System (DSS) เพื่อวิเคราะห์ ประมวลผลข้อมูลภาพรวมของโรงเรียน เพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหารให้สอดคล้องกับนโยบายการศึกษาของเทศบาล [35], [36] ซึ่งแต่ละกลุ่มมีบทบาทเฉพาะในการใช้ระบบ โดยระบบทั้งหมดทำงานในสภาพแวดล้อมดิจิทัลของโรงเรียน (Municipal School Digital Ecosystem) และเชื่อมโยงข้อมูลผ่าน Dashboard, Recommender Engine และ Decision Support System (DSS).

3. Research Outcomes Dimension (มิติผลลัพธ์การวิจัย)

3.1. Technical Outcomes ผลการทำงานของระบบมีการประเมินผลลัพธ์ด้วยตัวชี้วัดเชิงเทคนิค ได้แก่ Accuracy, Precision, Recall และ F1-score เพื่อวัดความถูกต้อง ตรวจสอบประสิทธิภาพ และความเสถียรของโมเดล [42] ในการทำนายและแนะนำการเรียนรู้ที่ถูกต้อง โดยผ่านการทดสอบแบบ Cross-Validation และ Confusion Matrix Analysis เพื่อยืนยันความแม่นยำ

3.2. Application Outcomes ระบบสามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงในชั้นเรียนให้ผลลัพธ์ในรูปแบบของแผนการสอนการประเมินอัตโนมัติ และระบบสนับสนุนการตัดสินใจเชิงนโยบาย (DSS) เพื่อช่วยครูในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ และผู้บริหารในการกำหนดนโยบายทางการศึกษา [43], [44], [45]

4. Evaluation Dimension (มิติการประเมินผล) เป็นการประเมินเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ เพื่อยืนยันความเที่ยงตรง ความเสถียรของโมเดล และเครื่องมือที่ใช้ในการประเมิน ประกอบด้วย

4.1. Quantitative Evaluation ใช้ตรวจสอบความถูกต้อง ความน่าเชื่อถือ และความเหมาะสมเชิงสถิติ ได้แก่

4.1.1. Appropriateness ความเหมาะสมของกรอบแนวคิด วัดโดยใช้แบบสอบถามความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญ (Likert 5 ระดับ) เพื่อประเมินความเหมาะสมของแต่ละองค์ประกอบ แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อสรุปแนวโน้มของข้อมูลเชิงปริมาณ [46]

4.1.2. Content Validity ความตรงเชิงเนื้อหา ตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ 5 คนขึ้นไป เพื่อคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) ของคำถามแต่ละข้อ ใช้วัดความเหมาะสมและความเชื่อมั่นของระบบว่าเนื้อหานั้นมีความถูกต้องและตรงตามวัตถุประสงค์ [47], [48]

4.1.3. Statistical Reliability & Validation ใช้สถิติขั้นสูงในการวิเคราะห์และตรวจสอบคุณภาพของเครื่องมือ ได้แก่ ค่าความเชื่อมั่น (Reliability) ด้วย Cronbach's Alpha (มีค่า ≥ 0.90) การวิเคราะห์ปัจจัย CFA เพื่อยืนยันว่าโครงสร้างของมิติการประเมินที่ออกแบบไว้ในทางทฤษฎี มีความสอดคล้องกับข้อมูลจริงทางสถิติ และตัวชี้วัดประสิทธิภาพ (KPI) สำหรับประเมินคุณภาพของระบบโดยรวม [48], [49], [50]

4.2. Qualitative Evaluation ใช้ตรวจสอบและยืนยันคุณภาพของระบบว่ามีความเหมาะสม (Appropriate) น่าเชื่อถือ (Trustworthy) และใช้งานได้จริง (Practical) ประกอบด้วย

4.2.1. Expert Opinions & Recommendations ตรวจสอบความเหมาะสม ความถูกต้อง และความครบถ้วนของระบบ โดยเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์เชิงลึก (In-Depth Interview) เพื่อสรุปเชิงเนื้อหา (Thematic Summary) และการสนทนากลุ่ม (Focus Group Discussion) เพื่อจัดหมวดหมู่คำตอบ (Coding & Categorization) แล้วให้ข้อเสนอแนะเชิงปรับปรุงก่อนนำระบบไปใช้จริง [51], [52]

4.2.2. Usability/Acceptance เป็นการประเมินความสะดวก ความเข้าใจง่าย และระดับการยอมรับ โดยเก็บข้อมูลจากแบบประเมินความพึงพอใจ (Usability Test) ตามโมเดล TAM 4.0 ร่วมกับการสังเกต หรือการสัมภาษณ์หลังใช้งานระบบ [49], [53] เพื่อปรับปรุงและยืนยันความสมบูรณ์ของระบบ

5. การประเมินกรอบแนวคิดของระบบอัจฉริยะ (AI-PINS) เป็นการออกแบบภายใต้แนวคิด Evaluation Dimensions for the Conceptual Framework of AI Agent-Based Intelligent System Development ครอบคลุม 5 มิติหลัก ได้แก่ (1) System Quality (2) Intelligence Quality (3) Decision Quality (4) Learning Quality และ (5) User & Environment Quality เพื่อประเมินระบบแนะนำการจัดการเรียนรู้เขียนโปรแกรมสำหรับครูระดับประถมศึกษา ประกอบด้วย

1) System Quality (คุณภาพของระบบ) วัดประสิทธิภาพ ความเสถียร ความปลอดภัย และความเหมาะสมของระบบ AI-PINS ในเชิงเทคนิค และใช้ตรวจสอบความสอดคล้องและความเชื่อมั่นของตัวชี้วัด เช่น ความเร็วในการประมวลผล การเชื่อมต่อฐานข้อมูลย้อนหลัง และความสามารถในการแสดง Dashboard [54], [55], [56] เพื่อประเมินความครบถ้วนของโครงสร้างระบบ และความสามารถในการทำงานตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้ โดยรองรับการทำงานในสภาพแวดล้อมจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งรวมถึงการบูรณาการโมดูล IPOF และ AI Agent Core เข้าด้วยกันอย่างเหมาะสม

2) Intelligence Quality (คุณภาพเชิงปัญญาประดิษฐ์) มุ่งเน้นประสิทธิภาพของโมเดล ความน่าเชื่อถือ และความอัจฉริยะของ AI Agent (Perceive–Decide–Act–Learn) ในการวิเคราะห์ข้อมูลและให้คำแนะนำอย่างแม่นยำ โดยใช้ CBR, KT, และ RAG เพื่อให้ระบบมี Explainable AI (XAI) ที่สามารถอธิบายเหตุผลการแนะนำได้ ต้องรองรับเทคนิคของ ML และ NLP ที่เหมาะสมต่อสภาพข้อมูลตามบริบทจริง และปรับตัวกับข้อมูลใหม่ได้อย่างต่อเนื่อง [57], [58], [59], [60]

3) Decision Quality (คุณภาพของการตัดสินใจ) ให้เหตุผลในการตัดสินใจตามที่ AI สร้างหรือแนะนำ สามารถอธิบายได้ (Explainable) และเชื่อถือได้ (Validated) เพื่อวัดความถูกต้อง ความโปร่งใส และความสามารถในการสนับสนุนการตัดสินใจของระบบ เช่น การแนะนำแผนการสอน การจัดลำดับ Learning Path และการให้ Feedback เชิงวิเคราะห์โดยใช้ Explainable Decision Module แสดงเหตุผลของการตัดสินใจ และ Rule-based Validation ตรวจสอบความถูกต้องของคำแนะนำด้วยตรรกะ เพื่อให้ครูเข้าใจการตัดสินใจของระบบ รวมถึงการสร้างผลลัพธ์ที่มีเหตุผลและเหมาะสมกับบริบทจริง [54], [58], [60], [61]

4) Learning Quality (คุณภาพของการเรียนรู้หรือการปรับตัว) เน้นความสามารถของระบบในการเรียนรู้จากข้อมูลและเชิงประสบการณ์ (Feedback Loop/ Experiential Learning) เพื่อปรับปรุงการทำงานจากข้อมูลย้อนกลับอย่างต่อเนื่อง รวมถึงการประยุกต์ใช้กระบวนการ MLOps และการตรวจสอบคุณภาพเพื่อให้ระบบสามารถพัฒนาและปรับการเรียนรู้ได้ตลอด โดยมีส่วนประเมินผล AI-PINS ต่อการเรียนรู้ ได้แก่ การพัฒนาทักษะการคิดเชิงคำนวณ (CT) และ Debugging

Skills ของนักเรียน รวมถึงการออกแบบแผนการสอนที่สอดคล้องกับ Learning Outcomes (LOs) ของหลักสูตร OBEC และวัดความพึงพอใจ [55], [56], [59]

5) User & Environment Quality (คุณภาพด้านผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม) วัดความง่ายในการใช้งาน (Usability) ความเข้าใจระบบ (Understandability) และระดับการยอมรับของผู้ใช้ (Acceptance) วัดความพึงพอใจว่าระบบตอบสนองตามนโยบายและบริบทโรงเรียนเทศบาล ใช้กรอบ Technology Acceptance Model (TAM 4.0) เพื่อวัด 1) PU การรับรู้ประโยชน์ แสดง Dashboard สรุปแผนการจัดการเรียนรู้และผลคะแนนนักเรียน 2) PEOU ความง่ายในการใช้งาน ไม่ซับซ้อน 3) TR ความไว้วางใจความแม่นยำ โปร่งใส ปลอดภัย 4) BI ความต่อเนื่องในการใช้ และแนะนำให้ใช้ต่อในภาคเรียนถัดไป รวมถึงการสัมภาษณ์ศึกษานิเทศก์และผู้บริหารเพื่อวิเคราะห์ความพร้อมในการนำไปใช้จริง [54], [56], [57], [61]

ในการประเมิน 5 มิติของกรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นนี้ แสดงให้เห็นว่ากรอบแนวคิด AI-PINS มีความครบถ้วนทั้งเชิงเทคนิค เชิงการสอน และเชิงนโยบายในการนำไปใช้จริง ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการนำ AI-PINS ไปใช้ในบริบทของโรงเรียนเทศบาลได้ชัดเจน และสามารถเชื่อมโยงโครงสร้างทางทฤษฎีร่วมกับการประยุกต์ใช้จริงในโรงเรียนเทศบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้เกิดการยอมรับและความเชื่อมั่นของครูผู้ใช้ระบบอย่างยั่งยืน

6. การตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญ (Expert Validation)

ดำเนินการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ 2 กลุ่ม ประกอบด้วย (1) ประเมินดัชนีความสอดคล้องเชิงวัตถุประสงค์ (IOC) จำนวน 5 คน เพื่อวัดความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ของตัวแปร 5 มิติก่อนนำไปประเมินจริง (2) ประเมินกรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้น จำนวน 15 คน แบ่งออกเป็น 3 ด้าน ๆ ละ 5 คน ได้แก่ 2.1) ด้านระบบและเทคนิค (System & Technical Experts) 2.2) ด้านปัญญาประดิษฐ์และการตัดสินใจ (AI & Decision-Making Experts) 2.3) ด้านผู้ใช้และการประกันคุณภาพ (User & Quality Assurance Experts) โดยใช้แบบสอบถามมาตราส่วน Likert Scale 5 ระดับ ครอบคลุม 5 มิติการประเมิน [62], [63], [64]

7. เครื่องมือวิจัย (Instruments) และการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

ข้อมูลที่ได้จากการประเมินกรอบแนวคิดทั้ง 5 มิติโดยผู้เชี่ยวชาญ จะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) และค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงวัตถุประสงค์ (IOC) เพื่อวัดระดับความเห็นของผู้เชี่ยวชาญว่าเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมในแต่ละมิติ [62], [64], [65] ผลจากการวิเคราะห์ใช้เพื่อยืนยันความสอดคล้องเชิงโครงสร้าง (structural congruence) ของกรอบแนวคิด ก่อนที่จะนำไปพัฒนาเป็นระบบต้นแบบต่อไป [63], [66]

การวิเคราะห์ข้อมูลของระบบ AI-PINS เป็นการตรวจสอบความถูกต้อง ความสอดคล้อง และประสิทธิภาพของระบบทั้งกรอบแนวคิดและระบบต้นแบบโดยใช้ 1) สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เพื่อสรุปแนวโน้มความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผู้ใช้งาน [62], [64], [65] 2) สถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) ได้แก่ ดัชนีความสอดคล้องเชิงวัตถุประสงค์ (IOC) เพื่อวัดความตรงของเครื่องมือ การทดสอบ t-test เพื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้งานระบบ [65] และ Efficiency Index (E_1/E_2) ในการวัดประสิทธิภาพของระบบต้นแบบเพื่อยืนยันความเหมาะสมในการนำไปใช้จริง [63], [66], [67]

8. ผลลัพธ์ (Result)

ผลการประเมินความเหมาะสมของกรอบแนวคิดโดยผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 15 คน ปรากฏข้อมูลตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการประเมินความเหมาะสมของกรอบแนวคิดโดยผู้เชี่ยวชาญ

รายการ	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
1. System Quality	4.72	*0.16*	มากที่สุด
1.1 โครงสร้างตามโมเดล IPOF มีความครบถ้วนและเชื่อมโยงกัน	4.80	*0.41*	มากที่สุด
1.2 การออกแบบสถาปัตยกรรมระบบสามารถรองรับข้อมูลและการทำงานในสภาพแวดล้อมจริงได้	4.67	*0.49*	มากที่สุด
1.3 ระบบมีความยืดหยุ่นและปรับขยายเพื่อรองรับความต้องการใหม่ ๆ ได้	4.67	*0.49*	มากที่สุด
1.4 การบูรณาการทฤษฎีพื้นฐานกับการออกแบบมีความสอดคล้องกัน	4.73	*0.46*	มากที่สุด
2. Intelligence Quality	4.65	*0.23*	มากที่สุด
2.1 AI Agent มีความสามารถในการรับรู้ วิเคราะห์ ตัดสินใจ และกระทำ (Perceive–Decide–Act–Learn) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ	4.73	*0.46*	มากที่สุด
2.2 ระบบ AI มีการใช้เทคนิคที่หลากหลาย (ML, NLP, RAG, XAI) อย่างเหมาะสมกับวัตถุประสงค์	4.60	*0.51*	มากที่สุด
2.3 AI เรียนรู้และปรับตัวจากข้อมูลใหม่และ Feedback ได้ต่อเนื่อง	4.60	*0.51*	มากที่สุด
2.4 การออกแบบ AI Core มีความทันสมัยและสอดคล้องกับมาตรฐานสากล	4.67	*0.49*	มากที่สุด
3. Decision Quality	4.80	*0.17*	มากที่สุด
3.1 การตัดสินใจที่ได้จากระบบมีความถูกต้อง เชื่อถือได้ และอธิบายได้	4.87	*0.35*	มากที่สุด
3.2 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีความโปร่งใสและตรวจสอบย้อนกลับได้	4.67	*0.49*	มากที่สุด
3.3 ผลลัพธ์การตัดสินใจสอดคล้องกับความต้องการและปัญหาของผู้ใช้จริง	4.87	*0.35*	มากที่สุด

รายการ	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความเหมาะสม
4. Learning Quality	4.67	*0.44*	มากที่สุด
4.1 ระบบสามารถเรียนรู้เชิงประสบการณ์และปรับตัวต่อสิ่งแวดล้อมได้	4.67	*0.49*	มากที่สุด
4.2 AI Agent มีการเรียนรู้จากข้อมูลย้อนหลังและข้อมูลป้อนกลับเพื่อพัฒนาความแม่นยำและประสิทธิภาพ	4.67	*0.49*	มากที่สุด
4.3 ระบบนำ MLOps มาใช้ตรวจสอบเพื่อปรับปรุงคุณภาพการทำงาน	4.67	*0.49*	มากที่สุด
5. User & Environment Quality	4.53	*0.39*	มากที่สุด
5.1 ระบบได้รับการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งานของผู้ใช้จริง	4.53	*0.52*	มากที่สุด
5.2 ผู้ใช้สามารถเข้าถึงระบบได้ง่าย ปลอดภัย และสะดวกต่อการใช้งาน	4.60	*0.51*	มากที่สุด
5.3 ระบบได้ออกแบบโดยคำนึงถึงการยอมรับจากผู้ใช้ตามโมเดล TAM	4.47	*0.52*	มาก
สรุปภาพรวม	**4.67**	**0.13**	**มากที่สุด**

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินความเหมาะสมของกรอบแนวคิด AI-PINS (AI-based Programming Instruction Navigation System) ของผู้เชี่ยวชาญจำนวน 15 คน ครอบคลุม 5 มิติหลัก พบว่ามีความเหมาะสมโดยรวมอยู่ในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.67, S.D. = 0.13) แสดงถึงความสมบูรณ์ของโครงสร้างตามโมเดล IPOF และความสามารถในการบูรณาการทฤษฎีพื้นฐานกับสถาปัตยกรรมระบบ AI ได้อย่างลงตัว ระบบสามารถรองรับการประมวลผลข้อมูลจริง มีความยืดหยุ่นและปรับขยายเพื่อรองรับความต้องการใหม่ ๆ ได้ดี ทั้งนี้ มิติด้านคุณภาพเชิงปัญญาและการตัดสินใจของ AI-PINS ได้รับการประเมินในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.65 และ 4.80 ตามลำดับ) เนื่องจากระบบสามารถประมวลผลด้วยเทคนิค ML, NLP, RAG และ XAI ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมให้เหตุผลผ่านโมดูล Explainable Decision ซึ่งสอดคล้องกับข้อค้นพบในงานวรรณกรรมของ Zaid M. Altukhi (2024/2025) [68] ที่ระบุว่าระบบ AI ทางการศึกษาควรมีกลไกอธิบายได้เพื่อลดความคลุมเครือของผลลัพธ์ นอกจากนี้ ผลการประเมินยังชี้ว่าระบบมีศักยภาพด้านการเรียนรู้และพัฒนาอย่างต่อเนื่องผ่านกระบวนการ MLOps Monitoring ซึ่งสอดคล้องกับแนวทาง Human-Centric XAI ของ Subhankar Maity (2024) [69] ที่เน้นให้ผู้ใช้เกิดการเรียนรู้จากเหตุผลของระบบ และในด้านความเหมาะสมต่อผู้ใช้และสภาพแวดล้อม ($\bar{x}$ = 4.53) ผู้เชี่ยวชาญเห็นว่าระบบมีความปลอดภัย ใช้งานง่าย และสอดคล้องกับปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีในสถานศึกษา โดยเฉพาะเมื่อระบบสามารถอธิบายการทำงานได้อย่างเข้าใจง่ายตามข้อเสนอของ Sachini Gunasekara (2025) [70] ส่งผลให้กรอบแนวคิด AI-PINS มีความแข็งแรงทั้งเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ และตอบโจทย์การออกแบบระบบ AI ทางการศึกษายุคใหม่ที่ต้องโปร่งใส อธิบายได้ เชื่อถือได้ และรองรับการนำไปใช้จริงในโรงเรียนประถมศึกษา อีกทั้งยังสอดคล้องกับโมเดล TAM 4.0 ในด้าน Perceived Usefulness และ Ease of Use ซึ่งสะท้อนถึงระดับการยอมรับเทคโนโลยีที่สูงในบริบทโรงเรียนเทศบาล

งานวิจัยนี้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จากเดิมที่งานวิจัยด้านการศึกษาใช้เพียงปัญญาประดิษฐ์แบบ black-box analytics ที่สามารถให้ “ผลลัพธ์” ได้ แต่ไม่สามารถอธิบายเหตุผลในการได้มาของผลลัพธ์นั้นอย่างชัดเจนว่าตัดสินใจอย่างไร ไม่มีการตรวจสอบเหตุผลหรือความโปร่งใส ดังนั้น AI-PINS จึงได้บูรณาการองค์ประกอบขั้นสูง ได้แก่ Deep Knowledge Tracing (DKT), Case-Based Reasoning (CBR) และ Retrieval-Augmented Generation (RAG) เข้ากับสถาปัตยกรรม IPOF (Input–Process–Output–Feedback) เพื่อสนับสนุนการวางแผนการสอนในบริบทจริงของโรงเรียนประถมศึกษาในสังกัดเทศบาล ยกระดับสู่กรอบการทำงานเชิงระบบที่สนับสนุนการตัดสินใจของครูบนพื้นฐานของความโปร่งใสและความสามารถในการอธิบายผล (Explainable AI) ภายใต้แนวคิด “ครูเป็นศูนย์กลาง” ช่วยเชื่อมโยงการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงลึกกับการปฏิบัติการสอนอย่างโปร่งใสและรับผิดชอบในห้องเรียนจริง และสอดคล้องกับหลักการทางวิชาชีพครูในสถานการณ์จริงของห้องเรียนระดับประถมศึกษา

8. การอภิปรายและการสรุปแนวคิดการวิจัย

ผลการประเมินความเหมาะสมของกรอบแนวคิดระบบอัจฉริยะ AI-PINS (AI-based Programming Instruction Navigation System) โดยผู้เชี่ยวชาญ 15 คน พบว่ามีความเหมาะสมในระดับมากที่สุด ($\bar{X}$ = 4.67, S.D. = 0.13, IOC = 0.95) สะท้อนถึงความครบถ้วนทางทฤษฎี ความสอดคล้องเชิงโครงสร้าง และศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในบริบทโรงเรียนสังกัดเทศบาล โดยเฉพาะมิติ Decision Quality ซึ่งได้คะแนนสูงสุด ($\bar{X}$ = 4.80) แสดงถึงความโปร่งใสและความสามารถในการอธิบายเหตุผลของการตัดสินใจผ่านโมดูล Explainable Decision และ Rule-Based Validation สอดคล้องกับผลการทบทวนวรรณกรรมที่ชี้ว่าระบบ AI ที่ให้เหตุผลอธิบายได้สามารถเพิ่มความเชื่อมั่นและการยอมรับของผู้ใช้ในการสอนโปรแกรม [35] [71] ส่วนมิติ System Quality ($\bar{X}$ = 4.72) และ Intelligence Quality ($\bar{X}$ = 4.65) สะท้อนถึงความเสถียรของสถาปัตยกรรมและศักยภาพการเรียนรู้ของ AI-Agent ผ่านวงจร Perceive–Decide–Act–Learn รวมถึงเทคนิค ML, RAG และ XAI ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า Generative AI มีศักยภาพในการเร่งการเรียนรู้ Python และลดช่องว่างผู้เรียนที่มีพื้นฐานต่างกัน ด้าน Learning Quality ($\bar{X}$ = 4.67) และ User & Environment Quality ($\bar{X}$ = 4.53) สอดคล้องกับกรอบแนวคิด TAM 4.0 ที่เน้นประโยชน์ใช้สอยและความง่ายในการใช้งาน [72] โดยผลประเมินรายข้อให้คะแนนอยู่ในช่วง 4.53–4.87 (S.D. 0.35–0.52) ยกเว้นข้อ 5.3 ซึ่งอยู่ในระดับมาก ทั้งนี้ผลการประเมินโดยรวมยืนยันว่ากรอบแนวคิด AI-PINS มีความตรงเชิงเนื้อหาในระดับสูง (IOC > 0.90) และมีความพร้อมสำหรับการพัฒนาเป็นต้นแบบเพื่อใช้งานจริง โดยสะท้อนการบูรณาการอย่างสมดุลระหว่างความอัจฉริยะของ AI การออกแบบการเรียนรู้ และความเป็นมิตรต่อผู้ใช้ ซึ่งสอดคล้องกับแนวนโยบาย OECD Education 2030 และยุทธศาสตร์ด้าน

การศึกษาดิจิทัลของ DEPA ที่ส่งเสริมการใช้ AI เพื่อยกระดับคุณภาพการเรียนรู้ของครูและนักเรียนในศตวรรษที่ 21

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาและประเมินกรอบงาน AI-PINS ซึ่งเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้านการสอนโดยใช้ปัญญาประดิษฐ์สำหรับการจัดการเรียนการสอนในโรงเรียนประถมศึกษาของเทศบาล ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า AI-PINS สามารถบูรณาการกลไกของเอไอเอเจนต์ (Agentic AI) และการวิเคราะห์การเรียนรู้ เพื่อสนับสนุนการวางแผนการสอนที่โปร่งใส สอดคล้องกับบริบทโรงเรียน โดยได้รับการประเมินความเหมาะสมในระดับสูงจากผู้เชี่ยวชาญในด้านระบบ ความฉลาด และคุณภาพการตัดสินใจ กรอบงานนี้ช่วยลดภาระงานของครูและสอดคล้องกับตัวชี้วัดหลักสูตรได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งยืนยันถึงความเกี่ยวข้องในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้อาจมีข้อจำกัดเนื่องจากการการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญและบริบทของโรงเรียนเทศบาลเฉพาะแห่ง ซึ่งอาจมีข้อจำกัดของข้อมูลในอดีตต่อการนำไปใช้ในโรงเรียนขนาดใหญ่ ภัยคุกคามที่อาจเกิดขึ้นต่อความถูกต้อง หรือการใช้งานในห้องเรียนในระยะยาวที่จำกัด ดังนั้น งานวิจัยในอนาคตควรตรวจสอบความถูกต้องของกรอบงานนี้ผ่านการนำไปใช้ในโรงเรียนขนาดใหญ่และการวิเคราะห์ผลลัพธ์การเรียนรู้ในระยะยาวต่อไป

9. เอกสารอ้างอิง

[1] *Education Policy Outlook 2022*. in Education Policy Outlook. OECD Publishing, 2022. doi: 10.1787/c77c7a97-en.

[2] S. Forsström and M. Bond, “Computational Thinking Assessment in Primary and Secondary Education: A Meta-synthesis of tools, Methods and Pedagogical Approaches,” *International Journal of Computer Science Education in Schools*, vol. 6, no. 4, Nov. 2024, doi: 10.21585/ijcses.v6i4.208.

[3] M. J. Cox and J. Voogt, “A K-6 Computational Thinking Curriculum Framework: Implications for Teacher Knowledge”, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/316597429

[4] S. Y. Huang, W. Tarng, and K. L. Ou, “Effectiveness of AR Board Game on Computational Thinking and Programming Skills for Elementary School Students,” *Systems*, vol. 11, no. 1, Jan. 2023, doi: 10.3390/systems11010025.

[5] R. Bahri *et al.*, “The Impact of Outcome-Based Education on Lecturers’ Professional Growth in Vocational Programs,” *International Journal of*

Academic Research in Progressive Education and Development, vol. 14, no. 1, Mar. 2025, doi: 10.6007/ijarped/v14-i1/24862.

[6] R. Caballero, E. Martin-Martin, A. Riesco, and S. Tamarit, "A unified framework for declarative debugging and testing," *Inf. Softw. Technol.*, vol. 129, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.infsof.2020.106427.

[7] E. Kamburjan, N. Klungre, R. Schlatte, B. Johnsen, and M. Giese, "Programming and Debugging with Semantically Lifted States."

[8] E. Woodruff, "AI Detection of Human Understanding in a Gen-AI Tutor," *AI (Switzerland)*, vol. 5, no. 2, pp. 898–921, Jun. 2024, doi: 10.3390/ai5020045.

[9] J. Ulucan and M. Betul Yilmaz, "Effects of Coding and Robotics Activities on Computational Thinking and Problem-Solving Skills: A Meta Analysis Study," 2024. [Online]. Available: https://www.journalofcomputereducation.info/

[10] A. de Araujo, P. M. Papadopoulos, S. McKenney, and T. de Jong, "Automated coding of student chats, a trans-topic and language approach," *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 4, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.caeai.2023.100123.

[11] A. Aqeel and M. Shree, "Engineering and Technology Impact Factor 7.12 | Vol," *International Advanced Research Journal in Science*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.17148/IARJSET.2023.10116.

[12] B. Idrisov and T. Schlippe, "Program Code Generation with Generative AIs," *Algorithms*, vol. 17, no. 2, Feb. 2024, doi: 10.3390/a17020062.

[13] R. Zazkis, P. Liljedahl, and N. Sinclair, "LESSON PLAYS: PLANNING TEACHING versus TEACHING PLANNING."

[14] Norwanto, "Designing Lesson Plan Based on Critical Thinking for Language Classes."

[15] T. Kabudi, I. Pappas, and D. H. Olsen, "AI-enabled adaptive learning systems: A systematic mapping of the literature," *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 2, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.caeai.2021.100017.

[16] Oyebola Olusola Ayeni, Nancy Mohd Al Hamad, Onyebuchi Nneamaka Chisom, Blessing Osawaru, and Ololade Elizabeth Adewusi, "AI in education: A review of personalized learning and educational technology," *GSC Advanced Research and Reviews*, vol. 18, no. 2, pp. 261–271, Feb. 2024, doi: 10.30574/gscarr.2024.18.2.0062.

[17] S. X. Yin, D. Hoe-Lian Goh, and C. L. Quek, "Collaborative Learning in K-12 Computational Thinking Education: A Systematic Review," *Journal of Educational Computing Research*, vol. 62, no. 6, pp. 1440–1474, Oct. 2024, doi: 10.1177/07356331241249956.

[18] A. O. Sunday, F. J. Agbo, and J. Suhonen, "Co-design Pedagogy for Computational Thinking Education in K-12: A Systematic Literature Review," *Technology, Knowledge and Learning*, vol. 30, no. 1, pp. 63–118, Mar. 2025, doi: 10.1007/s10758-024-09765-y.

[19] G. Adorni *et al.*, "Development of algorithmic thinking skills in K-12 education: A comparative study of unplugged and digital assessment instruments," *Computers in Human Behavior Reports*, vol. 15, Aug. 2024, doi: 10.1016/j.chbr.2024.100466.

[20] M. M. Ibrohim, E. Siregar, and U. A. Chaeruman, "Scratch and Computational Thinking in Elementary School: A Meta-analysis," *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, vol. 15, no. 3, pp. 2703–2715, Jul. 2023, doi: 10.35445/alishlah.v15i3.2326.

[21] A. O. Sunday, F. J. Agbo, J. Suhonen, I. Jormanainen, and M. Tukiainen, "Co-designing to develop computational thinking skills in Nigeria K-12 using scratch," *Educ. Inf. Technol. (Dordr).*, vol. 30, no. 11, pp. 14925–14965, Jul. 2025, doi: 10.1007/s10639-025-13386-y.

[22] G. Kostopoulos, V. Gkamas, M. Rigou, and S. Kotsiantis, "Agentic AI in Education: State of the Art and Future Directions," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 177467–177491, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3620473.

[23] L. A. Dieker *et al.*, "Using an Artificial Intelligence (AI) Agent to Support Teacher Instruction and Student Learning," *78 | JOURNAL OF SPECIAL EDUCATION PREPARATION*, vol. 4, no. 2, 2024, doi: 10.33043/d8x.

[24] J. Mamcenko, E. Kurilovas, E. Kurilovas, and I. Krikun, "On application of case-based reasoning to personalise learning," *Informatics in Education*, vol. 18, no. 2, pp. 345–358, 2019, doi: 10.15388/infedu.2019.16.

[25] M. Skittou, M. Merrouchi, and T. Gadi, "A Recommender System for Educational Planning," *Cybernetics and Information Technologies*, vol. 24, no. 2, pp. 67–85, Jun. 2024, doi: 10.2478/cait-2024-0016.

[26] J. Swacha and M. Gracel, "Retrieval-Augmented Generation (RAG) Chatbots for Education: A Survey of Applications," Apr. 01, 2025, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/app15084234.

[27] Z. Li, Z. Wang, W. Wang, K. Hung, H. Xie, and F. L. Wang, "Retrieval-augmented generation for educational application: A systematic survey," Jun. 01, 2025, *Elsevier B.V.* doi: 10.1016/j.caeai.2025.100417.

[28] J. Cárdenas-Cobo, C. Vidal-Silva, L. Arévalo, and M. Torres, "Applying recommendation system for developing programming competencies in children from a non-weird context," *Educ. Inf. Technol. (Dordr).*, vol. 29, no. 8, pp. 9355–9386, Jun. 2024, doi: 10.1007/s10639-023-12156-y.

[29] P. Garcia-Calvés, J. Sabater-Mir, P. Aramendia, J. Corominas, and B. M. Perez Ruchat, "Recommenders for Improved Lesson Planning in Formal Education," 2023. doi: 10.3233/faia230689.

[30] A. H. Hasan and M. F. Hilmi, "Input Process Output (IPO) AI Chatbot as Personal Learning Assistant for Programming Coursework," *Malaysian Journal of Distance Education*, vol. 22, no. 1, 2022, doi: 10.36777/mjde2022.22.1.2.

[31] S. Zhang, C. D. Jaldi, N. L. Schroeder, A. A. López, J. R. Gladstone, and S. Heidig, "Pedagogical agent design for K-12 education: A systematic review," *Comput. Educ.*, vol. 223, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.compedu.2024.105165.

[32] K. M. Xu *et al.*, "Social presence: A key factor in embedding a pedagogical agent into online learning in primary education," *British Journal of Educational Technology*, 2025, doi: 10.1111/bjet.70006.

[33] D. Kim, S. Kim, and Y. Jo, "Knowledge Tracing in Programming Education Integrating Students' Questions," Jan. 2025, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2502.10408

[34] U. Lee *et al.*, "From Prediction to Application: Language Model-based Code Knowledge Tracing with Domain Adaptive Pre-Training and Automatic Feedback System with Pedagogical Prompting for Comprehensive Programming Education," Aug. 2024, doi: 10.13140/RG.2.2.25134.11847.

[35] H. Khosravi *et al.*, "Explainable Artificial Intelligence in education," *Computers and Education: Artificial Intelligence*, vol. 3, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.caeai.2022.100074.

[36] L. Cabral, R. Pinto, and G. Gonçalves, "AI-powered learning analytics dashboards: a systematic review of applications, techniques, and research gaps," *Discover Education*, vol. 4, no. 1, p. 525, Nov. 2025, doi: 10.1007/s44217-025-00964-y.

[37] Z. Fu, "Integrating Reinforcement Learning with Dynamic Knowledge Tracing for personalized learning path optimization," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-23900-4.

[38] J.-Y. Chen, S. Saeedvand, and I.-W. Lai, "Adaptive Learning Path Navigation Based on Knowledge Tracing and Reinforcement Learning," Jun. 2023, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2305.04475

[39] Y. Liu, S. Pozdniakov, and R. Martinez-Maldonado, "The effects of visualisation literacy and data storytelling dashboards on teachers' cognitive load."

[40] D. A. Sprenger and A. Schwaninger, "Video demonstrations can predict the intention to use digital learning technologies," *British Journal of Educational Technology*, vol. 54, no. 4, pp. 857–877, Jul. 2023, doi: 10.1111/bjet.13298.

[41] M. van Kessel, I. Molenaar, C. A. N. Knoop-Van Campen, M. de Jonge, and N. Saab, "Primary School Teacher Perspectives on Effective Dashboard Use in the Classroom: Skills, Knowledge, and Contextual Conditions," *Journal of Learning Analytics*, vol. 12, no. 2, pp. 279–292, Aug. 2025, doi: 10.18608/jla.2025.8493.

[42] M. C. Okur, "TEACHING OBJECT ORIENTED PROGRAMMING AT THE INTRODUCTORY LEVEL."

[43] J. Whitehill and J. Locasale-Crouch, "Automated Evaluation of Classroom Instructional Support with LLMs and BoWs: Connecting Global Predictions to Specific Feedback."

[44] J. Hu, "Teaching Evaluation System by use of Machine Learning and Artificial Intelligence Methods," *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 16, no. 5, pp. 87–101, 2021, doi: 10.3991/ijet.v16i05.20299.

[45] X. Mao, "Online education quality assessment model based on deep learning," *Discover Artificial Intelligence*, vol. 5, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1007/s44163-025-00421-7.

[46] G. K. Michelon, W. K. G. Assunç, A. Assunção, P. Grünbacher, and A. Egyed, "Analysis and Propagation of Feature Revisions in Preprocessor-based Software Product Lines." [Online]. Available: https://www.sqlite.org/src/info/7b4583f932ff0933

[47] E. Avinç and F. Doğan, "Digital literacy scale: Validity and reliability study with the rasch model," *Educ. Inf. Technol. (Dordr).*, vol. 29, no. 17, pp. 22895–22941, Dec. 2024, doi: 10.1007/s10639-024-12662-7.

[48] J. Alqurni, "Assessing the Usability of E-Learning Software Among University Students: A Study on Student Satisfaction and Performance," *International Journal of Information Technology and Web Engineering*, vol. 18, no. 1, 2023, doi: 10.4018/IJITWE.329198.

[49] C. H. Lai and C. Y. Lin, "Analysis of Learning Behaviors and Outcomes for Students with Different Knowledge Levels: A Case Study of Intelligent Tutoring

System for Coding and Learning (ITS-CAL)," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 4, Feb. 2025, doi: 10.3390/app15041922.

[50] L. Tang, J. Gu, and J. Xu, "Constructing a Digital Competence Evaluation Framework for In-Service Teachers' Online Teaching," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 9, May 2022, doi: 10.3390/su14095268.

[51] M. Yu, "An AI-driven tools assessment framework for english teachers using the Fuzzy Delphi algorithm and deep learning," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-25466-7.

[52] D. Gomes, "A Comprehensive Study of Advancements in Intelligent Tutoring Systems Through Artificial Intelligent Education Platforms," in *Improving Student Assessment With Emerging AI Tools*, IGI Global, 2024, pp. 213–244. doi: 10.4018/979-8-3693-6170-2.ch008.

[53] F. Alhashem, "Development and Psychometric Validation of an E Learning Competency Survey for Educators."," *Educational Point*, vol. 2, no. 2, Nov. 2025, doi: 10.71176/edup/17424.

[54] R. Fiati and D. K. Mutiara N, "INTERNATIONAL JOURNAL ON INFORMATICS VISUALIZATION journal homepage : www.joiv.org/index.php/joiv INTERNATIONAL JOURNAL ON INFORMATICS VISUALIZATION Exploring M-Learning User Information Systems through the Development of a Comprehensive Technology Acceptance Model." [Online]. Available: www.joiv.org/index.php/joiv

[55] S. Kodumuru *et al.*, "Towards developing a learning analytics dashboard for a massive online robotics competition."

[56] C. Wang, J. T. D. Ng, N. P. H. López, and X. Hu, "Preliminary Evaluation of Learning Analytics Dashboard for College Teachers' Online Professional Learning," in *Proceedings - 2024 IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2024*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2024, pp. 83–85. doi: 10.1109/ICALT61570.2024.00030.

[57] Y. Shaengchart, N. Bhumpenpein, and P. Limna, “วารสารสหวิ ทยาการจั ดการ มหา วิ ทยาลั ยราชภั ฏบุ รี รั มย์ Interdisciplinary Journal of Buriram Rajabhat University Determinants of Google’s Gemini AI Chatbot Adoption Among Higher Education Students in Bangkok, Thailand”.

[58] J. Paladines and J. Ramírez, “A systematic literature review of intelligent tutoring systems with dialogue in natural language,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 164246–164267, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3021383.

[59] S. B. P. Utami, N. Riska, R. Rusilanti, and A. Gumelar, “Evaluation of Content Validity for an Educational Media Instrument to Enhance Early Childhood Education (PAUD) Teachers’ Nutrition Knowledge,” *Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran Indonesia (JPPI)*, vol. 5, no. 4, pp. 1801–1808, Aug. 2025, doi: 10.53299/jppi.v5i4.2531.

[60] R. A Rahmat, S. B. Saidi, and N. S. Mohd Nasir, “Content Validity of Digital Knowledge using CVI Method,” *Environment-Behaviour Proceedings Journal*, vol. 9, no. SI20, pp. 21–28, Jul. 2024, doi: 10.21834/e-bpj.v9isi20.6092.

[61] J. Du and D. Dewitt, “Technology acceptance of a wearable collaborative augmented reality system in learning chemistry among junior high school students,” *Journal of Pedagogical Research*, vol. 8, no. 1, pp. 106–119, Mar. 2024, doi: 10.33902/JPR.202425282.

[62] J. M. Soriano-Alcantara, F. D. Guillén-Gámez, and J. Ruiz-Palmero, “Exploring Digital Competencies: Validation and Reliability of an Instrument for the Educational Community and for all Educational Stages,” *Technology, Knowledge and Learning*, vol. 30, no. 1, pp. 307–326, Mar. 2025, doi: 10.1007/s10758-024-09741-6.

[63] N.-H. Kang, J. Eun Yoo, and H. Gwan Kim, “Development and Validation of a Scale of Competency of Digital Age Teaching (SCoDAT) for Preservice Teachers,” *Innovation and Education*, vol. 6, no. 1, pp. 58–77, Jul. 2025, doi: 10.1163/25248502-bja00005.

[64] H. Amin, M. A. Malik, and B. Akkaya, "Development and Validation of Digital Literacy Scale (DLS) and its Implication for Higher Education," 2021.

[65] K. Tzafilkou, M. Perifanou, and A. A. Economides, "Development and validation of students' digital competence scale (SDiCoS)," *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 19, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1186/s41239-022-00330-0.

[66] N. I. K. Naeem, S. N. H. Hadie, I. M. Ismail, and M. S. B. Yusoff, "Development and validation of Digi-MEE Instrument measuring online learning environments in medical education," *Pak. J. Med. Sci.*, vol. 39, no. 6, pp. 1573–1583, Nov. 2023, doi: 10.12669/pjms.39.6.8430.

[67] H. S. Hwang, L. C. Zhu, and Q. Cui, "Development and Validation of a Digital Literacy Scale in the Artificial Intelligence Era for College Students," in *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, Korean Society for Internet Information, Aug. 2023, pp. 2241–2258. doi: 10.3837/tiis.2023.08.016.

[68] Z. M. Altukhi and S. Pradhan, "Systematic Literature Review: Explainable AI Definitions and Challenges in Education Literature Review," 2024.

[69] S. Maity and A. Deroy, "Human-Centric eXplainable AI in Education," Oct. 2024, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2410.19822

[70] S. Gunasekara and M. Saarela, "Explainable AI in Education: Techniques and Qualitative Assessment," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 15, no. 3, Feb. 2025, doi: 10.3390/app15031239.

[71] S. Elnaffar, F. Rashidi, and A. Z. Abualkishik, "Teaching with AI: A Systematic Review of Chatbots, Generative Tools, and Tutoring Systems in Programming Education," Oct. 2025, [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2510.03884

[72] J. Katona and K. I. K. Gyonyoru, "AI-based Adaptive Programming Education for Socially Disadvantaged Students: Bridging the Digital Divide," *TechTrends*, Sep. 2025, doi: 10.1007/s11528-025-01088-8.