

ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี: ศักยภาพ จริยธรรม
และสมรรถนะผู้สอนในศตวรรษที่ 21

Artificial Intelligence in Science and Technology Education: Potential, Ethics, and
Educator Competency for the 21st Century

สาริซ พูลเทพ^{1,*} คณิต เขียววิชัย และไพรินทร์¹ ไทยสงเคราะห์²
Saroj Pullteap^{1,*}, Kanit Kheovichai¹ and Phairin Thaisongkroh²

¹คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม 73000

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา จังหวัด
พระนครศรีอยุธยา 13000

¹Faculty of Education, Silpakorn University, Nakhon Pathom 73000, Thailand

²Division of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat
University, Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

Received: 03-05-2026, Revised: 19-05-2026, Accepted: 19-05-2026, Published: 28-05-2026

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งศึกษาบทบาทและศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) ในการยกระดับคุณภาพการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 4 ประการ ได้แก่ การวิเคราะห์กลไกที่ปัญญาประดิษฐ์สร้างประสบการณ์การเรียนรู้เฉพาะบุคคล การประเมินประสิทธิภาพของระบบวิเคราะห์ข้อมูลการเรียนรู้ (Learning analytics) ในการติดตามพัฒนาการของผู้เรียน การสำรวจความท้าทายเชิงจริยธรรมที่เกิดขึ้นจากการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในบริบทการศึกษา และการกำหนดข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับผู้บริหารสถาบันและผู้กำหนดนโยบายที่เกี่ยวข้อง การศึกษาอาศัยการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (Systematic review) จากงานวิจัยในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ผสมกับการวิเคราะห์กรณีศึกษาจากสถาบันการศึกษาชั้นนำทั้งในระดับนานาชาติและในบริบทของประเทศไทย ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าปัญญาประดิษฐ์มีขนาดผลเชิงบวกในระดับปานกลางถึงสูงต่อประสิทธิภาพการเรียนรู้ โดยเฉพาะในการสนับสนุนการเรียนรู้ที่ตอบสนองความต้องการรายบุคคลและการให้ข้อมูลป้อนกลับแบบทันที อย่างไรก็ตาม ความสำเร็จดังกล่าวมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับสมรรถนะด้านดิจิทัลของผู้สอน ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องระบุตรงกันว่าเป็นปัจจัยที่ขาดไม่ได้ในการขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงด้านดิจิทัลในชั้นเรียน นอกจากนี้ แม้ปัญญาประดิษฐ์จะมีศักยภาพในการลดความเหลื่อมล้ำทางการศึกษา แต่ในทางปฏิบัติเทคโนโลยีเหล่านี้ยังคงกระจุกตัวอยู่ในสถาบันที่มีทรัพยากรสูง พร้อมกับก่อให้เกิดข้อกังวลด้านการคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลของผู้เรียนและความเอนเอียงของระบบการประมวลผลอัตโนมัติ ซึ่งต้องการการจัดการเชิงนโยบายอย่างเป็นระบบและต่อเนื่อง

คำสำคัญ : ปัญญาประดิษฐ์, การเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัล, จริยธรรม AI, การศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

Abstract

This article examines the role and potential of Artificial Intelligence (AI) in enhancing the quality of science and technology education, pursuing four primary objectives: analyzing the mechanisms through which AI enables personalized learning experiences, evaluating the effectiveness of Learning Analytics systems in monitoring student progress, exploring the ethical challenges arising from the application of technology in educational contexts, and

formulating policy recommendations for institutional administrators and relevant policymakers. The study draws on systematic review of studies conducted over the past decade, complemented by case study analysis from leading educational institutions at both the international level and within the Thai context. The findings indicate that AI demonstrates moderate-to-high positive effect sizes on learning outcomes, particularly in supporting individualized learning and delivering real-time feedback. Nevertheless, such success is significantly associated with teachers' digital competency, which converging research consistently identifies as an indispensable factor in driving digital transformation in the classroom. Furthermore, while AI holds considerable potential for reducing educational inequality, these technologies in practice remain concentrated in resource-rich institutions, and give rise to substantial concerns regarding student data privacy and algorithmic bias that require systematic and sustained policy intervention.

Keywords: Artificial Intelligence, Digital Transformation, AI Ethics, Science and Technology Education

1. บทนำ

การเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัลที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในศตวรรษที่ 21 ส่งผลให้ระบบการศึกษาทั่วโลกต้องปรับตัวอย่างเร่งด่วน เพื่อรองรับความต้องการของตลาดแรงงานและสังคมที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งถือเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาประเทศ (UNESCO, 2023) รูปแบบการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมที่เน้นการบรรยายในชั้นเรียนและการทดลองในห้องปฏิบัติการ แม้จะมีประสิทธิภาพในการถ่ายทอดความรู้พื้นฐาน แต่งานวิจัยจำนวนมากชี้ให้เห็นว่ารูปแบบดังกล่าวมีข้อจำกัดในการตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคลของผู้เรียน การส่งเสริมทักษะการคิดวิเคราะห์ขั้นสูง และการเตรียมผู้เรียนให้พร้อมสำหรับโลกการทำงานในยุคดิจิทัล (Ouyang & Jiao, 2021; World Economic Forum, 2023) ในขณะเดียวกัน ผู้เรียนในยุค Gen Z ซึ่งเติบโตมากับเทคโนโลยีดิจิทัลตั้งแต่กำเนิดมีลักษณะการเรียนรู้ที่แตกต่างจากคนรุ่นก่อนอย่างชัดเจน โดยมีแนวโน้มที่จะเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิทัล และต้องการข้อมูลป้อนกลับทันที อีกทั้งยังคาดหวังประสบการณ์การเรียนรู้ที่มีความหมายและสามารถเชื่อมโยงกับชีวิตจริง (Seemiller & Grace, 2018; Živković et al., 2025) การนำปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ในการศึกษา จึงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในฐานะเครื่องมือที่มีศักยภาพในการตอบสนองต่อความต้องการเหล่านี้ โดยงานวิจัยพบว่าปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) สามารถยกระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เพิ่มแรงจูงใจของผู้เรียน และช่วยให้ผู้สอนจัดการการเรียนรู้ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น (Zawacki-Richter et al., 2019; Chen et al., 2020; Crompton & Burke, 2023)

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าจะมีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาโดยทั่วไป แต่การศึกษาเชิงวิเคราะห์ที่บูรณาการทั้งศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ ประเด็นด้านจริยธรรม และสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนในบริบทเฉพาะของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียังคงมีอยู่อย่างจำกัด (Miao et al., 2021; Zawacki-Richter et al., 2019) โดยเฉพาะการศึกษาที่นำประเด็นเหล่านี้มาวิเคราะห์ภายในกรอบแนวคิดเดียวกันอย่างครอบคลุมและเป็นระบบ ช่องว่างองค์ความรู้ดังกล่าวจึงเป็นแรงผลักดันสำคัญของบทความวิชาการนี้ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาลักษณะการเรียนรู้และความต้องการของผู้เรียนยุค Gen Z ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2) วิเคราะห์ศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ ในการจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลและการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เรียน 3) สังเคราะห์

ประเด็นด้านจริยธรรมของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในบริบทการศึกษา และ 4) นำเสนอแนวทางการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนเพื่อขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัลทางการศึกษาให้เกิดผลสัมฤทธิ์อย่างมีประสิทธิภาพและมีความรับผิดชอบต่อสังคม ทั้งนี้ผลที่คาดว่าจะได้รับจากบทความวิชาการนี้คือองค์ความรู้เชิงบูรณาการที่เป็นประโยชน์ต่อผู้สอน นักวิชาการศึกษา และผู้กำหนดนโยบายในการออกแบบและพัฒนากระบวนการเรียนการสอนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับบริบทของการเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัล ตลอดจนเป็นแนวทางอ้างอิงสำหรับสถาบันการศึกษาที่ต้องการนำปัญญาประดิษฐ์ เข้ามาใช้อย่างมีประสิทธิภาพและมีจริยธรรม รวมถึงการตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนในยุคใหม่ได้อย่างแท้จริง โดยกรอบแนวคิดของบทความวิชาการนี้สามารถสรุปภาพรวมได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดภาพรวมในมิติความสัมพันธ์ระหว่างปัญญาประดิษฐ์ ผู้เรียน Gen Z จริยธรรม และสมรรถนะผู้สอนในการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
(ที่มา : NotebookLM, 2569)

2. การศึกษาและทบทวนวรรณกรรม

บทความวิชาการนี้จัดโครงสร้างการทบทวนวรรณกรรมออกเป็น 4 หัวข้อหลักที่เชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ โดยเริ่มจากการทำความเข้าใจลักษณะของผู้เรียน นำไปสู่การวิเคราะห์ศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ การพิจารณาประเด็นจริยธรรม และการพัฒนาสมรรถนะของผู้สอนในฐานะผู้ขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลง ตามลำดับ

2.1 ลักษณะการเรียนรู้ของผู้เรียนยุค Gen Z ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ความเข้าใจอย่างลึกซึ้งเกี่ยวกับลักษณะและพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนถือเป็นจุดเริ่มต้นที่ขาดไม่ได้ในการออกแบบกระบวนการจัดการศึกษาที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในบริบทที่ผู้เรียนส่วนใหญ่ในระดับอุดมศึกษาและมัธยมศึกษาตอนปลายในปัจจุบันล้วนเป็นสมาชิกของกลุ่ม Generation Z หรือเรียกว่า Gen Z ซึ่งหมายถึงผู้ที่เกิดระหว่างปี ค.ศ. 1997 ถึง 2012 กลุ่มคนรุ่นนี้เติบโตขึ้นมาพร้อมกับเทคโนโลยีดิจิทัลอย่างแท้จริง ต่างจากคนรุ่นก่อนหน้าที่ต้องมีการปรับตัวเข้าหาเทคโนโลยีในปัจจุบัน (Seemiller & Grace, 2018) ความเข้าใจเกี่ยวกับอัตลักษณ์ ความคาดหวัง และข้อจำกัดที่ผู้เรียนกลุ่มนี้เผชิญจากระบบการศึกษแบบดั้งเดิมจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาแนวทางการจัดการเรียนการสอนในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้สอดคล้องกับความเป็นจริงในศตวรรษที่ 21

2.1.1 อัตลักษณ์และพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียน Gen Z

ผู้เรียนยุค Gen Z มีอัตลักษณ์ที่โดดเด่นซึ่งหล่อหลอมขึ้นจากการเติบโตในสภาพแวดล้อมที่อินเทอร์เน็ตความเร็วสูง สมาร์ทโฟน และสื่อสังคมออนไลน์ดำรงอยู่เป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวัน ตั้งแต่วัยเด็ก ลักษณะดังกล่าวส่งผลโดยตรงต่อกระบวนการประมวลผลและรับรู้ข้อมูล โดย Seemiller & Grace (2018) อธิบายว่าผู้เรียน Gen Z มีความสามารถในการกรองและประมวลผลข้อมูลจำนวนมากในเวลาอันสั้น แต่มีช่วงความสนใจ (Attention span) ที่สั้นกว่าคนรุ่นก่อนอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งส่งผลให้พวกเขาตอบสนองต่อเนื้อหาที่กระชับ มีภาพประกอบ และสื่อความหมายได้ทันทีมากกว่าการบรรยายในรูปแบบข้อความยาว ข้อค้นพบนี้สอดคล้องกับแนวคิดของ Prensky (2010) ที่อธิบายว่าผู้เรียนกลุ่มนี้คุ้นชินกับการรับข้อมูลในรูปแบบที่หลากหลายพร้อมกัน และตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ใช้สื่อผสม (Multimedia) รวมถึงองค์ประกอบของการเรียนรู้เชิงเกม (Gamification) ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม ควรพิจารณาข้อค้นพบเหล่านี้ด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากงานวิจัยส่วนใหญ่ในประเด็นดังกล่าวอาศัยการวิเคราะห์พฤติกรรมในบริบทของประเทศตะวันตก ซึ่งอาจไม่สะท้อนลักษณะเฉพาะของผู้เรียน Gen Z ในบริบทสังคมและวัฒนธรรมไทยได้อย่างครบถ้วน ซึ่งนับเป็นช่องว่างองค์ความรู้ที่ยังคงต้องการการศึกษาเพิ่มเติม

นอกจากนั้น ในด้านพฤติกรรมแสวงหาความรู้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Schwieger & Ladwig (2018) ซึ่งพบว่าผู้เรียนในยุค Gen Z มีแนวโน้มในการเรียนรู้ด้วยตนเอง (Self-directed learning) สูง โดยนิยมค้นหาความรู้ผ่านแพลตฟอร์มดิจิทัล เช่น YouTube, Khan Academy หรือ MOOCs มากกว่าการพึ่งพาผู้สอนในฐานะแหล่งความรู้หลัก พฤติกรรมดังกล่าวสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างในความสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับความรู้ กล่าวคือ ผู้เรียนกลุ่มนี้มองตนเองเป็นผู้กำหนดเส้นทางการเรียนรู้ของตนเอง มากกว่าเป็นผู้รับสารแบบเฉื่อย (Passive recipient) ในชั้นเรียนแบบดั้งเดิม ทั้งนี้ เมื่อพิจารณาในบริบทของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี งานวิจัยของ Dabbagh et al. (2019) พบว่าผู้เรียนกลุ่ม Gen Z ให้ความสำคัญกับการเรียนรู้ผ่านการลงมือปฏิบัติ (Experiential learning) และการแก้ปัญหาในบริบทจริงมากกว่าการท่องจำทฤษฎีแบบนามธรรมที่ขาดการเชื่อมโยงกับโลกความเป็นจริง ซึ่งสอดคล้องและได้รับการยืนยันเพิ่มเติมจากการศึกษาของ Crompton และ Burke (2023) ที่พบว่าผู้เรียนในสาขาสตรีม (Science, Technology, Engineering, Mathematics: STEM) แสดงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้ที่ผสมผสานโจทย์ปัญหาจากสถานการณ์จริงเข้ากับเทคโนโลยีดิจิทัลเชิงโต้ตอบ อย่างไรก็ตาม แม้งานวิจัยทั้ง 2 ข้างต้นจะสนับสนุนแนวทางการสอนแบบเชิงรุก (Active learning) แต่ยังคงมีความแตกต่างในระดับของการนำเสนอ กล่าวคือ Dabbagh et al. (2019) เน้นที่แรงจูงใจและความต้องการของผู้เรียนเป็นสำคัญ ขณะที่ Crompton & Burke (2023) ให้น้ำหนักกับผลลัพธ์การเรียนรู้ที่วัดได้จากการจัดสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการทำความเข้าใจพฤติกรรมของผู้เรียน Gen Z ในเชิงลึกนั้นจำเป็นต้องพิจารณาทั้งมิติของแรงจูงใจภายในและปัจจัยภายนอกด้านการออกแบบการสอนไปพร้อมกัน และนับเป็นประเด็นที่งานวิจัยในอนาคตควรให้ความสนใจในการบูรณาการมุมมองทั้งสองแนวทางดังกล่าวอย่างเป็นระบบต่อไป

2.1.2 ความคาดหวังของผู้เรียน Gen Z ต่อกระบวนการจัดการเรียนการสอน

ความคาดหวังของผู้เรียน Gen Z ต่อกระบวนการจัดการเรียนการสอนมีความแตกต่างจากคนรุ่นก่อนในหลายมิติที่สำคัญ โดย Živković et al. (2025) รายงานว่าผู้เรียนกลุ่มนี้คาดหวังให้การศึกษาตอบสนองต่อความต้องการเฉพาะบุคคล ทั้งในด้านความเร็วของการเรียนรู้ รูปแบบเนื้อหา และระดับความยากที่สอดคล้องกับศักยภาพและความสนใจของแต่ละคน ความคาดหวังดังกล่าวสะท้อนถึงพฤติกรรมที่ผู้เรียนคุ้นเคยจากการใช้บริการดิจิทัลในชีวิตประจำวัน ซึ่งอัลกอริทึมสามารถปรับแต่งเนื้อหา

และประสบการณ์ให้เหมาะกับผู้ใช้งานแต่ละคนได้โดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ ข้อค้นพบของ Živković et al. (2025) อาศัยฐานข้อมูลจากบริบทยุโรปเป็นหลัก จึงเป็นคำถามเชิงวิจัยที่ต้องการพิสูจน์ว่าความคาดหวังในลักษณะดังกล่าวมีความสอดคล้องหรือแตกต่างกันอย่างไรในบริบทของผู้เรียนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ซึ่งระบบการศึกษายังคงมีลักษณะที่ให้น้ำหนักกับความสัมพันธ์เชิงอำนาจระหว่างผู้สอนและผู้เรียนในระดับที่สูงกว่า นอกจากนี้ ในด้านความต้องการข้อมูลย้อนกลับ Ouyang & Jiao (2021) อธิบายว่าผู้เรียน Gen Z ไม่เพียงแต่ต้องการทราบว่าคำตอบถูกหรือผิด แต่ต้องการคำอธิบายเชิงลึกที่ช่วยให้เข้าใจจุดบกพร่องและแนวทางพัฒนาของตนเอง ซึ่งแตกต่างจากรูปแบบการประเมินผลแบบดั้งเดิมที่มักให้ข้อมูลย้อนกลับในลักษณะสรุปรวม (Summative) และมีความล่าช้า เมื่อพิจารณาร่วมกับงานวิจัยของ Imjai (2024) ที่พบว่าผู้เรียน Gen Z ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีให้ความสำคัญกับการเรียนรู้แบบร่วมมือ (Collaborative learning) ผ่านแพลตฟอร์มดิจิทัล โดยมองทักษะการทำงานเป็นทีมออนไลน์ว่าเป็นสมรรถนะที่จำเป็นสำหรับตลาดแรงงานในอนาคต ไม่ใช่เพียงกิจกรรมเสริมในชั้นเรียน ทั้ง 2 งานวิจัยดังกล่าวชี้ให้เห็นในทิศทางเดียวกันว่าผู้เรียน Gen Z มองกระบวนการเรียนรู้ในเชิงพัฒนาการและการเตรียมความพร้อมสู่การปฏิบัติจริงมากกว่าการสะสมความรู้เพื่อการทดสอบเท่านั้น โดยงานวิจัยทั้ง 2 ยังมีข้อจำกัดร่วมกันในแง่ที่ยังไม่ได้ตรวจสอบอย่างลึกซึ้งว่าความคาดหวังดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเมื่อผู้เรียนเผชิญกับข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานทางเทคโนโลยีในสถาบันการศึกษาที่มีทรัพยากรต่างกัน ซึ่งนับเป็นช่องว่างที่งานวิจัยในอนาคตควรให้ความสนใจ

ในทำนองเดียวกัน ความคาดหวังด้านความเกี่ยวข้องกับชีวิตจริง (Relevance) ถือเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีน้ำหนักสูงในมุมมองของผู้เรียนกลุ่มนี้ โดยผลการศึกษาของ World Economic Forum (2023) ระบุว่าผู้เรียน Gen Z ต้องการเห็นการเชื่อมโยงที่ชัดเจนระหว่างเนื้อหาในชั้นเรียนกับการนำไปประยุกต์ใช้ในตลาดแรงงานและชีวิตจริง หากไม่สามารถตอบคำถาม “เรียนสิ่งนี้ไปทำไม” ได้อย่างน่าพึงพอใจ ผู้เรียนกลุ่มนี้มีแนวโน้มที่จะขาดแรงจูงใจและมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนรู้ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ข้อค้นพบนี้ได้รับการสนับสนุนจากผลการวิจัยของ Crompton & Burke (2023) ที่พบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างการรับรู้ถึงความเกี่ยวข้องของเนื้อหาต่อบริบทการเรียนรู้ (Student engagement) ของผู้เรียน Gen Z ในสาขา STEM นอกจากนี้ ในรายงานของ World Economic Forum (2023) นำเสนอมุมมองในระดับมหภาคจากเชิงนโยบายและตลาดแรงงาน ในขณะที่ Crompton & Burke (2023) ให้หลักฐานเชิงประจักษ์ในระดับจุลภาคจากสภาพแวดล้อมการเรียนรู้จริง การนำข้อค้นพบจากทั้งสองระดับมาพิจารณาร่วมกันจึงมีนัยสำคัญสำหรับการออกแบบหลักสูตรที่ตอบสนองทั้งความต้องการของตลาดแรงงานและแรงจูงใจภายในของผู้เรียนไปพร้อมกัน ทั้งนี้ ยังคงมีช่องว่างองค์ความรู้ที่สำคัญในการศึกษาว่าความคาดหวังด้านความเกี่ยวข้องดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างไรระหว่างสาขาวิชาที่มีลักษณะเชิงนามธรรมสูง เช่น คณิตศาสตร์ประยุกต์หรือฟิสิกส์ กับสาขาที่มีลักษณะเชิงปฏิบัติการมากกว่า เช่น วิศวกรรมซอฟต์แวร์หรือเทคโนโลยีชีวภาพ เป็นต้น

2.1.3 ข้อจำกัดของการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมในการตอบสนองต่อผู้เรียน Gen Z

แม้ว่าการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจะยังคงมีคุณค่าในการสร้างรากฐานความรู้เชิงทฤษฎีและทักษะการทดลองในห้องปฏิบัติการ แต่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องชี้ให้เห็นข้อจำกัดสำคัญหลายประการที่ส่งผลให้รูปแบบการสอนดังกล่าวไม่สามารถตอบสนองต่อลักษณะและความคาดหวังของผู้เรียนกลุ่ม Gen Z ได้อย่างเพียงพอ ดังสามารถจำแนกออกได้เป็น 3 ข้อจำกัด ได้แก่

1) การไม่สามารถรองรับความแตกต่างระหว่างบุคคลของผู้เรียน (Individual differences) ในชั้นเรียนขนาดใหญ่ การบรรยายในรูปแบบ One-size-fits-all หมายความว่าผู้สอนต้องกำหนดความเร็วระดับ และรูปแบบการนำเสนอเนื้อหาที่เดียวสำหรับผู้เรียนทุกคน ซึ่งนำไปสู่สถานการณ์ที่ผู้เรียนบางส่วน

ตามไม่ทัน ในขณะที่บางส่วนรู้สึกเบื่อเพราะเนื้อหาว่างเกินไป (Miao et al., 2021) พบว่าปัญหาดังกล่าวทวีความรุนแรงขึ้นในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีซึ่งมีความต่อเนื่องเชิงเนื้อหาสูง กล่าวคือ หากผู้เรียนไม่เข้าใจแนวคิดพื้นฐาน ความสามารถในการเรียนรู้แนวคิดขั้นสูงที่ต่อยอดขึ้นมากก็จะได้รับผลกระทบอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

2) การขาดกลไกข้อมูลป้อนกลับที่ทันเวลาและมีคุณภาพเพียงพอ โดย Zawacki-Richter et al. (2019) ชี้ว่าในบริบทของการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม ผู้สอนหนึ่งคนไม่สามารถให้ข้อมูลป้อนกลับเฉพาะบุคคลแก่ผู้เรียนจำนวนมากได้อย่างทันท่วงที ซึ่งขัดกับความคาดหวังของผู้เรียนกลุ่ม Gen Z ที่ต้องการการตอบสนองทันที ความล่าช้าในการให้ข้อมูลป้อนกลับนี้ไม่เพียงแต่ลดโอกาสการแก้ไขความเข้าใจผิด แต่ยังส่งผลต่อแรงจูงใจในการเรียนรู้อีกด้วย

3) การพัฒนาทักษะการคิดวิเคราะห์ขั้นสูง (Higher-order thinking skills) ซึ่งงานวิจัยของ Ouyang & Jiao (2021) พบว่าการศึกษาในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแบบดั้งเดิมมักเน้นที่การท่องจำและการประยุกต์ใช้สูตรหรือขั้นตอนที่กำหนดไว้ล่วงหน้า มากกว่าการส่งเสริมทักษะการคิดเชิงวิพากษ์และการสร้างสรรค์นวัตกรรม ซึ่งเป็นสมรรถนะที่ตลาดแรงงานในยุคดิจิทัลต้องการมากที่สุด ทั้งนี้ UNESCO (2023) มีการรายงานว่าช่องว่างระหว่างทักษะที่บัณฑิตสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีกับทักษะที่ภาคอุตสาหกรรมต้องการยังคงเป็นปัญหาเร่งด่วนที่ระบบการศึกษาแบบดั้งเดิมยังไม่สามารถแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ ข้อจำกัดเหล่านี้ได้สร้างแรงกดดันอย่างชัดเจนต่อสถาบันการศึกษาและผู้กำหนดนโยบายในการแสวงหาแนวทางและเครื่องมือใหม่ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้เรียนยุคใหม่ได้อย่างแท้จริง โดยมีปัญญาประดิษฐ์เป็นหนึ่งในแนวทางที่ได้รับความสนใจและการพิสูจน์หลักฐานเชิงประจักษ์มากที่สุดในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา

2.2 ศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ในการยกระดับคุณภาพการศึกษาศาสตร์และเทคโนโลยี

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา ปัญญาประดิษฐ์ได้พิสูจน์ให้เห็นเชิงประจักษ์ว่า AI มีได้เป็นเพียงแนวคิดเชิงทฤษฎีในห้องปฏิบัติการวิจัย แต่เป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในหลากหลายภาคส่วน รวมถึงภาคการศึกษาที่ได้รับอิทธิพลจากเทคโนโลยีดังกล่าวอย่างต่อเนื่องและลึกซึ้งมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีซึ่งมีเนื้อหาที่ซับซ้อน มีความต่อเนื่องเชิงแนวคิดสูง และต้องการกระบวนการเรียนรู้ที่หลากหลายทั้งในเชิงทฤษฎีและการปฏิบัติ ดังนั้นศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ในการยกระดับคุณภาพด้านการศึกษาศาสตร์และเทคโนโลยีจึงได้รับความสนใจและมีการศึกษาวิจัยอย่างกว้างขวาง การทำความเข้าใจในศักยภาพดังกล่าวอย่างรอบด้านจึงเป็นพื้นฐานสำคัญสำหรับการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพและสอดคล้องกับบริบทการศึกษาในโลกยุคใหม่

2.2.1 แนวคิดและประเภทของปัญญาประดิษฐ์ที่ประยุกต์ใช้ในการศึกษา

ปัญญาประดิษฐ์ในบริบทของการศึกษามีหลากหลายกลุ่มเทคโนโลยีที่หลากหลายซึ่งมีหลักการทำงานและการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกันออกไป นอกจากนี้ Ouyang & Jiao (2021) ได้เสนอกรอบแนวคิดสำหรับการจำแนกประเภทปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาออกเป็น 3 กระบวนทัศน์หลัก ได้แก่ กระบวนทัศน์ที่ปัญญาประดิษฐ์ทำหน้าที่เป็นผู้สอน (AI-as-tutor), กระบวนทัศน์ที่ปัญญาประดิษฐ์ทำหน้าที่เป็นเครื่องมือสนับสนุนกระบวนการเรียนรู้ (AI-as-tool), และกระบวนทัศน์ที่ปัญญาประดิษฐ์ทำหน้าที่เป็นหุ้นส่วนในการเรียนรู้ (AI-as-peer) โดยแต่ละกระบวนทัศน์มีบทบาทและลักษณะการโต้ตอบกับผู้เรียนที่แตกต่างกัน กระบวนทัศน์แรกมุ่งเน้นการแทนที่บางหน้าที่ของผู้สอนด้วยระบบอัตโนมัติ เช่น การตอบคำถาม การให้ข้อมูลป้อนกลับ และการประเมินผล ในขณะที่กระบวนทัศน์ที่ 2 และ 3 มุ่งเน้นการเสริมประสิทธิภาพกระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียนโดยไม่แทนที่บทบาทของผู้สอน นอกจากนี้ ในด้านเทคโนโลยีเฉพาะ Chen et al. (2020)

ได้ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและพบว่าเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ ที่ได้รับการนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษามากที่สุด ได้แก่ Intelligent tutoring systems (ITS) ซึ่งเป็นระบบสอนพิเศษอัจฉริยะที่ปรับการนำเสนอเนื้อหาตามการตอบสนองของผู้เรียนในแบบเรียลไทม์ การประมวลผลภาษาธรรมชาติ (Natural Language Processing: NLP) ที่ช่วยให้ระบบสามารถวิเคราะห์และตอบสนองต่อภาษามนุษย์ได้อย่างเป็นธรรมชาติ การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning: ML) ที่ใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรม การเรียนรู้และพยากรณ์ผลลัพธ์ทางการเรียน รวมถึงคอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer vision) ที่นำมาใช้ในการประเมินทักษะปฏิบัติในห้องทดลอง สำหรับสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยเฉพาะ Zawacki-Richter et al. (2019) ชี้ว่าปัญญาประดิษฐ์ในรูปแบบของการจำลองสถานการณ์ (Simulation) และห้องปฏิบัติการเสมือน (Virtual laboratory) มีความสำคัญเป็นพิเศษ เนื่องจากช่วยให้ผู้เรียนสามารถทดลองกับสถานการณ์ที่อันตรายหรือมีต้นทุนสูงเกินกว่าจะจัดการได้จริงในห้องปฏิบัติการทั่วไป อย่างไรก็ตามความก้าวหน้าล่าสุดในด้านปัญญาประดิษฐ์เชิงสร้างสรรค์ (Generative AI) โดยเฉพาะโมเดลภาษาขนาดใหญ่ (Large Language Models: LLMs) ตัวอย่างเช่น ChatGPT และ Gemini ได้เพิ่มมิติใหม่ให้กับการประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ Baidoo-Anu & Ansah (2023) อธิบายว่า Generative AI สามารถทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยส่วนตัวของผู้เรียนในการอธิบายแนวคิดที่ซับซ้อน การตั้งคำถามโต้ตอบเพื่อกระตุ้นการคิดวิเคราะห์ และการสนับสนุนการเขียนรายงานทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเปิดโอกาสให้เกิดรูปแบบการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่นและตอบสนองต่อความต้องการเฉพาะบุคคลได้ในระดับที่ไม่เคยเป็นไปได้มาก่อน

2.2.2 การจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลด้วยปัญญาประดิษฐ์

การจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลถือเป็นหนึ่งในศักยภาพที่โดดเด่นที่สุดของปัญญาประดิษฐ์ในบริบทการศึกษา โดยแสดงถึงความสามารถของระบบในการปรับเนื้อหา ลำดับการเรียนรู้ ระดับความยาก และรูปแบบการนำเสนอให้สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของผู้เรียนแต่ละคนอย่างต่อเนื่องและอัตโนมัติ ซึ่งในงานวิจัยของ Crompton & Burke (2023) ระบุว่า การจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลด้วยปัญญาประดิษฐ์นั้นแตกต่างจากการปรับการสอนโดยผู้สอนในสองมิติสำคัญ ได้แก่ 1) มาตรฐานส่วน (Scale) ซึ่งหมายถึงระบบปัญญาประดิษฐ์สามารถให้การเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลแก่ผู้เรียนหลาย ๆ คนพร้อมกันได้โดยไม่ลดคุณภาพและความต่อเนื่อง โดยที่ระบบจะปรับตัวอยู่ตลอดเวลาทุกครั้งที่ผู้เรียนโต้ตอบกับระบบ ไม่ใช่เพียงในช่วงเวลาของการสอนในห้องเรียนเท่านั้น 2) การเรียนรู้แบบปรับตัว (Adaptive learning) ซึ่งทำงานจากการวิเคราะห์ข้อมูลการตอบสนองของผู้เรียนอย่างต่อเนื่อง ได้แก่ ความถูกต้องของคำตอบ เวลาที่ใช้ในการตอบ รูปแบบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น และเส้นทางการนำทางในเนื้อหา จากนั้นระบบจะปรับแผนการเรียนรู้ของผู้เรียนในเวลาจริงโดยอาศัยอัลกอริทึมที่ซับซ้อน นอกจากนี้ Ouyang & Jiao (2021) รายงานว่าระบบ ITS ที่ใช้ Machine learning สามารถพยากรณ์จุดที่ผู้เรียนจะประสบความยากลำบากในเนื้อหาถัดไปได้ก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้นจริง และปรับกลยุทธ์การนำเสนอเนื้อหาเชิงป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับในบริบทของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยเฉพาะ ระบบการเรียนรู้แบบปรับตัวมีนัยสำคัญเป็นพิเศษเนื่องจากโครงสร้างเนื้อหาที่มีลำดับขั้นและความต่อเนื่องสูง ระบบสามารถระบุช่องว่างความรู้เฉพาะจุด (Knowledge gap) ของผู้เรียนและจัดเส้นทางการเรียนรู้แบบย้อนกลับเพื่อเสริมสร้างพื้นฐานก่อนที่ผู้เรียนจะก้าวหน้าไปสู่แนวคิดขั้นสูงต่อไป ซึ่งแตกต่างจากชั้นเรียนแบบดั้งเดิมที่ผู้เรียนทุกคนต้องก้าวหน้าไปพร้อมกันในอัตราเดียวโดยไม่คำนึงถึงความพร้อมของแต่ละบุคคล (Miao et al., 2021) นอกจากนี้ การศึกษาของ Holmes et al. (2022) ยังพบว่าระบบการเรียนรู้แบบปรับตัวที่ออกแบบมาสำหรับสาขา STEM สามารถเพิ่มระดับการมีส่วนร่วมของผู้เรียนและลดอัตราการออกกลางคันในวิชาที่มีความยากสูงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้สอน

การวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียน (Learning analytics) หมายถึงการวัด เก็บรวบรวม วิเคราะห์ และรายงานข้อมูลเกี่ยวกับผู้เรียนและบริบทการเรียนรู้ เพื่อเข้าใจและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการเรียนรู้ (Siemens, 2013 อ้างถึงใน Zawacki-Richter et al., 2019) ในยุคที่การเรียนการสอนดิจิทัลสร้างข้อมูลจำนวนมากมหาศาลขึ้นมา Learning Analytics จึงเป็นกุญแจสำคัญที่เปลี่ยนข้อมูลดิบเหล่านั้นให้กลายเป็นข้อมูลเชิงลึก (Insight) ที่ผู้สอนสามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจเชิงการสอนโดยมีหลักฐานสนับสนุนเชิงประจักษ์ ซึ่งความสำคัญของ Learning Analytics ในบริบทการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีนั้นเป็นที่ประจักษ์ชัดในหลายมิติ นอกจากนี้ Crompton & Burke (2023) อธิบายว่าระบบการวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนที่ขับเคลื่อนด้วยปัญญาประดิษฐ์สามารถระบุผู้เรียนที่มีความเสี่ยงต่อการสอบไม่ผ่านหรือออกกลางคันได้ตั้งแต่ระยะแรกเริ่มของภาคการศึกษา โดยอาศัยสัญญาณจากพฤติกรรมการเรียนรู้ เช่น ความถี่ในการเข้าถึงสื่อการเรียน เวลาที่ใช้กับแบบฝึกหัด และรูปแบบการตอบคำถาม ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ช่วยให้ผู้สอนสามารถแทรกแซงและให้ความช่วยเหลือได้อย่างทันท่วงที (Early intervention) ก่อนที่ปัญหาจะสะสมจนยากต่อการแก้ไข อีกทั้ง Chen et al. (2020) ยังชี้ให้เห็นว่าการวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนสามารถยกระดับคุณภาพการสอนในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีได้ในระดับมหภาค กล่าวคือ นอกจากการช่วยผู้เรียนรายบุคคลแล้ว ข้อมูลเชิงรวม (Aggregate data) จากระบบยังสามารถสะท้อนให้เห็นว่าแนวคิดใดที่ผู้เรียนส่วนใหญ่มักเข้าใจผิด กิจกรรมการเรียนรู้ใดที่มีประสิทธิผลสูงที่สุด และจุดใดในหลักสูตรที่ควรได้รับการปรับปรุง ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีคุณค่าอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาหลักสูตรในระยะยาว ในแง่การวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนจึงเป็นเครื่องมือที่เชื่อมโยงการปรับปรุงการสอนในระดับบุคคลกับการพัฒนาระบบการศึกษาในระดับสถาบันเข้าด้วยกันอย่างมีเหตุมีผล

อีกทั้งการใช้กระบวนการวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนให้ได้ผลอย่างแท้จริงนั้นต้องการมากกว่าการมีข้อมูลเพียงเท่านั้น แต่ต้องการความตระหนักรู้ทางข้อมูล (Data literacy) ของผู้สอนในการอ่าน ตีความ และนำข้อมูลไปใช้อย่างถูกต้อง Miao et al. (2021) เสนอว่าสถาบันการศึกษาควรพัฒนาระบบสนับสนุนที่ช่วยให้ผู้สอนสามารถเข้าถึงและตีความการวิเคราะห์ข้อมูลของผู้เรียนได้โดยไม่ต้องมีความเชี่ยวชาญเชิงเทคนิคสูง เพื่อให้ศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์นั้นสามารถก้าวเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนแปลงการปฏิบัติการสอนจริงได้อย่างกว้างขวางยิ่งขึ้น

2.2.4 ผลสัมฤทธิ์ของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

หลักฐานเชิงประจักษ์ที่สะสมมาในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาสะท้อนภาพที่ค่อนข้างชัดเจนเกี่ยวกับประสิทธิผลของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยการวิเคราะห์อภิมานของ Crompton & Burke (2023) ที่ครอบคลุมงานวิจัยจำนวน 138 ชิ้น ในช่วงปี ค.ศ. 2010–2021 พบว่าการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการจัดการเรียนการสอน STEM ส่งผลเชิงบวกต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในภาพรวม โดยมีขนาดผลลัพธ์ (Effect size) อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง และมีความสม่ำเสมอในหลายบริบทและระดับการศึกษา ทั้งนี้ กระบวนการดำเนินการในงานวิจัยดังกล่าวประกอบด้วยการรวบรวมและคัดกรองงานวิจัยจากฐานข้อมูลวิชาการชั้นนำ ได้แก่ ERIC, Scopus และ Web of Science โดยใช้เกณฑ์การคัดเลือกที่ครอบคลุมทั้งระดับการศึกษา ประเภทของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ที่นำมาใช้ และตัวชี้วัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่วัดได้จริง จากนั้นจึงนำค่าขนาดผลจากงานวิจัยแต่ละชิ้นมาประมวลผลรวมด้วยสถิติถ่วงน้ำหนัก (Weighted effect size) เพื่อควบคุมความแปรปรวนของขนาดกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งทำให้ผลการวิเคราะห์มีความน่าเชื่อถือในระดับที่เพียงพอสำหรับการนำไปใช้อ้างอิงเชิงนโยบาย สำหรับในด้านของสาขาวิชาเฉพาะด้าน ผลการศึกษาของ Chen et al. (2020) รายงานว่าการใช้ระบบการสอนอัจฉริยะ (Intelligent tutoring systems: ITS) ในการเรียนการสอนคณิตศาสตร์และฟิสิกส์ให้ผลสัมฤทธิ์ที่สูงกว่าการสอนแบบดั้งเดิม

อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในกลุ่มผู้เรียนที่มีผลการเรียนอยู่ในระดับกลาง ซึ่งมักเป็นกลุ่มที่ได้รับประโยชน์น้อยที่สุดจากการสอนแบบบรรยายที่ออกแบบมาสำหรับผู้เรียนโดยรวม กระบวนการดำเนินการในการศึกษาดังกล่าวใช้รูปแบบการทดลองแบบสุ่มที่มีกลุ่มควบคุม (Randomized controlled trial: RCT) โดยให้กลุ่มทดลองได้เรียนรู้ผ่านระบบ ITS ที่ปรับเนื้อหาและลำดับการเรียนรู้โดยอัตโนมัติตามผลการตอบสนองของผู้เรียนในแต่ละขั้นตอน ขณะที่กลุ่มควบคุมได้รับการสอนในรูปแบบชั้นเรียนปกติจากผู้สอนคนเดียวกัน โดยใช้ระยะเวลาการทดลองเป็นเวลา 16 สัปดาห์ก่อนวัดผลด้วยแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ที่ผ่านการตรวจสอบความตรงและความเชื่อมั่นแล้ว ผลการวิจัยจึงมีความน่าเชื่อถือในระดับสูงเนื่องจากสามารถควบคุมตัวแปรแทรกซ้อนได้อย่างเป็นระบบ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดสำคัญของงานวิจัยนี้คือการดำเนินการในสภาพแวดล้อมที่มีการควบคุมสูง ซึ่งอาจไม่สะท้อนความซับซ้อนของการนำระบบ ITS ไปใช้จริงในชั้นเรียนที่มีข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานและทรัพยากรที่แตกต่างกัน ในทำนองเดียวกัน การศึกษาของ Baidoo-Anu & Ansah (2023) พบว่าการใช้ Generative AI เป็นเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์ช่วยเพิ่มความสามารถในการเขียนอธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ (Scientific writing) และการคิดวิเคราะห์ (Critical thinking) ของผู้เรียนได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม กระบวนการดำเนินการในงานวิจัยนี้ครอบคลุมการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้แบบ Prompt-based learning ซึ่งกำหนดให้ผู้เรียนในกลุ่มทดลองต้องร่างคำถามและโต้ตอบกับระบบ Generative AI เพื่ออธิบายแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ที่ซับซ้อน จากนั้นผู้สอนทำหน้าที่ตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาและกระตุ้นให้ผู้เรียนประเมินคุณภาพและความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ที่ได้รับจากระบบ AI วิธีการดังกล่าวไม่เพียงส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แต่ยังพัฒนาทักษะการประเมินสารสนเทศ (Information literacy) ซึ่งถือเป็นสมรรถนะที่จำเป็นในยุคดิจิทัล เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Chen et al. (2020) พบว่าทั้ง 2 งานวิจัยสนับสนุนประสิทธิผลของปัญญาประดิษฐ์ในทิศทางเดียวกัน แต่แตกต่างกันในแง่ของกระบวนการเรียนรู้ที่มุ่งเน้น กล่าวคือ งานวิจัยของ Chen et al. (2020) เน้นการปรับเนื้อหาเป็นรายบุคคลผ่านระบบอัตโนมัติ ในขณะที่ Baidoo-Anu & Ansah (2023) เน้นการพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูงผ่านการโต้ตอบเชิงสร้างสรรค์กับ AI ซึ่งจะต้องอาศัยการออกแบบกิจกรรมและบทบาทของผู้สอนที่แตกต่างกันออกไปอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในแง่ของความรู้และทักษะแล้ว ปัญญาประดิษฐ์ยังส่งผลเชิงบวกต่อตัวแปรด้านจิตวิทยาการเรียนรู้ที่สำคัญ โดย Ouyang & Jiao (2021) พบว่าผู้เรียนที่เรียนด้วยระบบปัญญาประดิษฐ์มีระดับแรงจูงใจในการเรียน (Motivation) การรับรู้ความสามารถของตนเอง (Self-efficacy) และการมีส่วนร่วมในการเรียนรู้ (Engagement) สูงกว่ากลุ่มที่เรียนแบบดั้งเดิมอย่างสม่ำเสมอ กระบวนการดำเนินการในงานวิจัยดังกล่าวอาศัยการสำรวจด้วยแบบวัดมาตรฐานที่ผ่านการตรวจสอบความตรงเชิงโครงสร้าง (Construct validity) ร่วมกับการวิเคราะห์บันทึกกิจกรรมการใช้งานระบบ (System log analysis) เพื่อตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างการรับรู้ของผู้เรียนกับพฤติกรรมกรรมการเรียนรู้ที่เกิดขึ้นจริง ผลการศึกษายังพบว่าผู้เรียนที่ได้รับข้อมูลป้อนกลับทันทีและต่อเนื่องจากระบบ AI มีแนวโน้มที่จะทบทวนเนื้อหาซ้ำและลงทุนเวลาในการเรียนรู้นอกชั้นเรียนมากกว่ากลุ่มควบคุม ซึ่งอาจถือเป็นผลระยะยาวที่สำคัญต่อการเสริมสร้างนิสัยรักการเรียนรู้ตลอดชีวิต (Lifelong learning) ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

นอกจากนั้น สิ่งสำคัญที่ต้องตระหนักอีกประการหนึ่งก็คือ ประสิทธิภาพของปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาไม่ได้เกิดขึ้นโดยอัตโนมัติ แต่ขึ้นอยู่กับปัจจัยเชิงกระบวนการหลายประการ ได้แก่ คุณภาพของการออกแบบระบบและการบูรณาการกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ ความสามารถของผู้สอนในการออกแบบกิจกรรมที่ใช้ AI อย่างมีประสิทธิภาพ และบริบทของสถาบันการศึกษาทั้งในด้านโครงสร้างพื้นฐานและนโยบายสนับสนุน Holmes et al. (2022) เน้นย้ำว่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมักเกิดขึ้นเมื่อปัญญาประดิษฐ์ทำหน้าที่เสริมและขยายความสามารถของผู้สอน ไม่ใช่การทดแทนผู้สอน โดยกระบวนการดำเนินการที่มีประสิทธิภาพจะประกอบด้วยสามขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ ขั้นแรกคือการที่

ผู้สอนกำหนดวัตถุประสงค์การเรียนรู้และออกแบบกิจกรรมที่ AI จะเข้ามาสนับสนุน ขั้นที่สองคือการที่ระบบ AI ดำเนินการปรับเนื้อหา ติดตามผล และให้ข้อมูลป้อนกลับเชิงบุคคลแก่ผู้เรียนโดยอัตโนมัติ และขั้นที่สามคือการที่ผู้สอนนำข้อมูลสรุปจากระบบ AI มาใช้ในการวางแผนการสอนและให้การดูแลเชิงลึกแก่ผู้เรียนที่ต้องการความช่วยเหลือเพิ่มเติม กระบวนการสามขั้นตอนดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนในการออกแบบและบูรณาการปัญญาประดิษฐ์เข้าสู่กระบวนการสอนเป็นปัจจัยที่ขาดไม่ได้สำหรับการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษาอย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

2.3 จริยธรรมของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในบริบทการศึกษา

แม้ว่าปัญญาประดิษฐ์จะมีศักยภาพสูงในการยกระดับคุณภาพการศึกษาดังที่ได้กล่าวถึงในหัวข้อก่อนหน้านี้ แต่การนำเทคโนโลยีดังกล่าวมาใช้ในบริบทการศึกษาโดยปราศจากกรอบการพิจารณาด้านจริยธรรมที่รอบคอบ อาจก่อให้เกิดผลกระทบเชิงลบที่ซับซ้อนและส่งผลกระทบยาวต่อผู้เรียน สถาบันการศึกษา และสังคมโดยรวม Holmes et al. (2022) ได้กล่าวว่าความกระตือรือร้นในการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษาที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงที่ผ่านมา นั้น มักดำเนินไปข้างหน้าเร็วกว่าการพัฒนารอบจริยธรรมและกลไกกำกับดูแลที่จำเป็น ซึ่งสร้างความเสี่ยงที่ไม่อาจมองข้ามได้ การทำความเข้าใจประเด็นด้านจริยธรรมเหล่านี้อย่างถ่องแท้ จึงเป็นเงื่อนไขสำคัญที่ขาดไม่ได้สำหรับการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษาอย่างมีความรับผิดชอบและยั่งยืน ฯลฯ

2.3.1 ความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลผู้เรียน

ระบบปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมากเกี่ยวกับผู้เรียนในการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นผลการเรียน พฤติกรรมการเข้าถึงเนื้อหา รูปแบบการตอบสนองต่อคำถาม ไปจนถึงข้อมูลส่วนบุคคลและบางครั้งข้อมูลชีวภาพ เช่น การจดจำใบหน้าในระบบตรวจสอบของการสอบ ความเข้มข้นในการเก็บรวบรวมข้อมูลเหล่านี้สร้างความกังวลเป็นอย่างยิ่งเกี่ยวกับสิทธิในความเป็นส่วนตัวของผู้เรียน โดยเฉพาะผู้เรียนที่เป็นผู้เยาว์ซึ่งอาจไม่สามารถให้ความยินยอมได้เมื่อมีข้อมูลที่ไม่เพียงพอ (Informed consent) อย่างแท้จริง (Miao et al., 2021) โดย Williamson & Hogan (2020) ชี้ให้เห็นว่าข้อมูลผู้เรียนที่ถูกเก็บรวบรวมโดยระบบปัญญาประดิษฐ์มักไหลเวียนผ่านบริษัทเทคโนโลยีเอกชน ซึ่งมีผลประโยชน์ทางการค้าที่อาจขัดแย้งกับผลประโยชน์สูงสุดของผู้เรียน การที่บริษัทเอกชนเหล่านี้ถือครองและวิเคราะห์ข้อมูลพฤติกรรมการเรียนรู้ของผู้เรียนจำนวนมากก่อให้เกิดความเสี่ยงหลายประการ ทั้งในแง่ของการนำข้อมูลไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ได้รับความยินยอม การเกิดการละเมิดข้อมูล (Data breach) และการสร้างภาพจำถาวรของผู้เรียนที่อาจส่งผลต่อโอกาสในชีวิตอนาคตของผู้เรียนได้ เช่น การรับเข้าศึกษาหรือการจ้างงาน ความเสี่ยงเหล่านี้ทวีความรุนแรงขึ้นในบริบทของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งผู้เรียนมักได้ติดต่อกับระบบดิจิทัลในความถี่และความลึกที่สูงกว่าสาขาอื่น ๆ นอกจากนั้น Holmes et al. (2022) ได้ให้คำแนะนำว่าสถาบันการศึกษาควรนำหลักการ “ความเป็นส่วนตัวโดยการออกแบบ (Privacy by design)” มาใช้ในการจัดซื้อและพัฒนาระบบปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษา กล่าวคือ การคุ้มครองความเป็นส่วนตัวต้องถูกฝังรวมเข้าไปในสถาปัตยกรรมของระบบตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ ไม่ใช่การเพิ่มเติมภายหลัง ควบคู่กับการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนเกี่ยวกับประเภทของข้อมูลที่ถูกรวบรวม ระยะเวลาในการจัดเก็บ และบุคคลที่มีสิทธิ์เข้าถึง อีกทั้ง UNESCO (2023) ยังเน้นย้ำถึงความสำคัญของการมีกฎหมายคุ้มครองข้อมูลส่วนบุคคลทางการศึกษาที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในบริบทของประเทศที่กำลังพัฒนา ซึ่งกรอบกฎหมายในด้านนี้ยังอยู่ในระหว่างการพัฒนา

2.3.2 ความเท่าเทียมและการเข้าถึงเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษา

ประเด็นด้านความเท่าเทียมถือเป็นหนึ่งในความท้าทายด้านจริยธรรมที่ซับซ้อนและสำคัญที่สุดในการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษา เนื่องจากมีความเสี่ยงสูงที่เทคโนโลยีดังกล่าวจะขยายช่องว่างทางการศึกษาที่มีอยู่เดิมแทนที่จะช่วยลดลง Miao et al. (2021) อธิบายว่าความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาปรากฏในหลายระดับ ตั้งแต่ระดับโครงสร้างพื้นฐาน เช่น การเข้าถึงอินเทอร์เน็ต ความเร็วสูงและอุปกรณ์ดิจิทัล ไปจนถึงระดับสถาบัน เช่น ความสามารถทางการเงินในการจัดหาระบบปัญญาประดิษฐ์ราคาสูง และระดับบุคคล เช่น ทักษะดิจิทัลของผู้เรียนและผู้สอน อีกทั้งรายงานของ World Economic Forum (2023) ระบุว่า แม้ปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาจะมีศักยภาพในการเป็นเครื่องมือสร้างความเสมอภาค โดยเฉพาะผ่านการจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลที่ช่วยให้ผู้เรียนที่อยู่ด้านหลังสามารถตามทันเพื่อนได้ แต่ในความเป็นจริง ระบบปัญญาประดิษฐ์ที่มีคุณภาพสูงมักจะถูกด้อยอยู่ในสถาบันการศึกษาที่มีทรัพยากรสูง ขณะที่โรงเรียนและมหาวิทยาลัยในพื้นที่ห่างไกลหรือด้อยโอกาสยังคงขาดแคลนทั้งโครงสร้างพื้นฐานและงบประมาณในการนำเทคโนโลยีเหล่านี้มาใช้ ผลลัพธ์ที่ตามมาคือความเหลื่อมล้ำทางการศึกษาที่มีอยู่เดิมอาจถูกขยายให้กว้างขึ้นในยุคของปัญญาประดิษฐ์ นอกจากนี้ ปัญหาความเท่าเทียมอีกประการหนึ่งคือ ความเอนเอียงที่ฝังอยู่ในอัลกอริทึม (Algorithmic bias) ซึ่ง Williamson & Hogan (2020) อธิบายว่าระบบปัญญาประดิษฐ์ที่ถูกฝึกฝนด้วยข้อมูลที่สะท้อนอคติทางสังคมที่มีอยู่เดิม เช่น ความเหลื่อมล้ำทางเพศ เชื้อชาติ หรือชนชั้นทางสังคม อาจสร้างความเอนเอียงในกระบวนการประเมินผลหรือการพยากรณ์ผลการเรียนของผู้เรียน ตัวอย่างเช่น การใช้งานระบบที่มีมากนำข้อมูลย้อนหลังจากกลุ่มประชากรที่ไม่หลากหลายในการพยากรณ์ความเสี่ยงในการออกกลางคันอาจสร้างอคติต่อผู้เรียนจากกลุ่มที่ด้อยโอกาสโดยไม่ตั้งใจ ซึ่งนำไปสู่การตัดสินใจเชิงการสอนที่ไม่เป็นธรรมได้

2.3.3 ความเสี่ยงและผลกระทบต่อการพัฒนาความคิดของผู้เรียนจากการพึ่งพาเทคโนโลยี

ท่ามกลางความพยายามในการนำปัญญาประดิษฐ์มาใชในงานด้านการศึกษา ประเด็นที่มักถูกมองข้ามแต่มีความสำคัญอย่างยิ่งคือผลกระทบของการพึ่งพาเทคโนโลยีมากเกินไปต่อการพัฒนาความสามารถในการคิดและการเรียนรู้ที่แท้จริงของผู้เรียน Baidoo-Anu & Ansah (2023) ตั้งคำถามสำคัญว่าเมื่อผู้เรียนสามารถพึ่งพาระบบปัญญาประดิษฐ์ในการค้นหาคำตอบ สรุปเนื้อหา หรือแม้แต่เขียนรายงานได้โดยง่าย กระบวนการต่อสู้กับความยากลำบากทางความคิด (Productive struggle) ซึ่งนักการศึกษาหลายท่านมองว่าเป็นหัวใจสำคัญของการเรียนรู้ที่ลึกซึ้งจะเกิดขึ้นได้อย่างไร โดยความวิตกกังวลนี้ส่งผลสำคัญต่อบริบทของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งการพัฒนาทักษะการแก้ปัญหาเชิงวิเคราะห์ต้องอาศัยการฝึกฝนอย่างต่อเนื่องและการเผชิญกับความซับซ้อนของปัญหาด้วยตนเอง Ouyang & Jiao (2021) แสดงให้เห็นว่าการใช้ปัญญาประดิษฐ์อย่างไม่ระมัดระวังอาจทำให้ผู้เรียนพัฒนานิสัยการพึ่งพาเครื่องมือมากกว่าการพัฒนาความสามารถในการคิดด้วยตนเอง ซึ่งส่งผลเสียต่อการพัฒนาทักษะระดับสูงในระยะยาว เช่น การคิดเชิงวิพากษ์ การสังเคราะห์ข้อมูล และการสร้างสรรค์นวัตกรรม

นอกจากนี้ ประเด็นเรื่องความซื่อสัตย์ทางวิชาการ (Academic integrity) ถือเป็นความท้าทายที่สถาบันการศึกษาทั่วโลกกำลังเผชิญอย่างเร่งด่วน โดยเฉพาะหลังการเกิดขึ้นของปัญญาประดิษฐ์ ประเภทสร้างสรรค์ที่สามารถผลิตเนื้อหาได้อย่างน่าเชื่อถือ โดย Holmes et al. (2022) แสดงให้เห็นว่าการแยกแยะระหว่างผลงานที่ผู้เรียนสร้างขึ้นเองกับผลงานที่ปัญญาประดิษฐ์ช่วยสร้างกลายเป็นเรื่องที่ทำได้ยากขึ้นเรื่อย ๆ และสถาบันการศึกษาส่วนใหญ่ยังไม่มีนโยบายที่ชัดเจนในการรับมือกับความท้าทายนี้ ความคลุมเครือดังกล่าวสร้างความสับสนและความไม่เป็นธรรมต่อผู้เรียนที่พยายามทำผลงานด้วยตนเองอย่างซื่อสัตย์ และในท้ายที่สุดอาจบั่นทอนคุณค่าของผลลัพธ์ทางการศึกษาโดยรวม

2.3.4 แนวปฏิบัติและกรอบจริยธรรมสำหรับการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษา

เพื่อตอบสนองต่อความท้าทายด้านจริยธรรมที่กล่าวมาข้างต้น องค์กรระหว่างประเทศ และนักวิชาการต่าง ๆ ได้เสนอกรอบแนวทางปฏิบัติที่ดีสำหรับการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษา อย่างมีความรับผิดชอบ โดย UNESCO (2023) ได้กำหนดหลักการสำคัญ 4 ประการสำหรับการพัฒนา และการใช้ปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษา ได้แก่ ความโปร่งใส ความรับผิดชอบ ความไม่เลือกปฏิบัติ และการให้มนุษย์เป็นศูนย์กลางของการตัดสินใจ ซึ่งหมายความว่า การตัดสินใจที่ส่งผลต่อชีวิตและอนาคต ของผู้เรียนจะต้องไม่ถูกมอบหมายให้ระบบปัญญาประดิษฐ์เป็นผู้ตัดสินใจแต่เพียงผู้เดียวโดยปราศจาก การควบคุมตรวจสอบของมนุษย์ โดย Miao et al. (2021) เสนอกรอบการกำกับดูแลปัญญาประดิษฐ์ทาง การศึกษาที่มีความสามารถครอบคลุม 3 ระดับที่เชื่อมโยงกัน 1) ระดับนโยบาย ซึ่งรัฐบาลและหน่วยงาน ที่เกี่ยวข้องต้องพัฒนากฎหมายและมาตรฐานที่สามารถนำมาบังคับใช้ได้จริงเกี่ยวกับการจัดการข้อมูล ของผู้เรียน ความโปร่งใสของอัลกอริทึม รวมถึงความรับผิดชอบของผู้พัฒนาระบบ 2) ระดับสถาบัน ซึ่งสถาบันการศึกษาต้องกำหนดนโยบายภายในที่ชัดเจนเกี่ยวกับการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในห้องเรียน รวมถึง จัดให้มีคณะกรรมการจริยธรรมที่ทำหน้าที่ประเมินและตรวจสอบการใช้เทคโนโลยีเหล่านี้อย่างสม่ำเสมอ และ 3) ระดับห้องเรียน ซึ่งผู้สอนต้องได้รับการพัฒนาทักษะในการใช้ปัญญาประดิษฐ์อย่างมีจริยธรรม และสามารถสอนให้ผู้เรียนเข้าใจข้อจำกัดและความเสี่ยงของเทคโนโลยีเหล่านี้ด้วย

นอกจากนั้น สิ่งสำคัญที่กรอบจริยธรรมเหล่านี้มีส่วนร่วมคือการยืนยันว่าบทบาทของมนุษย์ ในกระบวนการศึกษาไม่สามารถถูกแทนที่ได้ Holmes et al. (2022) สรุปว่าปัญญาประดิษฐ์ควรได้รับการ มองว่าเป็นเครื่องมือที่ขยายขีดความสามารถของมนุษย์ ไม่ใช่สิ่งทดแทนมนุษย์ และการตัดสินใจ ด้านการศึกษาที่มีแก่นสำคัญทางจริยธรรม เช่น การประเมินผล การให้คำแนะนำด้านอาชีพ และการตัดสินใจ กรณีละเมิดวินัย จะต้องอยู่ภายใต้การดูแลและตัดสินใจของมนุษย์เสมอ ไม่ว่าจะเป็นการนำปัญญาประดิษฐ์ มาสนับสนุนในระดับใดก็ตาม นอกจากนี้ Williamson & Hogan (2020) ยังเน้นย้ำว่าการสร้างวัฒนธรรมการ ตั้งคำถามต่อเทคโนโลยีเชิงวิพากษ์ในหมู่ผู้เรียน ผู้สอน และผู้บริหารสถาบันการศึกษา ถือเป็นเงื่อนไขพื้นฐานที่ สำคัญที่สุดสำหรับการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาอย่างมีจริยธรรมและมีความรับผิดชอบต่อสังคมในระยะ ยาว

2.4 สมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนในฐานะปัจจัยขับเคลื่อนการเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัล

การนำปัญญาประดิษฐ์และเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ในการศึกษาให้ประสบความสำเร็จนั้นไม่อาจสำเร็จ ได้เพียงด้วยการจัดหาเครื่องมือและโครงสร้างพื้นฐานที่ทันสมัย หากแต่ขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้สอน ในการนำเทคโนโลยีเหล่านั้นไปบูรณาการเข้ากับกระบวนการเรียนการสอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีจุดมุ่งหมายที่ชัดเจน โดย Redecker (2017) นิยามสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนว่าเป็นความสามารถ ในการใช้เทคโนโลยีดิจิทัลอย่างสร้างสรรค์และมีวิจารณญาณ เพื่อยกระดับการวางแผนการสอน การจัดการเรียนรู้ การประเมินผล และการพัฒนาวิชาชีพของตนเองอย่างต่อเนื่อง ในบริบทของการเปลี่ยนแปลง เชิงดิจิทัลที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน สมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนจึงกลายเป็นตัวแปรสำคัญ ที่กำหนดว่าระบบการศึกษาจะสามารถใช้ประโยชน์จากศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ได้มากน้อยเพียงใด และจะหลีกเลี่ยงความเสี่ยงด้านจริยธรรมที่เกี่ยวข้องได้อย่างไร

2.4.1 กรอบแนวคิดสมรรถนะดิจิทัลสำหรับผู้สอนในศตวรรษที่ 21

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา องค์กรระหว่างประเทศและนักวิชาการหลายกลุ่มได้พัฒนา กรอบแนวคิดที่เป็นระบบสำหรับการนิยามและวัดสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอน กรอบแนวคิดที่ได้รับการยอมรับ และอ้างอิงอย่างกว้างขวางที่สุดในระดับนานาชาติ ได้แก่ กรอบสมรรถนะดิจิทัลสำหรับนักการศึกษา

ของสหภาพยุโรป (European Digital Competence Framework for Educators หรือ DigComp-Edu) ที่พัฒนาโดย Redecker (2017) ซึ่งจำแนกสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนออกเป็น 6 ด้านหลัก ได้แก่ 1) การมีส่วนร่วมในการเรียนรู้เชิงวิชาชีพผ่านช่องทางดิจิทัล 2) การจัดหาและสร้างสรรค์สื่อและทรัพยากรดิจิทัล 3) การจัดการเรียนการสอนและการนิเทศด้วยเทคโนโลยี 4) การประเมินผลที่ขับเคลื่อนด้วยข้อมูล 5) การส่งเสริมสมรรถนะดิจิทัลของผู้เรียน และ 6) การออกแบบการเรียนรู้ที่ตอบสนองต่อความหลากหลายของผู้เรียนด้วยเทคโนโลยี ตามลำดับ นอกเหนือจากกรอบ DigComp-Edu แล้ว กรอบแนวคิดอีกลักษณะหนึ่งที่โดดเด่นในบริบทของการบูรณาการเทคโนโลยีกับการสอน คือกรอบ Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) ที่พัฒนาโดย Mishra & Koehler (2006) และยังคงนำมาใช้จนถึงปัจจุบัน โดยกรอบนี้มีการเสนอว่าการสอนที่มีประสิทธิผลด้วยเทคโนโลยีต้องอาศัยความรู้ 3 ด้านที่บูรณาการกัน ได้แก่ ความรู้ด้านเนื้อหาวิชา ความรู้ด้านวิธีสอน และความรู้ด้านเทคโนโลยี โดยประสิทธิผลสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อผู้สอนสามารถผสมผสานความรู้ทั้ง 3 ด้านนี้ได้อย่างลงตัวในบริบทเฉพาะของการสอน Mishra (2019) ได้ปรับปรุงกรอบนี้ให้ทันสมัยขึ้นโดยเพิ่มมิติของปัญญาประดิษฐ์เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของความรู้ด้านเทคโนโลยีที่ผู้สอนในศตวรรษที่ 21 ต้องมี ซึ่งสะท้อนถึงการเปลี่ยนแปลงของภูมิทัศน์เทคโนโลยีทางการศึกษาที่เกิดขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา

นอกจากนั้น UNESCO (2022) ยังได้เผยแพร่กรอบสมรรถนะปัญญาประดิษฐ์สำหรับครู (AI Competency Framework for Teachers) ซึ่งสามารถระบุถึงสมรรถนะเฉพาะที่ผู้สอนจำเป็นต้องมีในยุคที่ปัญญาประดิษฐ์เข้ามามีบทบาทในชั้นเรียน ครอบคลุมตั้งแต่ความเข้าใจพื้นฐานเกี่ยวกับการทำงานของปัญญาประดิษฐ์ การประเมินและเลือกใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาอย่างมีวิจารณญาณ ตลอดจนจนถึงการสอนให้ผู้เรียนใช้ปัญญาประดิษฐ์อย่างมีจริยธรรมและมีประสิทธิผล โดยมีกรอบแนวคิดเหล่านี้เป็นพื้นฐานช่วยให้มีการพัฒนาสมรรถนะด้านดิจิทัลของผู้สอนมีทิศทางที่ชัดเจนและสามารถวัดความก้าวหน้าได้อย่างเป็นระบบ

2.4.2 ช่องว่างสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

แม้ว่าผู้สอนในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมักได้รับการมองว่ามีความคุ้นเคยกับเทคโนโลยีมากกว่าผู้สอนในสาขาอื่น แต่งานวิจัยที่เกี่ยวข้องชี้ให้เห็นว่าความสามารถในการใช้เทคโนโลยีส่วนตัว (Personal technology usage) นั้นแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากความสามารถในการบูรณาการเทคโนโลยีเข้ากับการสอนอย่างมีประสิทธิภาพ (Pedagogical technology integration) โดยงานวิจัยของ Tondeur et al. (2020) มีการรายงานจากการสำรวจผู้สอนในสาขา STEM ในหลายประเทศว่า แม้ผู้สอนส่วนใหญ่จะมีทักษะการใช้เทคโนโลยีในระดับพื้นฐานถึงปานกลาง แต่มีเพียงส่วนน้อยที่สามารถออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้เทคโนโลยีในลักษณะที่ส่งเสริมการคิดขั้นสูงของผู้เรียนได้อย่างแท้จริง อย่างไรก็ตาม ช่องว่างสมรรถนะดิจิทัลที่พบบ่อยที่สุดในกลุ่มผู้สอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประการหลัก ได้แก่ 1) ช่องว่างด้านความรู้เกี่ยวกับปัญญาประดิษฐ์ ซึ่งผลลัพธ์จากงานวิจัยของ Miao et al. (2021) พบว่าผู้สอนส่วนใหญ่ยังขาดความเข้าใจที่เพียงพอเกี่ยวกับหลักการทำงานของปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษา ข้อจำกัดของเทคโนโลยี และความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นจากการใช้งาน 2) ช่องว่างด้านทักษะการออกแบบการเรียนรู้ที่บูรณาการเทคโนโลยี ซึ่ง Redecker (2017) อธิบายว่าเป็นทักษะที่ซับซ้อนและต้องการการฝึกฝนในบริบทจริง ไม่สามารถพัฒนาได้จากการอบรมเชิงทฤษฎีเท่านั้น และ 3) ช่องว่างด้านจริยธรรมดิจิทัล ที่ Holmes et al. (2022) สะท้อนให้เห็นว่าผู้สอนจำนวนมากยังไม่มีกรอบความคิดที่เพียงพอในการพิจารณาและสื่อสารประเด็นด้านจริยธรรมของการใช้ปัญญาประดิษฐ์กับผู้เรียน

ยิ่งไปกว่านั้น การศึกษาวิจัยของ Crompton & Burke (2023) ชี้ให้เห็นว่าช่องว่างสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนมีลักษณะเชิงรุ่น (Generational dimension) ที่ชัดเจน โดยผู้สอนรุ่นเก่าที่เข้าสู่วิชาชีพก่อนยุคดิจิทัลมักมีช่องว่างสมรรถนะกว้างกว่าผู้สอนรุ่นใหม่ ขณะที่ผู้สอนรุ่นใหม่มักมีทักษะการใช้เครื่องมือดิจิทัลที่ดีกว่าแต่ขาดประสบการณ์ทางการสอนที่จำเป็นสำหรับการบูรณาการเทคโนโลยีอย่างมีประสิทธิภาพ ความแตกต่างนี้ชี้ให้เห็นว่าการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนจำเป็นต้องออกแบบให้ตอบสนองต่อความต้องการที่แตกต่างกันของผู้สอนในแต่ละช่วงวัยและระดับประสบการณ์

2.4.3 แนวทางและรูปแบบการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนที่มีประสิทธิภาพ

หลักฐานเชิงประจักษ์จากงานวิจัยในช่วงที่ผ่านมาชี้ให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนที่ประสบความสำเร็จมีลักษณะที่แตกต่างจากรูปแบบการอบรมแบบดั้งเดิมอย่างมีนัยสำคัญ โดย Tondeur et al. (2020) สรุปจากการทบทวนงานวิจัยว่า รูปแบบการพัฒนาที่มีประสิทธิภาพสูงสุดมีลักษณะร่วมกัน 5 ประการ ได้แก่ 1) การเชื่อมโยงกับบริบทการสอนจริงของผู้สอน 2) การฝึกปฏิบัติในชั้นเรียนควบคู่กับการสะท้อนคิด 3) การเรียนรู้แบบร่วมมือในหมู่เพื่อนร่วมวิชาชีพ 4) การได้รับการนิเทศและการสนับสนุนอย่างต่อเนื่อง และ 5) การกำหนดเป้าหมายการพัฒนาที่เฉพาะเจาะจงและวัดได้ ซึ่งรูปแบบที่ได้รับการยืนยันว่ามีประสิทธิภาพสูงในบริบทของสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยเฉพาะ คือ การพัฒนาวิชาชีพที่เน้นการทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ (Professional learning community: PLC) ที่ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเป็นสื่อกลาง โดย Miao et al. (2021) พบว่าเมื่อผู้สอนในสาขาเดียวกันมีพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนประสบการณ์ ทดลองใช้เครื่องมือปัญญาประดิษฐ์ร่วมกัน และสะท้อนคิดเกี่ยวกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในชั้นเรียนของตนเองอย่างสม่ำเสมอ การพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลเกิดขึ้นได้เร็วกว่าและยั่งยืนกว่าการเข้าร่วมการอบรมระยะสั้นที่ขาดการติดตาม รูปแบบดังกล่าวมีความสอดคล้องกับหลักการเรียนรู้ของผู้สอนในฐานะผู้ใหญ่ที่ต้องการเห็นความเชื่อมโยงระหว่างสิ่งที่เรียนกับงานที่ทำจริงอย่างชัดเจน

นอกจากนั้น การพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนในยุคของปัญญาประดิษฐ์ยังต้องการมิติใหม่ ที่กรอบการพัฒนาแบบดั้งเดิมยังไม่สามารถให้ความสำคัญเพียงพอ ได้แก่ การพัฒนาทักษะการประเมินเครื่องมือปัญญาประดิษฐ์อย่างมีวิจารณญาณ ความสามารถในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ผสมผสานการใช้ปัญญาประดิษฐ์กับการพัฒนาทักษะการคิดของผู้เรียนในเวลาเดียวกัน และความสามารถในการอธิบายให้ผู้เรียนเข้าใจข้อจำกัด ความเสี่ยง และมิติทางจริยธรรมของปัญญาประดิษฐ์ได้อย่างเหมาะสมกับระดับของผู้เรียน อีกทั้งผลการศึกษาของ Baidoo-Anu & Ansah (2023) ได้เสนอว่า สถาบันการศึกษาควรออกแบบโปรแกรมพัฒนาผู้สอนที่ให้ผู้สอนได้ทดลองใช้ปัญญาประดิษฐ์ในฐานะผู้เรียนก่อน เพื่อให้เกิดความเข้าใจเชิงประสบการณ์ที่จะนำไปสู่การออกแบบการเรียนการสอนที่มีคุณภาพได้อย่างแท้จริง

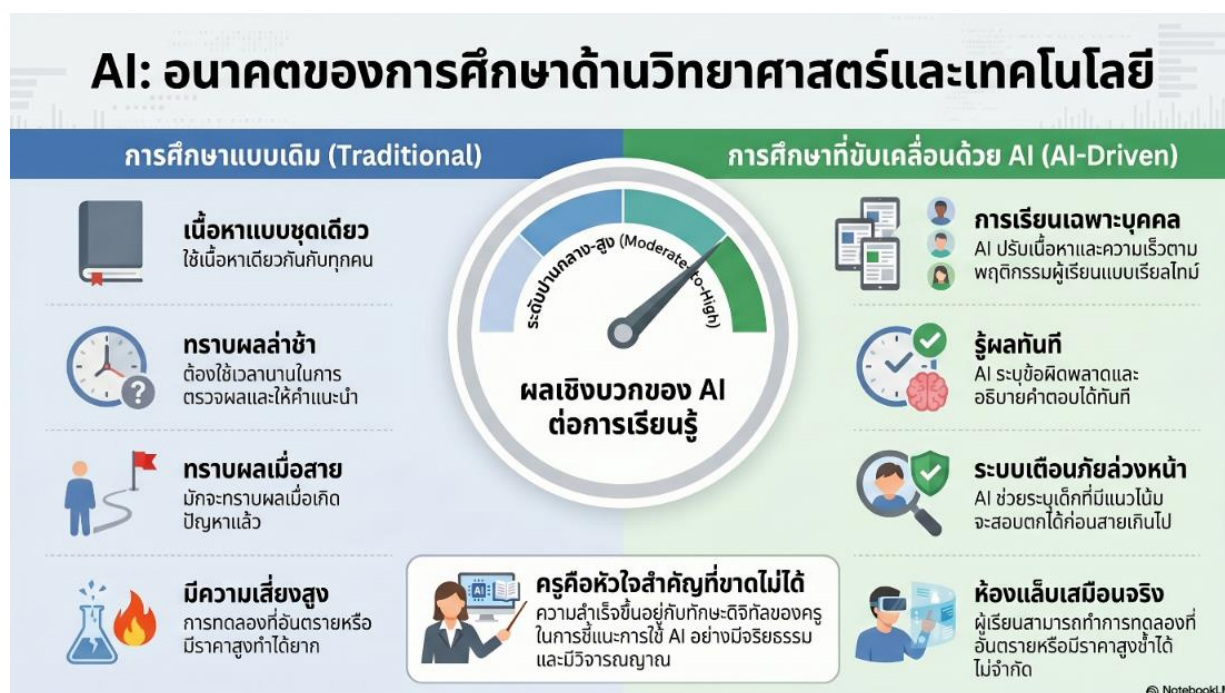
2.4.4 บทบาทของสถาบันการศึกษาและนโยบายในการส่งเสริมสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอน

การพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนเป็นความรับผิดชอบที่ไม่อาจปล่อยให้เป็นเรื่องของความคิดริเริ่มส่วนบุคคลเท่านั้น แต่ต้องการการสนับสนุนเชิงระบบจากสถาบันการศึกษาและนโยบายภาครัฐที่ออกแบบมาอย่างรอบคอบและมีพันธกิจที่ชัดเจน โดย UNESCO (2022) เน้นย้ำว่าสถาบันการศึกษาต้องสร้างสภาพแวดล้อมองค์กรที่เกื้อหนุนต่อการเรียนรู้และการทดลองนวัตกรรมของผู้สอน ซึ่งหมายถึงการจัดสรรเวลาและทรัพยากรสำหรับการพัฒนาวิชาชีพ การสร้างระบบการยกย่องและให้รางวัลแก่ผู้สอนที่ริเริ่มการบูรณาการเทคโนโลยีในชั้นเรียน และการสร้างวัฒนธรรมองค์กรที่มองความผิดพลาดจากการทดลองสิ่งใหม่เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการเรียนรู้ มิใช่สิ่งที่ควรหลีกเลี่ยง นอกจากนี้ ในระดับของนโยบาย World Economic Forum (2023) เสนอว่ารัฐบาลควรกำหนดให้สมรรถนะดิจิทัลเป็นส่วนหนึ่งของมาตรฐานวิชาชีพครูและเกณฑ์การประเมินใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ เพื่อสร้างแรงจูงใจเชิงระบบให้ผู้สอนพัฒนาสมรรถนะดังกล่าว

อย่างต่อเนื่อง ควบคู่กับการออกแบบหลักสูตรการผลิตครูในสถาบันอุดมศึกษาที่บูรณาการสมรรถนะดิจิทัลเข้าเป็นส่วนหนึ่งของการเรียนรู้หลัก ไม่ใช่วิชาเลือกเสริมที่ผู้เรียนครูหลีกเลี่ยงได้ ซึ่งสอดคล้องกับข้อเสนอของ Miao et al. (2021) ที่แนะนำให้ประเทศต่าง ๆ พัฒนายุทธศาสตร์ระดับชาติสำหรับการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนที่มีเป้าหมายชัดเจน งบประมาณที่เพียงพอ และกลไกการติดตามประเมินผลที่เป็นรูปธรรม

อย่างไรก็ตาม สิ่งสำคัญที่ผู้บริหารสถานศึกษาต้องตระหนักในการกำหนดนโยบายในด้านดังกล่าว คือความหลากหลายของบริบทสถาบันและบริบทบุคคลของผู้สอน โดย Tondeur et al. (2020) ได้ให้ข้อเสนอว่านโยบายแบบเดียวกันสำหรับทุกคน (One-size-fits-all policy) ในการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลมักไม่บรรลุผลตามที่ตั้งใจ เพราะผู้สอนมีระดับสมรรถนะเริ่มต้น ความต้องการ และบริบทการสอนที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งนโยบายที่มีประสิทธิภาพจึงต้องออกแบบให้มีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะตอบสนองต่อความแตกต่างเหล่านี้ได้ โดยกำหนดมาตรฐานขั้นต่ำที่ชัดเจนในระดับชาติ แต่เปิดพื้นที่ให้สถาบันและผู้สอนแต่ละคนสามารถกำหนดเส้นทางการพัฒนาที่เหมาะสมกับบริบทของตนเองได้ ซึ่งการออกแบบนโยบายในลักษณะนี้จะช่วยให้การส่งเสริมสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนเกิดขึ้นได้อย่างทั่วถึง ยั่งยืน และนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงที่แท้จริงในคุณภาพการเรียนการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในที่สุด

เพื่อสร้างความเข้าใจเบื้องต้นเกี่ยวกับความแตกต่างเชิงโครงสร้างระหว่างการจัดการเรียนการสอนแบบดั้งเดิม (Traditional education) และการจัดการเรียนการสอนที่ขับเคลื่อนด้วยปัญญาประดิษฐ์ (AI-Driven education) การทบทวนวรรณกรรมข้างต้นได้นำมาสู่การสังเคราะห์กรอบแนวคิดที่จำแนกลักษณะสำคัญของการจัดการเรียนการสอนทั้ง 2 รูปแบบออกเป็น 4 มิติหลัก ได้แก่ รูปแบบการสอน การประเมินผล การเข้าถึงทรัพยากร และการพัฒนาทักษะของผู้เรียน ทั้งนี้ กรอบแนวคิดดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าครูผู้สอนยังคงมีบทบาทสำคัญในฐานะตัวแปรเชื่อมโยงระหว่างการจัดการเรียนการสอนทั้ง 2 รูปแบบดังกล่าว แสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบการจัดการเรียนการสอนแบบดั้งเดิมกับการจัดการเรียนการสอนที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(ที่มา : อ้างอิงจากงานวิจัยของ Crompton & Burke, 2023; Holmes et al., 2022; Ouyang & Jiao, 2021)

3. การวิเคราะห์และอภิปรายผล

จากการทบทวนและสังเคราะห์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ ผลที่ได้จากบทความวิชาการนี้สามารถจัดระเบียบออกเป็น 4 ประเด็นหลัก ๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ความสำคัญต่อการออกแบบการศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผลจากการสังเคราะห์วรรณกรรมในประเด็นที่เกี่ยวกับลักษณะการเรียนรู้ของผู้เรียน Gen Z พบว่าผู้เรียนกลุ่มนี้มีอัตลักษณ์เฉพาะที่สร้างความไม่สอดคล้องอย่างเป็นระบบระหว่างสิ่งที่ผู้เรียนต้องการกับสิ่งที่การศึกษาแบบดั้งเดิมสามารถมอบให้ได้ ผลการสังเคราะห์ชี้ว่าผู้เรียน Gen Z มีลักษณะร่วมกัน 4 ประการที่มีนัยสำคัญต่อการจัดการเรียนการสอนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้แก่ 1) ความต้องการข้อมูลป้อนกลับที่รวดเร็วและเฉพาะเจาะจง 2) ความคาดหวังต่อประสบการณ์การเรียนรู้ที่ปรับให้เหมาะกับตนเอง 3) ความต้องการเห็นความเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหากับบริบทชีวิตจริงอย่างชัดเจน และ 4) แนวโน้มในการเรียนรู้ของผู้เรียนแบบลงมือปฏิบัติผ่านสื่อดิจิทัลมากกว่าการรับสารผ่านการบรรยายแบบเดิม (Seemiller & Grace, 2018; Schwieger & Ladwig, 2018; McKinsey & Živković, 2025) ซึ่งผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Crompton & Burke (2023) ที่พบว่าผู้เรียนกลุ่มนี้ในสาขา STEM แสดงผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อได้รับการจัดการเรียนรู้ที่ผสมผสานระหว่างโจทย์ปัญหาจากสถานการณ์จริงกับเทคโนโลยีดิจิทัลเชิงโต้ตอบ ซึ่งบ่งชี้ว่าช่องว่างระหว่างลักษณะของผู้เรียนกับรูปแบบการสอนแบบดั้งเดิมไม่ใช่เพียงความแตกต่างในด้านความชอบส่วนบุคคล แต่เป็นปัจจัยเชิงโครงสร้างที่ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการเรียนรู้ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นัยสำคัญของผลการวิจัยนี้คือการยืนยันว่าการปรับรูปแบบการสอนให้สอดคล้องกับลักษณะของผู้เรียน Gen Z ไม่ใช่ทางเลือก แต่เป็นความจำเป็นเชิงการศึกษาที่มีพื้นฐานจากหลักฐานเชิงประจักษ์อย่างชัดเจน

3.2 ศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์ในการเรียนการสอนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ผลการสังเคราะห์วรรณกรรมในประเด็นศักยภาพของปัญญาประดิษฐ์สะท้อนให้เห็นว่าปัญญาประดิษฐ์มีความสามารถในการตอบสนองต่อข้อจำกัดของการสอนแบบดั้งเดิมใน 3 มิติหลัก กล่าวคือ 1) ข้อจำกัดด้านความสามารถในการจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคล (Personalized learning) เนื่องจากการสอนแบบดั้งเดิมที่ผู้สอนหนึ่งคนต้องรับผิดชอบผู้เรียนจำนวนมากพร้อมกันทำให้แทบไม่สามารถออกแบบเนื้อหา ลำดับการเรียนรู้ และความเร็วในการสอนให้สอดคล้องกับความต้องการและระดับความสามารถของผู้เรียนแต่ละคนได้อย่างแท้จริง 2) ข้อจำกัดด้านการให้ข้อมูลป้อนกลับที่ทันท่วงที เนื่องจากกระบวนการตรวจประเมินและส่งคืนผลงานในระบบการศึกษาแบบดั้งเดิมมักใช้เวลานาน ส่งผลให้ผู้เรียนไม่ได้รับข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการปรับปรุงการเรียนรู้ที่เหมาะสม และ 3) ข้อจำกัดด้านการวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงการสอน เนื่องจากผู้สอนมักขาดเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการติดตามและวิเคราะห์พฤติกรรมการณ์การเรียนรู้ของผู้เรียนในเชิงลึก ทำให้การปรับรูปแบบการสอนเพื่อตอบสนองต่อปัญหาของผู้เรียนเป็นไปได้อย่างจำกัด ทั้ง 3 มิติดังกล่าวมีความเชื่อมโยงและส่งเสริมซึ่งกันและกันในลักษณะที่ข้อจำกัดในมิติหนึ่งมักส่งผลกระทบต่อมิติอื่น ๆ อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบการจัดการศึกษาแบบดั้งเดิมและการจัดการศึกษาที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมืออย่างเป็นระบบ

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการศึกษาในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีระหว่างรูปแบบดั้งเดิมและใช้ปัญญาประดิษฐ์เป็นเครื่องมือ

มิติการเปรียบเทียบ	การศึกษาแบบดั้งเดิม	การศึกษาที่ใช้ AI เป็นเครื่องมือ	แหล่งอ้างอิง
การปรับเนื้อหาให้เหมาะกับผู้เรียน	เนื้อหาและความเร็วในการสอนเดียวกันสำหรับผู้เรียนทุกคน ผู้เรียนต้องปรับตัวตามระบบ	ระบบปรับเนื้อหา ระดับความยากและลำดับการเรียนรู้ตามพฤติกรรมและการตอบสนองของผู้เรียนแต่ละคนแบบเรียลไทม์	Crompton & Burke (2023); Miao et al. (2021)
ข้อมูลป้อนกลับ	มีความล่าช้า และมักจะให้หลังส่งงานหรือสอบ เป็นการสรุปรวม ขาดรายละเอียดเฉพาะบุคคล	ทันที เฉพาะเจาะจง อธิบายจุดบกพร่องและแนวทางแก้ไข ช่วยผู้เรียนแก้ความเข้าใจผิดได้ก่อนที่จะสะสม	Ouyang & Jiao (2021); Zawacki-Richter et al. (2019)
การตรวจจับความเสียด้านการเรียนรู้	อาศัยการสังเกตของผู้สอนซึ่งมีข้อจำกัดด้านเวลาและจำนวนผู้เรียน มักพบปัญหาเมื่อสายเกินไป	วิเคราะห์รูปแบบพฤติกรรมการเรียนรู้อย่างต่อเนื่อง สามารถระบุผู้เรียนที่มีความเสี่ยงได้ตั้งแต่ต้น ช่วยให้แทรกแซงได้ทันเวลาที่	Crompton & Burke (2023); Chen et al. (2020)
การประเมินผล	เน้นการวัดผลสรุป (Summative) มักเกิดขึ้นเป็นระยะ สะท้อนผลลัพธ์ แต่ไม่ช่วยปรับกระบวนการในระหว่างเรียน	ผสมผสานการประเมินเชิงพัฒนาการ (Formative) ที่เกิดขึ้นต่อเนื่อง เชื่อมโยงผลการประเมินกับการปรับแผนการสอนอัตโนมัติ	Holmes et al. (2022); Imjai (2024)
ขนาดที่รองรับได้	คุณภาพของการสอนแบบเฉพาะบุคคลลดลงเมื่อจำนวนผู้เรียนเพิ่มขึ้น ผู้สอนหนึ่งคนมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการดูแลผู้เรียนจำนวนมาก	สามารถให้การเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลแก่ผู้เรียนจำนวนมากพร้อมกันได้โดยไม่ลดคุณภาพ	Crompton & Burke (2023)
การพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูง	เน้นการถ่ายทอดความรู้และการประยุกต์ใช้ตามขั้นตอนที่กำหนด ขาดกลไกส่งเสริมการคิดเชิงวิพากษ์อย่างเป็นระบบ	สามารถออกแบบสภาพแวดล้อมที่กระตุ้นการคิดวิเคราะห์ผ่านการตั้งคำถามและการจำลองสถานการณ์ที่ซับซ้อน	Baidoo-Anu & Ansah (2023); Ouyang & Jiao (2021)
การทดลองและปฏิบัติการ	จำกัดอยู่กับอุปกรณ์และงบประมาณที่มีอยู่จริง ไม่สามารถจำลองสถานการณ์อันตรายหรือมีต้นทุนสูงได้	ใช้ห้องปฏิบัติการเสมือนและการจำลองสถานการณ์ที่ผู้เรียนสามารถทดลองซ้ำได้ไม่จำกัดโดยไม่มีความเสี่ยง	Zawacki-Richter et al. (2019)
ความพร้อมสำหรับผู้เรียน Gen Z	ไม่สอดคล้องกับพฤติกรรมและความคาดหวังของผู้เรียนที่คุ้นเคยกับเทคโนโลยีดิจิทัลตั้งแต่กำเนิด	สอดคล้องกับลักษณะการเรียนรู้ผ่านสื่อดิจิทัล ความต้องการการตอบสนองที่รวดเร็ว และการเรียนรู้เชิงปฏิสัมพันธ์ของผู้เรียน Gen Z	Seemiller & Grace (2018); Živković et al. (2025)
ต้นทุนและทรัพยากร	ต้นทุนบุคลากรสูง แต่โครงสร้างพื้นฐานทางกายภาพมีความคงทน เข้าใจง่าย และไม่ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีจากผู้สอน	ต้องการการลงทุนด้านเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลในช่วงแรก แต่สามารถลดต้นทุนต่อหัวในระยะยาวได้	Miao et al. (2021); World Economic Forum (2023)
ความเสี่ยงและข้อจำกัด	เสี่ยงต่อการไม่ตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล แต่มีความเสี่ยงด้านจริยธรรมเทคโนโลยีต่ำ	มีความเสี่ยงด้านความเป็นส่วนตัวของข้อมูล ความเท่าเทียมในการเข้าถึง และการพึ่งพาเทคโนโลยีมากเกินไป	Holmes et al. (2022); Williamson & Hogan (2020)

หมายเหตุ : การเปรียบเทียบข้างต้นอิงจากการสังเคราะห์งานวิจัยเชิงประจักษ์ที่ผ่านการทบทวนวรรณกรรม

การอภิปรายเปรียบเทียบดังกล่าวสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์อภิธานของ Crompton & Burke (2023) ที่รายงานขนาดผลเชิงบวกของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในสาขา STEM อยู่ในระดับปานกลางถึงสูง โดยเมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 1 อย่างเป็นระบบ จะพบรูปแบบที่สำคัญ 3 ประการ ได้แก่ 1) ความได้เปรียบของปัญญาประดิษฐ์เหนือการสอนแบบดั้งเดิมมีความสม่ำเสมอในทั้ง 3 มิติหลัก มิใช่เพียงมิติใดมิติหนึ่ง ซึ่งบ่งชี้ว่าปัญญาประดิษฐ์ไม่ได้เป็นเพียงเครื่องมือเสริมเฉพาะจุด หากแต่สามารถปรับเปลี่ยนพลวัตของการเรียนการสอนในเชิงโครงสร้างได้อย่างเป็นรูปธรรม 2) สิ่งที่น่าสังเกตเป็นพิเศษคือผลเชิงบวกของปัญญาประดิษฐ์มีแนวโน้มสูงกว่าในกลุ่มผู้เรียนระดับกลาง ซึ่งมักเป็นกลุ่มที่ได้รับประโยชน์น้อยที่สุดจากการสอนแบบบรรยายในชั้นเรียนขนาดใหญ่ (Chen et al., 2020) บ่งชี้ว่าปัญญาประดิษฐ์ไม่เพียงยกระดับผลสัมฤทธิ์โดยรวม แต่ยังมีศักยภาพในการลดความเหลื่อมล้ำภายในชั้นเรียนอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับที่ Baidoo-Anu & Ansah (2023) ชี้ให้เห็นว่าการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคลผ่านปัญญาประดิษฐ์ช่วยให้ผู้เรียนที่มีระดับความสามารถแตกต่างกันสามารถเรียนรู้ในอัตราและลำดับที่เหมาะสมกับตนเองได้อย่างมีประสิทธิภาพ 3) ความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างทั้ง 3 มิติในตารางที่ 1 ชี้ให้เห็นว่ามิติเหล่านี้มิได้ดำเนินการอย่างเป็นอิสระจากกัน หากแต่เสริมพลังซึ่งกันและกัน กล่าวคือ การวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนที่แม่นยำนำไปสู่การออกแบบการเรียนรู้เฉพาะบุคคลที่มีคุณภาพสูงขึ้น และการให้ข้อมูลป้อนกลับแบบทันทีช่วยให้งจรการเรียนรู้ดังกล่าวมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังที่ Ouyang & Jiao (2021) อธิบายว่าความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลระหว่างทั้ง 3 มิติเป็นหัวใจสำคัญของกระบวนการทัศน์ปัญญาประดิษฐ์เพื่อการศึกษาในศตวรรษที่ 21 ทั้งนี้ ผู้สอนในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีควรจะต้องตระหนักถึงผลการเปรียบเทียบนี้ภายใต้กรอบที่ว่าปัญญาประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือปัญญาประดิษฐ์ที่ทำงานร่วมกับผู้สอน ไม่ใช่ทำหน้าที่แทนที่ผู้สอน ดังที่ Holmes et al. (2022) ได้สรุปเอาไว้ นอกจากนี้ การศึกษาของ Mishra & Koehler (2006) ยังเน้นย้ำว่าความสำเร็จของการบูรณาการเทคโนโลยีใด ๆ ในชั้นเรียนล้วนขึ้นอยู่กับความสามารถของผู้สอนในการเชื่อมโยงความรู้ด้านเทคโนโลยีเข้ากับความรู้เชิงเนื้อหาและการสอนอย่างมีความหมายเป็นสำคัญ

3.3 ประเด็นด้านจริยธรรมที่ต้องการกรอบการจัดการในการใช้ปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษา

ผลการสังเคราะห์วรรณกรรมในประเด็นจริยธรรมชี้ให้เห็นว่าความท้าทายด้านจริยธรรมของการใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีลักษณะที่เชื่อมโยงกันเป็นระบบ ไม่สามารถแก้ไขได้ด้วยมาตรการเฉพาะจุดเพียงอย่างเดียว โดยผลการสังเคราะห์พบความท้าทายหลัก 3 ประการที่มีความเร่งด่วนและความซับซ้อนในระดับสูง ได้แก่

1) ด้านความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยของข้อมูลผู้เรียน โดยผลการทบทวนวรรณกรรมพบว่าระบบปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีแนวโน้มเก็บรวบรวมข้อมูลผู้เรียนในปริมาณและความลึกที่สูงกว่าสาขาอื่น เนื่องจากกิจกรรมการเรียนรู้มักเกิดขึ้นผ่านแพลตฟอร์มดิจิทัลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสร้างความเสี่ยงต่อการนำข้อมูลไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์เชิงพาณิชย์ การเกิดการละเมิดข้อมูล และการสร้างประวัติถาวรของผู้เรียนที่อาจส่งผลต่อโอกาสในอนาคต (Williamson & Hogan, 2020; Holmes et al., 2022) ผลดังกล่าวสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Miao et al. (2021) ที่พิสูจน์พบว่าสถาบันการศึกษาส่วนใหญ่ยังขาดนโยบายการจัดการข้อมูลผู้เรียนที่ครอบคลุมและบังคับใช้ได้จริง โดยเฉพาะในบริบทของการใช้บริการจากผู้ให้บริการเทคโนโลยีภายนอก

2) ด้านความเท่าเทียมในการเข้าถึงเทคโนโลยี ผลการสังเคราะห์วรรณกรรมชี้ให้เห็นความขัดแย้งที่สำคัญ กล่าวคือ แม้ปัญญาประดิษฐ์จะมีศักยภาพในการเป็นเครื่องมือลดความเหลื่อมล้ำทางการศึกษา

แต่ในทางปฏิบัติ เทคโนโลยีที่มีคุณภาพสูงมักกระจุกตัวอยู่ในสถาบันที่มีทรัพยากรสูงอยู่แล้ว (World Economic Forum, 2023) นอกจากนี้ ยังพบปัญหาความเอนเอียงของอัลกอริทึมที่อาจผลิตซ้ำและขยายความเหลื่อมล้ำทางสังคมที่มีอยู่เดิม โดย Williamson & Hogan (2020) พบหลักฐานว่าระบบพยากรณ์ผลการเรียนที่ฝึกฝนด้วยข้อมูลที่ไม่หลากหลายมีแนวโน้มสร้างข้อสรุปที่ไม่เป็นธรรมต่อผู้เรียนจากกลุ่มที่ด้อยโอกาส

3) ด้านการพึ่งพาเทคโนโลยีและผลกระทบต่อการพัฒนาทักษะการคิด ผลการสังเคราะห์พบว่าประเด็นนี้ที่ได้รับการอภิปรายน้อยที่สุดในวรรณกรรม แต่มีความสำคัญอย่างสูงต่อการวางนโยบาย โดย Baidoo-Anu & Ansah (2023) พิสูจน์ได้ว่าเมื่อผู้เรียนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสามารถพึ่งพาปัญญาประดิษฐ์ในการแก้โจทย์ สรุปเนื้อหา หรือเขียนรายงานได้โดยง่าย ซึ่งผลการอภิปรายนี้มีความสอดคล้องกับข้อค้นพบของ Ouyang & Jiao (2021) ที่พบว่าการออกแบบการเรียนรู้ที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์อย่างมีเจตนาชัดเจนสามารถหลีกเลี่ยงความเสี่ยงได้ และในขณะเดียวกันยังคงประโยชน์ของเทคโนโลยีไว้ได้

การอภิปรายประเด็นจริยธรรมทั้ง 3 ประการในช่วงต้นนั้นนำไปสู่ข้อสรุปที่สำคัญว่า การนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษาสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างมีความรับผิดชอบจำเป็นต้องมีกรอบจริยธรรมที่ครอบคลุม 3 ระดับพร้อมกัน ได้แก่ ระดับนโยบายที่มีกฎหมายและมาตรฐานที่สามารถบังคับใช้ได้จริง ระดับสถาบันที่มีคณะกรรมการกำกับดูแลการใช้เทคโนโลยี และระดับห้องเรียนที่ผู้สอนมีสมรรถนะในการบูรณาการปัญญาประดิษฐ์อย่างมีจริยธรรม (UNESCO, 2023; Miao et al., 2021) ซึ่งเชื่อมโยงโดยตรงกับวัตถุประสงค์ข้อที่ 4 ที่กล่าวถึงแนวทางการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอน

3.4 การพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในยุคปัญญาประดิษฐ์

ผลการสังเคราะห์วรรณกรรมในประเด็นสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนยืนยันอย่างชัดเจนว่า ความสำเร็จหรือความล้มเหลวของการนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษาขึ้นอยู่กับสมรรถนะของผู้สอนในระดับที่สูงกว่าปัจจัยด้านเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐาน การค้นพบนี้สอดคล้องกับผลการวิจัยของ Tondeur et al. (2020) ที่รายงานว่าในสถาบันที่มีโครงสร้างพื้นฐานดิจิทัลเทียบเท่ากัน ความแตกต่างของผลลัพธ์การเรียนรู้ถูกอธิบายได้ด้วยระดับสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนมากกว่าประเภทหรือคุณภาพของซอฟต์แวร์ที่นำมาประยุกต์ใช้ นอกจากนี้ ผลการสังเคราะห์ชี้ให้เห็นช่องว่างสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 ประการหลัก ได้แก่ 1) ช่องว่างด้านความเข้าใจหลักการการทำงานของปัญญาประดิษฐ์ในระดับที่เพียงพอต่อการประเมินและเลือกใช้เครื่องมืออย่างมีวิจารณญาณ 2) ช่องว่างด้านทักษะการออกแบบการสอนที่บูรณาการปัญญาประดิษฐ์เข้ากับการพัฒนาทักษะการคิดขั้นสูงได้อย่างเหมาะสมและสมดุล 3) ช่องว่างด้านความสามารถในการสอนให้ผู้เรียนใช้ปัญญาประดิษฐ์อย่างมีจริยธรรมและมีวิจารณญาณ (Redecker, 2017; UNESCO, 2022) ซึ่งทั้ง 3 ช่องว่างนี้เชื่อมโยงกับกรอบ DigComp-Edu ที่ระบุว่าสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนที่แท้จริงต้องครอบคลุมทั้งการใช้เทคโนโลยี การสอนด้วยเทคโนโลยี และการสอนเกี่ยวกับเทคโนโลยี

อย่างไรก็ตาม ในประเด็นรูปแบบการพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลที่มีประสิทธิผล ผลการสังเคราะห์วรรณกรรมพบหลักฐานที่สนับสนุนรูปแบบการพัฒนาวิชาชีพแบบบูรณาการในบริบทจริงอย่างต่อเนื่องมากกว่าการอบรมระยะสั้นแบบแยกส่วน โดย Tondeur et al. (2020) รายงานว่ารูปแบบชุมชนการเรียนรู้ทางวิชาชีพที่ให้ผู้สอนในสาขาเดียวกันทดลองใช้ปัญญาประดิษฐ์ร่วมกัน แลกเปลี่ยนประสบการณ์ และสะท้อนความคิดอย่างมีโครงสร้างส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการสอนที่ยั่งยืนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลการค้นพบนี้มีความสำคัญเชิงนโยบายอย่างยิ่ง เนื่องจากสถาบันการศึกษาส่วนใหญ่ยังคงลงทุนกับการอบรม

ระยะสั้นแบบครั้งเดียวเป็นหลัก ซึ่งหลักฐานเชิงประจักษ์สะท้อนให้ผลตอบแทนในระยะยาวต่ำกว่าที่คาดการณ์ นอกจากนี้ ผลการสังเคราะห์ยังพบข้อสังเกตเชิงนโยบายที่สำคัญ 2 ประการ คือ 1) การพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนต้องถูกออกแบบให้ตอบสนองต่อความแตกต่างระหว่างบุคคลและบริบท โดย Mishra (2019) ชี้ว่ากรอบ TPACK ที่ปรับปรุงให้รวมมิติของปัญญาประดิษฐ์เข้าไปสามารถเป็นเครื่องมือในการวินิจฉัยช่องว่างสมรรถนะเฉพาะบุคคลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นพื้นฐานสำคัญของการออกแบบโปรแกรมพัฒนาที่ตรงจุดและประหยัดทรัพยากร 2) การพัฒนาสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนต้องได้รับการสนับสนุนจากทั้งระดับสถาบันและระดับนโยบาย โดย UNESCO (2022) และ World Economic Forum (2023) ต่างเน้นย้ำว่าการยกระดับสมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนต้องการการบูรณาการนโยบายที่ครอบคลุมตั้งแต่มาตรฐานวิชาชีพครู หลักสูตรครู ระบบการพัฒนาวิชาชีพต่อเนื่อง และวัฒนธรรมองค์กรที่เกื้อหนุนต่อการทดลองนวัตกรรม

4. บทสรุป

ปัญญาประดิษฐ์มีศักยภาพอย่างมากในการยกระดับคุณภาพการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเฉพาะในด้านการจัดการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคล การให้ข้อมูลป้อนกลับแบบทันที และการวิเคราะห์ข้อมูลผู้เรียนเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจเชิงการสอน ซึ่งช่วยส่งเสริมผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน แรงจูงใจ และการมีส่วนร่วมของผู้เรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งยังสอดคล้องกับลักษณะและความคาดหวังของผู้เรียนยุค Gen Z ที่ต้องการการเรียนรู้ที่ยืดหยุ่น ตอบสนองความแตกต่างระหว่างบุคคล และเชื่อมโยงกับบริบทจริงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การนำปัญญาประดิษฐ์มาใช้ในการศึกษายังมาพร้อมกับความท้าทายสำคัญ ทั้งด้านความเป็นส่วนตัวของข้อมูล ความเหลื่อมล้ำในการเข้าถึงเทคโนโลยี ความเอนเอียงของอัลกอริทึม และความเสี่ยงจากการพึ่งพาเทคโนโลยีมากเกินไป ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อพัฒนาทักษะการคิดเชิงวิทยาศาสตร์และความซื่อสัตย์ทางวิชาการของผู้เรียน ดังนั้น การประยุกต์ใช้ปัญญาประดิษฐ์ในการศึกษาจึงควรดำเนินควบคู่กับกรอบจริยธรรม นโยบายกำกับดูแลที่เหมาะสม และการคุ้มครองข้อมูลผู้เรียนอย่างรอบด้าน ขณะเดียวกัน สมรรถนะดิจิทัลของผู้สอนถือเป็นปัจจัยสำคัญต่อความสำเร็จของการเปลี่ยนแปลงเชิงดิจิทัลทางการศึกษา ผู้สอนจำเป็นต้องมีความสามารถในการออกแบบ บูรณาการ และใช้เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์การเรียนรู้ ตลอดจนสามารถส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีอย่างมีวิจารณญาณและมีจริยธรรมแก่ผู้เรียนได้อย่างเหมาะสม ในอนาคต ควรมีการศึกษาวิจัยเชิงทดลองและเชิงประจักษ์เพิ่มเติมในบริบทของประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เพื่อพัฒนาองค์ความรู้และแนวทางการใช้ปัญญาประดิษฐ์ทางการศึกษาที่สอดคล้องกับบริบททางสังคม วัฒนธรรม และโครงสร้างพื้นฐานของภูมิภาคอย่างแท้จริง

เอกสารอ้างอิง

- Baidoo-Anu, D., & Ansah, L. O. (2023). Education in the era of generative artificial intelligence (AI): Understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning. *Journal of AI*, 7(1), 52–62.
- Chen, X., Xie, H., Zou, D., & Hwang, G. J. (2020). Application and theory gaps during the rise of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 1, 100002.
- Crompton, H., & Burke, D. (2023). Artificial intelligence in higher education: The state of the field. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, 22.

- Dabbagh, N., Fake, H., & Zhang, Z. (2019). Student perspectives of technology use for learning in higher education. *RIED Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 22(1), 127–152.
- Holmes, W., Porayska-Pomsta, K., Holstein, K., Sutherland, E., Baker, T., Shum, S. B., Santos, O. C., Rodrigo, M. T., Cukurova, M., Bittencourt, I. I., & Koedinger, K. R. (2022). Ethics of AI in education: Towards a community-wide framework. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32, 504–526.
- Imjai, N., Aujirapongpan, S., Jutidharabongse, J., & Usman, B. (2024). Impacts of digital connectivity on Thailand's Generation Z undergraduates' social skills and emotional intelligence. *Contemporary Educational Technology*, 16(1), Article ep487.
- Miao, F., Holmes, W., Huang, R., & Zhang, H. (2021). *AI and education: Guidance for policy-makers*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000376709>
- Mishra, P. (2019). Considering contextual knowledge: The TPACK diagram gets an upgrade. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 35(2), 76–78.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record: The Voice of Scholarship in Education*, 108(6), 1017–1054.
- Ouyang, F., & Jiao, P. (2021). Artificial intelligence in education: The three paradigms. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, Article 100020.
- Prensky, M. (2010). *Teaching digital natives: Partnering for real learning*. Corwin Press.
- Redecker, C. (2017). *European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu*. Publications Office of the European Union.
- Schwieger, D., & Ladwig, C. (2018). Reaching and retaining the next generation: Adapting to the expectations of Gen Z in the classroom. *Information Systems Education Journal*, 16(3), 45–54.
- Seemiller, C., & Grace, M. (2018). *Generation Z: A century in the making*. Routledge.
- Tondeur, J., Scherer, R., Siddiq, F., & Baran, E. (2020). Enhancing pre-service teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK): A mixed-method study. *Educational Technology Research and Development*, 68, 319–343.
- UNESCO. (2022). *K-12 AI curricula: A mapping of government-endorsed AI curricula*.
- UNESCO. (2023). *Technology in education: A tool on whose terms? Global education monitoring report*.
- Williamson, B., & Hogan, A. (2020). *Commercialisation and privatisation in/of education in the context of Covid-19*. Education International. <https://www.ei-ie.org/en/item/25251:commercialisation-and-privatisation-inof-education-in-the-context-of-covid-19>
- World Economic Forum. (2023). *Future of jobs report 2023*. <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2023>
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education - Where are the

educators?. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16, 39.

Živković, A., Adamek, A., & Brkić, A. (2025). Generation Z and the future of work: Expectations of a healthy workplace. *Proceedings of the International Academic Conference on Management and Economics*, 3, 1–16.