

Academic Article

A CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR MATHEMATICS LEARNING DESIGN IN
THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

กรอบแนวคิดสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคปัญญาประดิษฐ์

Received: April 13, 2026

Revised: May 21, 2026

Accepted: June 10, 2026

Doungtrat Chitcharoen^{1*}

ดวงรัตน์ จิตต์เจริญ^{1*}

¹Faculty of Science, Chandrakasem Rajabhat University

¹คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

*Corresponding Author, E-mail: doungtrat.c@chandra.ac.th

Abstract

This academic article aims to develop a conceptual framework for mathematics learning design in the age of artificial intelligence by synthesizing Constructivism, Cognitive Load Theory, Self-Regulated Learning, Metacognition, TPACK, and SAMR. The article responds to a conceptual gap in current discussions of AI in education, where AI is often addressed in broad terms or through isolated perspectives on technology integration, without sufficiently linking learning theory, cognitive support, learner regulation, and pedagogically meaningful use in mathematics education. Using a conceptual synthesis of scholarly literature on learning theories, cognitive processes, self-regulation, technology integration, and AI in mathematics education, the article analyzes the distinctive contributions of the six frameworks and their interrelationships in informing mathematics learning design. The synthesis organizes these frameworks into four integrative dimensions: meaningful knowledge construction, appropriate cognitive support, learner regulation and reflection, and pedagogically aligned AI integration. These dimensions are further synthesized into five design principles: purposeful meaning construction, appropriate cognitive support, learner regulation and reflection, pedagogically aligned AI integration, and transformative use of AI to enhance the quality of learning activities. The framework provides a conceptual foundation for teachers, curriculum developers, and researchers seeking to design AI-supported mathematics learning in ways that are reflective, critical, and consistent with the epistemic nature of mathematical thinking.

Keywords: Mathematics Learning, Artificial Intelligence, Learning Design, SAMR, Self-Regulated Learning

บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารอบแนวคิดสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคปัญญาประดิษฐ์ โดยสังเคราะห์ Constructivism, Cognitive Load Theory, Self-Regulated Learning, Metacognition, TPACK และ SAMR บทความนี้ตอบสนองต่อช่องว่างเชิงแนวคิดในงานว่าด้วย AI ทางการศึกษา ซึ่งที่ผ่านมา มักกล่าวถึง AI ในภาพรวม หรือพิจารณาเป็นรายมิติของการบูรณาการเทคโนโลยี โดยยังเชื่อมโยงฐานคิดด้านการเรียนรู้ การสนับสนุนทางพุทธิปัญญา การกำกับตนเองของผู้เรียน และการใช้เทคโนโลยีอย่างมีความหมายทางการสอนในคณิตศาสตร์ศึกษาได้ไม่เพียงพอ บทความนี้ใช้การสังเคราะห์เชิงแนวคิดจากวรรณกรรมทางวิชาการที่เกี่ยวข้องกับทฤษฎีการเรียนรู้ กระบวนการรู้คิด การกำกับตนเอง การบูรณาการเทคโนโลยี และ AI ในคณิตศาสตร์ศึกษา เพื่อวิเคราะห์บทบาทเฉพาะของกรอบแนวคิดทั้ง 6 และความสัมพันธ์ของกรอบเหล่านี้ต่อการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ ผลการสังเคราะห์จัดกรอบแนวคิดดังกล่าวภายใต้ 4 มิติหลัก ได้แก่ การสร้างความรู้ที่มีความหมาย การสนับสนุนทางพุทธิปัญญาที่เหมาะสม การกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน และการบูรณาการ AI อย่างสอดคล้องทางการสอน ก่อนหลอมรวมเป็น 5 หลักการสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคปัญญาประดิษฐ์ ได้แก่ การสร้างความรู้ที่มีความหมาย การสนับสนุนทางพุทธิปัญญาที่เหมาะสม การกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน การบูรณาการ AI อย่างสอดคล้องทางการสอน และการใช้ AI ในเชิงพลิกโฉมเพื่อยกระดับคุณภาพของกิจกรรมการเรียนรู้ กรอบดังกล่าวเป็นฐานคิดสำหรับครู นักพัฒนาหลักสูตร และนักวิจัยในการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ที่ใช้ AI อย่างรอบคอบ มีวิจารณ์ญาณ และสอดคล้องกับธรรมชาติของการคิดทางคณิตศาสตร์

คำสำคัญ: การเรียนรู้คณิตศาสตร์ ปัญญาประดิษฐ์ การออกแบบการเรียนรู้ SAMR การกำกับตนเองในการเรียนรู้

บทนำ (Introduction)

ปัญญาประดิษฐ์ได้กลายเป็นแรงขับเคลื่อนสำคัญที่กำลังเปลี่ยนแปลงภูมิทัศน์ของการศึกษาในศตวรรษที่ 21 อย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะการเกิดขึ้นของ generative AI และ large language models ซึ่งทำให้เทคโนโลยีไม่ได้ทำหน้าที่เพียงเป็นแหล่งข้อมูลหรือสื่อช่วยสอนเท่านั้น แต่ยังสามารถสร้างคำอธิบาย สรุปสาระ ออกแบบแบบฝึกหัด ให้ข้อเสนอแนะ และสนับสนุนปฏิสัมพันธ์ทางการเรียนรู้ได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น อย่างไรก็ตาม การขยายบทบาทของ AI ในการศึกษา มาพร้อมกับความท้าทายสำคัญ ทั้งในด้านความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ ความเอนเอียงของข้อมูล ความโปร่งใสของกระบวนการทำงาน และความจำเป็นของการกำกับดูแลโดยมนุษย์อย่างรอบคอบ ด้วยเหตุนี้ การใช้ generative AI ในการศึกษาจึงไม่ควรถูกมองเพียงในฐานะนวัตกรรมทางเทคนิค หากแต่ต้องพิจารณาภายใต้กรอบคิดที่ยึดมนุษย์เป็นศูนย์กลาง คำนึงถึงคุณค่าของการเรียนรู้ และตั้งอยู่บนความรับผิดชอบเชิงวิชาการควบคู่กันไป (Kasneci et al., 2023; Miao & Holmes, 2023)

ในบริบทของคณิตศาสตร์ศึกษา ผลกระทบของ AI มีความสำคัญเป็นพิเศษ เนื่องจากการเรียนรู้คณิตศาสตร์ไม่ได้มุ่งเพียงการได้คำตอบที่ถูกต้อง แต่ครอบคลุมการสร้างความรู้ความเข้าใจ การให้เหตุผล การเชื่อมโยงตัวตน ความคิดทางคณิตศาสตร์ การเลือกวิธีการที่เหมาะสม และการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อสรุป งานวิชาการร่วมสมัยชี้ว่า AI มีศักยภาพในการสนับสนุนการเรียนรู้แบบเฉพาะบุคคล การให้ข้อมูลย้อนกลับอย่างทันท่วงที การอธิบายแนวคิดที่ซับซ้อน และการช่วยครูออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ได้ในหลากหลายรูปแบบ ขณะเดียวกัน generative AI ยังสามารถสร้างตัวอย่างโจทย์และแนวทางการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ได้อย่างยืดหยุ่น อย่างไรก็ตาม คุณค่าดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างมีคุณภาพก็ต่อเมื่อ AI ถูกใช้เพื่อส่งเสริมกระบวนการคิดทางคณิตศาสตร์ ไม่ใช่เพียงเพื่อเร่งการได้มาซึ่งคำตอบหรือแทนที่ความพยายามทางปัญญาของผู้เรียน งานทบทวนอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์อภิมานล่าสุดยังสะท้อนว่า ChatGPT และ AI มีศักยภาพต่อการเรียนรู้ของผู้เรียน แต่ผลเชิงบวก

ดังกล่าวขึ้นอยู่กับรูปแบบการออกแบบกิจกรรมและการบูรณาการในบริบทการสอนด้วย (Deng et al., 2025; Walkington, 2025)

ประเด็นนี้สะท้อนว่า การออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI ไม่อาจพิจารณาเพียงมิติของการมีเครื่องมือใหม่ หากแต่ต้องอาศัยฐานคิดทางการเรียนรู้ที่ช่วยอธิบายว่า ผู้เรียนเรียนรู้ได้อย่างไร ควรใช้เทคโนโลยีเพื่อสนับสนุนกระบวนการนั้นอย่างไร และควรออกแบบประสบการณ์การเรียนรู้แบบใดจึงจะยังคงรักษาคูณค่าของการคิดทางคณิตศาสตร์ไว้ได้อย่างแท้จริง ในมิตินี้ แนวคิดคอนสตรัคติวิสต์อธิบายว่า การเรียนรู้เกิดจากการที่ผู้เรียนสร้างความหมายด้วยตนเองผ่านประสบการณ์ การปฏิสัมพันธ์ และการสะท้อนคิด ไม่ใช่การรับถ่ายทอดความรู้โดยตรงเพียงฝ่ายเดียว ดังนั้น แม้ AI จะสามารถอธิบาย ยกตัวอย่าง หรือเสนอวิธีทำได้อย่างรวดเร็ว แต่หากการใช้ AI ทำให้ผู้เรียนข้ามกระบวนการตั้งคำถาม ทดลองวิธีคิด เปรียบเทียบเหตุผล และสร้างข้อสรุปด้วยตนเอง การเรียนรู้คณิตศาสตร์ก็อาจเหลือเพียงการรับข้อมูลสำเร็จรูปที่ไม่ก่อให้เกิดความเข้าใจเชิงลึกเพียงพอด้วยเหตุนี้ AI ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์จึงควรถูกออกแบบให้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการสร้างความรู้ มากกว่าจะเป็นเครื่องมือส่งมอบคำตอบสำเร็จรูป (Piaget, 1970; Vygotsky, 1978)

นอกจากมิติของการสร้างความหมายแล้ว การใช้ AI ยังสัมพันธ์โดยตรงกับภาระทางพุทธิปัญญาของผู้เรียน โดย Cognitive Load Theory อธิบายว่า การเรียนรู้จะเกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อการออกแบบการสอนคำนึงถึงข้อจำกัดของหน่วยความจำขณะปฏิบัติงาน และลดภาระส่วนเกินที่ไม่จำเป็นต่อการเรียนรู้ ในวิชาคณิตศาสตร์ซึ่งมีลักษณะเป็นนามธรรมและต้องอาศัยการประมวลผลหลายขั้นตอน AI อาจช่วยจัดระเบียบข้อมูล อธิบายอย่างเป็นลำดับ และชี้คำใบ้เฉพาะจุดได้ แต่หากใช้อย่างไม่เหมาะสมก็อาจเพิ่มภาระจากข้อมูลจำนวนมากหรือคำอธิบายที่คลุมเครือ จนทำให้ผู้เรียนเกิดความสับสนได้เช่นกัน ดังนั้น การใช้ AI อย่างมีคุณภาพจึงต้องตั้งอยู่บนความเข้าใจเรื่องภาระทางพุทธิปัญญาควบคู่กับเป้าหมายการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์อย่างชัดเจน (Sweller, 1988; Sweller et al., 2011)

อีกมิติหนึ่งที่มีความสำคัญไม่น้อยคือ บทบาทของผู้เรียนในฐานะผู้กำกับและตรวจสอบการเรียนรู้ของตนเอง แนวคิด Self-Regulated Learning เชื่อว่าผู้เรียนควรสามารถตั้งเป้าหมาย วางแผน ติดตาม และประเมินการเรียนรู้ของตนเองได้อย่างต่อเนื่อง ขณะที่แนวคิด Metacognition อธิบายถึงความสามารถในการตระหนักรู้และกำกับกระบวนการคิดของตนเอง ทั้งในด้านการวางแผน การติดตามตรวจสอบ และการประเมินวิธีคิดระหว่างการเรียนรู้และการแก้ปัญหา เมื่อพิจารณาในบริบทของ AI จะเห็นได้ว่าเทคโนโลยีสามารถช่วยผู้เรียนวางแผน ทบทวนความเข้าใจ และสะท้อนข้อผิดพลาดเบื้องต้นได้ แต่ก็อาจบั่นทอนการกำกับตนเองและการสะท้อนคิดได้เช่นกัน หากผู้เรียนพึ่งพาระบบมากเกินไปหรือยอมรับคำตอบโดยไม่ตรวจสอบความสมเหตุสมผลของเหตุผลทางคณิตศาสตร์ ดังนั้น การใช้ AI ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์จึงควรมุ่งพัฒนาผู้เรียนให้เป็นผู้ใช้เทคโนโลยีอย่างรู้เท่าทัน มีวิจารณญาณ และสามารถกำกับการเรียนรู้ของตนเองได้ มากกว่าการเป็นเพียงผู้รับความช่วยเหลือจากระบบ (Flavell, 1979; Panadero, 2017; Zimmerman, 2002)

สำหรับมิติของครูและการออกแบบการสอน กรอบ TPACK และ SAMR มีบทบาทสำคัญในการอธิบายว่า AI ควรถูกบูรณาการอย่างไรจึงจะส่งเสริมคุณภาพของการเรียนรู้ การใช้เทคโนโลยีอย่างมีความหมายจำเป็นต้องอาศัยความรู้ที่เชื่อมโยงเนื้อหา วิธีสอน และเทคโนโลยีเข้าด้วยกันอย่างสอดคล้องกับบริบท ขณะที่กรอบ SAMR ช่วยให้เห็นระดับของการใช้เทคโนโลยี ตั้งแต่การแทนที่เครื่องมือเดิมไปจนถึงการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญ งานสังเคราะห์ล่าสุดในคณิตศาสตร์ศึกษาจึงชี้ว่า ผลลัพธ์การเรียนรู้ระดับสูงจะปรากฏเด่นเมื่อการใช้เทคโนโลยีก้าวไปสู่ระดับ Modification และ Redefinition โดยมี TPACK เชิงบูรณาการเป็นตัวกลางสำคัญ ขณะที่การใช้ในระดับ Substitution หรือ Augmentation มักให้เพียงการปรับปรุงเชิงหน้าที่มากกว่าการเปลี่ยนแปลงเชิงคุณภาพของการเรียนรู้ ข้อค้นพบดังกล่าวสะท้อนว่า ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์ยุค AI ครูไม่ควรเริ่มต้นจากคำถามว่า “จะใช้เครื่องมือใด” เท่านั้น แต่ควรเริ่มจากคำถามว่า “ผู้เรียนควรสร้างความเข้าใจคณิตศาสตร์

อะไร ผ่านกิจกรรมแบบใด และ AI จะช่วยยกระดับกระบวนการนั้นได้อย่างไร” (Chitcharoen, 2025; Hamilton et al., 2016; Mishra & Koehler, 2006)

แม้งานวิชาการในปัจจุบันจะกล่าวถึง AI ในการศึกษาเพิ่มขึ้นอย่างมาก และมีทั้งงานที่อธิบายศักยภาพและข้อจำกัดของ generative AI งานที่ทบทวนบทบาทของ AI ในคณิตศาสตร์ศึกษา ตลอดจนงานที่เสนอกรอบด้านการบูรณาการเทคโนโลยี เช่น TPACK และ SAMR แต่ยังพบช่องว่างสำคัญในเชิงแนวคิด กล่าวคือ งานส่วนใหญ่มักอธิบาย AI ในภาพรวมหรือมุ่งเน้นเฉพาะมิติของสมรรถนะครู ระดับการใช้เทคโนโลยี หรือผลลัพธ์ด้านทักษะเป็นหลัก แม้งานของ Chitcharoen (2025) จะช่วยชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่าง TPACK, SAMR และผลลัพธ์การเรียนรู้ในคณิตศาสตร์ศึกษาได้ชัดเจน แต่ก็ยังเปิดพื้นที่ให้มีการพัฒนากรอบสังเคราะห์ที่เชื่อมโยงฐานคิดด้านการสร้างความรู้ ภาระทางพุทธิปัญญา การกำกับตนเอง และการสะท้อนคิดของผู้เรียนเข้ากับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI อย่างเป็นระบบมากยิ่งขึ้น ช่องว่างนี้มีความสำคัญ เพราะธรรมชาติของการเรียนรู้คณิตศาสตร์เกี่ยวข้องกับการให้เหตุผล การพิสูจน์ การแทนความคิด และการตรวจสอบความถูกต้อง ซึ่งต้องการกรอบออกแบบที่รอบด้านมากกว่าการมอง AI เป็นเพียงเครื่องมืออำนวยความสะดวก (Chitcharoen, 2025; Kasneci et al., 2023; Walkington, 2025)

จากข้อพิจารณาข้างต้น จะเห็นได้ว่าการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคปัญญาประดิษฐ์จำเป็นต้องอาศัยกรอบแนวคิดที่สามารถเชื่อมโยงมิติของการสร้างความรู้อย่างมีความหมาย การสนับสนุนทางพุทธิปัญญา การกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน ตลอดจนการบูรณาการ AI อย่างสอดคล้องทางการสอนเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ บทความนี้จึงไม่ได้มุ่งเพียงรวบรวมกรอบทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง หากแต่มุ่งพัฒนาโครงสร้างเชิงบูรณาการสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI โดยสังเคราะห์ Constructivism, Cognitive Load Theory, Self-Regulated Learning, Metacognition, TPACK และ SAMR แล้วจัดกลุ่มสาระสำคัญเป็น 4 มิติหลัก ก่อนหลอมรวมเป็น 5 หลักการสำหรับการออกแบบการเรียนรู้ที่สะท้อนความสัมพันธ์ระหว่างฐานคิดด้านการเรียนรู้ กระบวนการรู้คิด การกำกับตนเอง และการบูรณาการ AI อย่างสอดคล้องทางการสอน

วัตถุประสงค์

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนารอบแนวคิดสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคปัญญาประดิษฐ์ โดยบูรณาการฐานคิดด้านการเรียนรู้ กระบวนการรู้คิด การกำกับตนเองของผู้เรียน และการบูรณาการ AI อย่างสอดคล้องทางการสอนเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ

1. เพื่อสังเคราะห์ สาระสำคัญของ Constructivism, Cognitive Load Theory, Self-Regulated Learning, Metacognition, TPACK และ SAMR ที่สัมพันธ์กับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคปัญญาประดิษฐ์
2. เพื่อวิเคราะห์บทบาทและความเชื่อมโยงของกรอบแนวคิดดังกล่าวต่อการใช้ AI ในฐานะเครื่องมือสนับสนุนการเรียนรู้คณิตศาสตร์อย่างมีความหมาย
3. เพื่อพัฒนา 5 หลักการสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถใช้เป็นฐานคิดสำหรับครู นักพัฒนาหลักสูตร และนักวิจัย

วิธีการสังเคราะห์เอกสาร

บทความนี้เป็นบทความวิชาการเชิงสังเคราะห์ที่มุ่งพัฒนารอบแนวคิดสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคปัญญาประดิษฐ์ โดยใช้การสังเคราะห์เชิงแนวคิดจากเอกสารทางวิชาการเป็นแนวทางหลัก การสังเคราะห์ดังกล่าวไม่ได้มุ่งสรุปประสิทธิผลเชิงประจักษ์ของมาตรการหรือเครื่องมือในลักษณะการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบหรือการวิเคราะห์อภิमान หากแต่มุ่งวิเคราะห์ เชื่อมโยง และจัดระบบองค์ความรู้ทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อพัฒนารอบแนวคิดสำหรับการออกแบบ

การเรียนรู้คณิตศาสตร์ในบริบทของ AI โดยในบทความนี้ “คณิตศาสตร์ศึกษา” หมายถึง การศึกษาเกี่ยวกับการเรียนรู้ การสอน และการออกแบบประสบการณ์ที่ส่งเสริมความเข้าใจเชิงแนวคิด การให้เหตุผล การแก้ปัญหา การแทนความคิดทางคณิตศาสตร์ และการใช้เทคโนโลยีเพื่อสนับสนุนกระบวนการดังกล่าว

เอกสารที่ใช้ในการสังเคราะห์ครอบคลุมงานต้นธารทางทฤษฎี หนังสือวิชาการ บทความวารสารวิชาการ และงานร่วมสมัยด้าน AI in education และ mathematics education ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับประเด็นของบทความ ผู้เขียนกำหนดขอบเขตการพิจารณาเอกสารใน 4 มิติสำคัญ ได้แก่ 1) ทฤษฎีการเรียนรู้และการสร้างความรู้ 2) ทฤษฎีด้านกระบวนการรู้คิดและภาระทางพุทธิปัญญา 3) แนวคิดด้านการกำกับตนเองและการสะท้อนคิดของผู้เรียน และ 4) กรอบการบูรณาการเทคโนโลยีและ AI ในการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ การคัดเลือกเอกสารพิจารณาจาก 3 เกณฑ์หลัก ได้แก่ 1) เป็นงานอ้างอิงสำคัญที่ใช้พัฒนาหรืออธิบายกรอบแนวคิดนั้น 2) มีความสัมพันธ์กับการเรียนรู้ การสอน หรือการออกแบบกิจกรรมทางคณิตศาสตร์ หรือสามารถนำมาใช้ตีความบริบทคณิตศาสตร์ศึกษาได้อย่างชัดเจน และ 3) มีศักยภาพในการอธิบายหรือใช้เป็นฐานตีความบทบาทของ AI ต่อการออกแบบการเรียนรู้ ทั้งนี้ เอกสารที่กล่าวถึง AI ในลักษณะกว้างโดยไม่เชื่อมโยงกับการเรียนรู้ งานที่มุ่งด้านเทคนิคของระบบโดยไม่สัมพันธ์กับการจัดการเรียนการสอน และงานที่ไม่เกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์ศึกษา หรือไม่สามารถนำมาใช้ตีความมิติทางการเรียนรู้ที่บทความนี้มุ่งวิเคราะห์ได้ จะไม่นำมาใช้เป็นฐานหลักของการสังเคราะห์

จากขอบเขตดังกล่าว ผู้เขียนเลือก Constructivism, Cognitive Load Theory, Self-Regulated Learning, Metacognition, TPACK และ SAMR เป็นกรอบหลักในการสังเคราะห์ เนื่องจากกรอบทั้ง 6 ครอบคลุมองค์ประกอบสำคัญของการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI อย่างเป็นระบบ กล่าวคือ Constructivism ช่วยอธิบายการสร้างความรู้ที่มีความหมายของผู้เรียน Cognitive Load Theory ช่วยอธิบายการจัดการภาระทางพุทธิปัญญาและการสนับสนุนการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับผู้เรียน Self-Regulated Learning และ Metacognition ช่วยอธิบายการกำกับตนเอง การติดตาม และการสะท้อนคิดของผู้เรียน ส่วน TPACK และ SAMR ช่วยวิเคราะห์การตัดสินใจของครูในการบูรณาการเทคโนโลยีและการยกระดับคุณภาพของกิจกรรมการเรียนรู้ การเลือกรอบเหล่านี้จึงสอดคล้องกับจุดมุ่งหมายของบทความที่ต้องการเชื่อมโยงฐานคิดด้านผู้เรียน กระบวนการรู้คิด และการออกแบบการสอนในบริบทของ AI มากกว่าการใช้กรอบที่มุ่งอธิบายการยอมรับเทคโนโลยีหรือการเรียนรู้อย่างอิสระในความหมายทั่วไปเพียงด้านเดียว

กระบวนการสังเคราะห์ดำเนินการเป็น 3 ขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน ขั้นที่ 1 ผู้เขียนวิเคราะห์สาระสำคัญของกรอบแนวคิดทั้ง 6 โดยพิจารณาแนวคิดพื้นฐาน บทบาทต่อการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และนัยต่อการใช้ AI ในการออกแบบการเรียนรู้ ขั้นที่ 2 ผู้เขียนวิเคราะห์เชิงเปรียบเทียบเพื่อพิจารณาจุดร่วม จุดเน้น และความสัมพันธ์ระหว่างกรอบแนวคิด แล้วจัดกลุ่มสาระสำคัญเป็น 4 มิติหลัก ได้แก่ การสร้างความรู้ที่มีความหมาย การสนับสนุนทางพุทธิปัญญา การกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน และการบูรณาการ AI อย่างสอดคล้องทางการสอน ขั้นที่ 3 ผู้เขียนสังเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง 4 มิติหลักดังกล่าว เพื่อพัฒนาเป็น 5 หลักการสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคปัญญาประดิษฐ์ ได้แก่ การสร้างความรู้ที่มีความหมายอย่างมีเป้าหมาย การสนับสนุนทางพุทธิปัญญาที่เหมาะสม การกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน การบูรณาการ AI อย่างสอดคล้องทางการสอน และการใช้ AI ในเชิงพลิกโฉมเพื่อยกระดับคุณภาพของกิจกรรมการเรียนรู้ ทั้งนี้ หลักการทั้ง 5 ไม่ได้เกิดจากการสรุปกรอบทั้ง 6 แบบหนึ่งต่อหนึ่ง หากเกิดจากการบูรณาการบทบาทของกรอบแนวคิดที่สัมพันธ์กัน เพื่อสร้างโครงสร้างการออกแบบการเรียนรู้ที่เชื่อมโยงกันอย่างเป็นระบบ

การสังเคราะห์กรอบแนวคิดหลักสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI

ในส่วนนี้ ผู้เขียนสังเคราะห์กรอบแนวคิดหลัก 6 กรอบ ได้แก่ Constructivism, Cognitive Load Theory, Self-Regulated Learning, Metacognition, TPACK และ SAMR โดยมุ่งวิเคราะห์สาระสำคัญของแต่ละกรอบ บทบาทต่อการเรียนรู้คณิตศาสตร์ และนัยต่อการใช้ AI ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์ เพื่อวางฐานคิดสำหรับการพัฒนาหลักการออกแบบในลำดับถัดไป ไม่ใช่เพียงการอธิบายแต่ละกรอบแยกส่วน

1. Constructivism กับการจัดการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI

แนวคิดคอนสตรัคติวิสต์อธิบายว่า การเรียนรู้เกิดจากการที่ผู้เรียนสร้างความหมายด้วยตนเองผ่านประสบการณ์ การปฏิสัมพันธ์ และการสะท้อนคิด ไม่ใช่การรับถ่ายทอดความรู้โดยตรงเพียงฝ่ายเดียว (Piaget, 1970; Vygotsky, 1978) ในบริบทของคณิตศาสตร์ศึกษา กรอบนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะการเรียนรู้ไม่ได้มุ่งเพียงการได้คำตอบที่ถูกต้อง แต่รวมถึง การให้เหตุผล การเชื่อมโยงแนวคิด และการตรวจสอบความสมเหตุสมผลของข้อสรุป เมื่อพิจารณาในยุค AI จึงกล่าวได้ว่า แม้ AI จะช่วยอธิบายแนวคิดและสนับสนุนการเรียนรู้เฉพาะบุคคลได้ แต่หากใช้โดยปราศจากการออกแบบที่เหมาะสม ก็อาจลดทอนกระบวนการสร้างความหมายของผู้เรียนได้เช่นกัน ดังนั้น จึงควรใช้ AI ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือสนับสนุนการสร้างความรู้ มากกว่าจะเป็นเครื่องมือส่งมอบคำตอบสำเร็จรูป (Pepin et al., 2025) ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ในชั้นเรียน คือ ครูอาจใช้ AI เพื่อสร้างโจทย์ปลายเปิดหรือสถานการณ์เปรียบเทียบหลายแนวทาง แล้วให้ผู้เรียนอภิปราย อธิบายเหตุผล และสร้างข้อสรุปทางคณิตศาสตร์ด้วยตนเอง แทนการรับคำตอบจากระบบโดยตรง

2. Cognitive Load Theory กับการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้คณิตศาสตร์ที่ใช้ AI

Cognitive Load Theory อธิบายว่า การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพต้องคำนึงถึงข้อจำกัดของหน่วยความจำขณะปฏิบัติงาน และลดภาระส่วนเกินที่ไม่จำเป็นต่อการเรียนรู้ (Sweller, 1988; Sweller et al., 2011) ในคณิตศาสตร์ซึ่งมีลักษณะเป็นนามธรรมและต้องอาศัยการประมวลผลหลายขั้นตอน กรอบนี้ช่วยอธิบายว่า AI สามารถช่วยจัดระเบียบข้อมูล อธิบายเป็นลำดับ และให้คำใบ้เฉพาะจุดได้ ซึ่งอาจลดภาระทางพุทธิปัญญาส่วนเกินและสนับสนุนความเข้าใจได้ดีขึ้น อย่างไรก็ตาม หาก AI ให้ข้อมูลมากเกินไป ใช้ภาษาคลุมเครือ หรือเสนอหลายแนวทางพร้อมกันโดยไม่จัดลำดับ ก็อาจเพิ่มภาระทางพุทธิปัญญาแก่ผู้เรียนได้เช่นกัน ดังนั้น การใช้ AI ภายใต้อารมณ์นี้จึงควรมุ่งสนับสนุนการประมวลผลแนวคิดสำคัญอย่างเหมาะสม มากกว่าการทำให้ผู้เรียนคิดน้อยลง (Kabudi et al., 2021; Reddig et al., 2025) ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ คือ ครูอาจใช้ AI ช่วยจัดลำดับขั้นตอนของโจทย์ที่ซับซ้อน สร้างคำใบ้แบบค่อยเป็นค่อยไป หรือสรุปข้อมูลที่จำเป็นก่อนการแก้ปัญหา เพื่อลดภาระส่วนเกินโดยไม่ลดทอนการคิดหลักของผู้เรียน

3. Self-Regulated Learning กับบทบาทของผู้เรียนในยุค AI

Self-Regulated Learning อธิบายว่า ผู้เรียนควรสามารถกำหนดเป้าหมาย วางแผน ติดตาม ประเมิน และปรับการเรียนรู้ของตนเองได้อย่างต่อเนื่อง สำหรับคณิตศาสตร์ศึกษา กรอบนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะการเรียนรู้คณิตศาสตร์ต้องอาศัยความต่อเนื่องของความพยายาม การติดตามความเข้าใจของตนเอง และการปรับกลยุทธ์เมื่อเผชิญปัญหาที่ซับซ้อน (Zimmerman, 2002; Panadero, 2017; Kholid & Naufan, 2025) ในยุค AI ผู้เรียนสามารถเข้าถึงคำอธิบาย ตัวอย่าง และข้อมูลย้อนกลับได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้ AI มีศักยภาพเป็นทั้งผู้ช่วยและกลไกสนับสนุนการกำกับตนเอง หากถูกออกแบบให้ช่วยวางแผน ติดตาม และควบคุมการเรียนรู้ที่เหมาะสม (Achuthan, 2025) อย่างไรก็ตาม หากใช้โดยปราศจากวิจารณญาณ AI ก็อาจทำให้ผู้เรียนลดบทบาทการควบคุมการเรียนรู้ของตนเองลงได้ ดังนั้น ควรใช้ AI เพื่อส่งเสริมวงจรการกำกับตนเองของผู้เรียน มากกว่าการให้ AI กำกับการเรียนรู้แทนผู้เรียน ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ คือ ผู้เรียนอาจใช้ AI ช่วยกำหนดเป้าหมายการเรียนรู้รายคาบ วางแผนการฝึกโจทย์ และติดตามความก้าวหน้าของตนเอง โดยครูยังคงกำกับให้ผู้เรียนเป็นผู้ตัดสินใจและรับผิดชอบต่อการเรียนรู้ของตน

4. Metacognition กับการสะท้อนคิดทางคณิตศาสตร์ในยุค AI

Metacognition อธิบายความสามารถของผู้เรียนในการตระหนักรู้และกำกับกระบวนการคิดของตนเอง ทั้งในด้านการวางแผน การติดตามตรวจสอบ และการประเมินผลการคิด (Flavell, 1979) ในคณิตศาสตร์ศึกษา กรอบนี้มีความสำคัญเพราะการแก้ปัญหาไม่ได้ขึ้นอยู่กับความรู้เชิงเนื้อหาเพียงอย่างเดียว แต่ยังต้องอาศัยการตรวจสอบว่าวิธีคิดและคำตอบนั้นสมเหตุสมผลหรือไม่ ในยุค AI ประเด็นนี้ยิ่งสำคัญขึ้น เพราะแม้ AI จะช่วยเสนอคำอธิบายและวิธีทำได้อย่างรวดเร็ว แต่ก็อาจกระตุ้นการพึ่งพิงทางปัญญาและสร้างภาพลวงของความเข้าใจได้ หากผู้เรียนใช้ระบบแทนกระบวนการคิดของตนเอง มากกว่าจะใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการไตร่ตรอง (Tomisu et al., 2025) ยิ่งไปกว่านั้น AI อาจให้คำตอบที่ดูสมเหตุสมผลแต่ยังมีข้อผิดพลาดเชิงโมโนทัศน์หรือเชิงคำนวณได้ จึงยิ่งตอกย้ำความสำคัญของการตรวจสอบเหตุผลและการสะท้อนคิดของผู้เรียน (Memiş, 2025) ดังนั้น ควรใช้ AI ในคณิตศาสตร์ศึกษาเพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนตรวจสอบความเข้าใจของตนเอง ระบุจุดที่ยังไม่มั่นใจ ประเมินความน่าเชื่อถือของข้อเสนอจากระบบ และพิจารณาว่าควรปรับกลยุทธ์การคิดอย่างไร มากกว่าการยุติกระบวนการคิดของผู้เรียน ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ คือ ครูอาจให้ผู้เรียนใช้ AI เป็นคู่สนทนาเพื่อสะท้อนว่า ตนเองเข้าใจขั้นตอนใด ยังไม่มั่นใจจุดใด และควรปรับกลยุทธ์การคิดอย่างไรในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์

5. TPACK กับความพร้อมของครูในการบูรณาการ AI

TPACK เป็นกรอบที่ใช้อธิบายความรู้เชิงบูรณาการของครูในการออกแบบการเรียนรู้โดยใช้เทคโนโลยีอย่างมีความหมาย โดยชี้ว่า การใช้เทคโนโลยีอย่างมีประสิทธิภาพต้องอาศัยการเชื่อมโยงระหว่างความรู้ด้านเนื้อหา ความรู้ด้านวิธีสอน และความรู้ด้านเทคโนโลยี (Mishra & Koehler, 2006; Koehler & Mishra, 2009) ในบริบทของคณิตศาสตร์ศึกษา กรอบนี้มีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะครูต้องเข้าใจทั้งธรรมชาติของแนวคิดทางคณิตศาสตร์ วิธีสอนที่เอื้อต่อความเข้าใจเชิงลึก และศักยภาพของ AI ในการสนับสนุนการเรียนรู้ เมื่อเข้าสู่ยุคปัญญาประดิษฐ์ ความซับซ้อนของการบูรณาการยิ่งเพิ่มขึ้น เนื่องจาก AI สามารถสร้างเนื้อหา ให้ข้อเสนอแนะ และตอบสนองต่อผู้เรียนได้อย่างกึ่งอัตโนมัติ งานทบทวนอย่างเป็นระบบยังชี้ว่า TPACK เป็นฐานสำคัญของการพัฒนาครูด้าน AI และมีบทบาทโดยตรงต่อคุณภาพของการบูรณาการ AI ในการสอน (Doğan et al., 2025) ขณะเดียวกัน งานวิจัยล่าสุดยังสะท้อนว่า TPACK และทัศนคติต่อ AI เป็นปัจจัยสำคัญของการใช้ AI จริงในบริบทคณิตศาสตร์ศึกษา (Zhao et al., 2025) ดังนั้น ครูในยุค AI จึงต้องก้าวข้ามบทบาทของผู้ใช้เครื่องมือไปสู่การเป็นผู้ออกแบบการเรียนรู้ที่สามารถตัดสินใจได้ว่า AI ควรถูกใช้เมื่อใด อย่างไร และเพื่ออะไร ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ในการพัฒนาวิชาชีพครู คือ การใช้กรอบ TPACK เพื่อพิจารณาว่า AI ที่เลือกใช้นั้นสอดคล้องกับเนื้อหาคณิตศาสตร์ เป้าหมายการเรียนรู้ และวิธีจัดกิจกรรมของครูหรือไม่

6. SAMR กับการยกระดับการใช้ AI ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์

SAMR เป็นกรอบที่ใช้อธิบายระดับของการบูรณาการเทคโนโลยี ตั้งแต่การแทนที่เครื่องมือเดิมไปจนถึงการเปลี่ยนแปลงกิจกรรมการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญ (Hamilton et al., 2016) ในคณิตศาสตร์ศึกษา กรอบนี้ช่วยให้ครูพิจารณาว่า AI ถูกใช้เพียงเพื่อเพิ่มความสะดวก หรือถูกใช้เพื่อยกระดับคุณภาพของการเรียนรู้อย่างแท้จริง ในระดับที่สูงขึ้น เช่น Modification และ Redefinition เทคโนโลยีจะมีบทบาทในการปรับเปลี่ยนลักษณะของกิจกรรมให้ผู้เรียนได้คิด สืบค้น เปรียบเทียบ วิพากษ์ และสะท้อนคิดในระดับที่สูงขึ้น เช่น การใช้ AI เพื่อสร้างแนวทางแก้ปัญหาหลายรูปแบบแล้วนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบ หรือใช้ เป็นคู่สนทนาเพื่อสำรวจสมมติฐานทางคณิตศาสตร์ งานเชิงประจักษ์ล่าสุดยังแสดงให้เห็นว่า AI learning companion สามารถสนับสนุนผลการเรียนรู้ด้านการแก้ปัญหาคณิตศาสตร์ของผู้เรียนได้ เมื่อถูกออกแบบให้เป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมการเรียนรู้ ไม่ใช่เพียงเครื่องมือให้คำตอบโดยตรง (Kuo et al., 2026) ดังนั้น กรอบ SAMR จึงช่วยตอบย้ำว่า คุณค่าของ AI ไม่ได้อยู่ที่ความทันสมัยของเครื่องมือ แต่อยู่ที่ความสามารถในการยกระดับคุณภาพของกิจกรรมการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ ตัวอย่างการประยุกต์ใช้ คือ ครูอาจใช้ SAMR ประเมินว่า การใช้ AI เป็นเพียงการช่วยสร้างแบบฝึกหัดให้รวดเร็วขึ้น หรือได้ยกระดับกิจกรรมไปสู่การให้ผู้เรียน วิเคราะห์ เปรียบเทียบ และออกแบบคำอธิบายทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบใหม่

ผลการสังเคราะห์เชิงบูรณาการ

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกรอบแนวคิดทั้ง 6 จะเห็นได้ว่า การออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI ไม่อาจตั้งอยู่บนฐานคิดใดฐานคิดหนึ่งเพียงลำพัง แต่ต้องอาศัยการเชื่อมโยงมิติของการสร้างความหมาย การสนับสนุนทางพุทธิปัญญา การกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน ตลอดจนการบูรณาการ AI อย่างสอดคล้องทางการสอนเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ ดังสรุปใน Table 1

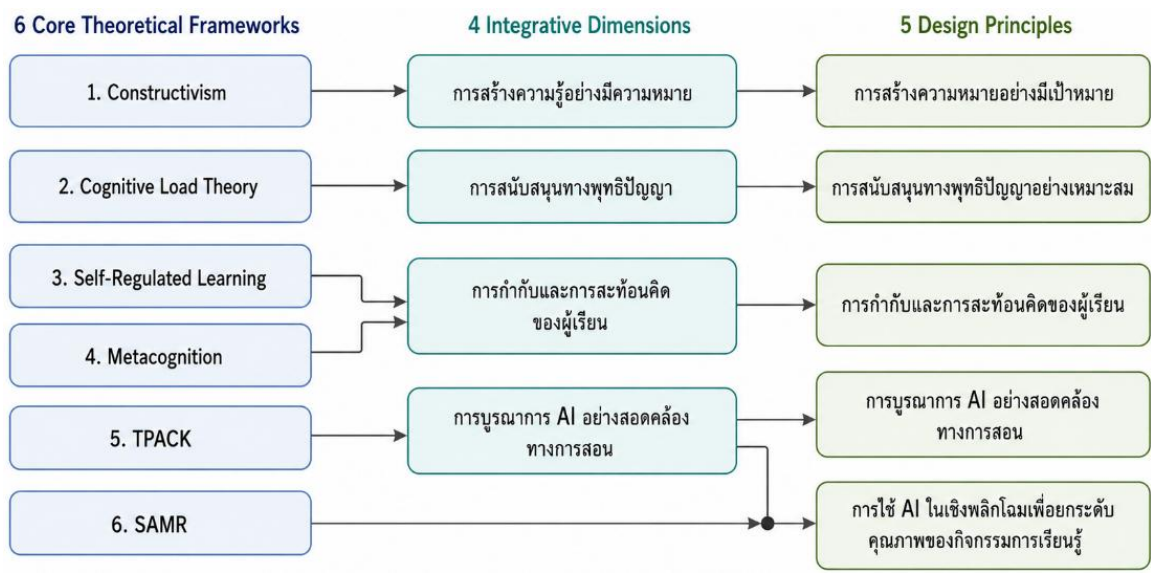
Table 1
Synthesis of Core Theoretical Frameworks and Implications for Mathematics Learning Design in the Age of AI
การสังเคราะห์กรอบแนวคิดหลักและนัยต่อการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI

กรอบแนวคิด	สาระสำคัญของกรอบ	บทบาทต่อการเรียนรู้คณิตศาสตร์	นัยต่อการใช้ AI ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์	หลักการออกแบบที่สังเคราะห์ได้
Constructivism	ผู้เรียนสร้างความรู้และความหมายผ่านประสบการณ์ การปฏิสัมพันธ์ และการสะท้อนคิด	ส่งเสริมความเข้าใจเชิงลึก การให้เหตุผล และการเชื่อมโยงแนวคิด	AI ควรใช้เพื่อกระตุ้น การคิด การตั้งคำถาม และการอธิบายเหตุผล มากกว่าการให้คำตอบสำเร็จรูป	การสร้างความหมายอย่างมีเป้าหมาย
Cognitive Load Theory	การเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพต้องลดภาระส่วนเกินและคำนึงถึงข้อจำกัดของหน่วยความจำขณะปฏิบัติงาน	ช่วยออกแบบการเรียนรู้ให้เหมาะสมกับความซับซ้อนของเนื้อหาและระดับของผู้เรียน	AI ควรช่วยจัดระเบียบ ข้อมูล อธิบายเป็นขั้นตอน และลดความซับซ้อนที่ไม่จำเป็น	การสนับสนุนทางพุทธิปัญญาอย่างเหมาะสม
Self-Regulated Learning	ผู้เรียนควรสามารถตั้งเป้าหมาย วางแผน ติดตาม และประเมินการเรียนรู้ของตนเอง	ส่งเสริมความรับผิดชอบ การวางแผน และการติดตามความก้าวหน้าในการเรียนคณิตศาสตร์	AI ควรสนับสนุนการตั้งเป้าหมาย การวางแผน การติดตามความก้าวหน้า และการปรับการเรียนรู้ โดยไม่ลดทอนความรับผิดชอบของผู้เรียน	การกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน
Metacognition	ผู้เรียนต้องตระหนักรู้ ติดตาม และกำกับกระบวนการคิดของตนเอง	ช่วยประเมินความเข้าใจ ระบุจุดที่ยังไม่ชัดเจน และพิจารณากลยุทธ์ที่ใช้	AI ควรกระตุ้นให้ผู้เรียน ตรวจสอบความเข้าใจ ระบุข้อสงสัย ประเมินความมั่นใจ และสะท้อนแนวทางปรับวิธีคิด	การกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน

กรอบแนวคิด	สาระสำคัญของกรอบ	บทบาทต่อการเรียนรู้ คณิตศาสตร์	นัยต่อการใช้ AI ในชั้น เรียนคณิตศาสตร์	หลักการออกแบบ ที่สังเคราะห์ได้
TPACK	การบูรณาการเทคโนโลยี อย่างมีความหมายต้อง เชื่อมโยงเนื้อหา วิธีสอน และเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน	ช่วยให้ครูออกแบบ กิจกรรมคณิตศาสตร์ที่ สอดคล้องกับเป้าหมาย การเรียนรู้	ควรใช้ AI ภายใต้การ ตัดสินใจเชิงวิชาชีพของครู ให้สอดคล้องกับเนื้อหา วิธี สอน และผลลัพธ์การ เรียนรู้	การบูรณาการ AI อย่าง สอดคล้องทางการสอน
SAMR	อธิบายระดับของการใช้ เทคโนโลยีตั้งแต่การ แทนที่จนถึงการ เปลี่ยนแปลงกิจกรรมการ เรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญ	ช่วยประเมินว่าเทคโนโลยี เพียงปรับปรุงงานเดิมหรือ ยกระดับคุณภาพของการ เรียนรู้	AI ควรใช้เพื่อออกแบบ กิจกรรมใหม่ที่ส่งเสริมการ คิด การสืบค้น การร่วมมือ และการสะท้อนคิด	การใช้ AI ในเชิงพลิกโฉม เพื่อยกระดับคุณภาพของ กิจกรรมการเรียนรู้

จาก Table 1 แสดงให้เห็นว่า กรอบแนวคิดทั้ง 6 สามารถเชื่อมโยงเป็นตรรกะเชิงออกแบบร่วมกันได้ โดย Constructivism เน้นการสร้างความหมาย Cognitive Load Theory เน้นการสนับสนุนทางพุทธิปัญญา Self-Regulated Learning และ Metacognition เน้นการกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน ส่วน TPACK และ SAMR เน้นการตัดสินใจเชิงการสอนและการยกระดับคุณภาพของการบูรณาการเทคโนโลยี ผลการสังเคราะห์จึงนำไปสู่ 5 หลักการสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI ดังนั้น เพื่อแสดงความสัมพันธ์ดังกล่าวอย่างเป็นระบบ ผู้เขียนจึงสรุปผลการสังเคราะห์เป็น Figure 1

Figure 1
Synthesis of Theoretical Frameworks into Design Principles for Mathematics Learning in the Age of AI
การสังเคราะห์กรอบแนวคิดสู่หลักการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI



หมายเหตุ: ลูกศรและจุดเชื่อมในภาพแสดงความสัมพันธ์เชิงสังเคราะห์จากกรอบแนวคิดสู่มิติหลักและหลักการออกแบบ โดยไม่ได้มุ่งแสดงความสัมพันธ์เชิงสาเหตุ

จาก Figure 1 แสดงการสังเคราะห์กรอบแนวคิดทั้ง 6 สู่ 4 มิติหลัก ได้แก่ การสร้างความรู้ที่มีความหมาย การสนับสนุนทางพุทธิปัญญา การกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน และการบูรณาการ AI อย่างสอดคล้องทางการสอน ก่อนพัฒนาต่อเป็น 5 หลักการสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI

หลักการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI

จากผลการสังเคราะห์เชิงบูรณาการ ผู้เขียนพัฒนา 5 หลักการสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI โดยหลอมรวมมิติของการเรียนรู้ กระบวนการรู้คิด การกำกับตนเอง และการบูรณาการ AI อย่างสอดคล้องทางการสอนเข้าด้วยกัน อย่างมีเหตุผล เพื่อใช้เป็นฐานคิดในการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ที่ใช้ AI อย่างมีความหมายทางการสอน

1. การสร้างความรู้ที่มีความหมาย

หลักการแรกเน้นว่า ควรใช้ AI เพื่อสนับสนุนการสร้างความรู้ที่มีความหมายของผู้เรียน มากกว่าการส่งมอบคำตอบสำเร็จรูป บนฐานคิดของคอนสตรัคติวิสต์ที่มองว่าการเรียนรู้เกิดจากการมีส่วนร่วมในการสร้างความเข้าใจผ่านประสบการณ์ การปฏิสัมพันธ์ และการสะท้อนคิด ดังนั้น ในบริบทของคณิตศาสตร์ศึกษา จึงควรใช้ AI เพื่อกระตุ้นการคิด การสำรวจ การเปรียบเทียบวิธีคิด และการให้เหตุผล มากกว่าการลดบทบาทของผู้เรียนให้เป็นเพียงผู้รับข้อมูลจากระบบ (Piaget, 1970; Vygotsky, 1978)

2. การสนับสนุนทางพุทธิปัญญาเหมาะสม

หลักการที่สองชี้ว่า การใช้ AI ในคณิตศาสตร์ศึกษาควรคำนึงถึงการสนับสนุนทางพุทธิปัญญาที่เหมาะสม โดย AI ควรช่วยจัดระเบียบสารสนเทศ อธิบายเป็นลำดับ และให้คำใบ้เฉพาะจุดในระดับที่สอดคล้องกับความพร้อมของผู้เรียนและความซับซ้อนของเนื้อหา เป้าหมายจึงไม่ใช่การทำให้ผู้เรียนคิดน้อยลง แต่เป็นการช่วยให้ผู้เรียนใช้ทรัพยากรทางปัญญาไปกับแนวคิดสำคัญอย่างมีประสิทธิภาพ (Sweller, 1988; Sweller et al., 2011)

3. การกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน

หลักการที่สามเน้นว่า ควรใช้ AI เพื่อส่งเสริมการกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน โดยผู้เรียนควรยังคงมีบทบาทในการตั้งเป้าหมาย วางแผน ติดตาม ตรวจสอบ และประเมินการเรียนรู้ของตนเอง พร้อมทั้งพิจารณาความสมเหตุสมผลของวิธีคิด และคำตอบอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น AI ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์จึงไม่ควรเป็นเครื่องมือที่ทำให้ผู้เรียนพึ่งพาคำตอบจากระบบ แต่ควรเป็นเครื่องมือที่ช่วยกระตุ้นให้ผู้เรียนตรวจสอบความเข้าใจ อธิบายเหตุผล เปรียบเทียบวิธีคิด และสะท้อนข้อผิดพลาดของตนเอง (Flavell, 1979; Panadero, 2017; Zimmerman, 2002)

4. การบูรณาการ AI อย่างสอดคล้องทางการสอน

หลักการที่สี่ชี้ว่า การใช้ AI จะมีความหมายทางการสอนได้ก็ต่อเมื่อถูกบูรณาการอย่างสอดคล้องกับเนื้อหา วิธีสอน และเป้าหมายการเรียนรู้ ซึ่งสอดคล้องกับแก่นของกรอบ TPACK ที่ให้ความสำคัญกับการเชื่อมโยงความรู้ด้านเนื้อหา ความรู้ด้านการสอน และความรู้ด้านเทคโนโลยีเข้าด้วยกัน ดังนั้น ไม่ควรนำ AI มาใช้เพียงเพราะความใหม่หรือความสะดวก แต่ควรเลือกใช้ อย่างมีวิจารณญาณเพื่อสนับสนุนความเข้าใจทางคณิตศาสตร์และกระบวนการเรียนรู้ของผู้เรียนอย่างแท้จริง (Mishra & Koehler, 2006)

5. การใช้ AI ในเชิงพลิกโฉมเพื่อยกระดับคุณภาพของกิจกรรมการเรียนรู้

หลักการที่ห้าสะท้อนว่า ควรใช้ AI เพื่อยกระดับคุณภาพของกิจกรรมการเรียนรู้ มากกว่าการทำให้งานเดิมสะดวกหรือรวดเร็วขึ้นเท่านั้น ในบริบทของคณิตศาสตร์ศึกษา AI จะมีคุณค่าอย่างแท้จริงเมื่อช่วยเปิดพื้นที่ให้เกิดกิจกรรมที่ส่งเสริมการคิด การสืบค้น การร่วมมือ การตรวจสอบเหตุผล และการสะท้อนคิดในระดับที่ลึกซึ้ง แนวคิดนี้สอดคล้องกับกรอบ SAMR ซึ่งชี้ว่า เป้าหมายของการใช้เทคโนโลยีไม่ใช่เพียงการทดแทนเครื่องมือเดิม แต่คือการยกระดับธรรมชาติของกิจกรรมการเรียนรู้ อย่างมีนัยสำคัญ (Hamilton et al., 2016)

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวม หลักการทั้ง 5 ประการสะท้อนว่า AI ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์ไม่ควรใช้เพียงเพื่อเร่งการได้คำตอบหรือเพิ่มความสะดวก แต่ควรออกแบบให้เป็นส่วนหนึ่งของสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการสร้างความหมาย การใช้เหตุผล การกำกับตนเอง การสะท้อนคิด และการยกระดับคุณภาพของกิจกรรมการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ

แนวทางการประยุกต์ใช้กรอบแนวคิดร่วมกันในการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุค AI

กรอบแนวคิดที่บทความนี้สังเคราะห์ขึ้นไม่ได้มุ่งให้ครูหรือนักวิจัยเลือกใช้ทฤษฎีใดทฤษฎีหนึ่งอย่างแยกส่วน หากแต่มุ่งเสนอแนวทางการออกแบบการเรียนรู้ที่พิจารณามิติสำคัญร่วมกันตามเป้าหมายการเรียนรู้ เนื้อหาคณิตศาสตร์ และบทบาทของ AI ในกิจกรรมการเรียนรู้ หากมุ่งส่งเสริมความเข้าใจเชิงแนวคิดและการให้เหตุผล ครูอาจใช้ Constructivism ร่วมกับ Cognitive Load Theory เพื่อออกแบบกิจกรรมที่เปิดโอกาสให้ผู้เรียนสร้างความหมายด้วยตนเอง พร้อมจัดลำดับข้อมูล คำใบ้ และภาระของงานให้เหมาะสม หากมุ่งพัฒนาการกำกับตนเองและการสะท้อนคิด ควรใช้ Self-Regulated Learning และ Metacognition ร่วมกัน โดยให้ AI สนับสนุนการตั้งเป้าหมาย การติดตามความก้าวหน้า การประเมินความเข้าใจ และการปรับกลยุทธ์การคิด

สำหรับมิติของครู TPACK และ SAMR สามารถใช้ร่วมกันเพื่อพิจารณาความเหมาะสมของ AI ต่อเนื้อหา วิธีสอน และผลลัพธ์การเรียนรู้ รวมทั้งประเมินว่าเทคโนโลยีเพียงปรับปรุงกิจกรรมเดิม หรือช่วยยกระดับคุณภาพการเรียนรู้อย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้น ครูและนักวิจัยควรเลือกและผสมผสานกรอบตามจุดมุ่งหมายของการออกแบบ เพื่อให้ AI ส่งเสริมการเรียนรู้คณิตศาสตร์อย่างมีความหมาย มากกว่าการเป็นเพียงเครื่องมืออำนวยความสะดวกหรือเร่งการได้คำตอบ

บทสรุป (Conclusion)

บทความนี้มุ่งพัฒนารอบแนวคิดสำหรับการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคปัญญาประดิษฐ์ โดยสังเคราะห์ Constructivism, Cognitive Load Theory, Self-Regulated Learning, Metacognition, TPACK และ SAMR เข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ ผลการสังเคราะห์นำไปสู่หลักการออกแบบ 5 ประการ ได้แก่ การสร้างความหมายอย่างมีเป้าหมาย การสนับสนุนทางพุทธิปัญญาที่เหมาะสม การกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน การบูรณาการ AI อย่างสอดคล้องทางการสอน และการใช้ AI ในเชิงพลิกโฉมเพื่อยกระดับคุณภาพของกิจกรรมการเรียนรู้ จากผลการสังเคราะห์เชิงบูรณาการ บทความนี้เสนอว่า การออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ในยุคปัญญาประดิษฐ์ไม่อาจตั้งอยู่บนมุมมองเชิงเทคโนโลยีเพียงลำพัง แต่ต้องเชื่อมโยงมิติของการเรียนรู้ กระบวนการรู้คิด การกำกับตนเองของผู้เรียน และการตัดสินใจเชิงวิชาชีพของครูเข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ AI จะมีคุณค่าทางการศึกษาอย่างแท้จริงเมื่อถูกออกแบบให้สนับสนุนคุณภาพของกระบวนการเรียนรู้ ไม่ใช่เพียงเพิ่มความรวดเร็วในการเข้าถึงข้อมูลหรือการได้มาซึ่งคำตอบ ซึ่งสอดคล้องกับงานร่วมสมัยที่ชี้ว่า ผลเชิงบวกของ AI ขึ้นอยู่กับรูปแบบกิจกรรมและเงื่อนไขของการบูรณาการในบริบทการสอน (Deng et al., 2025; Kasneci et al., 2023; Miao & Holmes, 2023)

เมื่อพิจารณาในมิติของผู้เรียน ผลการสังเคราะห์ชี้ว่า AI ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์ควรทำหน้าที่สนับสนุนการสร้างความหมายและการใช้ทรัพยากรทางพุทธิปัญญาที่เหมาะสม มากกว่าการเป็นแหล่งคำตอบสำเร็จรูป กล่าวคือ ผู้เรียนยังต้องมีบทบาทในการตั้งคำถาม สำรวจแนวคิด เปรียบเทียบวิธีคิด และสร้างข้อสรุปด้วยตนเอง ขณะเดียวกัน การใช้ AI ที่มีคุณภาพต้องคำนึงถึงระดับความพร้อมของผู้เรียนและความซับซ้อนของเนื้อหาที่เหมาะสม เพื่อไม่ให้เทคโนโลยีกลายเป็นภาระทางพุทธิปัญญาส่วนเกินในเชิงการออกแบบการเรียนรู้

ในมิติของครูและการออกแบบการเรียนรู้ ผลการสังเคราะห์ยังชี้ว่า ความสำเร็จของการใช้ AI ไม่ได้ขึ้นอยู่กับศักยภาพของเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับความสามารถของครูในการเชื่อมโยง AI เข้ากับเนื้อหา วิธีสอน และเป้าหมายการเรียนรู้ที่เหมาะสมด้วย ขณะเดียวกัน AI จะมีพลังทางการเรียนรู้สูงสุดเมื่อถูกใช้เพื่อยกระดับคุณภาพของกิจกรรมการเรียนรู้ให้ผู้เรียนได้คิด สืบค้น อภิปราย และสะท้อนคิดในระดับที่ลึกซึ้ง ไม่ใช่เพียงเพื่อทำให้งานเดิมสะดวกหรือรวดเร็วกว่าเดิม ในระดับ

การออกแบบและการพัฒนาวิชาชีพ สิ่งนี้หมายความว่า ครูจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนให้พัฒนาความรู้เชิงบูรณาการในการใช้ AI และมีเกณฑ์พิจารณาคุณภาพของกิจกรรมที่ใช้ AI มากกว่าการประเมินเพียงว่ามีการใช้เทคโนโลยี และครูไม่ควรใช้ AI เพื่อย่นกระบวนการคิดของผู้เรียนให้สั้นที่สุด แต่ควรใช้เพื่อช่วยให้ผู้เรียนคิดได้ลึกขึ้น ชัดขึ้น และเข้าใจแนวคิดสำคัญได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ผลการสังเคราะห์ยังชี้ว่า AI ควรถูกใช้เพื่อส่งเสริมการกำกับและการสะท้อนคิดของผู้เรียน ไม่ใช่ทำให้ผู้เรียนพึ่งพาคำตอบจากระบบโดยอัตโนมัติ ในยุคที่ผู้เรียนเข้าถึงคำอธิบายและคำตอบได้ง่ายขึ้น ความสามารถในการตั้งเป้าหมาย วางแผน ติดตาม ตรวจสอบ และประเมินการเรียนรู้ของตนเองยิ่งมีความสำคัญมากขึ้น หากขาดทักษะดังกล่าว AI อาจลดทอนความพยายามทางปัญญาและสร้างภาพลวงของความเข้าใจได้ง่าย ดังนั้น ในทางปฏิบัติ ครูจึงควรใช้ AI เพื่อกระตุ้นให้ผู้เรียนตรวจสอบเหตุผล เปรียบเทียบวิธีคิด และไตร่ตรองคำตอบ มากกว่าการยอมรับผลลัพธ์ของระบบโดยไม่ตรวจสอบ

กรอบแนวคิดดังกล่าวสะท้อนว่า AI ในชั้นเรียนคณิตศาสตร์ไม่ควรมองเป็นเพียงเครื่องมือเพิ่มความสะดวกหรือเร่งการได้มาซึ่งคำตอบ แต่ควรออกแบบการใช้ AI ให้เป็นส่วนหนึ่งของสภาพแวดล้อมการเรียนรู้ที่ส่งเสริมการคิด การให้เหตุผล การกำกับตนเอง การสะท้อนคิด และการสร้างความเข้าใจทางคณิตศาสตร์อย่างมีความหมาย ขณะเดียวกัน ความสำเร็จของการใช้ AI ไม่ได้ขึ้นอยู่กับศักยภาพของเทคโนโลยีเพียงลำพัง หากขึ้นอยู่กับคุณภาพของการออกแบบการเรียนรู้และการตัดสินใจเชิงวิชาชีพของครูเป็นสำคัญ ดังนั้น กรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นในบทความนี้จึงมีคุณค่าในฐานะฐานคิดสำหรับครู นักพัฒนาหลักสูตร และนักวิจัยที่ต้องการใช้ AI ในการเรียนรู้คณิตศาสตร์อย่างรอบคอบ มีวิจารณญาณ และสอดคล้องกับธรรมชาติของการคิดทางคณิตศาสตร์ กล่าวโดยสรุป คุณค่าที่แท้จริงของ AI ในคณิตศาสตร์ศึกษาจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเทคโนโลยีถูกใช้เพื่อขยายศักยภาพของมนุษย์ในการคิดและเรียนรู้ ไม่ใช่เพื่อแทนที่กระบวนการคิดของมนุษย์เอง

ข้อเสนอแนะ (Recommendations)

1. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

ครูคณิตศาสตร์ควรใช้หลักการทั้ง 5 ประการนี้เป็นฐานในการออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่ใช้ AI โดยเริ่มจากการกำหนดเป้าหมายการเรียนรู้ทางคณิตศาสตร์ให้ชัดเจนก่อนเลือกใช้เทคโนโลยี ทั้งนี้ ควรออกแบบให้ AI ทำหน้าที่สนับสนุนการสร้างความหมาย การตั้งคำถาม การให้เหตุผล และการสะท้อนคิดของผู้เรียน มากกว่าการเป็นแหล่งคำตอบสำเร็จรูป

ในการจัดกิจกรรม ครูควรคำนึงถึงความซับซ้อนของเนื้อหาและภาระทางพุทธิปัญญาของผู้เรียน โดยใช้ AI เพื่อช่วยจัดระเบียบข้อมูล ให้คำใบ้เฉพาะจุด หรืออธิบายขั้นตอนอย่างเหมาะสม แต่ไม่ควรให้ข้อมูลมากเกินไปหรือทำแทนผู้เรียนทุกขั้นตอน นอกจากนี้ ควรออกแบบการใช้ AI ให้ส่งเสริมการกำกับตนเองและการสะท้อนคิด เช่น การให้ผู้เรียนอธิบายเหตุผลของตนเองก่อนใช้ AI การเปรียบเทียบคำตอบของระบบกับวิธีคิดของตน หรือการสะท้อนผลหลังการใช้ AI ในการแก้ปัญหา

ในระดับการพัฒนาวิชาชีพ ควรส่งเสริมให้ครูพัฒนาความรู้เชิงบูรณาการในการใช้ AI ผ่านกรอบ TPACK เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงเทคโนโลยีกับเนื้อหาและวิธีสอนได้อย่างเหมาะสม พร้อมทั้งใช้กรอบ SAMR เป็นเครื่องมือสะท้อนว่า การใช้ AI ในชั้นเรียนช่วยยกระดับคุณภาพของกิจกรรมการเรียนรู้อย่างแท้จริงหรือไม่ แนวทางนี้สอดคล้องกับงานทบทวนด้านการพัฒนาวิชาชีพครูเกี่ยวกับ AI ที่ชี้ว่า การพัฒนาครูที่มีประสิทธิภาพควรเชื่อมโยงความรู้ด้านเทคโนโลยีกับเนื้อหา วิธีสอน และบริบทการใช้จริง มากกว่าการฝึกใช้เครื่องมือแบบแยกส่วน (Doğan et al., 2025)

2. ข้อเสนอแนะเพื่อการศึกษาต่อไป

งานศึกษาต่อไปควรนำกรอบแนวคิดที่พัฒนาขึ้นในบทความนี้ไปทดลองใช้ในบริบทการเรียนการสอนคณิตศาสตร์จริง เพื่อศึกษาว่าแต่ละหลักการสามารถนำไปสู่การออกแบบกิจกรรมการเรียนรู้ที่มีประสิทธิภาพได้อย่างไรในระดับชั้น เนื้อหา และบริบทที่แตกต่างกัน

นอกจากนี้ ควรพัฒนาและตรวจสอบเครื่องมือหรือเกณฑ์ประเมินการออกแบบการเรียนรู้คณิตศาสตร์ที่ใช้ AI บนฐานของ 5 หลักการนี้ เพื่อให้ครูและนักวิจัยสามารถใช้กรอบดังกล่าวในการออกแบบ วิเคราะห์ และประเมินกิจกรรมได้อย่างเป็นรูปธรรม รวมทั้งควรศึกษาความพร้อมของครูในการใช้ AI ตามกรอบ TPACK ในบริบทคณิตศาสตร์ศึกษา (Zhao et al., 2025) ขณะเดียวกัน ควรศึกษาผลกระทบของ AI ต่อการกำกับตนเอง การสะท้อนคิด และการให้เหตุผลทางคณิตศาสตร์ของผู้เรียน เนื่องจากผลกระทบของ AI อาจไม่ได้ปรากฏเพียงในระดับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนเท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการเรียนรู้และความสัมพันธ์ของผู้เรียนกับกระบวนการคิดของตนเองด้วย

การเปิดเผยการใช้ Generative AI ในการเขียนบทความ (Disclosure of Generative AI Use in the Writing Process)

ในการจัดเตรียมต้นฉบับบทความ ผู้เขียนใช้ ChatGPT เพื่อช่วยเพิ่มความชัดเจนของภาษา ปรับปรุงไวยากรณ์ และตรวจสอบความสม่ำเสมอของรูปแบบการอ้างอิง เนื้อหาฉบับสุดท้ายได้รับการตรวจสอบและแก้ไขโดยผู้เขียน ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบต่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของบทความฉบับนี้

References

- Achuthan, K. (2025). Artificial intelligence and learner autonomy: A meta-analysis of self-regulated and self-directed learning. *Frontiers in Education*, 10, Article 1738751. DOI: 10.3389/feduc.2025.1738751
- Chitcharoen, D. (2025). The nexus of TPACK, SAMR, and 21st-century skills in digital mathematics education: An integrative review. *International Journal of Industrial Education and Technology*, 7(2), 114–124. DOI: 10.55003/IJiet.7211
- Deng, R., Jiang, M., Yu, X., Lu, Y., & Liu, S. (2025). Does ChatGPT enhance student learning? A systematic review and meta-analysis of experimental studies. *Computers & Education*, 227, Article 105224. DOI: 10.1016/j.compedu.2024.105224
- Doğan, S., Nalbantoglu, Ü. Y., Celik, I., & Agacli Dogan, N. (2025). Artificial intelligence professional development: A systematic review of TPACK, designs, and effects for teacher learning. *Professional Development in Education*, 51(3), 519–546. DOI: 10.1080/19415257.2025.2454457
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive-developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906–911. DOI: 10.1037/0003-066X.34.10.906
- Hamilton, E. R., Rosenberg, J. M., & Akcaoglu, M. (2016). The substitution augmentation modification redefinition (SAMR) model: A critical review and suggestions for its use. *TechTrends*, 60(5), 433–441. DOI: 10.1007/s11528-016-0091-y

- Kabudi, T., Pappas, I., & Olsen, D. H. (2021). AI-enabled adaptive learning systems: A systematic mapping of the literature. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, Article 100017.
DOI: 10.1016/j.caeai.2021.100017
- Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ... Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, Article 102274. DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274
- Kholid, M. N., & Naufan, F. (2025). Next-level learning: Classifying self-regulated learning in mathematical problem-solving. *Educational Process: International Journal*, 17, Article e2025390.
DOI: 10.22521/edupij.2025.17.390
- Koehler, M. J., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 9(1), 60–70. <https://citejournal.org/volume-9/issue-1-09/general/what-is-technological-pedagogicalcontent-knowledge>
- Kuo, B.-C., Bai, Z.-E., & Lin, C.-H. (2026). Developing an AI learning companion for mathematics problem solving in elementary schools. *Computers & Education*, 240, Article 105463.
DOI: 10.1016/j.compedu.2025.105463
- Memiş, Y. (2025). Examining the potential and pitfalls of AI in problem solving. *Journal of Pedagogical Research*, 9(2), 177–190. DOI: 10.33902/JPR.202532099
- Miao, F., & Holmes, W. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO.
DOI: 10.54675/EWZM9535
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017–1054. DOI: 10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x
- Panadero, E. (2017). A review of self-regulated learning: Six models and four directions for research. *Frontiers in Psychology*, 8, Article 422. DOI: 10.3389/fpsyg.2017.00422
- Pepin, B., Buchholtz, N., & Salinas-Hernández, U. (2025). A scoping survey of ChatGPT in mathematics education. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 11(1), 9–41. DOI: 10.1007/s40751-025-00172-1
- Piaget, J. (1970). *Science of education and the psychology of the child*. Orion Press.
- Reddig, J. M., Arora, A., & MacLellan, C. J. (2025). Generating in-context, personalized feedback for intelligent tutors with large language models. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 35(6), 3459–3500. DOI: 10.1007/s40593-025-00505-6
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257–285.
DOI: 10.1016/0364-0213(88)90023-7
- Sweller, J., Ayres, P., & Kalyuga, S. (2011). *Cognitive load theory*. Springer. DOI: 10.1007/978-1-4419-8126-4

Tomisu, H., Ueda, J., & Yamanaka, T. (2025). The cognitive mirror: A framework for AI-powered metacognition and self-regulated learning. *Frontiers in Education*, 10, Article 1697554.

DOI: 10.3389/feduc.2025.1697554

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes* (M. Cole, V. John-Steiner, S. Scribner, & E. Souberman, Eds.). Harvard University Press.

Walkington, C. (2025). The implications of generative artificial intelligence for mathematics education. *School Science and Mathematics*. Advance online publication. DOI: 10.1111/ssm.18356

Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64–70.

DOI: 10.1207/S15430421TIP4102_2

Zhao, G., Li, M., Long, Z., & Fan, H. (2025). Unlocking AI potential in primary mathematics: Teachers' technological pedagogical readiness in China. *Acta Psychologica*, 260, Article 105558.

DOI: 10.1016/j.actpsy.2025.105558