



Systematic literature review on AI-based mathematics teaching and learning: Focusing on the role of AI and teachers

Jungeun Yoon¹, Oh Nam Kwon^{2*}

¹Doctoral Student, Seoul National University

²Professor, Seoul National University

ABSTRACT

The purpose of this study is to explore research trends on AI-based mathematics teaching and learning. For this purpose, a systematic literature review was conducted on 57 literatures in terms of research subject, research method, research purpose, learning content, type of AI, role of AI, and role of teachers. The results indicate that student accounted for the largest proportion at 51% among the research subjects, and quantitative research was the highest at 49% among the research methods. The purpose of study was distributed as follows: effect analysis 44%, theoretical discussion 35%, case study 21%. 'Numbers and Operations' and 'Variables and Expressions' covered learning contents most, and Intelligent Tutoring System (ITS) was used the most among the types of AI. 'Student teaching' was the largest parts of role of AI at 40.4%, followed by 'teacher support' at 22.8%, 'student support' at 21%, and 'system support' at 15.8%. The role of teachers as 'AI recipients' was highlighted in earlier studies, and the role of teachers as 'constructive partner with AI' was highlighted in more recent studies. Also, role of teachers was explored in pedagogical, AI-technological, content aspects. Through this, follow-up research was suggested and the roles that teachers should have in AI-based mathematics teaching and learning were discussed.

Keywords AI-based mathematics teaching and learning, Mathematics education, Systematic literature review, Role of AI, Role of teachers

서 론

4차 산업혁명에 따른 AI 시대가 도래함에 따라 사회, 경제, 문화, 의료, 교육 모든 분야에 AI가 접목되고 있다. 미래 사회는 AI를 기존 사회 시스템에 얼마나 잘 도입하는지에 따라 주도권이 결정될 것이라고 예측되고 있으며, 전 세계적으로 AI 관련 기술 개발 및 인재 양성을 위한 막대한 투자가 이루어지고 있다. 미래 교육의 역량과 지향점이 변화함에 따라 EU 디지털 역량 프레임워크(DigiComp 2.2)에서는 AI 활용 능력과 AI 기술을 포함하도록 핵심 역량을 개정하였다(Vuorikari et al., 2022). 이러한 세계적 흐름에 부합하여 우리나라도 2021년 11월 24일 발표된 2022 개정 교육과정 총론 주요사항(시안) (Ministry of

Received July 8, 2024; Revised July 26, 2024; Accepted August 6, 2024

*Corresponding author Oh Nam Kwon

E-mail onkwon@snu.ac.kr

2020 Mathematics Subject Classification 97C70



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Education, 2021)에서 교육과정 개정 중점 사항 중 하나로 ‘디지털·AI 교육 환경에 맞는 교수·학습 및 평가체제 구축’을 제시하였고, 2022 개정 수학과 교육과정에서는 디지털·AI 소양을 증진할 수 있는 수학 교수·학습의 필요성을 언급하였다 (Ministry of Education, 2022).

교육에서의 AI (AI in education, AIED)에 대한 세계적, 국가적 요구가 증가함에 따라(Park & Hyun, 2022), 수학교육에서도 AI 관련 이론적, 실천적 연구가 시도되어 왔다. AI 관련 교육 연구는 학생 프로파일링 및 학생 성취도 예측, 학생 평가, 적응형 및 개인화 시스템, 지능형 튜터링 시스템의 네 가지 영역으로 구분할 수 있는데(Zawacki-Richter et al., 2019), 국내 수학교육에서는 이 중 AI 시스템에 대한 체계적이고 기술적인 연구가 주를 이루고 있다(Park, 2020; Shin, 2020a). 특히, 지능형 튜터링 시스템(Intelligent Tutoring System, ITS) 등 AI 기반 수학교육 플랫폼을 활용하여 개별 학생의 수준, 상황, 동기에 맞는 맞춤형 교육을 제공하는 연구가 많은 비중을 차지하는데, 이는 수학 교과가 다른 교과에 비해 위계적이고 체계적이어서 단계별 피드백을 제공하기 적합하기 때문이다(Holmes et al., 2019; Kim & Jeon, 2021). 반면, AI 기반 수학 교수·학습의 내용과 실제에 초점을 둔 연구는 체계적, 공학적 연구에 비해 상대적으로 적은 편이다.

학교 교육을 통해 미래 사회가 요구하는 디지털·AI 기반 수학교육을 실천하기 위해서는 현재까지의 AI 기반 수학 교수·학습 연구에 대한 이해가 선행되어야 한다. Lim과 Park (2021)은 AI의 유의미한 교육적 활용은 수학 교실의 근본적인 현상들을 이해할 때 이루어질 수 있으므로, 수학 교실에서의 교사, 학생, AI, 학습 내용, 평가 등 다양한 요소의 상호의존적 관계가 어떻게 변화하는지에 주목할 필요가 있다고 하였다. 하지만 내용 영역별 유의미한 학습을 위한 AI 활용이 요구되고 있음에도 불구하고 현재 국내 수학교육에서는 교수·학습에 중점을 둔 연구는 아직 활발하게 이루어지지 않으며(Choi, 2022) AI의 활용은 개인 교사의 역량에 의존하는 문제로 남아 있다.

이에 본 연구에서는 AI 기반 수학 교수·학습에 대한 국내·외 문헌 57편을 체계적 문헌 고찰하여 AI 기반 수학 교수·학습 연구의 동향과 실재를 탐색하였다. 특히, AI를 활용하여 학생들에게 ‘무엇을’, ‘어떻게’ 가르쳐 AI 역량을 함양할 것인지에 대한 논의가 제기되는 상황을 고려하여(Ko, 2020; Shin, 2020a), AI 기반 수학 교수·학습에서의 AI의 역할과 교사의 역할에 대해 심층적으로 분석하였다. AI 관련 연구 동향을 분석한 국내 수학교육 연구는 AI 플랫폼 7종의 활용에 대해 분석한 연구(Park, 2020), 국외 연구 51편을 통해 초·중등 교육에서의 AI 연구의 동향을 분석한 연구(Shin, 2020a), KCI 등재 수학교육 저널 26편을 연구 주제, 연구 방법에 따라 분석한 연구(Choi, 2021)가 있다. 하지만 기존 연구들은 AI를 활용한 수학 교수·학습보다는 AI 시스템 분석 또는 초·중등교육 전 교과 교육의 연구 동향을 탐색하였고, 등장한 지 채 2년이 되지 않은 ChatGPT 등 생성형 AI의 교육적 활용까지 포괄하지는 못하였다. 따라서 최근 10년 간의 관련 문헌 고찰을 통해 AI 기반 수학 교수·학습 실제에 대한 이해를 높이고, 이를 통해 AI 기반 교수·학습 현장 및 수학교육 연구에 시사점을 제공하고자 하였다.

이론적 배경

1. 교육에서의 AI

교육에서 AI를 활용할 때는 무분별하게 도입하기 보다는 어떠한 목적으로 어떤 지침 하에 어떤 점에 유의하여야 할지 숙고해야 한다. ‘교육에서의 AI (AI in education, AIED)’의 개념은 그 목적에 따라 여러 연구자들에 의해 분류되어 왔다. Holmes 외 (2019)는 교육에서의 AI를 ‘AI와 함께 하는 학습(learning with AI)’과 ‘AI에 대한 학습(learning about AI)’으로 분류하여 정의하였다. 전자는 AI의 용도에 따라 시스템 측면의 AI (System-facing AI), 학생 측면의 AI (Student-facing AI), 교사 측면의 AI (Teacher-facing AI)로 분류되며, 후자는 학습 대상에 따라 유·청소년 대상 AI 교수(Teaching young people about AI), 엔지니어 대상 AI 훈련(Training AI engineers), 관리자 대상 AI 훈련(Training managers about AI)으로 분류된다. 한편, Hong 외 (2020)는 교육에서의 AI를 AI 기술을 교육 방법이나 교육 환경에 적용하는 경우에 해당하는 ‘도구로서의 AI’와 AI 자체가 교육의 내용이 되는 ‘내용으로서의 AI’ 두 가지로 구분하였다. 이때, ‘도구로서의 AI’는 다른 교과 교육을 효과적으로 실행하기 위한 수단으로 AI를 사용하는 개념이고, ‘내용으로서의 AI’는 주로 정보 교과에서 AI를 학습 대상으로 보고 이를 학습하는 것을 목표로 하는 개념이다. 이 관점에 따르면 수학 교수·학습을 위해 AI를 활용하는 경우 AI는 ‘도구로서의 AI’에 해당된다고 볼 수 있다. 유사한 맥락으로 수학교육에서 AI 관련 연구는 수학의 하위 영역을 AI의 개발, 설계, 실행을 위한 도구로 파악하는 ‘AI를 위한 수학교육’과 수학교육의 한계를 극복하기 위한 방안으로 AI를 활용하는 ‘수학교육을 위한 AI’로 구분될 수 있다(Chang & Nam, 2021). 전자는 AI를 개발하고 그 메커니즘을 이해하는 데 필수적인 도구로서 수학 학습을 활용하는 입장인 반면, 후자는 수학 학습의 한계를 극복하고 효율성을 높이고자 하는 의도가 반영된 관점이다. 이 중 후자의 관점에

대해 Lim과 Park (2021)은 AI 기술을 활용하여 수학 교수·학습을 지원하는 내용, 구조, 활동을 ‘AI 기반 수학교육’으로 정의하였고, 수학 교실의 근본적인 현상들을 이해할 때 AI의 유의미한 교육적 활용이 이루어질 수 있다고 하였다. 즉, 수학 교실에서 교사, 학생, AI, 학습 내용, 평가 등 다양한 요소의 상호의존적 관계가 어떻게 변화하는지에 주목할 필요성을 제기하였다. 이러한 논의를 바탕으로 본 연구에서는 교수자 또는 학습자가 AI 시스템 또는 도구를 활용하여 AI 기반 수학교육을 실천하는 모든 학습 과정을 ‘AI 기반 수학 교수·학습’으로 정의한다.

2. 수학교육에서의 AI 관련 연구 동향

(1) 국내 연구 동향

최근 교육과정 전반에 디지털·AI 교수·학습이 강조됨에 따라 AI에 관한 수학교육 연구가 증가하고 있다. 국내 수학교육에서 AI 관련 연구는 다음과 같이 몇 가지로 분류할 수 있다. 첫째, <인공지능 수학> 교과서 관련 연구이다. 수학 교과서에서는 2015 개정 교육과정부터 진로 선택 과목으로 <인공지능 수학>이 개설됨에 따라 인공지능 수학 교과서의 내용 체계를 분석하는 연구들이 행해져 왔다(Kim & Jeon, 2021; Ku & Choi, 2022; Kwon et al., 2021). 예를 들어, Kwon 외 (2021)는 <인공지능 수학> 교과서에 ‘관련 학습 요소’가 반영된 양상을 형식, 범위와 방법, 공학적 도구 활용 방식을 중심으로 분석하여 그 특징을 밝혔다. 둘째, AI 활용 수학교육 연구 동향을 탐색한 문헌 연구이다(Choi et al., 2021; Park, 2020; Shin, 2020a). Park (2020)은 국내·외 인공지능 플랫폼 7종의 특징 및 주요 기능을 분석하여 인공지능 플랫폼이 수학교사를 지원하는 보조적인 역할을 수행한다는 결과를 도출하였다. 또한 인간 교사를 효과적으로 지원할 수 있는 방안에 대한 후속 연구와 인공지능을 활용한 수학교육에서의 윤리적인 문제를 교육할 필요가 있음을 제안하였다. Shin (2020a)은 2015년부터 2020년까지 초·중등 교육에서의 인공지능 연구를 전 교과를 대상으로 체계적 문헌 고찰하였다. 그 결과, 인공지능은 수학 교과에서 가장 활발히 사용되었고, 초등학교와 중학교 급에서 지능형 튜터링 시스템 적용 위주로 시도되었다. 학습 내용으로는 분수와 일차방정식의 비율이 가장 높았으며, 교사는 주도적 역할이 아닌 보조적 역할을 수행하였다. Choi (2021)는 KCI급 저널에 게재된 26편의 논문을 대상으로 연구 과목, 연구 방법, 연구 주제를 분석하여 교육공학 및 도구, 교사교육, 평가, 교육과정 관련 연구가 대부분이고, 질적 연구의 비중이 높음을 도출하였다. 셋째, 인공지능에 대한 교사 또는 예비교사의 인식을 분석한 연구(Shin, 2020b; Sim et al., 2023, Son, 2023) 등이 있다. Shin (2020b)은 예비수학교사가 인식하는 미래 수학교육에서 AI의 필요성과 AI 활용에서 교사의 역할을 교수 측면, 학습 측면, 평가 측면에서 조망하였다. 연구 결과, 교수 측면에서 예비교사들은 학교 수학에 AI 활용이 시대적 요구이며, 다양한 유형의 수업 구현과 정확한 지식 및 정보를 전달할 수 있지만, 인지적·감정적 상호작용에 한계가 있다는 인식을 가지고 있었다. 학습 측면에서 AI는 개별화 학습을 제공하고 학습 흥미를 자극할 수 있지만, 학생들의 주체적 사고 능력을 저해할 수 있는 도구로 인식되었다. 평가의 측면에서 AI는 객관적이고 공정하며 교사의 업무를 감소할 수 있지만 서·논술형 문항과 과정 중심 평가에서 한계가 있다고 생각되었다. AI 활용에서 예비교사들이 생각하는 교사의 역할은 수업, 감정적 상호작용, 비정형화된 평가, 상담이었고, AI의 역할은 개별화 학습, 기계적 학습, 정형화된 평가와 행정 업무였다. 넷째, AI 시스템 또는 AI 도구를 수업에서 활용한 연구이다. AI 시스템은 학습자의 수준을 정확하게 진단하고 그에 맞는 추가 학습 기회를 제공하여 개인별 맞춤형 학습을 지원하는 지능형 튜터링 시스템(ITS) 위주로 활용되어 왔다. 특히, 초등학교 급에서는 한국과학창의재단에서 개발한 ‘똑똑! 수학 탐험대’ 적용 사례 및 효과가 여러 연구에서 보고되었다(Chang & Nam, 2021; Lim et al., 2021). AI 시스템 적용 연구에 비해 상대적으로 AI 도구를 수업에서 활용한 연구는 적은 편이다. 최근 중학교 통계 단원 시나리오 개발을 중심으로 수학교실에서 인공지능(AI)을 활용한 교수·학습 방안을 탐색한 Choi (2022)와 고등학교에서 ChatGPT를 활용한 수학 플립러닝을 설계, 실행한 사례에서 학습자의 온·오프라인 참여를 분석한 Yoon 외 (2023)가 보고되었으나, 아직 활발한 시도가 보이지는 않는다.

현재 AI 관련 수학교육 국내 연구에서 AI 기반 수학 교수·학습 연구의 비중은 적은 편이며, AI 플랫폼이나 지능형 튜터링 시스템과 같은 체제적이고 기술공학적인 시스템을 적용한 연구에 초점이 맞추어져 있다(Park, 2020; Shin, 2020a). 이러한 교육공학적 접근은 최신의 AI 기술들을 교육 현장에 접목시켰다는 의의가 있지만, 장기적으로 AI 기반 수학 교수·학습을 어떻게 지속시켜 나갈 것인가에 대한 방향을 제안해 주기는 어렵다는 점에서 한계가 있다(Choi, 2022). 시스템 보다는 교실 내 상황에 초점을 맞추어 AI 기반 수학 교수·학습에서의 교사, 학생, AI, 학습 내용 등을 면밀히 살펴볼 필요가 있다.

(2) 국외 연구 동향

국외 수학교육 연구의 주요 흐름은 세 가지로 살펴볼 수 있다. 첫째, 수학교육에서의 AI의 역할 및 연구 동향을 탐색하는 문헌 연구이다. Hwang과 Tu (2021)는 수학교육에서의 AI 활용 연구들을 주요 저널, 가장 많이 인용된 논문과 저자, 키워드,

응용 분야, 연구 대상, 연구 방법, 인공지능의 역할, AI의 알고리즘, 구현 기술 등을 중심으로 메타분석하여 이산수학 및 대수에서 가장 많이 적용되고 있으며 지능형 튜터링 시스템으로서의 AI의 역할이 가장 빈번하게 나타난다는 결과를 도출하였다. Nurwahid와 Ashar (2024)는 2017년에서 2021년 사이에 발표된 20개 연구에 대하여 체계적 문헌 고찰하였다. 연구 결과 수학 학습에 AI를 활용하는 방법에는 학습 개인화, 자동 평가 및 교정기 제작, 가상 교사, 게임 기반 대화형 학습 등이 포함되었고, 수학교육 분야에서 AI 관련 주제는 장단점, 개념적 이해, 요인, 역할, 아이디어 제안, 전략, 효과성 등으로 분류되었다. 이처럼 연구 동향을 탐색하는 연구들은 공통적으로 교육에서의 AI의 역할을 분류하는 것에 초점을 두었다. 둘째, 수학교육에서 AI 활용에 관한 예비 수학교사 혹은 현직 수학교사의 인식을 분석하는 연구이다. Chounta 외 (2022)는 K-12 교육에서 교수 지원 도구로서 AI에 대한 교사들의 인식을 설문 조사를 통하여 탐구하고, 공정성, 책임성, 투명성 및 윤리의 범위에서 결과를 맥락화하였다. 설문 조사 응답 분석 결과 교사들은 AI 자체와 AI가 실제로 어떻게 도움이 될 수 있는지에 대한 지식이 부족하였으나, AI를 교육의 기회로 인식하고 있었다. Yeo 외 (2024)는 AI 지원 시스템의 내용, 구현 방법, 테크놀로지 사용, 교육과정 배치 측면에서 예비 수학교사의 인식을 평가하였다. 이를 통해 예비교사가 수학교육에서 디지털 도구와 AI를 사용하는 것의 중요성을 강조하였고, AI 활용 역량을 개선하는 데 중점을 두어 예비교사 교육과 전문성 개발이 이루어져야 한다고 제안하였다. 셋째, AI 시스템을 적용하거나 AI 도구를 활용하는 상황에서 수학 수업을 탐색하는 사례 연구이다. 특히, 학생들이 수학 수업에서 로봇, 게임, 챗봇 등 AI 도구를 직접 활용하는 실천적 사례 연구가 활발히 진행되고 있다(Ferro et al., 2021; Forsström & Afdal, 2020). Forsström과 Afdal (2020)은 중등학교에 레고 마인드스톰 로봇을 활용한 수학 활동을 실행한 후 활동체계에 따라 분석하여 수학의 역할이 도구에서 대상으로 바뀔 수 있음을 도출하였다. 또한, Ferro 외 (2021)는 전통적인 수업의 대체 방안으로 디지털 게임인 Gea 2: A New Earth를 도입하여 고등학생과 교사를 대상으로 한 게임 기반 STEM 수업을 실행한 사례를 보고하였다. 이처럼 국외 수학교육 연구에서는 국내 연구에 비해 교사, 인공물, 교실공동체, 교육과정, 평가 등 전통적인 수학교육의 주요 구성요소의 확장, 변화, 혹은 대체에 초점을 둔 논의가 활발한 편이다(Lim & Park, 2021).

AI 관련 연구 동향을 탐색한 국내·외 수학교육 연구는 세 가지 면에서 한계가 있다. 첫째, 각 기준의 비중을 분석하는 연구 방법이 양적 연구에 치중해 있다. 연도, 연구 방법, 단원, AI의 유형, AI의 역할 등을 세부 기준에 따른 비중을 계산하여 양적으로 탐색하고 있는 경우가 대부분이었으며, 각 항목을 질적으로 탐색한 연구는 많지 않았다. 이에 대해 Hwang과 Tu (2021)는 정량적 분석 외에도 연구자들이 AI 지원 수학 학습에 대한 학습자의 피드백을 수집하고 학습자의 인식을 심층적으로 분석하기 위해 정성적 방법을 수행하도록 장려하는 것이 중요함을 언급한 바 있다. 둘째, 연구 동향 분석 기준으로 공통적으로 AI의 역할을 선정한 것에 비해, 상대적으로 교사의 역할을 탐색한 연구는 소수였다. Shin (2020a)에서 교사가 AI를 활용하여 주도적으로 수업을 진행하는지, 학생이 개별적으로 AI와 상호작용하였는지를 고려하는 것이 중요하다는 인식 하에 초·중등 교육에서의 교사의 역할을 주도적 역할과 보조적 역할(Bernacki & Walkington, 2018)로 분류하였으나, 세부 역할에 대해 구체적으로 논의하지는 않았다. 셋째, 생성형 AI의 등장에 따른 AI의 역할과 교사의 역할의 변화를 반영한 국내 연구가 많지 않다. 특히, AI 기반 수학교육 연구 동향을 탐색한 국내 연구는 2020~2021년에 머물러 있어(Choi, 2021; Park, 2020), 2022년에 등장한 ChatGPT와 같은 생성형 AI의 교육적 활용으로 인한 변화를 포괄하지 못하였다. 생성형 AI의 교육적 활용이 시도되는 초기 단계인만큼, 아직까지 국내·외 연구에서 생성형 AI 기반 수학 교수·학습에 관한 심층적 해석이 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 이와 같은 한계를 보완하고자 생성형 AI 활용 연구를 포함한 최근 10년 간의 AI 기반 수학 교수·학습 연구를 대상으로 체계적 문헌 고찰을 하였다. 또한, AI 기반 수학 교수·학습에서의 AI와 교사의 세부 역할을 양적, 질적으로 탐색하였다.

연구 방법

본 연구는 체계적 문헌 고찰(Systematic Literature Review)로 AI 기반 수학 교수·학습에 대한 이해를 높이기 위한 목적을 가진다. 체계적 문헌 고찰은 체계적인 오류에 명백히 한계를 설정하기 위해 행해지는 과학적인 문헌 검토이며, 특별한 문제에 답을 내리기 위해 관련된 모든 연구를 확인하고 평가하여 종합하려는 시도이다(Petticrew & Roberts, 2008). 이 방법의 특징은 첫째, 연구를 위한 미리 정해진 적합한 기준으로 목표를 명백히 진술하고, 둘째, 분명하고 재현가능한 방법론이며, 셋째, 적합한 기준에 맞는 모든 연구를 확인하려는 체계적인 조사이고, 넷째, 연구 결과의 타당성 평가이며, 다섯째, 포함된 연구의 특징과 결과에 대한 체계적인 표현과 종합이다. 본 연구에서 AI 기반 수학 교수·학습에 대한 체계적 문헌 고찰은 1) 연구 문제 설정, 2) 문헌 검색, 3) 문헌 선별, 4) 자료 추출 및 분석, 5) 자료 종합 및 결과 제시 순으로 진행되었다(Kitchenham &

Charters, 2007). 한편, 체계적 문헌 고찰에서는 연구의 편향성 문제를 방지하고자 최소 2명 이상 한 팀을 이루어 연구를 진행하는 것이 권장된다(Cook et al., 1997). 이에 본 연구에서는 연구자 2인이 교차 검토를 통해 문헌 검색 및 선정하는 과정, 연구 결과를 도출하는 과정을 공동으로 진행하며 타당성을 확보하고자 노력하였다.

1. 연구 문제 설정

본 연구는 AI 기반 수학 교수·학습의 연구 동향을 탐색하되, AI의 역할과 교사의 역할을 심층적으로 분석하고자 하였다. 연구 목적에 따른 연구 문제는 다음과 같다.

- 첫째, AI 기반 수학 교수·학습 연구 동향은 어떠한가?
- 둘째, AI 기반 수학 교수·학습에서 AI의 역할은 무엇인가?
- 셋째, AI 기반 수학 교수·학습에서 교사의 역할은 무엇인가?

2. 문헌 검색

문헌 검색은 연구 문제에 대한 적절한 데이터를 수집하는 단계이다(Mengist et al., 2020). 문헌의 질을 위해 대표적인 데이터베이스인 Web of Science와 ERIC에 AI 기반 수학 교수·학습에 관한 논문을 검색하였다. Web of Science는 과학인용색인(Science Citation Index, SCI)과 사회과학인용색인(Social Sciences Citation Index, SSCI)에 등록된 우수한 논문에 대한 학술정보를 제공할 뿐만 아니라 아직 인덱스에 등재되지 않은 ESCI (Emerging Sources Citation Index)까지 포함하는 데이터베이스이다. 또한 ERIC (Education Resources Information Center)는 교육 분야 특화된 데이터베이스로, Web of Science를 통해 검색되지 않은 수학 교수·학습 관련 논문이 있을 가능성을 고려하여 선택하였다. 수학교육 분야에서 AI 관련 연구가 초기 단계이고 AI의 종류 및 기능이 빠르게 변화하고 있는 상황을 고려하여 문헌 검색 기간은 최근 10년, 2015년부터 2024년 5월까지로 조정하였다. ‘Artificial Intelligence’, ‘Generative AI’, ‘AI system’이라는 세 가지 주제어와 ‘mathematics’, ‘mathematics learning’, ‘mathematics teaching’, ‘mathematics education’의 네 가지 주제어를 조합해 총 12가지의 주제어를 생성하였고, 제목, 초록, 키워드에 주제어가 포함된 논문을 모두 검색하였다. 그 결과 Web of Science에서 523개, ERIC에서 308개, 총 831개의 논문이 검색되었다.

3. 문헌 선별

체계적 문헌고찰 연구방법의 경우 분석대상 논문의 ‘질’과 ‘수준’ 검토가 연구결과의 타당성과 신뢰성을 확보하는 중요한 과정이다(Petticrew & Roberts, 2008). 이에 검색한 문헌 중 연구문제에 적합한 최종 분석 대상을 선별하기 위해 PRISMA 원칙을 따라 Table 1과 같이 포함 기준과 배제 기준을 설정하였다(Moher et al., 2009). 포함 기준으로는 AI 기반 수학 교수·학습 관련 연구, 동료평가(peer-reviewed) 과정을 거친 학술지 논문, 비정규 논문과 철회 논문을 제외한 논문, pdf 원문이 제공되는 논문을 선정하였고, 배제 기준으로는 AI 기반 교수·학습 내용을 포함하지 않은 연구, 인공지능의 수학적 성능을 분석한 연구, 영어 이외의 외국어로 기술된 연구가 포함되었다.

Table 1. Inclusion criteria and exclusion criteria

Inclusion criteria	Exclusion criteria
<ul style="list-style-type: none"> • Theoretical and empirical research on AI-based mathematics teaching and learning • Peer-reviewed journal papers • Papers excluding irregular papers and withdrawn papers • Research with original pdf text available 	<ul style="list-style-type: none"> • Research that does not include AI-based teaching and learning • Research that covers AI development or mathematical performance of AI • Research that covers field other than mathematics education, such as computer science and machine learning • Research written with a language other than English

포함, 배제 기준(Table 1)에 따라 Figure 1의 PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis) Flow Chart의 단계를 거쳐 문헌을 선별하였다. Web of Science와 ERIC을 통해 얻은 831편의 논문 중 중복 문헌을 제외한 197편의 논문에 대하여 두 단계에 걸쳐 선별이 이루어졌다. 1차 선별 과정에서 두 명의 연구자는 논문의 초록을 검토하여 연구 주제에 부적합한 99편의 논문을 제외하였다. 그 후 2차 선별 과정에서는 1차 선별 과정에서 선별된 총 98편의 논문의 본문을 읽으며 포함, 배제 기준에 따라 검토했고, 최종 57편을 분석 대상으로 선별하였다. 본 연구는 AI에 관한 수

학교교육 연구 전체가 아닌 AI 기반 수학 교수·학습이 드러난 연구만을 선정하려는 목적이었기 때문에 1차, 2차 선별 과정에서 많은 연구가 제외되었다. 주로 AI의 수학적 성능에 관한 논문, AI 교육 일반에 대한 문헌 연구, 토픽 모델링 등 AI를 분석 도구로 이용한 연구가 배제되었다.

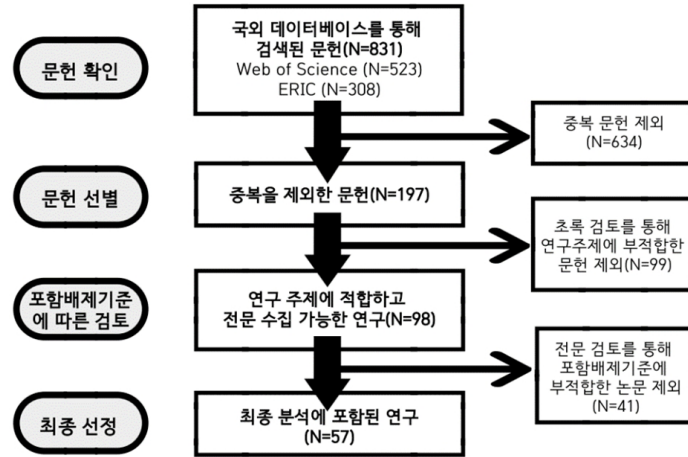


Figure 1. Process according to PRISMA Flow Chart.

Figure 1과 같은 문헌 선별 과정을 거쳐 AI 기반 수학 교수·학습 연구로 총 57편(2015년 1편, 2016년 2편, 2017년 2편, 2018년 3편, 2019년 3편, 2020년 10편, 2021년 10편, 2022년 8편, 2023년 12편, 2024년 6편)이 수집되었다.

4. 자료 추출 및 분석

자료 추출 및 분석은 선정된 논문들을 체계적으로 분석할 수 있는 기준을 만드는 단계이다. AI 기반 수학 교수·학습에 관한 문헌을 분석하기 위하여 Table 2와 같이 연구의 분석틀을 수립하였다. 분석 기준으로 연구 동향 검토 시 대부분 사용되는 기준인 연구 대상, 연구 방법을 포함하였으며, 이외에 연구 문제에 대한 정보를 얻기 위해 연구 목적, 학습 내용, AI의 유형, AI의 역할, 교사의 역할을 추가하였다.

Table 2. Analysis standards for AI-based mathematics teaching and learning research

Criteria	Detailed analysis criteria
Research subject	1) Students, teachers, systems 2) School level (preschool, elementary school, middle school, high school, university)
Research method	Quantitative research, qualitative research, mixed research
Research purpose	Effect analysis, theoretical discussion, case study
Contents	1) Primary & secondary education: Mathematics (numbers and operations, variables and expressions, functions, geometry, probability and statistics), STEAM 2) University education
Types of AI	ITS, adaptive system, robot, game, chatbot, LMS, generative AI
Roles of AI	Student teaching, student support, teacher support, system support (Tuomi, 2020)
Roles of teachers	1) Teachers as passive AI recipients, teachers as active AI users, teachers-AI as constructive partners (Kim, 2023) 2) Pedagogical role, AI-technological role, contents role (Ning et al., 2024)

연구 대상은 1) 학습자, 교사, 시스템으로 분류하였고, 이 중 학습자와 교사는 2) 학교급별(미취학, 초등학교, 중학교, 고등학교, 대학교, 기타)로 세분화하였다. 연구 방법은 양적, 질적, 혼합 연구로 구분하였는데, 양적 연구는 주로 실험을 통한 비교 연

구 또는 설문조사 연구였고, 질적 연구는 주로 문헌 연구였으며, 혼합 연구는 대부분 수업에서의 양적, 질적 탐색이 병행된 사례 연구였다. 양적, 질적, 혼합 연구 각 3편을 수집하여 파일럿 분석한 결과 연구 목적의 기준으로 효과 분석, 이론적 논의, 수업 사례 탐색 세 가지가 수립되었다. 이 중 효과 분석은 주로 조사 연구 혹은 실험 연구의 목적이었고, 이론적 논의는 문헌 연구의 목적이었으며, 수업 사례 탐색은 경험적 연구의 목적이었다. AI 기반 교수·학습이 이루어진 단원 혹은 주제인 학습 내용은 학교급에 따라 초·중등학교, 대학 내용으로 분류하였고, 구체적으로 초·중·고등학교 학습 내용은 수학 내용 영역(수와 연산, 문자와 식, 함수, 기하, 확률)과 STEAM으로 구분하였다. AI의 유형은 명시되지 않은 경우 '일반'으로, 명시된 경우는 ITS, 적응형 시스템, 로봇, 게임, 챗봇, 학습관리시스템(LMS), 생성형 AI 등으로 분류하였다. AI의 역할은 Tuomi (2020)에 따라 학습자 교수, 학습자 지원, 교수자 지원, 시스템 지원으로 분류되었다. 교사의 역할은 Kim (2023)에 따라 AI 수용자, AI 사용자, AI와의 건설적 파트너로, Ning 외 (2024)에 따라 교육학적, AI-기술적, 내용적 역할로 분류되었다.

5. 자료 종합 및 결과 제시

다각적이고 질적인 분석 내용의 타당성을 강화하기 위하여 내용분석법(Krippendorff, 2018)에 따라 본문을 살펴봄과 개별 문헌에 대한 발행연도, 초록, 연구 대상, 연구 방법, 연구 목적, 학습 내용, AI의 유형, AI의 역할, 교사의 역할에 관한 정보를 추출하여 스프레드시트에 저장하였다. 이 내용들은 1차적으로 Table 2의 기준을 바탕으로 분류되었고, 세부 기준별 비율이 양적으로 계산되었다. 그 후 2차적으로 개별 문헌에서 드러난 AI의 역할과 교사의 역할에 대한 질적 코딩이 이루어졌다. AI의 역할은 핵심어로 추출된 후, Tuomi (2020)의 기준에 따라 학습자 교수(student teaching), 학습자 지원(student support), 교수자 지원(teacher support), 시스템 지원(system support)의 네 차원으로 코딩되었다. 이때, 학습자 교수는 학생이 교과 지식을 배우는 데 사용되는 인지적 도구로서의 AI 역할을 의미하고, 학습자 지원은 학습 자료 제공 및 학생들의 협업 촉진 역할, 정서적 피드백 제공 역할을 의미한다. 교수자 지원은 행정, 평가, 피드백, 표절 탐지와 같은 업무를 자동화함으로써 교사의 업무량을 경감하고 교사를 지원하는 도구로서의 AI 역할을 말하며, 마지막으로 시스템 지원은 학교 전체의 학생 수 감소 패턴과 같은 데이터를 기관 관리자에게 제공하는 역할을 의미한다. 이 네 가지 역할은 배타적으로 구분할 수 없었기 때문에, 하나의 연구에서 중복해서 드러나는 경우에는 비중을 고려해 가장 주된 역할로 코딩하였다. 한편, 교사의 역할은 두 가지 기준에 따라 분류한 후 통합적으로 해석하였다. 먼저 Kim (2023)의 teacher-AI collaboration (TAC)에서의 교사의 역할 분류를 참고하여 AI 수용자로서의 교사(teachers as passive AI recipients), AI 사용자로서의 교사(teachers as active AI users), AI와의 건설적 파트너로서의 교사(teachers-AI as constructive partners)의 비중이 계산되었는데, 이때 각 논문에서 여러 가지 역할이 드러난 경우, 연구자들은 주된 교사의 태도 및 역할을 바탕으로 각 논문 당 가장 적합한 역할을 하나씩을 코딩하였다. 또한, 교사의 역할은 최근 K-12 교사와 관련된 AI 역량을 포함하도록 확장된 AI-TPACK의 세 요소를 반영하여(Ning et al., 2024) 교육학적(pedagogical), AI-기술적(AI-technological), 내용적(content) 역할로 질적 코딩되었다. 이때 하나의 논문에서 교육학적, AI-기술적, 내용적 역할이 중복해서 드러난 경우가 대부분이었기 때문에 양적으로 그 비중을 계산하지는 않았다.

연구 결과

1. AI 기반 수학 교수·학습의 연구 동향

AI 기반 수학 교수·학습의 동향을 연구 대상, 연구 목적, 연구 방법, 연구 내용, AI 유형의 측면에서 살펴보면 다음과 같다.

Table 3. The distribution of research subjects in AI-based mathematics teaching and learning

Students	Teachers	Systems
29 studies (51%)	4 studies (7%)	24 studies (42%)

AI 기반 수학 교수·학습 연구의 연구 대상 분포는 Table 3과 같다. 학생을 대상으로 한 연구는 29편(51%)으로 학교급에 따라 유치원 2편(3.5%), 초등학교 6편(10.5%), 중학교 10편(17.6%), 고등학교 8편(14%), 대학교 3편(5.4%)으로 분포했으며, 중·고등학교 학생의 비중이 초등학생보다 높았다. 이는 국내 AI 기반 교수·학습 연구가 초등학교 위주로 이루어지는 것과 상반된 결과이다(Chang & Nam, 2021). 시스템에 관한 연구로는 ITS 등 AI 시스템 적용 연구 13편(22.8%)과 AI 교육에

대한 문헌 연구 11편(19.2%)이 있었다. 교사를 대상으로 한 연구는 4편(7%) 뿐이었으며, 예비교사를 대상 조사 연구가 2편(3.5%), 현직 교사를 대상으로 한 교수·학습에 대한 이론적 연구가 2편(3.5%)이었다.

Table 4. The distribution of research methods in AI-based mathematics teaching and learning

Quantitative research	Qualitative research	Mixed research
28 studies (49%)	20 studies (35%)	9 studies (16%)

연구 방법은 Table 4와 같이 분포했다. 양적 연구가 전체 약 49%를 차지할 정도로 많았으며, 이 중 AI 시스템 적용 효과를 보는 실험 연구가 16편(28%), 설문지 조사 등을 활용한 조사 연구가 12편(21%)을 차지했다. 예를 들어, Pai 외 (2020)에서는 초등학교 5학년 학생 134명을 대상으로 지능형 튜터링 시스템(ITS) 활용, 기존 강의식 수업(conventional teacher instruction), 자기주도적 자료 읽기(material reading)의 세 가지 방법으로 ‘시간 표현의 곱셈과 나눗셈’ 단원에 대한 교수·학습을 실행한 후 결과를 비교하였다. 연구 결과 ITS 활용 수업과 강의식 수업에 참여한 학생들의 성과는 비슷했지만, AI 시스템 활용이나 교사의 지도 없이 자료 읽기만 한 학생들의 경우 훨씬 성취가 낮았다. 또한, ITS를 활용한 학생들은 수학 성취도 뿐만 아니라 학습 동기도 높아졌다. 한편, 질적 연구는 20편(35%)이었는데 이 중 문헌 연구는 17편으로 질적 연구의 85%를 차지하였다. 혼합 연구는 9편(16%)이었으며, 주로 실험 설계를 통한 효과 양적 분석과 인터뷰를 통한 질적 분석이 병행되는 수업 사례연구였다(Gillespie et al., 2022; Lopez-Caudana et al., 2020).

Table 5. The distribution of research purposes in AI-based mathematics teaching and learning

Effect analysis	Theoretical discussion	Case study
25 studies (44%)	20 studies (35%)	12 studies (21%)

AI 기반 수학 교수·학습 연구의 목적은 Table 5와 같이 효과 분석, 이론적 탐색, 수업 사례 탐색 세 가지로 구분되었다. 교육적 효과 분석이 25편(44%)으로 가장 비중이 높았으며, 수업 사례 탐색이 12편(21%)으로 가장 비중이 낮았다. 효과 분석 연구는 AI 시스템 활용 수업에서 학업성취도, 학습 동기 등 변인의 사전, 사후 효과를 양적으로 분석하는 연구가 20편(35.2%)으로 대부분이었고, 나머지 5편(8.8%)은 여러 AI의 효과 비교 연구였다. 이론적 탐색 연구는 연구 동향을 탐색하는 연구가 8편(14%), AI의 교육적 활용 방안 탐색 연구 10편(17.5%), 교사 교육 관련 연구가 2편(3.5%)이었다. 사례 연구 12편(21%)은 AI 시스템 혹은 AI도구를 활용하는 교수·학습 상황 요소의 상호 관계에 초점을 둔 연구로, 국내 연구에는 아직 많이 다루어지지 않은 주제였다(Lim & Park, 2021).

AI 기반 수학 교수·학습 연구에서 제시된 학습 내용과 AI 유형별 분포는 Figure 2와 같다. 학습 내용은 57편 중 31편(54.4%)에 대해서만 명시되었고, 나머지 26편(45.6%)은 명시되지 않았다. 학습 내용이 명시된 연구 중 초·중등학교 학습 내용을 다룬 연구는 29편(50.9%), 대학교 학습 내용을 다룬 연구는 2편(3.5%)이었다. 초·중등학교 학습 내용은 수와 연산 10편(17.6%), 문자와 식 6편(10.5%), 함수 2편(3.5%), 기하 4편(7%), 확률과 통계 4편(7%), STEAM 3편(5.3%)으로 분포했고, 대학교 학습 내용은 2편(3.5%) 모두 공학수학(engineering mathematics)이었다. 한편, AI 기반 수학 교수·학습 연구 57편 중 AI의 유형이 명시된 연구는 총 39편(68.4%)이었다. 지능형 튜터링 시스템(ITS)을 사용한 연구가 18편(31.5%)으로 가장 많았으며, 그 중 단계형 ITS는 14편(24.5%), 대화형 ITS는 4편(7%)이었다. AI를 수업 도구로 활용한 연구는 전체 연구의 약 12.3%를 차지했으며, 로봇 활용 연구 3편, 챗봇 활용 연구 1편, 게임 활용 연구 3편이었다. 적응형 시스템(Adaptive system) 연구는 총 6편(10.5%), 평가 시스템 또는 학습관리시스템(LMS) 등 학습 플랫폼 활용 연구는 3편(5.3%)이었으며, 생성형 AI 활용 연구는 5편(8.8%)이었다.

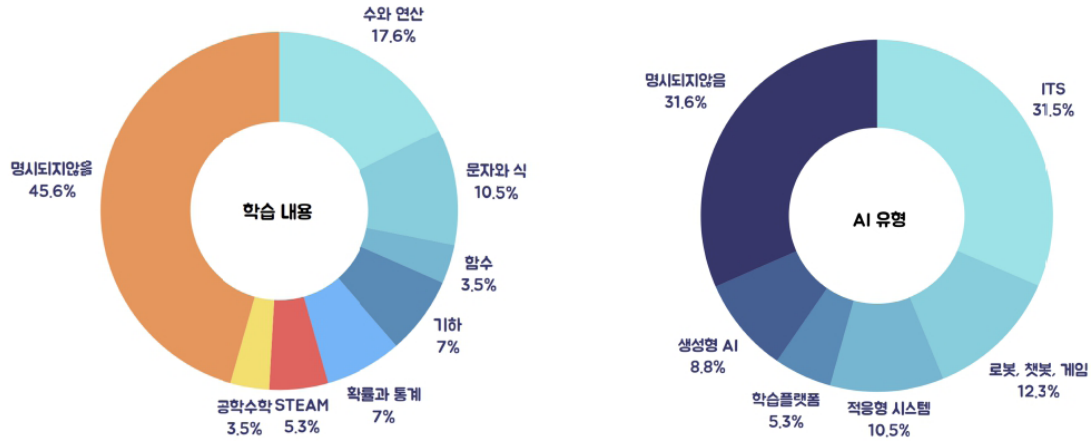


Figure 2. The distribution of learning contents (left) and types of AI (right) in AI-based mathematics teaching and learning.

2. AI 기반 수학 교수·학습에서 사용되는 AI의 역할

AI 기반 수학 교수·학습 논문 57편에서 제시된 AI의 역할을 Tuomi (2020)의 기준에 따라 분석한 결과, 학습자 교수 23편 (40.4%), 학습자 지원 12편(15.8%), 교수자 지원 13편(21%), 시스템 지원 9편(22.8%)으로 분포했다(Figure 3). 이때 각 역할은 배타적으로 분류되지는 않았지만, 논문에서 드러난 가장 주된 역할을 중심으로 분류되었다(Table 6 참조).

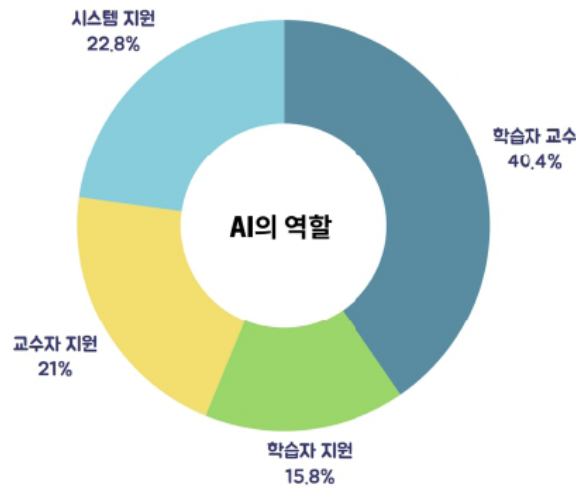


Figure 3. The role of AI in AI-based mathematics teaching and learning.

(1) 학습자 교수

AI는 주로 단계형, 대화형 ITS 또는 생성형 AI를 활용하는 개별 학습 상황에서 학습자 교수 역할을 수행하였다. AI는 교사의 교수를 대신하여 학습자에게 학습 내용 및 개별 수준에 맞는 난이도의 과제를 제공하며 효과적이고 효율적인 학습을 지원하였다(Saputra et al., 2023; Suharmawan, 2023). 예를 들어, González-Calero 외 (2015)에서 ITS는 대수 문장제 문제 해결을 위하여 해결 프로세스 안내, 문제 해결 진입의 원활화, 오류 알림, 개념적 격차를 극복하기 위한 도움 제공과 같은 집중적 비계를 제공하였고, 그 결과 ITS를 활용한 그룹의 대수 문장제 해결 역량이 크게 증가하였다. 또한, AI는 학생들의 질문에 대해 답변을 제공하고 지속적으로 수정해 가는 기능으로 학습 오류 개선을 지원했다(Tejawiani et al., 2023). 처음부터 완전히 올바른 해결책을 제공하지는 않았지만 학습자가 비판적으로 생각하고 자신의 해결책을 개선하도록 유도하였고, 그 결과 학생들은 주관성, 창의적, 비판적 사고 함양을 촉진하였다(Barana et al., 2023). 특히, ChatGPT와 같은 생성형 AI는 복잡한 수학 문제를 해

결하는 데 있어서 기발한 아이디어를 제공하고 문제를 단순화하는 등 효과적인 학습 도구로 작용했다(Wardat et al., 2023).

(2) 학습자 지원

학습자 지원은 학습자에게 학습에 필요한 자료를 추가 제공하거나 협력 학습을 촉진하는 역할, 정서적 피드백을 제공하는 역할로 나타났다. Wu 외 (2023)에서 AI는 학습자의 행동과 상호작용을 실시간으로 감지하고 분석하여 학습 참여도를 측정하고 적응형 학습 자료를 제공하는 방식으로 학습자를 지원하였다. Jia 외 (2023)에서는 모둠 활동 시 그룹 활동에서 함께 작업할 수 있는 다양한 시나리오를 생성하고 토론 구조, 실시간 피드백 및 그룹 토론과 토론을 촉진하기 위한 맞춤형 지침을 제공하여 협업을 촉진하였다. 대화형 ITS는 감정과 인지 사이의 관계를 조성하거나 학습자의 불안을 낮추는 역할을 하였으며(Huang et al., 2016), 재미와 흥미를 유발하는 학습 과정을 제공하여 학습자에게 학습 동기를 부여하기도 했다(Forsström & Afdal, 2020).

(3) 교수자 지원

교수자 지원은 학습자가 아닌 '교사'를 지원하는 AI의 역할이며, 주로 ITS 또는 생성형 AI가 교사의 수업 설계, 실행, 평가 전반을 지원하는 형태로 나타났다. 설계 단계에서 AI는 교사에게 교육과정에 포함되어야 하는 지식과 기술의 개요를 제공하고 강의 자료를 생성하였고(Lo, 2023; Zhang et al., 2023), 실행 단계에서는 강의 자료 생성, 아이디어 제공, 번역 수행 등 다양한 응용 프로그램 제공하였다(Lo, 2023). 평가 단계에서 AI는 학생 평가를 위한 연습, 퀴즈 및 시나리오를 생성하도록 지원하였을 뿐만 아니라(Luckin & Holmes, 2016), 학생의 숙련도를 기반으로 문제 해결 전략을 예측하고, 다양한 학생 그룹에 대해 공정한 예측을 제공하였다(Shakya et al., 2023). 이를 이용하여 교사는 퀴즈 플랫폼에서 과목, 유형, 수준, 문제 수, 난이도 등 옵션을 선택함으로써 문제를 만든 후, 생성된 링크를 학생들에게 공유하여 퀴즈를 풀게 하고 채점 없이 바로 결과를 알 수 있었다. 이로 인해 교사는 기존에 평가 시간이 이는 수업 계획 준비, 시험 평가, 학생 숙제 확인 등과 같은 반복적인 관리 작업을 처리하는 부담이 줄었고, 학생의 진행 상황을 모니터링하고 교육 기술 개선에 집중하는 데 더 많은 시간을 확보할 수 있었다.

(4) 시스템 지원

AI는 학습자 정보 데이터를 수집, 분석하여 교육 시스템을 지원하였는데, 이 역할은 주로 학습관리시스템(LMS) 혹은 적응형 시스템 상에서 수행되었다. AI는 학습 이력, 시험 결과, 학습 스타일, 학생 선호도 등의 데이터를 수집하고 자세히 분석하는 역할을 수행하였고(Gillespie et al., 2022; Phillips et al., 2020), 기존 데이터를 바탕으로 학생 프로필을 예측하였다(Hamim et al., 2022). 또한 자동 채점 및 오답 분석 기능을 수행하여 각 학생의 강점, 약점, 개선 및 보완이 필요한 점 등을 제안하였다(Pratikno & Lay, 2017). 한 예로, Huang 외 (2016)에서 사용된 ITS인 ALEKS는 학생의 선수 지식 또는 앞으로의 학습 내용을 원형 차트 형식으로 요약하여 제공하였다. 이 데이터는 각 지식 범위가 얼마나 숙달되었는지 보여주었고, 학습자는 이를 바탕으로 부족한 내용에 관한 주제를 선택하여 학습할 수 있었다. Wo 외 (2024)에서 사용된 컴퓨터 기반 적응형 시스템은 학습 지도(learning map)를 제공하여 기술 습득 여부에 따른 학습 경로를 안내하며 즉각적인 개별 피드백을 제공하였다. 또한 Urrutia와 Araya (2024)에서 AI는 학생들의 수학 답변에서 비밀관성을 자동으로 감지하여 보고하기도 했다.

Table 6. The role of AI in AI-based mathematics teaching and learning

Student teaching	Student support	Teacher support	System support
Provide effective and efficient scaffolding for individual students (Saputra et al., 2023; Tejawiani et al., 2023)	Provide learning materials tailored individual needs (Suharmawan, 2023; Wu et al., 2023)	Design phase: provide an overview of knowledge and skills that should be included in the curriculum (Zhang et al., 2023)	Collect and analyze student data to diagnose learning and recommend contents (Phillips et al., 2020) Predict students' profile (Hamim et al., 2022)
Support students' subjectivity, creativity, critical thinking (Barana et al., 2023; Zhang et al., 2023)	Support for group activities (Bray & Tangney, 2017; Forsström & Afdal, 2020; Jia et al., 2023)	Implementation phase: provide various applications such as creating lecture materials, providing ideas, performing translation (Lo, 2023)	Automatic grading and analysis of incorrect answers to suggest each student's strengths, weaknesses, points for improvement (Pratikno & Lay, 2017)
Provide ideas for solving complex mathematical problems (Wardat et al., 2023)	Give students emotional support and motivation to learn (Huang et al., 2016)	Assessment phase: help create exercises, quizzes, and scenarios for student assessment (Luckin & Holmes, 2016)	Detect automatically students' math answer and provide inconsistencies in it (Urrutia & Araya, 2024)

3. AI 기반 수학 교수·학습에서 교사의 역할

본 연구에서 수집된 논문 57편에서 드러난 AI 기반 수학 교수·학습에서의 교사의 주된 역할을 Kim (2023)의 기준에 따라 AI 수용자로서의 교사, AI 사용자로서의 교사, AI와의 건설적 파트너로서의 교사로 분류한 결과는 Figure 4와 같다.

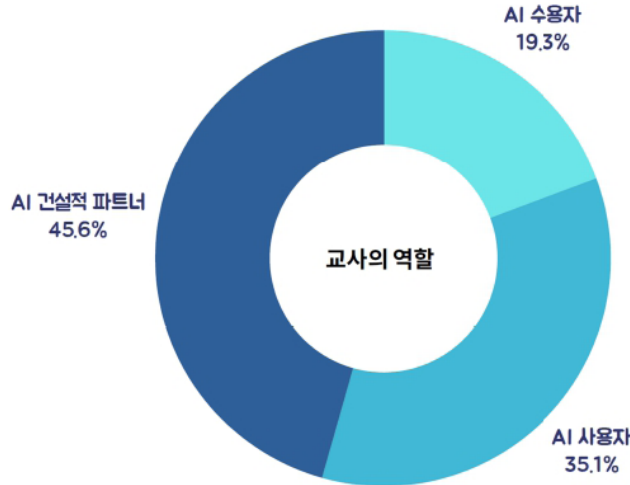


Figure 4. The role of teachers in AI-based mathematics teaching and learning.

학생의 AI 활용을 단순히 지원하는 ‘AI 수용자로서의 교사’는 약 19.3% (11회)로 가장 적은 비중을 차지하였고, 교사가 직접 교수 시연, 학생 데이터 분석 등에 AI를 사용하는 ‘AI 사용자로서의 교사’는 약 35.1% (20회)의 비중을 차지하였다. 또한, AI와의 협업을 통해 교수·학습의 질을 높이는 ‘AI와의 건설적 파트너로서의 교사’는 45.6% (26회)로 가장 많은 비중을 차지하였다. ‘AI 수용자로서의 교사’의 역할은 가르치는 역할을 AI에게 위임하고 학생들의 ITS를 활용을 안내하고 촉진하는 역할이었으며, 총 11회 중 조사 기간 중 초반인 2015년부터 2019년까지 총 9회가 밀집되어 있었다. ‘AI 사용자로서의 교사’의 역할은 2020년부터 2022년까지 총 16회로 조사 기간 중 중반부에 밀집되어 있었으며 교사가 AI가 활용한 데이터를 활용하여 학생들에게 인지적, 정서적 피드백을 제공하거나 수업을 개선, 보완해 가는 과정에서 드러났다. ‘AI와의 건설적 파트너로서의 교사’의 역할은 최근 3~4년에 걸쳐 나타났으며, 교사가 AI를 사용하는 것에서 더 나아가 AI와의 협업을 통해 정서적, 감정적 상호작용 및 지도를 하거나 게임이나 로봇 등과 상호학습을 지원하고 창의적인 문제 해결과 비판적 사고를 촉진하는 것(Casler-Failing, 2021; Gulz et al., 2020)과 같은 ‘협업’으로 나타났다. 특히, ChatGPT와 같은 생성형 AI를 활용한 수학 교수·학습에서의 교사의 역할은 모두 AI와의 건설적 파트너의 역할이었다(Jia et al., 2024; Pham et al., 2024; Wardat et al., 2023; Zafrullah et al., 2023). 생성형 AI를 활용함에 있어서 교사는 AI의 단순 활용보다는 AI와의 의견 교류 및 조절을 통해 보다 나은 교수·학습을 추구하는 등 적극적인 역할을 했고, AI의 위상 또한 도구적 차원에서 교사의 협력적 파트너 차원으로 발전하였다. 이는 시대의 흐름에 따라 교사의 역할이 AI의 수용자, AI 사용자, AI와의 건설적 파트너로 점차 진화하고 있음을 시사한다.

한편, 57편의 논문에서 드러난 교사의 역할은 AI 시대 교사에게 필요한 AI-TPACK의 세 요소, PK (Pedagogical Knowledge), AI-TK (AI Technological Knowledge), CK (Content Knowledge) 측면에서 Table 7과 같이 교육학적, 기술적, 내용적 역할로 정리되었다(Nim et al., 2024).

(1) 교육학적 역할

AI 기반 수학 교수·학습에서의 교사의 교육학적 역할은 학습 상황 모니터링, 인지적·정서적 피드백 제공, 창의적이고 비판적인 사고 교육, 협력 학습 지원의 네 가지로 도출되었다. 첫째, 교사는 학습자가 AI 시스템 및 도구를 효과적으로 활용할 수 있도록 지원하고 학습 상황을 모니터링하는 역할을 했다. 예를 들어, Wu 외 (2017)는 초등학교 수학 수업에서의 컴퓨터 동적 적응 테스트의 유효성을 평가하기 위해 개별화된 교육이 포함된 적응형 동적 평가, 적응형 동적 평가가 없는 개별화된 교육, 전통

Table 7. The roles of teachers in AI-based mathematics teaching and learning

Roles of teachers in pedagogical aspect	Roles of teachers in AI-technological aspect	Roles of teachers in content aspect
Monitoring students' learning (Wu et al., 2017; Zafrullah et al., 2023) Providing cognitive and emotional feedback to students (Cung et al., 2019; Graesser, 2016; Rajendran et al., 2018; Reinhold et al., 2020) Providing opportunities for students to develop creative thinking and critical thinking (Barana et al., 2023) Support students' collaborative learning (Bray & Tangney, 2017; Forsström & Kaufmann, 2018)	Leading role: direct use of AI technology (Gillespie et al., 2022; Hamim et al., 2022; Luzano, 2024; Patel et al., 2023) Auxiliary role: support learners' use of AI (Fissore et al., 2022; How & Hung, 2019; Pai et al., 2020)	Edit and adjust learning contents (Forsström & Afdal, 2020; Reinhold et al., 2020) Create and reorganize learning materials (Levy et al., 2023; Pham et al., 2024)

적인 교실 교육이라는 세 가지 유형의 학습 상황을 사전, 사후 실험 설계를 통해 비교 분석하였고, 개별화된 프롬프트를 갖춘 컴퓨터 동적 적응 테스트가 다른 두 가지 교육 방법보다 성능이 우수하다는 것을 도출하였다. 이 연구에서 교사는 학생들이 도구를 효과적으로 사용하도록 지도하고 학습 진행을 모니터링하는 역할을 수행하였다. 둘째, 교사는 AI의 피드백과 별도로 개별 학생의 학습 필요에 따라 인지적·정서적 피드백을 제공하였다. Reinhold 외 (2020)에서는 분수 학습을 위해 설계된 교육 과정을 바탕으로 학생의 수준과 오개념에 따라 맞춤형 피드백을 제공하였고, Graesser (2016)에서는 기대와 오류에 대한 학생의 반응을 비교하여 학생이 알고 있는 것에 대한 대략적인 모델을 형성하도록 도왔다. 또한 교사는 감정적, 정서적 피드백을 제공하여 학생들의 과제에 대한 참여를 유도하기도 했다(Cabestrero et al., 2018; Rajendran et al., 2018). 셋째, 교사는 AI의 한계를 보완하여 창의적이고 비판적인 사고 교육을 제공하였다. 교사는 AI의 답변의 오류를 찾고, 보완, 개선하도록 안내하는 과정에 개입하여 학생들의 문제해결력, 창의력, 비판적 사고력 등 고차원적 역량을 함양을 촉진하였다(Barana et al., 2023). 넷째, 교사는 AI가 제공하는 정보를 바탕으로 학생들의 협력 학습을 지원하였다. AI와의 질의응답을 통해 협력 학습 시나리오를 작성하였고, 효율적인 모둠 편성 방안 등의 정보를 수집하여 수학 교실에서 학생들의 협력 학습을 지원하였다(Bray & Tangney, 2017; Forsström & Kaufmann, 2018).

(2) AI-기술적 역할

AI 기반 수학 교수·학습에서의 교사의 AI-기술적 역할은 교사가 AI를 직접 활용하는 주도적 역할과 학생들의 AI 활용을 지원하는 보조적 역할로 구분할 수 있다(Bernacki & Walkington, 2018). 주도적 역할은 교사가 수업을 원활하게 진행하기 위한 도구로 AI를 직접 활용하거나 AI가 제공한 데이터를 바탕으로 학습 환경을 조정하는 역할이다. 학생의 서술형 답안을 실시간으로 분석하고 이에 적절한 교수학적 반응을 추천하는 AI 기반 시스템을 활용하여 적절한 수준의 학습을 제안하는 역할(Gillespie et al., 2022), 학생의 수학 성과를 예측하기 위해 특성을 선택하고 최적의 부스팅 모델을 학습시키는 역할(Hamim et al., 2022), AI의 단순화 결과를 분석하여 학생들의 실제 학습 수준에 맞는 적절한 문제를 제공하기 위해 교육 콘텐츠를 지속적으로 조정하는 역할(Patel et al., 2023), 데이터 기반 의사결정 및 교육적 통찰을 하는 역할(Luzano, 2024) 등이 이에 해당된다. 한편, 보조적 역할은 학생들에게 AI 기술의 일상적인 적용을 이해시키는 데 중점을 두는 역할이다(Fissore et al., 2022). 교사는 AI 기반 학습 도구와 방법 습득 및 사용 방법을 학생들에게 전달하거나 학생들이 AI를 이용한 분석 결과를 해석하고 이를 바탕으로 더 나은 질문을 할 수 있도록 지도하였으며(How & Hung, 2019), ITS, 게임, 로봇 활용 상황에서 학생들이 최적화된 사용을 할 수 있도록 기술적 문제에 대한 도움을 제공하는 역할(Pai et al., 2021) 등을 수행하였다.

(3) 내용적 역할

내용적 역할은 반영된 수학 수업 및 내용과 관련된 교사의 역할로, 학습 내용 조정과 교수·학습 자료 제작의 두 가지 양상으로 나타났다. 첫째, 교사는 AI를 활용하여 교육 과정을 설계, 실행하며 교육과정 및 학습 내용을 조정하였다(Reinhold et al., 2020). 한 예로, Forsström과 Afdal (2020)은 레고 마인드스톰 로봇을 수학교육에 통합하는 수업을 실행하여 수학과 프로그래밍 통합의 가능성을 모색하였다. 이 연구에서 교사는 로봇과의 상호작용을 통해 학생들이 수학적 도구를 올바르게 이해하고 적용할 수 있도록 학습 내용을 조정하는 데 중요한 역할을 수행하였다. 또한 Bray와 Tangney (2017), Forsström과 Afdal (2020)에서 교사는 테크놀로지, 프로그래밍 및 로봇을 수학 교실에서 통합함으로써 교육과정과 학습 목표를 설정하고 학습 활동을 조정하였다. 이 과정에서 교사는 최대한 학생들의 작업을 수용하였으며, 학생들의 독창적인 활동을 바탕으로 새로운 제안을 함으로써 교사와 학생 공동의 목표를 함께 협상해 갔다. 둘째, 교사는 수학 교수·학습 자료를 제공하는 역할을 담당했다.

교사는 AI가 제공한 학습 경로를 참고하되 이를 보완하여 학생들에게 적합한 교육 자료를 선별하고 재조직하는 역할을 수행하였다(Levy et al., 2023). 또한 AI가 제시한 문제들을 그대로 수용하기 보다는, 문제들의 교육적 가치와 정확성을 평가하며 필요에 따라 문제를 개선하거나 새로운 문제를 요청하였다(Pham et al., 2024). 수학적 문제 해결에 있어서 ChatGPT에서 생성된 팁의 평균 점수가 인간 교사의 팁의 평균 점수보다 통계적으로 유의미한 수준에서 낮은 것을 고려할 때(Jia et al., 2024), AI가 생성한 팁을 검토하고 수정하여 학생들에게 더 적합한 형태로 제공하는 교사의 개입이 필수적이다.

한편, AI 기반 수학 교수·학습에서 교사의 윤리적 역할도 몇 가지 드러났다. 첫째, 교사는 AI를 활용함에 앞서 AI를 인식하고 이해하는 것의 중요성을 강조하였고 학생들이 교육 과정에서의 AI의 유용성을 인지하도록 안내하였다(Fissore et al., 2022). 둘째, 교사는 AI 도구의 윤리적 사용을 강조하고 학습자의 학문적 진실성을 유지할 것을 언급하였다(Nam & Bai, 2023). 환각 효과와 같은 AI의 잠재적 위험을 완화하고 기회를 최대화하기 위해서는 정보를 무분별하게 수용하지 않는 비판적 태도가 필수적임을 언급하였다. 셋째, AI의 역할이 인간 교사의 역할을 조율하는 것도 교사의 중요한 역할로 제안되었다(Jia et al., 2024; Zafrullah et al., 2023). Zafrullah 외 (2023)은 학습자의 흥미에 관한 수학교육 문헌 분석을 통해 교사는 학생들이 AI 도구를 효과적으로 사용하도록 안내하는 중요한 역할을 담당해야 하며, 이 과정에서 AI의 역할이 인간 교사의 중요한 역할을 압도하지 않도록 균형을 잡는 것도 교사의 중요한 임무 중 하나임을 언급했다.

논의 및 제언

본 연구는 최근 10년 간의 국내·외 수학교육 연구 57편을 체계적 문헌 고찰하여 AI 기반 수학 교수·학습 연구 동향을 탐색하였다. 특히, AI의 역할과 교사의 역할을 양적, 질적으로 탐색하여 수학교육 현장에서의 AI의 교육적 활용을 위한 가이드라인을 제공하였다. 연구 결과를 바탕으로 몇 가지 논의해 보면 다음과 같다.

첫째, 연구 대상 면에서 국내 연구와 해외 연구의 차이가 나타났다. 해외 연구에서 중·고등학교 학생을 대상으로 한 AI 기반 수학 교수·학습이 더 활발히 시도되는 데 비해, 국내 연구에서는 중등학교 보다는 초등학교 위주로 진행되고 있다(Chang & Nam, 2021). 이는 초등학교 교사가 중등학교 교사보다 새로운 교수·학습에 대해 수용적 태도를 보인다는 점에서 기인한 것으로 볼 수 있다. 학교급에 따른 교사들의 AI 활용에 대한 인식을 비교 분석한 Han 외 (2021)에 따르면, 수업 설계, 분석, 개발 단계 모두 초등교사의 평균이 중등교사보다 통계적으로 유의한 차이를 보이며 높게 나타났다. 이는 초등교사들이 중등교사들에 비해 AI 활용이 수업이 도움이 될 것이라고 더 많이 기대한다는 것을 시사한다.

둘째, 연구 목적 면에서 AI 기반 수학 교수·학습 국내 연구는 몇 년의 시간 차를 두고 해외 연구의 영향을 받는 경향이 있다. AI 활용 수업에서의 지능형 튜터링 시스템을 활용한 수업의 효과를 분석하는 해외 연구는 총 25편 중 19편(76%)이 2018~2020년에 밀집해 있었다(예, Auccahuasi et al., 2018; Cung et al., 2019). 이에 비해 국내 수학교육에서는 약 3~4년 후인 2021년부터 ‘똑똑! 수학 탐험대’ 등 ITS를 활용한 연구가 진행되기 시작하였다(Chang & Nam, 2021; Lim et al., 2021). 또한 교실 탐색을 목적으로 하는 해외 연구는 2020년을 기점으로 확산되어 전체 21%를 차지하였지만, 국내에서는 관련 연구가 아직 미흡하며 교실 내 다양한 요소 간 관계에 대한 연구의 필요성이 제기되는 초기 연구 단계이다(Lim & Park, 2021).

셋째, AI 기반 수학 교수·학습 연구에서 AI의 역할은 개별 학생에게 효과적이고 효율적인 학습 및 비계를 제공하고 학생들의 주관성, 창의성 및 비판적 사고 및 문제 해결에의 아이디어를 제공하는 ‘학습자 교수’ 역할의 비중이 가장 높다. 이는 AI 기반 수학 교수·학습이 학생 개별 맞춤형 학습 제공 및 인지적 피드백 제공에 초점이 맞추어 있다는 Shin (2020a)의 연구 결과와 일맥상통하는 지점이 있다. 이로 볼 때, AI 기반 수학 교수·학습에서 교사의 가르치는 역할은 상당 부분 AI에게 전가될 가능성이 높으며(Kim et al., 2018), AI가 다루지 못하는 감정적, 정서적 영역을 다루거나 고차원적 역량 함양을 지원하는 교사의 역할이 더 요구될 것이라 예측된다.

넷째, AI의 역할과 교사의 역할은 시간의 흐름에 따라 점차 상호성이 높아졌다. 초기 연구에서는 교사의 AI 수용자로서의 역할이 주로 드러났던 반면, 최근 연구일수록 AI와의 건설적 파트너로서의 역할이 부각되었다. 이는 생성형 AI가 등장하며 교사가 점차 AI 수용자, AI 사용자를 거쳐 ‘AI와의 협업의 주체’로 진화해 온 결과로 보인다(Kim, 2023). 특히, 생성형 AI는 사용 주체와의 대화가 가능하다는 특성으로 인해 보다 인간 주체와 평등한 ‘파트너’ 관계를 형성하며 의견을 조정하고 협업하는 위상을 획득하였다.

위 논의를 바탕으로 수학교육 분야의 여러 후속 연구가 제안될 수 있다. 첫째, AI 기반 수학 교수·학습 관련 연구가 아직 많

이 이루어지지 않은 상황임을 고려할 때, 다양한 학교급에서 질적 사례연구가 시행될 필요가 있다. 특히, 초등학교 보다는 생성형 AI를 연령 제한 없이 사용할 수 있는 중·고등학교에서의 사례연구가 교수·학습에 실제적이고 유의미한 시사점을 제공할 수 있을 것이다. 둘째, 여러 학습 내용에 대해 AI 기반 수학 교수·학습이 시도될 필요가 있다. 선행 연구에서 수학 학습 내용은 분수(Grawemeyer et al., 2017; Reinhold et al., 2020; Wu et al., 2017), 일차방정식(Bringula et al., 2018; Kautzmann & Jaques, 2019) 등 비교적 쉬운 내용이나 문장제 문제(word problem) (del Olmo-Muñoz et al., 2023; Gonzalez-Calero et al., 2015)에 국한된 경향이 있다. 따라서 다양한 학습 내용에 대한 경험적 사례연구가 후속 연구로 제안된다. 셋째, AI 시스템을 수학 학습에 적용한 연구보다는 AI를 학습 도구로 활용하여 개념 학습을 한 교수·학습 연구가 요구된다. 학생의 AI의 도구적 활용을 통한 수학적 개념 학습은 신체와 인지가 밀접하게 연결되어 있다는 체화된 인지(embodied cognition) 관점 또는 인간(예, 교사, 학생)과 비인간(예, AI)의 네트워크를 탐색하는 행위자 연결망 이론(ANT)의 관점에서 논의될 수 있을 것이다. 넷째, AI 기반 수학 교수·학습에서의 AI의 역할과 교사의 역할의 협업 작용을 탐색하는 연구가 필요하다. 본 연구는 AI 기반 수학 교수·학습에서의 AI의 역할과 교사의 역할을 각각 탐색하였지만, 두 역할 간 엄밀한 상호작용 및 교류를 밝히지는 못했다. AI 기반 교수·학습에서 AI의 역할과 교사의 역할의 상호적이고 협력적인 관계성을 포괄적으로 탐색하는 연구가 제안된다.

테크놀로지는 새로운 주체가 교육 현장에 참여함에 따라 AI 활용 교육에 부합하는 교사의 역할이 재논의되고 있다. 이 연구에서 탐색한 AI 기반 수학 교수·학습에서의 교사의 역할을 바탕으로 AI 시대 수학교사가 갖추어야 할 태도와 소양을 제안하면 다음과 같다. 첫째, 교사는 AI의 역할과 그 한계를 인식하고 이를 보완할 수 있는 역량을 갖추어야 한다. 본 연구에서 드러났듯, AI는 신속한 정보 처리 능력과 무한한 정보 저장 용량을 바탕으로 학습 데이터 생성 및 분석, 문제 생성, 답안 채점, 반복적인 작업 처리 등의 역할을 인간 교사보다 훨씬 효율적으로 처리할 수 있다. 또한 학생들의 개별 학습 수준과 요구를 고려하여 맞춤형 학습을 제공하고 학습 개선 방안을 제안할 수 있으며, 평가 문항을 제작하고 학생의 풀이를 신속하게 채점할 수 있다. 하지만 이처럼 AI가 교사의 역할을 많은 부분 대체, 보완할 수 있음에도 불구하고, AI는 비정형화된 평가나 가치 판단을 하는 경우에는 역량을 발휘하기 어렵다(Kim et al., 2018; Shin, 2020b). 따라서 교사는 AI가 확보해 준 시간적, 정신적 여유를 바탕으로 교육과정 설계 및 운영, 학생 의사결정 지원과 같은 가치 판단의 영역에서 역량을 발휘해야 할 것이다. 둘째, 교육학적 측면에서 교사는 기술화되어 가는 시대 속에서 교육의 본질을 망각하지 않기 위해 관계성과 가치를 유지해야 한다. 교사는 학생과의 나(I)-너(You) 관계를 설정하고 관계성을 유지하기 위해 노력해야 한다(Guilherme, 2017). 또한 학생 상담, 감정적인 상호작용을 통해 학생들이 고차원적인 미래 역량을 함양할 수 있도록 지원하고 격려하는 역할을 수행해야 할 것이다(Bringula et al., 2018; Grawemeyer et al., 2017). 셋째, 교사는 AI-기술적 지식과 내용적 지식을 바탕으로 구체적인 AI 수학 수업을 설계하고 지원해야 한다. 예를 들어, 수학 수업에서 문제 풀이에 AI를 활용하기 위해서는 수학 문제에 대한 AI의 성능을 이해하고 있어야 하며, 수식을 LaTeX 형태로 변환하는 AI 도구 및 프로그램을 다룰 수 있어야 한다(Yoon et al., 2023). 또한, 학습 내용에 대한 교수학적 지식을 바탕으로 AI 답안을 검증하고 오류를 판단할 수 있는 역량을 갖추어야 한다(Nam & Bai, 2023). 넷째, 교사는 학생들이 AI에 대한 올바른 태도와 소양을 갖출 수 있도록 윤리적 역할을 수행해야 한다. AI를 활용하기 전 오리엔테이션을 통해 학생들이 교육 과정에서의 AI의 유용성을 인지하고 학문적 진실성을 유지하며 AI를 사용하도록 교육해야 한다(Fissore et al., 2022). 또한 AI의 활용 시 환각 효과를 고려하여 AI가 제공한 답변이나 자료를 그대로 수용하지 않고 비판적으로 검토하도록 안내할 필요가 있다. 이를 위해 AI 자료의 적절성과 신뢰성을 비판적으로 검토, 관리할 수 있는 질문 프롬프트를 활용하는 것이 권장된다.

본 연구는 연구 대상, 연구 방법, 연구 목적, 학습 내용, AI의 유형, AI의 역할, 교사의 역할 면에서 AI 기반 수학 교수·학습 연구를 탐색하여 연구 동향을 파악하고 후속 연구를 제안하였다는 의의가 있다. 또한, AI 기반 수학 교수·학습에서의 AI의 역할과 교사의 역할을 다각도로 탐색하여 AI의 교육적 활용에 대한 가이드라인을 제공하였다. 이 연구를 통해 현장 수학교사 및 연구자들은 AI의 역할과 교사의 역할에 대한 이해를 바탕으로 AI와의 협력적 관계를 구축하는 교수·학습 방안을 모색할 수 있을 것이다. AI와 교사가 상호보완과 협업을 통해 인공지능(Artificial Intelligence)과 인간의 지능(Human Intelligence)을 통합한 협업 지능(Collaborative Intelligence)을 구현할 때, 미래 AI 기반 교수·학습은 최적화된 방향으로 나아갈 수 있을 것이다.

ORCID

Jungeun Yoon: <https://orcid.org/0009-0006-1220-7465>

Oh Nam Kwon: <https://orcid.org/0000-0002-6989-5469>

Conflict of Interest

The authors declare that they have no competing interests.

References

- Auccahuasi, W., Santiago, G. B., Núñez, E. O., & Sernaque, F. (2018). Interactive online tool as an instrument for learning mathematics through programming techniques, aimed at high school students. *Proceedings of the 6th International conference on information technology: IoT and Smart City*, 70–76. <https://doi.org/10.1145/3301551.3301580>
- Barana, A., Marchisio, M., & Roman, F. (2023). *Fostering Problem Solving and Critical Thinking in Mathematics through Generative Artificial Intelligence*. International Association for Development of the Information Society.
- Bernacki, M. L., & Walkington, C. (2018). The role of situational interest in personalized learning. *Journal of Educational Psychology*, 110(6), 864–881.
- Borba, M. C. (2021). The future of mathematics education since COVID-19: Humans-with-media or humans-with-non-living-things. *Educational Studies in Mathematics*, 108(1), 385–400. <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10043-2>
- Bray, A., & Tangney, B. (2017). Technology usage in mathematics education research—A systematic review of recent trends. *Computers & Education*, 114, 255–273. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.07.004>
- Bringula, R. P., Fosgate Jr, I. C. O., Garcia, N. P. R., & Yorobe, J. L. M. (2018). Effects of pedagogical agents on students' mathematics performance: A comparison between two versions. *Journal of Educational Computing Research*, 56(5), 701–722. <https://doi.org/10.1177/0735633117722494>
- Cabestrero, R., Quirós, P., Santos, O. C., Salmeron-Majadas, S., Uria-Rivas, R., Boticario, J. G., ... & Ferri, F. J. (2018). Some insights into the impact of affective information when delivering feedback to students. *Behaviour & Information Technology*, 37(12), 1252–1263. <https://doi.org/10.1080/0144929X.2018.1499803>
- Casler-Failing, S. (2021). Learning to teach mathematics with robots: Developing the 'T' in technological pedagogical content knowledge. *Research in Learning Technology*, 29. <https://doi.org/10.25304/rlt.v29.2555>
- Chang, H., & Nam, J. (2021). The use of Artificial Intelligence in elementary mathematics education—Focusing on the math class support system 'Knock-knock! math expedition'. *The Journal of Korea Elementary Education*, 31(Supplement), 105–123. <http://dx.doi.org/10.20972/Kjee.31.S.202101.S105>
- Choi, I. (2022). Exploring teaching and learning methods using Artificial Intelligence (AI) in the mathematics classroom: Focusing on the development of middle school statistic scenarios. *Journal of the Korean School Mathematics*, 25(2), 149–174. <https://dx-doi-org.libproxy.snu.ac.kr/10.30807/ksms.2022.25.2.003>
- Choi, J. (2021). Artificial Intelligence (AI) research trends in mathematics education. *The Journal of Curriculum and Instruction Studies*, 14(2), 1–14.
- Chounta, I. A., Bardone, E., Raudsep, A., & Pedaste, M. (2022). Exploring teachers' perceptions of Artificial Intelligence as a tool to support their practice in Estonian K-12 education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 32(3), 725–755. <https://doi.org/10.1007/s40593-021-00243-5>
- Cook, D. J., Mulrow, C. D., & Haynes, R. B. (1997). Systematic reviews: synthesis of best evidence for clinical decisions. *Annals of Internal Medicine*, 126(5), 376–380.
- Cung, B., Xu, D., Eichhorn, S., & Warschauer, M. (2019). Getting academically underprepared students ready through college developmental education: Does the course delivery format matter?. *American Journal of Distance Education*, 33(3), 178–194. <https://doi.org/10.1080/08923647.2019.1582404>
- del Olmo-Muñoz, J., González-Calero, J. A., Diago, P. D., Arnau, D., & Arevalillo-Herráez, M. (2023). Intelligent tutoring systems for word problem solving in COVID-19 days: Could they have been (part of) the solution?. *ZDM-Mathematics Education*, 55(1), 35–48. <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01396-w>
- Ferro, L. S., Sapio, F., Terracina, A., Temperini, M., & Mecella, M. (2021). Gea2: A serious game for technology-enhanced learning in STEM. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 14(6), 723–739.
- Fissore, C., Floris, F., Marchisio, M., & Sacchet, M. (2022). Didactic activities on Artificial Intelligence: the perspective of stem teachers. *Proceedings of the 19th international conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age (CELDA 2022)*, pp. 11–18. IADIS press.

- Forsström, S. E., & Afdal, G. (2020). Learning mathematics through activities with robots. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 6(1), 30–50. <https://doi.org/10.1007/s40751-019-00057-0>
- Forsström, S. E., & Kaufmann, O. T. (2018). A literature review exploring the use of programming in mathematics education. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 17(12), 18–32. <https://doi.org/10.26803/ijlter.17.12.2>
- Gillespie, J., Winn, K., Faber, M., & Hunt, J. (2022). Implementation of a Mathematics Formative Assessment Online Tool Before and During Remote Learning. *International Conference on Artificial Intelligence in Education*, 168–173. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-11647-6_29
- González-Calero, J. A., Arnau, D., Puig, L., & Arevalillo-Herráez, M. (2015). Intensive scaffolding in an intelligent tutoring system for the learning of algebraic word problem solving. *British Journal of Educational Technology*, 46(6), 1189–1200. <https://doi.org/10.1111/bjet.12183>
- Graesser, A. C. (2016). Conversations with AutoTutor help students learn. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26, 124–132. <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0086-4>
- Grawemeyer, B., Mavrikis, M., Holmes, W., Gutiérrez-Santos, S., Wiedmann, M., & Rummel, N. (2017). Affective learning: Improving engagement and enhancing learning with affect-aware feedback. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 27, 119–158. <https://doi.org/10.1007/s11257-017-9188-z>
- Gulherme, A. (2017). AI and Education: The importance of teacher and student relations. *AI and Society*, 32(1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s00146-017-0693-8>
- Gulz, A., Londo, L., & Haake, M. (2020). Preschoolers' understanding of a teachable agent-based game in early mathematics as reflected in their gaze behaviors—an experimental study. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 30, 38–73. <https://doi.org/10.1007/s40593-020-00193-4>
- Hamim, T., Benabbou, F., & Sael, N. (2022). Student profile modeling using boosting algorithms. *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies (IJWLTT)*, 17(5), 1–13. <http://doi.org/10.4018/IJWLTT.20220901.oa4>
- Han, W., Kim, E., & Lee, S. (2021). Analysis of elementary and middle school teachers' perceptions of the use of AI in instructional design. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 21(24), 859–875. <https://doi.org/10.22251/jlcci.2021.21.24.859>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. The Center for Curriculum Redesign.
- Hong, S., Kim, H., & Park, Y. (2021). Exploring the potentials of AI integration into K–12 education. *Journal of Korean Association for Educational Information and Media*, 27(3), 875–898. <http://dx.doi.org/10.15833/KAFEIAM.27.3.875>
- How, M. L., & Hung, W. L. D. (2019). Educating AI-thinking in science, technology, engineering, arts, and mathematics (STEAM) education. *Education Sciences*, 9(3), 184. <https://doi.org/10.3390/educsci9030184>
- Huang, X., Craig, S. D., Xie, J., Graesser, A., & Hu, X. (2016). Intelligent tutoring systems work as a math gap reducer in 6th grade after-school program. *Learning and Individual Differences*, 47, 258–265. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.01.012>
- Hwang, G. J., & Tu, Y. F. (2021). Roles and research trends of Artificial Intelligence in mathematics education: A bibliometric mapping analysis and systematic review. *Mathematics*, 9(6), 584. <https://doi.org/10.3390/math9060584>
- Jia, J., Li, S., Miao, Y., & Li, J. (2023). The effects of personalised mathematic instruction supported by an intelligent tutoring system during the COVID–19 epidemic and the post-epidemic era. *International Journal of Innovation and Learning*, 33(3), 330–343. <https://doi.org/10.1504/IJIL.2023.130099>
- Jia, J., Wang, T., Zhang, Y., & Wang, G. (2024). The comparison of general tips for mathematical problem solving generated by generative AI with those generated by human teachers. *Asia Pacific Journal of Education*, 44(1), 8–28. <https://doi.org/10.1080/02188791.2023.2286920>
- Kautzmann, T. R., & Jaques, P. A. (2019). Effects of adaptive training on metacognitive knowledge monitoring ability in computer-based learning. *Computers & Education*, 129, 92–105. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.10.017>
- Kim, C., Jeon, Y. (2021). The core concepts of mathematics for AI and an analysis of mathematical contents in the <AI Mathematics> textbook. *Journal of the Korean School Mathematics Society*, 24(4), 391–405. <http://doi.org/10.30807/ksms.2021.24.4.004>
- Kim, H. K., Park, C., Jeong, S., & Ko, H. (2018). A view on complementary relation of human teacher and AI teacher in future education. *Journal of Education & Culture*, 24(6), 189–207. <https://doi.org/10.24159/joec.2018.24.6.189>
- Kim, J. (2023). Leading teachers' perspective on teacher–AI collaboration in education. *Education and Information Technologies*, 1–32. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12109-5>
- Kim, J., Kwon, M., & Pang, J. (2023). Elementary school teachers' perceptions of using Artificial Intelligence in mathematics education. *Education of Primary School Mathematics*, 26(4), 299–316. <https://doi.org/10.7468/jks-mec.2023.26.4.299>
- Kitchenham, B., & Charters, S. M. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering*. Technical Report EBSE 2007–001, Keele University and Durham University Joint Report.
- Ko, H. K. (2020). A study on development of school mathematics contents for Artificial Intelligence (AI) capability. *Journal of the Korean School Mathematics Society*, 23(2), 223–237. <https://doi.org/10.30807/ksms.2020.23.2.003>

- Krippendorff, K. (2018). *Content analysis: An introduction to its methodology*. Sage publications.
- Ku, N., & Choi, I. (2022). An analysis of the <Artificial Intelligence Mathematics> textbook: Focusing on forecast and optimization. *Journal of Educational Research in Mathematics*, 32(2), 125–147. <http://doi.org/10.29275/jerm.2022.32.2.125>
- Kwon, O. N., Lee, K., Oh S. J., & Park, J. S. (2021). An analysis of 'Related Learning Elements' reflected in <Artificial Intelligence Mathematics> textbooks. *Communications of Mathematical Education*, 35(4), 445–473. <http://doi.org/10.7468/jksmee.2021.35.4.445>
- Levy, B., Hershkovitz, A., Tabach, M., Cohen, A., Segal, A., & Gal, K. (2023). Personalization in graphically rich e-Learning environments for K–6 Mathematics. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 16(3), 364–376. <https://doi.org/10.1109/TLT.2023.3263520>
- Lim, M., Kim, H., Nam, J., & Hong, O. (2021). Exploring the application of elementary mathematics supporting system using Artificial Intelligence in teaching and learning. *School Mathematics*, 23(2), 251–270. <https://doi.org/10.29275/sm.2021.06.23.2.251>
- Lim, W., & Park, M. (2021). AI-based mathematics education: A review of issues in international research. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 21(14), 621–635. <https://doi.org/10.22251/jlcci.2021.21.14.621>
- Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Sciences*, 13(4), 410. <https://doi.org/10.3390/educsci13040410>
- Lopez-Caudana, E., Ramirez-Montoya, M. S., Martínez-Pérez, S., & Rodríguez-Abitia, G. (2020). Using robotics to enhance active learning in mathematics: A multi-scenario study. *Mathematics*, 8(12), 2163. <https://doi.org/10.3390/math8122163>
- Luckin, R., & Holmes, W. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. UCL Knowledge Lab.
- Luzano, J. F. P. (2024). Assessment in mathematics education in the sphere of Artificial Intelligence: A systematic review on its threats and opportunities. *Assessment*, 8(2), 100–104.
- Mengist, W., Soromessa, T., & Legese, G. (2020). Method for conducting systematic literature review and meta-analysis for environmental science research. *MethodsX*, 7, 100777. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.100777>
- Ministry of Education (2021). *Announcing the main points of the 2022 revision curriculum*. Ministry of Education, 2021.11.24.
- Ministry of Education (2022). *Mathematics curriculum. proclamation of the ministry of education # 2022–33 [Annex 8]*. Ministry of Education.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group*, T. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264–269.
- Nam, B. H., & Bai, Q. (2023). ChatGPT and its ethical implications for STEM research and higher education: A media discourse analysis. *International Journal of STEM Education*, 10(1), 66. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00452-5>
- Ning, Y., Zhang, C., Xu, B., Zhou, Y., & Wijaya, T. T. (2024). Teachers' AI-TPACK: Exploring the relationship between knowledge elements. *Sustainability*, 16(3), 978. <https://doi.org/10.3390/su16030978>
- Nurwahid, M., & Ashar, S. (2024). A literature review: The use of Artificial Intelligence (AI) in mathematics learning. *Proceeding International Conference on Religion, Science and Education*, 3, 337–344. Retrieved from <https://sunankali-jaga.org/prosiding/index.php/icrse/article/view/1254>
- Pai, K. C., Kuo, B. C., Liao, C. H., & Liu, Y. M. (2021). An application of Chinese dialogue-based intelligent tutoring system in remedial instruction for mathematics learning. *Educational Psychology*, 41(2), 137–152. <https://doi.org/10.1080/0143410.2020.1731427>
- Park, C. J., Hyun, J. S. (2022). Review on teachers' digital competency based on digital technology integration model for 2022 revised curriculum. *The Korean Association of Computer Education*, 25(1), 17–27. <https://doi.org/10.32431/kace.2022.25.1.002>
- Park, M. (2020). The trends of using Artificial Intelligence in mathematics education. *The Journal of Korea elementary education*, 31, 91–102. <http://dx.doi.org/10.20972/Kjee.31.S.202008.S91>
- Patel, N., Nagpal, P., Shah, T., Sharma, A., Malvi, S., & Lomas, D. (2023). Improving mathematics assessment readability: Do large language models help?. *Journal of Computer Assisted Learning*, 39(3), 804–822. <https://doi.org/10.1111/jcal.12776>
- Petticrew, M., & Roberts, H. (2008). *Systematic reviews in the social sciences: A practical guide*. John Wiley & Sons.
- Pham, H., Nong, D., Simshauser, P., Nguyen, G. H., & Duong, K. T. (2024). Artificial intelligence (AI) development in the Vietnam's energy and economic systems: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 140692. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140692>
- Phillips, A., Pane, J. F., Reumann-Moore, R., & Shenbanjo, O. (2020). Implementing an adaptive intelligent tutoring system as an instructional supplement. *Educational Technology Research and Development*, 68(3), 1409–1437. <https://doi.org/10.1007/s11423-020-09745-w>
- Pratikno, P., & Lay, C. (2017). From populism to democratic polity: Problems and challenges in Surakarta, Indonesia. *PCD Journal*, 3(1–2), 33–62. <https://doi.org/10.22146/pcd.25740>
- Rajendran, R., Iyer, S., & Murthy, S. (2018). Personalized affective feedback to address students' frustration in ITS. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 12(1), 87–97. <https://doi.org/10.1109/TLT.2018.2807447>

- Reinhold, F., Hoch, S., Werner, B., Richter-Gebert, J., & Reiss, K. (2020). Learning fractions with and without educational technology: What matters for high-achieving and low-achieving students?. *Learning and Instruction, 65*, 101264. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.101264>
- Saputra, H., Sumitra, I., Hirawan, D., Lesmana, R., & Soegoto, E. (2023). Smart urban farming application: UV light in hydroponic installations. *Journal of Engineering Science and Technology, 18*(2), 1007–1018.
- Shakya, A., Rus, V., & Venugopal, D. (2023). Scalable and equitable math problem solving strategy prediction in big educational data. *arXiv preprint arXiv:2308.03892*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.03892>
- Shin, D. (2020a). Artificial intelligence in primary and secondary education: A systematic review. *Journal of Educational Research in Mathematics, 30*(3), 531–552. <https://doi.org/10.29275/jerm.2020.08.30.3.531>
- Shin, D. (2020b). An analysis prospective mathematics teachers' perception on the use of Artificial Intelligence (AI) in mathematics education. *Communications of Mathematical Education, 34*(3), 215–234. <https://doi.org/10.7468/jks-mee.2020.34.3.215>
- Sim, Y., Kim, J., Kwon, M. (2020). Secondary mathematics teachers' perceptions on Artificial Intelligence (AI) for math and math for Artificial Intelligence (AI). *Communications of Mathematical Education, 37*(2), 159–181. <https://doi.org/10.7468/jksmee.2023.37.2.159>
- Son, T. (2023). Preservice teacher's understanding of the intention to use the artificial intelligence program 'Knock-Knock! Mathematics Expedition' in mathematics lesson: Focusing on self-efficacy, artificial intelligence anxiety, and technology acceptance model. *The Mathematics Education, 62*(3), 401–416. <https://doi.org/10.7468/mathedu.2023.62.3.401>
- Suharmawan, W. (2023). Pemanfaatan Chat GPT dalam dunia pendidikan. *Journal Educational Research and Development, 7*(2), 158–166. <https://doi.org/10.31537/ej.v7i2.1248>
- Tejawiani, I., Sucahyo, N., Usanto, U., & Sopian, A. (2023). Peran Artificial Intelligence Terhadap Peningkatan Kreativitas Siswa Dengan Menerapkan Proyek Penguatan Profil Pelajar Pancasila. *JMM (Jurnal Masyarakat Mandiri), 7*(4), 3578–3592.
- Tuomi, I. (2020). Research for CULT Committee–The use of Artificial Intelligence (AI) in education. *European Parliament, Directorate-General for Internal Policies, 2–6*. Retrieved from https://web.cs.ucdavis.edu/~koehl/Teaching/ECS188/PDF_files/AI_Education_EU.pdf
- Urrutia, F., & Araya, R. (2024). Who's the best detective? Large language models vs. traditional machine learning in detecting incoherent fourth grade math answers. *Journal of Educational Computing Research, 61*(8), 187–218. <https://doi.org/10.1177/07356331231191174>
- Vuorikari Rina, R., Kluzer, S., & Punie, Y. (2022). *DigComp 2.2: The digital competence framework for citizens—with new examples of knowledge, skills and attitudes* (No. JRC128415). Joint Research Centre (Seville site).
- Wardat, Y., Tashtoush, M. A., AlAli, R., & Jarrah, A. M. (2023). ChatGPT: A revolutionary tool for teaching and learning mathematics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 19*(7), em2286. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13272>
- Wu, H. M., Kuo, B. C., & Wang, S. C. (2017). Computerized dynamic adaptive tests with immediately individualized feedback for primary school mathematics learning. *Journal of Educational Technology & Society, 20*(1), 61–72.
- Wu, T. T., Lee, H. Y., Wang, W. S., Lin, C. J., & Huang, Y. M. (2023). Leveraging computer vision for adaptive learning in STEM education: Effect of engagement and self-efficacy. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 20*(1), 53. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00422-5>
- Yoon, J., Park, S., & Kwon, O. N. (2023). ChatGPT-flipped mathematics class case study: Focused on learners' engagement. *Journal of Educational Technology, 39*(4), 1011–1047. <http://dx.doi.org/10.17232/KSET.39.4.1011>
- Zafrullah, Z., Hakim, M. L., & Angga, M. (2023). ChatGPT open AI: Analysis of mathematics education students learning interest. *Journal of Technology Global, 1*(01), 1–10.
- Zawacki-Richter, O., Marin, 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*(1), 1–27. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>
- Zhang, Y., Li, Y., Cui, L., Cai, D., Liu, L., Fu, T., ... & Shi, S. (2023). Siren's song in the AI ocean: A survey on hallucination in large language models. *arXiv preprint arXiv:2309.01219*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.01219>

AI 기반 수학 교수·학습에 대한 체계적 문헌 고찰: AI의 역할과 교사의 역할을 중심으로

윤정은¹, 권오남^{2*}

¹서울대학교 박사과정

²서울대학교 교수

*교신저자: 권오남(onkwon@snu.ac.kr)

초 록

본 연구는 AI 기반 수학 교수·학습에 대한 문헌을 체계적, 종합적으로 고찰하여 연구 동향을 탐색하고자 수행되었다. 이를 위해 최근 10년 간의 수학교육 문헌 중 문헌선정기준에 부합하는 57개의 문헌을 연구 대상, 연구 방법, 연구 목적, 학습 내용, AI의 유형, AI의 역할, 교사의 역할 측면에서 체계적 문헌 고찰하였다. 연구 결과, 연구 대상 중 학생을 대상으로 한 연구가 51%로 가장 많은 비중을 차지했으며, 연구 방법 중 양적 연구의 비중이 49%로 가장 높았다. 연구 목적은 효과 분석 44%, 이론적 논의 35%, 수업 사례 탐색 21%로 분포했다. 학습 내용으로 '수와 연산'과 '문자와 식'이 가장 많이 다루어졌고, AI 유형 중 지능형 튜터링 시스템(ITS)이 가장 많이 사용되었다. AI의 역할은 학습자 교수의 비중이 40.4%로 가장 높았으며, 교수자 지원 22.8%, 학습자 지원 21%, 시스템 지원 15.8% 순으로 분포하였다. 교사의 역할은 초기 연구일수록 'AI 수용자'로서의 역할이, 최근 연구일수록 'AI와의 건설적 파트너'로서의 역할이 부각되었고, 각 역할이 교육학적, AI-기술적, 내용적 측면에서 탐색되었다. 이를 통해 국내 수학교육 후속 연구의 방향이 제안되었고, AI 기반 수학 교수·학습에서의 교사가 갖추어야 할 소양이 논의되었다.

주요어 AI 기반 수학 교수·학습, 수학교육, 체계적 문헌 고찰, AI의 역할, 교사의 역할

