



A scoping review of domestic research on math chatbots: Exploring emerging academic fields and directions for future research

Gima Lee¹, Hee-jeong Kim^{2*}

¹Graduate student, Korea University

²Professor, Korea University

ABSTRACT

This study conducted a scoping review of 19 studies on math chatbots conducted in South Korea. The study analyzed key research themes and types, mathematical content and its selection criteria, research methods, roles and design principles of chatbots, technologies employed in chatbots, and the roles of teachers and students in math chatbot research. Through this analysis, the current landscape and growth potential of the math chatbot research ecosystem were identified, leading to several directions for future research. First, 'studies on AI and convergence', 'exploratory research', 'research on geometry content', and 'literature reviews' should be expanded. Second, further studies should establish a consensus on the safety of personalized instructional chatbots and then develop technical solutions for their implementation. Third, additional studies are needed on teachers' roles as ethical supervisors and students' roles as ethical adherents regarding AI and chatbots. Fourth, future research should allocate adequate research resources to studies on teachers' noticing and specialized content knowledge (SCK) in chatbot-based teaching and learning environments, as well as the impact of chatbots on students' thinking processes. Finally, three research topics for a systematic literature review, which should be conducted once sufficient chatbot research has been accumulated, were suggested. The study provided specific directions to ensure the systematic and continuous growth of the math chatbot research ecosystem in South Korea through this analysis.

Keywords Chatbot, Math chatbot, AI, AI tutor, Scoping review

서론

챗봇은 인간과 실시간으로 상호작용하며 질문에 응답하는 인공지능 대화형 에이전트이다(Abushawar & Atwell, 2015; Adamopoulou & Moussiades, 2020; Nguyen et al., 2022; Wood et al., 2023). 초기의 챗봇은 주로 규칙 기반 알고리즘을 사용하여 정확성과 유연성 면에서 비교적 낮은 성능을 보였으나(Gandhi & Patel, 2023), 기술 발달과 함께 정보통신 인프라가 갖춰지고 딥러닝 파이프라인이 도입됨에 따라, 응답의 정확성, 유연성 및 신속성 측면에서 매우 뛰어난 성능을 갖치게 되었다. 이처럼 기술 발전과 함께 유용성이 증가하면서, 최근 챗봇은 금융서비스, 전자상거래, 고객 관리, 헬스케어, 법률 자

Received October 28, 2024; Revised November 11, 2024; Accepted November 11, 2024

*Corresponding author Hee-jeong Kim

E-mail heejeongkim@korea.ac.kr

2020 Mathematics Subject Classification 97U50



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.

문, 교육 지원 등 점점 더 다양한 분야로 확산하고 있다(Clarizia et al., 2018; Oh et al., 2017). 특히, 최근에는 ChatGPT나 Llama 같은 거대언어모델(Large Language Model, LLM) 기반의 생성형 인공지능 챗봇이 전례 없이 뛰어난 성능을 보이며, 챗봇의 확산 속도가 급격히 증가하고 있다(Kaczorowska-Spychalska, 2019).

수학교육 분야도 2010년대부터 이러한 챗봇의 가치에 주목하기 시작하면서(Kuhail et al., 2023; Wollny et al., 2021) 연구적 관심이 빠르게 확산하였고, 이에 따라 다양한 연구를 통해 챗봇의 수학적 효과와 가치를 확인하였다. 챗봇은 수학 학습에서 개별화·맞춤형 학습(Gil et al., 2023; Nguyen et al., 2019), 개념 이해(Faqih et al., 2022; Melo et al., 2020), 문제해결(Faqih et al., 2022; Kabiljagić et al., 2022), 수학적·비판적 사고(Faqih et al., 2022; Gil et al., 2023), 성취도 향상(Laksana & Fiangga, 2022; Rodrigo et al., 2012), 용어 사용의 정확성(Gil et al., 2023), 학습 주제성(Melo et al., 2020; Nguyen et al., 2019), 동기와 참여(Kabiljagić et al., 2022; Laksana & Fiangga, 2022), 실시간 피드백(Matsuda et al., 2013; Melo et al., 2020), 학업 접근성(Kabiljagić et al., 2022) 측면에서 유의미한 효과가 있는 것으로 나타났다. 최근 국내 수학교육 분야에서도 이러한 챗봇의 효과가 관심을 끌기 시작하면서, 비교적 짧은 기간 동안 관련 연구가 빠르게 증가하며 새로운 연구 생태계가 형성되고 있다(e.g., Go et al., 2024; Kang et al., 2023; Ryu & Ko, 2023). 특히, 최근 ChatGPT O1-preview 같은 생성형 챗봇의 성능이 매우 우수해지고(OpenAI, 2024), 2025년 도입될 AI 디지털교과서(Ministry of Education, 2023)의 핵심 기능으로 인공지능 챗봇이 자리 잡음에 따라, 국내 수학 챗봇 연구는 더욱 급증할 것으로 보인다.

이처럼 신흥 학문 분야가 매우 빠른 속도로 성장할 때는 주제범위 문헌고찰(scoping review)이 유용할 수 있다(Munn et al., 2018). 주제범위 문헌고찰은 특정 주제에 대한 문헌을 폭넓게 탐색하여, 지식의 공백(gap)과 핵심 개념을 식별하고, 중요한 연구 질문과 후속 연구의 방향을 도출하는 문헌 연구 방법이다(Munn et al., 2018; Tricco et al., 2018). 이러한 주제범위 문헌고찰은 빠르게 성장하는 신흥 연구 분야에서 다음과 같은 유용성을 갖는다. 첫째, 연구 자원을 효율적으로 활용할 수 있다(Arksey & O'Malley, 2005; Mai et al., 2014). 급성장하는 연구 분야에서 주제범위 문헌고찰은 연구 동향을 체계적으로 정리함으로써 중복 연구나 불필요한 연구의 진행을 예방할 수 있다. 둘째, 지식의 공백을 식별하여 학문의 진보를 가속화할 수 있다(Campbell et al., 2023; Munn et al., 2018). 새로운 학문 분야에서는 지식의 공백이 넓을 수 있다. 주제범위 문헌고찰은 이러한 지식 공백을 체계적으로 분석함으로써, 우선적으로 연구해야 하는 영역을 식별하는 데 도움을 줄 수 있다. 셋째, 여러 연구에 나타난 핵심 개념과 용어를 일관되게 정리할 수 있다(Mai et al., 2014; Tricco et al., 2016). 학문이 발전하는 초기 단계에서는 핵심 개념과 용어의 정의가 명확하지 않거나 일관되지 않을 수 있다. 주제범위 문헌고찰을 통해 개념과 용어를 표준화하는 과정은 연구자 간의 혼란을 방지하고, 학문적 토대를 견고히 하는 데 기여할 수 있다. 예를 들어, 보건 서비스에 대한 주제범위 문헌고찰에서는 여러 연구에서 서로 다르게 표현된 보건 서비스의 개념과 특징을 도출하여 개념화하고 표준화하여 후속 연구의 토대를 마련하였다(Harfield et al., 2018). 넷째, 체계적 문헌고찰을 위한 기반을 마련할 수 있다(Tricco et al., 2016; Tricco et al., 2018). 주제범위 문헌고찰은 학술 논문, 학위 논문, 보고서 등 다양한 관련 문헌을 포함하여 연구 주제와 범위, 연구 방법 및 데이터, 중요 개념 등을 포괄적으로 보고한다. 이에 따라 체계적 문헌 고찰 연구는 주제범위 문헌고찰의 결과를 바탕으로 적절한 연구 범위와 질문을 구체화하고, 주목해야 할 증거(evidence)를 결정할 수 있다.

이러한 유용성에 따라, 본 연구는 국내에서 신흥 학문 분야로 빠르게 성장하고 있는 수학 챗봇 관련 연구(이하 수학 챗봇 연구)를 대상으로 주제범위 문헌고찰을 수행하고자 한다. 이를 통해 수학 챗봇 연구에 대한 전반적인 현황을 살펴보고 연구의 공백과 중요 개념을 도출한 후, 이를 바탕으로 후속 연구의 방향을 도출하는 것을 목적으로 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해 다음과 같은 5가지 연구 질문을 설정하였다.

- 국내 수학 챗봇 연구의 주제와 유형의 양적 분포는 어떠한가?
- 국내 수학 챗봇 연구에 나타난 수학 내용의 양적 분포와 내용 선정 기준은 어떠한가?
- 국내 수학 챗봇 연구에 나타난 연구 방법의 양적 분포는 어떠한가?
- 국내 수학 챗봇 연구에 나타난 챗봇 역할 및 디자인 원리의 양적 분포와 사용된 기술은 어떠한가?
- 국내 수학 챗봇 연구에 나타난 교사와 학생의 역할의 양적 분포는 어떠한가?

이론적 배경

1. 교육 맥락에서 챗봇 연구

다양한 분야에서 챗봇의 가치와 효과가 입증되면서(Clarizia et al., 2018), 교육 분야도 2010년부터 본격적으로 챗봇의 교육적 잠재력을 주목하기 시작하였다(Kuhail et al., 2022). 이에 따라 챗봇의 교육적 가치와 효과, 적용 가능성을 확인하기 위해 이론적, 기술적, 활용적 측면에서 다양한 연구가 수행되었다. 이러한 연구들을 목적과 접근 방식에 따라 분류하면, Table 1과 같이 탐구 연구, 개발 연구, 활용 연구, 복합 연구로 구분할 수 있다. 각각의 연구 유형에 대하여 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

Table 1. Types of chatbot research in educational contexts

Type	Purpose and approach
Exploratory research	<ul style="list-style-type: none"> • Research to establish a theoretical foundation for the educational role and use of chatbots • Presentation of a theoretical blueprint related to chatbots in educational contexts through literature review, surveys, and expert opinions
Development research	<ul style="list-style-type: none"> • Research on developing educational chatbots • Development and improvement of chatbot algorithms or architectures, with evaluation of technical and functional indicators in a controlled experimental environment
Implementation research	<ul style="list-style-type: none"> • Research on the educational use of commercial chatbots • Verification of the pedagogical performance of chatbots in realistic educational scenarios, and investigation of their pedagogical effects, user experience, and acceptance in actual educational settings
Integrated research	Teacher-centered <ul style="list-style-type: none"> • Research in which teachers or researchers develop educational chatbots specialized in specific content and investigate the pedagogical effects observed when students use them in real teaching and learning contexts
	Student-centered <ul style="list-style-type: none"> • Research investigating the pedagogical effects observed in teaching and learning contexts where students directly develop and use chatbots

탐구 연구는 챗봇의 교육적 역할과 활용에 대한 이론적 기반을 마련하는 연구이다(Kooli, 2023; Kuhail et al., 2022; Stöhr et al., 2024). 이러한 연구는 문헌 고찰, 전문가 의견 수렴, 설문조사, 분야별 탐색적 벤치마킹 등을 통해 교육 맥락에서 챗봇의 본질과 개념, 역할, 기능, 적용 등에 대한 이론적 청사진을 제시하는데 초점이 있다. 이러한 탐구 연구는 개발 연구, 활용 연구, 복합 연구와 같은 실증 연구를 위한 이론적·해석적 틀을 마련한다는 점에서 연구 생태계가 형성되기 시작하는 초기 단계에 특히 중요한 역할을 한다.

개발 연구는 교육용 챗봇을 개발하는 연구이다(Daud et al., 2020; Kim et al., 2022). 주로 챗봇 알고리즘이나 아키텍처, 데이터 처리 파이프라인 등을 개발하고, 기술적으로 통제된 실험 상황에서 챗봇의 정확성, 신속성, 안정성, 모듈화 등과 같은 기술적·기능적 지표를 평가한다. 이러한 개발 연구는 인공지능과 자연어 처리와 같은 여러 가지 전문적인 기술 솔루션을 바탕으로 챗봇의 근본적인 기술 및 기능 발달과 성능 개선을 주도하는 데 중요한 역할을 한다.

활용 연구는 상용 챗봇을 교육적으로 활용하는 연구이다(Annamalai et al., 2023; Drushlyak et al., 2024)¹⁾. 주로 수업 설계나 모의 학습 상황, 교사교육 같은 실제에 가까운 교육 시나리오에서 챗봇의 교수학적 활용과 성능을 확인하거나 실제 교육 상황에서 챗봇이 발휘하는 교수학적 효과(예. 성취도, 효능감 향상), 챗봇에 대한 사용자 경험 및 수용성 등을 조사하여 시사점을 제공한다. 이러한 활용 연구는 실증적 증거를 기반으로 챗봇의 실효성과 적용 가능성을 확인하고, 이를 바탕으로 챗봇이 통합된 교수·학습 과정을 개발하는 데 도움을 주며, 나아가 챗봇에 대한 학술적 논의를 심화하는 데 공헌한다.

복합 연구는 한 연구 내에서 챗봇 개발과 활용을 동시에 수행하는 연구로, ‘교수자 주도 복합 연구’와 ‘학생 주도 복합 연구’가 있다. ‘교수자 주도 복합 연구’는 교사나 연구자가 특정 내용에 특화된 교육용 챗봇을 개발하고, 이를 학습자가 실제 활용하는 교수·학습 맥락에서 나타나는 교수학적 효과를 조사하는 연구이다(Baylor, 2011; Cheng, 2024; Kumar, 2011). ‘학생 주도 복합 연구’는 학습자가 여러 분야의 지식(예. 수학, 인공지능, 기타 도메인 지식 등)을 통합하여 직접 챗봇을 개발하고 활용하도록 하는 연구이다(Guo & Li, 2023; Pearce et al., 2022). 자신만의 챗봇을 개발하는 과정은 학습 동기와 주체성을 강화하고, 나아가 학습자에게 융합과 인공지능을 주제로 다양한 지식을 통합하는 학습 경험을 제공할 수 있다(Pearce

et al., 2022). 다시 말해 이러한 연구는 챗봇 연구의 주제를 수학뿐만 아니라 인공지능과 융합을 포괄할 수 있도록 확장한다. 이는 최근 인공지능 리터러시와 융합적 소양을 강조하는 범국가적 교육 담론과도 결을 같이한다는 점에서 중요하다(Long & Magerko, 2020; Ministry of Education, 2021; 2022; Song, 2023; Tadimalla, 2024). 특히, 챗봇을 개발하는 과정은 이를 단순히 활용하는 과정보다 훨씬 더 인공지능의 내부 구조와 작동 원리를 깊이 이해할 수 있게 하며, 결과적으로 인공지능 리터러시를 더욱 효과적으로 함양할 수 있게 한다(Pearce et al., 2022).

이와 같이 챗봇 연구는 목적과 접근 방식에 따라 탐구 연구, 개발 연구, 활용 연구, 복합 연구로 유형화될 수 있으며, 이러한 유형화에서 각각의 연구 유형은 고유한 목적과 접근 방식을 가지면서도, 연구적으로 밀접한 상호보완적 관계를 형성한다. 특히, 탐구 연구는 이론적 토대를 마련하여 실증 연구의 기반이 되는 이론적·해석적 틀을 제공하고, 개발·활용·복합 연구와 같은 실증 연구는 이론의 검증과 학술적 논의 확장에 기여한다(Creswell & Creswell, 2018). 이러한 점에서 이와 같은 유형 분류에 따라 국내 수학 챗봇 연구를 분류하면, 챗봇 연구 생태계가 균형 있게 발전하고 있는지를 연구적 공백을 중심으로 살펴볼 수 있으며, 이를 바탕으로 연구 생태계의 체계적인 발전을 위한 후속 연구의 방향을 제시할 수 있다.

2. 교육 맥락에서 챗봇의 역할과 디자인 원리

교육 맥락에서 챗봇 연구가 활발해짐에 따라, 챗봇의 교수학적 역할과 이에 따른 효과에 대한 연구적 논의도 확산·심화되었다. 이러한 논의에 따르면(Kuhail et al., 2023; Wolly et al., 2021), Table 2와 같이 교육 맥락에서 챗봇은 대표적으로 교수자(teaching), 동반자(peer), 학습자(teachable), 촉진자(motivational) 에이전트와 같은 4가지 역할을 수행할 수 있다. 각각의 역할과 이에 따른 교수학적 효과에 대해 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

Table 2. Roles of chatbots in educational contexts

Agent	Role
Teaching	• Acting as an instructor, the chatbot guides students' learning or recommends personalized content based on their learning history and data
Peer	• Acting as a peer, the chatbot provides explanations and assistance regarding concepts, terminology, problem-solving, and the use of educational technology in response to students' questions and requests
Teachable	• Acting as a learner, the chatbot performs the role of a learner to prompt students' teaching activities
Motivational	• Acting as a motivator, the chatbot offers positive feedback, such as encouragement and praise, to boost students' motivation

교수자 에이전트 챗봇은 인간 교사의 역할을 하며, 학생의 학습 특성, 선호, 이력, 데이터 등을 바탕으로 학습 안내, 맞춤형 콘텐츠 추천, 즉각적 피드백 제공 등을 수행한다. 이러한 교수자 챗봇의 맞춤형·개별화 반응은 학생의 개념 이해와 학습 참여를 강화하는 효과가 있다(Coronado et al., 2018; Nguyen et al., 2019; Redondo-Hernández & Pérez-Marín, 2011). 동반자 에이전트 챗봇은 동료 역할을 하며, 학생의 질문과 요청에 따라 개념이나 용어 등에 대한 설명과 도움을 제공한다(Nguyen et al., 2022). 이러한 동반자 챗봇은 학생이 부담 없이 질문하고 도움을 요청하는 학습 환경을 조성하여(Essel et al., 2022), 학생의 학습 활력과 자율성을 높여주는 효과가 있다. 학습자 에이전트 챗봇은 학생이 직접 교수 활동을 하도록 유도하기 위해 학습자(피교육자) 역할을 한다. 챗봇을 가르치는 경험은 학생의 학습 동기를 촉진하고, 지식을 구조화하며, 반성적 사고와 자기 설명(self-explanation), 절차적 문제해결력 등을 강화할 수 있다(Law et al., 2020; Matsuda et al., 2013; Nguyen et al., 2022). 촉진자 에이전트 챗봇은 격려와 칭찬 같은 긍정적·감성적 피드백과 수용적인 학습 환경을 통해 동기를 부여하는 역할을 한다. 이러한 챗봇의 심리적 지원은 학생의 학습 지속과 몰입을 강화하는 효과가 있다(D'Mello et al., 2012). 이와 같이 챗봇은 이러한 역할들을 통해 맞춤형 학습 제공, 학습 지속력 강화, 메타인지 향상, 학습 동기 및 자기주도 학습 촉진 등의 교수학적 효과를 발휘할 수 있다(Kuhail et al., 2022).

한편, 챗봇의 디자인 원리(design principle)는 이러한 챗봇의 역할이 교육적으로 실효성 있게 구현되도록 하는 7가지 교육적·기능적 원리이다. 구체적으로, Table 3과 같이 개인화 학습(personalized learning), 경험적 학습(experiential learning), 협동 학습(collaborative learning), 역교수 학습(learning by teaching), 비계 설정(scaffolding), 정서 지원(affective support), 사회적 상호작용(social dialog) 원리가 있다(Kuhail et al., 2022).

개인화 학습은 학생 개인의 학습 성향, 이력, 성취도를 기반으로 맞춤형 학습 경로와 피드백을 제공하는 원리이다. 경험적

Table 3. Design principle of chatbots in educational contexts

Principle	Explanation
Personalized learning	• The chatbot supports personalized learning by providing customized learning paths or feedback
Experiential learning	• The chatbot encourages and offers opportunities for reflection on learning content and experiences
Collaborative learning	• The chatbot promotes and provides opportunities for discussion and collaboration among students through open-ended questions and quizzes
Learning by teaching	• The chatbot allows students to take on a teaching role by explaining concepts and content to the chatbot, which requests explanations or examples from a learner's perspective
Scaffolding	• The chatbot sets appropriate scaffolding to support student learning
Affective support	• The chatbot provides various types of emotional feedback to help maintain students' motivation and interest
Social dialog	• The chatbot offers opportunities for social interaction not only on academics but also regarding everyday life, future education, and career aspirations

학습은 학습 내용과 경험에 대한 반성적 사고를 유도하여 학습을 강화하는 방식이다. 협동 학습은 개방형 질문이나 퀴즈 등을 통해 학생들 간의 상호작용과 협력을 유도하여 토의나 토론 등의 공동 학습을 촉진하는 원리이며, 역교수 학습은 학생이 직접 챗봇을 가르치면서 자신의 지식을 구조화하고 설명하는 능력을 강화하는 방법이다. 비계 설정은 학생의 학습을 적절히 지원하는 학습 비계를 제공하고, 정서 지원은 다양한 감성적 피드백을 통해 학생의 학습 동기와 지속력을 높이는데 초점이 있다. 마지막으로, 사회적 상호작용은 챗봇을 통해 학업 외에도 일상, 유머, 진학 및 장래 희망 등을 주제로 하는 다양한 사회적 상호작용 기회를 제공하는 원리이다(Nguyen et al., 2022). 이러한 7가지 디자인 원리는 4가지 챗봇의 역할을 보다 의미 있게 구현하는 데 필요한 가이드라인을 제공한다. 예를 들어, 비계 설정과 정서 지원 원리가 적용된 동반자 챗봇은 문제 풀이에 관한 학생의 질문에 대하여, 직접적인 풀이 과정이나 정답을 제시하지 않고, 힌트와 지속적인 격려를 제공하여 학생 스스로 문제를 해결하도록 유도한다.

이와 같이 교육 맥락에서 챗봇의 역할과 디자인 원리는 다양하며, 이러한 역할과 원리는 수학 챗봇 연구에 나타난 챗봇의 역할, 기능, 적절성 및 한계 등을 폭넓게 분석할 수 있는 렌즈가 될 수 있다. 따라서 이러한 챗봇의 4가지 역할과 7가지 디자인 원리를 창으로 국내 수학 챗봇 연구를 살펴봄으로써, 연구 생태계의 챗봇 관련 연구적 공백을 이해하고 후속 연구를 위한 방향을 제시할 수 있다.

연구 방법

본 연구의 목적은 주제범위 문헌고찰을 통해 현재까지 수행된 국내 수학 챗봇 연구를 개관하고, 잠재된 중요한 개념을 도출하며, 연구적 공백을 기반으로 후속 연구를 위한 방향과 유의미한 연구 질문을 도출하는 것이다. 이에 따라 PRISMA-ScR (Tricco et al., 2018)을 기반으로 다음과 같은 과정에 따라 문헌을 선정하고 체계적으로 분석하여 주제범위 문헌고찰을 수행하였다.

1. 분석 대상

(1) 문헌 검색

본 연구의 분석 대상은 국내 수학 챗봇 연구 문헌이다. 이러한 문헌을 검색하고 추출하기 위해 다음과 같은 전략을 활용하였다. 2024년 7월 17일에 데이터베이스 한국연구정보서비스(Research Information Sharing Service, RISS)에서 {(‘수학’) AND (‘챗봇’ OR ‘인공지능 챗봇’ OR ‘AI 챗봇’ OR ‘챗지피티’ OR ‘챗GPT’ OR ‘ChatGPT’ OR ‘튜터’ OR ‘인공지능 튜터’ OR ‘AI 튜터’ OR ‘인공지능 교사’ OR ‘AI 교사’ OR ‘인공지능 보조교사’ OR ‘AI 보조교사’ OR ‘학습 시스템’ OR ‘튜터링 시스템’ OR ‘지능형 학습 시스템’ OR ‘지능형 튜터링 시스템’)}을 키워드로 입력하여 1990년 1월부터 2024년 7월 17일 사이에 출판된 원문이 존재하는 논문을 추출하였다.

특히, 특정한 연구 질문에 답하거나 여러 증거를 비교·통합하는 체계적 문헌 고찰과 다르게, 주제범위 문헌고찰은 연구의 광범위한 주제와 전반적인 범위를 파악하는데 목적이 있기에, 학술지 논문뿐만 아니라 보고서, 정책 문서, 학위 논문 등 다양한

형태의 회색 문헌(gray literature)도 포함한다(Munn et al., 2018; Trisco et al., 2018), 이러한 점에서 주제범위 문헌고찰을 수행하는 본 연구도 학술지 논문뿐만 아니라 학위 논문도 분석 대상으로 포함하였다. 이에 따라 학술지 논문과 학위 논문으로 구성된 57편의 1차 후보 논문을 추출하였다. 챗봇 관련 보고서와 정책 문서는 검색 엔진(예. 구글, 퍼플렉시티)과 눈덩이 표집(snow balling) 문헌 탐색 방법을 활용하였으나 챗봇을 중점적으로 다루는 문헌은 찾아보기 어려웠다.

(2) 문헌 선정

본 연구의 목적에 부합하는 수학 챗봇 논문을 선정하기 위해, 1차 포함·배제 기준을 바탕으로 1차 후보 논문의 제목, 키워드, 초록을 검토하였다. 구체적으로, 배제 기준을 우선 적용하여 중복 논문, 국외 논문, 수학 교과와 관련 없는 논문을 제외하였다. 이어서 포함 기준을 적용하여 챗봇, 인공지능 튜터, 인공지능 교사, 인공지능 보조교사, 학습 시스템, 튜터링 시스템을 다루는 논문만 추출하여 2차 후보 논문 24편을 추출하였다. 이어서 2차 포함·배제 기준을 바탕으로 2차 후보 논문의 본문을 검토하였다. 포함 기준에 따라, 챗봇과 챗봇 형태의 인공지능 교사(튜터)를 핵심 주제로 하는 논문을 포함하였다. 배제 기준을 적용하여, 초·중·고·대학교 교육과 관련 없는 논문과 학습(튜터링) 시스템을 주제로 하지만, 챗봇은 매우 적게 부수적으로 다루는 논문을 제외하였다. 이를 통해 최종적으로 19편의 논문(KCI 학술 논문 14, 학위 논문 5)을 최종 분석 대상으로 추출하였다. Figure 1은 문헌 검색부터 최종 선정까지의 과정을 요약한다. 특히, 이러한 문헌 검토 및 선정 과정은 연구자들이 개별적으로 수행한 후 최종적인 교차 검토 및 논의 과정을 통해 완료하였다. 한편, 분석 대상으로 선정된 논문의 제목, 저자, 출판 연도 및 학술지명과 같은 자세한 정보는 부록에 포함하였다.

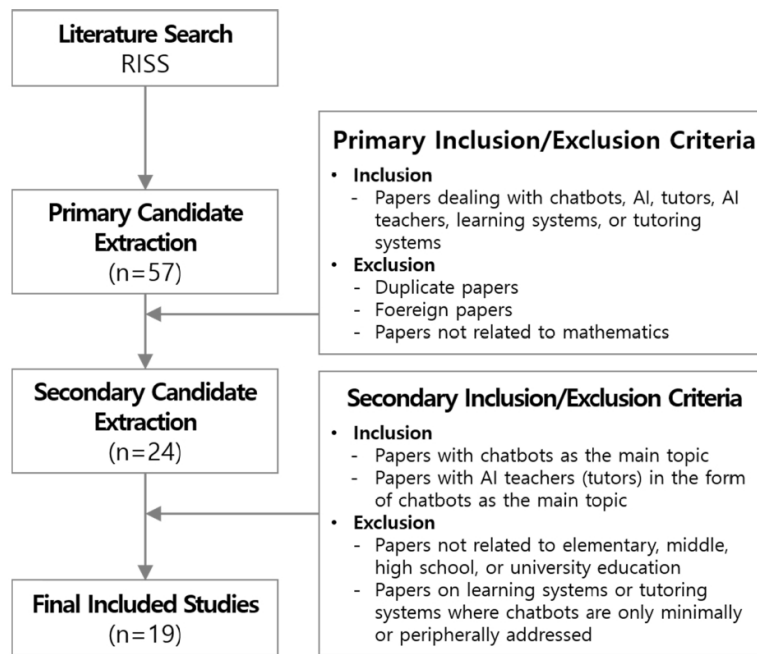


Figure 1. Literature search and selection process.

2. 분석 방법

(1) 분석틀

본 연구는 국내 수학 챗봇 관련 연구에 나타난 연구 주제와 유형(RQ1), 수학 내용과 선정 기준(RQ2), 연구 방법(RQ3), 챗봇 역할과 디자인 원리 및 챗봇 기술(RQ4), 교사와 학생의 역할(RQ5)과 같은 5가지 측면에서 주제범위 문헌고찰을 보다 체계적으로 수행하기 위해 다음과 같은 분석틀을 활용하였다.

챗봇 연구의 ‘주제와 유형(RQ1)’을 분석할 때, 유형은 Table 1과 같이 탐구 연구, 개발 연구, 활용 연구, 복합 연구로 분류하였고, 주제는 국외 복합 연구에서 확인된 인공지능과 융합 내용을 고려하여, 수학 주제, 인공지능 주제, 융합 주제로 분류하였다.

‘수학 내용과 선정 기준(RQ2)’에서 수학 내용은 2015 개정 수학과 교육과정의 ‘영역’과 ‘내용 요소’를 기준으로 분류하였다 (Ministry of Education, 2015). 내용 선정 기준은 연구들에 나타난 선정 기준과 과정을 근거 이론의 개방 코딩 방법(open coding)을 활용하여 범주화하고 분류하였다(Strauss & Corbin, 1990).

‘연구 방법(RQ3)’은 Table 4와 같은 수학교육 연구 방법 틀을 이용하여 분류하였다(Song et al, 2013). 연구 방법은 문헌연구, 양적연구, 질적연구, 혼합연구로 분류하였다. 각 방법의 하위 기준으로는 문헌연구는 비평·종합·검토연구와 분석연구로, 양적연구는 조사연구와 실험연구로, 질적연구는 사례연구, 수업개발연구 및 수업실천연구로, 혼합연구는 양적-질적 혼합연구와 교육과정 개발연구로 분류하였다.

‘챗봇의 역할과 디자인 원리 및 챗봇 기술(RQ4)’에서 챗봇의 역할은 Table 2와 같이 교수자, 동반자, 학습자, 동기부여 에이전트로 분류하였고, 디자인 원리는 Table 3과 같이 개인화 학습, 경험적 학습, 협동 학습, 역교수 학습, 비계 설정, 정서 지원, 사회적 상호작용 원리로 분류하였다. 챗봇 기술은 인공지능을 개발, 배포, 운영하는 기술과 방법론의 모음인 MLOps(Machine Learning Operations)을 참고하여(Shah et al., 2024), 개발 스택(development stack)과 운영 스택(operations stack)으로 구분하였다. 개발 스택은 챗봇 개발에 필요한 기술 모음이며, 챗봇 빌더(bulider)²⁾, 기계학습, 데이터 구축 등이 포함될 수 있다(Shah et al., 2024). 운영 스택은 챗봇 활용과 성능 강화, 배포에 필요한 기술 모음으로, 애플리케이션 프로그래밍 인터페이스(Application Programming Interface, API), 프롬프트 엔지니어링(prompt engineering) 등이 포함될 수 있다(Park et al., 2024).

마지막으로 ‘교사와 학생의 역할(RQ5)’은 개방 코딩을 통해 공통점과 차이점을 중심으로 범주화하여 분류하였다(Strauss & Corbin, 1990).

Table 4. Mathematics education research methods (Song et al., 2013)

Method	Sub	Explanation
Literature review	Review research	• Literature analysis, critique, synthesis, and review research based on prior studies in related fields
	Analytical research	• Mathematical, philosophical, epistemological, historical, psychological, linguistic, educational, and pedagogical analyses based on existing disciplinary content or methodological frameworks
Quantitative research	Survey research	• Research on data, conditions, or current status using surveys, checklists, etc.
	Experimental research	• Experimental studies analyzing group differences, pre-and-post time series, cross-sectional, and longitudinal data through statistical analysis of test scores
Qualitative research	Case study	• Research on individuals, classes, or cultures through interviews, observations, and surveys
	Instructional development research	• Research on instructional development through teaching experiments, interviews, and surveys to apply localized or domain-specific instructional theories
	Instructional action research	• Critical and practical instructional research through the analysis of documents, observations, and interviews, or data from teachers, students, and classroom environments
Mixed-method research	Mixed-method research	• Quantitative and qualitative mixed-method research using an analytical framework and small group case studies to categorize levels or types of thinking
	Curriculum development research	• Development of curricula, resources, and models through a mix of literature and instructional practices aimed at forming instructional theories

(2) 분석 과정

본 연구에서는 Table 5와 같이 연구자들이 총 2차례에 걸친 코딩 과정과 교차 검토를 통해 분석 대상 논문을 체계적으로 분석하였다. 구체적으로 살펴보면 다음과 같다. 첫째, 기본 서지정보, 챗봇 연구의 유형과 주제(RQ1), 수학 내용과 선정 기준(RQ2), 연구 방법(RQ3), 챗봇 역할과 디자인 원리(RQ4), 교사와 학생의 역할(RQ5)에 대한 코딩 시트(Coding Sheet)를 구축하였다. 둘째, 연구자들이 5개의 문헌에 대하여 분석틀을 바탕으로 개별 코딩을 수행하였다. 이어서 교차 검토를 통해 코딩(의견) 차이를 검토 및 조율하고, 코딩 전략과 연구자들의 관점을 조정하였다. 셋째, 연구자들이 조정된 코딩 전략을 바탕으로

19개 문헌에 대한 개별 코딩을 수행한 후, 코딩(의견) 차이를 논의하고 조율하여 코딩을 완료하였다.

한편, 수학 내용 선정 기준(RQ2)과 교사와 학생의 역할(RQ5)과 같이 오픈 코딩을 수행한 과정도 동일하게 2차례의 교차 검토를 진행하였다. 또한, 수학 내용(RQ2)을 코딩할 때, 한 논문에서 여러 개의 내용 요소가 등장할 경우 각각을 1번으로 계수하여 코딩하였다. 예를 들어, ‘비와 비율’, ‘비례식과 비례배분’ 단원을 다룬 논문의 수학 내용은 각각을 1번으로 코딩하였다 (Kang, 2024b). 마찬가지로 챗봇의 역할과 디자인 원리(RQ4)와 교사와 학생의 역할(RQ5)을 코딩할 때도, 한 논문에서 여러 가지 챗봇 역할과 디자인 원리, 교사와 학생의 역할이 나타날 경우 각각을 1번으로 계수하여 코딩하였다.

Table 5. Analysis process

Process	Explanation	Number of studies	Period
1st coding	• Perform individual coding	5	7.15.-7.17.
1st cross-review	• Cross-review of individual coding results and confirmation of agreement level • Review, discuss, and reconcile coding differences • Revise and refine coding strategies	5	7.18.-7.21.
2nd coding	• Perform individual coding	19	7.22.-8. 4.
2nd cross-review	• Cross-review of individual coding results and confirmation of agreement level • Review, discuss, and reconcile coding differences	19	8. 5.-8. 9.

연구 결과

1. 국내 수학 챗봇 연구의 주제와 유형

국내 수학 챗봇 연구의 주제와 유형에 대한 양적 분포는 Table 6과 같다. 연구 주제 면에서는 수학뿐만 아니라 인공지능과 융합을 주제로 한 연구도 일부 나타났다. 연구 유형 면에서는 개발·활용·복합 연구와 같은 실증 연구가 다수 등장하였으나, 이론적 토대를 마련하는 탐구 연구도 일부 출현하였다. 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

Table 6. Themes and types of domestic research on math chatbots

Type	Theme			N
	Math	AI	Convergence	
Exploratory research	3			3
Development research	1			1
Implementation research	8	1		9
Integrated research				
Teacher-centered	4			4
Student-centered		1	1	2
Total	16	2	1	19

연구 주제로는 수학(16)뿐만 아니라 인공지능(2)과 융합(1)을 주제로 한 연구도 일부 출현했다(괄호 안은 빈도). 예를 들어, 인공지능 리터러시 함양을 위해 학생이 수학 챗봇을 개발하도록 한 연구(Go et al., 2024)와 학생이 자유 주제로 챗봇을 개발하는 과정에서 다양한 도메인 지식을 탐구하도록 한 연구(Ryu & Ko, 2023)³⁾ 등이 대표적이다. 이와 같은 연구들은 비록 많지는 않지만, 연구 생태계 내에서 인공지능과 융합을 중심으로 한 간학문적 논의가 시작되고 있음을 보여준다. 이러한 간학문적 논의는 최근 인공지능 리터러시와 융합적 소양을 강조하는 범국가적 교육 담론에 부합한다는 점에서 매우 중요하다(Ministry of Education, 2021; 2022; Long & Magerko, 2020; Song, 2023; Tadimalla, 2024). 따라서 연구 생태계 내에서 이러한 간학문적 논의가 더욱 활발해질 필요가 있으며, 이를 위해 후속 연구로서 인공지능과 융합을 주제로 다루는 연구가 충분히

확대될 필요가 있다.

연구 유형으로는 탐구 연구(3), 개발 연구(1), 활용 연구(9) 및 복합 연구(6)가 모두 나타났다. 탐구 연구(Choi, 2022; Kim et al., 2024)와 같이 이론적 토대를 마련하는 연구는 실증 연구의 기반이 되는 이론적·해석적 틀을 제공하고, 개발(Kim et al., 2022)·활용(Kim, 2024a)·복합 연구(Go et al., 2024)와 같은 실증 연구는 이론의 검증과 논의의 심화에 기여한다(Creswell & Creswell, 2018). 이러한 점에서 4가지 연구 유형이 모두 출현한 것은 연구 생태계 내에서 연구적 체계가 형성되기 시작했음을 보여준다. 다만, 현재는 개발·활용·복합 연구 같은 실증 연구에 비해 탐구 연구가 다소 적은 편이므로, 후속 연구로는 이론적 기반을 공고히 할 수 있는 탐구 연구에 연구적 자원을 충분히 할당할 필요가 있다.

이와 같이 국내 수학 챗봇 연구 생태계는 역사는 짧지만, 여러 연구 주제와 유형을 아우르고 있었다. 이를 통해 연구 생태계 내에서 간학문적 논의와 연구적 체계가 형성되기 시작했음을 확인하였다. 이러한 간학문적 논의가 계속 확산되고, 연구적 체계가 더욱 공고해질 수 있도록, 후속 연구에서는 현재 다소 적은 편에 속하는 인공지능과 융합을 주제로 한 연구와 탐구 연구에 연구적 자원을 충분히 할당할 필요가 있다. 이를 통해 연구 생태계는 더욱 간학문적이고 체계적인 연구 생태계로 계속해서 성장할 수 있을 것이다.

2. 국내 수학 챗봇 연구의 수학 내용과 선정 기준

(1) 국내 수학 챗봇 연구의 수학 내용

국내 수학 챗봇 연구의 수학 내용에 대한 영역별, 학교급별 양적 분포는 각각 Table 7, 8과 같다. 영역별로는 수와 연산(9)과 확률과 통계(9) 내용을 비교적 많이 다루었고, 문자와 식(2), 함수(2), 기하(1) 내용도 일부 다루고 있었다. 또한, 인공지능 수학(3)과 기타(1)로서 수리논리(Ahn et al., 2023)도 다루고 있었다. 학년별로는 초등학교(13)와 고등학교(10) 내용이 많이 다루어졌고, 중학교(4) 내용도 일부 다루어졌다.

Table 7. Mathematics areas and content elements

Areas	Content elements	N
Number and operations	Numbers up to four digits (2), addition and subtraction within two-digit numbers (3), addition and subtraction of three-digit numbers (1), time and clocks (1), fractions (1), addition and subtraction of fractions (1)	9 27
Algebraic expressions	Linear equations (1), linear inequalities and systems of linear equations (1)	2
Functions	Ratio and proportion (1), proportional equations and proportional division (1)	2
Probability and statistics	Data organization and interpretation (1), probability and its basic properties (1), permutations and combinations (2), binomial theorem (1), meaning and application of probability (1), conditional probability (1), probability distribution (1), statistical estimation (1)	9
Geometry	Plane figures and their components (1)	1
AI mathematics	Flowcharts (1), text data representation (1), text data analysis (1)	3
Others	Mathematical logic (1)	1

Table 8. School levels

School level	Elementary	Middle	High	Total
N	13	4	10	27

이처럼 국내 수학 챗봇 연구 생태계는 짧은 역사에도 불구하고, 비교적 다양한 영역과 학교급에 걸쳐 여러 가지 수학 내용을 다루고 있었다. 다만, 내용 면에서는 문자와 식, 함수, 기하 영역의 연구가 다소 부족한 면이 있었고, 학교급 면에서는 중학교급 연구가 많지는 않은 편이었다. 따라서 후속 연구로서 이러한 문자와 식, 함수, 기하 영역과 중학교급의 연구가 충분히 확대될 필요가 있다.

또한, 이러한 연구 확대가 원활하게 수행될 수 있도록, 챗봇의 성능 개선에 대한 연구도 활발히 진행되어야 한다. 현재 챗봇은 복잡한 수식이나 도형, 그래프를 처리하는 데 있어서 다소 제한이 있으며(Dahal et al., 2023; Lee & Kim, 2024), 때때로 이러한 처리를 위해서 외부 도구나 API (올프람 알파, 파이썬 등)를 연계해야 하는 비효율성을 수반하기도 한다. 이러한 제한과

비효율성은 연구가 확대되는 데 방해가 될 수 있다. 따라서 문자와 식, 함수, 기하 영역에서의 연구가 원활히 수행될 수 있도록, 연구 생태계 내에서 챗봇의 성능 개선에 대한 고민과 논의도 확대되어야 한다.

(2) 국내 수학 챗봇 연구의 수학 내용 선정 기준

국내 수학 챗봇 연구에 나타난 수학 내용 선정 기준은 Table 9와 같다. 이러한 기준은 챗봇이 교육적 측면과 기술적 측면에서 상대적으로 더 큰 효과를 발휘할 수 있는 수학 내용을 선정하는 데 도움을 주고 있었다. 다시 말해, 챗봇 활용이 더 적합한 수학 내용이 무엇인지에 대한 유용한 가이드를 제공하였다. 이러한 점에서 후속 연구는 계속해서 내용 선정 기준에 대한 탐구와 논의를 확대할 필요가 있다. 연구 주제별 내용 선정 기준을 살펴보면 다음과 같다.

Table 9. Criteria for selecting mathematical content in domestic research on math chatbot

Theme	Content selection criteria	Description	Example
Math	High-difficulty content	Select challenging mathematical content	Ahn et al. (2023)
	High-frequency error content	Select mathematical content prone to frequent errors	Kang (2024a)
	Content beneficial for personalized learning	Select mathematical content where student achievement levels vary widely	Kim (2024a)
	Content suitable for chatbot technology	Select mathematical content where chatbots can work effectively	Jeong (2024)
AI	Content necessary for AI technology implementation	Select mathematical content required to understand and code specific AI technologies	Kim (2024b)
	Content suitable for AI chatbot training	Select mathematical content that is easily processed and converted into training data for AI chatbots	Go et al. (2024)

수학을 주제로 할 때, 선정 기준은 ‘고난도 내용’, ‘고빈도 오류 내용’, ‘맞춤형 학습이 유용한 내용’, ‘챗봇 기술에 적합한 내용’ 4가지로 나타났다. ‘고난도 내용’은 챗봇 지원의 효과가 상대적으로 높을 수 있는 어려운 수학 내용을 선정하는 데 중점을 둔다 (Ahn et al., 2023). ‘고빈도 오류 내용’은 개념이나 절차 오류가 발생하기 쉬운 수학 내용을 선정하여 챗봇을 도입하는 데 초점이 있다 (Kang, 2024a). ‘맞춤형 학습이 유용한 내용’은 학생 간 성취 수준이 다양하여, 챗봇을 통한 맞춤형 학습의 효과가 상대적으로 더 클 수 있는 수학 내용을 선정하도록 한다 (Kim, 2024a). ‘챗봇 기술에 적합한 내용’은 챗봇이 상대적으로 더 높은 성능을 발휘·유지할 수 있는 수학 내용을 선정하도록 한다 (Jeong, 2024). 예를 들어, 챗봇의 인식률이 낮은 기하 내용 대신 입출력 처리 성능이 높은 문자와 식 내용을 선정하는 사례가 대표적이다 (Kim, 2024a).

인공지능을 주제로 할 때, 선정 기준은 ‘AI 기술 구현에 필요한 내용’, ‘AI 챗봇 훈련에 적합한 내용’ 2가지로 나타났다. ‘AI 기술 구현에 필요한 내용’은 학생이 특정 인공지능 기술을 이해하고 코딩하는 데 필요한 수학 내용을 선정하는 데 초점이 있다. 예를 들어, 인공지능 텍스트 분석 프로그램을 코딩하도록 한 연구에서는 인공지능 텍스트 분석에 핵심이 되는 벡터와 유사도 개념을 수학 내용으로 선정하였다 (Kim, 2024b). ‘AI 챗봇 훈련에 적합한 내용’은 학생이 인공지능 수학 챗봇을 개발할 때, 챗봇 훈련 데이터로 가공 및 전환하기 쉬운 수학 내용을 선정하도록 한다. 대표적으로, 학생이 수학 챗봇을 개발하는 연구에서는 비교적 문제 풀이 절차가 단계적이고 명확하여 챗봇 훈련 데이터로 전환하기 쉬운 순열과 조합 단원을 수학 내용으로 선정하였다 (Go et al., 2024).

이와 같이 6가지 내용 선정 기준은 챗봇의 효과가 교육적·기술적 측면에서 상대적으로 높을 것으로 예상되는 수학 내용을 선정하는 데 도움을 주고 있었다. 이는 연구 생태계 내에서 챗봇의 효과를 극대화하기 위한 고민과 논의가 시작되고 있음을 보여준다. 이러한 논의는 교육 기술이 그에 적합한 학습 내용에 도입될 때, 최대의 효과를 발휘할 수 있다는 연구 결과에 부합한다는 점에서 중요하다 (Alam & Mohanty, 2023). 따라서, 연구 생태계 내에서 이러한 논의가 확산할 수 있도록, 후속 연구에서는 계속해서 내용 선정 기준에 대한 탐구가 확대될 필요가 있다.

3. 국내 수학 챗봇 연구의 연구 방법

국내 수학 챗봇 연구에 사용된 연구 방법에 대한 양적 분포는 Table 10과 같다. 문헌 연구에서부터 혼합 연구에 이르기까지

다양한 연구 방법이 활용되었다. 구체적으로, 문헌 연구가 2번, 양적 연구가 8번, 질적 연구가 5번, 혼합 연구가 4번 수행되었다. 하위기준에 따르면, 문헌 연구로는 비평 · 종합 · 검토 연구가 2번 진행되었다. 양적 연구로는 조사 연구가 6번, 실험 연구가 2번 실시되었고. 질적 연구는 사례 연구가 2번, 수업 개발연구가 2번, 수업실천 연구가 1번 수행되었다. 혼합 연구로는 양적 · 질적 혼합 연구가 3번, 교육과정 개발 연구가 1번 나타났다.

Table 10. Research methods in domestic research on math chatbot

Method	Sub-method	N	
Literature review	Review research	2	2
	Analytical research		
Quantitative research	Survey research	6	8
	Experimental research	2	
Qualitative research	Case study	2	5
	Instructional development research	2	
	Instructional action research	1	
Mixed-method research	Mixed-method research	3	4
	Curriculum development research	1	
Total			19

이처럼 국내 수학 챗봇 연구는 문헌 연구부터 혼합 연구까지 다양한 연구 방법이 사용되었다. 이는 짧은 역사 속에서도 연구 생태계 내에서 다양한 방법론적 접근을 시도해 왔음을 보여준다. 다만, 양적(Ryu & Ko, 2023) · 질적(Son, 2023) · 혼합 연구(Kim, 2024a)와 같은 실증 연구에 비해 문헌 연구(Choi, 2022; Kim et al., 2024) 가 다소 적은 편이었다. 특히, 문헌 연구 중 분석 연구는 한 차례도 나타나지 않았다. 문헌 연구는 이론적 토대를 마련하여 실증 연구를 뒷받침하고(Giles & Harrison, 2023; Grant & Osanloo, 2014), 초기 단계의 연구 생태계가 안정적으로 발전하는데 기여한다. 이러한 점에서 후속 연구로는 이론적 기반을 공고히 할 수 있는 문헌 연구에 연구적 자원을 충분히 할당할 필요가 있다.

4. 국내 수학 챗봇 연구에 나타난 챗봇의 역할과 디자인 원리 및 챗봇 기술

(1) 국내 수학 챗봇 연구에 나타난 챗봇의 역할과 디자인 원리

국내 챗봇 연구에 나타난 챗봇의 역할과 디자인 원리의 양적 분포는 각각 Table 11, 12와 같다. 챗봇의 역할로는 동반자 에 이전트가 가장 많이 나타났고, 디자인 원리로는 정보 제공 원리가 가장 많이 나타났다. 그러나 연구 방법 측면에서 문헌 연구와 실증 연구(양적, 질적, 혼합)로 나누어 살펴보면, 챗봇의 역할과 디자인 원리에 대한 이론적 접근과 실제적 구현 사이에 미묘한 차이를 발견할 수 있다.

Table 11. Roles of chatbots

Category	Teaching	Peer	Teachable	Motivational	Object of inquiry	Total
Literature review	3	2		1		6
Empirical research	3	15	1	3	2	24
Total	6	17	1	4	2	30

Table 12. Design principles of chatbots

Category	Personalized learning	Experiential learning	Collaborative learning	Reverse teaching	Scaffolding	Emotional support	Social interaction	Information provision	Total
Literature review	3	1			2	1	1		8
Empirical research	3	1		1	3	4	3	12	27
Total	6	2		1	5	5	4	12	35

우선 전체적으로 살펴보면, 챗봇의 역할로는 동반자(17), 교수자(6), 촉진자(4), 학습자(1) 역할이 모두 나타났고, 추가적으로 챗봇 자체가 학습 대상이 되는 탐구 대상(2) 역할이 출현하였다. 챗봇 디자인 원리로는 개인화 학습(6), 비계 설정(5), 정서 지원(5), 사회적 상호작용(4), 경험적 학습(2), 역교수 학습(1) 원리가 나타났고, 협동 학습 원리는 나타나지 않았으며, 추가적으로 단순한 질의응답 기능에 해당하는 정보 제공 원리(12)가 등장하였다. 이처럼 전체적으로 챗봇의 역할로는 동반자 에이전트가 가장 많이 나타났고, 디자인 원리로는 정보 제공 원리가 가장 많이 나타났다.

그러나 문헌 연구와 실증 연구로 나누어 살펴보면, 챗봇의 역할과 디자인 원리에 대한 이론적 접근과 실제적 구현 사이에 미묘한 차이를 발견할 수 있다. 문헌 연구에서는 챗봇의 역할로 교수자(3) 역할이 가장 큰 비중(50.0%)을 차지하고 있는 반면에, 실증 연구에서는 동반자(15) 역할의 비중이 가장 크고(62.5%) 교수자(3) 역할의 비중은 상대적으로 작게 나타났다(12.5%). 또한, 문헌 연구에서는 디자인 원리로 개인화 학습(3)의 비중이 가장 크고(37.5%) 정보 제공 원리(0)는 나타나지 않지만, 실증 연구에서는 정보 제공(12)의 비중이 가장 크고(44.4%), 개인화 학습(3)은 상대적으로 낮았다(11.1%).

이처럼 문헌 연구에서는 챗봇이 적극적으로 학생의 학습을 안내하고 맞춤화하는 교수자 역할과 개인화 학습 원리를 매우 중요하게 다루고 있다. 반면에 실증 연구에서 챗봇은 주로 학생이 요청했을 때만 응답하고 도움을 주는 동료 역할과 정보 제공 원리를 따르고 있었다. 다시 말해, 이론적으로는 맞춤형 교수자 챗봇을 지향하고 있지만, 실제적으로는 수동적 질의응답 챗봇이 많이 나타나고 있다.

연구 생태계 내에서 나타난 이러한 간극은 챗봇에 대한 이론적 지향과 현장에서의 실제적 구현 간의 괴리를 보여준다. 후속 연구에서는 이러한 간극이 이론적 지향과 기술적 제약 사이에서 발생한 것인지 혹은 다른 원인에서 비롯된 것인지를 살펴보고, 이론과 실제 사이의 간극을 줄이기 위해 노력할 필요가 있다.

(2) 국내 챗봇 관련 수학교육 연구에 나타난 챗봇 관련 기술

국내 수학 챗봇 연구에 나타난 챗봇 관련 기술은 Table 13과 같이 개발 스택과 운영 스택으로 나뉘었다. 이러한 개발 스택과 운영 스택에는 다양한 챗봇 빌더, 기술 솔루션⁴⁾, 훈련·평가 데이터가 포함되었다. 이를 통해 챗봇 기반 교수·학습에서 기술에 대한 이해와 이를 다루는 역량의 중요성을 확인하였다. 각 스택 별로 살펴보면 다음과 같다.

Table 13. Chatbot technologies in domestic research on math chatbot

Category	Development stack	Operations stack
Builder	<ul style="list-style-type: none"> Integrated development environment Commercial builders: Kakao i Open Builder, Danbee Ai Commercial chatbot builders: GPTs, Wrtn, SNU Chatbot 	
Technical solution	<ul style="list-style-type: none"> Programming languages: Python, JavaScript Machine learning: Graph2Tree, Doc2Vec Rule-based learning: Rule-Based Algorithm Fine-tuning 	<ul style="list-style-type: none"> Programming language: Python Markup language: LaTeX Prompt engineering Scientific computing platform: Wolfram Alpha
Data	<ul style="list-style-type: none"> (Problem, solution) pair training data (Error, prompt) pair training data (Question, answer) pair training data⁵⁾ 	<ul style="list-style-type: none"> (Problem, solution) pair evaluation data
Platform	<ul style="list-style-type: none"> Web, mobile, tablet PC, desktop PC 	<ul style="list-style-type: none"> Web, mobile, tablet PC, desktop PC

개발 스택을 살펴보면, 챗봇 빌더로는 통합 개발 환경⁶⁾, 상용 빌더, 상용 챗봇 빌더가 사용되었고, 빌더에 따라 선택할 수 있는 기술 솔루션과 데이터가 나뉘었다. 통합 개발 환경에서는 기술 솔루션으로 파이썬과 기계학습 모델을 통해 챗봇을 구축하고, 훈련 데이터(train data)를 이용하여 챗봇을 학습시켰다. 상용 빌더는 복잡한 코딩 없이 챗봇을 구축할 수 있는 플랫폼이며, '카카오 i 오픈 빌더'와 '단비AI'가 활용되었다. 이러한 빌더에서는 주로 규칙 기반 알고리즘(rule-based algorithm)을 이용해 챗봇을 개발하였다. 상용 챗봇 빌더는 상용화된 챗봇의 맞춤화(customization) 기능을 이용하는 방법이며, GPTs, Wrtn, SNU 챗봇이 활용되었다. 이러한 빌더에서는 기술 솔루션으로 미세조정(fine-tuning)을 활용하여 상용 챗봇을 맞춤화하였다. 실행 환경으로는 웹, 모바일, 태블릿 PC, 데스크톱 PC가 사용되었다.

운영 스택을 살펴보면, 상용 챗봇(예. ChatGPT, AskUp)의 활용과 성능을 강화하기 위해, 기술 솔루션으로 파이썬, 레이

텍(LaTeX), 프롬프트 엔지니어링, 울프람 알파(Wolfram Alpha)등이 사용되었고, 강화된 성능을 평가하기 위해 평가 데이터(evaluation data)가 활용되었다. 실행 환경은 웹, 모바일, 태블릿 PC, 데스크톱 PC로 나타났다.

이와 같이 수학 챗봇 연구에 나타난 기술은 소프트웨어와 하드웨어를 아우르며 매우 다양하게 나타났다. 이는 챗봇 기반 수학 교수·학습에서 교사와 학생의 기술적 이해와 활용 역량의 중요성을 강조한다(Amballoor & Naik, 2024). 또한, 교육 현장에서 이러한 기술을 공급하는 자들에 대한 의존도 증가와 이에 따른 기술 공급자의 영향력 확대에 대한 가능성을 보여준다(UNESCO, 2023).

5. 국내 수학 챗봇 연구에 나타난 교사와 학생의 역할

(1) 교사의 역할과 교수 활동

국내 수학 챗봇 연구에 나타난 교사의 역할에 대한 양적 분포는 Table 14와 같다. 교수·학습 과정에서 교사는 챗봇이 교수자, 동반자 등의 역할을 함에 따라, 챗봇에게 교수 역할 중 일부를 맡기게 되었다. 그 결과, 교사-챗봇 간의 새로운 협력 관계가 나타났고(Engeström, 1999), 교사의 역할도 챗봇 개발자(Kang et al., 2023), 챗봇 조정자(Cho, 2023), 챗봇 협력자(Yoon et al., 2023), 학습 설계자(Ryu & Ko, 2023), 학습 촉진자(Jeong, 2023), AI·윤리 관리감독자(Go et al., 2024; Yoon, 2023)와 같은 학습 관리자(curator) 역할로 전환되었다. 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

Table 14. Teacher's role and instructional activities

Role	Instructional activities	N
Pre-lesson		
Learning designer	<ul style="list-style-type: none"> • Design learner-centered lessons, including chatbot-based projects, coding, and AI • Develop tasks, activities, questions, and instructional strategies in collaboration with the chatbot • Establish evaluation criteria for chatbot-based lessons and prepare prompts 	14
Chatbot developer	<ul style="list-style-type: none"> • Develop chatbot algorithms, architecture, pipelines, and databases 	5
Chatbot tuner	<ul style="list-style-type: none"> • Tune and prepare chatbots through fine-tuning, prompt adjustments, and algorithm modifications • Prepare hardware, software, internet access, and user accounts 	11
During lesson		
Chatbot collaborator	<ul style="list-style-type: none"> • Monitor student progress and status through chatbot-student interactions and outputs, providing feedback and prompts 	7
Learning facilitator	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitate student activities and interactions between students and between students and the chatbot through brainstorming, scaffolding, creating a collaborative atmosphere, emotional support, and mentoring 	7
AI·Chatbot ethics supervisor	<ul style="list-style-type: none"> • Educate on AI and chatbot ethics, including data distortion, bias, privacy, copyright, and limitations • Monitor and make decisions on chatbot outputs 	3

수업 전 교사는 활용할 챗봇을 개발 및 튜닝(tuning)하고, 프로젝트, 코딩 등과 같이 챗봇의 교육적 장점을 활용할 수 있는 수업을 설계하였다. 이 과정에서 챗봇과 상호작용하며 과제나 발문을 개발하기도 하였다. 수업 중에는 챗봇과 학생의 대화 및 산출물을 모니터링하며 학생의 성취 수준과 상황을 파악하였고, 이를 바탕으로 피드백을 주거나 오개념을 지도하였다. 또한, 학생-챗봇, 학생-학생 간의 활동을 촉진하기 위해 브레인스토밍, 비계 설정, 협력적 분위기 조성 등을 수행하였다. 더불어 교사는 챗봇을 활용할 때 발생할 수 있는 데이터 왜곡과 편향, 저작권 문제, 개인정보 침해와 같은 AI·챗봇 윤리에 대해서 교육하고, 챗봇의 출력물이 윤리적 문제를 초래하지 않는지도 관리 감독하게 되었다.

이와 같이 국내 수학 챗봇 연구에 나타난 교사의 역할은 다양하였다. 이를 통해 연구 생태계 내에서 챗봇을 효과적·안정적으로 활용하기 위한 여러 가지 교사 역할이 나타나고 있음을 알 수 있었다. 다만, 현재까지는 AI·챗봇 윤리 관리감독자 역할을 다룬 연구는 비교적 많지 않은 편이다. 챗봇 같은 인공지능 도구는 항상 윤리적 위험성을 내포하고 있다(European Commission, 2021). 이러한 점에서 윤리적 문제를 교육하고 예방하며 모니터링하는 AI·챗봇 윤리 관리감독자 역할을 다루는 후속 연구가 충분히 확대될 필요가 있다. 또한, 수업 전과 수업 중뿐만 아니라 수업 후 교사의 역할과 교수 활동이 무엇인지

를 탐구하는 후속 연구도 필요하다.

(2) 학생의 역할과 학습 활동

국내 수학 챗봇 연구에 나타난 학생의 역할에 대한 양적 분포는 Table 15와 같다. 교수·학습 과정에서 학생은 챗봇이 교수자, 동반자, 탐구 대상 등의 역할을 함에 따라 챗봇과의 상호작용에 참여하게 되었다. 그 결과, 학생-챗봇 간의 새로운 협력 관계가 나타났고(Engeström, 1999), 학생의 역할도 챗봇 개발자(Go et al., 2024), 챗봇 활용 지식 구성자(Cho, 2023), 챗봇 기반 문제해결자(Kim, 2024b), AI·챗봇 윤리 준수자(Go et al., 2024; Yoon, 2023) 역할로 전환되었다. 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

Table 15. Student's role and learning activities

Role	Learning activities	N
Chatbot developer	• Programming activities for chatbot development, such as coding, debugging, and prompt engineering	5
Knowledge constructor with chatbot	• Knowledge construction through interaction with the chatbot • Self-directed learning, self-monitoring, experimenting, and querying the chatbot	12
Collaborative problem solver with chatbot	• Problem-solving activities through interaction with the chatbot • Exploration, understanding, planning, execution, and reflection through interplay with the chatbot • Self-directed learning, self-monitoring, reviewing chatbot solutions, and error analysis	13
AI·chatbot ethics adherent	• Learning and adhering to AI and chatbot ethics • Learning about and complying with AI and chatbot ethics, such as data distortion, bias, privacy, copyright, and limitations	3

챗봇이 탐구 대상 역할을 하는 인공지능과 융합 주제 수업에서, 학생은 코딩, 프로그래밍, 디버깅, 프롬프트 엔지니어링 등을 통해 챗봇을 개발하는 학습 활동에 참여하였다. 한편, 챗봇이 교수자, 동반자 역할을 하는 수학 주제 수업에서, 학생은 챗봇과 협력하여 개념 학습과 문제해결 활동에 참여하였다. 특히, 이러한 과정에서 학생은 보다 자기 주도적으로 학습할 수 있었고, 챗봇과의 대화를 돌아보며 반성할 기회를 얻었으며, 챗봇의 풀이 과정이나 오류를 검토하기도 하였다. 또한, 전반적으로 질문하기 활동이 활성화되었는데, 이는 챗봇의 즉각성과 교사에게 질문하기 어려워하는 학생도 챗봇에는 쉽게 질문할 수 있었기 때문이었다(Essel et al., 2022).

이와 같이 국내 수학 챗봇 연구에 나타난 학생의 역할과 학습 활동은 다양하였다. 이를 통해 연구 생태계 내에서 학생들이 다양한 방식과 활동을 통해 학습에 참여하고 있음을 알 수 있었다. 또한, 챗봇을 통해 새로운 학습 태도와 습관도 형성되고 있었다. 한편, 현재까지는 AI·챗봇 윤리 준수자 역할을 다룬 연구는 비교적 많지 않은 실정이다. 챗봇 같은 인공지능을 다룰 때는 그 윤리적 위험성과 문제를 이해하는 것이 중요하다(European Commission, 2021). 이러한 점에서 윤리적 문제를 학습하고 실천하는 AI·챗봇 윤리 준수자 역할을 다루는 후속 연구가 충분히 확대될 필요가 있다. 또한, 수업 중뿐만 아니라 수업 전과 후에 학생의 역할과 학습 활동에 대한 연구도 필요하다.

결론 및 제언

1. 국내 수학 챗봇 연구의 현황과 성장 잠재력 및 후속 연구

국내 수학 챗봇 연구는 역사는 짧지만 여러 가지 연구 주제와 유형(RQ1), 수학 내용과 선정 기준(RQ2), 연구 방법(RQ3)을 아우르고 있었다. 이를 통해 국내 수학 챗봇 연구의 현황과 성장 잠재력을 확인할 수 있었고, 이를 바탕으로 후속 연구의 방향성을 도출할 수 있었다. 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

연구 주제로는 수학과 더불어 인공지능과 융합을 주제로 한 연구도 일부 나타났다. 이를 통해 연구 생태계 내에서 인공지능과 융합을 중심으로 하는 간학문적 논의가 시작되고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 논의는 최근 인공지능 리터러시와 융합적 소양을 중요하게 다루는 범국가적 교육 담론과 결을 같이한다는 점에서 매우 중요하다(Ministry of Education, 2021; 2022; Long & Magerko, 2020; Song, 2023; Tadimalla, 2024). 따라서 연구 생태계 내에서 이러한 간학문적 논의가 더욱

활발해질 필요가 있으며, 이를 위해 인공지능과 융합을 주제로 하는 후속 연구가 지속적으로 확대될 필요가 있다.

연구 유형으로는 탐구 연구, 개발 연구, 활용 연구 및 복합 연구가 모두 등장했다. 탐구 연구는 실증 연구를 위한 이론적 토대를 마련하며, 개발·활용·복합 연구 같은 실증 연구는 이론을 검증하고 논의를 심화하는 데 기여한다(Creswell & Creswell, 2018). 이러한 점에서 4가지 연구 유형이 모두 나타난 것은 연구 생태계 내에서 이론과 실체가 상보하는 연구적 체계가 형성되기 시작했음을 의미한다. 다만, 현재는 개발·활용·복합 연구와 같은 실증 연구에 비해 탐구 연구가 비교적 적은 편이고, 연구 생태계가 형성되는 단계에서는 탐구 연구와 같이 이론적 토대를 마련하는 연구가 특히 중요한 역할을 하므로(Giles & Harrison, 2023; Grant & Osanloo, 2014), 후속 연구로는 이러한 탐구 연구에 연구적 자원을 충분히 할당할 필요가 있다.

연구의 수학 내용으로는 수와 연산, 문자와 식, 함수, 확률과 통계, 기하, 인공지능 수학 내용과 기타 내용으로 수리논리가 다루어졌다. 또한, 학교급 별로는 초등학교, 중학교, 고등학교 내용이 다루어졌다. 이와 같이 연구 생태계는 짧은 역사 속에서도 다양한 영역과 학제에 걸쳐 여러 수학 내용을 다루고 있었다. 다만, 내용 측면에서는 문자와 식, 함수, 기하 영역의 연구가 다소 부족한 편이었고, 학제 측면에서는 중학교급 연구가 상대적으로 부족한 편이었다. 따라서, 후속 연구로서 문자와 식, 함수, 기하 영역에 대한 연구와 중학교 내용에 대한 연구를 충분히 확대할 필요가 있다. 특히, 기하 영역은 많은 학생이 어려움을 겪기도 하고 성취도 차이도 크게 나타나는데, 이러한 점에서 챗봇의 개별화·맞춤형 기능은 기하 영역에서 큰 효과를 발휘할 수 있다(Reusser, 2000). 한편, 문자와 식, 함수, 기하 영역에서 챗봇 연구가 원활히 수행되려면, 복잡한 수식이나 도형, 그래프 처리와 관련된 챗봇의 성능이 뒷받침되어야 한다. 현재 대부분의 챗봇은 이러한 면에서 기능적으로 다소 제한적이다. 이러한 제한은 때때로 학습에 있어 불편과 방해를 초래할 수 있으며(Sung, 2023), 이로 인해 연구적 확산에 방해가 될 수 있다. 따라서 연구 생태계 내에서 챗봇의 성능 개선을 위한 연구도 활발히 진행될 필요가 있다.

연구의 수학 내용 선정 기준으로는 수학을 주제로 할 때 4가지와 인공지능을 주제로 할 때 2가지로 총 6가지가 나타났다. 수학을 주제로 할 때, 선정 기준은 '고난도 내용', '고빈도 오류 내용', '맞춤형 학습이 유용한 내용', '챗봇 기술에 적합한 내용'으로 나타났다. 인공지능을 주제로 할 때, 선정 기준은 'AI 기술 구현에 필요한 내용', 'AI 챗봇 훈련에 적합한 내용'으로 나타났다. 이러한 내용 선정 기준은 연구 생태계 내에서 챗봇이 더 큰 효과를 발휘할 수 있는 내용을 선정하기 위한 고민과 논의가 시작되고 있음을 보여준다. 이러한 고민과 논의는 챗봇의 효과가 상대적으로 더 큰 영역이 있다는 연구 결과에 부합한다는 점에서 타당하고 중요하다(Wardat et al., 2023). 따라서, 연구 생태계 내에서 더욱 다양한 내용 선정 기준이 수립될 수 있도록, 후속 연구에서는 내용 선정 기준에 대한 탐구를 계속해서 활발히 수행할 필요가 있다.

연구 방법으로는 문헌 연구, 질적 연구, 양적 연구, 혼합 연구가 모두 활용되었다. 이를 통해 연구 생태계 내에서 다양한 연구적 접근이 나타나고 있음을 확인하였다. 다만, 양적·질적·혼합 연구와 같은 실증 연구에 비해 이론적 기반이 되는 문헌 연구가 비교적 적은 편이었다. 이러한 점에서 후속 연구에서는 이론적 토대를 견고하게 할 수 있는 문헌 연구에 충분한 연구적 자원을 할당할 필요가 있다.

이와 같이 국내 수학 챗봇 연구는 여러 가지 연구 주제와 유형, 수학 내용과 선정 기준, 연구 방법을 아우르며 성장 잠재력을 갖추고 있었다. 다만, 인공지능과 융합을 주제로 한 연구, 이론적 토대를 마련하는 탐구 연구와 문헌 연구, 문자와 식, 함수, 기하 영역의 연구와 중학교급 연구는 상대적으로 적은 편에 속했다. 따라서 후속 연구로는 이러한 연구에 연구적 자원을 충분히 할당할 필요가 있었다. 이러한 후속 연구를 통해 국내 수학 챗봇 연구는 한층 더 균형 있고 깊이 있게 발전할 것이며, 새로운 학문적 논의와 교육적 기회를 창출할 수 있을 것이다.

2. 챗봇의 역할과 디자인 원리에 관한 이론과 실제의 간극과 후속 연구

수학 챗봇 연구에 나타난 챗봇의 역할과 디자인 원리(RQ4)는 다양하였다. 챗봇의 역할로는 교수자, 동반자, 학습자, 촉진자, 탐구 대상 역할이 나타났다. 디자인 원리로는 개인화 학습, 경험적 학습, 역교수 학습, 비계 설정, 정서 지원, 사회적 상호작용, 정보 제공 원리가 나타났다.

그러나 문헌 연구와 실증 연구(양적, 질적, 혼합 연구)로 나누어 살펴보면, 챗봇의 역할과 디자인 원리에 대한 이론적 접근과 실제적 구현 사이에 미묘한 차이가 있었다. 문헌 연구에서는 챗봇이 학습을 안내하고 맞춤화하는 '교수자 역할'과 '개인화 학습 원리'를 매우 중요하게 다루고 있었다(Choi, 2022; Kim et al., 2024). 반면, 실증 연구에서 챗봇은 학생이 요청했을 때만 반응하고 도움을 주는 '동반자 역할'과 '정보 제공 원리'에 기반하고 있었다(Cho, 2023; Kim et al., 2022). 즉, 이론적으로는 맞춤형 교수자 챗봇을 지향하는 반면, 실제 현장에서는 수동형 질의응답 챗봇이 많이 나타나고 있었다. 이러한 이론과 실제 사이의 간극은 다음과 같은 2가지 후속 연구의 필요성을 시사한다.

첫째, 이러한 간극을 줄이기에 앞서, 이론적으로 지지받는 맞춤형 교수자 챗봇의 안전성에 대한 고민과 논의가 선행되어야

한다. 유럽 연합 인공지능 조항(EU AI Act)의 고위험 인공지능 분류 4단계에 따르면, 학습 결과를 평가하고 학습경로를 조정하는 인공지능은 3단계인 '고위험(High Risk)' 군에 속한다(European Commission, 2021)⁷⁾. 이는 챗봇이 알고리즘 오류나 편향된 데이터로 인해 학습경로를 잘못 조정하면, 학생의 교육 기회나 권리가 부당하게 제한될 수 있기 때문이다. 이러한 점에서 개별화 학습경로를 제공하는 맞춤형 교수자 챗봇의 안정성에 대한 고민과 논의가 선행될 필요가 있다. 특히, 챗봇이 생산한 결과물을 비판적으로 해석할 수 있는 디지털 리터러시의 중요성을 강조할 필요가 있으며(Kazanidis & Pellas, 2024), 챗봇 알고리즘의 투명성 같은 개발 기준도 수립될 필요가 있다(Xue et al., 2023).

둘째, 이러한 안전장치 아래서 이론적 지향과 실제적 구현 사이의 간극을 줄이기 위한 후속 연구가 필요하다. 특히, 후속 연구에서는 이론적으로 지향하는 맞춤형 교수자 챗봇을 현재 기술로 어느 수준까지 구현할 수 있는지에 대한 전문적 논의와 해당 수준까지 개발할 수 있는 기술 솔루션이 갖추어져야 한다. 현재 연구 생태계에 나타난 챗봇 기술 개발 스택과 운영 스택은 다양하였지만, 맞춤형 교수자 챗봇을 구현할 수 있을 정도의 기술은 찾아보기 어려운 실정이었다. 따라서, 전문적 논의를 통해 적절한 합의점을 찾고 필요한 기술 솔루션을 마련할 필요가 있다. 이러한 조건이 유기적으로 갖춰질 때, 이론과 실제 사이의 간극을 효과적으로 메울 수 있을 것이다.

3. 국내 수학 챗봇 연구에 나타난 교사와 학생의 역할과 후속 연구

국내 수학 챗봇 연구에 나타난 교사와 학생의 역할(RQ5)은 다양하였다. 챗봇이 도입됨에 따라 교사는 챗봇 개발자, 챗봇 조정자, 챗봇 협력자, 학습 설계자, 학습 촉진자, AI·챗봇 윤리 관리감독자 역할을 수행하였다. 학생은 챗봇 개발자, 챗봇 활용 지식 구성자, 챗봇 협력 문제해결자, AI·챗봇 윤리 준수자 역할을 담당하였다. 이와 같이 연구 생태계 내에서는 다양한 교사와 학생의 역할이 나타나고 있었다. 한편, 이러한 연구 결과로부터 다음과 같은 4가지 후속 연구의 필요성을 확인하였다.

첫째, 교사의 AI·챗봇 윤리 관리감독자 역할과 학생의 AI·챗봇 윤리 준수자 역할을 다루는 후속 연구를 충분히 확대할 필요가 있다. 챗봇 같은 인공지능은 데이터 왜곡과 편향, 개인정보, 저작권 등과 같은 윤리적 위험성을 항상 내포하고 있다(European Commission, 2021). 이러한 점에서 윤리적 문제를 교육하고 관리하는 교사의 AI·챗봇 윤리 관리감독자 역할과 이를 배우고 준수하는 학생의 AI·챗봇 윤리 준수자 역할이 매우 중요하다. 그러나 현재까지는 다른 역할에 비해 이러한 역할을 다루는 연구는 다소 부족한 실정이다. 따라서 교사의 AI·챗봇 윤리 관리감독자 역할과 학생의 AI·챗봇 윤리 준수자 역할을 다루는 후속 연구가 충분히 확대될 필요가 있다.

둘째, 챗봇이 통합된 교수·학습 환경에서 교사의 의사결정 과정에 대한 연구가 필요하다. 교사의 역할은 챗봇의 도입과 함께 챗봇을 개발하고 관리할 뿐만 아니라 챗봇과 협력하는 역할로 확대되었다. 이러한 역할 확대는 교사가 교수·학습 과정에서 의사결정을 내려야 하는 상황도 확대됨을 의미한다. 구체적으로, 수업 전에 교사는 챗봇 개발자이자 조정자로서 학생 질문에 정답을 제공하는 챗봇(e.g., Kim et al, 2022)과 힌트를 제공하는 챗봇(e.g., Kang et al., 2023; Cho, 2023) 중 무엇이 학생에게 적절하고 효과적인지를 결정할 수 있어야 한다. 또한, 수업 중에 교사는 협력자이자 촉진자로서 학생과 챗봇이 상호작용하는 과정에서 교육적으로 중요한 순간과 허위 학습 효과(False Learning Effect, FLE)⁸⁾에 주목하고 반응할 수 있어야 한다. 또한, 챗봇이 생산하는 수학적 오류나 잘못된 응답을 주목하고 적절히 대응할 수 있어야 한다(Lee & Kim, 2024). 이는 교사에게 챗봇에 의한 교육적 기회와 허위 학습 효과를 주목하는 능력(noticing)과 챗봇이 범한 수학적 오류를 속아내는 전문내용지식(specialized content knowledge, SCK)이 필요함을 강조한다. 이러한 점에서 챗봇이 통합된 교육 환경에서 교사의 의사결정과 관련된 주목하기와 전문내용지식에 관한 연구가 필요하다.

셋째, 챗봇이 학생의 사고에 미치는 영향을 탐구하는 연구가 필요하다. 챗봇은 인간의 생각을 정제하고 의사결정에 영향을 미칠 수 있다(Kim & Suh, 2024; Kissinger et al., 2021). 이는 수학 교실에서 챗봇을 사용하는 학생의 사고과정과 메타인지가 본질적으로 변화할 수 있음을 시사한다(Annuš, 2023; Luckin & Holmes, 2016). 이러한 변화는 문제해결력 강화와 같은 긍정적인 효과로 나타날 수도 있지만, 챗봇 과의존에 따른 인지력·창의력 저하와 같은 부정적 효과를 낳을 수도 있다(Dergaa et al., 2024; Guandalini, 2022; Lee & Kim, 2024; Rudolph et al., 2024). 이러한 측면에서 수학 챗봇이 더욱 안정적으로 실효성 있게 활용되려면, 챗봇이 학생의 사고에 미치는 긍정적인 영향과 부정적인 영향에 대해 심도 있게 이해하는 것이 중요하다. 이러한 점에서 챗봇이 수학교육에 통합되었을 때 나타나는 학생 사고의 변화에 관한 후속 연구가 필요하다.

넷째, 챗봇 기반의 수업 후 교사와 학생의 역할과 활동이 무엇인지 탐구하는 연구가 필요하다. 챗봇과 같은 인공지능 기술이 도입된 교실에서는 다양한 데이터가 생산되기 때문에, 수업 후에도 유의미한 교수학적 활동을 수행할 수 있다. 예를 들어, 교사는 윤리적 허용 범위 내에서 학생과 챗봇의 상호작용을 바탕으로 학생의 성취를 분석하고, 개별적 피드백을 제공할 수 있다. 학생은 챗봇과의 상호작용 과정을 살펴봄으로써, 학습 내용을 효과적으로 복습하고 반성할 수 있다. 그러나 국내 수학 챗봇 연구

생태계 내에서 수업 후 교사와 학생의 역할과 활동에 대해서는 찾아보기 어려웠다. 따라서 챗봇 기반 수업 후 교사와 학생의 역할과 활동을 탐구하는 후속 연구가 수행될 필요가 있다.

4. 국내 수학 챗봇 연구에 대한 체계적 문헌고찰 후속 연구

주제범위 문헌고찰의 목적 중 하나는 연구 주제, 범위, 유형, 개념, 증거, 사례 등을 포괄적으로 수집하고 이를 바탕으로 후속 연구로서의 체계적 문헌 고찰을 위한 구체적인 방향과 연구 질문을 도출하는 것이다(Munn, 2018). 향후 국내 수학 챗봇 연구가 빠르게 성장하여 다양한 연구 결과물이 축적될 것으로 기대되므로, 체계적 문헌 고찰을 위해 다음과 같은 제언을 제시한다.

첫째, 챗봇이 교육적 효과를 발휘하지 못한 사례와 그 원인 및 맥락을 집중적으로 비교분석 하면서, 이를 체계적으로 정리하는 문헌 고찰 연구가 필요하다. 본 주제범위 문헌고찰에서는 챗봇이 교육적으로 유의미한 효과를 발휘하지 못하는 사례가 일부 출현하였다. 예를 들어, 챗봇의 출력력이 주로 텍스트이기 때문에, 문해력이 낮은 학생에게 챗봇이 큰 도움이 되지 않는 경우가 있었다(Kim, 2024a). 현재는 이처럼 챗봇이 교육적 효과를 발휘하지 못하는 상황과 그 원인에 대해 체계적으로 고찰을 할 만큼의 관련 문헌이 축적되지는 않은 것으로 보인다. 그러나 향후 관련 문헌이 충분히 축적되었을 때 이러한 체계적 문헌 고찰을 수행한다면, 수학 교육에서 챗봇을 더욱 안정적으로 통합할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것이다.

둘째, 개인화 학습을 지원하는 챗봇의 효과와 한계에 대해 집중적으로 정리하는 문헌 고찰 연구가 필요하다. 본 주제범위 문헌고찰에서 개인화 학습을 지원하는 챗봇은 학습경로 제공과 맞춤형 피드백 등에서 강점을 보였지만, 일부 사례에서는 학생들이 챗봇과의 상호작용에서 충분한 지원을 받지 못하였다. 예를 들어, 몇몇 학생에게는 챗봇의 적응적 설명이 충분한 도움이 되지 못하였다(Kang, 2024a). 이러한 한계가 발생하는 구체적인 상황이나 조건을 종합적으로 비교분석 하여 그 맥락을 도출하고, 이를 바탕으로 챗봇의 개인화 기능을 강화할 수 있는 방안을 모색하는 체계적 문헌 고찰 연구가 필요하다.

셋째, 국내외 연구에 나타난 챗봇의 수학적 효과에 대해 체계적으로 비교분석하는 문헌 고찰 연구가 필요하다. 이러한 과정을 통해 해외 연구의 우수 사례를 국내 맥락에 맞게 변환하여 적용할 수 있다. 또한, 국내외 비교를 통해 챗봇의 수학적 효과에 대한 신뢰성과 일반화 가능성을 제고할 수 있다.

본 연구는 국내 수학 챗봇 연구를 대상으로 주제범위 문헌고찰을 수행하였다. 이를 통해 연구 생태계에 나타난 주제와 핵심 개념, 그리고 지식의 공백을 조사하였고, 이를 바탕으로 후속 연구의 방향성을 도출하였다. 이러한 결과가 국내 수학 챗봇 연구의 발전과 2025년 도입될 인공지능 챗봇을 탑재한 AI 디지털교과서의 활용에 중요한 시사점과 기반을 마련하기를 기대한다. 한편, 본 연구는 주제범위 문헌고찰의 특성상 국내 수학 챗봇 연구에 대해 포괄적으로 탐색하였기 때문에, 각 연구에 나타난 챗봇의 교수학적 효과를 비교하지는 않는다는 제한점이 있다.

Endnote

- ¹⁾본 연구에서 상용 챗봇이라는 표현은 교육적 혹은 일반적 용도로 이미 개발 및 보급된 챗봇을 의미.
- ²⁾챗봇 빌더(builder): 챗봇을 설계하고 개발할 수 있는 도구나 플랫폼.
- ³⁾학생들은 이 연구에서 ‘중고등학교 수학 공식 모음’, ‘신재생 에너지’, ‘유전자 조작 식품’, ‘컴퓨터 부품 비교’, ‘녹색 건축과의 만남’ 등 33개의 서로 다른 주제의 챗봇을 개발.
- ⁴⁾기술 솔루션(technical solution): 특정 목적을 달성하기 위한 기술 기반 도구, 시스템, 소프트웨어 및 방법론.
- ⁵⁾수학 개념 및 지식, 수학 학습법, 수학사, 실생활의 연관성, 수학의 유용성과 관련된 질문과 답변.
- ⁶⁾Integrated Development Environment (IDE): 코딩, 디버깅, 컴파일, 배포 등 프로그램 개발에 필요한 작업을 하나의 프로그램 안에서 처리하는 환경(예. Jupyter Notebook).
- ⁷⁾인공지능 위험 4단계: 허용 불가능한 위험(Unacceptable risk), 고위험(High risk), 제한된 위험(Limited risk), 최소 위험(Minimal risk).
- ⁸⁾학생과 챗봇의 상호작용과 산출물이 학생의 학습을 촉진하지 못하고 있으나, 촉진하는 것처럼 보이게 하는 효과(예. 문제풀이 과정에서 챗봇이 주로 수학 문제를 해결했으나, 학생과 챗봇이 협력해서 문제를 해결한 것처럼 보이는 경우).

ORCID

Gima Lee: <https://orcid.org/0000-0003-3488-6295>

Hee-jeong Kim: <https://orcid.org/0000-0003-4558-7936>

Conflict of Interest

The authors declare that they have no competing interests.

References

- AbuShawar, B., & Atwell, E. (2015). ALICE chatbot: Trials and outputs. *Computación y Sistemas*, 19(4), 625–632. <https://doi.org/10.13053/CyS-19-4-2326>
- Adamopoulou, E., & Moussiades, L. (2020). Chatbots: History, technology, and applications. *Machine Learning with Applications*, 2, 100006. <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2020.100006>
- Ahn, D., Son, T., & Lee, K. (2023). ChatGPT as a scaffolding tool: Evaluating the impact on elementary students' mathematical logic problem-solving skills. *Brain, Digital, & Learning*, 13(2), 183–196. <https://doi.org/10.31216/BDL.20230011>
- Amballoor, R. G., & Naik, S. B. (2024). Digital technologies and education for sustainable development. In R. Sharma, A. Shishodia, & A. Gupta (Eds.), *Fostering sustainable development in the age of technologies* (pp. 225–237). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/978-1-83753-060-120231016>
- Annamalai, N., Eltahir, M. E., Zyoud, S. H., Soundrarajan, D., Zakarneh, B., & Al Salhi, N. R. (2023). Exploring English language learning via chatbot: A case study from a self-determination theory perspective. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5, 100148. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100148>
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology*, 8(1), 19–32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Baylor, A. L. (2011). The design of motivational agents and avatars. *Educational Technology Research and Development*, 59(2), 291–300. <https://doi.org/10.1007/s11423-011-9196-3>
- Campbell, F., Tricco, A. C., Munn, Z., Pollock, D., Saran, A., Sutton, A., White, H., & Khalil, H. (2023). Mapping reviews, scoping reviews, and evidence and gap maps (EGMs): The same but different—the “Big Picture” review family. *Systematic Reviews*, 12, 45. <https://doi.org/10.1186/s13643-023-02224-2>
- Cheng, L., Croteau, E., Baral, S., Heffernan, C., & Heffernan, N. (2024). Facilitating student learning with a chatbot in an online math learning platform. *Journal of Educational Computing Research*, 62(4), 907–937. <https://doi.org/10.1177/07356331241226592>
- Cho, S. (2023). *Field application study of a Q&A chatbot for middle school mathematics learning* [Master's thesis, Seoul National University].
- Choi, I. (2022). Exploring teaching and learning methods using artificial intelligence (AI) in mathematics classrooms: Focusing on developing scenarios for the middle school statistics unit. *Journal of the Korean School Mathematics Society*, 25(2), 149–174. <https://doi.org/10.30807/ksms.2022.25.2.003>
- Clarizia, F., Colace, F., Lombardi, M., Pascale, F., & Santaniello, D. (2018). Chatbot: An education support system for student. In A. Castiglione, K.-K. R. Choo, F. Palmieri, & K.-C. Li (Eds.), *Cyber security and privacy* (pp. 291–302). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01689-0_23
- Coronado, M., Iglesias, C. A., Carrera, Á., & Mardomingo, A. (2018). A cognitive assistant for learning Java featuring social dialogue. *International Journal of Human-Computer Studies*, 117, 55–67. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2018.02.004>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Dahal, N., Lamichhane, B. R., Luitel, B. C., & Pant, B. P. (2023). AI chatbots as math algorithm problem solvers: A critical evaluation of its capabilities and limitations. In W.-C. Yang, M. Majewski, D. Meade, & W. K. Ho (Eds.), *Proceedings of the 28th Asian Technology Conference in Mathematics* (pp. 429–438). Mathematics and Technology, LLC.
- Daud, S. H. M., Teo, N. H. I., & Mat Zain, N. H. (2020). e-JAVA chatbot for learning programming language: A post-pandemic alternative virtual tutor. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(7), 3290–3298. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/67872020>
- Dergaa, I., Ben Saad, H., Glenn, J. M., Amamou, B., Ben Aissa, M., Guelmami, N., Fekih-Romdhane, F., & Chamari, K. (2024). From tools to threats: A reflection on the impact of artificial-intelligence chatbots on cognitive health. *Frontiers in Psychology*, 15, 1259845. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1259845>

- D'Mello, S. K., & Graesser, A. C. (2012). Autotutor and affective autotutor: Learning by talking with cognitively and emotionally intelligent computers that talk back. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 2(4), 1–39. <https://doi.org/10.1145/2395123.2395127>
- Drushlyak, M., Lukashova, T., Sabadosh, Y., Melnikov, I., & Semenikhina, O. (2024). Using ChatGPT for the development of critical thinking in youth: Example of inequality proof. In *Proceedings of the 47th MIPRO International Convention* (pp. 334–339). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MIPRO60963.2024.10569759>
- Engeström, Y. (1999). Activity theory and individual and social transformation. In Y. Engeström, R. Miettinen, & R.-L. Punamäki (Eds.), *Perspectives on activity theory* (pp. 19–38). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511812774.003>
- Essel, H. B., Vlachopoulos, D., & Baah, P. K. (2022). The impact of a virtual teaching assistant (chatbot) on students' learning in Ghanaian higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 19, 57. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00362-6>
- European Commission. (2021). *Proposal for a regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) and amending certain Union legislative acts*. COM(2021) 206 final. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021PC0206>
- Faqih, M. I., Adriyani, Z., & Listiyani, L. R. (2022). Advanced chatbot development to improve student literacy and numeracy skills. *Phenomenon: Jurnal Pendidikan MIPA*, 12(2), 206–215. <https://doi.org/10.2088-7868>
- Gandhi, S., & Patel, C. (2023). Survey: Unconventional categories of chatbots that make use of machine learning techniques. *Journal of Information Technology and Digital World*, 5(3), 310–328. <https://doi.org/10.36548/jitdw.2023.3.006>
- Giles, E. L., & Harrison, S. L. (2023). Reflecting on the importance of theory-informed qualitative research in people with chronic respiratory disease and their carers. *Chronic Respiratory Disease*, 20, 1–2. <https://doi.org/10.1177/14799731231185128>
- Gill, S. S., Xu, M., Patros, P., Wu, H., Kaur, R., Kaur, K., Fuller, S., Singh, M., Arora, P., Parlikad, A. K., Stankovski, V., Abraham, A., Ghosh, S. K., Lutfiyya, H., Kanhere, S. S., Bahsoon, R., Rana, O., Dustdar, S., Sakellariou, R., Uhlig, S., & Buyya, R. (2024). Transformative effects of ChatGPT on modern education: Emerging era of AI chatbots. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 4, 19–23. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.06.002>
- Go, B., Lim, C., & Shin, B. (2024). Development of a math-AI convergence instructional model using a generative AI chatbot. *Journal of Educational Technology*, 40(1), 1–40. <http://dx.doi.org/10.17232/KSET.40.1.1>
- Grant, C., & Osanloo, A. (2014). Understanding, selecting, and integrating a theoretical framework in dissertation research: Creating the blueprint for your “house.” *Education, Practice, and Research*, 4(2), 12–26. <https://doi.org/10.5929/2014.4.2.9>
- Gandalini, I. (2022). Sustainability through digital transformation: A systematic literature review for research guidance. *Journal of Business Research*, 148, 456–471. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2022.05.003>
- Guo, K., & Li, D. (2024). Understanding EFL students' use of self-made AI chatbots as personalized writing assistance: A mixed methods study. *System*, 124, 103362. <https://doi.org/10.1016/j.system.2024.103362>
- Harfield, S. G., Davy, C., McArthur, A., Munn, Z., Brown, A., & Brown, N. (2018). Characteristics of Indigenous primary health care service delivery models: A systematic scoping review. *Globalization and Health*, 14(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s12992-018-0332-2>
- Jeong, Y. (2024). *The effects of AI chatbot-based math instruction on elementary students' academic achievement and interest in mathematics* [Master's thesis, Gwangju National University of Education].
- Kabiljagić, M., Wachtler, J., Koschutnig-Ebner, M., & Ebner, M. (2022). Math trainer as a chatbot via system (push) messages for Android. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 16(17), 75–87. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i17.33351>
- Kaczorowska-Spychalska, D. (2019). How chatbots influence marketing. *Management*, 23(1), 251–270. <https://doi.org/10.2478/manment-2019-0015>
- Kang, B. S. (2024a). *Adaptive chatbot questioning strategies for mathematics learning* [Master's thesis, Seoul National University].
- Kang, B., Yoo, Y., & Jo, S. (2023). Design and application of a Q&A chatbot for middle school mathematics learning. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 23(17), 771–787. <https://doi.org/10.22251/jlcci.2023.23.17.771>
- Kang, Y. J. (2024b). A study on the didactical application of Chatgpt for mathematical word problem solving. *Communications of Mathematical Education*, 38(1), 49–67. <https://doi.org/10.7468/jksmee.2024.38.1.49>
- Kazanidis, I., & Pellas, N. (2024). Harnessing generative artificial intelligence for digital literacy innovation: A comparative study between early childhood education and computer science undergraduates. *AI*, 5(3), 1427–1445. <https://doi.org/10.3390/ai5030068>
- Kim, D. J., & Suh, S. W. (2024). *Chatbot 2025*. Smart books.
- Kim, D. K., Lee, N. Y., Sim, H. W., & Koo, M. W. (2022). A Graph2Tree model for solving Korean math word problems. *Journal of KIISE*, 49(10), 807–815. <https://doi.org/10.5626/JOK.2022.49.10.807>
- Kim, E. J. (2024a). *The impact of AI-based learning support tools on middle school students' attitudes toward math and mathematical self-efficacy* [Master's thesis, Chonnam National University].
- Kim, H. S. (2024b). *Development of AI-based instructional materials for mathematics education using ChatGPT* [Master's

- thesis, Ajou University].
- Kim, M. R., Jung, K. Y., & Noh, J. (2024). A study on the development of collaborative AI mathematics teachers based on classroom activities. *East Asian Mathematical Journal*, 35(4), 509–528. <http://dx.doi.org/10.7858/eamj.2019.040>
- Kissinger, H. A., Schmidt, E., & Huttenlocher, D. (2021). *The age of AI: And our human future*. Little, Brown and Company.
- Kooli, C. (2023). Chatbots in education and research: A critical examination of ethical implications and solutions. *Sustainability*, 15(7), 5614. <https://doi.org/10.3390/su15075614>
- Kuhail, M. A., Alturki, N., Alramlawi, S., & Alhejori, K. (2023). Interacting with educational chatbots: A systematic review. *Education and Information Technologies*, 28(1), 973–1018. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11177-3>
- Kumar, R., & Rosé, C. P. (2011). Architecture for building conversational agents that support collaborative learning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 4(1), 21–34. <https://doi.org/10.1109/TLT.2010.41>
- Laksana, F. S. W., & Fiangga, S. (2022). The development of web-based chatbot as a mathematics learning media on system of linear equations in three variables. *MATHEdunesa*, 11(1), 145–154. <https://doi.org/10.26740/mathedunesa.v11n1.p145-154>
- Law, E., Baghaei Ravari, P., Chhibber, N., Kulic, D., Lin, S., Pantasdo, K. D., Ceha, J., Suh, S., & Dillen, N. (2020). Curiosity notebook: A platform for learning by teaching conversational agents. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1–9). ACM. <https://doi.org/10.1145/3334480.3382783>
- Lee, G. M., & Kim, H. J. (2024). Exploring the potential of ChatGPT in mathematics education: Analyzing mathematical performance and errors through a multimodal approach. *Journal of the Korean School Mathematics Society*, 27(3), 363–392.
- Long, D., & Magerko, B. (2020). What is AI literacy? Competencies and design considerations. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–16. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376727>
- Mai, T. P., Rajić, A., Greig, J. D., Sargeant, J. M., Papadopoulos, A., & McEwen, S. A. (2014). A scoping review of scoping reviews: Advancing the approach and enhancing the consistency. *Research Synthesis Methods*, 5(4), 371–385. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1123>
- Matsuda, N., Yarzebinski, E., Keiser, V., Raizada, R., Cohen, W. W., Stylianides, G. J., & Koedinger, K. R. (2013). Cognitive anatomy of tutor learning: Lessons learned with SimStudent. *Journal of Educational Psychology*, 105(4), 1152–1163. <https://doi.org/10.1037/a0031955>
- Melo, J. N. B., do Canto Filho, A. B., & de Lima, J. V. (2020). The homework in the math discipline mediated by virtual assistant-chatbot. *Revista Eletrônica de Educação Matemática – REVEMAT*, 15(1), 1–20. <https://doi.org/10.5007/1981-1322.2020.e58129>
- Ministry of Education (2015). *Mathematics curriculum*. Ministry of Education Notification No. 2015–74 [Supplement 8].
- Ministry of Education (2021). *The 2022 revised national curriculum (draft)*. Ministry of Education.
- Ministry of Education (2022). *2022 revised national curriculum: Mathematics curriculum*. Ministry of Education.
- Ministry of Education (2023). *Digital-based educational innovation plan*. Ministry of Education.
- Munn, Z., Peters, M. D. J., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC Medical Research Methodology*, 18(143). <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0611-x>
- Nguyen, H. D., Pham, V. T., Tran, D. A., & Le, T. T. (2019). Intelligent tutoring chatbot for solving mathematical problems in high-school. In *2019 5th International Conference on Information Technology and Multimedia (ICIMU)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i17.33351>
- Nguyen, T. H., Waizenegger, L., & Techatassanasoontorn, A. A. (2022). Don't neglect the user! Identifying types of human-chatbot interactions and their associated characteristics. *Information Systems Frontiers*, 24(3), 797–838. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10212-x>
- Oh, K. J., Lee, D., Ko, B., & Choi, H. J. (2017). A chatbot for psychiatric counseling in mental healthcare service based on emotional dialogue analysis and sentence generation. In *2017 18th IEEE international conference on mobile data management (MDM)* (pp. 371–375).
- OpenAI. (2024). *OpenAI o1 system card*. OpenAI.
- Park, C., Jiang, J., Wang, F., Paul, S., & Tang, J. (2024). LlamaDuo: LLMs pipeline for seamless migration from service LLMs to small-scale local LLMs. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2408.13467>
- Pearce, K., Alghowinem, S., & Breazeal, C. (2022). Build-a-Bot: Teaching conversational AI using a transformer-based intent recognition and question answering architecture. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2212.07542>
- Redondo-Hernández, A., & Pérez-Marín, D. (2011). A procedure to automatically adapt questions in student-pedagogic conversational agent dialogues. In L. Ardissono & T. Kuflik (Eds.), *UMAP 2011 Workshops, LNCS 7138* (pp. 122–134). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28509-7_13
- Reusser, K. (2000). Success and failure in school mathematics: Effects of instruction and school environment. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 9(S2), 1117–26. <https://core.ac.uk/display/159147779>
- Rodrigo, M. M. T., Baker, R. S. J. D., Agapito, J., Nabos, J., Repalam, M. C., Reyes Jr., S. S., & San Pedro, M. O. C. Z. (2012). The effects of an interactive software agent on student affective dynamics while using an intelligent tutoring system. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 3(2), 224–236. <https://doi.org/10.1109/T-AFFC.2011.41>

- Rudolph, J., Ismail, M. F., & Popenici, S. (2024). Higher education's generative artificial intelligence paradox: The meaning of chatbot mania. *Journal of University Teaching and Learning Practice*, 21(6). <https://doi.org/10.53761/54fs5e77>
- Ryu, H. J., & Ko, H. K. (2023). The effect of math project learning using chat-bots on artificial intelligence literacy. *East Asian Mathematical Journal*, 39(2), 229–250. <http://dx.doi.org/10.7858/eamj.2023.17>
- Shah, P. S. U., Ahmad, N., & Beg, M. O. (2024). Towards MLOps: A DevOps tools recommender system for machine learning systems. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.12867>
- Son, T. (2023). Exploring the potential of ChatGPT in mathematics education: Focusing on student outputs and pre-service teacher discourse regarding fraction problems. *Journal of Korea Society of Mathematical Education Series C: Education of Primary School Mathematics*, 26(2), 99–113. <https://doi.org/10.7468/jksmec.2023.26.2.99>
- Song, S. H., Pang, J. S., Yim, J. H., Kang, O. K., Kang, H. Y., Kyun, N. Y., Kim, N. H., Ryu, S. R., Park, M. K., Baek, S. Y., Song, M. Y., Yoon, J. H., Lee, Y. H., Jang, H. W., Jeong, Y. O., Choi, J. H., Choi, J. H., & Choi, J. Y. (2013). *Mathematical education research method*. Kyungmoon.
- Song, X. (2023). Innovative research on information literacy education in higher vocational colleges in the context of generative AI. *The Frontiers of Society, Science and Technology*, 5(15), 53–57. <https://doi.org/10.25236/FSST.2023.051510>
- Stöhr, C., Ou, A. W., & Malmström, H. (2024). Perceptions and usage of AI chatbots among students in higher education across genders, academic levels and fields of study. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100259. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100259>
- Strauss, A., & Corbin, J. (1990). *Basics of qualitative research: Grounded theory procedures and techniques*. Sage.
- Sung, J. H. (2023). Analysis of functions and applications of intelligent tutoring system for personalized adaptive learning in mathematics. *The Mathematical Education*, 62(3), 303–326. <https://doi.org/10.7468/mathedu.2023.62.3.303>
- Tadimalla, S. Y., & Maher, M. L. (2024). AI literacy for all: Adjustable interdisciplinary socio-technical curriculum. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2409.10552>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M. D. J., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E. A., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M. G., Garrity, C., Lewin, S., Godfrey, C. M., Macdonald, M. T., Langlois, E. V., Soares-Weiser, K., Moriarty, J., Clifford, T., Tunçalp, Ö., & Straus, S. E. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467–473. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K., Colquhoun, H., Kastner, M., Levac, D., Ng, C., Sharpe, J. P., Wilson, K., Kenney, M., Warren, R., Wilson, C., Stelfox, H. T., & Straus, S. E. (2016). A scoping review on the conduct and reporting of scoping reviews. *BMC Medical Research Methodology*, 16(15). <https://doi.org/10.1186/s12874-016-0116-4>
- UNESCO. (2023). *Global education monitoring report summary 2023: Technology in education: A tool on whose terms?* United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. <https://doi.org/10.54676/HABJ1624>
- 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). <https://doi.org/10.29333/ejmste/13272>
- Wollny, S., Schneider, J., Di Mitri, D., Weidlich, J., Rittberger, M., & Drachslar, H. (2021). Are we there yet? A systematic literature review on chatbots in education. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 4, 654924. <https://doi.org/10.3389/frai.2021.654924>
- Wood, D. A., Achhpilia, M. P., Adams, M. T., Aghazadeh, S., Akinyele, K., Akpan, M., Allee, K. D., Allen, A. M., Almer, E. D., Ames, D., Arity, V., Barr-Pulliam, D., Basoglu, K. A., Belnap, A., Bentley, J. W., Berg, T., Berglund, N. R., Berry, E., Bhandari, A., Bhuyan, M. N. H., ..., Zoet, E. (2023). The ChatGPT artificial intelligence chatbot: How well does it answer accounting assessment questions? *Issues in Accounting Education*, 38(4), 81–108. <https://doi.org/10.2308/issues-2023-013>
- Xue, J., Wang, Y.-C., Wei, C., Liu, X., Woo, J., & Kuo, C.-C. J. (2023). Bias and fairness in chatbots: An overview. *arXiv:2309.08836*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.08836>
- 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>

Appendix

The literature reviewed in this study

	Author	Title	Publication type (Journal)
1	Ahn, D. Y., Son, T. K., & Lee, G. H. (2023)	Chatgpt as a scaffolding tool: Evaluating the impact on elementary students' mathematical logic problem-solving skills	Journal Article (Brain, Digital, & Learning)
2	Cho, S. Y. (2023)	Field application study of Q&A chatbot for middle school mathematics learning	Master's Thesis
3	Chio, I. S. (2022)	Exploring teaching and learning methods using artificial intelligence (AI) in the mathematics classroom : Focusing on the development of middle school statistic scenarios	Journal Article (Journal of the Korean School Mathematics Society)
4	Go, B. K., Lim, C. L., & Shin, B. C. (2024)	Development of a math-AI convergence instructional model using a generative AI chatbot	Journal Article (Journal of Educational Technology)
5	Jeong, Y. J. (2024)	The impact of AI chatbot-based math classes on elementary school students' academic achievement and math interest	Master's Thesis
6	Kang, B. S. (2024)	Adaptive chatbot questioning strategies for mathematics learning	Master's Thesis
7	Kang, B. S., Yoo, Y. J., & Cho, S. Y. (2023)	Design and utilization of a Q&A chatbot for middle school math learning	Journal Article (Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction)
8	Kang, Y. J. (2024)	A study on the didactical application of Chatgpt for mathematical word problem solving	Journal Article (Journal of the Korean Society of Mathematical Education Series E: Communications of Mathematical Education)
9	Kim, D. G., Lee, N. Y., Sim, H. Y., & Koo, M. W. (2022)	A Graph2Tree model for solving Korean math word problems	Journal Article (Korean Institute of Information Scientists and Engineers)
10	Kim, E. J. (2024)	The effect of artificial intelligence-based learning support tools on attitudes and self-efficacy in math for middle school students	Master's Thesis
11	Kim, H. S. (2024)	A study on developing AI mathematics teaching and learning materials using Chatgpt	Master's Thesis
12	Kim, M. R., Jung, K. Y., & Noh, J. H. (2024)	Examining development of collaborative artificial intelligence in the context of classroom instruction	Journal Article (East Asian mathematical journal)
13	Kwon, O. N., Oh, S. J., Yoon, J. E., Lee, K. W., Shin, B. C., & Jung, W. (2023)	Analyzing mathematical performances of Chatgpt: Focusing on the solution of national assessment of educational achievement and the college scholastic ability test	Journal Article (Journal of the Korean Society of Mathematical Education Series E: Communications of Mathematical Education)
14	Lee, Y. J. (2023)	An analysis of pre-service teachers' mathematics lesson design using Chatgpt	Journal Article (Journal of the Korean Society of Mathematical Education Series E: Communications of Mathematical Education)
15	Oh, S. J. (2023)	Effective Chatgpt prompts in mathematical problem solving: Focusing on quadratic equations and quadratic functions	Journal Article (Journal of the Korean Society of Mathematical Education Series E: Communications of Mathematical Education)
16	Park, J. H., & Shin, N. M. (2017)	Students' perceptions of artificial intelligence technology and artificial intelligence teachers	Journal Article (The Journal of Korean Teacher Education)
17	Ryu, H. J., & Ko, H. K. (2023)	The effect of math project learning using chat-bot on artificial Intelligence literacy	Journal Article (East Asian mathematical journal)
18	Son, T. K. (2023)	Exploring the possibility of using Chatgpt in mathematics education: Focusing on student product and pre-service teachers' discourse related to fraction problems	Journal Article (Education of Primary School Mathematics)
19	Yoon, J. E., Park, S. M., & Kwon, O. N. (2023)	Chatgpt-flipped mathematics class case study: Focused on learners' engagement	Journal Article (Journal of Educational Technology)

국내 수학 챗봇 관련 연구에 대한 주제범위 문헌고찰: 신흥 학문분야 및 후속 연구 탐구

이기마¹, 김희정^{2*}

¹고려대학교 대학원생

²고려대학교 교수

*교신저자: 김희정(heejeongkim@korea.ac.kr)

초 록

본 연구는 국내에서 수행된 수학 챗봇 관련 연구 19편을 대상으로 주제범위 문헌고찰(scoping review) 연구를 수행하였다. 이를 통해 수학 챗봇 연구에 나타난 연구 주제와 유형, 수학 내용과 선정 기준, 연구 방법, 챗봇의 역할과 디자인 원리, 챗봇 관련 기술, 교사와 학생의 역할에 대하여 분석하였다. 이러한 분석을 통해 수학 챗봇 연구 생태계의 현황과 성장 잠재력을 확인하였고, 다음과 같은 후속연구의 방향성을 도출하였다. 첫째, '인공지능과 융합을 주제로 한 연구', '탐구 연구', '기하 영역 연구', '문헌 연구'를 충분히 확대해야 하는 필요성을 확인하였다. 둘째, 맞춤형 교수자 챗봇의 안전성에 대한 합의와 이러한 챗봇을 구현하기 위한 기술 솔루션을 마련하는 후속 연구가 필요하였다. 셋째, 교사의 AI·챗봇 윤리 관리감독자 역할과 학생의 AI·챗봇 윤리 준수자 역할에 대한 후속 연구가 확대될 필요가 있었다. 넷째, 챗봇이 통합된 교수·학습 환경에서 교사의 주목하기(noticing)와 전문내용지식(specialized content knowledge, SCK)에 대한 연구, 챗봇이 학생의 사고에 미치는 영향에 대한 연구를 충분히 확대할 필요가 있었다. 마지막으로 향후 챗봇 연구가 충분히 축적되었을 때 수행될 필요가 있는 체계적 문헌 고찰을 위한 연구 주제를 도출하였다. 본 연구는 이러한 분석을 통해 국내 수학 챗봇 연구 생태계가 계속해서 체계적으로 성장할 수 있도록 구체적인 방향성을 제시하였다.

주요어 챗봇, 수학 챗봇, 인공지능, 인공지능 교사, 주제범위 문헌고찰

