



A case study of elementary school mathematics-integrated classes based on AI Big Ideas for fostering AI thinking

Chohee Kim¹, Hyewon Chang^{2*}

¹Teacher, Seoul Gangdong Elementary School

²Professor, Seoul National University of Education

ABSTRACT

This study aims to design mathematics-integrated classes that cultivate artificial intelligence (AI) thinking and to analyze students' AI thinking within these classes. To do this, four classes were designed through the integration of the AI4K12 Initiative's AI Big Ideas with the 2015 revised elementary mathematics curriculum. Implementation of three classes took place with 5th and 6th grade elementary school students. Leveraging the computational thinking taxonomy and the AI thinking components, a comprehensive framework for analyzing of AI thinking was established. Using this framework, analysis of students' AI thinking during these classes was conducted based on classroom discourse and supplementary worksheets. The results of the analysis were peer-reviewed by two researchers. The research findings affirm the potential of mathematics-integrated classes in nurturing students' AI thinking and underscore the viability of AI education for elementary school students. The classes, based on AI Big Ideas, facilitated elementary students' understanding of AI concepts and principles, enhanced their grasp of mathematical content elements, and reinforced mathematical process aspects. Furthermore, through activities that maintain structural consistency with previous problem-solving methods while applying them to new problems, the potential for the transfer of AI thinking was evidenced.

Keywords AI thinking, Computational thinking, AI Big Ideas, Mathematics-integrated classes, Class design, Thinking analysis

서론

최근 인공지능의 급격한 발전이 사회 전반에 많은 변화를 불러일으키고 있다. 이러한 기술의 진보는 교육 분야에도 광범위한 영향을 미치며, 전통적인 교육 방식을 혁신하고 새로운 학습 기회를 제공한다. 일례로 초등학교 실과 교과에 소프트웨어, 로봇, 코딩과 같은 주제들이 수업 과정에 통합되었으며, 고등학교 선택 과목에서도 인공지능의 중요성을 강조하며 '인공지능 기초', '인공지능 수학'과 같은 과목들이 도입되었다. 학교에서 배우는 여러 교과목 중 수학은 다른 어떤 과목보다도 인공지능교육과 밀접한 연관이 있다. 수학은 추상적이고 논리적인 사고를 촉진하는 데 중요한 역할을 하며, 이러한 능력은 인공지능에서 사

Received March 19, 2024; Revised April 11, 2024; Accepted May 6, 2024

*Corresponding author Hyewon Chang

E-mail hwchang@snue.ac.kr

2000 Mathematics Subject Classification 97C30, 97C80, 97U70



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.

용되는 복잡한 알고리즘 및 모델을 이해하고 개발하는 데 핵심적인 기초를 제공한다. 또한 데이터 과학, 머신러닝, 딥러닝 등의 인공지능 분야에는 수학적 모델링, 통계적 추론, 선형대수, 확률, 미적분 등이 주요 개념으로 사용되기도 한다. 따라서 수학과 인공지능교육의 통합은 학문 간 융합의 중요성을 강조하며, 학생들이 현대 사회의 기술적 변화에 대응하고 창의적인 문제해결 능력을 기를 수 있도록 지원하는 효과적인 교육 방법으로서 주목받고 있다.

이러한 변화에 발맞추어 초등학교급에서도 수학교육과 인공지능을 연결하기 위한 다양한 시도들이 최근 이루어지고 있다 (Chang & Nam, 2021; Choi, 2022; Jeong & Park, 2023; Jung et al., 2023; Kim & Jeon, 2023; Park et al., 2022). 그러나 이러한 연구들은 주로 수학 수업에서 인공지능 교육시스템을 활용하는 것에 집중한 연구(Chang & Nam, 2021; Choi, 2022; Sung, 2023)거나 수학 문제를 해결하기 위해 인공지능 기반의 소프트웨어를 사용하는 연구(Kim & Jeon, 2023) 등 인공지능이 수학 학습을 위한 보조 도구로 사용된 경우라는 점에서 수학과 인공지능 두 분야로부터 추출된 주제를 융합하는 다학문적 통합(Drake & Burns, 2004)의 특성을 띠다고 보기는 어렵다. 또한 인공지능 개념과 수학 수업을 통합하고자 의도한 사례 중 대다수는 수학 문장제의 소재로서 로봇, 컴퓨터 등을 도입한 것(Jung et al., 2023; Park et al., 2022)이며 수학교육과 인공지능교육 간의 주제 간 융합이 이루어진 사례는 드물다. 다만 인공지능 개념 지도를 위해 각도와 사각형 단원의 수학과 성취기준 계열성에 따른 수업을 설계하여 적용한 간학문적 융합 연구인 Choi와 Chang (2024)의 연구가 최근 이루어진 바 있고, Jeong과 Park (2023)은 ‘인공지능 기초’ 교육과정(Ministry of Education, 2020)을 바탕으로 초등학교 4학년 수학 교과와 인공지능 관련 개념을 연결한 교육 프로그램을, Jeong (2023)은 중학교 수학과와 소수 판별, 이차방정식의 근의 공식, 상관관계에 대한 컴퓨팅 사고력 기반 인공지능 융합 수업을 개발하였다. 이들은 4학년이라는 특정 학년 및 내용에 국한되거나 중학교 수학에 관련되며, 특히 후자의 두 연구는 실제 학생들에게 적용하는 검증 절차가 미비하여 이러한 점을 보완할 수 있는 후속 연구가 필요함을 언급하고 있다.

이에 본 연구에서는 수학교육과 인공지능교육의 주제 간 다학문적 융합을 위해 인공지능 사고를 함양할 수 있는 수학 융합 수업을 설계하는 방법 및 전략에 대해 탐색하고, 그에 따라 설계한 인공지능-수학 융합 수업을 초등학생들에게 실제로 적용함으로써 수업 과정에서 보이는 학생들의 인공지능 사고는 어떠한지 분석하고자 하였다. 이를 위한 연구 문제는 다음과 같다.

연구문제 1. 인공지능 사고 함양을 위한 수학 융합 수업을 어떻게 설계할 수 있는가?

연구문제 2. 인공지능 사고 함양을 위한 수학 융합 수업 과정에서 나타난 학생의 인공지능 사고의 특징은 어떠한가?

이론적 배경

1. 컴퓨팅 사고와 인공지능 사고

컴퓨팅 사고(computational thinking)는 복잡한 문제 해결을 위해 인간이 컴퓨터와 같은 방식을 따르는 사고인 반면, 인공지능은 컴퓨터가 인간의 사고 방식을 모방하고자 한다는 점에서 상호 쌍방의 양면성(duality)을 지닌 채 깊은 관련성을 지닌다 (Heintz, 2022; Zerega & Milrad, 2023). 양자의 관계에 대해 많은 연구자가 주목해 왔고, 인공지능 사고의 하위 요소를 파악하기 위해 컴퓨팅 사고로부터 출발하는 것의 타당성을 여러 선행 연구에서 확인할 수 있다(Choe, 2021; Rad et al., 2018; Zeng, 2013).

컴퓨팅 사고는 Papert (1980; 1996)에 의해 처음 제시된 용어이며 Wing (2006)은 컴퓨팅 사고를 컴퓨터 과학의 기본 개념을 활용하여 문제를 해결하고 시스템을 설계하며 인간의 행동을 이해하는 모든 행위로 정의한 바 있다. 이후 Barr와 Stephenson (2011), Yadav 외 (2014), Weintrop 외 (2016) 등 컴퓨팅 사고의 구성 요소에 관한 연구가 다수 수행된 바 있다. Barr와 Stephenson (2011)은 K-12 교육에 컴퓨팅 사고를 도입하는 것의 중요성에 대해 논의하고 컴퓨팅 사고의 구성 요소를 자료 수집, 자료 분석, 자료 시각화, 문제 분해, 추상화, 알고리즘과 절차, 자동화, 병렬화, 시뮬레이션의 9가지로 정리하였다. Yadav 외 (2014)는 예비 초등 및 중등 교사 교육에서의 컴퓨팅 사고에 대해 논의하였는데, 이 연구에서는 컴퓨팅 사고의 가장 핵심이 되는 구성 요소로 문제 인식 및 분해, 추상화, 논리적 사고, 알고리즘, 디버깅을 선정하였다. Weintrop 외 (2016)는 컴퓨팅 사고가 수학 및 과학 교육에 어떻게 적용되며 이를 어떻게 정의할 수 있는지에 대해 연구하였으며, ‘데이터 처리, 모델링과 시뮬레이션, 컴퓨터를 사용한 문제해결, 시스템 사고’로 컴퓨팅 사고의 4가지 실천 영역을 제안하였다(Figure 1).

이후 인공지능이 빠른 속도로 발전하면서 인공지능 교육에 대한 주목은 점차 가속화되었다. 이러한 사회 변화에 따라 Zeng (2013)은 인공지능 사고(AI thinking)라는 용어를 처음 도입하였다. Zeng (2013)에 의하면 컴퓨팅 사고의 많은 부분이 인공지능 사고에도 적용되며, 인공지능 사고는 컴퓨팅 사고를 기반으로 한다. 그러나 인공지능 사고는 논리와 알고리즘 기반

Data Practices	Modeling & Simulation Practices	Computational Problem Solving Practices	Systems Thinking Practices
Collecting Data	Using Computational Models to Understand a Concept	Preparing Problems for Computational Solutions	Investigating a Complex System as a Whole
Creating Data	Using Computational Models to Find and Test Solutions	Programming	Understanding the Relationships within a System
Manipulating Data	Assessing Computational Models	Choosing Effective Computational Tools	Thinking in Levels
Analyzing Data	Designing Computational Models	Assessing Different Approaches/Solutions to a Problem	Communicating Information about a System
Visualizing Data	Constructing Computational Models	Developing Modular Computational Solutions	Defining Systems and Managing Complexity
		Creating Computational Abstractions	
		Troubleshooting and Debugging	

Figure 1. Computational thinking in mathematics and science taxonomy (Weintrop et al., 2016, p.135).

의 컴퓨팅 사고에 대하여 ‘지식과 사례를 기반으로 한 문제해결, 상식 추론, 의미론과 맥락, 비정형(unstructured) 데이터, 딥러닝과 인지 컴퓨팅의 기본 아이디어’ 등 컴퓨팅 사고가 지니지 않은 특징을 추가로 다루기 때문에, 컴퓨팅 사고를 넘어서는 (Touretzky et al., 2019b; Zeng, 2013) 포함관계를 함의한다. Rad 외 (2018)는 인공지능 사고를 위한 클라우드 기반 학습 플랫폼에 관한 연구에서 인공지능 사고를 기본적인 컴퓨팅 사고를 넘어 구조를 명시적으로 인식하지 않아도 실험에서 패턴을 발견함으로써 심층적이고 광범위한 학습을 가능하게 하는 데이터 분석, 인지 컴퓨팅, 적응을 활용하는 프레임워크로 정의하고, 지식의 표현 수준과 사고력 수준에 따른 기계적 사고(machine thinking), 컴퓨팅 사고, 인공지능 사고 간의 관계를 Figure 2와 같이 나타내었다. Figure 2는 인지과학과 지식 표현에 대한 이론적 접근 방법의 발달 과정을 시간순으로 보여주는데, 이를 통해 논리적 추론, 확률과 퍼지, 깊은 데이터 기반 학습이라는 세 가지 주요 패러다임이 인공지능 사고의 영역을 형성한 것을 알 수 있다. 또한 같은 연구에서 전통적인 컴퓨팅 사고의 핵심 개념에 인공지능 사고의 핵심 개념을 추가하여 Table 1과 같이 제시된다. Table 1에 따르면 컴퓨팅 사고의 핵심 개념에는 알고리즘적 사고, 추상화, 평가, 분해, 일반화가 있다. 알고리즘적 사고는 어떤 목표를 달성하기 위한 단계별 지침이나 규칙을 명확하게 정의하여 문제를 해결하는 것을 말하며, 추상화는 불필요한

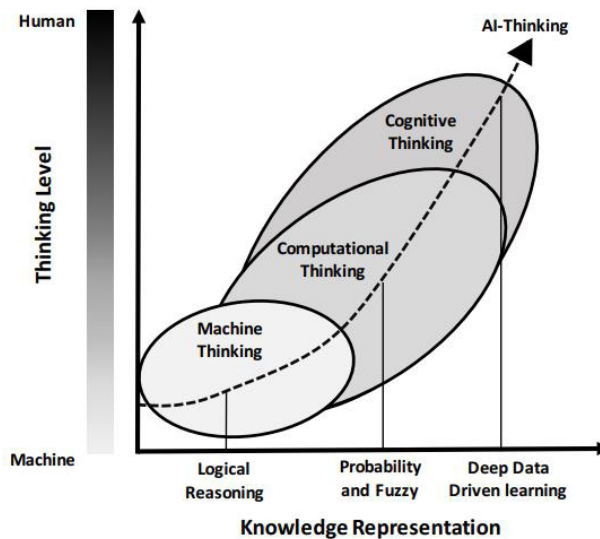


Figure 2. AI thinking paradigms (Rad et al., 2018, p. 5).

세부적인 사항을 단순화시켜 대상을 더 이해하기 쉽도록 만드는 과정이다. 평가란 해결책이 목적에 맞는지 확인하는 과정이고, 분해는 문제, 알고리즘, 대상, 시스템을 구성 요소 측면에서 생각하고 적절한 구성 요소를 찾는 것을 의미한다. 일반화는 기존에 사용했던 해결책을 토대로 새로운 문제를 신속하게 해결하는 것이다. 이에 더해 인공지능 사고의 핵심 개념으로 딥 앤 와이드 러닝, 인지 및 적응을 제시하고 있다. 딥 앤 와이드 러닝은 인간의 사고 방식을 모방한 학습 방법으로 다층 처리 계층을 이용

Table 1. Core concepts of computational thinking and the learning theories behind each element (Rad et al., 2018, p. 6)

Core concepts	Definitions		Required skill
	Computational thinking		
1-Algorithmic thinking	Algorithmic thinking is a way of getting to a solution through a clear definition of the steps.	The skill in algorithmic thinking is to set up instructions or rules that if followed precisely leads to answers to that and similar problems.	
	Plato theory proposed the question: How does an individual learn something new when the topic is brand new to that person? This question may seem trivial; however, think of a human like a computer. The question would then become: How does a computer take in any factual information without previous programming?		
2-Abstraction	Abstraction is the process of making an artefact more understandable through reducing the unnecessary detail.	The skill in abstraction is to choose the right details to filter out, so that the problem becomes easier, without losing anything that is important.	
	According to Cognitive Load theory, cognitive overload occurs when the required cognitive resources to solve the problems exceeds cognitive resource availability. Cognitive overload is considered as a major cause of learning failure.		
3-Evaluation	Evaluation is the process of ensuring an algorithmic solution is a good one—that it fits the purpose.	The skill in evaluation is to analyze, predict and verify outcomes using test, trace, and logical thinking.	
	Instructional design is the practice of creating instructional experiences that make the acquisition of knowledge and skill more efficient, effective, and appealing.		
4-Decomposition	Decomposition is a way of thinking about problems, algorithms, artefacts, processes and systems in terms of their components.	The skill in decomposition is to find appropriate components to make complex problems easier to solve, novel situations better understood and large systems easier to design.	
	A genetic decomposition describes the mental structures and mechanisms that a student might need to construct in order to learn a specific mathematical concept.		
5-Generalization	Generalization is a way of quickly solving new problems based on previous solutions to problems, and building on prior experience.	The skill in generalization is associated with identifying patterns, similarities and connections, and exploiting those features to solve a whole class of similar problems.	
	Gestalt theory, says that instead of obtaining knowledge from what's in front of us, we often learn by making sense of the relationship between what's new and old. This theory proposes looking at the patterns rather than isolated events. Gestalt views of learning have been incorporated into what have come to be labeled cognitive theories.		
+	AI-thinking		
6-Deep and wide learning	Deep and wide learning is learning that takes root in our apparatus of understanding, in the embedded meanings that solve the problem using previous and current experiences and knowledge around it.	The skill in deep learning is the ability to model high level abstractions, decomposition and evaluation in data by using a deep graph with many processing layers.	
	Deep and Surface learning is an approach and an attitude to learning, where the learner uses higherorder cognitive skills such as the ability to analyze, synthesize, solve problems, and thinks metacognitively in order to construct long-and-short term understanding.		
7-Cognitive and adaptation	Cognitive and adaptation computing is the simulation of human thought processes in a computerized model with learning from observations.	The skill in cognitive and adaptation computing is to working with unstructured data using semantic and context processing.	
	Cognitive Learning Theory is a broad theory that explains thinking and differing processes and how they are influenced by internal and external factors such as observing, categorizing, and forming generalizations about our environment in order to produce learning in individuals.		

하여 데이터를 높은 수준으로 추상화, 분해, 평가하는 능력을 말한다. 인지 및 적응 컴퓨팅은 비정형 데이터를 다루고, 관찰을 통해 학습하는 능력을 갖춘 컴퓨터 모델에서 인간의 사고 과정을 시뮬레이션하는 것을 의미한다.

앞선 내용을 종합해 볼 때 컴퓨팅 사고는 문제를 구조화하여 알고리즘을 기반으로 해결하는 컴퓨터 과학의 개념을 활용하는 사고 과정이며, 인공지능 사고는 여러 데이터를 바탕으로 추론과 학습을 통해 문제를 해결하는 사고 과정이라 할 수 있다. 인공지능은 컴퓨터에 인간과 같이 사고하는 능력을 제공하는 것이지만 컴퓨팅 사고는 컴퓨터가 문제해결 시 생각하는 방법을 이용하여 인간의 문제해결 역량을 향상시키는 것이라는 점에서(Heintz, 2022), 양자는 컴퓨팅 계산 및 사고와 관련하여 반대 방향으로 작동하는 것처럼 보이기도 한다. 실제로 두 사고는 서로 중복되는 요소가 많고 상호 뒤엉켜 있지만(Zeng, 2013) 인공지능 사고는 컴퓨팅 사고에 비해 인간의 사고 과정과 더 유사한 사고 요소까지 추가하는 것으로 확장되며, 따라서 더욱 고등한 사고 수준을 요구한다. 요컨대 인공지능 사고는 컴퓨팅 사고의 핵심 개념에 인공지능의 고유한 개념을 추가하여 정의될 수 있다. Choe (2021)는 Rad 외 (2018)가 제시한 컴퓨팅 사고와 인공지능 사고를 구성하는 핵심 개념들에 기초하여 양자의 포함관계를 Figure 3과 같이 표현하였다.

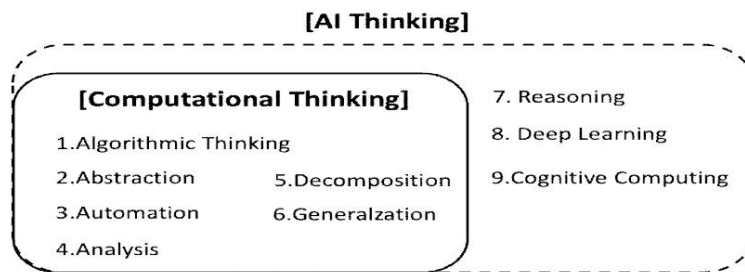


Figure 3. AI thinking based on computational thinking (Choe, 2021, p. 62).

이상의 논의로부터 인공지능 사고는 컴퓨팅 사고의 확장이고 따라서 인공지능 사고 교육은 컴퓨팅 사고 교육으로부터 시작 된다는 사실을 재확인할 수 있다. 이러한 주장은 인공지능 빅 아이디어(AI4K12)의 주창자인 Touretzky 외 (2019b)가 인공지능 사고는 암묵적으로 컴퓨팅 사고의 핵심 개념 및 태도에 의존한다고 보는 관점에 의해서도 뒷받침된다.

특히 수학교육에서 컴퓨팅 사고와 인공지능은 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 확인된다. 예를 들어, Gadanidis (2017)는 K-8학년 교육에서 컴퓨팅 사고, 인공지능, 수학교육이 교차점을 찾는 데 초점을 두었고 거기에 세 가지 요소로서 주체 (agency), 모델링(modeling), 추상화(abstracting)가 있다고 하였다. 세 분야의 교집합에 해당하며, 이를 수학교육의 관점에서 보면 학습 주체에 의한 수학적 모델링을 통한 학습 및 수학적 개념의 추상화라는 점에서 오늘날 수학교육의 특징을 잘 드러 낸다고 해석할 수 있다.

2. 인공지능의 5가지 빅 아이디어

인공지능의 5가지 빅 아이디어(Touretzky et al., 2019a)는 미국 과학 재단의 지원으로 수행되고 있는 연구프로젝트의 결과 물로서, AAI (Association for the Advancement of Artificial Intelligence)와 CSTA (Computer Science Teachers Association)가 카네기멜론대학교와 함께 AI4K12 Initiative를 설립하여 개발한 개념적 틀이다(Figure 4). 이는 CSTA에서 2018년 마련한 인공지능 교육을 위한 교육과정인 K-12 기준이 학교 현장에서 의미 있게 구현되는 것을 목표로 하여 인공지능 원리를 K-12 학생들을 대상으로 학교 교육에서 지도하기 위해 만들어졌으며, ‘인식, 표현과 추론, 학습, 자연스러운 상호작용, 사회적 영향’의 5가지로 구성된다.

각각의 아이디어가 갖는 의미는 Touretzky 외 (2019b)에 서술되어 있다. 첫째 아이디어인 인식(perception)에서는 컴퓨터는 센서를 통해 세상을 인식하며, 인식이란 센서에서 감지된 신호에서 정보를 추출하는 과정을 의미한다는 것을 다룬다. 둘째 아이디어인 표현과 추론(representation & reasoning)은 인공지능 에이전트가 세상에 대한 표현을 생성하고 이를 이용해 추론 알고리즘을 만드는 과정과 결과를 주요 학습 요소로 제시한다. 셋째 아이디어인 학습(learning)은 컴퓨터가 데이터에서 패턴을 찾는 일종의 통계적 추론 방식으로 학습한다는 내용을 포함하고 있다. 넷째 아이디어인 자연스러운 상호작용(natural interaction)에서는 인공지능 에이전트가 인간과 의사소통할 때 필요한 자연어, 얼굴 표정과 감정, 사회적 관심과 문화에 대한

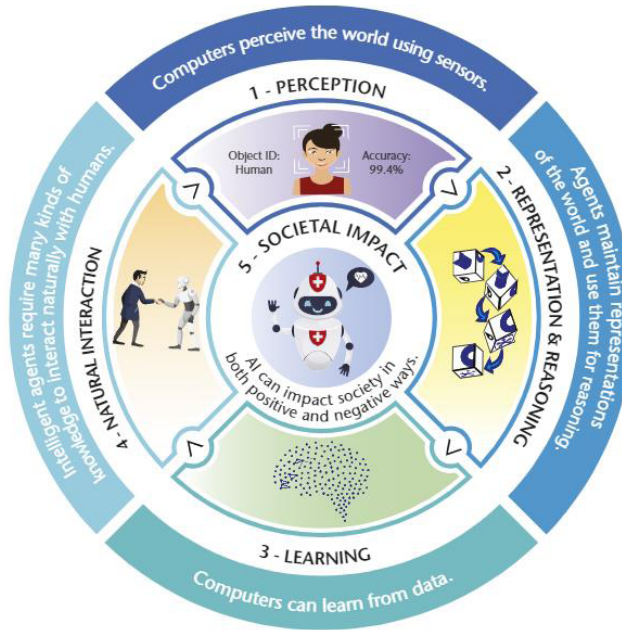


Figure 4. Five Big Ideas in AI (Touretzky et al., 2019a).

지식에 대해 다룬다. 다섯째 아이디어인 사회적 영향(societal impact)은 인공지능이 사회에 미치는 긍정적인 영향과 부정적인 영향, 인공지능 시스템이 갖추어야 할 윤리적 기준에 대한 주제를 담고 있다.

인공지능 빅 아이디어는 AAAI, CSTA, 카네기멜론대학교 등 다양한 배경의 교육 전문가 집단이 개발에 참여하여 인공지능 교육과정을 학년별 및 수준별로 제시했다는 점에서 인공지능 교육을 위한 체계적인 틀로서 중요한 역할을 한다. 인공지능 빅 아이디어를 개발한 AI4K12 Initiative는 K-12를 K-2, 3-5, 6-8, 9-12학년의 네 개 학년군으로 구분하고, 각 핵심 아이디어와 관련하여 학생들이 알아야 할 하위 개념별 교육 내용을 빅 아이디어 진도표에 구체적으로 제시하였다. 이 진도표는 학생들에게 인공지능 개념을 가르치기 위한 단계별 교육 내용을 학습목표(Learning Objective, LO), 지속적 이해(Enduring Understanding, EU)로 명시하고 있으며, 이를 학년별로 구분하여 제시하고 있다. 따라서 인공지능 빅 아이디어가 만들어진 미국과 교육과정이나 교재 등의 차이가 있음에도 불구하고 우리나라 교육과정 성취기준에 맞도록 수업을 재구성하여 학교 현장에서 활용하기 용이하다. 또한 인공지능 빅 아이디어는 인공지능 자체에 대한 깊은 학습이 아닌 인공지능의 개념과 작동 원리에 중점을 두고 있다. 이는 인공지능 교육에서 직접적인 프로그래밍 수업이 반드시 필요한 것은 아니며, 언플러그드 활동으로도 충분히 인공지능에 대한 교육 목표를 달성할 수 있다는 점을 보여주었다. 이러한 결과는 초등학교급 인공지능 교육에 대한 새로운 시각을 제시하며, 인공지능 교육을 위한 다양한 접근 가능성을 시사한다.

연구 방법

1. 연구문제 1

연구문제 1에 대하여 Touretzky 외 (2019b)가 제시한 인공지능의 5가지 빅 아이디어를 중심으로 수학 융합 수업을 구성하였다. Touretzky 외 (2019b)의 5가지 빅 아이디어는 CSTA (2017)가 제시한 바 있는 컴퓨터 과학의 5가지 빅 아이디어에 비해 인공지능 사조에 초점을 맞추고 있으며 K-12 학생 전체에 대해 학습 목표를 설정해 초등학생에게도 적용하기 용이하다는 점에서 수업 설계의 기준으로 적합하다고 판단하였다. 수업 설계의 기준을 선정한 다음 실제 수업을 설계하기 위해 2015 개정 교육과정의 초등학교 3-4학년군과 초등학교 5-6학년군 수학과 성취기준 및 교과서 소재를 분석하여 빅 아이디어 진도표(AI4K12 Initiative, 2020a, 2020b, 2021)에 제시된 학습목표(LO), 지속적 이해(EU)와 연계하였다. 빅 아이디어 진도표에 제시된 학년별 학습목표 중 우리나라 초등학교 3-6학년에 가까운 것은 3-5이다. 그러나, 빅 아이디어 진도표는 미국에서 개발되었기 때문에 우리나라 교육과정 및 학년 개념과 완전히 일치하지는 않는다. 따라서 본 연구에서는 인공지능 빅 아이디어의 학

년군별 학습 목표 중 2015 개정 초등학교 교육과정 성취기준과 연관성이 큰 학습 목표를 선정하여 융합 수업을 설계하고자 하였다. 이를 바탕으로 수업을 설계할 때는 수학 내용 지식을 습득하는 것을 목표로 하는 수학적 내용 수업과 수학 교과 역량 함양을 목표로 하는 수학적 과정 수업 두 종류를 모두 포함하도록 구성하였다. 이후 해당 인공지능 빅 아이디어의 학습목표와 지속적인 이해를 고려한 수업자료 및 활동지를 제작하여 연구참여자에게 적용하였다.

2. 연구문제 2

연구문제 2를 위해 앞서 설계한 수업을 학생들에게 적용하고 수업 과정에서 나타난 학생의 인공지능 사고의 특징에 대해 분석하고자 하였다.

(1) 연구참여자

연구에 참여한 학생들은 서울특별시 강동송파교육지원청 소속의 K 초등학교에 재학 중인 세 학급 학생 67명이다. 설계한 수업의 교육과정 성취기준 및 교과서 내용을 고려하여 6학년 한 학급(20명), 5학년 두 학급(각각 23명, 24명)을 선정하여 수업을 실시하였다. K 초등학교는 재학생 중 복지 대상자의 비율이 높은 교육복지 거점학교로, 연구참여자의 사회 및 경제적 수준이 낮은 편이다. 또한 학생들을 대상으로 수업 적용이 이루어진 2023학년도 기준 학교 홈페이지 가입률 10.7%, 2023학년도 교육과정 운영평가 회신율 26.5% 등 학부모들의 낮은 참여율은 자녀의 학교 교육에 대한 관심도가 높지 않다는 사실을 보여준다. 학생들의 학습에 대한 흥미도와 학습 동기 역시 낮은 편이고 학생들 간 수준 차이가 상당히 크다. 학생들 모두 사전에 알지 오매스키즈, 티처블머신 등의 에듀테크 툴을 접해 본 경험이 없으며, 6학년 학생들은 외부 강사에 의한 일회성 오조봇 코딩 수

Table 2. Analytic framework of AI thinking in mathematics class

Elements of AI thinking	Code	Sub-elements
Data	D1	Collecting and creating data
	D2	Manipulating data
	D3	Visualizing data
	D4	Analyzing data
Modeling & simulation	MS1	Using computational models to understand a concept
	MS2	Using computational models to find and test solutions
	MS3	Assessing computational models
	MS4	Designing computational models
	MS5	Constructing computational models
Computational problem solving	PS1	Preparing problems for computational solutions
	PS2	Programming
	PS3	Choosing effective computational tools
	PS4	Assessing different approaches/solutions to a problem
	PS5	Developing modular computational solutions
	PS6	Creating computational abstractions
	PS7	Troubleshooting and debugging
Systems thinking	S1	Investigating a complex system as a whole
	S2	Understanding the relationships within a system
	S3	Thinking in levels
	S4	Communicating Information about a system
	S5	Defining systems and managing complexity
AI thinking	A1	Deal with unstructured data
	A2	Problem solving based on knowledge and cases
	A3	Capture and reason about commonsense
	A4	Semantics and context processing

업을 받은 경험이 있다.

(2) 분석틀

인공지능 사고 함양을 위한 수학 융합 수업 과정에서 나타나는 학생의 인공지능 사고의 특징을 분석하기 위한 분석틀을 구성하기 위해 선행 연구(Barr & Stephenson, 2011; Choe, 2021; Weintrop et al., 2016; Yadav et al., 2014; Zeng, 2013, etc.)에서 제시된 컴퓨팅 사고와 인공지능 사고의 구성 요소를 고찰하고, 이들 중에서 Weintrop 외 (2016)에 제시된 컴퓨팅 사고의 분류 체계를 기본으로 삼았다. 이 분류 체계는 수학 교과와 컴퓨팅 사고를 결합하여 수학에 중점을 두고 교육과정 자료를 기반으로 컴퓨팅 사고의 구성 요소를 도출했다는 점에서 본 연구의 방향과 일치하기 때문에 적절하다고 판단하였다. 그러나 인공지능 사고는 컴퓨팅 사고 이외의 추가된 핵심 개념이 존재하므로 Weintrop 외 (2016)의 분류 체계를 기반으로 하되, Zeng (2013)에 제시된 인공지능 사고 관련 구성 요소를 추가하여 수정 및 보완함으로써 연구에 활용할 분석틀을 확정하고 하위요소별 코드를 정하였다. 분석틀은 Table 2와 같다.

(3) 자료 수집 및 분석

설계한 4개의 수업 중 3개를 2023년 12월-2024년 1월에 걸쳐 연구참여자를 대상으로 적용하였다. 수업을 설계한 연구자 1인이 직접 수업을 진행하였으며 자료 수집을 위해 수업 중 학급 전체의 활동을 녹음하였고, 이를 전사한 자료 및 연구자의 관찰기록, 학생들이 수업 중 작성한 활동지를 바탕으로 두 연구자가 분석을 진행하였다. 분석 과정에서 인공지능 사고의 하위 요소가 관찰되는 부분마다 해당 코드를 표시하였다. Weintrop 외 (2016)에 따르면 컴퓨터를 이용해 프로그래밍하지 않아도 이

Table 3. Big Idea LO & EU related to achievement standards

Big Idea	Concept	LO & EU of Big Ideas	Contents or processes
Perception	Processing (abstraction pipeline: vision)	LO: Describe how edge detectors can be composed to form more complex feature detectors, e.g., for letters or shapes. EU: The progression from signal to meaning takes place in stages, with increasingly complex features extracted at each stage.	Content standard: [6math02-08] understand cylinders, their components, properties, and nets. [6math02-09] understand cones and spheres, and their components and properties.
Representation & Reasoning	Search (combinatorial search)	LO: Given a state of a game such as tic-tac-toe or nim, draw a search tree showing all possible next moves and their resulting states, and pick the best next move. EU: Computer game playing programs may construct search trees to decide on their next move.	Math competency: -Problem solving: combinatorial search, mathematical modeling, and problem posing -Reasoning: procedural thinking
	Reasoning (reasoning algorithms)	LO: Model the use of a classification or search algorithm to solve a problem. EU: Reasoning algorithms are ways to solve reasoning problems.	Math competency: -Problem solving -Reasoning: algorithms and procedural thinking -Information processing: classifying data
Learning	Nature of Learning (finding patterns in data, training a model)	LO: Identify patterns in labeled data and determine the features that predict labels. EU: Classes can be defined in terms of feature values. The relevant features can be inferred by examining labeled examples. LO: Train a classification model using machine learning, and then examine the accuracy of the model on new inputs. EU: Computers can learn to classify instances or predict values by being shown labeled examples. If the results on new inputs are unsatisfactory, additional training may be required to improve the accuracy.	Content standard: [6math02-06] know prisms and pyramids, and understand their components and properties

와 유사한 사고 연습을 통해 컴퓨팅 사고력을 함양할 수 있다. 따라서 실제로 컴퓨터나 기타 공학 도구를 사용하지 않았더라도 학생들이 컴퓨터가 생각하는 방식에 따라 사고 과정을 진행한 것으로 판단되는 발화 및 활동에 대해서 해당 코드를 부여하였다. 예를 들어 Representation & Reasoning-Search 수업에서 탐색 트리를 그려 문제를 해결하는 활동은 실제 컴퓨터를 이용하는 프로그래밍 활동(PS2)이 아니라, 컴퓨터가 사용하는 방법을 모방하여 주어진 문제를 해결하는 것이므로 MS2로 분류하였다.

두 연구자의 코딩을 통한 분석 결과는 상호검토하여 합치도를 확보한 다음, 현재 초등학교 교사로 재직 중인 수학교육 석사 학위 소지자 1인과 인공지능융합교육 석사과정생 1인에게 검토를 의뢰, 실시하였다. 피드백 결과에 기초하여, 재검토가 필요한 부분에 대해서는 두 연구자가 추가 논의하는 방식으로 타당도 및 신뢰도를 제고하였다.

결과 분석 및 논의

1. 인공지능 사고 함양을 위한 수학 융합 수업의 설계

빅 아이디어 진도표의 학습 목표와 2015 개정 교육과정을 연계하여 수학 융합 수업을 설계한 결과, 수학적 내용 수업과 수학적 과정 수업을 각각 2개씩 구상하였다. 먼저 2015 개정 초등 수학과 교육과정에서 인공지능 빅 아이디어의 학습목표(LO), 지속적 이해(EU)와 일치하는 내용 성취기준 또는 교과역량을 선정한 다음, 해당 요소를 실현할 수 있는 활동을 구상하였다. 빅 아이디어 진도표의 학습 목표와 2015 개정 초등 수학과 교육과정에 따른 내용 성취기준 또는 교과역량을 연계한 내용은 Table 3과 같다.

연계한 내용을 바탕으로 인공지능 사고 함양을 위한 수학 융합 수업을 설계하였다. 수업을 설계할 때 추가로 할 수 있는 활동이나 심화 활동이 있을 경우 해당 활동들을 추가 활동으로 제시하여 교사가 학생들의 수준과 흥미에 맞게 선택할 수 있도록 구상하였다. 각 수업을 설계한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Mathematics-integrated class for AI thinking

AI Big idea	Math	Activity	Activity description
Perception-Processing	Content: 6-2-6. Cylinders, cones, and spheres, lesson 9-10	Activity 1	• Explore 'Algeomath kids'
		Activity 2	• Creating my own building using 'Algeomath kids'
		Activity 3	• Observing other students' buildings and inferring the true outline
		Activity 4	• Introducing my building
Learning-Nature of Learning	Content: 6-1-2. Prisms and pyramids, lesson 2)	Activity 1	• Training an AI model using 'Teachable Machine'
		Activity 2	• Testing the trained model
		Activity 3	• Reviewing classification results and summarizing characteristics of each cylinder and cone
		Optional	• Testing the model with new data
Representation & Reasoning-Search	Process: problem solving	Activity 1	• Understanding the 'Wolf, Goat, Cabbage' problem
		Activity 2	• Solving the 'Wolf, Goat, Cabbage' problem
		Activity 3	• Sharing the problem-solving method
		Optional	• Modifying the problem
Representation & Reasoning-Reasoning	Process: reasoning	Activity 1	• Learning about flowchart
		Activity 2	• Determining criteria for classifying types of waste
		Activity 3	• Drawing a flowchart for garbage disposal

4개의 수업 중 수학적 내용 수업에 해당하는 것은 Perception-Processing과 Learning-Nature of Learning의 두 가지이며, 수학적 과정 수업에 해당하는 것은 Representation & Reasoning-Search와 Representation & Reasoning-Reasoning의 두 가지이다. 수업 설계 시 학년 선정은 관련된 교육과정 성취기준 및 교과서 내용을 근거로 하였다. 수학적 내

용 수업은 두 개의 수업 모두 6학년을 대상으로 한다. Perception-Processing은 공학 도구인 알지오매스키즈(Algeomath-kids)를 이용하여 원기둥, 원뿔, 구를 이용한 건축물을 만든 다음, 건축물에서 부분적으로 가려진 도형의 원래 윤곽선을 추론하는 수업이다. Learning-Nature of Learning은 티처블머신(Teachable Machine)을 이용해 각기둥과 각뿔의 시각적 표현을 분류하는 모델을 학습시키고 테스트 데이터를 입력해 모델의 정확성을 확인한다. 이후 분류된 결과를 보고 같은 라벨로 분류된 데이터들이 어떤 특징을 가졌는지 생각하고 발표하여 공유하면서 정리하는 수업이다. 추가 활동으로 각기둥이나 각뿔을 활동지에 그리고 이를 테스트 데이터로 이용할 수 있다. 이때 분류가 정확하게 이루어지기 위한 데이터의 조건을 사전에 생각해보고, 이를 고려하여 테스트 데이터를 선택하도록 함으로써 학생들이 인공지능이 라벨을 예측하는 특징에 대해 주목할 수 있도록 활동을 구성하였다.

수학적 과정을 목표로 한 수업은 수학 교과 역량인 문제해결 및 추론과 관련하여 알고리즘적 사고를 조합 탐색 및 순서도를 통해 활성화하며 학생들이 문제해결 및 의사결정을 위한 수학적 접근을 경험할 수 있도록 의도하였다. Representation & Reasoning-Search는 문제해결 과정에서 주어진 문제를 작은 단위로 분해하여 조합 탐색 방법을 적용함으로써 절차적 사고를 강화하고 학생들이 기초적인 인공지능 탐색 방법을 체험하도록 설계하였다. 이 활동은 6학년 교과서에 구현된 실과 성취기준과 연관되어 있어 6학년을 대상으로 설계하였으며, 추가 활동으로 문제에서 주어진 조건을 변형하여 새로운 문제를 만들고, 새로운 문제를 해결한 결과를 기존 문제해결 결과와 비교해 보도록 제시하였다. 한편 Representation & Reasoning-Reasoning은 순서도를 활용하여 생활 속 문제인 쓰레기 분리수거를 해결하는 과정을 다루었다. 이 활동은 5학년 교과서에 구현된 실과 성취기준과 관련이 있으므로 5학년을 대상으로 설계하였다. 학생들은 알고리즘을 이해하고 순서도로 표현하는 활동을 통해 문제를 효율적으로 해결하기 위해 각 일의 순서를 파악하고 단계별로 처리하는 절차적 사고를 연습할 수 있다.

Table 5는 수업 지도안의 예시로, 빅 아이디어의 첫째 요소인 인식에서 Perception-Processing에 해당한다.

Table 5. Example of mathematics-integrated class for AI thinking (Perception-Processing)

Step	Activity	Material
Introduction	<ul style="list-style-type: none"> • Motivating <ul style="list-style-type: none"> - Look at the two box diagrams, one in front of and partially occluding the other, and guess what they are - Present learning problems and learning activities 	
Development	• Activity 1. Explore 'Algeomath kids'	Desktop or laptop Worksheet
	• Activity 2. Creating my own building using 'Algeomath kids'	Desktop or laptop Worksheet
	• Activity 3. Observing other students' buildings and inferring the true outline	Desktop or laptop Worksheet Color pencil
	• Activity 4. Introducing my building	Desktop or laptop Worksheet
Wrap up	<ul style="list-style-type: none"> • Organizing <ul style="list-style-type: none"> - Share your thoughts on today's lesson 	

2. 인공지능 사고 함양을 위한 수학 융합 수업에서 나타난 학생의 인공지능 사고의 특징 분석

설계한 수업 가운데 Learning-Nature of Learning을 제외한 세 개의 수업을 연구참여자에게 적용하였다. Perception-Processing과 Representation & Reasoning-Search는 6학년 한 학급을 대상으로, Representation & Reasoning-Reasoning은 5학년 두 학급을 대상으로 실시하였다. 수업 중 담화 및 연구참여자가 작성한 활동지를 수집하여 학생의 인공지능 사고를 분석한 결과는 Table 6과 같이 정리할 수 있다. 이어 각 수업에서의 구체적인 사례를 설명할 것이다.

(1) Perception-Processing 수업에서 나타난 학생의 인공지능 사고

Perception-Processing 수업에서 학생들은 먼저 공학 도구인 알지오매스키즈의 사용법 탐색을 시작으로, 만들고 싶은 건축물을 지필 환경에서 그려 본 다음[D1] 알지오매스키즈를 이용해 건축물을 구성하였다. 이때 학생 B, C, D는 아래 담화와 같

Table 6. Analysis results of students' AI thinking in the mathematics-integrated class

Classes	Data	Modeling & simulation	Computational problem solving	Systems thinking	AI thinking
Perception-Processing	D1	MS3, MS4			A1
Representation & Reasoning-Search	D3	MS2, MS4	PS1, PS4, PS5, PS7	S2	A1, A2, A3, A4
Representation & Reasoning-Reasoning	D2, D3	MS2, MS4	PS1, PS4, PS7		A1, A2, A3

이 보이지 않는 윤곽선을 추론하는 활동 중 다양한 비정형 데이터로부터 윤곽선을 찾아내는 방법을 설명한다는 점에서 인공지능의 빅 아이디어 1의 Perception-Processing (abstraction pipeline)에 해당하는 사고를 보여주며, 이는 인공지능 사고의 비정형 데이터 처리에 해당하는 것으로 해석할 수 있다[A1].

교사: 다 같이 학생 A의 과제를 봅시다. 이렇게 복잡한 건축물에서 보이지 않는 윤곽선을 어떻게 알 수 있을까요?

학생 B: 원기둥이랑 원뿔이랑 구 모양을 그려요.

교사: 왜 원기둥, 원뿔, 구 모양을 그리지요?

학생 B: 원기둥, 원뿔, 구만 사용해서 건축물을 만들었으니까요.

교사: 조금 더 자세히 설명해 줄 수 있는 사람?

학생 C: 아, 그러니까 이 건축물에 있는 도형이 다 원기둥이랑 원뿔이랑 구잖아요. 그러니까 보이는 부분이랑 안 보이는 부분을 합치면 어차피 다 원기둥이나 원뿔이나 구 셋 중의 하나예요. (건축물에서 윗부분이 가려진 원뿔을 가리키며) 이게 지금 이렇게 보이지만 이거는 점점 좁아지니까 원뿔일 거잖아요. 그래서 여기 윗부분은 원래 이렇게 뾰족하게 원뿔인데 지금 가려져서 안 보이는 거예요.

교사: 그럼 원래의 윤곽선을 그려 본다면 어떻게 그리면 될까요?

학생 D: 위에다가 이렇게(손짓으로 뾰족하게) 그려요.

또한 학생들이 활동지에 구상한 건축물을 알지오매키즈를 이용해 컴퓨터에서 구현하는 과정에서 학생 E (Figure 5)는 컴퓨터를 활용한 모델을 실세계에서 구상한 그림과 계속해서 비교하며 평가하는 과정을 거쳐[MS3] 컴퓨터를 이용해 건축물 모델을 설계하였다[MS4].

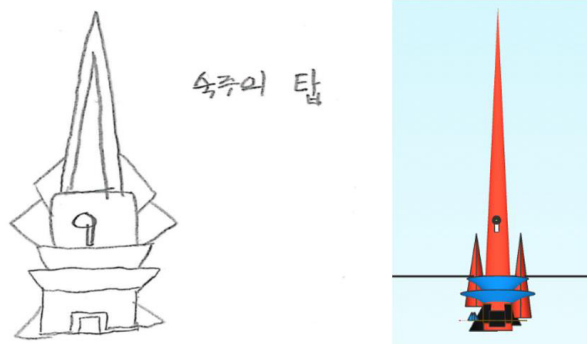


Figure 5. Example of MS3, MS4.

(2) Representation & Reasoning-Search 수업에서 나타난 학생의 인공지능 사고

Representation & Reasoning-Search 수업에서 이용한 문제는 소위 ‘늑대, 염소, 양배추’라 불리는 문제(Figure 6)이다. 문제에는 늑대와 염소, 염소와 양배추가 함께 가서는 안 된다는 조건이 명시적으로 드러나 있지 않았으나 학생들은 Figure 6과 같이 늑대가 염소를, 염소가 양배추를 먹는다는 상식을 적용하여[A3] 문제에 포함된 대상 간의 관계를 이해하고[S2] 문제를 해결할 때 고려해야 할 조건을 선정하였다.

다음 글을 읽고 '늑대, 염소, 양배추' 문제를 해결해 봅시다.

'늑대, 염소, 양배추' 문제

한 농부가 늑대, 염소, 양배추와 함께 강을 건너려고 합니다. 농부는 배 한 척을 가지고 있는데, 이 배에는 농부 외에 딱 한 가지만을 더 실을 수 있습니다. 농부가 안전하게 모두를 데리고 강 건너편으로 가려면 모두 몇 번이나 강을 건너야 할까요?

1. 문제를 해결할 때 생각해야 할 조건에는 어떤 것이 있는지 생각해 봅시다.

- 농부는 하나만 태우고 건너야 한다
- 늑대는 염소를 먹고, 염소는 양배추를 먹는다
- 농부가 있으면 먹지 않는다

Figure 6. Problem for 'Representation & Reasoning-Search' and example of A3.

학생들은 문제의 해결책을 찾고 검증하기 위해 모델을 이용하고[MS2], Figure 7과 같이 탐색 트리를 그려 자료를 시각화하여[D3] 모델을 설계하였다[MS4]. 학생들은 늑대, 염소, 양배추를 모두 옮긴다는 문제를 해결하기 위해 문제 분해, 기호적 표현, 탐색 트리 사용, 가능한 경우의 평가 등의 특징을 드러냈다. 구체적으로, Figure 7에서 문제를 강을 한 차례씩 건넜다가 돌아오는 하위 행동으로 분해하고[PS1], 강을 한 번 건너는 행동을 화살표 한 번으로 나타낸 것을 관찰할 수 있다. 또한 농부가 늑대와 염소, 양배추를 모두 데리고 안전하게 강을 건너는 횟수를 구하기 위해 탐색 트리로 여러 가능성을 타진해 보았는데, 이 과정에서 문제에 대한 다양한 접근법이나 해결책을 탐색하고 평가하는[PS4] 특징을 보였다. Figure 7에서는 학생들이 처음에 늑대와 함께 가기, 염소와 함께 가기, 양배추와 함께 가거나 세 가지 경우의 수를 구하고 탐색하다가 늑대나 양배추와 함께 가면 안 된다는 것을 깨닫고 두 가지 경우를 X 표시로 제거하는 사고 과정을 확인할 수 있다. 이때 학생들은 처음에 농부가 늑대를 데리고 간다고 선택했을 때 남아있는 염소가 양배추를 먹게 되어 늑대를 동반하여 가면 안 된다는 것을 깨달았으며, 다른 대안을 탐색하였다. 이 과정에서 학생들은 늑대와 양배추를 데리고 간다는 선택에 따르는 결과에 대한 문제점을 파악하고 적절한 조치를 취하는 디버깅[PS7]을 하였다. Figure 7은 각 경우를 구조화하여 문제의 조건을 위배하는 경우를 제거하고 적절한 경우를 탐색하도록 돕는 트리 다이어그램을 통해 문제해결을 완수할 수 있음을 보여준다.

또한 학생들은 언어라는 비정형 데이터로 제시된 문제에서 요구하는 조건을 파악하고 정형화시켜 해결하였으며[A1], 이 과

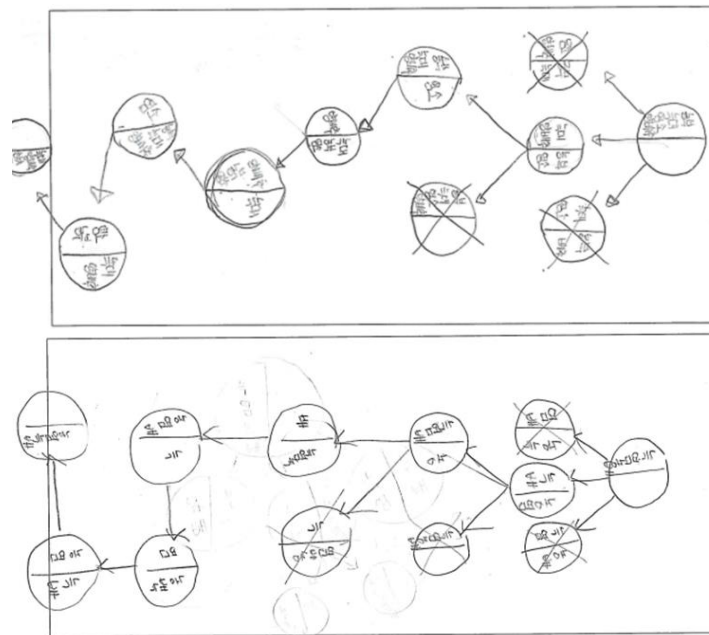


Figure 7. Examples of search tree for the Representation & Reasoning-Search.

정에서 문제의 의미와 맥락을 파악하였다[A4].

교사가 추가 활동으로 주어진 조건을 변형하여 새로운 조건이 추가된 문제를 제시했을 때 학생들은 아래 담화와 같은 반응을 보였다. 이때 교사-학생 담화에서는 기존 문제를 해결할 때 얻은 지식 및 사례를 이용해 새로운 문제를 해결하는 특징[A2]과 문제를 해결하기 위한 핵심 요소를 추출하여 모듈을 개발 및 활용하고 새로운 문제에 기존의 모듈을 적용하여 문제를 해결하는 사고[PS5] 특징이 드러났다.

교사: 모두 잘 풀었으니까 문제 조건을 조금 바꿔 봅시다. 이번에는 다른 부분은 그대로인데 애벌레가 추가되었습니다. 그리고 농부 외에 두 가지를 더 실을 수 있습니다. 어떻게 해결하면 될까요?

학생 F: 애벌레는 그냥 실어도 괜찮아요.

학생 G: 아니지! 애벌레가 양배추를 먹잖아.

학생 H: 그럼 이번에는 염소가 애벌레를 먹는 건가 보다.

학생 G: 아, 그러면 늑대가 염소를 먹고, 염소가 애벌레를 먹고, 애벌레가 양배추를 먹어요.

학생 I: 근데 이걸 어떻게 풀어요?

교사: 모두 친구들과 어떻게 해결하면 좋을지 이야기해 봅시다. 실제로 탐색 나무를 그리지 않아도 괜찮으니 해결 방법을 함께 의논해 보세요.

학생 J: 이거 근데 똑같잖아.

학생 F: 뭐가 똑같아?

학생 J: 아까랑 똑같다니까? 이거 강 건널 때 늑대랑 염소를 데리고 가거나 늑대랑 애벌레를 데리고 가거나 늑대랑 양배추를 데리고 가거나 이렇게 막 해보면 되잖아. 근데 늑대랑 염소를 데리고 가면 애벌레랑 양배추가 남잖아.

학생 K: 그러면 안 되겠네. 애벌레가 (양배추를) 먹으니까.

학생 J: 어 그러니까 늑대랑 애벌레를 데리고 가거나 염소랑 양배추를 데리고 가거나 이렇게야. 나머지는 X치고. 그래서 강 건너는 거 그러면 되잖아. 배에 농부랑 나머지 두 개 이렇게 실어서.

(3) Representation & Reasoning-Reasoning 수업에서 나타난 학생의 인공지능 사고

Representation & Reasoning-Reasoning 수업에서는 학생들이 쓰레기 분리수거라는 비정형 과정을 컴퓨팅 사고의 주요 표현 중 하나인 순서도로 나타내어 정형화하였다[A1]. 분리수거 과정을 작은 단위로 분해하여 하나하나의 행동들로 나누고 [D2][PS1] 단계별로 쓰레기의 종류를 판단하는 기준을 통해 처리하고자 하였다. 이후 쓰레기를 분리수거 하기 위한 모델을 설계하였으며[MS4], 결과물을 Figure 8과 같이 알고리즘적 사고를 토대로 하는 순서도로[MS2] 시각화하였다[D3]. 순서도를 완성한 학생들에게는 ① 일이 진행되는 순서대로 순서도를 작성하였는가? ② 순서도 기호를 정확하게 사용하였는가? ③ 순서도의 흐름대로 따라가면 쓰레기를 분리수거를 성공적으로 완수할 수 있는가? 이상의 세 가지 기준을 사용하여 순서도를 알맞게 그렸는지 검토하도록 안내하였는데, 이 과정에서 자신의 순서도에서 오류나 미흡한 점을 발견한 학생들은 순서도의 문제점을 찾아 수정함으로써[PS7] 결과물의 완성도를 제고하였다. 다음 담화는 기계가 인식하고 판단할 수 있는 기준을 사용하도록 분류 질문을 변경함으로써 완성도를 높인 학생 L의 사례를 보여준다.

(학생이 순서도 판단 기호 안에 '유리인가?'라는 질문을 씀)

교사: ('유리인가?' 질문을 가리키며) 이거 유리인지 어떻게 알아요?

학생 L: 유리니까...

교사: 유리나 플라스틱, 종이 같은 쓰레기 종류를 구분할 수 없는 기계에게 쓰레기 종류를 구분하는 법을 가르쳐 준다고 생각해보세요. 어떻게 해야 할까요?

학생 L: 투명하다?

교사: 그러면 충분할까요?

학생 L: (실과 교과서를 찾아보며) 아, 근데 이거 표시가 있어요.

교사: 어떤 표시가 있나요?

학생 L: 유리라고 써 있어요. 유리 표시요.

교사: 그러면 유리 마크가 있으면 유리인가요?

학생 L: 네.

교사: 그럼 순서도에 어떻게 나타낼 수 있을까요?

학생 L: (순서도를 지우고 다시 그리며) 여기서 유리 표시를 그려서 이거랑 똑같은 표시가 있는지 물어봐가지고 있으면 유리예요.

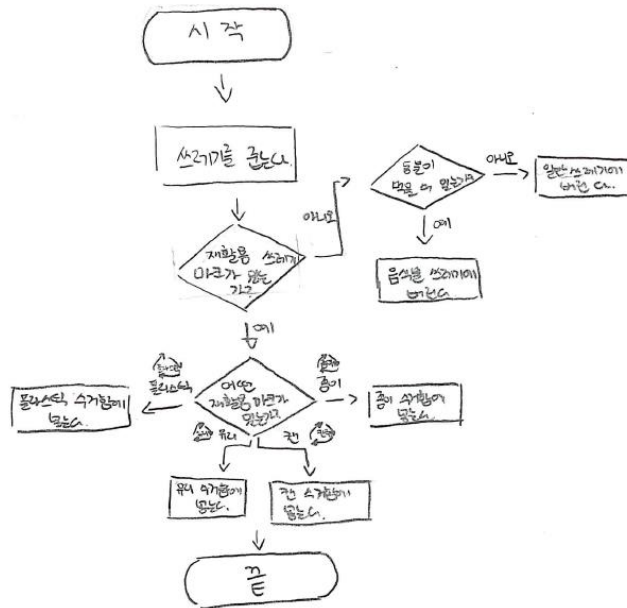


Figure 8. Example of problem solving in the Representation & Reasoning-Reasoning.

학생들은 순서도를 그리기 위해 다양한 해결책을 탐색하였는데[PS4], 이 과정에서 Figure 9와 같이 자신이 직접 쓰레기를 처리해 본 경험이나 사례를 반영하여[A2] 순서도를 구성하기도 하였다. 학생들은 주로 쓰레기를 일반 쓰레기, 음식물 쓰레기, 재활용 쓰레기로 분류하였는데 이는 학생들이 생활 속에서 주로 접하는 쓰레기에 대한 상식을 활용한 것[A3]으로 볼 수 있다.

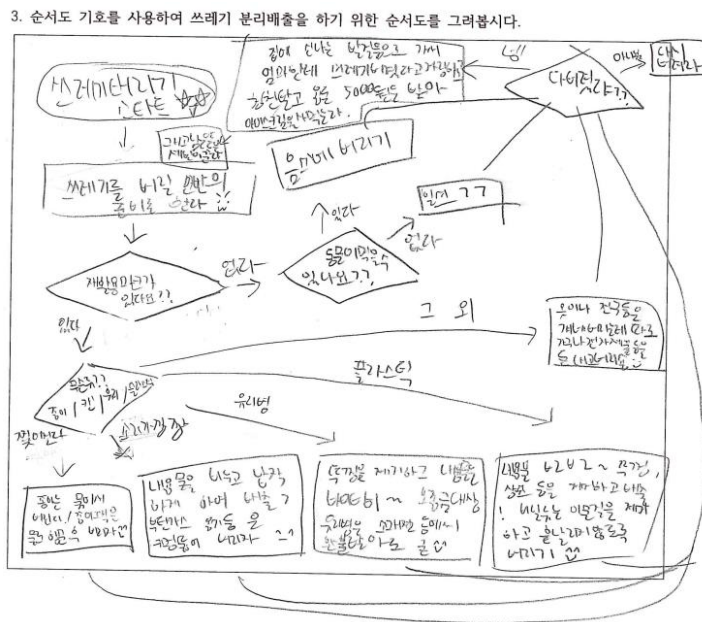


Figure 9. Example of A2.

결론 및 제언

본 연구는 인공지능 사고를 함양하는 데 초점을 둔 수학 융합 수업을 설계하여 실시한 수업 사례로부터 초등학생들이 보이는 인공지능 사고를 분석하였다. 분석 결과로부터 두 가지 연구 문제에 대해 도출한 결론 및 시사점은 다음과 같다.

연구 문제 1인 인공지능 사고 함양을 위한 수학 융합 수업 설계와 관련하여 다음과 같은 결론 및 시사점을 도출할 수 있다.

첫째, 인공지능 사고를 함양하기 위한 수학 융합 수업의 설계 및 실천 방안을 모색하기 위한 준거로서 인공지능 빅 아이디어 5의 활용 가능성을 확인하였다. 인공지능 빅 아이디어는 4개의 학년군별로 학습목표와 지속적 이해를 제시함으로써 인공지능 교육 대상의 인지적 수준에 따른 수업 설계를 가능하게 하였고, 본 연구에서는 3-5학년의 준거를 바탕으로 수업을 설계 및 적용할 수 있었다. 인공지능 사고를 함양할 수 있는 수학 융합 수업을 설계하기 위해 인공지능 빅 아이디어 5에서 제시하는 학년군별 학습목표와 지속적 이해를 현 우리나라 교육과정 성취기준 및 교과서 장면과 연계하고, 해당 학습 목표를 달성할 수 있는 활동을 구상하였다. 이를 통해 인공지능에 대한 경험이 부족한 초등학생들에게도 인공지능 사고 수업이 충분히 적용 가능함을 확인하였다. 인공지능 교육에 관한 많은 연구가 이루어진 최근까지도 인공지능은 어린 학생들에게 너무 앞서간 지식으로 여겨진다(Touretzky et al., 2019b). 그러나 초등학생들도 인공지능이 작동하는 기본 원리를 이해하는 것은 얼마든지 가능하며, 이는 이후 학교급에서 본격적으로 인공지능을 학습하기 위한 기초 경험을 제공할 수 있다.

둘째, 인공지능 빅 아이디어의 하위 개념인 Perception-Processing, Learning-Nature of Learning, Representation & Reasoning-Search, Representation & Reasoning-Reasoning 등을 수학 내용 요소 및 과정 요소와 함께 구현함으로써 인공지능 교육과 수학교육의 학습 목표를 상호 구축하는 융합교육을 통한 시너지 효과를 극대화할 수 있었다. 본 연구는 수학 융합 수업에 초점을 두었지만, 정보를 다루는 실과 융합뿐만 아니라 빅 아이디어 ‘학습’을 과학 융합 수업, 빅 아이디어 ‘자연스러운 상호작용’을 국어 융합 수업, 빅 아이디어 ‘사회적 영향’을 도덕 융합 수업 등으로 의미 있게 설계하는 것이 가능할 것임을 시사한다. 현재 학교 현장에서는 교사들이 인공지능 교육의 필요성에 대해 공감대를 형성하고 있지만, 인공지능 교육만을 위한 별도 시수 등의 자원 확보가 어려운 상태이다. 이러한 현 학교 상황에서 교과 교육과정 및 교과서 내용과 인공지능 교육 간의 유기적 연계가 가능하다는 것을 보여주었다는 점에서 본 연구의 의의를 찾을 수 있다.

연구문제 2인 인공지능 사고 함양을 위한 수학 융합 수업 과정에서 나타난 학생의 인공지능 사고의 특징으로서 다음을 확인할 수 있었다.

첫째, 인공지능 사고 함양을 위한 수학 융합 수업에서 학생들이 보인 인공지능 사고의 특징은 다음과 같다. 먼저 데이터 요소로는 데이터 수집, 조작, 시각화가 주로 나타났으며, 학생들은 특히 주어진 문제를 해결하기 위해 자료를 탐색 트리나 순서도 등으로 시각화하는 방법을 사용하였다. 인공지능 사고 요소 중 모델링과 시뮬레이션 요소로는 학생들이 해결책을 찾고 검토하기 위해 컴퓨터가 사용하는 모델을 사용, 평가, 설계하는 모습을 관찰할 수 있었다. Perception-Processing 수업에서는 학생들이 실세계에서 구상한 그림과 컴퓨터를 활용한 모델을 비교하며 평가하는 과정을 거쳐 실제 컴퓨터로 모델을 설계하였다. Representation & Reasoning-Search, Representation & Reasoning-Reasoning 수업에서는 직접 컴퓨터를 이용하지는 않았으나 컴퓨터의 작동 방법을 모방하여 주어진 문제를 해결할 수 있는 모델을 설계하였다. 학생들은 수업 과정에서 컴퓨팅 문제해결 요소 중 문제해결을 위해 문제를 작은 단위로 분해하고 다양한 접근법을 검토하며 새로운 문제에 기존의 모듈을 적용하여 문제를 해결하는 사고 특징을 보였다. Representation & Reasoning-Search 수업에서 학생들은 탐색 트리에서 여러 경우의 수를 고려하였고 가능한 경우의 수와 불가능한 경우의 수를 평가해 나가며 문제를 해결하였다. 또한 조건을 추가하여 새로운 문제를 제시했을 때 기존의 해결책을 적용하여 새로운 문제를 빠르게 해결하는 사고 특징이 드러났다. Representation & Reasoning-Search와 Representation & Reasoning-Reasoning 수업 모두 모델을 완성한 다음 설계한 모델에 문제점이 없는지 확인하고 필요한 경우 모델을 수정하는 디버깅 과정을 거쳤다. 인공지능 사고 요소로는 비정형 데이터 다루기, 지식과 사례 기반 문제 해결, 상식 추론, 의미론과 맥락 처리가 나타났다. 학생들은 모든 수업에서 그림이나 언어 등 주어진 비정형 데이터를 인공지능이 파악할 수 있는 정형 데이터로 전처리하는 양상을 보였다. Representation & Reasoning-Reasoning 수업에서 학생들은 순서도를 구성할 때 생활 속에서 직접 쓰레기를 처리해 본 경험과 사례를 반영하여 문제를 해결하였으며 Representation & Reasoning-Search 수업에서는 문제를 읽고 조건을 파악하는 단계에서 늑대, 염소, 양배추라는 대상에 대한 상식을 적용하였고, 주어진 문제 상황에서 의미와 맥락을 파악하여 해결책을 만드는 모습을 관찰할 수 있었다. 반면 시스템 사고 요소는 상대적으로 학생들이 선호하는 사고가 아닌 것으로 확인되었다. 시스템 사고 요소는 Representation & Reasoning-Search 수업에서 학생들이 늑대, 염소, 양배추라는 각각의 대상 간의 관계를 이해하고 이를 이용해 강을 건너는 방법을 찾는 과정에서만 찾아볼 수 있었다. 이는 전체적인 시스템에 대한 이해와 조망이 필요한 시스템 사

고 요소가 초등학생 수준에서 다루기에는 다소 어렵기 때문으로 보인다.

둘째, 인공지능 빅 아이디어에 기초한 수학 융합 수업은 수학교육적 측면에서 목표로 삼은 수학적 내용 요소의 이해 및 과정 요소의 강화에 도움이 되었다. 본 연구에서 설계한 수업은 입체도형, 공간 감각 등의 수학적 내용뿐만 아니라 컴퓨팅 사고와 밀접한 수학적 과정 요소의 성취에 대한 효과도 있을 것으로 예상되었다. 특히 Representation & Reasoning-Search, Representation & Reasoning-Reasoning에서 초점을 두었던 문제 해결 역량과 추론 역량 외에도 디지털 도구를 활용한 정보처리, 모둠 논의를 통한 의사소통, 수학과 실생활을 연결한 학습 경험을 제공함으로써 2022 개정 수학과 교육과정에서 강조한 수학 교과 역량의 실천적인 강화를 이끌어냈다.

셋째, 인공지능 사고의 전이 가능성을 확인하였다. Representation & Reasoning-Search 수업에서 ‘늑대, 염소, 양배추 문제’를 해결한 후 문제의 조건을 확장하여 변형한 새로운 문제가 제시되었을 때, 학생들은 기존 문제를 해결할 때 사용한 탐색 트리의 구조를 유지하면서 트리의 노드 및 링크의 수만 변경하여 동일한 방식으로 문제를 해결할 수 있다는 것을 파악하고 실행하였다. 이처럼 탐색 트리 표현의 구조적 일관성을 유지한 채 조건이 변형된 문제를 해결함으로써 인공지능 사고의 전이 가능성을 볼 수 있었다.

이상으로부터 인공지능 융합 수업에서 인공지능 사고와 관련한 수학적 사고의 발현뿐만 아니라 교과 역량, 사고의 전이 가능성까지 긍정적 효과를 확인하였다. 이는 단순한 인공지능 도구 활용을 넘어 인공지능의 기저 개념 및 원리를 초등학교 수학 수업을 통해 지도하는 가능성을 확인하도록 해 준다. 다만 본 연구에서는 5-6학년에 적용 가능한 빅 아이디어를 중심으로 설계한 4개의 수업 중 3개를 적용하였으며, 학생의 인공지능 사고 분석 결과 시스템 사고 관련 하위 요소가 다른 하위 요소에 비해 상대적으로 부족하게 나타났다. 지도 대상을 저학년까지 확장하고 빅 아이디어의 다른 하위 요소를 융합한 수업을 고안, 적용함으로써 초등학생들의 다양한 인공지능 사고 요소를 함양하기 위한 교수학적 노력 및 지속적인 연구가 필요하다.

ORCID

Chohee Kim: <https://orcid.org/0009-0002-3124-0747>

Hyewon Chang: <https://orcid.org/0000-0002-7035-6606>

Conflict of Interest

The authors declare that they have no competing interests.

References

- AI4K12 Initiative (2020a, May 28). *Big Idea 1 -Perception Progression Charts*. AI4K12. <https://ai4k12.org>
- AI4K12 Initiative (2020b, November 19). *Big Idea 3 -Learning Progression Charts*. AI4K12. <https://ai4k12.org>
- AI4K12 Initiative (2021, June 28). *Big Idea 2 -Representation & Reasoning Progression Charts*. AI4K12. <https://ai4k12.org>
- Barr, V., & Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12: what is involved and what is the role of the computer science education community?. *ACM Inroads*, 2(1), 48-54. <https://doi.org/10.1145/1929887.1929905>
- Chang, H., & Nam, J. H. (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. <https://doi.org/10.20972/kjee.31..202101.105>
- Choe, H. J. (2021). Study of AI thinking education based on computational thinking. *The Journal of Korean Association of Computer Education*, 24(3), 57-65. <https://doi.org/10.32431/kace.2021.24.3.006>
- Choi, S. Y. (2022). *Development of an instructional design model for elementary mathematics classes for elementary mathematics classes based on an artificial intelligence education system* [Master's thesis, Seoul National University]. <https://dcollection.snu.ac.kr/common/orgView/000000169790>
- Choi, S. Y., & Chang, H. (2024). Development and application of artificial intelligence education program for mathematics convergence using robots. *Education of Primary School Mathematics*, 27(1), 19-38. <https://doi.org/10.7468/jks-mec.2024.27.1.19>

- Computer Science Teachers Association (CSTA). (2017). *CSTA K12 computer science standards, Revised 2017*. CSTA. <https://www.csteachers.org/standards>
- Drake, S. M., & Burns, R. (2006). *Integrated curriculum* (Y. Park et al., Trans.). Wonmisa. (Original work published 2004).
- Gadanidis, G. (2017). Artificial intelligence, computational thinking, and mathematics education. *The International Journal of Information and Learning Technology*, 34(2), 133–139. <https://doi.org/10.1108/IJILT-09-2016-0048>
- Heintz, F. (2022). The computational thinking and artificial intelligence duality. In S. Kong & H. Aelson (Eds.), *Computational thinking education in K-12* (pp. 143–151). The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/13375.003.0012>
- Jeong, G. (2023). *Development of artificial intelligence convergence class based on computational thinking using technology tools in middle school mathematics subject* [Master's thesis, Korea National University of Education].
- Jeong, S. G., & Park, M. G. (2023). Development of artificial intelligence mathematics convergence education program linked with elementary mathematics curriculum. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea*, 27(1), 87–108. <https://doi.org/10.54340/kseme.2023.27.1.5>
- Jung, W. S., Seo, S. H., & Hwang, J. H. (2023). *CHOINSU-elementary artificial intelligence*. Jigumoonwha.
- Kim, H. N., & Jeon, Y. J. (2023). Development of artificial intelligence convergence education program of elementary mathematics data and possibilities area based on UMC model. In *Proceedings of the Korean Association for Computer Education Winter Conference* (pp. 311–314). The Korean Association for Computer Education.
- Ministry of Education (2020). *Practical arts (technology and home economics) informatics curriculum*. Ministry of Education.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms*. Basic Books, Inc.
- Papert, S. (1996). An exploration in the space of mathematics education. *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, 1(1), 95–123. <https://doi.org/10.1007/BF00191473>
- Park, M. G., Kim, Y. H., Choi, H. J., Jeong, H. W., & Park, S. S. (2022). *Learning AI through mathematics of textbooks*. Junior Kimyoungsa.
- Rad, P., Roopaei, M., Beebe, N., Shadaram, M., & Au, Y. (2018). AI thinking for cloud education platform with personalized learning. In *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 3–12). HICSS. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2018.003>
- Sung, J. (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>
- Touretzky, D., Gardner-McCune, C., Breazeal, C., Martin, F., & Seehorn, D. (2019a). A year in K-12 AI education. *AI Magazine*, 40(4), 88–90. <https://doi.org/10.1609/aimag.v40i4.5289>
- Touretzky, D., Gardner-McCune, C., Martin, F., & Seehorn, D. (2019b). Envisioning AI for K-12: What should every child know about AI? *Proceedings of the Thirty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-19)*, 33(01), 9795–9799. <https://doi.org/10.1609/aaai.v33i01.33019795>
- Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2016). Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 127–147. <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9581-5>
- Wing, J. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
- Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambrusch, S., & Korb, J. T. (2014). Computational thinking in elementary and secondary teacher education. *ACM Transactions on Computing Education*, 14(1), 1–16. <https://doi.org/10.1145/2576872>
- Zeng, D. (2013). From computational thinking to AI thinking. *IEEE Intelligent Systems*, 28(6), 2–4. <https://doi.org/10.1109/mis.2013.141>
- Zerega, R., & Milrad, M. (2023, August 21–23). Computational thinking and AI: Two irreconcilable worlds? [Conference presentation abstract]. *2nd International Symposium on Digital Transformation*. Linnaeus University, Växjö, Sweden. <https://open.lnu.se/index.php/isdt/article/download/3780/3456>

인공지능 사고 함양을 위한 인공지능 빅 아이디어 기반 초등학교 수학 융합 수업 사례연구

김초희¹, 장혜원^{2*}

¹서울강동초등학교 교사

²서울교육대학교 교수

*교신저자: 장혜원(hwchang@snue.ac.kr)

초 록

본 연구의 주요 목적은 인공지능 사고를 함양할 수 있는 수학 융합 수업을 설계하고 이를 적용함으로써 나타나는 초등학생들의 인공지능 사고를 분석하는 것이다. 이를 위해 미국의 AI4K12 Initiative가 개발한 인공지능 빅 아이디어의 학습목표(Learning Objective) 및 지속적 이해(Enduring Understanding)와 2015 개정 초등학교 수학과 교육과정 성취기준을 연계하여 인공지능 사고 함양을 위한 수학 융합 수업을 설계 및 실시하였다. 수학적 내용 수업 2개, 수학적 과정 수업 2개로, 수학적 내용 수업은 인공지능 빅 아이디어의 Perception-Processing, Learning-Nature of Learning과 연계하였으며 수학적 과정 수업은 Representation & Reasoning-Search, Representation & Reasoning-Reasoning과 연계하였다. 설계한 수업 중 Learning-Nature of Learning을 제외한 세 개의 수업을 대상 학년에 맞추어 K 초등학교 5학년 두 학급, 6학년 한 학급에 적용하였다. 수업 중 학생 담화 및 활동지, 수업 관찰 자료를 수집하였으며, 이를 컴퓨팅 사고 분류 체계를 기반으로 인공지능 사고 구성 요소를 추가하여 구성한 인공지능 사고 분석틀을 사용하여 분석하였다. 연구 결과, 인공지능 빅 아이디어가 인공지능 사고 함양을 위한 수학 융합 수업 설계 시 준거로서 기능할 수 있고 이를 통해 초등학생들에게도 인공지능 교육이 가능함을 확인할 수 있었다. 수학 융합 수업은 학생들의 다양한 인공지능 사고를 촉진할 수 있었는데, 구체적으로 수업 과정에서 데이터, 모델링과 시뮬레이션, 컴퓨팅 문제해결, 인공지능 사고 요소가 다양하게 나타난 것에 비해 시스템 사고 요소가 나타나는 빈도수는 상대적으로 적었다. 또한 입체도형 및 공간감각 등의 수학적 내용 요소와 수학 교과역량에 해당하는 수학적 과정 요소의 성취를 보여주었다. 요컨대 인공지능 빅 아이디어를 기반으로 한 수학 융합 수업은 초등학생들의 인공지능 개념 및 원리 이해와 수학적 내용 요소의 이해 및 과정 요소의 강화에 도움이 된다고 할 수 있다. 더욱이 학생들은 수업 중 기존 문제해결 방법의 구조적 일관성을 유지한 채 이를 새로운 문제해결로 확장하는 모습을 보여주었는데, 이러한 반응을 통해 인공지능 사고의 전이 가능성을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과에 기초하여, 대상 학년과 빅 아이디어의 하위 요소를 확장함으로써 초등학생들의 다양한 인공지능 사고 요소를 함양하려는 수학 수업 설계를 통한 교수학적 노력 및 지속적인 연구가 필요하다.

주요어 인공지능 사고, 컴퓨팅 사고, 인공지능 빅 아이디어, 수학 융합 수업, 수업 설계, 사고 분석

