

RESEARCH ARTICLE

Analysis of the Necessity of AI Utilization and Digital Competencies and Use Cases for Science Teachers

Mihyun Son*

Future Innovation Institute, Seoul National University

과학 교사의 인공지능 활용 역량과 디지털 역량에 대한 필요성과 활용 사례 분석

손미현*

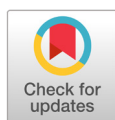
서울대학교 미래혁신연구원

*Corresponding Author: 79algus@snu.ac.kr

ABSTRACT

This exploratory qualitative study aimed to investigate the specific practices and the necessity of cultivating AI utilization capabilities and digital competencies among science teachers. The research involved interviews and focus group interviews with nine science teachers in secondary schools who incorporated AI and digital tools in their science classes. This study revealed that science teachers' need for AI literacy and digital competence can be categorized into the following key motivations: personal curiosity, a sense of fulfillment as educators, a passion for enhancing student engagement in lessons, and the evaluation of students' evolving competencies from a trans-disciplinary perspective. Furthermore, the study identified several implementation measures, including the utilization of AI tools for visualization, comprehension of AI tool principles at an accessible level, employment of computer languages for statistical data processing and visualization, adoption of platforms for identifying information sources and sharing information, utilization of diverse sensors while assessing their advantages and disadvantages, and the design of interdisciplinary science inquiry lessons that leverage the capabilities of AI tools and digital resources. The outcomes of this research contribute to enhancing the practicality of new scientific investigations and offer insights for formulating policy guidelines to foster science teachers' proficiency in AI utilization and digital competencies.

Key words: AI utilization competency, digital competency, science teachers' perception, instruction case analysis



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2023, Vol. 13, No. 3, 245-263.

<https://doi.org/10.31216/BDL.20230015>

Received: August 30, 2023

Revised: September 23, 2023

Accepted: September 25, 2023

© 2023. Institute of Brain based Education,
Korea National University of Education



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.

Introduction

AI, 정보, 디지털을 강조하는 시대적 조류와 COVID-19는 미래 교육의 변화를 가속하고 있다. 변화하는 사회에 맞추어 전 세계적으로 교육의 목표가 미래 역량 교육으로 바뀌고 있으며(OECD, 2018), 우리나라에서도 미래 역량 함양을 위한 교육의 변화를 시도하고 있다. 2015 개정 교육과정부터 시작된 역량 교육에 대한 접근은 2022 개정 교육과정에서도 지속되고 있으며, 다양한 미래 역량 중에서도 인공지능 역량과 디지털 역량은 더욱 강조되고 있다.

ChatGPT와 같은 인공지능 기술이 가져오는 사회의 변화에 많은 사람의 관심이 몰리면서 인공지능 교육에 대한 논의는 더욱 가열되고 있으며, 특히 인공지능을 어떻게 우리 생활에 이롭게 활용할 수 있는가에 대한 다양한 교육적 방법이 제안되고 있다(Kim et al., 2020). 인공지능 역량을 교육의 맥락에서 함양할 때 사용되는 용어가 인공지능 활용 역량으로, 이는 교수 학습 상황에서 학습을 촉진하기 위해 도구로서 인공지능을 활용하는 능력을 의미한다(Hong et al., 2020). Gilster(1997)에 의해 처음 제시된 디지털 역량은 디지털 소양, 디지털 리터러시 등과 유사하게 사용되고 있으며 2022 개정 교육과정에서 언어, 수리와 함께 필수적인 세 가지 리터러시 중 하나로 디지털 소양을 지정하였다. 디지털 소양은 디지털 지식과 기술에 대한 이해와 윤리의식을 바탕으로, 정보를 수집·분석하고 비판적으로 이해·평가하여 새로운 정보와 지식을 생산·활용하는 능력으로(MOE, 2022), AI를 이해하고 활용하는데 필수적인 기초를 제공한다. 즉, 인공지능을 제대로 활용하기 위해서는 디지털 도구, 데이터의 정리, 수집이나 분석, 윤리적 입장에 대한 심도 있는 이해가 수반되어야 하며(Yang et al., 2020), AI 활용 역량을 키우기 위해서 교사들이 원하는 것은 실제적 학습 설계 역량과 AI 활용 데이터 해석 역량이므로(Lee & Lee, 2022), 결과적으로 디지털 역량은 AI 활용 역량의 필요조건이 된다.

이러한 역량 교육이 원활하게 현장에서 이루어지기 위해서는 데이터의 특징과 본질을 파악하고 목표 설정을 올바르게 할 수 있는 지식의 상생적 매개자로서의 교사 역할이 중요하다(Kim, 2021). 즉, 교사가 인공지능 활용 역량과 디지털 역량을 기본적으로 갖추었을 때 이러한 수업을 설계하여 적용할 수 있는 것이다. 이에 교육부에서는 예비 교사와 현직 교사 대상 디지털, 인공지능 역량 함양을 위해 AIEDAP(AI Education Alliance and Policy Lab) 사업을 2022년부터 추진하고 있으며, 2025년까지 전국 단위의 예비 교사 교육과 현직 교사 재교육의 모델을 만들고 운영하는 것을 목표로 하고 있다. 또한 각 지역교육청이나 교육 관련 기관에서도 교사 연수 실시, 교사연구회 운영, 온라인 영상 제작 및 공유 등 다양한 방법으로 교사들의 역량 함양을 위해 노력하고 있다. 제도적인 지원뿐 아니라 많은 연구자 역시 디지털 역량과 인공지능 활용 역량을 키우는 방안을 모색하였다. 인공지능 활용 역량을 함양하기 위해서 Lee(2022)는 내용 지식, 실습지식, 수업 준비, 수업 실행, 수업 평가, 학생 태도, 수업 성찰, 전문성 향상 등 교육 활동과 연관 지어 구분하였고, Cho & Choi(2022)는 인공지능의 이해, 윤리, 사회 정서 등 내용적인 측면을 기준으로 제시하였다. 또한 Lee et al.(2022)는 AI에 대한 이해를 바탕으로 하는 AI 탐색 및 선정 능력, AI의 기술적 어포던스를 고려한 맞춤형 수업과 융합적 문제 해결 수업 설계 능력, AI를 활용한 다양한 전략 적용 능력, AI로부터 얻은 데이터를 이용한 맞춤형 피드백 제공 능력, AI 활용 수업 개발을 위한 지속적 태도를 꼽았다. 디지털 리터러시 교사 교육에 대한 연구로 Son et al.(2023)은 미술교과 사례를 통해 교사에게 필요한 디지털 리터러시로 기술적 능숙도, 교육학적 적용 능력, 사회적 인식과 참여를 꼽으며 이에 대한 교육이 필요하다고 주장하였다. Park et al.(2022)는 유아 교사에게 필요한 디지털 리터러시로 디지털 시민성, 디지털 사고력, 디지털 콘텐츠 제작 및 플랫폼 활용, 디지털 페다고지 등을 제시하였다. 그러나 지금까지의 선행 연구를 살펴보면 디지털 역량과 인공지능 활용 역량이 밀접하

게 연관되어 있음에도 불구하고 각각의 역량에 대해 개별적으로 진행한 연구들이 대부분이었다. 실제 교사가 수업을 진행할 때는 두 가지 역량이 서로 영향을 미치면서 작용하거나 명확히 구별하기 어려운 지점들이 발생할 수 있으며, 하나의 활동에서 이 역량들이 복합적으로 함양될 수 있도록 수업을 구성하는 것도 또 다른 효과적인 방안이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 두 역량에 대한 전반적인 교사의 인식과 교사가 실제 수업에서 필요한 역량을 정의하고자 하므로 이 두 가지 역량을 구별하지 않고 교사의 인식과 역량 함양을 위한 방안에 대해 모색한다.

디지털 역량과 인공지능 활용 역량 교육이 이루어지는 실제 현장을 살펴보면, 정보 교과 외에도 여러 교과에서도 실행되고 있으며(Roh, 2023), 다양한 활동을 통해 역량을 함양할 수 있도록 정부에서도 여러 교과의 맥락에서 다룰 것을 요구하고 있다(MOE, 2022). 여러 교과 중에서도 특히 과학 교과는 미래 역량 중 디지털 관련 역량이나 인공지능 역량과 관련이 깊다(Lim & Jang, 2016; Ryu & Han, 2018; Son & Jeong, 2020). 2022 개정 교육과정에서도 ‘디지털 탐구도구’, ‘빅데이터’, ‘데이터 공유’, ‘데이터 분석’, ‘실생활 데이터’ 등 기존 과학과 교육과정에서 명시적으로 나타나지 않았던 용어들이 직접적으로 언급되고 있으므로(MOE, 2022), 앞으로 수업 운영을 위해서 과학 교사에게 디지털 역량이나 인공지능 활용 역량은 매우 필수적이라고 할 수 있다. 교사들이 가진 인공지능 역량이나 디지털 역량에 대한 인식이나 요구분석에 관한 연구들은 이루어지고 있으나(Kim & Han, 2020; Ryu & Han, 2018), 과목의 특성이나 대상의 수준 차이에 대한 고려가 충분하지 않으므로 구체적인 교사 교육의 실행 방침을 개발하는 데는 한계가 있다. 또한 과학 교과 맥락에서 이루어진 연구에서도 AI 교육에 대한 인식을 확인하였으나 구체적인 실행 방안은 제시되지 않고 있다(Shin, 2022). 그러므로 교과 맥락과 학교급 등을 고려하여 과학 교사들의 디지털, 인공지능 활용 역량에 대한 인식을 확인하고 수업 경험을 토대로 역량 함양을 위한 실행 방안을 모색할 필요가 있다.

그렇다면 과학 교사들의 디지털 역량과 인공지능 활용 역량을 함양하기 위해서는 무엇을 해야 할까? 이에 대한 답을 얻는 방법의 하나로 이미 디지털, 인공지능 활용 역량을 바탕으로 수업을 운영하는 과학 교사들의 의견을 직접 들어볼 수 있다. 많은 과학 교사들은 다른 교과 교사들과 마찬가지로 인공지능 활용 역량이나 디지털 역량에 대한 이해와 이를 고려한 수업 설계가 어렵다고 생각한다(Shin, 2022). SW 교육 지도 경험이 많은 초등 교사들은 다른 교과목에 비해 과학과의 관련성을 매우 높게 인식하고 있고(Ryu & Han, 2018), 중등 과학 교사들도 인공지능 교육이 과학 교육과 매우 높은 연관이 있다고 생각하지만(Kim, 2022), 교수 학습 방법보다는 평가나 행정적인 측면에서의 인공지능의 활용을 더욱 크게 고려하고 있는 것이 현실이다(Kim et al., 2020). 하지만 몇몇 과학 교사들은 이미 몇 년 전부터 인공지능 역량이나 디지털 역량이 기본이 되어야 하는 과학 수업을 시행하고 있다. IoT 센서를 이용하여 중학교 동아리 학생들을 대상으로 데이터 기반 과학탐구를 실시하거나(Son & Jeong, 2020), 초등학생을 대상으로 디지털 탐구도구를 활용한 탐구를 수행하기도 하였다(Jeong & Son, 2020). Cho et al. (2021)는 인공지능 교육 플랫폼을 이용해 초등학생 대상의 암석 분류 프로그램을 개발하였으며, Heo & Chun (2022)는 ‘첨단과학탐구’ 단원에서 인공지능을 이용한 수업 프로그램을 개발하여 적용하였다. 또한, 자율적으로 운영하는 과학 교사 연구회에서도 인공지능, IoT, 빅데이터, 확장 현실 기술을 활용한 과학탐구를 수행하기도 하였다(Hong et al., 2021). 이들이 어떤 이유로 이러한 수업을 시작하고 지속하는지를 살펴보는 것은 교사의 동기화 과정을 알아보고 이를 이용한 교육 정책이나 교사교육 방안을 기획하는데 도움이 될 수 있다. 현장의 목소리를 직접 확인하는 다양한 실증적 연구로 산출된 결과는 체계적이고 현장성 높은 교육 정책의 방향성을 모색하는데 도움이 될 수 있다(Byeon, 2021). 또한 과학 교사의 역량에 대한 학습동기를 확인하기 위해서는 탐색적으로 접근할 필요가 있다. 동기화 이론을 살펴보면 행동주의 이

론에서는 보상 등의 외적 동기에 의해 학습행동이 유발된다고 이야기하고, 인본주의 이론에서는 유능감, 자존감, 자아실현 등의 내적 자원이 동기 유발의 원인이 된다고 설명하고 있다. 인지주의 이론에서는 계획, 목표, 기대, 귀인과 같은 사고에 의해 결정되며, 내적 동기 이론에서는 개인의 흥미, 호기심, 성취감 등의 요인이 동기화의 원인이 된다고 언급한다(Lee, 2021). 따라서 다양한 관점에서 과학 교사들의 동기 유발과 지속의 이유를 살펴보는 것은 과학 교사들의 디지털 역량 및 인공지능 활용 역량을 함양시킬 수 있는 방향성에 대한 실마리가 될 수 있을 것이다

따라서 본 연구에서는 인공지능이나 디지털 도구를 활용한 다양한 수업을 실시한 과학 교사들이 이러한 수업을 시작하고 지속하는 이유와 수업 경험을 탐색적으로 분석함으로써 이러한 역량이 과학 교과 맥락에서 실질적으로 필요한 당위성을 확인하고 수업 활용에 대한 구체적인 활용 방안이 무엇인지 알아보고자 하였다. 이에 본 연구의 연구 문제는 다음과 같다.

1. 과학 교사에게 인공지능 활용 역량과 디지털 역량이 필요한 이유는 무엇일까?
2. 과학 교사에게 필요한 인공지능과 디지털 활용은 어떤 것들이 있는가?

Materials and Methods

Participants

본 연구의 목적은 과학 교사에게 인공지능 활용 역량 및 디지털 역량이 필요한 이유와 이 역량들을 함양하기 위해 과학 교사에게 필요한 구체적인 실행 방안을 탐색하는 데 있다. 따라서 디지털 도구나 인공지능을 활용한 수업을 이미 적용하고 있는 9인의 교사들을 선정하여, 그들이 새로운 방식의 과학 수업에 관심을 가지게 된 이유와 수업을 수행하며 겪었던 어려운 점, 이를 해결하기 위해 필요하다고 생각하는 구체적인 실행 방안 등을 찾아보고자 하였다. 연구 참여자의 풍부한 탐구 지도 경험은 연구의 신뢰도와 타당도를 결정하는 매우 중요한 요소가 되므로, Table 1과 같이 다양한 인공지능 또는 디지털 탐구 도구, 소프트웨어를 활용하여 과학 수업을 진행하는 과학 교사 9인을 연구 참여자로 선정하였다. 연구 참여자의 학교급은 중고등학교이며, 물리학, 화학, 생물학, 지구과학 분야를 모두 포괄할 수 있도록 하였다.

연구 참여자는 블록 코딩이나 파이썬 언어와 같이 컴퓨터 언어 한 가지를 다룰 수 있었으며, 일반적인 과학 수업에서 인공지능 앱, 블록 코딩이나 텍스트 코딩을 이용한 탐구 활동, 데이터 분석 등을 이용한 탐구 활동 등 다양한 경험이 있었다. 또한, 이와 관련된 학위 과정 중이거나 학위가 있었고, 예비 교사들과 대학원생, 현직 교사에게 강의하는 등 인공지능을 활용하거나 디지털 도구를 활용한 탐구에 대한 전문적인 지식과 수업 적용 방법에 대한 전문성을 가지고 있다.

Table 1. Background of participants

	Major	School Grade	Career (year)	Experience with AI literacy and digital competencies
A	Physics	Middle	27	Author of books on teaching with AI, developer of JAVA programs for science education
B	Physics	High	10	Leading teachers in AI and STEAM
C	Chemistry	High	17	Master degree of AI convergence graduate school, leading teacher of AI convergence education
D	Earth science	Middle	7	Author of AI-enabled education books, astronomy research using big data
E	Chemistry	Middle	13	Director of AI Data Literacy and Intelligent Science Lab Model School, and SW-AI Camp Instructor
F	Biology	High	24	STEAM+I AI program developer, author of "Keeping Up with K-STEAM"
G	Biology	Middle	28	Teacher trainer of AI-Microscope Project, and content developer of Intelligent Science Lab ON
H	Chemistry	High	19	Developer of data-driven exploration program, and operator of research school for 'Application of Intelligent Information Technology'
I	Biology	High	26	Teachers and program developers of AI and Software 'R' courses

Data Collection and Questionnaire

본 연구는 전문성을 지닌 9인의 연구 참여자와 개방형 설문지를 토대로 FGI와 인터뷰를 시행하였다. 더 많은 연구 참여자들의 의견을 듣는 방식을 고려하였으나, 인공지능, IoT 센서 활용 등 디지털 도구, 실제 데이터를 활용한 탐구 등을 수업에 자주 활용하는 교사들의 수가 많지 않으므로, 다수의 교사를 대상으로 하는 설문 연구에서는 구체적인 실행 방안을 모색하는 데 한계가 있다고 판단하였다. 따라서 충분한 전문성을 지닌 과학 교사의 경험으로부터 구체적인 실행 방법을 탐색하기 위해서 전문성을 지닌 소수의 교사를 대상으로 질적 연구를 실시하였다. 자료 수집은 두 차례에 걸쳐 이루어졌는데, 1차는 Table 2의 문항이 있는 개방형 설문지를 작성하도록 하였으며, 2차는 연구 참여자와의 Focus Group Interview(FGI)를 실시하였다. FGI에 참석하지 못한 일부 연구 참여자와 분석 과정에서 연구 참여자의 의미가 명확하지 않을 때는 개별 인터뷰를 시행하여 자료를 수집하였다.

본 연구의 목적은 디지털 역량과 인공지능 활용 역량을 갖춘 과학 교사들이 이러한 역량이 필요하다고 생각한 이유를 파악하고, 학생들의 역량 함양을 위해 교사에게 필요한 구체적인 기술은 무엇인지 알기 위한 것이다. 따라서 교사들이 활동을 시작한 이유를 다양한 관점에서 파악하고자 하나의 이론적 프레임을 정하지 않고 탐색적으로 교사의 인식에 영향을 미친 요인을 살펴보고자 하였다. 또한 디지털 도구와 인공지능 도구의 지속적 수업 활용을 위해서 기본적으로 갖추어야 하는 디지털 기술과 인공지능 기술이 무엇인지 확인하고자 하였다. 학습을 꾸준히 지속하기 위해서는 기초적인 학습 능력을 갖추어져야 하므로, 수업 시간에 활용한 인공지능 기술과 디지털 기술을 확인하고 필요한 수준을 결정하는 것은 교사들의 수업을 지원하거나 교육할 때 필수적인 요소이다. 이에 본 연구의 분석 결과는 크게 두 부분으로 나눌 수 있는데, 연구 참여자들의 동기를 알아보는 부분과 그들의 수업 활동 분석을 통해 필요한 기본적인 기술과 그 수준을 알아보는 것이다.

Table 2. The questionnaire provided to research participants

Category	Questionnaire content
Why AI and digital tools can be used in science classrooms	Why I'm interested in new forms of science instruction How has the new form of science instruction impacted my professional development as a teacher? What is the impact of a new form of science instruction on students?
Specific ways to use AI and digital tools in the classroom	What science lessons have I taught using digital and AI tools? How can this new form of science instruction be scaled to other units or school grades? What skills do teachers need and how can they be developed for new forms of science instruction?

개방형 설문지는 연구 참여자가 이러한 수업을 실행하는 이유를 확인하기 위한 부분과 필요한 역량 요소를 구체적으로 파악하기 위한 부분으로 구성되어 있다. 일반적으로 교사들이 새로운 형태의 수업을 시도하는 이유는 개인적인 욕구와 사회적인 요구가 모두 포함되어 있으므로, 개인적인 관심과 교사로서의 전문성을 중점적으로 확인하였다. 연구 참여자들의 실제 모습이 드러나는 구체적인 수업 상황을 살펴보는 것이 필요한 역량 요소와 수준을 파악하는데 더욱 깊이있는 이해가 가능하므로(Erickson, 1977), 수업 사례를 확인하고, 연구 참여자의 수업을 다른 교사들로 확장하는 데 필요한 역량과 수준을 확인하는 방식으로 인터뷰하였다.

연구 참여자들이 역량 함양을 위해 노력하게 된 이유는 개별 면담 형식으로 진행되었으며, 과학 교사들에게 필요한 기능과 그 수준에 대해서는 FGI를 통해 의견을 수렴하였다. 연구 참여자의 전공과 학년 급이 모두 상이하도록 구성하였으므로, 이를 수렴해가기 위해서 FGI 방식이 필요하였으며, 이를 통해 공통적인 기준을 제시할 수 있을 것으로 판단하였다. FGI와 인터뷰에서는 설문에서 제시한 질문을 토대로 연구 참여자들이 각자 자유롭게 이야기를 할 수 있도록 하였고 개별 인터뷰를 마친 후에는 다 함께 서로의 생각에 덧붙

여 이야기할 수 있도록 하였다. 인터뷰 내용은 모두 전사하여 분석하였으며, 연구자는 인터뷰 중 작성한 현장 노트와 전사본을 함께 분석하였다. 연구 참여자와 연구자 사이의 관계가 자료 산출의 질과 양을 좌우하므로 (Guillemin & Heggen, 2009), 인터뷰 전 연구 참여자와 연구자 사이의 신뢰감 형성을 위해 사전 만남을 가져 상호 신뢰 관계를 바탕으로 참여자들이 자기 경험과 생각을 솔직하게 이야기할 수 있도록 하였다.

본 연구는 소수의 연구 참여자를 대상으로 했기 때문에 연구의 결과를 일반화할 수는 없고, 그들의 경험이 특수할 수 있으므로 결과의 편향성을 배제할 수는 없다. 그러나 여러 교사의 사례와 그들의 경험으로부터 구체적인 실행 방안을 탐색하는 것이 본 연구의 목적이며, 과학 교사의 디지털 역량과 인공지능 활용 역량의 함양을 위한 다양한 방법 중 본 연구의 결과를 하나의 방안으로써 제안하는 것이므로 본 연구 결과를 해석할 때는 주의가 필요하다.

Data Analysis

자료 분석을 위해 1차 설문지 내용과 2차 FGI, 인터뷰 전사본을 다음 두 가지 관점을 기준으로 중요한 의미가 있는 문장 또는 문단을 추출하고 의미를 가장 잘 드러내는 내용이나 주제로 1차 코드를 부여하였다 (Huberman & Miles, 1994). 예를 들어 ‘인공지능을 하게 되면 학생도 약간의 남을 가르치는 입장이 돼요. 왜냐하면은 감시자가 됩니다. 인공지능 애가, 애가 제대로 되나 감시가 되거든요.’에서 감시자, 남을 가르치는 입장 등이 이 문장의 핵심어라고 할 수 있으므로 이에 1차 코드를 부여하였다. 이와 같은 방식으로 연구 참여자들의 FGI 내용과 개별 인터뷰 내용 등에서 의미를 찾아 세그멘팅 작업을 하였다. 2차 코딩에서는 한 범주의 속성과 차원을 구체화하고자 하였는데 (Strauss & Corbin, 1998), 1차 코드 중 교사, 학생, 동료 등의 주체와 행동의 이유, 활동의 내용 등을 기준으로 그 의미가 유사한 것끼리 범주화하였다. 예를 들어 1차 코드인 ‘기존 실험에서 키울 수 있는 역량과 차이가 나는’과 ‘자기가 경험하는 세계에서 가까운 형태로 재해석’, ‘그래프를 반드시 손으로 그려야 하는 것은 아니다’라는 등을 묶어 1차 코드의 내용을 토대로 ‘필요한 역량의 변화’라는 2차 코드로 묶었다. 3차 선택코딩은 원자료로부터 개방, 축 코딩 과정을 거쳐 의미를 갖게 된 내용들을 묶었는데, ‘학생’이라는 주체의 ‘역량 변화’의 의미를 담고 있는 2차 코드 ‘미래 역량에 대한 학생 측정 불가’, ‘학생들의 디지털 능력 향상’, ‘필요한 역량의 변화’를 묶어 3차 코드인 ‘학생의 새로운 역량의 측정 및 함양’을 생성하였다. 3차 코드는 과학 교사가 인공지능 활용 역량이나 디지털 역량이 필요한 이유에 대해서는 개인의 성취감, 새로운 도구를 활용한 수업 개선, 학생의 적극적인 참여가 있는 수업, 학생의 새로운 역량 측정, 환경과 학생의 역량 변화에 따른 교사의 위기의식 고조, 사회적 국가적 분위기 등으로 정리할 수 있었다. 각 코딩 단계에서 의미가 불명확한 것은 연구 참여자에게 추가로 질의하여 의미를 명확하게 하였으며, 1차 분석을 마친 후 연구 참여자에게 분석 결과를 확인하여 그 의미가 왜곡되지 않았음을 확인하였다. 또한 의미를 중범주, 대범주를 통합하는 과정에서 범주화가 적절하게 이루어지는지 확인하기 위해 원자료와 지속적으로 비교 분석하였다 (Merriam, 2009).

Results

1. Why did Science Teachers Need AI and Digital Competence?

연구 참여자들이 인공지능 활용 역량과 디지털 역량을 함양하기 위한 노력을 수행한 이유는 개인적인 측

면과 직업적인 측면, 사회적인 측면 등으로 크게 확인할 수 있었다. 특히 교사로서 직업적인 측면에 있어서는 수업이나 평가 등에 대한 일반적인 측면과 과학 지식의 특수성을 고려한 수업이나 과학탐구 역량 등 교과 맥락적인 측면에서 확인할 수 있었다. 전체적인 분석 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Coding and categorizing analysis content

Secondary Code	Tertiary Code
Personal curiosity about computers, coding	Personal fulfillment, interest
Personal inclination to take on new challenges	
Sharing information with fellow teachers and teacher organizations	
Improving Teaching and Learning	Passionate about improving instruction
Desire to improve course materials	
Classes with active student participation	
Unable to Measure Students for Future Skills	Measure new competencies for students
Improving students' digital skills	
Changing competencies needed	
Learning precise concepts	Learn about the nature of science and its accuracy
Cultivate the academic nature of science	
Helps structure knowledge	
Solving real-world, socially connected problems	Teaching Skills for Changing Scientific Inquiry
Measuring and modeling things we can't observe with senses	
Development of scientific instruments	
Disseminating Intelligent Science Labs	Social and national climate emphasizing advanced science education
Included in the 2022 Revised Science Curriculum	
A social climate that emphasizes AI	

A. Personal Interest and Teaching Satisfaction

연구에 참여한 교사 중 대부분은 이미 내적 동기화 되어 개인적인 성취감과 흥미로 인해 새로운 형태의 탐구나 컴퓨터 언어에 관심을 가지고 수업에 적용하고 있었다. 교사 A는 매우 오랜 시간 동안 이러한 탐구 수업을 지속해왔는데, 과거 우리나라 교육 정책에서 이러한 내용을 강조하지 않을 때부터 실행하였으며, 대학생 때부터의 호기심으로 시작한 자바 언어를 활용하여 다양한 형태의 수업 자료를 개발하여 보급하고 있었다. 교사 B, C, E, G는 본인의 외적인 성향과 새로운 것에 대한 호기심이 교사연구회 활동을 통해 학문적으로 발전한 경우로, 교사연구회의 활동이 새로운 탐구에 대한 정보 접근을 쉽게 하여 결과적으로 교사 전문성을 키울 수 있는 근본이 되었다고 언급하였다. 또한 외적 동기가 내적 동기로 변한 경우도 확인할 수 있었다. 프로 그래밍을 할 수 있는 동료 교사에 의해 데이터 탐구에 관심을 두게 된 교사 D는 프로그래밍 언어를 학습하면서 자신의 사고가 문제 분해 능력을 강조하는 컴퓨터적 사고(computational thinking)를 하고 있음을 깨닫고, 프로그래밍 언어 학습에 더욱 흥미를 갖게 되었다고 언급하였다. 교사 D는 컴퓨터적 사고가 숙달되면서 일반적인 문제 해결 과정에서도 컴퓨터적 사고를 하고 있었으며, 교사 스스로 경험한 장점을 학생들에게 전달하고자 과학 수업 시간에 컴퓨터 언어 교육의 필요성에 대해 자주 언급한다고 하였다. 공통으로 모든 연구 참여자들은 개인적으로 컴퓨터와 관련된 활동을 선호하는 경향이 있었으며, 이에 흥미를 느끼고 있었다. 하지만 모든 교사가 컴퓨터에 대한 개인의 호기심과 흥미가 있지 않으므로, 연구 참여자들은 교사 연수나 교사연구회 활동을 통해 개별 교사의 속도를 맞추어 충분히 학습하면서 유용성을 느낄 기회를 제공해야 한다고 생각하였다.

B. A Preference for Student-Led Instruction and a Passion for Improving Teaching

연구 참여자들은 대부분 학생의 적극적 참여가 있는 수업을 이상적으로 생각하였고, 학생들의 참여를 끌어내는데 인공지능 도구나 디지털 도구가 효과적이라고 생각하였다. 학생들에게는 새로운 인공지능이나 다양한 디지털 플랫폼을 활용하여 수업을 진행할 경우, 학생들이 흥미를 느끼고 좀 더 적극적으로 참여하고, 학생 개인의 활동을 더욱 쉽게 파악할 수 있어 교사의 누적적인 피드백이 가능함으로써 학생의 지속적인 참여가 가능하다고 언급하였다. 교사 C와 F는 구글 클래스 룸이나 오피스 365 등 학교에서 많이 활용하는 플랫폼을 수업 시간에 자주 활용하면서 학생들의 산출물 자료를 기록 및 누적하고 피드백을 제공한다고 하였다. 학생들은 교사의 피드백을 플랫폼을 통해 확인할 수 있고 다른 학생들의 결과도 함께 확인할 수 있으므로 더욱 적극적으로 수업에 참여한다고 언급하였다. Van et al. (2015)의 연구에 따르면 교사의 피드백은 학생들의 학습 동기를 높이고 적극적인 참여를 유도하는데, 교사 C의 사례를 살펴보았을 때 공유 플랫폼의 활용을 통해 학생 피드백을 제공하는 방법이 학생의 적극적 수업 참여를 끌어내는 데 도움이 된다는 사실을 본 연구에서도 확인할 수 있었다. 또한 대부분의 연구 참여자들은 학생들이 인공지능 플랫폼을 도구로써 수업에 활용하면서 학생들이 좀 더 주도적인 입장에서 수업에 참여할 수 있음을 확인하였다고 언급하였다.

“핸드폰을 열고 검색해서 ‘석회암’ 이미지 검색해서 여기서 나오는 이미지 그림을 카메라에 들이대 가지고요. 근데 이게 그냥 단순한 것 같지만 애들이 뭐라고 해야 되지 배우는 입장이랑 누구를 가르치는 입장하고는 또 이제 받아들이는 데이터의 깊이가 다르거든요. 인공지능을 하게 되면은 학생도 약간의 남을 가르치는 입장이 돼요. 왜냐하면은 감시자가 됩니다. 인공지능 애가, 애가 제대로 되나 감시가 되거든요.”

중학교 교사 A

교사 A의 답변을 통해 학생들이 인공지능을 활용하면서 단순히 정보를 받아들이지 않고 이를 비판적으로 사고하여 판단할 수 있도록 교사는 학생들을 이끌 필요가 있음을 확인할 수 있었다. 인공지능을 활용한 교육에서 많은 교사들이 수업에 어떻게 할지에 대해 고민하고, 이에 대한 교수 설계 역량이 가장 필요하다고 생각하고 있으므로(Lee & Lee, 2022), 이러한 교수 학습 사례가 더욱 다양하게 개발되고 확산할 기회가 마련될 필요가 있다.

C. Measure New Competencies of Students

연구 참여자들은 미래 사회에 필요한 역량이 과거와 다르다고 인식하고 있었으며 이를 반영하여 수업을 진행하기 위해서 교사가 변해야 한다고 생각하였다. 교육청이나 한국과학창의재단에서 개발되는 새로운 프로그램을 살펴보면 기존 역량으로는 활동이 쉽지 않았으며, 실제 학생들에게 적용할 학생들의 성취 정도가 매해 달라짐을 느끼고 있었고, 도구가 빠르게 변화하면서 이를 이해하고 익숙하게 활용하기 위해서 교사와 학생들에게 새로운 역량이 필요하다고 언급하였다. 기존 과학탐구를 통해 함양할 수 있던 역량과 미래 사회에 필요한 역량에 간극이 존재하므로, 이 간극을 없애기 위해 교사가 먼저 인공지능 활용 역량, 디지털 역량을 함양하고 이를 토대로 수업을 변화시킬 필요가 있다고 생각하였다. 연구 참여자들은 자신이 가르치는 학생들의 인공지능 활용 역량, 디지털 역량이 교사보다 훨씬 더 우위에 있으며 뛰어난 역량을 가진 학생들의 수가 급격히 늘고 있다고 인지하고 있었다. 수행평가와 과정평가가 활성화되고, 코딩 교육이 유행이 되면서 학

생들은 초등학교 때부터 다양한 컴퓨터 소프트웨어를 활용하거나 코딩을 학습하고 오는 경우가 대부분인데, 그에 반해 한 과목만을 가르치는 중등학교 교사들은 디지털 역량을 키울 수 있는 기회가 제한되므로 교사에게는 신선하고 새로운 도전이 이미 학생들에게는 과거의 것이 되는 경우도 발생한다고 언급하였다. 뿐만 아니라 연구 참여자들은 학생들의 인공지능 활용 역량, 디지털 역량이 함양되면서 평가에도 어려움을 겪는다고 언급하였으며, 교사의 인공지능 활용 역량, 디지털 역량이 부족할 경우 학생들의 평가가 제대로 이루어지지 않을 수 있음을 우려하였다. 교사가 변화하는 인공지능 도구의 흐름을 제대로 파악하지 못하면 시대에 뒤떨어진 평가를 제안하여 정확한 역량 평가가 이루어지지 못한다는 것이다.

“지리 선생님이 마지막에 3학년 아이들한테 그런 수행평가를 했어요. 나만의 지도 만들기. 나만의 우리나라 지도 만들기. 그 수행평가를 냈길래 제가 5초 만에 끝내버렸거든요. 그 발리 들어가 가지고 코리아 맵 지도 뭐 타이거 이렇게 써가지고 딱 보냈더니 이거 어떻게 하는 거냐고. 어떻게 하느냐고? 이제 나는 이런 수행평가를 낼 수 없겠네, 이렇게 해버리면. 하시더라고요. 그렇게 만약에 예비 교사 선생님이 방금과 같은 그런 수행평가를 생각해서 냈는데 아이들이 몇 초 만에 끝내버리면 그 선생님은 어떤 생각이 들까요?”

고등학교 교사 C

기존 체제에서 우수한 학생의 능력과 현재 또는 미래 사회에서의 우수한 학생의 역량이 다를 것으로 예상하지만, 현재의 학교 평가 항목이나 시스템, 교사의 역량 수준에서는 이를 확인하기가 불가능하다고 생각하였다. 따라서 교사라면 새로운 역량이 무엇이고, 이것을 어떻게 평가하면 좋을지에 대한 고민이 필요하다고 언급하였다.

D. Learn the Nature of Science and Accurate Scientific Knowledge

연구 참여자들은 과학의 본성과 과학적 지식을 교육하는데 디지털 도구와 인공지능을 활용하는 것이 효과적이라고 생각하였으며, 특히 학생 활동 중심의 수업을 구성할 때 학생들에게 생길 수 있는 오개념을 감소하는데 도움이 된다고 언급하였다. 과학이라는 교과를 자연에 존재하는 규칙성을 찾아 이해하는 학문으로 이해하고 있었으며, 학생들이 기본 원리를 이해하고 데이터로부터 의미를 찾아내는 활동이 매우 중요하다고 생각하였다. 2022 개정 교육과정에서는 교육과정에서 교사의 자율성을 점점 더 강조하고, 과학 교과에서도 프로젝트 수업이나 탐구 수업을 더욱 강화하고 있으므로(MOE, 2022), ‘과학을 과학답게’ 가르치기 위해서는 교사의 인공지능 활용 역량과 디지털 역량이 매우 중요한 요소라는데 모두 동의하였다. 또한 새로운 도구를 활용함으로써 기존 과학 개념 수업에서 발전된 형태의 수업 진행이 가능하였다. 교사 A, B, F, I는 시뮬레이션 수업에 대한 많은 관심이 있었다. 그 까닭은 두 가지로 이상적인 상황에서 적용되는 과학 법칙을 설명할 때와 눈으로 관찰하지 못하는 것을 설명할 때 유익하기 때문이었다. 예를 들어 물리학을 학생들에게 가르치는 과정에서 마찰력이나 충격량 등 이상적인 상황과 현실 상황에서의 차이로 오차가 발생하기 때문으로, 교사로서 학생들의 오개념을 줄이기 위한 방법으로 시뮬레이션을 활용한다고 하였다. 따라서 연구 참여자는 기존의 시뮬레이션 자료를 자신의 수업 맥락과 학생 특성에 적절하게 변형하고, Orang 3, 엔트리, 구글 데이터 스튜디오 등 다양한 플랫폼을 자신의 수업 맥락에 맞게 활용함으로써 올바른 개념을 익히는 데 도움이 된다고 하였다. 교사들의 면담 과정에서 드러난 초기 역량과 현재 시도하는 수업 사례를 비교해보면, 하나의 디지털

도구 또는 언어를 다룰 수 있는 능력이 다른 범주로 확대될 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 다른 분야의 전이가 일어날 수 있도록 몇 가지 플랫폼이나 도구, 컴퓨터 언어에 대한 교사 교육이 집중적으로 이루어질 필요가 있음을 확인할 수 있었다.

E. Build Teacher Expertise for Changing Scientific Inquiry

연구 참여자들은 과학 교사의 전문성 중 하나로 과학 탐구 지도를 꼽았으며, 실생활 데이터를 다루는 과학 탐구가 다양하게 이루어지면서 이에 대한 지도를 할 수 있기 위해서 인공지능 활용 역량과 디지털 역량이 필요하다고 생각하였다. 실생활과 연관된 문제를 탐구 주제로 설정하고 문제를 해결하는 과정에서 학생들은 많은 데이터를 수집하고 처리할 수 있어야 하는데, 이와 같은 경험이 부족한 학생들을 지도하기 위해서 교사의 인공지능 활용 역량과 디지털 역량이 필수적이라고 언급하였다. 탐구 방법과 주제의 변화와 함께 도구의 발달 역시 과학탐구의 변화를 촉진한다고 생각하였는데, 특히 센서와 과학탐구를 돕는 소프트웨어가 현장에 급속도로 퍼지고 있다고 하였다. 연구 참여자들의 대부분은 과학탐구를 위한 다수의 센서를 사용해본 경험이 있으며, 각 센서의 특징을 이해하고 있어, 다양한 주제의 탐구에 필요한 센서를 적절히 선택할 수 있었다. 또한 현재 개발되는 센서들은 자체 소프트웨어를 통해, 데이터 수집을 조절, 변형, 다운로드 받을 수 있도록 되어 있어, 연구 참여자들은 센서 업체의 협조로 교육을 받을 수 있다고 하였다. 이러한 경험이 반복되면서 새롭게 구매한 센서나 소프트웨어를 파악하는데 어려움이 줄어들고 더욱 적극적으로 다양한 주제의 탐구를 진행할 수 있어 과학 교사로서의 전문성이 함양되었다고 인식하고 있었다. 또한 지구과학과 생물 전공의 연구 참여자들은 센서와 소프트웨어의 도움으로 학생들이 오감으로 관찰할 수 없는 것들의 측정 데이터를 수집하거나 공공데이터를 이용하여 이론을 모델링함으로써 미래의 상황을 예측할 수 있는 탐구도 가능해졌다고 언급하였다. 관찰할 수 있는 대상의 확대와 모델링을 통한 예측 활동은 학생들의 과학에 대한 호기심을 고취하고 과학의 유용성을 인식하는 데 도움이 되므로 이에 대한 수업 전문성을 키울 필요가 있다고 하였다.

F. Social and National Trends Emphasizing Advanced Science Education

연구 참여자들이 학교 현장에서 느끼는 정책의 변화는 매우 급격하다고 언급하면서 ‘빨리 무언가를 시도해야 할 것 같은’ 부담감이 생긴다고 하였다. 이러한 압박감은 심리적인 부담이 될 수도 있으나, 외부 동기가 되기도 하며 정책에 따른 교육을 시도할 때 예산 지원이 충분한 편이므로 이 분야에 대한 다양한 활동을 시도해볼 수 있다고 언급하였다. 실제 교육부는 인공지능 활용 역량, 디지털 역량을 강조하고 있고, 이와 관련된 환경 조성으로 많은 예산이 학교 현장으로 투입되면서 지능형 과학실과 같은 첨단 기술이 갖추어진 과학실이 학교마다 마련되고 있다고 하였다. 이에, 연구 참여자 주변의 과학 교사들은 인공지능 활용 역량, 디지털 역량이 학생들에게 강조되고 있음을 인지하고 있으며, 우선적으로 교사의 역량이 갖추어져야 함을 알고 있다고 말하였다. 특히 2022 개정 교육과정에서 디지털 탐구 도구나 이와 관련된 역량을 언급한 부분이 매우 증가함에 따라 이런 부분에 대한 학교 현장의 변화가 더욱 급격히 이루어질 것으로 생각하였다. 교육의 패러다임이 인공지능 교육과의 융합을 시도하고 있고, 현장의 많은 교사들이 인공지능 교육의 필요성에 대해 인식하고 있는 시점에서 교육과정의 도입은 이러한 교육의 원동력을 제공한 것이다. 연구에 참여한 교사들은 언론이나 정부의 정책, 또는 주변의 동료 교사를 통해 이러한 요구에 대해 느끼고 있었고, 단순히 인지한

데서 멈추지 않고 이를 실천하기 위해 관련 대학원에 진학하거나 연수를 듣는 등 적극적인 실천을 하면서 이러한 역량을 키울 수 있다고 언급하였다.

2. How to Use AI and Digital Technologies that Science Teachers Need?

연구 참여자들이 디지털 도구와 인공지능 도구를 이용한 수업을 진행할 때 필요하다고 생각하는 능력은 데이터를 수집하고 분석, 표현하는 것으로 이 과정에서 다양한 정보원, 센서, 소프트웨어, 플랫폼, 컴퓨터 언어 등을 이해하고 활용할 수 있어야 한다고 생각하였다. 특히 과학 교사에게 필요하다고 꼽은 많은 기능들은 과학탐구와 연관되어 있었으며, 이 과정에서 인공지능이나 여러 소프트웨어가 사용됨을 확인할 수 있었다. 또한, 과학 교사들은 도구적인 측면뿐 아니라 궁극적으로는 이러한 도구를 활용한 융합교육 교수학습 설계 능력이 필요함을 강조하였다. 이러한 기능은 Table 4와 같이 정리할 수 있으며, 각 기능의 수준에 대한 합의는 각 절에 서술하였다.

Table 4. Coding and categorizing analysis content

Secondary Code	Tertiary Code
Use AI tools to interpret data and make predictions	Utilize various AI tools for prediction and information visualization
Use AI tools for information representation	
Discover and utilize emerging tools	
Learn about machine learning courses	Understand the principles of AI
Teacher's metacognition	
Learn advanced AI principles	
Learn basic AI principles	Use computer languages for data statistical processing and data visualization
Understanding computer languages	
Data processing with Python, R, or Excel	
Text coding for DIY sensors	Identify sources of information and use platforms for information sharing
Ability to utilize platforms for sharing data and information	
Utilize sources of public data	
Utilize source platforms for data analysis	Utilize various sensors and understand their advantages and disadvantages
Understanding the advantages and disadvantages of sensors	
Tools for collecting data	
Identify the purpose of using digital tools as classroom aids	Ability to design convergent inquiry lessons that take into account the affordance of AI tools and digital tools
Design and conduct a project lesson	
Identify needed inquiry features	
Share experiences with new inquiry lessons	
Guide inquiry to emphasize student autonomy	

A. Interpret Data, Make Predictions, and Visualize Information

연구 참여자들의 수행한 수업을 살펴보면 인공지능 도구를 데이터를 해석하거나 데이터를 바탕으로 미래를 예측하고, 정보를 효과적으로 시각화하는 데 활용하고 있었다. 연구 참여자들은 각 학교급에서 활용 가능한 수준의 인공지능 도구를 찾아 수업에 활용하고 있었다. 예를 들어 교사 A와 교사 F, 교사 G는 엔트리를 이용하여 인간이 거주 가능한 행성이나 지구 온난화 정도를 예측하거나, Teachable machine이나 Orange 3 등을 이용하여 데이터를 해석하는 수업을 진행하였다. 또한 그래프, 그림, 보고서 등을 만들어 주는 여러 인공지능 도구를 이용하여 미적 감각이 부족한 학생들이 빠른 시간 안에 효과적으로 정보를 시각화할 수 있도록 수업

을 구성하고 있다고 언급하였다. 이러한 도구를 사용할 때 주의해야 할 점으로 모든 연구 참여자는 인공지능 도구에 초점이 맞추어지지 않도록 수업을 설계해야 한다고 하였다. 인공지능 도구의 개발과 변화의 속도가 빠르므로 이를 학습하는 것 자체가 큰 의미가 없으므로 교사는 필요한 수준에서만 정보를 제공할 수 있어야 하며, 인공지능 도구를 활용한 수업이 반복되면 학생들 역시 이러한 역량이 함양되므로 새로운 인공지능 도구를 도입하더라도 어려움이 없이 효과적으로 수업에 활용될 수 있음을 이야기하였다. 즉 디지털 도구와 인공지능 도구 교육의 수준은 새로운 도구를 접하더라도 두려움 없이 이것의 기본 원리를 파악하고 장단점을 이해할 수 있을 정도의 교육이 필요하다고 생각하였다. 그러기 위해서는 새롭게 개발되는 인공지능, 디지털 소프트웨어나 애플리케이션을 다양하게 활용해보고 이러한 도구들이 갖는 공통점을 경험적으로 이해할 수 있을 만큼 충분한 경험이 필요하다고 하였다. 이는 연구 참여자들의 경험에 따른 실증적인 방법으로 그들 역시 초기에 한두 가지의 컴퓨터 언어 또는 애플리케이션을 활용하였으나 이것을 초석으로 더욱 다양한 프로그램에 도전하고 활용할 수 있는 능력을 키울 수 있었다고 이야기하였다.

B. Learning about AI Principles

모든 연구 참여자는 요즘 교육의 패러다임에 따라 과학 교사라면 인공지능을 직접 가르치지 않더라도 인공지능의 원리에 대해서는 이해하고 있어야 한다고 언급하였다. 그러나 그 수준에 대해서는 연구 참여자의 의견이 매우 상반되었는데, 일부는 완벽하게 심화해서 원리를 이해할 수 있어야 한다고 언급하였고, 일부는 기초와 상식 수준에서만 이해해도 된다고 생각하였으며 이 차이는 좁혀지지 않았다. 기초와 상식 수준에서 이해해야 한다는 주장은 Yoon et al. (2021)와 Lee (2022)의 연구에서도 확인할 수 있다. 이를 주장한 연구 참여자들의 이유는 각 과목의 특성이 있고, 인공지능의 심화 원리 지도는 정보 교과에 적절한 것으로, 학생들이 고등학교 때까지 배운 지식만큼을 모든 교사가 알아야 한다는 것은 논리에 맞지 않음을 지적하였다. 반면, 심화해서 학습해야 한다고 생각하는 연구 참여자들은 과학이라는 교과 특성상 인공지능을 이용한 탐구나 프로그래밍 언어를 활용하는 경우가 점차 늘어나고 있으므로 기초보다는 좀 더 깊은 원리까지는 어느 정도 이해하고 있어야 한다고 언급하였다.

연구 참여자들이 주장하는 인공지능 원리의 교육 수준은 다르지만, 인공지능 원리를 알고 있어야 한다는 사실은 공통적이었다. 인공지능의 원리에 대해 학습해야 하는 이유에 대해 참여자들의 의견을 3가지로 정리할 수 있는데, 첫째는, 과학 교사의 소양 수준을 높이기 위해서이다. 교사가 만나는 모든 학생은 교육과정 내에서 인공지능의 원리를 학습하므로, 이에 대한 기초 소양이 교사보다 더욱 깊을 수 있다. 또한, 인공지능 활용 역량, 디지털 역량이 전교과에 골고루 포함되어 있으므로 교사 역시 좀 더 깊이 있게 이를 이해할 필요가 있다고 언급하였다. 둘째, 교사가 빠르게 변화하는 인공지능이나 디지털 도구의 원리를 쉽게 이해하여 수업에 적용이 가능해진다. 한두 가지의 인공지능 도구를 활용하는 것을 학습한다면 변화하는 인공지능 도구에 대응하지 못할 가능성이 크다. 하지만 인공지능의 기초 원리에 대해 학습하면 발전하는 인공지능의 도구를 좀 더 쉽게 이해하고 받아들이 수업에 활용할 수 있을 것으로 예상하였다. 셋째, 교사의 인공지능 활용 역량, 디지털 역량의 메타인지를 키울 수 있다고 언급하였다. 인공지능 활용 역량, 디지털 역량과 관련된 학문 분야가 매우 다양할 수 있는데, 기초 원리를 모르는 교사는 본인의 교수 학습 역량을 위해 어떤 분야를 더욱 깊이 있게 학습해야 하는지 모를 수 있다. 결과적으로 교사가 본인의 인공지능 활용 역량, 디지털 역량을 조망하고 메타인지를 키우기 위해서는 기초 원리에 대한 학습이 필수적이라고 생각하였다.

C. Learning Computer Languages for Data Statistical Processing and Data Visualization

연구 참여자들은 새로운 컴퓨터 언어를 학습하는 것에 대해 매우 긍정적이었으며, 과학 교사는 한·두 가지의 컴퓨터 언어를 다룰 수 있어야 한다고 생각하였다. 그들은 '언어의 한계가 세계의 한계가 된다.'라는 한 연구 참여자의 말에 적극적으로 공감하면서 다룰 수 있는 컴퓨터 언어가 있을 때 기존 과학 탐구의 방법에서 벗어나 새로운 방법을 시도할 수 있음을 언급하였다. 예를 들어 파이썬을 사용하면 기존 스프레드시트를 이용한 데이터 분석보다 더욱 빠르고 간편하게 많은 양의 데이터를 분석할 수 있다고 이야기하였고 꺾은선 그래프나 막대그래프와 같이 학생들이 자주 사용하는 데이터 시각화 방법에서 벗어나 다양한 형태의 데이터 시각화가 가능함을 장점으로 생각하였다. 하지만 학습해야 하는 컴퓨터 언어의 수준은 연구 참여자 집단 간의 차이를 확인할 수 있었다. 코딩의 종류에 대한 인식을 살펴본 결과, 연구 참여자 중에 고등학교 교사는 대부분 텍스트 코딩 수준을 할 수 있어야 한다고 생각하였으며 중학교 교사는 블록 코딩으로도 충분하다고 생각하였다. 텍스트 코딩까지 학습해야 한다고 생각하는 경우는 과학 교사는 텍스트 코딩을 통해 그 원리에 대해 깊이 있게 이해해야 단순하게 기개발된 코드를 이용한 과학 수업을 시행하더라도 다양한 상황에 대처할 수 있다고 언급하였다. 연구 참여자별로 '기초'로 생각하는 코딩의 종류가 다른 이유는 학교급별 다른 교육과정과 연구 참여자들이 주요 사용하는 플랫폼이 다르기 때문으로 2015 개정 교육과정을 살펴보면 대체로 초등학교에서 블록 코딩을 활용하고 있으며 고등학교에서는 텍스트 코딩을 위주로 학습하기 때문이다. 그러나 연구 참여자들은 논의하는 과정에서 코딩 언어의 종류에 초점을 맞추기보다는 학생의 수준과 관심사에 따라 선택할 수 있도록 해야 하며, 교사는 한 가지 언어라도 능숙하게 쓸 수 있어야 한다는 것에 수렴하였다. 즉 코딩에서 디버깅(Debugging)이 가장 어렵다고 언급하면서, 수업에서 컴퓨터 언어를 자유롭게 활용하기 위해서는 학생들의 오류를 찾을 수 있을 정도로 교사의 역량이 필요하며, 컴퓨터 언어의 종류는 교사 개인의 취향과 수준에 맞추어 적용하는 것이 적절하다고 생각하였다.

D. Use Platforms to Identify and Share Accurate Sources of Information

연구 참여자들은 과학 교사가 과학 수업에 활용할 수 있는 정확하고 다양한 정보원을 알고 있고, 이를 충분히 활용할 수 있도록 기능을 파악할 필요가 있다고 이야기하였다. 교과서 탐구에 조사 활동이 많아지고, 과학 탐구에서 공공데이터를 활용하거나 자유탐구가 늘어나고 있으므로 이에 대한 정보를 과학 교사가 잘 파악하고 있어야 원활한 과학 수업이 이루어질 수 있다고 언급하였다. 조사 활동에서 학생들이 분석해야 하는 데이터를 모두 수집할 수 없으므로 과학 교사는 적절한 공공데이터를 찾아 학생들에게 가공하여 제공할 필요가 있으므로, 많은 정보를 가지고 있을수록 좋은 수업을 구성하기에 유리하다고 생각하였다. 일부 연구 참여자는 ChatGPT와 같은 검색 도구가 등장하더라도 그 정보의 신뢰도를 학생들이 확인하고 비판적으로 받아들여야 하므로, 교사가 정확한 정보원을 제공하는 것은 미래 과학 교육에서도 필요한 일이라고 말하였다. 또한, 연구 참여자들은 학급에서 이루어지는 과학 탐구의 특징을 고려하면, 한 모듈에서 측정한 값보다는 여러 모듈에서 함께 측정한 값을 비교하고 하나로 수집하여 분석할 때 학생들이 더욱 정확한 지식을 구성할 수 있다고 하였다. 따라서 데이터를 수집하는 과정을 탐구의 필수 활동으로 포함하는 경향이 있었는데, 이를 더욱 효과적으로 하기 위한 플랫폼을 교사가 능숙하게 활용할 수 있어야 한다고 언급하였다. 데이터의 크기와 학급 또는 모듈의 수를 고려하고, 학생들이 직관적으로 접근할 수 있는 플랫폼을 선택하여 탐구에 활용할 수 있는 능력이 필요하다고 하였다. 이러한 요소가 다수의 연구 참여자에게 언급된 이유는 과학이라는 교과가

다량의 실험 데이터를 다루고, 데이터를 토대로 기존 지식과 연계하여 새로운 지식을 구성하기 때문에 짐작된다. 하지만 현실적으로 한 명의 교사가 적절한 정보원을 모두 파악하기는 쉽지 않으므로 이를 제공하거나 공유할 수 있는 플랫폼 마련이 필요할 것이다.

E. Utilize Data Sensors and Understand the Trade-offs

연구 참여자들은 모두 과학 탐구 도구가 급격히 발달하고, 디지털 탐구 도구가 개정 교육과정에 다수 도입됨에 따라 이를 쉽게 수업에 활용할 수 있는 교수 학습 능력이 필요하다고 생각하였다. 또한 많은 측정 도구가 디지털화되고 있으므로 다양한 도구를 사용해보고, 탐구로 지도해보는 경험이 필요하다고 주장하였다. 연구 참여자 중 다수는 오래전부터 학생들과 함께 자율 프로젝트 활동을 진행한 경험이 있었으며, 이는 다양한 과학탐구 센서를 사용해보고 이것의 장단점을 정확하게 파악할 기회가 되었다고 언급하였다. 예를 들어, 미세먼지 센서를 이용하여 교실 환경을 측정하거나 온도 센서를 이용하여 정확한 끓는점과 어는점을 측정하기도 하였으며, 미세 전류 자극 센서를 이용해 인체에서 일어나는 전기적 변화를 측정하는 탐구도 진행하는 등 다채로운 주제의 탐구를 진행하였음을 확인할 수 있었다. 교사 F와 I는 적절한 센서를 활용하여 탐구를 진행할 때 초반에는 학생들이 센서를 익히는 과정에서 어려움을 겪지만, 익숙해지고 난 후에는 더 많은 내용을 관찰하고 교과서 밖의 내용을 통찰할 수 있다고 하였고, 변인이 통제되는 과정이나 종속 변인의 과정을 빠르게 확인할 수 있어 탐구가 틀리더라도 다시 할 수 있는 시간적 여유가 생겨 학생들의 정확한 탐구를 진행하는 데 도움이 된다고 언급하였다. 교사 A와 E는 직접 센서를 만들어서 탐구를 진행하기 때문에, 탐구에 적절한 센서를 찾는 데 시간을 낭비하지 않고 원하는 형태의 탐구를 바로 진행할 수 있다고 이야기하면서, DIY 형태의 센서를 만들 수 있으면 원하는 센서를 여러 개 부착하여 데이터를 전송받을 수 있으므로 폭넓은 탐구가 가능하다는 장점을 이야기하였다. 결과적으로 과학 교사가 디지털 도구로서의 센서에 대해 정확하게 파악하고 수업에 활용하는 것은 과학 탐구를 더욱 정확하고 다채롭게 만드는 데 도움이 된다고 할 수 있다.

F. Designing Integrated Inquiry Lessons with AI and Digital Tools

모든 연구 참여자들은 인공지능 활용 역량과 디지털 역량에서 가장 중요한 요소로 융합 수업 설계 역량을 손꼽았으며 다양한 도구를 익힐수록 이에 대한 고민이 커진다고 이야기하였다. 연구 참여자들이 생각하는 융합탐구 설계 역량이란 인공지능, 디지털 도구들이 갖는 교육적 효과를 제대로 이해하고, 이를 활용하여 수업을 실행하였을 때 실제 교육에서의 목표를 얼마만큼 달성하였는지 판단할 수 있는 능력이었다. 특히, 인공지능과 디지털 도구를 학습하는 것이 학습의 최종 목표가 되지 않고 학생들이 주도적으로 위계적 구조를 갖는 과학 지식을 바르게 학습하고 문제를 해결하는데 인공지능이나 디지털 도구를 유기적으로 사용할 수 있도록 수업을 구성할 수 있는 능력이 필요하다고 언급하였다. 현재 AI 융합대학원 과정을 이수 중인 연구 참여자는 교사를 대상으로 하는 AI 융합대학원에서 가장 중요하게 가르쳐야 하는 것이 AI나 디지털 도구를 ‘도구로서’ 활용하여 수업의 목표를 달성할 수 있는 융합 수업을 설계하는 방법임에도 불구하고, 코딩 언어와 같은 도구 학습에만 치우쳐져 있음을 우려하였다. 교사 A는 현재 많은 교사 대상의 연수가 인공지능, 디지털 도구를 사용하는 방법에 초점이 맞추어져 있어, 결과적으로 이러한 연수를 받은 교사들이 학교 현장에서 학생들에게 단순한 체험이나 인공지능 도구를 활용한 산출물 만들기에만 국한되는 경향이 있다고 하였다. 연구

참여자들은 AI나 디지털 도구를 사용한 다채로운 수업이 학교 현장에서 소개되고 공유되어야 교사들의 자율적으로 이를 수용하고 받아들이려 노력할 것으로 생각하였다. 따라서 융합 수업 설계 역량을 함양하기 위한 정책적인 도움이 필요함을 강조하였다.

Discussions & Conclusions

본 연구는 과학 교사에게 디지털 역량과 인공지능 활용 역량이 필요한 이유와 과학교사들이 활용하고 있는 인공지능 도구와 디지털 도구의 구체적인 수업 사례를 살펴보는 데 있다. 이를 위해 지난 수년간 이러한 역량을 바탕으로 과학 수업을 시행했던 과학 교사 9인의 경험을 질적 분석하였다. 연구 결과 인공지능 활용 역량이나 디지털 역량이 과학 교사에게 필요한 이유는 범교과적 측면과 과학 교사 측면에서의 당위성으로 나누어 정리할 수 있었다. 범교과적인 측면에서는 개인적인 호기심이나 교사로서의 성취감을 느끼고, 학생들의 참여가 활발한 수업 개선에 대한 열정, 변화하는 학생의 역량을 측정하고 함양시킬 수 있는 전문성을 갖기 위함으로 정리할 수 있다. 과학 교사의 측면에서는 학생들에게 과학의 본성에 맞는 과학 지식을 가르칠 수 있으며, 실생활 문제를 다루고 첨단 탐구 도구를 사용하는 과학 탐구를 지도하는데 어려움을 줄일 수 있다고 하였다. 또한, 지능형 과학실이나 2022 개정 교육과정 과학과 각론에서 확인할 수 있는 첨단 과학 교육을 중시하는 사회적, 국가적 흐름에 부합할 수 있는 수업이 가능하다고 언급하였다. 과학 교사들이 활용하고 있는 인공지능 도구와 디지털 도구는 여섯 가지로 정리할 수 있는데 예측 및 정보 시각화를 위한 인공지능 도구의 다양한 활용, 인공지능 도구의 원리를 이해할 수 있는 수준의 인공지능 원리에 대한 이해, 데이터 통계 처리와 데이터 시각화를 위한 컴퓨터 언어 학습, 정보원 파악과 정보 공유를 위한 플랫폼 사용, 다양한 센서 활용 및 장단점 파악, 인공지능 도구와 디지털 도구의 어포던스를 고려한 융합 과학 탐구 수업 설계 등이었다.

인공지능 활용 역량과 디지털 역량이 과학 교사에게 필요한 이유와 과학 수업 또는 탐구에서 활용한 인공지능과 디지털 도구에 대한 분석을 토대로 과학 교사의 인공지능 활용, 디지털 역량을 함양할 방안을 다음과 같이 제안할 수 있다.

첫째, 인공지능과 디지털 도구를 이용한 과학 수업과 과학 탐구 지도 방법을 공유할 수 있는 장이 마련될 필요가 있다. 2022 개정 과학과 교육과정은 이러한 역량을 반영하여 많은 변화가 있으므로, 새롭게 도입된 교육과정을 반영한 다양한 수업 사례가 공유되어야 한다. 교사의 전문성은 현장에서 경험을 쌓아가면서 학습자의 상태, 환경 등을 인지하고 자신의 수업을 반복하면서 전문성을 쌓는 것이므로(Grossman, 1990) 다른 교사들의 수업 사례를 보고 본인의 수업에 적용해 보면서 융합 수업에 대한 두려움을 낮추고, 반복적으로 수업에 적용함으로써 본인에게 적합한 융합수업 설계에 대한 원리를 체득할 수 있을 것이다. 또한 같은 주제의 수업이라도 시뮬레이션, 데이터 기반 과학 탐구 등 다양한 형태로 구성할 수 있으므로 여러 탐구 도구에 대한 정보를 제공한다는 측면에서 도움이 될 수 있다. 특히 자율 탐구는 학생들이마다 다른 주제로 탐구를 수행하므로 교사의 지도가 더욱 어려운데, 탐구 도구를 적절히 선택할 때 탐구의 어려움이 감소할 수 있다(Son et al., 2018). 따라서 센서나 탐구의 주의점, 정보원, 데이터 분석에 사용할 수 있는 소프트웨어 등에 관한 내용을 공유하면서 과학 교사로서의 전문성 함양에 도움이 될 수 있다. 여러 업무에 바쁜 교사들이 새로운 인공지능, 디지털 도구에 대한 정보를 스스로 검색하여 수업에 반영하기는 쉽지 않으므로(Shin, 2022), 수업에 그대로 적용할 수 있는 형태로 제공되는 인공지능, 디지털 도구에 대한 정보는 교사들의 실행 의지를 높일 수 있을 것이다.

두 번째는 데이터 분석이나 시각화가 가능한 수준에서 컴퓨터 언어에 대한 학습 기회를 제공할 필요가 있다. 학습해야 하는 컴퓨터 언어의 종류는 크게 중요하지 않을 수 있으나 학습의 '범위'나 '수준'에 대해서는 교과 맥락적인 특징이 반영될 필요가 있다. 컴퓨터 언어 학습의 '범위' 측면에서는 과학 교과에서 컴퓨터 언어를 사용하는 경우는 크게 데이터를 분석하거나 시각화할 때이므로 일반적인 컴퓨터 언어를 학습하는 과정과는 다르게 진행될 필요가 있다. IoT 탐구 도구의 등장으로 인해 탐구 데이터의 크기가 매우 커졌기 때문에(Son & Jeong, 2020; Han et al., 2022), 데이터 분석이나 통계에 필요한 기초적인 컴퓨터 언어를 습득하여 활용한다면 이러한 과정을 효과적으로 지도할 수 있을 것이다. 또한 '수준'의 측면에서는 컴퓨터 언어를 보고 어떤 의미인지 알 수 있는 '이해'의 단계가 가장 최소한의 기준이 될 수 있다. 수업 시간에 활용하는 수준에서는 코딩이 어렵지 않고, 비슷한 실험에서 공통적으로 사용하기 때문에 다른 사람들이 만든 코드를 그대로 사용할 수 있다. 따라서 이를 내려받아 실행할 수 있는 '이해' 수준이 되어도 충분히 수업에서의 활용이 가능하며, 추후 내려받은 코드를 일부 수정하거나, 직접 프로그래밍하는 심화 단계로 적용이 가능할 것이다. 결과적으로 과학 교사에게 필요한 최소한의 컴퓨터 언어 학습은 '데이터 분석이나 시각화에 필요한 컴퓨터 언어를 내려받아 실행할 수 있는 이해 수준'이라고 할 수 있으며 이를 반복할 기회가 충분히 제공될 필요가 있다.

세 번째는 인공지능 원리에 대한 기초와 심화를 모두 다룰 수 있는 여러 단계의 학습 과정이 마련되어야 한다. 교과 교사들은 인공지능의 기초 원리에 대해서는 필수적인 학습이 필요하다고 생각하고, 심화한 지식 학습에 대한 요구는 높지 않았다(Lee, 2022; Yoon et al., 2021). 하지만 과학교과의 경우 인공지능이나 데이터와 많은 관련이 있고(Kim et al., 2020; Ryu & Han, 2018), 개인마다 이를 활용하는 수준이 다르기 때문에 필요에 따라 학습할 수 있도록 다양한 기회를 제공할 필요가 있다. 물론, 인공지능에 대한 이해 자체가 과학 교육에 직접적인 연관이 있는 것은 아니나, 인공지능에 대한 학습 수준이 높은 학생들을 가르치는데 필요한 과학 교사의 과학적 소양을 키울 수 있고, 인공지능의 원리를 이해함으로써 발전하는 인공지능 도구에 대한 파악이 빠를 수 있으며, 본인의 취약점이나 관심 분야를 파악하는 데 도움을 받을 수 있다.

네 번째는 과학 교사가 과학 탐구 지도 과정에서 인공지능, 디지털 역량을 활용한 수업을 쉽게 구현할 수 있는 물리적 환경이 마련될 필요가 있다. 과학 교사들이 IoT 탐구 도구를 이용하거나 실생활, 공공데이터를 분석하는 과학 수업을 진행하거나, 시뮬레이션이나 앱을 활용하여 수업하고자 할 때 부딪치는 어려움 중 환경에 대한 부분도 빼놓을 수 없다(Son et al., 2018). 코로나를 겪으면서 디지털 도구가 학교에 충분히 보급되었다고 그 형태가 학교마다 달라 과학 탐구에 적용할 수 있는 디지털 도구가 갖추어져 있지 않은 경우도 많다. 또한 수업에 활용 가능한 형태의 데이터 셋이 충분하지 않고, 학생들의 산출물을 함께 공유하거나 수업 자료를 공유할 수 있는 공공 형태의 플랫폼 사용이 활성화 되어 있지 않으므로 학생 간, 교사-학생 간, 교사 간 정보를 공유하는 데 한계가 있다. 따라서 교사 간의 수업 정보나 데이터 셋, 수업에 사용하는 코드 등 다양한 자료를 공유할 수 있는 교사용 플랫폼과 학생들이 서로의 산출물을 공유할 수 있는 학생용 플랫폼의 구축이 필요하며, 종류별 디지털 도구의 충분한 보급이 이루어질 때 교사의 역량이 반영된 수업이 좀 더 수월하게 실행될 수 있을 것이다. 특히 자연에서 수집된 데이터를 다루는 과학이라는 학문의 특성에 따라 실험 데이터나 정보를 공유하여 논의하는 활동은 학생들이 과학의 본성을 학습할 수 있는 기회를 제공할 수 있으므로(Kim et al., 2016) 데이터 수집과 분석, 공유할 수 있는 플랫폼 마련이 시급하다.

일반 교과 교사의 맥락에서 살펴보면 이 외에도 몇 가지 제안을 추가할 수 있다. 우선 지속가능한 역량 함양이 이루어지기 위해서 가장 중요한 것은 교사 개인의 동기 부여이다. Witz(2006)는 학업 과정에서 감명받

거나 본질적인 호기심이 있을 때 삶에 영향을 미쳐 내적 비전을 형성한다고 하였는데, 교사가 모두 개인적인 호기심이나 흥미가 있을 수 없으므로 결과적으로는 관련된 수업을 진행하는 과정에서 교사 스스로 만족과 성취감이 충족될 필요가 있다. 따라서 원활한 수업이 운영될 수 있도록 재정적, 물리적 지원이 필요하며 특히, 이러한 수업을 적용하는 초기에 실패의 경험을 겪지 않도록 경력 교사의 도움을 충분히 받을 수 있는 제도적 지원이 필요하다. 경력 교사가 초임 교사의 수업을 도와줄 때 더욱 효과적인 수업이 이루어지므로, 관련 경험이 풍부한 교사들이 지속해서 도움을 제공할 수 있는 시스템 마련이 필요하다. 멘토가 있는 형태의 장기간 연수가 시행되거나 심포지엄, 학회, 교사 연구회 등 인적 네트워크가 충분히 마련된다면 교사들의 동기화에 도움이 될 수 있을 것이다. 또한, 교사가 인공지능 활용 역량과 디지털 역량을 토대로 융합 수업 설계하는 방법을 익힐 수 있도록 지원이 필요하다. 학생들의 미래 역량을 키우기 위해서는 교사의 인공지능과 디지털 역량을 바탕으로 하는 융합 수업이 이루어져야 한다. 현재에도 인공지능은 컴퓨터 보조수업(CAI)의 하나로 학교에서 일부 역할을 하고 있으며(Hwang & Shin, 2021), 앞으로 인공지능을 활용한 보조적 학습이 활성화될 경우, 교사에 대한 인식의 패러다임 역시 전환될 가능성이 매우 크다. 따라서 기존 기술을 이용하여 교육 내용을 얼마나 잘 가르칠 수 있는지를 보는 TPACK (Mishra & Koehler, 2006)와는 다른 형태의 수업이 진행될 수 있으며, 효과적인 인공지능과의 협업을 위한 수업 설계 역량은 기존과는 다른 방식이 될 가능성이 높다. 이에 관한 학문적인 연구 뿐 아니라 현장에서의 수많은 시도가 바탕이 될 때 지속적인 역량 함양이 가능할 수 있다.

본 연구 결과는 소수의 교사를 대상으로 한 질적 연구이므로 이러한 결과가 모든 교사의 생각을 대표하지 않으며, 모든 교사를 위한 실행 지침으로 일반화할 수 없다. 하지만 교사 교육이나 정책 제안의 관점에서 교사의 인공지능 활용 역량, 디지털 역량 함양을 위해서 필요한 지침을 구체적으로 설정하고, 인공지능 활용 역량, 디지털 역량을 키우고자 하는 교사들에게도 자기 장학의 방향성을 제시할 수 있을 것이다.

Conflicts of Interest

The author(s) declared no conflicts of interest.

Acknowledgements

This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-700-20230072)

References

- Byeon, S. (2021). Analysis of media literacy education performance patterns and perceptions of elementary, middle and high school teachers. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 21, 149-167.
- Cho, S., & Choi, M. (2022). Core competency modeling for elementary artificial intelligence education, *The Journal of Core Competency Education Research*, 7, 43-75.
- Cho, Y., Chen, Y., & Kim, J. (2021). Development of elementary AI•Science convergence education program using an AI classification model. *Brain, Digital, & Learning*, 11, 227-243.

- Erickson, F. (1977). Some approaches to inquiry in school-community ethnography. *Anthropology & Education Quarterly*, 8(2), 58-69.
- Gilster, P. (1997). *Digital Literacy*. NY: Wiley Computer Pub.
- Grossman, P. L. (1990). *The Making of a Teacher: Teacher Knowledge and Teacher Education*. NY: Teachers College Press.
- Guillemin, M., & Heggen, K. (2009). Rapport and respect: Negotiating ethical relations between researcher and participant. *Medicine, Health Care and Philosophy*, 12, 291-299.
- Han, M., Jeong, D., & Kim, H. (2022). A case study of the data-based scientific inquiry. *School Science Journal*, 16, 165-178.
- Heo, H., & Chun, J. (2022). Development and application of the 'Advanced Science Research' section class program in the science inquiry experiment on the subject of artificial intelligence. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 22, 173-190.
- Hong, O., Chang, J., & Lim, I. (2021). The features of science inquiry using Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), Big Data and Extended Reality (XR): Focusing on the IDEA-type science teacher research group. *School Science Journal*, 15, 407-422.
- Hong, S., Cho, B., Choi, I., Park, K., Kim, H., Park, Y., & Park, J. (2020). Artificial intelligence and edutech in school education. *Korea Institute for Curriculum and Education. RRI*, 2.
- Huberman, A. M., & Miles, M. B. (1994). *Data Management and Analysis Methods*. LA: Sage Publications.
- Hwang, E., & Shin, J. (2021). Exploratory study for introducing and applying an AI-based intelligent learning system on basic science—Focusing on general chemistry class case. *The Korean Association of General Education*, 15, 71-86.
- Kim, H., Park, J., Hong, S., Park, Y., Kim, E., Choi, J., & Kim, Y. (2020). Teachers' perceptions of AI in school education. *Journal of Educational Technology*, 36, 905-930.
- Kim, J., Lee, Y. H., & Min, B. (2016). Analysis of the presentation for the nature of science (NOS) in life science chapters of the 2009 revised middle school science textbooks. *Biology Education*, 44, 25-34.
- Kim, S., Kim, S., Lee, M., & Lim, H. (2020). Review on artificial intelligence education for k-12 students and teachers. *The Journal of Korean Association of Computer Education*, 23, 1-11.
- Kim, T., & Han, S. (2020). A Study on elementary and secondary teachers' perceptions on AI education. *The Journal of Education*, 40, 181-204.
- Kim, H. (2021). The artificial intelligence era and science education - With a focus on the autonomy and relatedness of artificial intelligence-. *The Journal of Yeolin Education*, 29, 1-23.
- Lee, C. (2022). Analysis of the educational needs of elementary school teachers' teaching competency for artificial intelligence education. *The Journal of Education*, 42, 131-148.
- Lee, D. & Lee, E. (2022). An analysis of educational needs on teacher competencies for education using AI. *The Journal of Educational Information and Media*, 28, 821-842.
- Lee, D., Lee, B., & Lee, E. (2022). Competencies and training tasks for teachers in education using AI. *Journal of Korean Association for Educational Information and Media*, 28, 415-444.
- Lee, E. (2022). A study on the composition of factors in teaching competence using artificial intelligence of pre-service early childhood teachers. *Journal of Christian Education in Korea*, 72, 183-203.
- Lim, Y., & Jang, S. (2016). An analysis on the relationship between key competencies and subjects of the 2015 revised national curriculum: Using semantic network analysis. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 16, 749-771.
- Merriam, S. B. (2009). *Qualitative research: A guide to design and implementation*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.

- Ministry of Education (MOE) (2015). An announcement of the 2015 revised curriculum. The Press Release of Ministry of Education, 2015.9.23.
- Ministry of Education (MOE) (2022). An announcement of the 2022 revised curriculum. The Press Release of Ministry of Education, 2022.12.22.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108, 1017-1054.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2018). CCM Draft Competencies Framework for Main Study. Unpublished Manuscript. Paris: OECD Publishing.
- Park, J., Park, N., & Seo, H. (2022). Exploring the digital competency of early childhood teachers for future education. *Journal of Children's Media & Education*, 21, 327-360.
- Roh, D. (2023). Development of Korean Language Achievement Standards for Digital Literacy Education (Unpublished Doctoral Dissertation). Ewha women's University, Seoul, Republic of Korea.
- Ryu, M., & Han, S. (2018). The educational perception on artificial intelligence by elementary school teachers. *Journal of The Korean Association of Information Education*, 22, 317-324.
- Shin, E. (2022). Science teachers' motivation and perception of science·AI convergence education. *School Science Journal*, 16, 398-412.
- Son, M., & Jeong, D. (2020). Development of data-driven science inquiry model and strategy for cultivating knowledge-information-processing competency. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 40, 657-670.
- Son, M., Jeong, D., & Cho, Y. (2018). Role and characteristics of digital inquiry instruments in respect of affordance: Focused on science inquiry activity. *The Korean Society for School Science*, 12, 274-286.
- Son, M., Jeong, D., & Son, J. (2018). Analysis of middle school students' difficulties in science inquiry activity in view of knowledge and information processing competence. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 38, 441-449.
- Son, T., Kim, Y., & Lee, H. (2023). A study on digital literacy in art education and teachers' digital literacy in art education. *Art Education Research Review*, 37, 1-30.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1998). *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. LA: Sage Publications.
- van der Lans, R. M., van de Grift, W. J., & van Veen, K. (2015). Developing a teacher evaluation instrument to provide formative feedback using student ratings of teaching acts. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 34(3), 18-27.
- Witz, K. (2006). *Fulfillment in mathematics: Perspectives and Case Studies*. New York: Edwin Mellen.
- Yang, K., Seo, S., & Ok, H. (2020). Analysis of the relationship between digital activity and digital literacy competence. *Journal of Education & Culture*, 26, 639-664.
- Yoon, H., Park, E., Kim, J., & Bang, D. (2021). Exploring directions of AIED (Artificial Intelligence in Education) teacher education based on a review of domestic precedent studies. *Education Research*, 82, 135-155.

Author Information

Son, Mihyun: Future Innovation Institute, Seoul National University, Senior Researcher, First Author