

인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 초등학생의 환경감수성과 자기효능감에 미치는 영향

최일훈 · 소금현[†]

The Effect of a Fine Dust Environmental Education Program Using Artificial Intelligence-Based Tools on Environmental Sensitivity and Self-Effectiveness of Elementary School Students

Choi, Il-hoon · So, Keumhyun[†]

국문 초록

본 연구에서는 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램을 개발하고 초등학생들에게 적용하여 환경감수성과 자기효능감에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. 이를 위하여 초등학교 6학년 학생 29명을 대상으로 연구를 실시하였으며, 환경감수성과 자기효능감에 관한 사전·사후 검사 결과를 분석하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램은 초등학생들의 환경감수성 향상에 효과적이다. 둘째, 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램은 초등학생들의 자기효능감 향상에 긍정적인 영향을 끼쳤다. 셋째, 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램은 초등학생들의 환경에 대한 인식변화에 긍정적인 영향을 끼쳤다. 학생들은 프로그램을 적용한 후 미세먼지뿐만 아니라 환경에 관심을 많이 가지게 되었고, 일상생활과 연계하여 환경보호 실천 의식을 가지게 되었다. 이와 같이 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램은 초등학생들의 환경감수성 및 자기효능감에 긍정적인 영향을 준 것으로 판단된다.

주제어: 인공지능, 미세먼지 교육, 환경감수성, 자기효능감

ABSTRACT

In this study, we developed an environmental education program for fine dust using artificial intelligence-based tools. We applied this program to elementary school students to investigate its effect on environmental sensitivity and self-efficacy. The study was conducted on 29 sixth-grade elementary school students. The analysis of the pre- and post-tests gave the following results. First, the fine dust environmental education program using artificial intelligence-based tools was effective in improving the environmental sensitivity of elementary school students. Second, it had a positive effect on improving the self-efficacy of elementary school students, and third, it had a positive effect on the elementary school students' perception of the environment. After applying the program, students became more interested in the environment and fine dust. Additionally, they had a sense of environmental protection practice in connection with their daily lives. As such, it is concluded that the fine dust environmental education program using artificial intelligence-based tools had a positive effect on the environmental sensitivity and self-efficacy of elementary school students.

Key words: artificial intelligence, fine dust education, environmental sensitivity, self-efficacy

이 논문은 최일훈의 2021년도 석사학위논문을 발췌하여 정리하였음.

2022.04.19(접수), 2022.05.06(1심통과), 2022.06.14(2심통과), 2022.06.23(최종통과)

E-mail: sokh@bnue.ac.kr(소금현)

I. 서 론

산업혁명 이후 인간은 놀라울 정도의 발전을 이루었다. 하지만 이러한 급격한 발전으로 인한 수질 오염, 대기오염 등의 환경문제는 인류가 직면하고 있는 가장 큰 문제 중 하나로 다가오고 있다. 이 중 불특정 다수를 대상으로 영향을 끼치는 미세먼지에 관한 관심이 높아지고 있다. OECD 2014년 연구 보고서인 ‘대기 오염의 대가’를 살펴보면 전 세계에서 350만 명이 대기오염에 의해 조기 사망하였으며 그 요인으로 미세먼지 영향이 크다고 한다. 세계보건기구 국제암연구소(IARC)에서도 2013년에 초미세먼지를 포함한 입자상 대기오염 물질이 인체에 발암을 유발한다고 발표한 바 있다. 우리나라 환경 문제 중 가장 크게 자리 잡은 미세먼지의 심각성은 미세먼지가 인체에 유입되었을 경우 어떤 물질이 유입되었는지 확인이 불가능하다는 점에서 가중되며 유입된 미세먼지를 감소시킬 방법이 없기에 고조되어 있다(박은정, 2007; 이미나, 2020; 홍하나, 2016).

이에 우리나라에서는 미세먼지의 위험에 대해 인식하고 관련 법안 처리를 위해 2019년 3월 13일 국회 본회의에서 미세먼지 관련법 8건이 통과되었다. 미세먼지 관련 법안의 핵심은 미세먼지를 재난으로 인식하고 정부 예산을 투입하여 미세먼지로 인한 국민의 피해에 대한 심각성과 이를 해결하려는 조치를 법의 토대 위에서 작동시키려는 것이다(정성열, 2020).

미세먼지는 오랜 시간 동안 지속적으로 영향을 끼치기 때문에 성인들보다 현재 어린이, 청소년, 미래세대와 더욱 관련이 있다. 미세먼지가 건강 및 생존에 관한 문제로 생활양식의 변화를 필요로 한다면 밀접한 관련이 있는 어린이, 청소년에게 건강한 습관 및 태도를 가지도록 교육이 제공되어야 한다(송숙진, 2020; 윤순진, 2009).

21세기부터 본격적인 4차 산업혁명을 맞아 역량 기반 교육을 지향하는 움직임이 보이고 있다. 이러한 교육계 분위기에 부응하여 환경교육과정에서도 학생들이 자신의 지식과 기능을 사용하여 자신에게 직면한 환경문제를 해결하며, 지속가능한 사회의 시민으로 성장하기 위해 환경역량을 키우고자 한다. 초등 환경교육 핵심 역량으로는 2015 개정 교육과정에서 제시한 핵심역량과 연결 지어 정리

한 자율성, 성찰능력, 창의력, 지식과 정보 활용 능력, 비판적 사고 능력, 문제해결력, 환경감수성, 의사소통능력, 환경 공동체 의식 및 시민성이 있다. 이러한 역량 중 미세먼지와 같은 환경문제를 해결하기 위해서는 장기적으로 환경에 영향을 미칠 수 있는 환경에 대한 올바른 태도와 가치, 습관을 가질 수 있는 교육의 중요성이 부각되고 있다. 인간의 생각과 행동이 정의적인 특성을 바탕으로 흥미를 느끼고 필요성을 깨달을 때 변화하기 때문이다. 따라서 환경교육은 환경에 대한 정서 반응의 양식인 환경감수성을 바탕으로 이루어져야 한다(김선미, 2018; 서은정, 2018; 송희화, 2020; 이가빈, 2017).

현재 초등학교에서는 환경교육을 독립교과로 다루고 있지 않다. 또한 현행 교육과정 상 미세먼지에 대한 내용은 교과서에서 충분히 다루고 있지 않다. 이에 창의적 체험활동을 통해 지도되거나 교과의 일부 영역을 재구성하여 이루어지고 있다. 미세먼지에 대한 인식에 관한 연구로는 미세먼지에 대한 초등학생들의 지식·인식 및 태도 조사(장나리와 이상원, 2020)가 있고, 미세먼지 교육과 관련한 프로그램 개발 연구로는 거꾸로 수업을 적용한 초등 저학년 황사·미세먼지 안전지도 방안(이성희, 2018), 어린이 대상 미세먼지 예방 보드게임 개발(허설화, 2017), 환경 핵심역량 함양을 위한 초등 미세먼지 교육 프로그램 구안(송희화, 2020) 등의 연구가 있었다. 인공지능 활용 미세먼지 프로그램에 관한 내용은 찾아보기가 어려웠지만 장미화 등(2019)의 연구에서 SW인 아두이노를 활용한 고등학생 대상 환경교육 프로그램의 개발 및 적용 연구에서 프로그램이 학생들의 환경감수성 및 관심에 긍정적인 영향을 끼쳤음을 알 수 있었다. 하지만 초등학생의 환경감수성을 연구 대상으로 한 미세먼지 환경교육 프로그램은 현재 부족한 실정이다.

현재 학교 교육의 동향을 살펴보면 4차 산업혁명이란 개념의 등장과 팬데믹 쇼크 등으로 교육 또한 ‘뉴 노멀’의 시대로의 변화의 중요성이 강조되고 있다. 전 세계적으로 기존 교육환경과 교육과정으로는 미래형 인재를 양성함에 어려움을 가질 가능성이 높게 제기됨에 따라 교육 방향에 대한 근본적 재검토가 시행되고 있다. 이러한 변화는 교육에서 전통적 교육과정 및 교육내용에 대한 재정의, 개방형 플랫폼을 기반으로 한 교육 시스템의 개편, 인공지능 활용 개인별 맞춤 학습의 등장, 공동체

중심 협력적 학습의 강조로 이어질 것으로 보인다. 인공지능 교육이 필요한 이유 또한 환경문제와 같은 세상의 미래 문제를 해결하는데 인공지능이 주된 기술로 사용되고 있고 앞으로 더 많이 사용될 것으로 예상되기 때문이다. 환경감수성을 증진시키기 위해서는 우선적으로 환경에 대한 자극이나 느낌을 받을 수 있는 상황을 유도하고 이런 기회를 증가시켜야 하는데 인공지능은 스마트 콘텐츠와 맞춤형 학습을 가능하게 하며, 학생의 수준, 감정 상태 등을 고려하여 학생이 만족할 수 있는 다양한 학습 조건을 제공한다. 더불어 미래의 문제를 해결하기 위해선 미래의 기술이 필요하며 학생들이 인공지능을 이해하고 적용하는 능력을 갖출 필요성이 있다(김봉제, 2021; 손원성, 2020; 이성덕과 김형균, 2010; 이승철과 김태영, 2020; 조현국, 2017).

미래사회에서 교사의 역할은 티칭(teaching)이 아닌 코칭(coaching)으로 변하고 있으며 협업과 공유의 중요성이 강조되고 있다. 이러한 맥락에서 학생들 스스로 문제를 해결하는 능력을 키워 사고 영역을 넓힐 수 있는 인공지능 교육의 중요성이 강조되고 있다. 교수 학습 과정에서 인공지능 기술 적용에 대한 시기와 방법이 체계적으로 계획되어 적용된다면 학습자에게 적절한 맞춤형 교육으로 성공적 학습 경험을 제공할 수 있다. 이러한 성공적 학습 경험은 올바른 감수성을 함양하고, 자기효능감을 신장하는데 도움을 줄 것이다. 현재 학교 현장에서 인공지능 기술이 다양한 교육 분야에 적용되며 혁신적인 시도를 통해 교육의 모습을 변화시

키고 있다(손정명과 김태영, 2021; 이승철과 김태영, 2020; 이지혜와 허난, 2018; 임철일, 2019).

이에 본 연구에서는 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램을 개발하고, 초등학교 현장에 적용하여 초등학생의 환경감수성과 자기효능감에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 절차

본 연구는 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 초등학생들의 환경감수성과 자기효능감에 미치는 영향을 알아보기 위한 것이다. 기초단계에서는 우선 미세먼지, 환경감수성, 자기효능감에 대한 이론적 배경을 알아보고, 미세먼지 관련 환경교육 프로그램 관련 선행연구를 고찰하였다. 그 후 프로그램을 개발하고 적용할 연구 대상을 선정하였다.

이어 검사 도구를 선정하고 수업 처치 이전에 사전검사를 실시하였다. 이후 개발한 수업 프로그램을 4주에 걸쳐 적용하여 연구 집단 대상 수업을 실시하고, 사후검사를 실시하여 결과를 분석하였다. 연구의 절차를 간단히 도식화하면 Fig. 1과 같다.

2. 연구 대상

본 연구는 B광역시 S구 소재의 초등학교 6학년 2개 학급 29명을 대상으로 수행하였으며 그 구성은 Table 1과 같다.

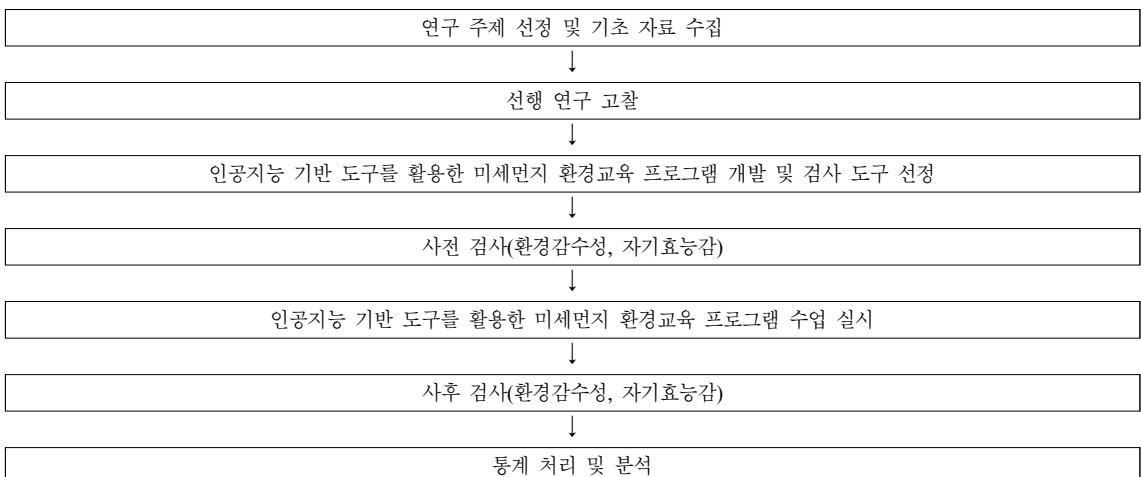


Fig. 1. 연구 절차

Table 1. 연구 대상

구분	인원 구성		
	남	여	계
연구 집단	15	14	29

3. 연구 설계

본 연구에서 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 초등학생들의 환경감수성과 자기효능감에 미치는 영향을 알아보기 위하여 Table 2와 같이 실험을 설계하였다. 수업 처치 전 환경감수성과 자기효능감에 대한 사전검사를 실시한 후 수업 프로그램을 연구 집단에 4주 동안 적용하여 수업을 실시하였다. 그리고 사후검사와 함께 학생 면담을 통해 결과를 분석하였다. 면담 대상은 연구의 주제와 관련된 학업성취도 및 참여도를 고려하여 수준을 달리한 3명을 선정하였다.

Table 2. 연구 설계

G ₁	O ₁	X ₁	O ₂
----------------	----------------	----------------	----------------

- G₁ : 연구 집단
- O₁ : 사전검사(환경감수성, 자기효능감)
- X₁ : 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램 적용
- O₂ : 사후검사(환경감수성, 자기효능감)

4. 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램 수업 내용 개발

본 프로그램의 수업 내용 관련 주제는 환경부(2016)의 미세먼지 교육용 자료와 선행 연구를 토대로 초등학교 고학년 수준에서 알아야 할 것이라 판단되는 내용을 위주로 선정하였다. 1차로 선정된 내용을 과학 교육 전공 교수 1인과 대학원에 재학 중인 현장 교사 4인에게 프로그램별 내용 요소 및 과정이 적절한지에 대한 검토를 받아 초등학생들의 흥미 유발, 미세먼지 관련 선행 연구 프로그램, 학년 적합성, 인공지능 기반 도구 활용 방안 등을 고려하여 최종 주제를 정하였다. 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경 교육 프로그램 수업내용은 총 9차시로 구성되어 있으며, 차시별 구체적인 수업 내용은 Table 3과 같다.

1~2차시 미세먼지 알아보기에서는 인공지능 기반 3차 도구인 한국교육학술정보원에서 만든 미세

먼지 안전 VR 앱을 활용하였다. VR을 활용한 교육은 웹기반 학습콘텐츠 수준을 넘어 미세먼지의 개념에 대한 실제적 내용 표현과 학습목표 도달을 위한 상호작용을 가능하도록 하여 주의력과 실재감 등을 향상시킬 것으로 판단하였다.

3차시 미세먼지가 미치는 신체적, 환경적, 사회적 영향에서는 환경부와 국가환경교육센터에서 제작한 AR로 배우는 미세먼지 환경안전교육 AR 앱과 앞서 사용했던 VR 앱을 활용하였다. 증강현실 체험은 미세먼지로 인한 피해를 학습할 때 관련 개념을 실제로 보는 것처럼 보다 생동감 있는 학습으로 유도하여 학생들의 몰입감, 학습효과를 높일 수 있도록 활용하였다.

4~5차시 우리학교의 미세먼지 측정 및 피해 상황 알아보기에서는 우리학교의 미세먼지 농도에 관해 커뮤니티 매핑 활동을 통해 데이터를 수집한 후 인공지능 기반 1차 도구인 엔트리 인공지능 지도학습(분류: 텍스트)과 2차 도구인 엔트리 인공지능 음성 인식 기능 및 읽어주기 기능을 활용하여 학교 미세먼지 농도 알리미 인공지능을 만들었다. 초등학생들이 미세먼지에 관한 다양한 데이터를 직접 입력하고, 데이터 라벨링하며, 이를 바탕으로 학습한 결과로 학교 미세먼지 농도를 알리는 인공지능을 만들어 볼 수 있도록 하였다.

6~7차시 미세먼지 대처하기에서는 인공지능 기반 2차 도구인 엔트리 인공지능 음성 인식 기능과 읽어주기 기능을 활용하여 미세먼지 농도별 대처 방법에 대한 인공지능을 만든다. 더불어 인공지능 지도학습(분류: 이미지)과 비디옌 감지 기능을 연계하여 올바른 마스크 착용을 권장하는 인공지능을 만든다.



8~9차시 미세먼지 예방하기에서는 2차 도구인 인공지능블록 비디옌·오디옌 감지, 읽어주기 기능을 활용하여 미세먼지를 줄이고 예방하기 위해 할 수 있는 일에 대한 인공지능 활용 프로그램을 만들어 보도록 하였다.

5. 검사 도구

인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램의 효과를 알아보기 위해 다음과 같은 검사 도구를 사용하였다.

Table 3. 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램 수업 내용

차시 (시간)	목표	내용 구성	활용 인공지능 기반 도구	활동 예시
1~2 차시 (80분)	미세먼지 알아보기	<ul style="list-style-type: none"> · 미세먼지로 인한 피해 관련 영상을 통한 문제점 알아보기 · VR 체험을 통해 미세먼지에 대해 조사한 내용을 모둠 토의하기 · 미세먼지 예보등급에 대해 조사하기 · 마인드맵으로 정리하고 미세먼지에 대해 의견 나누기 	VR (3차 도구)	 
3차시 (40분)	미세먼지로 인한 피해 조사하기	<ul style="list-style-type: none"> · VR을 통해 미세먼지가 인체에 미치는 영향 살펴보기 · AR을 통해 가족 구성원에게 있었던 피해를 보고 모둠 토의하기 · AR 상황 중 하나를 정해 미세먼지가 주는 피해를 모듈별 역할 극으로 표현하기 	VR AR (3차 도구)	 
4~5 차시 (80분)	학교의 미세먼지 농도 알아보기	<ul style="list-style-type: none"> · 학교의 장소별 미세먼지 측정하기 · 미세먼지 농도가 높은 곳은 피해 상황도 같이 조사하기 · 미세먼지 측정 농도 및 피해 정도를 커뮤니티 매핑으로 공유하기 · 모듈별 토의를 통해 엔트리 인공지능 지도학습으로 학교의 미세먼지 농도 알리미 만들기 	엔트리 인공지능 지도학습 및 블록 (1차, 2차 도구)	 
6~7 차시 (80분)	미세먼지 대처하기	<ul style="list-style-type: none"> · 미세먼지 농도에 따른 미세먼지 피해 알아보기 · 미세먼지 농도별 대처방법 조사하기 · 미세먼지 농도와 대처방법을 알려주는 인공지능 만들기 · 마스크 착용을 권장하는 인공지능 만들기 	엔트리 인공지능 지도학습 (1차 도구) 엔트리 인공 지능블록 (2차 도구)	 

차시 (시간)	목표	내용 구성	활용 인공지능 기반 도구	활동 예시
8~9 차시 (80분)	미세먼지 예방하기	<ul style="list-style-type: none"> · 미세먼지를 줄이는 방법 조사하기 · 미세먼지를 줄이는 방법을 알리는 인공지능 프로그램 계획하기 · 미세먼지를 줄이는 방법을 알리는 인공지능 프로그램 공유하기 · 1~8차시 미세먼지에 관한 수업 내용 정리하기 	엔트리 인공 지능블록 (2차 도구)	 

1) 환경감수성

본 연구에서 환경 감수성 측정을 위해 안운화 (2016)가 제작한 검사 도구를 사용하였다. 검사 도구의 영역별 문항 구성은 Table 4와 같다. 각 문항은 리커트식 5단계 평정척도로 구성하여 질문에 대한 긍정적인 반응(5점)에서부터 매우 부정적인 반응(1점)까지 5단계의 점수로 나누어 각각 5점에서 1점까지 채점하였다. 이 검사의 신뢰도 Cronbach α 는 사전 .921, 사후 .917로 나타났다.

2) 자기효능감

본 연구에서 자기효능감 측정을 위해서 개인의 일반적 자기효능감을 측정하기 위하여 Bandura (1986)가 제시한 자기효능감에 대한 정의를 참고하여 김재호(2006)가 사용한 검사지를 활용하였다. 검사도구별 하위 영역 및 문항수는 Table 5와 같다. 이 검사의 신뢰도 Cronbach α 는 사전 .861, 사후 .904로 나타났다.

3) 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육에 대한 학생과의 면담

본 연구는 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육이 초등학생의 환경감수성과 자기효능감에 미치는 영향을 검사지를 통한 양적 측정도구로 살펴보았으나, 환경감수성 및 자기효능감과 관련된 개인의 변화, 학습 프로그램 만족도 등을 알아보기 위해 학생들의 반응을 분석하는 질적 연구를 병행하였다. Table 6과 같이 문항을 구성한 뒤 연구 집단 학생들에게 면담을 실시하였다. 면담 실시 및 반응 분석과정에서 과학 교육 전공 교수 1인과 대학원에 재학 중인 현장 교사 4인에게 분석이 적절한지에 대한 검토를 받았다.

6. 자료 처리 방법

본 연구에서는 결과 분석을 위해 SPSS 26.0 프로그램을 이용하였으며, 연구 집단의 사전검사, 사후검사 결과를 사용하여 대응표본 t-검정을 실시하였다. 통계상의 숫자는 소수 셋째자리에서 반올림하

Table 4. 환경감수성 검사 도구의 영역별 문항 구성

영역	문항 내용	문항 번호
민감성	- 자연의 변화에 대한 관심과 신기함, 생명에 대한 경외심, 동식물에 대한 호기심, 환경 오염과 원인 및 환경보호에 대한 관심	1~7
심미감과 정서안정	- 환경의 오염 원인, 환경 오염의 영향, 환경 보전 방법	8~14
동정과 연민	- 환경 오염의 원인, 환경 오염의 영향, 환경 보전 방법	15~20

Table 5. 자기효능감 검사 도구의 영역별 문항 구성

영역	문항번호 (역채점 문항)	문항수
자신감	(2, 3), 4, 8, 11, 15, 16, 18, 20	9
자기조절 효능감	1, 7, 12, 17, 19	5
과제난이도	5, (6), 9, (10), 13, 14	6

Table 6. 면담 질문

번호	문항 내용
1	평소 수업 방식과 인공지능을 활용한 미세먼지 수업은 어떤 다른 점이 있었나요?
2	가장 기억에 남는 활동과 그 이유는 무엇인가요?
3	이번 수업이 미세먼지에 대해 알게 되는데 많은 도움이 되었나요?
4	수업을 마친 후에 미세먼지에 대한 생각이 어떻게 변했나요?
5	더 알고 싶거나 궁금한 점은 무엇인가요?

여 소수 둘째자리까지 나타내었으나 유의도는 소수 셋째자리까지 나타내었다.

III. 연구 결과 및 논의

본 연구에서는 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 초등학생의 환경감수성과 자기효능감에 미치는 영향을 알아보기 위해 정량적 분석과 정성적 분석을 실시하였다.

1. 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 환경감수성에 미치는 영향

인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 초등학생들의 환경감수성에 미치는 영향을 확인하기 위해 연구 집단에 프로그램 적용 전, 후의 환경감수성에 대한 사전·사후검사를 실시하였다. 대응표본 *t*-검정에 의한 결과는 Table 7과 같다.

환경감수성의 사전·사후 검사 전체 평균을 비교해보면 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램 적용 전 환경감수성 검사 결과

의 평균이 2.41점, 적용 후에는 환경감수성 검사 결과 평균 3.50점으로 1.09점 향상하였다. *t*-검정 결과 $t=-7.754$, $p=0.000$ 으로 나타나 유의수준 .05에서 통계적으로 유의미한 차이가 있었다.

인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 학생들의 환경감수성 향상에 긍정적인 영향을 끼쳤다는 결과를 얻을 수 있었다. 이는 인공지능 기반 도구 활용 수업을 통해 학생들이 주체적이고 능동적으로 수업에 참여하게 됨으로써 초등학생의 환경감수성에 긍정적인 영향을 끼쳤다고 할 수 있다(김지윤, 2008). 또한 매체를 활용한 환경 수업이 환경에 대한 감수성에서 유의미한 향상 점수를 나타낸다는 최성봉(2008)의 연구 결과와도 일치한다(김지윤, 2008; 최성봉, 2008).

인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 환경감수성의 하위 영역별 어떤 영향을 미칠지에 대해 알아보기 위해 민감성, 심미감과 정서안정, 동정과 연민의 3개의 하위 영역별 사전, 사후 검사를 비교해 보았다.

환경감수성 민감성 영역은 검사 결과 평균 점수가 0.95점 향상하였다. 이 결과는 $t=-5.635$, $p=0.000$ 으로 나타나 통계적으로 유의미한 차이를 보였다 ($p<.05$). 이는 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼

Table 7. 환경감수성에 대한 사전-사후 검사 결과

영역	사전/사후	N	평균	표준편차	<i>t</i>	<i>p</i>
민감성	사전검사	29	2.69	1.00	-5.635	0.000*
	사후검사	29	3.64	.81		
심미감과 정서안정	사전검사	29	2.10	.77	-7.231	0.000*
	사후검사	29	3.31	.74		
동정과 연민	사전검사	29	2.45	.87	-6.904	0.000*
	사후검사	29	3.56	.85		
전체	사전검사	29	2.41	.82	-7.754	0.000*
	사후검사	29	3.50	.71		

* $p<.05$

지 환경교육 프로그램이 초등학생들의 환경감수성 중 민감성 영역에 긍정적인 영향을 미친 것으로 볼 수 있다. 이는 평소 학교 교육과정에서 소극적으로 다루었던 미세먼지에 대한 기본 개념과 정의, 미세먼지의 원인과 이로 인한 환경 피해에 대해 습득하는 과정에서 얻게 된 결과로 볼 수 있다. 인공지능 도구인 증강현실 및 가상현실과 인공지능 블록을 활용한 코딩을 통해 학습 활동의 주체가 되어 호기심을 가지고 접근하는 과정에서 환경에 대한 감수성에 긍정적인 영향을 끼친 결과라고 분석할 수 있다(박종찬, 2020; 천은지, 2020).

환경감수성 심미감과 정서안정 영역 검사 결과 평균 점수가 1.21점 향상하였다. 이 결과는 $t=7.231$, $p=0.000$ 으로 나타나 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($p<.05$). 이는 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 초등학생들의 환경감수성 중 심미감과 정서안정 영역에 긍정적인 영향을 주었다는 것을 알 수 있다. 학교 및 주변의 일상과 연계한 교육을 통해 주위 환경의 모습을 되돌아본 교육활동이 학생의 심미감과 정서안정에 유의미한 효과가 있음을 알 수 있다(장필경, 2017).

환경감수성 동정과 연민 영역 검사 결과 평균 점수가 1.11점 향상하였다. 이 결과는 $t=6.904$, $p=0.000$ 으로 나타나 통계적으로 유의미한 차이를 보였다($p<.05$). 이는 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 초등학생들의 환경감수성 중 동정과 연민 영역에 긍정적인 영향을 주었다는 것을 알 수 있다. 교과서에 치중된 교육이 아닌 인공지능을 활용한 체험 중심의 교육을 통해 미세먼지로 인한 영향을 보다 많은 감각을 통해 경험하며 동정과 연민 등 감수성에 긍정적인 영향을 끼쳤다고 볼 수 있다(김선일과 신영준, 2019).

환경감수성과 관련된 면담 내용 일부를 살펴보면 다음과 같다.

교사 : 이번 수업이 미세먼지에 대해 알게 되는데 많은 도움이 되었나요?

학생 1 : 네! 평소 영상이나 종이로 보던 것과는 다르게 실제로 제가 AR, VR을 통해 체험하기도 하고 프로그램도 만들어보는 체험을 통해 자연의 많은 소중한 생명이 미세먼지로 피해를 받는다는 점을 알게 되고 미세먼지에 적극적으로 대처해야한다는 생각이 들었습니다.

학생 2 : 미세먼지가 사람의 신체뿐만 아니라 동·식물, 전

자제품에도 영향을 끼친다는 것을 알았고, 이를 어떻게 예방할지에 대해 알게 되었습니다.

교사 : 수업을 마친 후에 미세먼지에 대한 생각이 어떻게 변했나요?

학생 1 : 평소 미세먼지가 이렇게 다양하게 피해를 줄지 생각하지 못했는데 미세먼지가 심해지면 식물이 잘 자라지 못하고, 비행기를 탈 수 없고, 우리 몸도 아픕니다. 미세먼지를 줄이기 위해 노력해야겠습니다.

학생 2 : 미세먼지에 대한 지식을 제가 직접 활용하는 수업을 해보니 좀 더 미세먼지에 대해 깊이 이해할 수 있었고 오래 기억에 남을 것 같습니다.

교사 : 더 알고 싶거나 궁금한 것이 있나요?

학생 1 : 미세먼지 외에도 지구의 환경을 파괴하는 다른 것들에 대해서도 공부해보고 싶습니다.

학생 2 : 이번에 우리학교의 미세먼지 상황을 조사해보았는데 다음엔 우리 지역의 미세먼지 상황을 조사해보고 싶습니다.

학생 3 : 미세먼지를 예방하기 위해 사람이 노력해야할 점에 대해 공부했는데 흙먼지나 꽃가루 등 자연적으로 만들어지는 것으로 인한 미세먼지는 어떻게 예방할 수 있을지 궁금합니다.

이상의 면담 결과를 분석해보면 인공지능 기반 도구 활용 미세먼지 환경교육 프로그램을 적용한 이후 대부분의 학생들이 ‘자연이 미세먼지로부터 많은 피해를 받고 있다.’, ‘미세먼지에 적극적으로 대처해야한다’ 등의 표현을 많이 사용하였는데 이는 학습활동인 미세먼지 수업을 통해 환경에 대한 민감성과 동정과 연민 등의 감수성이 향상된 것으로 볼 수 있다. 또한 실천과 체험 중심의 환경교육을 통해 학습에 대한 흥미도와 만족도가 높았으며, 우리 지역 미세먼지를 줄이기 위한 방안을 찾는 방향으로 사고를 뻗어가며 환경감수성의 함양이 실천과도 연계됨을 알 수 있다(우미정과 소금현, 2020).

2. 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 자기효능감에 미치는 영향

인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 초등학생의 자기효능감에 끼치는 영향을 확인하기 위해 실험집단의 프로그램 적용 전, 후의 자기효능감에 관한 사전검사와 사후검사를 실시하였다. t -검정에 의하여 실험집단의 사전과 사후 자기효능감을 비교한 결과는 Table 8과 같다.

Tabel 8. 자기효능감에 대한 사전·사후 검사 결과

영역	사전/사후	N	평균	표준편차	t	p
자신감	사전검사	29	3.34	.75	-1.624	0.116
	사후검사	29	3.56	.70		
자기조절 효능감	사전검사	29	2.63	.65	-4.133	0.000*
	사후검사	29	3.20	.68		
과제 난이도	사전검사	29	2.67	.67	-2.122	0.043*
	사후검사	29	3.02	.90		
전체	사전검사	29	2.96	.62	-2.721	0.011*
	사후검사	29	3.31	.68		

* $p < 0.05$

인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램 수업 사전·사후 검사 결과 전체 평균 비교를 해보면 2.96점에서 3.31점으로 0.35점 향상되었다. t-검정 결과 $t = -2.721$, $p = 0.011$ 으로 유의수준 .05에서 통계적으로 유의미한 차이가 있었다. 따라서 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램은 초등학생의 자기효능감 향상에 있어 긍정적인 영향을 미친다고 볼 수 있다. 본 프로그램 속에서 학생들은 실생활에서 자주 접하는 미세먼지에 관하여 AR, VR, 지도학습, 음성 인식 등의 인공지능 도구를 통해 능동적으로 알아보고, 스스로 대처방법과 예방법을 프로그래밍해보는 과정을 통해 스스로 수행할 수 있는 점에 대해 관심이 높아지는 효과가 있었다. 교사가 완성된 패키지 형태로 전달되는 교육과정을 학생들에게 전달하는 역할을 하는 것보다 학생들에게 다양한 체험과 경험을 할 수 있는 기회를 제공한 수업이 자기효능감 향상에 도움이 되었다고 볼 수 있다(곽영순, 2012).

인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 자기효능감의 하위 영역별 어떤 영향을 미칠지에 대해 알아보기 위해 자신감, 자기조절 효능감, 과제 난이도의 3개의 하위 영역별로 구분하여 결과를 비교 분석해보았다.

먼저 자신감 영역은 사전 검사에서 3.34점, 사후 검사에서 3.56점으로 0.22점 향상되었다. 평균 점수가 향상되었지만 다른 영역에 비하면 다소 향상이 작고, 유의미한 차이를 보이지 않은 이유는 면담 등을 통한 학생 반응을 참고하였을 때 인공지능 기반 도구를 아직 많이 접해보지 못한 활용 도구의 생소함이 반영된 결과라 볼 수 있다. 인공지능 도구를 활용하기 위한 교육의 안정적인 안착을 위해

서는 교사 및 학생을 위한 적절한 지원과 연수가 필요하다고 볼 수 있다(최민영과 이태욱, 2019).

자기조절효능감 영역은 사전 검사에서 2.63점, 사후 검사에서 3.20점으로 0.57점 향상되었다. AR, VR 활용 및 인공지능 블록을 활용한 프로그래밍을 통해 순서대로 차근차근 계획적으로 처리하며 학습자가 스스로 자신의 학습을 조절할 수 있는 기회를 제공하므로 자기조절효능감 향상에 긍정적인 영향을 미쳤다고 볼 수 있다(정남숙, 2014).

과제 난이도 영역은 사전 검사에서 2.67점, 사후 검사에서 3.02점으로 0.35점 향상되었다. 프로그램 차시가 진행됨에 따라 학생들이 인공지능 기반 도구와 익숙해지며 미세먼지 관한 수업 프로그램 속에서 스스로 학습목표를 성취하며 어려운 과제에 도전해 볼 수 있다는 생각을 가지고 도전하는 과정을 통한 긍정적인 변화라고 할 수 있다(설희재와 소금현, 2021).

교사 : 평소 수업 방식과 인공지능을 활용한 미세먼지 수업은 어떤 다른 점이 있었나요?

학생 1 : 미세먼지에 대해서 AR이나 엔트리 등으로 체험하며 직접 프로그램을 만들어보는 수업이 스스로 계획을 세워 차근차근 문제를 해결하다보니 재미있었습니다.

학생 2 : 평소 수업은 설명과 영상이 많았는데, 인공지능을 활용하여 정보를 직접 찾아보니 자신감이 생겼고, 스스로도 문제를 잘 해결할 수 있다는 생각이 들었습니다.

학생 3 : 평소 수업은 실제적으로 체험해 본다는 느낌이 많이 없었는데 이번 수업은 인공지능이 들어간 다양한 도구로 체험을 많이 할 수 있었습니다. 인공지능을 활용해 미세먼지에 관한 문제를 해결하며 활동하는 것이 처음엔 조금 어려웠지만 평소 수업에

서보다 제가 주도적으로 활동을 할 수 있어서 뿌듯했고, 직접 프로그램도 만들어보며 자신감이 생겼습니다.

- 교사 : 가장 기억에 남는 활동과 그 이유는 무엇인가요?
 학생 1 : 엔트리 인공지능 블록을 활용하여 미세먼지를 예방하기 위한 프로그램을 실제로 만들어 본 활동이 기억에 남습니다. 한편의 미세먼지 예방 광고를 제작 계획을 세워 직접 만들어 본 것 같습니다.
 학생 2 : 엔트리 인공지능 블록을 활용한 프로그램 만들었습니다. 실제로 제가 미세먼지가 심한 날 어떻게 대처할지에 대해 만들어봤는데 친구들과 서로 프로그램을 공유해서 공부한 점이 인상 깊었습니다. 어려운 상황에서도 협동하여 아이디어도 공유하고 극복하며 활동을 한 점이 보람이 있었습니다.
 학생 3 : 친구들과 엔트리 인공지능 블록을 활용하여 직접 미세먼지를 예방하는 프로그램을 만드는 것입니다. 만들어가는 과정이 공부도 되고 즐거웠고, 만들고 나서는 친구들과 서로 공유하며 홍보하는 절차가 인상 깊었기 때문입니다.
 교사 : 이번 수업이 미세먼지에 대해 알게 되는데 많은 도움이 되었나요?
 학생 3 : 미세먼지라는 말을 들어보지만 하였지만 미세먼지가 무엇인지, 얼마나 많은 피해를 주는지, 예방법과 대처법 등에 대해서는 생각하지 못했습니다. 앞으로 어떤 것을 알게 되면 그것에 대해 다양한 방법으로 탐구해보고 싶습니다. 그리고 인공지능을 활용하니 평소 수업에 비해 제가 직접 무엇인가를 만들고 조작하며 적극적으로 체험할 수 있어 좋았습니다.

이와 같은 면담에서 확인 가능하듯이 학생들의 수업 참여도와 성취도 수준은 모두 다르지만 ‘스스로 계획을 세워 해결해보니 재미있었다.’ ‘조금 어려웠지만 주도적으로 활동해서 뿌듯하다.’ ‘아이디어를 공유하며 홍보하는 절차가 인상 깊었다.’ 등의 반응을 통해 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 학생들의 자신감을 향상시키고 자기조절효능감에 긍정적인 영향을 끼쳤음을 알 수 있다. 가장 기억에 남는 활동으로도 AR, VR, 엔트리 인공지능을 활용한 미세먼지 수업이 많이 언급되어 인공지능 기반 도구가 다양한 형태로 학습자의 태도, 자신감, 흥미를 긍정적으로 유지하며 적합한 학습 환경 조성에 영향을 끼쳐 자기주도적 학습 및 자기효능감에 효과적인 영향을 주었다고 볼 수 있다(송정범, 2020; 오석환, 2021).

IV. 결론 및 제언

본 연구에서 사전·사후 검사 결과 비교, 프로그램 적용 후 학생들의 면담 내용을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램은 초등학생의 환경감수성에 긍정적인 영향을 미쳤다. 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램 적용 후 학생들의 환경감수성은 향상되었으며 하위영역인 민감성, 심미감과 정서 안정, 동정과 연민 전 영역에서 유의미한 상승이 나타났다. 미세먼지에 대한 다양한 수업 주제에 관하여 증강현실, 가상현실, 인공지능 블록을 활용하며 학생은 학습 활동의 주체가 되어 체험하고 실습하게 된다. 이러한 실천적 경험을 통해 환경에 대한 감수성이 바람직한 방향으로 변한 것으로 보인다.

둘째, 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램은 초등학생들의 자기효능감에 긍정적인 영향을 미쳤다. 프로그램 적용 후 학생들의 자기효능감은 향상되었으며 유의미한 결과를 얻을 수 있었다. 자기효능감의 세부 영역별로 보았을 경우 자신감 영역에서는 유의미한 차이를 보이지 않았지만, 자기조절 효능감, 과제 난이도에서 긍정적인 영향을 미친 것으로 나타났다. 자신감 영역에서 다른 영역의 비해 향상 폭이 작고 유의미한 차이를 보이지 않은 이유는 인공지능 기반 도구를 아직 많이 접해보지 못한 점에서 비롯한 도구 활용에 대한 생소함이 반영된 결과라고 볼 수 있다. 학생들은 프로그램의 각 학습 차시별로 인공지능 블록을 활용한 프로그래밍 등을 통해 계획적으로 수업과제를 처리하며 스스로 학습을 조절해 나갔다. 이렇게 주도적으로 과제를 해결하는 과정에서 자기조절효능감, 과제난이도 영역에서의 태도가 바람직한 방향으로 길러졌다고 추론할 수 있다.

셋째, 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램에 대해 초등학생들은 높은 흥미도와 만족감을 표시했다. 초등학교 학생들은 교재 중심의 정형화된 수업에 지루함과 어려움을 느꼈다. 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램은 실천과 체험 중심의 학생 주도의 수업으로 학생 스스로 문제 해결을 위한 계획을 세우고 인공지능 블록 등을 활용하여 프로그램을 만든

는 활동을 진행한다. 환경문제 관련 주제들에 대해 실천과 체험 중심으로 관심을 가지고 접근할 수 있었다는 점에서 미세먼지 수업에 대한 흥미를 높이는 데 도움이 되었다는 결과를 알 수 있었다.

이상의 연구 결과를 통해 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램은 초등학생들의 환경감수성과 자기효능감에 효과적이면서도 학생들의 환경교육에 대한 흥미도와 관심을 높이는 데 도움이 된다고 판단된다.

본 연구를 토대로 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, 초등학교 교육과정 내에 미세먼지 관련 학습 내용을 포함하는 환경 교육이 필요하다. 현재 초등학교 교육과정에는 미세먼지에 관한 환경교육에 대한 내용이 거의 존재하지 않으며 관련 성취기준도 없는 실정이다. 미세먼지 등의 대기오염에 대한 환경문제는 현재 인류가 직면하고 있는 가장 큰 문제 중 하나라는 현실과 더불어 학생들의 관심도 및 환경감수성을 높이기 위하여 학생들에게 미세먼지 관련 환경문제에 관한 올바른 소양을 길러줄 수 있는 내용을 교육과정에 반영해야 한다.

둘째, 본 연구에서 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램이 학생들의 환경감수성 및 자기효능감에 긍정적인 변화를 일으킨다는 점은 검증되었으나 이 프로그램과 비교할 수 있는 인공지능 기반 도구를 교육에 활용한 선행 연구가 현재 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구 프로그램에 대한 효과를 좀 더 명확히 검증하기 위해서는 다양하고 많은 학생들을 표본으로 한 실험처치를 하는 등의 후속 연구와 더불어 추가적인 연구와 개발이 필요하다.

셋째, 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램의 연구와 개발이 필요하다. 본 연구에서 인공지능 기반 도구를 활용한 미세먼지 환경교육 프로그램에서 학생들은 AR, VR, 인공지능 블록 등을 활용하여 학습문제를 해결하였다. 이 과정에서 인공지능 블록을 활용하여 학생 주도의 맞춤형 환경 학습이 가능하였다. 학생들이 이처럼 인공지능 기반 도구를 활용하여 실천과 체험 중심으로 학습할 수 있다면 학생들의 환경감수성 및 자기효능감을 기르는데 효과적일 것으로 기대된다. 따라서 학생들이 인공지능 기반 도구를 활용한 학습 프로그램을 더 많이 경험할 수 있도록 프로그램의 연구 및 개발이 필요하다.

참고문헌

- 곽영순(2012). 학습자의 핵심역량 제고를 위한 과학 교사교육 개선 방안. 한국지구과학회지, 33(2), 162-169.
- 김봉철(2021). 인공지능 기반 도덕과 교육 플랫폼 개발. 한국초등교육, 31(특별호), 139-158.
- 김선미(2018). 핵심역량 함양을 위한 주제통합방식 환경교육 프로그램 구안 방안: 초등학교 5, 6학년을 대상으로. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 김선일, 신영준(2019). 체험중심 생태환경 STEAM 프로그램이 초등학생들의 생태적 감수성에 미치는 영향. 초등과학교육, 38(4), 465-474.
- 김재호(2006). 초등학생의 가족체계와 자기효능감 및 진로태도성숙의 관계. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 김지윤(2008). 노래 가사 바꿔 부르기를 활용한 수업이 초등학생의 환경감수성에 미치는 영향. 서울교육대학교 대학원 석사학위논문.
- 김혜란(2020). 초등 과학 수업에 VR 구현 프로그램을 활용한 SW 융합교육프로그램의 개발과 적용. 초등과학교육, 39(2), 296-305.
- 문우중, 김복술, 김정아, 김봉철, 서영호, 오정철, 김용민, 김종훈(2021). 데이터 라벨링 중심의 머신러닝 교육이 초등학생 컴퓨팅 사고력에 미치는 효과. 정보교육학회 논문지, 25(2), 327-335.
- 박은정(2007). 미세먼지와 그 유해화학물질의 건강위해성 평가. 동덕여자대학교 일반대학원 박사학위논문.
- 박이서로, 김영식(2020). AI 교육 플랫폼을 활용한 초등학교 인공지능 교육방안. 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집, 24(2(A)), 187-190.
- 박종찬(2020). 엔트리코딩을 활용한 과학 수업이 초등학생들의 과학적 태도 및 과학학습 동기에 미치는 효과. 부산교육대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 서은정(2017). 2015 개정 환경 교육과정에서의 역량 탐색. 환경교육, 30(3), 237-250.
- 설휘재, 소금현(2021). 바이오에너지에 관한 융합인재교육 프로그램이 초등학생의 자기효능감과 에너지 절약 태도에 미치는 영향. 생물교육, 49(2), 151-161.
- 손원성(2020). 인공지능(AI) 교육 플랫폼을 활용한 SW 교육 수업안 개발: 초등학교 고학년을 중심으로. 정보교육학회논문지, 24(5), 453-462.
- 손정명, 김태영(2021). 초등학교 교과연계 인공지능 교육 운영 사례. 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집, 25(1), 111-114.
- 송숙진(2020). 미세먼지 지식과 미세먼지 대응에 대한 인식 및 실천 비교: 초, 중, 고, 교사를 대상으로. 한국교원대학교 교육정책전문대학원 석사학위논문.
- 송정범(2020). 초등학교 저학년 대상 인공지능 도구 활용 STEAM 교육 프로그램 개발. 한국디지털콘텐츠학회

- 논문지, 21(12), 2135-2142.
- 송희화(2020). 환경 핵심역량 함양을 위한 초등 미세먼지 교육 프로그램 구안: 초등 5, 6학년을 중심으로. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 안윤화(2016). 환경동화를 활용한 유아 환경 교육 활동이 유아의 환경감수성에 미치는 영향. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 우미정, 소금현(2020). 환경동화를 활용한 환경교육 프로그램이 초등 저학년 학생의 환경보전지식과 환경감수성에 미치는 영향. 생물교육, 48(1), 99-109.
- 오석환(2021). 인공지능 도구를 활용한 고등학교 수학 수업이 학업성취도와 정의적 영역에 미치는 효과. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 윤순진(2009). 학교 기후 변화와 교육의 현황과 과제. 환경교육, 22(2), 1-22.
- 이가빈(2017). 생태그림책을 활용한 교육연구 활동이 환경감수성에 미치는 영향. 서울교육대학교 교육전문대학원 석사학위논문.
- 이미나(2020). 국내 지역별 미세먼지 배출 효율성과 영향 요인에 관한 연구. 원광대학교 대학원 박사학위논문.
- 이성덕, 김형균(2010). 환경감수성의 이론적 탐색. 교육논총, 47(2), 65-88.
- 이성희(2018). 거꾸로 수업을 적용한 초등 저학년 황사·미세먼지 안전지도 방안. 서울교육대학교 교육전문대학원 석사학위논문.
- 이승철, 김태영(2020). 초등학생을 위한 인공지능 교육 내용 및 방법 제안. 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집, 24(1), 177-180.
- 이지혜, 허난(2018). 수학교육의 변화와 인공지능과의 연관성 탐색. 수학교육논문집, 32(1), 23-36.
- 임철일(2019). 미래 사회와 교육을 위한 교육공학 연구 및 실천 영역의 재조명. 교육공학연구, 35(2), 253-287.
- 장나리, 이상원(2020). 미세먼지에 대한 초등학생들의 지식·인식 및 태도 조사. 한국실과교육학회지, 33(3), 1-20.
- 장미화, 이미형, 이선미, 조윤수, 조경숙(2019). 아두이노를 활용한 고등학생 대상 환경교육 프로그램의 개발 및 적용: 미세먼지측정기 만들기를 중심으로. 한국환경교육학회 학술대회 자료집, 2019.6, 224-228.
- 장필경(2017). 일상생활과 연계된 다큐멘터리를 활용한 환경교육활동이 유아의 환경감수성 및 환경보전지식에 미치는 영향. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 정남숙(2014). 동기강화 자기조절학습전략이 초등학생의 자기조절기능 및 학업적 자기효능감에 미치는 영향. 초등교육학연구, 21(1), 135-154.
- 정성열(2020). 미세먼지 저감 정책에 관한 사상구 주민의 인식 연구. 동의대학교 국가안전정책대학원 석사학위논문.
- 조현국(2017). 4차 산업혁명에 따른 미래사회와 교육환경의 변화. 그리고 초·중등 과학교육의 과제, 초등과학교육, 36(3), 286-301.
- 천은지(2020). VR 콘텐츠를 활용한 과학수업이 초등학생들의 과학적 태도 및 학습동기에 미치는 효과. 부산교육대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 최민영, 이태욱(2019). 인공지능 교육의 현황과 학교 및 교사의 역할 변화 예측. 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집, 23(2), 85-88.
- 최성봉(2008). 환경교육 영상매체 활용 수업이 환경 감수성에 미치는 영향. 한국환경과학회지, 17(10), 1183-1191.
- 허설화(2017). 어린이를 대상으로 하는 미세먼지 예방 보드게임 개발. 공주대학교 대학원 석사학위논문.
- 홍하나(2016). 미세먼지에 의한 모발 및 두피 손상 인식과 관리 태도에 관한 만족도 연구. 동덕여자대학교 보건과학대학원 석사학위논문.
- 환경부(2016). 미세먼지, 도대체 뭘까?.
- 황연주(2020). 초등 미술수업에서 스마트폰 앱 '퀴버'를 활용한 3D 증강현실 애니메이션 교육 방안. 미술교육연구논총, 60, 277-308.
- Bandura, A. (1986). The explanatory and predictive scope of self-efficacy theory. Journal of Social and Clinical Psychology, 4(3), 359.
- OECD (2014). The Cost of Air Pollution.

최일훈, 서감초등학교 교사(Choi, Il-hoon; Teacher, Seogam Elementary School).

† 소금현, 부산교육대학교 교수(So, Keumhyun; Professor, Busan National University of Education).