

초등학교 교사의 유니티 물리엔진을 활용한 증강현실 과학교육 자료개발 경험 분석

김형욱[†]

Analysis of Elementary School Teachers' Experiences with Using the Unity Physics Engine to Develop Augmented Reality Science Educational Materials

Kim, Hyunguk[†]

국문 초록

본 연구는 초등학교 교사 5인이 유니티 물리엔진을 활용하여 AR 과학교육 자료를 개발하고 그 과정에서 겪을 수 있는 경험과 논의한 사항에 대하여 단계별로 정리한 것이다. 교사들은 AR 자료개발을 위한 준비 단계에서 AR 기술의 특징을 탐색하였으며, 단위 선정에 대한 논의를 바탕으로 자기 단원에 자기장 관련 실험을 AR 자료로 제작하기로 하였다. 또한 C# 프로그래밍 언어에 대한 배경지식 부족으로 인한 어려움을 준비 단계에서 호소하였다. 자료개발의 단계에서는 유니티 프로그램의 생소한 인터페이스와 기능 조작에 대한 어려움이 있었으나 이는 교사들의 지식 공유와 협력적 의사소통으로 극복하는 모습을 보였다. 최종 개발한 자료는 마커 유형의 AR 자료이며 자석과 나침반 마커의 위치를 변화시키면서 실험 활동을 수행하는 자료였다. 개발한 자료를 바탕으로 교사들은 수업 활동에서의 원활한 활용 방안에 대하여 논의하였다.

주제어: 유니티 물리엔진, 증강현실, 자기장, 초등학교 교사

ABSTRACT

This study presents a step-by-step analysis of the experiences and discussions of five elementary school teachers while developing the Augmented Reality (AR) science educational materials, using the Unity Physics Engine. In the preparation phase to develop the AR materials, the teachers explored the features of the AR technology and decided to create AR materials for experiments related to magnetic fields in the magnetism unit, based on discussions about the unit selection. In addition, they complained about difficulties arising out of the lack of background knowledge about the C# programming language in the preparation phase. During the material development stage, there were difficulties in operating the unfamiliar interface and other functions of the software. However, this was overcome through knowledge sharing and collaborative communication among the teachers. The final materials developed were marker-type AR materials to perform experimental activities by changing the position of the magnet and the compass markers. Based on the developed materials, the teachers discussed their smooth utilization during the classroom activities.

Key words: unity physics engine, augmented reality, magnetics fields, elementary school teacher

I. 서 론

정보통신기술(ICT)의 발달은 사회문화적 환경 변화에 영향을 미치고 있으며, 산업생태계 내에서 인간을 로봇이나 인공지능으로 빠르게 대체하고 있다(Schwab, 2017). 이러한 상황에 적응하고 더 나은 삶을 살기 위해서는 이에 맞는 인재 양성이 더욱 중요해졌고, 각 국가에서는 사회변화에 적합한 인재 양성을 위해 여러 제도를 마련하고 있다(이원준, 2018). 다양한 분야에서는 변화에 발맞추기 위한 연구가 수행되고 있으며(하상우와 조현국, 2017), 데이터를 활용한 플랫폼 기반의 새로운 비즈니스 모델을 제시하거나 물리적인 인프라 구축을 위한 노력도 병행하고 있다(Noortje *et al.*, 2019). 특히 증강현실(이하 AR) 기술 연구와 콘텐츠 개발 분야에 막대한 투자가 이루어지면서 이러한 기술을 손쉽게 적용할 수 있는 환경에 주목하고 있고 적절한 활용방안과 효과에 관한 관심은 더욱 높다고 할 수 있다(Martin-Gutierrez *et al.*, 2017).

실제 현실과 유사하게 인공적으로 만들어진 환경이나 상황을 의미하는 가상현실과 달리 AR은 실제 현실 배경에 가상 객체를 중첩하여 실시간으로 제공하는 기술을 의미한다(Azuma, 1997). 현재 광고, 쇼핑, 서비스업 분야 등에 적용되고 있으며 향후 교육 분야에서도 더욱 활발하게 활용될 것으로 기대하고 있다. AR은 학습자의 경험을 확장하는 도구가 될 수 있으며(Saidin *et al.*, 2015), 네트워크를 통한 학습자 간 연결성의 증대로 협업을 강화할 수 있는 환경을 제공한다(Squire & Klopfer, 2007). 또한 실제 세계에 기초한 환경적인 강화는 학습자에게 현실감을 제공하여 흥미와 동기유발에 효과적이다(Liu & Tsai, 2013).

과학교육 분야의 경우, AR은 직접 관찰하거나 실험하기 어려운 추상적인 주제를 가르치는데 혁신적인 기술로 사용될 수 있고(Yilmaz, 2021), 공간 감각을 익혀 비가시적인 현상을 시각화하는 도구로 유용하게 활용되고 있다(Nielsen *et al.*, 2016). 아울러 다른 첨단 기술과의 연계를 통해 비형식 교육과 형식 교육의 경계를 넘나들며 학교에서의 과학 수업과 과학관에서의 학습 경험을 결합하여 학습자에게 제공하기도 한다(Sortirou & Bogner, 2008). 이처럼 AR은 과학 학습에서 탐구의 유연성을 강화하여 과정과 기능

습득에 효율적이며, 과학 관련 정의적 영역의 발달에도 큰 효과를 가진다(Bressler & Bodzin, 2013). 하지만 과학교육에 활용할 수 있는 콘텐츠는 극히 제한적이며 교수 상황과 환경에 따라 적절하게 선택하기에도 어려움이 존재한다.

여기서 혁신적인 기술의 발달과 기기 구축이 학교교육의 성공적인 변화로 귀결되는 것이 아님을 주목해야 한다(Volman, 2005). 그 이유는 기술을 활용할 수 있는 교사의 역량이 무엇보다 필수적이기 때문이다(Owston, 2007). 만일 교사 자신이 직접 AR과 관련한 콘텐츠를 기획하고 개발하거나 기존의 것을 수정할 수 있는 역량이 있다면 원하는 교수·학습 내용을 자신의 수업에 적극적으로 활용할 수 있을 것이고 학습 효과의 증대를 기대할 수 있을 것이다. 그러나 컴퓨터 언어를 전공하지 않은 교사가 새로운 AR 프로그램을 개발하는 것은 쉬운 일이 아니다(나지연, 2023). 그럼에도 현재의 초연결과 초융합이 강조되고 있는 사회적인 분위기와 이에 걸맞은 교사의 역할을 강조하고 있는 요즘, 교사들의 AR 과학교육 자료 개발 경험에 관하여 탐색해 보는 것도 의미가 있다고 할 수 있다. 지금까지 과학교육에서 AR과 관련한 연구는 연구 동향을 살펴본 연구가 있으며(나지연과 윤회정, 2021; 변태진과 박정우, 2024), AR을 활용한 교육 프로그램의 적용 효과를 탐색한 연구가 대부분을 차지하였다(이재인과 최중수, 2011; 이창윤 외, 2019). 따라서 AR을 활용한 과학교육 자료를 교사들이 개발한 사례를 발굴하고 그들의 어려움과 경험에 관하여 연구하여 장차 교사교육 프로그램 및 예비교사 양성과정으로의 확장을 염두에 둘 필요성이 있다.

한편 현재 AR과 관련한 교사 교육에 있어서 Co-Spaces 프로그램이 다방면으로 활용되고 있다. 온라인상에서 3차원 공간 및 가상현실 콘텐츠를 제작할 수 있으며 블록코딩이 가능하다는 점에서 충분한 장점이 있다고 볼 수 있다. 하지만 본 연구에서는 수많은 상용 게임 제작에 활발하게 이용되면서 성능이 입증된 유니티(Unity)를 활용하여(이경석, 2019) AR 과학교육 자료를 개발하였으며 물리엔진의 적극적인 이용으로 초기 세팅과 관련하여 과학교육과 관련 없는 비본질적인 부분을 최소화하고자 하였다. 그리고 연구자와 더불어 교사들이 새롭게 알게 된 점과 프로그래밍과 디자인 과정에서 중점을 두고 있는 부분 등을 종합적인 면담을 통해 분석하였다. 이를 통해 과학교

육 현장에서 AR 자료 활용과 교사 수준 차원에서의 AR 자료개발이 정착될 수 있는 시사점을 주고자 하였다.

본 연구의 연구 문제는 다음과 같다.

1. 유니티 물리엔진을 활용한, AR 과학교육 자료를 개발하기 위하여 준비 과정에서 초등학교 교사들은 어떠한 경험을 하였는가?
2. 유니티 물리엔진을 활용한, AR 과학교육 자료를 개발하는 과정에서 초등학교 교사들은 어떠한 경험을 하였는가?

II. 연구 방법

1. 연구의 맥락 및 참여자

2023년 연구자는 한 지역교육청의 과학영재 교육 컨설팅 업무를 담당하고 있었다. 지원교육청 차원에서 영재학급과 영재교육원의 운영에 대하여 연말에 종합적인 평가를 수행하게 되면서 여러 기관의 운영 보고서를 검토하게 된다. 그 과정에서 본 연구의 참여자 중 2명의 AR 관련 과학영재 수업을 알게 되었고 연구자도 관심이 있는 분야로써 면밀하게 탐색하고 연락을 통해 소통하게 되었다. 소통의 과정에서 AR 과학교육 자료에 대한 고민과 의견을 접하였으며 현재 AR 교육자료의 한계와 개발과 관련한 적절한 교사 교육 프로그램이 필요함을 공유하였다. 당시 연구자는 프로그래밍에 관심이 있고 머신러닝의 활용이나 여러 데이터 분석 경험을 가져 다른 교사들과 비교할 때 프로그래밍 전반에 대한 지식이 해박한 편이었기에 연구 참여자 2명은 AR 과학교육 자료개발에

대한 연수를 연구자에게 요청하게 되었다. 이에 연구자는 함께 연수를 진행할 전문 SW 개발자 강사 1명을 섭외하기에 이르렀으며, 본 연구에 참여할 교사 총 5명을 모집하여 함께 공부하는 공동체를 구성하였다.

연수 진행에 있어서 사용할 프로그램은 전문적인 물리엔진 활용으로 좋은 성능을 구현할 수 있는 유니티로 결정하였으며 연구 참여자들 모두 한 번도 학습하거나 이를 활용하여 교육자료를 개발해 본 경험이 없는 상태였다. 이를 고려하여 기초 교육부터 진행하였으며 최종 결과물은 간단히 하나의 장면과 과학 원리를 구현할 수 있는 정도로 제한하였고 전체 연구 참여자가 협동하여 제작하도록 하였다.

연구 참여자 5명(Table 1)은 K도 소재 5개 학교에 재직 중인 현직 초등학교 교사로, 이 중 4명은 교직 생애주기에 비추어 볼 때 충분한 경험을 바탕으로 학교 업무 및 교육활동을 활발하게 하는 경력 10년 이상 15년 미만의 교사였다. 나머지 한 명은 경력 5년 이상 10년 미만의 중추임 교사로 본인의 수업 역량과 교수-학습 개발 역량에 대한 의지가 높은 상태였다. 5명 전원 과학교육 석사학위를 소지하고 있었으며, 다년간의 과학영재 교육 강사 및 교사연구회 활동으로 다른 일반 교사들보다 초등학교 과학교육에 대한 이해가 깊고 노력하는 교사들이었다. 5명의 프로그래밍 역량은 비교적 평준화가 잘 되어 있었는데 대표적인 블록 코딩 도구인 엔트리는 모두 다룰 수 있었으며, 그 외 각자 경험에 따라 파이썬, R, C언어 등의 도구를 다루어 보거나 학습해 본 경험이 있었다.

경험에 대한 인식을 심층적으로 탐구하기 위한 연구에서는 연구 참여자가 이야기한 현상을 개념화하

Table 1. The information of participant

	A	B	C	D	E
교사 경력	12년	14년	11년	8년	12년
3학년 과학교과 지도경력	1년(담임교사)	4년(과학전담교사)	2년(과학전담교사)	-	5년(담임교사-4년, 과학전담교사-1년)
프로그래밍 역량	엔트리: 간단한 게임 제작이 가능한 수준임 파이썬: 코드 작성이 원 활하지는 않음 C언어: 아두이노 활용 경험으로 간단한 코드 작성이 가능한 수준임	엔트리: 과학 학습용 자료 제작 경험이 있음 C언어: 기존의 코드를 변경하여 새로운 프로젝트 제작이 가능한 수준임 R: 간단한 통계분석이 가능한 수준임	엔트리: 엔트리 관련 코딩교육지도사 자격증을 취득함 파이썬: 인공지능 융합대학원 재학중으로 다수 프로젝트 참여 경험이 있음	엔트리: 엔트리 활용 능력이 탁월함 R: 통계 관련 지식이 풍부하며 코드를 활용해 통계 분석이 가능함	엔트리: 수업 진행 경험은 있으나 활용에 있어 어려움이 있음

기 때문에 연구 참여자와 연구자는 깊고 심층적인 대화를 나누며 인식을 공유할 수 있는 관계여야 한다 (채희인과 노석구, 2023). 따라서 본 연구에 참여한 연구 참여자와 연구자는 추후 과학 교사 학습 공동체로 발전할 수 있도록 정기적인 회의와 학습모임을 가졌으며 사적인 친목 모임도 함께 참여하여 라포를 형성하였다.

연구 참여자들에게 적용한 교육 내용을 구체적으로 살펴보면(Table 2), 기초 단계에서는 AR을 활용한 교육의 의의 및 여러 학교급별 사례 탐색, 현재 국내외 연구 현황들을 탐색하였으며 AR 교육의 특징을 도출하였다. 발전 단계에서는 유니티 물리엔진의 인터페이스 확인과 사용법에 대한 학습을 수행하였다. 또한 C# 프로그래밍을 위한 기초 언어를 설명하고 참고할 수 있는 도서와 블로그, 검색 방법, 리소스 획득 방법에 대한 연수를 진행하였다. 개발 단계에서는 상호 토의를 통해 개발 실습을 진행할 주제를 정하고 개발할 자료의 내용을 구체화하였다. 그리고 강사나 연구자의 긴밀한 피드백을 통하여 아이디어의 구체화 방안에 대한 수정 작업을 수행하였고 프로그래밍을 통하여 AR 과학교육 자료를 개발하였다. 마지막으로 반성 단계에서는 이전 단계에서의 학습과 개발한 프로그램 자료를 바탕으로 종합하여 수업에서의 적용 방안과 개선 방안에 대해 논의를 하고 관련된 수업 지도안을 작성하면서 마무리하였다.

2. 자료 수집 및 분석 방법

본 연구에서는 AR 과학교육 자료를 개발하면서 연구 참여자들에게 단계별로 학습한 내용에 대한 자

기성찰지를 기록하도록 하였고 토의자료를 꾸준히 작성하면서 연수에 참여하도록 하였다. 자기성찰지에는 유니티 물리엔진을 통해 실습하는 어려움, 중점을 두고 학습한 부분, 만족스럽거나 얻게 된 점을 위주로 기록하도록 하였고 토의자료는 함께 학습한 내용을 공부하면서 발전할 수 있는 방향과 전반적인 토의 발화문을 기록하였다. 또한 개발 단계별로 수시로 연구 참여자에 대한 면담을 진행하고 전사한 자료의 분석을 통해 위의 기록물에 포함되지 않은 측면을 파악하고자 하였다.

연구자와 연구 참여자의 긴밀한 관계를 바탕으로 참여자가 느낀 경험과 인식을 있는 그대로 자유롭게 이야기하고 이에 대한 의미를 부여하기 위하여 면담에 있어 분석틀과 방법을 설정하지 않았으며(Wellin, 2007), 수집된 자료에 대하여 비교분석법을 사용하여 어려움과 중점적으로 고찰해야 할 경험에 대한 부분을 추출하였다. 먼저 수집된 자료에 관한 내용을 코딩하여 귀납적인 방법으로 추출한 뒤, 범주화하는 과정을 반복하였으며, 삼각검증법, 증장기적인 관찰법을 활용하여 질적 자료에 대한 분석을 수행하였다 (Merriam, 2009).

범주화한 결과는 연구자와 함께 근무하면서 과학 교육 박사과정을 수료한 동료교사 1인, 초등과학 관련 연구대회에 다수 참가하였으며 과학부장 및 전담 경력이 있는 경력 15년 차의 교사 1인이 함께 교차 분석을 시행하였다. 분석의 타당성을 위해 독립적으로 자료를 분석하고 서로 확인하는 과정을 통해 해석이 다른 부분에 대한 보완을 수 차례 실시하였으며 오류가 있는 부분이 발견되면 재범주화를 통해 수정

Table 2. The composition and main contents of programs

단계	내용	연수시간(개발학습시간)
기초	• AR 활용 교육의 의의 및 학교급별, 국가별 교육 사례 탐색	2
	• AR 활용 과학교육 및 정보교육 국내외 연구 현황 탐색	3
	• AR을 활용한 디지털 교과서 사례 탐색	3
발전	• 유니티 물리엔진 인터페이스 확인, 조작 방법 실습	2
	• C# 프로그래밍을 위한 기초 언어 탐색	5(2)
	• 3D 모델에 대한 리소스 획득 방법 탐색 및 도서 탐독	4(1)
개발	• 상호 토의를 통한 개발 주제 선정	3(1)
	• 개발을 위한 아이디어 공유 및 초안 작성	9(2)
	• AR 활용 과학교육 자료개발	12(6)
반성	• 수업 적용 방안 탐색	2
	• 수업 지도안 작성 및 토의	2(1)
총 연수 시간 합계		47(13)

하는 작업을 거쳤다. 이처럼 다양한 분석 자료를 상호 검토하면서 질적 분석의 타당성과 신뢰성을 확보하고자 노력하였다. 최종적으로 AR 기술의 특징 탐색, 단위 선정의 논의, 자료개발의 어려움, 지식 공유와 협력적 의사소통, 자료의 완성과 효율적인 자기단원 적용 준비로 범주화하고 분석을 진행하였다.

III. 연구 결과

1. AR 과학교육 자료개발을 위한 준비: 새로운 도전하기

1) 포함되어야 할 AR 기술의 특징 탐색

교사들은 AR 기술의 고유한 특징이 반영되어서 기존의 과학교육 자료와 차별성을 두고자 하였다. 특히 교사들은 협의를 통해 AR 기술의 장점을 찾고자 하였으며 이를 효과적으로 이용하고자 하였다.

교사 A(자기성찰지): AR의 가장 유용한 특징은 현실 세계에서 언제든지 원하는 행동을 할 수 있다는 점이다. 이러한 특징을 생각한다면 과학 수업에서 여러 가지 이유로 수행할 수 없는 실험을 조금 더 원활하게 할 수 있으리라 생각된다.

교사 C(자기성찰지): AR은 보이지 않거나 현재 존재하지 않는 것에 대한 조작이 언제든지 가능하게 한다.

교사 D(개별 면담): AR의 특징을 확인하고 공부하면서 조금은 극단적으로 과학실에 있는 과학 실험도구가 앞으로 점점 사라질 수도 있겠구나 하는 생각이 들었어요. 기술의 도입으로 학교 공간을 아끼고 그에 맞는 혁신을 이루어낼 가능성도 보였습니다.

AR 기술은 설계자의 의도에 따라 이음새 없는 인터페이스를 통해 자연스럽게 현실 세계와 가상세계를 연결할 수 있어 자유로운 탐색이 가능하며, 자연스러운 행위 유발성과 학습효과를 가져올 수 있다(한송이와 임철일, 2020). 이와 같은 맥락으로 교사들은 연수와 AR에 대한 학습을 통하여 가상세계 개념에 대한 유연한 태도를 보이고 있었으며 더는 현실 세계와 AR 활용을 통한 확장된 세계를 이분법적 개념으로 분절하여 생각하지 않았다. 교사 A는 현실에서의 제약이 있는 과학 실험에 대하여 어느 정도 대체가능한 수준의 AR 개념으로 생각하고 있었으며, 교사 D는 부분적으로 현실을 완전하게 대체할 수 있는 수준

의 AR 개념으로 확장하여 생각하고 있었다. 이는 과학교육 자료를 개발할 때 교사들의 기대하는 바와 적용할 수 있는 상황적인 요소가 충분히 다를 수 있음을 의미하며 적절한 조절을 통해 합의점과 지향점을 공유해야 할 것으로 보인다.

AR을 활용한 과학 수업은 과학적 개념을 얻고, 수정하는 과정들을 반복하면서 단순한 개념 이해보다 전반적인 학습자의 과학탐구능력을 향상시킬 수 있으며, 더 나아가 매체가 가진 고유의 오락성을 통해 즐기면서 배우는 체험을 할 수 있어 학습자의 몰입, 흥미, 만족도를 높인다(Chiang et al., 2014). 교사들도 이러한 특성에 중점을 두어 학습에 있어서 얻을 수 있는 효과를 부각하고자 하였다.

교사 B(자기성찰지): 직접 학습자가 조작하는 과학 실험도 좋지만, 지금까지 접하지 못한 새로운 방법과 시각적인 효과는 충분히 흥미를 끌기에 적합하며 몰입감의 확장적인 측면에서도 가치가 있다.

교사 C(개별면담): 과학 수업에서 디지털 교과서에 있는 AR 자료를 활용한 적이 있어요. 학생들은 우선 굉장히 신기했습니다. 그리고 기본적으로 실험 도구나 교과서가 아닌 여러 가지 장비를 활용하여 학습하니 수업에 대한 참여도나 몰입적인 측면에서 유용했습니다.

교사 E(토의자료): 사실적인 과학 실험과 성실한 학생 참여로 학업성취에 유의미한 효과를 내려면 실제로 조작하고 흥미롭게 다가갈 수 있는 학습 환경을 조성하는 데 주력해야 할 것 같다.

교사들은 위의 응답과 같이 흥미와 몰입도 증진의 측면에서 AR 자료의 유용성을 언급하고 있었다. 실제로 여러 선행연구에서 가상세계와 혼합된 실제 세계에 대한 맥락성과 감각이 증가하기 때문에 유의미한 몰입의 차이를 가져올 수 있는 것으로 분석하였다(Merriam, 2009). 이를 미루어 판단해 볼 때 교사들은 AR의 특징을 이해하고 있으며 경험적으로 접근하여 자료개발의 당위성을 언급하고 있었다.

AR 기반 교육을 위해 자료를 개발할 때, 사용할 수 있는 기술은 여러 가지가 있다. 교사들은 스스로 학습과 여러 교실 수업 및 연수 경험으로 인하여 기술별 특징에 대하여 이해하고 있었다. 그리고 자료개발을 위해 어떠한 것이 가장 적합한지에 대한 의견을 자유롭게 내고 있었다.

교사 A(자기성찰지): 각 AR 기술에 대하여 장단점을 고려해야 한다. HMD의 경우 실재감과 현장감이 높은 대신 높은 가격대와 사이버 멀미를 유발할 수 있다는 단점이 있다. 다차원적인 상호 작용이 가능하지만 개발하기에 어려움이 있을 것으로 생각된다. 마커의 경우 상대적으로 개발이 쉽고 재사용이 가능하며 기기: 학습자 상호작용이 1:1의 대응을 보인다. 하지만 이러한 상호 작용이 일차적이라고 할 수 있어 매우 제한적이다.

교사 B(자기성찰지): GPS 기술의 경우 협동학습이 가능할 것으로 보인다. 하지만 와이파이에 따른 오류가 잦은 문제점이 있어 원활한 학습을 하기에 갖추어야 할 환경이 많다. 상대적으로 간단하고 시공간의 제약을 받지 않도록 마커 형식으로 개발하는 것이 적절하지 않을까 생각한다.

교사 C(토의자료): 개발하는 우리들의 역량과 실제로 학습할 수 있는 환경을 고려할 때 마커 형식의 개발이 가장 합당한 것으로 생각된다. 추후 다른 기술의 적용은 다양한 경험이 축적된 이후에 실행하는 것으로 하는 것이 타당하다.

교사 E(토의자료): 마커가 가장 적합한 것으로 생각되지만, 마커의 경우 모바일을 통해 구현할 것인지 컴퓨터에 내장된 웹캠을 통해 구현할 것인지에 대한 논의가 필요하다.

교사들은 위의 응답에서 마커 기반의 기술로 자료 개발을 수행하는 것이 가장 적합하다고 생각하였다. 교사 A의 경우 HMD 기술에 관한 관심과 장단점을 언급하였지만, 마커가 쉬운 접근성과 개발의 용이성을 근거로 하여 현실적인 개발 가능성에 대해 생각하고 있었다. 교사 B는 GPS 기술의 협동학습 가능성을 언급하였지만, 시공간적인 제약점을 들어 어려움을 피력하고 있었다. 이와 유사하게 AR과 관련한 국내 연구도 마커를 기반으로 한 연구가 대부분을 차지하고 있었다. 이는 비교적 손쉽게 만들 수 있고, 콘텐츠 구하기가 쉬운 것이 개발하기도 쉽고 연구하기에 유용하였다는 점이 장점으로 작용한 결과이다(한송이와 임철일, 2020). 교사 E는 마커를 통해 구현하려면 모바일과 웹캠을 통해 구현할 수 있음을 언급하였다. 교사들은 토의를 통해 모바일 마커에 대한 아래와 같은 의견을 내었다.

교사 A(토의): 현재 학교에 모바일 기기의 보급률이 매우 높습니다. 모바일 형식으로 개발한다면 학교에서의 활용도가 높다고 생각합니다.

교사 B(토의): 맞습니다. 학교의 통신망이 원활하며 과학실의 경

우 지능형 과학실의 순차적 도입 이후 더욱 잘 되어 있습니다. 웹캠을 사용하는 것보다 모바일 형식이 좋다고 봅니다.

교사 D(토의): 학생들에게도 모바일 앱 형식이 가장 익숙하며 손쉽게 사용할 수 있을 것으로 생각됩니다.

마커 기반으로 개발하면 교사들은 모바일 형식으로 개발하는 것이 가장 적합하다고 의견을 내고 있었다. 그리고 추후 개발할 과학교육 자료의 형식으로 모바일 앱의 형태를 따르는 것으로 합의하였다. 위에서 언급한 대로 현재 전국의 모든 학교급에서 모바일 기기의 보급과 통신망 구축은 매우 양호한 것으로 볼 수 있다. 따라서 학생들이 손쉽게 조작하고 익숙한 형태로 개발하여 학습 효과를 높이려는 교사들의 생각이 반영되었다고 할 수 있다.

2) 자료개발을 위한 단원의 선정

과학교육에서 AR을 활용한 학습은 그 효과가 우수하다고 알려져 있다. 하지만 실험 장비 구축의 어려움과 기자재 및 3D 콘텐츠 부족 등을 이유로 적절하게 활용되지 못하는 것이 한계점이다(유영미와 조성환, 2018). 이러한 제한을 극복하기 위해서는 우선 학생들에게 가장 필요한 콘텐츠가 무엇이고 어떤 단원이 적용하기에 가장 적합한지에 대한 공유와 합의가 필요하다. 교사들은 AR 기술을 효과적으로 활용하고 사용할 시 학습적인 측면의 이점이 가장 많은 점을 생각하여 단원을 선정하였다.

교사 A(자기성찰지): 학생들이 실험 도구를 가지고 실험을 하지 않고도 결과를 얻을 수 있는 점이 AR의 장점이라고 할 수 있다. 이를 고려한 단원 선정이 중요하다.

교사 B(토의자료): 다양한 단원에서 AR 기술을 활용하고 있다. 그 중 생명과학 영역에서의 활용이 돋보이는 것 같다. 많은 실감형 콘텐츠가 제작되고 시판되면서 교육 현장에서의 활용이 장려되고 있다. 하지만 학생들은 물리 영역에서의 학습이 어렵다고 생각하고 있으며 추상적인 내용이 많아 학생들의 이해도를 높이기 위하여 혁신적인 변화가 필요하다.

교사 C(토의): 운동과 에너지 영역에서의 학습은 눈에 보이지 않는 현상에 대한 이해를 초등학교 3~4학년부터 강조하는 경향이 있습니다. 특히 3학년 교육과정에 자기 단원에서 그러한 어려움이 가중되는 것 같습니다. 이제 과학이라는 과목을 처음 배우는 학생들인데 많은 어려움이 있다고 생각합니다.

교사 D(토의): 너무 어려운 개념이 아닌 쉬운 개념을 AR을 통해 학습하는 것이 어떨까요? 만약 자기 단원을 대상으로 한다고 가정하면 가장 기본적인 자석 주위의 자기장과 같은 것으로요.

교사들은 자기성찰지와 토의자료, 실제 토의를 통해 개발 단원 선정에 많은 의견을 내고 있었다. 대체로 생명과학 영역에서의 다양한 콘텐츠에 대한 의견을 내고 있었고 어느 정도 동의하였다. 그렇지만 교사 B와 같이 물리 영역에서의 학습에 학생들은 어려움을 느끼고 있으며, 교사 C의 의견과 같이 눈에 보이지 않는 현상을 초등학교 3~4학년부터 강조하고 있는 물리 영역의 특징을 근거로 하여 단원 선정의 당위성을 설명하고 있었다. 교사들은 이와 같은 의견에 공감하였고 현재 2015 개정 교육과정 초등학교 3학년에 등장하는 자기 단원에 관한 내용을 토의에서 언급하였다. 선행연구에 따르면 자기 영역의 경우 눈에 보이지 않는 현상을 다루고 초등학생부터 고등학생까지 가장 어려워하고 기피하는 내용 중 하나이다. 또한 초·중등학교 교사는 물론 대학교에서도 전자기학 지도에 어려움을 나타내고 있다(이세연과 이봉우, 2020). 따라서 이 점에 주안점을 두고 교사들은 자기 단원과 관련된 AR 과학교육 자료를 개발하기로 합의하였다.

한편 교사들은 자기 단원으로 선정한 후, 어떠한 개념과 차이를 중심으로 개발할 것인지 논의를 이어나갔다. 연구자의 지도하에 초등학생들의 여러 가지 자기 관련 오개념을 살펴보았으며 각자의 경험을 추가하여 자기성찰지와 토의에 관련 내용을 언급하였다.

교사 B(토의): 초등학교 3학년 자기 단원의 개념 구조를 살펴보니 자석 사이의 힘, 자석의 성질, 자석의 쓰임새 등이 있습니다. 이 중에서 학생들이 어려워하는 점이 무엇인지, AR로 구현하기에 가장 좋은 것이 무엇인지를 찾아서 제작해야 합니다.

교사 B(자기성찰지): 3학년 교사용 지도서를 살펴보니 초등 교육과정에서는 자기력선을 다루지 않기 때문에 학생들의 혼란을 방지하기 위해 자석의 극 주변에서만 나침반의 움직임을 관찰하도록 하고 있다. 따라서 새롭게 개발할 자료도 나침반의 움직임만 관찰할 수 있도록 해야 할 것이다. 어떤 자료들은 시물레이션 상에 자기력선이 그대로 노출되는 경우도 있는데 교육과정대로라면 이러한 표현은 지양해야 할 것이다.

교사 C(토의): 저는 연구자 선생님과 교육과정을 검토한 결과 주요 교수 포인트를 크게 4가지 정도로 압축할 수 있었습니다.

저는 자석 분리, 자기력, 자기장, 자성체 관련 내용으로 정할 수 있었는데 자석 분리와 자기장 관련 내용이 인상적이었습니다. 그리고 학교에서 수업을 생각해 보면 학생들의 질문 사항이 가장 많은 부분이기도 합니다.

교사 D(자기성찰지): 자기장에 대한 오개념이 많은 것으로 조사되었다. 초등학교 교육과정에서 자기장의 개념은 도입하고 있지는 않지만, 나침반 실험을 통해 간접적으로 자기장에 대한 개념을 언급하고 있는 것으로 생각된다. 실제로 학교에서 자석과 나침반을 통해 실험해 보면 자석과 나침반의 성능적인 문제로 잘되지 않는 경우가 간혹 있다. 따라서 이에 대한 철저한 대비가 필요하다고 본다.

교사 D(토의): 자기장에 대한 자료가 필요합니다. 나침반과 자석의 위치를 통해 자석 주변 자기장의 변화와 나침반이 가리키는 방향을 읽게 되는데 학교에서 모든 학생이 원활하게 하기 어려운 점이 있으며 불명확하게 보이는 경우도 많습니다.

교사 E(자기성찰지): 교사용 지도서를 살펴보면 자석 주위 자기장에 대하여 자석의 극 주변에서만 관찰하도록 하고 있으며, 자석은 되도록 큰 것을 사용하고 나침반은 작은 것을 사용할 때 오차가 적어짐을 언급하고 있다. 이는 실험의 정확성을 높이기 위한 최소한의 장치로 생각되는데 학생들에게 시각적으로 명확하게 하기 위한 자료를 개발한다고 하면 AR을 이용한 자석 주변의 자기장 자료가 적절하다고 생각된다.

위에서 언급한 것과 같이 교사들은 자석 주위에 생기는 자기장에 대한 자료개발의 필요성을 언급하고 공감하고 있었다. 선행연구에 따르면 막대자석 주위에 생기는 자기장 분포에 대하여 초등학생들은 많은 오개념을 가지고 있다. 학생들의 응답 유형을 분류하였을 때 장(Field)의 형태를 띤다고 응답하는 경우는 전체 초등학생의 7% 정도 내외로 매우 적었으며 자석 주변에서 자기장이 균질하게 분포되어 있거나 N극과 S극의 방향에 대하여 오개념을 가진 경우가 많았다(장혜숙과 오원근, 2009). 따라서 이러한 점을 반영하여 초등학교 교과서에 등장하고 학교에서도 빈번하게 수행하는 자석 주위에 나침반을 배열하는 실험을 AR 자료로 개발하기로 합의하고 준비하였다. 그리고 교육과정에 충실하기 위해 자기력선을 제외하고 표현하면서 오로지 자석에 따른 나침반의 방향을 표현하기도 하였다.

3) 프로그래밍 언어에 대한 배경지식 부족

교사들은 AR 과학교육 자료를 개발하면서 프로그

래밍을 위한 언어 습득과 배경지식 부족에 어려움을 나타냈다. 이러한 시도는 프로그래밍에 대하여 그동안 접하지 못한 부분이 많은 낯선 방법이었기에 물리적, 시간적 한계와 지식의 부재를 큰 어려움으로 느끼고 있었다. 유사한 경향은 선행연구에서도 나타났는데 프로그래밍 과정이 부가된 과학 수업 설계를 수행할 때, 예비교사와 교사들은 분명 필요하고 교육과정 운영에 있어 학생들에게 효과적인 성취도 향상을 기대하고 있었지만 언어 습득의 측면에서 한계점이 드러났다(문공주 외, 2016).

교사 A(자기성찰지): 개인적으로 파이썬 코딩 공부를 지속해서 해왔지만 프로그래밍 언어에 대한 지식이 부족함을 느끼고 있다. 결정적으로 연구자 선생님과 강사 선생님의 프로그래밍 수업을 이해하는 데 어려움이 있으며 집에서 개인적으로 보충 학습을 해야 한다는 생각이 든다.

교사 B(자기성찰지): C#은 처음 배우는 것이라 프로그래밍 구조에 대하여 문법을 익히고 활용하는 것이 힘들다.

교사 C(자기성찰지): 엔트리를 다루어 보았지만, 본격적인 컴퓨터 언어에 대한 학습은 처음이다. 이해하는 것이 어렵고 생소하지만, 열심히 하고자 하는 마음은 든다. 그렇지만 얼마나 시간을 투자해서 자습을 수행할 수 있을지 과연 내가 잘 할 수 있을지는 의문이 든다.

교사 D(토의): 다른 교사들과 비교할 때 프로그래밍 경험이 많은 편에 속합니다. 지금까지 파이썬, R, 엔트리, C언어를 공부했는데 저는 오히려 많은 언어 학습 경험이 새로운 것을 받아들이는 데에 방해가 될 수 있다고 생각해요. 매번 느끼는 것이지만 새로운 것은 늘 어렵고 두렵습니다.

선행연구에서 테크놀로지의 활용과 프로그래밍 언어 학습에서 교사는 ‘프로그래머’가 아닌 ‘교육전문가’이자 ‘교수학습 설계자’로서의 역할에 초점을 맞추어야 한다는 점을 강조하고 있다(장진아와 나지연, 2022). 그렇지만 선행연구에서 지적한 것과 같은 맥락으로 교사들은 프로그래밍과 관련한 지식 부족과 그것을 극복하는 과정에서 느낄 수 있는 어려움과 두려움이 자료개발에 있어 어려움으로 작용하고 있었다. 이는 기초지식의 부재가 교사들의 개발 활동 자체를 저해하는 주요 요인이 될 수 있음을 의미한다. 연구자는 이에 대한 해결책으로 교사들에게 수시로 유니티 물리엔진의 타깃 언어가 되는 C#에 대한 학

습자료를 제공하고 최대한의 학습이 되도록 연수를 구성하였다.

교사 A(토의): 연구자 선생님의 자료와 예제를 통한 코딩 활동으로 프로그램 언어에 대한 이해 정도가 조금은 높아졌다고 생각됩니다.

교사 B(토의): 기초 예제에 대한 과제를 하나하나 해결해 가면서 성취감과 자신감을 느낄 수 있었습니다. 이제 본격적인 제작 준비를 해도 좋을 것 같습니다.

교사 E(토의): 일단 도전하고 반복 학습을 하면서 익숙해졌습니다. 아직 잘할 수 있는지 모르겠지만 노력하다 보면 학교 현장에 유용한 자료 하나 정도는 만들 수 있지 않을까요?

위의 응답에서와 같이 교사들은 본격적인 자료개발에 앞선 프로그래밍 언어 학습 마무리 단계에서 처음에 느꼈던 두려움과 달리 어느 정도의 자신감을 느끼고 있었다. 연구자가 연구 참여자들을 대상으로 반복적인 예제 학습과 지속적인 피드백 그리고 기초 코딩에 대한 수업을 병행하여 구성한 부분이 영향을 미쳤을 것으로 보인다. 과학교육과 첨단 기술의 융합을 올바르게 추구하려면 다른 교과교육과 달리 더욱 엄밀한 개념 탐색이 필요하며 이를 오개념 없이 정확하게 반영할 수 있어야 한다. 물리 영역의 경우에는 여러 변수에 기반한 수식 관계와 다양하게 구현될 수 있는 상황적인 요소가 복잡하게 작용한다(나지연과 윤회정, 2021). 따라서 원하는 콘텐츠를 의도하는 방향으로 제작하려면 프로그래밍에 대한 기초적인 이해를 넓혀야 하며 부족한 부분을 프로그래머의 도움을 받는다고 하더라도 기초적인 기능 구현과 특징을 알고 있어야 한다. 본 연구에서는 연구자와 강사의 협의와 관찰을 통해 연구 참여자들의 역량을 지속해서 평가하였고 임계치에 도달되었다고 판단되었을 때, 본격적인 제작 단계에 돌입하였다.

2. AR 과학교육 자료개발의 수행: 성취감 느끼기

1) 유니티 물리엔진 활용의 어려움

유니티 물리엔진은 쉽게 AR 자료를 개발할 수 있는 하나의 도구이지만 익숙하지 못한 조작으로 교사들은 어려움을 토로하고 있었다. 본 연구를 수행하면

서 유니티 물리엔진을 활용할 때 다양한 유형에서 어려움이 드러났다. 하지만 아래에서의 서술은 모든 교사가 공통으로 언급한 내용을 중심으로 하였으며, 유니티 물리엔진의 일반적인 기초 기능을 습득하는 측면의 어려움을 위주로 2가지를 간추려 서술하였다. 우선 가장 기본적인 오브젝트 다루는 방법에 대한 의견을 아래와 같이 언급하였다.

교사 A(토의): 씬(Scene)창에서 오브젝트 다루는 것이 매우 어렵습니다. 키보드의 Alt와 Ctrl 키를 사용하여 마우스 포인터를 손바닥 모양으로 만들기도 하고, 마우스 휠 업, 다운을 이용하여 줌 인, 줌 아웃을 할 수 있습니다. 이를 통해 오브젝트를 다루고 조작하여 사용자가 시각적으로 보는 물체를 만들게 되는데 조작이 익숙치 않아서 시간이 매우 오래 걸립니다.

교사 B(토의): 트랜스 폼 툴 버튼 모양이 뭔가 직관적으로 이해하기 어렵다는 생각이 들었습니다. 또한 이동 툴, 스케일 툴, 회전 툴의 사용을 자유자재로 하지 못하는 것 같아 어려운 생각이 들었습니다.

교사 D(자기성찰지): 오늘 연수에서 1인칭 시점의 표현에 대하여 배웠다. AR보다는 가상현실에서 많이 사용하는 개념이라고 했는데 이해에 어려움이 있었다. 또한 오브젝트 조작에 있어서 자유자재로 원하는 위치로 이동하거나 물체를 회전시키고 크기를 변형하는 데 어려움이 있었다.

교사 E(토의): 여러 오브젝트를 결합하여 하나의 오브젝트를 구성할 수 있습니다. 유니티에서 상위 오브젝트와 하위 오브젝트로 구분하는 것이라 할 수 있는데, 처음에 이를 구분하지 않고 조작하다가 좌뒤틀림이 전부 엉망이 되는 경우도 있었습니다.

교사들은 오브젝트의 조작으로 원하는 모양을 만들어 내는데 어려움을 느끼고 있었다. 특히 유니티 물리엔진 고유의 키보드 조작과 툴 버튼의 익숙하지 않음은 프로그램 초기 적응에 큰 장벽으로 작용하였다. 물론 생소한 프로그램을 학습하는 과정에서 조작의 미숙함은 어느 정도 연구자도 고려하고 있는 문제점이며 연구 참여자들이 얼마나 적극적으로 프로그램에 대한 학습 의지가 있는가의 문제로 귀결되는 기준점이라고 생각이 된다. 하지만 교사들의 조작 장면과 토의에서의 분위기를 살펴볼 때, 기타 프로그램보다 과도하게 어려움을 느낀다고 생각하였으며 추후 교사 연수를 진행한다면 이에 대한 보완이 필요할 것이다.

AR에서 여러 개의 마커와 오브젝트가 함께 작용하는 경우는 많다. 이를 다중 타깃 인식이라고 하는데 이와 관련한 조작에서 어려움을 이야기한 교사가 많았다.

교사 A(자기성찰지): 다른 오브젝트에 접근하여 애니메이션 클립을 확장하고 변수를 추가하는 작업에 대한 이해가 어렵다. 강사분께서 AR 자료개발을 위하여 꼭 필요한 기능이라고 하였는데 그대로 따라 하는 것만으로도 벅차다.

교사 C(자기성찰지): 레이캐스트(raycast)를 이용하여 물체를 서로 감지하는 것이 어려웠다. C# 스크립트 작성이 매우 복잡하였으며 유니티를 처음 접하는 입장에서 개념을 이해하는 것이 어렵다.

교사 D(토의): 애니메이션 컨트롤러의 활용이 어렵습니다. 두 물체의 상호작용을 입력하고 작동 시간과 여러 가지 취하는 모션에 대한 변수값을 하나하나 넣어주어야 하는데 쉽지 않습니다.

교사 E(토의): 다중 타깃 인식을 할 때에는 간단한 모션과 상호작용은 예제를 활용하여 구현할 수 있을 것이라 생각되었습니다. 하지만 세부적인 오브젝트에 작용하는 측면에서는 기초 단계에서 이해하기 어렵습니다. 이에 대한 충분한 보충 설명이 필요할 것으로 생각합니다. 사실 우리가 개발하고자 하는 과학교육 자료도 여러 개의 오브젝트를 인식해야 하기에 다중 타깃 인식이 활용됩니다. 따라서 코드와 유니티 물리엔진 조작을 패턴화시켜서 설명해 주는 것이 어떨까요?

AR 자료개발과 관련하여 선행연구에서는 자료 전체의 주제를 정하고 학습 상황에 맞게 활용적 측면의 맥락을 고려하는 설계와 AR 자료를 프로그래밍과 여러 가지 도구를 활용하여 만드는 제작을 구분하고 있다(장진아와 나지연, 2022). 그만큼 두 가지의 역량은 요구하는 능력과 소양이 다른 차원의 것이라 여겨진다. 하지만 유니티 물리엔진을 다루어 본 경험이 없는 교사들은 제작적인 측면에서 어려움이 많았고 특히 여러 개의 타깃을 인식하여 오브젝트 간의 상호작용을 표현하는 과정의 힘들음을 언급하였다. AR 자료에서 사물을 인식하고 원하는 모션을 출력하는 일련의 과정은 핵심적인 기능이며 교육자료로 전이되었을 때에도 폭넓게 활용된다. 물론 교사들이 과도하게 제작 과정에 몰두하여 과학교육 본연의 수업 탐색 과정과 맥락 파악에 소홀하면 안 될 것이다. 그렇지만 본 연구의 목적에 맞게 교사의 AR 과학교육 자료 제

작 일련의 경험을 살펴볼 때 발견한 어려움은 분명하게 추후 고려되어야 할 것이다. 교사들의 토의에서 나온 의견과 같이 조작적인 측면에서 기능을 숙달할 수 있도록 반복적인 연습이 필요할 것이며 필요할 경우 패턴화와 모듈화를 사용하여 연수를 진행한다면 수월한 진행과 이해가 동반될 것으로 사료된다.

2) 지식 공유와 협력적 의사소통

지식의 공유와 협력을 기반으로 한 의사소통은 여러 선행연구에서 가장 빈번히 언급되는 교사의 역량 중 하나이다(나지연과 윤희정, 2021). 교사 역량으로서의 협력은 공동의 목적의식과 상호신뢰를 바탕으로 공동 과제의 수행을 위해 책임감과 자율성을 갖고 지식과 정보를 공유하며 상호작용하는 것이다(나지연과 윤희정, 2021). 본 연구에서의 AR 자료개발은 연구 참여자들인 교사들에게 있어 매우 생소한 것이며 어찌 보면 가장 도전적인 과제 중 하나라고 볼 수 있다. 이와 관련하여 아래와 같은 의견을 내고 있다.

교사 A(자기성찰지): 다른 AR 콘텐츠에서 3D 형태의 자석 및 나침반 리소스를 검색하고 찾아보는 사전 조사 활동에서 연수에 참여하는 선생님들과 협력이 돋보였다. 결국 3D 형태로 우리만의 피사체를 제작하기는 했지만, 이 과정에서 함께 소통하고 의견을 존중해주며 경청하는 과정이 좋았다.

교사 B(자기성찰지): 과학과 교육과정을 분석하고 함께 검정 교과서 전공과 지도서를 살펴보는 과정에서 교사들의 협동심을 느꼈다. 광장히 방대한 자료이지만 함께 분석하고 의논하면서 방향을 올바르게 설정하고 있는지 확인할 수 있었다.

교사 C(자기성찰지): 교사 D와 함께 프로그래밍을 담당하고 AR로 구현되는 물리적인 현상의 타당성을 협의하였다. 또한 우리가 의도한 대로 원활하게 작동하는지를 항상 함께 확인하고 논의하였다. 혼자 하면 어려운 작업이 될 수도 있었지만, 함께 작업을 수행하면서 즐겁고 쉽게 할 수 있었다.

교사 E(자기성찰지): 의도하지 않은 방향으로 논의가 흘러갈 때도 있었으며 무엇보다 제작하면서 생기는 문제 상황과 어려움이 컸다. 그렇지만 함께 의사결정하고 아이디어를 생각하다 보니 생각이 확장되는 효과를 알 수 있었다. 학교에서 학생들의 협동학습 상황을 같은 방법으로 경험한 것이 되었다.

교사들은 자료개발을 하면서 협력적 의사소통의 중요성과 부족한 지식의 공유를 통하여 어려움을 극복

하고 원활한 문제 해결로 나아갈 수 있는 요소라고 생각하고 있었다. 이는 단순한 지식 습득을 위한 교사 교육에서 벗어나 문제 해결과 열린 탐구, 행위 주체성을 중시하면서 의사소통을 강조하는 최근 교사 교육 방향과 맥락을 같이하는 지점이다(나지연, 2023). 특히 전문적인 프로그래밍 지식과 유니티라는 새로운 물리엔진의 활용을 기반으로 과학교육 자료를 개발해야 하는 본 연구의 설계와 방향성을 고려한다면 이와 같은 협력은 필연적이라 할 수 있다. 특히 개발에 있어 교사들이 가장 힘들어 한 점은 기능을 배우는 속도가 다른 탓에 일의 분업화가 원활하지 못하였고 동시 작업 또한 힘들어서 자료 제작에 많은 시간이 든 점이다. 교사들은 이와 관련하여 아래와 같이 언급하였다.

교사 B(토의): 프로그래밍 언어를 자주 사용하지 않아 가끔 생각이 나지 않을 때가 있습니다. 그리고 언어적 감각이 굉장히 떨어질 때도 있었습니다.(중략)..... 하지만 협력으로 이겨내고 모르는 것을 거리낌 없이 선생님들께 질문할 수 있어서 좋았습니다.

교사 C(토의): 각자 개개인의 작업 속도와 역량이 달라서 작업에 있어 효율성이 없었습니다. 구글 문서에서 작업하듯이 동시다발적으로 작업하면 더욱 빠르게 개발할 수 있었을 텐데 그렇게 하지 못한 점이 어려웠습니다.

교사 E(토의): 맞습니다. 개인 학습 시간에 서로가 공부한 내용을 공유하곤 했는데 잘 따라가지 못하면서 저 혼자 동문서답한 적이 있습니다. 하지만 선생님들이 잘 이끌어 주셔서 다시 올바른 방향을 찾곤 하였습니다.

자료개발에 있어서 연구자는 교사들이 제기하는 심각한 어려움과 의문 사항에 대한 간략한 답은 해주었지만 문제 해결에는 일절 관여하지 않았으며 교사들의 결정에 대한 관찰자나 조언자의 입장으로 접근하였다. 이와 관련하여 연구 참여자인 교사들은 아래와 같은 반응을 하였다.

교사 B(토의): 연구자 선생님께서 놀라울 정도로 도움을 주지 않으셨습니다. 처음에는 힘들었지만 돌이켜 생각해 보면 자료 제작에 대한 기초체력 강화의 측면에서 필요한 조치였던 것 같습니다.

교사 D(토의): 저는 창의성 향상에 오히려 좋았다고 평가하고

싶어요. 처음 기본 교육에 AR과 관련한 기본 개념을 정립하였고 프로그래밍 언어, 유니티 활용 방법에 대한 교육을 연구자 선생님과 강사 선생님께 들었습니다. 그 이후 단원 선정과 콘텐츠 설계, 스토리보드 제작 등은 모두 우리의 몫이 되었습니다. 부족한 부분의 조언을 들었지만, 구글 검색을 통하여 찾아보고 문헌조사를 통해 새롭게 개념을 익히는 과정은 우리의 창의성을 발전시키기에 충분했습니다.

교사 E(토의): 저는 여러 선생님께서 작성한 코드와 유니티 속에서 구현한 자기장의 작동 모습을 살펴보면서 오류가 될 만한 지점이 무엇인지 생각하고 의견을 내기도 하였습니다. 서로 함께 의견을 수용하고 조절하는 모습에서 진정한 연수가 이루어졌다고 생각합니다. 예전처럼 강사분이 전달해 주는 것보다 약간 조력자적인 역할만 하고 우리가 문제점을 발견하고 개선하는 방식의 연수가 훨씬 효과적이라고 보입니다.

교사들은 자신들 스스로 지식을 구성하고 문제 해결을 수행하면서 창의성 발달과 진정한 의미의 학습이 이루어지고 있음을 깨닫고 있었다. 교육에 참여하는 사람들끼리 지식을 공유하고 협력적 방식의 장려를 통한 효과는 여러 선행연구에서 밝혀왔다. 이는 교사 스스로에 대한 학습 필요성 인식 강화를 통해 참여 의욕을 높임과 동시에 연수에서 얻을 수 있는 것이 무엇인지를 발견할 수 있도록 하여 그 의미는 크다고 할 수 있다(이세연과 이봉우, 2019). 따라서 추후 이루어질 수 있는 예비교사와 교사들의 교육에 있어서 적극적인 참고사항이 되어야 할 것이다.

3) 자료의 완성과 효율적인 자기 단원 수업 적용을 위한 준비

연구 참여자인 교사들은 일련의 자료제작 과정에서 연구자와 강사의 도움을 받아 제작 역량 강화에 힘썼다. 그 과정에서 어려움이 있었지만, 협력적 의사소통 강화를 통해 극복하고 연수가 시작된 지 약 3주 정도에 최종 자료를 완성하게 되었다. 완성된 것은 Fig. 1과 같이 2개의 마커로 이루어진 1종의 자료로 하나는 막대자석을 나타내고 나머지 하나는 나침반을 나타내어 마커의 위치 조정으로 자석 주위에 있는 나침반의 방향 변화를 관찰할 수 있도록 하였다. 제작한 마커와 모양에 관하여 교사들은 아래와 같은 의견을 내었다.

교사 A(자기성찰치): 마커의 모양을 결정하면서 색이 화려하여 카메라가 수월하게 인식하도록 하는 것이 중요하였다.

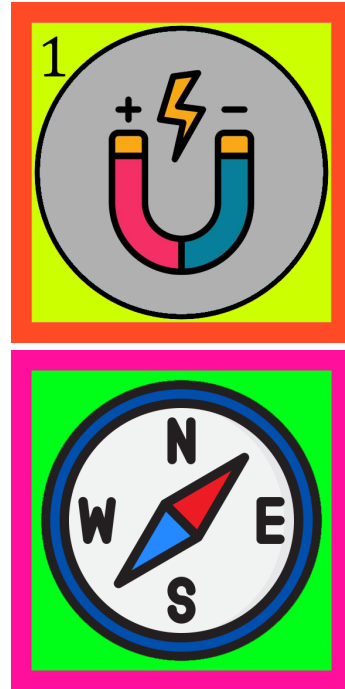


Fig. 1. Magnet and Compass Markers

교사 C(토의): 마커의 색이 단순하거나 카메라 화면에 들어오는 크기가 너무 작은 경우 제대로 인식하지 못하는 경우가 있습니다. 이에 대한 조정으로 위의 그림을 선택하게 되었습니다.

교사 D(토의): 마커 이미지 인식률을 평가하기 위해 Image tracking의 방법을 사용하였습니다. 이 방법은 AR에서 가장 일반적으로 사용되는 기능으로 이미지를 패턴화시켜서 인식이 가능한 점수를 도출할 수 있는데 점수가 낮거나 인식할 수 없는 이미지는 사용하지 않습니다. 색상 패턴이 뚜렷한 이미지를 골라서 사용하였으며 위의 모양으로 결정하였습니다.

교사들은 여러 번의 시행착오를 통해 스스로 마커가 될 수 있는 조건을 발견하였으며 이를 활용하여 자석 주위에 나침반 실험을 할 수 있는 자료를 제작하였다. 마커를 인식하는 화면은 안드로이드 기반의 앱으로 제작하였는데 arfoundation이라는 arcocore(안드로이드), arkit(ios) 기능의 통합 패키지를 활용하였다. 교실 환경에 스마트 기기가 보급된 경우가 많고 초등학교생인 사용자에게 친숙한 인터페이스를 갖추고 있어 대안적 교구로서 주목받고 있는 것을 고려하였다(Diana & Ling, 2013). 안드로이드 apk 형태의 설치파일로 최종 AR 자료를 제작하였으며 Fig. 2와 같이 앱을 실행하고 마커를 비추면 3D 형태의 막대자

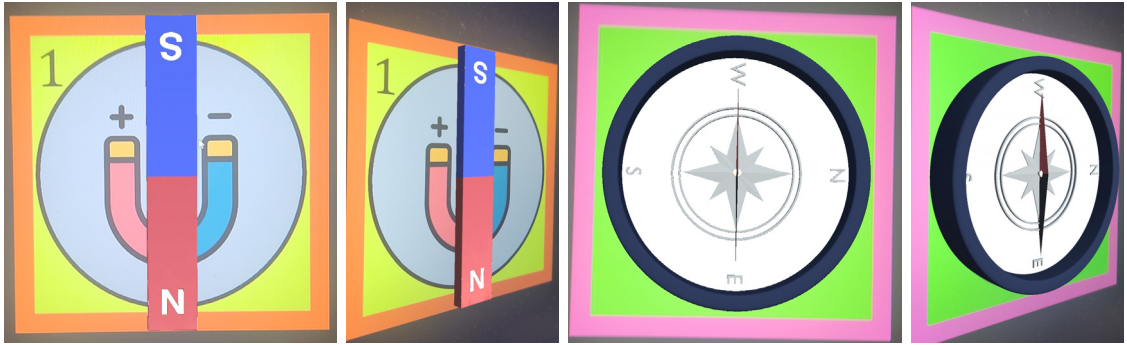


Fig. 2. 3D-shaped magnets and compasses on the marker

석과 나침반이 등장하도록 구성하였다.

개발한 자료의 작동 테스트를 위하여 컴퓨터 모니터 화면에 마커를 출력시켰으며 앱을 실행시켜 스마트 기기 화면에 Fig. 3과 같이 나타나는 것을 확인하였다. 앱 카메라를 통해 마커를 비추면 마커 위에 나침반과 자석이 각각 나타나게 되는데 컴퓨터 모니터

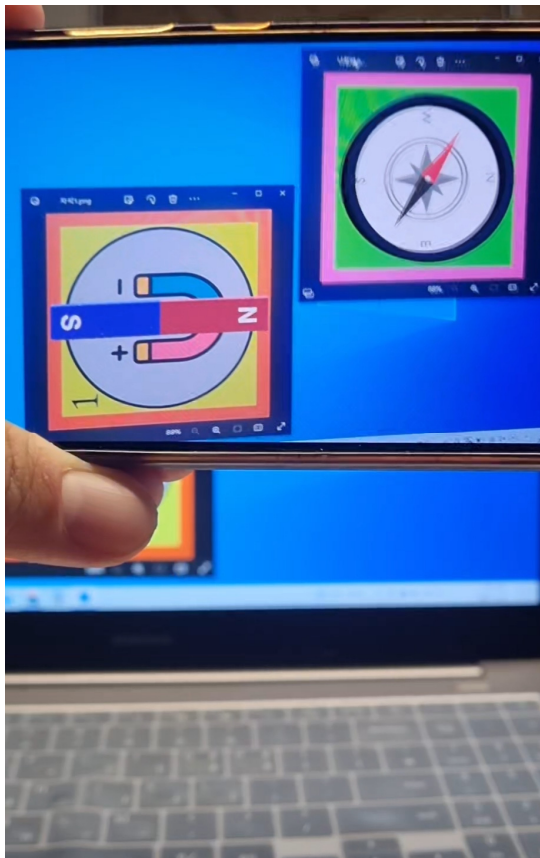


Fig. 3. Magnet and compass output via smart device

상의 마커 위치를 이동시키면 자석의 자기장에 따라 나침반의 바늘이 움직이는 것을 관찰할 수 있다. 이에 본 연구에서는 마커를 서로 이동하면서 나침반의 방향 변화와 얼마나 민감하게 반응하는지를 테스트하였다. 또한 연구 참여자들에게 개발한 앱과 AR 과학교육 자료의 성능 및 전반적인 평가를 요청하였다. Nieveen and Folmer(2010)의 연구에서 사용된 기준을 일부 변형하여 사용하였고 각자가 기준에 의거한 의견을 자유롭게 낼 수 있도록 하였다. 연구자가 제시한 기준은 아래와 같다.

- 관련성: 개발된 AR 자료와 앱이 물리 영역의 학습과 밀접한 관련이 있는가?
- 일관성: 개발된 AR 자료와 앱이 논리적으로 일관성 있게 설계되어 있는가?
- 현실성: 개발된 AR 자료와 앱이 초등과학교육 환경에서 사용 가능한가?
- 효과성: 개발된 AR 자료와 앱이 물리 영역 학습에서 효과적인가?

교사 A(토의): 제시한 기준에서 관련성과 일관성에 대한 것은 사전 준비와 스토리보드를 통한 계획 및 개발 역량을 키우는 과정에서 충족이 되었다고 생각합니다. 물리 영역 학습에 있어 효과적인 측면은 저는 관점에 따라 다를 수 있다고 생각합니다. 우리가 개발한 AR 자료는 모든 초등학교에서 물리 영역 수업에 수행되는 측면이 있고 실험 준비와 학습 내용적인 측면의 이해는 그다지 어렵지 않습니다. 따라서 저는 물리 영역의 학업 성취적인 측면의 다이나믹한 변화보다는 흥미를 끌 수 있는 수준의 효과성이 있다고 봅니다.

교사 B(토의): 저도 동의합니다. 하지만 흥미를 끌 수 있으면 어느 정도 학업성취 향상의 효과도 있다고 봅니다. 특히 자석 관련 내용이 이제 막 과학 교과를 배우는 초등학교 3학년 교육과

정에 등장하는 만큼 이에 대한 효과성은 검증할 필요도 있다고 생각합니다.

교사 D(토의): 물리 영역의 교육과정은 조정되고 내용적인 측면의 축소가 이루어졌다고 하나 현장에서 학생들이 가장 어려워하는 과학 영역 중 하나입니다. 우리가 개발한 자료가 가장 기본적인 내용이기 하지만 단순하고 학교에서 한 실험을 집에서 반복적으로 실행할 수 있다는 효과가 있다고 생각합니다. 따라서 과학 학습이 부진한 학생들을 대상으로 탁월한 효과성을 발휘할 수 있다고 생각합니다.

교사 E(토의): 저는 개발하는 과정에서 꼼꼼이 효과를 생각해 보았습니다. 이번에 개발한 자료는 구체물인 자석과 나침반을 대체할 수 있는 실험입니다. 물론 여러 선생님께서 주신 흥미적인 측면에서 유용한 점이 있지만, 교육과정에서 제시하고 있는 성취기준인 구체물을 이용하는 것이 더 좋지 않을까? 라는 생각이 여전히 있습니다. 자석이나 나침반이 고장났으면 새로 사면 되는 것이고.....(중략).....교사가 개발하고 수업을 준비하는 과정이 너무 힘들지 않나라는 생각이 들었습니다.

교사 E(자기성찰지): 우리가 개발한 자료가 나타내는 물리적 현상이 얼마나 실제와 같은지 확인해 보는 작업이 필요할 것이다. 아무리 성능이 좋고 기존 실험을 대체 가능한 증강현실 자료라 할지라도 실제 현상과 부합하지 않는다면 교육적으로 학생들에게 가르칠 가치가 없다고 생각한다.

교사들은 대체로 제시한 기준에서 관련성, 일관성, 현실성에 대한 평가에는 긍정적인 의견을 내었다. 이는 개발 초기 과정에서 충분한 논의와 협의가 이루어졌고 어느 정도 교사들의 합의를 거친 지점이라는 판단이 많았다. 하지만 물리 영역 학습에 어떠한 방식의 효과가 있으며 주 교육 대상이 되는 학생에 대한 평가는 엇갈리는 지점이 많았다. 선행연구에서는 기존의 교수자가 해오던 부분을 대체하는 방식으로 새로운 자료를 개발하는 것은, 새로운 것을 준비하고 활용에 대한 교육을 학생들에게 전달해야 하는 교사의 입장에서 드는 노력과 시간을 참작할 때 효과성이 떨어질 수밖에 없다고 하였다(나지연, 2023). 본 연구에서 개발한 AR 자료도 같은 맥락으로 해석하는 교사들이 있었으며 연구자도 어느 정도 동의하는 바이다. 따라서 추후 교사 연수 프로그램과 재교육 과정의 일환으로 이루어지는 AR 자료개발은 대체가능한 지점의 임계점을 극복하고 AR이 가진 고유의 가치를 잘 드러낼 수 있도록 안내하고 개발 과정에서도 인지해야 할 것으로 보인다. 또한 교사 E는 다른 교사들과

는 다르게 자석과 나침반 사이에 나타나는 자기력의 물리적 현상에 대하여 얼마나 실제에 부합하는지를 확인해야 한다고 언급하고 있었다. 교육자료로 사용되고 그것이 학생들에게 가치 있게 활용되려면 현실에서와 같은 물리적 작용과 일치해야 하는데 교사 E는 이 점을 인식하고 있었다. 따라서 새롭게 개발한 자료의 타당성과 신뢰성 확보를 위해서 위와 같은 내용을 점검해 보는 것은 필요한 일이며 추후 개발에 이항목을 포함해야 할 것이다.

한편, 여러 교사가 언급하고 있는 흥미 유발의 측면에서는 효과성을 모두가 동의하고 있었다. 최근 학교에서도 실험 활동을 장려하기보다는 실험 영상으로 대체하는 경우가 많아 영상을 단순히 보는 경우가 많다고 알려져 있다(김현경, 2022). 따라서 자료개발 시 학교 현장에서 이루어지는 분위기와 학생들의 흥미 유발적인 측면의 효과를 고려하여 개발해야 할 것이다.

선행연구에서는 교사들에게 새로운 과학교육 앱을 개발하게 하고 관련된 연수를 진행할 경우 현장에 대한 실제적 경험을 할 수 있도록 지원해야 한다고 말한다. 이는 개발된 자료의 현장 연계성을 높이는 방안으로 교육의 효과성에 대한 기여도를 확장하는 계기가 될 수 있음을 의미한다(나지연, 2023). 본 연구에서도 교사들에게 AR 자료를 개발한 후 자기 단위에 어떻게 적용할 수 있을지에 대한 의견을 논의하도록 하였으며 교수 상황, 지도상의 유의점, AR 자료로 얻을 수 있는 긍정적인 효과 등에 대한 것을 들을 수 있었다.

교사 B(토의): 이번에 개발한 AR 자료로 저는 지도서에서 제시하고 있는 '자석 주변의 나침반 방향 변화는 극 주변에서만 관찰할 수 있다'를 조금 더 확장하여 자석과 평행한 방향에서 실험을 해도 관찰됐다고 생각했어요. 저의 의견이지만 실제 자석과 나침반은 오차도 있고 실패 확률도 있지만 AR을 활용한다면 정확할 것 같습니다.

교사 C(토의): 자석과 나침반의 거리를 멀게 하더라도 AR 자료로 실험이 잘 되는 것을 확인했습니다. 학생들이 자유롭게 조작하면서 새로운 시도를 할 수 있을 것 같습니다.

교사 D(토의): 과학 교과서에 자석 주위에 나침반을 여러 개 놓은 뒤, 자석을 천천히 회전시키면서 나침반의 방향 변화를 살펴보는 실험을 한 적이 있었습니다. 하지만 그 실험에서 나침반의 성능이 저하되었고 관찰이 제대로 되지 않아 영상자료로 보여

준 적이 있었습니다. 우리가 개발한 AR 자료로 실험을 한다면 원활한 실험이 가능할 것이며 제대로 작동을 안 해서 실패하는 경우는 없다고 생각합니다.

교사 E(자기성찰지): 학생들에게 마커를 프린트하여 집에서든 교실에서든 시간과 장소에 구애받지 않도록 할 수 있는 것이 중요한 것 같다.

교사 E(토의): 마커를 출력하여 수업에 활용할 수 있는 자료로 제작해 보았습니다. 개인별로 아니면 조별로 나누어 자기주도적 학습이 될 수 있도록 도와주는 것이 어떨까요?

연구 참여자들은 교사용 지도서의 내용과 자신의 교수 상황 경험 등을 종합하여 개발한 AR 자료가 학교 현장과 학생들에게 원활하게 적용될 수 있는 방안 에 대한 의견을 내었다. 이는 AR에 대한 경험과 지식이 협의를 통해 정교화되면서 단순히 콘텐츠를 개발만 하는 프로그래머의 역할 이상으로 교수학습 설계자로서의 역할로의 전이가 이루어짐을 뜻한다. 선행 연구에서는 각종 소프트웨어 콘텐츠를 개발하여 과학 수업에 적용할 경우 교사의 역할이 매우 중요하지만 구체적인 역할과 설계 방법에 대한 체계적인 연구는 부족함을 지적하고 있다(황혜정과 유선아, 2024). 따라서 본 연구에서의 수업 준비를 위한 과정이 과학 교육의 측면에서 전문화되어 논의될 필요가 있다. 실제로 선행연구에서 AR을 활용할 경우, 교수학습 설계자로서의 수준과 범위에 대한 충분한 논의가 있었고(나지연과 송진웅, 2014), 본 연구에서의 경험과 과정이 교사들을 성장시키고 그 수준 적용에 대한 예시를 보여준다고 할 수 있다.

IV. 요약 및 제언

본 연구는 초등학교 교사들이 유니티 물리엔진을 활용하여 AR 과학교육 자료개발을 수행하면서 겪을 수 있는 일련의 경험과 논의사항에 대하여 알아보고 교사 수준의 AR 자료개발이 정착될 수 있는 시사점을 찾고자 하는 데 그 목적이 있다. 이를 위해 자발적인 참여와 자료개발의 역량을 갖춘 초등학교 교사 5명이 연구에 참여하였고, 연구자는 교사들에게 AR 관련 기초 소양을 가르치면서 교사들의 AR 자료개발 상황에 대해 관찰하였다. 참고한 자료는 교사들이 작성한 자기성찰지, 토의자료, 토의 내용, 스토리보드,

프로그래밍 코드 등을 활용하였으며 자료개발의 전 과정에 함께하였다.

연구 참여자인 교사들의 경험은 크게 2가지 단계로 정리할 수 있었다. 새로운 도전을 하면서 자료개발을 준비하는 단계와 실질적인 자료개발로 성취감을 느끼고 구체적인 수업 활용에 대해 생각하는 단계이다. 첫 번째 단계에서는 교사들은 생소한 AR 기술의 특징을 살펴보고 어떻게 자료에 적용할 수 있을지 검토하였다. 포함되어야 할 AR 기술을 탐색하고 장 단점을 검토하여 마커 기반으로 자료를 개발하기로 하였고 AR을 활용한 과학교육 자료의 효용성에 대하여 합의하였다. 적절한 단원을 선택할 때는 AR의 가장 큰 장점인 눈에 보이지 않는 현상을 강조하여 볼 수 있도록 하는 기능과 현재 교육과정을 고려할 때 학생들이 어려워하는 단원이 무엇인지에 대한 선행연구 조사가 병행되었다. 그 결과 자기 단원이 선정되었으며 이 중 주요 교수 포인트에 대한 의견과 개발의 대상이 될 수 있는 적절한 주제에 대한 의견을 추가하여 자석 주위에 생기는 자기장에 대한 자료 개발이 필요함을 공감하였다. 그렇지만 자료개발을 준비하는 과정에서 C# 프로그래밍 언어에 대한 배경 지식이 부족함을 토로하였고 그동안 접하지 못한 부분이 있는 점을 인정하면서도 물리적, 시간적 한계에 봉착하였다. 그렇지만 교사들은 함께 공부하고 기초 예제에 대한 학습과 과제를 해결하면서 자신감을 찾았고 연구자의 조력으로 개발 단계에 들어설 수 있는 역량을 갖추어 나갔다.

두 번째 단계에서는 교사들이 직접적으로 자료개발을 수행하면서 성취감을 느끼는 모습을 관찰할 수 있었다. 유니티 물리엔진을 활용하면서 익숙하지 못한 인터페이스와 조작 상의 문제 3D 리소스를 잘 다루지 못하면서 여러 가지 어려움을 겪는 모습이 관찰되었다. 하지만 교사들은 지식의 공유와 협력을 기반으로 의사소통을 수행하였고 무엇보다 공동의 과제를 해결하기 위한 책임 의식을 기반으로 극복해 나갔다. 이 과정에서 교사들은 스스로 지식을 구성하였고 문제 해결을 수행하면서 창의성 발달과 진정한 의미의 AR 자료개발을 위한 학습으로 전이되는 것을 관찰할 수 있었다. 본 연구에서 진행하는 연수가 시작된 지 약 3주 정도에 최종 자료를 개발하였는데 자석과 나침반을 나타내는 마커를 완성하고 안드로이드 기반의 앱을 실행시켜 화면에 비추면서 자석과 나침

반의 위치를 조정하도록 하였다. 교사들은 여러 번의 시행착오를 겪으면서 마커 이미지가 가져야 할 조건에 대하여 인식할 수 있었다. 그 후 관련성, 일관성, 현실성, 효과성의 기준에 따라 개발한 자료를 평가하였고 효과성에 대한 의견을 나누면서 고찰하고 개선해 나가야 할 점에 대한 의견을 주었다. 마지막으로 교사들은 개발한 자료의 현장 연계성을 높이고 자료의 교육적 가치를 재고하기 위하여 교수 상황에 대한 논의, 지도상 유의점에 관한 생각, 얻을 수 있는 긍정적인 효과에 대한 논의를 수행하였다. 본 연구의 결과를 통하여 교사 수준에서 AR 자료 개발과 초등과학 교육에 줄 수 있는 시사점은 다음과 같다.

우선 본 연구에서의 연구 참여자 사례에서 교사들이 어떠한 점에서 흥미와 어려움을 가지고 있으며 문제 상황이 생길 때 어떻게 해결하는지에 대한 것을 알 수 있었다. 단계 대부분에서 교사들은 자신의 경험에서 1차 해결책을 찾고 있었으며 모든 토의와 자료개발의 시발점이 되는 것을 알 수 있었다. 이는 그만큼 교사들이 가져야 할 경험이 다양하고 평상시 교수 상황에 대하여 관심을 가지고 있어야 함을 의미한다. 교실 현장에 테크놀로지가 도입되고 디지털 리터러시 역량을 교사들에게 강조하여 초등과학 교육의 획기적인 변화를 기대하고 있는 현재의 분위기이지만, 정작 교사들은 학교에서 AR을 직접 활용하고 AR 관련 콘텐츠를 제작해 본 경험이 극히 부족함을 알 수 있었다. 따라서 AR과 관련한 교사 경험의 폭을 확대할 수 있는 정책과 연수가 필요할 것으로 사료된다.

둘째, 연구에 참여한 교사들은 프로그래밍 역량이 있음에도 불구하고 유니티와 같은 새로운 개발 엔진을 활용하는 데 어려움이 있었다. 이는 프로그래밍 언어의 이해와 별개로 엔진 자체에 대한 이해가 병행되어야 한다는 의미로 익숙하지 못한 인터페이스를 빠르게 자신의 것으로 내재화시키고 적용할 수 있는 능력이 필요한 것이다. 따라서 교육적으로 많이 활용되는 개발 엔진에 대한 학습을 교사 양성기관인 사범대학과 교육대학에서 기초부터 교육한다면 현장에 나가서도 그 적응력을 강화하고 교수·학습 자료개발에 활용할 수 있을 것이다. 단, 그 과정을 기획할 때는 본 연구에서 프로그래밍을 위한 언어 습득과 개발 엔진 자체에 대한 각각의 어려움이 있었던 만큼 단일 학기의 단일 교과목으로 편성하는 것보다는 여러 학기에 걸쳐서 프로그래밍 언어 학습과 개발 엔진 상

3D 설계, 과학 교과와의 접목 등의 점진적인 형태로 나아가야 할 것이다.

셋째, 다양한 초등과학 교육 콘텐츠를 개발하기 위하여 교사들의 사고와 아이디어를 체계적으로 공유하는 시스템과 기회가 필요하다. 본 연구에서 AR 자료개발에 참여한 연구 참여자들은 과학에 관한 관심과 역량이 뛰어났지만 개개인이 가진 능력은 어느 정도 차이가 있었다. 하지만 교사들은 지식 공유와 협력을 통해 이러한 간극을 좁혔고 필요한 경우 스스로 지식을 구성하고 어려움에 대한 문제 해결을 하고 있었다. 특히 본 연구의 주제와 같이 새로운 기술의 적용과 활용에 대한 내용일 경우 협력적 의사소통은 더욱 가치있을 것이며 의견 조정의 과정에서 교수·학습에 관한 새로운 통찰력을 얻는 것도 기대할 수 있을 것이다. 그러므로 초등과학 교육에 적용할 수 있는 새로운 아이디어를 산출하여 추후 개발로 이어지도록 하는 교사들 상호 공유의 시스템이 필요할 것이며 다양한 협력 기회를 만들 수 있도록 교사들의 연구 모임을 장려해야 할 것이다.

연구를 마치는 시점에 디지털 기기를 활용한 과학 교육이 활성화되고 있는 상황을 고찰해 보았다. 분명 예전처럼 칠판 판서에 고수하거나 과거 실험 도구만을 한정하여 활용하는 시대는 지났다. 본 연구에서 개발한 AR과 같은 스마트 기기를 활용한 학습은 디지털 세대 학생들의 인지적 영역과 정의적 영역에서 모두 긍정적인 영향을 미칠 수 있기에 점차 영역을 확장해 갈 것이다. 아울러 시공간을 넘나들며 주변 환경과의 상호작용을 통해 풍부한 학습 맥락을 만들어 내는 AR의 잠재력은 본 연구에서 언급한 교수학습 설계자로서의 역할을 다채롭게 할 것으로 예상된다. 따라서 초등학교 교사들도 이에 발맞추어 일반적인 교수학습 자료 개발과 차별화되는 전문성을 갖추도록 고민해야 할 것이다. 또한 교사들 스스로 앞으로 지속될 디지털 세상에서 교육과 삶의 균형을 잘 유지하고 교육 현장의 발전을 위해 주체적으로 노력해야 할 것이다.

참고문헌

- 김현경(2022). 스마트 기기를 활용한 과학 수업이 중학교 영재 학생의 인식 및 과학적 태도에 미치는 영향. 대한화학회지, 66(4), 323-332.

- 나지연(2023). 초등 예비교사가 제작한 과학교육용 앱의 특징과 앱 제작 교육에 대한 초등교사의 생각. *초등과학교육*, 42(1), 17-33.
- 나지연, 송진웅(2014). 테크놀로지 도입에 대한 과학교육학 연구동향의 분석 및 과학교사의 테크놀로지 활용 교수내용지식(TPCK)을 위한 시사점. *교사교육연구*, 53(3), 511-524.
- 나지연, 윤희정(2021). 증강현실을 활용한 국내·외 과학교육연구동향분석: 초등과학교육 연구를 위한 시사점을 중심으로. *초등과학교육*, 40(1), 22-35.
- 문공주, 문지영, 김세미, 김성원(2016). 예비과학교사를 위한 프로그래밍 교육과정의 적용 및 예비과학교사의 프로그래밍 학습에 대한 인식 조사. *학습자중심교과교육연구*, 16(10), 825-842.
- 변태진, 박정우(2024). HMD(Head Mounted Display) 관련 국내 문헌 연구. *새물리*, 74(1), 69-83.
- 유영미, 조성환(2018). 증강현실(AR) 영상인식 기술을 적용한 디지털 교과서 디자인 기획: 중학교 과학1 디지털 교과서 중심으로. *한국콘텐츠학회논문지*, 18(6), 353-363.
- 이경석(2019). 유니티 물리 엔진을 활용한 거미줄 그물망 연구. *현장과학교육*, 13(3), 261-270.
- 이세연, 이봉우(2019). 물리 탐구 지도 능력 신장을 위한 과학 교사 연수 프로그램 개발. *새물리*, 69(4), 401-409.
- 이세연, 이봉우(2020). 고등학교 물리학 교과서 전자기 단원의 내용과 탐구의 비교 분석. *새물리*, 70(5), 432-442.
- 이원준(2018). 4차 산업혁명의 논의와 경영 및 마케팅 관리의 변화. *Korea Business Review*, 22(1), 177-193.
- 이재인, 최중수(2011). 증강현실 기반의 초등과학교육 콘텐츠 제작. *한국콘텐츠학회논문지*, 11(11), 514-520.
- 이창윤, 박철규, 홍훈기(2019). 중등 과학교육에서 증강현실의 활용 및 발전방안 탐색. *학습자중심교과교육연구*, 19(2), 265-292.
- 장진아, 나지연(2022). 증강현실 기반의 안내된 과학탐구 프로그램 개발에서 초등 예비교사들은 무엇에 중점을 두고, 어떤 어려움을 겪는가?. *초등과학교육*, 41(4), 725-739.
- 장혜숙, 오원근(2009). 초·중·고 학생들의 자기장 및 자성체 관련 오개념 비교. *새물리*, 58(6), 629-637.
- 채희인, 노석구(2023). 초등학교 교사의 2015 개정 과학과 검정교과서 선정 경험 분석. *초등과학교육*, 42(1), 194-209.
- 하상우, 조현국(2017). 초융합, 초연결, 초지능의 개념을 통해 살펴본 4차 산업혁명 시대의 물리교육. *새물리*, 72(4), 319-328.
- 한송이, 임철일(2020). 국내 증강현실(AR) 기반 교육 연구 동향 분석: 2008년~2019년을 중심으로. *교육공학연구*, 36(3), 505-528.
- 황혜정, 유선아(2024). 소프트웨어를 활용한 과학 교육의 국내 연구 동향 분석. *학습자중심교과교육연구*, 24(2), 775-794.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Bressler, D. M., & Bodzin, A. M. (2013). A mixed methods assessment of students' flow experiences during a mobile reality science game. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(6), 505-517.
- Chiang, T. H. C., Yang, S. J. H., & Hwang, G. J. (2014). Students' online interactive patterns in augmented reality-based inquiry activities. *Computers & Education*, 78, 97-108.
- Diana, L., & Ling, H. (2013). Chemistry on the go: Review of chemistry apps on smartphones. *Journal of Chemical Education*, 90(3), 320-325.
- Liu, P., & Tsai, M. (2013). Using augmented-reality-based mobile learning material in EFL English composition: An exploratory case study. *British Journal of Educational Technology*, 44(1), E1-E4.
- Martin-Gutierrez, J., Mora, C. E., Anore-Diaz, B., & Gonzalez-Marrero, A. (2017). Virtual technologies trends in education. *Eurasia Journal of Mathematics Science and Technology Education*, 13(2), 469-486.
- Merriam, S. B. (2009). *Qualitative research: A guide to design and implementation*. San Francisco, CA: Jossey Bass.
- Nielsen, B. L., Brandt, H., & Swensen, H. (2016). Augmented reality in science education: Affordances for student learning. *Nordic Studies in Science Education*, 12(2), 157-174.
- Nieveen, N., & Folmer, E. (2010). Formative evaluation in educational design research. In T. Plomp, & N. Nieveen (Eds.), *Educational design research* (pp. 152-169). Enschede, The Netherlands: SLO - Netherlands Institute for Curriculum Development.
- Noortje, J., Miriam, K., & Ard, W. (2019) Technological and pedagogical support for pre-service teachers' lesson planning. *Technology, Pedagogy and Education*, 28(1), 115-128.
- Owston, R. (2007). Contextual factors that sustain innovative pedagogical practice using technology: An international study. *Journal of Educational Change*, 8, 61-77.
- Saidin, N., Halim, N., & Yahaya, N. (2015) A review of research on augmented reality in education: Advantages

- and applications. *International Education Studies*, 8(13), 1-8.
- Schwab, K. (2017). *The fourth industrial revolution*. New York, NY: Crown Publishing Group.
- Sortiriou, S., & Bogner, F. X. (2008). Visualizing the invisible: Augmented reality as an innovative science education scheme. *Advanced Science Letters*, 1(1), 114-129.
- Squire, K., & Klopfer, E. (2007). Augmented reality simulations on handheld computers. *The Journal of the Learning Sciences*, 16(3), 371-413.
- Volman, M. (2005). A variety of roles for a new type of teacher educational technology and the teaching profession. *Teaching and Teacher Education*, 21(1), 15-31.
- Wellin, C. (2007). Narrative interviewing. *Gerontology & Geriatrics Education*, 28(1), 79-99.
- Yilmaz, O. (2021). Augmented reality in science education: An application in higher education. *International Journal of Education*, 9(3), 136-148.

[†] 김형욱, 하주초등학교 교사(Hyunguk Kim; Teacher, Haju Elementary School)