초등학교 과학 디지털교과서에 제시된 테크놀로지를 활용한 탐구 활동의 특징 - 가상실험, 가상현실, 증강현실 활용 사례들을 중심으로 -

장진아 · 박준형† · 송진웅

The Features of Inquiry Activities Using Technology in Elementary Science Digital Textbook - Focusing on the Cases of Using Virtual Experiment, Virtual Reality and Augmented Reality -

Chang, Jina · Park, Joonhyeong† · Song, Jinwoong

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the features of inquiry activities using technology in the 2015 revised elementary science digital textbooks. For this, we analyzed the features of inquiry context and inquiry method presented in inquiry activities using three kinds of technology: Virtual experiment, virtual reality and augmented reality. As a result, firstly, the most common types of 77 inquiry activities were realistic type which shows the phenomenon actually and vividly as possible and realistic-abstract type which shows the phenomena with the abstract concepts. Second, the ways of using three technologies were different depending on the processes of inquiry and the sub-domains of science. For example, virtual experiment technologies were mostly used in the contents of physics and chemistry with the inquiry context of realistic-abstract type for investigating the relationship between variables of experiments and describing the phenomena mechanically. On the other hand, virtual reality and augmented reality techniques tended to be used more frequently in biology and earth science contents with the inquiry context of realistic type for observing and describing the phenomena. Finally, we discussed educational implications in terms of developing and applying technology-based inquiry activities.

Key words: science inquiry, technology, virtual experiment, virtual reality, augmented reality

I. 연구의 필요성

디지털 테크놀로지의 발달과 함께, 새로운 테크놀로지들이 다양한 방식으로 교육에 접목되면서 교수·학습 과정에 많은 변화들이 나타나고 있다. 매 순간 다량의 지식들이 생산되는 디지털 시대에는 지식의 습득보다는, 나에게 적합한 정보들을 의미 있게 재구성하는 역량과 경험이 중요하다(Simens, 2004). 이 때, 테크놀로지는 학습자가 여러 매체를 통해 주변의 현상을 폭넓게 탐색하고, 풍부한 정보들을 연결할 수 있는 기회를 제공한다(Collins & Halverson, 2018).

이는 과학 학습에서도 마찬가지이다. 과학탐구와 실험 활동에 테크놀로지를 접목한 시도는 수십년 전부터 지속적으로 이루어져 왔으며, 테크놀로지의 발달과 함께 다양한 방식으로 학습자들의 적극적인 참여와 변화를 이끌어내고 있다. 예를 들어, 과학 실험에서 '모바일 기반' 시뮬레이션 앱의 활

이 논문은 2016년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016S1A3A2925401).
2019.4.30(접수), 2019.5.14(1심통과), 2019.5.25(2심통과), 2019.5.26(최종통과)
E-mail: joonhyeong.park@curtin.edu.au(박준형)

용은 높은 접근성과 친숙함으로 인지적, 정서적 발달에 효과적임이 보고되었으며(Lee *et al*., 2018), 기존 PC 기반 가상실험(Virtual Experiment) 활동에서 더 발전된 형태로 주목받고 있다. 또한 가상현실(Virtual Reality), 증강현실(Augmented Reality) 기술을 접목한 탐구 활동들은 학습자들이 탐구할 수 있는 경험의 폭을 넓혀왔다(Mintz *et al*., 2001).

중요한 점은 탐구 활동에 접목된 테크놀로지들이 학생들이 '어떤' 현상과 '어떻게' 상호작용하는가에 직접적인 영향을 준다는 것이다(Rutten *et al*., 2012). 예를 들어, 인터렉티브 시뮬레이션인 Physics Education Technology(PhET)와 같은 가상실험 활동에서 학생들은 실제 현상을 디지털 공간에서 재구성한 형태로 자료를 수집하고, 해석하게 된다. 이처럼 테크놀로지를 활용한 탐구 활동에서 학생들은 실물이 아닌 디지털 공간에서 가공된 현상들과 상호작용하기 때문에(Leem, 2010) 어떤 테크놀로지를 활용하여, 어떤 방식으로 현상을 재구성할 것인가는 중요한 문제이다.

현상을 디지털 공간에서 어떻게 재구성하는가는 학습 목적에 따라 달라진다. 예를 들어, Winn *et al*. (2006)은 과학 학습에 활용되는 시뮬레이션을 모델 기반 시뮬레이션(model-based simulation)과 물리적 시뮬레이션(physical simulation)으로 나누어 설명하였다. '모델 기반 시뮬레이션'에서는 학생이 핵심 개념을 파악할 수 있도록 현상을 최대한 단순화, 추상화시키는 반면, '물리적 시뮬레이션'에서는 실제 현상의 모습을 생생하게 담아낸다. 한편, 국내 디지털교과서에서는 가상현실과 증강현실 기술을 활용해 실감나는 학습 경험을 제공한다는 점을 강조하여 '실감형' 콘텐츠라는 용어를 사용하였다(Ministry of Education & Korea Education and Research Information Service, 2019). 이처럼 디지털 공간에서 재구성된 활동에서는 목적에 따라 때론 단순하고 추상적인 모습이, 때론 현상 그대로의 모습이 강조된다(Lindgren & Schwartz, 2009).

이러한 활동의 대표적인 예로서 가상실험, 증강현실, 가상현실 기술을 활용한 탐구 활동을 개발하고, 효과성을 살펴본 연구들이 많이 이루어졌다(Mintz *et al*., 2001; Rutten *et al*., 2012). 가상실험은 디지털 상에서 실험을 할 수 있는 상호작용적 콘텐츠로서, 학생들이 정제된 데이터를 다루면서 즉각적인 피드백을 받을 수 있어 변수들 사이의 관계를 효과적으로 탐구할 수 있다(Rutten *et al*., 2012; Wieman *et al*., 2008). 가상현실은 3차원 공간에서 현실과 유사한 체험으로 학습자의 경험을 확장하고, 공간 감각을 토대로 현상을 이해하는 데에 효과적이라고 보고되었다(Beier, 2004; Kozhevnikov, Gurlitt, & Kozhevnikov, 2013). 비슷하게 증강현실도 공간 감각을 익히는데 효과적이며, 실제 세계와 가상 요소를 사용자가 동시에 경험하게 할 수 있다는 강점이 보고되었다(Nunez *et al*., 2008; Salmi, Thuneberg, & Vainikainen, 2017).

그러나 동시에 이러한 테크놀로지를 활용한 학습이 항상 효과적인 것만은 아님이 보고되기도 하였다. 제공되는 시각 정보의 내용이나 형태, 구성된 학습의 맥락, 제공되는 시나리오 등에 따라 학습 효과가 크게 달라진다는 것이다(Yu & Ryu, 2017). 따라서 이러한 기술들이 접목된 탐구 활동에 대한 비판적인 점검이 지속적으로 이루어질 필요가 있다. 물론, 기존에 개발된 테크놀로지를 활용한 탐구 활동들을 중심으로 이러한 점검이 이루어지긴 했으나, 대부분이 특정 주제나 특정 테크놀로지 사례에 국한되어 국소적으로 연구되어온 경향이 있다. 즉, 기존 연구들은 대부분 단편적인 사례들을 중심으로 소개되었기 때문에, 과학의 다양한 영역이나 서로 다른 주제들에 대해서 여러 테크놀로지들이 어떻게 접목되고 있는지를 전반적인 양상과 특징을 점검하기에는 제한적이었다.

한편, 최근에 여러 교과와 영역에 걸쳐서 디지털 테크놀로지를 적극적으로 도입하고 있는 디지털교과서는 테크놀로지 활용의 전반적인 양상과 특징을 보여줄 수 있는 가능성이 있다. 2015 개정 교육과정 기반 과학 디지털교과서에서는 가상실험, 증강현실, 가상현실 기술들이 과학탐구 과정에 접목되어 다양한 활동들이 개발되었기 때문이다. 물론, 현 디지털교과서에 제시된 탐구 활동들은 처음부터 디지털 환경을 고려해서 개발되었기보다는, 서책형교과서에서 제시된 탐구 활동들에 적합한 테크놀로지를 접목한 것으로 볼 수 있다. 그럼에도 불구하고, 디지털교과서는 초등학교 3~6학년 과학 교과서에서 다루는 에너지, 물질, 생명, 지구 전 영역의 활동들에 대해 테크놀로지를 적용했다는 점에서 의미가 있다. 즉, 테크놀로지를 활용하여 학습의 실재성을 높여주고, 학생들이 경험하는 폭을 넓혀주며, 학습 동기와 흥미를 높이기 위해 과학의

전 영역에서 광범위하게 노력한 결실이라는 점에서(Ministry of Education & Korea Education and Research Information Service, 2019), 테크놀로지를 활용한 탐구 활동의 여러 단면을 보여줄 수 있을 것으로 기대된다.

이에 본 연구에서는 초등학교 과학 디지털교과서에서 개발된 테크놀로지를 활용한 탐구 활동들이 과학의 전반적인 영역에 걸쳐서 다양한 테크놀로지들을 접목하여 개발되었다는 점에 주목하였다. 특히 여러 테크놀로지들 중에서도 2015 개정 과학 디지털교과서에서 중점적으로 다루고 있는 기술로서 가상실험, 가상현실, 증강현실 기술을 활용한 탐구 활동에 초점을 맞추었다(Ministry of Education & Korea Education and Research Information Service, 2019). 즉, 가상실험과 가상현실, 증강현실 기술을 기반으로 개발된 탐구 활동들에서 구성된 탐구맥락과 탐구방법, 추론 유형에서 나타나는 실태를 파악하고, 이들이 가져올 수 있는 변화와 한계점, 가능성을 논의하고자 한다. 이를 위한 구체적인 연구문제는 다음과 같다.

첫째, 과학 디지털교과서에서 테크놀로지를 활용한 탐구 활동들의 현황은 어떠한가?

둘째, 테크놀로지를 활용한 탐구 활동에서 제시하는 탐구맥락의 특징은 어떠한가?

셋째, 테크놀로지를 활용한 탐구 활동에서 제시하는 탐구과정의 특징은 어떠한가?

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 초등학교 3, 4, 5, 6학년 과학 디지털교과서에 제시된 탐구 활동들 중 가상실험, 가상현실, 증강현실 기술을 활용한 탐구 사례들을 중심으로 분석 대상을 선정하였다(Table 1). 가상실험은 디지털교과서에 제시된 실험 도구를 클릭하거나, 드래그 등을 이용해 가상으로 실험을 수행하고, 이를 통해 자료를 분석하며 탐구를 수행하는 활동을 대상으로 선정하였다. 이 때, 컴퓨터 조작을 통해서 변인 통제에 대한 결과를 세부적으로 그리고 반복적으로 살펴볼 수 있는 실험 활동들을 포함하였으며, 단순한 동영상 재생을 통해서 실험활동과 결과를 확인하는 자료들은 대상으로 포함시키지 않았다. 가상현실과 증강현실의 경우에는 현 디지털교과서에서는 모바일 앱을 통해서 별도의 프로그램으로 실행하는 형태로 개발되고 있다. 본 연구에서는 가상현실과 증강현실 두 기술을 활용하여 현상을 관찰하거나 조작하며, 탐구를 수행하는 활동들을 대상으로 선정하였다.

분석 대상은 총 77건의 탐구 활동으로서 3, 4학년에서의 탐구 활동은 각각 25건, 5학년은 12건, 6학년은 15건이었다. 학년별로 탐구 활동 개수의 차이가 나는 것은 디지털교과서 및 가상현실, 증강현실 활용 자료들의 개발 진행 정도가 달랐기 때문이다. 2019년 5월을 기준으로 3, 4학년은 1학기, 2학기 교과서와 가상현실, 증강현실 활동 자료들의 개발이 완료된 상태이나, 5, 6학년의 경우에는 1학기 교과서는 개발이 완료되었고 가상현실과 증강현실 활동은 3건의 실감형 활동이 심의 중으로서 탑재되지 않은 상태였다. 또한 5, 6학년의 2학기 자료들은 개발이 완료되지 않은 상황이었기 때문에, 학년에 따라 분석 대상에 차이가 있으며 이에 분석 과정에서도 테크놀로지 활용의 특징을 학년별로 분석하기 보다는 과학 영역별 경향성을 파악하는데 초점을 두었다.

2. 분석 방법

본 연구에서는 우선 디지털 기반 탐구 활동의 일반적인 특징을 파악하기 위해 가상실험, 가상현실, 증강현실 기술을 활용한 탐구 활동의 분포를 조사하였다. 이를 토대로 각 활동의 세부 특징들을 탐

Table 1. Technology-based inquiry activities analyzed in this study

유형 \ 학년(학기)	3 (1학기, 2학기)	4 (1학기, 2학기)	5 (1학기)	6 (1학기)	계
가상실험	15	16	8	10	49
가상현실(VR)	5	5	3	4	17
증강현실(AR)	5	4	1	1	11
계	25	25	12	15	77

구맥락과 탐구 과정이라는 두 가지 범주를 중심으로 살펴보았다. 이에 대한 하위 범주와 세부 특징은 Table 2와 같다.

먼저, 탐구맥락의 특징은 서론에서 논의한 바와 같이, 디지털 공간에서 현상을 어떻게 구현하는가에 따라 ‘실감형’ 탐구와 ‘추상형’ 탐구의 맥락으로 조사하였다. 실감형 탐구맥락은 디지털 공간에서 최대한 실제 현상과 비슷하게, 보다 실감나게 구현하는 것을 목적으로 한다. 한편, 추상형 탐구맥락은 현상을 최대한 단순화, 추상화하여 학생들이 핵심 변인과 개념을 잘 파악할 수 있는 것을 지향한다. 활동에 따라 실제 현상의 모습을 실감나게 표현함과 동시에 이를 단순화하거나, 추상적인 상징이나 기호를 함께 제시한 경우도 있었는데, 이렇게 실감형과 추상형의 특징이 동시에 나타나는 경우는 ‘실감-추상형’으로 분류하였다.

다음으로, 탐구 과정에서 나타나는 특징은 탐구방법과 추론 유형을 중심으로 살펴보았다. 지금까지 과학 교육에서 강조해온 이상적인 과학탐구 과정은 인지적(cognitive), 인식론적(epistemic), 사회적(social) 측면이 융합되어 나타난다(Duschl & Grandy, 2008). 하지만 본 연구는 교과서 분석 연구이기 때문에, 학생들이 지식을 구성하기 위해 소통하고 정당화하는 인식론적이고 사회적인 과정까지 살펴보기에는 한계가 있다. 이를 고려하여 연구진은 교과서에서 ‘의도된’ 탐구 과정으로서 탐구방법적인 측면과 인지적인 측면을 중심으로 조사하였다.

탐구방법에 대한 분석틀로서, Brandon (1994)이 제안하고 Erduran and Dagher (2014)가 과학적 방법의 대표적인 범주로서 소개했던 분석틀을 활용하였다(Table 2). 이 분석틀은 탐구 과정의 방법적인 측면에 초점을 두고, 대상을 조작하는지 여부와 가설 검증 과정을 거치는지 여부에 따라 과학적 방법을 Table 2와 같이 네 가지 유형으로 나누었다. 연구진은 이 유형들이 탐구 과정의 인식론적, 사회적 측면보다는 탐구방법에 초점을 두었기 때문에 교과서에서 계획된 탐구 과정을 드러내기에 적절하다고 판단하였다.

탐구 과정의 인지적인 측면을 분석하기 위하여 탐구의 추론 유형을 살펴보기 위한 분석틀로서 Driver *et al*. (1996)의 세 가지 추론 유형을 활용하였다(Table 2). 탐구 활동에서의 추론 유형을 조사

Table 2. The analysis framework of this study

분석 범주		하위 범주	세부 특징
탐구맥락		실감형 (realistic type)	실제 현상의 역동적인 모습을 가능한 실감나고, 생생하게 나타내려고 구성한 맥락
		실감-추상형 (realistic-abstract type)	실제 현상의 모습을 단순화하거나, 추상적인 상징이나 기호를 함께 제시한 맥락
		추상형 (abstract type)	현상을 최대한 단순화, 추상화하여 핵심 변인과 개념을 중심으로 구성한 맥락
탐구 과정	탐구방법 (Brandon, 1994)	조작적 가설검증 (manipulative hypothesis test)	가설을 설정하고, 이에 따른 변인을 조작함으로써 가설을 검증하는 탐구방법
		조작적 기술 또는 측정 (manipulative description or measure)	가설을 설정하지 않고 변인을 조작하면서 그 현상을 자세하게 기술하거나 측정하는 탐구방법
		비조작적 가설검증 (nonmanipulative hypothesis test)	가설을 설정하고 대상을 자세하게 살펴보며 가설을 검증하는 탐구방법
		비조작적 기술 또는 측정 (nonmanipulative description or measure)	가설을 설정하거나 대상을 조작하지 않고 대상 현상을 자세하게 기술하거나 측정하는 탐구방법
	추론 유형 (Driver *et al*., 1996)	현상 기반 추론 (phenomenon-based reasoning)	자연에서 일어나는 현상을 관찰하고 일어나는 현상을 탐구하는 추론
		관계 기반 추론 (relation-based reasoning)	두 변인들 사이의 관계를 탐구하는 추론
		모형 기반 추론 (model-based reasoning)	정신 모형이나 이론에 결합하여 설명을 구성하고, 평가, 수정하는 추론

하는 것은 탐구 과정에서 얻은 자료와 과학적 설명을 어떻게 연결하는가를 드러낸다는 점에서 탐구 과정의 인지적인 특징을 살펴볼 수 있을 것으로 기대하였다. 물론 이는 실제 교실에서 다양한 사회적 상호작용을 통해 구현되는 실제 추론 과정과는 다를 수 있다. 본 연구에서는 디지털교과서에 제시된 탐구의 목적과 질문 텍스트들을 고려하여 교과서에서 의도한 탐구 활동의 추론 유형을 조사하였다.

III. 연구결과 및 논의

1. 테크놀로지를 활용한 탐구 활동들의 현황

초등학교 과학 디지털교과서에서 테크놀로지를 활용한 탐구 활동의 영역별 분포는 Table 3과 같다. 총 77건의 탐구 활동 중, 가상현실(17건)이나 증강현실(11건)에 비해 가상실험(49건)을 활용한 탐구 활동이 디지털교과서에서 많이 활용되고 있었다. 이는 세 기술의 개발 및 접근 방식과 관련되는데, 학생들이 가상현실과 증강현실 기술을 활용하기 위해서는 디지털교과서와는 별개로 PC가 아닌 스마트 기기를 통해 다운로드를 해야 하는 등 추가 작업이 필요하다. 반면, 가상실험은 디지털교과서 내에 삽입된 형태로 제시된다는 점에서 접근성이 높다는 점을 보여준다.

영역별 분포를 살펴보면, 운동과 에너지 영역이 30건으로 다른 영역에 비해 테크놀로지를 활용한 탐구 활동을 가장 많이 활용하고 있었고, 이어서 지구 영역이 18건, 생명 영역이 15건, 물질 영역이 14건이었다. 이처럼 운동과 에너지 영역에서 테크놀로지 활용 빈도가 높은 것은 가상실험 활용 비율이 높기 때문인 것으로 판단된다. 운동과 에너지 영역 30건 중 24건이 가상실험에 활용되었기 때문이다.

각 테크놀로지별 분포를 자세히 살펴보면, 세 가지 테크놀로지 중에서 가장 많이 활용되었던 가상실험 기반 탐구 활동에서는 운동과 에너지 영역에서 24건으로 전체 가상실험 활동 총 49건 중에서 49.0% 가까이 차지하고 있었다. 다음으로는 물질 영역의 가상실험 활용 빈도가 13건으로 많았으며, 생명 영역과 지구 영역은 각 6건으로 활용 빈도가 상대적으로 적었다.

한편, 가상현실 기술을 가장 많이 활용한 영역은 지구 영역으로 총 17건 중에 52.9%인 9건이 지구 영역에서 활용되었다. 가상현실 기술은 주로 태양계, 우주, 공룡 발자국, 화산 등과 같이 학생들이 직접 체험하기 어려운 주제들에서 활용되었는데, 지구 영역에서 높은 활용 빈도를 보인 것은 이러한 주제들 대부분이 지구 영역에 포함되기 때문으로 판단된다. 생명 영역과 운동과 에너지 영역에서는 각각 4건, 3건을 활용했으며, 물질 영역에서는 가상현실 기술이 1건 활용되었다.

증강현실 기술의 경우에는 생물 영역에서의 활용 빈도가 총 11건 중 5건(45.5%)으로 가장 높았다. 생물 영역에서는 동물이나 식물의 한살이, 동물의 암수 관찰, 핀치새의 부리 모양과 먹이 관계 등과 같이 생물을 자세히 관찰하는 탐구 활동에서 증강현실 기술을 많이 활용하고 있었다. 이어서 지구와 운동과 에너지 영역에서 각 3건씩 증강현실 기술을 활용하고 있었던 반면, 물질 영역에서는 증강현실 기술을 사용하지 않았다. 이는 가상현실 기술에서와 같은 결과로서, 초등학교에서 다루는 물질 영역의 내용이 가상실험 기술로 구현하기에는 용이하나, 가상현실이나 증강현실 기술과는 접목되지 않고 있음을 보여준다.

2. 테크놀로지를 활용한 탐구 활동에서 제시하는 탐구맥락의 특징

테크놀로지를 활용한 활동에서 제시하는 탐구맥락은 학생들의 활동 방향을 결정짓는 중요한 역할을 한다. 테크놀로지를 활용한 탐구 활동들의 탐구맥락을 조사한 결과는 Table 4와 같다.

Table 3. The status of technology-based inquiry activities

	운동과 에너지	물질	생명	지구	계
가상실험	24 (49.0%)	13 (26.6%)	6 (12.2%)	6 (12.2%)	49 (100.0%)
가상현실	3 (17.7%)	1 (5.9%)	4 (23.5%)	9 (52.9%)	17 (100.0%)
증강현실	3 (27.2%)	0 (0.0%)	5 (45.5%)	3 (27.3%)	11 (100.0%)
계	30 (39.0%)	14 (18.1%)	15 (19.5%)	18 (23.4%)	77 (100.0%)

Table 4. The features of inquiry context presented in technology-based inquiry activities

	운동과 에너지			물질			생명			지구			계		
	실감형	실감-추상형	추상형	실감형	실감-추상형	추상형	실감형	실감-추상형	추상형	실감형	실감-추상형	추상형	실감형	실감-추상형	추상형
가상실험	7	17	0	5	8	0	6	0	0	3	3	0	21	28	0
가상현실	0	3	0	0	1	0	4	0	0	5	4	0	9	8	0
증강현실	1	2	0	0	0	0	5	0	0	2	1	0	8	3	0
소계	8	22	0	5	9	0	15	0	0	10	7	0	38	39	0

전체적인 현황을 살펴보면, 전체 77건의 활동 중에서 Fig. 1과 같이 실제 현상을 실감나게 표현하고자 한 ‘실감형(38건)’과 Fig. 2와 같이 실제 실험 상황이나 탐구할 현상을 나타내면서도 추상적인 상징이나 개념들이 함께 표현된 ‘실감-추상형(39건)’만 나타났다. 현상을 최대한 단순화, 추상화하여 핵심 개념만을 표현한 ‘추상형’ 탐구맥락은 나타나지 않았다. 이러한 결과는 구체적 조작기에 해당되는 초등학생들의 발달 수준과 현상을 기반으로 하는 초등학교 과학탐구 활동의 특징이 반영되었다고 볼 수 있다.

하지만 각 테크놀로지별로 나타나는 특징은 전체 양상과 조금씩 달랐다. 가상실험을 기반으로 한 탐구 활동의 경우, 총 49건의 활동 중에서 실감-추상형이 28건으로 가장 많았으며, 실감형이 21건이었다. 반면, 가상현실 기반 활동에서는 총 17건의 활동 중 실감형 9건, 실감-추상형 8건이었고, 증강현실 기반 활동에서는 총 11건의 활동 중 실감형이 8건, 실감-추상형이 3건이었다. 이처럼 가상실험 기반 활동에서는 추상적인 개념이나 표상들이 실제 실험 장면에 추가되어 구성된 실감-추상형 탐구맥락이 많은 반면, 가상현실과 증강현실을 활용한 활동에서는 실제 현상을 실감나게 표현하고자 한 실감형 탐구맥락이 주를 이뤘다.

각 영역별로 나타나는 분포도 조금씩 달랐다. 운동과 에너지 영역에서는 실감-추상형 22건, 실감형이 8건으로 디지털 공간에서 구성된 탐구맥락이 추상적인 개념과 함께 표현되는 경우들이 많았다. 물질 영역에서도 실감-추상형이 9건, 실감형이 5건으로 비슷한 양상을 보였다. 하지만 지구 영역에서는 실감형 10건, 실감-추상형 7건으로 추상적인 개념들을 함께 제시하기보다는, 실제 현상을 중심으로 탐구맥락이 구성된 경우가 더 많았으며, 생명 영역에서는 15건의 탐구 활동 모두 실감형 탐구맥락으로 구성되는 모습을 보였다.

위와 같이 테크놀로지별로, 영역별로 구성된 탐구맥락의 분포가 다른 이유는 각 테크놀로지들이 가진 특징들이 과학의 각 영역에서 집중하는 탐구

Fig. 1. An example of realistic type inquiry context using virtual reality (4-1, p. 18).

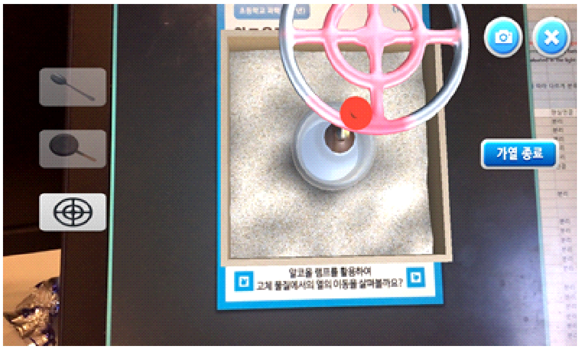

Fig. 2. An example of realistic-abstract type inquiry context using augmented reality (5-1, p. 34).

의 초점에 맞게 접목되었기 때문으로 볼 수 있다. 가상실험 활동에서는 이상적인 상황에서 핵심 개념들 간의 관계를 명확하게 나타낼 수 있다는 강점이 있다. 운동과 에너지 영역과 물질 영역에서 가상실험 활동을 활용한 실감-추상형 탐구맥락이 더 많이 구성되어 있는 것은 두 영역이 이상적인 상황에서의 탐구를 자주 강조했기 때문으로 볼 수 있다. 같은 맥락에서 가상현실과 증강현실 기술은 실제 현상의 모습을 실감나게 보여준다는 강점이 있다. 가상현실과 증강현실이 지닌 이러한 특징은 학생들이 교실에서 관찰하기 힘든 생명 및 지구 영역에서의 주제(예: 다양한 생물, 천체, 화산 등)들에 대해서 실감형 탐구맥락으로 구현되었다고 볼 수 있겠다.

3. 테크놀로지를 활용한 탐구 활동에서 제시하는 탐구 과정의 특징

교과서에서 특정 탐구 주제에 대해 어떤 탐구방법과 추론 과정을 구성하느냐는 교실에서의 탐구 활동의 방향을 제시한다. 본 연구에서는 테크놀로지를 활용한 탐구 활동들의 탐구 과정을 탐구방법적 측면과 추론 과정의 측면으로 나누어 조사하였다.

먼저, 탐구방법에 대해 조사한 결과는 Table 5와 같다. 전반적인 경향을 살펴보면, 전체 77건의 탐구 활동 중에서 조작적 기술/측정 방법이 44건으로 가장 많았고, 비조작적 기술/측정 방법이 29건으로 뒤를 이었다. 조작적 가설검증 방법이 2건, 비조작적 가설검증 방법이 2건으로 매우 적었다. 전반적으로 가설검증 방법(4건)보다는 현상이나 실험 결과를 관찰하거나 측정해서 기술하는 방법(73건)이 많이 제시되고 있었으며, 이는 초등학생들의 발달 수준과 연결된 초등학교 탐구 활동의 특성을 반영한다고 볼 수 있겠다. 즉, 초등학생의 발달 수준을 고려하여 가설을 세우고, 이에 따른 변인 통제를 정밀하게 하기 보다는, 실험 결과에 대한 예상을 가볍게 묻거나, 실험 결과에 대한 관찰과 측정을 통해서 현상을 자세히 기술하는 데 초점을 둔 활동이 많았다고 볼 수 있다.

하지만 각 테크놀로지별로 활용된 탐구방법의 특징은 조금씩 달랐다. 가상실험 기반 활동에서는 49건의 활동 중, ‘조작적 기술/측정 방법’이 40건으로 절대적으로 많이 활용되었다. 반면, 가상현실 기반 활동에서는 17건 중 13건이, 증강현실 활동에서는 11건 중 9건이 ‘비조작적 기술/측정 방법’을 활용했다. 이러한 결과는 각 테크놀로지들이 지닌 특징에 따라 활용되는 방식이 다르다는 점을 잘 보여준다. 예를 들어, 가상실험 활동에서는 Fig. 3과 같이 변인들 간의 관계를 파악하기 위해 변인을 조작하는 활동이 주를 이루었다. 그러나 가상현실과 증강현실을 활용한 활동들은 Fig. 4와 같이 제시된 현상에 대해 조작을 하기 보다는 비조작적인 방법으로 탐구하는 경우가 많았다.

이러한 경향은 현재 디지털교과서에서 활용하는 가상현실과 증강현실 기술이 제시된 현상에 대한 시청각적 표상을 중심으로 관찰하는 수준이기 때문일 것이다. 만약, 가상현실 및 증강현실 내에서 시청각적 표상 이외에도 다양한 표상으로 직접 대상을 조작할 수 있다거나, 가상현실 내에서 학생들 간의 상호작용이 가능하게 발전된다면 다양한 탐구방법들이 접목될 수 있을 것으로 기대된다.

Table 5. The features of inquiry methods presented in technology-based inquiry activities

	운동과 에너지				물질				생명				지구				계			
	조작 가설	조작 기술 측정	비 조작 가설	비 조작 기술 측정	조작 가설	조작 기술 측정	비 조작 가설	비 조작 기술 측정	조작 가설	조작 기술 측정	비 조작 가설	비 조작 기술 측정	조작 가설	조작 기술 측정	비 조작 가설	비 조작 기술 측정	조작 가설	조작 기술 측정	비 조작 가설	비 조작 기술 측정
가상 실험	1	23	0	0	1	12	0	0	0	5	0	1	0	0	0	6	2	40	0	7
가상 현실	0	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	4	0	0	0	9	0	2	2	13
증강 현실	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	3	0	2	0	9
소계	1	26	2	1	1	13	0	0	0	5	0	10	0	0	0	18	2	44	2	29

Fig. 3. An example of manipulative description or measure using virtual experiment (4-2, p. 65).

Fig. 4. An example of nonmanipulative description or measure using virtual reality (6-1, p. 32).

한편, 영역별로 나타나는 탐구방법적 특징도 달랐다. 운동과 에너지 영역과 물질 영역에서는 조작적인 기술/측정 방법이 각각 26건, 13건으로 가장 많이 활용된 반면, 생명과 지구 영역에서는 비조작적인 기술/측정 방법이 각각 10건, 18건으로 가장 많이 활용되고 있었다. 다시 말해, 운동과 에너지 및 물질 영역에서는 Fig. 3과 같이 특정 변인을 조작하면서 다른 변인과의 관계를 탐구하는 방법이 많이 활용되는 반면, 생명 및 지구 영역에서는 Fig. 4와 같이 제시된 현상을 관찰하거나 측정하는 활동들이 많이 제시되고 있었다. 영역별로 이러한 차이가 있음에도 불구하고, 공통적으로 모든 영역에서 관찰과 측정을 토대로 한 '기술/측정' 방법이 많이 활용되고 있었다.

관찰이나 측정은 탐구 수행에 있어서 매우 중요한 요소이다. 특히, 초등학교 과학 탐구 활동에 있어서 이 탐구 방법들은 초등학생들에게 과학의 가장 기초적인 탐구 방법을 익히는 목적에서 더 강조될 필요도 있다. 하지만, 학생들에게 탐구를 보다 적극적인 입장에서 수행하게 할 수 있는 '가설 설정'이나 '예상'을 해보게 하는 방법도 더욱 강조될 필요도 있어 보인다. 초등학생의 발달 수준을 고려할 때, 엄밀한 의미의 가설 설정은 어렵겠지만 과학적 현상에 대한 예상(predict)과 이에 대한 관찰(observation), 그리고 이에 대한 설명(explanation)의 순서로 진행되는 학교 과학 탐구에서 오랫동안 강조되어온 POE 탐구 모형과 같은 방법은 충분히 고려될 수 있다. 총 77건의 탐구 활동 중에서 단 4건만이 가설에 대한 확인을 하는 탐구방법으로 제시된 결과는 테크놀로지를 활용한 탐구 활동에서 학생들이 보다 능동적으로 사고할 수 있는 탐구 맥락을 고려해야 함을 시사한다. 이를 위해 테크놀로지를 활용한 탐구 활동 내에서 학생들이 사고를 촉진할 수 있도록 돕는 질문이나 맥락 구성을 고민할 필요가 있겠다.

다음으로 탐구 활동들의 추론 유형에서 나타나는 특징을 조사한 결과는 Table 6과 같다. 전반적인 분포를 살펴보면, 자연에서 일어나는 현상을 관찰하고 기술하는 데에 초점을 둔 '현상 기반 추론'이 40건, 변인들 간의 관계를 탐구하는 '관계 기반 추론'이 28건, 모델이나 이론에 기반하여 현상을 설명하는 '모델 기반 추론'이 9건이었다.

테크놀로지별 분포를 세부적으로 살펴보면, 가상실험 활동에서는 총 49건의 활동 중에서 Fig. 3이나 Fig. 6과 같이 변인들 간의 관계를 탐구하는 관계 기반 추론이 26건으로 가장 많았고, 현상 기반

Table 6. The types of reasoning presented in technology-based inquiry activities

	운동과 에너지			물질			생명			지구			계		
	현상	관계	모델	현상	관계	모델	현상	관계	모델	현상	관계	모델	현상	관계	모델
가상실험	9	15	0	2	11	0	6	0	0	4	0	2	21	26	2
가상현실	1	0	2	0	1	0	4	0	0	6	0	3	11	1	5
증강현실	3	0	0	0	0	0	4	1	0	1	0	2	8	1	2
소계	13	15	2	2	12	0	14	1	0	11	0	7	40	28	9

추론이 21건이 뒤를 이었다. 모델 기반 추론은 2건으로 가장 적었다. 반면, 가상현실 기반 활동에서는 17건의 활동 중, Fig. 5와 같은 현상 기반 추론이 11건으로 가장 많았고, 모델 기반 추론이 5건이었으며, 관계 기반 추론은 1건 발견되었다. 증강현실 기반 추론에서도 가상현실에서와 비슷하게 현상 기반 추론이 8건으로 가장 많았으며, 모델 기반 추론이 2건, 관계 기반 추론이 1건으로 보고되었다.

과학 영역별 분포를 살펴보면, 운동과 에너지 및 물질 영역에서의 분포와 생명 및 지구 영역에서의 분포의 두드러진 차이가 보고되었다. 운동과 에너지 영역과 물질 영역에서는 관계 기반 추론이 각각 15건, 12건으로 가장 많은 수를 차지한 반면, 생명 영역과 지구 영역에서는 현상 기반 추론이 각각 14건, 11건으로 많이 제시되었다. 또한 지구 영역에서는 다른 영역과 다르게 모델 기반 추론이 상대적으로 많았는데, Fig. 4와 같이 지구와 달의 운동 단원과 같이 천체 운동과 관련한 탐구 활동이 모델 기반 추론의 주를 이뤘다.

이처럼 영역에 따라 제시된 추론 유형이 다른 것은 각 과학 영역별 탐구방법이 조금씩 차이가 있다는 점을 반영할 뿐 아니라(Erduran & Dagher, 2014), 이러한 차이로 인해 테크놀로지가 접목되는 방식도 다르다는 점을 보여준다. 즉, 운동과 에너지 영역과 물질 영역에서는 변인들 간의 관계를 파악하기 위해 가상실험 기술을 통해 특정 변인을 조작하면서 다른 변인과의 관계를 살펴보는 탐구를 수행하는 경우가 많은 반면, 생명 영역과 지구 영역에서는 가상현실과 증강현실 기술을 활용해 현상을 조작하기 보다는 제시된 현상을 세밀히 기술하는 관찰 중심형 탐구방법이 많이 활용되고 있는 것으로 생각할 수 있다.

끝으로 추론 유형에 대한 본 연구의 결과는 근본적으로 테크놀로지를 활용한 탐구 활동에서 학생들에게 '어떠한 상호작용과 추론'을 제시해야 하는가에 대한 문제와 함께 고민해볼 필요가 있다. 가령, 현재 디지털교과서에서 가상현실과 증강현실을 활용해 구성된 탐구 활동에서는 관계 기반 추론 유형이 거의 나타나지 않았으며(각 1건), 모델기반추론 유형도 매우 적게 나타났다(5건, 2건). 이 두 가지 테크놀로지에서 현상 기반 추론 유형이 주로 나타난 것(19건)은 현상 기반 추론이 초등학생들에게 중요하다는 것을 감안하더라도, 테크놀로지가 활용되는 맥락에서 학생들의 사고를 어떻게 촉진할 것인지에 대한 고려를 적극적으로 할 필요가 있다는 것을 시사한다. 즉, 가상현실이나 증강현실에서 대상 개념을 실감나게 '보여'주는 것을 넘어서서, 관련 개념에 대한 의미 있는 추론을 이끌어낼 수 있도록 구성해 볼 수 있겠다.

예를 들어, 가상현실을 활용하여 개발된 5학년 1학기의 '에너지' 단원에서 '주택의 단열상태 비교하기' 탐구 활동이 좋은 사례가 될 수 있다. 이 활

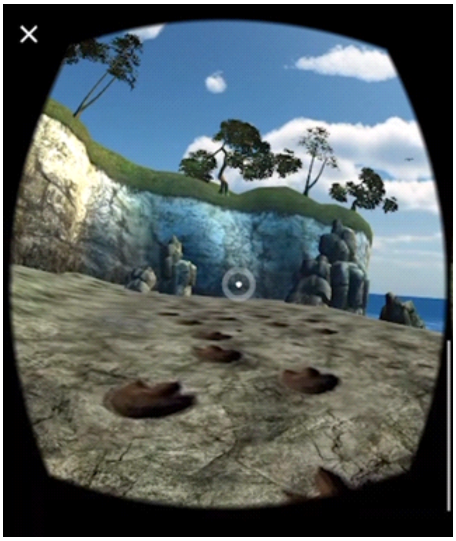

Fig. 5. An example of phenomenon-based reasoning using virtual reality (3-1, p. 18).

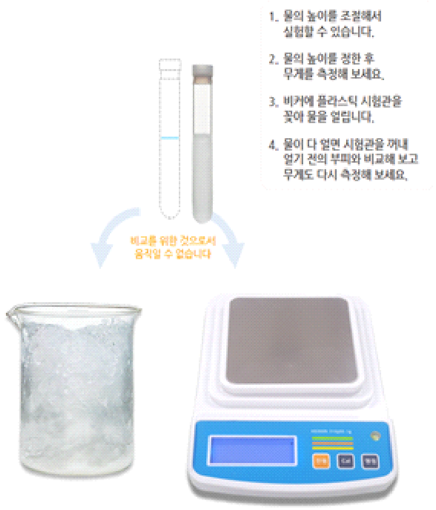

Fig. 6. An example of relation-based reasoning using virtual experiment (4-2, p. 36).

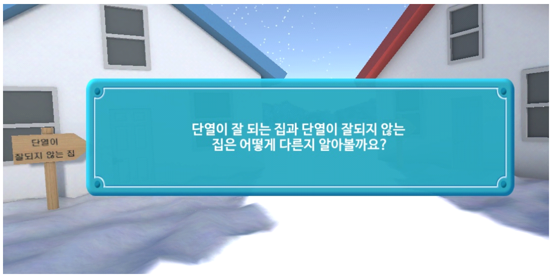

Fig. 7. An example of good questions in inquiry activities using virtual reality.

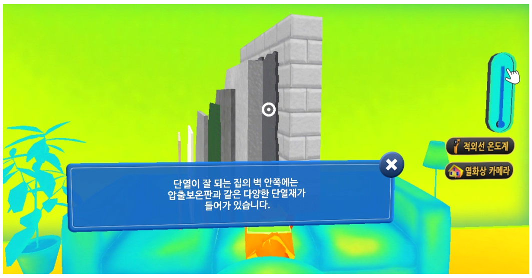

Fig. 8. An example of good guidance in inquiry activities using virtual reality.

동에서는 활동을 시작하기 전에 ‘단열이 잘되는 집과 단열이 잘되지 않는 집은 어떻게 다른지 알아볼까요?’와 같은 발문을 통해 주택의 단열상태를 단지 ‘보여’주기만 한 것이 아니라, 어떠한 변인이 이 차이를 만들어 냈는지를 사고하도록 ‘촉진’하는 질문과 안내문을 함께 던지고 있다(Fig. 7 및 Fig. 8 참고). 이처럼 가상현실과 증강현실 테크놀로지를 통해 실재감(sensibility)을 높이면서도 동시에 탐구 과정에서 적절한 질문과 피드백을 통해 학생의 사고를 촉진할 것인지에 대한 문제는 앞으로도 가장 적극적인 고민이 이루어져야 할 부분이라고 생각된다.

IV. 결론 및 시사점

본 연구에서는 디지털 테크놀로지를 활용해서 어떻게 의미 있는 탐구 활동을 이끌어낼 수 있을지를 탐색하기 위한 기초 연구로서, 초등학교 과학 디지털교과서에서 제시된 테크놀로지를 활용한 탐구 활동의 탐구맥락과 탐구방법의 특징을 살펴보았다. 본 연구의 결과들은 초등학교에서 테크놀로지를 활용하여 탐구 활동을 구성함에 있어 두 가지로 요약될 수 있다.

첫째, 현 디지털교과서에 제시된 테크놀로지를 활용한 탐구 활동에서는 실제 현상을 기반으로, 관찰과 측정을 활용하여 현상을 기술하는 탐구방법이 가장 많이 활용되고 있었다. 다시 말해, 실감형 또는 실감-추상형 탐구맥락에서(Table 4 참고), 가설을 검증하기 보다는 주어진 현상을 기술하고 측정하는 탐구들이 대부분이었다(Table 5 참고). 관찰이나 측정은 과학의 가장 기초적인 탐구방법을 익힌다는 측면에서, 초등학생들에게 매우 중요한 요소이다. 이를 고려할 때, 본 연구의 결과는 초등학생들의 발달 수준을 고려한 것으로서 테크놀로지의 활용에서 비롯된 결과이기보다는 초등학교 탐구 활동의 특성에서 기인한 것으로 판단된다.

하지만 관찰 중심의 탐구 활동에서 간과하지 말아야 할 것은, 학생을 수동적인 ‘관찰자’로 머물게 해서는 안 된다는 점이다. 이는 지나치게 정제된 가상실험 활동에서 학생들이 폭넓은 탐구 경험을 하지 못할 수 있다는 우려와 상통한다(Balamuralithara & Woods, 2009). 현상에 대한 관찰이나 측정을 토대로 한 탐구에서도 학생의 사고를 촉진하는 안내가 탐구 활동 개발 과정에서 충분히 고려되어야 한다. 이를 위해, 본 연구에서는 과학탐구에서 오랫동안 강조되어온 POE 모형을 활용한 사고 촉진 방안을 논의하였다. 가령, 디지털교과서 3학년 2학기 ‘소리의 성질’ 단원의 실 전화기에 대한 가상실험에서는 ‘실 전화기의 소리를 더 잘 들리게 하려면 어떻게 해야 할까요?’라는 발문을 함께 제시하고 있다. 이처럼 테크놀로지의 활용에 있어서 학생들이 제시된 현상을 수동적으로 받아들이기보다는, 미리 예상하고 생각해보게 하는 장치를 구성하는 것이 중요하다.

둘째, 본 연구에서 분석한 테크놀로지들은 각기 다른 특성과 방식으로 탐구 과정에서 활용되고 있었다. 가상실험 기술은 실감-추상형 탐구맥락에서 조작적 방법으로 현상에 대해 기술하거나 변인들 간의 관계를 탐구하는 활동에 많이 활용되는 경향을 보였다. 반면, 가상현실과 증강현실 기술은 실감형 탐구맥락에서 많이 활용되었으며, 현상을 조작하기보다는, 그대로의 모습을 관찰하거나 기술하는 탐구 활동에서 많이 활용되었다. 특히 이러한 특성들은 과학의 하위 영역별 특징과 접목되어 영역별 활용 방식의 차이를 보이기도 했다. 즉, 운동과 에너지 및 물질 영역에서는 가상실험 기술을 활용하여 현상이나 변인 간의 관계를 기반으로 추론하는

탐구 활동이 많은 반면, 생명 및 지구 영역에서는 가상현실이나 증강현실 기술을 활용한 현상 기반 추론 활동이 많았으며, 특히 지구 영역에서는 모델 기반 추론도 많이 제시되었다.

물론, 본 연구에서 보고한 각 테크놀로지와 과학 영역별 특징과 양상은 테크놀로지가 발달함에 따라 변화할 수 있다. 앞으로 테크놀로지들은 더욱 발달할 것이며, 이미 다양한 테크놀로지들이 교육적 목적으로 적극 도입되어 많은 변화를 일으키고 있다(Simens, 2014). 가령, 본 연구에서 다룬 세 가지 테크놀로지뿐 아니라, 온라인과 빅 데이터를 활용한 탐구들을 포함하여 다양한 테크놀로지들을 접목한 탐구를 들 수 있다(Penuel & Mean, 2004). 뿐만 아니라, 본 연구에서 조사한 탐구 활동들은 '자연 현상'을 대상으로 하는 초등학교 과학 탐구 활동만을 조사했다는 점에서 제한점이 있을 수 있다. 최근에는 STE(A)M 교육 및 공학적 설계에 대한 관심과 함께 자연에 대한 탐구뿐만 아니라, 인공물 및 생활 속에서 접하는 문제들에 대한 탐구까지 폭넓게 다루어지는 경우가 많기 때문이다(NGSS Lead States, 2013). 이에 인공물이나 빅 데이터, 온라인을 활용한 탐구의 특징에 대한 추후 연구들도 이루어질 필요가 있겠다.

그럼에도 불구하고, 본 연구의 결과는 앞으로 테크놀로지를 활용한 탐구 활동을 폭넓게 개발, 적용함에 있어서 여러 시사점을 줄 수 있을 것이다. 먼저, 서론에서 언급하였듯이 본 연구에서는 특정 주제에 대한 단편적인 탐구 활동이 아닌 여러 학년에 걸쳐서 다양한 내용을 다룬 탐구 활동들에서의 테크놀로지 활용 실태를 점검했다는 점에서 의미가 있다. 특히 본 연구는 국내에서 테크놀로지를 활용한 디지털교과서 및 탐구 활동의 개발이 확장되는 시점에서, 교육적 활용도가 높은 세 가지 테크놀로지의 특징과 활용 양상을 밝혔다. 본 연구의 결과로 미루어볼 때, 테크놀로지를 활용하여 탐구 활동을 개발하는 과정에서는 과학 영역이나 주제별 탐구방법에 대한 이해, 여러 테크놀로지들의 차별적인 특징과 장단점에 대한 이해, 그리고 탐구와 테크놀로지와의 조화에 대한 이해가 수반되어야 함을 알 수 있었다. 나아가 테크놀로지를 활용하여 양질의 학습 활동을 구성하기 위해서는 본 연구와 같이 교육적 관점에서 테크놀로지가 접목된 학습 활동에 대한 비판적인 점검과 확인이 지속적으로 필요하며, 본 연구가 이러한 시도의 중요한 출발점이 되기를 기대한다.

참고문헌

Balamuralithara, B. & Woods, P. C. (2009). Virtual laboratories in engineering education: The simulation lab and remote lab. *Computer Applications in Engineering Education*, 17(1), 108-118.

Beier, K. P. (2004). *Virtual reality: A short introduction*. Retrieved February 2, 2004. from http://www.umich.edu/~vrl/intro/

Brandon, R. N. (1994). Theory and experiment in evolutionary biology. *Synthese*, 99(1), 59-73.

Collins, A. & Halverson, R. (2018). Rethinking education in the age of technology: The digital revolution and schooling in America. New York: Teachers College Press.

Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). Young people's images of science. Milton Keynes: Open University Press.

Duschl, R. & Grandy, R. (2008). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: Framing the debates. In Duschl, R. & Grandy, R. (eds.), Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and application (pp. 1-37). Rotterdam: Sense Publishers.

Erduran, S. & Dagher, Z. R. (2014). Reconceptualizing the nature of science for science education: Scientific knowledge, practices and other family categories. Dordrecht: Springer.

Fominykh, M., Prasolova-Førland, E., Morozov, M., Smorkalov, A. & Molka-Danielsen, J. (2014). Increasing immersiveness into a 3D virtual world: Motion-tracking and natural navigation in vAcademia. *IERI Procedia*, 7, 35-41.

Kaufmann, H. & Dünser, A. (2007). Summary of usability evaluations of an educational augmented reality application. *Lecture Notes in Computer Science*, 4563, 660-669.

Kaufmann, H. & Meyer, B. (2009). Physics education in virtual reality: An example. *Themes in Science and Technology Education*, 2, 117-130.

Kozhevnikov, M., Gurlitt, J. & Kozhevnikov, M. (2013). Learning relative motion concepts in immersive and non-immersive virtual environments. *Journal of Science Education and Technology*, 22(6), 952-962.

Lee, C., Park, C. & Hong, H-G. (2018). Design and effects of science simulation applications using flash and actionscript 3.0: In the composition of material chapter in middle school science textbooks. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 38(4), 527-539.

Leem, J. H. (2010). Digital textbook-based instruction in elementary school: Main issues and future tasks. *The Journal of Korean Educational Forum*, 9(1), 87-114.

Lindgren, R. & Schwartz, D. L. (2009). Spatial learning and computer simulations in science. *International Journal of Science Education*, 31(3), 419-438.

Ministry of Education & Korea Education and Research Information Service. (2019). The guide for using realistic contents related to digital textbook in year 3 and 4 [초 3 · 4 디지털교과서 연계 실감형 콘텐츠 활용 안내]. Daegu: Korea Education and Research Information Service.

Mintz, R., Litvak, S. & Yair, Y. (2001). 3D-virtual reality in science education: An implication for astronomy teaching. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 20(3), 293-305.

NGSS Lead States. (2013). Next generation science standards: For states by states. Washington, DC: The National Academies Press.

Núñez, M., Quirós, R., Núñez, I., Carda, J. B. & Camahort, E. (2008). Collaborative augmented reality for inorganic chemistry education. *Paper presented in the 5th WSEAS/IASME International Conference on Engineering Education* (pp. 271-277). Heraklion: World Scientific and Engineering Academy and Society.

Penuel, W. R. & Means, B. (2004). Implementation variation and fidelity in an inquiry science program: Analysis of GLOBE data reporting patterns. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(3), 294-315.

Rutten, N., Van Joolingen, W. R. & Van Der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58(1), 136-153.

Salmi, H., Thuneberg, H. & Vainikainen, M. P. (2017). Making the invisible observable by augmented reality in informal science education context. *International Journal of Science Education, Part B*, 7(3), 253-268.

Saltan, F. & Arslan, Ö. (2017). The use of augmented reality in formal education: A scoping review. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 13(2), 503-520.

Siemens, G. (2004). *Connectivism*. A learning theory for the digital age. Retrieved from http://www.elearnspace.org/Articles/connectivism.htm

Szalavári, Z. S. & Gervautz, M. (1997). The personal interaction panel - A two-handed interface for augmented reality. *Computer Graphics Forum*, 16(3), 335-346.

Wieman, C. E., Adams, W. K. & Perkins, K. K. (2008). PhET: Simulations that enhance learning. *Science*, 322 (5902), 682-683.

Winn, W., Stahr, F., Sarason, C., Fruland, R., Oppenheimer, P. & Lee, Y. L. (2006). Learning oceanography from a computer simulation compared with direct experience at sea. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(1), 25-42.

Yu, S. & Ryu, J. (2017). Development of virtual reality based teaching simulation with HMD for pre-service teachers: Usefulness of teaching scenarios and virtual presence. *Teacher Education Research*, 56(3), 309-323.

장진아, 커틴대학교 박사후 연구원(Chang, Jina; Postdoctoral researcher, Curtin University)
† 박준형, 커틴대학교 박사후 연구원(Park, Joonhyeong; Postdoctoral researcher, Curtin University)
송진웅, 서울대학교 교수 (Song, Jinwoong; Professor, Seoul National University)