

고등학생의 증강현실을 활용한 협력적 과학 개념학습에서 나타나는 언어적·물리적 상호작용

신석진, 김혜린, 노태희, 이재원*
서울대학교

High School Students' Verbal and Physical Interactions Appeared in Collaborative Science Concept Learning Using Augmented Reality

Seokjin Shin, Haerheen Kim, Taehee Noh, Jaewon Lee*
Seoul National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 18 February 2020

Received in revised form

8 March 2020

27 March 2020

Accepted 30 March 2020

Keywords:

augmented reality, verbal interaction, physical interaction, collaborative learning

ABSTRACT

This study investigated verbal and physical interactions which appeared in collaborative science concept learning using augmented reality. Twelve 10th grade students participated in this study. After being organized into three four-member small groups, they participated in classes using smart device-based augmented reality application developed for the understanding of the chemical bonding concept. Their class activities were audio- and video-taped. Semi-structured interviews were also conducted. The results revealed that within individual statement units of verbal interaction, the proportions of information question/explanation and direction question/explanation were found to be high. Within interaction units, the proportions of reformative and cumulative interaction were relatively high. The proportions of progress were also found to be high within both individual statement units and interaction units of verbal interaction. Students' physical interactions were mainly conducted without meaningful verbal interactions. When their physical interactions were accompanied by knowledge construction-related verbal interactions, the proportions of gazing virtual objects and worksheet-related interactions were high. In contrast, various exploratory activities related to the manipulation of markers mainly appeared when they conducted physical interactions only, or when their physical interactions were accompanied by management-related verbal interactions. On the bases of the results, effective methods for collaborative concept learning using augmented reality in science education are discussed.

1. 서론

디스플레이 및 정보 기술의 혁신적인 발달에 따라 증강현실과 같은 실감형 멀티미디어 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 증강현실(augmented reality)은 현실 세계와 디스플레이 매체에 표시되는 가상 객체를 실시간으로 혼합하여 시각화하는 기술이다(Azuma, 1997; Jang & Kye, 2007). 증강현실의 가상 객체는 현실 세계에서 직접 볼 수 없는 다양한 정보를 표현할 수 있으므로 증강현실은 미시적, 거시적 개념을 자주 다루는 과학 교육 분야에 유용하게 활용될 수 있다(Nielsen, Brandt, & Swensen, 2016). 특히 현실 세계와 가상 객체가 유기적으로 결합한 환경에서 학생들이 손으로 객체를 직접 조작할 수 있는 증강현실의 독특한 매체적 특성은 학생들이 콘텐츠에 대한 깊은 몰입감과 현존감 및 학습에 대한 동기와 흥미를 느끼게 하며(Chiang, Yang, & Hwang, 2014; Kye & Kim, 2008; Liu & Tsai, 2013; Seo, 2008), 경험 중심의 학습, 학생 중심의 능동적 학습, 그리고 협력학습 등을 촉진할 수 있다(Ryu *et al.*, 2006; Shelton, 2003). 이에 2015년부터 한국과학창의재단에서 증강현실을 활용한 과학 실험 콘텐츠를 제공하고(KOFAC, 2015), 2017년부터는 교육부에서 증강현

실이 적용된 디지털 교과서를 도입하는 등(Jung *et al.*, 2017), 우리나라에서도 증강현실을 활용한 과학 교육 콘텐츠를 보급하기 위한 노력이 집중적으로 이루어지고 있다.

증강현실을 과학 교수학습에 적용할 경우, 학생들의 학업 성취도와 동기 등에 긍정적 영향을 가져올 수 있다는 장점이 있다(Akçayır & Akçayır, 2017). 그러나 증강현실을 활용했을 때의 부정적인 효과에 대한 사례도 일부 보고되고 있는데, 예를 들어, 증강현실의 활용은 학생들의 인지적 부담을 유발하거나 집중도를 해칠 수 있다고 보고된 바가 있으며(Chiang, Yang, & Hwang, 2014; Dunleavy, Dede, & Mitchell, 2009; Kim, 2009), 학생들이 증강현실을 활용하는 것을 어려워한다는 주장도 있다(Muñoz-Cristóbal *et al.*, 2015). 이와 같이 증강현실을 활용한 과학 수업에 대해 일관적이지 않은 결과가 보고되는 것은 증강현실이 과학 교수 학습에 적용되는 초기 단계에서 학생들이 증강현실을 어떻게 다루는지에 대한 실증적인 연구에 기반을 둔 수업 처치가 이루어지지 않았기 때문이라 할 수 있다(Arici *et al.*, 2019). 따라서 증강현실을 활용한 교수학습에서 나타날 수 있는 단점을 보완하고 증강현실의 활용 효과를 극대화하기 위해서는 교실에서 증강현실을 활용한 과학 수업이 어떻게 이루어지는지에 관한 실증적 조사가 먼저 이루어질 필요가 있다.

* 교신저자 : 이재원 (jaewooner@snu.ac.kr)
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2020.40.2.191>

증강현실을 활용한 협력학습에서는 다수의 학생이 면대면 상황에서 마커¹⁾와 디스플레이 매체를 동시에 조작하고 관찰하게 되므로, 가상 객체를 자유롭게 탐구하고 이에 대해 논의할 수 있는 환경이 조성된다(Diegmann *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2011). 이와 같이 개방된 학습 환경은 학생들 사이의 상호작용을 촉진한다. 학생들 사이에 자발적으로 발생하는 언어적 상호작용은 학생들의 수업에 대한 동기와 흥미에 영향을 미치며, 지식 구성에도 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다(Mathews, 2002; Yun *et al.*, 2017). 그런데 교실에서 이루어지는 학생들의 상호작용은 새로운 도구나 수단의 도입에 따라 달라질 수 있다(Vygotsky, 1978; Yun *et al.*, 2017). 증강현실을 활용한 협력학습의 경우에는 마커와 디스플레이 매체를 중심으로 학생들 사이의 상호작용이 이루어지므로, 이때 나타나는 언어적 상호작용은 일반적인 협동학습 상황 또는 스마트 러닝 등 단순히 스마트 기기만을 활용한 수업 상황과는 다를 것으로 예상된다. 따라서 증강현실에서 나타나는 언어적 상호작용을 분석하면 새로운 특징과 시사점을 도출할 수 있을 것이다.

한편, 증강현실을 활용한 교수학습과 같이 도구의 사용이 학습 활동의 중심이 되는 학습 상황에서는 학생 사이의 언어적 상호작용뿐 아니라 학생이 증강현실이나 활동지와 같은 학습 객체를 물리적으로 다루는 활동을 의미하는 물리적 상호작용(physical interaction)도 중요하다(Matcha & Rambli, 2013; Price & Rogers, 2004). 구체적으로 학생들의 물리적 상호작용 대상에는 활동지와 마커 및 디스플레이 매체의 화면상에 존재하는 가상 객체가 모두 포함되며, 이를 대상으로 하는 물리적 행동의 유형은 매우 다양하게 나타날 것으로 예상된다. 증강현실을 활용하면서 느낄 수 있는 몰입감 및 현존감은 학생들이 직접 마커를 조작하거나 증강현실로 구현된 가상 객체를 조작하는 활동에서 비롯되므로(Ryu *et al.*, 2006), 이들을 대상으로 하는 물리적 상호작용의 특징을 분석하는 것은 증강현실을 활용한 학습 과정을 보다 구체적으로 규명하는 의미도 있다. 또한, 학생들은 수업 중에 증강현실의 활용에만 집중할 수도 있지만, 다른 학생과 상호작용을 함과 동시에 증강현실을 활용할 수도 있다. 즉, 학생들의 물리적 상호작용과 언어적 상호작용은 동시에 일어날 수 있을 뿐만 아니라 서로 영향을 주고받을 수 있다. 그러므로 학생들의 물리적 상호작용과 언어적 상호작용을 통합적으로 분석한다면, 증강현실을 활용한 협력학습의 과정에 대한 정보를 보다 구체적으로 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

그러나 증강현실을 활용한 교수학습 상황에서 나타나는 언어적 상호작용이나 물리적 상호작용에 대한 정보는 매우 부족한 실정이다. 증강현실의 매체적 특성이 학생들의 과학적 의사소통 능력과 언어적 상호작용의 특징에 영향을 미칠 수 있다는 가능성이 보고된 바 있으나(Diegmann *et al.*, 2015), 이에 대한 실증적 조사는 거의 이루어지지 않았다. 또한, 물리적 상호작용을 분석한 연구로는 PC 기반의 증강현실 학습 상황에서 나타난 학생들의 물리적 상호작용을 분석한 연구(Matcha & Rambli, 2013)가 있으나 학생들 사이에 일어나는 언어적 상호작용에 대해서는 분석하지 않았고, 현재에는 잘 쓰이지 않는 PC 기반의 증강현실 학습 상황이라는 점에서 차이가 있다. 즉, PC 기반의

증강현실은 고정형 모니터 앞에서 증강현실을 활용하기 때문에 학생 사이의 면대면 상호작용에 제한이 있으나, 스마트 기기는 손으로 잡는(hand-held) 방식의 디스플레이 매체로서 더욱 자연스러운 학습 환경을 제공하므로 이때의 언어적 상호작용과 물리적 상호작용을 조사하는 연구가 수행될 필요가 있다.

이에 이 연구에서는 스마트 기기 기반의 증강현실을 활용한 협력적 과학 학습 상황에서 학생들 사이에 일어나는 언어적 상호작용과 학생과 학습 객체 사이에서 일어나는 물리적 상호작용의 특징을 조사하였다. 그리고 언어적 상호작용과 물리적 상호작용의 분석 결과를 연관지어 언어적 상호작용 유형에 따른 물리적 상호작용의 특징을 비교하였다. 이를 바탕으로 증강현실을 활용한 협력학습 상황에서 나타나는 특징을 심층적으로 밝히고, 과학 교과에서 증강현실을 효과적으로 활용하기 위한 구체적인 교수학습 전략 및 교사를 위한 시사점을 찾고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

서울특별시 소재한 한 남녀 공학 고등학교의 1학년 학생 12명(남학생 6명, 여학생 6명)이 연구에 참여하였다. 이들은 증강현실을 활용한 협력학습에 참여한 학생들 중 무작위로 선정한 3개 소집단의 구성원이다. 연구 참여자 중 9명의 학생은 연구에 참여하기 전 뉴스 기사나 과학 잡지 등을 통해 증강현실이 무엇인지 들어본 적이 있었다. 이 중 4명은 ‘포켓몬고’와 같은 증강현실 게임이나 놀이기구, 증강현실 체험전 등을 통해 교육 용도가 아닌 증강현실을 직접 경험한 적이 있었고, 1명은 중학교 시절에 빛의 굴절 실험, 세포 모형 관찰과 같이 교육 용도로 개발된 증강현실을 경험한 적이 있었다. 또한 2명의 학생은 두 가지 유형의 증강현실을 모두 경험해 본 적이 있었다.

2. 연구 절차 및 방법

수업에 활용한 증강현실은 안드로이드 운영체제(Android OS)용 어플리케이션의 형태로 연구자가 직접 개발하여 스마트 기기에 설치한 후 학생들에게 제공하였다. 이 증강현실 어플리케이션에서 학생들이 관찰할 수 있는 가상 객체는 3차원 보어 모형으로 나타난 원자 모형 및 이온, 공유 결합 모형이며, 마커는 원소 기호가 그려진 원자 카드 세트이다. 증강현실은 학생들의 몰입감을 높일 수 있도록 증강현실의 매체적 특징인 조작성과 탐색성(Kye & Kim, 2008)을 고려하여 개발하였다. 즉, 학생들이 스마트 기기 화면상의 가상 객체를 단순히 관찰하는 수준에 머무르는 것이 아니라 여러 개의 원자 카드를 직접 조작하여 가상 객체로 구현된 원자들이 이온 결합 또는 공유 결합을 형성하는 과정을 체험할 수 있도록 하였다. Figure 1은 증강현실 어플리케이션의 실제 작동 화면을 나타낸 것이다. 마그네슘 마커와 염소 마커를 떨어뜨려 놓으면 왼쪽과 같이 각각의 원자 모형이 나타나며, 각 원소 마커를 가까이 붙이면 오른쪽과 같이 염화 마그네슘의 이온 결합 모형이 나타난다.

또한, 연구자는 증강현실을 활용한 협력적 개념학습에 필요한 차시별 활동지와 PPT, 수업지도안 등 일체의 교수학습 자료를 개발한 후

1) 일반적으로 증강현실은 스마트 기기와 같이 카메라를 포함한 디스플레이 매체(display device), 카메라의 촬영 대상이 되며 가상 객체를 증강시키는 매개체 역할을 하는 마커(marker), 촬영 영상 위에 실시간으로 증강되어 나타나는 3차원 컴퓨터 그래픽인 가상 객체(virtual object)로 구성된다(Jang & Kye, 2007).

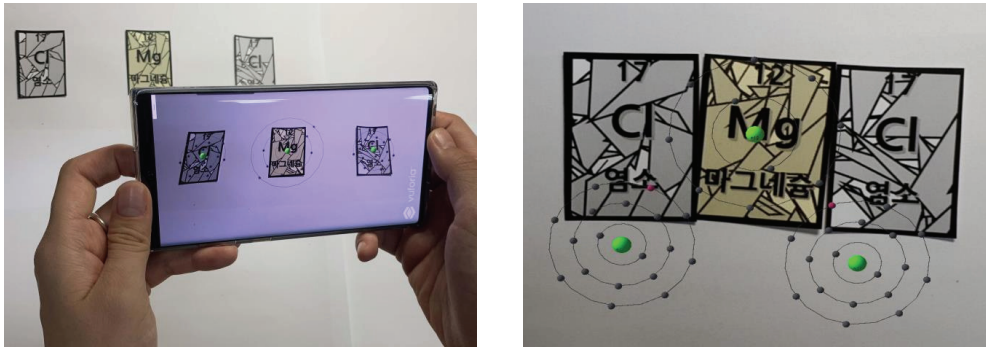


Figure 1. Ionic bonding model of magnesium chloride using augmented reality

수업 담당 교사와 미리 공유하며 교사가 증강현실 어플리케이션의 활용 및 수업 과정에 익숙해지도록 하였다. 본 차시 수업 전에는 오리엔테이션을 겸한 연습 차시를 통하여 학생들이 증강현실 어플리케이션의 활용 방법에 대하여 충분히 숙지하고 연구자의 수업 관찰 및 녹음, 녹화 등 연구 상황에 익숙해지도록 하였다. 이후 통합과학 교과 의 ‘물질의 규칙성과 결합’ 단원에 대하여 이온 결합과 공유 결합을 주제로 각각 1차시씩 총 2차시의 수업을 실시하였다.

학생들은 증강현실 구현에 필요한 스마트 기기와 마커 세트를 각각 하나씩 가지고 4인 1조로 수업에 참여하였다. 전체 수업 과정을 요약 하면, 이온 결합에 대한 수업에서 학생들은 먼저 증강현실을 통해 구현된 몇 가지 원자들의 원자가 전자의 개수 등을 관찰하고 활동지에 기록하였다. 다음으로 증강현실을 활용하여 염화 나트륨과 같이 간단한 이온 결합 화합물을 만들어보는 활동을 하였으며, 이때 이동한 전자의 개수 등 결합 모형의 특징을 관찰하고 활동지에 기록하였다. 이후 학생들은 여러 개의 2, 3주기 원자 카드를 이용하여 다양한 이온 결합 화합물을 자유롭게 만드는 활동을 하였고, 자신의 조가 만든 화합물들을 공유하고 정리하며 수업을 마무리하였다. 이때 교사는 학생들 사이를 순회지도하며 토의가 활발하게 일어날 수 있도록 촉진하는 역할을 하였다. 공유 결합에 대한 수업에서도 유사한 과정을 거쳤으며 이온 결합 화합물 대신 다양한 분자를 만드는 활동을 하였다.

이상의 모든 수업 과정은 2인의 연구자가 관찰하며 특징적인 점을 필드 노트로 작성하였으며, 조마다 녹음기와 캠코더를 설치하여 녹음 및 녹화하였다. 수업 후 면담에 자발적으로 동의한 11명의 학생을 대상으로 학생 1명당 약 20분 동안 반구조화된 면담을 실시하였으며, 면담에서는 필드 노트에 작성된 내용을 바탕으로 수업 흐름에 따른 각 학생의 활동, 소집단 내 다른 학생들과의 대화 내용 및 역할 분담 등에 관하여 질문하였다. 수업 활동 및 면담에 관한 녹음 자료는 자료 수집 후 전사하였다. 3개 소집단에 대해 이온 및 공유 결합을 주제로 각각 1차시씩 총 2차시 동안 자료를 수집하였으므로, 총 6차시 분량의 전사 자료를 생성하였다.

3. 상호작용 분석틀

가. 언어적 상호작용

과학 교과에서 스마트 기기를 활용한 소집단 학습 및 일반적인 협동 학습 상황에서 학생들의 언어적 상호작용을 분석한 선행 연구

(Joo, Kim, & Noh, 2014; Yun *et al.*, 2017)를 바탕으로, 증강현실을 활용한 소집단 과학 학습에서 나타나는 언어적 상호작용을 분석하기 위한 예비 분석틀을 개발하였다. 언어적 상호작용의 전체적인 흐름을 더욱 잘 파악하고자, 선행 연구와 같이 학생들의 언어적 상호작용을 각 학생의 개별 진술 단위와 학생 사이 상호작용 단위의 두 수준에서 분석하였다.

개별 진술 단위의 분석에서는 우선 Yun *et al.* (2017)의 개별 진술 단위 분석틀을 수정 없이 적용하여 예비 분석을 실시하였다. 분석 단위는 한 학생의 진술이 시작된 후부터 다른 학생의 개입 없이 자발적으로 끝날 때까지이며, 서로 다른 기능을 가진 두 개 이상의 진술이 나타나는 경우에는 각각을 독립적인 개별 진술로 구분하였다. 예를 들어 한 학생이 학습 내용에 관하여 설명한 후 새로운 학습 내용에 관하여 질문한 경우에는 각각을 정보 설명과 정보 질문으로 코딩하였다. 예비 분석 결과, 역할 분담, 기록, 진행, 학습 참여 권장 등의 운영 관련 진술은 대부분 과제에 대해 논의하는 맥락에서 나타났다. 이에 학생들의 운영 관련 진술을 과제 관련 진술과 같은 위계로 분류한 Yun *et al.* (2017)과 달리, 운영 관련 진술을 과제 관련 진술의 일부로 분류한 Joo, Kim, & Noh (2014)의 분석 방법을 참고하여 분석틀을 수정하였다. 이 연구에서 학생들의 개별 진술은 크게 학습 내용과 관련한 과제 관련 진술(on-task), 학습 내용과 무관한 과제 무관 진술(off-task), 교사와 학생 사이의 상호작용이 이루어진 교사 참여 진술(teacher participation)의 3가지 영역으로 분류하였으며, 과제 관련 진술은 질문, 설명, 반응, 평가, 운영의 다섯 가지 하위 영역으로 세분화였다. 질문과 설명은 그 내용과 수준에 따라 단순, 정보, 방향으로 구분하였으며, 반응은 상대방의 진술에 대한 반응에 따라 수용, 반론, 수용적 확산, 논쟁으로 구분하였다. 평가는 평가 대상에 따라 곤란도 평가와 기준 반성으로 나누었으며, 운영은 활동 유형에 따라 기록, 진행, 참여 권장으로 나누었다. 개별 진술 단위의 최종 분석틀과 요소별 정의를 Table 1에 정리하였다.

상호작용 단위의 분석에서는 Yun *et al.* (2017)의 상호작용 단위 분석틀을 활용한 예비 분석 결과, 수정의 필요성이 도출되지 않아 분석틀을 수정 없이 사용하였다. 상호작용의 분석 단위는 하나의 대화 주제에 관한 2개 이상의 개별 진술로 구성되며, 최소 두 명 이상의 대화에서 초점이 바뀔 때까지로 정의하였다. 학생들의 상호작용은 지식 구성 상호작용과 운영 상호작용으로 나누었으며, 이 중 지식 구성 상호작용은 대칭적 상호작용과 비대칭적 상호작용으로 구분하였다(Joo, Kim, & Noh, 2014; Kang, Kim, & Noh, 2000; Yun *et al.*, 2017). 대칭적 상호작용은 대화 참여자 모두가 상호작용에 유의미

Table 1. Analytical framework for individual statement units of verbal interaction

Category	Sub-category	Definition	
On-task	Question	Simple question	동의나 부정 등의 간단한 설명을 요구하는 질문
		Information question	구체적인 정보나 의견을 요구하는 질문
		Direction question	과제의 해결 방법이나 방향에 관한 질문
	Explanation	Simple explanation	동의나 부정 등의 간단한 설명 또는 정보나 의견이 불분명한 설명
		Information explanation	구체적인 정보를 제시하거나 그에 근거한 설명
		Direction explanation	과제의 해결 방법이나 방향에 관한 설명
	Reaction	Agreement	상대방의 진술에 대해 단순히 동의를 표하거나 받아들이는 반응
		Disagreement	상대방의 진술에 대해 단순히 거부를 표하거나 반대하는 반응
		Positive explanation	상대방의 진술에 동의하면서 자신의 의견을 첨가하는 반응
		Argument	상대방의 진술에 반대하면서 자신의 의견을 제시하는 반응
Evaluation	Evaluating task difficulty	학습 내용의 곤란한 정도에 대한 평가	
	Reflection on standards	외부적 기준에 근거한 학습 과정이나 결과물의 평가	
Management	Writing	활동지 기록과 관련된 진술	
	Progress	학습 진행이나 증강현실 활용에 관련된 진술	
	Encouragement	소집단 구성원의 참여를 권장하는 진술	
Off-task		학습과 관련이 없는 진술	
Teacher participation		교사의 개입이나 질문에 대한 진술	

Table 2. Analytical framework for interaction units of verbal interaction

Category	Sub-category	Definition	
Knowledge construction	Symmetrical	Simple	개별 진술의 수가 적고 한 구성원의 간단한 질문에 다른 구성원이 간단하게 답변하는 형태
		Cumulative	구성원들이 대화를 주고받으면서 내용이 누적되어 이해 공유가 확장되는 형태
	Elaborated	Reformative	한 구성원이 다른 구성원의 오류를 바로잡기 위해 답을 제시하거나 설명하는 형태
		Disputative	구성원들의 의견이 서로 대립될 때, 서로 의견을 제시하면서 논쟁하는 형태
		Evaluative	외부적 기준에 근거하여 구성원들이 함께 학습에 대하여 평가하거나 반성하는 형태
Non-symmetrical	Simple	한 구성원이 의견을 제시하거나 질문할 때, 다른 구성원이 질문과 관련이 적고 간단한 응답을 하는 형태	
	Elaborated	한 구성원이 다른 구성원의 대화 참여와 관계없이 혼자서 학습 내용을 양적 또는 질적으로 확장해 나가는 형태	
Management	Writing	구성원들이 조별 활동지에 기록하는 것에 대하여 상호작용하는 형태	
	Progress	구성원들이 마커나 스마트 기기를 사용하는 방법에 대하여 상호작용하는 형태	

한 기여를 하면서 상호작용을 이끌어 가는 것으로, 한 학생의 질문에 대한 다른 학생의 의견이나 정보 제시가 이루어지는 특징이 있다. 비대칭적 상호작용은 한 명의 구성원만이 상호작용에 유의미한 기여를 하면서 주도적으로 상호작용을 이끌어가는 것으로, 한 학생의 질문이나 설명에 대해 나머지 학생들은 수동적 동의, 상대방에 대한 격려 등의 단순한 역할만을 담당하는 특징이 있다(Kang, Kim, & Noh, 2000). 대칭적 상호작용은 대화의 질에 따라 단순 및 정교화 상호작용으로 구분하였고 대칭적 정교화 상호작용은 대화의 발달 형태에 따라 누적형, 교정형, 논쟁형, 평가형 상호작용으로 세분하였다. 운영 상호작용은 활동지 기록에 관한 상호작용인 기록 관련 상호작용과 기기 사용에 관한 상호작용인 진행 관련 상호작용으로 나누어 분류하였다. 이 연구에서 사용한 상호작용 단위 분석틀과 요소별 정의를 Table 2에 제시하였다.

나. 물리적 상호작용

PC 기반 증강현실을 활용한 협력적 학습 환경에서 학생들의 물

리적 상호작용을 분석한 Matcha & Rambli (2013)의 분석틀을 이 연구의 맥락에 맞게 수정 및 보완하여 예비 분석틀을 개발하였다. 선행 연구에서는 학생들에게 PC에 연결된 웹캠에 마커를 인식시키는 방식의 증강현실을 사용하여 학습 내용을 활동지에 정리하는 형태의 교수·학습 환경을 제공하고 학생과 증강현실의 마커 및 활동지 사이의 물리적 상호작용을 주로 분석하였다. 하지만 이 연구에서는 카메라와 디스플레이 매체가 통합된 스마트 기기를 사용하여 증강현실을 구현하였기 때문에 학생들은 스마트 기기의 터치스크린을 통해 증강현실의 가상 객체와도 다양한 상호작용을 할 수 있었다. 이에 학생과 상호작용하는 물리적 대상으로 증강현실의 가상 객체를 추가하고, 이를 대상으로 한 행동 유형은 수업 촬영 영상을 분석하여 귀납적으로 도출하였다. 또한 다른 학생과의 물리적 상호작용의 경우, 선행 연구에서는 2인의 학생이 증강현실을 함께 사용하는 환경이었기 때문에 역할 주고받기 등의 행동을 분석 대상에 포함하였다. 하지만 이 연구에서는 학생들이 각자 증강현실을 사용하며 협력학습에 참여하였기 때문에 학생 사이의 상호작용은 질문과 설명, 운영 등의 언어적 상호작용이 주로 나타나 물리적 상호작용은 분석 대상에서 제외

Table 3. Analytical framework for physical interactions

Category	Sub-category	Definition	
Augmented reality	Selecting a marker	마커를 선택하는 행동	
	Physical object	Locating a marker 마커를 스마트 기기의 카메라에 위치시키는 행동	
	Refreshing a marker	마커를 초기 상태로 되돌리는 행동	
	Moving a marker	증강현실을 관찰하는 중에 마커를 이동하는 행동	
	Virtual object	Gazing a virtual object	스마트 기기의 화면 속 가상 객체를 단순히 응시하는 행동
		Magnifying a virtual object	스마트 기기를 마커에 가까이하거나, 가상 객체를 손으로 확대하는 행동
		Rotating a virtual object	가상 객체를 드래그하여 이동하거나 회전시키는 행동
Capturing a virtual object		움직이는 가상 객체를 캡처하는 행동	
Resetting a virtual object	가상 객체에 대한 스마트 기기의 인식을 초기화하는 행동		
Worksheet	Reading a worksheet	활동지를 응시하면서 읽는 행동	
	Writing a worksheet	활동지를 작성하는 행동	

하였다.

물리적 상호작용의 예비 분석틀을 바탕으로 예비 분석을 실시하였다. 물리적 상호작용의 분석 단위는 물리적 대상과 상호작용하는 학생의 행동이 다른 행동이나 다른 물리적 대상으로 전환되는 시점으로 정의하였다. 예를 들어, 어떤 학생이 원자 마커를 선택하여 스마트폰 카메라에 위치시켜 증강된 가상 객체를 관찰하였다면, 이 학생의 물리적 상호작용은 순서대로 마커 선택하기, 마커 위치시키기, 가상 객체 관찰하기로 분석할 수 있다. 이와 같은 방법으로 소집단 학습에 참여한 각 학생의 물리적 상호작용을 개별적으로 분석하였다. 예비 분석 결과, 학생들이 스마트 기기 없이 마커만을 단순히 응시하거나 가리키는 행동의 비율은 매우 낮았기 때문에 마커를 응시하는 행동(gazing a marker) 요소는 제외하였다. 가상 객체를 대상으로 한 물리적 상호작용은 가상 객체를 응시하는 행동 외에 가상 객체를 확대, 회전, 캡처, 초기화하는 행동이 주로 관찰되어 이를 분석틀에 포함하였다. 이 연구에서 사용한 물리적 상호작용의 최종 분석틀과 요소별 정의를 Table 3에 제시하였다.

4. 분석 방법

두 명의 연구자가 관련 선행 연구 및 수집한 자료를 검토하며 예비 분석틀을 구성한 후, 무작위로 선정한 한 개의 소집단에서 이루어진 한 차시 분량의 수업 활동 자료를 바탕으로 언어적 상호작용과 물리적 상호작용의 예비 분석을 실시하였다. 분석 결과를 비교하며 나타난 차이에 대하여 논의하고 필요시 분석틀의 요소 및 정의를 수정·보완하는 과정을 반복하여 분석틀을 확정하고 분석자 간 일치도가 .93에 도달한 후, 1인의 연구자가 언어적 상호작용을 모두 분석하였고 다른 1인의 연구자가 물리적 상호작용을 모두 분석하였다. 모든 소집단의 언어적 상호작용과 물리적 상호작용의 분석을 완료한 후, 언어적 상호작용과 물리적 상호작용의 관계를 통합적으로 분석하고자 언어적 상호작용 중에서 상호작용 단위의 분석 결과를 기준으로 물리적 상호작용의 등장 비율을 나누어 교차 분석하였다. 그리고 학생들이 과제 관련 언어적 상호작용을 할 때, 운영 관련 언어적 상호작용을 할 때, 그리고 유의미한 언어적 상호작용 없이 물리적 상호작용만 할 때의 세 가지 경우에 대하여 나타난 물리적 상호작용의 빈도와 비율을 제시하였다. 분석 결과의 타당도와 신뢰도를 확보하기 위하여 상호작용 분석 결과 도출된 특징이 교수학습에 사용된 활동지와 학생

면담 자료, 연구자의 필드 노트 등의 다양한 자료에서 공통적으로 나타나는지 검토하는 삼각측정(triangulation)을 실시하고, 연구 결과를 지지하는 보조적인 증거로 활용하였다. 또한 과학 교육 전문가 1인과 현직 과학 교사 4인이 참여한 세미나를 수차례 개최하여 연구 방법 및 결과 해석의 타당도를 점검받았다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 언어적 상호작용

가. 개별 진술 단위 분석

증강현실을 활용한 소집단 학습에서 나타난 개별 진술 단위의 언어적 상호작용 분석 결과를 Table 4에 제시하였다. 전체 2,126개의 개별 발화 중 과제 관련 진술이 75.6%(1,607개)로 대부분을 차지하였으며, 과제 무관 진술은 15.3%(326개), 교사 참여 진술은 9.1%(193개)로 나타났다. 과제 관련 진술 중에서 가장 비율이 높았던 개별 진술은 설명(28.3%)이었고, 운영(19.7%)과 질문(19.2%)의 비율도 높았다. 반응(6.2%)과 평가(2.3%)의 비율은 상대적으로 낮은 편이었다.

질문과 설명 요소에서는 공통적으로 화학 결합이 이루어지는 조건이나 특정 원자의 최외각 전자 수 등 학습 내용에 관한 구체적인 정보를 요구하거나 제시하는 정보 질문과 정보 설명의 비율이 각각 9.6%, 10.7%로 가장 높았다. 구체적인 학습 내용에 관하여 서로 질문하고 설명하는 언어적 상호작용의 빈도는 학업 성취도와 높은 관련이 있으므로(Abram *et al.*, 2002; Gillies, 2008; Joo, Kim, & Noh, 2014), 학생들이 학습 개념에 관한 정보를 주제로 서로 질문과 답변을 하는 경우가 많았다는 것은 바람직하다고 할 수 있다.

과제 해결 방법이나 방향을 묻고 답하는 방향 질문과 방향 설명의 비율도 각각 7.3%, 8.8%로 적지 않게 나타났다. 학생들은 활동지에 제시된 여러 과제들 중에서 특히 증강현실을 활용한 과제의 해결 방법에 관해 서로 질문하고 답변하는 경우가 많았다. 다음 예시에서 학생 G는 염화 마그네슘을 만들기 위해 마그네슘 마커 옆에 염소 마커를 배열하는 방법을 질문하고 있고, 이에 대해 학생 H는 염화 마그네슘을 만들기 위해서는 염소 마커 두 개를 양쪽에 배열해야 한다고 설명하고 있다.

Table 4. Frequencies of individual statement units of verbal interaction

Category	Sub-category	Frequency (%)
Question	Simple question	48 (2.3)
	Information question	204 (9.6)
	Direction question	156 (7.3)
	Sub-total	408 (19.2)
Explanation	Simple explanation	186 (8.7)
	Information explanation	228 (10.7)
	Direction explanation	187 (8.8)
	Sub-total	601 (28.3)
On-task	Agreement	85 (4.0)
	Disagreement	12 (0.6)
	Positive explanation	9 (0.4)
	Argument	25 (1.2)
	Sub-total	131 (6.2)
Evaluation	Evaluating task difficulty	19 (0.9)
	Reflection on standards	29 (1.4)
	Sub-total	48 (2.3)
Management	Writing	78 (3.7)
	Progress	327 (15.4)
	Encouragement	14 (0.7)
	Sub-total	419 (19.7)
Off-task		326 (15.3)
Teacher participation		193 (9.1)
Total		2,126 (100.0)

학생 G: 지금 (Mg 마커의) 양쪽이 비어있는 (상태인데)... (Mg 마커의 한 쪽 옆에 Cl 마커를 놓으며) 한 쪽이 비었으면 어디에다 배열해야 돼, 애(Cl 마커)를?

학생 H: 마그네슘을 사이에 두고 (Cl 마커) 두 개를 배열해야 되고, (Mg 마커의 다른 쪽 옆에 Cl 마커를 놓으며) 지금 한 쪽이 비었으니 까 하나만 더 배열하면 돼.

[2조의 수업 활동 중에서]

즉, 증강현실을 활용한 소집단 학습 과정에서 학생들은 목표 개념과 관련한 정보뿐 아니라 증강현실을 활용한 과제의 해결 방향에 관해서도 활발한 질문과 설명을 수행하였다. 하지만 스마트 기기를 활용한 선행 연구의 소집단 학습 상황(Yun *et al.*, 2017)에서 정보 질문의 비율은 이 연구에서와 유사하게 높았으나 방향 질문의 비율은 1% 미만으로 매우 낮게 나타났다. 과학교육에서 증강현실은 가상 객체에 대한 탐색적 활동이 포함되는 경향이 있으므로(Yuen, Yaoyuneyong, & Johnson, 2011), 학생들이 주어진 과제의 해결 방향을 찾는 과정에서 방향 질문의 비율이 높게 나타난 것으로 보인다. 또한 증강현실은 가상 객체를 통해 학생들에게 눈으로 볼 수 없는 화학 결합 현상을 가시적으로 표현해주는 도구적 역할을 수행할 뿐, 그 의미와 정보에 대해서는 학생들이 스스로 논의하고 생각해야 한다. 따라서 증강현실을 활용한 수업에서 교사는 이러한 논의와 사고를 촉진할 수 있도록 수업과 활동지를 적절히 구성할 필요가 있다.

한편, 운영 요소에서는 진행의 비율(15.4%)이 매우 높게 나타났는데, 이는 과학 교과에서 스마트 기기를 활용한 소집단 학습이나 일반적인 협동 학습 상황(Joo, Kim, & Noh, 2014; Yun *et al.*, 2017)에서

기록과 진행의 비율이 거의 같게 나타났던 것과 다른 결과이다. 진행 진술의 대부분은 스마트 기기와 마커를 사용하는 방법 등 증강현실의 활용에 관한 것이었다. 진행에 관한 진술은 증강현실의 작동 원리 등 기술적 측면에 관한 진술이라는 점에서 과제의 해결 방향에 대하여 논의하는 방향 질문 및 방향 설명과 구분된다. 다음은 학생 A가 다른 학생들에게 결합 모형을 증강현실로 구현하려면 먼저 스마트 기기가 각 원자 마커를 인식한 다음 마커들을 인접시켜야 한다고 증강현실의 작동 원리에 관하여 설명하는 진행 진술의 예시이다.

학생 A: 제발 (마커들을) 떨어트린 다음에 붙여. 일단 (스마트 기기가 모든 마커를) 인식 다 하고 붙여. 됐어?

학생 B: 안 될 것 같은데.

학생 C: 안 돼.

학생 A: 내가 보여줄게. 자, 여기로 와봐.

[1조의 수업 활동 중에서]

이와 같이 증강현실의 작동 원리에 대해 이해한 학생들은 아직 그렇지 못한 학생들에게 스마트 기기와 마커 세트 등 증강현실의 물리적 구성 요소나 기술적 특성에 대하여 설명해주는 경우가 많았다. 특히 이 연구에서는 다른 교수학습 도구와 차별화되는 증강현실의 독특한 매체적 특성인 몰입감(Kye & Kim, 2008)을 극대화할 수 있도록 조작성과 탐색성을 도입하여, 학생들이 가상 객체가 구현된 상태에서 마커를 조작하며 다양한 이온 및 공유 결합 모형과 결합 형성 전의 원자 모형을 탐색할 수 있도록 하였다. 이러한 상황에서는 단순히 마커에 스마트 기기의 카메라를 비추 가상 객체를 증강시키는 것 이상으로 증강현실의 구성 요소와 조작법에 대한 이해가 필요하므로, 진행의 비율이 운영의 다른 요소에 비해 매우 높게 나타났을 가능성이 있다.

개별 진술 단위의 언어적 상호작용에 관한 분석 결과를 종합하면, 질문과 설명 요소 측면에서는 정보 질문과 정보 설명, 방향 질문과 방향 설명의 비율이 높았고, 운영 요소 측면에서는 증강현실의 활용에 관한 진행의 비율이 높았다. 이는 증강현실을 활용한 소집단 학습 과정이 증강현실의 기술적 특성을 이해하는 것과 이를 바탕으로 과제 해결 방법 및 학습 내용에 관한 정보들을 찾아가는 것을 중심으로 이루어졌음을 의미한다. 이는 학생들이 스스로 주어진 학습 도구의 활용 방법을 익히고, 이를 활용하여 능동적으로 과제를 해결해나가는 학생 주도적 탐구 수업의 특징(Lee, Noh, & Lee, 2017; Pedersen & Irby, 2014)과 부합한다.

교과서의 물 분자 그림을 보면 그냥 물 분자가 이렇게 생겼구나 하고 넘어가지만 증강현실로 (물 분자를) 만들면 자기가 어떻게 만드는지, 이게 순서도 틀리면 안 되잖아요. 순서도 보고... 이거는 3개가 딱딱딱 붙어있는 것이 아니라 산소 하나에 수소 2개가 붙는 느낌이구나 이런 것도 눈으로 잘 보이잖아요. (중략) 이런 과정까지 볼 수 있으니까 더 괜찮은 것 같아요.

[학생 F의 면담 중에서]

특히 이 수업의 주제였던 이온 결합과 공유 결합은 학생이 눈으로 관찰할 수 없는 미시적 개념이므로, 전통적 수업에서는 교과서의 그림 자료 등을 이용하여 해당 개념을 학습하는 것이 일반적이다. 하지만 증강현실은 실험 또는 관찰이 어려운 현상을 시각화하여 학생이

조작 가능한 형태로 제공할 수 있는 교육적 장점(Akçayır & Akçayır, 2017; Wu *et al.*, 2013)을 가지고 있다. 그 결과 미시적 현상을 주제로 한 과학 수업에서도 증강현실을 활용함으로써 학생들의 언어적 상호작용에서 학생 주도적 탐구 수업과 가까운 특징이 나타났다고 할 수 있을 것이다.

그림은 그냥 멈춰진 그림일 뿐이니까, 거기서 더도 말고 덜도 말고 딱 그 상태인데. 증강현실은 저희가 직접 마커를 조합해보면서 어떻게 원자들이 이온 결합물이 되는지 분자가 되는지, 그 과정이라든지, 그 조합들을 (가상 객체를 통해) 직접 볼 수 있어서 더 이해가 잘 돼요.

[학생 D의 면담 중에서]

나. 상호작용 단위 분석

상호작용 단위에서의 언어적 상호작용 분석 결과를 Table 5에 제시하였다. 전체 198개의 언어적 상호작용이 나타났으며 이 중 지식 구성 상호작용의 수는 120개(60.6%), 운영 관련 상호작용의 수는 78개(39.4%)였다. 120개의 지식 구성 상호작용 중에서는 대칭적 상호작용이 112개(93.3%)로 나타났다. 따라서 대부분의 지식 구성 상호작용은 조원들이 균등하게 상호작용을 이끌어가는 형태로 이루어졌다고 할 수 있다. 또한, 대칭적 상호작용의 비율은 스마트 기기를 활용한 소집단 학습에서 나타난 결과(Yun *et al.*, 2017)와는 유사하였지만, 일반적인 협동 학습 상황(Joo, Kim, & Noh, 2014)보다는 더 높은 편이었다. 이는 기기를 중심으로 과제를 수행해야 하는 학습 환경에서 학생들이 더욱 과제를 협력적으로 해결해나가는 경향이 있음을 의미한다.

지식 구성 상호작용 중 대칭적 상호작용에서는 간단하고 짧은 질문과 답변 또는 대화가 반복적으로 이어지는 단순 상호작용의 비율이 52.7%(59개), 이전 발화 내용을 바탕으로 다음 발화 내용을 이어가는 정교화 상호작용의 비율이 47.3%(53개)로 나타났다. 정교화 상호작용 중에서는 교정형 상호작용의 비율(27개; 50.9%)이 가장 높았는데, 교정형 상호작용은 오개념이나 불완전한 개념을 가지고 있어 다음과 같이

Table 5. Frequencies of interaction units of verbal interaction

Category	Sub-category	Frequency (%)	
Knowledge construction	Symmetrical	Simple	59 (29.8)
		Cumulative	19 (9.6)
	Elaborated	Reformative	27 (13.6)
		Disputative	3 (1.5)
		Evaluative	4 (2.0)
	Sub-total	53 (26.8)	
	Sub-total	112 (56.6)	
Non-symmetrical	Simple	5 (2.5)	
	Elaborated	3 (1.5)	
	Sub-total	8 (4.0)	
Sub-total	120 (60.6)		
Management	Writing	21 (10.6)	
	Progress	57 (28.8)	
	Sub-total	78 (39.4)	
Total		198 (100.0)	

증강현실을 이용한 결합 형성에 어려움을 겪거나 증강현실을 통해 관찰한 현상을 해석하는 데 어려움을 겪는 학생과 이를 도와주는 학생 사이에서 주로 나타났다. 다음 예시에서 학생 C는 마그네슘 원자와 염소 원자 마커를 각각 1개씩 사용하면 결합이 형성되지 않는 것을 관찰하였고, 이에 대해 학생 D는 학생 C에게 가상 객체인 두 원자 모형의 전자 배치상의 특징과 함께 마그네슘 원자와 염소 원자가 1:1의 비율로 결합하면 전자 수를 8개로 맞출 수 없다는 것을 알려주고 있다.

학생 C: (Mg와 Cl의 결합을 시도하며) 왜 (결합 형성이) 안 되는 거야?

학생 D: 왜 안 되냐면 (Mg는 원자가 전자의 수가) 2개잖아.

학생 C: 뭐가? (기기를 보며) 아 애(Mg)가 2고.

학생 D: 그러니까 애(Mg)는 바깥에 2개가 있는 거지. 두 개가 남고.

애(Cl) 같은 경우엔 (전자의 수가) 17이잖아? 2, 8, 8 하면 (원자가 전자의 수가) 일곱 개잖아.

학생 C: 어, 그렇지. 일곱 개지.

학생 D: 그럼 애(Cl)는 (언어야 하는 전자가) 몇 개라고?

학생 C: 애(Cl)는 한 개를 얻어야 돼.

학생 D: 그치 애(Mg)는?

학생 C: 애(Mg)는 두 개를 잃거나 여섯 개를 얻어야 돼, 그치.

학생 D: 근데 숫자가 안 맞지. 그래서 서로 (전자를) 주거나 잃거나 이게 안 돼.

학생 C: 아, 전자의 수가 안 맞아서. 아, 애는 남거나 부족한 거네.

[1조의 수업 활동 중에서]

면담자: (친구들에게 수업 내용을) 알려줄 때는 보통 어떤 것을 얘기했나요?

학생 B: 잘 모르는 친구들은 이것(증강현실)을 찍어 봐도 잘 못 적는 경우도 많아서요. 그럴 때는 서로 알려주고, 친구에게 보여주면서 왜 그렇게 되는지 알려주고요.

[학생 B의 면담 중에서]

교정형 상호작용은 목표 개념을 상대적으로 더 잘 이해하고 있는 학생이 그렇지 않은 학생에게 동료의 언어로 설명해주는 과정이라 할 수 있다. 따라서 교정형 상호작용의 비율이 높게 나타났다는 것은 증강현실을 활용한 소집단 과학 학습이 개념 이해도가 낮은 학생들이 적극적으로 수업에 참여할 수 있게 하였음을 의미한다.

교정형 상호작용 다음으로는 누적형 상호작용의 비율(35.8%)이 높게 나타났다. 누적형 상호작용은 학생들이 증강현실을 통해 관찰한 현상이나 이와 관련한 목표 개념에 대해 논의하는 과정에서 주로 나타났다. 증강현실은 현실 세계를 배경으로 몰입감을 느끼며 가상 객체를 관찰하도록 하는 데 그 목적이 있으므로, 가상 객체의 시각적 표현에 콘텐츠의 초점을 두게 된다(Nielsen, Brandt, & Swensen, 2016). 따라서 학생들은 관찰한 현상에 대한 의미나 이유를 해석하는 과정을 주로 거쳤고, 이때의 대화가 관찰한 현상이나 목표 개념에 관한 지식과 이해도를 높여가는 누적형 상호작용으로 나타나게 되었다. 다음 예시에서 학생들은 가상 객체인 마그네슘과 염소 원자 모형을 관찰하면서 염화 마그네슘의 이온 결합 형성 과정을 학습하고 있는데, 모든 학생이 대화에 동등하게 참여하며 전자 배치상의 특징과 안정한 이온 결합이 형성되는 과정에 대한 이해를 공유 및 누적하고 있다.

학생 J: Cl 바깥쪽이 7개야?

학생 I: Cl 바깥쪽? 수헬리베... 아닌가? 잠깐만.

학생 L: 어? 맞아. 7개일걸.
 학생 I: 맞겠지? (증강현실의 가상 객체를 보며 전자 개수를 세고) 7개 맞다. 마그네슘은 2개.
 학생 K: 그러면 17이니까 애(CI)는 7개, 마그네슘은 2개. (활동지를 보며) 안정해지는 방법? 이건 뭐가?
 학생 L: 마그네슘은 전자 2개를 버린다고 해야 되나? 그렇지?
 학생 I: 전자 2개를 버린다. 버리니까 Mg^{2+} .

[3조의 수업 활동 중에서]

과학 교과와 소집단 학습에서 나타나는 학생들의 언어적 상호작용을 분석한 선행 연구(Joo, Kim, & Noh, 2014; Yun *et al.*, 2017)에서는 정교화 상호작용의 유형 중에서 누적형 상호작용이 주로 나타난 것으로 보고되고 있다. 하지만 증강현실을 활용한 협력학습에 참여한 학생들은 목표 개념에 대한 자신의 이해 수준 및 조원들과의 상대적인 이해 수준에 따라 누적형 상호작용이나 교정형 상호작용, 때로는 두 가지 상호작용 모두를 통하여 학습한 것으로 나타났다. 교사의 설명만으로 목표 개념을 충분히 이해하지 못한 학생들도 동료 학생들과의 활발한 상호작용이 이루어지면 자연스러운 개념 변화 과정을 거치고 개념을 이해할 수 있다(Lee, 2011). 따라서 이 연구에서 학생들의 대칭적 정교화 상호작용으로 누적형 상호작용뿐 아니라 교정형 상호작용도 활발하게 일어났다는 점은 주목할 만하다. 하지만 교정형 상호작용은 기본적으로 오개념이나 불완전한 개념을 가진 학생이 개념 변화 과정을 거치는 상호작용 방식이므로, 교사는 학생들 사이에 새로운 오개념이 나타나지 않도록 주의할 필요가 있다.

한편, 운영 관련 상호작용에서는 진행의 비율(57개; 73.1%)이 기록의 비율(21개; 26.9%)보다 더 높게 나타났다. 이는 개별 진술 단위의 분석에서 증강현실과 관련한 진행 관련 진술의 비율이 높았던 결과와 같은 맥락이다. 진행 상호작용은 증강현실의 원리와 사용법에 대하여 이해가 부족한 학생들이 수업에 원활하게 참여할 수 있도록 촉진하는 역할을 하며, 기기 사용이 활동의 중심이 되는 증강현실을 활용한 소집단 학습의 특성상 어느 정도 불가피한 측면이 있다. 그러나 증강

현실에 내포된 과학적 개념보다는 기술적 측면에 관한 상호작용인 진행 상호작용이 수업 중 지나치게 많이 나타나는 것은 바람직하지 않다. 따라서 증강현실을 활용한 과학 수업을 하는 교사들은 학생들이 증강현실의 사용에 익숙해질 수 있도록 수업 중에 도움이 필요한 학생들이 참고할 수 있는 증강현실의 사용 방법에 관한 매뉴얼을 개발하여 제공하거나 교사가 직접 적극적인 조언을 제공할 필요가 있다.

2. 물리적 상호작용

증강현실을 활용한 소집단 학습에서 나타난 물리적 상호작용을 분석한 결과를 Table 6에 제시하였다. 전체 4,023개의 물리적 상호작용이 분석되었으며, 12명의 연구 참여자가 연습 차시를 제외하고 두 차시 동안 연구에 참여하였으므로 이는 한 학생이 한 차시당 평균 168개의 물리적 상호작용을 수행한 것과 같다. 이 중 증강현실의 가상 객체를 대상으로 한 상호작용이 45.9%(1,848개)로 가장 높은 비율로 나타났으며, 증강현실의 마커를 대상으로 한 상호작용의 비율은 30.2%(1,213개), 활동지를 대상으로 한 상호작용은 23.9%(962개)로 나타났다.

증강현실에서 가상 객체의 종류와 크기, 위치 등은 마커에 연동되므로, 증강현실에서의 조작성은 마커 및 가상 객체를 대상으로 나타날 수 있다. 예를 들어 마커에 대한 조작성은 마커를 선택하거나 마커를 스마트 기기에 가까이 위치시키는 행동, 마커를 이동시키는 행동 등을 통해 나타날 수 있고, 가상 객체에 대한 조작성은 스마트 기기의 화면상에서 손가락으로 가상 객체를 직접 드래그하여 확대하거나 회전하는 행동, 가상 객체에 대한 인식을 초기화하는 행동으로 나타날 수 있다. 이때 가상 객체에 대한 상호작용은 원자 모형이나 분자 모형 등 증강된 가상 객체를 관찰하는 행동이 35.0%로 높은 비율을 차지하였다. 반면, 가상 객체를 조작하는 활동이라 할 수 있는 확대 및 회전, 캡처, 초기화하는 행동의 비율은 1.1-4.3%로 낮은 편이었다. 마커에 대한 상호작용은 마커 세트 중에서 관찰할 마커를 선택하는 행동의

Table 6. Frequencies of physical interaction

Category	Sub-category	Both verbal and physical interaction		Physical interaction only	Total
		Knowledge construction	Management		
Augmented Reality	Physical Object				
	Selecting a marker	86 (7.0)	123 (12.0)	219 (12.4)	428 (10.6)
	Locating a marker	88 (7.2)	119 (11.6)	215 (12.1)	422 (10.5)
	Refreshing a marker	21 (1.7)	17 (1.7)	43 (2.4)	81 (2.0)
	Moving a marker	49 (4.0)	84 (8.2)	149 (8.4)	282 (7.0)
	Sub-total	244 (20.0)	343 (33.4)	626 (35.3)	1,213 (30.2)
Augmented Reality	Virtual Object				
	Gazing a virtual object	425 (34.8)	388 (37.7)	596 (33.6)	1,409 (35.0)
	Magnifying a virtual object	46 (3.8)	53 (5.2)	74 (4.2)	173 (4.3)
	Rotating a virtual object	37 (3.0)	27 (2.6)	67 (3.8)	131 (3.3)
	Capturing a virtual object	11 (0.9)	8 (0.8)	25 (1.4)	44 (1.1)
	Resetting a virtual object	11 (0.9)	37 (3.6)	43 (2.4)	91 (2.3)
	Sub-total	530 (43.4)	513 (49.9)	805 (45.4)	1,848 (45.9)
Worksheet	Reading a worksheet	85 (7.0)	41 (4.0)	69 (3.9)	195 (4.8)
	Writing a worksheet	363 (29.7)	131 (12.7)	273 (15.4)	767 (19.1)
	Sub-total	448 (36.7)	172 (16.7)	342 (19.3)	962 (23.9)
Total		1,222 (100.0)	1,028 (100.0)	1,773 (100.0)	4,023 (100.0)

비율이 10.6%, 가상 객체를 증강시키기 위해 마커를 스마트 기기의 카메라에 위치시키는 행동의 비율이 10.5%로 서로 유사하게 나타났다. 화학 결합의 생성 과정을 관찰하기 위해 두 개 이상의 원자 마커들을 이동시키는 행동의 비율도 7.0%로 나타났다. 사용한 마커들을 모아 초기 상태로 되돌리는 행동의 비율은 2.0%로 낮은 편이었다. 즉, 학생들은 가상 객체를 대상으로는 조작하는 활동보다는 관찰하는 행동을 주로 수행하였고, 증강현실을 조작하고 탐색하는 행동은 주로 마커를 대상으로 수행하였다.

학생들이 가상 객체를 확대하거나 회전할 때는 화면상의 가상 객체를 직접 손가락으로 드래그하여 조작하기보다 스마트 기기 자체를 마커에 가까이 위치시키거나 마커를 회전시키는 행동을 주로 하였고, 가상 객체의 인식을 초기화할 때도 마커를 카메라 밖으로 이동시켰다가 다시 인식시키는 행동을 주로 하였다. 이는 교사가 학생들에게 알려준 것이 아니라 학생들이 증강현실을 사용하는 과정에서 자연스럽게 나타난 행동으로, 현실의 사물을 조작함으로써 가상 객체를 조작할 수 있는 증강현실의 매체적 특징인 실물형 사용자 인터페이스(tangible user interface; KERIS, 2007)와 관련이 있다. 디스플레이나 키보드, 마우스와 같은 도구를 활용해야 하는 다른 디지털 교수학습 매체와 달리, 증강현실은 학생이 직접 손으로 객체를 잡고(grasp) 조작할 수 있으므로 학생들에게 더욱 직관적이고 자연스러운 어포던스(affordance; Norman, 1988)를 제공한다. 이는 학생들이 증강현실의 활용 방법을 더 쉽게 이해할 수 있도록 할 뿐만 아니라, 다양한 감각을 자극함으로써 목표 개념에 대한 이해 향상에도 도움을 줄 수 있다.

스마트폰으로만 하면 터치만 할 수 있는데, (증강현실에서는 마커나 가상 객체를) 저희가 직접 모으고 떨어뜨리고, 그걸 직접 손으로 하잖아요. 그 과정을 연상할 수 있는... 분자가 만들어지고, 이온 결합이 만들어지고 분해되었을 때, 저희 손으로 똑같이 모이고 그러잖아요? 저희 손을 보면서 원자들이 어떻게 모이는지 연상이 잘 된 것 같아요.

[학생 D의 면담 중에서]

증강현실을 활용한 소집단 학습에서 나타난 물리적 상호작용의 특징을 더욱 자세히 조사하고자 언어적 상호작용의 유형에 따라 나타난 물리적 상호작용의 빈도를 분석하였다. 전체 물리적 상호작용 4,023개 중 학생들이 유의미한 언어적 상호작용 없이 물리적 상호작용만 하고 있을 때 나타난 물리적 상호작용의 비율이 44.1%(1,773개)로 가장 높았으며, 지식 구성 언어적 상호작용을 할 때 나타난 물리적 상호작용의 비율은 30.4%(1,222개), 운영 관련 상호작용을 할 때 나타난 비율은 25.6%(1,028개)였다. 따라서 증강현실을 활용한 소집단 학습에서 학생들은 유의미한 언어적 상호작용을 하지 않고 있을 때 마커와 가상 객체를 조작하거나 관찰하는 등 더욱 활발한 물리적 상호작용을 수행한 것으로 여겨진다.

지식 구성 상호작용과 물리적 상호작용이 함께 일어날 때, 운영 관련 상호작용과 물리적 상호작용이 함께 일어날 때, 그리고 언어적 상호작용 없이 물리적 상호작용만 일어날 때를 서로 비교하면, 학생들이 가상 객체와 상호작용하는 비율은 각각 43.4%, 49.9%, 45.4%로 유사하게 나타났다. 또한, 마커와 상호작용하는 비율은 운영 관련 상호작용이 물리적 상호작용과 함께 일어날 때와 유의미한 언어적 상호작용 없이 물리적 상호작용만 일어날 때 각각 33.4%와 35.3%, 활동지와 상호작용하는 비율은 각각 16.7%와 19.3%로 모두 서로 유사한

결과를 나타내었다. 그런데 지식 구성 언어적 상호작용이 물리적 상호작용과 함께 일어날 때는 마커와 상호작용 하는 비율이 20.0%로 감소하고 활동지와 상호작용 하는 비율이 36.7%로 높아졌다. 즉, 학생들은 지식 구성 언어적 상호작용을 할 때는 마커보다는 가상 객체를 응시하면서 활동지를 읽고 쓰는 활동에 더 집중하였고, 운영 관련 상호작용을 하거나 물리적 상호작용만을 할 때는 마커를 선택, 위치시키거나 확대, 회전하는 등 다양하게 조작하는 등 증강현실을 통한 다양한 탐색적 활동을 수행한 것으로 나타났다.

운영 관련 상호작용과 물리적 상호작용이 함께 일어나거나 언어적 상호작용 없이 물리적 상호작용만 일어난 비율이 전체 물리적 상호작용의 69.6%에 달하며, 이때 탐색적 활동이 더욱 많이 일어났다는 이상의 결과는 주목할 만하다. 아무리 효과적인 교수학습 도구를 활용하더라도 도구는 그 자체로 유의미하지 않으며, 학생이 자신의 활동에 통합시켜 사용할 때 비로소 유의미한 도구가 된다(Verillon & Rabardel, 1995). 특히 증강현실과 같이 과학기술이 집약되어 있고 학생들에게 익숙하지 않은 도구의 경우에는 도구 자체를 자유로이 탐색하면서 이에 익숙해질 충분한 시간이 더욱 많이 요구된다(Lee, Noh, & Lee, 2017). 따라서 지식 구성 언어적 상호작용이 일어나지 않을 때 나타났던 탐색적 활동은 학생들이 증강현실에 대하여 충분한 탐색과 숙달 과정을 거침으로써 증강현실을 의미 있는 교수학습 도구로 사용할 기회를 제공하였다는 점에서 매우 중요하다고 할 수 있다.

원자들이 움직이는 과정, 이온 결합 물질이라든지 공유 결합 물질이라든지 그 과정들을 볼 수 있어서 좋았어요. 직접 저희가 이리저리 조합해보고 하니까 이론 수업보다는 더 참여하는 수업인 것 같아서 더 재미있었어요.

[학생 D의 면담 중에서]

증강현실은 학생이 몰입감을 느끼며 가상 객체를 관찰할 수 있게 하는 매체적 특징을 지니고 있다. 그러나 학생들의 활동이 단순히 현상을 관찰하는 수준에 머무른다면, 전통적인 탐구 상황의 경우 탐구 활동을 통해 기대되는 인지적, 정서적 효과가 제한될 수 있다고 보고된 바 있다(Bunterm *et al.*, 2014; Chinn & Malhotra, 2002; Schmid & Bogner, 2017). 마찬가지로 증강현실을 활용한 학습 상황에서도 학생들이 단순히 가상 객체를 관찰하는 수준에 그친다면 증강현실의 활용을 통해 기대되는 효과는 제한될 가능성이 있다. 그러므로 증강현실을 활용한 소집단 학습의 효과를 높이기 위해서는 학생들이 증강현실의 마커와 가상 객체에 집중하여 증강현실의 작동 원리와 그 안의 콘텐츠를 탐색할 시간을 충분히 제공해야 할 것이며, 관찰한 가상 객체에 대해서도 학생들이 충분히 토의할 수 있는 전략을 마련할 필요가 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 증강현실을 활용한 협력적 과학 학습 상황에서 나타나는 특징을 심층적으로 조사하고자 소집단 내에서 이루어지는 언어적 상호작용과 물리적 상호작용을 분석하였다. 이를 통해 과학 수업에서 증강현실의 활용 효과를 높일 수 있는 교수학습 전략의 개발 등에 활용할 수 있는 기초 자료와 시사점을 얻고자 하였다.

증강현실을 활용한 소집단 과학 수업에서 나타나는 학생들의 언어적 상호작용을 분석한 결과, 개별 진술 단위 수준에서는 정보 질문과

정보 설명 및 방향 질문과 방향 설명에 관한 진술의 비율이 높았으며, 운영 중 진행에 관한 진술의 비율도 높게 나타났다. 상호작용 단위 수준에서는 정교화 상호작용 중 교정형 및 누적형 상호작용과 운영 관련 상호작용 중 진행 관련 상호작용의 비율이 높게 나타났다. 다음으로 학생들의 물리적 상호작용을 분석한 결과, 증강현실의 가상 객체를 대상으로는 대부분 관찰하는 행동이 나타났지만, 마커를 대상으로는 주로 마커를 선택하고 위치시키는 등의 조작 행동이 주로 나타났다. 또한, 학생들이 물리적 상호작용을 할 때는 유의미한 언어적 상호작용 없이 물리적 상호작용에만 집중하는 경우가 가장 많았고, 마커의 조작과 관련한 다양한 탐색적 활동은 물리적 상호작용만 수행하거나 운영 관련 언어적 상호작용을 하며 물리적 상호작용을 할 때 주로 나타났다. 반면, 지식 구성 언어적 상호작용을 하며 물리적 상호작용을 할 때는 가상 객체를 응시하거나 활동지 관련 활동을 하는 비율이 높았다. 이상의 연구 결과를 바탕으로 증강현실을 활용한 과학 수업의 효과를 높이기 위한 제언을 할 수 있다.

학생들의 언어적 상호작용에서 교정형 및 누적형 상호작용이 주로 나타난 이유는 증강현실을 사용하는 과정에서 소집단 내의 모든 학생이 각자 학습에 주도적으로 참여하고 소집단 내의 다른 학생으로부터 원활하게 피드백을 받을 수 있는 학습 환경이 마련되었기 때문이었다. 교정형 및 누적형 상호작용은 학생의 개념 이해에 도움이 되는 바람직한 상호작용이므로, 과학 수업에서 증강현실을 활용하는 교사는 이러한 정교화 상호작용이 원활하게 이루어질 수 있도록 개방적인 수업 분위기를 조성할 필요가 있다. 하지만, 학생들이 교정형 상호작용을 하는 과정에서 오개념이 발생할 수 있고 이를 올바르게 교정하지 못한 상태에서 수업이 진행될 수 있으므로 교사는 이를 유의할 필요가 있다. 예를 들어, 교사가 교실을 순회하며 학생들의 상호작용을 주의 깊게 관찰하고 필요한 경우 즉각적인 피드백을 제공하거나, 학생 활동을 마친 후 교사와 학생이 함께 학습 내용을 정리하는 활동을 할 수 있다. 또한, 증강현실을 활용한 협력학습에서 지식 구성과 관련된 언어적 상호작용이 일어나지 않을 때 증강현실을 조작 및 탐색하는 물리적 상호작용이 활발하게 일어났고, 학생들의 지식 구성 상호작용은 가상 객체에 초점을 두고 일어났다는 점도 적극적으로 고려될 필요가 있다. 이를 위해 교사는 먼저 학생들이 증강현실의 요소를 탐색 및 숙달할 수 있는 충분한 시간을 제공해야 하며, 이후 가상 객체를 중심으로 학생들이 지식 구성 상호작용에 집중하도록 장려해야 할 것이다.

한편, 언어적 상호작용에서 방향 질문과 방향 설명의 비율이 높았고, 물리적 상호작용에서 탐색적인 활동이 많이 수행되었다는 점은 화학 결합과 같이 직접적인 관찰이 어려운 현상을 학생이 탐구할 수 있는 형태로 제공할 수 있는 증강현실의 장점이 잘 드러난 것으로 볼 수 있다. 하지만 이와 같은 탐색적 활동이 수행될 때 언어적 상호작용에서 진행에 관한 개별 진술 및 상호작용의 비율이 공통적으로 높았다는 점은 증강현실을 활용한 수업에서 증강현실의 구성 요소나 가상 객체의 증강을 위한 기술적 측면에 대한 논의와 이를 숙달하는 행동이 큰 비중을 차지하고 있다는 것을 의미한다. 이 연구에서는 증강현실의 가상 객체를 직접 구현해보는 등의 실천적인 오리엔테이션을 겸한 연습 차시를 통해 학생들이 증강현실에 익숙해질 기회를 제공하였으나, 연습 차시 이후에도 증강현실을 활용한 경험의 유무나 연습 차시에 적극적으로 참여한 정도와 같은 요소에 의해 학생들이

이 연구에서 사용한 증강현실 어플리케이션에 익숙한 정도에는 차이가 있었다. 증강현실에 대하여 다양한 이해 수준을 가진 학생들이 여러 상호작용을 통해 증강현실의 원리와 사용법에 대한 이해를 함께 발전시켜 나가는 활동은 첨단 기술을 활용하는 수업에서 나타나는 자연스러운 현상이지만, 교수학습의 관점에서 학생들의 활동이 기술적인 측면에 지나치게 집중되는 것은 바람직하지 않다. 따라서 증강현실을 활용한 수업을 담당하는 교사는 학생들이 증강현실에 익숙해질 수 있는 충분한 연습 시간을 부여하고, 수업 중에도 매뉴얼과 같은 보조 자료를 제공할 필요가 있다.

증강현실을 활용한 협력학습의 효과를 높이기 위해서는 교사뿐만 아니라 다양한 관계자들의 노력이 필요하다. 특히, 증강현실을 활용한 수업에서 학습 활동은 증강현실 콘텐츠의 탐색성 및 조작성과 같은 매체적 특징에 많은 영향을 받기 때문에 증강현실 개발자는 학생들의 상호작용을 촉진하고 탐색 및 조작 활동이 원활하게 이루어질 수 있도록 기획해야 한다. 예를 들어, 증강현실로 목표 개념을 학습하기 전 오리엔테이션을 위한 연습 또는 튜토리얼(tutorial) 콘텐츠를 고려할 필요가 있다. 또한 연구자는 앞서 언급한 요소를 포함하고 증강현실의 활용 효과를 극대화할 수 있는 교수학습 전략 등을 개발하여 교사에게 제공할 필요가 있다. 이때 교사들이 증강현실을 활용한 수업에서 나타나는 학생들의 언어적 및 물리적 상호작용의 특징을 이해하고 상호작용에 영향을 주는 증강현실의 매체적 특성을 우선적으로 고려하도록 하면 효과적일 것이다.

한편, 이 연구에서는 증강현실을 활용한 협력학습에서 나타나는 물리적 상호작용과 언어적 상호작용을 세부적으로 분석하였기 때문에 학습 내용에 대한 학생들의 의미 구성 과정을 깊이 이해하는 데 한계가 있다. 따라서 후속 연구에서는 소집단 구성원들이 증강현실을 활용하여 어떻게 과학 개념을 구성하는지에 대한 질적 연구가 필요하다. 또한, 이 연구의 제언을 반영한 구체적인 교수학습 전략을 개발 및 적용할 뿐만 아니라 학교급이나 증강현실의 조작성 유무 등의 다양한 변인을 고려하여 증강현실의 교수학습 효과를 탐색할 필요가 있다. 이를 통해 학교 현장에서 증강현실이 효과적이고 바람직하게 활용될 수 있는 방법에 대한 실증적 정보를 누적해나가기야 할 것이다.

국문요약

이 연구에서는 증강현실을 활용한 협력적 과학 개념학습에서 나타나는 학생들의 언어적 상호작용과 물리적 상호작용을 심층적으로 조사하였다. 3개의 소집단으로 구성된 고등학교 1학년 학생 12명이 연구에 참여하였다. 이들은 화학 결합 개념 이해를 목표로 개발된 스마트 기기 기반의 증강현실 어플리케이션을 활용한 수업에 참여하였다. 학생들의 수업 과정은 녹음 및 녹화하였으며, 반구조화된 면담을 실시하였다. 연구 결과, 언어적 상호작용 중 개별 진술 단위에서는 정보 질문과 정보 설명 및 방향 질문과 방향 설명에 관한 진술의 비율이 높았고, 상호작용 단위에서는 교정형 및 누적형 상호작용의 비율이 높았다. 학습 진행에 관한 개별 진술 및 상호작용의 비율도 높게 나타났다. 학생들의 물리적 상호작용은 유의미한 언어적 상호작용 없이 단독으로 이루어진 경우가 가장 많았다. 학생들이 지식 구성 언어적 상호작용을 하며 물리적 상호작용을 할 때는 가상 객체를 응시하거나 활동지 관련 활동을 하는 비율이 높았던 반면, 물리적 상호

작용만 수행하거나 운영 관련 언어적 상호작용을 하며 물리적 상호작용을 할 때는 증강현실의 마커의 조작과 관련한 다양한 탐색적 활동이 주로 나타났다. 연구 결과를 바탕으로 과학 교과에서 증강현실을 활용한 협력적 개념학습이 효과적으로 이루어지기 위한 방안을 제안하였다.

주제어 : 증강현실, 언어적 상호작용, 물리적 상호작용, 협력학습

References

- Abram, P., Scarloss, B., Holthuis, N., Cohen, E., Lotan, R., & Schultz, S. E. (2002). The use of evaluation criteria to improve academic discussion in cooperative groups. *Asia Pacific Journal of Education*, 22(1), 16-27.
- Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1-11.
- Arici, F., Yildirim, P., Caliklar, Ş., & Yilmaz, R. M. (2019). Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. *Computers & Education*, 142, 103647.
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355-385.
- Bunterm, T., Lee, K., Ng Lan Kong, J., Srikoon, S., Vangpoomyai, P., Rattanavongsa, J., & Rachahoon, G. (2014). Do different levels of inquiry lead to different learning outcomes? A comparison between guided and structured inquiry. *International Journal of Science Education*, 36(12), 1937-1959.
- 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.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Diegmann, P., Schmidt-Kraepelin, M., Eynden, S., & Basten, D. (2015). Benefits of augmented reality in educational environments: A systematic literature review. *Proceedings of the 12th International Conference(pp. 1542-1566) Wirtschaftsinformatik, Osnabrück, Germany.*
- Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18(1), 7-22.
- Gillies, R. M. (2004). The effects of cooperative learning on junior high school students during small group learning. *Learning and Instruction*, 14(2), 197-213.
- Jang, S.-H., & Kye, B.-K. (2007). Educational application of augmented reality contents [증강현실(Augmented Reality) 콘텐츠의 교육적 적용]. *The Korea Contents Association Review*, 5(2), 79-85.
- Joo, Y., Kim, K., & Noh, T. (2014). A comparison of verbal interaction patterns in science cooperative learning based on grouping by middle school students' collectivism. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(3), 221-233.
- Jung, Y., Sung, Y., Lim, S., Ryu, J., Seo, H., & Ahn, H. (2017). A study on the implementation of future digital textbooks [미래형 디지털 교과서 구현 방안 연구]. Seoul: Korea Education & Research Information Service. Report No. CR 2017-4.
- Kang, S., Kim, C., & Noh, T. (2000). Analysis of verbal interaction in small group discussion. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 20(3), 353-200.
- Kim, K.-H. (2009). The effects of learning activities on the application of augmented reality contents in elementary science instruction. *The Journal of Korean Association of Computer Education*, 12(5), 75-85.
- Korea Education & Research Information Service [KERIS] (2007). Educational understanding of augmented reality. Seoul: Korea Education & Research Information Service. 2007 KERIS Issue Report. Report No. RM 2007-30.
- Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity [KOFAC] (2015). Science level up. Retrieved Jan 16, 2020, from <https://sciencelevelup.kofac.re.kr/>
- Kye, B., & Kim, Y. (2008). Investigation on the relationships among media characteristics, presence, flow, and learning effects in augmented reality based learning. *Journal of Educational Technology*, 24(4), 193-224.
- Lee, H. J. (2011). Conceptual change by peer instruction of 6th grade students in science fields. Master's Thesis, Korea National University of Education, Cheongju.
- Lee, J., Noh, T., & Lee, S. (2017). The characteristics of instrumental genesis appearing in the processes of high school students' school scientific inquiries. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(6), 971-980.
- Li, N., Gu, Y. X., Chang, L., & Duh, H. B.-L. (2011). Influences of AR-supported simulation on learning effectiveness in face-to-face collaborative learning for physics. Paper presented at the 2011 IEEE 11th International Conference on Advanced Learning Technologies(pp. 320-322). Georgia, USA.
- Liu, P.-H. E., & Tsai, M.-K. (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.
- Matcha, W., & Rambli, D. R. A. (2013). Exploratory study on collaborative interaction through the use of augmented reality in science learning. *Procedia Computer Science*, 25, 144-153.
- Matthews, M. R. (2002). Constructivism and science education: A further appraisal. *Journal of Science Education and Technology*, 11(2), 121-134.
- Muñoz-Cristóbal, J. A., Jorrín-Abellán, I. M., Asensio-Pérez, J. I., Martínez-Monés, A., Prieto, L. P., & Dimitriadis, Y. (2014). Supporting teacher orchestration in ubiquitous learning environments: A study in primary education. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 8(1), 83-97.
- 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.
- Norman, D. A. (1988). *The psychology of everyday things*. New York: Doubleday.
- Pedersen, S., & Irby, T. (2014). The VELscience project: Middle schoolers' engagement in student-directed inquiry within a virtual environment for learning. *Computers & Education*, 71, 33-42.
- Price, S., & Rogers, Y. (2004). Let's get physical: The learning benefits of interacting in digitally augmented physical spaces. *Computers & Education*, 43(1-2), 137-151.
- Ryu, J., Jo, I., Heo, H., Kim, J., & Kye, B. (2006). The next generation of learning model for augmented reality enhanced in tangible interface. Seoul: Korea Education & Research Information Service. Report No. CR 2006-18.
- Schmid, S., & Bogner, F. X. (2017). How an inquiry-based classroom lesson intervenes in science efficacy, career-orientation and self-determination. *International Journal of Science Education*, 39(17), 2342-2360.
- Seo, H. (2008). Relationships among presence, learning flow, attitude toward usability, and learning achievement in an augmented reality interactive learning environment. *Journal of Korean Association for Educational Information and Media*, 14(3), 137-165.
- Shelton, B. E. (2003). How augmented reality helps students learn dynamic spatial relationships. Doctoral Dissertation, University of Washington, Seattle, USA.
- Verillon, P., & Rabardel, P. (1995). Cognition and artifacts: A contribution to the study of thought in relation to instrumented activity. *European Journal of Psychology of Education*, 10(1), 77-101.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge: Harvard University Press.
- Wu, H.-K., Lee, S. W.-Y., Chang, H.-Y., & Liang, J.-C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62, 41-49.
- Yuen, S. C. Y., Yaouneyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented reality: An overview and five directions for AR in education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 4(1), 119-140.
- Yun, J., Kang, S., Ahn, I., & Noh, T. (2017). Analyses of verbal interaction among students in small group science learning using smart devices. *Journal of the Korean Chemical Society*, 61(3), 104-111.

저자 정보

- 신석진(서울대학교 학생)
 김혜린(서울대학교 학생)
 노태희(서울대학교 교수)
 이재원(서울대학교 박사 후 연구원)