Journal of the Korean Association for Science Education
Journal homepage: www.koreascience.org

가상현실 특성을 반영한 VR 프로그램 기반 수업 적용 및 효과

최섭, 김희백*
서울대학교

Application and Effects of VR-Based Biology Class Reflecting Characteristics of Virtual Reality

Seop Choi, Heui-Baik Kim*
Seoul National University

ARTICLE INFO
Article history:
Received 16 March 2020
Received in revised form
25 March 2020
16 April 2020
Accepted 17 April 2020

Keywords:
virtual reality, VR, development of virtual reality program, characteristics of virtual reality, effects of virtual reality, VR-based class, model, modeling performance level

ABSTRACT

The purpose of this study is to explore the effects of a VR(virtual reality)-based biology class on both the cognitive and affective domains by developing and applying a VR-based biology program for 6th-grade elementary school students. For this research, we developed a VR teaching material about 'digestion' reflecting virtual reality characteristics and one hundred five students in an elementary school in an urban area participated in this study and took three VR-based lessons. To examine the cognitive effects of a VR-based biology class, the study subjects were divided into two groups. The experimental group was composed of 50 individuals who participated in VR-based biology lessons, while 55 students of a control group learned through general lessons. We collected data using drawing tasks for measuring students' modeling performance level from these groups and analyzed the cognitive effect of VR-based instruction. We also recorded 21 interviews of students after the intervention, which were transcribed to verify the students' perception of cognitive and affective effects. The key results are as follows: First, we demonstrated the possibility of applying a VR program reflecting VR characteristics (manipulation, multi-sensory, and interaction). Second, we found out that a VR-based biology class significantly enhances higher levels of thinking (spatial, abstract, and reflective thinking). Third, we examined students' perceptions on this program and came to the conclusion that VR characteristics positively affected cognitive and affective domains. This study may be able to contribute to offering guidelines on how to apply VR-programs to future science education effectively.

Ⅰ. 서론

지난 50년 동안 컴퓨터 기반 교수 방법을 위한 기술은 획기적으로 변화해 왔으며, 과학 교육에 테크놀로지를 적용하는 것에 대한 논의가 지속적으로 이루어져 왔다(Psotka, 1995; Kim & Kim, 1988). 컴퓨터를 이용한 MBL 실험, 스프레드시트 프로그램뿐만 아니라 VR (Virtual Reality), AR(Augmented Reality)에 이르기까지 다양한 테크놀로지의 현장 교육 도입이 가능해졌으며 이에 대한 전반적인 논의가 필요한 상황이다. 특히 VR 환경은 지금까지 교육에서 활용되어 온 멀티미디어 학습 환경을 뛰어넘어 3D 입체 환경을 통한 중다감각적 상호작용을 가능하게 함으로써 학습자의 동기 유발은 물론이고 탐구 능력 및 문제해결 능력의 향상에 기여할 수 있다(Leem, 2001). 그뿐만 아니라 VR 테크놀로지는 기존에 이해하기 어려웠던 추상적인 내용 영역의 학습을 지원할 수 있는 잠재 가능성이 풍부한 도구이기 때문에 향후 교육적 활용 가치가 매우 높은 시스템으로 평가되며, 교육의 새로운 지평을 여는 도구라고 할 수 있다(Rheingold, 1991). 따라서 학계, 산업계 및 정부는 이러한 노력을 지원하기 위한 새로운 플랫폼, 도구 및 자원을 개발하기 위해 노력하고 있으며, 많은 재정과 시간 및 기타 자원들을 이러한 3D기술의 교육적 잠재력을 활용하기 위한 노력에 할애하고 있다(de Freitas, 2006).

HMD(head mounted display) 장치의 발달은 몰입 가능한 VR 환경을 제공하였다(Chien & Jenkins, 1994). 현격히 향상된 HMD 디스플레이의 해상도를 통해 실제에 가까운 가상현실 환경이 구현되고 그 공간에서 상호작용할 수 있게 되었을 뿐만 아니라 VR 장치의 가격대 또한 구매 가능한 수준까지 떨어졌다(Won *et al*., 2019). 또한 기존에는 데스크탑 컴퓨터와 연결해야 했던 기존 장치의 불편함을 해소하기 위해 무선으로 컴퓨터와의 연결 없이 작동할 수 있는 가벼운 독립형 HMD 장치가 출시되어 가상현실 장치의 보관과 이동이 용이해진 상황이다. 현재 장치의 무게를 더 줄이고 이동성을 극대화하기 위해 글래스 형태뿐만 아니라 콘텍트렌즈 형태의 VR 장치도 상용화를 앞두고 있다. 이러한 기술 혁신을 기반으로 VR 환경을 마련하는데 장애가 되었던 고비용과 이동의 불편함이 해소되면서 VR에 대한 관심이 다양한 분야에서 증대되고 있으며(Dalgarno & Lee, 2010), 현재 VR 기술은 상업, 연예, 군사 등 여러 분야에 적용되고 있으며 교육 분야에서도 확산되고 있다(Chen, 2006; Mcfarlane, Sparrowhawk & Heald, 2002).

VR을 교육 분야에 적용하고 그 효과를 살피고자 시도하는 연구들은 데스크탑 컴퓨터를 기반으로 하는 VR 기술이 확산된 2000년대부터 본격적으로 연구가 수행되기 시작되었다(Merchant *et al*., 2014). 교육 연구에서 VR 기술은 예비 교사에서부터 대학생과 중·고등 학생들에게까지 다양한 대상에 적용되었다. 가상 세계 프로그램이 예비

* 교신저자 : 김희백 (hbkim56@snu.ac.kr)
http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2020.40.2.203

교사의 교수, 동기, 훈육에 관한 역량과 자기효능감을 유의미하게 향상시키는 데 도움이 된다는 연구 결과(Cho, Hong, & Lee, 2014)가 있었으며, Larsen et al.(2009)은 가상현실 수술 실험 교육을 통해 의대생들의 기능이 향상된다고 밝혔다. 또한 VR 기술이 다양한 학문 분야에서 개념적 지식뿐만 아니라 실험수행능력과 같은 절차적 지식의 발달에 영향을 미친다는 연구들이 수행되었다. 의학 분야에서는 환자들이 복용하게 될 약품 간의 화학적 상호작용을 탐구하는 학습에 도움을 준다는 연구(Andersen & Weng, 1999)가 있었으며, 화학 교육 분야에서는 VR 기술을 기반으로 한 컴퓨터 시뮬레이션 실험 수업을 수행할 때 화학 지식과 과학 탐구 능력에서의 효과를 보고한 연구(Geban, Askar, & Ozkan, 1992), 9학년 학생들을 대상으로 VR 프로그램을 적용한 화학 수업을 통해서 흥미와 학업성취, 절차 지식이 향상된다는 연구(Tatli & Ayas, 2013; Tüysüz, 2010)가 있었다. 또한 수학 교육 분야에서는 고등학생들의 수학적 개념을 향상시킨다는 연구(Pasqualotti & Freitas, 2002)가 있었고, 언어 교육 분야에서는 VR 인터넷 플랫폼인 Second Life 프로그램이 미국과 일본의 양국 교환학생들의 상호작용을 통한 언어 학습 향상에 기여한다는 연구(Kelton, 2007), 생물 교육 분야에서는 개구리를 해부하는 실험을 수행하는 연구가 있었다(Lee, Wong, & Fung, 2010).

이러한 선행연구들이 수행되어 왔음에도 불구하고, 여러 한계점이 있으므로 추가적인 연구가 이루어질 필요가 있다. 먼저 VR 프로그램이 교과수업에 적용된 연구가 중·고등학생들을 대상으로는 수행되었으나 초등학생을 대상으로 이루어진 연구는 미비한 상황이다. 또한 이제까지의 연구가 수행된 장치로는 가상현실의 고유한(unique) 특성인 조작(Manipulation), 감각화(Sensitization), 상호작용(Interaction)을 반영한 콘텐츠가 구현되기 어렵다. 먼저 기존 연구에서처럼 VR 장치를 PC에 연결해야 하는 상황에서는 360도의 자유로운 시선 조작이 전선 없이 이루어지기 힘들다는 공간적인 제약이 있으므로 가상현실 콘텐츠의 조작적 특성이 제대로 반영될 수 없다. 또한 PC 연결형이 아니더라도 핸드폰을 삽입한 저화질의 장치로 가상환경이 제시되는 이제까지의 하드웨어 상황에서는 어지럼증을 심하게 야기하는 단점이 있을 뿐만 아니라 현실과 비슷한 공간 구현을 통해 학생들에게 실제적인 감각을 제공해서 몰입하도록 유도하는 감각화적 특성이 발현될 수 없다. 그리고 콘트롤러 없이 단지 일방적으로 보기만 하는 장치를 사용하는 상황에서는 가상현실 안에서의 콘텐츠와 역동적인 상호작용을 기대할 수 없다. 그동안 이러한 하드웨어적 한계 속에서 가상현실의 고유한 특성을 체계적으로 반영한 VR 수업 콘텐츠가 개발되기 어려웠으며 연구에서도 그 효과가 제대로 드러나기 힘들었다. 또한 기존의 VR 기반 수업의 효과를 탐색하는 연구들에서 변인이 학업성취와 흥미, 절차적 지식으로 한정되어 있었다는 점과 연구 방법에서도 양적 연구에 치우쳐 연구가 수행되어왔다는 한계(Choi & Kim, 2019)도 극복될 필요가 있다.

본 연구에서는 가상현실의 특성이 반영된 컨텐츠를 '우리 몸의 소화'라는 주제로 개발하였다. 이 주제는 초등학생들은 소화, 순환, 호흡, 배설과 같은 우리 몸의 구조와 기능에 대한 비과학적인 선개념을 가지고 있다는 연구(Kim & Chung, 1995)와 추상적인 개념에 대하여 과학적 이해를 하는 과정에서 시각화하여 도움을 줄 필요가 있다(Choi & Kim, 2013)는 연구를 바탕으로 선정하였다. 본 연구에서는 VR 컨텐츠를 개발하는 과정에서 가상현실의 특성이 적절히 반영될 수 있도록 고려하였으며 '소화'라는 추상적인 과학 개념의 시각화가 학생들의 개념 이해에 미치는 적용 효과를 탐색하였다.

본 연구는 초등학교 교과 단원인 '우리 몸의 소화와 순환'을 주제로 한 가상현실 기반 수업 프로그램의 개발과 적용을 통하여 학생들의 인지적·정의적 측면의 향상 효과를 검증하고 가상현실 기반 수업의 현장 정착과 일반화에 기여하고자 한다. 구체적인 연구 질문은 다음과 같다.

1. 어떻게 VR의 특성을 반영하여 '소화' 단원 수업에 적용 가능한 VR 교육 프로그램을 개발할 수 있는가?
2. VR 프로그램 기반 수업이 인지적·정의적 측면에서 효과가 있는가?

II. 연구 방법

1. 연구 절차

본 연구는 VR을 교육에 도입한 선행연구와 문헌조사 결과를 토대로 학교 현장에서 활용 가능한 VR 프로그램을 개발하고, 이를 초등학교 학생들에게 적용하여 인지적·정의적 효과를 확인하고자 하였다. 생식, 순환, 소화, 배설 및 인체의 구조와 같은 직접 관찰이 힘든 학습 내용인 경우 텍스트와 2D 교육 자료, 동영상 자료만으로는 학습하기 어려운 경향이 있으며 이러한 문제를 가상현실 기법을 통해 해결할 수 있다는 선행연구(Shim *et al*., 2003)가 있었다. 이러한 선행연구를 바탕으로, 초등학교 6학년 '우리 몸의 소화와 순환' 단원을 선정하였으며 이와 관련된 VR 프로그램을 개발하고 적용하였다. 적용 과정에서 3차시 분량의 VR 프로그램 기반 수업을 실험 집단에 투입하였으며, 통제 집단에서는 교사 주도의 강의식 수업을 3차시 동안 진행하였다. 이때 통제 집단의 학생들에게는 VR 프로그램만을 제외하고 학습지와 동영상 자료는 실험 집단과 동일하게 제공하였다. 연구의 절차는 Figure 1과 같다.

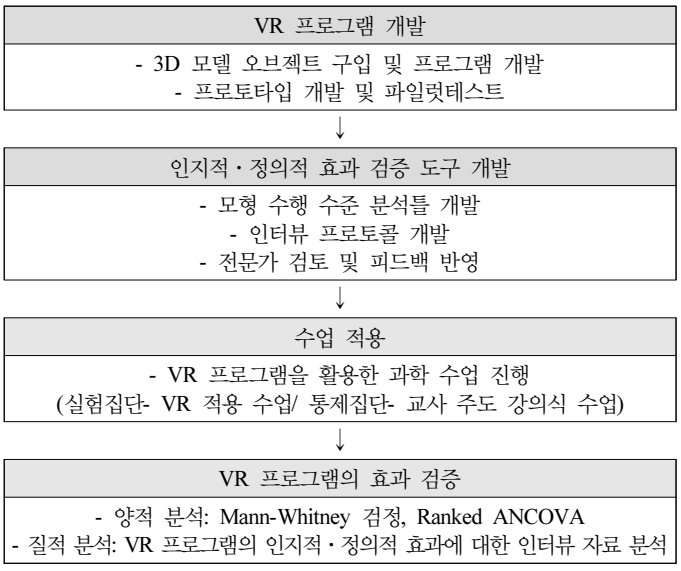


Figure 1. The procedure of the research

2. 연구 대상 및 연구 설계

연구의 대상은 S시 도심에 소재한 D 초등학교에 재학 중인 4개 학급의 6학년 학생들이었으며, 총 105명(남 68명, 여 37명)이 참여하였다. VR 프로그램 기반 수업의 효과를 살펴보기 위하여 VR 프로그램 기반 수업을 적용한 실험집단 2개 학급(50명)과 교육과정 내용을 일반 수업으로 실시한 통제 집단 2개 학급(55명)으로 구분하여 연구하였다(Table 1).

Table 1. Participants of this study

School level	*Elementary school*	
	experimental group	control group
Grade	*6*	*6*
Number	50	55

이 연구는 VR 프로그램 기반 수업이 학생들의 인지적・정의적 효과에 미치는 과정에서 잡음 변인이 개입할 가능성을 통제하기 어려운 한계가 있음에도 무선적으로 반을 배정하기 어려우므로, 준실험 설계(quasi-experimental design)를 실시하였으며, 구체적인 과정은 Figure 2에 나와 있다.

Experimental	O1	X1	O2	I
Control	O3	X2	O4	

↓

O1, O3 : Pre-test for measuring students' modeling performance level
X1: Class using the VR program
X2: Ordinary Class
O2, O4: Post-test for measuring students' modeling performance level
I: Interview

Figure 2. Research design

3. 프로그램 적용

학생들은 2인 1조가 되어 Oculus 사의 독립형 HMD 장치인 Oculus GO를 통해서 VR 프로그램 기반 수업에 3차시 동안 참여하였다. Table 2는 가상현실의 특성을 반영한 실제 수업 활동이다. VR 프로그램 기반 수업에서 조작적 특성을 반영하여 자유롭게 조작・탐구하는 시간을 학생들에게 제공하였으며, 360도 시점을 경험하도록 수업 중에 추가 안내하였다. 또한 감각화적 특성을 반영하여 실제물, 실제 사진, 실제 경험을 가상현실 상의 오브젝트와 연관 짓고, 시각, 청각, 자막을 포함한 다감각적 신호에 주목하도록 안내하였다. 그리고 상호작용적 특성을 반영하여 가상현실 콘텐츠와 상호작용을 하고 학습한 개념을 글과 그림의 과학적 모형으로 인출하여 다른 학생들과 공유하도록 하였다.

4. VR 프로그램 기반 수업의 효과 검증 방법

VR 프로그램 기반 수업을 적용한 결과, 연구 문제에 대한 데이터를 얻기 위해 양적 자료(모형 구성 자료)와 질적 자료(담화본)를 사전-사후 설계로 통합하여 데이터를 수집하였다. 학생들은 수업 이전에 사전 모형을 구성하도록 요청받았으며 수업 이후에 다시 동일한 검사지 상에서 사후 모형을 구성하여 두 모형 간의 변화를 관찰하였다. 또한 수집한 데이터를 바탕으로 통제 집단과 실험 집단의 평균 차이가 유의미한지 알아보기 위해 양적 분석 방법과 질적 분석 방법을 결합한 혼합 연구를 하였다. 먼저, 양적 분석에서는 구체적으로 학생의 모형 수행 수준에서 집단 간의 평균 차이가 통계적으로 유의한지 알아보기 위해 IBM SPSS statistics 25.0을 활용하여 Mann Whitney 검사를 실시하였고, 사전 검사에서 두 집단에 유의미한 차이를 보인 '시스템 표상화' 영역의 효과를 알아보기 위해 Sen & Puri(1971)의 이론을 바탕으로 Ranked ANCOVA로 검사하였다. 질적 자료는 수업 이후에 반구조화된 인터뷰를 통해 수집되었다. 이때 학생들은 '인지적 측면'과 '정의적 측면'의 질문이 포함된 프로토콜을 기반으로 인터뷰에 참여하였다. 인터뷰 결과를 인지적 효과와 정의적 효과에 대한 학생들의 인식이 드러나도록 하위 범주로 구분하였으며, 양적 데이터와 질적 데이터를 비교・분석함으로써 두 종류의 데이터에서 서로의 결론을 지지할 수 있도록 설계하였다.

5. 모형 수행 수준 분석틀

본 연구에서는 VR 프로그램 기반 수업의 결과로 나타나는 학생들의 모형 수행 수준의 변화를 알아보기 위하여 Choi & Kim(2019)의 모형 수행 수준 분석틀을 기반으로 여러 가지 모형 수행 수준에 관련된 선행연구들(Assaraf & Orion, 2005; Bamberger & Davis, 2013; Buckley, 2000; Ha, Lee & Kim, 2018)을 참조하여 모형 수행 수준 분석틀을 구성하였으며 Ha, Lee & Kim(2018)의 연구에서 강조한 '기능(Function)' 영역을 추가하였다. 또한 기존의 모형 수행 수준틀(Choi & Kim, 2019)의 '시스템' 영역을 '시스템 표상화(System Representaion)' 영역으로 이름을 수정하여 제시하였다. VR과 같은

Table 2. Activities in VR based class

Virtual Reality Characteristics Reflected in Class	Activities in Virtual Reality Class
Manipulation	-Provide students with free time to manipulate and explore the program -Guide students to experience a 360-degree range of view
Sensitization	-Direct students to associate science content with real objects, real photos, and real experiences -Have students focus on multisensory signals
Interaction	-Make students express the scientific model (writing, picture) of the concepts learned through VR-based Class -Tell students to interact with content and other learners

Table 3. Coding scheme of the modeling performance level

수준	영역 (관련된 고차원적 사고)				
	구조 (공간적 사고)	기능 (추상적 사고)	시스템 표상화 (추상적 사고)	시각화 (반영적 사고)	표지 (공간적 사고)
1수준	하부요소를 누락하여 표현함 예) 음식물이 위에서 큰창자로 곧바로 내려오는 것으로 표현하고 작은창자를 표현하지 않는 경우	하부요소의 기능을 표현하지 않음 예) 소화기관의 기능을 전혀 제시하지 않은 경우	구성요소 간의 시스템 과정을 표현하지 못함 예) 글과 그림으로 시스템 연결성을 표현하지 못함	움직임이 정지된 특성만 표현하고 추상적인 변화과정을 시각화하지 못함(정적 수준) 예) 소화 과정을 정지된 상태로만 표현한 경우	라벨링하지 않음 예) 각 소화기관의 이름을 라벨링하지 않고 간단한 설명(keying)을 제시하지 않은 경우
2수준	하부요소 간의 공간적 위치 관계를 불완전하게 표현하였거나, 필요 없는 기관들을 표현함 예) 작은창자의 위치를 잘못 표현한 경우, 소화기관의 위치를 잘못 표현한 경우, 소화기관 외에 부가적으로 뇌나 폐를 표현한 경우	하부요소의 기능을 불완전하게 표현함 예) 일부 기능만 표현한 경우	시스템 구성요소 간의 연결을 글 또는 그림으로 표현했으나 부분적으로 연결이 단절되게 표현함 예) 각 소화 기관의 연결성을 글이나 그림 한 가지만 표현한 경우, 다음 소화기관으로의 연결이 끊겨 분절되어 표현된 부분이 있는 경우	움직임을 표현하거나 (동적 수준), 확대해도 볼 수 없거나 직접 관찰하기 힘든 추상적인 변화과정을 시각화하여 나타냄 (추상 수준) 예) 화살표로 소화 과정의 동적인 변화를 표현하거나 음식물의 이동과정을 나타내는 경우, 음식물이 소화효소로 인하여 녹거나 크기가 변하는 물리적, 화학적 변화과정을 표현한 경우	불완전 라벨링 (부분적으로만 라벨링하거나, 라벨링이 잘못됨) 예) 작은창자를 라벨링하지 않은 경우
3수준	하부요소와 하부요소 간의 공간적 관계를 온전히 정교하게 표현함 예) 소화 기관의 하부 요소를 모두 올바른 위치로 표현한 경우	하부요소의 기능을 온전히 표현함 예) 소화 기관의 하부 요소의 모든 기능을 올바로 표현한 경우	시스템 구성요소 간의 연결을 글과 그림으로 유기적으로 표현함 예) 음식이 몸에 들어온 뒤 소화 과정이 각 기관에서 일어나고 다음 소화 기관으로 넘어가는 시스템을 글과 그림으로 온전히 유기적으로 표현한 경우	움직임을 표현하면서 추상적인 변화 과정도 온전하게 시각화하여 나타냄 예) 음식물의 이동과 소화효소로 인하여 녹는 과정 모두를 표현한 경우	완전 라벨링 (모든 부분을 라벨링함) 예) 5가지 소화기관을 모두 라벨링한 경우

시뮬레이션은 학습자들로 하여금 마음속에 자연현상에 대한 견해를 그리는 과정에서 그림과 글 등의 다중 표상을 제공하며(Kukkonen *et al*., 2014), 다중 표상을 사용하는 것은 가장 높은 수준의 모형이 지니고 있는 핵심 요소이다(Mohan *et al*., 2009). 시스템이라는 통합적, 복합적 과학 개념에 대한 이해는 다중 표상의 사용으로 연결되어 나타난다는 점(Chang, 2018)을 고려하여, 본 연구에서는 '시스템' 영역을 '시스템 표상화' 영역으로 변경하였다.

각각의 범주로 나누고 기준을 구체화시키는 과정에서 타당성을 검증받기 위하여 생물교육전공 교수 1인, 박사과정 학생 3인, 현직교사 8인의 의견을 반영하였다. 이러한 틀을 바탕으로 학생들의 모형 수행 수준을 분석하여 고차원적인 사고(공간적 사고, 추상적 사고, 반영적 사고)의 변화를 가늠하고자 하였다. 학생들의 글과 그림 모형은 각 영역에서 모형 수행 수준에 따라 상위 수준에 하위 수준이 포함되는 관계인 1수준, 2수준, 3수준으로 코딩되며 양적 분석되었고, 코딩과정에서 제1저자가 모형 수행 수준을 일차적으로 분석한 다음 과학교육 전문가 3인과 함께 검토하여 분석 내용을 일치시켜 신뢰도를 확보하였다. 각 영역들은 인지적 측면의 사고와 연관이 있다. '구조'와 '표지' 영역을 통해서 공간적 사고의 변화를 알아보았으며, '기능', '시스템 표상화' 영역을 통해서는 추상적 사고, '시각화' 영역에서는 반영적 사고의 변화를 살폈다. 각 영역의 수준에 대한 구체적인 설명과 실제 사례들을 Table 3에 제시하였다.

6. 반구조화된 인터뷰

본 연구에서는 VR 프로그램 기반 수업의 결과 나타나는 학생들의 인지적・정의적 효과를 알아보기 위하여 반구조화된 인터뷰를 실시하였다. Table 4와 같이 VR 프로그램 기반 수업의 효과에 관련된 질문이 포함된 반구조화된 서면 조사지를 기본으로 인터뷰를 함으로써 수업의 인지적・정의적 효과에 대한 초등학생들의 주관적인 인식과 의견을 수렴했다. 이러한 질적 자료의 분석을 통하여 양적 연구 자료만으로 밝히기 힘든 학생들의 생각과 인식에 관한 심층적 정보를 수집하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 프로그램 개발 결과: 가상현실의 특성 반영

가. 개발 프로그램

개발된 프로그램은 과학 교육 전문가와 (주)3D Future 사가 공동으로 제작하였으며 프로그램명은 'Digestion'으로 정하였다. Figure 3의 예시처럼 VR 프로그램은 Hahn & Lee(2001)가 밝힌 가상현실의 특성인 '조작', '감각화', '상호작용'을 반영하였다. 이러한 VR 프로그램을

Table 4. Items of the semi-structured questionnaire

번호	질문 내용	질문
1	흥미	VR 수업은 재미있었나요?
2	VR의 특성	VR 수업은 기존의 교과서로 하는 과학 수업과 어떤 점이 달랐을까요?
3	조작	360도 시선과 콘트롤러 조작을 하니 어땠나요?
4	감각화	화면과 소리는 어땠나요?
5	상호작용	자유 탐색 장면에서 다시 학습하는 경험은 어땠나요?
6	구조	입, 식도, 위, 작은창자, 큰창자를 다 표현했나요?
7	기능	입, 식도, 위, 작은창자, 큰창자의 기능을 설명했나요?
8	시스템 표상화	입, 식도, 위, 작은창자, 큰창자가 연결되는 과정을 글과 그림으로 잘 표현했나요?
9	시각화	음식물이 움직이고 작게 부숴지는 것을 표현했나요?
10	표지	입, 식도, 위, 작은창자, 큰창자의 이름을 다 적었나요?
11	행위유발성	VR 수업을 통해서 평소보다 더 적극적으로 참여했나요?
12	현존감	VR을 통해서 공부하면서 어떤 느낌이 들었나요? 내가 음식물이 된 것 같은 느낌이 들었나요?
13	몰입감	VR을 통해서 공부하면 더 집중이 잘 되었나요?
14	이해	평소 교과서로 하는 수업보다 더 이해하기 쉬웠나요?
15	기억	평소 교과서로 하는 수업보다 더 기억에 잘 남았나요?

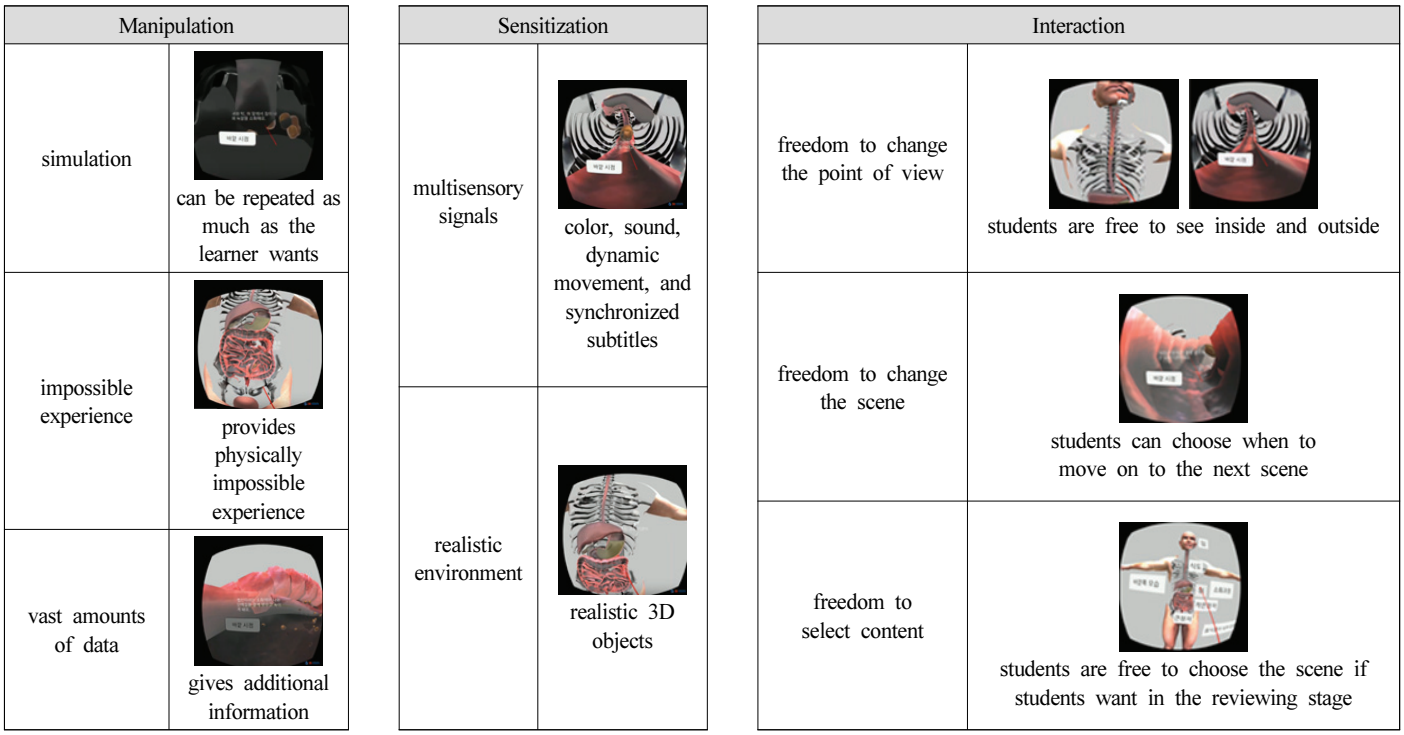


Figure 3. Scenes and description of the VR program 'Digestion' incorporating unique characteristic of VR

통해서 HMD를 착용한 학생들은 음식물처럼 입속으로 들어간 뒤, 식도, 작은창자, 큰창자를 지나며 소화되는 과정을 체험할 수 있도록 하였다.

본 프로그램은 조작적 특성을 반영하여 자유로운 콘트롤러 조작과 360도 시점을 통해서 원하는 대로 시뮬레이션하면서 교과서나 2D 텍스트에서는 얻을 수 없는 방대한 양의 정보를 제공하도록 하였다. 또한 가상세계에서의 학습은 다른 환경과 구별되는 실제 세계에서 불가능한 경험을 가능하게 만든다는 특성이 있다는 연구 결과(Dede *et al*., 2017)를 기반으로 몸속으로 들어가는 투시적 경험을 제공할 수 있도록 프로그램을 구성하였다. 또한 감각화적 특성을 반영하여 실제적인 색감, 소리, 역동적 움직임, 자막 등의 다감각적 신호를 통해서 실제적인 3D 환경을 구성하였으며, 이러한 다감각화적 정보를 통해서 학생들은복잡한 과학적 모형에 대한 학생들의 이해를 돕도록 하였다(Dede *et al*., 1999). 그리고 상호작용적 특성을 반영하여 콘트롤러를 통해서 자유롭게 소화기관 안팎으로 이동할 뿐만 아니라 자신의 학습속도에 맞춰서 다음 장면으로 이동할 수 있도록 하였으며, 모든 활동이 마무리된 다음 마지막 장면에서 자신이 부족한 부분을 선택해서 복습하도록 프로그램을 구성하였다.

프로그램 구성 첫 단계에서는 학생들에게 더 많은 자유도를 주기 위하여 자신이 있는 지점을 자유롭게 움직이도록 구성하였다. 하지만 학습자가 하이퍼미디어(hypermedia; 텍스트, 동영상, 음성 파일을 연결한 시스템) 환경을 탐색하는 과정에서 자신의 접속 위치와 도착 위

Table 5. Mann-Whitney test results of the modeling performance level

Factor	Group	Number of Students	Pre-test			Post-test		
			M(SD)	*z*	*p*	*M(SD)*	*z*	*p*
Structure	Con. G	55	2.09(.727)	-1.89	.058	2.38(.652)	1.98	.048*
	Exp. G	50	1.82(.720)			2.62(.567)		
Function	Con. G	55	1.51(.742)	-1.90	.057	1.73(.827)	3.12	.002**
	Exp. G	50	1.26(.565)			2.28(.827)		
System Representation	Con. G	55	2.16(.660)	-2.34	.019*	2.45(.571)	.76	.45
	Exp. G	50	1.86(.639)			2.54(.542)		
Visualization	Con. G	55	1.22(.459)	1.25	.211	1.09(.290)	7.26	.000***
	Exp. G	50	1.36(.598)			2.22(.790)		
Labeling	Con. G	55	1.64(.677)	-.49	.622	1.98(.850)	2.81	.005**
	Exp. G	50	1.56(.611)			2.44(.705)		

*p < .05, **p < .01, ***p < .001

치를 잃어버리고 전체 환경 구조에 대한 명확한 모형을 갖지 못하는 현상이 많이 일어난다는 연구 결과(MacKnight, Dillon & Richardson, 1991)를 접하면서 보는 방향을 선택하는 자유는 주되, 시점의 위치 자체를 조작할 수는 없도록 함으로써 위치를 잃지 않도록 프로그램을 구성하였다.

나. 프로그램의 타당성 검증

개발된 프로그램이 과학적으로 타당한지, 그리고 해당 분야의 지식이 적절히 반영되어 개념적으로 올바르게 구현되었는지 등을 검증하기 위해서 프로그램 개발자 3인과 과학 교육 전문가 4인, 교육 공학 전문가 3인 및 6인의 현장교사들의 검토를 거쳤다. 사전에 실제 초등학교 6학년 학생들을 대상으로 파일럿 테스트를 실시하였으며 수정 보완하여 최종 프로그램을 완성하고 투입하였다. 본 프로그램을 학생들에게 투입한 수업 장면 모습을 Figure 4에 제시하였다.

2. 적용 효과

가. 모형 수행 수준 변화 분석을 통한 인지적 효과 검증

VR 프로그램을 적용한 '우리 몸의 구조와 기능' 단원 수업이 학생들의 모형 수행 수준에 미치는 영향을 알아보기 위해서 통제 집단과 실험 집단의 모형 수행 수준 변화에 대해 살펴보았다. 사전 사후 두 집단의 데이터가 정규분포를 이루고 있지 않아 비모수 검사인 Mann-Whitney 검정을 하였고, 결과는 Table 5와 같다. 그 결과, 두 집단은 '기능', '구조', '시각화', '표지' 영역에서 사전 검사 결과에 대해 동질 집단으로 유의미한 차이가 없었으나, 사후 검사에서는 구조(p<.05), 기능(p<.01), 시각화(p<.001), 표지(p<.01) 영역에서 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 5). 이러한 결과는 VR 프로그램 적용이 '기능', '구조', '시각화', '표지' 영역의 학습에 효과적이었음을 말해준다.

Figure 4. Photo of the student activity in VR-based class

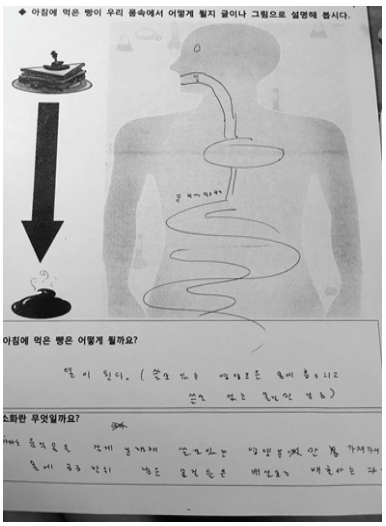
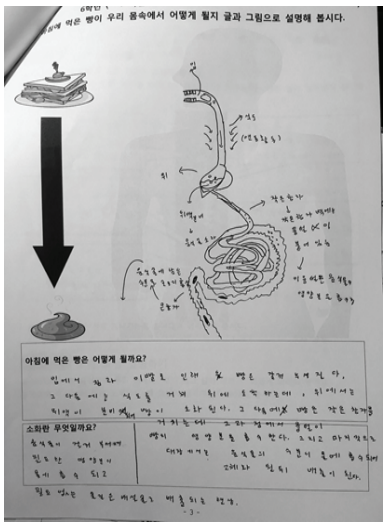
시스템 표상화' 영역의 사전 검사에서는 두 집단 사이에 유의미한 차이가 있어서, 사전 검사 결과를 공변량으로 통제하여 비모수 검사인 Ranked ANCOVA 분석을 실시하였다(Table 6). 그 결과, 시스템 표상화 영역에서도 통제 집단과 실험 집단 간에 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 나타났다($p < .05$). 이를 통해 VR 프로그램 기반 수업이 시스템 표상화 영역에서도 효과가 있는 것으로 밝혀졌다. 이러한 '시스템 표상화' 영역의 검정 결과를 앞의 '기능', '구조', '시각화', '표지' 영역의 결과와 종합해볼 때, VR 프로그램 기반 수업이 학생들의 모형 수행 수준 향상에 효과가 있다고 할 수 있다.

본 연구에서 VR 프로그램 기반 수업을 투입한 결과 모형 수행 수준의 모든 영역에서 유의미한 차이가 있었으며, 이는 학생들의 공간적, 추상적, 반영적 사고가 향상된 데서 비롯되었다고 추정된다. 공간적 사고의 향상으로 인하여 '구조'와 '표지' 영역에서의 모형 수행 수준이 향상되었고, 추상적 사고의 향상으로 인해 '기능', '시스템 표상화' 영역의 모형 수행 수준에서 긍정적인 변화가 있었으며, 반영적 사고의 향상이 원인이 되어 '시각화' 영역의 모형 수행 수준이 개선되었다고 사료된다. 이는 VR 기반 콘텐츠가 인지적 측면에서 공간적·추상적·반영적인 고차원적 사고 증진 기회를 학습자에게 제공

Table 6. Ranked ANCOVA test results of System Representation Factor

Source	df	Sum Sq	*Mean Sq*	*F*	*p*
rank(a2)	1	*1786*	*1785.7*	*2.5645*	*0.11*
group	1	4504	4503.8	6.468	0.01*
residuals	102	696.3			

Table 7. Example of student's modeling artifact and modeling performance level coding

	Pre-test	Post-test
Example		
Coding	Structure: 1 Function: 1 System Representation: 2 Visualization: 1 Labeling:1	Structure: 3 Function: 3 System Representation: 3 Visualization: 3 Labeling: 3

할 수 있다는 연구(Baek, 2010)와도 일치하는 결과이다.

나. 인지적 효과에 대한 학생들의 인식

인지적 측면의 효과에 대한 학생들의 인식을 학생들의 인터뷰를 통해 알아본 결과, 학생들은 전반적으로 VR 프로그램 기반 수업 투입 이후에 우리 몸의 구조와 기능을 이해하는데 상당히 긍정적인 효과를 얻었다고 진술하였다. 그리고 VR 프로그램 기반 수업을 통해 자신들의 공간적 사고, 추상적 사고, 반영적 사고 향상이 이루어졌다고 답했다. 이러한 인지적 측면의 효과에 대한 학생들의 인식은 앞에서 수행한 양적 통계검정의 전반적 결과와 일맥상통한다.

1) 공간적 사고

학습자가 3D 환경에서 2D와는 다른 다양한 시점에서 관찰할 수 있다면 3D 환경에 의해서 이들의 공간적 지식 표현을 향상시키는 효과를 기대할 수 있다. 이는 3차원 환경에서 제공되는 상호작용이 2D 화면에서 애니메이션이나 비디오를 수동적으로 볼 때보다 더 향상된 공간적 학습을 유도한 결과이며(Dalgarno & Lee, 2010), 본 연구의 실험 집단과 통제 집단 간 사후 검사의 구조($p<.05$)와 표지($p<.01$) 영역에서 통계적으로 유의미한 차가 있는 것으로 나타난 결과와 상호보완적이다.

(1) 안팎 시점 이동을 통한 위치 파악(←상호작용적 특성)

학생들은 시점을 사람 몸의 안팎으로 이동시키면서 VR 콘텐츠와 상호작용한 결과 기존에 가지고 있던 대안 개념을 과학적 개념으로 변화시켰다. 아래 인터뷰에 제시된 바와 같이 학생들은 사전에는 작은창자(small intestine)에 대해 말 그대로 작고 짧다(short)는 대안 개념을 지니고 있었지만, VR 콘텐츠를 통해 시점이동을 한 결과 각 소화기관의 위치와 구조적 특성을 보다 쉽게 파악함으로써 '큰창자보다 작은창자가 더 길다(long)'는 과학적 개념으로 전환할 수 있었다. 이는 3D 환경에서 자유롭게 위치를 이동하는 상호작용을 통해서 실제 환경과 유사한 공간 지식 계발을 도울 수 있다는 연구(Dalgarno & Lee, 2010)와 시뮬레이션을 통해서 인지적 부조화를 발생시키고 개념 변화를 촉진했던 선행연구(Gorsky & Finegold,1992) 결과와도 부합한다. 다음에 제시된 학생 A의 인터뷰 전사본은 학생들이 어떻게 안팎 시점 이동을 통해 위치 파악을 하였는지 보여주는 사례이다.

> 학생 A : 저는 겉에 있는 것이 소장이고 속에 있는 것이 대장인줄 알았거든요. 왜냐하면 소장이 (말 그대로) 짧고 작다고 생각했고, 대장을 크다고 생각했는데, **VR 수업하면서 길게 가면서 소장이 안쪽에 긴 것이라고 알았어요.** (중략) 제가 소화기관 위치를 많이 헷갈려 했었는데요. **안 시점과 바깥 시점을 왔다 갔다 하니 쟤가(기관이) 어디에 있고 무슨 역할을 하는지 알 수 있었어요.** (중략) **바깥 시점에서는 소화기관이 어디인지 위치를 잘 볼 수가 있고** 음식물도 있어서 이해가 더 잘 되었던 것 같아요.

(2) 순서 파악(←감각화적 특성)

학생들은 VR 프로그램을 통해서 기존에 가지고 있던 소화기관의 순서에 관련된 대안 개념을 과학적 개념으로 전환했다. 인터뷰에 참여한 학생은 소화기관 안에서 음식물이 큰 상태에서 점점 작게 분해된다는 사실을 인지하고 있었지만, 음식물의 크기에 맞추어 큰창자를 통과한 이후에 작은창자로 이동한다는 대안 개념을 가지고 있었다. 그러나 VR 환경 내에서 소화기관을 3차원으로 가시화시켜주어(Hansen, 2004) 좁았던 작은창자의 통로가 큰창자에서 넓어지는 것을 확인한 결과, 음식물이 작은창자를 통과한 이후에 큰창자로 이동한다는 과학적 사고로 전환되었다. 이는 학생들이 현실에서는 경험할 수 없는 것을 VR 환경에서 경험하게 됨에 따라서 학습한 내용을 적용하

고 전이(transfer)시키는 경향이 있다(Dede, 2009)는 연구 결과와도 부합한다. 다음에 제시된 학생 M의 인터뷰 전사본은 소화기관의 순서에 대한 학생들의 개념이 어떻게 전환하였는지를 나타내는 사례이다.

학생 M : 저는 처음에 입, 식도, 위, 큰창자, 작은창자 (순서)인 줄 알았어요. 왜냐하면 음식물이 원래는 크잖아요. 그런데 소화되면서 음식물이 작아지니깐 (큰창자 다음에 작은창자가 오는 줄 생각했었어요.) (중략) 저는 큰창자가 먼저인 줄 알았는데 작은창자가 먼저이더라고요. **처음에는 (큰창자가 먼저인 줄 알고 봤는데) 좁고 작은 거예요. 그런데 가더니 갑자기 커져 가지고 (큰창자가 나중에 있다는 것을) 명확하게 알 수 있었어요.**

(3) 구체성(←조작적 특성)

학생들은 VR 콘텐츠 체험 상황에서 3D 화면에 들어가 직접적인 경험을 하면서 기존의 교육 자료(글자로만 이루어진 텍스트나 한 가지 시점으로만 제시되는 그림, 비디오 자료 등)에 비해 방대한 양의 정보를 얻는다. 이를 통해 학생들은 전반적인 소화 과정에 대해 보다 구체적으로 이해했다. 이는 VR을 통한 탐구형 수업이 공간적 이해와 구체적인 분자구조에 대한 학습을 지원한다는 연구(Dori & Lee, 2001) 결과와도 부합한다. 다음에 제시된 학생 T의 인터뷰 전사본은 학생들이 어떻게 소화기관의 구조와 기능을 구체적으로 이해하였는지를 보여주는 사례이다.

학생 T : **VR에서는 음식물처럼 들어갈 수 있으니깐 (VR) 설명에 나오지 않는 부분도 자세히 알 수 있어요.** 예를 들면, 식도 안에 들어갈 때 같은 경우에는 중간에 어떤 구조로 (넘어가는지) 잘 이해되는 것 같아요.

2) 추상적 사고

학생들은 직접 관찰하기 힘든 특성을 가지는 추상적 과학 현상에 대한 확실한 정신 모형을 가지기 힘들어 한다(Gilbert & Treagust, 2009). 추상적인 과학 현상은 입체적이며 추상적인 사고를 필요로 하는 경우가 많은데 학생들이 2D의 종이책에서 보이는 현상을 입체적 현상으로 변환하여 구성하는 과정을 어려워하는 것(Wu & Shah, 2004)을 그 이유 중 하나로 제시할 수 있다. VR 프로그램은 학생들이 실제적으로 관찰하기 힘든 비가시적인 학습 내용에 감각적 접근이 가능하도록 구현하고 추상적 사고와 같은 고차원적 사고를 향상하는데 도움을 줄 수 있다(Shim *et al*., 2003). 이는 학생들이 이해하기 힘들어하는 복잡하고 추상적인 과학 개념을 다감각화하여 추상적 사고를 증진하는 데도 도움을 준다(Dede *et al*., 2000; Fruland, 2002)는 선행연구와 일치하며, 본 연구의 실험 집단과 통제 집단 간 사후 검사의 기능($p<.01$)과 시스템 표상화 영역($p<.05$) 에서 통계적으로 유의미한 차가 있는 것으로 나타난 결과와 상호보완적이다.

(1) 시스템적 사고 - 연속성(←감각화적 특성)

학습자들은 가상현실 환경에서 3D 시각화 자료와 상호작용함으로써 기존의 전통적인 미디어에서 표상하기 힘들었던 추상적인 개념을 배울 수 있다(Dede, 2009). 2D 텍스트와 같은 기존의 미디어에서는 미디어의 형식상 분절적으로 학습 내용을 구성할 수밖에 없었다. 예를 들어, 책에서 입, 식도, 위, 작은창자, 큰창자와 같은 소화기관에 대한 설명이 제시되는 경우를 보면, 본문의 긴 설명이 여러 페이지에 걸쳐 제시된다. 이때 내용에 대한 설명이 그다음 페이지로 넘어가면서 설명이 끊어지게 된다. 학생들은 이렇게 분절된 자료로 학습하면서 소화과정과 같이 전체적인 연결을 파악해야 하는 개념을 이해하기 힘들어할 수 있다. 본 연구에서 제공된 가상현실 환경에서는 학습자가 자신의 페이스를 스스로 조절하고 자유롭게 시선을 조작하면서 학습할 수 있으므로, 다른 미디어 컨텐츠들보다 소화라는 추상적인 개념의 연속성 측면을 더 잘 이해하도록 도운 것으로 사료된다.

이러한 연속성의 측면을 이해하는 과정에서 구성요소들이 어떤 관계를 맺고 어떻게 연관이 되는지 알아보는 사고인 시스템적 사고(systematic thinking)를 하게 된다(Kail, Orion, & Eylon, 2003). 이러한 시스템적 사고는 소화기관의 역동성과 상호작용을 인식하고 소화의 흐름을 이해하는 사고까지도 포함한다(Sweeny & Steman, 2000). 다음에 제시된 학생 O와 학생 C의 인터뷰 전사본은 학생들이 어떻게 연속성을 받아들이고 흐름을 이해하게 되었는지 보여주는 사례이다.

학생 O : 장면을 이동한 것이 아니라 롤러코스터 타듯이 가다가 잠깐 멈추고 설명하고 가다가 멈추고 하다 보니깐 **장면이 안 끊어져서** 연결하는데 끊긴다는 생각이 안 들었던 것 같아요.

학생 C : 보통 그림만 보면 이런 (끊어진 듯하게 표현한) 선부분이 있잖아요. 그러니깐 그림만 보면 정확하게 이어진 것이 아니라 한 번 (선을) 거친 다음에 들어가는 것처럼 보이잖아요. 그런데 **VR로 보면 그냥 넘어갈 때 구멍 같은 것이 있어서 내려가고 내려가고 또 여기서 작은창자로 옮겨지고 나온다는 것을 통해 (이어지는 것을) 알게 된 것 같아요.**

(2) 기능과 구조 지식통합(←감각화적 특성)

VR 프로그램은 추상적 현상을 구체화하여 학습자가 지식 구성과 통합을 활성화하도록 도와준다(Slater, 2017; Won *et al*., 2019). 학생들은 VR 체험을 통해서 기존에 가지고 있었던 추상적인 개념과 연결을 통해 통합적 지식을 구성한다. 소화기관의 각각의 기능에 대해서는 알고 있었으나 공간과의 결합을 하지 못했던 학생들도 VR 체험을 통해서 기능과 구조를 통합한 지식을 구성할 수 있게 되는 것이다. 다음에 제시된 학생 T의 인터뷰 전사본은 학생들이 어떻게 지식을 통합하였는지를 제시하는 사례이다.

학생 T : 평소에는 그냥 여기에는 어떤 일을 하는지에 대한 제대로 된 설명을 알지는 못했었는데 **이게(기능들이) 합쳐져서 생각이 나서 (VR 체험을) 했었을 때 "아" 이거구나 하고 나오는 생각이 들었어요.** (중략) 사람 몸의 소화기관 같은 것에 관한 기본 지식으로 어떤 것이 있고 무슨 역할을 하고 이름 정도만 알고 있었는데, **(VR을) 하면서 직접 (소화기관이) 어떻게 움직이고 어떻게 되고 어떤 일을 하면서 (작동)하는지를 더 쉽게 알 수 있었던 것 같아요.** VR 하면서 수업하는 것이.

(3) 연쇄적 연상 효과(←감각화적 특성)

사실적인 정보에 대한 학습이 이루어지는 가상현실 상황에서 묘사 정확도가 높아지게 되면 학습자들은 더 큰 현존감을 느끼게 되고 사실적 정보와 관련된 실제 환경에 더 많은 전이를 일으킨다(Dalgarno, 2010). 학생들은 가상현실 환경에서 실제적이고 직접적인 경험을 통

해 학습 내용을 쉽게 기억할 수 있었고 모형 구성 과정에서 다음 장면을 자연스럽게 연상할 수 있었다고 인터뷰에서 제시하였다.

학생 C : (모형을 그릴 때 VR 소화기관 속으로) **들어가서 다음이 생각나고 그다음이 생각나고** 어떻게 돼서 이쪽으로 나오는구나 알게 되었어요.

3) 반영적 사고

반영적 사고란 내려진 판단에 대해 다시 반성하고 재고하는 특성을 가진 사고이며(Forneris & Peden-McAlpin, 2007; Kennison, 2006), 인식의 수용과정에서 사용된 추론에 대해 비판적으로 생각하고 상황의 원인에 대한 가정을 생성하고 예측하는 사고를 포함한다(Mezirow, 1991, 1998). 학생들이 소화기관에 대한 VR 프로그램을 통해서 학습한 결과, 음식물의 물리적 변화와 화학적 변화를 모형에서 더 잘 표현하였다. 이는 본 연구의 시각화 영역 사후 검사에서 실험 집단과 통제 집단 간에 통계적으로 유의미한 차($p<.001$)가 있는 것으로 나타난 결과를 설명해준다.

(1) 물리적 변화(←감각화적 특성)

Monaghan & Clement(1999)에 의하면, 학생들은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 자신이 예측한 바를 시험하고(반영적 사고) 그 이후에 움직임(motion)에 대한 좀 더 정확한 정신 모형을 발달시킬 수 있다. 컴퓨터 시뮬레이션은 학습자로 하여금 이러한 과정을 거치게 함으로써 그들의 탐구를 효과적으로 지원한다는 것이다. 가상현실 환경은 이와 같은 시뮬레이션을 통해서 탐구와 실험을 수행하고 표상을 정교화시킨다는 점에서 학생들이 동적인 과정을 이해해야 하는 학습영역에 적합하다(Jonassen, 1991). 본 연구에서도 학생들은 소화기관에서 음식물이 소화되며 이동하는 동적인 과정을 과학적 모형에서 효과적으로 표현했다(Figure 5). 다음에 제시된 학생 H의 인터뷰 전사본은 학생들이 물리적인 움직임을 표현한 사례를 보여준다.

학생 H : (VR 프로그램에서) **전체 소화기관을 보고 음식물이 어느 방향으로 (이동해) 가는지** 보고 (과학적 모형에서) 방향을 잘 나타낼 수 있던 것 같아요.

(2) 화학적 변화(←상호작용적, 감각화적 특성)

Zacharia and Anderson(2003)은 상호적인 시뮬레이션이 학생들의 예측 능력(반영적 사고)을 향상시키고 실험의 결과를 설명하는 능력을 증진시킨다고 밝혔다. VR 프로그램 상에서는 음식물이 소화효소를 통해서 분해되는 과정을 표상화하였으며, 다수의 실험집단 학생들은 자신의 모형에서 음식물이 분해되는 과정을 Figure 6처럼 과학적으로 적절하게 묘사하였다. 그 중 몇몇 학생들은 실제로는 VR 프로그램상에서 제시하지 않았던 화학적 변화인 수분의 흡수를 통한 음식물 변색을 예상하여 표현하기도 하였다(Figure 6). 이는 가상현실에서 상호작용을 경험함으로써 결과를 예측하는 사고 과정인 반영적 사고가 증진된 결과로 보인다(Baek, 2010). 다음에 제시된 학생 E의 인터뷰 전사본은 학생들이 화학적 변화를 표현한 사례를 보여준다.

학생 E : (VR 프로그램에서) **음식물이 위로 간 다음 위에서 분비된 위산에서 소화되면서 녹는 것이 보여서 (화학적 변화를) 표현할 수 있었던 것 같고요, 음식물이 수분이 없어지니깐 고체가 되어 까맣게 (될 것이라 예상하고) 음식물을 표현했어요.**

다. 정의적 효과에 대한 학생들의 인식

정의적 측면의 효과에 대한 학생들의 인식을 학생들의 인터뷰를

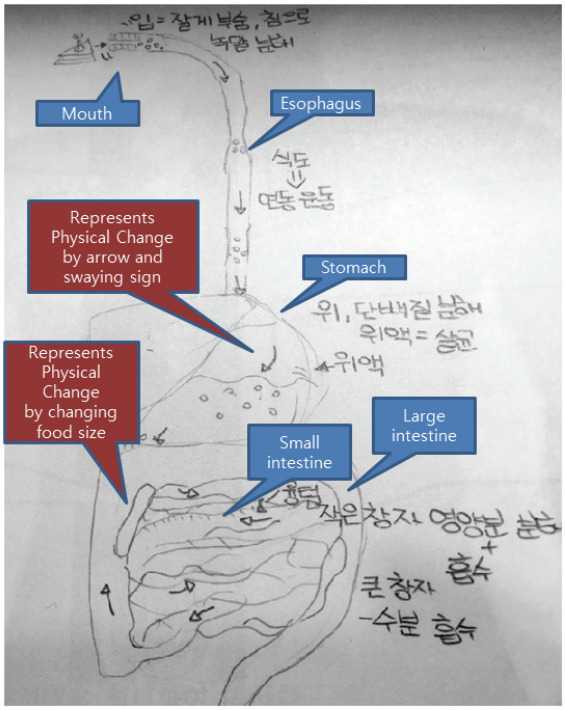


Figure 5. Student H's post scientific model which represents food movement

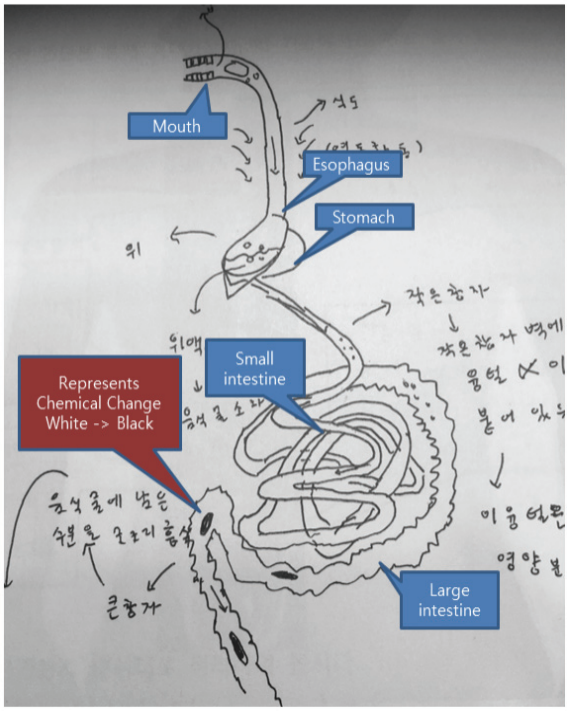


Figure 6. Student E's post scientific model which represents food chemical change

통해 알아본 결과, 학생들은 VR 프로그램 기반 수업을 통해서 자신들의 적극적인 행위가 더 유발되었고, 이와 아울러 강한 현존감과 몰입감을 갖게 되었다고 하였다. 이는 가상현실이라는 새로운 매체를 활용하여 과학 교육을 할 경우에 흥미와 참여도 같은 정의적인 측면의 효과를 유도할 수 있다는 선행연구와도 일치한다(Park *et al*., 2001).

1) 행위유발성

행위유발성(affordance)은 물체나 환경에 의해 유도된 상호작용과 관련이 있으며(Gibson, 1977, 1979), 교육학 분야에서는 많은 연구자가 교육적 개입에 의해 특정 학습이 유도되는 관계를 묘사하기 위해 이 용어를 사용하였다(Kirschner, 2002). VR 콘텐츠는 3D 모형을 보여주는 가상현실 상황에서 강력한 내러티브와 진정한 실행(authentic practice)을 통해 사용자의 컴퓨터 기반 행위주체성을 유도하고 다양한 복합적 지식 적용을 증진시킬 수 있는 것이다(Dede *et al*., 2017).

(1) 불가능한 경험을 기대(←감각화적 특성)

가상현실 상황은 학습자들이 현실에서는 불가능한 학습활동을 제공하고 추상적 개념을 감각화한다는 점에서 학습자의 적극적인 참여와 행위유발성을 이끌어 낼 수 있으며, 이러한 효과는 학습자가 능동적인 실험 참여를 선호하는 경우에 극대화될 수 있다(Kolb, 1984; Oh, 2005). 본 연구에서 적용한 가상현실 프로그램에서는 현실 세계에서 학생들에게 일어날 수 없는 경험을 제공하였다. 학생들은 음식물의 크기만큼 작아져 입속으로 들어간 뒤 직접 소화가 되는 듯한 경험을 하였고, 콘트롤러를 조작하여 몸의 안팎을 투과하여 이동하고 몸 밖의 시점에서는 마치 몸을 투시하여 음식물의 소화 장면을 관찰하는 경험을 하였다. 학생들은 이러한 경험이 가상현실 상황에서 가능하다는 사실에 대해 신기해하였고, 이러한 가상현실의 특성이 학생들의 적극적인 행위를 유발하였다고 할 수 있다. 다음에 제시된 학생들의 인터뷰 전사본은 가상현실에서 겪은 새롭고 신기한 경험이 학생들의 행위유발성을 증진시킨 대표적인 사례를 보여준다.

학생 B : **불가능한 것이니깐 좀 더 새롭고 신기했어요.** 예를 들어 직접 (입 같은 소화기관으로) 들어가는 것이 신기하기도 했고, 또 그런 체험은 실제로는 안 일어나니깐..... 제 자신의 차례가 기대가 되기도 했어요.

학생 M : 평소에는 보기 힘든 장면이니깐 솔직히 이거(몸을) **뚫어서 보거나** 그런 것도 해볼 수 있는 시간(경험)도 (앞으로) 없을 것 같아요.

(2) 흥미(←조작적 특성)

VR의 특성은 본질적으로 학습자의 학습 동기유발에 도움이 된다(Dede *et al*., 2017). VR 환경에서 학생들은 콘트롤러와 시점을 원하는 대로 조정할 뿐 아니라 감각 정보를 취사선택하고 조절할 수 있다. 학생들은 VR 환경에서 이처럼 자신의 선택에 의해 능동적인 조작활동을 함으로써 학습에 더 흥미를 느끼는 것이다(Baek, 2010). 본 연구에 참여한 학생들은 가상현실 공간에서 시각적인 정보를 인식하면서 이를 콘트롤러로 조정하는 과정을 통해서 게임과 유사한 느낌을 가지게 되었고, 그로 인하여 공부라는 부담을 내려놓고 학습에 더 흥미를 느낄 수 있었다고 하였다. 이는 학생들이 조정을 통해 학습의 주도권을 가지고 스스로 동기를 일으켜 학습했다는 이전 연구 결과(Choi, 2018; Baek, 2010)와 부합한다. 다음에 제시된 학생 O의 인터뷰 전사본은 학생들이 가상현실의 어떠한 특성으로 인해 흥미를 느꼈는지 보여주는 사례이다.

학생 O : **공부가 아닌 게임이라고 생각하면서 더 재미있게 공부할 수 있었던 것 같아요**. 이게 눈앞에서 보고 조정하는 것을 하니깐 게임 같았어요.

2) 현존감

현존감(presence)이란 어떤 장소에 있는 듯한 주관적인 감각(Slater, 1999)이며, 묘사의 정확도 및 학습자와 환경의 상호작용적 결과로 발생한다(Dalgarno & Lee, 2010). 가상현실 기법을 활용한 과학 교육 자료는 다른 멀티미디어 자료보다 오감의 자극에 대한 묘사의 정확도가 뛰어나며 실시간으로 상호작용하는 방식으로 경험을 제공함으로써 학습자에게 높은 현존감을 줄 수 있다(Park *et al*., 2001; Kim & Han, 2017).

(1) 360도 시선으로 인한 현존감(←감각화적 특성)

Chung(2017)은 가상현실 환경에서는 360도 영상을 통해 사용자에게 경험을 부여한다고 했다. 3D 가상현실 화면에서는 현실적이고 구체적인 묘사를 통해서 사실감을 주고, 물체의 움직임을 반영한 화면의 전환을 통해 마치 현실에서 일어나는 듯한 현존감을 줄 수 있는 것이다(Dalgarno & Lee, 2010). 특히 이러한 현존감은 관찰자 머리와 눈의 움직임에 따라 시각적 화면이 바뀌면서 증대된다(Psotka, 1995). 본 연구에 참여한 학생들은 실제로 VR을 통해서 학습할 때 상하좌우로 시점을 이동하며 프로그램 상의 오브젝트를 관찰하였고, 이러한 경험을 통해서 강한 현존감을 느꼈다. 다음에 제시된 학생 F의 인터뷰 전사본은 학생들이 360도 시선을 통해서 현존감을 느꼈던 대표적인 사례를 보여준다.

학생 F : 동영상보다 더 좋은 점이 **VR은 뒤를 돌아봐도 다 있잖아요. 그래서 그게 되게 오히려 진짜 그 장면에 서 있는 것 같은 느낌이 들어요.**

(2) 경험의 공유(←감각화적 특성)

가상현실 기술은 다양한 방향과 거리에서의 시각, 청각, 촉각적 피드백을 포함하는 기술까지 보급하고 있으며 이를 통해 사실감을 향상시킨다(Bormann, 2005; Dalgarno & Lee, 2010). 학습자들은 이러한 기술을 통해 제공된 경험이 가공된 것이라고 인지하고 있음에도 불구하고, 실제 현실에서 파생된 또 하나의 다른 현실을 경험하고 있는 듯한 느낌을 갖게 된다(Baek, 2010). 본 연구에서 사용된 가상현실 프로그램을 이용한 학생들은 마치 음식물이 되어 소화기관에서 소화되는 느낌을 느끼면서 자연스럽게 소화기관의 기능을 학습하게 되었다. 그 현상에 들어감에 따라 학습자는 직접 경험을 하면서 실제 세계에서 작동하는 원리에 대한 직감을 가지게 된 것이다(Dede *et al*., 2017). 또한 음식물과 학습자 자신을 동일시하는 학생들도 있었는데, 이렇게 동일시하는 과정을 통해 마치 내가 아닌 다른 사람이 된 듯한 착각을 불러 일으키고 실제의 나 자신과는 감정적 괴리를 느끼게 만든다. 이러한 감정적 괴리는 위험까지도 감수한 탐구 활동에

참여하도록 지원한다(Dickey, 2005b)는 연구 결과와 일치한다. 다음에 제시된 학생 K와 학생 C의 인터뷰 전사본은 학생들이 가상현실 상의 경험을 통해서 자신을 음식물과 동일시하고 감정을 이입한 대표적인 사례를 보여준다.

학생 K : 소화기관을 경험하는 거잖아요. 음식물이 들어오고 그런 것을 경험하니깐 **내가 마치 음식물이 된 것 같은 느낌이 들었어요.**
학생 C : 기관을 지날 때 좀 징그러웠어요. 무섭지는 않았는데 그냥 내가 죽는다는. **내가 녹아들어 간다는 느낌이 들었어요.**

3) 몰입감(immersion)

몰입감(immersion)이란 완전히 흡입되고 참여한 상태로서(Dede *et al*. 2017), 가상현실 환경에 개별적이고 종합적으로 빠져드는 심리 효과를 의미한다(Baek, 2010). 가상현실에서는 학습자 스스로 조정 통제를 통한 즉각적인 상호작용을 하면서 실제 현실에서 직접 경험을 하면서 발생할 수 있는 몰입이 일어날 수 있다(Psotka, 1995; Winn, 1993). 또한 높은 수준의 묘사 정확도와 자연스러운 인터페이스를 통해서 학습자가 더 몰입할 가능성을 높인다(Dalgarno & Lee, 2010).

(1) 외부자극이 차단된 1인칭 시점(←감각화적 특성)

HMD를 통해서 가상현실 환경에 들어가게 되면 현실 세계와는 차단된 몰입(Chung, 2017)이 일어나게 된다. 본 연구에 참여한 학생들은 머리에 HMD를 착용하고 외부 자극이 차단된 상태로 가상현실 환경을 경험하게 되는데, 이때 학생들은 소화현상을 1인칭 관점에서 더 집중하고 몰입해서 관찰할 수 있었다고 진술하였다. 다음에 제시된 학생 T와 학생 J의 인터뷰 전사본은 학생들이 외부자극이 차단된 상태에서 1인칭 시점으로 가상현실을 경험하였을 때 어떠했는지 보여주는 사례이다.

학생 T : VR(HMD)을 쓰면 **다른 공간이 잘 안 보이게 되면서** 훨씬 더 VR의 수업에서 **다른 외부에 자극을 받지 않고** (학습을)할 수 있어서 학생들끼리도 떠들지 않고 **집중**할 수 있게 된 것 같아요.
학생 J : **3인칭 시점이 아니라 1인칭 시점으로 봐서 좋았어요. 다른 자극이 안 들어오고** 내 관점(1인칭 관점)으로 봐서 그런 것 같아요.

(2) 개인 학습(←상호작용적 특성)

VR 수업에서는 학생들이 스스로 문제를 결정하고 가상현실과 상호작용함으로써 자율적으로 해결하는 개별화 교육이 일어나며(Hwang, Kim,& Cho, 2014; Shim *et al*., 2003), 내재적 동기가 부여되어 높은 수준의 개인 학습이 일어날 수 있도록 유도된다(Cordova & Lepper, 1996; Rieber, 2005). 본 연구에 참여한 학생들은 VR 프로그램을 구현시키는 HMD 장치를 개인적으로 착용하고 컨트롤러를 작동하면서 가상현실과 상호작용을 할 수 있었으며, 이때 학습자는 각자 관찰 시점과 경험을 직접 선택함으로써 더 높은 집중도를 보일 수 있었다. 또한 프로그램 안에서 소화 기관과 소화 과정의 각 단계 별로 해당 자막과 설명을 제공하였는데, 이것이 학생들의 소화에 대한 이해를 도움으로써 개인 학습을 촉진하였다. 이는 언어정보와 시각정보가 가까이 있어야 효과적으로 두 정보 사이에 연결이 이루어질 수 있다는 근접성(proximity)의 원리와도 일치한다(Mayer, 1999). 다음에 제시된 학생 A와 학생 T의 인터뷰 전사본은 가상현실 환경에서 학생들의 개인 학습이 촉진되었음을 보여주는 사례이다.

학생 A : VR 수업은 **개인적으로 한 명이서 하는 것이니깐** 좀 더 떠들 수도 없고 그곳에만 집중할 수 있었어요.
학생 T : (VR 화면상에서) 설명자막이 같이 움직여서 좋았어요. 책으로 보면 글씨가 한쪽에 있고 그림이 다른 쪽에 떨어져 있으니깐 같이 볼 수 없는데 (VR 프로그램의 경우) **설명을 들으면서 (화면과 자막이) 같이 일치해서 겹쳐서 볼 수 있으니깐 책으로 보는 것보다 (이해하기) 편했던 것 같아요.** 예를 들으면, 음식이 이렇게 움직인다라고 (자막에) 적혀있으면 그걸 들으면서 직접 볼 수 있으니깐 그런 것이 좋았던 것 같아요.

(3) 직접성(←조작적 특성)

가상현실 공간은 가상공간 내부에서 직접적인 경험을 가능하게 함으로써 '추상적 개념화와 사고의 조합'과 '현실적인 경험과 감정의 조합'으로 이루어지는 경험 확장(Kolb, 1984)을 가능하게 한다. 본 연구에 참여한 학생들은 프로그램 상황에서 직접 소화 과정을 경험하는 과정을 통해서 더 집중하게 되었다고 진술했다. 몇몇 학생들은, 만약 같은 내용에 대하여 실험과정을 직접 수행하여 결론을 도출한다고 하더라도, 실험을 통한 결론은 학생들이 직접 그 현상을 경험하여 도출한 것이 아니라 몇몇 변인에 대한 실험 결과값을 바탕으로 가설을 간접적으로 검증한다는 점을 지적하였다. 즉, 실험 활동을 직접적인 경험이라고 하기에 한계가 있다고 지적하면서, 가상현실에서 제공하는 직접성을 강조한 것이다. 이는 가상현실이라는 3차원 환경이 지식 표현의 투명성을 제공하고 학습자로 하여금 직접적인 경험에 접근하도록 돕는다는 선행연구(Dickey, 2005a)와 부합한다. 다음에 제시된 학생 S의 인터뷰 전사본은 학생들이 어떻게 직접적인 경험을 통해서 어떻게 집중하게 되었는지를 보여주는 사례이다.

학생 S : VR에 재미있는 (직접성이라는) 요소가 있잖아요. 예를 들어, 음식물이 되어 탐험하기처럼 내가 음식물이 되어서 **직접 장을 탐색하고 그러잖아요. 그런 것이 집중하게 만들어주는 것 같아요.** 실험은 거의 다 간접이잖아요.

Ⅳ. 결론 및 제언

본 연구에서 '우리 몸의 구조와 기능' 단원에 대한 VR 프로그램을 개발하고 초등학교 6학년 105명을 대상으로 VR 기반 수업을 적용한 뒤, VR 프로그램 기반 수업이 초등학생들의 인지적・정의적 측면에 미치는 학습효과에 대해 알아본 결론은 다음과 같다.

첫째, 본 연구를 통해서 가상현실의 고유한 특성을 반영한 VR 프로그램 기반 수업의 적용이 가능함을 보였다. 본 연구에서는 가상현실의 고유한 특성인 '조작', '감각화', '상호작용'에 기반을 두어 VR 프로그램을 개발하였고, VR 프로그램 수업의 효과를 극대화하기 위하여 각각의 특성을 반영한 수업 활동을 구성하고 적용하였다.

둘째, 본 연구의 VR 프로그램 기반 수업은 초등학생들의 인지적 측면의 학습 향상에 효과적이었다. 통제집단과 실험집단의 모형 수행

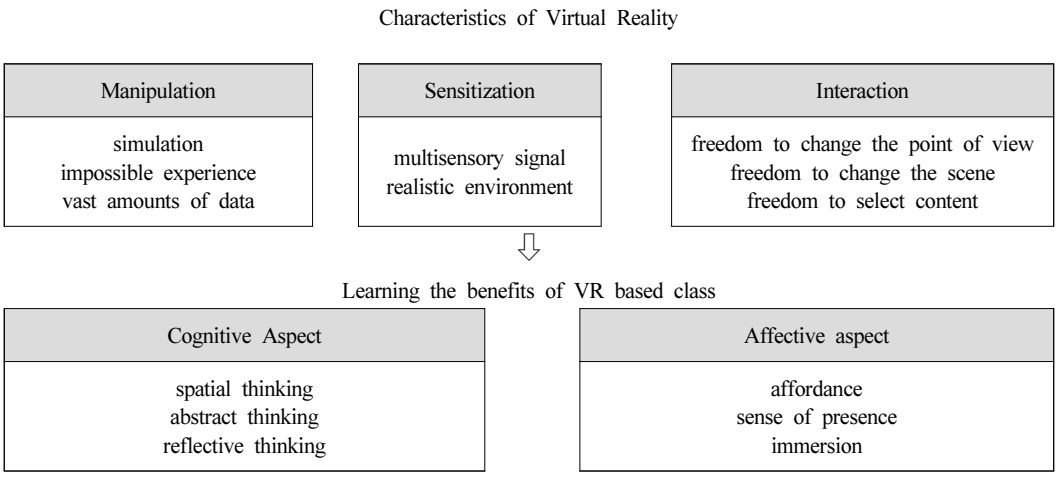


Figure 7. Model of learning in VR based class, incorporating unique characteristics of VR

수준을 비교한 결과 학생들의 '구조', '기능', '시스템 표상화', '시각화', '표지' 영역에서 유의미한 향상이 있었다. 또한 사후 인터뷰를 분석한 결과, VR 수업에서 학생들의 공간적 사고, 추상적 사고, 반영적 사고가 촉진됨으로써, 학생에 의해 구성된 모형의 수준이 향상되었음을 확인할 수 있었다.

셋째, 본 연구의 VR 프로그램 기반 수업에 대해 초등학생들은 정의적 측면의 학습에서 긍정적 효과가 있었다고 답하였다. VR 프로그램에 의해 자발적이며 적극적인 행위유도가 이루어졌고, 수업에서 현존감과 몰입감을 강하게 느낄 수 있었다고 답하였다.

앞에서 살펴본 연구 결과를 바탕으로 가상현실의 고유한 특성과 학습 효과를 연관시킨 모형을 Figure 7에 제시하였다. 여기서는 가상현실의 특성을 잘 반영한 VR 프로그램이 인지적 측면과 정의적 측면에서 어떤 학습 효과를 보일 수 있는지를 제시하였다. 그러나 VR 기반 수업이 학교 현장에서 효과적으로 적용되기 위해서는 가상현실의 특성 외에도 교사와 학생 관련 요인을 비롯한 다양한 요인들이 고려되어야 할 것이다.

본 연구는 VR 프로그램 기반 수업을 적용하고 효과를 검증함으로써 다음과 같은 시사점을 제공할 수 있다.

첫째, 가상현실의 고유한 특성을 반영한 VR 프로그램 개발 과정을 공유함으로써 향후 가상현실 프로그램을 제작하거나 연구하는 연구자 및 실무자를 지원하기 위한 실제 정보와 이론적 기반을 제공할 수 있다.

둘째, VR 프로그램 수업을 실제로 수행하는 과정을 제시함으로써 향후 VR 프로그램 기반 수업을 실행하고자 하는 교육자들의 가이드를 마련할 수 있다.

셋째, 가상현실의 인지적・정의적 효과를 제시함으로써 VR 기반 과학수업의 가능성을 높여주며, 다양한 분야에서 이루어질 가상현실 적용 연구에 기초 자료를 제공한다.

VR 기술은 가상공간에서 3D 세계를 경험하도록 하는 교실의 가장 획기적인 학습 도구이며, 넓은 의미의 학습 환경이다(Yim, 1996). 이제 VR 기술은 더 이상 새로운 기술이 아니며 앞으로의 학습환경의 변화에 반영되어야만 한다. 따라서 학령기 학생들을 대상으로 가상현실의 특성을 적절히 반영한 프로그램을 개발・투입하고 그 효과를 정교히 살핀 연구가 이루어져야 한다(Chen, 2006; Choi & Kim, 2019). 학습 능력 향상과 교육적 효과를 발휘하기 위한 VR 프로그램 기반 수업의 가능성을 실현하기 위해서는 실제 수업에 적용하는 연구를 하고 모범 사례를 통해 다시 설계 원칙을 개발하는 연구가 이루어져야 한다(Dalgarno & Lee, 2010). 앞으로 가상현실 분야의 기술개발이 탄력을 받아 잘 진행되고, VR 프로그램의 기능 및 적용 방법에 대한 논의가 꾸준히 이루어진다면 VR 프로그램이 학교 현장에서 더 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.

마지막으로 본 연구를 위해 VR 프로그램을 함께 개발해 주신 (주)3DFuture 관계자분들께 감사 인사를 전한다.

국문요약

본 연구에서는 초등학교 교과 단원 '우리 몸의 소화와 순환'을 주제로 한 가상현실 기반 수업 프로그램의 개발과 적용을 통해 학생들의 인지적・정의적 측면의 향상 효과를 검증하고자 하였다. 이 연구를 위해 서울 소재 초등학교 6학년 105명의 학생을 대상으로 3차시에 걸쳐 가상현실 프로그램을 투입하고 사전 사후 모형 수행 수준 평가지를 수집하였으며, 21명의 학생들의 인터뷰 자료를 통해서 인지적・정의적 효과에 대한 학생들의 인식을 알아보았다. 이에 대한 결과는 다음과 같다. 첫째, 가상현실의 특성을 반영한 VR 프로그램을 개발함으로써 VR 콘텐츠의 학교 수업 적용 가능성을 보였다. 투입된 가상현실 프로그램 자료는 선행연구에 기반을 둔 가상현실 특성인 '조작', '감각화', '상호작용'을 반영하여 개발되었으며, 수업 시간에 프로그램의 이러한 특성들을 반영한 수업 활동을 하였다. 둘째, 가상현실 기반 생물 수업이 학생들의 '공간적 사고', '추상적 사고', 반영적 사고'와 같은 인지적 측면에 효과가 있음을 검증하였다. 인지적인 측면의 효과를 측정하기 위한 분석틀로 '구조', '기능', '시스템 표상화', '시각화', '표지' 요인으로 구성된 과학적 모형 수행 수준 분석틀을 사용하였으며, 모형 수행 수준의 변화를 비교한 결과 모든 영역에서 실험집단과 통제집단의 유의미한 차이가 있었다. 또한 학생들의 인터뷰를 통해서 어떤 가상현실의 특성이 반영되어 인지적 효과에 영향을 주었는지에 대한 학생들의 인식을 알아보았다. 셋째, 가상현실 기반 생물 수업이 '행위유발성', '현존감', '몰입감'을 높임으로써 정의적 측면에 효과가 있음을 인터뷰 자료를 통해서 확인하였다. 본 연구는 향후 가상현실 기반 생물 수업이 교실에 효과적으로 적용될 방향을

제시하는 데 기여할 것으로 기대된다.

주제어 : 가상현실, VR, Virtual Reality, 가상현실 프로그램 개발, 가상현실의 특성, 가상현실의 효과, 가상현실 수업, 모형, 모형 수행 수준

References

Anderson, A., & Weng, Z. (1999). VRDD: Applying virtual reality visualization to protein docking and design. Journal of Molecular Graphics and Modelling, 17(3-4), 180-186.

Assaraf, O. B. Z., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. Journal of Research in Science Teaching, 42(5), 518-560.

Baek, Y. (2010). Teaching and learning in a virtual world. Seoul: Hakjisa.

Bamberger, Y. M., & Davis, E. A. (2013). Middle-school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. International Journal of Science Education, 35(2), 213-238.

Bormann, K. (2005). Presence and the utility of audio spatialization. Presence. Teleoperators & Virtual Environments, 14(3), 278-297.

Buckley, B. C. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. International Journal Of Science Education, 22(9), 895-935.

Chang, H. Y. (2018). Students' representational competence with drawing technology across two domains of science. Science Education, 102(5), 1129-1149.

Chen, C. J. (2006). The design, development and evaluation of a virtual reality based learning environment. Australasian Journal of Educational Technology, 22(1), 39-63.

Chien, Y. T. & Jenkins, J. (1994).Virtual Reality Assessment. A report of the Task Group on Virtual Reality to the High Performance Computing and Communications and Information Technology (HPCCIT) Subcommittee of the Information and Communications Research and Development Committee of the National Science and Technology Council (NSTC).

Cho, Y. H., Hong, S. Y., & Lee, J. E. (2014). An exploratory study on learner-to-leaner interaction in a 3D virtual role-play for pre-service teachers. Journal of Korean Association for Educational Information and Media, 20(1), 27-50.

Choi, S. (2018) Making a good class. Seoul: Ebeelak press.

Choi, S., & Kim, H. (2013). The effects of animation-based instruction using "Magic School Bus" on elementary students' level of understanding and interests on plant's structure and function. Journal of Korean Elementary Science Education, 32(4), 379-392.

Choi, S., & Kim, H. (2019). Exploring the characteristics of virtual reality and its application to biology class. Biology Education, 47(3), 263-277.

Chung Dong-hun. (2017). User-based theories and practices on virtual reality. Informatization Policy, 24(1), 3-29.

Cordova, D. I., & Lepper, M. R. (1996). Intrinsic motivation and the process of learning: Beneficial effects of contextualization, personalization, and choice. Journal of Educational Psychology, 88(4), 715-730.

Dalgarno, B., & Lee, M. J. (2010). What are the learning affordances of 3-D virtual environments?. British Journal of Educational Technology, 41(1), 10-32.

De Freitas, S. (2006). Learning in immersive worlds: a review of game-based learning. Bristol, England: JISC. Retrieved August 6, 2008, from http://www.jisc.ac.uk/media/documents/programmes/elearninginnovation/gamingreport_v3.pdf

Dede, C. (2009). Immersive interfaces for engagement and learning. Science, 323(5910), 66-69.

Dede, C., Grotzer, T. A., Kamarainen, A., & Metcalf, S. J. (2017). Virtual reality as an immersive medium for authentic simulations. Virtual, augmented, and mixed realities in education (pp. 133-156). Singapore: Springer.

Dede, C., Salzman, M. C., Loftin, R. B., & Sprague, D. (1999). Multisensory immersion as a modelling environment for learning complex scientific concepts. In Feurzeig W., Roberts N. (Eds.), modelling and simulation in science and mathematics education (pp. 282-319). New York, NY: Springer.

Dede, C., Salzman, M., Loftin, R. B., & Ash, K. (2000). The design of immersive virtual learning environments: Fostering deep understandings of complex scientific knowledge. In Jacobson M. J. Jacobson & R. B. Kozma (Eds), Innovations in science and mathematics education (pp. 11-46). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Dickey, M. D. (2005a). Brave new (interactive) worlds: A review of the design affordances and constraints of two 3D virtual worlds as interactive learning environments. Interactive Learning Environments, 13(1-2), 121-137.

Dickey, M. D. (2005b). Three-dimensional virtual worlds and distance learning: Two case studies of active worlds as a medium for distance education. British Journal of Educational Technology, 36(3), 439-451.

Dori, Y. J., & Barak, M. (2001). Virtual and physical molecular modelling: Fostering model perception and spatial understanding. Journal of Educational Technology & Society, 4(1), 61-74.

Forneris, S. G., & Peden-McAlpine, C. (2007). Evaluation of a reflective learning intervention to improve critical thinking in novice nurses. Journal of Advanced Nursing, 57(4), 410-421.

Fruland, R. M. (2002). Using immersive scientific visualizations for science inquiry: Co-construction of knowledge by middle and high school students. Proceeding of Annual Meeting of the American Educational Research Association, New Orleans, USA.

Geban, Ö., Askar, P., & Özkan, Ï. (1992). Effects of computer simulations and problem-solving approaches on high school students. The Journal of Educational Research, 86(1), 5-10.

Gibson (1979), The ecological approach to visual perception. Boston: Houghton Mifflin.

Gibson, J. J. (1977). The theory of affordances. In R. Shaw & J. Bransford (Eds.), Perceiving, acting, and knowing: Toward an ecological psychology (pp. 67-82). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. In D. Treagust (Ed.), Multiple representations in chemical education (pp. 1-8). Dordrecht: Springer.

Gorsky, P., & Finegold, M. (1992). Using computer simulation to restructure students' conceptions of force. Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching, 11(2), 163-78.

Ha, H., Lee, C., & Kim, H. (2018). Exploring change in properties of conceptions represented in students' modelling with smart technology and investigating instructional supports for the change. Biology Education, 46(3), 300-317.

Hahn, J. & Lee, K. (2001). A theoretical review on designing virtual reality in the teaching-learning process. Journal of Educational Technology, 17(3), 133-163.

Hansen, J. A., Barnett, M., MaKinster, J. G., & Keating, T. (2004). The impact of three-dimensional computational modelling on student understanding of astronomical concepts: A quantitative analysis. International Journal of Science Education 26(11), 1365-1378.

Hwang, M., Kim, Y., & Cho, Y. (2014). A case study on 3d virtual role play for improving problem solving skills of elementary school pre-service teachers. Journal of Educational Technology, 30(1), 45-75.

Jonassen, D. H. (1991). Objectivism versus constructivism: Do we need a new philosophical paradigm?. Educational Technology Research and Development, 39(3), 5-14.

Kali, Y., Orion, N., & Eylon, B. S. (2003). Effect of knowledge integration activities on students' perception of the Earth's crust as a cyclic system. Journal of Research in Science Teaching, 40(6), 545-565.

Kelton, A. J. (2007). Second life: Reaching into the virtual world for real-world learning. Educause Center for Applied Research, 2007(17), 1-13.

Kennison, M. M. (2006). The evaluation of students' reflective writing for evidence of critical thinking. Nursing Education Perspectives, 27(5), 269-273.

Kim, J. & Kim, Y. (1988). Instructional methods and educational technology. Seoul: Hyungseol.

Kim, S., & Han, J. (2017). A study on characteristics of sound visualization-based VR contents. Journal of the Korea Institute of the Spatial Design, 12(6), 243-252.

Kim, Y. & Chung, W.(1995). An investigation of elementary school children's conceptions on the structure and function of the human body. Journal of the Korean Association for Research in Science Education, 15(1), 6-16.

Kirschner, P. A. (2002). Can we support CSCL? Educational, social and technological affordances for learning. In P. A. Kirschner (Ed.), Three worlds of CSCL: can we support CSCL? (pp. 7-47). Heerlen, Netherlands: Open University of the Netherlands.

Kolb D. (1984). The process of experiential learning. Experiential learning: experience as the source of learning and development (pp. 21-38). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

Kukkonen, J. E., Kärkkäinen, S., Dillon, P., & Keinonen, T. (2014). The effects of scaffolded simulation-based inquiry learning on fifth-graders' representations of the greenhouse effect. International Journal of Science Education, 36(3), 406-424.

Larsen, C. R., Soerensen, J. L., Grantcharov, T. P., Dalsgaard, T., Schouenborg, L., Ottosen, C., & Ottesen, B. S. (2009). Effect of virtual

reality training on laparoscopic surgery: randomised controlled trial. BMJ, 338: b1802.
Lee, E. A. L., Wong, K. W., & Fung, C. C. (2010). How does desktop virtual reality enhance learning outcomes? A structural equation modelling approach. Computers & Education, 55(4), 1424-1442.
Leem, J. (2001). An analytical study on the concept of virtual education and cyber education. Journal of Educational Technology, 17(3), 165-194.
Mayer, R. E. (1999). Multimedia aids to problem-solving transfer. International Journal of Educational Research, 31(7), 611-623.
McFarlane, A., Sparrowhawk, A. & Heald, Y. (2002). Report on the educational use of games. Cambridge: Teachers Evaluating Educational Media.
MacKnight, C., Dillon, A. & Richardson, J. (1991). Hypertext in context. Cambridge: Cambridge University Press.
Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. Computers & Education, 70(2014), 29-40.
Mezirow, J. (1991). Transformative dimensions of adult learning. San Francisco: Jossey-Bass.
Mezirow, J. (1998). On critical reflection. Adult Education Quarterly, 48(3), 185-198.
Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. Journal of Research in Science Teaching, 46(6), 675-698.
Monaghan, J. M., & Clement, J. (1999). Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. International Journal of Science Education, 21(9), 921-944.
Oh, I.(2005). Human rights education process incorporating experiential learning theory and web-based instruction. Journal of Corporate Education and Talent Research, 7(1), 75-93.
Park, Y., Shim, K., Kim, H., Kim, J., Park, J., & Ryu, H. (2001). Exploring application ways of virtual reality technology in science education. Journal of the Korean Association for Research in Science Education, 21(4), 725-737.
Pasqualotti, A., & Freitas, C. M. D. S. (2002). MAT3D: A virtual reality modelling language environment for the teaching and learning of mathematics. CyberPsychology & Behavior, 5(5), 409-422.
Psotka, J. (1995). Immersive training systems: Virtual reality and education and training. Instructional Science, 23(5-6), 405-431.
Rheingold, H. (1991). Virtual reality (pp. 345-47). New York: Touchstone,
Rieber, L. P. (2005). Multimedia learning in games, simulations, and microworlds. In R. Mayer (Ed.), The Cambridge handbook of multimedia learning (pp. 549-567). New York: Cambridge University Press.
Sen, P. K., & Puri, M. L. (1971). Nonparametric methods in multivariate analysis. New York: John Wiley & Sons.
Shim, K., Kim, H., Ryu, S., Kim, H., & Park, Y. (2003). The effect of biology educational material based on virtual reality technology on the knowledge achievement -The structure and function of eye-. Journal of the Korean Association for Research in Science Education, 23(1), 1-8.
Slater, M. (1999). Measuring presence: A response to the Witmer and Singer presence questionnaire. Presence, 8(5), 560-565.
Sweeny, L. B., & Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: Preliminary results of a systems thinking inventory. Proceeding of International System Dynamics Conference, Bergen, Norway.
Tatli, Z., & Ayas, A. (2013). Effect of a virtual chemistry laboratory on students' achievement. Journal of Educational Technology & Society, 16(1), 159-170.
Tüysüz, C. (2010). The effect of the virtual laboratory on students' achievement and attitude in chemistry. International Online Journal of Educational Sciences, 2(1), 37-53.
Winn, W. (1993). A conceptual basis for educational applications of virtual reality. Technical Publication R-93-9, Human Interface Technology Laboratory of the Washington Technology Center. Seattle: University of Washington.
Won, M., Mocerino, M., Tang, K. S., Treagust, D. F., & Tasker, R. (2019). Interactive immersive virtual reality to enhance students' visualisation of complex molecules. In Schultz M., Schmid S., & Lawrie G. (Eds.), Research and practice in chemistry education (pp. 51-64). Singapore: Springer.
Yim, Sun Bin. (1996). Virtual reality as a new learning environment. Journal of Educational Technology, 12(2), 189-205.
Zacharia, Z. (2003). Beliefs, attitudes, and intentions of science teachers regarding the educational use of computer simulations and inquiry-based experiments in physics. Journal of Research in Science Teaching, 40(8), 792-823.

저자 정보

최섭(서울대학교 학생)
김희백(서울대학교 교수)