creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

교육학박사학위논문

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 개발과 효과

Development and Effects of Scientific Modeling Class Using a VR-based Program

2021년 2월

서울대학교대학원

과학교육과 생물전공

최 섭

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 개발과 효과

Development and Effects of
Scientific Modeling Class Using a VR-based Program

지도교수 김 희 백

이 논문을 교육학박사 학위논문으로 제출함
2020년 11월

서울대학교 대학원
과학교육과 생물전공
최 섭

최 섭의 교육학박사 학위논문을 인준함
2021년 1월

위 원 장 김 찬 종 (인)

부위원장 이 준 규 (인)

위 원 나 지 연 (인)

위 원 장 지 은 (인)

위 원 김 희 백 (인)

국문 초록

본 연구는 초등학교 과학 교과 단원인 ‘우리 몸의 소화와 순환’을 주제로 하여 VR 기반 프로그램을 개발하고 이를 활용한 과학적 모형 구성 수업을 설계하기 위한 연구이다. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 학교 현장에 적용함으로써 학생들의 모형 수행 수준 변화에 대한 향상 효과를 검증하고자 하였다. 연구의 대상은 서울 소재 초등학교 6학년 학생 105명이다. 3차시에 걸친 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 투입하였고 수업에서 학생들은 가상현실 프로그램을 체험하였으며 학생들의 사전·사후 모형 수행 수준의 변화를 탐색하였다. 모형 수행 수준은 ‘구조’, ‘기능’, ‘시스템 표상화’, ‘시각화’, ‘표지’ 영역으로 구성된 과학적 모형 수행 수준 분석틀을 사용하여 측정하였다. 이후 학생들과 인터뷰를 진행하여 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업이 모형 수행 수준 변화에 미치는 영향에 관한 학생들의 인식을 조사하였다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 가상현실의 특성인 ‘조작’, ‘감각화’, ‘상호작용’이 반영된 VR 기반 프로그램을 개발하였다. 개발된 VR 기반 프로그램은 실제 교실 수업에서 독립형 HMD 장치를 통해 구현되었다. 개발된 VR 기반프로그램에는 조작적 특성이 반영되어 시행착오에 대한 부담 없이 자유로운 조작이 가능했으며, 감각화의 특성이 반영되어 실제에 가까운 신호와 환경이 제공되었고, 상호작용적 특성이 반영되어 컨트롤러를 사용한 콘텐츠 순서 선택이나 화면 전환이 자유로웠다. 둘째, VR 기반 프로그램을 활용한 초등학생의 과학적 모형 구성 수업을 설계하였다. 이를 위해, 가상현실의 특성을 반영한 교수 활동을 바탕으로 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 단계를 구성하였다. 관련성 있는 문제 상황 제시 및 초기 모형 구성 단계에서는 질문을 통해서 관련성이 높은 문제 상황을 설정하고 초기 모형을 구성하도

록 안내하였다. 모형 구성을 위한 자료 수집 및 분석 단계에서는 문제 해결을 위한 정보를 다양한 매체로 제공하였다. 가상현실 체험을 바탕으로 중간 모형을 구성하는 단계에서는 VR 기반 프로그램을 체험하여 초기 모형보다 발달된 중간 모형을 구성하도록 하였다. 정리 및 수정 단계에서는 생성된 중간 모형을 학생들이 서로 공유하도록 하였다. 셋째, VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업이 학생들의 모형 수행 수준을 향상시켰다. 학생들은 '공간적 사고', '추상적 사고', 반영적 사고'와 같은 고차원적 사고가 촉진되어 모형 수행 수준이 변화하였다고 진술하였으며, 가상현실의 경험 속성을 통해 유도된 '행위유발성', '현존감', '몰입감'으로 인해 모형 수행 수준의 변화가 나타났다고 진술하였다. 본 연구의 결과는 향후 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 학교 현장에서 효과적으로 적용하기 위한 방향을 제시하는 데 기여할 것으로 사료된다.

주요어: 가상현실, 가상현실 수업, VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업, 모형 구성, 모형 수행 수준, 가상현실의 특성, 가상현실의 효과
학번: 2018-37610

목 차

I. 서 론 1
1. 연구의 필요성 1
2. 연구 목적 및 연구 내용 5
3. 용어의 정의 6
3.1 VR 기반 프로그램 6
3.2 과학적 모형 구성 수업 6
3.3 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업 7
3.4 모형 수행 수준 7

II. 이론적 배경 8
1. 가상현실의 개념 8
2. 가상현실의 응용 분야와 교육적 연구 사례 9
2.1 가상현실의 응용 분야 9
2.2 가상현실의 과학 교육 연구 사례 11
3. 가상현실의 특성 12
3.1 조작 13
3.1.1 시뮬레이션 14
3.1.2 불가능 극복의 경험 제공 15
3.1.3 반복 수행 16
3.1.4 시행착오 부담 없는 다양한 시도 16
3.2 감각화 17
3.2.1 다감각적 신호 17
3.2.2 현실 모방의 공간 18

3.2.3 풍부한 정보 제공 18
3.3 상호작용 19
3.3.1 콘텐츠와의 상호작용 19
3.3.2 다른 학습자와의 상호작용 21
4. VR 기반 프로그램의 개발 원리 22
4.1 교육 내용 적합성의 원리 25
4.2 현실 문제 부합성의 원리 26
4.3 현실 환경 유사성의 원리 26
4.4 구조 계획의 원리 26
4.5 활동 전개의 구성 원리 27
4.6 조작 간편의 원리 27
4.7 조작 및 선택의 원리 28
4.8 정보 제공의 원리 28
4.9 반성적 성찰의 원리 29
5. 과학적 모형 구성 29
6. 모형 구성 과정에서 학생이 겪는 어려움과 과학적 모형 구성 수업에서의 가상현실의 역할 33
6.1 모형 구성 과정에서 학생들이 겪는 어려움 34
6.1.1 능동적인 참여의 어려움 34
6.1.2 추상적인 개념에 대한 모형 구성의 어려움 34
6.1.3 직접적인 상호작용 경험의 어려움 35
6.1 과학적 모형 구성 수업에서의 가상현실의 역할 36
6.1.1 능동적인 참여 지원 36
6.1.2 추상적 개념 이해에 도움 제공 37
6.1.3 직접적인 상호작용 경험 제공 38
7. 가상현실의 특성을 반영한 교수 활동 39

7.1 조작적 특성을 반영한 교수 활동 42
7.1.1 자유롭게 조작 및 탐구하는 시간 제공하기 42
7.1.2 시행착오를 거치며 반복해서 체험하도록 안내하기 43
7.2 감각화의 특성을 반영한 교수 활동 43
7.2.1 질문을 통해서 관련성 높은 문제 상황 설정하기 43
7.2.2 문제 해결을 위한 정보를 다양한 매체로 제공하기 44
7.2.3 다감각적 신호에 주목하도록 안내하기 45
7.2.4 360도 시점을 관찰하도록 안내하기 45
7.2.1 현실 상황에 전이하기 46
7.3 상호작용의 특성을 반영한 교수 활동 46
7.3.1 학습 속도 조절 자유롭게 하도록 안내하기 46
7.3.2 콘텐츠 순서 결정 자유롭게 하도록 안내하기 47
7.3.3 시점 이동을 하도록 안내하기 47
8. 모형 수행 수준 47
8.1 구조 영역 50
8.2 기능 영역 50
8.3 시스템 표상화 영역 50
8.4 시각화 영역 51
8.5 표지 영역 52

III. 연구방법 및 절차 53
1. 가상현실의 특성을 반영한 VR 기반 프로그램의 개발 54
1.1 선행 문헌 고찰 54
1.2 주제 선정 56
1.3 VR 기반 프로그램 개발 절차 56
1.4 VR 기반 프로그램의 타당성 검증 58

2. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 설계.....59
2.1 선행 문헌 고찰.....60
2.2 수업 설계 절차.....61
2.3 수업 설계의 타당성 검증.....61
3. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과 검증.....62
3.1 연구 참여자.....62
3.2 연구 설계.....63
3.3 수업 효과 검증 절차.....64
3.4 수업 진행 개요.....65
3.5 자료 수집.....67
3.6 분석 과정.....69
3.7 모형 수행 수준의 분석틀.....70
3.7.1 구조 영역.....75
3.7.1 기능 영역.....75
3.7.2 시스템 표상화 영역.....75
3.7.3 시각화 영역.....76
3.7.4 표지 영역.....77
3.8 모형 수행 수준 분석틀의 타당성 검증.....77
3.9 모형 수행 수준 분석의 타당성 검증.....77

IV. 연구결과 및 논의.....78
1. 가상현실의 특성을 반영한 VR 기반 프로그램의 개발.....78
1.1 가상현실의 특성을 반영한 VR 기반 교육 프로그램 개발.....78
1.2 개발 원리에 따른 VR 기반 교육 프로그램 개발.....82
1.3 개발 프로그램의 제한점.....87
1.3.1 현실과 동일한 공간 충실도 구현 불가.....88

1.3.2 모든 감각 활용 불가 89
1.3.3 장시간 체험 불가 90
1.3.4 학습자 간 상호작용 불가 90
1.3.5 변수 조작 불가 91
2. VR 기반 프로그램을 활용한 초등학생의 과학적 모형 구성 수업의 설계 91
2.1 VR 기반 프로그램을 활용한 초등학생의 과학적 모형 구성 수업의 개요 92
2.2 VR 기반 프로그램을 활용한 초등학생의 과학적 모형 구성 수업 단계 95
2.2.1 관련성 있는 문제 상황 제시 및 초기 모형 구성 95
2.2.2 모형 구성을 위한 자료 수집 및 분석 96
2.2.3 가상현실 체험을 바탕으로 중간 모형 구성 98
2.2.4 정리 및 모형 평가·수정 108
2.3 설계된 수업의 제한점 108
2.3.1 개인적 모형 평가와 수정 과정 개선 필요 108
2.3.2 모형 구성의 사회적 측면 고려 필요 108
2.3.3 VR로 인한 학생들의 담화 방해 109
3. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과 검증 결과 109
3.1 모형 수행 수준의 변화 110
3.2 학생들의 사고 촉진을 통한 모형 수행 수준 변화 112
3.2.1 공간적 사고 113
3.2.2 추상적 사고 116
3.2.3 반영적 사고 119
3.3 가상현실의 경험 속성을 통해 유도된 모형 수행 수준 변화 122
3.3.1 행위유발성 122
3.3.2 현존감 124
3.3.3 몰입감 128
3.4 효과 검증의 제한점 131

3.4.1 VR 체험과 이론과의 연계 131
3.4.2 실험 수업과의 혼합 132
3.4.3 장기적인 연구 133
3.4.4 실험반과 통제반의 정교한 실험 설계 불가 133

V. 결론 및 제언 134
1. 결론 134
2. 제언 136

참고 문헌 140

부록 157

Abstract 168

표 목차

<Table 1> Comparison between virtual environment and real environment ..8
<Table 2> Virtuality continuum 9
<Table 3> Major applied area of VR 10
<Table 4> Characteristics and sub-characteristics of VR 13
<Table 5> Educational principles for designing a VR-based program 24
<Table 6> The difficulties that students face in the modeling process and the role of virtual reality in virtual reality-based modeling class 33
<Table 7> Teaching activities reflecting characteristic of VR.....40
<Table 8> Modellng performance level 49
<Table 9> Progress of VR program development.....57
<Table 10> Example of feedbacks 59
<Table 11> Procedure of class design 61
<Table 12> Participants of this study.....62
<Table 13> Process of verifying the effectiveness of the class 64
<Table 14> Lessons of experimental and control classes 66
<Table 15> Items of the semi-structured questionnaire.....68
<Table 16> Coding scheme of the modeling performance level 71
<Table 17> Example of student E's modeling artifact and modeling performance level coding 74
<Table 18> Design principles for a VR-based program and its examples ...82
<Table 19> Design of scientific modeling instruction using a VR-based program ...93
<Table 20> Mann-Whitney test results of the modeling performance level 111
<Table 21> Ranked ANCOVA test results of System Representation Factor 112

그림 목차

<Figure 1> GEM cycle of model generation, evaluation, and modification(Clement, 1989) 31
<Figure 2> Co-construction of scientific model(Clement, 2008a; Rea-Ramirez *et al.*, 2008; Koo, 2017) 32
<Figure 3> Procedure of the research.....53
<Figure 4> Research design.....63
<Figure 5> Photo of the student activity in VR-based modeling class.....67
<Figure 6> Data collection and data analysis process.....69
<Figure 7> Overview of the VR contents.....79
<Figure 8> Scenes and description of the VR program 'Digestion' incorporating characteristic of VR.....81
<Figure 9> Student H's post scientific model which represents food movement 120
<Figure 10> Student E's post scientific model which represents food chemical change 121

I. 서 론

1. 연구의 필요성

모형 구성 과정은 과학 탐구에서 핵심적이고 본질적인 활동이다(Schwarz *et al.*, 2009). 과학적 모형 구성은 실제 과학을 탐구하는 인식적 실행의 과정으로서 현장 과학자들의 '진정한 수행(authentic practice)'을 실제로 경험하는 사고 활동인 것이다(Hodson, 1992; Schwarz *et al.*, 2009). 학생들은 과학적 모형 구성 수업에 참여함으로써 눈으로 보기 힘든 추상적인 요소나 메커니즘을 자기만의 관점에서 모형으로 생성하고 모형을 뒷받침하는 증거를 찾고 모형을 평가 및 수정하면서 과학 지식을 구성할 수 있다(Baek & Schwarz, 2015; Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000).

하지만 학생들이 모형 구성 수업에 참여하는 데에는 여러 가지 어려움이 있다. 학생 자신이 스스로 지식을 생성할 수 있다는 신념을 가지고 능동적으로 지식 구성 과정에 참여하기 어려워하고(Baek, 2013), 추상적 개념을 이해하기 어려워하며(Parker & Heywood, 1998), 직접적인 상호작용을 통해서 모형 구성의 데이터를 충분히 수집하기 힘든 상황에서 어려워한다(Bell & Trundle, 2008). 이러한 어려움을 극복하기 위하여 여러 가지 시뮬레이션 등의 컴퓨터 기반 교수 학습 방법을 시도하려는 노력이 있었다(Baek & Schwarz, 2015; Barab *et al.*, 2000). 본 연구에서는 학생들이 느끼는 이러한 모형 구성의 어려움을 해결하는 데 도움을 주는 컴퓨터 기반 과학 교수 방법의 일환으로서 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 과정 수업을 탐색하고자 한다.

컴퓨터 기반 교수 방법을 위한 기술은 지난 50년 동안 획기적으로 변화해 왔으며, 과학 교육에 테크놀로지를 적용하는 연구 또한 지속적으로 이루어져 왔다(Psotka, 1995; Kim & Kim, 1988). 최근에는 컴퓨터를 이용한 MBL 실험, 스프레드시트 프로그램뿐만 아니라 VR(Virtual Reality), AR(Augmented Reality)에

이르기까지 다양한 테크놀로지의 교육 현장 도입이 가능해졌다. 이러한 시점에서 현재 테크놀로지를 과학적 모형 구성 수업에 도입하고자 하는 시도가 있어왔다. Buckley(2000) 같은 경우에는 멀티미디어 자료를 영상으로 보여줌으로써 심장의 수축과 팽창 모형 구성 과정을 지원하였으며, de Koning *et al.*(2011)은 애니메이션 자료를 어느 정도의 속도로 시청하는 것이 학생들의 모형 구성에 도움이 되는지 확인하였다. 또한 Chiu *et al.*(2019)은 증강현실 소프트웨어를 통하여 분자 구조 모형에 대한 학생들의 개념을 확인하였고, Ha, Lee & Kim(2018)은 스마트 기기 애플리케이션을 모형 구성 과정에 활용하여 순환계에 대한 학생들의 개념 변화를 탐색하였다. 이렇듯 컴퓨터 기반 테크놀로지는 학생들의 과학적 모형 구성과정에 도움을 주기 위하여 과학적 모형 구성 수업에 도입되었고 그 효과가 탐색되었다. 하지만 최근 대두되고 있는 VR 기술을 활용한 과학적 모형 구성 수업에 대한 연구는 미비한 상황이다.

VR 환경은 지금까지의 과학적 모형 구성 수업에서 활용되어 온 멀티미디어 학습 환경을 뛰어넘어 3차원 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 학생들이 기존의 과학적 모형 구성 수업에서 이해하기 어려웠던 추상적인 내용 영역의 학습을 지원할 수 있는 잠재 가능성이 풍부한 기술로 평가되므로 과학적 모형 구성 수업에 충분히 활용 가능하다.

VR 기반 프로그램에 가상현실 기술이 지닌 다양한 특성이 반영되어 과학적 모형 구성 수업에 활용된다면, 다양한 측면에서 학생들의 과학적 모형 구성 과정에 도움을 줄 수 있다. 가상현실 학습 상황에서 실제 현실과 유사한 상황을 제공하고 학습자의 자유로운 탐구를 지원하여 학습자가 자신의 모형과 실제 현실의 구체물을 비교할 수 있도록 함으로써 능동적으로 지식 생성을 하는 데 도움을 줄 수 있다(Baek & Schwarz, 2015). 또한 가상현실 기술을 통해서 기존의 다른 매체로는 이해하기 어려운 추상적, 입체적 내용을 가상세계에서 3차원

오브젝트로 구현하여 가시화할 수 있다. 학생들이 과학적 모형 구성 수업 시 추상적인 개념을 이해하고 가시화시키기 어려워하는 상황에서 VR 기반 프로그램이 도움이 될 수 있는 것이다(Park *et al.*, 2019). 가상현실 공간은 3차원 입체 환경과의 직접적인 상호작용을 제공함으로써 실제현실에서 불가능한 상호작용을 할 수 있도록 하여(Kim *et al.*, 2001) 모형 구성 과정에서 필요한 데이터를 풍부하게 수집하는 데 도움을 줄 수 있으며, 실제 교실로부터 데이터를 수집하는 장소로 이동하는 시간과 비용을 절감할 수 있게 한다. VR 프로그램을 활용한 수업은 실제적 경험을 통한 상호작용을 하기 위해 야기되는 부수적인 시간을 줄이고, 과학적 모형 구성 과정과 같은 과학 탐구 과정을 할 수 있는 시간을 확보하도록 지원하는 것이다(Bell & Trundle, 2008). 이처럼 VR 기반 프로그램을 과학적 모형 구성 수업에 활용함으로써 학생들의 모형 구성 과정에서의 어려움을 해소하는 데 도움을 줄 수 있다.

기존의 VR 기반 과학적 모형 구성 수업의 도입 과정과 효과 검증에는 한계가 있었다. 데스크탑 연결형 VR 기기의 한계로 인해 360도 경험이 안전하게 제공되기 힘들었으며, 시선 이동에 따른 딜레이가 심한 저화질 장치로는 학생들이 오랜 시간 VR 기반 프로그램 체험을 하기 힘들었다. 그리고 VR 기반 프로그램을 활용한 수업에 대한 논의 및 효과 검증 과정에서 3차원 공간에서의 학습 효과를 검증해야 하는 어려움도 있었다.

또한, 가상현실 교육이 실제로 수행되기 힘들었던 이유 중 하나는 몰입도가 높은 환경을 만들기 위해 필요한 장비 구입 및 프로그램 개발에 드는 비용 때문이었다(Merchant *et al.*, 2014). 헤드셋 무게와 헤드셋 연결선 때문에 생기는 힘든 자세와 부상 등의 불편함도 가상현실 교육의 어려움에 포함되었다(Costello, 1997). 이러한 한계를 극복하기 위해 가상현실의 새로운 기술과 장치가 개발되고 있으며, 정부와 민간에서 많은 재정과 시간 및 기타 자원들이 투입되고 있다(De Freitas, 2006). 특히, 이동형 HMD(head mounted display) 장치의 개발로 인해 보다 더 몰입 가능한 VR 환경을 제공할 수 있게 되었다(Bower & Jong,

2020; Chien & Jenkins, 1994). 기존의 연결형 HMD 장치에는 데스크탑 컴퓨터와 연결해야 했던 불편함이 있었으나, 컴퓨터와의 연결 없이 작동할 수 있는 가벼운 독립형 HMD 장치가 출시되어 360도의 가상공간 체험을 기존의 장치보다 공간제약 없이 자유롭게 체험할 수 있게 되었다. 그리고 현격히 향상된 HMD 디스플레이의 해상도 및 사용자의 시점 이동 속도와 화면 전환 속도 간의 딜레이를 단축하는 기술을 통해 실제에 가까운 가상현실 환경이 구현되었고 사용자의 어지럼증을 최소화하였다. 단지 화면만 보는 것이 아니라 컨트롤러를 통해 공간에서 상호작용할 수 있게 되어 콘텐츠와의 상호작용을 교육적으로 구현할 수 있게 되었으며, VR 장치의 가격대 또한 구매 가능한 수준까지 떨어졌다(Won *et al.*, 2019). 추후 VR 장치는 더 경량화되고 이동성이 극대화된 글래스 형태뿐만 아니라 콘택트렌즈 형태가 상용화될 전망이며, 가상현실 장치를 교실에서 보관 및 이동하기 용이해져 교육적으로 더 많은 연구가 이루어지리라 예상한다. 이러한 기술 혁신을 기반으로 VR 교육 환경을 마련하는 데 장애가 되었던 하드웨어와 소프트웨어의 제약이 대부분 해소되리라 기대된다.

이러한 독립형 HMD 장치가 출시되고 보급되면서 VR이 교육을 변화시킬 것이라는 기대와는 달리, 국내와 해외 교육 현장에서 실제 교실 수업에 활용된 사례는 현재까지 많이 찾아보기 어려운 상황이다(Park *et al.*, 2019). VR 기반 프로그램이 교과 수업에 적용된 실제 사례 연구 가운데 중·고등학생을 대상으로 한 수업에 관한 선행 연구는 몇몇 있으나 초등학생을 대상으로 한 수업에 관한 연구는 거의 찾아보기 힘들고, 과학적 모형 구성 수업에 VR 기반 프로그램을 도입한 수업 사례는 거의 전무하다. 학생들이 과학적 모형 구성 수업에서 '소화'라는 추상적 개념을 직접적으로 가시화하기 어려워하며(Parker & Heywood, 1998), 실제로 인체를 대상으로 실험하여 직접적인 상호작용을 통해 과학적 모형 구성을 위한 데이터를 수집하는 것은 현실적으로 어려운 상황이다(Bell & Trundle, 2008). 실제로 학생들은 '우리 몸의 소화기관의 구조와 기능'이라는 주제로 과학적 모형으로 구성해 내는 것을 어려워한다. 그러므로 학생들이 소화기

관의 구조와 기능에 관한 모형을 구성하면서 겪는 어려움을 해결하는 데, VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 도입할 필요가 있다.

이러한 상황에서 본 연구에서는 독립형 HMD 장치를 통해 구현되고, 가상현실의 특성인 '조작', '감각화', '상호작용'이 반영된 VR 기반 프로그램을 개발하고자 하였다. 그리고 학생들의 소화기관의 구조와 기능에 대한 모형 구성 과정에 도움을 주기 위해 개발된 VR 기반 프로그램을 실제 학교 현장의 과학적 모형 구성 수업에 도입하였다. 이후에 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서 나타난 학생들의 모형 수행 수준의 향상 효과를 혼합연구를 통해 검증하고자 하였다.

2. 연구 목적 및 연구 내용

본 연구의 목적은 초등학교 과학 교과의 '우리 몸의 구조와 기능' 단원에서 '우리 몸의 소화기관'을 주제로 한 VR 기반 프로그램을 개발하고, 이를 활용한 과학적 모형 구성 수업을 설계하여 실제 현장 수업에 적용하는 것이다. 이후에 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업이 학생들의 모형 수행 수준 향상에 기여하는지 효과를 검증한다. 이와 같은 연구의 목적을 달성하기 위해 다음과 같은 연구 내용을 탐색하였다.

1. 가상현실의 특성을 반영한 VR 기반 프로그램의 개발
2. VR 기반 프로그램을 활용한 초등학생의 과학적 모형 구성 수업의 설계
3. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과 검증

3. 용어의 정의

3.1 VR 기반 프로그램

VR(가상현실, virtual reality)은 현실과 비슷한 인위적인 공간을 디지털 양식으로 구현하여 상호작용하도록 하는 테크놀로지(Baek, 2010; Newquist, 1992)를 의미하며, 인간이 기계를 사용하여 복잡한 데이터를 조작, 시각화, 상호작용하는 기술(Aukstakalnis & Blatner, 1992)이다. VR 기반 프로그램이란 이러한 VR 테크놀로지를 바탕으로 사용자가 가상세계에서 '조작', '감각화', '상호작용'을 할 수 있도록 구현된 프로그램을 의미한다(Aukstakalnis & Blatner, 1992; Baek, 2010; Hahn & Lee, 2001; Yim, 1996). VR 기반 프로그램을 통해 기존의 2차원의 텍스트나 그림 또는 평면적인 동영상 화면을 제시하는 수준에서 벗어나 사용자가 완전한 몰입감을 느끼고 가상현실 공간에서 객체를 제어할 수 있는 3차원적인 입체적 시각 정보를 제공할 수 있다(Kim *et al.*, 2001). 사용자는 이러한 가상세계에서 자신이 생각한 가설을 직접 검증하며 고차원적 사고를 통한 문제 해결을 할 수 있다(Han, 2019).

3.2 과학적 모형 구성 수업

과학적 모형 구성 수업이란 자연 현상을 설명하고 예측하기 위해 단순화 및 추상적 표상화된 설명 체계인 과학적 모형(scientific model)을 생성하고 이를 뒷받침하기 위해 데이터를 증거로 하여 모형을 평가하고 수정하는 수업(Clement, 1989; Justi & Gilbert, 2002)이라 정의한다. 학생들은 이러한 모형 구성 과정을 통해 과학자들이 지식을 추론하고 생산하는 과정에 대해 이해하게 된다(Hodson, 1992).

3.3 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업

가상현실 기술을 사용하면 학생들의 모형 구성 과정에서 느끼는 어려움인 능동적인 참여의 어려움(Baek, 2013), 추상적인 개념 이해의 어려움(Gilbert & Treagust, 2009; Wu & Shah, 2004), 직접적인 상호작용의 어려움(Bell & Trundle, 2008)을 해결하는 데 도움이 될 수 있다. 가상현실 기술을 통해 학습자의 능동적 참여를 지원하고 학습자가 추상적인 개념의 이해를 돕도록 입체적인 환경과 직접적인 상호작용 경험을 제공함으로써 과학적 모형 구성 과정에서 겪는 어려움을 해결할 수 있는 것이다. 하지만 가상현실을 활용해서 과학적 모형 구성 과정에서의 어려움을 해결하기 위해서는 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서 가상현실의 특성인 조작, 감각화, 상호작용이 효과적으로 반영될 수 있도록 교수·학습 활동을 통해 지원할 필요가 있다(Mellar *et al.*, 2014). VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업이란 가상현실의 특성이 반영된 VR 기반 프로그램을 지원하는 교수 활동을 통하여 학습자의 과학적 모형 구성의 어려움을 해결하도록 돕는 수업을 의미한다.

3.4 모형 수행 수준

‘모형 수행 수준(level of modeling performance)’이란 학생들이 주체가 되어 자신들이 이해한 내용이나 메커니즘을 시각적 요소로 표상한 모형(model)을 통해 자신들의 이해와 아이디어를 설명하는 정도(Bamberger & Davis, 2013)를 의미한다. 모형 수행 수준을 알아봄으로써 학생들이 공간적 사고, 추상적 사고, 반영적 사고를 이용하여 얼마나 정교하게 구조, 기능, 시스템을 표현할 수 있는지, 학생들이 학습 내용을 얼마나 실감나게 시각화하여 나타낼 수 있는지, 자신들의 아이디어를 의사 교환하기 위하여 얼마나 노력하고 있는지를 가늠할 수 있다. 본 연구에서는, 사전과 사후 검사에서의 모형 수행 수준을 비교하여 VR 기반 프로그램을 과학적 모형 구성 수업에 활용함에 따른 효과를 알아보고자 하였다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. 가상현실의 개념

가상현실 테크놀로지는 3차원 세계를 경험하도록 돕는 혁신적인 도구로서 새로운 가상현실 학습환경 플랫폼을 제공하는 기술로 강조되어왔다(Yim, 1996). Gibson(1995)은 자신의 소설 Neuromancer(Gibson, 1995)에서 가상현실이라는 용어를 최초로 사용하였으며, 이 소설에서 가상현실은 가상 환경과 시뮬레이션에서 현실감각을 체험하는 실험도구로서 미디어와 인간이 상호작용하는 공간이라는 의미로 처음 소개되었다. Aukstakalnis & Blatner(1992)는 가상현실(Virtual Reality, VR)이란 기계를 사용하여 복잡한 데이터를 조작 및 시각화하고 상호작용하는 기술로 정의하였으며, Baek(2010)은 이러한 가상현실 기술로 구성된 인위적 공간을 가상세계(virtual world)라고 명명하였다.

가상 환경의 개념은 현실 환경과의 비교를 통해 그 개념을 명확히 할 수 있다. Baek(2010)은 가상 환경과 현실 환경 간의 차이를 <Table 1>과 같이 제시하였다. 현실 환경은 아날로그 방식으로 표현되고 일상적인 경험을 통해 인식되며 시공간의 제약이 있는 물리적 공간이지만, 가상 환경은 디지털 방식으로 표현되어 미디어를 통해 사용자에게 인식되고 시공간을 초월하여 네트워크 공간이 구성될 수 있는 환경으로 보았다.

<Table 1> Comparison between virtual environment and real environment

구분	현실 환경	가상 환경
표현 양식	아날로그	디지털
인식 양식	일상적 경험	미디어
시공간	한계성	초월성
공간구성	물리적 공간	네트워크 공간

Milgram & Kishino(1994)는 증강 현실과 가상 환경 간의 차이를 살펴보고 가상 연속체(virtuality continuum) 선상에서의 가상 환경의 위치를 확인함으로써 그 개념을 더 명확히 하였다. 증강 현실(Augmented Reality)은 실제 환경에서 가상의 객체가 존재하는 공간이고 증강 가상(Augmented Virtuality)은 가상의 환경에 실제의 객체가 존재하는 공간인 반면, 가상 환경(Virtual Environment)은 가상의 환경에 가상의 객체가 존재하는 공간으로 보았다. 가상 연속체의 개념을 현실과 가상이 혼재하는 각각의 혼합된 현실(Mixed Reality)로 분류하여 설명한 것은 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Virtuality continuum

분류		내용
혼합된 현실 (Mixed Reality)	실제 환경 (Real Environment, RE)	실제 환경에 실제 객체가 존재하는 환경
	증강 현실 (Augmented Reality, AR)	실제 환경에 가상의 객체가 존재하는 환경
	증강 가상 (Augmented Virtuality, AV)	가상의 환경에 실제 객체가 존재하는 환경 (현재 이 기술은 개발되지 않았음)
	가상 환경 (Virtual Environment, VE)	가상의 환경에 가상의 객체가 존재하는 환경

2. 가상현실의 응용 분야와 교육적 연구 사례

2.1 가상현실의 응용 분야

가상현실 기술은 1960~70년대 비행 연습 시뮬레이션 등 군사 훈련의 목적으로 만들어지기 시작한 이래로 발달을 거듭해 왔으며(Park *et al.*, 2019), VR 기

술에 대한 관심이 증대되고 있어 다양한 분야로 확산, 적용되고 있다(Dalgarno & Lee, 2010). 하드웨어 기술 개발과 보급으로 헤드폰, 3-D 안경, 데이터 장갑 등의 보조기기를 적절한 가격 선에서 구입할 수 있게 되었으며, 두 명 이상의 사용자가 동시에 접속할 수 있는 인터넷 환경을 통해 여러 분야에 적용될 가능성이 대두되고 있는 것이다(Chen & Teh, 2000). VR 기술은 향후 상업, 연예, 군사 등 여러 분야에서 더욱 확산될 것으로 기대된다(Chen, 2006; McFarlane, Sparrowhawk & Heald, 2002). Kim *et al.*(2001)은 가상현실 기술이 활용되고 있는 응용 분야를 정리하였으며, 이는 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Major applied area of VR

응용 분야	예시
과학 분야	3차원으로 가시화하기 어려운 상황(태양계, 분자, DNA 구조) 모델링
교육 분야	원격 교육 분야
의료 분야	수술 경험 시뮬레이션
오락 분야	가상 박물관, 가상 미술관, 가상 운동 경기 중계
토목 및 건축 분야	가상 인테리어, 가상 주택 디자인
정치 사회 분야	가상 선거 스튜디오
산업 분야	가상 사이버 쇼핑몰, 항공 비행 시뮬레이션, 원자력 피폭 위험이 높은 상황에 접근
군사 분야	전차 시뮬레이션

과학 분야에서는 가상현실을 통해 3차원 모델링으로 가시화하기 힘든 것들, 가령 크기가 매우 큰 태양계나 아주 작은 분자, DNA 구조 등을 시각화하는 데 활용하고 있다. 교육 분야에서는 거리와 시간의 제약을 극복하여 원격 교육에 활용되고 있으며, 의료 분야에서는 실제로 연습이 어려운 수술 경험을 시뮬레이션 할 수 있도록 제공하고 있다. 오락 분야에서는 가상 박물관이나 미술관, 가상 여행, 가상 운동경기 중계 등으로 활용되고 있다. 토목 및 건축 분야에서는 가상현실에서의 컴퓨터 그래픽을 통해 건축 및 인테리어를 미리 시뮬레이션하고 가상 주택 디자인을 통해 공간 구성 및 기능을 조정하고 있다. 정치 사회 분야에서는 가상 스튜디오에서 선거 결과에 대한 중계를 진행하고 있으며, 산업 분야에서는 가상 사이버 쇼핑몰의 물건을 직접 확인해보고 가상의 아바타를 통해 실물을 착용해볼 수 있도록 가상현실 기술이 활용되고 있다. 또한 항공 훈련을 가상으로 진행하고, 원자력 피폭과 같이 접근이 어려운 상황에서도 작업에 대한 시뮬레이션이 진행되고 있다. 군사 분야에서는 전차 훈련과 같은 시뮬레이션을 가상현실 기술을 통해 구현하고 있다.

2.2 가상현실의 과학 교육 연구 사례[1)]

가상현실 기술을 K-12(유아~중등교육) 및 그 이상의 과학 교육에 도입한 것은 1990년대 Science Space, Safety World, Global Change, Virtual Gorilla Exhibit, Atom World, Cell Biology 등의 프로젝트들과 함께 시작되었다(Youngblut, 1998). 가상현실 기술의 교육적 효과를 살피고자 시도하는 연구들은 데스크탑 컴퓨터를 기반으로 하는 VR 기술이 확산된 2000년대부터 본격적으로 수행되기 시작하였다(Merchant *et al.*, 2014). VR 기술의 효과를 밝힌 과학 교육 연구는 중·고등 학생에서부터 대학생에 이르기까지 다양한 대상으로 수행되었다.

---

1) 이 부분은 최섭, 김희백 (2020). 가상현실 특성을 반영한 VR 프로그램 기반 수업 적용 및 효과라는 제목으로 *한국과학교육학회지, 40*(2), 203-216에 게재된 논문의 일부를 재구조화하여 제시하였음.

VR 기술이 개념적 지식뿐만 아니라 실험 수행 능력과 같은 절차적 지식의 발달에 영향을 미친다는 과학 교육 분야의 여러 선행 연구 결과가 보고되어 왔다. 생물 교육 분야에서는 가상현실 기술을 적용한 개구리 해부 실험을 수행하여 교육적 효과를 거두었다는 연구가 있었고(Lee, Wong, & Fung, 2010), 지구과학 교육 분야에서는 학부생을 대상으로 VR 기반 프로그램을 투입한 결과 천문학 현상에 대한 개념 이해가 향상되었다는 결과(Barab *et al.*, 2000)가 보고되었다. 화학 교육 분야에서는 VR 기술을 기반으로 한 컴퓨터 시뮬레이션 실험 수업을 수행할 때 화학 지식과 과학 탐구 능력에서의 효과가 나타난다는 연구 결과(Geban, Askar, & Özkan, 1992)가 있었으며, 9학년 학생들을 대상으로 한 화학 수업에 VR 기반 프로그램을 적용하여 학생들의 흥미와 학업 성취, 절차 지식이 향상되었다는 연구 결과(Tatli & Ayas, 2013; Tüysüz, 2010)도 있었다.

3. 가상현실의 특성[2)]

가상현실이라는 매체가 가진 고유한 특성을 탐색하는 과정은 가상현실을 활용한 교육적 접근을 하기 위한 바탕이 된다. Hahn & Lee(2001)는 가상현실 매체는 3차원 공간에서 사용자가 '조작(Manipulation)', '감각화(Sensitization)', '상호작용(Interaction)'할 수 있도록 구현된 환경적 특성을 보인다고 주장하였다.

Fruland(2002)는 조작적 특성에 대해서, 2차원 공간에서 설명하기 어려운 내용, 시각화하기 힘든 내용, 추상적인 내용 등이 시공을 뛰어넘은 가상현실에서 구현되고 학습자는 이러한 환경에서 자신의 시선이나 움직임을 조작할 수 있다고 보았다. Leem(2001)은 감각화적 특성에 대해서, 가상현실 매체는 3차원 입체 환경과 소리를 결합하여 다중감각적 자극을 제공하여 학습자의 동기를 유발하는 동시에 탐구 능력 및 문제해결 능력 향상에 기여할 수 있는 유용한 도구라 강조하였다. Baek(2010)은 가상현실 공간에서는 다양한 유형의 활동 참여와 상호작용 기회 제공하는 것이 가능하기 때문에 향후 교육 분야에서도 가상현실이

---

2) 이 부분은 최섭, 김희백 (2019). 가상현실 특성을 반영한 생물 수업 적용 방안 탐색이라는 제목으로 *생물교육학회지, 47*(3), 263-277에 게재된 논문의 일부를 재구조화여 제시하였음.

광범위하게 활용될 것으로 기대하였다. 이를 종합하여 가상현실의 특성을 <Table 4>에 정리하였으며 각각의 가상현실의 특성을 구체적으로 제시한 내용은 다음과 같다.

<Table 4> Characteristics and sub-characteristics of VR

가상현실 특성	하위특성
조작	시뮬레이션 불가능 극복의 경험 반복 수행 시행착오 부담 없는 다양한 시도
감각화	다감각적 신호 현실 모방의 공간 풍부한 정보
상호작용	자유로운 화면 전환 자유로운 내용 선택 자유로운 시점 선택

3.1 조작

'조작(Manipulation)'이란 가상세계에서 사용자의 시선이나 움직임을 시공을 뛰어넘어 직접적으로 제어할 수 있도록 구현된 가상현실의 특성을 의미한다(Fruland, 2002; Hedberg & Alexander, 1994). 가상현실 공간에서는 사용자가 자신의 시선이나 움직임을 자신들의 감각으로 조종하고 다양한 조작 활동을 통해 시뮬레이션 하는 것이 가능하다(Baek, 2010). '조작'의 가상현실의 특성 범주에 해당하는 가상현실의 하위 특성으로 '시뮬레이션', '불가능 극복의 경험', '반복 수행', '시행착오 부담 없는 다양한 시도'를 확인하였다.

3.1.1 시뮬레이션

Trollip & Alessi(2001)는 시뮬레이션이란 실세계를 모사하여 실세계와 비슷한 몇 가지 내용을 가르치는 효과적인 기술이라 정의했으며, 학습자는 이러한 시뮬레이션 학습을 통해, 방법을 학습하는 '절차적 시뮬레이션(procedural simulation) 상황'과 실제로 일어날 수 있는 맥락에서 다양한 방법을 결정하는 '상황적 시뮬레이션(situational simulation) 상황'을 처리하는 능력이 향상될 수 있다고 보았다.

Kim *et al.*(2001)은 가상현실의 시뮬레이션이 지닌 특성으로 인해 학습자들은 여러 가지 조건과 상황을 실제처럼 통제하고 조작할 수 있다고 주장하였다. 따라서 학습자들은 이러한 가상의 상황을 다루는 절차와 방법을 익히고, 다양한 상황에서 능동적으로 결정하고 행동하는 경험을 하게 된다. 또한 가상에 놓인 문제 상황에서 객체나 데이터를 실제 상황처럼 자유롭게 조작하고 실험함으로써 현실과 가까운 높은 수준의 실제감을 느끼고 문제 상황 속에 숨겨진 원리를 자연스럽게 체득하게 된다.

Baek(2010)은 시뮬레이션이란 실제와 비슷한 모형을 만들어 모의 실험할 수 있는 가상 상황을 제시하는 방식이라 주장하였다. 시뮬레이션은 실제 과정이나 상황을 모방하는 쌍방향 디지털 학습 환경으로서 시뮬레이션을 통해 학생은 입력한 변인과 결과에 미치는 영향에 대한 가설을 시험할 수 있는 것이다(De Jong, 1991). 예를 들어, Bell & Trundle(2008)의 연구에서는 학생들은 달의 위상 변화에 관한 시뮬레이션을 통해 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 바탕으로 달의 위상 변화에 대한 가설을 설정하고, 이러한 가설을 바탕으로 아이디어를 생성해 낸다는 것을 확인할 수 있었다. 이처럼 학습자는 시뮬레이션을 통해 개인적으로 자신의 가설을 구상하고 시험하며, 기존의 지식과 최종적인 경험의 조각을 모아 하나의 통합된 지식을 생성할 수 있다.

3.1.2 불가능 극복의 경험 제공

Fruland(2002)는 가상현실 공간은 실제로 불가능한 경험을 하도록 돕는다는 측면에서, 교육 분야에 유용하게 적용될 수 있다고 보았다. 학습자는 가상현실 시스템 상에서 객체의 일부가 되어 활동하는 경험을 할 수도 있고, 현실에서 불가능한 시점으로 객체를 바라볼 수도 있으며, 시간과 공간을 초월하여 이동할 수 있다. 가상현실 프로그램을 통해 실제 세계에서조차 관찰할 수 없는 현상까지도 관찰할 수 있게 되는 것이다(Bell & Trundle, 2008). 또한 학습자는 가상현실 공간 안에서 자신의 모습을 원하는 대로 바꾸거나, 자신이 상상하는 바를 행동으로 옮기거나 조작하면서 기존에는 불가능했던 학습을 경험할 수 있다(Baek, 2010). 가상현실은 실제로는 멀어서 직접 가지 못하는 장소, 사건, 경험을 직접 체험할 수 있도록 도움을 주는 것이다(Park *et al.*, 2019). 예를 들어, 가상 환경에서 태양과 달 사이의 각도 거리를 직접적인 관찰보다 더 일관성 있고 정확하게 측정하거나(Bell & Trundle, 2008), 가상의 음식물이 되어 몸 속 소화기관을 통과하는 체험을 통해 우리 몸의 소화기관을 세부적으로 학습할 수 있고(Choi & Kim, 2020), 가상 환경에서 양성자가 되어 미시 환경을 경험하거나(Kontogeorgiou, Bellou & Mikropoulos, 2008), 무중력 상태에서 뼈를 여러 각도로 조작할 수도 있다(Seo *et al.*, 2017). Kelton(2007)의 연구에서는 가상현실 프로그램인 세컨드 라이프(Second Life) 상에서 학습자가 국가 해양 및 대기청(NOAA) 기관을 통해 가상의 허리케인에 들어가는 경험이나, 쓰나미가 몰려올 때의 상황을 가상 체험하면서, 현실에서 불가능한 학습 상황에 능동적으로 참여하게 되는 것을 확인하였다. 지금까지 이와 같은 활동은 안전상의 이유로 실제 체험이 어려웠으나 가상현실을 통해 이러한 체험을 시간적, 경제적 소모 없이도 경험할 수 있게 된 것은 가상현실의 주요한 특성으로 볼 수 있다.

3.1.3 반복 수행

Park *et al.*(2017)은 가상현실 공간에서 사용자가 특정한 상황을 반복해서 경험할 수 있다는 특성을 강조하였다. 일반적인 교육 현장에서는 교사와 학습자 모두에게 시간적 여유가 부족하다. 한 명의 교사와 다수의 학생이 수업을 진행하기 때문에 일대일 상호작용을 하기 어렵고, 동일한 내용의 반복적 수행도 현실적으로 불가능한 상황인 것이다. 하지만 Park *et al.*(2019)은 가상현실 공간에서는 학습자의 필요에 따라 충분히 만족할 만한 수준까지 처음으로 계속 되돌리며 반복 수행하는 것이 가능하다고 설명했다. 가상현실 공간에서는 기존에 시간적, 공간적 제약으로 인하여 어려웠던 텍스트와 학습자의 상호작용을 반복 수행하는 것이 가능해진 것이다. 가상현실의 이러한 특성이 실제 과학적 모형 구성 수업에서 반복 수행을 통해 모형을 증거하는 데이터를 제공하고 새로운 지식을 구성하도록 도움을 줄 수 있다(Baek, 2010).

3.1.4 시행착오 부담 없는 다양한 시도

Kim *et al.*(2001)은 가상현실 상황에서 시행착오를 통해 자기주도적 학습을 할 수 있으며, 이를 통해 학생의 흥미가 유발된다고 보았다. 가상현실 환경은 기존의 매체보다 허용적인 학습환경을 제공함으로써 시행착오가 자유롭고, 실수로부터 배울 수 있다는 특성이 나타나 흥미가 유발되는 것이다(Seo *et al.*, 2017; Kim *et al.*, 2001). 이러한 특성으로 인해서 학습자들은 가상현실 상황에서 자유롭게 조작할 수 있는 자유도를 얻고 시행착오를 두려워하지 않게 되어 편안한 상태에서 망설임 없이 학습에 참여할 수 있게 된다. Park *et al.*(2019)은 이러한 VR 상황에서는 학습자가 자신의 의도대로 문제를 해결하는 데 실패하는 두려움을 가질 필요가 없으므로 더 많은 선택권을 가지고 다양한 시도를 함으로써 학습자의 창의력이 발휘될 수 있다고 보았다.

3.2 감각화

'감각화(Sensitization)'란 3차원 입체 환경과 청각적 자극을 결합하여 사용자가 콘텐츠와 다중감각적 상호작용을 가능하게 하는 특성을 의미한다(Leem, 2001). 가상현실은 실제 현실을 모방한 공간으로서 현실과 유사한 다감각적 신호를 정보로 제공하고 학습자들이 이러한 정보를 이용하여 학습에 더 몰입하도록 도와주며, 현실적인 경험과 유사한 경험을 제공하여 학습 효과를 준다(Baek, 2010).

Dalgarno & Lee(2010)는 가상현실은 3차원 공간에서 부드러운 화면 전환과 실제와 같은 객체들의 움직임을 시각적으로 제공하고 청각적으로 여러 방향에서 소리가 나오게 함으로써 거리감을 구현하며, 컨트롤러를 통한 촉각적인 피드백을 통해 속도나 압력까지도 제시할 수 있다는 점에서 인간의 오감을 자극하기에 적절한 매체로 보았다. 가상현실의 감각화의 특성으로 인해 텍스트나 2차원 그래픽 자료로는 이해하기 힘든 학습 내용이나 시각적으로 가시화하기 어려운 내용, 추상적인 개념, 직접적으로 관찰이 힘든 개념을 이해하는 데 도움을 줄 수 있다(Fruland, 2002). 감각화 범주에 해당하는 가상현실의 하위 특성으로 '다감각적 신호', '현실 모방의 공간', '풍부한 정보'를 확인하였다.

3.2.1 다감각적 신호

Calongne(2008)는 가상현실 공간이 학습자에게 청각과 시각을 포함한 다감각적 콘텐츠를 제공하고 학습자가 가상공간에서 직접적인 경험을 하도록 도와줄 수 있다고 주장하였다. 특히 시각적인 측면에서, 가상현실 공간은 다중 시점을 통해 그래픽 차원의 관계를 파악할 수 있도록 도움을 주는 특성이 있다(Baek, 2010). 운동 감각적으로는 컨트롤러와 시점을 자기가 원하는 대로 조정하면서 더 높은 현존감을 느끼도록 도와줄 수 있다.

3.2.2 현실 모방의 공간

Baek(2010)은 가상현실은 현실 공간의 대상을 3차원 공간으로 재구성하는 모방의 공간으로서 학습자가 현실 세계와 유사한 환경에서 활동할 수 있는 상황을 제공한다고 보았다. 예를 들어, 세컨드 라이프(Second Life)와 같은 가상현실 프로그램 상에서는 현실 사회가 가상공간에 그대로 재현된다. 가상현실 공간의 학교 활동에 참여하고 수업을 듣는 것에서부터 일상 생활까지 현실과 유사한 경험을 가상 공간에서도 할 수 있는 것이다. 또한 가상현실 공간에서 제시하는 오브젝트들은 실제와 최대한 유사하게 개발되어 현실을 반영한 공간 충실도(fidelity)가 높아야 학습자의 몰입도를 증가시킬 수 있으며(Trollip & Alessi, 2001), 이렇게 현실을 유사하게 반영한 가상공간을 통해 학습자는 가상공간에 몰입하고 상호작용할 수 있다(Winn, 1993).

3.2.3 풍부한 정보 제공

가상현실 공간은 다른 매체와 달리 풍부한 시각적·청각적 정보를 제공하고 사용자는 이러한 많은 정보 중에서 자신에게 필요한 정보를 선택할 수 있다. Park *et al.*(2019)은 그림이나 사진과 같은 정적 시각 매체를 비롯하여 동영상이나 TV와 같은 동적인 시각 매체에서는 사용자가 단일하고 획일적인 시점을 수용하도록 제시하는 반면, 가상현실 공간에서는 사용자가 자신의 시점에 대한 선택권과 통제권이 있다고 보았다. 사용자는 자신의 시점을 제어하고 많은 시점과 장면을 시뮬레이션 해봄으로써 짧은 시간 동안 많은 양의 데이터 결과를 얻어낼 수 있으며(Bell & Trundle, 2008), 360도 가상 환경에서 제공되는 풍부한 시각 정보 중에서 자기에게 필요한 장면을 선택할 수 있는 것이다.

3.3 상호작용

‘상호작용(Interaction)’이란 사용자가 특정한 행동을 함에 따라 콘텐츠 상에서 이루어지는 자연스러운 주체 상호 간의 반응을 의미한다(Park *et al.*, 2019). 가상현실은 3차원 기술을 바탕으로 시간과 공간을 초월하여 콘텐츠와 학습자, 학습자와 다른 학습자가 즉각적으로 반응하고 실시간으로 상호작용하도록 지원한다(Baek, 2010).

Dewey(1938)는 교육이란 환경과의 상호작용을 통한 경험의 재구성 과정이라고 보았으며, 가상세계에서는 이러한 상호작용을 제공할 수 있다. 가상현실의 상호작용적 특성은 학습 과정에서 가상현실과 학습자의 정신적, 신체적 상호작용을 통해 더 효과적으로 구현될 수 있는 것이다(Baek, 2010). 가상현실 공간에서는 기존 교육 상황에서 구현될 수 없었던 콘텐츠와의 상호작용 경험을 제공할 뿐만 아니라(Fruland, 2002), 공간적으로 멀리 떨어진 학습자들을 서로 이어주는 시스템을 제공함으로써 효과적으로 교육을 지원할 수도 있다(Dalgarno & Lee, 2010). 본 연구에서는 학습자의 시점이나 화면 전환에 따른 자연스러운 피드백과 이에 따른 프로그램의 반응에 초점을 맞춘 콘텐츠와 학습자의 상호작용(Burdea & Coiffet, 2003)을 주로 다루었으며, 콘텐츠와의 상호작용 범주에 해당하는 가상현실의 하위 특성으로 ‘자유로운 화면 전환’, ‘자유로운 콘텐츠 선택’, ‘자유로운 시점 선택’을 확인하였다.

3.3.1 콘텐츠와의 상호작용

Biocca & Delaney(1995)는 가상현실 환경은 상호작용적이고 실제적 특성이 나타나며, 이러한 특성은 사용자가 콘텐츠에 몰입하도록 돕는다고 보았다. 가상현실 콘텐츠와의 상호작용은 콘텐츠와 학습자 사이의 상호작용을 의미하며, 이러한 특성을 통해서 학습자에게 특정 오브젝트와의 자연스럽고 직관적이며 즉각적인 상호작용 경험을 제시한다(Winn & Bricken, 1992; Burdea & Coiffet, 2003).

Strain(1997)에 따르면 상호작용의 특성은 상호작용 수준이 향상되면서 강화될 수 있는데, 가상현실과 같은 콘텐츠와 학습자의 상호작용은 그 양상에 따라 상호작용의 수준을 3단계로 분류한다. 1단계는 단순히 콘텐츠에 접근하는 단계로서 학습자가 접속, 수용하는 것이 가능한 상태이다. 2단계는 학습자가 콘텐츠 내에서 스스로 순서를 바꾸거나 형태를 일부 변화시킬 수 있는 단계이다. 마지막으로 3단계는 학습자가 콘텐츠 제작자와 마찬가지로 자유롭게 콘텐츠를 변화시킬 수 있는 상호작용 수준을 말한다. 가상현실 학습에서는 상호작용의 수준이 높아질수록 학습자가 자기만의 아이디어를 구성할 수 있는 자유도가 커지고, 콘텐츠와의 상호작용 또한 활발히 이루어져 학습효과가 나타날 수 있다.

Steuer(1992)에 따르면 콘텐츠와의 상호작용의 구성요소로는 사용자의 반응에 얼마나 빠르게 반응하는지를 나타내는 요소인 '속도(speed)'와 사용자가 얼마나 다양한 행동을 선택해서 수행할 수 있는지를 나타내는 요소인 '범위(range)'가 있으며, 사용자의 변화에 따라 가상 환경이 그에 맞게 적절히 변화하는지에 관한 요소인 '일치(mapping)'가 있다. 가상현실 콘텐츠와의 상호작용은 학습자에게 실시간으로 자유롭게 객체를 조작하고 통제할 수 있는 통제력을 줌으로써 가상현실 공간에 더 몰입할 수 있도록 하고, 학습자가 가상의 경험을 실재한다고 생각하도록 하여 지식 구성 과정을 촉진할 수 있다.

3.3.1.1 자유로운 화면 전환

Kim *et al.*(2001)은 가상현실에서 사용자의 의지에 따라 화면을 전환하고 다음 장면으로 이동하는 상호작용이 가능하다고 보았다. 가상현실 상황에서는 사용자가 원하는 시선 방향을 선택해서 바라볼 수 있으며 자기가 원하는 시점에서 장면을 전환하는 것이 가능한 것이다. Vogel *et al.*(2006)은 학습자가 자신의 화면을 직접 통제할 수 있는 통제권을 가지고 있을 때 학습이 더 효과적으로 이루어진다고 주장하였고, Park *et al.(*2019)은 이러한 통제권이 능동적인 학습에 도움을 준다고 보았다.

3.3.1.2 자유로운 콘텐츠 선택

Vogel *et al.*(2006)은 가상현실에서는 콘텐츠의 내용과 순서를 선택할 수 있는 특성이 있으며, 가상 환경에서 콘텐츠에 대한 학습 순서를 결정할 수 있는 경우에 더 높은 성과를 나타낸다고 보았다. 학습자에게 무슨 내용을 언제 어떻게 학습할지 스스로 결정할 선택권이 주어지고 자신의 학습에 대한 주인 의식을 가질 수 있도록 도와줄 때, 학습자의 자율성은 강화되어 교육적 효과가 나타나는 경향이 있다(Kim *et al.*, 2001).

3.3.1.3 자유로운 시점 선택

Park *et al.*(2019)은 가상현실에서는 사용자가 자유롭게 다양한 시점을 선택할 수 있는 특성이 나타난다고 주장하였다. 또한 가상공간에서는 다양한 시점 변화가 가능하고, 타인이나 다른 객체의 상황을 체험할 수 있는 환경이 제공됨으로써, 다양한 시각으로 상황을 이해할 수 있는 공감적 시각 형성이 촉진된다고 설명하였다. 3차원의 가상 공간에서 주어진 현상을 다른 각도와 위치에서 바라볼 수 있도록 하는 특성은, 학생들이 현상을 이해하고 통찰력을 얻는 데 도움이 된다(Barab *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2001).

3.3.2 다른 학습자와의 상호작용

Kim *et al.*(2001)은 가상현실은 학습자 간의 상호작용이 가능한 공간을 제공함으로써 학습적인 측면에서 긍정적 효과를 준다고 설명하였다. 예를 들어, Kelton(2007)의 연구에서는 미국과 일본의 고등학교가 맺은 교환학생 프로그램인 PacRimX 프로젝트를 통해 세컨드 라이프 프로그램을 이용하여 양국 학생들이 가상공간에서 만나 상호작용함으로써, 언어적 학습이 이루진 것을 확인할 수 있었다.

다른 학습자와의 상호작용에 관련해서 Baek(2010)은 가상현실 공간에서는 학습자가 실제로 다른 장소에 존재하는 다른 학습자 또는 가상에 존재하는 등장인물과 상호작용하는 준사회적 상호작용(parasocial interaction)이 일어난다고 보았다. 학습자는 실제로 의사소통을 하는 것처럼 가상현실의 등장인물들과 준상호작용을 하며, 이러한 상호작용은 실제 세계와 유사하기 때문에 자연스러운 상호작용이 이루어진다. 실제 세계와 가상세계의 사회성을 비교한 Blascovich *et al.*(2002)의 실험 결과, 두 공간에서 유사한 사회적 과정이 일어났으며 가상세계에서의 학습자 반응 또한 현실 세계에서의 사회적 상호작용 반응과 비슷하게 나타났다. 가상현실의 이러한 특성은 사회 적응에 어려움을 겪거나, 다양한 사회적 관계를 갖기 힘들어하는 사람들에게 기능적 대체재(functional alternative)의 역할을 하는 방식으로 활용될 수 있다(Baek, 2010).

가상현실은 사회적 상호작용을 통해 공동의 과제를 수행하고 새로운 협력적 발견을 하도록 지원하는 특성이 있다. 이러한 가상현실의 특성은 사회적 상호작용을 통해 학습자가 지식을 내면화하고 자기만의 의미를 구성하는 것을 중요시하는 사회적 구성주의 관점(Vygotsky, 1978)과도 맥락을 같이 한다. 교실 내에서의 가상현실 매체와 같은 스마트 기기의 활용을 통해 이러한 협력적 상호작용을 가능하게 하는 가상현실의 특성이 반영된다면 학생들의 학습 효과를 극대화하도록 지원할 수 있다(Yang, Jo & Noh, 2015). 또한 가상현실의 사회적 상호작용이 현실에서의 상호작용과 유사한 강도의 상호작용으로 구현되면, 과학적 모형 구성 과정에서 일어나는 학생들 간의 상호작용에 긍정적 영향(Baek, 2010; Clement, 2008b)을 미칠 수 있다.

4. VR 기반 프로그램의 개발 원리

VR 기반 프로그램은 단순히 VR 기기를 통해 콘텐츠를 구현하는 것에 그쳐서는 안 되고, 개발 단계에서부터 VR 기반 프로그램의 원리에 입각해서 개발이 이루어지도록 해야 한다. Han(2019)은 문헌 조사와 전문가 타당성을 바탕으로 12가지 개발 원리를 도출하였다. 제시된 개발 원리에는 현실 문제의 중요성을

반영해야 한다는 ‘현실 문제 부합성의 원리’, 가상현실 기술을 통해 개발하기에 적합한 내용인지 판단하는 ‘가상현실 기술 적합성의 원리’, 가상현실의 환경이 현실감과 사실감이 있어야 한다는 ‘현실 환경 유사성의 원리’, 스토리의 특성을 고려하여 가상현실 구조를 계획할 필요가 있다는 ‘구조 계획의 원리’, 전문가가 내용에 접근하는 방법이 반영되어야 한다는 ‘전문가 접근 구현의 원리’, 사용자의 활동이 어떻게 전개되는지 스토리보드를 구성할 필요가 있다는 ‘활동 전개의 구성 원리’, 단순한 활동에서 복잡한 활동으로 순차적으로 진행될 필요가 있다는 ‘단순-복잡의 진행 원리’, 가상현실에서 사용자가 현존하고 있다 느낄 수 있도록 화면 구성이 되어야 한다는 ‘가상 인식의 원리’, 실제와 동일한 탐색 및 조작 활동이 가능하도록 개발되어야 한다는 ‘조작 및 선택의 현실성 원리’, 도입단계에서 활동 수행에 대한 정보가 제공되어야 한다는 ‘정보 제공의 원리’, 도입단계에서 어떤 활동을 수행해야 하는지 사고할 수 있도록 해야 한다는 ‘사고 촉진의 원리’, 가상현실에서 사용자가 피드백을 기반으로 반성적으로 사고할 수 있도록 개발되어야 한다는 ‘반성적 성찰의 원리’가 있었다.

Park *et al.*(2019)은 사전 문헌에 기반하여 VR 기반 프로그램의 개발 원리를 제시하였다. 제시된 개발 원리에는 화면의 언어정보와 그림이 인접해서 제시될 필요가 있다는 ‘근접성의 원리’, 프로그램에서는 학습에 관련된 정보만 제공될 필요가 있다는 ‘일관성의 원리’, 애니메이션과 음성이 제시되도록 개발할 필요가 있다는 ‘정보 양식의 원리’, 너무 많은 자극이 제시되는 것에 주의하여 개발할 필요가 있다는 ‘중복의 원리’, 학습 방향을 일정하게 유지하기 위해서 프로그램 탐색 도구가 시각적으로 제공될 필요가 있다는 ‘안내된 탐색의 원리’가 있었다.

본 연구에서는 프로그램을 개발하기 위해서 위의 VR 기반 프로그램의 개발 원리와 다양한 선행 문헌에 대한 추가적인 조사를 바탕으로 VR 기반 프로그램의 개발 원리를 마련하였다. 이러한 개발 원리를 실제 프로그램 개발 과정에서 고려하고 기술적으로 뒷받침되는 한계 내에서 최대한 구현하였다. 본 연구에서 프로그램 개발을 위해 사용된 개발 원리를 <Table 5>에 정리하였으며 각 개발 원리에 대한 구체적인 사항은 다음과 같다.

<Table 5> Educational principles for designing a VR-based program

개발 원리	내용	문헌
교육 내용 적합성의 원리	가상현실 테크놀로지를 활용하여 교육용 콘텐츠로 개발하기 적합한 교육내용을 다룸	Kim *et al.*, 2001; Reddy & Mint, 2017
현실 문제 부합성의 원리	가상현실 상황에서 다루는 문제가 현실에서 발생하는 문제인지 파악함	Dalgarno, 2010; Metcalf *et al.*, 2011
현실 환경 유사성의 원리	현존감 및 사실적인 다감각적 신호가 실제 현실과 유사하게 구현되도록 묘사함	Park *et al.*, 2019; Steuer, 1992
구조 계획의 원리	가상현실 콘텐츠가 어떠한 활동 내용과 이야기 특성을 고려하여 전개될 것인지 계획함	Han, 2019
활동 전개의 구성 원리	가상현실의 활동 전개와 진행을 위해 어떠한 내용과 화면이 포함될지 구상함	Han, 2019
조작 간편의 원리	사용자가 간편하게 조작할 수 있도록 이해하기 쉬운 사용법을 제공함	Bell & Trundle, 2008; English, King, & Smeed, 2017; MacKnight, Dillon & Richardson, 1991; Park *et al.*, 2019

조작 및 선택의 원리	사용자가 다양한 측면에서 탐색하고 조작하도록 하며 다양한 선택을 할 수 있도록 함	Pantelidis, 1993
정보 제공의 원리	사용자의 활동 수행에 도움이 되는 정보를 이미지와 음성 형태로 제공하여 확인할 수 있도록 함	Hwang *et al.*, 2014; Mayer, 2005, Han, 2019
반성적 성찰의 원리	활동이 적절하게 수행되지 못하였을 때 다시 활동이 이루어질 수 있도록 기회를 제공함	Bell & Trundle, 2008; Park *et al.*, 2019

4.1 교육 내용 적합성의 원리

Reddy & Mint(2017)는 가상현실 콘텐츠를 개발할 때 가상현실 테크놀로지를 활용하여 교육용 콘텐츠로 개발하기에 적합한 내용을 다루고 있는지 확인할 필요가 있다고 주장하였다. 즉, 가상현실 콘텐츠를 개발하는 과정에는 비용과 노력이 많이 투입되기 때문에 가상현실 기술을 실제로 수업에서 효율적으로 활용하기 위해서는 학습 주제의 선정에서부터 세심한 주의가 필요한 것이다.

Kim *et al.*(2001)은 기존의 교육 방법으로는 학습이 어려운 주제가 가상현실 콘텐츠의 내용에 적합하다고 주장하였다. 우주 탐사, 해저 탐사, 원자 구조 관찰과 같이 실제 경험이 불가능한 상황이나 비행 실험, 수술처럼 위험한 상황에 가상현실을 적용하면 실감 나는 간접경험을 통해 긍정적인 학습 효과를 기대할 수 있음을 확인하였다. 또한 기후 변화 실험이나 생화학 실험처럼 환경이나 인간에 유해하거나 재산상 피해가 예상되는 내용을 다룰 경우에도 적합하다고 보았다. 반면에 가상현실에 적합하지 않은 주제로는 실제 교실에서 다른 학생들과 상호작용이 필요한 경우, 감정적인 피해가 예상되는 경우, 실제와 가상을 혼동시켜 혼란을 가중할 경우, 가상현실로 구현하기에 비용이 많이 들거나 그 과정이 어렵고 복잡한 경우가 해당한다고 설명하였다.

4.2 현실 문제 부합성의 원리

Dalgarno & Lee(2010)는 가상현실 기술은 현실 세계와 일치하는 수준의 실제적 상호작용을 제공할 수 있기 때문에, 가상 환경에서 학습자가 배우게 될 내용과 해결해야 할 문제는 실제 현실과 연관 지어 적용하는 것이 효과적이라고 주장하였다. 개발 과정에서부터 가상현실 상황에서 다루고 있는 문제가 실제로 발생하는 문제인지 파악할 필요가 있는 것이다. Metcalf *et al.*(2011)은 가상 환경에서 실제 현실에서 일어날 수 있는 복잡한 문제를 해결하면서 탐구 경험을 할 수 있고 이를 통해 지식을 구성할 수 있다고 보았다.

4.3 현실 환경 유사성의 원리

Steuer(1992)는 가상현실의 완성도는 현실과 유사하고 생생한 감각 신호와 상호작용이 잘 이루어지는 정도에 따라 차이가 나므로 가상현실 콘텐츠는 최대한 실제에 가까운 객체를 사용하여 충분한 현존감을 제공할 수 있어야 한다고 주장하였다. 가상현실 프로그램에서 사실적인 다감각적 신호가 실제 현실과 유사하게 구현되도록 묘사되고 현존감을 증진시킬 필요가 있는 것이다. Park *et al.*(2019)는 이러한 현존감을 제공하지 못하는 가상현실 콘텐츠는 학습자의 몰입도를 저하하고 학습자는 이러한 콘텐츠에서 충분한 학습 효과를 거두기 힘들다고 보았다.

4.4 구조 계획의 원리

Han(2019)은 가상현실 콘텐츠를 전체적인 시나리오를 따라 어떤 순서로 진행될 것인지 도출할 필요가 있다고 주장하였다. 가상현실 개발 단계에서 가상현실 콘텐츠가 어떠한 활동 내용과 이야기 특성을 고려하여 전개될지 계획할 필요가 있는 것이다. 콘티를 구체적으로 구성하는 과정에서 콘텐츠의 시작, 활동, 종료 단계에서 사용자가 어떤 화면을 접하게 될지 흐름도를 구성할 필요가 있다.

4.5 활동 전개의 구성 원리

Han(2019)은 스토리보드를 통해 각각의 장면에서 어떠한 설명과 내용이 제시될지 정리함으로써 VR 기반 프로그램의 활동 전개 과정을 효과적으로 구성할 수 있다고 보았으며, Mayer(1999)는 활동 전개 과정에서 설명과 화면이 일치될 필요가 있다고 보았다. 이것은 가상현실의 활동 전개와 진행을 위해 어떠한 내용과 화면이 포함될지 구체적으로 구성할 필요가 있다는 것을 의미한다. 예를 들어, 활동 단계에서 사용자의 시뮬레이션에 따라 프로그램에서 어떠한 반응이 수행되는지 고려하거나 종료 단계에서는 피드백을 어떤 방식으로 제시할 것인지 구체적으로 고려하는 경우를 들 수 있다.

4.6 조작 간편의 원리

Park *et al.*(2019)은 가상현실 콘텐츠는 학습자가 사용법을 쉽게 이해하고 조작할 수 있도록 제작되어야 한다고 주장하였다. 사용자가 조작법 및 사용법을 이해하기 쉽도록 가상현실 콘텐츠를 제작할 필요가 있는 것이다. 사용자를 위해서 이러한 배려를 해야 하는 이유는 가상현실 시뮬레이션의 편리성은 컴퓨터 시뮬레이션을 활용한 참여자의 학습을 성공적으로 지원하는 데 중요한 역할을 하기 때문이다(Bell & Trundle, 2008). 특히 어린 학습자는 동영상과 음성이 연결된 하이퍼미디어(hypermedia) 환경에서 전체 환경 구조에 대한 정확한 모형을 갖기 힘들고 접속 위치와 도착 위치를 상실하는 경우가 있으므로(MacKnight, Dillon & Richardson, 1991), 가상현실 공간에서의 체험이 이루어지기 이전에 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서 가상현실 기기의 조작을 설명하고 화면 기능을 직접적으로 안내할 필요가 있다(Baek, 2010; English, King, & Smeed, 2017).

4.7 조작 및 선택의 원리

Baek(2010)은 가상현실 공간은 자유로운 선택이 가능한 공간으로서 학습할 주제를 다양한 시각으로 바라볼 수 있도록 선택할 수 있는 기회를 제공해야 한다고 주장하였다. 사용자가 다양한 측면에서 탐색하고 조작하도록 하며 가상현실 공간에서 다양한 선택을 할 수 있도록 지원할 필요가 있는 것이다. Pantelidis(1993)은 가상현실이라는 매체는 활동 수행을 자유롭게 선택할 수 있도록 지원하여 자기주도적이고 적극적인 학습 참여를 유도한다고 보았다. 또한 이러한 자유로운 수행은 학습자가 교사에 의존하여 학습하는 것에서 벗어나 가상현실 상황에서 자기 주도적으로 오브젝트를 조작하고 자기 스스로 지식을 구성하고 활용하도록 하는 바탕을 마련할 수 있다(Park *et al.*, 2019).

4.8 정보 제공의 원리

Hwang *et al.*(2014)는 가상현실 상황에서 다양한 정보를 제공함으로써 스스로 문제를 정하고 자율적으로 해결하는 개별화 교육이 가능하다고 주장하였다. 가상 환경에서 다중 접속이 가능하도록 네트워크가 구현되지 않는 한, 가상현실에서 체험하는 학습자는 교사나 다른 학생들로부터 도움을 받지 못하는 상황에 처하게 된다. 이러한 상황에서 사용자의 활동 수행에 도움이 되는 정보를 이미지 또는 음성 형태로 제공하였는지 확인할 필요가 있다. 학생들이 가상 환경에서 고립되지 않고 최대한 스스로 활동을 수행할 수 있도록 절차적·내용적 정보를 콘텐츠 자체적으로 제공할 필요가 있는 것이다. 가상현실 프로그램 내에서 두 가지 이상의 신호로 정보를 제시할 필요가 있으며, 내용적 정보가 시각적·청각적 신호로 통합된 정보인 경우에 한 가지 정보를 제공할 때보다 더 나은 학생들의 이해를 지원할 수 있다(Han, 2019; Mayer, 2005).

4.9 반성적 성찰의 원리

Park *et al.*(2019)은 가상현실 상황에서 학습자가 학습 내용을 충분한 수준까지 습득할 때까지 반복 수행하여 조작하는 것이 가능하다고 보았다. 활동이 적절하게 수행되지 못한 상황에서 여러 번 활동을 반복하는 기회를 제공할 필요가 있는 것이다. Bell & Trundle(2008)은 이러한 반성적 성찰을 바탕으로 한 반복적인 수행을 통해 자신의 가설을 발전시키고 가설에서 기인한 예상을 검증할 수 있다고 주장하였다. 즉, VR 기반 프로그램은 사용자가 잘못된 선택을 하거나 필요 시 다시 선택할 수 있는 기회를 제공할 수 있도록 개발될 필요가 있는 것이다(Lim & Yeon, 2009).

5. 과학적 모형 구성

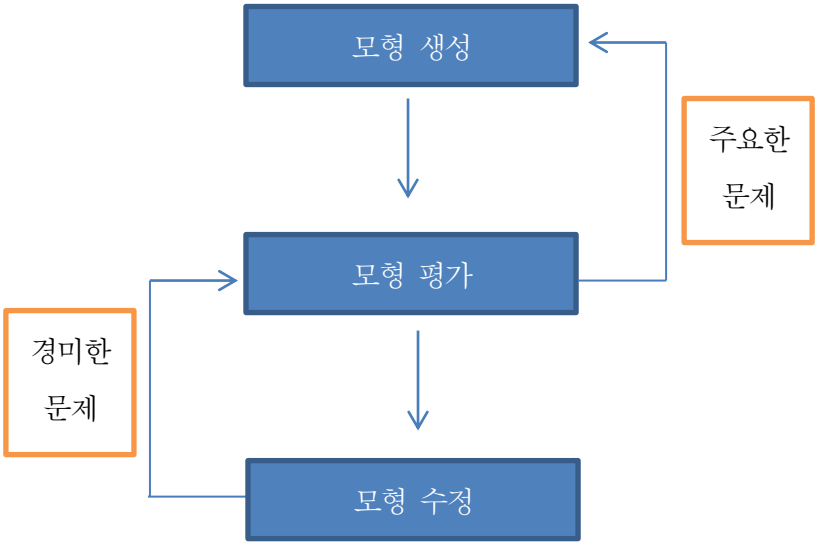
Justi & Gilbert(2002)는 과학적 모형(scientific model)이란 자연 현상을 설명, 예측하기 위해 추상적 내용을 단순화하여 표상화 한 설명 체계를 의미하며, 모형을 구성해 나가는 과정을 '모형 구성(modeling)'이라 정의하였다.

과학 교육에서는 다양한 측면에서 모형 구성의 중요성에 대해 역설하고 있다. Hodson(1992)의 경우, 학습자는 모형 구성 활동을 통해 과학자가 수행하는 '진정한 실행(authentic practice)'을 경험하고 과학의 본성을 이해하게 된다고 보았으며, Schwarz *et al.*(2009)은 과학적 모형을 구성하는 것은 실제 과학을 탐구하는 과정에 직접 참여할 수 있도록 하는 본질적인 활동이라 강조하였다. 이와 같은 모형 구성 활동을 통해 학생들은 자신의 아이디어를 정교화하고 개선하면서 실제 과학자의 실행에 가까운 경험을 할 수 있다. 또한 과학적 모형 구성 과정은 학습자 개인의 과학 지식 구성 및 개념 이해에 도움을 줄 수 있으며, 학습자는 모형 구성을 통해 메커니즘이나 보이지 않는 추상적인 요소에 대한 자신들의 정신 모형을 표상화하면서 새로운 내용 지식을 구성하고 이해를 발달시킨다(Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000; Baek & Schwarz, 2015).

학습자들은 모형을 사회적으로 구성하는 과정에서 서로의 아이디어를 나누고 평가하며 과학 공동체 구성원으로서 사회적으로 지식을 구성하는 방법을 배울 수 있다. Baek & Schwarz(2015)의 경우, 학생들은 과학적 모형 구성에 참여하면서 서로의 아이디어를 평가하고 개선하고 더 나은 의사소통 방법을 찾는다고 보았다. 과학적 모형 구성 과정을 통해서 학습자들의 의사소통 능력 발달에도 기여할 수 있는 것이다. 이들은 학습자가 사회적 모형 구성과정을 통해 모형을 수정해 나가면서 그 모형을 뒷받침할 수 있는 증거를 찾고 그 역할에 초점을 맞추는 경험을 함으로써 사회문화적 인식을 계발할 수 있다는 것을 확인하였다.

Duit & Glynn(1996)은 이러한 모형 구성 과정이 초기 모형에서 과학적 모형으로 전환되는 학생 개인의 진보 과정을 확인할 수 있는 중요한 기회를 제공할 수 있다고 보았다. 학습자의 모형 구성 활동 결과를 통해 교사는 학습자의 진보 과정을 확인할 수 있는 것이다. 교사는 초기 모형과 수정된 모형을 비교함으로써 학생들의 개념 향상 과정을 확인할 수 있다.

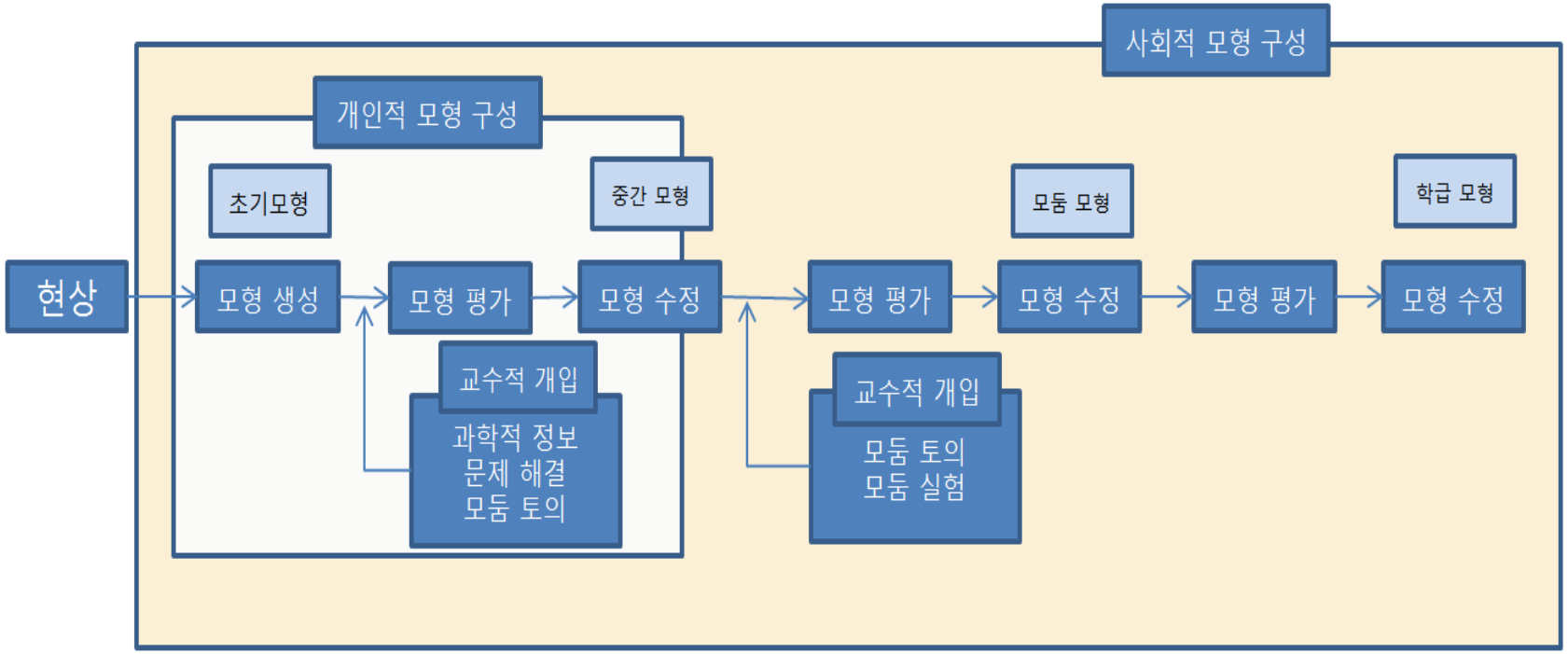
과학 수업에서의 과학적 모형 구성 과정을 살펴보면, GEM 순환, 즉 모형 생성(Generation), 모형 평가(Evaluation), 모형 수정(Modification)의 단계를 거치게 된다(Clement, 1989). 생성 단계에서는 학생들이 기존에 지니고 있는 대안 개념이나 선개념을 바탕으로 초기 모형을 구성하고, 평가 단계에서는 실제로 얻게 되는 데이터를 증거로 하여 목표로 하는 실제 현상과 초기 모형이 유사한지 비교·대조하여 평가한다. 마지막으로 수정 단계에서는 초기 모형을 수정하여 실제 현상을 설명하는 모형에 근접하도록 수정한다. 이 과정은 순환적으로 이루어지며, 평가 과정에서 주요한 문제가 발생하였을 경우에는 다시 모형 생성 단계로 돌아가고, 경미한 문제가 발생한 경우 수정 과정을 거친 모형이 다시 평가받게 된다. 이와 같은 과정을 그림으로 나타내면 다음의 <Figure 1>과 같다.



<Figure 1> GEM cycle of model generation, evaluation, and modification(Clement, 1989)

과학적 모형의 발달은 개인적인 수준에서만 일어나는 것이 아니라 사회적인 수준에서도 일어나며 보다 더 높은 수준의 모형을 생성할 수 있다. 학습자들은 자신들의 생각을 표상화하기 위해 모형을 생성하고, 다른 학습자로부터 검증을 받고 다시 수정하는 과정을 순환적으로 반복함으로써 자신들이 지니고 있는 정신 모형을 점차 높은 수준으로 발달 시켜 나갈 수 있는 것이다(Clement, 2008b; Koo, 2017).

Koo(2017)는 학생들은 개인적 모형이 구성된 다음 사회적 상호작용을 통해서 보다 높은 수준의 목표(target)모형을 구성할 수 있다고 주장하였다. 개인적 모형 구성 단계에서 학생들은 스스로 주어진 데이터를 기반으로 자신만의 모형을 만들고, 이러한 과정을 통해 만들어진 중간 모형을 소집단 논변활동을 거쳐서 모둠 모형으로 만들게 된다. 마지막으로 교사와 함께 학급 전체의 합의를 통해서 학급 모형을 구성하게 된다. 전체적인 과정(Clement, 2008a; Rea-Ramirez *et al.*, 2008; Koo, 2017)은 <Figure 2>와 같다.



<Figure 2> Co-construction of scientific model(Clement, 2008a; Rea-Ramirez *et al.*, 2008; Koo, 2017)

6. 모형 구성 과정에서 학생이 겪는 어려움과 과학적 모형 구성 수업에서의 가상현실의 역할

과학적 모형 구성 과정에서 학생들은 여러 가지 어려움을 겪는다. 스스로 지식을 생성할 수 없을 것이라는 인식을 바탕으로 능동적으로 모형 구성을 수행하기 힘들어하는 경향이 있고(Baek, 2013), 추상적인 과학 개념을 모형으로 가시화하는 데 어려움을 겪고 있으며(Parker & Heywood, 1998), 직접적인 상호작용 경험을 할 수 없는 상황에서 모형 구성을 수행하기 어려워한다(Bell & Trundle, 2008). 그러므로 능동적인 참여를 지원하고 가상현실을 통해 추상적 개념을 가시화하며 직접적인 상호작용 경험을 제공한다면 학생들이 모형 구성에 큰 어려움 없이 다가갈 수 있으리라 사료된다. 이에 대한 내용을 개략적으로 정리하면 <Table 6>과 같이 나타낼 수 있다.

<Table 6> The difficulties that students face in the modeling process and the role of virtual reality in virtual reality-based modeling class

모형 구성 과정에서 학생들이 겪는 어려움		과학적 모형 구성 수업에서의 가상현실의 역할
능동적인 참여의 어려움	→	능동적 참여 지원
추상적 개념에 대한 모형 구성의 어려움	→	추상적 개념 이해에 도움 제공
직접적인 상호작용 경험의 어려움	→	직접적인 상호작용 경험 제공

6.1 모형 구성 과정에서 학생들이 겪는 어려움

6.1.1 능동적인 참여의 어려움

Giere(1999)는 과학 지식이란 세상을 이해하는 방법의 하나로서, 세상을 이해하는 목적이 달성되기 위해서는 자연 현상(phenomena), 실체(entities) 및 과학자들이 생성한 아이디어들이 제시되어야 한다(must be presented)고 보았으며, Cunningham(1991)에 의하면 이러한 과학 지식을 구성하는 과정은 정신적 모형을 표상화함으로써 의미를 인지하는 능동적 사고 과정을 통해 이루어진다. 과학적 모형이란 학생들이 실제 과학을 하는(doing science) 과정에 참여하고, 자신의 지식과 아이디어를 스스로 정교화한 능동적 사고 과정의 결과물이다(National Research Council, 2012). 하지만 학생들은 능동적으로 과학적 모형을 구성하면서 지식을 습득하고 발달시키기 어려워하며, 학생들의 능동적인 참여가 어려운 데에는 모형에 대한 인식에서 그 원인을 찾을 수 있다. 대부분의 학생들은 모형이 과학자의 지식을 단순히 복제한 복제본에 불과하다는 편견이 있기 때문이다(Baek, 2013). 학생들이 자기 자신에게 지식을 구성할 힘이 있으며 새로운 지식 즉, 자기만의 모형을 만들어 낼 수 있다는 확신을 가질 수 있도록 지원할 필요가 있다.

6.1.2 추상적인 개념에 대한 모형 구성의 어려움

Baek & Schwarz(2015)는 과학적 모형 구성은 자연의 보이지 않는 요소, 과정, 메커니즘을 시각화하고 보여줄 수 있다는 점에서 과학 교육에서 중요시되어 왔으며, 과학적 아이디어를 시각화하는 유용한 도구라 주장하였다. 하지만 학생들은 과학적 모형 구성과정에서 직접 관찰하기 힘든 추상적 과학 현상에 대한

과학적인 정신 모형을 가지기 힘들어하는 경향이 있으며(Gilbert & Treagust, 2009), 과학적 개념에는 3차원에서 일어나는 동적인 사건을 이해해야 하는 추상적인 개념이 많기 때문에 학생들은 이러한 개념을 이해하고 모형 구성 활동을 특별히 더 어려워한다(Parker & Heywood, 1998). 이에 대해 Wu & Shah(2004)의 경우, 학생들은 추상적인 과학 현상을 이해하기 위해서 2차원의 종이 책에서 보이는 현상을 입체적으로 변환하여 모형을 구성하는 과정에서 어려움을 느끼기 때문이라 설명하였다.

6.1.3 직접적인 상호작용 경험의 어려움

Clement(2008b)는 학습자가 과학적 개념과 자신의 개념의 불일치를 조정하는 경험이나 실험 활동 경험을 통해, 자신의 대안 개념을 과학적 개념으로 점차 수정해 나간다고 주장하였다. 하지만 모형 구성을 위한 충분한 데이터를 실제 세계에서 경험하기에는 시간적, 공간적 제약이 있다. 예를 들어, Barab *et al.*(2000)의 천문학 교실 실험과 같은 경우 학생들이 일식과 월식을 관찰하며 모형 구성을 해야 하는데, 실제 세계에서 일식과 월식을 관찰하기란 시간적·공간적으로 거의 불가능에 가깝고, Bell & Trundle(2008)의 사례처럼 학생들이 최적의 시간에 최적의 과학적 데이터를 실제 현실에서 직접 얻어내는 것 역시 불가능에 가까운 일이다. 또한 실제 세계에서의 직접적인 상호작용을 대체할 수 있는 매체가 아직 마땅히 존재하지 않는다는 것도 제약으로 작용한다. 책이나 그림과 같은 2차원 매체는 3차원 공간에서의 동적인 관계를 제공할 수 없으며, 3차원 공간에서 구현된 동영상을 통해 보여주더라도 다양한 시점에서 여러 현상을 관찰하기란 불가능하다. 이처럼, 학생들은 상호작용하여 데이터를 얻기 위한 시공간적 제약과 적절한 정보 매체의 부족으로 모형 구성 과정을 어려워한다.

6.1 과학적 모형 구성 수업에서의 가상현실의 역할

Mellar *et al.*,(2014)은 가상현실과 같은 컴퓨터 기술이 학습자 모형 구성에서 중요하고 결정적인 역할을 할 수 있는 가능성을 내포하고 있다고 보았다. 가상현실 기술은 시뮬레이션을 통해 모형의 동적 메커니즘을 이해하고 모형 구성의 인식론을 지원하고 발달시킬 수 있으며(Baek & Schwarz, 2015), 특정 현상의 주요 특성을 가시화함으로써 현상의 설명과 예측을 모형에 반영하는 데 도움이 될 수 있고(Harrison & Treagust, 2000), 가상현실의 상호작용 경험을 통해 모형 구성을 도울 수 있다(Baek, 2010). 선행 연구를 바탕으로 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서 가상현실 기술의 역할을 아래와 같이 확인하였다.

6.1.1 능동적인 참여 지원

Pantelidis(1993)는 가상현실 교육은 새로운 경험이 제시되는 상황에서 자기 주도적이고 적극적인 학습 참여를 유도할 수 있다고 보았다. 가상현실에서의 경험은 단순한 경험에서 벗어나 지적 탐구가 이루어지도록 도울 수 있으며(Han, 2019), 가상현실에서 이루어지는 개인적 경험은 자신의 가설을 검증할 수 있는 증거로 활용되며 이러한 검증 과정을 거쳐 과학적 모형과 같은 새로운 지식을 구성해 나갈 수 있는 것이다(Kim *et al.*, 2001).

Zacharia(2003)는 가상현실 시뮬레이션은 관찰한 결과를 토대로 프로그램에서 구현한 과학 개념과 학습자 자신이 구성한 개념을 비교하도록 지원함으로써 과학 개념과 학습자 개인의 개념 사이의 불일치를 조정하고 학습자의 능동적인 개념 변화를 위한 이상적인 환경을 제공할 수 있다고 보았다. 가상세계에서는 현실에서와 유사한 자연스러운 피드백과 실제적인 감각 신호 구현되고 학습자가 자유롭게 행동하고 상황을 통제 및 조작할 수 있으며, 이를 통해 학습자가 과학적 모형과 자신이 구성한 모형을 비교하고 개선하는데 도움을 줄 수 있는 것이다.

Baek & Schwarz(2015)는 가상세계에서 제공하는 이러한 비교·평가하는 특성이 모형 구성에 도움을 줄 수 있다고 주장하였다. 가상현실 기술과 같은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제공되는 실증적인 정보들이 모형 구성 과정에서 자신의 모형을 뒷받침하는 증거로 사용될 수 있으며 이 과정이 학습자가 지식에 대한 인식론을 지원하고 발달시키는 데 결정적인 역할을 할 수 있다고 본 것이다. 더 나아가 가상현실 환경이 능동적인 지식 구성을 돕는 과정으로 구현되는 경우 학습자는 자신이 스스로 지식 구성 과정에 참여할 수 있다는 것을 인지하게 되고, 다른 실제적 과제를 해결하는 상황에서도 자신이 생성한 지식을 적극적으로 활용할 수 있게 되는 것이다(Park *et al.*, 2019). 학습자는 이러한 지식 구성 과정에 참여함으로써 자신이 직접 구성한 지식의 주체가 되고 학습에 대한 능동성을 기를 수 있다. Barab *et al.*(1999)은 이 과정에서 교사는 자신의 역할을 정보 전달자에서 학습 촉진자로 바꾸면서 학생들이 지식을 스스로 능동적으로 생성할 수 있도록 지원할 필요가 있다고 보았다.

6.1.2 추상적 개념 이해에 도움 제공

추상적인 과학 개념을 이해하기 위해서는 눈으로 확인하기 어렵고 감지하기 어려운 개념이나 추상적인 현상을 가시화하여 제시할 필요가 있다(Kim *et al.*, 2001). Winn(2002)은 가상현실 기술을 통해 3차원 세계에서 과학 개념을 표상화함으로써 학생들의 추상적 이해가 발달되는 데 도움을 줄 수 있다고 보았으며, 이러한 이해가 추상적 과학 개념을 모형으로 구성하는데 필요한 자원으로 사용될 수 있다고 주장하였다.

Dede *et al.*(1999)은 가상세계는 실제적인 색감, 소리, 역동적 움직임, 자막 등의 다감각적 신호를 통해 현실과 유사한 3차원 환경으로 구성되며, 이러한 다감각적 정보를 통해 추상적이고 복잡한 과학적 모형에 대한 학생의 이해를 증진시킬 수 있다고 보았다. 예를 들어 3차원으로 구현된 소화기관에 들어가 직접

연결된 소화기관의 상황과 과정을 체험함으로써 '소화기관은 연결되어 있다.'는 시스템적 개념을 자연스럽게 이해할 수 있다. 더 나아가, 가상현실 기술은 현상의 주요 특성을 가상공간에서 가시화하고 그 현상에 대한 학습자의 설명과 예측을 지원함으로써 모형 구성 과정에 도움을 줄 수 있다고 보았다.

6.1.3 직접적인 상호작용 경험 제공

Hahn & Lee(2001)는 가상현실 기술은 가상현실이 실제와 유사한 상호작용 경험을 제공한다는 측면에서 구성주의에 기반한 교수 학습을 구현하기에 적합하다고 주장하였다. 구성주의의 핵심 아이디어는 학습자에 의해서 지식이 구성된다는 것이며, 가상현실은 지식 구성에 도움이 되는 참여적 학습과 상호작용적 경험의 세계를 제공하는 매체로서 활용될 수 있다(Kim *et al.*, 2001).

Park *et al.*(2019)은 학습자는 가상세계에서 객체들과 물리적 상호작용을 할 수 있고, 이러한 상호작용은 학습자가 직접 경험을 통해 배우는 경험 학습을 촉진함으로써 학습자가 지식을 구성하는 과정에서 핵심적인 역할을 할 수 있다고 보았다. 가상현실에서 제공하는 3차원 기술은 현실에서 학습자의 자유로운 탐색과 적극적인 참여를 지원하며, 가상세계의 객체를 조작하고 상호작용하도록 도울 수 있는 것이다.

Perkins(1991)는 이렇게 현상(phenomena)을 관찰하고 조작할 수 있는 공간을 페노머나리아(phenomenaria)라고 정의하였다. 이 페노머나리아에서 실험 결과를 반영하고 자신의 개념을 변화하도록 도움을 주어 비유적 표상으로 구성된 모형을 수정하도록 유도한다(Dalgarno & Lee, 2010). 학습자는 객체를 직접 조작함으로써 자신의 가설을 반복적으로 검증하고 확인하며 정보를 얻게 되고 이러한 상호작용을 통해 자신만의 의미를 창출하며 모형 수정 과정에 반영하게 된다(Rolf, 1996).

7. 가상현실의 특성을 반영한 교수 활동

Park *et al.*,(2019)은 가상현실 자료는 특정 교수 방법에 얽매이지 않고 교육 현장에서 활용 가능하다는 장점이 있으나, 가상세계에서의 경험을 바탕으로 능동적인 실험 수행, 추상적 개념화, 반영적 관찰이 가능하도록 지원하기 위해서는 적절한 교수 활동이 가상현실을 활용한 수업에서 반영될 필요가 있다고 주장하였다. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서 학생들의 과학적 모형 구성의 어려움을 해결하는 데 도움을 주기 위해 가상현실의 특성을 반영한 교수 활동을 바탕으로 VR 기반 프로그램 수업 설계가 필요한 것이다.

Kim *et al.*(2001)은 교육의 효과를 극대화하려는 많은 노력 중의 하나는 효율적인 교수 활동을 탐색하여 수업에 적용하는 것이라고 보았다. VR 기반 프로그램을 개발하고 실제 학교의 교수·학습 과정에서는 VR 매체의 특성이 잘 반영되도록 할 필요가 있으며, 적절한 교수 활동의 지원이 있을 때, 비로소 VR과 같은 컴퓨터 기술은 학습자의 모형 구성에 결정적인 역할을 할 수 있는 것이다(Khine & Saleh, 2011). VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서 모형 구성 과정에서의 어려움을 해결하는데 도움을 주는 교사와 학생의 교수·학습 활동이 동시에 수행된다면 학생들의 배움이 더 효과적으로 이루어질 수 있다.

실제로 선행 연구에서 밝혀진 가상현실의 특성에 따른 교수 활동은 다음과 같다. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 수업에서 조작적 특성을 반영하여 학생들에게 자유롭게 조작·탐구하는 시간을 제공하고(Kim *et al.*, 2001; Merchant *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2019), 시행착오 부담이 없는 다양한 시도를 반복적으로 수행하도록 안내할 필요가 있다(Gorsky & Finegold, 1992; Reagan, 1999; Zacharia, 2003). 또한 감각화적 특성을 반영하여 질문을 통해서 관련성 높은 문제 상황을 설정하고(Kim *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2019), 문제 해결을 위한 정보를 다양한 매체로 제공하며(Dori & Barak, 2001; Bell & Trundle, 2008; Dori & Barak, 2001), 학습자가 가상 환경과 자막의 시각적 자극과 청각적 자극을 포함한 다감각적 신호에 주목하도록 안내하여야 한다(Han, 2019; Park *et al.*, 2019;

Steuer, 1992). 그리고 360도 시점을 관찰하도록 안내하고(Chung, 2017), 현실 상황에 전이하도록 독려할 필요가 있다(Dalgarno & Lee, 2010; Soto, 2013; Winn *et al.,* 2006). 상호작용적 특성을 반영하여 학습 속도를 자유롭게 조절하도록 안내하고(Park *et al.*, 2019), 콘텐츠 순서 결정을 자유롭게 하도록 안내하며(Baek, 2010; Kim *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2019), 자유로운 시점 이동을 하도록 안내할 필요가 있다(Kim *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2019). 이를 종합하여 가상현실의 특성을 반영한 교수 활동을 표로 정리한 것은 <Table 7>와 같다.

<Table 7> Teaching activities reflecting characteristic of VR

가상현실의 특성	VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업 교수 활동	예시	문헌
조작	자유롭게 조작 탐구하는 시간 제공하기	자유롭게 조작하는 시간적 여유를 제공하여 탐구할 수 있도록 지원한다. 학생 스스로 답을 찾을 수 있도록 활동을 구성한다.	Kim *et al.*, 2001; Merchant *et al.*, 2014; Park *et al.*, 2019
	시행착오를 거치며 반복해서 체험하도록 안내하기	복습상황에서 자신이 원하는 장면을 충분히 반복해서 체험하도록 안내한다.	Gorsky & Finegold, 1992; Reagan, 1999; Zacharia, 2003

	질문을 통해서 관련성 높은 문제 상황 설정하기	질문을 통해 소화기관의 구조와 기능에 대해 정리하면서 학습자의 몸 속의 실제 소화기관과 VR에서 제시한 소화기관을 연결할 수 있도록 지원한다.	Kim *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2019
	문제 해결을 위한 정보를 다양한 매체로 제공하기	2차원 자료나 동영상을 통해 소화기관에 대한 대표적인 개념과 구조를 제시하고 학생의 상황과 관련짓도록 독려한다.	Barak, 2001; Bell & Trundle, 2008; Dori & Barak, 2001
감각화	다감각적 신호에 주목하도록 안내하기	시각뿐만 아니라 청각적 신호에도 주목하여 경험할 수 있도록 안내한다.	Han, 2019; Park *et al.*, 2019; Steuer, 1992
	360도 시점을 관찰하도록 안내하기	가상현실 상황에서 위, 아래, 양 옆으로 360도 시점을 변화시키면서 학습하도록 안내한다.	Chung, 2017
	현실 상황에 전이하기	빵을 먹으면 어떻게 소화될지 모형을 그리는 활동을 제시하여 실생활의 경험과 관련 짓도록 독려한다.	Dalgarno & Lee, 2010; Soto, 2013; Winn *et al.*, 2006

	학습 속도 조절 자유롭게 하도록 안내하기	체험 전에 학습자에게 필요에 따라 천천히 학습할 수 있도록 안내한다.	Park *et al.*, 2019
상호작용	콘텐츠 순서 결정 자유롭게 하도록 안내하기	복습 상황에서 학습자가 학습하고 싶은 내용을 선택하고 체험할 수 있도록 안내한다.	Baek, 2010; Kim *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2019
	시점 이동을 하도록 안내하기	소화기관의 안쪽 시점과 바깥쪽 시점을 선택할 수 있도록 제시한다.	Kim *et al.*, 2001; Park *et al.*, 2019

7.1 조작적 특성을 반영한 교수 활동

7.1.1 자유롭게 조작 및 탐구하는 시간 제공하기

Merchant *et al.*(2014)은 가상현실 학습 상황에서 자료에 접근하는 것에 제한을 두지 않고 자유롭게 조작하며 탐구하는 시간을 제공해야 한다고 주장하였다. 교수자는 학습자가 자유롭게 조작 활동을 할 수 있도록 지원할 필요가 있는 것이다. 교수자가 가상현실에서 자유롭게 조작하며 탐구하는 시간을 제공하게 되면 학습자의 자발적 참여를 기대할 수 있다(Park *et al.*, 2019). 학생은 지식에 능동적으로 접근할 수 있는 기회를 제공받으면 문제 해결에 대한 탐색을 자유롭게 수행하면서 스스로 문제를 인식하고 아이디어를 구성하여 해답을 구하게 되는 것이다(Kim *et al.*, 2001).

7.1.2 시행착오를 거치며 반복해서 체험하도록 안내하기

Reagan(1999)은 학습자가 새로운 지식을 접하게 될 때 불확실성과 실수가 일어나는 것은 당연하므로 학습자들이 허용적인 분위기에서 반복적으로 아이디어를 실험할 수 있도록 해야 한다고 주장하였다. 교수자는 가상현실이라는 새로운 학습 환경에서 학습자가 다양한 시도를 통한 시행착오를 거쳐 문제를 해결할 수 있도록 지원해야 한다. 가상현실을 활용한 학습에서는 VR 기반 프로그램을 체험하는 과정에서 학습 내용 전달이 상당 부분 이루어 지므로, 특정한 상황에서 개념을 충분히 이해할 때까지 학습자가 내용을 반복 수행하여 경험할 필요가 있는 것이다(Park *et al.*, 2017). 학습자는 이러한 탐구 활동을 기반으로 문제 해결을 위한 다양한 접근을 시도하고 고차원적인 사고 과정을 수행한다(Park *et al.*, 2019). 반복적인 시뮬레이션을 통해 관찰한 결과와 학생들이 기존에 가지고 있었던 개념 사이의 불일치를 해결함으로써 인지적 부조화를 조정하는 기회를 제공할 수 있는 것이다(Zacharia, 2003; Gorsky & Finegold, 1992). Kim *et al.*(2001)은 이 교수 활동이 효과적으로 수행되기 위해서는 교실에서부터 학습자가 부담 없이 실수해도 되는 허용적인 분위기와 환경이 제공될 필요가 있다고 보았다.

7.2 감각화의 특성을 반영한 교수 활동

7.2.1 질문을 통해서 관련성 높은 문제 상황 설정하기

Park *et al.*(2019)은 가상현실 기반 학습 과정에서는 학습자의 현실과 VR 콘텐츠를 관련 짓는 과정이 중요하다고 보았다. 이 교수 활동에서는 학습자에게

실생활에서 일어날 수 있는 문제 상황에 대한 질문을 제시하면서 학습자의 현실과 콘텐츠를 관련짓는다. 교수자는 이 질문을 통해서 학습자가 실생활 속에서 접근 가능한 문제를 제시한다.

Kim *et al.*(2001)은 학습자는 자신과 관련성이 높은 질문을 통해서 문제 상황에 감정을 이입하기도 하고 학습 주제나 실험에 대한 몰입감을 느낀다고 주장하였다. 이러한 교수 활동을 통해 학생은 교사가 제시한 문제 상황을 분석하고 이해하며, 수업 상황에서 학습자 스스로 자신에게 의미 있는 지식을 역동적, 능동적으로 구성할 수 있는 기반이 마련되는 것이다. 또한 이와 같은 학습자의 반응을 기대하기 위해서는 가상현실에서 제공하는 콘텐츠를 실제 학습자의 상황에서 유용하게 활용될 수 있는 내용으로 제시하는 것이 적절하며, 관련성이 높은 내용이 학생들이 가상세계에서 일어나는 상황을 실제 현실에서 일어나는 상황과 유사하게 느끼도록 도울 필요가 있다. 이러한 콘텐츠와 교수·학습 활동의 준비가 적절히 이루어졌을 때 몰입감과 현존감을 증대시키는 가상현실의 장점이 부각되고, 학습자들의 모형 구성 과정에 도움을 줄 수 있는 것이다.

7.2.2 문제 해결을 위한 정보를 다양한 매체로 제공하기

VR 기반 프로그램 상에서는 주로 추상적이고 현실에서 자주 관찰하지 못한 내용을 다루는 경우가 많다. 이와 같은 상황에서는 아무리 가상현실에서의 표상화 작업이 구체적으로 이루어졌다 하더라도 실제 현실과의 차이가 분명 존재한다. 그러므로 이 차이를 좁히기 위해 실제 수업 상황에서 다양한 매체로 가상현실 상의 콘텐츠와 관련된 정보를 제공하는 작업이 필요하다.

Bell & Trundle(2008)는 가상현실 학습 과정에서 교사는 현실 상황에서 가상현실 외의 다른 모형을 제공함으로써 가상현실 콘텐츠에 나오는 객체와 학생들이 지니고 있는 실제 현실에서의 개념을 연결할 수 있도록 지원할 필요가 있다고 보

았다. 교수 상황에서 말이나 글뿐만 아니라 비디오, 사진, 음향, 더 나아가 가상현실까지 사용함으로써 다양한 매체를 통한 표현 양식을 활용하여 개념 연결을 지원할 수 있는 것이다(Kim *et al.*, 2001). 또한 가상현실 기반 학습 상황에서 학습자에게 현실에서의 모형과 가상세계의 모형이 같이 제공될 때 학습자의 공간적·추상적 개념에 대한 이해를 더 효과적으로 지원하고 문제 해결에 도움을 줄 수 있다(Dori & Barak, 2001). 현실에서 제공할 수 있는 다양한 매체로는 동영상, 물리적 모형, 서적, 구체물 등이 있을 수 있으며, 실제로 구체물을 제공하거나 실제로 보여주는 것이 불가능한 상황에서는 영상으로 보여주면서 학생들이 VR 상황에서 표상화되는 대상에 대해 가지고 있는 개념을 확인하고 환기할 수 있다.

7.2.3 다감각적 신호에 주목하도록 안내하기

가상현실은 청각과 시각 더 나아가서는 컨트롤러를 통한 촉각적 감각 신호까지도 제공하는 매체이다. 가상현실 상황에서 이러한 다감각적인 신호가 실제 현실과 유사하게 구현될 경우 사용자에게 현존감을 제공할 수 있으며(Han & Lim, 2020), 교수자는 학습자가 이러한 신호에 주목하도록 안내할 필요가 있다. 학습자는 가상현실 공간에서 제시되는 정적인 시각적 신호와 동적인 시각적 신호뿐만 아니라 청각적 신호에도 주목하여 가상세계를 더 사실적으로 느끼고 몰입한다. 이를 바탕으로 학습자는 과학적 모형 구성과 같은 고차원적 사고학습을 기대할 수 있으며(Park *et al.*, 2019), 이러한 학습 활동이 진행되기 위해서 생생한 감각적 신호를 제공하는 완성도 높은 가상현실 프로그램이 제공되고(Steuer, 1992) 이를 주목하도록 안내할 필요가 있다.

7.2.4 360도 시점을 관찰하도록 안내하기

Chung(2017)은 가상현실 환경에서 360도 영상을 제공함으로써 학습자가 그 환경 안에서 실존감을 느끼도록 지원한다고 주장하였다. 교수자는 이 교수 활동

을 통해 학습자가 가상세계에서 제공하는 360도 화면에서 실존감을 느끼고 가상 환경에 몰입함으로써 모형 구성 과정에서 도움을 받을 수 있도록 안내하며, 가상세계에서 앞뒤뿐만 아니라 위아래로 관찰할 수 있다는 사실을 학습자에게 안내함으로써 방향성을 고려하며 모형을 구성하도록 도움을 줄 수 있다.

7.2.1 현실 상황에 전이하기

Soto(2013)는 가상현실 학습상황에서 교수자는 학습자가 새로운 지식을 구성하는 데 기여할 뿐만 아니라 구성된 지식을 다시 일상생활의 학습 상황에 전이시킬 필요가 있다고 주장하였다. 학습자가 가상현실 시뮬레이션에서 배운 것을 일상의 상황과 연결함으로써 새로운 상황에 적용하는 과정에 몰입하고 새로운 지식 내용 습득을 촉진할 필요가 있는 것이다(Winn *et al.,* 2006) 가상현실에서 제공하는 3차원 환경은 현실 세계와 일치하는 수준의 실제감을 제공할 수 있으므로, 새로 습득한 개념이 실제로 적용되는 상황을 학습자에게 제시한다면 보다 효과적으로 지식이 전이될 수 있다(Dalgarno & Lee, 2010). 실제와 유사한 가상 환경에서 자신의 경험을 바탕으로 실생활의 문제를 탐구하고 해결하고, 또 다른 지식을 생성하게 되는 것이다(Metcalf *et al.*, 2011).

7.3 상호작용의 특성을 반영한 교수 활동

7.3.1 학습 속도 조절 자유롭게 하도록 안내하기

가상현실 학습 환경에서는 학습자가 주도권을 가지고 있으며 학습의 속도를 스스로 조절할 수 있으므로 개별적이며 능동적인 교육이 가능하다(Park *et al.*, 2019). 학습자는 가상현실 공간에 들어간 순간 그 공간의 주인이 되고 컨트롤러를 사용하여 자기가 스스로 배우고 싶은 속도를 선택할 수 있으며 자기 스스로 학습 속도를 조절하며 충분히 체험할 수 있다. 즉, 속도를 늦추거나 빠르게

조절하면서 자신이 특별히 관심을 가지고 있는 부분이나 기존의 매체로 제공되는 정보로는 부족했던 내용에 초점을 맞춰서 관찰할 수 있는 것이다.

7.3.2 콘텐츠 순서 결정 자유롭게 하도록 안내하기

가상현실 학습 환경에서 학습자는 학습의 과정을 주도적으로 결정할 수 있어야 한다. 기본적인 학습의 방향은 설정되어 있다고 하더라도 이러한 학습을 진행하는 주체는 학습자이므로, 콘텐츠의 순서를 결정하거나 변경할 수 있는 권한을 학습자에게 이양할 필요가 있는 것이다(Kim *et al.*, 2001). 학습자는 자신이 스스로 선택하고 결정하는 경우 학습에 더욱 몰입하고 높은 수준의 상호작용을 실행한다(Baek, 2010). 학습자는 가상현실 상황에서 자신이 선택하고 결정한 결과들을 관찰하는 가운데 만족감을 얻고 행위주체성을 지니게 되는 것이다(Park *et al.*, 2019).

7.3.3 시점 이동을 하도록 안내하기

가상현실 학습에서는 다양한 시점을 경험하는 기회를 제공할 필요가 있다(Kim *et al.*, 2001). 관찰자 시점에서 전체 상황을 조망하거나 일인칭 시점에서 수행하는 행위자가 되어보면서 가상현실 콘텐츠와 직접적인 상호작용을 할 수 있도록 지원할 필요가 있는 것이다(Park *et al.*, 2019). 학습자는 현실 세계에서는 불가능한 이러한 시점 이동을 통해 자연스럽게 공간적 이해를 증진시킬 수 있다.

8. 모형 수행 수준[3)]

Justi & Gilbert(2002)에 따르면 과학적 모형 구성 활동은 수업에서 학생들이 모형을 구성하고 수정하는 과정을 거치면서 학생들의 변화가 뚜렷이 관찰되는

[3)] 이 부분은 최섭, 김희백 (2019). 가상현실 특성을 반영한 생물 수업 적용 방안 탐색이라는 제목으로 *생물교육학회지, 47*(3), 263-277에 게재된 논문의 일부를 재구조화여 제시하였음.

동적 과정으로서, 과학적 모형을 확인하는 과정에서는 학습에서 나타난 학생들의 정신적 과정의 변화가 투영되어 있어야 한다. 하지만 가상현실 매체를 다룬 선행 연구에서 학생들의 개념 변화를 파악하고 그 효과를 검증하기 위해서 대부분 지필 평가 문항 결과를 활용하고 있다(Choi & Kim, 2019). 이러한 지필 평가 문항 결과만으로는 가상현실의 특성이 반영된 과학적 모형 구성 수업의 효과가 온전히 검증되기 힘들다.

Duit & Glynn(1996)은 모형 구성 활동은 학생들이 초기에 지니고 있었던 정신 모형에서 과학적 모형으로 전환되는 발달 과정을 관찰하기에 효과적이라고 여겼다. 모형 수행 수준을 분석함으로써 수업 실시 이전에 학생들이 지닌 개념 이해의 수준이 수업 이후 변화한 양상을 가시적으로 확인할 수 있으며 이러한 과학적 모형의 특성은 VR 기반 학습에서 나타나는 학생의 개념 변화를 알아보는 과정에 도움이 되는 것이다.

Kim & Kim(2007)은 모형을 기반으로 한 수업은 학생들의 개념 변화를 촉진하는데 유용하며, 이러한 개념 변화를 확인하는 다양한 관점이 필요하다고 보았다. 학생들의 모형은 모형화 수행에 대한 서로 다른 수준들로 구성되어 있으며(Bamberger & Davis, 2013), 학생들의 개념이해 모형을 파악하기 위해서는 여러 영역에서 분석하고 모형 수행 수준을 동정할 필요가 있는 것이다.

모형 수행 수준에 관한 선행연구(Assaraf & Orion, 2005; Bamberger & Davis, 2013; Buckley, 2000; Ha, Lee & Kim, 2018)를 종합한 결과 모형 수행 수준의 영역에는 구조, 기능, 시스템 표상화, 시각화, 표지 영역이 나타났으며 이들의 수준은 모형 구성 과정에서 요구되는 고차원적인 사고인 공간적, 추상적, 반영적 사고와 관련이 있었다. 이를 종합하여 모형 수행 수준을 표로 정리한 것은 <Table 8>와 같다.

<Table 8> Modellng performance level

영역	내용	문헌
구조	대상의 하부 요소와 그들 사이의 공간적인 관계를 모형에서 나타내고 있는지 확인함	Boulter, & Elmer, 2000; Buckley, 2000; Gilbert, Boulter, & Elmer,2000; Khine & Saleh, 2011
기능	해부학적인 부분이 전체 기관에서 하는 역할을 모형에서 나타내고 있는지 확인함	Buckley, 2000; Ha, Lee & Kim, 2018
시스템 표상화	시스템 부분 간의 상호 연결을 인식하고 전체의 통합된 관점으로 종합하는 시스템적 사고를 모형에서 드러내고 있는지 확인함	Assaraf & Orion, 2005; Chang, 2018; Hesse, 1963; Kukkonen *et al.*, 2014; Mohan *et al.*, 2009
시각화	'어떻게', '왜' 발생하였는지와 같은 질문에 대한 아이디어를 모형으로 표상하였는지 확인함	Bamberger & Davis, 2013; Hesse,1963
표지	라벨과 설명을 모형에 추가하였는지 확인함	Bamberger & Davis, 2013; Reichenbach, 1938

8.1 구조 영역

구조(structure) 영역은 Buckley(2000)가 제시한 순환계 모형의 개념 수준 분석틀의 구조(structure) 범주에 기반하였으며, 대상의 하부 요소와 그들 사이의 공간적인 관계를 모형에서 나타내고 있는지 확인한다. Gilbert, Boulter, & Elmer(2000)는 과학자들은 모형을 사용할 때 중요하지 않은 세세한 점이나 불필요한 특성에 주의를 기울이기보다는 핵심적인 측면에 초점을 둔다고 보았으며, Khine & Saleh(2011)는 구조 영역에서 학생들이 모형을 구성할 때 과학자처럼 대상의 특성 중에서 중요한 것을 엄선하여 제시하고 있는지에 주목하였다.

8.2 기능 영역

기능(function) 영역은 Buckley(2000)가 제시한 순환계 모형의 개념 수준 분석틀의 기능(structure) 범주에 기반하며, 해부학적인 부분이 전체 기관에서 하는 역할을 모형에서 나타내고 있는지 확인한다. 이 영역에서는 학생들이 상대적으로 큰 체제의 세부 요소들이 가지는 역할(Ha, Lee, & Kim, 2018)에 주목하여 모형에서 표상화 하는지 확인한다.

8.3 시스템 표상화 영역

시스템 표상화(system representation) 영역은 Assaraf & Orion(2005)이 제시한 기능 요소와 전체 시스템을 이해하고 이를 연결하는 능력인 시스템 사고(system thinking)에 기반한 영역으로서, 시스템 부분 간의 상호 연결을 인식하고 이를 전체의 통합된 관점으로 종합하는 시스템적 사고를 모형에서 드러내고

있는지 확인한다. 이 영역에서는 전체와 부분과의 포함 관계에서 나타나는 비유적 관계(Hesse, 1963)인 수직적 관계(vertical relation)와 관련된 구성 요소와 전체 시스템 사이의 관계를 모형에서 드러내는지 여부에 주목한다.

Kukkonen *et al.*(2014)은 VR과 같은 시뮬레이션은 학습자가 마음속에 자연현상에 대한 아이디어를 그리는 과정에서 그림과 글 등의 다중 표상을 제공한다고 보았다. Mohan *et al.*(2009)은 다중 표상을 모형에 표상화하는 것을 가장 높은 수준의 모형이 지니고 있는 핵심 요소로 보았으며, 시스템이라는 통합적, 복합적 개념에 대한 이해는 다중 표상으로 자연스럽게 표현된다(Chang, 2018). 단지 시스템적 사고를 확인하는 것이 아닌 시스템을 다중적으로 표상화하는 과정을 확인할 필요가 있다.

8.4 시각화 영역

시각화(visualization) 영역은 Bamberger & Davis(2013)가 제시한 모형화 수행 영역 분석틀에서 설명(explanation)과 추상성(abstract) 범주에 기반하며, 어떤 과학적 현상이 '어떻게', '왜' 발생하였는지와 같은 질문에 대한 아이디어를 모형으로 표상하였는지 확인한다, 학생들이 현상에 대한 인과성과 변화과정을 모형에서 어떻게 표현하는지에 초점을 둔 영역이다.

Hesse(1963)는 시각화 영역과 관련해서 정적(static) 수준과 동적(dynamic) 수준은 관찰 가능한 비유 대상 사이의 관계를 표현한 물질적 비유(material analogy) 관계를 시각화하며, 추상적(abstract) 수준은 관찰이 불가능한 비유 대상 사이의 관계를 표현한 형식적 비유(formal analogy) 관계를 시각화한다고 설명하였다.

8.5 표지 영역

표지(labelling) 영역은 Bamberger & Davis(2013)가 모형화 수행 영역 분석 틀에서 제시한 표지(labeling) 범주에 기반하고 있으며, 라벨과 설명을 모형에 추가하였는지 확인하는 영역이다. 모형을 다른 학생들과의 의사소통과 상호작용을 돕기 위한 도구로 활용하는지 확인한다. 표지 영역에서는 학생들의 모형에서 학생들이 가지고 있는 개념을 모형과 연결하여 정당화의 맥락에서 제시하고 있는지 확인할 수 있으며, 이 과정에서 모형을 구성한 학생이 자신의 모형을 이해하려는 사람을 고려하고 의사소통의 명료성을 생각하였는지 여부를 가늠하는 지에 초점을 둔다.

또한 표지 영역은 Reichenbach(1938)가 소개한 맥락(context)의 개념과 관련이 있다. 실제 과학자의 수행은 과학적 사고에 의해서 일어나는 현상을 발견하고 발견한 지식을 명확하게 하는 발견의 맥락(context of discovery)에서 더 나아가, 발견한 것을 정리하고 모형으로 표현하여 제시하는 정당화의 맥락(context of justification)이 관련이 있는 것이다.

Ⅲ. 연구방법 및 절차

본 연구의 목적은 VR 기반 프로그램을 교육에 도입한 선행 연구와 문헌 조사 결과를 토대로 학교 현장에서 활용 가능한 VR 기반 프로그램을 개발하고, 이를 초등학교 과학 수업에 적용하기 위하여 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 설계한 뒤, 그 효과를 검증하는 것이다. 다른 매체를 활용해서는 과학적 모형을 구성하기 어려운 초등학교 6학년 '우리 몸의 소화와 순환' 단원의 주제를 선정하여, VR 기반 프로그램을 개발하고 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 수업을 적용함으로써 그 효과를 검증하고자 하였다. 연구의 절차는 <Figure 3>와 같다.

VR 기반 프로그램 개발
•3 차원 모델 오브젝트 구입 및 프로그램 개발 •프로토타입 개발 및 파일럿테스트

↓

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과 검증 도구 개발
•모형 수행 수준 분석틀 개발 •인터뷰 프로토콜 개발 •전문가 검토 및 피드백 반영

↓

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 설계
• 문헌 조사를 토대로 구성

↓

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 적용
•실험반- VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업 진행 •통제반-과학적 모형 구성 수업 진행

↓

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과 검증
•양적 분석: Mann-Whitney 검정, Ranked ANCOVA •질적 분석: VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과에 대한 인터뷰 자료 분석

<Figure 3> Procedure of the research

1. 가상현실의 특성을 반영한 VR 기반 프로그램의 개발

본 연구자는 (주)3D Future 사와 공동으로 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에 활용될 VR 기반 프로그램을 기획 및 개발하였다. 선행문헌 연구를 통해 가상현실의 특성과 효과를 분석하고 초등학교 과학 교육과정을 검토한 결과, '우리 몸의 구조와 기능' 단원의 '소화 기관의 구조와 기능'이라는 주제가 VR 기반 프로그램으로 개발하기 적합한 내용을 다루고 있음을 확인하고 개발에 착수하였다. 개발된 이후에 과학 교육 분야의 전문가와 교육 공학 분야의 전문가의 자문을 구하여 VR 기반 프로그램의 타당성을 검증하였다.

1.1 선행 문헌 고찰

가상현실 콘텐츠는 교육 분야에서 긍정적인 효과가 기대되는 매체로 주목 받고 있는 상황이지만 하드웨어적 측면, 소프트웨어적 측면의 한계로 인해 교육 현장에서 적극적으로 활용되지 못하고 있는 실정이다.

이제까지의 가상현실 교육에 대한 선행 연구에서는 여러 가지 하드웨어적 한계가 있었다. 연결형 HMD 장치로 VR 기반 프로그램 수업을 하기에는 여러 물리적 한계점이 있었던 것이다(Bower & Jong, 2020). 기본적으로 기존의 연결형 HMD 장치를 일반 교실에서 사용하려면 HMD 장치 한 대에 컴퓨터 한 대를 추가적으로 구입해야 하므로 경제적으로 부담이 될 뿐만 아니라 컴퓨터 장치가 차지하는 부피, 보관 및 관리의 어려움, 다른 프로그램이나 OS와의 호환성의 문제도 발생했었다. 이러한 하드웨어적인 한계는 가상현실의 고유한(unique) 특성인 조작(Manipulation), 감각화(Sensitization), 상호작용(Interaction)을 반영한 콘텐츠를 프로그램을 통해 효과적으로 수행하기 어렵게 한다. VR 장치를 PC에 연결해야 하는 기존의 연구 상황에서는 전선의 길이에 구애 받지 않아 360도의 자

유로운 시선 조작이 이루어지기 힘들다는 한계가 있으므로, 가상현실 콘텐츠의 조작적 특성이 제대로 반영될 수 없다(Costello, 1997). 그리고 PC 연결형이 아니더라도 핸드폰을 삽입한 저화질의 장치로 사용자의 시선 이동에 따른 딜레이가 제시되는 이제까지의 하드웨어 상황에서는 어지럼증을 심하게 야기하는 단점이 있다(Chung, 2017). 이러한 환경에서는 현실과 비슷한 공간 구현을 통해 학생들에게 실제적인 감각을 제공해서 몰입하도록 유도하는 감각화적 특성이 발현될 수 없다(Park *et al.*, 2019). 이 밖에도 컨트롤러 없이 단지 일방적으로 보기만 하는 기존의 장치를 사용하는 상황에서는 가상현실 안에서의 콘텐츠와 역동적인 상호작용을 기대할 수 없다는 한계가 있었다.

이러한 하드웨어적 기기의 한계와 더불어 소프트웨어적인 한계도 있었다. 가상현실의 고유한 특성에 대한 이론적 배경을 바탕으로 VR 기반 프로그램이 개발되지 않았으며 VR 기반 프로그램의 개발 원리에 따른 개발이 이루어지기 힘들었던 것이다. 가상현실의 조작, 감각화, 상호작용의 측면을 반영하여 반복해서 시행착오를 경험하거나 자유로운 상호작용을 제공할 수 있는 특성이 반영된 VR 기반 프로그램이 필요하다. 또한 VR 기반 프로그램의 개발 원리에 따라 교육용 콘텐츠로 개발하기 적합한 내용을 프로그램에서 다루고(Kim *et al.*, 2001; Reddy & Mint, 2017) 학생들이 가상세계에서 편하게 체험할 수 있도록 도움을 주는 사용 정보가 눈높이에 맞추어 제시될 필요가 있다(Hwang *et al.*, 2014; Mayer, 2005).

본 연구에서는 이러한 하드웨어와 소프트웨어적인 한계를 극복하기 위해 노력하였다. 오큘러스 고(Oculus Go)라는 독립형 HMD 장치를 도입하여 사용하여 하드웨적인 한계를 극복하였으며, Hahn & Lee(2001)가 논의한 가상현실의 조작적, 감각화적, 상호작용적 특성을 반영하고, Han & Lim(2020)과 Park *et al.*(2019)의 선행 연구를 바탕으로 구성한 개발 원리를 기반으로 가상현실의 특성을 반영한 VR 기반 프로그램을 개발하였다.

1.2 주제 선정

초등학생들은 소화, 순환, 호흡, 배설과 같은 우리 몸의 구조와 기능에 대한 비과학적인 선개념을 가지고 있다(Kim & Chung, 1995). 생물 분야의 과학 개념이 여러 층위의 시스템 간의 추상적이고 복잡한 관계를 지니고 있으므로, 학생들은 이러한 복잡한 관계를 이해하기 힘들어 하는 것이다(Buckley, 2000). 추상적인 과학 개념을 이해하는 과정에서 텍스트와 2차원 교육 자료, 동영상 자료만으로는 생식, 순환, 소화, 배설 및 인체의 구조와 같이 직접 관찰이 힘든 학습 내용의 경우 모형 구성 학습을 수행하기 어려우므로(Shim *et al.*, 2003), 추상적 개념을 시각화하여 도움을 주는 새로운 매체가 필요한 상황이다. 이러한 상황에서 추상적인 과학개념을 다룬 학습 내용 중에 초등학교 5, 6학년 과학 교육과정에 있는 '우리 몸의 소화기관의 구조와 기능'이라는 주제를 선정하였고, 가상현실의 특성이 반영된 콘텐츠인 'Digestion(VR)'을 개발하였다.

1.3 VR 기반 프로그램 개발 절차

본 연구자는 (주)3D Future와 함께 "Digestion(VR)"이라는 VR 기반프로그램을 개발하였고, 교육 현장에서 가상현실 교육 콘텐츠로 활용하였다. Digestion(VR)은 '우리 몸의 구조와 기능' 단원의 '소화기관의 구조와 기능'에 대한 교육 내용을 기반으로 제작되었다. 이 프로그램은 가상현실 공간에서 학습자들이 음식이 되어 몸 속 소화기관을 관찰, 체험하고 이후 모형 구성에 도움을 주기 위해 구현된 VR 기반 프로그램이다.

본 연구에서는 VR 콘텐츠를 개발하는 과정에서부터 가상현실의 특성이 반영될 수 있도록 고려하였으며, '소화'라는 추상적인 과학 개념을 시각화하여 제시하는 본 프로그램이 학생들의 개념 이해와 모형 수행 수준에 미치는 효과를 탐

색할 수 있도록 하였다. 개발 과정에서 프로그램 개발자 3인과 과학 교육 전문가 4인, 교육 공학 전문가 3인 및 6인의 현장 교사들과 파일럿 테스트에 참여한 학생들의 의견을 수렴하였고, 수정 후 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에 적용하게 될 VR 기반 프로그램을 최종적으로 개발하였다. 프로그램 개발 절차의 전체적인 진행 사항은 다음 <Table 9>과 같다.

<Table 9> Progress of VR program development

단계	내용
문헌 연구 및 기기 준비	•선행연구 고찰 및 이론적 배경 조사 •가상현실 콘텐츠 주제 선정 •가상현실 기기 준비
VR 기반 프로그램 개발	•VR 기반 프로그램 흐름 및 콘티 구성 •내레이션 녹음 및 반영
파일럿 테스트	•전문가를 대상으로 파일럿 테스트 이후 프로그램 수정·보완 •파일럿 수업 이후 프로그램 수정 보완
최종 프로그램 개발	•과학적 모형 기반 수업에 활용될 최종 VR 기반 프로그램 개발

각 개발 절차에 대한 자세한 사항은 다음과 같다. 가상현실 개발을 위한 문헌 연구 및 기기 준비 단계에서는 가상현실 및 내용에 대한 문헌 조사를 바탕으로 개발하고자 하는 프로그램에서 다룰 내용이 VR 기반 프로그램으로 구현되기 적절한 내용인지 파악하였다. 문헌 조사와 학습자 요구를 바탕으로 개발의 효과성과 구현 가능성이 높은 교수 내용을 주제로 '소화기관의 구조와 기능'을 선정하였다. 또한 20여 명의 학습자가 교실에서 동시에 학습할 수 있도록 충분한

HMD 장비 대수를 확보하고, 본 연구에서 개발한 VR 기반 프로그램이 구동될 수 있는 장비와 실제로 수업할 수 있는 공간 및 인프라를 확인하였다. VR 기반 프로그램 개발 단계에서는 프로그램의 내러티브 콘티를 통해 전반적인 화면을 구성하였고 사용자의 진행 과정을 그림으로 표현하였다. 또한 가상현실의 조작적, 감각화적, 상호작용적 특성을 효과적으로 반영할 수 있는 학습 내용을 프로그램에 구현하였다. 전체적인 수업 프로그램 개발이 끝난 다음 파일럿 테스트 단계에서는 프로그램 개발자, 현장 교사 및 교육 전문가, 교육 공학 전문가가 프로그램의 타당도를 검증하였고 이후에 프로토타입의 프로그램을 파일럿 수업에서 실제 학생들을 대상으로 파일럿 테스트하였다. 최종 프로그램 개발 단계에서는 피드백 결과를 바탕으로 프로그램을 수정한 후 실제로 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에 활용될 최종 프로그램을 개발하였다.

1.4 VR 기반 프로그램의 타당성 검증

본 연구의 VR 기반 프로그램이 개발의 원리에 맞게 개발되었는지, 프로그램을 통해 구현된 내용에 과학적 오류가 없는지, 전문가 및 학생들을 대상으로 타당성을 검증 받았다. 적절한 VR 기반 프로그램 개발 원리로 개발되었는지 검증하기 위해 프로그램 개발자 전문가 3인과 교육 공학 전문가 3인의 검토 과정을 거쳤고, 개발된 프로그램이 과학적으로 올바르게 구현되었는지 검증하기 위해 과학 교육 전문가 4인 및 현장 교사 6인의 검토를 거쳤다. 전문가들은 파일럿 버전의 VR 기반 프로그램을 체험하였으며, 체험 이후에 추가 개선 및 수정 사항에 대한 피드백을 진술하였다. 최종 투입 이전에 실제 초등학교 6학년 한 반의 학생들(23명)을 대상으로 파일럿 테스트를 실시하였으며, 피드백 결과를 반영하여 프로그램을 수정 및 보완하여 최종 프로그램을 완성하였다. 전문가의 의견 일부와 6학년 학생들의 의견 중 일부를 다음 <Table 10>과 같이 정리하였다.

<Table 10> Example of feedbacks

구분	소속 및 직위	주요 피드백
프로그램 개발 전문가 A	(주)3D Future 대표	초등학생들에게 직접 소화기관을 찾아가게 할 경우 경로를 잃어버릴 수 있음
프로그램 개발 전문가 B	(주)3D Future 대리	각 소화기관을 지나는 과정에서 라벨링과 표지를 해 줄 필요가 있음
과학 교육 전문가 A	과학교육 전공 박사과정생	과정이 끝난 뒤 복습하며 다시 체험할 수 있는 기회를 줄 필요가 있음
과학 교육 전문가 B	과학교육 전공 석사과정생	다른 매체와 달리 끊어지지 않고 연결되어 시스템적 사고를 촉진하면 좋겠음
현장 교사 A	서울 S 중학교 교사	각 소화기관에서의 화학적인 소화와 물리적 소화의 중요도가 동일하게 강조되면 좋겠음
현장 교사 B	서울 D 고등학교 교사	대장과 소장 모두 물의 흡수를 돕는다는 측면도 강조해 주면 좋겠음
학생 A	S시 D초등학교 6학년 학생	소화기관에서의 실제 소리가 강조 될 필요가 있음
학생 B	S시 D초등학교 6학년 학생	실제로 녹는 과정이 보이면 좋겠음

2. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 설계

본 연구에서는 선행문헌 연구를 바탕으로 VR 기반 프로그램을 활용한 수업을 설계하였다. 과학적 모형 구성 수업에 VR 기반 프로그램을 활용한 기존 연구를 찾기 힘든 상황이었고, 과학교육에서 핵심적인 교수·학습 실행에 초점을 두었다. 따라서 과학적 모형 구성 과정에서 학생들은 여러 가지 어려움을 파악하고, VR

기반 프로그램을 활용하여 과학적 모형 수업을 할 경우, 모형 구성 과정에서의 어려움을 극복하는 데 도움이 되는지 확인할 필요가 있었다. 학생들은 모형 모형 생성과정에 능동적으로 참여하기 힘들어하고(Baek, 2013), 추상적인 개념을 눈에 보이는 모형으로 가시화하는 데 어려움을 느끼며(Parker & Heywood, 1998), 실제적인 상호작용 경험을 통해서 모형 구성을 뒷받침할 데이터를 수집하기 힘든 경우가 많았다(Barab *et al.*, 2000). 그리고 선행 문헌(Pantelidis, 1993; Winn, 2002; Kim *et al.*, 2001)을 검토한 결과 VR 기반 프로그램이 모형 구성 과정에서 겪는 학생들의 어려움을 감소시킴을 확인하였고, 이를 구체화하기 위해 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 설계에 착수하였다. 이 수업을 설계하는 과정에서 과학 교육 분야의 전문가와 현장 교사의 자문을 구하여 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 타당성을 검증하였다. 그리고 각각의 수업 단계에서 교수 활동이 투입되어 모형 구성 과정에 영향을 준 인터뷰 사례도 논의하였다.

2.1 선행 문헌 고찰

본 연구에서는 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 수업의 설계를 위해 기존 문헌에서의 모형 구성 과정에 대한 선행 연구를 조사할 필요가 있었다. 선행 연구를 기반으로 가상현실의 특성을 반영한 교수 활동을 구성하였고, 구성된 교수 활동을 Clement(2008b)의 GEM 순환 모형 구성 과정의 수업 단계에 반영하였다. GEM 순환 모형 구성 과정(Clement, 2008b)의 모형 생성, 모형 평가, 모형 수정 과정, Koo(2017)의 개인적 모형 구성과정, Ham *et al.*(2014)의 CT-STEAM 수업 모형 과정에서의 시작단계인 '문제 상황 제시', '자료 수집 및 분석'의 수업 활동을 종합하여 전체적인 수업 단계를 설계하였다. 이를 구체화하여 VR 기반 프로그램을 교육에 활용하는 과정에서 필요한 주요 교수 활동의 예시를 구성하여 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 단계를 완성하였다.

2.2 수업 설계 절차

본 수업을 설계하기 위해서 선행 연구를 고찰하여 가상현실의 특성을 반영한 교수 활동을 구성하였다. 이를 반영하여 GEM 순환 모형 단계를 구체화하여 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 설계하였다. 이후에 1개 반을 대상으로 파일럿 수업을 진행하였고, 수정·보완 과정을 거친 다음 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 최종 설계하고 도입하였다. 수업 설계에 대한 과정을 정리한 것은 <Table 11>과 같다.

<Table 11> Procedure of class design

과정	내용
문헌 연구	•선행연구 고찰 및 이론적 배경 조사 •VR 기반 교수 활동 조사
수업 자료 개발	•VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 기반 수업 준비 •활동지 자료 개발
파일럿 수업	•실험반, 통제반 외 1개 반을 대상으로 수업 실시 •수업 단계 및 활동지 수정·보완
최종 수업 설계	• VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 기반 수업 최종 설계

2.3 수업 설계의 타당성 검증

본 연구에서 설계한 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업이 교육적으로 타당한지 검증하기 위해 과학 교육 전문가 4인 및 현장 교사 6인의 검토를 거쳤다. 파일럿 버전의 수업안이 완성된 뒤 모든 전문가로부터 이후에 추가 개선 및 수정 사항에 대한 의견을 받았다. 또한 사전에 실제 초등학교 6학년 한 반의 학생들(23명)을 대상으로 파일럿 테스트를 실시하였으며, 피드백 결과를 반영하여 프로그램을 수정 및 보완하여 최종 수업을 완성하였다.

3. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과 검증

본 연구에서는 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업이 학생들에게 미치는 효과를 검증하기 위하여 사전·사후 모형 수행 수준을 조사하고 반구조화된 인터뷰를 실시하였다. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 적용한 뒤, 연구 문제에 대한 데이터를 얻기 위해 양적 자료(모형 수행 수준 검사지)의 사전·사후 설계와 질적 자료(담화본)를 데이터로 수집하였다. 학생들에게 수업 이전에 사전 모형을 구성하고 수업 이후에 다시 동일한 검사지에 사후 모형을 구성하도록 요청하여 두 모형 간의 변화를 관찰하였다.

3.1 연구 참여자

연구의 참여자로 S시 도심에 소재한 D 초등학교에 재학 중인 4개 학급의 6학년 학생들을 선정하였으며, 총 105명(남 68명, 여 37명)이 참여하였다. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과를 살펴보기 위하여 수업에 VR 기반 프로그램을 적용한 실험반 2개 학급(50명)과 같은 교육과정 내용을 일반적인 과학적 모형 구성 수업으로 실시한 통제반 2개 학급(55명)으로 구분하여 연구 참여자를 구성하였다 <Table 12>. 수업 이후 실험반의 학생들 중 모형의 수준이 현격히 향상된 학생 21명을 선정하여 인터뷰를 진행하여 모형 수행 수준 변화 과정에 대해 구체적으로 알아보았다.

<Table 12> Participants of this study

학교급	초등학교	
	실험반	통제반
학년	6	6
학생수	50	55

3.2 연구 설계

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업이 학생들의 모형 수행 수준 변화에 미치는 과정에서 잡음 변인이 개입할 가능성이 있다. 하지만 학교 정황상 무선적으로 학생들의 반을 배정하기 어려우므로, 준실험 설계(quasi-experimental design)를 기반으로 연구를 설계하였으며, 구체적인 과정은 <Figure 4>와 같다.

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과 검증 도구 개발
•모형 수행 수준 분석틀 개발 및 전문가 타당성 검토 •인터뷰 프로토콜 개발 및 전문가 타당성 검토 •전문가 검토 및 피드백 결과 반영 및 수정

↓

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업 최종 개발 검토
•파일럿 테스트 과정 검토 •VR 기반 프로그램 최종 개발

↓

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 적용
•사전 모형 수행 수준 검사 실시
•실험반- VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업 진행 •통제반-과학적 모형 구성 수업 진행
•사후 모형 수행 수준 검사 실시

↓

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과 검증
•양적 분석: Mann-Whitney 검정, Ranked ANCOVA •질적 분석: VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과에 대한 인터뷰 자료 분석

<Figure 4> Research design

3.3 수업 효과 검증 절차

수업의 효과 검증을 위해 VR 기반 프로그램의 원리와 효과에 대한 사전 연구와 VR 기반 프로그램을 반영한 선행 연구 수업 검토가 이루어졌다. 또한 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과를 살펴보기 위한 모형 수행 수준 도구를 개발하고, 모형 수행 수준 사전·사후 검사를 하여 효과를 검증하였다. 실험반은 연구자가 참여교사로서 수업을 진행하였으며, 통제반은 각 반 담임이 수업을 진행하였다. 전반적인 수업 효과 검증 절차는 <Table 13>와 같다.

<Table 13> Process of verifying the effectiveness of the class

단계		내용
문헌 연구		•VR 기반 프로그램의 원리와 효과에 대한 사전 연구 검토 •과학적 모형 구성 수업에 대한 사전 연구 검토
수업 자료 및 검사 도구 개발		•VR 기반 프로그램 개발 •반구조화 질문지 제작 •수업 준비 및 활동지 자료 개발
파일럿 테스트		•VR 프로그램의 적용 가능성 검토와 보완 •검사도구에 대한 타당성 검토와 수정 및 보완
VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업 도입 및 촬영	1차시 (사전검사)	•초기 모형 구성(실험반과 통제반의 사전 모형 수행 수준 검사 실시) •VR 기반 프로그램 소개<실험반에 한정>
	2차시	•관련성 있는 문제 상황 제시 •모형 구성을 위한 자료 수집 및 분석
	3차시 (VR 체험 및 사후 검사)	•VR 기반 프로그램 체험<실험반에 한정> •중간 모형 구성(실험반과 통제반의 사후 모형 수행 수준 검사 실시) •구성된 모형 정리 및 수정

사후 인터뷰	•실험반 학생들 중 모형 수행 수준이 향상된 학생들을 대상으로 사후 인터뷰 실시
결과 분석 및 정리	•자료 분석 기준 설정 및 자료 분석 •결과 분석 및 논의, 정리

3.4 수업 진행 개요

본 연구에서는 3차시 분량의 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 실험반에 투입하였으며, 통제반에서는 VR 기반 프로그램을 제외한 과학적 모형 구성 수업을 3차시 동안 진행하였다[부록 1~6 참고]. VR 기기 사용과 그 과정에서 나타나는 문제를 해결하기 위해 본 연구자(초등 교육 경력 10년 교사, 과학 교육학 석사학위 소유자)가 실험반 수업을 진행하였으며, 통제반 수업은 지도안에 따라 각반 담임 교사가 진행하였다. VR 기반 프로그램 소개 활동과 VR 기반 프로그램 체험 활동은 실험반 학생들에게만 제공되었으나 이를 제외하고 학습지와 동영상 자료 및 나머지 교수적 투입은 통제반과 실험반 학생들 모두에게 동일하게 제공되었다. 이를 위해 연구자는 통제반의 담임 교사들이 수업을 투입하기 전에 과학적 모형 구성 수업 전반에 대한 설명과 교수 활동에 대한 안내를 공유하였다. 실험반과 통제반 학생 모두 아침에 먹은 빵이 우리 몸속 소화기관의 어떤 기능과 순서로 소화될지 활동지에 그림과 글로 모형을 구성하여 설명하는 과제가 주어졌다. 동일한 모형 구성 과제가 1차시와 3차시에 제시되었고 1차시와 2, 3차시 사이에는 약 1주일의 시간 간격이 있었다. 학생들이 1차시에 구성한 초기 모형의 모형 수행 수준을 동정하여 사전 검사 자료로 활용하였고 3차시에 구성한 모형을 모형 수행 수준 결과를 사후 검사 자료로 활용하였다. 수업 진행의 개요는 다음 <Table 14>과 같다.

<Table 14> Lessons of experimental and control classes

수업 차시 및 방식	실험반		통제반
	VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업 진행		교과서를 활용한 과학적 모형 구성 수업 진행
	가상현실 측면	모형 구성 측면	
1차시 관련성 있는 문제 상황 제시 및 초기 모형 구성	•VR 소개	•문제 상황 제시 및 초기 모형(사전 검사) 구성	• 문제 상황 제시 및 초기 모형 구성
2차시 모형 구성을 위한 자료 수집 및 분석	•VR 기기 사용법 소개	•동영상을 활용하여 관련성 높은 상황 설정하기 •문제 해결을 위한 관련 정보 제공 •자료 수집 및 분석을 통한 탐구 활동과 지식 생성 유도	•동영상을 활용하여 관련성 높은 상황 설정하기 •문제 해결을 위한 관련 정보 제공 •자료 수집 및 분석을 통한 탐구 활동과 지식 생성 유도
3차시 가상현실 체험을 바탕으로 중간 모형 구성 정리 및 수정	•VR 기반 프로그램을 활용한 중간 모형(사후 검사) 구성 활동 제시	• 구체적인 추상화 전략 논의 •수정 모형 구성 활동 제시 •실제 상황에 전이하기 •전체 활동 종합적 정리 및 모형 발표하기	•교과서를 활용한 과학적 모형 구성 활동 제시 •구체적인 추상화 전략 논의 •수정 모형 구성 활동 제시 •실제 상황에 전이하기 •전체 활동 종합적 정리 및 모형 발표하기

학생들은 2인 1조가 되어 Oculus 사의 독립형 HMD 장치인 Oculus GO를 통해 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에 3차시 동안 참여하였으며 <Figure 5>는 실제 수업 장면의 사진이다.

<Figure 5> Photo of the student activity in VR-based modeling class

3.5 자료 수집

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과를 검증하기 위해 양적 분석 방법과 질적 분석 방법을 결합한 혼합 연구를 진행하여 데이터를 수집하였다. 양적 분석 결과, 사후 모형 수행 수준 검사에서 상대적으로 향상 효과를 보인 21명의 실험반 학생들을 선정하였으며, VR 기반 프로그램을 활용한 모형 구성 수업을 투입하고 나서 3일 이내에 사후 인터뷰를 실시하였다. 본 연구의 초점이 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과를 탐색하는 것이었으므로 실험반 학생들에 초점을 맞추어 인터뷰가 진행되었다. 통제반 학생들을 대상으로 한 인터뷰도 실시하고자 하였으나 시간적 한계 때문에 진행되지 못하였다. 학교의 유휴 교실에서 약 15~20분간 쉬는 시간, 점심 시간, 하교 시간을 이용하여 개인별로 인터뷰하였다. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과에 관련된 질문이 포함된 반구조화된 서면 조사지(<Table 15> 참조)를 통해 인터뷰를 진행하였으며, 모형 수행 수준이 향상된 결과에 대한 초등학생들의 주관적인 인식과 의견을 수렴하였다. 이처럼 질적 연구 방법을 병행함으로써 양적 연구 방법을 통한 자료 분석의 한계점을 보완하고, 학생들의 개별적인 생각과 인식에 관한 심층 정보를 수집할 수 있었다.

<Table 15> 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?

3.6 분석 과정

실험반과 통제반 모형 수행 수준의 평균 차이가 통계적으로 유의미한지 알아보기 위해 IBM SPSS statistics 25.0을 활용하여 Mann Whitney 검사를 하였다. 또한 사전 검사에서 집단간 유의미한 차이를 보인 '시스템 표상화' 영역에서 효과를 알아보기 위해 Sen & Puri(1971)의 이론을 바탕으로 Ranked ANCOVA 검사를 하였다. 질적 자료는 수업 이후에 반구조화된 인터뷰를 통해 수집되었다. 이때 학생들은 '고차원적 사고 촉진의 측면'과 '가상현실의 경험 속성을 통해 유도된 측면'에 관한 질문이 포함된 프로토콜을 기반으로 인터뷰에 참여하였다. 인터뷰 결과를 분석하여 효과에 대한 학생들의 인식을 하위 범주로 구분하였으며, 양적 데이터와 질적 데이터를 비교·분석함으로써 두 종류의 데이터를 통해 결론을 지지하도록 설계하였다. 자료 수집과 분석과정을 정리한 것은 <Figure 6>과 같다.

구분	양적 연구	질적 연구
자료 수집	모형 수행 수준 사전·사후 자료 수집	반구조화된 인터뷰 자료 수집
분석 과정	Mann Whitney 검사, Ranked ANCOVA 검사	담화 분석

⬇

효과 탐색

<Figure 6> Data collection and data analysis process

3.7 모형 수행 수준의 분석틀[4)]

본 연구에서는 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 결과로 나타나는 학생들의 모형 수행 수준의 변화를 알아보기 위하여 Choi & Kim(2020)의 모형 수행 수준 분석틀을 기반으로 모형 수행 수준에 관련된 선행 연구들(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 분석틀에 추가하였다. 또한 기존의 모형 수행 수준틀(Choi & Kim, 2019)의 '시스템' 영역을 '시스템 표상화(System Representaion)' 영역으로 명칭을 변경하였다. 그 결과 모형 수행 수준의 영역으로 '구조', '기능', '시스템 표상화', '시각화', '표지'의 영역으로 모형 수행 수준의 분석틀을 재구성하였다.

각 영역은 모두 고차원적인 사고와 연관이 있다. 모형 수행 수준의 '구조' 와 '표지' 영역은 공간적 사고의 변화와 관련이 있었으며, '기능', '시스템 표상화' 영역을 통해서는 추상적 사고의 변화와, 그리고 '시각화' 영역에서는 반영적 사고의 변화와 관련이 있었다. 각 영역의 수준에 대한 자세한 설명을 <Table 16>에 제시하였고, 실제 학생의 모형을 분석한 사례를 <Table 17>에 제시하였다. 각 영역별로 모형 수행 수준을 동정하는 구체적인 기준을 제시하였다.

[4)] 이 부분은 최섭, 김희백 (2020). 가상현실 특성을 반영한 VR 프로그램 기반 수업 적용 및 효과라는 제목으로 *한국과학교육학회지, 40*(2), 203-216에 게재된 논문의 일부를 재구조화하여 제시하였음.

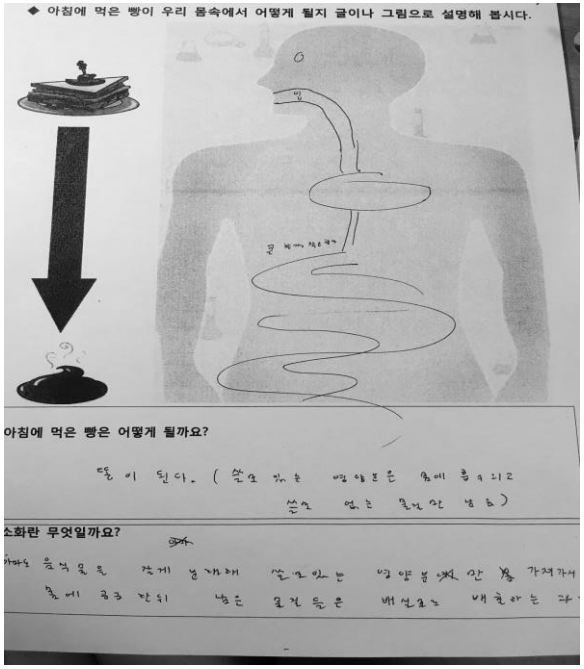
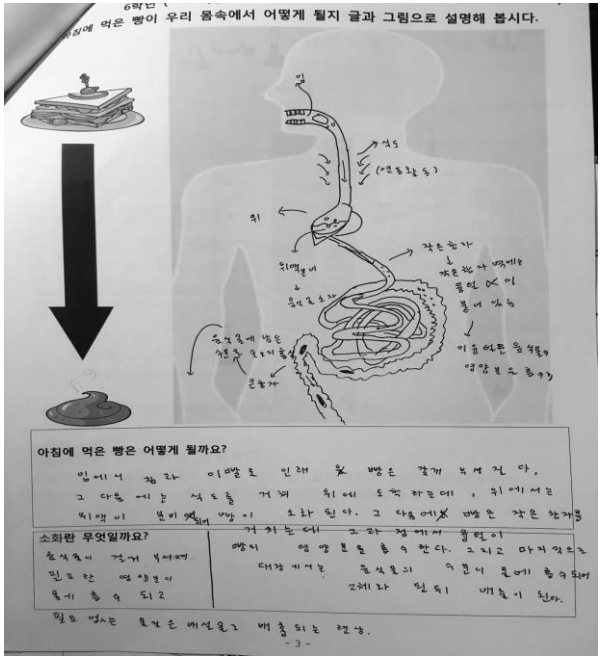
<Table 16> Coding scheme of the modeling performance level

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 않은 경우	하부요소의 기능을 표현하지 않음 예) 소화기관의 기능을 전혀 제시하지 않은 경우	구성요소 간의 시스템 과정을 표현하지 못함 예) 글과 그림으로 시스템 연결성을 표현하지 못한 경우	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, 불필요한 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 연결을 단절되게 표현함 예) 각 소화기관의 연결성을 글이나 그림 중 한 가지만으로 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 라벨링함(부분적으로만 라벨링하거나, 라벨링을 잘못함) 예) 작은창자를 라벨링하지 않은 경우

3수준	하부요소와 하부요소 간의 공간적 관계를 온전히 정교하게 표현함 예) 소화기관의 하부 요소를 모두 올바른 위치로 표현한 경우	하부요소의 기능을 온전히 표현함 예) 소화기관의 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 소화기관으로 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 라벨링함 (모든 부분을 라벨링함) 예) 5가지 소화기관을 모두 라벨링한 경우

<Table 17> Example of student E's modeling artifact and modeling performance level coding

	사전	사후
예시		
모형 수행 수준	구조: 1수준/ 기능: 1수준/ 시스템 표상화: 2수준/ 시각화: 1수준/ 표지: 1수준	구조: 3수준/ 기능: 3수준/ 시스템 표상화: 3수준/ 시각화: 3수준/ 표지 3수준

3.7.1 구조 영역

구조 영역의 1수준 모형은 하부 요소 간의 공간적인 관계를 표상화하는 과정에서 일부 하부 요소를 누락하여 표현하는데, 그 예로 음식물이 위에서 큰창자로 곧바로 내려오는 것으로 표현하고 작은창자는 표현하지 않은 경우를 들 수 있다. 2수준은 하부 요소 간의 공간적 위치 관계를 불완전하게 표현하거나, 필요없는 기관들을 표현한 모형 수행 수준이다. 그 예로 소화기관을 표상하는 모형에서 작은창자의 위치를 잘못 표현한 경우, 소화기관의 위치를 잘못 표현한 경우, 소화기관 외에 부가적으로 뇌나 폐를 표현한 경우 등을 들 수 있다. 3수준은 하부요소 간의 공간적 관계를 온전히 정교하게 표현한 모형 수행 수준으로, 소화기관의 하부요소를 모두 올바른 위치로 표현한 경우를 들 수 있다.

3.7.1 기능 영역

기능 영역의 1수준 모형은 하부 요소의 기능을 표현하지 않으며, 소화기관의 기능을 전혀 제시하지 않은 경우를 예로 들 수 있다. 2수준은 하부 요소의 기능을 불완전하게 표현한 수준으로서, 소화기관의 기능 중 일부 기능만 표현한 예를 들 수 있다. 3수준은 하부 요소의 기능을 온전히 표현한 수준으로서 소화기관의 하부 요소의 모든 기능을 온전히 올바로 표상화한 경우이다.

3.7.2 시스템 표상화 영역

시스템 표상화 영역의 1수준 모형은 구성 요소 간의 시스템 과정을 표현하지 못하며 시스템 구성 요소 간의 시스템 연결성을 글과 그림으로 제시하지 못한 경우를 예로 들 수 있다. 2수준은 시스템 구성 요소 간의 연결을 글 또는 그림으로 표현하였으나 부분적으로 연결을 단절되게 표현하는 수준으로서, 그 예로

각 소화기관의 연결성을 글이나 그림 중 한 가지만으로 표현한 경우, 다음 소화기관으로의 연결이 끊겨 분절된 부분이 있는 경우를 들 수 있다. 시스템 표상화 수준은 이해한 시스템을 글과 그림이라는 다양한 양식으로 표상화하는 능력까지도 고려한 수준이기 때문에 글이나 그림 중 한 가지만으로 표현한 경우에는 2수준으로 동정된다. 3수준의 모형은 시스템 구성 요소 간의 연결을 글과 그림 모두를 사용하여 유기적으로 표상화한다. 이 수준의 모형은 음식이 몸에 들어온 뒤 각 기관에서 소화 과정이 일어나고 다음 소화기관으로 넘어가는 시스템을 글과 그림으로 온전히 유기적으로 표상화한다.

3.7.3 시각화 영역

시각화 영역의 1수준 모형은 정적 수준으로서 움직임이 정지된 특성만 표현하고 추상적인 변화 과정을 시각화하지 못한 채 인과관계를 설명한다. 그 예로 소화 과정을 정지된 상태로만 표현한 경우를 들 수 있다. 2수준은 동적 수준 또는 추상적 수준만을 시각화하여 나타내는 수준이다. 움직임만을 표현하거나 확대해도 볼 수 없는 직접 관찰하기 힘든 추상적인 변화 과정만을 시각화하여 나타내는 수준이다. 그 예로 화살표를 사용해 소화 과정의 동적인 변화만을 표현하거나 음식물의 이동 과정만을 나타내는 경우와 음식물이 소화 효소로 인하여 녹거나 크기가 변하는 물리적, 화학적 변화 과정만을 표현한 경우를 들 수 있다. 3수준은 움직임을 표현하면서 추상적인 변화 과정까지도 온전하게 시각화하여 나타내는 수준이다. 그 예로 음식물의 이동과 소화 효소로 인하여 음식물이 녹는 과정 모두를 온전히 표현한 경우를 들 수 있다.

3.7.4 표지 영역

표지 영역의 1수준은 라벨링을 하지 않는 수준으로서 각 소화기관의 이름을 라벨링하지 않거나 간단한 설명(keying)을 제시하지 않은 경우를 들 수 있다. 2수준은 불완전 라벨링(부분적으로만 라벨링하거나, 라벨링을 잘못함)하는 수준으로서, 그 예로 작은창자를 라벨링하지 않은 경우를 들 수 있다. 3수준은 완전한 라벨링 모형수준으로서 주요 요소들을 모두 라벨링한 수준이고, 다섯 가지 모든 소화기관을 모두 라벨링한 경우이다.

3.8 모형 수행 수준 분석틀의 타당성 검증

모형 수행 수준 영역의 분석 수준을 나누고 기준을 구체화하는 과정에서 타당성을 검증하기 위해 생물교육 전공 교수 1인, 박사과정 학생 3인, 현직 교사 8인의 의견을 반영하였다. 이를 토대로 학생들의 모형 수행 수준을 분석하여 고차원적인 사고(공간적 사고, 추상적 사고, 반영적 사고)의 변화를 검토하였다.

3.9 모형 수행 수준 분석의 타당성 검증

학생들의 글과 그림 모형은 각 영역에서 모형 수행 수준에 따라 상위 수준에 하위 수준이 포함되는 관계인 1수준, 2수준, 3수준으로 코딩되어 양적 데이터로 활용되었다. 분석 과정에서 본 연구자가 모형 수행 수준을 일차적으로 코딩한 다음 과학교육 전문가 3인(박사과정 연구자 2인, 과학교육경력 10년 차 교사)과 함께 결과를 검토하고 의견이 일치하지 않는 부분에 대해서는 논의를 거쳐 분석 내용을 일치시킴으로써 신뢰도를 확보하였다.

IV. 연구결과 및 논의

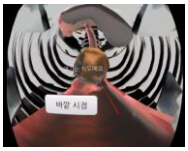
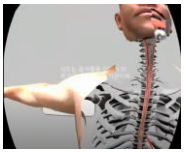
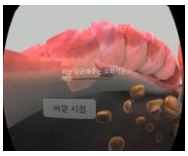
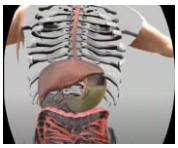
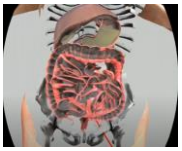
1. 가상현실의 특성을 반영한 VR 기반 프로그램의 개발[5)]

1.1 가상현실의 특성을 반영한 VR 기반 교육 프로그램 개발

본 연구에서 개발된 VR 기반 프로그램은 과학 교육 전문가와 (주)3D Future 사가 공동으로 제작하였으며 프로그램 명은 “Digestion(VR)”로 정하였다. 이 VR 기반 프로그램은 Hahn & Lee(2001)가 제시한 가상현실의 특성인 ‘조작’, ‘감각화’, ‘상호작용’을 반영하였으며, Han(2019)와 Park *et al.*(2019)의 개발한 VR 기반 교육용 콘텐츠의 개발 원리를 기반으로 구체적인 화면과 내용을 구성하였다. 독립형 HMD인 Oculus GO를 착용한 학생들은 이 VR 기반 프로그램을 통해 음식물처럼 입 속으로 들어가고, 입-식도-위-작은창자-큰창자를 지나며 소화되는 과정을 체험할 수 있다. 개발된 VR 기반프로그램의 전반적인 흐름과 각 기관의 안팎 시점에서의 장면은 <Figure 7>과 같다.

	안쪽 시점	바깥쪽 시점
처음 장면		
입		

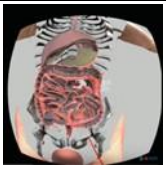
5) 이 결과는 최섭, 김희백 (2019). 가상현실 특성을 반영한 생물 수업 적용 방안 탐색이라는 제목으로 *생물교육학회지, 47*(3), 263-277에 게재된 논문의 일부를 재구조화여 제시하였음.

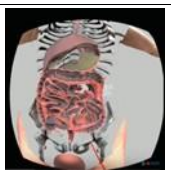
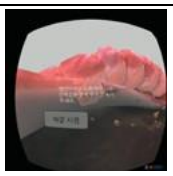
식도		
위		
작은 창자		
큰창자		
마지막 장면		

<Figure 7> Overview of the VR contents

이 VR 기반 프로그램에서는 선행연구를 통해 분석한 가상현실의 특성이 반영되어 있다. 특히 조작적 특성이 반영되어 학생들은 가상현실 속에 존재하는 몸 속 소화기관인 입, 식도, 위, 작은창자, 큰창자에서 머무르면서 시행착오에 대한 부담 없이 충분히 반복해서 시뮬레이션 할 수 있게 하였다. 가상세계에서의 학습은 다른 매체에서 제공되는 환경과는 달리 실제 세계에서 불가능한 경험을 가능하게 한다는 특성이 있다(Dede *et al.*, 2017). 이러한 특성을 기반으로, 몸 속으로 들어가는 투시적 경험을 제공할 수 있도록 구성하였다. 감각화적 특성을 반영하여 학생들이 몰입할 수 있는 부드러운 화면 전환과 묘사의 정확도를 통해

현존감을 느낄 수 있도록 하였으며, 교과서나 2차원 텍스트에서는 얻을 수 없는 풍부하고 다양한 종류의 감각 정보를 제공하도록 하였다. 상호작용적 특성의 측면에서는 학습자가 접속한 콘텐츠 내에서 자유롭게 시야를 조정할 수 있도록 하였으며, 관찰 시점을 안과 밖으로 조정할 수 있도록 하였다. 또한 자신의 학습 속도에 맞추어 다음 장면으로 이동할 수 있도록 하였고, 모든 활동이 마무리된 마지막 장면에서는 자신이 부족한 부분을 선택해서 복습할 수 있도록 하였다. 이 때 상호작용 2단계 수준을 구현하여 자유롭게 순서를 결정할 수 있는 콘텐츠와의 상호작용을 가능하도록 하였다. 조작, 감각화, 상호작용의 가상현실의 특성이 반영된 구체적인 장면과 묘사는 <Figure 8>에서 확인할 수 있다.

가상현실의 특성	가상현실의 하위 특성	묘사	
조작	시뮬레이션	가상 환경에서 조절 및 조작을 통해 시뮬레이션이 가능함	
	불가능한 경험	물리적으로 불가능한 경험을 제공함	
	반복	사용자가 원하는 만큼 반복 가능함	
	부담 없는 다양한 시도	시행착오를 경험할 수 있는 많은 기회를 제공함	

감각화	다감각적 신호	색, 역동적인 움직임, 자막 소리	
	실제적인 환경	실제적인 3차원 객체	
	풍부한 데이터	소화기관에 대한 추가적인 정보(크기, 길이, 위치)	
상호작용	화면 전환의 자유	사용자는 다음 화면으로 갈 시기를 선택해서 이동할 수 있음	
	내용 선택의 자유	사용자는 복습 단계에서 자기가 원하는 장면을 선택할 수 있음	
	시점 이동의 자유	사용자는 소화기관 안과 밖을 자유롭게 관찰할 수 있음	안 밖

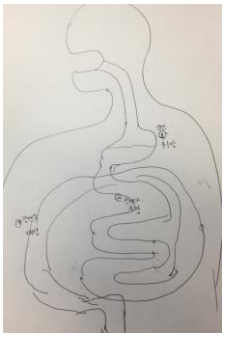
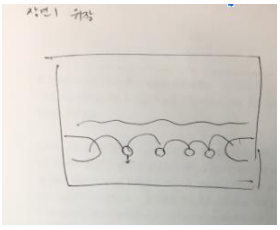
<Figure 8> Scenes and description of the VR program 'Digestion' incorporating characteristic of VR

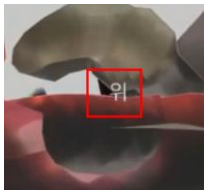
1.2 개발 원리에 따른 VR 기반 교육 프로그램 개발

Han(2019)과 Park *et al.*(2019)이 제안한 VR 기반 프로그램의 개발 원리를 토대로 하여, 본 연구에서 VR 기반 프로그램을 개발하기 위한 원리를 마련하였다. 본 연구에서는 Digestion(VR) 프로그램 개발을 위해 '교육 내용 적합성의 원리', '현실 문제 부합성의 원리', '현실 환경 유사성의 원리', '구조 계획의 원리', '활동 전개의 구성 원리', '조작 간편의 원리', '조작 및 선택의 원리', '정보 제공의 원리', '반성적 성찰의 원리'를 사용하였다. 각 개발 원리에 맞추어 적용된 예는 <Table 18>과 같다.

<Table 18> Design principles for a VR-based program and its examples

개발 원리	'Digestion' 개발 프로그램의 적용
교육 내용 적합성의 원리	• 사용자가 일상에서 경험하기 불가능한 음식물이 되는 설정을 제시하였음 • 음식물이 되어 소화기관에 직접 들어가 음식물의 시점에서 소화되는 경험을 하도록 구성하였음
현실 문제 부합성의 원리	• 모두가 일상에서 겪는 '소화'라는 주제를 다루었음

현실 환경 유사성의 원리	• 실제에 가까운 오브젝트를 사용하여 실제 현실에서의 소화기관과의 유사성을 최대한 확보하였음	
구조 계획의 원리	• 실제 음식이 지나가는 입-식도-위-작은창자-큰창자를 연결성 있게 지나도록 다음 소화기관으로 이동하는 전환 과정에서 화면이 끊어지지 않도록 스토리보드를 구상하였음 • 안팎의 시점을 이동할 수 있도록 하였음	
활동 전개의 구성 원리	• 각각의 소화기관의 움직임을 통해 소화기관의 구조와 기능이 구현되도록 하였으며 이에 대한 내레이션을 포함하였음 • 각각의 소화기관의 위치, 구조, 기능에 대한 설명을 들으며 관찰할 수 있도록 계획하였음	
조작 간편의 원리	• 예상 사용자가 초등학생인 만큼 최대한 간편하게 사용할 수 있도록 버튼을 최소화하였음 • 레이저 모양의 커서를 통해 가상현실의 버튼 오브젝트를 컨트롤러의 트리거를 눌러 선택하도록 하였고, 백 버튼을 통해 메인 화면으로 돌아가도록 하였음 • 체험 전에 VR 기기에 대한 조작법과 본 프로그램 사용법을 안내하는 활동지를 제공하고 설명하였음[부록 7 참고]	

조작 및 선택의 원리	• 보는 방향 및 시점 이동을 자유롭게 선택할 수 있도록 하였음 • 배움의 속도를 자유롭게 조절할 수 있도록 각 소화기관에서의 학습이 끝나고 충분히 체험한 뒤에 자신이 원하는 시기에 다음 소화기관으로 넘어갈 수 있도록 하였음	
정보 제공의 원리	• 학생들이 각 소화 장면에 관한 정보를 얻을 수 있도록 소화기관의 구조가 보이는 동시에 내레이션을 제공하여 기능에 대한 추가적인 정보를 제시하였음 • 학생들이 현재 어느 위치에 있는지 알 수 있도록 소화기관 위치에 대한 내레이션과 라벨을 제공하였음	 여기는 위예요. 위는 우리가 먹은 음식물을 살균해주는 소화기관이에요. 위벽에는 많은 주름이 있고 염산이 나와 살균을 해줘요. 그리고 소화액이 나와 단백질을 잘게 분해해요.
반성적 성찰의 원리	• 각각의 소화기관에 대한 탐험이 끝난 뒤에 복습 과정에서 다시 경험하고 싶은 소화기관을 선택해서 반복 수행 할 수 있는 기회를 주었음	

VR 기반의 프로그램 'Digestion(VR)'을 개발하는 데 있어서 기본 원리로 삼은 것을 구체적으로 제시하면 다음과 같다.

첫째로 본 프로그램을 개발하면서 교육 내용 적합성의 원리(Kim *et al.*, 2001; Reddy & Mint, 2017)를 적용하였다. Kim *et al.*(2001)은 가상현실 콘텐츠의 내용으로 기존의 교육 방법으로는 학습이 어려운 주제가 적합하다고 주장하였다. 본 연구에서는 학습자가 일상생활에서 경험하기 힘든 음식물이 되어보는 상황을 제시함으로써 이 원리에 부합되도록 하였다. 또한 사용자 자신이 음식물이 되어 소화기관에 직접 들어가 음식물의 시점으로 소화되는 경험을 할 수 있도록 콘텐츠를 개발하였다.

둘째로 본 프로그램을 개발하면서 현실 문제 부합성의 원리(Dalgarno & Lee, 2010; Metcalf *et al.*, 2011)를 적용하였다. 현실 부합성의 원리는 가상 환경에서 학습자가 배울 학습 내용이 실제 현실에서 다루는 문제인지 파악할 필요가 있다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 모든 인간의 실제 현실에서 이루어지는 소화 과정을 VR 기반 프로그램의 문제로 제시하였다.

셋째로 본 프로그램을 개발하면서 현실 환경 유사성의 원리(Park *et al.*, 2019; Steuer, 1992)를 적용하였다. 현실 환경 유사성의 원리는 가상현실은 현실과 유사한 객체와 다감각적인 신호를 사용하여 충분한 현존감을 제공하여야 한다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 실제 소화기관에 가까운 오브젝트와 효과음을 사용함으로써 실제 현실에서의 소화기관과 유사성을 최대한 확보하였다. 실제 소화기관의 색과 크기가 비슷한 오브젝트를 제시하였으며, 각각의 소화기관에 따라 소화 효과음이 다르게 나도록 하였다.

넷째로 본 프로그램을 개발하면서 구조 계획의 원리(Han, 2019)를 적용하였다. 구조 계획의 원리는 활동 내용과 이야기 특성을 고려하여 가상현실 프로그램의 전개를 고려할 필요가 있다는 것을 의미한다. 본 프로그램을 개발하는 과정에서 음식물의 시점에서 입-식도-위-작은창자-큰창자를 연결해서 지나도록 스토리보드를 구성하였다. 화면 전개 과정에서 시점 이동 시 각각의 소화기관마

다 멈춰서 위치와 구조를 살피고, 다음 소화기관으로 전환되는 과정에서 소화기관 간 연결이 이어지도록 장면을 구성하였다. 또한 안팎 시점을 이동하며 전체적인 소화기관에서 자기가 관찰하고 있는 소화기관의 위치가 어디인지 확인할 수 있도록 설계하였다.

다섯째로 본 프로그램을 개발하면서 활동 전개의 구성 원리(Han, 2019)를 적용하였다. 활동 전개의 구성 원리는 가상현실 체험 활동 중에 어떠한 내용과 화면이 포함되도록 할지 구상할 필요가 있다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 설계과정에서 각각의 소화기관의 움직임을 통해 소화기관의 구조와 기능이 구현되도록 하였으며 구현된 소화기관의 구조와 기능에 대한 이해를 돕기 위해 관련된 내레이션을 포함하였다.

여섯째로 본 프로그램을 개발하면서 조작 간편의 원리(Bell & Trundle, 2008; English, King, & Smeed, 2017; MacKnight, Dillon & Richardson, 1991; Park *et al.*, 2019)를 적용하였다. 조작 간편의 원리는 학습자가 조작법 및 사용법을 이해하기 쉽도록 VR 기반 프로그램을 개발할 필요가 있다는 것을 의미한다. 본 프로그램에서는 예상 사용자가 초등학생인 만큼, 최대한 간편하게 사용할 수 있도록 버튼을 최소화하였다. 가상현실의 버튼 오브젝트에 레이저 형태의 커서를 올려놓고 트리거를 눌러 컨트롤러가 오브젝트를 간편하게 선택하도록 하였고, 컨트롤러의 백(back) 버튼을 통해 메인 화면으로 돌아가도록 하였다. 이에 더해서 체험 전 교수 활동에서 VR 기기에 대한 조작 및 프로그램 상황에서 기기를 사용하는 방법을 안내하는 활동지를 제공하였다[부록 7 참고].

일곱째로 본 프로그램을 개발하면서 조작 및 선택의 원리(Pantelidis, 1993)를 적용하였다. 조작 및 선택의 원리는 학습자가 가상현실 공간에서 다양한 선택을 할 수 있도록 지원할 필요가 있다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 사용자가 자유롭게 시선과 학습 속도를 선택 수 있도록 하였으며, 배움의 속도를 자유롭게 조절할 수 있도록 각 소화기관에서의 학습이 끝나고 충분히 체험한 뒤에 자신이 원하는 시점에 다음 소화기관으로 넘어갈 수 있도록 개발하였다. 학습자가 보는

방향을 선택하고 시점을 이동할 수 있도록 선택권을 주었으나 예상 사용자가 초등학생이므로 시점의 위치 자체를 조작할 수는 없도록 함으로써, 자신의 위치를 상실하여 체험이 불가능하게 되는 경우가 발생하지 않도록 하였다. 복습 과정에서 원하는 학습 내용을 자유롭게 선택하여 체험하도록 구성하였다.

여덟째로 본 프로그램을 개발하면서 정보 제공의 원리(Hwang *et al.*, 2014; Mayer, 2005)를 적용하였다. 정보 제공의 원리는 프로그램에서 내용적 정보를 제공할 때 다중 감각적으로 제시할 필요가 있다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 학생들이 각 소화 장면에 관한 정보를 얻을 수 있도록 소화기관의 구조가 제시되는 동시에 내레이션을 제공하여 소화기관에 대한 다감각적 정보를 얻도록 하였다. 또한 라벨과 소화기관 위치에 대한 내레이션을 제공하여 학생들이 현재 어느 위치에 있는지 알 수 있도록 하였다.

아홉째로 본 프로그램을 개발하면서 반성적 성찰의 원리(Bell & Trundle, 2008; Park *et al.*, 2019)를 적용하였다. 반성적 성찰의 원리는 학습자가 학습 내용을 충분히 습득할 때까지 반복 수행하는 것을 의미하며, 본 연구에서는 각각의 소화기관에 대한 탐험이 끝난 뒤에 학생들이 각자 다시 경험하고 싶은 소화기관을 선택하여 반복 수행이 이루어질 수 있도록 개발하였다.

1.3 개발 프로그램의 제한점

본 연구에서는 가상현실의 특성을 반영하고 개발 원리에 입각하여 실제 수업에서 활용할 수 있는 VR 기반 프로그램을 개발하였다. 그러나 개발된 프로그램에는 몇 가지 제한점이 있었다. 앞으로 학교 현장에서 VR 기반 프로그램을 효과적으로 개발하고 이를 적용하기 위해서는 다음과 같은 개발 프로그램의 한계를 개선할 필요가 있다.

1.3.1 현실과 동일한 공간 충실도 구현 불가

본 프로그램의 개발 의도와는 달리 현실과 다른 공간 충실도(fidelity)를 구현하여 가상현실로 제시된 개념이 실제 현실의 과학적 개념과 차이가 나는 경우 학생들에게 대안 개념을 심어줄 수 있다. 현재 가상현실 기술은 비약적인 발전을 이루어 현실과 거의 유사한 경험을 제공해 줄 수 있게 되었지만 아직까지 현실을 완벽히 재현하기에는 한계가 있다. 가상현실의 공간이 실제 현실과 최대한 유사하게 개발되어 현실을 반영한 공간 충실도가 높을수록 가상세계에서의 몰입도가 증가하지만(Trollip & Alessi, 2001; Winn, 1993), 지금의 기술은 현실과 동일한 공간 충실도를 구현하기에는 무리가 있는 것이다. 특히 소화기관이 움직이는 동적인 장면을 구성하는 과정에서 각각의 가상현실 오브젝트에 움직이는 함수를 부여하고 구현하는 것에는 한계가 있었다. 이러한 한계로 인하여 VR 기반 프로그램을 통한 교육 상황에서 실제와 다른 상황이 구현될 경우 학생들이 과학적 개념과는 다소 거리가 있는 대안 개념을 획득하는 현상이 나타났다. Barab *et al.*(2000)은 실제 세계의 모형과 가상세계의 모형이 어떤 차이가 있는지 비교·대조하는 활동을 통해서 이러한 한계를 극복하고자 하였다. 다음의 인터뷰 전사본에서 학생 J는 개발된 본 프로그램에서 구현하지 못한 소화기관에서 소화액을 흩뿌리는 장면을 관찰함으로써 '소화액이 뿌려지지 않고 물처럼 고여만 있다.'는 잘못된 대안 개념을 획득하였다.

학생 J: 위에서 소화되는 과정이 원래는 스프레이처럼 칙칙 뿌리는 것인 줄 알았는데 소화액이 물처럼 고여있다는 점을 알게 되었어요.

또한 학생 S와 학생 G는 실제 소화 장면과 다르게 구현된 가상현실 환경에 아쉬움을 표현하기도 하였다. 특히, 학생 S는 인터뷰에서 위장의 위문이 열렸다 닫혔다 하는 장면이 잘 관찰되지 않고, 소화 과정이 진행되면서 음식물의 형태가 변화하지 않는 장면에 대한 개선점을 제안하였다.

학생 S: 위장의 동그란 (오므려진) 모습이 안 나와 있고 뚫린 느낌이 있더라고요. 음식물이 위액에서 녹거나 그런 것이 안 나와서 아쉬웠어요. 또 실제와 다르게 음식물 모양이 똑같았잖아요. 실제로 들어간 음식물이 뭔지도 모르겠고 진짜 빵이 넘어가고 입에서 빵이 씹히고 식도로 넘어가고 위에서 빵이 녹고 소화액이 뿌려지고 대장에 도달하는 것까지 봤으면 변화를 관찰하기 더 좋았을 것 같아요.

학생 G: 음식물이 실제처럼 위에서 녹아서 상태가 변했으면 좋겠어요.

1.3.2 모든 감각 활용 불가

가상세계에서는 3차원 공간에서 시각적 객체를 구현하고 청각적, 촉각적 자극을 제공함으로써 자연스러운 현실로 인지할 수 있는 환경을 제공한다(Dalgarno & Lee, 2010). 본 연구에서 개발한 VR 기반 프로그램에서는 촉각의 감지 기능을 지원하지 못했다. 가상현실 프로그램 중에는 컨트롤러에서 손의 움직임을 감지하고 컨트롤러의 떨림을 통해 힘을 느끼도록 지원하는 프로그램이 있으며, 이러한 기술을 이용한 프로그램은 학습자의 인지적 변화를 더 잘 이끌어 낼 수 있다(Park *et al.*, 2019). 시각, 청각과 함께 촉각을 경험할 수 있도록 지원했다면 학생들이 더 큰 인지적 변화를 이끌어낼 수 있었던 것이다(Kim *et al.*, 2001). VR을 통해서 구현된 세계가 단지 시각적 정보 구현에만 국한된다면 현실과의 불일치가 발생되어 현존감을 떨어뜨리게 되므로(Chung, 2017), 촉각을 포함한 다중 감각적 체험을 제공하는 것을 통해 학습자가 정보를 습득하고 지식을 스스로 구성하는 모형 구성 과정에 도움을 줄 수 있었으리라 사료된다. 다음에 제시된 학생 S의 인터뷰 전사본은 오감이 동원되지 못하여 감각화의 특성이 효과적으로 구현되지 못한 사례를 보여준다.

학생 S: 오감이 다 동원되지 못해서 내가 움직인다기보다 VR이 움직이는 느낌이 들어요.

1.3.3 장시간 체험 불가

가상현실 프로그램 체험 장치는 초점의 이동속도에 정확히 맞는 빠른 전환이 어려우므로 어지럼증을 유발하게 되는데 이러한 어지럼증 때문에 학생들이 장시간 착용하여 체험하기 힘들다는 한계가 있다(Park *et al.*, 2019). 초등학생의 경우 VR을 장시간 체험할 때 구토, 두통, 현실 세계와 가상세계를 혼동할 가능성 등의 부작용을 호소하는 사례가 있다(Park *et al.*, 2019). 그러므로 VR로 구현하기 적합한 학습 내용을 적정 시간 동안 안전하게 투입할 필요가 있다. 본 연구에서 VR 기반 프로그램을 체험한 연구 참여자인 6학년 학생들에게는 한 학생당 15분~20분 정도의 체험 시간을 한계로 보았고, 더 오래 체험하기 원하는 학생들에게는 잠시 휴식을 취한 뒤 체험을 이어가도록 조치하였다. 본 연구에서 개발한 VR 기반 프로그램에서도 작은창자의 꼬임을 나타내기 위해 어지럼증을 유발할 가능성이 있는 장면이 나오는데, 학생 F와 학생 A가 이 장면에서 어지럼증을 호소하였다. 향후 하드웨어적인 측면에서 초점 이동 속도에 따른 화면 전환이 빠르게 되는 기술이 개발된다면 어지럼증이 줄어들어 체험 가능 시간이 늘어날 수 있으리라 사료된다.

학생 F: 너무 많이 움직이는 것이 어지러웠어요.
학생 A: 처음에는 좀 어지러웠어요.

1.3.4 학습자 간 상호작용 불가

가상현실은 학습자들 간의 상호작용이 이루어지는 협력학습의 환경을 제공한다(Hahn & Lee, 2001). 하지만 본 연구에서 활용된 가상현실 프로그램에서는 학습자들 간의 사회적 상호작용이 반영될 수 없었다. 일반 학교에 5세대 이동통신의 보급이 이루어지지 않은 상황에서 서버를 통해 다중 학습자들 간의 연결을

지원하기에는 기술적·경제적 한계가 있었다. 이와 같은 한계점은 향후 5세대 이동통신의 보급에 따라 개선될 수 있을 것으로 사료된다. 현재로서는 실제 교실 수업에서 사회적 모형 구성 활동을 함으로써 다른 학습자와의 상호작용적 측면을 보완하는 것이 최선일 것이다. 따라서 향후 연구에서는 가상현실 프로그램 상황에서 학습자들이 함께 프로그램 속의 객체를 조작하고 시점을 공유하며, 공동 모형을 구성하는 등의 협력 학습을 통해 학습자 간 상호작용이 가능한 가상 환경을 구현할 필요가 있다.

1.3.5 변수 조작 불가

상호작용이 강조된 가상현실 시뮬레이션은 객체와의 상호작용 과정을 시각화할 뿐만 아니라 단순한 체험의 차원에서 벗어나 같이 프로그램을 만들어가는 입장에서 변수 조작을 가능하도록 한다(Winn *et al.*, 2006; Bell & Trundle, 2008). 즉, 변수를 조작하고 자신의 가설을 검증하면서 스스로 지식을 구성해 나갈 수 있도록 지원할 필요가 있는 것이다. 본 연구에서 활용한 가상현실 프로그램에서는 기술적·경제적 한계로 인해 객체와의 상호작용은 시점 조절과 시선 전환, 복습 순서 선택 이외에 다른 상호작용은 제한할 수밖에 없었으며, 학습자의 변수 조작을 이끌어 내는 과정을 구현하지 못한 한계가 있었다.

2. VR 기반 프로그램을 활용한 초등학생의 과학적 모형 구성 수업의 설계

VR 기술이 발달함에 따라 교육 분야에도 가상현실을 적용할 필요가 있다는 사회적 요구가 커지고 있으며 가상현실의 교육 효과를 극대화하기 위한 교수 방법에 대한 안내가 필요한 상황이다(Kim *et al.*, 2001). 그럼에도 불구하고 가상현실이라는 매체가 실제로 어떠한 방식으로 수업에 적용되어야 하는지에 대한 연구 결과는 부족하다. 교육 매체의 역사를 살펴보았을 때 수많은 매체가 새롭

게 나타났다가 사라져왔으며(Park *et al.*, 2019), 학교 교육에서 가상현실 매체의 생존 여부는 이 매체를 활용하여 제공되는 교수·학습에 의해 결정될 것이다. 본 연구에서는 VR 기반 프로그램을 활용하여 학생들의 모형 구성 과정을 돕는 가상현실의 특성을 반영한 교수 활동을 마련하고, 과학적 모형 구성 수업을 설계하였다. 또한 이러한 교수 활동이 실제 학생의 모형 구성 과정에 도움을 주는지 학생의 인터뷰 사례를 통해 확인하였다. VR 기반 프로그램을 활용한 초등학생들의 과학적 모형 구성 수업을 설계함으로써 학생의 참여를 촉진시키고 모형 구성에 도움을 주는 지원과 발판을 제공하고자 하였다(Bell & Trundle, 2008).

2.1 VR 기반 프로그램을 활용한 초등학생의 과학적 모형 구성 수업의 개요

가상현실 자료는 특정 교수 방법에 얽매이지 않고 교육 현장에서 활용 가능하다는 장점이 있으며(Park *et al.*, 2019), VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 통해 학생들은 실제 경험과 유사한 가상현실 경험을 할 수 있었다. 이러한 경험을 바탕으로 학생들의 과학적 모형 구성 과정에서 능동적인 지식 구성(Baek & Schwarz, 2015), 추상적 개념 이해를 위한 가시화(Park *et al.*, 2019), 상호작용을 통한 반영적 관찰이 가능하도록(Kim *et al.*, 2001) VR 기반 프로그램이 활용된다면, 과학적 모형 구성 수업의 교육적 효과는 더욱 증대될 것이라 생각한다. 본 연구에서는 가상현실의 특성을 반영한 교수 활동을 바탕으로 과학적 모형 구성 수업을 설계하였으며, 이렇게 설계된 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 <Table 19>의 수업 단계에서 나타내었다.

<Table 19> Design of scientific modeling instruction using a VR-based program

수업 단계	교사의 안내	학생 활동
관련성 있는 문제 상황 제시 및 초기 모형 구성	• 질문을 통해서 관련성 높은 문제 상황 설정하기 예) 질문: 우리가 점심을 먹으면 몇 시간 만에 대변으로 나올까? • 초기 모형 구성하도록 안내하기	• 문제 상황 분석 및 이해 • 초기 모형 구성
모형 구성을 위한 자료 수집 및 분석	• 문제 해결을 위한 정보를 다양한 매체로 제공하기 • 자료 수집 및 분석을 통한 탐구 활동과 지식 생성 유도	• 문제 해결을 위한 자료 수집 및 정보 탐색 • 수집된 지식의 분석 및 분류
가상현실 체험을 바탕으로 중간 모형 구성	• VR 기반 프로그램을 활용한 모형 활동 제시 • VR 기반 프로그램의 특성을 효과적으로 경험하도록 지원 ·자유롭게 조작하며 탐구하는 시간 제공하기 ·시행착오를 거치며 반복해서 체험하도록 안내하기 ·다감각적 신호에 주목하도록 안내하기 ·360도 시점을 관찰하도록 안내하기 ·학습 속도 조절을 자유롭게 하도록 안내하기 ·콘텐츠 순서 결정을 자유롭게 하도록 안내하기 ·시점 이동을 하도록 안내하기 • VR 기반 프로그램 체험 활동을 토대로 모형을 다시 그리도록 안내하기 • 현실 상황에 전이하기 • 구체적인 표상화 구성 전략 논의 예) 움직임을 글과 그림으로 표현하는 전략 논의하기	• VR 체험 수행 • VR 기반 프로그램의 경험을 바탕으로 중간 모형 구성

정리 및 모형 평가·수정	• 전체 활동 종합적 정리 • 모형 발표하기	• 모둠 또는 전체에게 모형 발표 • 동료 모형 평가 및 자기 모형과 비교 • 모형 수정

본 연구에서 설계된 VR 기반 과학적 모형 구성 수업을 단계별로 나누어 교사와 학생의 활동을 구체적으로 제시하면 다음과 같다.

본 연구에서 설계한 수업의 첫 단계에서 문제 상황의 제시와 초기 모형 구성이 이루어졌다. 이때 교사는 실생활 속 접근 가능한 문제 상황을 제시하고 초기 모형을 구성하도록 안내하였다. 학생은 자연현상 속의 문제를 파악하고 이에 대한 초기 모형을 구성하였다.

다음으로 모형 구성을 위한 자료 수집 및 분석 단계에서 교사는 다양한 매체(물리적 모형, 동영상, 서적 등)를 활용하여 학생에게 모형 구성을 위한 정보를 제공하였고, 이러한 자료를 토대로 탐구 활동과 지식 생성을 유도하였다. 학생은 주어진 문제를 해결하기 위한 자료 수집 및 정보를 탐색하고 수집된 소화기관과 관련된 지식의 분석 및 분류 작업을 수행하였다.

가상현실 체험을 기반으로 중간 모형 구성 단계에서 교사는 VR 기반 프로그램을 활용한 모형 활동을 제시하였으며, VR 기반 프로그램의 특성을 효과적으로 경험하도록 지원하였다. 이후 이러한 VR 기반 프로그램 체험 활동을 토대로 소화기관의 모형을 다시 그리도록 안내하였고, 실제 상황에 전이할 수 있도록 지원하였으며, 추상적인 과학 개념을 구체적인 모형으로 구성할 수 있는 전략을 논의하였다. 학생은 VR 체험을 수행하고 VR 기반 프로그램에서 얻은 정보와 지식을 바탕으로 새로운 모형을 생성하였다.

정리 및 모형 평가·수정 단계에서 교사는 전체 활동을 종합적으로 정리하도록 안내하였으며, 학생들은 자신이 구성한 모형을 모둠과 전체 학생에게 발표하고 공유하도록 안내하였다. 학생들은 이 단계에서 자신의 모형과 다른 학생들의 모형을 비교하면서 필요 시 추가적으로 자신의 모형을 평가·수정하였다.

2.2 VR 기반 프로그램을 활용한 초등학생의 과학적 모형 구성 수업 단계

VR 기반 프로그램이 학생들의 모형 구성 과정에 도움이 되도록 활용한 과학적 모형 구성 수업의 단계를 설계하였다. 설계된 과학적 모형 구성 수업에서 이루어지는 교수·학습 활동을 단계별로 제시하고, 이에 대한 논의를 하고자 한다.

2.2.1 관련성 있는 문제 상황 제시 및 초기 모형 구성

이 수업 단계는 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 첫 단계이다. 교사는 이 단계에서 수업 전체에서 해결해야 할 문제 상황을 제시하고 초기 모형을 구성하도록 안내하였으며, 학생은 VR 기반 프로그램이 아직 제시되지 않은 상황에서 VR 기반 프로그램을 도구로 활용하여 과학적 모형을 구성하기 위한 준비를 하였다.

2.2.1.1 질문을 통해서 관련성 높은 문제 상황 설정하기

학생들의 과학적 모형 구성을 돕기 위하여 본 교수 활동에서는 질문을 통해 학생과 관련성이 높으면서 실생활 속에서 접근 가능한 문제 상황을 소개하였다. “우리가 밥을 먹으면 소화기관에서 어떤 일이 일어날까?” “우리가 밥을 먹으면 몇 시간 만에 대변으로 나올까?”와 같은 실생활과 관련성 높은 질문을 하였다. 이처럼 학생들에게 음식물이 소화되는 데 걸리는 시간을 알아보도록 하거나, 구체적인 질문을 통해 소화와 관련된 경험을 상기하도록 함으로써, 학생들이 소화기관에 관한 학습이 자기 자신의 삶과 밀접한 관련이 있음을 인지하도록 하였다. 학생들이 VR 기반 프로그램을 통해서 배우게 될 ‘소화’라는 주제가 자신과 관련성이 높은 문제 상황이라는 것을 인식하도록 한 것이다. 본 연구에 참여한 학생은 이러한 교수 활동을 통해 가상현실에서 학습하게 될 가상현실 콘텐츠와 자

기 자신의 경험을 관련 지어 문제에 대한 해결 방법을 탐색하고 문제 해결 과정에 몰입한 것으로 사료된다. 이는 학습자는 자신과 관련성이 높은 질문을 통해서 문제 상황을 분석하고 이해하며, 문제 상황에 몰입감을 느끼고 지식을 능동적으로 구성한다는 선행연구(Kim *et al.*, 2001)에 부합한다.

2.2.1.2 초기 모형 구성하도록 안내하기

이 과정에서 교사는 학생이 기존에 가지고 있는 개념을 바탕으로 초기 모형을 구성할 수 있도록 안내하였다. 본 교수 활동에서는 '아침에 먹은 빵이 우리 몸속 소화기관의 어떤 기능에 의해서 어떤 순서로 소화될지 그림과 글로 설명해 봅시다.'라는 안내를 통해 초기 모형을 구성하도록 하였다. 이 안내에 따라 학생들은 기존에 가지고 있는 소화기관의 구조, 기능, 순서에 관한 선개념을 바탕으로 글과 그림 모형을 구성하였다. 초기 모형을 구성해 봄으로써 학생 스스로 현재 자신이 가지고 있는 개념을 표상화하고, 앞으로 경험하게 될 가상현실 상황에서 학습할 소화 기관의 구조와 기능에 관련된 개념과 연결 지을 준비를 한 것으로 사료된다.

2.2.2 모형 구성을 위한 자료 수집 및 분석

모형 구성을 위한 자료 수집 및 분석 수업 단계는 가상현실 체험을 바탕으로 중간 모형 구성을 위한 자료를 수집하고 분석하는 단계이다. 이 수업 단계에서 교사는 학생에게 문제 해결을 위한 관련 정보를 다양한 매체로 제공하였다.

2.2.2.1 문제 해결을 위한 정보를 다양한 매체로 제공하기

이 교수 활동에서 교사는 학생에게 소화기관에 관련된 동영상과 교과서 서적이라는 두 가지 매체를 제공하였다. 교과서 서적이라는 정적 매체뿐만 아니라, 동영상이라는 동적 매체를 통해 정보를 제공한 것이다. 이 과정을 통해서 학생들이 소화기관의 구조와 기능에 대한 개념을 환기하고 VR 체험 과정에서 제시되는 소화기관 객체를 자연스럽게 이해할 수 있도록 지원하였다. 교과서와 동영상에서는 소화기관의 대표적인 개념과 전체적인 구조를 파악하도록 하고, 이후의 수업 단계에서 제공될 VR 기반 프로그램에서 안과 밖의 다른 시점에서 구체적인 내용을 확인하도록 하였다. 이렇듯 VR 체험에 앞서 구체적인 소화기관에 대한 동영상을 시청하는 활동은, 학생이 VR 기반 프로그램의 콘텐츠와 연결되는 소화기관의 정보를 수집하고 궁극적으로는 과학적 모형 구성을 위한 도움을 준다. 다시 말해, 학습자는 동영상을 통해 제공된 정보를 분석하고 이를 VR 기반 프로그램에서 제공된 정보와 연결 지음으로써 학생 스스로 지식을 생성하는 모형 구성 과정을 시작할 준비를 하는 것이다.

이와 같이 다양한 매체를 통한 개념을 환기하는 활동을 통해서 학습자들은 가상현실 공간에 존재하는 소화기관의 개념과 현실의 소화기관의 개념을 자연스럽게 연결하고 VR 기반 프로그램을 더 쉽게 이해하고 몰입하였다. 이는 현실 상황에서 다양한 매체로 제공되는 정보와 가상현실의 정보를 연결시키도록 교수·학습 활동을 지원할 때, 가상현실 학습 상황에서 학생들의 이해가 증진된다는 Dori & Barak(2001)의 연구 결과에 부합한다. 추후의 연구에는 매체의 다양성을 확대하기 위해서, 본 수업에서 제시한 동영상뿐만 아니라 실체를 만질 수 있는 소화기관의 물리적 모형까지 VR 기반 프로그램과 함께 제시한다면, 학습자가 모형을 구성하기 위한 보다 더 다양한 양식의 정보를 수집할 수 있을 것이라 사료된다.

다음에 제시된 학생 I와 학생 T의 인터뷰 전사본은 소화기관에 관현 동영상을 통해서 환기시킨 소화기관의 개념을 가상현실 환경 속 소화기관의 객체와 연결 짓는 사례를 보여준다.

학생 I: 영상으로 볼 때는 그걸(소화기관에 대한 개념을) 머리에 익힌다고 생각한다면 이건(VR을 통해 소화기관에 대한 개념을 학습하는 것은) 몸에 익히는 것 같은 기분이 들었어요.

학생 T: 동영상만 가지고는 설명이랑 제가 아는 것(소화기관)을 연결 짓기 힘든 부분이 있었는데 (동영상에 더해서 VR로 화면을) 보면서 듣기도 하고 자막까지 있으니깐 (더 이해하기 쉬웠어요.)

2.2.3 가상현실 체험을 바탕으로 중간 모형 구성

이 수업 단계에서 교사는 학생에게 VR 기반 프로그램 'Digestion(VR)'에 대한 체험을 지원하고 이를 바탕으로 소화기관 모형을 구성할 수 있도록 안내하였다. 교사는 VR 기반 프로그램의 특성을 효과적으로 체험하도록 지원하며 이 체험을 통해 얻은 정보를 바탕으로 초기 모형보다 발달된 모형 수행 수준의 중간 모형을 다시 구성하도록 안내한 것이다. 이를 위해 자유롭게 조작·탐구할 수 있는 충분한 시간을 제공하면서 허용적인 분위기에서 시행착오를 거쳐 반복적으로 프로그램을 체험할 수 있도록 안내하였고, 다감각적 신호에 주목하고 360도 시점을 체험하도록 하며, 새롭게 알게 된 개념을 현실 상황에 전이할 수 있도록 하였다. 또한 상호작용적 특성을 반영하여 학습 속도의 조절과 콘텐츠 순서의 결정, 시점의 이동을 자유롭게 할 수 있도록 안내하였다. 이러한 교수 활동이 학생들의 과학적 모형 구성 과정을 지원하였다. VR 기반 프로그램 체험을 수행한 뒤 학생이 경험한 내용을 바탕으로 새로운 모형을 생성하도록 하였고, 자신의 정신모형에 대한 모형 평가와 수정을 반복하도록 유도함으로써 개념 이해 발달을 도모하였다. 또한 교사는 모형 구성 과정에서 소화기관의 움직임과 같은 입체적인 개념을 2차원적인 평면 모형에 표상화하기 위한 전략을 학생들과 같이 논의함으로써 학생의 모형 수정 과정을 지원할 수 있었다.

2.2.3.1 자유롭게 조작하며 탐구하는 시간 제공하기

이 교수 활동에서 교사는 학생들이 자유롭게 조작하고 탐구하는 시간을 제공하였다. VR 장비를 2인 1대 제공하여 실제 수업에서 학생들이 VR 기반 프로그램을 체험할 시간적 여유를 확보하였으며, 체험 이후에도 모형 구성 과정 중에 다시 체험할 수 있는 기회를 제공하였다. 교사는 핵심적인 문제 상황과 활동 목표만을 안내하고 가상세계에서 학생 스스로 탐색할 수 있는 자유로운 조작 및 탐구 시간을 확보하고자 하였다. 이러한 자유롭게 조작하고 탐구하는 시간을 제공함으로써 가상 공간이 현상을 관찰하고 조작할 수 있는 페노머나리아(phenomenaria)로서 학습자에게 작용하여, 과학적 모형을 구성하고 수정하는 고차원적 사고 과정에 능동적으로 참여하도록 지원한 것으로(Perkins, 1991) 보인다. 이는 이 교수 활동을 통해 학생들이 실세계와 유사한 상황에서 시뮬레이션 함에 따라 절차적 시뮬레이션 상황과 상황적 시뮬레이션 상황을 처리하는 능력이 발달되고, 과학적 모형과 자신이 구성한 모형을 비교하여 모형을 수정한 결과로 사료된다(Trollip & Alessi, 2001; Zacharia, 2003). 추후 연구에서 학습자가 컨트롤러를 통해 자유롭게 조작할 수 있는 범위가 확대되어 객체를 이동하거나 변수를 조작할 수 있는 환경(Winn *et al.*, 2006)이 마련된다면 학생들의 능동적 참여와 학습을 더 효과적으로 이끌어 낼 수 있으리라 기대한다.

다음에 제시된 학생 K와 학생 J의 인터뷰 전사본은 학생들이 가상현실 프로그램이 제공하는 조작과 시선을 제어하며 자유로운 느낌을 받은 사례를 보여준다.

학생 K: 뭔가 신기했어요. **좁은 시선이 아니라 다 둘러보고 내가 원하는 것을 다 할 수 있으니깐 뭔가 자유를 느꼈던 것 같아요.**

학생 J: 내 마음대로 할 수 있는 것이 좋았어요. **보통 교과서는 한 가지 방향에서만 볼 수 있는데, 바깥에서도 볼 수 있고 직접 할 수도 있고, 어느 부분만 볼 수 있고 그런 것이 좋았어요. 저는 뭔가 감옥에서 풀려난 느낌도 들었어요.**

2.2.3.2 시행착오를 거치며 반복해서 체험하도록 안내하기

이 교수 활동에서 교사는 가상 환경에서 학생 자신이 원하는 장면을 시행착오를 거치며 충분히 반복해서 체험해 볼 수 있도록 하였다. 교사는 가상현실 학습 상황에서 반복적인 학습을 허용함으로써 학생이 자유롭게 가설을 형성하고 검증하도록 촉진한다 (Kim *et al.*, 2001). 학생이 자기 스스로 부족한 개념을 선택하여 복습하는 반복적인 체험 과정은 능동적인 학습과 학습 내용 기억에 도움이 되고, 소화기관 모형을 정교하고 빠짐없이 구성하는 데에도 도움이 된 것으로 사료된다. 이는 가상세계에서 반복 수행을 통해 모형 구성을 위한 데이터를 제공하여 지식의 구성하도록 도움을 줄 수 있다는 Baek(2010)의 연구결과에 부합한다. 추후 연구에서 학생들이 가상현실 학습환경에서 반복해서 체험할 때, 학습자의 반응에 따른 다양한 피드백이 VR 기반 프로그램 상에서 구현된다면, 학생들의 가설 검증 및 문제 해결을 보다 효과적으로 지원할 수 있으리라 사료된다.

다음에 제시된 학생 T와 학생 K, 학생 A의 인터뷰 전사본은 VR 체험을 통한 학습은 교실 상황에서 불완전하게 학습된 부분을 다시 반복해서 볼 수 있어서 학습 내용을 더 효과적으로 배울 수 있었다고 진술한 사례를 보여준다.

학생 T: 작은창자 같은 데에서 **잘 못 들었던 부분을 다시 볼 수 있어서 좋았던 것 같아요.** VR은 다 끝난 다음에 자신이 원하는 것을 볼 수 있고, **원래 수업이 끝난 다음에 설명을 다시 해 달라고 하면 선생님이 바쁘셔서 (다시 설명을 듣기 힘든데), 프로그램이니 다시 복습할 때도 좋은 것 같아요.**

학생 K: 책에서는 책에 쓰여있는 것만 볼 수 있는데 **VR은 원하는 곳을 마음껏 (반복해서) 볼 수 있어서 좋은 것 같아요.**

학생 A: 제가 수업에서 선생님께서 보여주신 동영상에서 이해가 안 되는 부분이 있는데 학생들이 (한 반에) 30명이나 되니까 선생님께 다시 한번 보여달라고 그러면 대부분 안 보여주시거든요. 넘어가고 나중에 쉬는 시간에 찾아오라고 하시는데. **(가상현실에서는 자유롭게) 제가 이전에 봤던 것을 다시 볼 수 있어서 이해가 잘 되었어요.**

2.2.3.3 다감각적 신호에 주목하도록 안내하기

VR 기반 프로그램에서는 소화기관의 라벨과 구조가 나오는 동시에 설명과 효과음이 제공된다. 이 교수 활동에서 교사는 VR 기반 프로그램에서 제공된 시각적 신호와 청각적 신호에 주목하도록 함으로써, 소화기관에 대한 기능과 공간의 통합이 자연스럽게 이루어지고 모형 구성에 도움을 줄 수 있도록 안내하였다. 특히 가상현실은 기존의 2차원 자료에 의존하는 매체와는 달리, 3차원 공간을 구현하는 매체라는 점에서 새로운 시각적 양식의 접근을 가능하게 한다(Park *et al.*, 2019). 개발된 VR 기반 프로그램에서 시각적 신호로는 각각의 소화기관의 라벨이 정적인 시각 신호로 제공되었고 소화되는 과정은 동적인 시각 신호인 영상으로 제공되었다. 또한 소화기관의 기능에 대한 내레이션과 각 소화기관에서의 서로 다른 효과음이 동시에 제공되었다. 교사는 이러한 다감각적 신호에 주목하여 소화기관의 정보를 얻을 수 있도록 안내하였다.

학생들은 시각, 청각, 운동 감각과 같은 다양한 감각적 학습 양식 중에서 선호하는 학습 양식이 서로 다르다(Choi, 2018). 가상현실은 시각, 청각, 운동 감각에 이르는 다감각적 신호를 제공한다는 측면에서 서로 다른 감각적 학습 양식을 선호하는 학생들을 만족시킬 수 있다(Calongne, 2008). VR이 가지는 이러한 다감각적 신호 특성은 학생들이 모든 감각을 이용하여 학습에 더욱 몰입하도록 도와주고, 현실적인 경험과 유사한 학습 효과를 줄 수 있는 것이다.

다음에 제시된 학생의 인터뷰 전사본은 가상현실 프로그램의 다감각적 신호에 주목한 결과 모형 구성을 위한 학생들의 이해에 도움이 된 사례를 보여준다. 인터뷰에서 학생 E는 가상현실 공간에서 제공하는 소화 장소에 대한 시각적 신호에 의한 표상과 청각적 신호를 통합함으로써, 소화기관의 기능과 구조에 대해 표상해야 하는 모형 구성 과정에 도움을 받은 것으로 나타났다. 이는 가상현실 기술을 통해 3차원 세계에서 과학 개념을 표상화함으로써 학생들의 추상적 이해가 발달되었다는 Winn(2002)의 연구결과에 부합한다. 학생 H와 같은 경우에는 시각과 청각의 자극 두 종류의 자극이 주어진 결과 흥미를 느꼈다고 진술했

으며, 학생 D의 경우에는 라벨링과 소화기관이라는 두 가지 시각적 자극이 주어진 결과 모형 구성에 도움을 받았다고 진술했다. 이는 가상현실 공간에서 학습자가 다양한 감각 정보를 취사선택할 수 있었기 때문에 흥미 향상과 모형 구성 과정에 도움이 된 것으로 사료된다. 이러한 결과는 가상현실 기술이 현상의 주요 특성을 가상공간에서 가시화하고 그 현상에 대한 학습자의 설명과 예측을 지원함으로써 모형 구성 과정에 도움을 줄 수 있다고 주장한 Dede *et al.*(1999)의 연구결과에 부합한다.

학생 E: 직접 보여주면서 보이는 장면에 대한 설명을 들으니깐 더 이해가 잘 갔어요. 그냥 이야기만 들으면 이야기 해주는 것을 머릿속으로 상상해야 하잖아요. 그런데 들으면서 실제로 직접 보면 머릿속에 훨씬 잘 그려지고 효과적으로 이해할 수 있어요.

학생 H: 화면을 보면서 동시에 설명을 해주니깐 읽기도 하면서 재미있었어요.

학생 D: 각 소화기관의 제목이 나와서 (이름을) 표시해줘서 이름표(표지를 나타내는데)하는 데 도움이 되었어요.

파일럿 수업 상황에서 기술적인 문제로 인해 음량을 작게 조절하였을 때, 학생이 청각적 자극을 제대로 받아들이지 못하고 몰입감을 느끼지 못한 경우가 있었다. 최종적으로 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 투입 상황에서는, 체험 이전에 학생에게 가상현실에서 시각적 신호뿐만 아니라 청각적 신호에도 주목하고 이를 경험할 수 있도록 안내하고 지원하였다.

2.2.3.4 360도 시점을 관찰하도록 안내하기

이 교수 활동에서 교사는 학생이 360도 시점을 관찰하도록 안내하였다. 학생들은 가상현실 상황에서 음식물이 되어 앞뒤, 위아래로 이동하면서 소화기관의 위치를 자연스럽게 파악하고, 모형 구성 과정에 이를 반영하였다. 학생들은 360도 가상 환경에서 많은 시점과 장면을 시뮬레이션 해봄으로써, 360도 가상 환경에서 제공되는 풍부한 시각 정보 중에서 자기에게 필요한 장면을 선택하여 모형

구성 과정에 반영한 것이다((Bell & Trundle, 2008; Park *et al.*, 2019).

학생들은 가상세계를 체험할 때 360도 시점을 관찰하고 사방으로 이동하는 장면을 가장 신기해하였다. 하지만 360도 시점을 관찰하도록 안내했음에도 불구하고 몇몇 학생들은 일방적으로 시점이 제시되는 사진이나 동영상과 같은 매체에 익숙해져 있어, 360도 시점을 체험하지 못하는 경우가 있었다. 그러므로 후속 연구에서는 학생이 프로그램을 체험하기 이전에 기기사용 안내 활동지와 VR 기반 프로그램 가상현실 상황 속에서 앞뒤, 위아래로 360도 시점을 변화하면서 체험할 수 있도록 강조하여 안내하는 방법을 고민할 필요가 있다.

다음에 제시된 학생 N의 인터뷰 전사본은 360도로 이동하고 시점 이동을 하면서 소화기관의 위치를 파악하는 데 도움이 되었다는 사례를 보여주고, 학생 S와 학생 J의 인터뷰 전사본은 가상현실 프로그램을 경험할 때 360도 화면을 제공한다는 것을 교사가 더 강조해서 알려줄 필요가 있다는 사례를 보여준다.

학생 N: **롤러코스터 타면서 아래로 내려가고 (360도) 방향이 있고 내려간다는 느낌이 있어서 왼쪽이나 오른쪽 방향으로 음식물이 되어 이동하며 (소화기관의) 위치를 더 잘 그릴 수 있었던 것 같아요.**

학생 S: 초기 화면도 360도로 되었으면 더 좋겠어요. **초기 화면이 360도가 안되니깐 하다 보면 (360도인 것을 모르고) 뒤에는 잘 보지도 않고 옆에만 약간씩만 돌아보기만 하는 것 같아요.**

학생 J: **360도로 돌아가는 것을 몰랐어요.**

2.2.3.5 학습속도 조절을 자유롭게 하도록 안내하기

이 교수 활동에서 교사는 체험 전에 학생이 천천히 학습할 필요가 있는 경우, 다음 소화기관으로 이동하는 시기를 조절하며 충분한 관찰을 하도록 안내하였다. 학생은 다음 소화기관으로 넘어가는 시기를 컨트롤러를 통해서 자기 스스로 결정하였다. 이 교수 활동을 통해 화면에서 음식물의 이동 장면이 반복적으로 펼쳐지는 가운데 이해하기 힘든 장면을 더 오랫동안 관찰하여 수정 모형 구성에

필요한 정보를 충분히 수집한 것으로 사료된다. 이는 학습자가 자신의 화면을 직접 통제할 수 있는 통제권을 가지고 있을 때, 능동적인 학습이 효과적으로 이루어진다는 선행 연구 결과(Park *et al.*, 2019; Vogel *et al.*, 2006)에 부합한다.

다음에 제시된 학생 A의 인터뷰 전사본은 가상현실 프로그램에서 자유롭게 학습 속도를 조절함으로써 이해가 향상된 사례를 보여준다.

학생 A: 바깥 시점도 선택할 수 있고 **제가 마음대로 (학습 속도를) 컨트롤(조절)할 수 있으니깐 이해가 안 되는 부분은 더 잘 볼 수 있고 이해가 잘 되는 부분은 넘어갈 수 있어서 학습이 더 잘 된 것 같아요.**

2.2.3.6 콘텐츠 순서 결정을 자유롭게 하도록 안내하기

이 교수 활동에서 교사는 학생이 가상현실 콘텐츠의 순서를 자유롭게 결정할 수 있도록 안내하였다. 본 가상현실 프로그램에서는 학습의 마무리 과정인 복습하는 상황에서 학생 자신이 다시 학습하고 싶은 내용을 선택하고 체험할 수 있도록 결정권을 주었다. VR 기반 프로그램에서는 학습자가 자신이 학습하고 싶은 콘텐츠를 원하는 순서로 학습할 수 있는 결정권을 제공하였다. 학습자는 일방적으로 제시되는 콘텐츠 제공방식보다 스스로 선택할 수 있는 방식을 더 선호하였으며, 이 교수 활동을 통해 결정한 학습 내용에 대해서 행위주체성을 나타낸 것으로 보인다. 이는 가상현실의 순서를 결정하는 경우 학습에 주인의식을 갖도록 도움을 주고, 학습자의 자율성이 강화되어 더 높은 교육적 효과가 나타나는 경향이 있다는 선행 연구 결과(Kim *et al.*, 2001; Vogel *et al.*, 2006)와 일치한다.

다음에 제시된 학생 N은 일방적인 방식이 아니라 스스로 순서를 결정하는 방식을 선호하는 사례이고, 학생 U의 인터뷰 전사본은 가상현실 프로그램에서 선택의 자유를 보장함으로써 학습자가 새로운 내용을 더 알고 싶어하는 행위주체성이 향상된 사례이다. 이는 학생들이 VR 프로그램에서 콘텐츠를 자신이 직접 선택함으로써 행위주체성을 얻게 된다는 연구 결과(Park *et al.*, 2019)에 부합한다.

학생 N: 식도랑 위랑 큰창자를 (복습 단계에서) 선택했어요. 위에서 소화되는 걸 알고 싶었고, 식도에서 어떻게 꿈틀꿈틀해서 들어가는지 알고 싶었어요.

학생 U: VR에서 처음부터 끝까지 나오는 대로 가는 것이 아니라 저희가 선택하면서 가는 것이 좋았던 것 같아요.

2.2.3.7 시점 이동을 하도록 안내하기

이 교수 활동에서 교사는 학생이 VR 기반 프로그램에서 소화기관의 안쪽 시점과 바깥쪽 시점을 살펴보도록 안내하였다. 이러한 시점 이동을 하는 기능이 있음을 안내함으로써 학생이 소화기관의 위치와 기능을 통합하는 과정을 도울 수 있었다. 소화기관 안쪽 상황에서 VR의 1인칭 시점인 음식물의 시점에서 관찰했을 뿐만 아니라 소화기관 밖의 시점에서도 관찰하도록 함으로써, 소화기관 전체 구조에서 자신의 위치를 파악할 수 있도록 한 것이다. 또한 어린 학생들은 어지럼증을 야기할 수 있는 문제로 인해 체험 시간에 제한을 받는데, 안과 밖의 다른 시점에서 관찰하게 함으로써 쉽게 소화기관의 개념을 이해하고, VR 기반 프로그램에서 제공되는 정보를 빠르게 파악할 수 있도록 하였다. 학생들은 이러한 시점 이동 과정을 통해서 소화기관의 상대적인 크기와 구체적인 구조와 기능을 파악함으로써 모형 구성 과정에 도움을 받은 것으로 사료된다. 이러한 결과는 3차원의 가상 공간에서 다른 각도와 위치에서 바라볼 수 있도록 하여 현상에 대한 관계와 통찰을 얻는데 도움이 된다는 선행 연구(Baek, 2010; Barab *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2001)에 부합한다. 다음에 제시된 학생 S와 학생 T의 인터뷰 전사본은 가상현실 프로그램을 경험할 때 시점 이동을 하는 경험이 모형 구성에 도움을 준 사례를 보여준다.

학생 S: 밖에서 봤을 때는 배설물이 어떻게 되는지 어느 부위에 있는지 알지 못했었어요. 예를 들어, 큰창자를 지나가고 있을 때에 밖에서 봤을 때에는 (작은창자를 둘러싸면서) 네모 모양으로 지나가는데 (지나가는 경로)에서 내가 어느 곳에 어느 부위에서부터 출발해가지고 어느 곳으로 빠져나가는지 밖에서도 다시

볼 수 있었어요. **안에서 보다가 궁금한 게 있으면 밖에서 볼 때 어디인지 볼 수 있으니 그림(모형)을 그리기에 편했던 것 같아요.**

학생 T: **위가 밖에서 어떻게 되어 있는지 알지만 안에서는 어느 정도로 커 보이는지 자세히 알 수 없는데 외부 시점에서도 볼 수 있고 들어가서도 볼 수 있었어요.** 그리고 안으로 들어가서 작은창자가 일정하지 않고 구불거리는 것도 알 수 있어서 VR 수업이 이걸(모형을) 그리는 데 좋은 영향을 미친 것 같아요.

2.2.3.8 현실 상황에 전이하기

이 교수 활동에서 교사는 학생이 가상세계에서 학습한 소화기관에 대한 개념을 일상적인 상황에 전이하도록 도움을 주었다. 가상 환경의 소화기관에서의 경험을 바탕으로 '빵을 먹었을 때 빵이 체내에서 어떤 순서와 어떤 과정을 거쳐서 소화되는지'에 대한 수정 모형을 구성하도록 안내하여 현실 상황에 전이할 수 있도록 한 것이다. 학습자는 이러한 교수 활동을 통해서 VR 기반 프로그램을 통해 이해한 지식을 자신의 모형을 구성하는데 활용하였고 실제 자신의 소화 과정과 비교해 보았으며, 이를 다시 학습자 자신의 일상의 상황에 전이하였다. 소화기관과 같은 실제적인 정보에 대한 학습이 이루어지는 가상현실 상황에서 콘텐츠의 묘사 정확도가 높아지게 되면, 학생들은 더 큰 현존감을 느끼고 사실적 정보와 관련된 실제 환경에 더 많은 전이를 일으키는 것이다(Dalgarno & Lee, 2010). 이는 실제와 유사한 가상 환경에서 자신의 경험을 바탕으로 실생활의 문제를 탐구하고 해결하고, 또 다른 지식을 생성하게 된다는 Metcalf *et al.*(2011)의 연구 결과에도 부합한다.

다음에 제시된 학생 A의 인터뷰 전사본은 가상현실 프로그램을 경험하면서 알게 된 지식이 모형 구성에 도움을 주었고, 이 수업을 통해서 알게 된 지식을 실제 상황에 전이하는 사례를 보여준다. 학생 A는 가상공간에서 위에 들어가보는 현실에서는 불가능한 경험을 통해 위의 구조와 기능을 이해하였다. '위액이 위의 아랫부분에 담겨있으면서 음식물을 녹이고 소화시킨다.'는 위의 구조와 기능을 이해한 것이다. 이러한 경험

을 통해 알게 된 '위'에 대한 지식을 '소화 과정에서 누울 경우 위에 안 좋다.'라는 사전 지식과 연관 지었다. 이 과정에서 학생 A는 식사 후 몸을 눕히는 현실 상황에 가상현실 공간에서의 체험을 바탕으로 구성한 지식을 전이한 것으로 사료된다. 즉, 가상현실 공간에서 이해한 위의 구조와 기능을 몸을 눕히게 되는 실제 상황에 전이한 것이다. 그 결과, '눕게 되면 위 속의 위액이 역류하여 식도로 흘러가 소화를 방해한다.'는 새로운 지식을 생성하였다. 이는 학생들이 VR 환경에서 현실에서는 불가능한 경험을 체험하고 학습하는 과정에서, 학습한 내용을 적용하고 전이(transfer)시키는 경향이 있다는 연구 결과(Dede, 2009)에 부합한다.

학생 A: 그런데 위가 하는 일은 정확히 잘 몰랐는데요. (가상현실 경험을 통해) 어떻게 (위가) 생겼는지 알았거든요. (또 모형을) 그리는 데 도움도 주었어요. 그런데 아빠가 먹고 바로 누우면 위에 안 좋다고 해서 못 눕게 했던 것이 생각 났어요. **(위의 역할은) 세균을 없애고 단백질을 녹이는 것인데, 누우면 이렇게(기울어지게) 되니깐 소화가 잘 안 될 것 같다는 것을 알게 되었어요.**

2.2.3.9 구체적인 표상화 구성 전략 논의

이 교수 활동에서는 VR 기반 프로그램으로 알게 된 내용을 글과 그림으로 나타내는 전략을 논의하였다. 입, 식도, 위, 작은창자, 큰창자 모든 소화기관에서의 구조와 기능이 모형에서 나타나도록 안내하였고, 글과 그림으로 소화기관이 하나의 시스템적으로 연결되어있다는 것을 표현하도록 안내하였다. 구체적으로, 그림에서는 소화기관과 소화기관 사이의 중간과정을 끊어지지 않고 그리도록 안내하였고, 글에서는 접속사를 통해서 시스템을 표상화하도록 안내하였다. 또한 음식물의 움직임을 화살표로 나타내거나, 음식물의 이동 장면마다 음식물을 그려서 움직임을 표상화하도록 안내하였고, 각각의 소화기관이 어디에 있는지 이름표를 라벨링하도록 안내하였다.

2.2.4 정리 및 모형 평가·수정

이 수업 단계에서 교사는 전체 활동을 종합 정리하고, 학생들이 VR 체험을 바탕으로 생성한 중간 모형을 모둠 또는 전체 학생들과 발표하고 공유하도록 하였다. 이를 통해 학습자는 동료의 모형과 자신의 모형을 비교함으로써 자기 모형 수정 과정을 추가적으로 수행하였다.

2.3 설계된 수업의 제한점

본 연구에서는 가상현실의 특성을 반영한 교수 활동을 바탕으로 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 설계하였다. 그러나 본 연구에서 설계한 수업에는 몇 가지 제한점이 있었다. 후속 연구에서 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 학교 현장에 적용하기 위해, 다음과 같은 제한점을 고려하여 모형 구성 수업을 설계할 필요가 있다.

2.3.1 개인적 모형 평가와 수정 과정 개선 필요

Koo(2017)는 개인적 모형 구성과정에서 자신이 생성한 모형을 다시 수정하고 개인의 중간 모형을 구성하도록 제안하였다. 하지만 본 연구에서 설계한 수업에서는 초기 모형과 중간 모형을 통해 사전 사후 검사 데이터를 수집하기 위해, 초기 모형을 생성한 뒤 생성한 모형을 수정하는 과정은 제시하지 못하였다. 학생들이 자신이 생성한 모형을 다시 평가하고 수정하는 과정 없이 두 번의 새로운 모형을 구성하도록 한 것이다. 추후 연구에서는 자신의 모형을 다시 평가하고 수정하는 과정이 고려되면서 사전 사후 검사가 이루어질 수 있는 방법을 추가적으로 고민할 필요가 있다.

2.3.2 모형 구성의 사회적 측면 고려 필요

본 연구에서는 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서 개인적으로 초기 모형과 중간 모형을 구성하도록 설계하였으며, 사회적 모형 구성이 이루어지지 못하였다. 하지만 학생들은 사회적 상호작용을 통해서 보다 더 높은

수준의 과학적 모형을 구성할 수 있으며(Koo, 2017), 교사는 모둠 토의 및 모둠 실험에서 기존의 모형을 평가하고 논의하는 과정을 거침으로써 목표 모형에 더 가까워질 수 있도록 지원할 필요가 있다. 후속 연구에서는 학생들로 하여금 과학 수업에서의 탐구 과정에서 소집단 상호작용과 학습 전체의 상호작용을 통해서 과학적 모형을 공동 구성해 나가도록 설계할 필요가 있다(Gilbert *et al.*, 2000). 또한 기술 구현이 가능하다면, 가상 환경에서 다른 학습자와 상호작용하고 협동하여(Dede, 1995; Hahn & Lee, 2001) 가상 공간에서 공동으로 모형을 구성하는 과정에 대한 논의도 필요하다.

2.3.3 VR로 인한 학생들의 담화 방해

Waight & Abd-El-Khalick(2007)는 VR 기술을 통한 수업에 초등학생들이 참여하는 과정에서 HMD 장치에 가로막혀 학생들의 담화와 참여를 제한하고 탐구 수행을 방해할 수 있다고 주장하였다. 본 수업을 진행한 결과 학생들은 VR 기기와 콘텐츠에는 몰입하지만, 다른 학생들과의 상호작용은 줄어들 수밖에 없었다. HMD 기기로 인하여 체험하는 학생의 시야가 가려지게 되고, 주변 학생들과의 심리적 괴리감이 생기게 되어 학생들의 담화를 방해하는 것이다. 추후 연구에서는 VR 기기를 통해 제공된 탐구와 실제 교실에서 이루어지는 탐구가 연결하여 학생들의 담화를 촉진할 필요가 있다. VR 기반 프로그램에서의 체험을 바탕으로 담화 활동이 활발히 이루어질 수 있도록 지원하는 수업 설계가 필요한 상황이다.

3. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과 검증 결과[6)]

본 연구에서는 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 설계하고 적용하여 그 교육 효과를 알아보았다. 우선, 학생들의 모형 수행 수준의 변화를 측정하여 설계한 수업의 효과를 검증하였으며, 이러한 수업 효과가 학생들

[6)] 이 결과는 최섭, 김희백 (2020). 가상현실 특성을 반영한 VR 프로그램 기반 수업 적용 및 효과라는 제목으로 *한국과학교육학회지, 40*(2), 203-216에 게재된 논문의 일부를 재구조화하여 제시하였음.

의 어떠한 인식에 의해서 나타날 수 있었는지 학생 인터뷰를 통해 탐색하였다. 그 결과, VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 통해 학생들의 '공간적 사고', '추상적 사고', '반영적 사고'가 촉진되고, '행위유발성', '현존감', '몰입감'이 유도되어, 학생들의 모형 수행 수준이 향상된 것을 확인하였다.

3.1 모형 수행 수준의 변화

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업이 학생들의 모형 수행 수준에 미치는 영향을 알아보기 위하여, 통제반과 실험반의 모형 수행 수준 변화에 대한 효과를 검증하였다. 사전·사후 조사에서 두 집단의 데이터가 정규분포를 이루고 있지 않아 비모수 검사인 Mann-Whitney 검정을 하였으며, 그 결과는 <Table 20>과 같다. 결과를 살펴보면, 사전 검사 결과에서 두 집단은 '기능', '구조', '시각화', '표지' 영역에서 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. 이러한 결과는 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 적용이 '기능', '구조', '시각화', '표지' 영역의 학습에 효과적이었음을 의미한다.

'시스템 표상화' 영역의 사전 검사에서는 두 집단 사이에 유의미한 차이가 있었으며, 사전 검사 결과를 공변량으로 통제하여 비모수 검사인 Ranked ANCOVA 분석을 하였다. 시스템 표상화 영역에서도 통제반과 실험반 간에 통계적으로 유의미한 차이가 있다고 나타났으며($p<.05$), 그 결과는 <Table 21>와 같다. 이를 통해 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업이 시스템 표상화 영역에도 효과가 있는 것으로 나타났다. 이러한 '기능', '구조', '시각화', '표지' 영역의 결과와 '시스템 표상화' 영역의 검정 결과를 종합해볼 때, VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업이 학생들의 모형 수행 수준 향상에 효과가 있다고 할 수 있다.

<Table 20> 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

<Table 21> 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			

본 연구에서 개발한 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 투입한 결과, 모형 수행 수준의 모든 영역에서 유의미한 차이가 나타났으며, 이는 학생들의 공간적, 추상적, 반영적 사고에 의해서 촉진된 결과로 볼 수 있다. 학생들의 공간적 사고가 촉진되어 '구조'와 '표지' 영역에서의 모형 수행 수준을 향상 시켰고, 학생들의 추상적 사고가 촉진되어 '기능', '시스템 표상화' 영역의 모형 수행 수준에서 긍정적인 변화가 있었으며, 학생들의 반영적 사고가 촉진되어 '시각화' 영역의 모형 수행 수준이 향상된 것으로 보인다. 이는 VR 기반 콘텐츠를 기반으로 한 학습이 인지적 측면에서 공간적, 추상적, 반영적 사고와 같은 고차원적 사고를 증진할 기회를 학습자에게 제공할 수 있다는 선행 연구 결과(Baek, 2010)와도 일치한다.

3.2 학생들의 사고 촉진을 통한 모형 수행 수준 변화

모형 수행 수준의 변화에 대한 학생들의 인식을 인터뷰를 통해 조사한 결과, 학생들은 전반적으로 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 통해서 공간적 사고, 추상적 사고, 반영적 사고가 촉진 되었고, 이러한 수업이 학생들이 소화기관의 구조와 기능을 이해하고 모형을 구성하는데 긍정적인 효과가 있었던 것으로 나타났다. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과에 대한 학생들의 인식은 모형 수행 수준을 통한 검증 결과와 일치하였다.

3.2.1 공간적 사고

본 수업에서 활용된 VR 기반 프로그램에서는 텍스트나 2차원 그래픽을 넘어 3차원 환경을 제공하므로 학습자가 공간을 기반으로 한 지식을 이해하고 공간적 사고를 향상하는데 지원할 수 있었다(Hansen *et al.*, 2004). 이는 3차원 환경에서는 2차원 콘텐츠와는 달리 3차원 공간에서의 상호작용을 지원하여 공간적 학습을 유도하고(Dalgarno & Lee, 2010), 다양한 시점에서 관찰할 수 있도록 지원한 결과이다. 인터뷰를 수행한 21명의 학생 중 21명(100%)의 학생이 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에 참여한 뒤 공간적 사고가 촉진되었다고 진술하였다. 이 결과는 본 연구의 모형 수행 수준 변화에 관한 효과 검증에서, 구조($p<.05$)와 표지($p<.01$) 영역이 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타난 결과에 부합한다.

3.2.1.1 안팎 시점 이동을 통한 위치 파악

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서 학생들이 자유롭게 시점 이동을 하도록 안내하고, 학생들이 직접 VR 기반 프로그램을 체험하면서 사람 몸의 안팎으로 관찰하는 시점을 이동시켜 VR 콘텐츠와 상호작용하도록 지원하였다. 그 결과, 기존에 가지고 있던 대안 개념을 과학적 개념으로 변화시킨 것으로 확인되었다. 아래 인터뷰에 제시된 바와 같이, 학생들은 사전에는 작은창자(small intestine)에 대해 말 그대로 '작고 짧다(short).'는 대안 개념을 지니고 있었다. 하지만 VR 기반 프로그램을 체험하는 과정에서 시점 이동을 하며 학습한 결과, 각 소화기관의 위치와 구조적 특성을 보다 쉽게 파악함으로써, 자신의 대안 개념을 '큰창자보다 작은창자가 더 길다(long).'는 과학적 개념으로 전환할 수 있었다. 이는 3차원 환경에서 자유롭게 위치를 이동하는 콘텐츠와의 상호작용을 통해 실제 환경과 유사한 공간 지식을 구성하는데 도움을 줄 수 있다는 연구 결과(Dalgarno & Lee, 2010)와 일치한다. 또한 시뮬레이션을 통해 인지적 부조화를 발생시키고 개념 변화를 촉진했다는 선행 연구(Gorsky & Finegold, 1992)의 결과에도 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 대장인 줄 알았거든요. 왜냐하면 소장이(말 그대로) 짧고 작다고 생각했고, 대장을 크다고 생각했는데, VR 수업을 하면서 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.

3.2.1.2 순서 파악

학생들은 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서 다감각적 신호에 주목하도록 안내 받고 VR을 체험한 결과, 기존에 가지고 있던 소화기관의 순서에 관한 대안 개념을 과학적 개념으로 전환하였다. 인터뷰에 참여한 학생은 섭취한 큰 음식이 소화기관 안에서 점점 작게 분해된다는 사실을 이해하고 있었지만, 음식물의 크기에 맞추어 큰창자를 통과한 이후에 작은창자로 이동한다는 대안 개념을 가지고 있었다. 그러나 본 수업에서 VR 환경 내에서 3차원으로 가시화된 소화기관을 관찰하여(Hansen *et al.*, 2004), 좁았던 작은창자의 통로가 큰창자에서 넓어지는 것을 확인하였다. 이를 통해, 학생들의 대안 개념이 음식물이 작은창자를 통과한 다음 큰창자로 이동한다는 과학적 개념으로 전환되었다. 다음에 제시된 학생 M의 인터뷰 전사본은 소화기관의 순서에 대한 학생들의 개념이 어떻게 전환되었는지를 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 올 거라고 생각했었어요.) (중략) 저는 큰창자가 먼저인 줄 알았는데 작은창자가 먼저더라고요. **처음에는(큰창자가 먼저인 줄 알고 봤는데) 좁고 작은 거예요. 그런데 가더니 갑자기 커져 가지고(큰창자가 나중에 있다는 것을) 명확하게 알 수 있었어요.**

3.2.1.3 구체성

학생들은 VR 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서 다감각적 신호에 주목하도록 안내를 받았으며, 수업 중에 3차원 화면에 들어가 직접적인 경험을 하면서 기존의 교육 자료(글자로만 이루어진 텍스트나 한 가지 시점으로만 제시되는 그림, 비디오 자료 등)에 비해 풍부하고 다양한 정보를 얻었다. 이 교수 활동을 통해 학생들은 전반적인 소화 과정에 대해 보다 구체적으로 이해하였다. 이는 VR을 통한 탐구 수업이 공간적 이해와 구체적인 분자 구조에 대한 학습을 지원한다는 연구 결과(Dori & Barak, 2001)에 부합한다. 다음에 제시된 학생 T, R, P, N 의 인터뷰 전사본은 학생들이 어떻게 소화기관의 구조와 기능을 구체적으로 이해하고 모형을 구성하였는지를 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.

학생 R: 가상현실에서 나오는 영상이 **교과서에 나오는 사진보다 더 인간답고 구체적이고 색 같은 것도 실제적이라서 이해가 더 쉽고 흥미도 생기니깐 집중도 더 잘되었던 것 같아요.** (중략) **저는 처음에 창자들이 일정하게 가는 줄 알았거든요. 그런데 생각보다 꼬불꼬불하게 꼬여가지고 그걸 보고 창자를 구체적으로 (모형을) 그릴 수 있었던 것 같았어요.** 그리고 위도 처음에는 완전 동그라미로 그 속에 물이 있는 것으로 그렸는데 그런데 살짝 이렇게(반원 모양으로) 되어 있어서 위도 좀 더 구체적으로 그렸던 것 같아요.

학생 P: **실제(현실에서의) 소화기관과 거의 똑같이 (콘텐츠가) 만들어져서 (실제 소화기관과 연관 지어) 어떻게 생겼는지 알게 되는 것 같아요**

학생 N: **그림을 그릴 때 위 같은 경우에는 식도보다 훨씬 넓잖아요. 그런 것(위)을 그릴 때 넓다는 느낌이 들어서 좀 더 잘 그릴 수 있었어요.**

3.2.2 추상적 사고

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업은 학생들이 실제적으로 관찰하기 힘든 비가시적인 학습 내용에 감각적으로 접근하도록 도와주고, 추상적 사고와 같은 고차원적 사고를 향상하는 데 도움을 줄 수 있었다(Shim *et al.*, 2003). 즉, 학생들이 이해하기 힘들어하는 복잡하고 추상적인 과학 개념을 다감각화하여 추상적 사고를 증진하는 데 도움을 주는 것이다(Dede *et al.*, 2000; Fruland, 2002). 인터뷰를 수행한 21명의 학생들 중 18명(86%)의 학생이 추상적 사고가 촉진되었다고 진술하였다. 본 연구의 모형 수행 수준 변화에 관한 효과 검증에서, 기능($p<.01$)과 시스템 표상화 영역($p<.05$)이 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타난 결과에 부합한다.

3.2.2.1 시스템적 사고 - 연속성

학생들은 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 수업에서 가상현실 환경의 3차원으로 가시화된 오브젝트와 상호작용함으로써, 기존의 전통적인 미디어에서 표상하기 힘들었던 추상적인 개념을 자연스럽게 학습할 수 있었다(Dede, 2009). 책과 같은 2차원 텍스트에서는 미디어의 형식상 분절적으로 학습 내용을 구성할 수밖에 없다. 예를 들어, 책에서 입-식도-위-작은창자-큰창자와 같은 소화기관에 대한 설명이 제시되는 경우, 대부분 긴 본문의 설명 내용이 여러 페이지에 걸쳐 제시된다. 이때 내용에 대한 설명이 그 다음 페이지로 넘어가면서 설명이 분절되는 것이다. 본 수업에서는 학생들이 분절된 자료로 학습함에 따라 전체적인 연결을 파악하는 데 겪는 어려움을 극복하는데 VR 기반 프로그램을 통해 도움을 주고자 하였다.

시스템적 사고(systematic thinking)란 구성 요소들이 어떤 관계를 맺고 어떻게 연관이 되는지 알아보는 사고(Kali, Orion, & Eylon, 2003)로서 소화기관의 역동성과 소화기관들 사이의 상호작용성, 소화의 전체적인 흐름을 이해하는 사고까지도 포함한다(Sweeny & Sterman, 2000). 본 수업에서는 여러 교수 활동을 통해서 학습자가 가상 환경에서 연속성의 측면을 자연스럽게 이해하고, 시스

템적 사고를 할 수 있도록 지원하였다. 교사는 학생이 자신의 학습 속도를 스스로 조절하고 자유롭게 시선을 조작하면서 연결성을 파악할 수 있는 교수 활동을 제공하였으며, 다른 미디어 콘텐츠들보다 연속적인 소화과정을 쉽게 이해하도록 하였다. 또한 구체적인 표상화 구성 전략을 논의하는 과정에서 소화기관 사이의 중간과정을 끊어지지 않도록 그리도록 안내하고 접속사를 글에 추가하도록 안내함으로써 시스템적 사고를 촉진하였다. 이는 가상현실을 통해 관찰 가능한 현상과 학습자가 스스로 구성한 추상적 개념을 연결하여 모형을 구성하도록 하는 과정은 학생들의 통합적 이해를 발달시키는 데 중요하게 작용한다는 선행 연구 결과(Gilbert & Treagust, 2009)에 부합한다. 다음에 제시된 학생 O와 학생 C의 인터뷰 전사본은 학생들이 어떻게 연속성을 받아들이고 흐름을 이해하게 되었는지를 보여주는 사례이다.

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

학생 C: 보통 그림만 보면 이런(끊어진 듯하게 표현한) 선 부분이 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 또 내려가고 또 여기서 작은창자로 옮겨지고 나온다는 것을 통해(이어지는 것을) 알게 된 것 같아요.**

3.2.2.2 기능과 구조 지식통합

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업은 추상적 현상을 구체화하고 학습자가 기능적 지식과 구조적 지식을 통합하도록 도와주었다(Slater, 1999; Won *et al.*, 2019). 학생들은 이 교수 활동을 통해 교과서, 동영상, 담화에서 소화기관의 모형을 구성하는 문제를 해결하기 위한 정보와 경험을 제공받았다. 이 교수 활동을 통해서 교사는 학생들이 기존에 가지고 있었던 소화기관

의 구조와 기능에 대한 개념을 VR 체험을 이전에 상기시켰고, 학생들은 VR 기반 프로그램을 체험하면서 학습하게 되는 개념과 연결하여 통합적 지식을 구성한 것으로 사료된다. 그 결과, 소화기관 각각의 기능에 대해서 이해는 하고 있었으나 공간과의 결합을 하지 못했던 학생들도 본 수업에서 제시한 VR 체험을 통해 기능과 구조를 통합한 지식을 구성할 수 있게 된 것으로 보인다. 다음에 제시된 학생 T와 N의 인터뷰 전사본은 학생들이 어떻게 기능에 관한 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 하는 생각이 들었어요.** (중략) 사람 몸의 소화기관 같은 것에 관한 기본 지식으로 어떤 것이 있고 무슨 역할을 하고 이름이 (무엇인지) 정도만 알고 있었는데 VR 하면서 수업하는 것이 직접(소화기관이) 어떻게 움직이고 어떻게 되고 어떤 일을 하면서(작동)하는지를 더 쉽게 알 수 있었던 것 같아요.

학생 N: (VR은) 부분적인 것(기능)에 대해 깊게 알 수 있는 것 같아요.예를 들어서 입에서는 그냥 씹고 넘긴다는 생각만 한다면 여기서 **(VR에서)는 침으로 골고루 섞어준다든지 해서 심화된 (기능을) 알려주는 느낌이 들어요.**

3.2.2.3 연쇄적 연상 효과

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서 학생들은 가상현실 환경에서 소화기관에 대한 다감각적인 신호를 제공받고 자연스럽게 소화기관의 구조에 대한 기억을 형성하였다. 현실과 다른 이색적인 공간에서 실제적이고 직접적인 경험을 함으로써 학습 내용을 쉽게 기억할 수 있었고, 모형 구성 과정에서 다음 장면이 자연스럽게 연상된 것이다.

또한 VR 기반 프로그램 안에서 소화 기관과 소화 과정의 각 단계별로 해당 자막과 설명을 제공하였는데, 이것이 학생들의 소화에 대한 이해를 도움으로써

기억을 촉진하고 모형 구성 과정에 도움을 준 것으로 사료된다. 이는 언어 정보와 시각 정보가 가까이 있어야 효과적으로 두 정보 사이에 연결이 이루어질 수 있다는 근접성(proximity)의 원리(Mayer, 1999)에 부합한다. 다음에 제시된 학생 C의 인터뷰 전사본은 학생들이 어떻게 연쇄적 연상 효과를 얻게 되었는지를 제시하는 사례이다.

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

3.2.3 반영적 사고

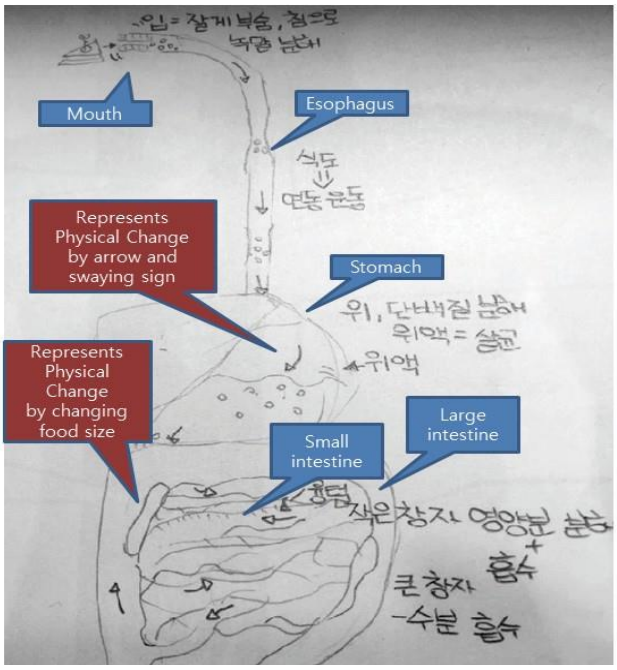
반영적 사고란 내려진 판단에 대해 다시 반성하고 재고하는 특성을 가진 사고로서(Forneris & Peden-McAlpine, 2007; Kennison, 2006), 인식의 수용 과정에서 사용된 추론에 대해 비판적으로 생각하고, 상황의 원인에 대한 가정을 생성하고 예측하는 사고를 포함한다(Mezirow, 1991, 1998). VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 통해 소화기관의 구조와 기능에 대해 학습한 결과, 실험반 학생들은 통제반 학생들 보다 모형 구성 과정에서 음식물의 물리적 변화와 화학적 변화를 더 잘 표현하였다. 인터뷰를 수행한 21명의 실험반 학생 중 20명(95%)의 학생이 반영적 사고가 촉진되었다고 진술하였다. 이는 본 연구의 모형 수행 수준 변화에 관한 효과 검증에서, 시각화 영역($p<.001$)이 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타난 결과에 부합한다.

3.2.3.1 물리적 변화

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 통해서 학생들은 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 자신이 예측한 가설을 검증하고(반영적 사고) 그 이후에 움직임(motion)에 대한 좀 더 정확한 정신 모형을 발달시킬 수 있었다(Monaghan & Clement, 1999). 이는 본 수업에서 학생이 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 예상한 바를 스스로 검증하도록 도와주고 그들의 탐구를 효과적으로 지원한 것으로 보인다.

또한 본 수업을 통해 학생들은 소화기관 속의 음식물이 되어 소화되는 경험을 하고, 자신들이 구성한 소화기관의 모형에서 음식물이 실제로 이동하는 동적인 과정을 효과적으로 표현하였다. 이는 본 연구의 교수 활동에서 음식물의 이동과정을 표현하기 위해 화살표로 나타내는 등의 여러 구체적인 표상화 구성 전략을 안내하여 가상현실 환경에서 시뮬레이션 한 결과를 표상화하도록 한 결과로 사료된다. 이러한 결과는 가상현실 기반 수업이 학생들이 동적인 과정에 대한 이해가 요구되는 내용을 학습하기에 적합한 것이라는 연구 결과(Jonassen, 1991)에 부합한다. 다음에 제시된 학생 H의 인터뷰 전사본과 모형<Figure 9>은 학생들이 물리적인 움직임을 표현한 사례를 보여준다.

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

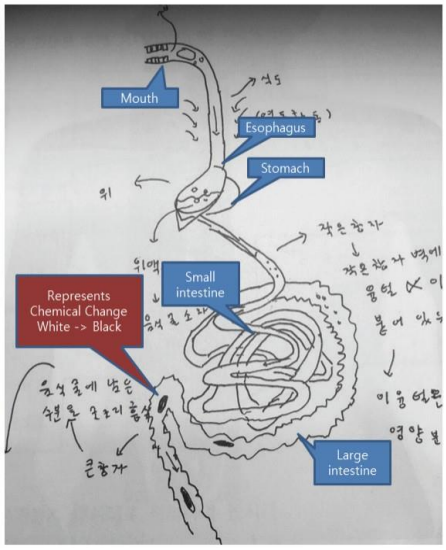


<Figure 9> Student H's post scientific model which represents food movement

3.2.3.2 화학적 변화

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 통해서 상호작용적인 시뮬레이션을 경험함으로써 학생들의 예측 능력(반영적 사고)이 향상되고 실험의 결과를 설명하는 능력을 증진될 수 있었다(Zacharia, 2003). 수업 중 체험하는 VR 기반 프로그램 상에서는 음식물이 소화 효소를 통해 분해되는 과정을 묘사하였으며, 다수의 실험반 학생들은 자신의 모형에서 음식물이 분해되는 과정을 과학적으로 표상화하였다. 그 중 몇몇 학생들은 실제 VR 기반 프로그램상에서 제시하지 않았던 화학적 변화인 수분의 흡수를 통한 음식물 변색을 예상하여 표현하기도 하였다. 이는 수업 중에 체험하는 VR 기반 프로그램 상황에서 다감각적인 신호에 주목하고 자유롭게 조작하고 탐구하도록 안내한 결과로 사료된다. 이러한 결과는 음식물의 추가적인 변화를 예측하는 반영적 사고가 증진된 선행 연구 결과(Baek, 2010)에 부합한다. 다음에 제시된 학생 E의 인터뷰 전사본과 모형<Figure 10>은 학생들이 화학적 변화를 표현한 사례를 보여준다.

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



<Figure 10> Student E's post scientific model which represents food chemical change

3.3 가상현실의 경험 속성을 통해 유도된 모형 수행 수준 변화

인터뷰를 통해 가상현실의 경험 속성을 통해 유도된 학생들의 모형 수행 수준의 변화에 대한 학생들의 인식을 알아보았다. 그 결과, 학생들은 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 통해 자신들의 적극적인 행위가 더 유발되었고, 아울러 강한 현존감과 몰입감을 갖게 되었다고 진술하였다. 이는 가상현실이라는 새로운 매체를 활용하여 수업을 진행할 경우에 가상현실 경험 속성을 통해 유도된 효과를 확인할 수 있다는 선행 연구 결과(Park *et al.*, 2001)에 부합한다.

3.3.1 행위유발성

환경 사이에서 일어나는 속성(Gibson, 1977, 1979)이며, 교육학 분야에서는 행위유발성을 교육적 개입에 의해 특정 학습이 유도되는 관계로 보고 있다(Kirschner, 2002). 본 수업에서 활용된 VR 프로그램에서는 3차원 모형을 보여주는 가상현실 상황에서 강력한 내러티브와 진정한 실행(authentic practice)을 통해 사용자의 컴퓨터 기반 행위주체성을 유도하고 다양한 복합적 지식 적용을 증진시킬 수 있었다(Dede *et al.*, 2017). 인터뷰를 수행한 21명의 학생 중 21명(100%)의 학생이 행위유발성이 유도되었다고 진술하였다.

3.3.1.1 불가능한 경험을 기대

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업은 가상현실 상황에서 개념을 감각화함으로써 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 적

용한 VR 기반 프로그램에서는 현실 세계에서 학생들에게 일어날 수 없는 경험을 제공하였다. 음식물의 크기만큼 작아져 입 속으로 들어간 뒤 직접 소화가 되는 듯한 경험을 한 것이다. 또한 학생들은 시점 이동을 하도록 안내 받고 컨트롤러를 조작하여 몸의 안팎을 투과하여 이동하였으며, 몸 밖의 시점에서는 마치 몸을 투시하여 음식물의 소화 장면을 관찰하는 경험을 하였다. 학생들은 이러한 경험을 현실에서는 할 수 없지만 가상현실 상황에서는 가능하다는 사실에 놀라워했다. 현실에서 불가능한 학습 상황에 학생들이 능동적으로 참여하게 된 Kelton(2007)의 연구에 미루어 볼 때, 이러한 교수 활동이 학생들의 적극적인 행위를 유발하고 학생들의 능동적인 모형 구성에 도움이 된 것으로 해석될 수 있다. 다음에 제시된 학생 B와 학생 M의 인터뷰 전사본은 가상현실에서 겪은 새롭고 신기한 경험이 학생들의 행위유발성을 증진시킨 대표적인 사례를 보여준다.

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

학생 M: 평소에는 보기 힘든 장면이니까 (열심히 참여 했어요). 솔직히 이거 (몸을) **뚫어서 보거나 그런 것도 해볼 수 있는 시간(경험)이 (앞으로) 없을 것 같아요.**

3.3.1.2 흥미

본 수업에서 학생들은 가상 세계에서 자유롭게 조작하고 탐구하도록 안내 받고, 가상현실 공간에서 컨트롤러로 화면을 조작하였다. 이러한 화면 조작 과정을 통해 학생들은 게임과 유사한 느낌을 가지게 되었고, 공부라는 부담을 내려

놓고 학습에 더 흥미를 느낄 수 있었다. 이는 학생들이 조건과 상황을 실제처럼 통제하고 시뮬레이션 하여 학습의 주도권을 가지고 스스로 동기를 일으켜 문제 상황 속에 숨겨진 원리를 자연스럽게 학습한 결과로 사료된다(Kim *et al.*, 2001). VR 환경에서 학생들은 컨트롤러와 시점을 원하는 대로 조정할 뿐 아니라 감각 정보를 취사선택하고 조절할 수 있으며, 이러한 VR의 특성은 본질적으로 학습자의 학습 동기유발에 도움이 될 수 있는 것이다(Dede *et al.*, 2017). 학생들은 VR 환경에서 자신의 선택에 의해 능동적인 조작 활동에 참여함으로써, 학습에 더 큰 흥미를 느꼈다(Baek, 2010). 또한 이러한 흥미를 바탕으로 자신의 모형을 구성하여 새로운 지식을 생성해야 하는 부담이 줄어든 것으로 보인다. 다음에 제시된 학생 O, 학생 A, 학생 R의 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.

학생 A: 일단 소재가 일반적인 과학 수업 플래시 자료에서는 아이스크림(인터넷)에서 캐릭터가 나와서 재미없는 설명을 하는 데 그 시간 동안은 보이는 것만 보고 그랬는데, **제가 (VR 환경 속으로) 직접 들어가 보니깐 현실성이 있었고 (재미있었)던 것 같았어요.**

학생 R: 책은 글로만 읽고 그러니까 졸리기도 하고 읽으면서 이해를 하기 힘들어지기도 하지만 **VR은 움직이면서 보고 설명해주면서 체험하니까 이해하기 쉽고 재미있어요.**

3.3.2 현존감

현존감(presence)이란 어떤 장소에 있는 듯한 주관적인 감각(Slater, 1999)으로서, 실제적인 묘사의 정확도 및 학습자와 환경 간 상호작용의 결과로 발생한다(Dalgarno & Lee, 2010). 본 수업에서 활용된 VR 기반 프로그램은 다른 멀티미디어 자료보다 오감의 자극에 대한 묘사의 정확도가 뛰어나며 실시간으로

상호작용하는 방식으로 경험을 제공함으로써 학습자에게 높은 현존감을 줄 수 있었다(Park *et al.*, 2001; Kim & Han, 2017). 인터뷰를 수행한 21명의 학생 중 19명(91%)의 학생이 현존감이 유도되었다고 진술하였다.

3.3.2.1 360도 시점으로 인한 현존감

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서 학생들이 체험한 가상현실 환경에서는 360도 시점으로 콘텐츠를 제공한다(Chung, 2017). 3차원으로 제공되는 360도 가상현실 화면에서 현실적이고 구체적인 묘사를 통해 사실감을 주고, 고화질의 자연스러운 화면 전환을 통해 마치 현실에서 일어나는 듯한 현존감을 줄 수 있었다(Dalgarno & Lee, 2010). 특히 이러한 현존감은 관찰자의 머리와 눈의 움직임에 따라 시각적 화면이 자연스럽게 바뀌면서 증대된다(Psotka, 1995). 본 연구에 참여한 학생들은 360도 시점을 관찰하도록 안내 받았으며, 실제로 학생들은 VR을 통해 학습할 때 상하좌우로 시점을 이동하며 프로그램 상의 오브젝트를 관찰하였다. 학생들은 이러한 360 시선을 인해 현존감을 느끼면서 VR 세계에서 제공하는 소화 과정을 더욱 사실적으로 받아들였으며, 이러한 경험이 모형을 구성하는 과정에도 도움이 된 것으로 사료된다. 다음에 제시된 학생 C, 학생 T, 학생 F의 인터뷰 전사본은 학생들이 360도 시선을 통해 현존감을 느꼈던 대표적인 사례를 보여준다.

학생 C: 일반적으로 TV에서 동영상 같은 것을 틀어줄 때에 **(TV)화면으로는 그냥 그 장면 부분만 보이고 우리가 360도 돌아가서 전체 장면을 보는 것도 아니라서 좀 그런데, VR같이 컨트롤러로 (360도 조작)했었을 때에는 다 보이니까 내가 여기 있구나 현실감이나 생동감이 느껴진 것 같아요.**

학생 T: 사진으로 보면 어떻게 움직이는지 자세히 알 수 없고, 동영상으로 봐도 움직이는 것이 TV스크린 안에서만 보여지니깐 느낌 같은 게 부정확해서 VR보다 와 닿을 수 없는데 **VR에는 (장치를)딱 쓰고 그것만 보니깐 진짜로 입체적으로 움직이고 그런 것이 사실적이라는 느낌이 들었어요.**

동영상을 보면 한 부분만(힌 가지 시선으로만) 보게 되는데 VR로 보면 고개를 돌려서 (360도 시점으로) 볼 수 있으니깐 좋았어요. 사방을 모두 볼 수 있고 자신의 의지대로 볼 수 있으니깐 좋았던 것 같아요.

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

3.3.2.2 경험의 공유

본 수업에서 활용된 VR 기반 프로그램에서는 다양한 시각, 청각, 촉각적 경험을 제공하는 기술을 구현하고 있으며 이를 통해 사실감을 향상시킨다(Bormann, 2005; Dalgarno & Lee, 2010). 학습자들은 이러한 가상현실 기술을 통해 제공된 경험이 가공된 것이라고 인지하고 있음에도 불구하고, 실제 현실에서 파생된 또 하나의 다른 현실을 경험하는 듯한 느낌을 갖게 된다(Baek, 2010). 본 수업의 VR 기반 프로그램을 체험한 학생들은 마치 음식물이 되어 소화기관에서 소화되는 기분을 느끼면서, 자연스럽게 소화기관의 기능을 학습하였다. '소화'라는 현상 자체에 들어가서 학습자는 음식물이 되는 경험을 직접 하면서 실제 세계에서 작동하는 원리에 대해 직감한 것이다(Dede *et al.*, 2017). 이러한 경험을 통해서 음식물과 학습자 자신을 동일시하는 학생들도 있었는데, 이러한 동일시 과정을 통해 가상현실에서 마치 내가 아닌 다른 사람이 된 것 같은 감정적 괴리를 느끼도록 함으로써 탐험이나 위험을 감수한 학습에 참여하도록 유도할 수 있다(Dickey, 2005b). 본 수업에서 다감각적인 신호에 주목하도록 안내 받은 학생들은 음식물이 소화되는 경험을 공유하고 '소화'라는 추상적 개념을 구체적으로 인지할 수 있었으며, 이를 모형 구성 과정에 반영한 것으로 보인다. 이는 가상현실 공간에서 다양한 시점 변화가 가능하여 다양한 시각으로 상황을 이해하는 공감적 시각이 발달한 결과(Park *et al.*, 2019)로 사료된다. 다음에 제시된 학생 K와 학생 C, 학생 A의 인터뷰 전사본은 학생들이 가상현실 상의 경험을 통해 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.

학생 A: 제가 움직이잖아요. 제가 슉 내려가고 제가 꿈틀대면서 가니깐, 음식물의 관점에서 가는 게 보이잖아요. 그래서 생동감 있게 그림을 그릴 수 있었던 것 같아요.

3.3.2.3 입체성

가상현실은 다양한 방향과 거리에서의 입체적인 시각, 청각, 촉각적 자극을 제공하는 기술을 구현하고 있으며, 이러한 다양한 감각들이 3차원 공간에서 입체적으로 제시될 때, 가상현실 공간에서 사용자가 완전한 입체감과 현존감을 느낀다(Bormann, 2005; Dalgarno & Lee, 2010; Kim *et al.*, 2001). 본 수업에서는 입체적인 시각적, 청각적 신호에 주목하도록 안내함으로써, 학생들은 입체적으로 표상화된 가상 환경에 노출되고 일반적인 2차원 매체나 동영상 매체와는 다른 입체성을 경험하였다. 이러한 경험을 통해서 학생들은 흥미를 느끼고 과학적 개념에 대한 이해도가 향상되어 모형 구성 과정에 반영된 것으로 사료된다. 다음에 제시된 학생 B, N, K의 인터뷰 전사본은 학생들이 가상현실상의 입체적인 경험을 통해 이해와 기억이 향상된 대표적인 사례를 보여준다.

학생 B: 그림으로 된 것보다는 입체로 된 것이 좋고 현실감 있어요.

학생 N: 책으로 배운 거는 겉에서 입체적이지도 않고 평면적인 걸로 그냥 바라보기만 하고 안쪽이랑 겉쪽을 한꺼번에 볼 수 없는데 이것은 (VR은 입체적으로) 안에서 작은창자 길에서 꿀렁꿀렁 거리는 느낌이나 움직임 같은 것도 있어서 괜찮았던 것 같아요.

학생 K: 그림으로 보던 것이 눈앞에 보이는 게 좋았던 것 같아요. 책(2차원)으로 배우면 책에 쓰여 있던 것을 외우거나 변형해서 쓰거나 할 것 같은데 (3차원) VR로 하면 설명(모형)을 더 자세히 쓸 수 있을 것 같아요. 그리고 외우는 게 아니라 직접 보는 거니까 기억에 더 남을 것 같기도 해요. 예를 들면, 십이지장은 이렇게 생겼다는 것을 알기 위해서는 책에서는 2차원으로 봐야 되는 거잖아요. 3차원으로 보면 어디가 더 굵은지 대장이 어느 쪽으로 가는지 그런 걸 (시각적인 신호로) 볼 수 있어서 좋은 것 같아요.

3.3.3 몰입감

몰입감(immersion)이란 완전히 흡입되고 참여된 상태(Dede *et al.* 2017)로서, 특정 환경에 개별적이고 종합적으로 빠져드는 심리 효과를 의미한다(Baek, 2010). 본 수업에서 제공한 가상현실에서 학습자는 스스로 가상 환경을 조작 및 통제하면서 즉각적인 상호작용을 경험하고 실제 현실에서 직접 경험을 할 때 발생할 수 있는 몰입과 유사한 수준의 몰입을 할 수 있었다(Psotka, 1995; Winn, 1993). 또한 높은 수준의 공간 충실도와 자연스러운 화면전환을 통해 학생이 학습에 몰입할 가능성을 더 높일 수 있다(Dalgarno & Lee, 2010). 인터뷰를 수행한 21명의 학생 중 18명(86%)의 학생이 몰입감이 유도되었다고 진술하였다.

3.3.3.1 외부자극이 차단된 1인칭 시점

HMD 장치를 통해 본 수업에서 활용된 VR 기반 프로그램에 들어가게 되면 현실 세계와 차단된 몰입(Chung, 2017)이 일어나게 된다. 본 수업에 참여한 학생들은 머리에 HMD 장치를 착용하고 외부 자극이 차단된 상태로 가상현실 환경을 경험하였는데, 학생들은 이러한 환경에서 소화 현상을 1인칭 관점에서 더 집중하고 몰입해서 관찰할 수 있었다고 진술하였다. 이는 외부자극이 차단된 몰입 과정을 통해서 학생들은 가시화된 가상현실 환경과의 상호작용에 더 집중할 수 있었던 결과로 사료된다. 다음에 제시된 학생 T, 학생 J의 인터뷰 전사본은 학생들이 외부자극이 차단된 상태에서 1인칭 시점으로 가상현실을 경험하였을 때 어떠했는지 보여주는 사례이다.

학생 T: VR(장치)을 쓰면 다른 공간이 잘 안 보이게 되면서 훨씬 더 **다른 외부에 자극을 받지 않고 (학습을) 할 수 있어서 학생들끼리도 떠들지 않고 집중할 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.**

3.3.3.2 개인 학습

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업에서는 학생들에게 스스로 문제를 결정하고 가상현실과 상호작용할 기회가 주어져 자율적으로 해결하는 개별화 교육이 일어난다(Hwang *et al.,* 2014; Shim *et al.*, 2003). 본 수업을 통해 학습자 개인이 높은 집중과 몰입을 할 수 있도록 유도하였으며, 이러한 개인 학습 과정이 학생의 과학적 모형 구성을 지원할 수 있었다(Cordova & Lepper, 1996; Rieber, 2005; Choi & Kim, 2020). 본 연구에 참여한 학생들은 VR 기반 프로그램을 구현하는 HMD 장치를 개인적으로 착용하고 컨트롤러를 작동하면서 가상현실과 상호작용을 할 수 있었다. 본 수업에서 학생들은 개별적으로 시행착오를 거치며 VR 기반 프로그램을 반복하고, 복습 과정에서 콘텐츠 순서를 자유롭게 결정하도록 안내 받았다. 이러한 안내를 바탕으로 학생들은 각자 개별적으로 관찰의 시점 및 경험을 직접 선택하였으며, 이러한 상황에 집중해서 개념 지식을 형성하고, 모형 구성 과정에도 적극 참여하게 된 것으로 사료된다. 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 기반 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.

3.3.3.3 직접성

본 수업에서 제공한 가상현실 공간은 가상 공간 내부에서 직접적인 경험을 가능하도록 구현하여 '추상적 개념화와 사고의 조합'과 '현실적인 경험과 감정의 조합'으로 이루어지는 경험 확장(Kolb, 1984)을 가능하게 한다. 본 연구에 참여한 학생들에게는 수업 중에 자유롭게 조작하며 탐구하는 시간이 마련되었으며, 소화 과정을 직접 경험하면서 학습에 더 집중하게 되었다고 진술했다. 몇몇 학생의 경우, 실험을 통한 결론의 도출은 몇몇 변인에 대한 실험 결과값을 바탕으로 가설을 간접적으로 검증한 것이지 학생들이 직접적으로 결과를 도출한 것이 아니라는 점을 지적하였다. 즉, 이 학생들은 인터뷰에서 실험 과정을 직접 수행하여 결론을 도출한다고 하더라도 실험 활동에는 간접적인 한계가 있다고 지적하면서, 가상현실에서 제공하는 경험의 직접적인 측면을 강조한 것이다. 이는 가상현실 환경이 지식 표현의 투명성을 제공하고, 학습자가 현실과 유사한 직접적인 경험에 접근하도록 도와 몰입감을 증대시킨다는 선행 연구의 결과(Dickey, 2005a, Winn, 1993)에 부합한다. 가상현실을 통한 이러한 직접적인 상호작용 경험은 학생들이 모형 구성을 위해 필요한 직접적인 상호작용을 통한 자료 수집 과정을 손쉽게 할 수 있도록 지원하며, 이러한 도움이 학생들의 모형 구성 과정에 반영된 것으로 사료된다. 다음에 제시된 학생 S, 학생 F, 학생 B, 학생 K의 인터뷰 전사본은 학생들이 어떻게 직접적인 경험을 통해 집중하게 되었는지를 보여주는 사례이다.

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

학생 F: 원래 봤던 그림 속에서의 소화기관이면 그림으로 보는 **것보다 VR로 (직접) 움직이면서 보는 게 기억에 더 남을 것 같아요. 내가 움직이기도 하고 소화기관이 움직이는 것이 기억에 남아요.** 동영상으로 보면 평면이니깐 제대로 와닿지 않는 데

VR을 쓰면 진짜로 내가 하는 거니깐 이해도 더 잘되고 재미있던 것 같아요.

학생 B: 일단 일반적인 과학은 영상 같은 것으로 하는 데 이것(VR수업)은 직접 자기가 플레이할 수 있잖아요. 글로 쓰고 하는 것보다 직접 보고하는 게 더 나아요.

학생 K: 일반 과학 수업에서는 그냥 이렇게 이렇게만 되었다라고 하고 책으로만 알려주고 끝나니깐 뭔가 직접적으로 체험하게 해 주는 것이 없는 것 같아요. 경험을 해야 하는데 책으로만 알려주는 것이 아쉽더라고요. 책으로 배우는 것은 주입식으로 외우고 기억은 단기기억이니깐 바로 지워지는데 VR로 한 거는 직접 생생하게 한 거니깐 기억에 남아요.

3.4 효과 검증의 제한점

여기에서는 향후 실제 현장 수업에서 VR 기반 프로그램을 과학적 모형 구성 수업에 활용하고 그 효과를 검증하는 과정에서 고려할 필요가 있는 사항을 논하고자 한다. 본 연구에서 개발한 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 수행한 학생들의 인터뷰 결과와 선행 문헌 연구를 통해 앞으로 효과 검증 시 고려해야 할 사항을 다음과 같이 제안하였다.

3.4.1 VR 체험과 이론과의 연계

VR 체험은 실제 교실에서의 이론 수업과 연계될 때 더 효과적일 수 있다. 학생들의 VR 체험이 효과적으로 적용되기 위해서는, VR 상황에서의 객체와 현실의 구체물을 연관시킬 필요가 있다. 이를 위해서는 VR을 체험하는 학생이 가상세계에서 구현된 상황을 이해하고, 기본적인 관련 개념을 이해하고 있어야 한다. 이는 개념 이해 수준이 높을 때 고차원적인 정신모형을 활발히 구성할 수 있다(Choi & Kim, 2013)는 연구 결과와 부합한다. 따라서 실제 교실에서 기본적인 개념에 대한 이론 수업과 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업과의 연계를 통해, 학생의 모형 수행 수준을 보다 효과적으로 향상시킬 수 있을 것으로 사료된다. 다음에 제시된 학생 F의 인터뷰 전사본은 학생이 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 학습하는 과정에서 개념 이해와 VR 수업을 연계해서 학습하기를 원한다는 사례를 보여준다.

학생 F: 과학수업과 VR 수업이 합해지면 좋겠어요. 일단 **이론 같은 거랑 개념을 대충 읽고 일단 이론을 알고 있어야 VR을 더 쉽게 이해할 것 같아서요.** (이론을 안) 다음에 직접 체험하는 게 좋을 것 같아요.

3.4.2 실험 수업과의 혼합

VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업은 실제 교실에서의 실험 수업과 혼합되어 제시될 때 더 효과적일 수 있다. 직접적인 탐구 수행이 필요한 경우에는 그에 적합한 실험을 하고, 직접적인 실험이 불가능한 상황에서는 VR 기반 프로그램을 활용한 수업을 병행함으로써 실험 수업과 VR 기반 수업이라는 각각의 학습 방식의 단점을 보완할 수 있다. 실험 수업에서는 추상적인 내용을 직접적으로 체험하거나 구현하기 어렵다는 한계를 VR 기반 프로그램 활용 수업을 통해 보완할 수 있으며, 어지럼증을 유발하여 장시간 체험이 힘들다는 VR 기반 프로그램을 활용한 수업의 한계점도 실제 현실에서의 실제적인 실험을 통해 보완될 수 있는 것이다. 이렇게 실험 수업과 VR 기반 프로그램을 활용 수업과 연계함으로써, 학생의 상황과 관련성이 높은 상황을 설정하고 흥미를 유발할 수 도 있다. 다음에 제시된 학생 S의 인터뷰 전사본은 학생이 식물의 구조와 기능에 대한 내용을 학습하는 과정에서 실험과 VR 기반 프로그램을 활용한 수업을 연계해서 학습하기 원하는 사례를 보여준다.

학생 S: 일반 교실에서의 수업은, 예를 들어 식물의 구조와 기능 단원을 배우는데, 실험을 다 하지는 못하잖아요. 그런 내용은 VR로 대체하면 좀 더 생생하게 탐험할 수 있어서 좋을 것 같아요. (실제 과학 수업에서의) **실험도 필요하고 VR도 필요한 것 같아요. 그러니까 약간씩 섞으면서 하면 좋을 것 같아요. 실험도 탐구해서 깨닫는 것이 있으니깐 직접 할 수 있는 것은 실험으로 하고 직접 할 수 없는 것은 VR로 직접 오감을 이용해서 둘러보면서 정리하면 좋을 것 같아요.**

3.4.3 장기적인 연구

본 수업의 효과는 '신기함 효과(novelty effect)"에 의한 것일 수 있다. Clark(1989)는 신기함 효과를 실제로 교사의 지도나 수업의 질이 향상되지 않은 상황에서, 학습자들이 단지 새롭게 도입된 기술에 신기함을 느껴 더 좋은 학습 성과를 보인다고 설명했다. 가상현실이라는 새로운 매체를 활용한 본 연구의 수업 효과 또한, 이러한 신기함 효과에 따른 결과일 수 있다. 즉, 가상현실 프로그램을 도입한 수업이 교육적으로 학생의 배움을 더 효과적으로 지원한 것이 아니라, 학생들이 가상현실이라는 새로운 기술을 신기하게 여겨 일시적으로 전통적 수업 방식보다 효과적으로 인식되었을 가능성이 있는 것이다. 본 연구에서 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과 검증에 투입된 수업 시수는 3차시로 상대적으로 짧은 기간 효과 검증이 수행되었다. 본 연구의 효과가 단지 신기함 효과로 인한 것이었다면, 수업이 장기적으로 진행됨에 따라 신기함 효과가 줄어들고, 학습자들의 학습 효과는 감소할 것으로 예상된다. 하지만 장기적인 수업 투입이 이루어졌음에도 불구하고 본 연구에서와 같은 긍정적 효과가 유지된다면, 본 수업의 효과가 단지 신기함 효과가 아니라 교사의 수업과 학생의 배움의 수준을 향상시킨 결과라고 볼 수 있다. 따라서 지속적이고 장기적인 후속 연구를 통해, 신기함 효과로 인한 일시적 학습 성과의 향상이 아니라 VR 기반 프로그램을 활용한 모형 기반 수업이 학습 성과에 긍정적인 영향을 미친다는 사실을 추가적으로 검증할 필요가 있다.

3.4.4 실험반과 통제반의 정교한 실험 설계 불가

본 연구에서는 학생들의 반별 무선 표집이 불가능하여 준 실험 설계 과정을 통해 진행되었기에, 엄밀한 의미에서 실험군과 통제군의 비교를 통한 효과 검증이 힘들었다. 또한 실험반의 수업은 VR 장비를 다루는 어려움이 있어서 본 연구자가 진행하였고, 통제반 수업은 각 반 담임교사가 진행하였다. 연구자가 수업 이전에 담임 교사와 만나서 모형 구성 수업에 대한 논의를 수행하고, 수업 전반에 대한 지도안을 공유하였더라도 소규모 연구에서 실험반과 통제반의 수업자에 따라 효과가 크게 다르게 나타날 수 있으므로, 본 연구의 한계로 지적될 수 있다.

V. 결론 및 제언

1. 결론

과학적 모형 구성은 과학의 본성을 이해하고 실제 과학을 탐구하는 본질적인 활동이다. 학습자들은 과학적 모형을 구성하면서 과학 개념을 이해하고 자신의 아이디어를 정교화할 수 있다. 하지만 학생들은 모형 구성을 하는 과정에서 새로운 지식을 생성하는 능동적인 과정에 참여하기 힘들어하고, 소화와 같은 복잡한 시스템을 가진 추상적 과학 개념을 이해하기 어려워한다. 이러한 어려움을 돕기 위해서 다양한 컴퓨터 기반 교수법이 시도되고 있다. 본 연구에서는 이러한 컴퓨터 기반 교수법의 일환으로 VR 기반 프로그램을 개발하고 이를 활용하는 과학적 모형 구성 수업을 설계 및 도입하였다. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 도입한 결과, 모형 수행 수준 향상에 기여하는 것으로 나타났다. VR 기반 프로그램을 개발하고 이를 지원하는 수업을 수행하는 것은 학생들이 '소화 기관의 구조와 기능'이라는 주제로 과학적 모형을 구성하는 어려움을 해결하는데 도움을 준 것으로 사료된다.

본 연구에서는 '우리 몸의 구조와 기능' 단원에 대한 VR 기반 프로그램을 개발하고, 학생들의 과학적 모형 구성 학습에 도움을 주기 위해 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 설계하고 이를 초등학생들에게 도입하였다. 이렇게 도입된 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 효과를 검증하기 위해 사전과 사후의 모형 수행 수준의 변화를 관찰하였으며, 학생들의 사고 촉진을 통한 모형 수행 수준 변화와 가상현실의 경험 속성을 통해 유도된 모형 수행 수준 변화를 확인하였다. 이를 통해 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업이 초등학생들의 과학적 모형 구성 과정에서 어떠한 도움을 주었는지 밝혔다.

본 논문의 연구 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 본 연구를 통해 가상현실의 고유한 특성을 반영한 VR 기반 프로그램을 개발하였다. 가상현실의 특성인 '조작', '감각화', '상호작용'에 기반을 둔 VR 기반 프로그램을 개발하여 과학적 모형 구성 수업에서 활용할 수 있었다. 조작적 특성을 반영하여 시뮬레이션, 불가능한 경험, 반복, 부담 없는 다양한 시도를 할 수 있는 프로그램을 개발하였으며, 감각화의 특성을 반영하여 다감각적 신호, 실제적인 환경, 풍부한 데이터를 제공할 수 있도록 개발하였다. 상호작용의 특성을 반영하여 화면 전환의 자유, 내용 선택의 자유, 시점 이동의 자유를 얻게 되었으며 이를 통해 자유롭게 순서를 결정하는 2단계 수준의 상호작용을 구현하였다.

둘째, 가상현실의 특성을 반영한 교수 활동을 바탕으로 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 설계하여 VR 기반 프로그램이 학생들의 모형 구성에 도움을 주도록 하였다. VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 첫 번째 단계에서, 교사가 학습자와 관련성이 높은 상황을 설정하고 초기 모형을 구성하도록 하였다. 이 단계에서는 질문을 통해 학생들의 삶과 관련성 높은 문제 상황을 설정하는 교수 활동을 제공하였으며 이를 통해 학생들이 가상현실 콘텐츠와 학생 자신의 삶을 관련 지어 해결방법을 탐색하고 문제에 몰입할 수 있도록 하였다. 또한 초기 모형을 구성해 봄으로써 가상현실 상황에서 학습할 개념과 자신의 사전 개념을 연결 지을 준비를 하였다. 두 번째 단계인, 모형 구성을 위한 자료 수집 및 분석 단계에서는 문제해결을 위한 정보를 다양한 매체로 제공하는 교수 활동을 하였다. 소화기관의 구조 및 기능과 관련된 동영상과 교과서를 통해 모형 구성의 문제를 해결하기 위하여 관련 개념을 환기하고, 1인칭 VR 시점으로 전체 구조를 파악하기 어렵다는 한계와 오랜 시간 VR을 체험을 할 수 없다는 한계를 보완하였다. 이 교수 활동을 통해 학생들이 VR 기반 프로그램의 콘텐츠와 관련된 정보를 원활하게 수집하는 데 도움을 주고, 궁극적으로 과학적 모형을 구성하는 데 도움을 준 것으로 사료된다. 세 번째 단계인, 가상현실 체험을 바탕으로 중간 모형 구성을 하는 수업 단계에서는 자유

롭게 조작하며 탐구하는 시간을 제공하였고, 시행착오를 거치며 반복해서 체험하도록 안내하고, 360도 시점 관찰과 학습 속도 조절, 콘텐츠 순서 결정을 자유롭게 하도록 안내하였으며, 시점 이동을 하고 현실 상황에 전이하도록 안내하였다. 이 수업 단계를 통해서 학생들은 소화기관에 대한 기능과 공간을 통합하고 개념 이해에 도움을 받았으며 모형 구성이라는 고차원적인 사고 과정에 능동적으로 참여하였다. 마지막 단계에서는, 정리 및 모형 평가·수정 단계에서는 모둠 또는 전체에게 모형을 발표하고 자기 모형을 평가하고 수정할 수 있도록 하였다.

셋째, 본 연구의 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업은 초등학생들의 모형 수행 수준 향상에 효과적인 것으로 나타났다. 실험반과 통제반의 모형 수행 수준을 비교한 결과 학생들의 '구조', '기능', '시스템 표상화', '시각화', '표지' 영역에서 유의미한 향상이 있었다. 또한 사후 인터뷰를 분석한 결과, VR 수업을 통해 학생들의 공간적 사고, 추상적 사고, 반영적 사고가 촉진됨으로써, 학생들이 구성한 모형 수행 수준이 향상된 것으로 나타났다. 그리고 VR의 경험 속성에 의해서 학생들의 자발적이며 적극적인 행위유도가 이루어졌고, 수업에 대한 현존감과 몰입감이 강화되었으며, 그 결과 모형 수행 수준이 향상된 것으로 볼 수 있다. 본 연구에서는 실험반과 통제반을 정교히 변인 통제한 실험 설계가 불가능했다는 한계와 소규모 학생들을 대상으로 단기적으로 연구가 이루어졌다는 효과 검증의 한계가 있었다. 추후 연구에서 더 정교한 실험 설계와 대규모 학생을 대상으로 한 장기적인 연구가 필요하다.

2. 제언

본 연구에서는 학생들의 과학적 모형 구성 과정에서 겪는 어려움을 해결하는데 도움을 주기 위해 VR 기반 프로그램을 개발하고 이를 수업에 활용하였다. 과학 교과의 단원을 주제로 VR 기반 프로그램을 개발하고, 이를 활용한 수업을 설계한 뒤 실제 수업 현장에 적용하여 그 효과를 검증하였다. 본 연구에서 도출한 결론을 바탕으로 얻은 본 연구의 의의는 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 가상현실의 특성에 대한 선행 연구를 바탕으로 과학적 모형 구성 수업에 활용할 수 있는 VR 기반 프로그램을 개발하였다. 선행 연구에서 VR을 교육에 도입한 사례가 있었으나 기기적 한계와 프로그램의 한계 때문에 실제 교실에서는 도입되기 힘들었다. 독립형 VR HMD 장치에서 구동되는 가상현실의 고유한 특성을 반영한 VR 기반 프로그램 개발 과정을 공유함으로써 향후 가상현실 프로그램을 제작하거나 과학적 모형 구성 수업에 VR 기반 프로그램을 활용하고자 하는 연구자와 교육자에게 실제 정보와 이론적 기반을 제공하였다는 데 의의가 있다.

둘째, 본 연구에서는 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업을 설계하고 실제 교실 수업에 도입함으로써 VR 기반 프로그램 수업이 실제 학교 현장에서 활용될 수 있는 가능성을 확인하였다. 선행연구를 분석한 결과, 과학적 모형 구성 수업 활동에서 학생들은 능동적인 참여와 추상적 개념의 가시화, 직접적인 상호작용의 어려움을 느끼고 있었다. 본 연구의 수업 활동에서는 이러한 어려움을 해결하기 위한 교수·학습 활동을 제공하였다. 이를 통해 향후 VR 기반 프로그램을 활용하여 학생들의 과학적 모형 구성을 돕는 수업을 실시하고자 하는 교육자들에게 기초적인 안내를 제공하였다는 데 의의가 있다.

셋째, 본 연구에서 VR 기반의 프로그램을 과학적 모형 구성 수업에 적용하고 그 효과를 확인하였다. 이를 통해 비록 단기적으로 투입되더라도 VR 기반 프로그램을 활용함으로써 학생들의 과학적 모형 구성 과정에 도움이 될 수 있음을 밝혔다는 데 의의가 있다. 선행 연구에서 VR 기반 프로그램의 효과를 살펴본 연구는 많았지만 단순한 설문 문항이나 평가 문항 만을 가지고는 그 효과를 온전히 확인하기 어려웠다는 한계가 있었다. 본 연구에서는 모형을 통해 가상현실의 가시적인 특성의 효과를 드러낼 수 있음을 확인하였고 향후 가상현실의 효과를 검증하는 데 과학적 모형이 활용될 수 있다는 기초 자료를 제공하였다.

본 연구는 다음과 같은 후속 연구를 제안한다.

첫째, 더 발전된 VR 기술을 반영한 프로그램을 개발할 필요가 있다. VR 기술은 가상 공간에서 3차원 세계를 경험하도록 지원하는 획기적인 학습 도구이자 학습 환경이다(Yim, 1996). 이제 VR 기술은 더 이상 새로운 기술이 아니며 앞으로의 학습 환경에 지속적으로 반영되어야 한다. 본 연구에서 VR 기반 프로그램을 개발하는 과정에서 연구자의 의도와는 달리 기기적·기술적 한계로 구현 되지 않은 부분이 많았다. 그 결과, 현실과 다른 공간 충실도를 제공함으로써 학생들은 대안 개념을 획득할 가능성이 있었으며, 어지럼증을 야기하는 기기적 한계로 인해서 장시간 체험이 불가능했다. 또한, 촉각을 활용한 체험, 변수 조작을 통한 시뮬레이션, 학습자 간의 상호작용 등이 기술적 한계로 인해 불가능했다. 앞으로 가상현실 분야의 지속적인 연구와 기술 개발을 통해 이러한 기술적 한계가 극복되고 교육적으로 온전히 구현된 VR 기반 프로그램이 개발되어 후속 연구가 수행될 필요가 있다.

둘째, VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업이 교육 현장에서 교육적 효과가 발휘되어 학습자의 학습 능력을 향상하기 위해서는 실제 학령기 학생들을 대상으로 VR 기반 프로그램을 수업에 적용하는 연구가 많이 이루어져야 한다. 이러한 연구를 통해 많은 사례를 발굴함으로써 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 수업을 개선하고, 보다 완성도 있는 수업을 설계하는 과정이 필요하다(Dalgarno & Lee, 2010). 특히 사회적 모형 구성 과정을 고려한 수업 설계와 학생들의 담화를 촉진하는 정교한 모형 구성 과정이 고려된 연구가 추가적으로 수행될 필요가 있다.

셋째, VR 기반 프로그램을 실제로 개발·투입하고 그 효과를 정교하고 장기적으로 살피는 연구가 더 많이 이루어질 필요가 있다(Chen, 2006).

본 연구에서는 3차시의 비교적 단기적인 투입으로 인한 효과를 살폈으나, 이 연구 결과가 신기함 효과로 인한 결과인지 VR 기반 프로그램 자체의 학습 효과인지 확인할 필요가 있다. 또한 VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 수업과 이론 수업, 실험 수업의 연계를 통한 효과를 다룬 후속 연구도 이루어질 필요가 있다. 교육자들의 이러한 연구를 기반으로 가상현실 프로그램의 기능과 적용 방법 및 그 효과에 대한 논의가 꾸준히 이루어질 필요가 있는 것이다.

마지막으로 본 연구를 위해 VR 기반 프로그램을 함께 개발해 주신 (주)3DFuture 관계자 분들께 감사 드린다.

참고 문헌

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.

Aukstakalnis, S., & Blatner, D. (1992). *Silicon Mirage: The Art and Science of Virtual Reality*. Berkeley: Peachpit Press.

Baek, H. (2013). *Tracing fifth-grade students' epistemologies in modeling through their participation in a model-based curriculum unit.* (Unpublished doctoral dissertation). Michigan State University, Michigan, USA.

Baek, H., & Schwarz, C. V. (2015). The influence of curriculum, instruction, technology, and social interactions on two fifth-grade students' epistemologies in modeling throughout a model-based curriculum unit. *Journal of Science Education and Technology*, *24*(2-3), 216-233.

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.

Barab, S. A., Cherkes-Julkowski, M., Swenson, R., Garrett, S., Shaw, R. E., & Young, M. (1999). Principles of self-organization: Learning as participation in autocatakinetic systems. J*ournal of the Learning Sciences*, *8*(3-4), 349-390.

Barab, S. A., Hay, K. E., Barnett, M., & Keating, T. (2000). Virtual solar

system project: Building understanding through model building. *Journal of Research in Science Teaching, 37*(7), 719-756.

Bell, R. L., & Trundle, K. C. (2008). The use of a computer simulation to promote scientific conceptions of moon phases. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching, 45*(3), 346-372.

Biocca, F., & Delaney, B. (1995). Immersive virtual reality technology. In F. Biocca & M. R. Levy (Eds.), *Communication in the age of virtual reality* (pp .57-124). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Blascovich, J., Loomis, J., Beall, A. C., Swinth, K. R., Hoyt, C. L., & Bailenson, J. N. (2002). Immersive virtual environment technology as a methodological tool for social psychology. *Psychological Inquiry, 13*(2), 103-124.

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

Bower, M., & Jong, M. S. (2020). Immersive virtual reality in education. *British Journal of Educational Technology, 51*(6), 1981-1990.

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

Burdea, G. and Coiffet, P. (2003) *Virtual reality technology*. New York: John Wiley and Sons.

Calongne, C. M. (2008). Educational frontiers: Learning in a virtual world. *EDUCAUSE Review, 43*(5), 36-38.

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.

Chen, C., & Teh, S. (2000). An affordable virtual reality technology for constructivist learning environments. *Proceedings of Global Chinese Conference on Computers in Education*, Singapore, Singapore.

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).

Chiu, M., Chou, C., Chen, Y., Hung, T., Tang, W., Hsu, J., Liaw, H. L., & Tsai, M. (2019). Model-based learning about structures and properties of chemical elements and compounds via the use of augmented realities. *Chemistry Teacher International, 1*(1), 1-10.

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. *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.

Choi, S., & Kim, H. (2020). Application and effects of VR-based biology class reflecting characteristics of virtual reality. *Journal of the Korean Association For Science Education 40*(2), 203-216.

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

Clark, R. (1989). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research, 53*(4), 445-459.

Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism: Protocol evidence on sources of creativity in science. In Glover, J, Romring,R. & Reynolds, C (Eds.), *Handbook of creativity: Assessment, theory, and research* (pp. 341-381). New York: Plenum.

Clement, J. J. (2008a). *Creative model construction in scientists and students: The role fo imagery, analogy, and mental simulation*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Clement, J. (2008b). Student/teacher co-construction of visualizable models in large group discussion. *In Model based learning and instruction in science* (pp. 11-22). Dordrecht: Springer.

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.

Costello, P. J. (1997*). Health and safety issues associated with virtual reality: a review of current literature* (pp. 1-23). Loughborough, UK: Advisory Group on Computer Graphics.

Cunningham, D. J. (1991). Assessing constructions and constructing assessments: A dialogue. *Educational Technology, 31*(5), 13-17.

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 Koning, B. B., Tabbers, H. K., Rikers, R. M. J. P., & Paas, F. (2011). Attention cueing in an instructional animation: The role of presentation speed. *Computers in Human Behavior, 27*(1), 41-45.

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/elearninginnova ti on/gamingreport_v3.pdf

De Jong, T. (1991). Learning and instruction with computer simulations. *Education and Computing, 6*(3-4), 217-229. Kozma, B. Innovations in science and mathematics education. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Dede, C. (1995). The evolution of constructivist learning environments: Immersion in distributed, virtual worlds. *Educational Technology, 35*(5), 46-52.

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. In Liu, D., Dede, C., Huang, R. & Richard, J. (Eds), *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: 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 M.J. Jacobson & R.B. Kozma (Eds.), *Innovations in science and mathematics education: Advanced designs for technologies of learning*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

Dewey, J. (1938). *Experience and education: the Kappa Delta Phi lecture series*. New York: Kappa Delta Pi.

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.

Duit, R., & Glynn, S. (1996). Mental modelling. In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in science education in Europe* (pp. 166-176). London: Falmer Press.

English, L. D., King, D., & Smeed, J. (2017). Advancing integrated STEM learning through engineering design: Sixth-grade students' design and construction of earthquake resistant buildings. *The Journal of Educational Research, 110*(3), 255-271.

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. *Proceedings of Annual Meeting of the American Educational Research Association*, New Orleans, USA.

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

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.

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

Gibson, W. (1995*). Neuromancer*. 1984. New York: Ace.

Giere, R.N. (1999). Using models to represent reality. In L. Magnani, N.J. Nersessian and P.Thagard (Eds.) *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp.41–57). New York: Kluwer Academic and Plenum.

Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A., & Franco, C. (2000). Science and education : Notions of reality, theory and model. In J. K. Gillbert, C. J. Boilter (Eds.) *Developing models in science education* (pp. 19-40), London: Kluwer Academic

Publishers. 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.

Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 3-17). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.

Gorsky, P., & Finegold, M. (1992). Using computer simulations to restructure students' conceptions of force. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching, 11*(2), 163-178.

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.

Ham, S., Kim, S., Park, S., & Song, K. (2014). Development of CT-STEAM education program enhancing integrated thinking skills for elementary school. *The Journal of Korean Association of Computer Education, 17*(6), 81-91.

Han, H. (2019). Development of a design model for virtual reality based education simulation. (Unpublished doctoral dissertation). Seoul National University, Seoul, Korea.

Han, H., & Lim, C. (2020). A Developmental Study on Design Principles for Virtual Reality Based Educational Simulation. *Journal of Educational Technology, 36*(2), 221-264.

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.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International journal of science education, 22*(9), 1011-1026.

Hedberg, J., & Alexander, S. (1994). Virtual reality in education: Defining researchable issues. *Educational Media International, 31*(4), 214-220.

Hesse, M. (1963). Models and Analogies in Science. London: Sheed and Ward.

Hodson, D. (1992). In search of a meaningful relationship: An exploration of some issues relating to integration in science and science education. *International Journal of Science Education, 14*(5), 541–562.

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.

Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Models and modelling in chemical education. In J. K. Gilbert, O. D. Jong, R. Justy, D. F., Treagust, & J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 47-68). Dordrecht: Kluwer.

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.

Khine, M. S., & Saleh, I. M. (Eds.). (2011). *Models and modelling: Cognitive tools for scientific enquiry*. Dordrecht: Springer.

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

Kim, M.,& Kim, H.(2007). A multidimensional analysis of conceptual change for blood circulation in model-based instruction. *Biology Education, 35*(3), 407-424.

Kim, J., Kim, T., Kim, H., Kim H., Park, D., Park, S., Park, J., Bae, S., Byun, D., Seo, M., Shin, Y., Shim, G., Lee, S., & Lee, H. (2001). *Virtual reality and science education*. Daejoen: Bosung Publishing Co.

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). *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. New Jersey: Prentice-Hall.

Kontogeorgiou, A. M., Bellou, J., & Mikropoulos, T. A. (2008). Being inside the Quantum Atom. *PsychNology Journal, 6*(1). 83-98.

Koo, H. (2017). *Exploring the influence of students's science capital on scientific modeling process and conceptual understanding in STEAM lessons.* (Unpublished Master's thesis). Seoul National University, Seoul, Korea.

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.

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.

Lim, C. & Yeon, E. (2009). A Formative Study on the Design Principles for Simulation in Case-Based Learning. *Journal of Educational Technology, 25*(2), 117-149.

MacKnight, C., Dillon, A. & Richardson, J. (1991). *Hypertext in context*. Cambridge: Cambridge University Press.

Mayer, R. E. (1999). Multimedia aids to problem-solving transfer. *International Journal of Educational Research, 31*(7), 611-623.

Mayer, R. E. (Eds.) *The Cambridge handbook of multimedia learning*. New

York, NY: Cambridge University Press

McFarlane, A., Sparrowhawk, A. & Heald, Y. (2002). *Report on the educational use of games.* Cambridge: Teachers Evaluating Educational Media.

Mellar, H., Bliss, J., Boohan, R., Ogborn, J., & Tompsett, C. (2014). *Learning with artificial worlds: computer based modelling in the curriculum.* London: Routledge.

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.

Metcalf, S., Kamarainen, A., Tutwiler, M. S., Grotzer, T., & Dede, C. (2011). Ecosystem science learning via multi-user virtual environments. *International Journal of Gaming and Computer-Mediated Simulations, 3*(1), 86-90.

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.

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE TRANSACTIONS on Information and Systems, 77*(12), 1321-1329.

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.

National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington: National Academies Press.

Newquist, H. P. (1992). *Virtual reality's commercial reality. Computerworld, 26*(3), 93-95.

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.

Pantelidis, V. S. (1993). Virtual reality in the classroom. *Educational Technology, 33(4)*, 23-27.

Park, I., Koh, Y., Han, I., Lee, K., Koh, E., Lee, Y., Shin, H., Jang, J., Paik, S., Jang, J., Jung, J., Kim, M., Jung, J., Jang, S., Lee, E., Park, Y., & Yim, J. (2019). *Virtual reality & education*. Seoul: Pakyoungstory Press.

Park, I., Ryu, J., Jo, S., Son, M., & Jang, J. (2017). *Understanding augmented reality(AR) & virtual reality(VR) contents and its educational uses*. Daegu: KERIS.

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.

Parker, J. & Heywood, D. (1998). The earth and beyond: Developing primary teachers' understanding of basic astronomical events. *International Journal of Science Education, 20*(5), 503-520.

Perkins, D. N. (1991). Technology meets constructivism: Do they make a

marriage? *Educational Technology, 31*(5), 18-23.

Psotka, J. (1995). Immersive training systems: Virtual reality and education and training. *Instructional Science, 23*(5-6), 405-431.

Reagan, T. (1999). Constructivist epistemology and second/foreign language pedagogy. *Foreign Language Annals, 32*(4), 413-425.

Rea-Ramirez, M. A., Clement, J., & Núñez-Oviedo, M. C. (2008). An instructional model derived from model construction and criticism theory. In Clement, J., & Rea-Ramirez, M. (Eds.), *Model based learning and instruction in science* (pp. 23-43). Springer: Dordrecht

Reddy, M., & Mint, P. P. (2017). Impact of Simulation Based Education on Biology Student's Academic Achievement in DNA Replication. *Journal of Education and Practice, 8*(15), 72-75.

Reichenbach, H. (1938). *Experience and prediction. Chicago*, Illinois: University of Chicago Press.

Rheingold H. (1992) *Virtual reality*. New York: Simon & Schuster.

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.

Rolf, W. M. (1996). Knowledge diffusion in a grade 4-5 classroom during a unit on civil engineering: An analysis of a classroom community in terms of its changing resources and practices. *Cognition and Instruction, 14*(2), 179-220.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., O., Archer, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling

accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching, 46*(6), 632-654.

Sen, P. K., & Puri, M. L. (1971). *Nonparametric methods in multivariate analysis*. New York: John Wiley & Sons.

Seo, J. H., Smith, B. M., Cook, M., Malone, E., Pine, M., Leal, S., Bai, Z., & Suh, J. (2017). Anatomy builder VR: Applying a constructive learning method in the virtual reality canine skeletal system. *Proceeding of International Conference on Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences* (pp. 245-252), LA, USA

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.

Soto, V. J. (2013). Which instructional design models are educators using to design virtual world instruction. *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching, 9*(3), 364-375.

Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication, 42*(4), 73-93.

Strain, J. (1997). *Interactivity in multimedia applications.* Unpublished Class Material. http://www. deakin. edu. au/~ agoodman/sci204/lecture8-98. html.

Sweeny, L. B., & Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: Preliminary results of a systems thinking inventory. *Proceedings 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.

Trollip, S. R., & Alessi, S. M. (2001). *Multimedia for learning: methods and development.* Massachusetts: Allyn & Bacon.

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.

Vogel, J. J., Vogel, D. S., Cannon-Bower, J., Bowers, C. A., Muse, K., & Wright, M. (2006). Computer gaming and interactive simulations for learning: a meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research, 34*(3), 229-243.

Vygotsky, L. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Waight, N., & Abd-El-Khalick, F. (2007). The impact of technology on the enactment of inquiry in a technology enthusiast's sixth grade science classroom. *Journal of Research in Science Teaching, 44*, 154-182.

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.

Winn, W. (2002). Research into practice: Current trends in educational technology research: The study of learning environments. *Educational Psychology Review, 14*(3), 331-351.

Winn, W., & Bricken, W. (1992). Designing virtual worlds for use in

mathematics education: The example of experiential algebra. *Educational Technology, 32*(12), 12-19.

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.

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.

Wu, H. K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education, 88*(3), 465-492.

Yang, C., Jo, M., & Noh, T. (2015). Investigation of Teaching Practices using Smart Technologies and Science Teachers` Opinion on Their Application in Science Education. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education, 35*(5), 829-840.

Yim, S. (1996). Virtual reality as a new learning environment. *Journal of Educational Technology, 12*(2), 189-205.

Youngblut, C. (1998). *Educational uses of virtual reality technology*. Alexandria, VA: Institute for Defense Analyses (IDA Document D-2128).

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.

부록

[부록 1] 실험반 수업디자인

수 업 디 자 인(실험반)

<table>
<tr><td>수업일시</td><td colspan="3">2, 3, 4교시</td><td>수업자</td><td>최섭</td><td>대상반
(장소)</td><td>6학년 교실</td></tr>
<tr><td>수업 교과</td><td>과학</td><td>지도단원</td><td colspan="3">우리 몸의 구조와 기능.</td><td>차 시
(교과서쪽수)</td><td>4,5,6차시</td></tr>
<tr><td>주 제</td><td colspan="7">VR로 소화기관의 구조와 기능 탐색하기</td></tr>
<tr><td>교사의
수업관
및
교육과정
재구성</td><td colspan="7">현대 사회에 가상현실(VR) 매체는 새로운 교육 미디어로 부상하고 있다. 가상현실은 '행위유발성' '현존감', '몰입감', '고차원적 사고'와 같은 장점을 가지고 있는 매체로서, 과학 교과에서 학생들이 그동안 이해하기 힘들어 했던 입체적인 내용들을 더 쉽게 이해하고 흥미롭게 접근할 수 있을 것으로 기대되고 있다. 본 수업에서는 과학 교과의 생명영역의 "우리 몸의 구조와 기능" 단원에서 소화기관의 구조와 기능에 대하여 VR을 통해서 학습할 수 있도록 교육과정 내용을 재구성하였다. 이 수업을 통해서 학생들이 새로운 매체로서 VR 기기와 친숙해 지고, 더 쉽고 효과적으로 학습할 것으로 예상된다. 구체적으로 본 차시에서는 소화기관인 입, 식도, 위, 작은창자, 큰창자에 대해서 배운 바를 모형으로 그려보는 활동을 할 계획이다.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">수업 과정</td><td>문제
상황
제시
및
초기
모형
구성(
Generation)</td><td colspan="6"><문제 상황 제시 및 초기 모형 구성> [부록1] 실험반 초기 모형 구성
-문제 상황: 아침에 먹은 빵이 우리 몸속의 소화기관 어떤 기능을 하고 어떤 순서로 소화될지 글과 그림으로 설명해 봅시다.
-질문: 아침에 먹은 빵은 어떤 과정을 통해서 배설되게 될까요?
-질문: 소화기관과 기능과 순서를 구체적으로 명시하며 글로 적어보세요.
-질문: 내가 생각하는 소화란 무엇일까요?

<VR 소개>
-VR로 수업해야 하는 이유 살펴보기
-VR이 우리 생활과 어떤 관련이 있는지 알아보기
-VR로 발표하는 장면 동영상 보기
동영상 주소: https://www.youtube.com/watch?v=gH9CbrCw6vQ</td></tr>
<tr><td>모형
구성
을
위한
자료
수집
및
분석</td><td colspan="6"><동영상을 활용하여 관련성 높은 상황 설정하기>
-동영상을 보며 질문하기
-질문: 우리가 점심을 먹으면 몇 시간 만에 대변으로 나올까?
동영상 주소: https://www.youtube.com/watch?v=RAz44jLrpY0

<문제 해결을 위한 관련 정보 제공>
-소화기관의 구조와 기능 알아보기 [부록2] 실험반 활동지1
-질문: 동영상을 통해서 우리가 먹은 음식물이 어떤 기관을 통해 지나가는지, 각 기관에서는 어떤 일이 일어날지 생각해 봅시다.

<자료 수집 및 분석을 통한 탐구 활동과 지식 생성 유도>
-소화 과정 설명하기 [부록2] 실험반 활동지1
-질문: 우리가 먹은 음식물이 우리 몸에서 "피가 되고 살이 되려면" 어떻게 되어야 할까요? 음식물이 어디에서 작게 쪼개질지, 왜 그렇게 생각하는지 토의해 봅시다.</td></tr>
<tr><td>가상
현실
체험
을
기반
으로
한
모형
수정(
Modification)</td><td colspan="6"><VR 사용법>
-VR 기기 및 프로그램 사용법 알아보기

<VR 프로그램 기반 모형 활동 제시>[부록3] 실험반 활동지2
-문제 상황: 아침에 먹은 빵이 우리 몸속의 소화기관 어떤 기능을 하고 어떤 순서로 소화될지 글과 그림으로 설명해 봅시다.
-질문: 아침에 먹은 빵은 어떤 과정을 통해서 배설되게 될까요?
-질문: 소화기관과 기능과 순서를 구체적으로 명시하며 글로 적어보세요.
-질문: 내가 생각하는 소화란 무엇일까요?

<VR 프로그램의 특성을 효과적으로 경험하도록 지원>
·자유롭게 조작 탐구하는 시간 제공하기</td></tr>
</table>

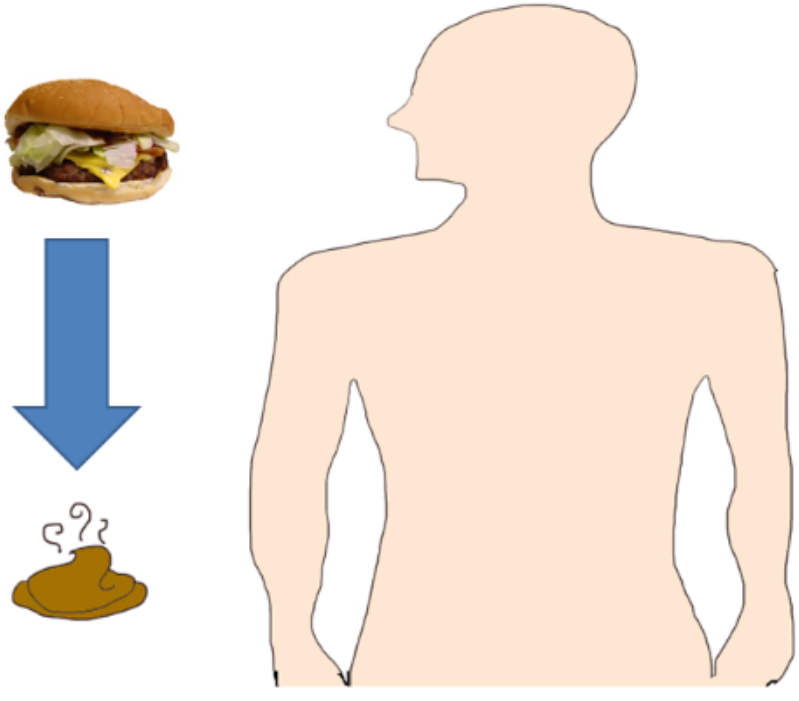
		·시행착오하며 반복해서 체험하도록 안내하기 ·감각적 신호에 주목하도록 안내하기 ·360도 시점을 관찰하도록 안내하기 ·학습 속도 조절을 자유롭게 하도록 안내하기 ·콘텐츠 순서 결정을 자유롭게 하도록 안내하기 ·시점 이동을 자유롭게 하도록 안내하기 <수정 모형 그리기> -VR 기반 프로그램 체험 활동을 토대로 수정 모형을 다시 그리기 -질문: 아침에 먹은 빵이 우리 몸속의 소화기관 어떤 기능을 하고 어떤 순서로 소화될지 글과 그림으로 설명해 봅시다. <실제적 상황에 전이하기> -질문: 아침에 먹은 빵은 어떤 과정을 통해서 배설되게 될까요?소화기관과 기능과 순서를 구체적으로 명시하며 글로 적어보세요. <구체적인 추상화 전략 논의> 구조와 기능: 입, 식도, 위, 작은창자, 큰창자 모두에서 다 표현되게 시스템 표상화: 연결되는 과정을 표현하기: 그림과 글로 표현하도록 안내 시각화: 움직이는 장면과 녹는 장면이 표현될 수 있도록 안내 표지: 소화기관이 어디에 있는지 이름표 달도록 안내
	정리 및 평가(Evaluation)	<전체 활동 종합적 정리> -질문: 내가 생각하는 소화란 무엇일까요? <모형 발표하기> -개인적으로 그린 소화기관 모형 발표하기

[부록 2] 실험반 초기 모형 구성 활동지

<초기 모형 구성 활동지> 우리 몸의 구조와 기능

(　　) 학년 (　　)반 (　　)번 이름(　　)

◆ 아침에 먹은 빵이 우리 몸 속 소화기관의 어떤 기능에 의해서 어떤 순서로 소화될 지 아래에 그림과 글로 설명해 봅시다.



아침에 먹은 빵은 어떤 과정을 통해서 소화되게 될까요? 소화기관의 기능과 순서를 구체적으로 명시하며 글로 적어보세요.

내가 생각하는 소화란 무엇일까요?

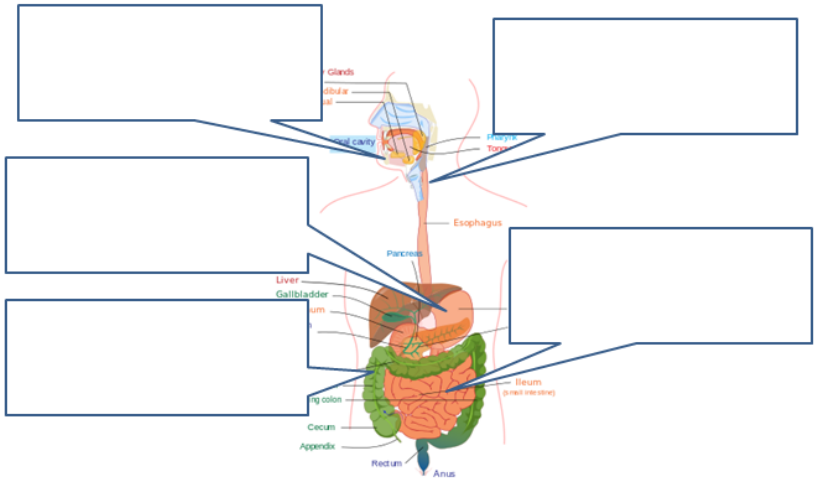
[부록 3] 실험반 모형 구성 활동지

<활동지1> 우리 몸의 구조와 기능

(　　)학년　(　)반　(　)번　이름:(　　)

소화 기관 알아보기

◈ 동영상을 보며 소화 기관을 관찰해 봅시다.
우리가 먹은 음식물이 어떤 기관을 통해 지나가는지, 각 기관에서는 어떤 일이 일어날지 생각해 봅시다.



음식물이 어디를 거쳐 지나가는지 순서대로 정리하여 봅시다.

입 › (　　) › (　　) › (　　) › (　　) › 항문

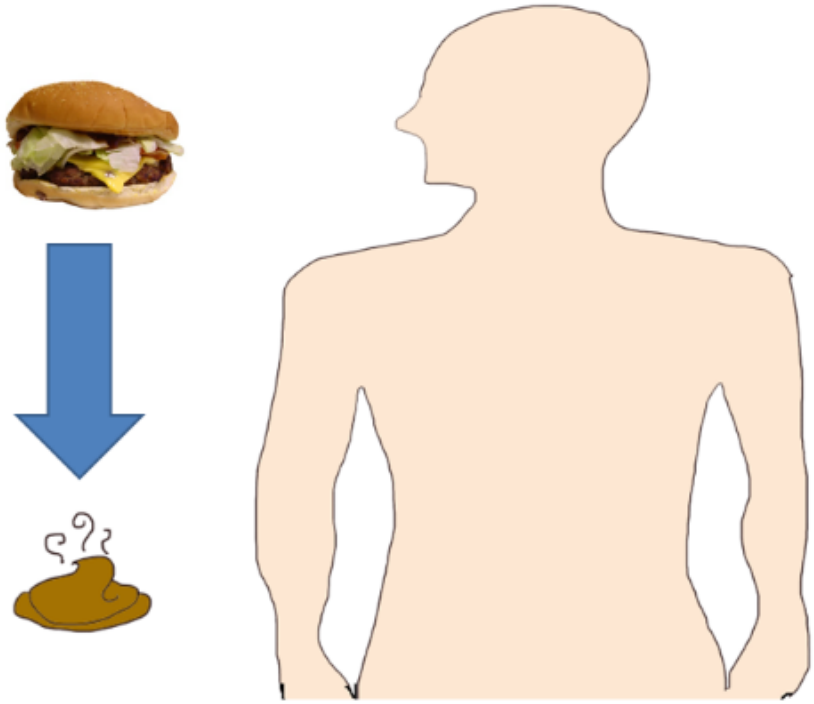
소화 과정 설명하기

◈ 우리가 먹은 음식물이 우리 몸에서 "피가 되고 살이 되려면" 어떻게 되어야 할까요?
음식물이 어디에서 작게 쪼개질지, 왜 그렇게 생각하는지 토의해 봅시다.

<활동지 2> 우리 몸의 구조와 기능

(　　) 학년 (　　)반 (　　)번 이름(　　)

◆ VR 체험을 한 뒤, 아침에 먹은 빵이 우리 몸 속 소화기관의 어떤 기능에 의해서 어떤 순서로 소화될 지 아래에 그림과 글로 설명해 봅시다.



아침에 먹은 빵은 어떤 과정을 통해서 소화되게 될까요? 소화기관과 기능과 순서를 구체적으로 명시하며 글로 적어보세요.

내가 생각하는 소화란 무엇일까요?

[부록 4] 통제반 수업디자인

수 업 디 자 인(통제반)

<table>
<tr><td>수업일시</td><td colspan="3">2, 3, 4교시</td><td>수업자</td><td>각반 담임 교사</td><td>대상반 (장소)</td><td>6학년 교실</td></tr>
<tr><td>수업 교과</td><td>과학</td><td>지도단원</td><td colspan="2">우리 몸의 구조와 기능.</td><td colspan="2">차 시 (교과서쪽수)</td><td>4,5,6차시</td></tr>
<tr><td>주 제</td><td colspan="7">VR로 소화기관의 구조와 기능 탐색하기</td></tr>
<tr><td rowspan="4">수업 과정</td><td>문제 상황 제시 및 초기 모형 구성(Generation)</td><td colspan="6"><문제 상황 제시 및 초기 모형 구성> [부록5] 통제반 초기 모형 구성
-문제 상황: 아침에 먹은 빵이 우리 몸속의 소화기관 어떤 기능을 하고 어떤 순서로 소화될지 글과 그림으로 설명해 봅시다.
-질문: 아침에 먹은 빵은 어떤 과정을 통해서 배설되게 될까요?
-질문: 소화기관과 기능과 순서를 구체적으로 명시하며 글로 적어보세요.
-질문: 내가 생각하는 소화란 무엇일까요?</td></tr>
<tr><td>모형 구성을 위한 자료 수집 및 분석</td><td colspan="6"><동영상을 활용하여 관련성 높은 상황 설정하기>
-동영상을 보며 질문하기
-질문: 우리가 점심을 먹으면 몇 시간 만에 대변으로 나올까?
동영상 주소: https://www.youtube.com/watch?v=RAz44jLrpY0
<문제 해결을 위한 관련 정보 제공>
-소화기관의 구조와 기능 알아보기 [부록6] 통제반 활동지1
-질문: 동영상을 통해서 우리가 먹은 음식물이 어떤 기관을 통해 지나가는지, 각 기관에서는 어떤 일이 일어날지 생각해 봅시다.
<자료 수집 및 분석을 통한 탐구 활동과 지식 생성 유도>
-소화 과정 설명하기 [부록 6] 통제반 활동지1
-질문: 우리가 먹은 음식물이 우리 몸에서 "피가 되고 살이 되려면" 어떻게 되어야 할까요? 음식물이 어디에서 작게 쪼개질지, 왜 그렇게 생각하는지 토의해 봅시다.</td></tr>
<tr><td>가상현실 체험을 기반으로 한 모형 수정(Modification)</td><td colspan="6"><교과서를 활용한 과학적 모형 활동 제시>[부록6] 통제반 활동지2
-문제 상황: 아침에 먹은 빵이 우리 몸속의 소화기관 어떤 기능을 하고 어떤 순서로 소화될지 글과 그림으로 설명해 봅시다.
-질문: 아침에 먹은 빵은 어떤 과정을 통해서 배설되게 될까요?
-질문: 소화기관과 기능과 순서를 구체적으로 명시하며 글로 적어보세요.
-질문: 내가 생각하는 소화란 무엇일까요?

<구체적인 추상화 전략 논의>
구조와 기능: 입, 식도, 위, 작은창자, 큰창자 모두에서 다 표현되게
시스템 표상화: 연결되는 과정을 표현하기: 그림과 글로 표현하도록 안내
시각화: 움직이는 장면과 녹는 장면이 표현될 수 있도록 안내
표지: 소화기관이 어디에 있는지 이름표 달도록 안내

<수정 모형 그리기>
-교과서 내용을 토대로 수정 모형을 다시 그리기
-질문: 아침에 먹은 빵이 우리 몸속의 소화기관 어떤 기능을 하고 어떤 순서로 소화될지 글과 그림으로 설명해 봅시다.

<실제적 상황에 전이하기>
-질문: 아침에 먹은 빵은 어떤 과정을 통해서 배설되게 될까요?소화기관과 기능과 순서를 구체적으로 명시하며 글로 적어보세요.</td></tr>
<tr><td>정리 및 평가 (Evaluation)</td><td colspan="6"><전체 활동 종합적 정리>
-질문: 내가 생각하는 소화란 무엇일까요?

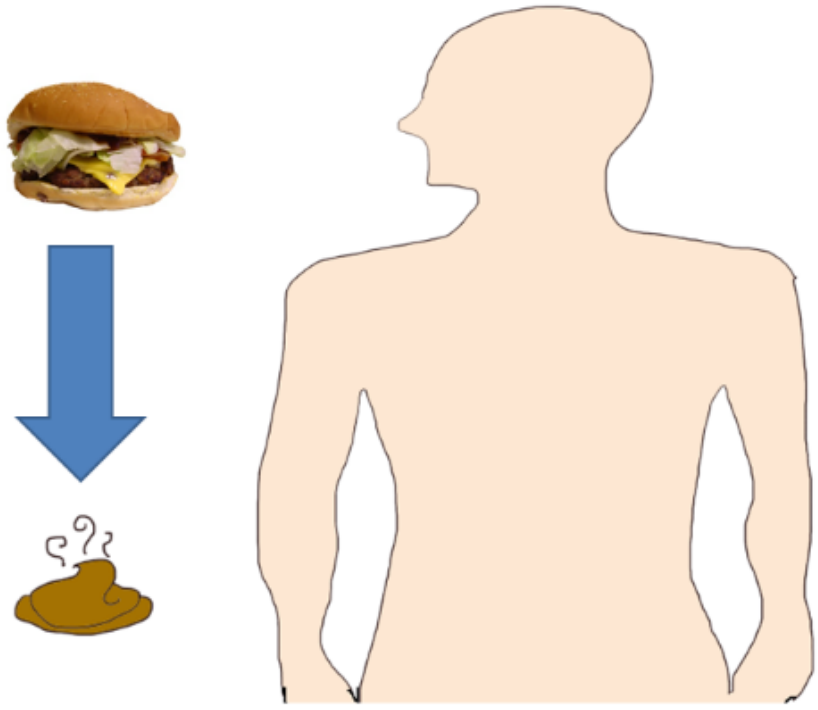
<모형 발표하기>
-개인적으로 그린 소화기관 모형 발표하기</td></tr>
</table>

[부록 5] 통제반 초기 모형 구성 활동지

<초기 모형 구성 활동지> 우리 몸의 구조와 기능

(　　) 학년 (　　)반 (　　)번 이름(　　)

◆ 아침에 먹은 빵이 우리 몸 속 소화기관의 어떤 기능에 의해서 어떤 순서로 소화될 지 아래에 그림과 글로 설명해 봅시다.



아침에 먹은 빵은 어떤 과정을 통해서 소화되게 될까요? 소화기관과 기능과 순서를 구체적으로 명시하며 글로 적어보세요.

내가 생각하는 소화란 무엇일까요?

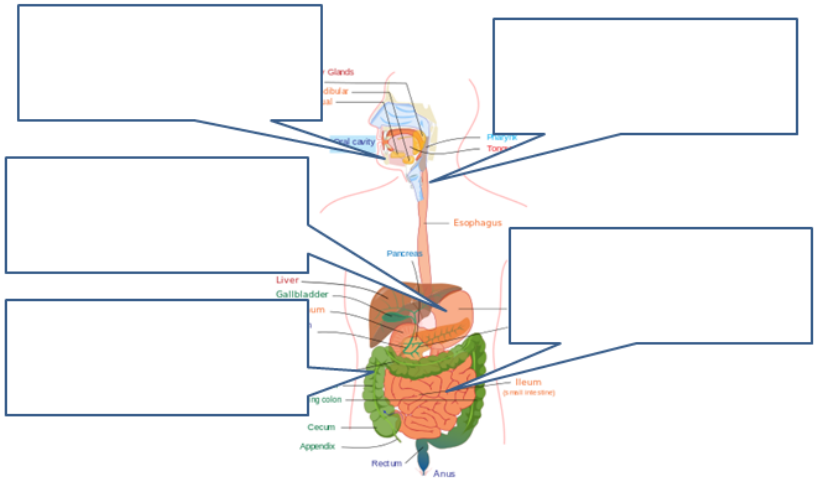
[부록 6] 통제반 모형 구성 활동지

<활동지1> 우리 몸의 구조와 기능

(　　)학년　(　)반　(　)번　이름:(　　)

소화 기관 알아보기

◈ 동영상을 보며 소화 기관을 관찰해 봅시다.
우리가 먹은 음식물이 어떤 기관을 통해 지나가는지, 각 기관에서는 어떤 일이 일어날지 생각해 봅시다.



음식물이 어디를 거쳐 지나가는지 순서대로 정리하여 봅시다.

입 › (　　) › (　　) › (　　) › (　　) › 항문

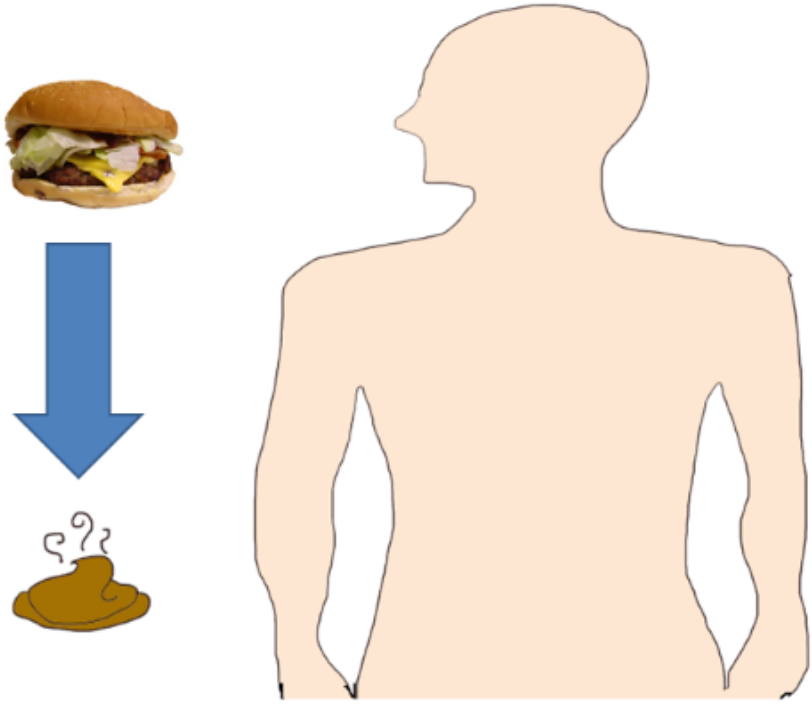
소화 과정 설명하기

◈ 우리가 먹은 음식물이 우리 몸에서 "피가 되고 살이 되려면" 어떻게 되어야 할까요?
음식물이 어디에서 작게 쪼개질지, 왜 그렇게 생각하는지 토의해 봅시다.

<활동지 2> 우리 몸의 구조와 기능

(　　) 학년 (　　)반 (　　)번 이름(　　)

◆ 아침에 먹은 빵이 우리 몸 속 소화기관의 어떤 기능에 의해서 어떤 순서로 소화될 지 아래에 그림과 글로 설명해 봅시다.



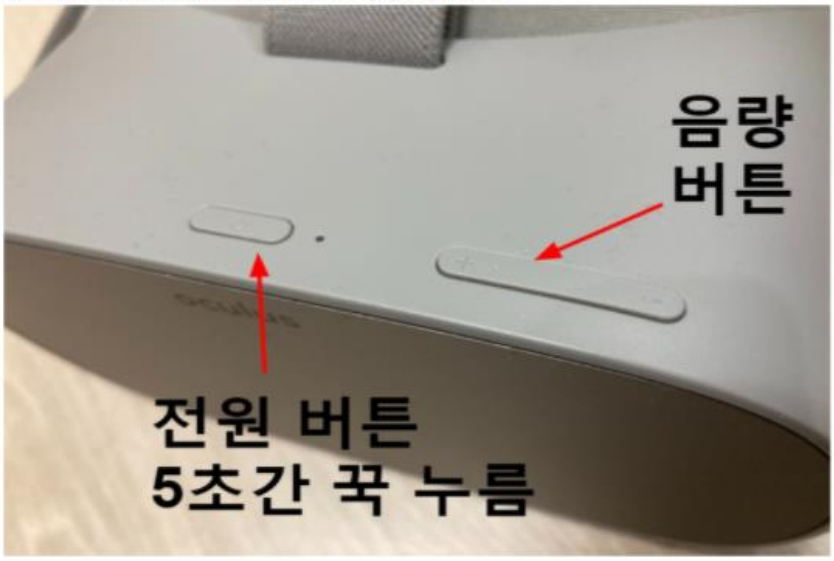
아침에 먹은 빵은 어떤 과정을 통해서 소화되게 될까요? 소화기관과 기능과 순서를 구체적으로 명시하며 글로 적어보세요.

내가 생각하는 소화란 무엇일까요?

[부록 7] VR 기기 조작 사용 설명서

콘트롤러 명칭
백버튼: 프로그램의 시작화면으로 가고 싶을 때 누름
홈버튼: 중지하고 프로그램을 나가고 싶을 때 누름
트리거: 선택할 때(마우스 왼쪽 버튼과 같음) 누름

VR 기계(오큘러스 고) 켜는 법
가운데 전원버튼을 꾹 5초간 누름
음량 조절하는 법
소리 크기 조절버튼을 왼쪽 오른쪽 플러스 마이너스 버튼을 누름



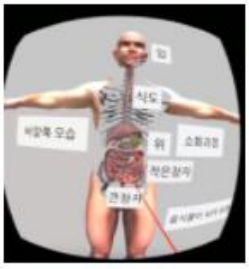
착용 문제 해결

- 착용했는데 안켜지는 경우 이마에 머리카락이 있어서 이마 센서가 인식을 못할 경우가 있다. 다시 뺐다 이마까고 쓰면 된다. - 착용했는데 너무 커서 초점이 안맞는 경우 머리 위쪽 줄을 잡아당겨서 크기를 조절하여 초점을 맞출 수 있다. -어지러울 경우 작은창자를 지날 때 어지러울 수 있어요. 어지러울 경우 잠시 떼어서 현실세계로 돌아오거나 눈을 감고 있어도 됩니다. - 콘트롤러 리셋하기 콘트롤러 방향이 이상하게 되어있을 경우 홈버튼을 2초간 눌러주면 게이지가 차면서 - 썼는데 VR 시작하기 화면이 나오면 홈버튼을 2초간 게이지가 찰 동안 눌러준다.	 홈 버튼 2초간 꾹 누르면 게이지가 차고 VR이 시작됩니다.

어플 실행하는 방법

라이브러리→ 알수 없는 출처 → Digestion 실행

Digestion 가상현실 어플 체험하는 법

버튼 실행방법 하얀색 버튼을 트리거로 실행한다.	**끝나는 장면** 큰창자를 끝내고 마지막 장면입니다.
	

체험이 다 끝난 경우 다른 친구에게 넘겨주면서 처음부터 실행하는 방법

1 종료후 재시작을 위해 백 버튼을 누른다.

2 메인화면을 트리거로 클릭한다.

Abstract

Development and Effects of Scientific Modeling Class Using a VR-based Program

Choi, Seop
Biology Education Major
Department of Science Education
The Graduate School
Seoul National University

The purpose of this study is to develop and explore the effects of a scientific modeling class using a VR(virtual reality)-based program on modeling performance levels by developing and applying the VR-based program for 6th-grade elementary school students under the theme of digestion. For this research, one hundred and five students in an elementary school in an urban area participated in this study by taking three scientific modeling classes using the VR-based program. To examine the effects of a scientific modeling class using a VR-based program, the study subjects were divided into two groups. The experimental group was composed of 50 individuals who participated in the scientific modeling classes using the VR-based program, while 55 students of a control group learned through general scientific modeling classes. I collected pre- and post-data using drawing and writing tasks as means of measuring students' modeling performance. The

modeling performance level was measured using a scientific modeling performance level analysis framework consisting of 'structure', 'function', 'system representation', 'visualization', and 'labelling' areas. I also recorded 21 interviews of students after the experiment, which were transcribed to verify the students' perception of the effects.

The key results are as follows: First, I demonstrated the possibility of applying a VR program reflecting VR characteristics (manipulation, sensitization, and interaction). The developed VR-based program was implemented through standalone HMD devices in a real-world classroom setting. The program reflects manipulation characteristic, making it possible to operate freely without the burden of trial and error. By reflecting the characteristic of sensesitization, the program provides realistic signals and environments. The interaction characteristic was reflected in the program, making it free to select the order of contents or change the screen using the controller. Second, I designed the stages of the scientific modeling class using the VR-based program. For this, based on teaching activities reflecting the characteristics of virtual reality, the stage of the scientific modeling class using the VR-based program was organized. In the stage of presenting problems and initial modeling, I set student-related situation by asking questions to students and guiding them to construct the initial model. In the stage of data collecting and analysis for modeling, information for problem solving was provided through multiple media. In the stage of constructing the middle model based on the virtual reality experience, students experienced the VR-based program to reconstruct the model that is more developed than the initial model. During the organizing and modification phase, students were asked to share the middle model with each other. Third, I found out

that a scientific modeling class using the VR-based program significantly enhances higher modeling performance level, by facilitating high-dimensional level thinking(spatial, abstract, and reflective thinking); I came to the conclusion that the empirical properties of VR affected modeling performance level gives students affordance, presence, and immersion. This study may be able to contribute to offering guidelines on how to effectively apply VR-programs to future science education.

Keywords: Virtual Reality, VR-based Class, Modeling, Modeling performance level, Characteristics of virtual reality, Effects of virtual reality
Student Number: 2018-37610