



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

교육학석사 학위논문

VPython을 활용한 과학적
시뮬레이션 구성 수업 모형의
개발과 효과

Development and Effects of an Instructional
Model for Scientific Simulation Construction
Using VPython

2024년 8월

서울대학교 대학원

AI융합교육학과 AI융합교육 전공

최 원 근

VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형의 개발과 효과

Development and Effects of an Instructional
Model for Scientific Simulation Construction
Using VPython

지도교수 정 대 홍

이 논문을 교육학석사 학위논문으로 제출함
2024년 8월

서울대학교 대학원
AI융합교육학과 AI융합교육 전공
최 원 근

최원근의 석사 학위논문을 인준함
2024년 8월

위 원 장 조 정 호 (인)

부위원장 하 민 수 (인)

위 원 정 대 홍 (인)

국문 초록

인공지능의 발전과 4차 산업혁명의 도래 이전부터 과학교육에서는 학생이 과학 지식의 구성 과정에 직접 참여해 볼 수 있는 교수·학습 환경의 중요성이 지속적으로 강조되었다. 과학 지식의 구성 과정에 학생을 직접 참여하도록 하는 방법 중 하나는 학생이 직접 과학적 모형 구성(Scientific modeling)을 구성하는 것이다. 과학적 모형은 추상적인 과학 개념 및 이론의 이해를 돕고, 복잡한 자연 현상을 설명하거나 예측하는데 도움을 준다. 즉, 학생이 직접 과학적 모형을 구성하는 것은 실제 과학 탐구에 학생을 직접 참여하도록 하는 과학의 본질적인 활동이며, 과학 지식을 구축하고 추상적 개념을 구성하여 과학 지식에 대한 이해를 돕는 매우 중요한 과정이다. 하지만 기존의 과학적 모형은 텍스트나 그림 등의 2차원적 표상으로 현실성을 반영하는 데 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 3차원으로 시각화가 가능한 VPython 프로그래밍 언어를 통해 2차원적 표상의 한계를 극복하고, 별도의 프로그램 설치 없이 웹상에서 학생이 직접 과학적 모형으로서 시뮬레이션을 구성하도록 하는 과학-정보 융합 수업 모형을 개발하는 것을 목적으로 하였다. 본 연구에서는 첫째, ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’의 모형과 설계 원리 및 교수전략을 개발하고, 둘째, 두 차례에 걸친 전문가 검토를 통해 개발한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략의 내적 타당도를 확인하였으며, 셋째, 개발한 수업 모형을 학생에게 적용함으로써 수업 모형의 교육적 효과를 탐색하였다.

본 연구는 설계·개발 연구 방법 중 유형Ⅱ ‘모형 연구’ 방법에 따라 다음과 같은 절차로 진행되었다. 첫째, 수업 모형 개발 관련 선행 문헌, VPython 관련 선행 문헌, 모델링 역량 및 시뮬레이션 교육 관련 선행 문헌, 영재 학생의 특성 관련 선행 문헌 등 다양한 분야의 선행 문헌을 통합적으로 검토하고, 기존의 교육용 시뮬레이션 플랫폼 및 7년 이상의 영재 교육 경험을 바탕으로 한 경험적 탐색을 종합하여 초기 수업 모형

과 초기 설계 원리 및 교수전략을 개발하였다. 둘째, 초기 수업 모형과 초기 설계 원리 및 교수전략의 내적 타당성을 확인하기 위해 교육공학 및 과학교육 전문가 2인, 영재 교육 및 과학교육 전문가 1인, 과학교육 전문가 1인, 정보·컴퓨터교육 전문가 3인, 총 7인을 대상으로 두 차례의 전문가 타당화를 실시하였고, 전문가 타당화 결과를 바탕으로 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 수정·보완하였다. 내적 타당화를 통해 도출된 2차 수업 모형과 2차 설계 원리 및 교수전략에 대한 외적 타당화를 위해 X 과학영재 고등학교에 재학 중인 학생 중 연구에 동의하는 13명의 연구 참여자를 대상으로 수업을 실시하였다. 외적 타당화에서 수집한 데이터는 수업 모형 적용 전·후 설문조사와 인터뷰이며, 수집된 자료를 심층적으로 분석하여 수업 모형의 교육적 효과를 탐색하고, 최종적으로 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’의 모형과 설계 원리 및 교수전략을 도출하였다.

본 연구에서는 ADDIE 모형의 틀을 기반으로 분석(A) - 설계(D) - 시뮬레이션 구성 준비(P) - 시뮬레이션 개발(D) - 시뮬레이션 평가(E)의 5단계와 각 단계에서 실행해야 할 세부 단계로 구성된 수업 모형을 개발하였으며, 수업 모형의 세부 단계에서 참고할 수 있는 7개의 설계 원리 및 30개의 교수전략, 교수전략에 대한 예시 및 해설을 개발하였다.

수업 모형의 교육적 효과를 동일 집단의 사전·사후 결과 분석 방법을 활용하여 탐색하였다. 수업 모형 적용 전·후 설문조사의 공통 문항을 활용하였으며, 연구 참여자가 13명으로 연구 표본의 크기가 매우 작으므로 비모수 통계 방법인 Wilcoxon signed-rank 검정 방법을 사용하였다. 통계 분석 결과, 시뮬레이션 구성 역량과 관련하여 연구 참여자들의 자신감, 시뮬레이션 구성을 위해 필요한 내용을 도출해 낼 수 있는 능력, 시뮬레이션의 강점과 한계점을 파악할 수 있는 능력, 시뮬레이션의 활용 능력 측면에서 유의한 차이를 보였다. 과학과 핵심 역량 조사 문항에 대해서도 Wilcoxon signed-rank 검정 방법으로 사전·사후에 대해 통계 분석한 결과, 25개 문항 중 과학적 탐구 능력 2개 문항, 과학적 문제 해결력 1개 문항, 과학적 의사소통 능력 1개 문항, 과학적 참여와 평생학습

능력 2개 문항, 총 5개 문항에서만 유의한 차이를 보였고 그 외 20개 문항에 대해서는 유의한 차이를 보이지 않았다.

또한 본 연구에서는 연구 대상이 과학영재 고등학생이라는 특수성을 고려하고 수업 모형의 교육적 효과를 심층적으로 분석하기 위해 인터뷰를 통한 질적 분석을 실시하였다. 인터뷰를 통한 심층 분석 결과 수업 모형이 과학과 핵심 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력뿐만 아니라 창의성, 끈기와 인내, 심미성 등과 같은 고차원적 역량을 함양하는 데 영향을 줄 수 있으며, 교수 목적에 따라 다양한 역량 함양을 가능하게 하는 수업 모형이 될 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서 탐색한 결과를 바탕으로 본 연구의 의의 및 시사점을 도출하였고, 연구가 지닌 한계와 이를 바탕으로 후속 연구의 필요성을 제언하였다. 본 연구는 과학-정보 융합 수업 모형으로 VPython을 활용했다는 점, 교수설계 및 교수 목적에 따라 다양한 역량을 함양시킬 수 있는 수업 모형을 개발했다는 점, 과학교육과 정보교육의 융합으로서 기존의 연구 동향과는 다른 새로운 분야인 과학적 시뮬레이션 구성의 교육적 효과를 탐색했다는 점에서 의의가 있다.

주요어: 브이파이썬(VPython), 웹 브이파이썬(Web VPython),
시뮬레이션, 역량, 과학적 모형 구성, 설계·개발 연구

학 번: 2022-26773

목 차

I. 서론	1
1. 연구의 목적 및 필요성	1
가. 연구 배경	1
나. 연구 필요성	4
다. 연구 문제	11
라. 용어 정리	12
II. 이론적 배경	13
1. VPython	13
가. VPython과 Web VPython	13
나. VPython에서 구현할 수 있는 객체	15
2. 과학과 핵심 역량(Science Core Competencies)	18
가. 2022 개정 교육과정	18
나. 핵심 역량	19
다. 과학과 핵심 역량 검사 도구	22
3. 과학적 모형(Scientific Model)	25
가. 과학교육에서 과학적 모형의 중요성	25
나. 과학적 모형 구성 수업의 어려움과 교사의 역할	27
다. 과학적 실천에서의 과학적 모형 구성 및 수업 실천의 한계	28
라. 모델링 역량	32
4. 시뮬레이션(Simulation)	38
가. 시뮬레이션의 정의와 교육적 의의	38
나. 시뮬레이션의 종류	39
다. 시뮬레이션의 장점과 한계점	42

III. 연구 방법	44
1. 설계·개발 연구	44
2. 연구 절차	45
3. 초기 수업 모형, 설계 원리 및 교수전략 개발	48
가. 모형 개발 관련 선행 문헌 검토	48
나. VPython 관련 선행 문헌 검토	49
다. 시뮬레이션 온라인 플랫폼 분석	59
라. 모델링 역량 측정 관련 선행 문헌 검토	87
마. 영재 학생 특성 분석	89
4. 내적 타당화	92
가. 연구 참여자	93
나. 연구 도구 및 자료 분석 방법	95
5. 외적 타당화	98
가. 연구 참여자	98
나. 외적 타당화 적용 절차	99
다. 연구 도구 및 자료 분석 방법	109
IV. 연구 결과	113
1. 초기 모형 개발	114
가. 선행 문헌 검토와 경험적 탐색을 바탕으로 수업 모형 개발에 참 고할 설계 원리 및 교수전략 추출	114
나. 초기 수업 모형 개발	118
다. 초기 설계 원리 및 교수전략 개발	121

2. 내적 타당화 결과	126
가. 1차 전문가 타당화 결과	126
나. 2차 전문가 타당화 결과	159
3. 외적 타당화 결과	170
가. 수업 모형 적용 전 설문조사 결과	172
나. 수업 모형 적용 후 설문조사 결과	174
다. 수업 모형 적용 전·후 설문조사 결과 통계 분석	177
라. 수업 모형 적용 후 학생 인터뷰 결과	183
4. 최종 모형 개발	200
가. 수업 모형의 가정 및 특징	200
나. 최종 수업 모형	204
V. 논의 및 결론	223
1. 논의	223
가. VPython을 활용한 과학-정보 융합 수업 모형	223
나. 교수설계 및 교수 목적에 따라 다양한 역량을 함양시킬 수 있는 수업 모형	225
다. 과학교육과 정보교육의 융합으로서 새로운 분야의 탐색	228
2. 제언	230
가. 연구의 제한점	230
나. 후속 연구를 위한 제언	231
참고문헌	234
부록	258
Abstract	350

표 목 차

<표 I-1> 교육용 프로그래밍 언어로서 요구되는 특징과 부합하는 Python의 장점(유진아, 2008)	10
<표 II-1> Web VPython에서 import 없이 사용 가능한 vector operations	14
<표 II-2> Web VPython에서 import 없이 사용 가능한 math functions 15	
<표 II-3> VPython에서 기본으로 제공하는 3차원 객체	16
<표 II-4> 2015 개정 교육과정 총론의 핵심 역량과 그 의미(교육부, 2015a)	21
<표 II-5> 2015 개정 교육과정 과학과 핵심 역량과 그 의미(교육부, 2015c)	21
<표 II-6> 2015 개정 교육과정 총론의 핵심 역량과 2015 개정 과학과 교육과정의 핵심 역량 사이의 연계성(김인숙 외, 2019) ...	22
<표 II-7> 2015 개정 과학과 교육과정 핵심 역량 조사 문항(하민수 외, 2018)	23
<표 II-8> 8가지 과학적 실천과 해당 활동의 종류(강남화 & 이은미, 2013)	28
<표 II-9> 모델링 역량 중 메타 모델링 지식의 구성 요소와 수준(Upmeier zu Belzen <i>et al.</i> , 2019)	34
<표 II-10> 모델링 역량 검사를 위한 분석 틀(Lopes & Costa, 2007) 37	
<표 II-11> 시뮬레이션 유형 분류	41
<표 III-1> Richey & Klein(2007)의 설계·개발 연구 유형	44
<표 III-2> 본 연구의 연구 절차	46
<표 III-3> 본 연구의 단계별 연구 방법(Richey & Klein, 2007)	47
<표 III-4> 이종완 외(2013)가 제시한 게임 물리학 수업 커리큘럼	51
<표 III-5> VPython을 과학교육 분야 및 과학 탐구 분야에 활용한 선행 연구	58
<표 III-6> 국내외 무료 교육용 시뮬레이션 플랫폼 분석 결과	84

<표 III-7> Nicolaou & Constantinou(2014)의 모델링 역량 평가에 관한 문헌 연구 결과	87
<표 III-8> 전문가 타당화 검토 참여자 프로필 및 참여 단계	94
<표 III-9> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형에 대한 전문가 검토 문항	95
<표 III-10> 외적 타당화 검토 참여자 프로필 및 참여 단계	99
<표 III-11> 외적 타당화 과정의 단계 및 세부 내용	102
<표 III-12> 본 수업 모형을 적용한 10차시 수업 설계 개요	103
<표 IV-1> 초기 수업 모형 개발을 위해 통합적 문헌 검토와 경험적 탐색으로 도출해 낸 초기 설계 원리 및 교수전략	116
<표 IV-2> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 초기 수업 모형의 단계별 설명	119
<표 IV-3> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형의 초기 설계 원리 및 교수전략	121
<표 IV-4> 초기 수업 모형 전반에 대한 1차 전문가 타당화 결과	127
<표 IV-5> 초기 수업 모형에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항	128
<표 IV-6> 초기 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 1차 전문가 타당화 결과	130
<표 IV-7> 초기 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항	131
<표 IV-8> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 2차 모형의 단계별 설명	134
<표 IV-9> 초기 설계 원리 및 교수전략에 대한 1차 전문가 타당화 결과	140
<표 IV-10> 초기 설계 원리 및 교수전략에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항	142
<표 IV-11> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 2차 모형의 설계 원리 및 교수전략	143
<표 IV-12> 1차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 1차 전문가 타당화 결과	150

<표 IV- 13> 1차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항	151
<표 IV-14> 2차 학생 인터뷰 질문 문항	152
<표 IV-15> 1차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 1차 전문가 타당화 결과	157
<표 IV-16> 1차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항	158
<표 IV-17> 2차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항	158
<표 IV-18> 2차 수업 모형 전반에 대한 2차 전문가 타당화 결과	159
<표 IV-19> 2차 수업 모형에 대한 2차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항	161
<표 IV-20> 2차 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 2차 전문가 타당화 결과	162
<표 IV-21> 2차 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 2차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항	163
<표 IV-22> 2차 설계 원리 및 교수전략에 대한 2차 전문가 타당화 결과	164
<표 IV-23> 2차 설계 원리 및 교수전략에 대한 2차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항	165
<표 IV-24> 2차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 2차 전문가 타당화 결과	166
<표 IV-25> 2차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 2차 전문가 타당화 결과	170
<표 IV-26> 외적 타당화 과정에서 수집한 데이터	171
<표 IV-27> 수업 모형 적용 전 설문조사 응답 결과($n=13$)	172
<표 IV-28> 수업 모형 적용 후 설문조사 응답 결과($n=12$)	174
<표 IV-29> 수업 모형 적용 전·후 설문조사 공통 문항 및 통계 분석을 위해 새로 부여한 문항 번호	178
<표 IV-30> 기본 문항에 대한 Wilcoxon signed-rank 검정 결과($n=12$)	179

<표 IV-31> 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 Wilcoxon signed-rank 검정 결과($n=12$)	180
<표 IV-32> 과학과 핵심 역량 조사 문항에 대한 Wilcoxon signed-rank 검정 결과($n=12$)	181
<표 IV-33> Wilcoxon signed-rank 검정 결과 유의한 차이를 보인 문항	182
<표 IV-34> VPython의 장점 및 단점	189
<표 IV-35> 시뮬레이션 생성 과정에 사용한 면담자들의 전략	194
<표 IV-36> 생성형 AI에 대한 면담자들의 긍정 의견과 부정 의견 ...	194
<표 IV-37> 과학과 핵심 역량에 관한 면담자들의 응답	196
<표 IV-38> 본 연구에서 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력을 파악하기 위한 인터뷰 질문지 문항	198
<표 IV-39> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 최종 모형의 단계별 설명	208
<표 IV-40> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 최종 모형의 설계 원리 및 교수전략	215

그 립 목 차

[그림 I -1] Giere(2018)가 제시한 과학적 모형과 과학 활동의 관계	4
[그림 II -1] DeSeCo 프로젝트에서 제시한 3대 핵심 역량 범주(OECD, 2005)	20
[그림 II -2] GEM cycle(Rea-Ramirez <i>et al.</i> , 2008)	26
[그림 II -3] 수정 GEM cycle(유희원 외, 2012)	26
[그림 III-1] 자바실험실 시뮬레이션 자료 일부	61
[그림 III-2] 지능형 과학실 ON의 학습 자료실에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부	63
[그림 III-3] 지능형 과학실 ON에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예(좌)와 저작도구형 시뮬레이션의 예(우)	63
[그림 III-4] VlabON에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부	65
[그림 III-5] VlabON에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예	66
[그림 III-6] Academo에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부	66
[그림 III-7] Academo에서 제공하는 저작도구형 시뮬레이션의 예	67
[그림 III-8] Concord Consortium에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부	68
[그림 III-9] Concord Consortium에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예	68
[그림 III-10] LabXChange에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부	69
[그림 III-11] LabXChange에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예	70
[그림 III-12] NetLogo에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부	71
[그림 III-13] OpenSciEd에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부	72
[그림 III-14] OpenSciEd에서 제공하는 NetLogo로 개발된 시뮬레이션의 예	72
[그림 III-15] PhET에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부	74
[그림 III-16] PhET에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예(좌)와 저작도구형 시뮬레이션의 예(우)	74
[그림 III-17] ‘알지오 2D’의 화면 구성(좌)과 Desmos의 화면 구성(우)	75

[그림 III-18] oPhysics에서 제공하는 저작도구형 시뮬레이션의 예	77
[그림 III-19] Physics at school에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부 ..	78
[그림 III-20] Physics at school에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예 ..	78
[그림 III-21] Physics Simulations에서 제공하는 시뮬레이션 자료	79
[그림 III-22] Physics Simulations에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예	79
[그림 III-23] Physics Simulations에서 제공하는 저작도구형 시뮬레이션의 예	80
[그림 III-24] ChemCollective에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예 ..	81
[그림 III-25] Biology Simulations에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예	82
[그림 III-26] Biology Simulations에서 제공하는 저작도구형 시뮬레이션의 예	82
[그림 III-27] JonDarkow에서 제공하는 저작도구형 시뮬레이션의 예 ..	83
[그림 III-28] 2차시: VPython으로 시뮬레이션 구현을 연습하는 모습	104
[그림 III-29] 3차시: 팀 구성 및 주제 탐색 모습	104
[그림 III-30] 4차시: 주제 선정 및 코딩 수행 모습	104
[그림 III-31] 5~8차시: VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 개발 모습	105
[그림 III-32] 9~10차시: 시뮬레이션 발표 및 피드백 모습	105
[그림 III-33] 2차시: 금(Au)의 FCC 구조(Zumdahl <i>et al.</i> , 2020)(a)와 학생들이 VPython으로 구현한 FCC 구조(b)	106
[그림 III-34] 2차시: 학습자 i(위)와 학습자 l(아래)이 VPython으로 구현한 자유 낙하, 공기 저항을 반영한 낙하, 포물선 운동 시뮬레이션	106
[그림 III-35] 9~10차시: 학습자들이 VPython을 활용하여 구성한 과학적 시뮬레이션 1	107
[그림 III-36] 9~10차시: 학습자들이 VPython을 활용하여 구성한 과학적 시뮬레이션 2	108

[그림 IV-1] VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 초기 수업 모형	118
[그림 IV-2] VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 2차 모형	133
[그림 IV-3] 연구 참여자가 수업을 통해 함양되었다고 응답한 역량($n=12$)	175
[그림 IV-4] 연구 참여자가 VPython의 활용이 학습에 도움이 될 것으로 생각한 교과($n=12$)	176
[그림 IV-5] VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 최종 모형	207

I. 서론

1. 연구의 목적 및 필요성

가. 연구 배경

교육부(2020a)는 인공지능(AI)의 중요성이 강조되는 미래 사회의 발전을 선도하는 세계적인 인재 양성을 목표로 과학·수학·정보·융합 교육 종합계획('20~'24)을 발표하였다. 과학·수학·정보·융합 교육 종합계획을 통해 인공지능(AI), 가상현실(VR), 증강현실(AR) 등 최첨단 에듀테크 기술을 교육 현장에 본격적으로 도입하려는 시도를 보였다. 제4차 과학 교육 종합계획(2020년~2024년)의 비전을 '지능정보사회의 소양을 갖추고 세계를 선도하는 인재 양성'으로 설정하였으며, '기초를 다지고, 첨단을 누리고, 미래를 이끄는 과학교육'을 목표로 설정하였다. 목표 달성을 위한 6가지 추진 전략 중 하나는 '첨단과학기술 활용 과학 수업 강화'이며, 실물을 활용한 실험의 한계를 극복하고 학생 스스로 다양하게 실험을 설계하고 수행할 수 있도록 과학 시뮬레이션 소프트웨어 개발을 추진하고 있다(교육부, 2020b). 제4차 융합교육 종합계획(2020년~2024년)에서는 비전을 '미래 사회에 대응한 핵심 역량을 갖춘 융합형 인재 양성'으로 설정하였으며, 융합형 인재 양성을 위한 교육 방법으로 프로젝트 수업을 강조하였다(교육부, 2020c).

과학교육에서는 학생이 과학 지식의 구성 과정에 직접 참여해 볼 수 있는 교수·학습 환경을 구축해야 한다고 지속적으로 강조하고 있다(교육부, 2015a; 교육부, 2015b; 교육부, 2015c; 교육부, 2022a; 교육부, 2022b; 교육부, 2020c; National Research Council, 2012). OECD(2018)는 학습 틀(Learning Framework)의 바탕이 되는 개념으로 학생 행위주체

성(Student Agency)을 강조하였으며, ‘새로운 가치 창출하기’, ‘책임감 갖기’, ‘긴장과 딜레마에 대처하기’라는 변혁적 역량 중심의 OECD 학습 나침반(OECD Learning Compass)을 제시하였다. 이상은 외(2018)에서는 학생 행위주체성의 개념을 목적의식, 성찰적 태도, 목적 달성을 위한 투자, 책임감의 네 가지 요소로 구성되어 있다고 주장하였다. 즉, 학생 행위주체성은 학생 스스로 추구하고자 하는 목적을 가지고(목적의식), 자신의 학습이나 행동의 모든 과정에 대해 성찰하는 태도를 보이며(성찰적 태도), 자신의 목적 달성을 위해 적극적으로 시간과 지적·신체적 노력을 투자하고(목적 달성을 위한 투자), 자기 행동에 책임을 지는 태도(책임감)로 정의하였다.

우리나라도 시대의 흐름에 맞추어 2022 개정 교육과정을 통해 학생이 지식·이해뿐만 아니라 과정·기능, 가치·태도를 균형 있게 발달시키고, 학생이 행위 주체로서 자신의 역량을 함양하기 위해 적극적으로 교수·학습에 참여하는 것을 강조하였다. 특히 미래 교육 환경과 연계하여 다양한 교수·학습 활동을 통해 디지털·인공지능 기초 소양 함양을 강조하였다. 2022 개정 교육과정에서는 미래 사회의 발전을 선도하는 세계적 인재 양성을 위해 추구하는 인간상을 달성하고, 학생에게 요구하는 핵심 역량을 기르기 위해 수업을 설계하고 실천하는 교사의 디지털 교수역량 강화를 요구하고 있다. 이를 통해 궁극적으로 학생에게 미래 사회에 걸맞은 디지털·인공지능 소양을 함양시키는 것을 목표로 제시하고 있다(교육부, 2022a; 교육부, 2022b). 이에 정부에서는 모든 교과교육을 통해 디지털·인공지능 기초 소양을 함양할 수 있는 정책으로 AI 교육 거점학교 운영, 학교 교육과정과 연계한 AI 수업 및 체험활동 활성화 등을 통해 AI 융합 교육 모델 확산을 추진하였다. 또한 교사의 AI 및 정보 역량을 강화하기 위해 교육대학원에 AI 융합 교육 전공을 신설하여 교육대학원 재교육 과정 운영을 통해 현직 교사의 AI 융합 교육 역량 강화를 지원하고, 교원 양성 대학에서 미래 세대의 AI 교육을 위한 인적 기반을 조성하였다(관계부처 합동, 2022). 이러한 사회적 요구에 따라 인공지능 융합 교육에 관한 연구가 많이 실시되고 있으며(송유경, 2021; 송유경 외

2021; 이소율 & 이영준, 2021; 조훈 & 손정주, 2022; 한국과학창의재단, 2022), 이와 더불어 VR(Virtual Reality), AR(Augmented Reality) 등 최신 기술을 교육에 도입하려는 다양한 연구가 이루어지고 있다(전영은, 2023; 최섭, 2021; 최섭 & 김희백, 2020; 홍춘표 & 김용연, 2010; Seo *et al.*, 2018). 또한 프로그래밍 언어 중 하나인 Python이 대학뿐만 아니라 고등학교 수학·과학 분야에서도 효과적인 언어임이 많은 연구를 통해 증명되면서(Ahamed *et al.*, 2010; Allan *et al.*, 2010), 교과 학습에 Python을 활용하려는 시도가 다양하게 이루어졌다(김민환 외, 2020; 김수란 외, 2023; 노동규, 2023; 최유정, 2021).

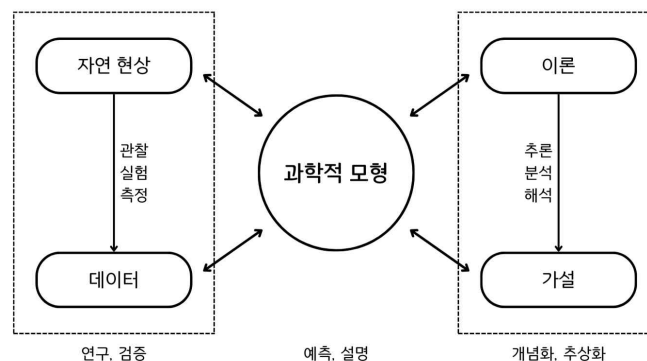
이러한 시대의 요구에 따라 학생이 디지털·인공지능 소양을 갖춘 미래 사회를 이끌어갈 과학자·공학자로 성장하는 데 도움이 될 수 있도록 Python 언어를 기반으로 개발된 VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 구성하는 수업 모형을 개발하고자 한다. 모든 교과교육에 정보과학의 융합을 강조하고 있는 상황에서 특히 과학교육과 정보교육의 융합을 기반으로 한 과학적 시뮬레이션 구성은 이론을 검증하거나 실험을 수행하기 어려운 극한 상황, 추상적으로 인지하기 어려운 미시 세계 또는 거시 세계, 빅 데이터에 대한 해석 등에서 도움을 줄 수 있을 것으로 예상된다. 2013년 노벨화학상은 단백질 같은 고분자의 화학적 성질을 알아내는 시뮬레이션을 개발한 화학자들에게 수여되었다(NobelPrize.org, 2024). 이는 컴퓨터를 이용한 가상공간에서의 연구가 4차 산업혁명 시대에 중요한 분야임을 시사하는 것이다. 과학·정보가 융합된 전산물리학, 계산화학, 생물정보학 등의 연구 분야가 있는 것처럼 실험적 한계를 컴퓨터 프로그램을 이용하여 극복할 수 있는 것도 미래 사회를 이끌어갈 학생에게 필요한 역량이다. 따라서 과학교육에서 이러한 역량을 함양할 방안으로 과학교육과 정보교육을 융합한 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’의 모형을 개발하고자 한다.

나. 연구 필요성

1) 과학교육에서 모형의 필요성 및 기존 모형의 한계

과학적 모형 구성(Scientific modeling)은 과학 개념을 더 쉽게 이해하고, 자연 현상을 잘 설명하기 위해 과학적 모형을 생성하는 활동을 의미한다. 과학적 모형은 과학적으로 사고하고 작업하는 데 필수적이며, 과학 개념의 이해를 돕고 자연 현상을 설명하거나 예측하는 데 도움을 준다(Gilbert, 2004). 또한 과학적 모형은 과학 지식을 생산하는 데 필수적이다(Giere, 1988; Gilbert, 1991). 과학적 모형을 통해 관찰되는 현상을 간단하고 명료하게 묘사할 수 있고, 이상적인 조건을 바탕으로 자연 현상을 설명하는 도구로써 활용되며, 추상적인 이론을 설명하기 위해 모형이 만들어지기도 한다(Gilbert, 2004). 즉, 과학적 모형은 추상적인 실체를 시각화하며(Francoeur, 1997), 복잡한 현상을 간단하게 설명하는 방법을 제공한다(Rouse & Morris, 1986). 또한 과학적 모형은 현상이 어떤 방식으로 일어나는지에 대한 설명을 제공하며, 데이터를 바탕으로 예측할 수 있게 해준다(Schwarz *et al.*, 2009).

Schwarz *et al.*(2009)은 과학적 모형 구성 과정을 과학 탐구에서 핵심적이고 본질적인 활동으로 보았다. Giere(2018)도 모형 구성 과정이 연구 수행 과정과 거의 같다고 보았으며, [그림 I-1]과 같이 과학적 모형과 과학 활동의 관계를 제시하였다.



[그림 I-1] Giere(2018)가 제시한 과학적 모형과 과학 활동의 관계

과학적 모형은 보이지 않는 요소들을 가시화하거나, 복잡한 자연 현상을 추상화·단순화하여 나타내는 등 과학 개념과 이론을 다양한 형태로 조직화하여 드러낸다(Gilbert, 1995; Schwarz *et al.*, 2009). 모형에 관한 이론적, 실증적 연구들에서 연구자마다 제시하고 있는 모형의 정의, 역할, 표상 방법 등에 관한 의견은 다양하지만, 모형이 과학 개념, 가설 및 이론, 자연 현상, 데이터 등과 상호작용하며 과학에 대한 이해를 돕는다는 공통된 주장을 보인다(하희수 외, 2018; Giere, 2018; Gilbert, 2004). 하지만 기존의 교육용 모형은 텍스트, 그림 등의 2차원적 표상이므로 현실성을 반영하는 데 한계가 있다. 텍스트, 그림 등의 2차원적 표상은 다양한 시점에서 일어나는 사건과 상황에 대해 이해를 돕거나 분석적 활동을 수행하는 데 한계를 지닌다. 따라서 교과서에서 제시하고 있는 정적인 도형과 그림, 기존의 교육용 모형이 제시하고 있는 2차원적 표상은 학생들의 과학 개념의 이해를 돕는 데 어려움이 있다(한형중, 2019; 한형중 & 임철일, 2020; Burke *et al.*, 1998). 한형중(2019) 및 한형중 & 임철일(2020)의 연구에서는 이러한 한계를 극복하는 방안으로 가상현실을 기반으로 한 교육용 시뮬레이션의 활용 가능성을 탐색하였다. 가상현실을 기반으로 한 시뮬레이션은 3차원 환경을 구현할 수 있다. 이를 통해 특정 시점이 아닌 다양한 시점에서 과학 개념을 이해하는 데 도움을 줄 수 있고, 기존 모형보다 현실적인 학습 경험을 제공할 수 있다.

2) 과학적 모형 구성 수업의 어려움과 컴퓨터 기반 교수·학습 방법 도입의 필요성

학생이 직접 과학적 모형을 구성하고 수정하는 과정에 참여하는 것은 과학 지식을 구성하는 데 효과적이고 중요한 과정임이 여러 연구를 통해 밝혀졌다(박희경, 2015; 하희수 외, 2018; Baek, 2013; Baek & Schwarz, 2015; Clement, 2000; Gilbert *et al.*, 2000a). 하지만 학생은 직접 과학적 모형 구성 과정에 참여하는 것을 어려워한다. 학생은 본인 스스로 지식을 생성할 수 없을 것이라는 인식이 있으며(Baek, 2013), 추상적인 과학

개념을 이해하고 이를 과학적 모형으로 시각화하는 데 어려움을 느낀다(Parker & Heywood, 1998). 또한 과학 개념에 대한 직접적인 상호작용의 경험을 할 수 없는 상황에서 과학적 모형을 구성하는 데 어려움을 겪는다(Bell & Trundle, 2008). 이러한 어려움을 극복하기 위해 컴퓨터 또는 스마트 기기를 과학교육에 적용하는 연구가 지속적으로 이루어져 왔다(최섭, 2021; 하희수 외, 2018; 한정선 외, 2011; 한형중, 2019; Barab *et al.*, 2000; Baek & Schwarz, 2015; McGrath *et al.*, 2018; Merchant *et al.*, 2014; Merchant *et al.*, 2012). 최근에는 컴퓨터를 이용한 MBL 실험, 스프레드시트 프로그램뿐만 아니라 멀티미디어 자료, 스마트 기기 애플리케이션, VR(Virtual Reality), AR(Augmented Reality) 등 다양한 기술을 교육 현장에 도입하려는 시도가 이루어지고 있다. Buckley(2000)는 심장의 수축과 팽창에 대한 모형 구성 수업에 멀티미디어 영상 자료를 활용하였고, Chiu *et al.*(2019)는 분자 구조 모형에 대한 학생의 개념을 확인하는 데 AR을 이용하였으며, 하희수 외(2018)는 순환계에 대한 학생의 개념변화를 탐색하는 데 스마트 기기 애플리케이션을 활용하였다.

이렇듯 과학적 모형 구성 과정에서 컴퓨터 기반 교수·학습 방법을 도입한 연구가 다양하게 이루어져 왔고, 이에 대한 교육적 효과가 탐색되었다. 특히 컴퓨터 프로그래밍 언어를 활용한 교수·학습 방법은 수치계산(Numerical Computation), 기호 연산(Symbolic Computation), 시각화(Visualization), 확률적 시뮬레이션(Stochastic Simulation) 측면에서 교육적으로 활용할 수 있다. 기호 연산 측면에서는 수학 교육에서의 전통적인 교수·학습 방법의 대안으로 컴퓨터 프로그래밍 언어를 사용할 수 있으며(Royrvik, 2000), 프로그래밍 언어를 활용하여 수학적인 능력의 제약 없이 문제를 다룰 수 있게 도와주며(Abichandani *et al.*, 2010), 이를 통해 수학적인 계산보다 수학적인 접근 방법에 집중하여 학습할 수 있도록 해준다(Beltzer & Shenkman, 1995). 시각화 측면에서는 시각적으로 관찰하기 어려운 자연 현상을 이해하는 데 도움을 주며, 학습한 과학 지식을 적용할 수 있도록 도와준다(Hammond, 1971). 확률적 시뮬레이션 측면에서는 비용이나 현실성의 제약을 받지 않고 문제를 해결할 수 있도

록 도와주며(김중혜, 2014), 현실에서 실행 불가능한 아이디어를 탐구하는 데 중요한 역할을 한다(Ahamed *et al.*, 2010). 그 외에도 학생은 프로그래밍을 통해 문제 해결력을 기를 수 있으며(김현정, 2010), 창의력과 논리력을 키울 수 있다(이미현 & 구덕희, 2011). 또한 프로그래밍 과정에서 코드의 완성을 통해 성취감과 자신감, 협동심과 상호작용 능력 등 학생의 정의적 영역도 향상시킬 수 있다(김은진, 2009).

과학적 모형 구성 과정에 컴퓨터 기반 교수·학습 방법을 도입하는 것은 학생의 인지적 측면과 정의적 측면에 대해 교육적으로 긍정적 효과가 있음이 여러 연구를 통해 확인되었다. 따라서 프로그래밍 언어를 활용한 컴퓨터 기반 교수·학습 방법을 도입하여 학생이 직접 과학적 모형 구성 과정에 참여할 수 있는 방안을 모색해 보고자 한다.

3) 영재 교육에서 과학적 모형 구성 수업의 필요성과 과학적 모형으로서 시뮬레이션의 필요성

일반 학생을 대상으로 하는 교육뿐만 아니라 영재 학생을 대상으로 하는 영재 교육에서도 과학적 모형 구성 수업은 중요하다. 김미숙 외(2005)의 연구 결과에 따르면 영재 학생은 일반 학생보다 지능지수가 높으며, 다양한 학습양식 중 프로젝트, 독립학습, 토론학습 등 자기 주도적이고 비구조화된 수업을 선호하였다. 창의성에서도 일반 학생보다 더 강한 창의성을 보였으며, 창의적 성취와 관련하여 인내심이 강하고 자기 확신이 있으며, 호기심과 상상력이 풍부한 것으로 나타났다. 또한 개방적이고 모험심이 많은 것으로 조사되었다. 이정철 외(2009)의 연구에서도 영재 학생이 과학적 태도 측면에서 높은 호기심, 창의성, 자기 주도성이 있음이 밝혀졌다. 또한 일반 학생보다 협동성과 개방성도 높다는 연구 결과를 보였으며, 영재 학생의 특성을 반영할 수 있는 조별 협동 학습과 토론식 수업의 중요성을 강조하였다. 과학영재 학생에게 필요한 교육은 단순히 과학적 지식을 가르치는 것을 넘어, 과학자적 자질과 소양을 길러주는 방식의 수업이어야 한다. 과학적 모형을 구성하는 과정은 과학자

가 수행하는 진정한 실행(authentic practice)을 경험하는 과학의 본질적인 활동이다(Schwarz *et al.*, 2009). 따라서 과학영재 학생의 성장을 위해 영재 학생의 특성을 반영한 과학적 모형 구성 수업이 필요하다. 또한 대부분의 과학적 모형은 텍스트, 그림 등의 2차원적 표상이므로 현실성을 반영하는 데 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하는 방안으로 과학적 모형으로서 시뮬레이션을 활용하고자 한다. 시뮬레이션은 3차원 환경을 구현할 수 있으며, 특정 시점이 아닌 다양한 시점으로 과학적 모형을 표현할 수 있다.

4) 영재 교육에서 과학적 모형으로서 시뮬레이션 구성 수업의 필요성과 VPython 활용 가능성

시뮬레이션이 과학교육에 매우 효과적이라는 연구 결과를 바탕으로(김가은 외, 2003; 최섭, 2021; Dickes *et al.*, 2019; de Jong, 2006; Gobert *et al.*, 2012; Liu *et al.*, 2008; Plass *et al.*, 2012) 국가 교육과정 수준 및 내용과 연관된 교육용 시뮬레이션이 많이 개발되고 보급되었다. 이렇게 개발되어 교육용으로 제공된 시뮬레이션은 초·중·고등학교 교육과정에 기반한 시뮬레이션으로 국가 교육과정 수준에서 학습을 촉진하는 데 매우 유용한 도움을 준다(Finkelstein *et al.*, 2007; Moore *et al.*, 2013; Keller *et al.*, 2007).

하지만 영재학교는 국가 교육과정을 따르지 않고 영재학교 자체 교육과정을 수립하여 운영한다. 따라서 시뮬레이션을 활용하여 영재 학생이 요구하는 다양한 분야에 대한 학습과 탐구가 이루어지기 위해서는 개발자에 의해 개발되어 보급되는 시뮬레이션이 아닌, 다른 방식을 모색할 필요가 있다. 본 연구에서는 영재 교육에서 학생이 직접 과학적 시뮬레이션을 구성하여 학습과 탐구가 이루어지도록 하는 방안으로 VPython을 활용한 수업 모형을 개발하고자 한다. VPython을 활용하면 영재 학생에게 개방적인 시뮬레이션 개발 환경을 제공할 수 있다.

VPython은 ‘시각적(Visual)’을 의미하는 ‘V’와 컴퓨터 프로그래밍 언어

인 Python이 결합한 것으로, Python 언어에 3차원 그래픽 모듈을 탑재한 프로그래밍 언어를 의미한다. VPython은 프로그래밍 경험이 부족한 사람도 쉽게 3차원 디스플레이와 애니메이션을 개발할 수 있는 환경을 제공해 준다. 또한 웹 브라우저에서 바로 VPython 프로그래밍을 작성하고 실행할 수 있으며, 무료로 클라우드에 저장하여 다른 사람들과 쉽게 공유할 수 있다. VPython을 이용하면 3차원 도형을 간단한 코드로 생성할 수 있고, 실행 결과화면에서 3차원 객체를 마우스로 제어할 수 있다(Chabay & Sherwood, 2023). 또한 문법이 간단하여 인지적 부담이 적고, 인터프리터 언어(Interpreted Language)로 코드 한 줄마다 바로 실행하여 결과를 볼 수 있어 디버깅이 용이하며, 교육과정 연계가 가능하다는 Python의 장점을 모두 갖추고 있다(김지혜, 2015). 3차원 시각화 기능을 무료로 제공하고, Web VPython(GlowScript)을 제공하여 웹 브라우저에서 바로 프로그램을 실행할 수 있어 사용 환경에 제약이 없는 장점이 있다. 이러한 장점을 바탕으로 VPython은 물체의 움직임을 연구하는 물리학 분야에서 종종 활용되었다(김창배 외, 2000; 박일우, 2022; 이종완, 2023; 이종완 & 송창근, 2013; Fennell *et al.*, 2019; Idris & Idris, 2023; Scherer *et al.*, 2000). Scherer *et al.*(2000)은 미국 카네기 멜런 대학교의 기초 물리학 수업에서 VPython 활용의 효과를 탐색하였으며, 연구 결과로 프로그래밍 지식이 없는 공대 신입생들이 VPython을 쉽게 학습하였고 학습한 물리 개념 및 구조를 3차원 그래픽으로 시뮬레이션하여 교과 지식을 습득하는 데 효과적임을 보였다. 또한 VPython은 Python을 기반으로 한 프로그래밍 언어이므로, <표 I-1>에서 제시한 교육용 프로그래밍 언어(Educational Programming Language; EPL)로서 요구되는 특징에 모두 부합한다는 장점이 있어 교육적 활용 가치가 높다(유진아, 2008).

<표 I -1> 교육용 프로그래밍 언어로서 요구되는 특징과 부합하는 Python의 장점(유진아, 2008)

특징	내용
이해하기 쉬움	구문이 간결하여 쉽게 이해할 수 있고, 다른 프로그래밍 언어에 비해 습득 시간을 줄일 수 있음
프로그래밍 원리를 학습할 수 있음	기본적인 알고리즘을 구성할 수 있어야 하며, 이를 통해 프로그램을 구조화할 수 있음
시각적으로 학습 결과를 확인할 수 있음	프로그래밍한 결과를 바로 시험해 볼 수 있으며, 결과를 실행 즉시 시각적으로 확인할 수 있음
사용과 유지가 용이함	다른 프로그래밍 언어에 비해 코드를 작성하기 쉬우며, 코드 수가 짧아서 읽기 쉬움
재사용이 가능하며, 이식성이 좋음	거의 모든 운영체제 지원이 가능함

VPython은 교육용 프로그래밍 언어로써 활용 가능성이 크지만, 교육적 효과나 교육 프로그램에 관한 연구는 주로 대학 수준에서 이루어지고 있다(김창배 외, 2000; 박일우, 2022; 이종완, 2023; 이종완 & 송창근, 2013; Fennell *et al.*, 2019; Idris & Idris, 2023; Scherer *et al.*, 2000). 고등학교 수준에서도 VPython을 활용할 수 있지만(유진아, 2008; 윤정은, 2022), 가능성에 비해 VPython을 활용한 설계·개발 연구는 미미하다.

VPython은 가상공간에서 3차원 시각화 기능을 무료로 제공하며 3차원 객체를 쉽게 생성할 수 있어, 텍스트와 그림 등 2차원적 표상의 과학적 모형의 한계를 극복할 수 있다. 또한 프로그래밍을 통해 3차원 객체의 움직임을 구현하여 과학적 모형의 하나로서 과학적 시뮬레이션을 개발할 수 있으며, 학생이 직접 과학적 시뮬레이션 개발을 통해 자신이 관심 있는 다양한 분야에 대한 학습과 탐구 경험을 제공해 줄 수 있다. 게다가 Python을 기반으로 한 언어로 학생이 쉽게 익힐 수 있으며, 프로그래밍 과정을 통해 인지적 영역뿐만 아니라 정의적 영역도 발달시킬 수 있다.

본 연구에서는 과학영재 고등학생을 대상으로 과학적 모형의 하나로서 과학적 시뮬레이션을 학생이 직접 구현할 수 있는 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’의 모형을 개발하고자 한다. VPython 또는

Web VPython을 활용하여 과학교육과 정보교육을 융합하고, 학생이 직접 과학 개념을 시뮬레이션으로 시각화하는 수업을 교수자가 설계할 수 있도록 교수·학습 모형과 설계 원리 및 교수전략을 개발하여 보급함으로써 교수자의 수업을 지원하고자 한다. 또한 본 연구에서 개발한 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’의 모형과 설계 원리 및 교수전략을 바탕으로 과학영재 고등학교 맥락에서 수업을 직접 설계해 보고, 이를 실행하여 영재 학생에게 본 수업 모형이 교육적으로 어떤 효과가 있는지 탐색해 보고자 한다.

다. 연구 문제

본 연구의 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

연구 문제 1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형은 어떻게 구성되는가?

연구 문제 2. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형이 내적으로 타당한가?

연구 문제 3. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형은 어떠한 교육적 효과가 있는가?

라. 용어 정리

시뮬레이션은 연구하는 학자마다, 사용하는 분야마다 그 정의가 매우 다양하다. de Jong & van Joolingen(1998)은 시뮬레이션의 유형을 크게 두 가지로 분류하였다. 첫 번째 유형은 개념적 모형(Conceptual Models)으로 전기 회로, 기체 입자 운동 등을 특정 개념을 시각화한 시뮬레이션 유형이다. 개념적 모형은 컴퓨터 시뮬레이션이라고도 한다. 두 번째 유형은 작동적 모형(Operational Models)으로 비행기 조종이나 자동차 운전 등 기기 조작과 같은 훈련 상황, 가상 수술이나 가상 실험 등 모의실험 상황에 대한 경험을 제공해 주는 시뮬레이션 유형이다. 본 연구에서 언급하는 ‘시뮬레이션’ 또는 ‘과학적 시뮬레이션’은 가상공간에서 과학 개념 및 이론을 시간에 따른 움직임이나 3차원으로 시각화한 개념적 모형의 논리적 시뮬레이션을 의미한다.

또한 본 연구에서는 ‘시뮬레이션’을 ‘동적 모형(Dynamic model)’의 개념을 포함하는 용어로 사용하였다. 동적 모형은 시간에 따른 움직임을 포함한 모형이다. 모델링과 시뮬레이션은 모두 시스템 또는 프로세스의 표현을 만드는 활동이며, 수학 방정식 및 알고리즘 또는 컴퓨터 프로그램을 바탕으로 만들어진다. 모델링과 시뮬레이션 모두 미래를 예측하거나 복잡한 자연 현상 또는 시스템을 더 잘 이해하는 데 활용된다. 모델링과 시뮬레이션의 가장 큰 차이는 계산의 유무이다. 즉, 모델링은 어떤 현상을 해석하고 이해하며, 결과를 예측하기 위해 조건에 맞게 특정 상황을 가장 잘 표현한 것을 의미하며, 시뮬레이션은 모델링을 통하여 결과를 예측하기 위해 계산하는 과정을 의미한다. 현재 <표 III-6>에서 탐색한 것처럼 국내외 무료 교육용 시뮬레이션 온라인 플랫폼에서는 시뮬레이션의 의미를 ‘동적 모형(Dynamic model)’의 개념과 동일하게 사용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 의미하는 ‘시뮬레이션’은 ‘동적 모형’ 또는 de Jong & van Joolingen(1998)이 분류한 개념적 모형의 시뮬레이션이다.

II. 이론적 배경

1. VPython

가. VPython과 Web VPython

2000년 카네기 멜런 대학교의 David Scherer와 Ari Heitner, Ian Peters, David Andersen, Ruth Chabay, Bruce Sherwood는 cT 프로그래밍 언어의 가능성을 보고 물리학 수업에서 프로그래밍을 모르는 초보자도 쉽게 프로그램을 구현할 수 있도록 VPython의 시초가 된 Python의 Visual 모듈을 개발하였다. VPython이 개발되기 전에는 카네기 멜런 대학교의 Innovation in Learning 센터에서 개발한 cT 프로그래밍 언어가 사용되었다. cT 프로그래밍 언어는 그래픽 사용자 인터페이스(Graphic User Interface; GUI)와 2차원 그래픽 구현 기능을 지원하였고, 카네기 멜런 대학교의 물리학 수업에서 그래픽 애니메이션의 모델링에 사용되었다(Scherer *et al.*, 2000).

VPython의 장점은 다음과 같다. 첫째, 대화형 3차원 그래픽을 통해 사용자가 더욱 쉽게 시각화할 수 있다. 둘째, Visual 모듈이 자동으로 3차원 디스플레이를 생성하고 업데이트하여 사용자가 따로 3차원 디스플레이 코드를 작성할 필요가 없어 프로그래밍 코드의 가독성이 높다. 셋째, 삼각법(Trigonometry) 대신 벡터(Vector) 계산을 제공하여 3차원 객체를 쉽게 생성할 수 있고, 프로그래밍이 편리하다. 그 외에도 VPython은 Python 프로그래밍 언어를 바탕으로 하고 있어 누구나 쉽고 자유롭게 사용할 수 있으며, 학습이 용이하고 Window, Mac, Linux 등 다양한 운영체제에서 실행할 수 있다. 또한 3차원 객체를 코드로 쉽게 생성할 수 있으며, 간단한 프로그래밍으로 객체의 움직임을 3차원 공간에 쉽게 표

현할 수 있어 3차원 시뮬레이션을 위한 최적의 환경을 제공해 준다(이종완 & 송창근, 2013).

Web VPython은 GlowScript라고도 하며, WebGL(Web Graphics Library)을 이용하여 브라우저에서 바로 VPython을 사용할 수 있는 환경을 제공해 주는 프로그램이다. Web VPython을 사용하면 브라우저에서 바로 VPython 프로그램을 작성하고 실행할 수 있으며, 무료로 클라우드가 제공되어 다른 사람들과 쉽게 공유할 수 있다. 다만 수치 연산을 위한 Python 라이브러리인 NumPy나 데이터 처리와 분석을 위한 Python 라이브러리인 Pandas는 Web VPython에서 사용하지 못한다. 만약 VPython으로 코딩할 때 NumPy와 Pandas를 사용해야 할 경우에는 VPython을 설치해서 사용해야 한다. 그 외에도 일반적으로 Python 모듈을 Web VPython 프로그램으로 import 할 수는 없지만, Web VPython은 <표 II-1>에서 제시한 벡터 연산과 <표 II-2>에서 제시한 math 함수를 제공하고 있으며, 예외적으로 random 모듈을 import 하여 사용할 수 있다(Chabay & Sherwood, 2023).

<표 II-1> Web VPython에서 import 없이 사용 가능한 vector operations

vector operation	의미
$a + b$	벡터 a 와 벡터 b 의 합
$2a$	벡터의 스칼라 곱셈
$\text{mag}(a)$	벡터의 크기
$\text{hat}()$ 또는 $\text{norm}()$	단위 벡터
$\text{dot}()$ 또는 $\text{cross}()$	벡터의 내적
$\text{diff\_angle}(a,b)$	벡터 a 와 벡터 b 사이의 각도를 라디안으로 반환
$\text{proj}(a,b) = \text{dot}(a, \text{hat}(b)) * \text{hat}(b)$	벡터 a 를 벡터 b 에 벡터 사영(투영)
$\text{comp}(a,b) = \text{dot}(a, \text{hat}(b))$	벡터 a 를 벡터 b 에 스칼라 사영(투영)
$\text{random}()$	-1부터 1까지 값으로 임의 벡터 생성
$\text{rotate}(a, \text{angle}=b, \text{axis}=\text{vector}(x,y,z))$	벡터 a 를 라디안 b 만큼 회전축 axis 에 대해 회전

<표 II-2> Web VPython에서 import 없이 사용 가능한 math functions

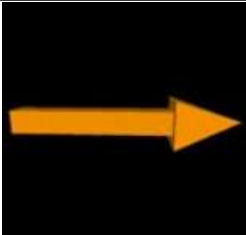
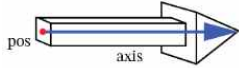
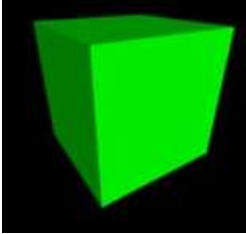
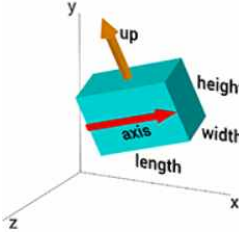
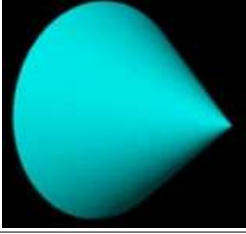
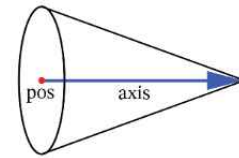
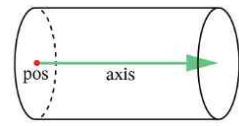
math function	의미	math function	의미
abs(x)	$ x $	sqrt(x)	$\sqrt{x}$
sin(x)	$\sin x$	asin(x)	$\arcsin x$
cos(x)	$\cos x$	acos(x)	$\arccos x$
tan(x)	$\tan x$	atan(x)	$\arctan x$
atan2(y,x)	$\arctan \frac{y}{x}$	pi	π
exp(x)	e^x	pow(x,y)	x^y
log(x)	$\ln x$	log10(x)	$\log x$
ceil(x)	x 의 가장 가까운 정수로 올림	floor(x)	x 의 가장 가까운 정수로 내림
round(x, N)	x 를 반올림하여 소수점 N 번째 자리까지 표시	sign(x)	$x > 0$ 일 때 1, $x < 0$ 일 때 -1, $x = 0$ 일 때 0으로 반환
max(a,b,c,...)	$a, b, c, \dots$ 중 가장 큰 값	min(a,b,c,...)	$a, b, c, \dots$ 중 가장 작은 값
random()	0부터 1까지 값으로 유사 난수 생성	factorial(x)	$x!$
combin(x,y)	$\frac{x!}{y! \times (x-y)!}$	radians(theta)	theta 값(각도)을 라디안으로 반환
degrees(phi)	phi 값(라디안)을 각도로 반환	clock()	Python의 시간 모듈
msclock()	초(second)를 밀리초(millisecond)로 반환	arange()	NumPy의 arange() 함수

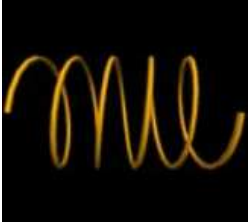
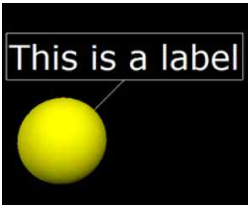
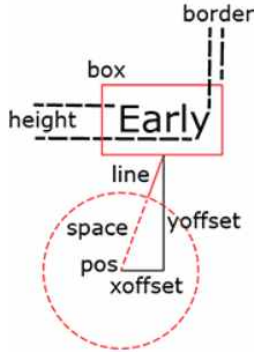
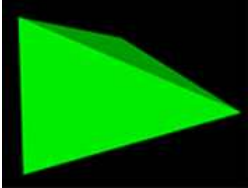
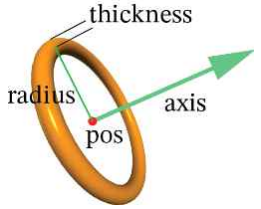
나. VPython에서 구현할 수 있는 객체

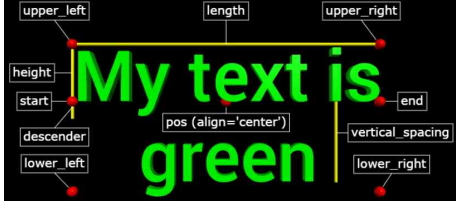
VPython은 교육적 목적으로 개발되어 사용자가 쉽게 3차원 객체를 생성할 수 있다. <표 II-3>에 제시한 것과 같이 VPython에서 기본적으로 제공하는 3차원 객체는 Sphere(구)를 포함하여 총 13개이다(vpython.org, 2024). 또한 기본적으로 제공하는 3차원 객체를 조합하거나 삼각형, 사각

형, 원 등 평면 도형을 조합하여 새로운 모양의 3차원 객체를 사용자가 개발할 수도 있다. 3차원 객체는 파라미터(parameter)를 이용하여 위치, 모양, 색상 등을 변경할 수 있다. 특히 3차원 객체의 위치(pos), 축(axis), 크기(size), 색상(color)은 (x, y, z) 와 같이 좌표의 벡터값으로 구현된다는 특징이 있다.

<표 II-3> VPython에서 기본으로 제공하는 3차원 객체

3D 객체	코드 작성 예시	코드 구현 예시	객체 속성 정보
arrow (화살표)	<code>arrow(pos=vec(0,0,0), axis=vec(1,0,0), color=color.orange)</code>		
box (직육면체)	<code>box(pos=vec(0,0,0), length=3, height=2, width=1, color=color.cyan)</code>		
cone (원뿔)	<code>cone(pos=vec(5,2,0), axis=vec(3,0,0), radius=1, color=color.cyan)</code>		
curve (곡선)	<code>curve(pos=[vec(-1,3,2), vec(2,0,-1)], color=color.yellow)</code>		
cylinder (원기둥)	<code>cylinder(pos=vec(0,0,0), axis=(3,0,0), color=color.red)</code>		

3D 객체	코드 작성 예시	코드 구현 예시	객체 속성 정보
ellipsoid (타원체)	ellipsoid(pos=vec(0,0,0), length=2, height=1, width=3, color=color.cyan)		
helix (나선)	helix(pos=vec(0,0,0), axis=vec(3,0,0), color=color.red)		
label (라벨)	label(pos=vec(0,0,0), text='Early', xoffset=20, yoffset=50, space=30, height=16, border=4, font='sans')		
points (점)	points(pos=[vec(-1,3,2), vec(2,0,-1)], color=color.yellow)		
pyramid (사각뿔)	pyramid(pos=vec(0,0,0), axis=vec(1,0,0), color=color.green)		
ring (링)	ring(pos=vec(0,0,0), axis=vec(1,0,0), radius=2, thickness=0.2, color=color.cyan)		

3D 객체	코드 작성 예시	코드 구현 예시	객체 속성 정보
sphere (구)	<pre>sphere(pos=vec(0,0,0), radius=2, color=color.cyan)</pre>		
text (문자열)	<pre>text(text='My text is \ngreen', align='center', color=color.green)</pre>		

※ 출처: <https://www.glowscript.org/docs/VPythonDocs/objects.html>

2. 과학과 핵심 역량(Science Core Competencies)

가. 2022 개정 교육과정

2022 개정 교육과정은 디지털 전환, 기후환경 변화와 같이 예측할 수 없는 변화에 대응하고, 학령 인구 감소, 학습자 성향 변화에 따라 맞춤형 교육 기반의 필요성이 강조되면서 미래 사회에 필요한 역량을 함양하고 현장 수용성이 높은 교육과정에 대한 필요로 인해 개정된 교육과정이다. 국가와 사회적 요구를 반영하고, 교육환경의 변화에 적극적으로 대응하기 위해 미래 사회가 요구하는 포용성과 창의성을 갖춘 주도적인 사람으로 성장할 수 있도록 교육과정을 개선하는 것을 중점으로 개정되었다. 미래 사회가 요구하는 역량 함양을 위해 개념적 학습과 탐구 능력을 강조하고 AI·소프트웨어 교육을 비롯한 디지털 기초 소양을 강조하였다. 이에 따라 디지털·AI 교육환경에 맞는 교수·학습 및 평가 체제를 구축하였으며, 학생이 주도적으로 교육과정을 설계할 수 있도록 고교학점제

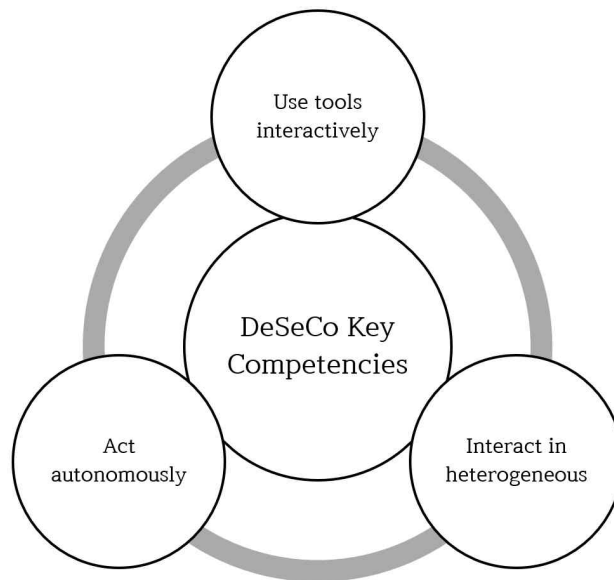
와 같은 맞춤형 교육과정을 구현하였다(교육부, 2021). 2022 개정 과학과 교육과정은 미래 사회를 살아갈 시민으로서 ‘과학적 소양을 갖추고 더불어 살아가는 창의적인 사람’을 육성하는 것을 목적으로 하며, 지식·이해, 과정·기능, 가치·태도가 복합적으로 발현되어 나타나는 총체적인 능력을 함양하는 것을 목표로 한다(교육부, 2022c).

나. 핵심 역량

4차 산업혁명의 지능·정보화 시대를 맞아 지식과 정보를 단순히 전달하고 암기하는 주입식 교육에서 벗어나, 미래 사회를 살아가기 위해 지식과 정보를 발견하고 창의적으로 재구성할 수 있는 역량을 함양하기 위한 논의가 지속적으로 이루어져 왔다(OECD, 2018). 미래 사회에서 요구하는 인재는 풍부한 지식과 많은 정보를 암기하고 있는 사람이 아니라, 새로운 상황에 잘 적응할 수 있고, 창의적으로 사고하고 생산하며, 다양한 분야의 사람들과 협업할 수 있는 바람직한 인성을 갖춘 사람이다. 역량(Competency)이란 그것이 요구되는 상황에서 실제로 기대하는 바의 실천을 보여줄 수 있는 능력을 의미한다.

경제협력개발기구(OECD) 회원국들은 의무 교육과정을 거의 마친 만 15세 학생들을 대상으로 읽기, 수학, 과학, 문제 해결력을 조사하여 국제적인 비교를 통해 교육 방법을 개선하고 학생들의 성적을 연구하는 것을 목적으로 1997년부터 3년을 주기로 국제 학업 성취도 평가(Program for International Student Assessment; PISA)를 실시하고 있다. PISA를 실시하면서부터 OECD는 학생들이 성취해야 할 핵심 역량이 무엇인가에 대한 결론을 얻기 위해 1997년부터 2003년까지 DeSeCo(Definition and Selection of Key Competencies) 프로젝트를 진행하였으며, DeSeCo 프로젝트를 통해 교육의 패러다임이 ‘지식’에서 ‘역량’으로 변화해야 함을 보여주었다. 또한 DeSeCo 프로젝트에서는 미래 사회에서 개인이 갖춰야 할 3대 핵심 역량의 범주로 ‘여러 도구를 상호작용적으로 활용하는 능력(Use tools interactively)’, ‘이질적 집단에서의 상호작용 능력(Interact in

heterogeneous)', '자율적 행동 능력(Act autonomously)'을 제안하면서 세 가지 핵심 역량 범주가 필요한 이유와 그 범주에 속하는 역량들을 제시하여 교육이 진행되는 과정에서 추구해야 하는 다양한 역량들을 판단할 수 있는 틀을 제공하였고, 핵심 역량을 성공적인 삶을 살아가는 데 필요한 능력으로 규정하였다(OECD, 2005).



[그림 II-1] DeSeCo 프로젝트에서 제시한 3대 핵심 역량 범주(OECD, 2005)

DeSeCo 프로젝트를 통해 미래 사회에서 개인이 반드시 갖춰야 하는 역량에 대한 관심이 커지면서 거의 모든 나라에서 교육과정의 개정 과정에 역량을 설정하고 역량 함양을 교육 목표로 삼는 경향이 나타났다(조난심, 2017). 우리나라는 2015 개정 교육과정에서 처음으로 역량이라는 용어가 등장하였으며, 2015 개정 교육과정을 통해 중점적으로 기르고자 하는 핵심 역량을 <표 II-4>와 같이 제시하였다(교육부, 2015a). 다른 나라에서는 범교과적인 핵심 역량만을 제시한 것과 달리(김현정 & 김성기, 2021; 윤정일 외, 2007; 이인화 외, 2017; Beer, 2011), 우리나라 교육과정에서는 범교과적 핵심 역량뿐만 아니라 각 교과에서 핵심 역량을 기르기 위한 수단으로 <표 II-5>와 같이 교과 역량을 별도로 제시하였다(교육부, 2015a; 교육부, 2015b; 교육부, 2015c).

<표 II-4> 2015 개정 교육과정 총론의 핵심 역량과 그 의미(교육부, 2015a)

핵심 역량	의미
자기 관리 역량	자아정체성과 자신감을 가지고 자기의 삶과 진로에 필요한 기초 능력과 자질을 갖추어 자기 주도적으로 살아갈 수 있는 역량
지식정보 처리 역량	문제를 합리적으로 해결하기 위하여 다양한 영역의 지식과 정보를 처리하고 활용할 수 있는 역량
창의적 사고 역량	폭넓은 기초 지식을 바탕으로 다양한 전문 분야의 지식, 기술, 경험을 융합적으로 활용하여 새로운 것을 창출하는 역량
심미적 감성 역량	인간에 대한 공감적 이해와 문화적 감수성을 바탕으로 삶의 의미와 가치를 발견하고 향유하는 역량
의사소통 역량	다양한 상황에서 자기의 생각과 감정을 효과적으로 표현하고 다른 사람의 의견을 경청하며 존중하는 역량
공동체 역량	지역·국가·세계 공동체의 구성원에게 요구되는 가치와 태도를 가지고 공동체 발전에 적극적으로 참여하는 역량

<표 II-5> 2015 개정 교육과정 과학과 핵심 역량과 그 의미(교육부, 2015c)

핵심 역량	의미
과학적 사고력	과학적 주장과 증거의 관계를 탐색하는 과정에서 필요한 역량. 과학적 세계관 및 자연관, 과학의 지식과 방법, 과학적인 증거와 이론을 토대로 합리적이고 논리적으로 추론하는 능력, 추리 과정과 논증에 대해 비판적으로 고찰하는 능력, 다양하고 독창적인 아이디어를 산출하는 능력 등을 포함하는 역량
과학적 탐구 능력	과학적으로 문제를 해결하기 위해 실험, 조사, 토론 등 다양한 방법으로 증거를 수집, 해석, 평가하여 새로운 과학 지식을 얻거나 의미를 구성해 가는 역량
과학적 문제 해결력	과학적 지식, 과학적 사고를 활용하여 개인적 혹은 공적 문제를 해결하는 역량. 문제 해결 과정에 대한 반성적 사고 능력과 문제 해결 과정에서의 합리적 의사결정 등을 포함하는 역량
과학적 의사소통 능력	과학적 문제 해결 과정과 결과를 공동체 내에서 공유하고 발전시키기 위해 자기 생각을 주장하고 타인의 생각을 이해하며 조정하는 역량. 말, 글, 그림, 기호 등 다양한 양식의 의사소통 방법과 컴퓨터, 시청각 기기 등 다양한 매체를 통하여 제시되는 과학기술·정보를 이해하고 표현하는 능력, 증거에 근거하여 논증 활동을 하는 능력 등을 포함하는 역량

핵심 역량	의미
과학적 참여와 평생학습 능력	사회에서 공동체의 일원으로 합리적이고 책임 있게 행동하기 위해 과학기술의 사회적 문제에 관해 관심을 가지고 의사 결정 과정에 참여하여 새로운 과학기술 환경에 적응하기 위해 스스로 지속적으로 학습해 나가는 역량

<표 II-6> 2015 개정 교육과정 총론의 핵심 역량과 2015 개정 과학과 교육과정의 핵심 역량 사이의 연계성(김인숙 외, 2019)

총론의 핵심 역량	과학과 핵심 역량
자기 관리 역량	-
지식정보처리 역량	과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제 해결력
창의적 사고 역량	과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제 해결력
심미적 감성 역량	-
의사소통 역량	과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생학습 능력
공동체 역량	과학적 참여와 평생학습 능력

2022 개정 과학과 교육과정에서도 2015 개정 교육과정과 마찬가지로 자기 관리 역량, 지식정보처리 역량, 창의적 사고 역량, 심미적 감성 역량, 협력적 의사소통 역량, 공동체 역량 등과 같은 범교과적이고 일반적인 총론의 역량과 연계하여 과학적 탐구와 문제 해결 능력, 과학적 의사 결정 능력을 기르는 데 초점을 두고 있다(교육부, 2022c).

다. 과학과 핵심 역량 검사 도구

기존의 학교 교육은 정형화된 지식의 학습을 주요 목표로 하였다. 하지만 급변하는 미래 사회에 적응하고, 미래를 선도할 인재 양성의 필요성이 강조되면서 학생의 정보와 지식을 활용할 수 있는 능력 함양이 중요해졌고, 이러한 사회적 요구로 등장한 것이 핵심 역량이다. 2015 개정 과학과 교육과정에서는 과학과 핵심 역량으로 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평

생학습 능력의 다섯 가지 역량을 제시하였다(교육부, 2015c). 하민수 외(2018) 연구에서는 2015 개정 과학과 교육과정에서 제시한 핵심 역량을 조사할 수 있는 문항을 역량별로 5문항씩 총 25개의 문항을 개발하였다. 개발한 조사 문항의 타당도와 신뢰도, 집단별 점수 차이 등을 확인하기 위하여 전국 17개 시·도에 있는 초·중·고 60개교에 재학 중인 11,348명의 학생을 대상으로 자기 평가 형태의 설문조사를 실시하였으며, 문항의 내용 타당도, 실제에 기초한 타당도, 내적 구조에 기초한 타당도, 일반화 타당도의 4가지 타당도 수준을 확인하여 개발한 문항이 타당한 수준을 보이고 있음을 확인하였다.

하민수 외(2018)의 연구에서 개발한 2015 개정 과학과 핵심 역량 조사 도구의 내용 타당도는 과학교육전문가 5인, 교육심리전문가 1인이 문항을 개발하고 초·중·고등학교 현장 교사 6인과 함께 검토 과정을 거쳤으며, 이후 각 현장 교사의 소속 학교에서 한 학급 학생들을 대상으로 예비조사를 통해 확인하였다. 실제에 기초한 타당도는 Infit MNSQ와 Outfit MNSQ 값을 통해 확인하여 과학과 핵심 역량의 5개 요인 25개 문항 모두 Boone *et al.*(2014)의 기준에 만족함을 확인하였다. 또한 Person reliability 값과 Item reliability 값도 모두 적합함을 확인하였다. 내적 일관성 신뢰도는 Cronbach's alpha를 통해 확인하여 모든 요인에서 0.8 이상으로 내적 일관성 신뢰도가 있음을 확인하였다. 내적 구조에 기초한 타당도와 차원 분석을 통해 2015 개정 과학과 핵심 역량을 5개의 역량으로 구분하는 것이 적절하다는 것을 확인하였으며, 성별과 학교급별 점수를 분석하여 개발한 검사 도구가 타당함을 확인하였다. 하민수 외(2018)에서 개발한 과학과 핵심 역량 조사 문항은 <표 II-7>과 같다.

<표 II-7> 2015 개정 과학과 교육과정 핵심 역량 조사 문항(하민수 외, 2018)

핵심 역량	개발 문항
과학적 사고력	1. 나는 의견을 주장할 때, 논리적 근거를 들어서 한다. 2. 나는 어떤 일을 판단할 때, 과학적 증거가 있는지 잘 따져본다. 3. 나는 어떤 일을 판단할 때, 과학적 지식을 잘 사용한다. 4. 나는 다른 사람의 말이나 토론에서 옳고 그름을 논리적으로 잘 따진다. 5. 나는 남들이 생각해 내지 못하는 아이디어를 자주 만들어 낸다.

핵심 역량	개발 문항
과학적 탐구 능력	1. 나는 관찰이나 실험, 제작 등의 활동을 할 때, 필요한 도구를 잘 다룬다. 2. 나는 관찰이나 실험을 통해 증거를 찾고 해석하는 것을 잘한다. 3. 나는 어떤 일이 생기면 직관적으로 판단하기보다는 여러 상황을 자세히 조사한다. 4. 나는 과학 탐구를 할 때, 관련된 과학 지식과 잘 연계하여 생각한다. 5. 나는 과학 탐구의 결과를 통해 과학적 지식이나 의미를 잘 구성해 낸다.
과학적 문제 해결력	1. 나는 과학 관련 문제를 해결할 때, 과학적 지식을 잘 사용한다. 2. 나는 조사나 실험 등으로 증거 자료를 잘 찾고 분석하여 과학적 문제를 해결한다. 3. 나는 일상생활에서의 현상들에 대해 어떤 과학적 지식과 관련이 있는지 곰곰이 생각한다. 4. 나는 과학 문제를 해결하기 위해 정보매체(PC, 스마트폰이나 신문 등)로 관련 자료를 잘 찾아낸다. 5. 나는 일상생활에서 문제가 생기면 합리적인 해결 방안을 찾으려고 깊이 생각한다.
과학적 의사소통 능력	1. 나는 어떤 문제를 해결하는 과정을 친구에게 효율적으로 설명한다. 2. 나는 과학 지식이나 학습 결과물을 정보매체(PC, 스마트폰 등)의 프로그램을 사용하여 잘 표현한다. 3. 나는 과학 지식이나 학습 결과물을 글이나 그림, 기호 등으로 종이나 칠판에 잘 나타낸다. 4. 나는 과학 문제와 관련하여 다른 사람과 질의 응답하는 토의나 토론을 잘한다. 5. 나는 다른 사람의 말을 끝까지 잘 듣고 판단한 후 내 의견을 조리 있게 말한다.
과학적 참여와 평생학습 능력	1. 나는 과학기술로 생기는 사회 문제와 그 해결 방안을 찾는 것에 관심이 많다. 2. 나는 협동적으로 해야 하는 과학 활동의 경우, 적극 참여하여 내가 맡은 책임을 다한다. 3. 나는 친구들의 학습 활동이나 결과물에 대해 평가할 경우, 공정하게 평가한다. 4. 나는 새로운 과학기술 제품이 나오면 그 사용법을 쉽게 이해하고 익힌다. 5. 나는 나이가 들어도 새로운 과학 지식이나 정보를 찾아 배울 것이라고 생각한다.

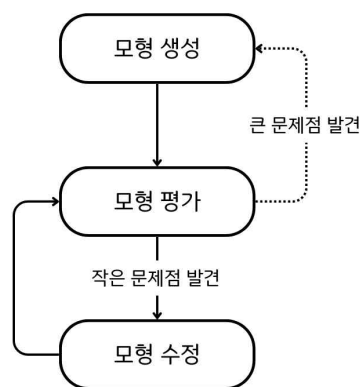
3. 과학적 모형(Scientific Model)

가. 과학교육에서 과학적 모형의 중요성

과학적 모형은 자연 현상이나 과학 이론의 핵심 요소를 추상화·단순화한 것으로, 현상의 주요 특성을 명확하게 보여줌으로써 자연 현상을 설명하고 예측하는 데 활용된다(Harrison & Treagust, 2000; Justi & Gilbert, 2006). 과학적 모형을 만들어 가는 과정을 과학적 모형 구성(Scientific Modeling)이라고 한다.

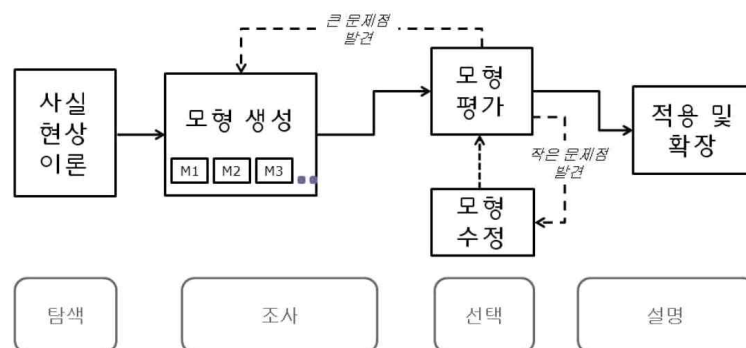
과학자들은 자연 현상을 연구하고 설명을 도출하는 과정에서 과학적 모형을 개발하고 활용한다. 이 과정에서 과학적 아이디어는 모형을 통해 구체화 되며, 과학적 모형 간의 경쟁과 수정을 통해 과학 이론이 발전하므로 과학적 모형을 생성하고 평가하고 수정하는 활동은 과학 탐구의 본질로 여겨진다(Lehrer & Schauble, 2005; Passmore *et al.*, 2009). 과학교육에서 전통적 관심인 ‘무엇을 알아야 하는가(need to know)’에서 벗어나 ‘무엇을 해야 하는가(need to do)’에 초점을 맞춘 새로운 관점의 필요성이 요구되면서(Duschl, 2008), 학생이 과학 지식을 구성하고 평가하는 능력을 기를 수 있는 모형의 중요성이 강조되었다. 모형 구성 활동을 통해 학생은 과학 개념을 정교화하고 개선하면서 과학자가 수행하는 ‘진정한 실행(authentic practice)’을 경험하고, 과학의 본성을 이해하게 된다고 보았다(Hodson, 1992; Lehrer & Schauble, 2005; Schwarz *et al.*, 2009). 또한 과학적 모형 구성은 실제 과학 탐구 과정에 학생을 직접 참여하도록 하는 과학의 본질적인 활동이며(Schwarz *et al.*, 2009), 과학 지식을 구축하고 추상적인 개념을 시각화하여 새로운 내용 지식을 구성하고, 과학 지식에 대한 이해를 돕는다(Baek & Schwarz, 2015; Gilbert *et al.*, 2000b). 또한 학생은 과학적 모형 구성에 참여하여 서로의 아이디어를 평가하고 개선하는 과정을 통해 의사소통 능력을 발달시킬 수 있다(Baek & Schwarz, 2015).

Clement(1989)는 [그림 II-2]와 같이 과학적 모형을 생성(Generation)하고 평가(Evaluation)하고 수정(Modification)하는 과정이 순환하면서 과학적 모형 구성 과정이 이루어지는 GEM cycle을 제안하였다. 모형 생성 단계에서는 학생이 기존에 자신이 가지고 있던 개념을 바탕으로 자연 현상을 설명하기 위한 초기 모형을 구성한다. 평가 단계에서는 초기 모형이 실제 자연 현상을 잘 설명할 수 있는지 평가한다. 수정 단계에서는 평가 내용을 바탕으로 모형을 수정한다.



[그림 II-2] GEM cycle(Rea-Ramirez *et al.*, 2008)

GEM cycle을 바탕으로 유희원 외(2012)는 생성한 모형의 적용 과정의 중요성을 강조한 Halloun(2006)의 연구를 포함하여 기존의 모형 구성 관련 연구와 오피석 & 김종찬(2005)이 제시한 귀추적 수업 모형의 4단계를 결합하여 [그림 II-3]과 같이 ‘수정 GEM cycle’을 제시하였다.



[그림 II-3] 수정 GEM cycle(유희원 외, 2012)

나. 과학적 모형 구성 수업의 어려움과 교사의 역할

학생은 과학적 모형 구성에 생산적으로 참여하는 것을 어려워한다. Baek(2013)에 따르면 학생은 스스로 지식을 생성할 수 없을 것이라는 인식을 바탕으로 과학적 모형 구성에 생산적으로 참여하는 것을 어려워한다. 또한 과학적 모형 구성 과정에서 직접 관찰하기 어려운 추상적인 개념에 대한 과학적 모형을 가지기 힘들어하는 경향을 보이며(Gilbert & Treagust, 2009), 2차원의 종이책으로 학습한 현상을 3차원에서 일어나는 동적이고 추상적인 사건으로 개념을 확장하는 데 어려움을 보인다(Parker & Heywood, 1998; Wu & Shah, 2004). 책이나 그림과 같은 2차원 매체는 3차원 공간에서의 동적인 관계를 보여줄 수 없으며, 3차원 공간에서 구현된 동영상도 활용하더라도 다양한 시점에서 여러 현상을 관찰하는 것은 불가능하다. 또한 학생은 시간적, 공간적 제약으로 인해 자신의 개념을 바탕으로 구성한 모형과 실제 과학 개념의 불일치를 경험하기 어렵다(Barab *et al.*, 2000; Bell & Trundle, 2008).

이러한 어려움을 극복하기 위해서는 과학적 모형 구성 수업에서 교사의 역할이 매우 중요하다(Vo *et al.*, 2015; Windschitl *et al.*, 2008). 과학적 모형 구성의 어려움을 극복하고 학생이 과학을 배우는 데 도움을 줄 수 있는 교수 상황을 설계하고 실행하는 데 있어서 교사의 모형 구성 관련 교수·내용 지식(Pedagogical Content Knowledge; PCK)을 발달시켜야 하며, 교사가 직접 과학적 모형 구성과 관련된 학습 활동에 참여하여 학생의 지식 구성 과정에 적극적으로 관여해야 한다(Justi & van Driel, 2005).

다. 과학적 실천에서의 과학적 모형 구성 및 수업 실천의 한계

National Research Council(2012)에서는 과학적 실천과 태도를 강조하면서 8가지 실천과 그에 해당하는 활동의 종류를 <표 II-8>과 같이 제안하였다.

<표 II-8> 8가지 과학적 실천과 해당 활동의 종류(강남화 & 이은미, 2013)

과학적 실천 1. 질문하고 문제 규정하기

현상에 대해 경험적으로 답할 수 있는 질문을 형성하고, 이미 알려진 것을 설정하고, 아직 만족한 답을 얻지 못한 질문을 결정하는 것

활동의 종류

- 1) 자연과 인간이 만든 세상에 관한 질문하기
- 2) 과학적 질문과 비과학적 질문을 구별하기
- 3) 교실 내에서 자료를 이용하여 답을 할 수 있는 질문을 하고, 그 질문을 정교화하고, 그 질문을 이용하여 탐구를 고안하거나 실용적인 해결책을 구성하기
- 4) 논쟁의 전제를 확인하거나 부가 설명을 요청하는 질문하기
- 5) 관찰에서 특징이나 패턴, 모순을 인식하고 그것들에 관해 질문하기
- 6) 해결책에 영향을 미치는 제한점을 밝히기 위해 질문하기

과학적 실천 2. 모형 개발하고 사용하기

자연 현상을 설명하기 위해 모형과 시뮬레이션을 구성하고 사용하는 것

활동의 종류

- 1) 사건이나 체계를 그림이나 도표로 표현하기
 - 2) 현상을 다양한 종류의 모형으로 표현하고 설명하기
 - 3) 계나 과정을 표현하는 도구로서의 모형의 정확성과 한계를 논의하고 개선 방안 제시하기
 - 4) 계를 탐구하고 이해하는 도구로서 시뮬레이션을 이용하기
 - 5) 문제 해결에 대한 고안을 시험하고 그 효과를 비교하기 위해 모형을 사용하기
-

과학적 실천 3. 조사 계획하고 수행하기

현장에서 자료를 확인하거나 실험에서 변인을 밝히는 연구를 계획하고 수행하는 것

활동의 종류

- 1) 교실, 학교 실험실 또는 현장에서 연구할 수 있는 질문을 구성하고 가능하면 이론이나 모형에 기초한 가설을 설정하기
 - 2) 어떤 자료가 필요한지, 그 자료의 수집을 위해 어떤 도구가 필요한지, 어떻게 측정치를 기록할지 결정하기
 - 3) 타당한 측정치 산출을 위해 얼마만큼의 자료가 필요한지 결정하고 자료의 정밀도 한계를 고려하기
 - 4) 실험 또는 현장 연구 절차를 계획하고 관련된 독립변인과 종속변인, 필요하면 통제변인을 확인하기
 - 5) 얽힌 변인의 가능성 또는 효과를 고려하여 연구 고안에서 통제하기
-

과학적 실천 4. 자료 분석하고 해석하기

의미를 끌어내기 위해 분석되어야 하는 자료를 생산하는 것. 자료에 있는 유의미한 요소들과 패턴을 확인하는 것. 오차의 원인을 확인하고, 신뢰구간을 계산하는 것

활동의 종류

- 1) 패턴을 찾거나 자료가 가설과 일관되는지 시험하기 위해 체계적으로 자료 해석하기
 - 2) 기대치에 어긋난 자료를 인지하고 초기 모형의 수정 고려하기
 - 3) 자료의 통합·정리를 위해 스프레드시트, 데이터베이스, 표, 차트, 그래프, 수학, 통계, 전산 기술을 사용하고 변인 간의 관계 조사하기
 - 4) 적절한 수학과 통계 기술을 이용하여 자료로부터 유추할 수 있는 결론을 평가하기
 - 5) 물리적 모형에서 자료를 수집하고 여러 조건에서 성능 분석하기
-

과학적 실천 5. 수학 및 전산적 사고 이용하기

물리적 변인들과 그들 간의 관계를 표현하는 기초적 도구로서 수학과 전산 사용. 물리계의 활동에 대한 예상을 위한 수학과 전산적 도구 사용. 중요한 패턴과 상관관계를 밝히는 도구로 통계 기술 사용

활동의 종류

- 1) 차원의 양을 인식하고 수학 공식과 그래프의 응용에서 적절한 단위 사용하기
- 2) 과학 모형 만들기과 조사에서 적절한 수학이나 알고리즘으로 관계와 양을 표현하기
- 3) 컴퓨터 시뮬레이션이 현상이나 계에 관한 가정에 근거한 수학적 모형에 기초하여 만들어졌음을 인식하기
- 4) 간단한 대표적인 수학 표현, 컴퓨터 프로그램 또는 시뮬레이션 이용하기
- 5) 자료 분석에 수학과 통계학을 이용하기

과학적 실천 6. 설명 구성하고 문제 해결 고안하기

과학의 목표로서 물질세계를 설명하는 설명 체계를 제공하는 이론을 구성하는 것

활동의 종류

- 1) 과학 이론을 이용하고 그것을 모형과 증거와 연결하여 현상에 대한 설명 구성하기
- 2) 직·간접적인 과학적 증거와 모형을 이용하여 현상에 대한 설명을 지지 또는 반박하기
- 3) 적절한 수준의 인과적 설명 제안하기
- 4) 주어진 설명의 취약점을 알아내기
- 5) 과학 지식을 적절히 사용하여 디자인하는 문제를 해결하기
- 6) 기준에 부합하는 계획을 세우고 디자인 전 과정에 참여하여 디자인 과제를 수행하기
- 7) 장치를 만들거나 디자인 문제를 해결하기
- 8) 공동으로 개발한 디자인 기준에 따라 여러 경쟁하는 디자인을 비평하기

과학적 실천 7. 증거에 입각하여 논의하기

설명 체계를 방어하고, 자료의 견고한 기초 위에 증거를 형성하고, 증거와 다른 사람들의 충고에서 그들의 이해를 시험하고, 동료들과 협력하여 조사된 현상에 대한 가장 좋은 설명을 구하는 것

활동의 종류

- 1) 자료가 주장을 어떻게 지지하는가를 보이는 과학적 논쟁을 구성하기
 - 2) 과학적 논쟁의 가능한 취약점을 논리와 증거에 비추어 밝히기
 - 3) 자신의 논의에서 결점을 찾고 비판에 대한 응답으로 자신의 논의를 향상
-

시키기

- 4) 과학적 논의의 주요 특성이 주장, 자료, 이유임을 알고 주어진 예에서 그 요소들을 구분하기
- 5) 주어진 과학 사고의 발달에서 쟁점의 성격을 설명하고 그 시작점에서의 논쟁을 기술하고 왜 특정한 하나의 이론이 성공했는가를 밝히기
- 6) 어떻게 지식에 관한 주장이 과학계에서 판정이 되는가를 설명하고 동료 평가의 장점과 한계, 주요한 연구의 독립적인 반복이 필요함을 조리 있게 표명하기
- 7) 과학과 기술에 대한 매체의 보고서들을 비판적으로 읽어 강점과 약점 밝히기

과학적 실천 8. 정보를 얻고, 평가하고, 소통하기

말·글·표·그림·그래프·방정식을 이용, 동료와 개방된 토론에 참여함으로써 생각과 탐구의 결과를 소통하는 것. 신문, 인터넷 등에서 획득한 정보의 과학적 타당성을 평가하고, 설명을 산출하는 데 그 정보를 이용하는 것

활동의 종류

- 1) 말·표·도표·그래프·수식 등을 이용하여 개념을 전달하거나 질문하기
- 2) 표·그림·그래프를 포함하는 과학, 공학 문서를 읽고 전달되고 있는 주요 생각 설명하기
- 3) 과학적, 기술적 말과 글의 특성을 인식하고, 말과 글로 자기의 생각과 자신이 한 일 전달하기
- 4) 교실 상황에 맞게 편집된 과학 문헌들 또는 과학에 대한 대중 매체 보고서 등의 자료를 가설 및 결과의 타당도와 신뢰도를 논하며 비판적으로 읽기

8가지 과학적 실천을 통해 과학교육에서 과학적 모형 및 과학적 시뮬레이션의 중요성을 강조하고 있음을 확인할 수 있다. ‘과학적 실천 2. 모형을 개발하고 사용하기’에서 모형을 개발하고 사용할 것을 제시하고 있으며, ‘과학적 실천 4. 자료 분석하고 해석하기’의 활동에서 모형을 수정하거나 모형을 통해 자료를 수집하는 활동을 제시하고 있다. 또한 ‘과학적 실천 5. 수학 및 전산적 사고 이용하기’에서는 과학적 모형 구성 과정에 수학이나 알고리즘을 활용할 것, 컴퓨터 시뮬레이션이 수학적 모형에

기초하여 만들어졌음을 이해할 것, 간단한 컴퓨터 프로그램 또는 시뮬레이션을 이용할 것을 활동의 종류로 제시하면서 과학교육 활동에서 모형의 활용을 강조하고 있다. ‘과학적 실천 6. 설명 구성하고 문제 해결 고안하기’에서도 과학 이론과 모형의 연관성을 바탕으로 설명을 구성할 것, 과학적 증거와 과학적 모형을 이용하여 자연 현상을 설명하거나 반박할 것, 과학 지식을 적절히 사용하여 과학적 모형을 구성할 것, 과학적 모형 구성 전 과정에 참여하여 과학적 모형을 구성하고 이를 평가할 것을 활동의 종류로 제시하면서 모형의 구성과 평가를 강조하고 있다.

우리나라에서도 2022 개정 교육과정을 통해 과학적 실천을 강조하였다. 2022 개정 교육과정은 과정·기능 차원에서 과학적 탐구 능력과 과학적 문제 해결력을 기르고, 특히 디지털 교육환경 변화에 따라 다양한 디지털 플랫폼과 기술 및 도구를 적극적으로 활용하도록 제안함으로써 과학적 실천을 강조하였다. 또한 과정·기능 차원에서 학생 스스로 모형을 만들어서 자연 현상을 설명할 수 있도록 하는 교육적 활동을 강조하고 있다.

하지만 일부 과학적 모형 구성 수업에 관한 연구에 따르면 수업에서 일반적으로 학생이 과학적 모형과 관련하여 의미 있는 활동이 이루어지지 않고 있음을 언급하였다(Campbell *et al.*, 2015; Khan, 2011). 특히 과학 수업에 대한 교사의 교육 실천에 관한 연구에 따르면 교사는 모형의 예측 특성을 무시하고 주로 모형에 표현된 지식 측면만을 초점으로 교육이 이루어지고 있음을 보였다(Harlow *et al.*, 2013; Nielsen & Nielsen, 2021; Shi *et al.*, 2021; Vo *et al.*, 2015; Vo *et al.*, 2019).

라. 모델링 역량

과학적 모형을 사용하고 개발하는 것은 과학교육에서 매우 중요한 과정이다(Next Generation Science Standards, 2013). 따라서 많은 나라의 과학 교육과정에서 모델링 역량을 중요하게 다루고 있다(Australian Curriculum, Assessment and Reporting Authority, 2015; British

Columbia Ministry of Education, 2019; Kultusministerkonferenz, 2020; Victorian Curriculum and Assessment Authority, 2016). 모델링 역량은 모형에 대해 통찰력 있는 지식을 얻고, 목적에 따라 모형을 판단할 수 있으며, 모형과 모델링을 통해 지식을 얻는 과정을 성찰할 수 있는 능력으로 정의할 수 있다(Upmeier zu Belzen *et al.*, 2019). 과학적 모형과 관련된 과학교육 분야의 연구를 살펴보면 대부분의 연구에서 모델링 역량을 메타 모델링 지식(Meta-modeling knowledge)과 모델링의 실제 적용(Modeling practice)의 두 가지 차원으로 제안하였지만(Nicolaou & Constantinou, 2014; Upmeier zu Belzen *et al.*, 2019), 최근 연구에서는 뛰어난 능력을 지닌 학생이 높은 수준의 모형 구성 능력을 발휘한다는 가정을 바탕으로 모델링 산출물(Modeling product)도 모델링 역량에 포함하여 세 가지 차원으로 제안하고 있다(Chiu & Lin, 2019; Nielsen & Nielsen, 2021). 또 다른 연구에서는 모델링 역량을 구성 요소를 기반으로 설명하거나(Blum, 2002; Maaß, 2004), 수준(level)을 기반으로 설명하였다(Henning & Keune, 2004).

1) 세 가지 차원의 모델링 역량 정의

모델링 역량은 메타 모델링 지식(Meta-modeling knowledge), 모델링의 실제 적용(Modeling practice), 모델링 산출물(Modeling product)의 세 가지 차원으로 정의할 수 있다(Chiu & Lin, 2019; Nielsen & Nielsen, 2021).

① 메타 모델링 지식(Meta-modeling knowledge)

메타 모델링 지식은 모형과 모델링에 대한 인식론적 관점을 설명하는데 사용되는 용어로, Schwarz *et al.*(2009)에서 모형이 어떻게 사용되는지, 왜 사용되는지, 모형의 강점과 한계는 무엇인지에 대한 지식으로 정의했다. Upmeier zu Belzen *et al.*(2019)에서는 <표 II-9>와 같이 메타 모델링 지식을 5가지 요소로 제시하고, 이를 3가지 수준으로 구분하였다.

<표 II-9> 모델링 역량 중 메타 모델링 지식의 구성 요소와 수준(Upmeier zu Belzen *et al.*, 2019)

메타 모델링 지식 역량 요소	Level 1 (미적 수준 차원)	Level 2 (현상에 대한 이해 수준)	Level 3a (현상 설명을 위한 귀납적 추론 수준)	Level 3b (현상 설명을 위한 연역적 추론 수준)
Nature of models	현상의 복제	현상을 이상적으로 표현	현상을 가장 잘 설명	현상을 이론적으로 재구성
Multiple models (Alternative models)	모형 객체의 차이	현상에 대한 초점의 차이	이론적 설명 수준의 차이	현상에 대한 가설 수준의 차이
Purpose of models	현상 묘사	현상 설명	최적의 설명 만들기	현상에 대한 예측
Testing models	모형 객체를 테스트	모형과 현상 비교	설명의 일관성을 테스트	현상에 대한 가설을 테스트
Changing models	정확성과 미학적 향상	새로운 통찰력으로 인해 수정	설명 수정	가설 검증의 실패로 인한 수정

수준 1은 모형을 현상의 직접적인 복사본으로 이해하고 모형의 표현 및 예측 기능보다는 생성한 모형 자체의 특징에 초점을 둔 낮은 수준을 의미한다. 수준 2는 모형을 현상에 대한 이상적인 표현이나 시각화, 설명에 초점을 둔 중간 정도 수준을 의미한다. 수준 3은 과학적 탐구 수준 관점에서의 높은 수준을 의미한다. 수준 3에서는 과학의 방법론적인 관점에서 연구 도구로서 모형을 구성하고 적용하는 능력을 보인다. 이때 수준 3a는 이미 알려진 이론과 탐구에 대해 모순 없이 현상을 가장 그럴 듯하게 설명할 수 있는 모형을 구성하는 능력 수준을 의미한다. 따라서 수준 3a에서의 모형 구성은 이론적인 과정이며 현상에 대한 지식을 표현

하는 능력을 의미한다. 수준 3b는 가설 연역적 접근 방식을 바탕으로 가설의 타당성을 검증하기 위해서 과학적 추론을 통해 모형을 구성하고 적용하는 수준을 의미한다. 따라서 수준 3b에서의 모형 구성은 지금까지 설명되지 않은 새로운 과학적 질문에 답을 하는 높은 수준의 역량을 의미한다.

② 모델링의 실제 적용(Modeling practice)

모델링의 실제 적용은 데이터 수집, 관찰, 실험 수행과 같은 실제 현상과 이론적인 설명을 개발하는 모형을 구분하는 것이며(Gohner & Krell, 2022; Krell *et al.*, 2019), 실제 현상과 과학적 활동의 모형을 일치시키는 활동을 의미한다. 또한 새로운 가설을 추론하거나 모형을 통해 경험적인 현상을 설명하는 데 있어서 모델링의 실제 적용은 인식론적 도구로서의 역할이 강조된다(Dounas-Frazer & Lewandowski, 2018; Knuuttila, 2011).

③ 모델링 산출물(Modeling product)

모델링 산출물은 모델링 과정의 주요 결과이며, 학생이 현상에 대한 이해를 표현하는 유형적이고 가시적인 모형을 개발하는 것을 의미한다. 모델링 산출물은 학생의 생각을 구체화하여 표현하는 것으로, 이론의 구성 요소를 시각화하는 능력을 뜻한다(Jonassen & Ionas, 2008).

2) 구성 요소를 기반으로 한 모델링 역량 정의

Maaß(2004)는 모델링 역량을 모형 구성 과정의 능력, 기술, 태도와 이를 활용하려는 학생의 의지로 정의하였다. Blum(2002)은 모델링 역량을 문제를 구조화·수학화하는 능력, 문제를 해석하고 해결하는 능력, 수학적 모형을 사용하여 작업하는 능력, 모형을 검증하는 능력, 모형을 비판적으로 분석하고 결과를 평가하는 능력, 모형을 활용하여 관찰하거나 의사소통하는 능력, 모델링 과정을 스스로 조정하는 능력으로 정의하였다.

3) 수준을 기반으로 한 모델링 역량 정의

Henning & Keune(2004)는 이론적으로 역량 자체를 직접 관찰할 수 없으며, 학생이 문제 해결 과정에서 보이는 행동과 태도를 통해서 간접적으로 관찰할 수 있다고 주장하였다. 따라서 측정 가능한 변수로서 학생의 행동을 관찰하여 역량 수준을 추론할 수 있으며, 학생의 모델링 역량도 학생이 보이는 행동의 수준을 통해 정의할 수 있다고 주장하였다.

수준 1은 ‘모델링 인식 및 이해(Recognize and understand modeling)’이다. 수준 1에서는 모델링 과정을 인식하고 설명할 수 있는 능력을 보인다.

수준 2는 ‘독립적인 모델링(Independent modeling)’이다. 수준 2에서는 문제를 분석하고 구조화할 수 있는 능력, 문제를 해결하기 위해 다른 관점을 받아들일 수 있는 능력, 수학적 모형을 설정할 수 있는 능력, 모형을 적용하여 결과 및 현상을 해석할 수 있는 능력, 모형과 모형 구성 과정의 전 과정을 검증할 수 있는 능력을 보인다. 수준 2에 도달한 학생은 문제의 맥락이나 범위가 바뀔 때마다 직면하는 새로운 상황에 적응하기 위해 자신의 모형을 조정하거나 새로운 해결 절차를 개발하는 과정을 통해 문제 상황에 관계 없이 독립적으로 문제를 해결하는 능력을 보인다.

수준 3은 ‘모델링에 대한 메타 인식(Meta-reflection on modeling)’이다. 수준 3에서는 모델링을 비판적으로 분석하고, 모형을 평가하는 기준을 공식화하며, 모델링 목적을 성찰하는 능력을 보인다. 수준 3에서는 완성된 모형을 검사하고 모형을 통해 도출해 낸 추론을 평가하는 동시에(Jablonka, 1996), 모형을 심층적으로 평가하는 기준을 제시할 수 있다(Keune & Henning, 2003).

4) 모델링 역량을 평가하기 위한 분석 틀

Lopes & Costa(2007)는 교육에 도움이 될 수 있는 모델링 역량의 제현 가능한 평가 방법론을 검증하는 연구를 수행하였다. 모델링 역량 검

사를 위해 <표 II-10>과 같이 분석 틀을 만들고, 다양한 상황 문제를 제시하여 모형을 활용하여 풀도록 하는 필기시험 검사를 제작하였다.

<표 II-10> 모델링 역량 검사를 위한 분석 틀(Lopes & Costa, 2007)

모델링 역량	하위 항목	역량 평가 요소
대면 방식 역량 (Way of Facing)	개념의 속성이나 개념 사이의 관계	• 특정 속성이 적절한가 • 특정 실험 조건에서 개념의 관계가 적절한가 • 추론 조건이 적절한가
	상황-문제 분석	• 상황을 주의 깊게 분석했는가 • 관련된 공식을 사용했는가
개념화 역량 (Conceptualization)	객체의 개념화	• 상황-문제의 대상(객체)에 대해 어떤 관점을 가지고 있는가 • 상황-문제의 대상(객체)에 어떤 특성을 부여하는가
	사건의 개념화	• 상황-문제의 사건에 대해 어떤 관점을 가지고 있는가 • 상황-문제의 사건에 대해 어떤 특성을 부여하는가
	적합성과 일관성	• 대상(객체)와 사건에 일관성이 있는가 • 대상(객체)와 사건이 상황-문제에 적합한가
조작 역량 (Operative work)	변수 간의 관계	• 물리량 사이에 설정된 관계에 관해 설명할 수 있는가
	관계 유형	• 물리량 사이의 관계가 정성적인가, 정량적인가, 또는 정의되지 않았는가
	사용된 물리량	• 모델링에 사용된 물리량은 무엇인가
	예측 용량	• 모델에 예측 능력이 있는가 • 상황-문제에 따라 하나 이상의 물리량의 시간에 따른 변화를 정성적/정량적 또는 근사/정확하게 예측할 수 있는가
	특정 작업의 명확성	• 시간 경과에 따른 분리, 좌표계 선택, 시스템 정의, 시스템의 상호작용, 벡터 분해와 같은 특정 작업이 모델링에 나타나는가
	상징적 언어	• 모델링에 사용되는 언어의 유형을 묘사하였는가 • 모델링에 사용된 언어의 특징은 무엇인가

Lopes & Costa(2007)는 모델링 역량 검사 틀에 대한 타당도를 측정하기 위해 포르투갈 북부의 다양한 교육 기관에서 75명의 피험자를 모집하였다. 75명의 피험자를 14세, 16세, 17세, 대학교 2학년, 대학교 4학년, 중·고등학교에서 공학을 가르치는 교사, 대학과 같은 고등교육기관에서 공학을 가르치는 석·박사의 7개 그룹으로 나누어 연구를 진행하였으며 Guttman 반분 신뢰도를 측정하여 신뢰성을 확인하고 다양한 교육 배경을 가진 그룹의 모델링 역량을 평가하였다. Lopes & Costa(2007)는 모델링 역량 검사를 위한 분석 틀을 활용하면 다양한 교육 배경을 가진 그룹의 모델링 역량을 평가할 수 있다고 제안하였다.

다만 Lopes & Costa(2007)의 연구는 모델링 역량 평가 검사가 개방형 질문에 대한 검사자의 서술적 답변으로만 평가가 이루어졌다는 한계점이 있다. 하지만 모델링 역량 평가를 위한 분석 틀을 개발하여 모델링 역량 평가 검사의 재현 가능성을 확인하였으며, 일관성 있는 평가 틀을 제시하였고, 모델링 역량 개발을 위한 중요한 제약 조건과 잠재력을 확인했다는 것에 연구 의의가 있다. 또한 Lopes & Costa(2007)의 연구에서는 역학을 주제로 모델링 역량에 대한 평가가 이루어졌으나, 평가 틀을 참고하여 검사 항목을 구성하고 상황-문제에 대한 답변을 분석하는 것을 통해 다른 주제에 대해서도 평가 가능성이 있음을 제안하였다.

4. 시뮬레이션(Simulation)

가. 시뮬레이션의 정의와 교육적 의의

시뮬레이션은 국립국어원 표준국어대사전에서 ‘복잡한 문제나 사회 현상 따위를 해석하고 해결하기 위하여 실제와 비슷한 모형을 만들어 모의적으로 실험하여 그 특성을 파악하는 일. 실제로 모형을 만들어 하는 물리적 시뮬레이션과 수학적 모델을 컴퓨터상에서 다루는 논리적 시뮬레이

션 따위'로 정의하고 있다(표준국어대사전, 2024). 고려대학교 민족문화연구원에서 편찬한 고려대한국어대사전에서는 '실제 사건이나 과정을 시험적으로 재현하는 기법. 산업이나 과학, 교육 등의 분야에서 물리적이거나 추상적인 시스템을 모델로 표현하고 그 모델을 고도의 수학적 과정으로 전개하는 일'로 정의하고 있다(고려대한국어대사전, 2024). 또한 Oxford Learner's Dictionaries에서는 'a situation in which a particular set of conditions is created artificially in order to study or experience something that could exist in reality'로 정의하고 있다(Oxford Learner's Dictionaries, 2024).

시뮬레이션은 학생이 추상적인 과학 개념이나 이론을 시각적으로 이해하고 관찰할 수 있는 기회를 제공하여 추상적인 개념을 학습하는 데 도움을 준다(de Jong, 2006; Liu *et al.*, 2008; Plass *et al.*, 2012). 또한 학교 현장에서 고가의 장비가 필요하거나, 큰 비용이 발생하거나, 매우 긴 시간 관찰이 필요한 실험을 수행하는 데 생기는 물리적·환경적 제약을 과학적 시뮬레이션을 통해 극복할 수 있으며, 과학 실험실에서 발생하는 안전사고를 예방하고 위험성이 높은 탐구 실험을 시뮬레이션으로 대체할 수 있다.

나. 시뮬레이션의 종류

시뮬레이션의 유형은 실제 상황을 표현하는 방식, 학습 목표 등에 따라 서로 다르게 구분할 수 있다.

Bronson(1984)은 실제 상황을 표현하는 방식에 따라 영상적, 유추적, 축약적 유형으로 구분하였다. 영상적 시뮬레이션은 어떤 사상이나 상황을 형상적으로 표현한 것을 의미한다. 유추적 시뮬레이션은 전류의 흐름을 물의 흐름으로 비유하는 것과 같이 서로 다른 현상의 특징을 비유적으로 표현한 것을 의미한다. 축약적 시뮬레이션은 공식이나 이론에 의한 변인 간의 관련성을 수학적으로 표현한 것을 의미한다.

Alessi & Trollip(1991)은 학습 목표에 따라 물리적, 절차적, 상황적,

과정적 유형으로 구분하였다. 물리적 모형은 가장 간단한 형태의 시뮬레이션으로, 이미 제시된 구체적인 물체나 물리적 대상을 사용자가 조작하는 방법을 학습하는 시뮬레이션이다. 절차적 모형은 사용자가 특정 절차나 의사결정의 순서를 학습할 수 있도록 하는 시뮬레이션으로, 컴퓨터가 제시하는 문제 상황에 사용자가 반응하면 그 반응에 대한 피드백을 제공해 주는 시뮬레이션이다. 상황적 모형은 사용자가 다양한 역할을 경험하게 하여 상호 간의 사회적 맥락 속에서 문제를 해결하는 시뮬레이션으로, 태도나 행동 변화를 학습할 수 있도록 하는 시뮬레이션이다. 과정적 시뮬레이션은 인구 변화, 수요·공급 법칙과 같이 환경적·물리적으로 쉽게 관찰할 수 없는 과정을 가르치는 시뮬레이션으로, 여러 가지 변인을 결정하여 컴퓨터에 입력한 후 도출되는 현상을 통해 결과를 해석해 보는 시뮬레이션이다.

Reigeluth & Schwartz(1989)는 Alessi & Trollip(1991)의 유형과 유사하게 학습 목표에 따라 절차적, 인과적, 과정적 유형으로 구분하였다. Reigeluth & Schwartz(1989)이 구분한 절차적 시뮬레이션은 Alessi & Trollip(1991)이 구분한 물리적 시뮬레이션을 포함하고 있다.

de Jong & van Joolingen(1996)은 학습 목표에 따른 분류를 포괄적인 기준으로 제시하여 개념적 모형, 작동적 모형의 두 유형으로 구분하였다. 개념적 모형(Conceptual models)은 전기 회로, 기체 입자 운동 등과 같이 실제 세계의 원리, 개념, 사실을 중심으로 하는 시뮬레이션이다. 즉, 추상적인 과학 개념이나 원리를 시각화한 모형을 의미한다. 작동적 모형(Operational models)은 비행기 조종, 실험 기구 조작, 가상 수술과 같이 물리적 대상이나 기계 장치의 조작에 관한 시뮬레이션이다.

한국과학창의재단(2023)에서도 2022년 첨단과학기술 활용 과학탐구 시뮬레이션 콘텐츠 가이드북을 제작하면서 학습 유형에 따라 완성형, 저작도구형의 두 유형으로 시뮬레이션을 구분하였다. 완성형 시뮬레이션은 과학 개념과 원리를 확인하기 위해 교육과정에서 제시한 탐구활동을 시나리오대로 구현한 시뮬레이션을 의미한다. 정해진 탐구 실험 활동으로 학습 목표에 도달할 수 있도록 단계별 탐구활동을 제공하며, 정해진 시

물레이션 조작 활동만으로 학습 주제 및 탐구 실험과 관련된 과학 개념을 학습하는 것을 목적으로 한다. 완성형 시물레이션은 기존에 모의 비행 조종, 모의 자동차 운전 등의 훈련에서도 많이 사용된 시물레이션 유형이라고 볼 수 있다. 최근에는 교육 분야와 간호학 및 의료 분야에서도 완성형 시물레이션이 많이 활용되고 연구되고 있다(김가은 외, 2023; 문종우 외, 2022; 임철일 & 연은경, 2009; 한형종 & 임철일, 2020). 저작도구형 시물레이션은 다양한 변인 통제를 통해 인과관계를 탐구하고 실험할 수 있는 시물레이션을 의미한다. 과학 개념 및 이론상의 유효한 범위 내에서 다양한 변인 통제가 가능하고, 정해진 과정이 아닌 사용자가 자율적으로 탐구활동을 할 수 있는 환경을 제공하며, 학생이 시물레이션 탐구활동을 통해 변인 간의 인과관계를 학습하는 것을 목적으로 한다.

<표 II-11> 시물레이션 유형 분류

표현 방식에 따라	Bronson(1984)		
	영상적 모형 (Iconic Model)	유추적 모형 (Analog Model)	축약적 모형 (Abstract Model)
	Alessi & Trollip(1991)	Reigeluth & Schwartz(1989)	de Jong & van Joolingen(1996)
학습 목표에 따라	물리적 시물레이션 (Physical Simulation)	절차적 시물레이션 (Procedural Simulation)	작동적 모형 (Operational Model)
	절차적 시물레이션 (Procedural Simulation)		
	상황적 시물레이션 (Situational Simulation)	인과적 시물레이션 (Causal Simulation)	개념적 모형 (Conceptual Model)
	과정적 시물레이션 (Process Simulation)	과정적 시물레이션 (Process Simulation)	
학습 방법에 따라	한국과학창의재단(2023)		
	완성형 시물레이션	저작도구형 시물레이션	

다. 시뮬레이션의 장점과 한계점

여러 연구에서 모형 기반 학습에 시뮬레이션을 도입하는 것이 학생에게 모형의 본질을 이해하게 하고 과학적 개념과 모델링 역량을 향상시키는 데 도움이 된다는 결과를 보였다(Gobert *et al.*, 2012; Mulder *et al.*, 2016; Scalise & Clarke-Midura, 2018). 다양한 과학 분야의 모형 기반 학습에 최신 기술들이 사용되고 있으며, 많은 연구에서 모형 기반 학습에서의 컴퓨터 시뮬레이션의 장점을 보여주었다(Keshwani *et al.*, 2017; Mulder *et al.*, 2011; Mulder *et al.*, 2016; Schwarz & White, 2005).

컴퓨터 시뮬레이션은 학생이 직접 모형을 조작하여 역동적 관계를 시각화하고 테스트할 수 있으며, 복잡한 모형을 구조화하여 시뮬레이션으로 제공해 줌으로써 변수의 조작을 통한 효과, 데이터 수집, 변수 간의 관계 파악, 모형 형성 등 개방적인 탐구를 가능하게 한다(Wang *et al.*, 2021). 최근에는 시뮬레이션에 VR 기술을 활용하여 모형 기반 학습을 돕는 연구도 이루어지고 있다(최섭, 2021; 최섭 & 김희백, 2020; Dickes *et al.*, 2019). 시뮬레이션을 통해 학생은 모델링의 실제 적용(Modeling practice)에 직접 참여하여 복잡한 계에 대한 시스템적 사고의 발달을 촉진할 수 있으며(Dickes *et al.*, 2019), 자연 현상에 대한 정신적 모델을 표현하고 시뮬레이션을 조작하여 가설을 검증할 수 있다(Schwarz & White, 2005). 또한 컴퓨터 시뮬레이션의 활동 로그 파일을 활용하면 학생의 학습 과정과 모델링 과정에 대한 잠재적 학습 패턴을 분석할 수 있다(Liu *et al.*, 2016; Chang *et al.*, 2017).

시뮬레이션은 학생이 학습에 적극적으로 참여하도록 하고 과학적 지식을 구성할 수 있도록 도우며(Adams, 2010; Davies, 2002), 과학적 탐구를 촉진시킨다(Chamberlain *et al.*, 2014). Lee *et al.*(2021)의 연구에서는 참여형 시뮬레이션 게임의 다양한 설계가 다양한 학습 참여 패턴과 다양한 과학 학습 결과를 보일 수 있다는 것을 밝혔다. 이러한 시뮬레이션의 장점을 바탕으로 실물을 활용한 실험의 한계를 극복하고, 학생 스스로 다양하게 설계하고 실험할 수 있는 첨단과학기술 기반의 과학 시뮬레이

션 개발이 요구되고 있다(한국과학창의재단, 2023).

현재 매우 다양한 분야에서 시뮬레이션이 문제 해결을 위한 도구로 사용되고 있다(Bronson, 1984). 교육 분야에서도 학생의 효과적인 학습을 위해 다양한 기관에서 과학적 시뮬레이션을 국가 교육과정과 연계하여 개발하고 이를 무료로 제공하고 있다. 하지만 학생 개개인이 요구하는 수많은 상황을 모두 시뮬레이션으로 제작하고 제공하는 데에는 한계가 있다. 특히 영재 학생의 경우 일반 학생보다 지능지수가 높고, 창의적이고 개방적이며 호기심이 많기 때문에(김미숙 외, 2005; 이정철 외, 2009) 영재 학생이 요구하는 시뮬레이션을 개발하고 보급하는 데에는 한계가 있다. 또한 영재 교육은 영재교육 진흥법 제13조(교육과정 및 교과용 도서) 제1항 ‘영재교육기관의 장은 「초·중등교육법」 제23조 제2항에도 불구하고 해당 교육 기관의 교육 영역 및 목적 등에 적합한 교육과정을 정하여 운영하여야 한다.’에 따라 국가 교육과정을 따르지 않고, 영재학교에서 자체적으로 교육과정을 수립하여 운영하고 있다. 현재 과학영재 고등학교에서 운영하는 영재 교육과정의 과학과 교육과정은 국가 교육과정의 과학과 교육과정 수준을 넘어선 개념과 이론을 다루고 있기 때문에 다양한 기관에서 개발한 우수한 교육용 시뮬레이션을 수업에 활용하는 데에는 한계가 있다. 또한 시뮬레이션은 개발 과정에서 이미 프로그램상에 과학 개념과 이론, 변인 등이 개발자에 의해 설정되어 있어 새로운 문제에 대한 탐구가 어렵다. 따라서 영재 학생이 자신의 요구에 따라 문제 상황을 탐색하여 문제를 정의하고, 이를 바탕으로 학생 스스로 과학적 시뮬레이션을 구성함으로써 학습이 이루어질 수 있는 수업 모형이 필요하다.

III. 연구 방법

1. 설계 · 개발 연구

본 연구는 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’을 위한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 개발하고, 개발한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략에 대해 내적 타당성과 외적 타당성 확인을 목적으로 한다. Richey & Klein(2007)은 설계 · 개발 연구를 ‘교수적, 비교수적 인공물을 산출하기 위해 경험적이고 실증적인 기반 구축을 목표로 하는 체계적인 설계, 개발 및 평가 과정’이라고 정의하고, <표 III-1>과 같이 두 가지 유형을 제시하였다. 유형 I은 ‘산출물 및 도구 연구’로, 특정 산출물이나 프로그램, 프로젝트에 관한 연구를 목적으로 한 유형이다. 유형 II는 ‘모형 연구’로, 모형 개발, 설계 원리 및 전략 개발, 모형 타당화, 모형 사용에 관한 연구를 목적으로 한 유형이다.

<표 III-1> Richey & Klein(2007)의 설계 · 개발 연구 유형

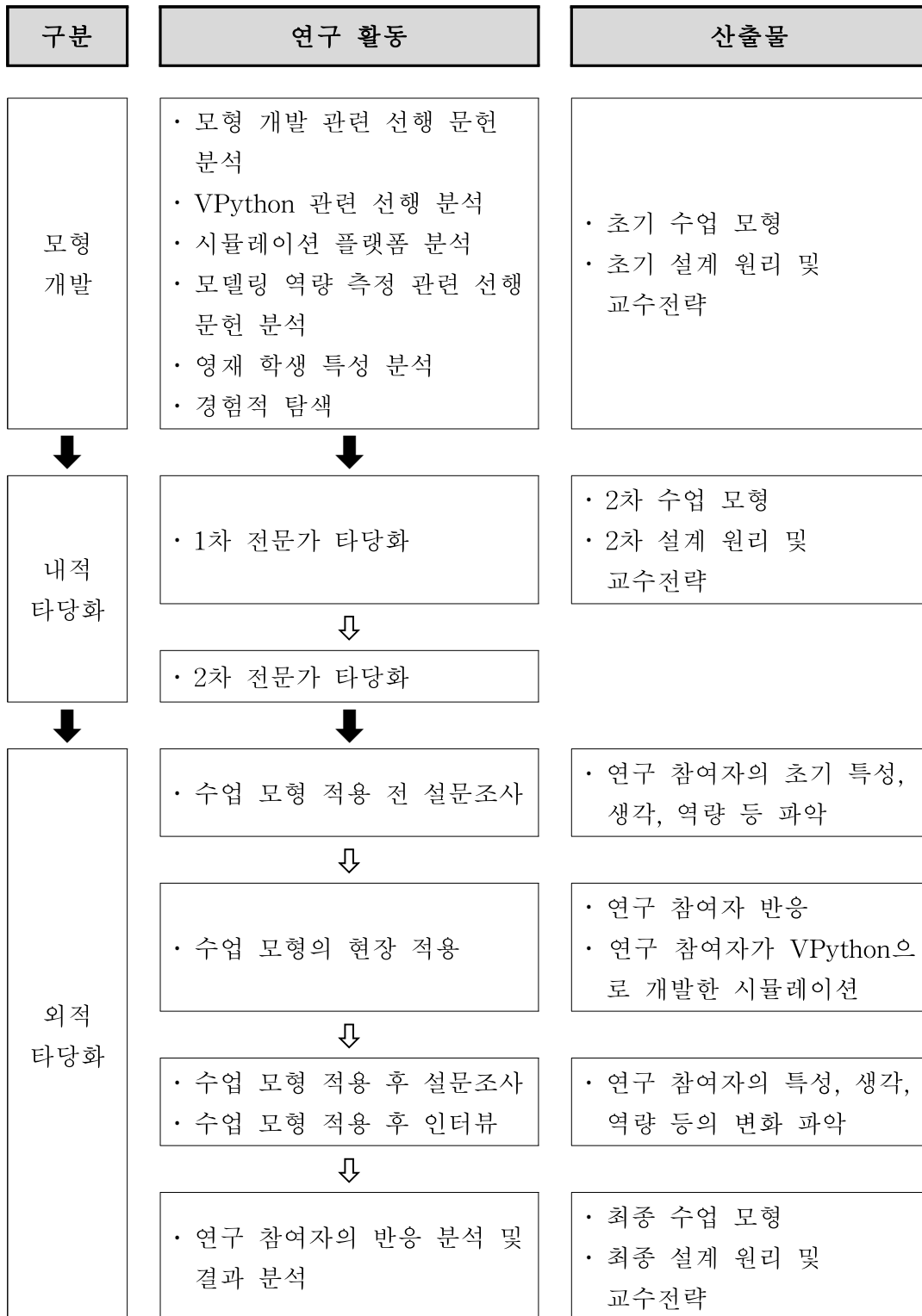
	유형 I	유형 II
연구 초점	특정 산출물, 프로그램, 프로젝트에 관한 연구에 초점	모형 개발, 설계 원리 및 지침 개발, 모형 타당화, 모형 사용에 관한 연구에 초점
연구 방법	사례 연구, 내용 분석, 전문가 리뷰, 현장 관찰, 심층 면담, 설문지 등	사례 연구, 델파이 분석, 심층 면접, 문헌 연구, 설문지 등
연구 맥락	발견한 문제점을 해결하기 위해 관련 자료를 개선	체계적인 과정을 통한 타당화 결과물 도출
연구 결과	특정 산출물 개발 및 사용을 촉진시키는 조건 분석	수업 모형, 설계 원리 및 지침
결론 일반화 정도	맥락-특수적 결론	일반화된 결론

본 연구는 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’을 위한 수업 모형 개발, 모형의 단계별 설명 및 예시 제시, 수업 모형을 위한 설계 원리 및 교수전략 개발을 목적으로 하고 타당성 검증을 통해 모형의 교육적 효과성을 입증하려는 연구로서, 설계·개발 연구의 유형Ⅱ에 따라 연구를 수행하였다.

2. 연구 절차

본 연구에서는 과학영재 고등학교에서 VPython 또는 Web VPython을 활용하여 과학교육과 정보교육을 융합한 수업 모형인 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’의 모형과 설계 원리 및 교수전략을 개발하였고, 이를 실제 과학영재 고등학교 수업에 적용하여 학생의 반응을 통해 개발한 수업 모형의 교육적 효과를 분석하였다. 구체적인 연구 절차는 <표 Ⅲ-2>와 같다.

<표 III-2> 본 연구의 연구 절차



본 연구는 학생 스스로 VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 구성하는 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 개발하고, 이에 대한 타당성을 확인하여 영재교육 맥락에서 과학교육과 정보교육의 융합으로서 모형의 일반화 가능성을 탐색하기 위한 연구이다. 구체적으로 본 연구의 목적을 달성하기 위하여 <표 III-3>에 제시한 것과 같이 모형 개발 연구와 모형 타당화 연구의 두 단계를 실행하였다.

<표 III-3> 본 연구의 단계별 연구 방법(Richey & Klein, 2007)

단계	세부 내용	연구 방법
모형 개발	모형 개발, 설계 원리 및 교수전략 개발	선행 문헌 검토 및 분석
모형 타당화	모형에 대한 내적 타당화	전문가 검토
	모형에 대한 외적 타당화	설문조사, 심층 면담

모형 개발 연구에서는 주로 사용되는 방법인 조사 연구, 사례 연구, 델파이 기법, 심층 면담, 문헌 검토 중 문헌 검토의 방법을 채택하였으며(Richey & Klein, 2007), 통합적 검토 방법(integrative review)을 사용하였다. 영재 교육뿐만 아니라 일반 교육에서도 학생 스스로 시뮬레이션을 구성하는 수업이나 교육 프로그램에 관한 선행 연구가 미흡하다는 점에서 본 연구는 탐색적 연구(Exploratory research)의 성격을 갖는다(Singleton & Straits, 2005). 따라서 문헌을 검토할 때 본 연구와 유사한 성격을 지닌 선행 연구와 자료를 검토하고 그 결과를 종합하여 분석하였다. 선행 문헌의 통합적 검토 결과를 바탕으로 게임 기반(game-based) 수업 모형, 문제 해결(problem-based) 수업 모형, 인공지능 융합(AI convergence) 수업 모형, 데이터 기반(data-based) 수업 모형, 가상현실 기반(VR-based) 교육, 메이커(maker) 교육, 과학적 모형 구성(scientific modeling) 수업 등을 과학영재 고등학교 수업 상황에 적합하도록 수정하였고, VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 구성할 때 활용될 수 있는 설계 원리와 교수전략을 고려하였다.

모형 타당화 연구에서는 내적 타당화와 외적 타당화를 모두 수행하였

다. 내적 타당화 과정에서는 전문가 검토 방법을 채택하여 두 차례에 걸쳐 전문가 검토를 수행하였다. 외적 타당화 과정에서는 수업 모형의 현장 적용에 대한 교육적 효과 분석을 위해 수업 모형 적용 전과 수업 모형 적용 후에 대해 각각 설문조사와 심층 면담 방법을 채택하였다. 특히 본 연구는 과학영재 고등학생을 대상으로 한 연구로, 5점 리커트 척도를 활용한 자기 보고식 평가로 구성된 설문조사를 통해서는 수업 모형의 교육적 효과를 분석하는 데 한계가 있다고 판단하였다. 자기 보고식 평가를 시행할 때 남학생이 여학생보다 자기 능력을 과대평가한다고 알려져 있다(Pajares & Graham, 1999; Pallier, 2003; Stankov & Lee, 2008). 또한 이정철 외(2009)의 연구 결과를 보면 영재 학생은 자신의 학습 능력에 대하여 자신감이 높으므로 자기 보고식 평가로 구성된 설문조사를 통해서는 수업 모형 적용 전·후의 변화를 분석하는 데 한계가 있을 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구의 외적 타당화 과정은 질적 분석을 기본으로 하며, 설문조사는 수업 모형 적용 전·후 학생의 반응 변화를 비교하는 수준에서 분석하고, 학생의 수업 경험과 수업의 교육적 효과를 풍부하게 이해하기 위하여 심층 면담을 수행하였다.

3. 초기 수업 모형, 설계 원리 및 교수전략 개발

가. 모형 개발 관련 선행 문헌 검토

본 연구의 목적인 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’을 위한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 개발하기 위하여 본 연구와 유사한 성격을 지닌 선행 연구와 자료를 검토하고 그 결과를 종합하여 분석하였다. 문헌 검색은 서울대학교 중앙도서관(<https://lib.snu.ac.kr/>), 한국교육학술정보원 학술연구정보서비스 RISS(<https://www.riss.kr/>), 한국학술지인용색인 서비스(<https://www.kci.go.kr/>), 누리미디어 학술검색

서비스 DBpia(<https://www.dbpia.co.kr/>), SSCI(Social Science Citation Index) 학술 저널(<https://www.webofscience.com/>), ERIC(Educational Resource Information Center) 학술 저널(<https://eric.ed.gov/>), 구글 학술 검색(<https://scholar.google.co.kr/>)을 활용하였다. 선행 문헌 검토에서 본 연구 목적인 수업 모형의 개발, 설계 원리 및 교수전략의 개발을 위해 ‘파이썬’, ‘브이파이썬’, ‘게임 기반 수업’, ‘문제 해결 수업’, ‘인공지능 융합 수업’, ‘데이터 기반 수업’, ‘가상현실 기반 수업’, ‘메이커 교육’, ‘과학적 모형’, ‘과학적 모형 구성’, ‘모델링 역량’, ‘시뮬레이션’, ‘python’, ‘VPython’, ‘game-based’, ‘problem-based’, ‘AI convergence education’, ‘data-based’, ‘VR-based’, ‘maker education’, ‘scientific model’, ‘scientific modeling’, ‘scientific model construction’, ‘modeling competency’, ‘simulation’ 등의 키워드를 사용하였다.

참여형 시뮬레이션이 게임의 성격을 띠며(Lee *et al.*, 2021), 다양한 시뮬레이션을 통해 학습 참여 패턴과 과학 학습의 결과가 달라질 수 있다는 연구 결과를 참고하여 ‘게임 기반 수업’, ‘game-based’를 키워드에 포함하였다. 또한 본 연구에서 설계하고자 하는 수업 모형은 학생 주도형 수업을 바탕으로 하며, 학생이 직접 VPython을 활용한 코딩을 통해 시뮬레이션을 구성하고 개발하는 것을 목표로 한다. 가상공간에서 3차원 객체를 활용하여 학생이 직접 시뮬레이션을 구성하는 활동은 다양한 제품을 기획하고 다양한 장비를 활용하여 물건을 제작하는 메이커 활동과 유사한 측면이 있다고 판단하여 ‘메이커 교육’, ‘maker education’을 키워드에 포함하였다.

나. VPython 관련 선행 문헌 검토

본 연구의 목적을 위해 수업 모형 개발과 관련된 선행 문헌 검토와 더불어, VPython을 과학교육 분야 및 과학 탐구 분야에 활용한 선행 연구와 자료를 검토하고 그 결과를 종합하여 수업 모형 개발에 참고하였다.

1) 과학교육 분야에서 VPython을 활용한 선행 문헌 검토

① 김창배 외(2020)의 연구

김창배 외(2020)는 ‘VPython을 활용한 선형 질량-스프링 결합계 진동의 대화형 시뮬레이션’이라는 주제로 물리교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. 김창배 외(2020)는 숭실대학교 2학년에 개설되는 파동 현상 과목에서 진동과 파동의 교육을 위해 VPython을 사용하여 대화형 시뮬레이션을 개발하였다. 조화진동(Harmonic oscillation)은 대학 물리학 과정에서 필수적으로 학습하는 주제로, 김창배 외(2020)의 연구에서 VPython을 활용하여 결합 진동자 계의 정규 모드(normal mode)와 공명 현상에 대한 이해를 돕고, 경계 조건에 따른 정상 파동의 형태를 확인할 수 있으며, 파동이 진행되는 속도를 측정할 수 있는 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다.

② 박일우(2022)의 연구

박일우(2022)는 ‘등속 원운동과 Web VPython으로 우주 망원경의 위치 계산하기(1) - 라그랑주 L1과 L2 지점을 중심으로’라는 주제로 물리교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. 박일우(2022)는 5개의 라그랑주 지점(Lagrangian point) 중에서 태양과 지구를 잇는 직선상에 존재하는 L1과 L2 지점의 위치를 두 가지 방법으로 계산하고, 두 계산 결과의 차이를 탐구하였다. 첫 번째 방법은 2015 개정 물리학Ⅱ 교육과정 내용과 2015 개정 수학과 교육과정 내용을 바탕으로 근사식을 세우고 이를 계산하여 L1과 L2 지점의 위치를 구하였다. 두 번째 방법은 근사하지 않은 수식을 VPython으로 코딩하여 이를 계산하여 L1과 L2 지점의 위치를 구하고, 그 결과를 그래프로 시각화하여 나타내었다. 두 방법으로 구한 L1과 L2의 크기가 지구 공전 궤도 반지름의 약 1% 차이를 보였으며, 선행 연구(Cornish, 1998; Westra, 2017)에서 섭동 이론으로 구한 값과도 일치한다는 것을 확인하였다. 이를 통해 물리교육에서 VPython을 활용할 수 있는 학습 프로그램을 탐색하였다.

③ 이종완 외(2013)의 연구

이종완 외(2013)는 ‘게임물리학 교수학습 자료의 개발’이라는 주제로 물리교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. 이종완 외(2013)는 한림대학교 전자물리학과 3학년 2학기에 개설되는 전공선택 교과목인 게임 물리학 강좌에서 재미있고 효율적인 물리학 학습을 위한 교수·학습 자료 개발을 연구하였다. 게임 물리학은 컴퓨터 게임이나 애니메이션 등의 제작에 필요한 물리학 및 알고리즘을 배우는 교과목으로 이종완 외(2013)는 교수·학습 도구로 Python과 VPython을 활용하였다. 이종완 외(2013)에서 제시한 게임 물리학 수업에 대한 커리큘럼은 <표 III-4>와 같다.

<표 III-4> 이종완 외(2013)가 제시한 게임 물리학 수업 커리큘럼

주차	내용
1	Introduction: 강좌 개요 소개, Python 및 VPython 설치
2	Python I: 변수(Variable), 타입(Type), 연산자(Operator), 리스트(List), 반복문(While, For)
3	Python II: 함수(Function), 모듈(Module), 파일 입출력(File Input & output)
4	VPython I: VPython 3차원 기본 객체 생성, 벡터 연산
5	VPython II: 그래프 모듈(Graph module), 키보드 입력(Key input), 마우스 입력(Mouse input)
6	수치해석 I: Newton-Raphson method, 차분법(Difference method)
7	수치해석 II: 오일러 법(Euler method), Runge-Kutta method
8	중간고사
9	슈팅 게임 I: 2차원 발사체, 3차원 발사체, 오일러 법(Euler method)
10	슈팅 게임 II: 디자인 - 슬라이더(Slider)와 버튼(Button) 프로그래밍
11	알까기 게임 I: 1차원 충돌, 2차원 충돌, 마찰
12	알까기 게임 II: 디자인 - 키보드 & 마우스 조작
13	유탄산 시뮬레이션 I: 질량 중심, 2개 및 3개 입자의 폭발
14	유탄산 시뮬레이션 II: 디자인 - n개 입자의 폭발
15	게임 프리젠테이션

④ 이종완(2023)의 연구

이종완(2023)은 ‘VPython으로 구현한 블로흐 구의 온라인 3차원 시뮬레이터’라는 주제로 물리교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. 블로흐 구(Bloch Sphere)는 양자 상태를 기하학적으로 표현하는 방법의 하나로, 양자 비트(Quantum bit 또는 Qubit)의 상태와 양자 게이트 연산을 시각적으로 표현하는 데 사용된다. 이종완(2023)은 양자 컴퓨팅 및 양자 정보 이론 분야의 교육에 기여할 수 있도록 VPython을 기반으로 블로흐 구를 시각화하는 온라인 3차원 시뮬레이터를 개발하는 연구를 수행하였다. 개발한 시뮬레이터를 통해 학생 또는 연구자가 임의의 양자 상태를 온라인에서 직접 입력하여 블로흐 구를 바로 관찰할 수 있도록 함으로써 양자 상태 및 연산을 시각적으로 이해하는 데 도움을 줄 수 있다고 제안하였다.

⑤ 최진호(2023)의 연구

최진호(2023)는 ‘소프트웨어를 활용한 물리학 수업이 고등학생의 과학과 핵심 역량에 미치는 영향’이라는 주제로 물리교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. 최진호(2023)는 2022 개정 교육과정에서 강조하고 있는 디지털·AI 기초 소양 함양을 위한 물리학 수업 프로그램을 개발하고 이를 적용한 수업이 고등학생의 과학과 핵심 역량에 미치는 영향을 탐구하였다. 최진호(2023)는 광주광역시에 소재한 고등학교에서 물리학 I 교과를 이수하고 있는 2학년 2개 반을 실험 대상으로 선정하였고, 3차시로 개발된 소프트웨어를 활용한 물리학 II 수업을 진행하였다. 물리교육에 디지털 리터러시 함양을 위한 소프트웨어로 VPython을 선정하였으며, 하민수 외(2018)에서 개발한 과학과 핵심 역량 조사 문항을 검사 도구로 활용하였다. 최진호(2023)는 소프트웨어를 활용한 물리학 수업 지도안을 개발하고, 이를 고등학생에게 적용하여 소프트웨어를 활용한 물리학 수업이 고등학생의 과학과 핵심 역량 향상에 통계적으로 유의한 영향을 준다는 것을 확인하였다.

⑥ Bufasi *et al.*(2022)의 연구

Bufasi *et al.*(2022)는 ‘Developing student’s comprehensive knowledge of physics concepts by using computational thinking activities: effects of a 6-week intervention’이라는 주제로 물리교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. Bufasi *et al.*(2022)는 12학년 60명을 대상으로 실험군과 대조군으로 나누어 6주 동안 실험을 진행하였다. 실험군은 VPython을 활용하여 힘(Force), 운동량(Momentum)에 대해 학습하였으며, 대조군은 강의를 통해 관련 내용을 학습하였다. 준-실험적(quasi-experimental) 접근법을 사용하였으며, 학습 효과에 대한 측정으로 1992년 Hestenes *et al.*(1992)가 개발한 FCI(Force Concept Inventory)를 활용하여 사전, 사후 테스트를 진행하였다. 그 결과 실험군에서는 FCI 평균 점수가 24.03, 표준편차가 4.68로 나왔으며, 대조군에서는 FCI 평균 점수가 20.30, 표준편차가 5.38로 통계적으로 유의한 차이가 나타남을 확인하였다. Bufasi *et al.*(2022)는 컴퓨팅 사고 활동을 구현하면 학생의 물리 개념에 대한 지식이 향상될 뿐만 아니라 시각적 사고도 향상되어 학생이 문제를 인지적으로 더 잘 이해할 수 있게 된다고 제안하였다.

⑦ Capece & Gazley(2021)의 연구

Capece & Gazley(2021)은 ‘The Hohmann transfer as an application for teaching introductory physics’라는 주제로 물리교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. Capece & Gazley(2021)은 해당 연구에서 미국 뉴저지 대학의 STEM 교육을 위한 여름 브리지 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 2주 동안 진행되었으며, 컴퓨터 기술(computational skills)의 향상, 물리학 및 공학 개념에 대한 역량 함양, 효과적인 학습 습관 개발을 목표로 하였다. 프로그램에서 다룬 학습 주제는 호만 전이(Hohmann transfer)였으며, 학생이 VPython을 활용하여 스스로 지구에서 금성까지의 여행을 설계하도록 하였다. 30명의 학생이 여름 브리지 프로그램에 참여하였으며, 90% 이상의 학생이 흑인이나 히스패닉계였다. 또한 참여한 학생은 모두 저소득층이었고, 대부분은 부모 중 한 명 이상 학사 학위를 취득하지 않은 학생(First-generation college students)이었다. 이러

한 배경을 가진 학생은 STEM 교육을 수료하지 않고 중도 포기할 가능성이 높다고 보고된 그룹이지만, Capece & Gazley(2021)의 연구에서는 80%의 학생이 STEM 교육을 위한 여름 브리지 프로그램을 수료하였다.

⑧ Marciuc *et al.*(2015)의 연구

Marciuc *et al.*(2015)는 ‘Using GeoGebra and VPython software for teaching motion in an uniform gravitational field’라는 주제로 물리교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. Marciuc *et al.*(2015)는 균일한 중력장에서 포물선 운동과 진자 운동에 대해 고등학교 수준의 물리교육 프로그램을 개발하였다. 해당 연구에서 Marciuc *et al.*(2015)는 모델링을 통해 물리학을 학습하는 방법론에 기반하여, 분석 모델링을 위한 프로그램으로 GeoGebra와 VPython을 활용하였다. GeoGebra에서는 2차원 모델을 실현했으며, VPython에서는 3차원 모델을 구축하였다. 개발된 물리교육 프로그램은 County Centre of Excellence of Satu Mare에서 수학 및 컴퓨터 모델링에 중점을 둔 학제 한 학습(interdisciplinary study)을 받는 학생들의 수업에 적용되었다.

⑨ Marciuc & Miron(2017)의 연구

Marciuc & Miron(2017)는 ‘Using VPython programming for interdisciplinary learning and problem solving’이라는 주제로 물리교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. Marciuc & Miron(2017)는 과학을 깊이 있게 이해하기 위해서는 수학적 도구를 익히는 것이 필수라고 생각하였으며, 수학적 모형과 관련된 컴퓨터 시뮬레이션을 구축함으로써 학생이 다양한 현상을 설명하는 물리적 이론을 이해할 수 있다고 주장하였다. 이를 바탕으로 VPython을 활용한 교육 프로그램을 개발하였으며, 개발한 프로그램을 통해 실제 문제를 해결하기 위한 수학 지식, 광학 현상을 이해하기 위한 물리학 지식, 프로그래밍을 통한 시각화를 활용하여 결과를 확인하고 검증할 수 있는 정보 기술 도구 활용 능력을 기를 수 있음을 보였다. Marciuc & Miron(2017)는 VPython 프로그래밍 언어를 사용하여 두 개의 교차 평면 거울에서 다중 반사 현상을 설명하는 방법을 개

발하였다. GeoGebra를 활용하여 극좌표를 계산한 후 VPython을 활용하여 시뮬레이션을 구성하였다. GeoGebra에서는 소프트웨어의 한계로 인하여 연속으로 반사된 광원을 표현하는 것이 불가능하였으나, VPython 프로그래밍 언어를 사용하여 해당 문제를 해결하고 이를 시각화하였다. Marciuc & Miron(2017)이 개발한 프로그램은 학제 간 학습 (interdisciplinary study)으로 수학·물리학·컴퓨터과학이라는 세 과목에서 학생이 습득한 지식 간의 상관관계를 형성할 수 있다고 제안하였다.

⑩ Ornek(2012)의 연구

Ornek(2012)는 ‘The role of computer modeling in enhancing students’ conceptual understanding of physics’라는 주제로 물리교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. Ornek(2012)는 바레인 대학에서 물리학 전공자들이 주로 수강하는 2학기짜리 물리학 입문 과정인 미국 퍼듀대학의 PHYS162와 PHYS163에 등록한 학생들을 대상으로 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램인 VPython의 사용이 학생들의 기본적인 물리 원리에 대한 개념적 이해와 새로운 물리학 지식 구성에 어떤 영향을 주는지 조사하는 프로젝트를 수행하였다. 학생의 견해를 알아보기 위해 학생 인터뷰와 개방형 설문조사를 실시하였다. 그 결과 VPython과 관련된 과정이 시작되는 초기에 학생들은 시뮬레이션 프로그램에 대해 부담을 느낀다고 응답하였으나, 과정이 진행되는 동안 VPython의 사용이 물리적 현상에 대한 지식의 학습과 개념적 이해를 촉진했다고 응답하였다.

⑪ Scherer *et al.*(2000)의 연구

Scherer *et al.*(2000)는 ‘VPython: 3D interactive scientific graphics for students’라는 주제로 물리교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. David Scherer는 VPython의 그래픽 라이브러리를 개발한 개발자 중 한 명으로, 물리학 수업에서 사용하는 프로그래밍 언어는 컴퓨터 프로그래밍 수업이 아니기 때문에, 물리 모델을 만들고 실행하는 메커니즘이 사용자에게 어렵거나 시간이 많이 소요되는 작업이 되면 안 된다고 생각하였다. 따라서 Python을 기반으로 VPython을 개발하여 초보 사용자 및

프로그래밍 경험이 없는 학생도 물리학 방정식을 직접 코드로 작성할 수 있도록 하였다. 또한 그래픽 라이브러리를 통해 물리학 방정식을 쉽게 시각화하여 컴퓨터 모델을 작성하는 방법을 학습할 수 있게 하였다.

⑫ Urbano & Houghton(2018)의 연구

Urbano & Houghton(2018)은 ‘An interactive computer model for Coriolis demonstrations’라는 주제로 지구과학교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. Urbano & Houghton(2018)은 코리올리 효과(Coriolis effect) 설명을 위해 수업 시간에 실험으로 시연하는 것은 수업에 참석하는 학생 수가 많을수록 가시성이 떨어지고 비효율적이라는 문제 인식을 바탕으로 코리올리 효과를 VPython으로 시각화한 수업 프로그램을 개발하였다. Urbano & Houghton(2018)은 150개 좌석이 마련된 대형 강의에서 활용할 수 있는 프로그램을 개발하였으며, 38명의 학생을 대상으로 프로그램의 효과성을 탐색하였다. 프로그램을 적용하기 전과 후 학생 설문조사를 실시한 결과, VPython을 활용하여 코리올리 효과를 관찰하는 프로그램을 경험한 학생들은 코리올리 효과에 대한 이해가 향상되었으며, VPython을 활용한 수업에 대해 긍정적인 반응을 보였다.

⑬ Wu *et al.*(2021)의 연구

Wu *et al.*(2021)는 ‘Research on the application of VPython 3D dynamic visualization in the teaching of college physics’라는 주제로 물리교육 분야에 관한 연구를 수행하였다. Wu *et al.*(2021)는 대학생들이 일반적으로 물리학 개념을 추상적인 것으로 인식하여 배운 내용을 적용하는 데 어려움을 느끼고 있다는 문제 인식을 바탕으로 대학 물리교육에서 3D 애니메이션 및 시각화를 위해 VPython을 활용하는 방안을 탐색하였다. Wu *et al.*(2021)는 대학 물리학 내용 중 단순 조화진동(Simple harmonic vibration), 광학(Optics), 분자 열운동(Molecular thermal motion), 전기장(Electric field) 등의 학습에 대해 VPython의 활용을 제시하였으며, 이를 통해 학생에게 유익한 탐구 경험과 공학 및 수학 기술을 향상시킬 수 있다고 제안하였다.

2) 과학연구 분야에서 VPython을 활용한 선행 문헌 검토

① George *et al.*(2010)의 연구

George *et al.*(2010)는 ‘VPython application to the computer-aided drug design problem’이라는 주제로 화학 또는 생화학 분야에 관한 연구를 수행하였다. George *et al.*(2010)는 납 화합물의 화학적 및 기하학적 특성 구조와 생물학적 활성 사이의 수학적 관계를 연구하는 학문 분야인 QSAR(Quantitative Structure-Activity Relationship)의 연구에 VPython을 활용하였다. 납 화합물과 그 수용체의 구조를 3차원 컴퓨터 모델로 표현하는 데 VPython을 사용하였으며, 이를 바탕으로 약물을 합성하기 전에 더 나은 생물학적 활성을 위한 약물 분자 모델을 수정하는 데 VPython을 활용하면 약물 활성 예측에 드는 비용과 시간을 줄일 수 있다고 제안하였다.

② Langbeheim(2020)의 연구

Langbeheim(2020)은 ‘Simulating the effects of Excluded-volume interactions in polymer solutions’라는 주제로 화학 및 재료과학 분야에 관한 연구를 수행하였다. Langbeheim(2020)은 VPython을 활용하여 용액 내에서 합성되는 중합체(polymer)의 평균 크기를 모델링하는 데 주로 사용되는 개념인 제외 부피 상호작용(Excluded-volume interactions)을 연구자가 시뮬레이션으로 탐색할 수 있는 방법을 제시하였다. VPython을 활용한 시뮬레이션으로 연구자가 제외 부피 상호작용에서 수학적 관계를 도출해 낼 수 있도록 하였고, 그 결과가 Flory & de Gennes의 수학 이론과 일치하는 결과임을 확인하였다.

③ Yildirim(2015)의 연구

Yildirim(2015)는 ‘Kinematic model extraction for serial manipulators which have in different Topologies in VPython environment’라는 주제로 역학 및 로봇공학에 관한 연구를 수행하였다. Yildirim(2015)는 공간 연산자 대수학(spatial operator algebra)을 이용하여 직렬 조작기(serial

manipulator)의 역기구학(inverse kinematic) 모델을 시뮬레이션으로 탐구하였다. 역기구학 알고리즘을 테스트하기 위해 VPython 소프트웨어 프로그램을 사용하였으며, 이를 통해 공간 벡터 대수학을 이용하여 다양한 직렬 조작기 메커니즘에 대한 역기구학 모델링 작업을 측정하였다.

VPython을 과학교육 분야 및 과학탐구 분야에 활용한 선행 연구를 정리하면 <표 III-5>와 같다.

<표 III-5> VPython을 과학교육 분야 및 과학 탐구 분야에 활용한 선행 연구

선행 연구	키워드	분야
김창배 외(2020)	결합 진동자, 수치 시뮬레이션	대학 물리교육
박일우(2022)	라그랑주 지점, 제임스 웹 우주 망원경, 등속 원운동, 비주얼 파이썬, 근사	고등학교 물리교육
이종완 외(2013)	게임 물리학, 파이썬, 브이파이썬	대학 물리교육
이종완(2023)	양자 컴퓨터, 양자 비트, 블로흐 구	대학 물리교육
최진호(2023)	소프트웨어 활용 교육, 과학과 핵심 역량, VPython	고등학교 물리교육
Bufasi <i>et al.</i> (2022)	Computational thinking, VPython, FCI, Visual thinking, Physics	고등학교 물리교육
Capece & Gazley(2021)	Hohmann transfer, Computational skills, VPython	대학 물리교육
Marciuc <i>et al.</i> (2015)	Computational models, Projectile motion, Gravitational pendulum, Interdisciplinary learning, GeoGebra, VPython	물리교육
Marciuc & Miron(2017)	VPython, Geometric optics, Interdisciplinary learning	물리교육
Ornek(2012)	Computer simulation, Computer modeling, Learning and teaching, Models, VPython	대학 물리교육
Scherer <i>et al.</i> (2000)	VPython	대학 물리교육

선행 연구	키워드	분야
Urbano & Houghton(2006)	Coriolis, Computer model, VPython	대학 지구과학교육
We <i>et al.</i> (2021)	VPython, Animation and visualization teaching	대학 물리교육
George <i>et al.</i> (2010)	QSAR, VPython, 3D modeling, Molecular fitting	화학, 생화학
Langbeheim(2020)	Computer-based learning, Molecular modeling, Statistical mechanics, Solutions and Solvent, Materials Science	화학, 재료과학
Yildirim(2015)	Spatial operator algebra, Inverse kinematic, VPython	역학, 로봇공학

다. 시뮬레이션 온라인 플랫폼 분석

시뮬레이션을 개발하는 데에는 큰 노력과 비용이 필요하다. 또한 시뮬레이션을 제대로 구성하기 위해서는 관련 지식에 대한 수준 높은 이해와 프로그래밍 능력이 선행되어야 한다. VPython은 Python을 기반으로 한 언어로, Visual 모듈을 제공하여 Python을 사용할 줄 아는 사람이라면 누구나 쉽게 시뮬레이션을 개발할 수 있는 환경을 제공해 줌으로써 시뮬레이션을 구성하는 데 요구되는 프로그래밍 능력의 수준을 다른 프로그래밍 언어에 비해 낮출 수 있다. VPython은 접근성이 좋고, 전문 프로그래머가 아닌 일반인도 유용하게 활용할 수 있어, 몇몇 국내외 대학의 과학교육에서 학부생을 대상으로 VPython을 활용한 수업이 이루어지고 있다(김창배 외, 2020; 이종완, 2023; 이종완 외, 2013; Akpojotor *et al.*, 2010; Capece & Gazley, 2021; Idris & Idris, 2023; Ornek, 2012; Scherer *et al.*, 2000; Urbano & Houghton, 2006; We *et al.*, 2021; Weatherford, 2011). 대학 수준의 과학교육에서 VPython과 관련된 연구가 진행되고 있는 것에 비해, 비슷한 수준의 과학교육이 이루어지고 있는 영재교육에

서는 VPython과 관련된 연구가 거의 이루어지지 않고 있다. 하지만 대학 학부생을 대상으로 한 대학 수업에서 VPython이 활용되고 그 교육적 효과가 보고되고 있는 것을 근거로, 과학영재 고등학교에서도 충분히 VPython을 활용하여 수업이 이루어질 수 있을 것으로 판단하였다. 특히 VPython을 활용한 과학교육 분야의 연구가 주로 시뮬레이션에 초점이 맞추어져 있으므로, 과학영재 학생을 대상으로 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션을 구성하는 수업을 개발하고자 하였다.

VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형의 개발을 위해 기존에 개발된 국내외 교육용 시뮬레이션 플랫폼을 탐색해 보았다. 기존에 개발된 국내외 교육용 시뮬레이션은 국가 교육과정 수준과 연계하여 개발되고 보급되었으며, 과학교육에서 시뮬레이션의 교육적 효과가 많이 연구되었다(Adams, 2010; Chamberlain *et al.*, 2014; Davies, 2002; Gobert *et al.*, 2012; Keshwani *et al.*, 2017; Mulder *et al.*, 2011; Mulder *et al.*, 2016; Scalise & Clarke-Midura, 2018; Schwarz & White, 2005). 따라서 기존에 개발된 교육용 시뮬레이션의 특징을 검토하고 그 결과를 종합하여 수업 모형 개발에 참고하였다. 시뮬레이션 유형의 정의는 학자마다 다르므로, de Jong & van Joolingen(1996)의 개념적/작동적 모형과 한국과학창의재단(2023)의 완성형/저작도구형 시뮬레이션으로 시뮬레이션을 분류하였다. 국내외에서 개발된 교육용 시뮬레이션 플랫폼을 탐색하여 분석한 결과는 다음과 같다.

1) 여러 교과에 대한 시뮬레이션을 제공해 주는 플랫폼

① 자바실험실 (<https://javalab.org/>)

자바실험실은 대한민국 과학 교사인 이동준 개인이 1996년부터 지금까지 작업한 가상 실험 시뮬레이션을 제공하는 온라인 플랫폼이다. 제공하는 시뮬레이션은 일반 웹 브라우저로 접속하여 사용할 수 있고, 별도의 플러그인이나 프로그램을 설치하지 않아도 된다. 물리학, 화학, 생명과학, 지구과학, 천문학, 수학, IT 등 다양한 분야에 대해 약 400가지의 실험

실습용 시뮬레이션을 제공하고 있다.

자바실험실에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 대한민국 과학 교사가 제작하여 한국어 기반의 콘텐츠가 제공되므로 언어의 장벽 없이 쉽게 접근할 수 있다. 또한 영어와 일본어도 제공된다. 둘째, 자바스크립트(Javascript) 기반으로 제작된 시뮬레이션으로 웹 브라우저에서 구현된다. 셋째, 과학 이론의 설명과 함께 그 이론을 시각적으로 구현한 시뮬레이션을 제공한다. 넷째, 자바실험실에서 제공하는 시뮬레이션은 과학 개념을 시각화한 개념적 유형이며, 사용자의 조작에 따라 다양한 결과를 계산하여 보여주는 저작도구형 시뮬레이션이다.



[그림 III-1] 자바실험실 시뮬레이션 자료 일부(accessed March 23, 2024)

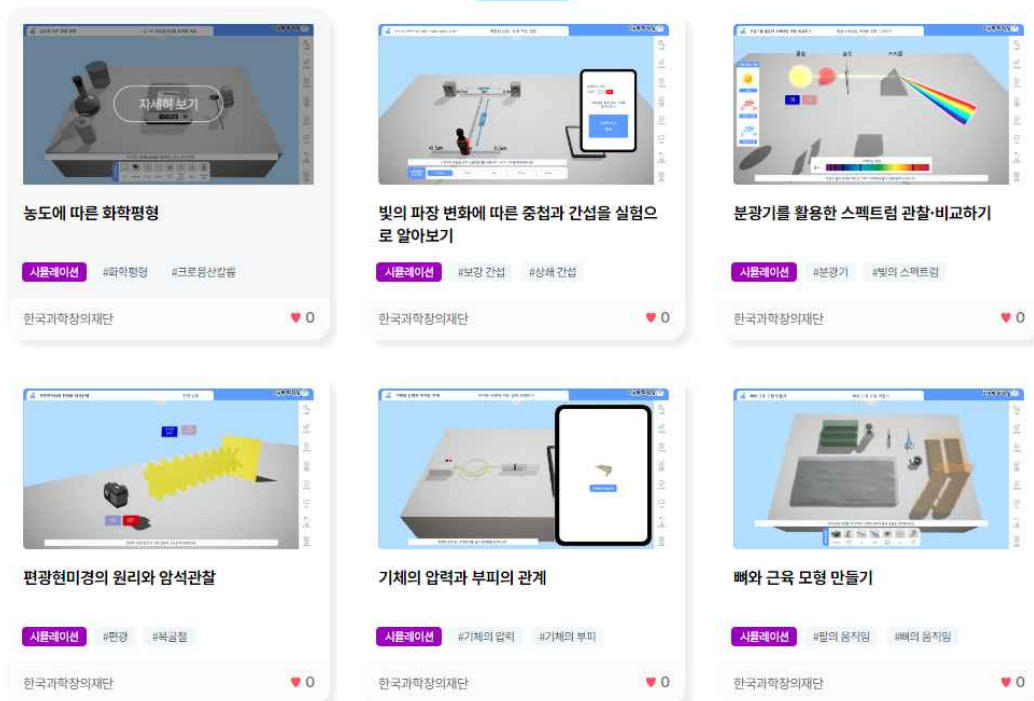
② 지능형 과학실 ON (<https://science-on.kofac.re.kr/>)

지능형 과학실 ON은 제4차 과학교육 종합계획(2020~2024)에 따라 ‘지능형 과학실’과 연계하여 학생 중심의 실제적 과학 탐구 활동을 지원하는 온라인 플랫폼으로, 플랫폼에 통합적 교수·학습 및 평가 체계를 구현하여 과학 탐구 역량 함양과 탐구 경험의 확대를 지원하고자 개발된 온라인 플랫폼이다. 한국과학창의재단에서 제작하여, 2022 개정 교육과정과 연계하려는 시도가 이루어지고 있다. 지능형 과학실 ON에서는 센서

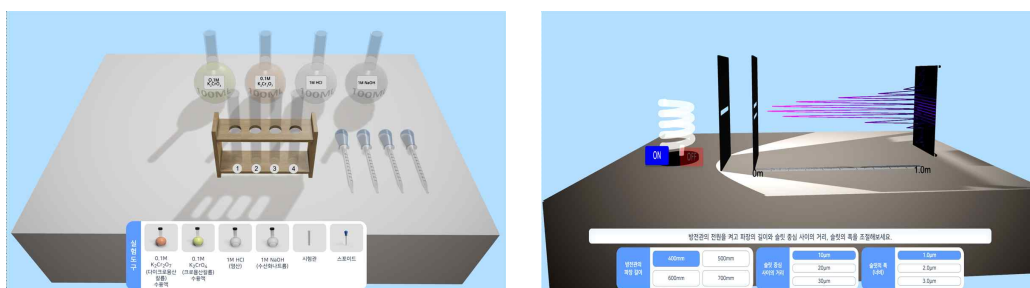
및 공공 데이터 등을 기반으로 한 데이터 과학 탐구 기능을 제공하며, 수집된 데이터가 클라우드에 공유되어 집단 탐구가 가능하다. 또한 첨단 과학기술을 활용한 교수·학습 콘텐츠와 디지털 학습 도구를 제공한다.

지능형 과학실 ON의 개발 방향으로는 첨단과학기술을 활용한 교육과정 연계 과학 탐구, 실생활 기반 문제 해결을 위한 학생 중심 과학 탐구, 가상환경에서의 과학 탐구 경험 확대의 3가지를 제시하고 있다. 첨단과학기술을 활용한 교육과정 연계 과학 탐구를 위해서 다양한 데이터의 수집·분석·시각화를 지원하고 데이터 공유를 통해 과학 탐구 학습 공동체가 이루어질 수 있도록 돕는다. 실생활 기반 문제 해결을 위한 학생 중심 과학 탐구를 위해서 실생활 문제와 관련된 데이터를 직접 측정하고 시사점을 발견할 수 있도록 하여 데이터 리터러시와 비판적 사고 함양을 돕는다. 가상환경에서의 과학 탐구 경험 확대를 위해 AR 및 VR 기술을 활용한 실감형 콘텐츠와 시뮬레이션 콘텐츠를 제공하여 현실적 제약을 넘어선 과학 탐구를 지원한다.

지능형 과학실 ON에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 한국과학창의재단에서 제작한 한국어 기반의 콘텐츠로 언어의 장벽 없이 쉽게 접근할 수 있다. 둘째, 학교 수업과 연계가 가능하도록 탐구 시간표가 제공된다. 셋째, 전국의 다양한 학교급에서 근무하고 있는 교사가 개발한 탐구 콘텐츠가 공유되어 있으며, 학습 목표, 성취 기준, 학습 자료, 탐구 도구, 탐구 절차가 제공되어 누구나 쉽게 접근하여 사용할 수 있다. 넷째, 소재 학교와 거주 지역을 벗어나서 제시된 문제에 대해 협력적으로 데이터를 수집·분석하고 탐구 결과를 공유할 수 있는 학생 중심 프로그램을 운영할 수 있다. 다섯째, 학습 자료실에는 AR 및 VR 실감형 콘텐츠가 제공되고, 과학 실험과 관련된 다양한 시뮬레이션 자료가 제공된다. 지능형 과학실 ON에서 제공하는 시뮬레이션은 온라인 탐구활동에 대한 시뮬레이션으로 작동적 유형이며, 완성형 시뮬레이션과 저작도구형 시뮬레이션을 모두 제공한다.



[그림 III-2] 지능형 과학실 ON의 학습 자료실에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부(accessed March 22, 2024)



[그림 III-3] 지능형 과학실 ON에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예(좌)와 저작도구형 시뮬레이션의 예(우), (accessed March 22, 2024)

③ EDISON (<https://www.edison.re.kr/>)

EDISON은 과학기술정보통신부와 한국과학창의재단이 협력하여 구축한 웹 기반 플랫폼이다. EDISON은 EDucation-research Integration through Simulation on the Open platform and the Net의 약자로 슈퍼컴퓨팅 인프라를 바탕으로 계산 과학·공학 전문 분야별 시뮬레이션 소

프트웨어를 탑재한 교육·연구 서비스를 제공한다. 계산 과학·공학 전문 분야에는 전산 열유체, 나노 물리, 계산화학, 구조 동역학, 전산 설계, 전산 의학, 도시환경이 있다. 총 900종의 시뮬레이션 소프트웨어가 있고, 848종의 시뮬레이션 콘텐츠가 탑재되어 있다(accessed March 23, 2024).

EDISON에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 대한민국 기관에서 제작하여 한국어 기반의 콘텐츠로 언어의 장벽 없이 쉽게 접근할 수 있으며, 영어가 함께 제공된다. 둘째, 대학생을 위한 강의 영상과 이러닝을 제공하고 있다.

④ STEAMuP (<https://www.steamup.academy/ko>)

STEAMuP은 STEAM 교육을 목적으로 대한민국 기업인 (주)셈웨어에서 개발한 온라인 플랫폼으로, 초·중·고등학교 수준의 다양한 분야에 대한 콘텐츠를 제공한다.

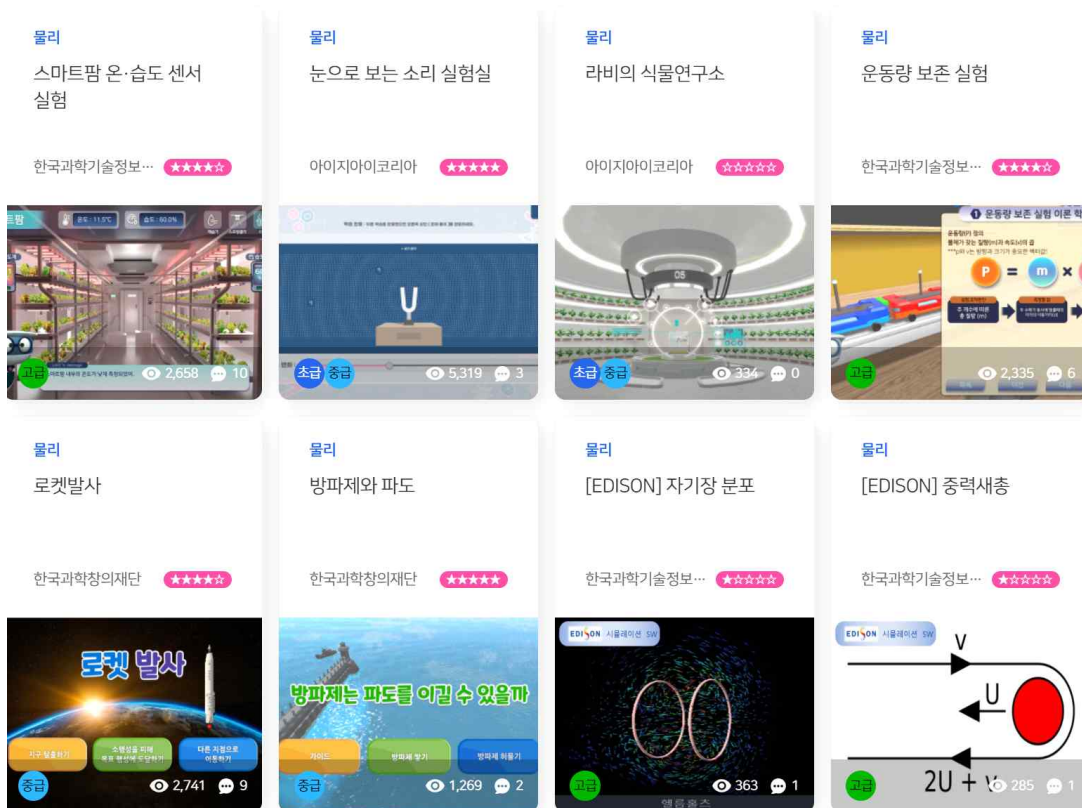
STEAMuP에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 대한민국 기업이 개발한 한국어 기반의 콘텐츠로 언어의 장벽 없이 쉽게 접근할 수 있으며, 영어가 함께 제공된다. 둘째, ‘Math2D’, ‘Science2D’, ‘Math3D’, ‘Cube’, ‘AI’, ‘XR’, ‘Mole’ 등 다양한 학습 도구를 지원한다. 각 학습 도구마다 특징이 있으며, 기초적인 물리 엔진과 수학적 함수를 제공한다. 셋째, 스크래치 기반의 블록 코딩을 제공하여 교수자 또는 학생이 직접 코딩을 통해 콘텐츠를 개발하고 사용할 수 있다. 넷째, 여러 사용자가 자체적으로 개발한 콘텐츠가 공유되어 있으며, 다양한 종류의 완성형 시뮬레이션과 저작도구형 시뮬레이션이 제공된다.

⑤ VlabON (<https://vlabon.re.kr/>)

VlabON은 과학기술정보통신부 산하 한국과학기술정보연구원(KISTI)과 한국과학창의재단이 협력하여 구축한 온라인 플랫폼이다. 2022년 8월부터 시범운영을 시작하였으며, 2023년에 본격적으로 서비스를 개시하였다. 수학 및 과학 관련 가상 실험을 제공해 주며, 이론으로 학습한 실험과 원리를 실제와 유사한 실험실 환경에서 자기 주도적으로 실험할 수 있는 기회를 제공해 준다. 초·중·고등학교 교육과정에 맞게 물리학 12

개, 화학 5개, 생명과학 3개, 지구과학 3개, 수학 4개, 총 27개의 시뮬레이션 콘텐츠를 제공한다(accessed March 23, 2024).

VlabON에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 대한민국 기관에서 제작하여 한국어 기반의 콘텐츠로 언어의 장벽 없이 쉽게 접근할 수 있다. 둘째, 시뮬레이션과 관련된 유튜브 영상, 실험 목적, 시뮬레이션 콘텐츠의 내용을 함께 제시하여 시뮬레이션을 통해 사용자가 자기 주도적으로 학습할 수 있는 자료를 제공한다. 또한 실험 이해를 위한 개념 학습 코너를 제공하고, 개념 학습 순서를 제시하여 실험과 이론을 함께 학습할 수 있도록 하였다. 셋째, 실험 데이터를 기반으로 시뮬레이션이 제작되었다. 넷째, 교수·학습에 활용할 수 있도록 시뮬레이션과 관련된 교수·학습 자료를 제공한다. 다섯째, VlabON에서 제공하는 시뮬레이션은 작동적 유형 기반의 완성형 시뮬레이션이다.



[그림 III-4] VlabON에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부(accessed March 23, 2024)

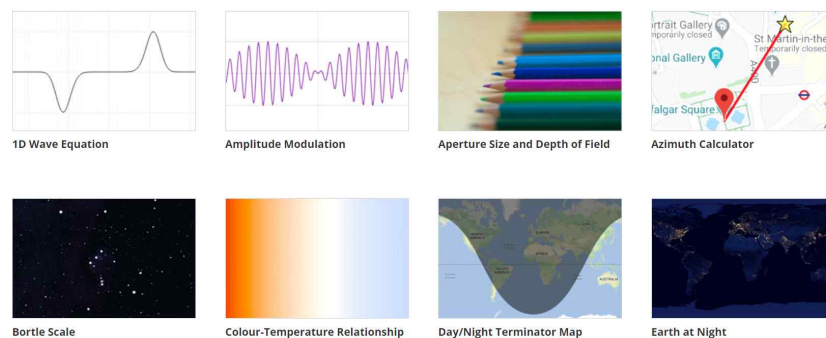


[그림 III-5] VlabON에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예(accessed March 23, 2024)

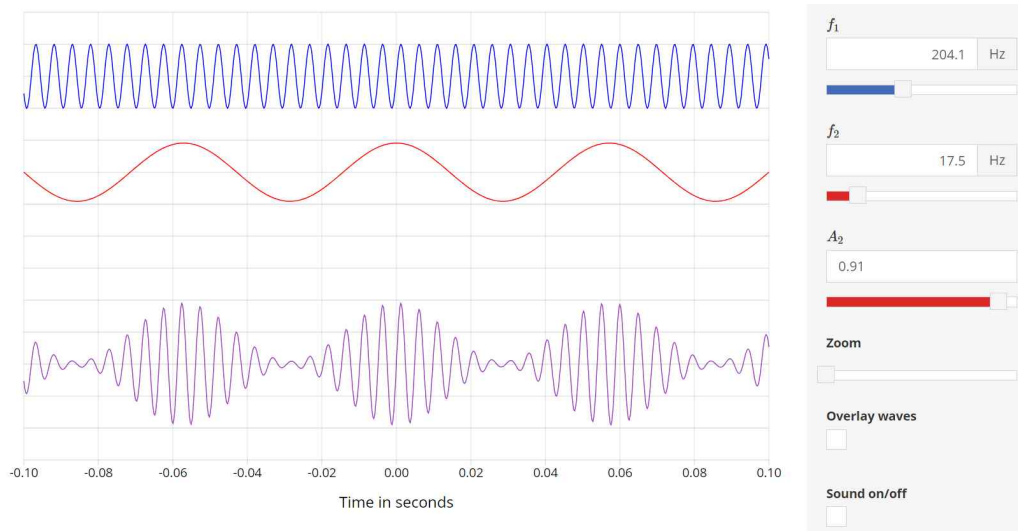
⑥ Academo (<https://academo.org/>)

Academo는 대화용 교육 데모의 온라인 플랫폼으로, 오픈 소스 코드인 HTML과 자바스크립트(Javascript)를 사용하여 콘텐츠가 제작되었다. 공학, 지리학, 수학, 물리학, 음악에 대한 콘텐츠를 제공한다.

Academo에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 콘텐츠 내용은 영어로 제공된다. 둘째, 콘텐츠와 관련된 교과 개념을 함께 설명하여 사용자가 시뮬레이션을 조작하면서 자기 주도적으로 학습할 수 있는 기회를 제공한다. 셋째, 사용자가 시뮬레이션 코드에 접근할 수 있으며, 코드를 직접 수정할 수 있다. 넷째, Academo에서 제공하는 시뮬레이션은 개념적 유형으로, 아무런 조작을 하지 않고 사용할 수 있는 완성형 시뮬레이션과 몇 가지 변인을 조절하여 그 결과를 보여주는 저작도구형 시뮬레이션을 제공한다.



[그림 III-6] Academo에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부(accessed March 23, 2024)

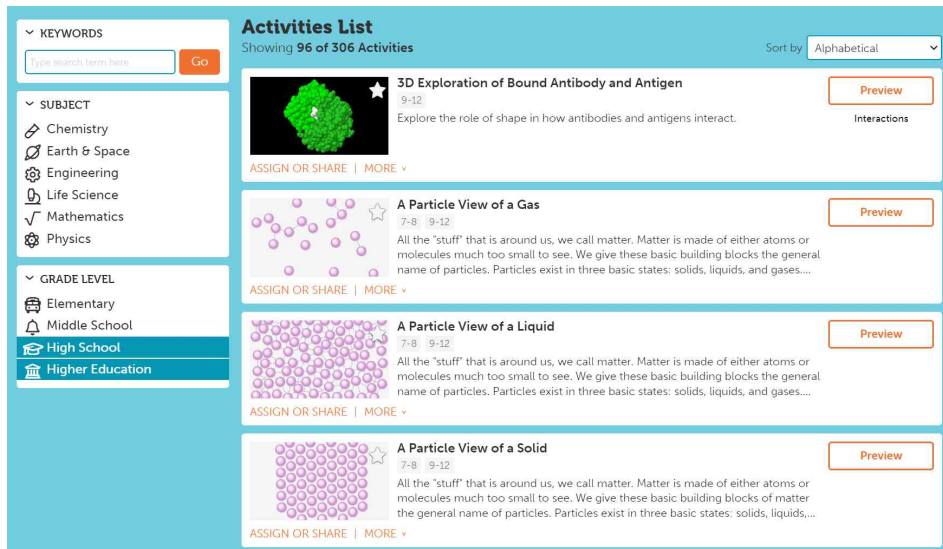


[그림 III-7] Academo에서 제공하는 저작도구형 시뮬레이션의 예(accessed March 23, 2024)

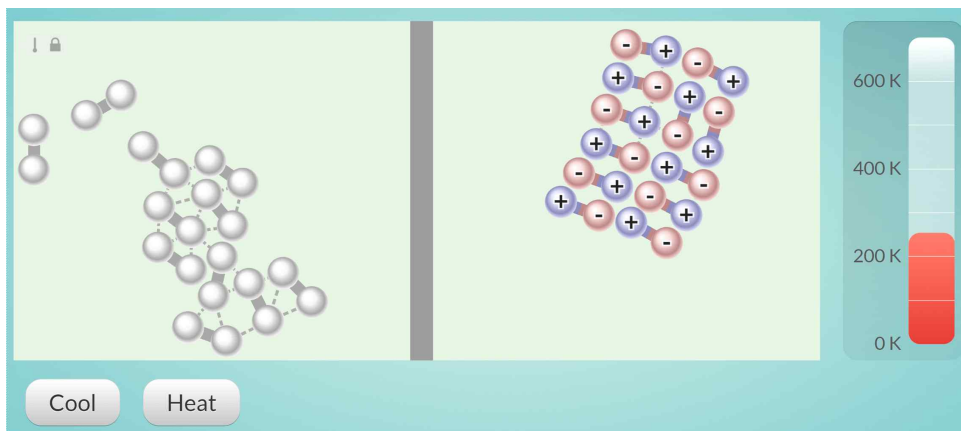
⑦ Concord Consortium (<https://concord.org/>)

Concord Consortium은 매사추세츠주 콩코드와 캘리포니아주 엘 세리토에 본사를 둔 비영리 교육 연구 개발 조직에서 STEM 학습을 위한 에듀테크 활용 웹 기반 교육 연구 서비스를 제공해 주는 온라인 플랫폼이다. 또한 CODAP(Common Online Data Analysis Platform)이라고 하는 데이터 분석을 위한 웹 기반 무료 소프트웨어를 제공한다.

Concord Consortium에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 미국에서 개발한 콘텐츠로 언어는 영어, 이탈리아어, 노르웨이어가 제공된다. 둘째, 수학, 물리학, 화학, 생명과학, 지구과학, 공학에 대한 주제로 콘텐츠를 제공한다. 셋째, 초·중·고등학교 교육과정뿐만 아니라 ‘Higher Education’이라고 하는 심화 내용의 콘텐츠도 제공한다. 넷째, Concord Consortium에서 제공하는 시뮬레이션은 과학적 개념을 시각화한 개념적 유형이며, 몇 가지 조건에 대해 버튼을 누르면 그 결과를 보여주는 완성형 시뮬레이션이다. 또한 시뮬레이션과 함께 관련 주제에 대한 학습 질문을 제공하여 사용자가 자기 주도적으로 시뮬레이션을 활용하여 학습할 수 있도록 도와준다.



[그림 III-8] Concord Consortium에서 제공하는 시뮬레이션 자료
일부(accessed March 23, 2024)

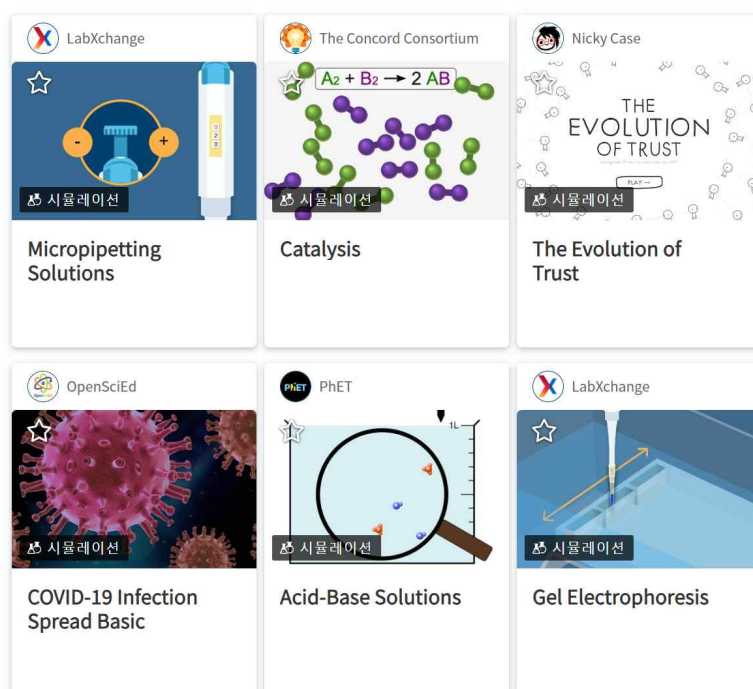


[그림 III-9] Concord Consortium에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의
예(accessed March 23, 2024)

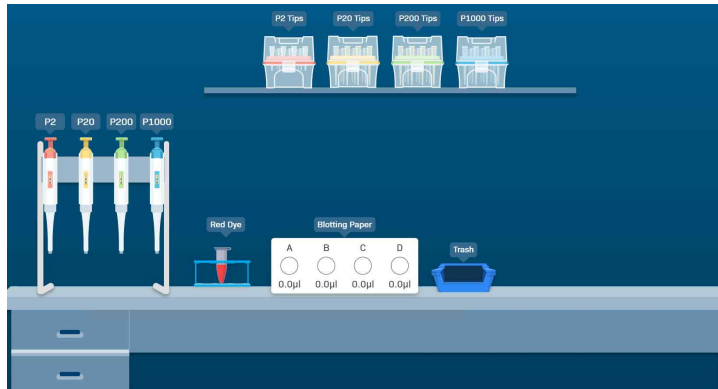
⑧ LabXChange (<https://www.labxchange.org/>)

LabXChange는 미국 하버드 대학에서 제작한 과학교육 온라인 플랫폼이다. 150여 개의 다양한 협력 기관을 통해 콘텐츠를 확보하여 제공하고 있으며, 시뮬레이션뿐만 아니라 시각 자료와 동영상 자료, 문서, 연구 논문 등 다양한 학습 자료를 제공하여 사용자가 자기 주도적으로 학습할 수 있도록 돕는다.

LabXChange에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 영어뿐만 아니라 한국어를 포함해서 총 17개의 언어를 제공한다. 하지만 한국어 번역이 제대로 적용되지 않는 부분도 있으며, 시뮬레이션 콘텐츠 내부에서는 14개 정도의 언어만 지원된다(accessed March 23, 2024). 둘째, 시뮬레이션의 레벨이 1단계부터 3단계까지 나누어져 있어 레벨을 선택할 수 있다. 레벨 1은 해당 실험이 익숙하지 않은 사용자를 위한 난이도로, 대부분의 지시와 힌트가 제공된다. 레벨 3은 해당 실험에 숙달된 사용자를 위한 난이도로 실제 실험실 환경처럼 자유로운 탐구 경험을 제공한다. 셋째, 실험 기구 조작 방법에 대한 작동적 유형의 완성형 또는 저작도구형 시뮬레이션을 제공하며, 다른 시뮬레이션 온라인 플랫폼에 비해 시뮬레이션 환경에서 사용자가 다양한 실험을 조작하며 학습할 수 있다는 장점이 있다. 넷째, LabXChange에서 개발한 시뮬레이션만 제공하는 것이 아니라 PhET, Concord Consortium 등 외부 사이트와도 연결하여 각 플랫폼에서 개발된 시뮬레이션을 제공한다.



[그림 III-10] LabXChange에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부(accessed March 23, 2024)



[그림 III-11] LabXChange에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예(accessed March 23, 2024)

⑨ NetLogo (<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>)

NetLogo는 Uri Wilensky 교수와 CCL(Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling) 팀이 개발한 다중 에이전트 기반 모델(Multi-Agent Based Modeling; Multi-ABM) 구현 오픈 소스 소프트웨어이다. 사용자가 시뮬레이션을 개발하는 데 도움을 주기 위해 몇 가지 시뮬레이션 모델 라이브러리와 튜토리얼 영상을 제공한다. NetLogo는 프로그램을 설치하여 실행할 수도 있고, 웹 브라우저에서 바로 실행할 수도 있다. 프로그램을 설치하여 실행하는 경우, 고성능을 발휘할 수 있고 피쳐 셋(feature set)을 모두 사용할 수 있다. 반면 웹 브라우저에서 바로 실행하는 경우, 스마트폰에서 작동할 수 있는 수준의 성능을 발휘할 수 있고 기본 피쳐 셋(basic feature set)만 사용할 수 있다.

NetLogo에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 미국에서 개발된 사이트로 영어만 제공된다. 둘째, 사용자가 시뮬레이션을 개발하여 업로드할 수 있으며, 수많은 사용자가 제작한 방대한 양의 시뮬레이션을 사용할 수 있다. 지금까지 개발되어 NetLogo에서 접근할 수 있는 시뮬레이션의 수는 3,099개이다(accessed March 23, 2024). 하지만 전 세계의 여러 사용자가 시뮬레이션을 개발하여 업로드하기 때문에 플랫폼의 가독성이 떨어지고, 학습 목적이 명확하지 않거나 제대로 작동하지 않는 미완성 시뮬레이션이 존재한다. 셋째, 사용자가 직접 시뮬레이션을 개발

할 수 있고, 시뮬레이션 개발 과정에서 팀을 모아 프로젝트에 참여할 수도 있다.

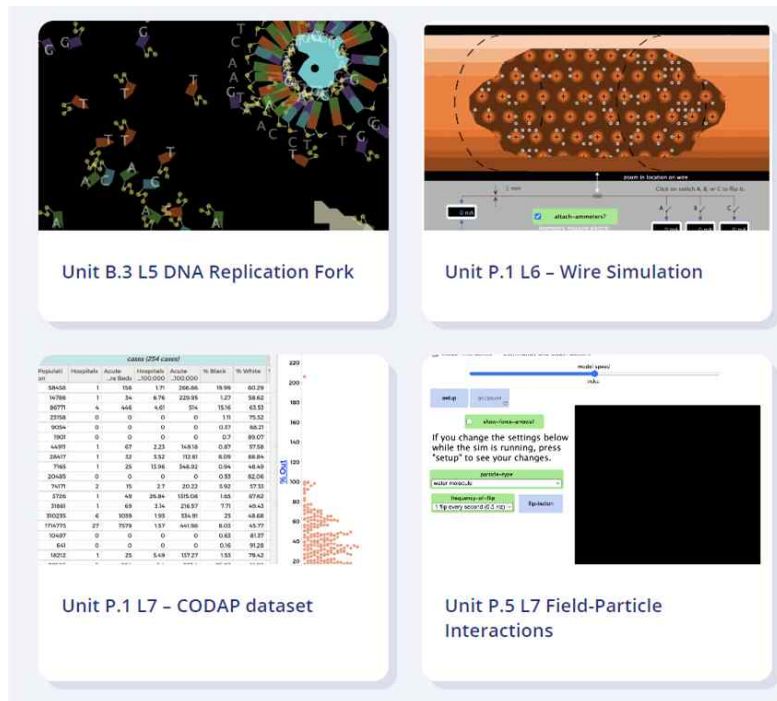
	Atmospheric Dispersion model	A Bedouch	physics	(No group)	1 day ago
	Worley Noise CA	Talaya White	cellular automata	(No group)	2 days ago
	Whale Shark Population	Pamela Bayona	biology, fisheries, population dynamics, predator prey model	(No group)	4 days ago
	T Cell Movement in Lymph nodes	Haeden Graewe	(No tags)	(No group)	4 days ago
	Marching Band Metronome Placement	Sara Bowden	(No tags)	(No group)	4 days ago
	globals	Peter Nikolyuk	(No tags)	(No group)	7 days ago
	Resonance Model	Naya Davidson-Lindfors	(No tags)	(No group)	8 days ago
	Central Amygala: Noiceptive output model	Abraham Nofal	(No tags)	(No group)	16 days ago
	lucky draw	Brian Chih	(No tags)	(No group)	16 days ago
	turt	anass amzil	(No tags)	(No group)	17 days ago
	Fire (evolved version)	Katerina Benisi	fire	(No group)	25 days ago

[그림 III-12] NetLogo에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부(accessed March 23, 2024)

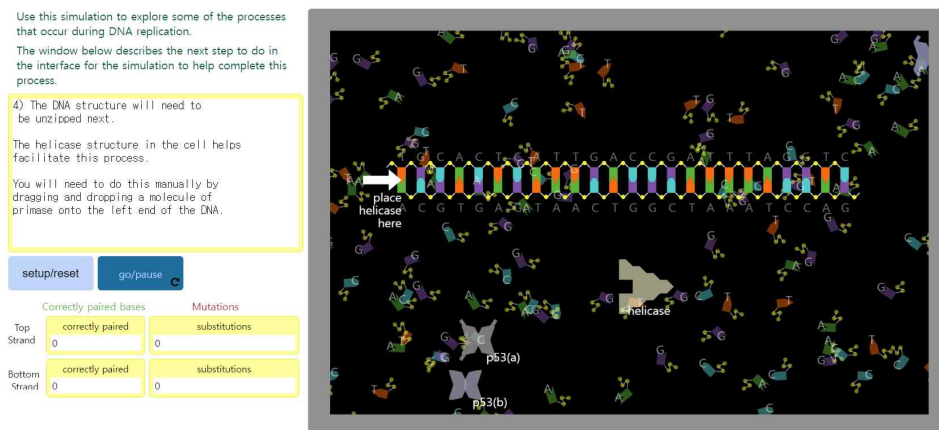
⑩ OpenSciEd (<https://www.openscienced.org/>)

OpenSciEd는 NGSS(Next Generation Science Standards)와 과학교육을 위한 K-12 Framework의 교육 목표를 달성하기 위하여 3차원 학습에 대한 시뮬레이션을 제공하는 플랫폼이다. 초·중·고등학교 교육과정과 관련된 내용을 시뮬레이션으로 제공하며, 물리학, 화학, 생명과학에 대한 시뮬레이션뿐만 아니라 영상자료와 교육자료를 함께 제공한다.

OpenSciEd에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 미국에서 개발된 사이트로 영어만 제공된다. 둘째, 시뮬레이션과 함께 관련 내용과 작동 방법에 대한 설명을 함께 제공한다. 셋째, OpenSciEd에서 제공하는 시뮬레이션은 과학적 개념을 시각화한 개념적 유형으로, 완성형 시뮬레이션과 변인을 조절하여 그 결과를 보여주는 저작도구형 시뮬레이션을 모두 제공한다. 넷째, 일부 시뮬레이션이나 제공되는 학습 자료는 PhET, ACS, NASA, NetLogo, Concord Consortium의 CODAP 등의 외부 사이트에 연결되어, 각 사이트에서 개발된 시뮬레이션을 제공해 준다.



[그림 III-13] OpenSciEd에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부(accessed March 23, 2024)



[그림 III-14] OpenSciEd에서 제공하는 NetLogo로 개발된 시뮬레이션의 예(accessed March 23, 2024)

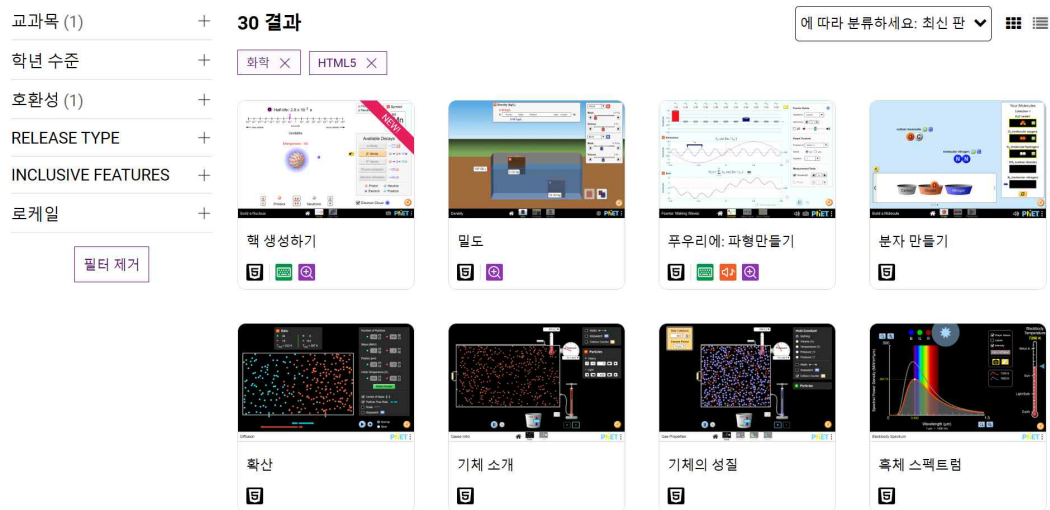
⑪ PhET (<https://phet.colorado.edu/ko/>)

PhET는 Physics Education Technology의 약자로 미국 콜로라도 대학교에서 제작한 대화형 시뮬레이션을 제공해 주는 온라인 플랫폼이다. 무료로 과학 및 수학 시뮬레이션을 제공해 주는 웹 기반 시뮬레이션 서비스로, 학생이 탐구와 발견을 통해 학습할 수 있는 환경을 제공해 주며, 초·중·고등학교 교육과정과 연계된 콘텐츠를 제공하고 있다. 미국에서 제작되었지만, 한국어가 지원된다. 또한 PhET의 'Ph'는 Physics를 의미하지만, 물리학뿐만 아니라 화학, 생명과학, 지구과학, 수학 분야의 시뮬레이션을 제공한다.

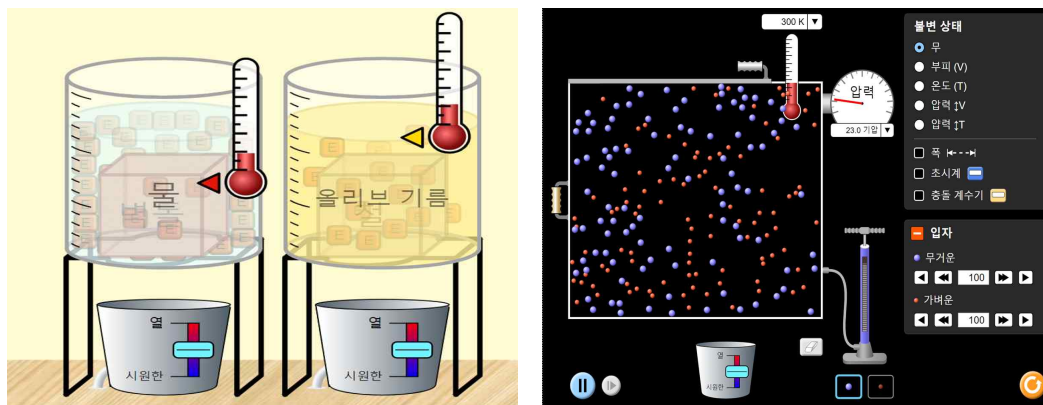
PhET 시뮬레이션은 설계 과정에서 National Research Council(2000)이 수행한 학생들의 학습에 관한 연구, Adams *et al.*(2008)이 수행한 학생들의 토론에 관한 연구, 시뮬레이션 사용자의 인터뷰 등이 종합적으로 고려하도록 설계 원리를 제시하였다. 또한 PhET는 제공하는 시뮬레이션의 학습 효과에 대해 지속적으로 연구를 수행하고 있다. PhET 시뮬레이션의 학습 효과에 관한 연구에서 PhET 시뮬레이션이 개념 이해에 효과적이지만, 시뮬레이션으로만 달성하기 어려운 다양한 실험 목표가 있음을 밝혔다. 또한 시뮬레이션이 학생의 학습에 대한 흥미를 유발하지만, 시험성적과 같은 직접적인 동기 요인 없이 과학 시뮬레이션으로 자기 주도적 학습을 유발하는 동인이 크지 않음을 인정하였다. 이러한 한계에도 불구하고 PhET 개발팀은 시뮬레이션이 학생에게 친숙하지 않은 현상을 파악하는 데 사용되는 중요한 역할을 담당할 수 있으므로 효과적인 학습 도구가 될 수 있다고 제언하였다(phet.colorado.edu/ko/research).

PhET에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 미국 콜로라도 대학교에서 제작되었지만, 한국어를 포함하여 다양한 언어가 제공된다. 둘째, 시뮬레이션 디자인 과정에서 학습 목표를 설정하고 초기 디자인을 설계하여 사용자 인터뷰를 거쳐 여러 번의 수정 작업을 통해 최종 시뮬레이션이 완성된다. 셋째, 분자 수준의 미시 세계, 물체의 역학적 운동 등 추상적인 개념을 시각적으로 잘 표현해 주는 콘텐츠가 많으며, 초·중·고등학교 교육과정 수준, 학습자의 학습 수준에 따라 다양한 시뮬

레이션을 제공하고 있다. 넷째, PhET에서 제공하는 시뮬레이션을 대부분 과학적 개념을 시각화한 개념적 유형이며, 완성형 시뮬레이션과 저작도구형 시뮬레이션을 모두 제공하고 있다.



[그림 III-15] PhET에서 제공하는 시뮬레이션 자료 일부(accessed March 22, 2024)



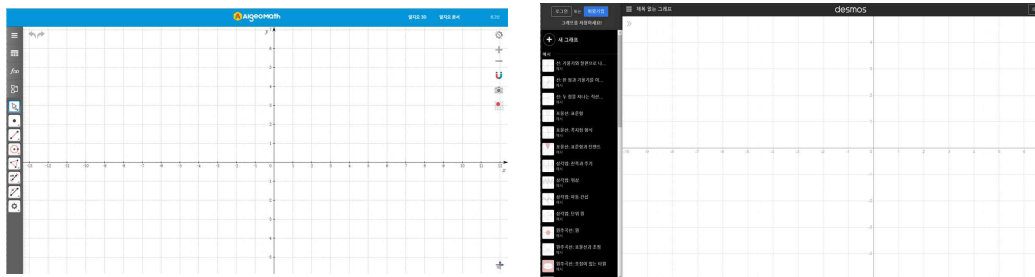
[그림 III-16] PhET에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예(좌)와 저작도구형 시뮬레이션의 예(우), (accessed March 22, 2024)

2) 특정 교과에 대한 시뮬레이션을 제공해 주는 플랫폼

① 알지오매스 (<https://www.algeomath.kr/>)

알지오매스는 한국과학창의재단에서 개발한 초·중·고등학생용 수학 실험탐구 소프트웨어를 제공하며, 대수(Algebra) 및 기하(Geometry) 학습을 돕는 수학 도구이다. 수학교육에 특화된 플랫폼으로, 주로 함수와 그래프를 학습하는 데 사용된다.

알지오매스에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 한국과학창의재단에서 개발한 플랫폼으로 한국어와 영어가 지원된다. 둘째, 도형을 손쉽게 작도하고, 함수의 그래프를 탐구하며, 블록 코딩을 할 수 있는 수학 학습 도구인 ‘알지오 2D’를 제공한다. ‘알지오 2D’는 Desmos Studio PBC가 운영하는 온라인 수학 도구 서비스인 Desmos와 매우 유사한 작업 환경을 제공한다.



[그림 III-17] ‘알지오 2D’의 화면 구성(좌)과 Desmos의 화면 구성(우),
(accessed March 22, 2024)

셋째, 다양한 입체도형을 관찰하고, 쌓기나무를 만들고 탐구하며, 블록 코딩을 할 수 있는 수학 학습 도구인 ‘알지오 3D’를 제공한다. 넷째, ‘알지오 2D’와 ‘알지오 3D’를 이용하여 학습 자료를 만들고 편집할 수 있는 문서 작성 도구인 ‘알지오 문서’를 제공한다.

② GeoGebra (<https://www.geogebra.org/?lang=ko>)

GeoGebra는 2001년 오스트리아 잘츠부르크 대학에서 개발한 온라인 플랫폼으로, 자바스크립트(Javascript)로 작성된 오픈 소스 소프트웨어이다. 그래프, 기하, 3차원 기하 등 STEM 교육을 지원하는 소프트웨어로, 한국 지오지브라 연구소를 통해서 교사 대상 연수도 제공한다.

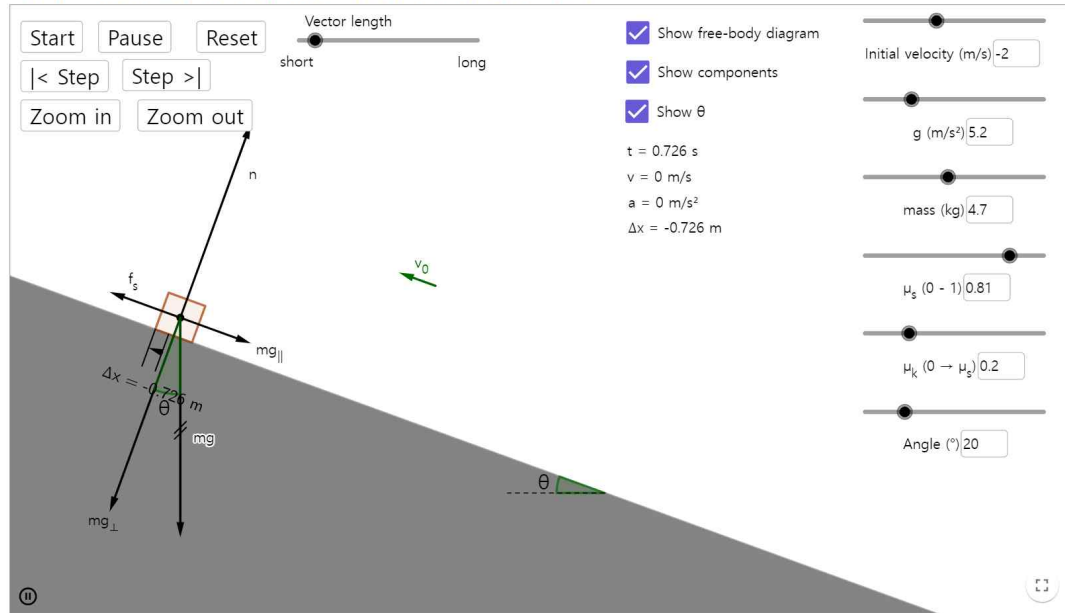
GeoGebra에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 영어와 한국어를 포함하여 매우 다양한 언어를 지원한다. 둘째, 여러 사람이 개발한 수학적, 기하학적 시뮬레이션을 제공한다. 셋째, 사용자가 직접 다양한 그래프, 기하, 3차원 기하를 개발할 수 있다.

③ oPhysics (<https://ophysics.com/>)

oPhysics는 고등학교에서 27년간 물리학을 가르쳤고, 그중 25년 동안 AP 물리학을 가르친 미국 고등학교 교사 Tom Walsh가 제작한 온라인 플랫폼이다. 대화형 물리 시뮬레이션을 제공하며, 힘, 운동, 빛, 파동, 에너지 등 물리학에 특화된 시뮬레이션을 제공한다. 애니메이션과 대화형 시뮬레이션의 대부분은 GeoGebra 소프트웨어를 사용하여 제작되었다. oPhysics 사이트 소개에서는 지속적으로 콘텐츠를 개발하여 업로드한다고 되어 있으나, 가장 최근 업로드된 콘텐츠는 2022년 2월 10일이다 (accessed March 18, 2024).

oPhysics에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 미국에서 개발된 사이트로 영어만 제공된다. 둘째, 물리학 교육과정과 연계된 시뮬레이션을 제공하며, 시뮬레이션과 함께 시뮬레이션 상황에 대한 설명과 사용자가 각 시뮬레이션을 조작하면서 어떤 물리학 개념을 학습할 수 있는지에 대한 안내가 제공된다. 셋째, oPhysics에서 제공하는 시뮬레이션은 개념적 유형이며, 변인을 조작하여 그 결과를 시뮬레이션으로 보여주는 저작도구형 시뮬레이션이다.

Static and Kinetic Friction on an Inclined Plane



[그림 III-18] oPhysics에서 제공하는 저작도구형 시뮬레이션의 예(accessed March 23, 2024)

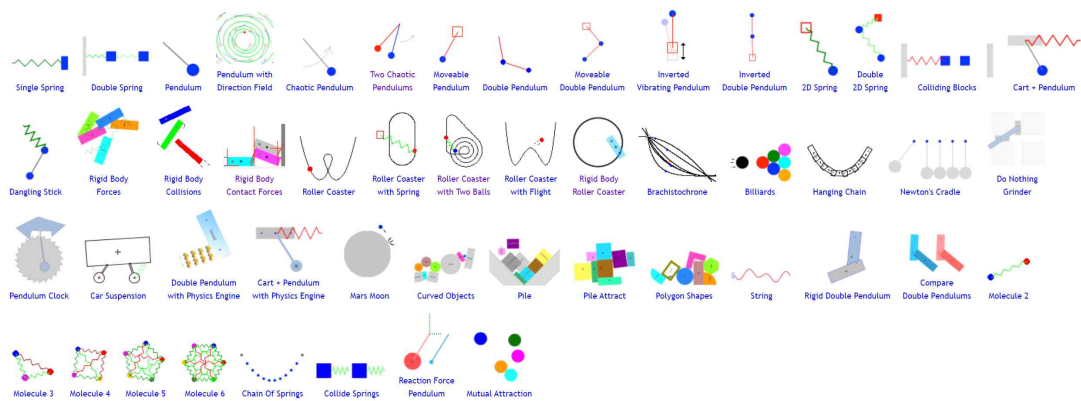
④ Physics at school

(<https://www.vascak.cz/physicsanimations.php>)

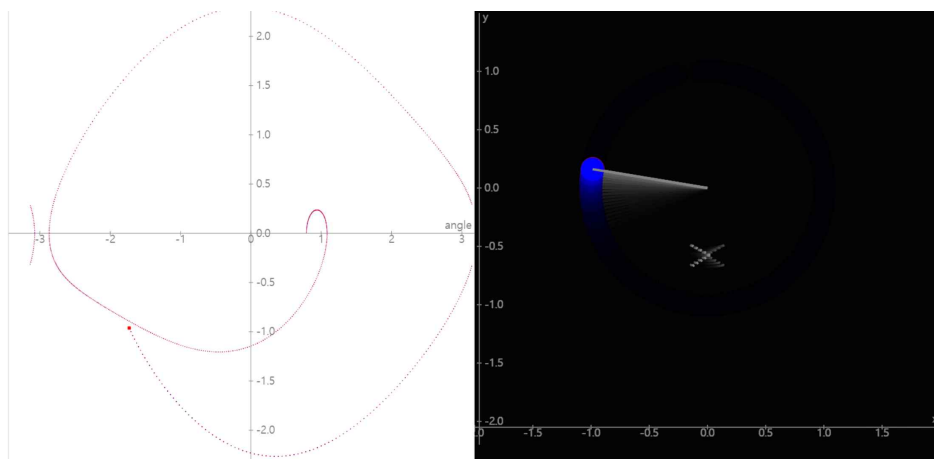
Physics at school은 체코에서 개발된 온라인 플랫폼으로 물리 현상에 대한 시뮬레이션을 제공한다. 별자리나 일부 수학 콘텐츠도 제공하며, 대략 200개의 시뮬레이션이 제공된다.

Physics at school에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 콘텐츠에서 제공하는 언어는 영어이다. 둘째, 시뮬레이션을 조작하는 버튼을 신호등 색깔로 구현하여, 저학년 학생들이 시뮬레이션에 흥미를 갖고 조작을 쉽게 할 수 있다. 빨간색 버튼은 정지 버튼, 노란색 버튼은 한번 작동 버튼, 초록색 버튼은 연속 작동 버튼이며, 버튼의 클릭으로 시뮬레이션을 단순히 작동시킬 수 있다. 셋째, Physics at school에서 제공하는 시뮬레이션은 개념적 유형으로, 학생이 조작할 수 있는 변인은 없고 단순히 버튼 조작으로 작동하는 완성형 시뮬레이션이다.

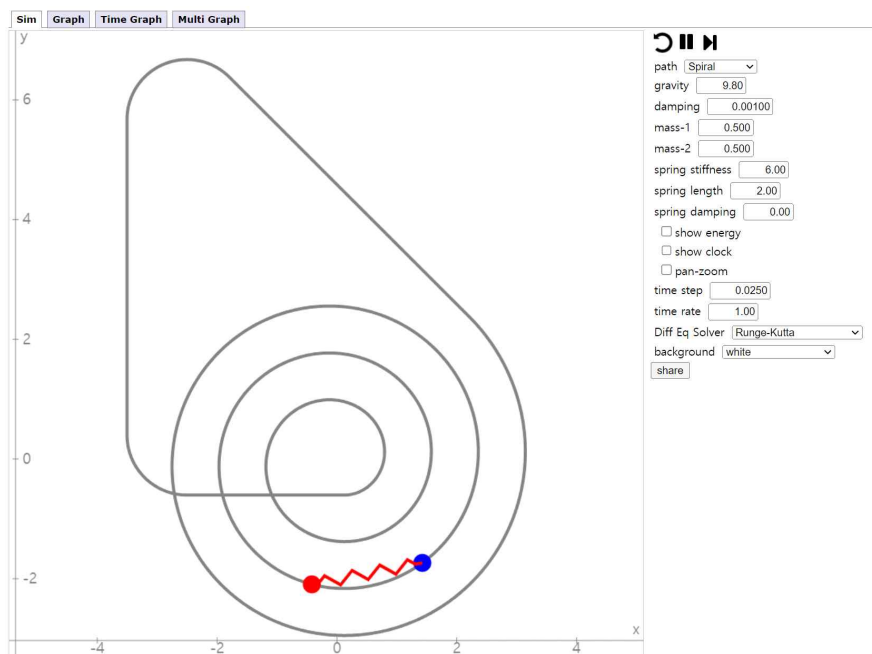
또한 시뮬레이션을 활용하여 시도해 볼 수 있는 실험을 제안하여 사용자가 자기 주도적으로 물리 실험을 수행할 수 있는 환경을 제공한다. 셋째, Physics Simulations에서 제공하는 시뮬레이션은 개념적 유형으로, 정해진 시뮬레이션 결과만 보여주는 완성형 시뮬레이션과 여러 변인을 조작하여 그 결과를 보여주는 저작도구형 시뮬레이션을 모두 제공한다. 저작도구형 시뮬레이션의 경우 매개변수를 변경하고 이를 URL로 공유하면 사용자가 설정한 조건이 반영된 시뮬레이션을 확인할 수 있다.



[그림 III-21] Physics Simulations에서 제공하는 시뮬레이션 자료(accessed March 23, 2024)



[그림 III-22] Physics Simulations에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예(accessed March 23, 2024)



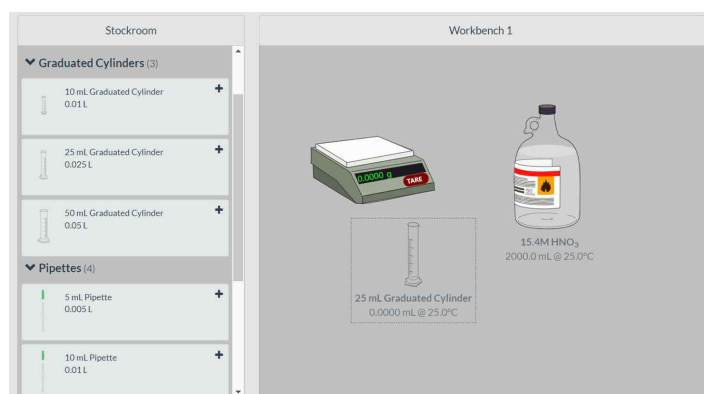
[그림 III-23] Physics Simulations에서 제공하는 저작도구형 시뮬레이션의 예(accessed March 23, 2024)

⑥ ChemCollective (<https://chemcollective.org/>)

ChemCollective는 카네기 멜런 대학의 David Yaron 교수와 Mount Union 대학의 Ryan Dwyer 교수에 의해 구축되었으며, NSDL(National Science Digital Library) 프로젝트를 위해 제작된 플랫폼으로, 화학 교육에 대한 대화형 및 참여형 온라인 콘텐츠를 제공한다.

ChemCollective에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 미국 대학에서 제작된 플랫폼으로 영어, 스페인어, 이탈리아어만 제공된다. 둘째, 튜토리얼이나 시나리오 기반 활동을 제공하여 화학 지식을 실제 세계뿐만 아니라 게임 기반의 가상 세계에도 적용해 볼 수 있는 기회를 제공한다. 셋째, 카네기 멜런 대학의 Open Learning Initiative를 통해 개발된 온라인 강좌를 제공하여 비디오, 가상 실험실 활동, 실습, 평가 자료를 제공하고, 학습 과정의 진행 상황을 제공한다. 넷째, 분자 수준의 시각화 자료와 여러 애니메이션 자료를 제공한다. 하지만 제공되는 자료는 플래시(flash)를 기반으로 구동되는 자료로, Adobe에서 2020년 12월 31일 이후로 플래시 플레이 지원을 중단하였으며 2021년 1월 12일부터

플래시 플레이에서 플래시 콘텐츠 실행을 차단하여 현재는 콘텐츠 사용이 불가능하다. 다섯째, 정해진 규칙에 따라 수행해야 하는 가상 실험뿐만 아니라 사용자가 직접 용액의 농도 등을 정하여 실험을 수행할 수 있는 가상 실험 환경을 제공한다. 즉, ChemCollective에서 제공하는 가상 실험 시뮬레이션은 작동형 유형의 완성형 시뮬레이션이다.

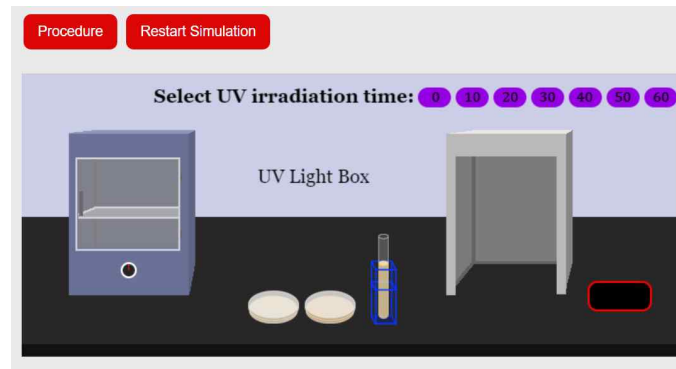


[그림 III-24] ChemCollective에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예(accessed March 23, 2024)

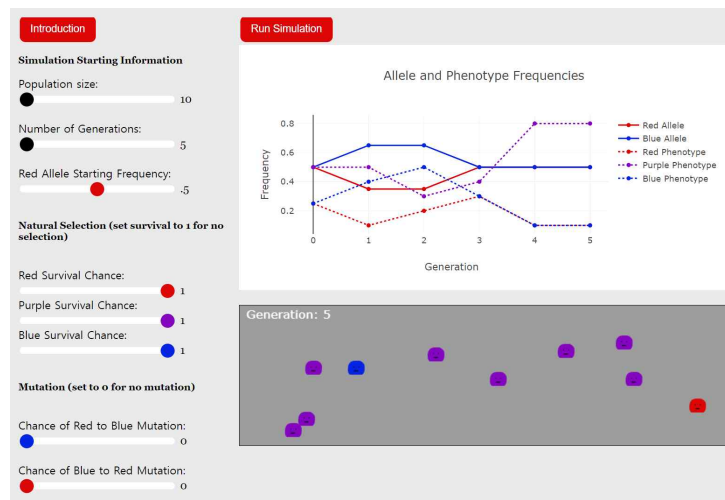
⑦ Biology Simulations (<https://www.biologysimulations.com/>)

Biology Simulations는 학생이 생명과학에 대해 배우고, 데이터 분석 기술을 실습하는 데 도움을 주기 위해 개발된 시뮬레이션 플랫폼이다. 해부학(Anatomy), 세포생물학(Cell biology), 진화학(Evolution), 생태학(Ecology), 유전학(heredity) 분야에서 총 22개의 시뮬레이션을 제공한다(accessed March 23, 2024).

Biology Simulations에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 미국에서 개발된 사이트로 영어만 제공된다. 둘째, 시뮬레이션뿐만 아니라 수업 자료와 관련된 블로그와 생명과학에 대한 학습 흥미를 유발하기 위한 게임도 제공된다. 셋째, 각 시뮬레이션에 대한 설명이 함께 제공되며, 일부 시뮬레이션은 구글 문서 또는 블로그 문서를 제공하여 교수·학습 자료를 제공한다. 넷째, 생명과학 실험과 관련된 작동적 유형의 완성형 시뮬레이션 및 과학적 개념을 시각화한 개념적 유형의 저작도구형 시뮬레이션을 모두 제공한다.



[그림 III-25] Biology Simulations에서 제공하는 완성형 시뮬레이션의 예(accessed March 23, 2024)



[그림 III-26] Biology Simulations에서 제공하는 저작도구형 시뮬레이션의 예(accessed March 23, 2024)

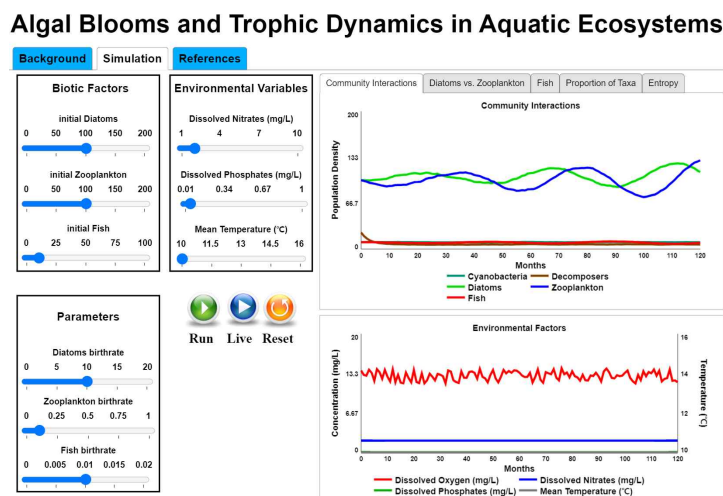
⑧ JonDarkow

(<https://sites.google.com/site/biologydarkow/home>)

JonDarkow는 Seneca East 고등학교에서 교사로 근무하고 있는 Jon Darkow가 개발한 시뮬레이션 플랫폼으로, 세포 수송(Cell transport), 생태학(Ecology), 효소(Enzymes), 진화학(Evolution), 유전학(Genetics), 물질대사(Metabolism), 분자생물학(Molecular biology) 등 생명과학과 관련된 계산 모델 시뮬레이션을 제공한다. 또한 물리학을 주제로 한 간단한 시뮬레이션도 몇 가지 제공한다. 생물학적 및 생태계의 복잡한 시스템에

대해 정량적인 계산 모델을 제공하여 학생이 관련된 수학 지식 없이 시뮬레이션을 활용하여 관련 내용을 학습할 수 있는 기회를 제공한다.

JonDarkow에서 제공하는 콘텐츠의 특징은 다음과 같다. 첫째, 미국에서 개발된 사이트로 영어만 제공된다. 둘째, 시뮬레이션 내용과 관련된 배경지식과 시뮬레이션 개발에 참고한 문헌을 함께 제공하여, 사용자가 자기 주도적으로 학습할 수 있는 기회를 제공한다. 셋째, 시뮬레이션과 관련된 활동지를 구글 문서로 제공하여 교수·학습 활동을 돕는다. 넷째, JonDarkow에서 제공하는 시뮬레이션은 개념적 유형으로, 여러 변인을 사용자가 스스로 조작하며 시뮬레이션 결과를 확인함으로써 변인 간의 관계를 학습할 수 있는 저작도구형 시뮬레이션이다.



[그림 III-27] JonDarkow에서 제공하는 저작도구형 시뮬레이션의 예(accessed March 23, 2024)

국내외에서 개발되어 무료로 사용할 수 있는 교육용 시뮬레이션 플랫폼을 탐색한 결과, 여러 교과에 대한 시뮬레이션 콘텐츠를 종합적으로 제공해 주는 플랫폼은 11개 정도가 있었다. 그 외에 수학 교과에 특화된 시뮬레이션 플랫폼은 2개, 물리교육에 특화된 시뮬레이션 플랫폼은 3개, 화학교육에 특화된 시뮬레이션 플랫폼은 1개, 생명과학교육에 특화된 시뮬레이션 플랫폼은 2개 정도가 있었다. 국내외에서 개발된 교육용 시뮬레이션 플랫폼 분석 결과를 <표 III-6>과 같이 정리하였다.

<표 III-6> 국내외 무료 교육용 시뮬레이션 플랫폼 분석 결과

플랫폼	개발자	제공 언어	교육 분야	시뮬레이션 유형	시뮬레이션 개발 가능 여부
자바실험실	이동준	한국어, 영어, 일본어	수학, 물리학, 화학, 생명과학, 지구과학, 천문학, IT	개념적 모형 & 저작도구형	불가능
지능형 과학실 ON	한국과학창의재단	한국어	물리학, 화학, 생명과학, 지구과학	작동적 모형 & 완성형/저작도구형	불가능
EDISON	과학기술정보통신 부 & 한국과학창의재단	한국어, 영어	전산 열유체, 나노 물리, 계산화학, 구조 동역학, 전산 설계, 전산 의학, 도시환경	-	가능
STEAMuP	(주)셈웨어	한국어, 영어	수학, 과학, AI, XR 등	-	가능
VlabON	한국과학기술정보 연구원 & 한국과학창의재단	한국어	수학, 물리학, 화학, 생명과학, 지구과학	작동적 모형 & 완성형	불가능
Academo	Academo	영어	공학, 지리학, 수학, 물리학, 음악	개념적 모형 & 완성형/저작도구형	불가능

플랫폼	개발자	제공 언어	교육 분야	시뮬레이션 유형	시뮬레이션 개발 가능 여부
Corcord Consortium	미국 비영리 교육 연구 개발 조직	영어, 이탈리아어, 노르웨이어	수학, 물리학, 화학, 생명과학, 지구과학, 공학	개념적 모형 & 완성형	불가능
LabXChange	미국 하버드 대학	한국어, 영어를 포함한 총 17개 언어	물리학, 화학, 생명과학, 지구과학	작동적 모형 & 완성형	불가능
NetLogo	미국 Uri Wilensky & CCL	영어	-	-	가능
OpenSciEd	OpenSciEd	영어	물리학, 화학, 생명과학	개념적 모형 & 완성형/저작도구형	불가능
PhET	미국 콜로라도 대학	한국어, 영어, 그 외	수학, 물리학, 화학, 생명과학, 지구과학	개념적 모형 & 저작도구형	불가능
알지오매스	한국과학창의재단	한국어, 영어	수학	-	가능
GeoGebra	오스트리아 잘츠부르크 대학	한국어, 영어, 그 외	수학, 물리학	-	가능

플랫폼	개발자	제공 언어	교육 분야	시뮬레이션 유형	시뮬레이션 개발 가능 여부
oPhysics	Tom Walsh	영어	물리학	개념적 모형 & 저작도구형	불가능
Physics at school	체코	영어	물리학	개념적 모형 & 완성형	불가능
Physics Simulations	Erik Neumann	영어, 독일어	물리학	개념적 모형 & 완성형/저작도구형	불가능
ChemCollective	David Yaron & Ryan Dwyer	영어, 스페인어, 이탈리아어	화학	작동적 모형 & 완성형	불가능
Biology Simulations	Biology Simulations LLC	영어	생명과학	작동적 모형 & 완성형/저작도구형	불가능
JonDarkow	Jon Darkow	영어	물리학, 생명과학	개념적 모형 & 저작도구형	불가능

라. 모델링 역량 측정 관련 선행 문헌 검토

과학교육에서 학생이 스스로 과학 지식을 구성하는 것의 중요성이 강조되고 있지만(Beak & Schwarz, 2015; Gilbert *et al.*, 2000b; Lehrer & Schauble, 2005; Passmore *et al.*, 2009; Schwarz *et al.*, 2009), Nicolaou & Constantinou(2014)의 문헌 분석 연구에 따르면 <표 III-7>과 같이 모델링 역량과 관련된 연구의 대부분은 인지적 관점에 초점을 두고 있음을 확인할 수 있다.

<표 III-7> Nicolaou & Constantinou(2014)의 모델링 역량 평가에 관한 문헌 연구 결과

모델링 역량 평가 분야		관련 문헌
메타지식 (Meta-knowledge)	메타 모델링 지식 (Meta-modeling knowledge)	13건
	모델링 과정에 대한 메타 인지 지식 (Meta-cognitive knowledge about the modeling process)	3건
	모델링의 인지 과정 (Cognitive processes during modeling)	7건
	모델링의 실제 적용 (Modeling practice)	2건
	모델링 산출물 (Modeling product)	6건

또한 Nicolaou & Constantinou(2014)의 문헌 분석 연구 결과, 모델링 역량을 평가하기 위한 데이터 수집 방법으로는 학생이 그린 과학적 모형을 분석, 상황에 기반하여 학생의 서술을 평가하는 개방형 평가, 리커트 척도나 예/아니오 응답을 이용한 설문조사, 인터뷰 등이 사용되었다. 모형 구성 능력에 관하여 국내에서 실시한 대부분의 연구에서도 과학 개념에 대해 그림으로 표현한 학생의 과학적 모형을 수집하거나, 문제 상황에 대한 학생의 서술적 해석을 평가하거나, 인터뷰를 진행하였다(박희경,

2015; 배대성, 2012; 유희원 외, 2012; 임희준, 2005; 임희준 & 장신호, 2004). 이처럼 모델링 역량을 평가하는 방식이 다양한 이유는 아직 모델링 역량을 개념화하거나 평가하는 일관된 방법이 개발되지 않았다는 것을 시사한다(Nicolaou & Constantinou, 2014).

또한 비인지적 요인은 모델링 역량의 핵심이지만, 아직 모델링 역량의 정의에 비인지적 요인이 포함되어 있지 않다(Ammoneit *et al.*, 2024). 모형을 구성하는 과정에서 학생의 경험, 아이디어, 이론 등이 모형 구성 과정에 영향을 주고 창의적, 혁신적, 주관적인 요소가 학생의 모델링 역량에 영향을 미치기 때문에(Upmeier zu Belzen *et al.*, 2019) 학생의 모델링 역량을 파악하기 위해서는 학생이 모형을 구성하여 산출물을 제작하는 과정을 관찰하고 그 경험을 질적으로 분석하는 과정이 필요하다. 모형을 적용하여 과학적 개념과 이론, 자연 현상을 설명하는 과정은 질적인 접근 방식을 보이기 때문에(Greca & Moreira, 2002) 본 연구에서 학생의 모델링 역량을 파악하기 위해 학생이 직접 모델링 산출물을 구성하는 과정에 대한 평가가 필요하다고 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 개발한 수업 모형을 통해 학생의 모델링 역량이 함양될 수 있도록 학생이 직접 VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 구성하는 경험을 제공하고, 그 과정에서 동료들과 상호작용하고 최종 산출물을 공유하고 결과를 성찰하는 경험을 제공해 주고자 한다. 과학적 시뮬레이션을 구성하는 과정에서 수준 높은 과학 개념의 이해와 심도 있는 과학탐구 경험을 통해 과학과 핵심 역량을 함양하고, VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 코딩하는 경험을 통해 모델링 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력을 함양할 수 있는 과학-정보 융합 수업 모형을 개발하고자 하였다.

마. 영재 학생 특성 분석

기존에 개발되어 보급된 교육용 시뮬레이션은 초·중·고등학교 교육과정 내용과 연계되어 있어 일반 교육과정에서 학습을 촉진하는 데 유용한 도구로 활용될 수 있다. 하지만 초·중·고등학교 교육과정보다 높은 학업 수준에 도달한 학생이나, 창의성을 발휘하여 과학 개념 및 이론에 적절한 과학적 모형을 만들고자 하는 학생, 자연 현상에서 문제를 발견하고 스스로 이를 탐구해 보고자 하는 학생 등 학생 에이전시(student agency)가 높은 학생에게는 기존에 개발된 시뮬레이션의 학습 효과가 떨어질 수 있으며, 학생의 다양한 요구를 반영할 수 있는 시뮬레이션 경험을 제공할 필요가 있다. 이러한 학생의 예로는 대표적으로 영재 학생이 있다. 영재교육진흥법 시행령 제12조(영재교육대상자의 선정 기준 등) 제1항에서 ‘영재교육대상자는 영재교육기관의 교육영역 및 목적에 적합하고, 교육 내용을 이수할 능력이 있다고 인정되는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 자로 한다.’라고 영재를 명시하고 있다. 제1호에서는 ‘표준화된 지능검사, 사고력 검사, 창의적 문제 해결력 검사, 그 밖의 소정의 검사·면접 또는 관찰의 방법에 따라 특정 교과 또는 특정 분야에서 일정 수준 이상의 뛰어난 재능 또는 잠재력이 있다고 인정되는 자’로 영재를 정의하고 있으며, 제2호에서는 ‘실기 검사, 그 밖의 소정의 검사·면접 또는 관찰의 방법에 따라 예술적·신체적 분야에서 일정 수준 이상의 재능 또는 잠재력이 있다고 인정되는 자’로 영재를 정의하고 있다. 본 연구에서는 영재교육진흥법 시행령 제12조 제1항 제1호에 해당하는 영재 학생을 연구 대상으로 선정하였다.

영재는 일반 학생과는 다른 여러 가지 특성이 있다. Renzulli(2011)는 영재 학생을 일반 학생과 비교했을 때 평균 이상의 높은 지능을 지니며, 높은 과제 집착력과 창의성을 바탕으로 일반적인 영역뿐만 아니라 특별한 영역에서 높은 성취를 보이는 학습자로 정의하였다. Feldhusen & Hoover(1986)는 영재 학생을 높은 수준의 지적 능력을 지니며, 교사의 동기 유발 없이 스스로 동기 유발을 할 수 있고, 자아개념과 창의성이

뛰어난 학습자로 정의하였다. 그 외 많은 연구에서도 Renzulli(2011)가 제시한 영재의 특성인 평균 이상의 높은 지능, 과제 집착력, 창의성이 영재 학생에게 공통으로 나타나는 특성임을 확인하였다(김미숙 외, 2005; 이정철 외, 2009; 이항로, 2011).

이정철 외(2009)는 한국에서의 기존 영재 학생 대상 연구가 중등 영재 원이나 과학고등학교 학생을 대상으로 한 연구가 많은 데 비해, 영재 고등학교 학생을 대상으로 한 연구가 부족하다는 문제 인식을 바탕으로 한국과학영재학교 학생들의 과학에 대한 태도, 학습양식, 선호하는 과학 수업 형태와 수업 환경 등을 탐색하였다. 이정철 외(2009) 연구는 일반계 고등학교 학생, 과학고등학교 학생, 영재학교 학생의 과학적 태도, 학습양식, 선호하는 수업 형태와 수업 환경을 비교하고, 이에 기초하여 수업 전략을 수립하고자 하는 목적을 바탕으로 연구가 실시되었다. 이정철 외(2009)에서 연구한 한국과학영재학교 학생들의 특성은 학습 환경과 교육과정 등이 다른 영재학교 학생들과 다를 수도 있다는 제한사항을 밝히고 있다. 하지만 영재 학생의 일반적인 특성과 성향을 파악하고, 이를 고려한 수업 모형의 개발과 설계 원리 및 교수전략을 도출하는 데 참고할 수 있다.

이정철 외(2009)의 연구에 따르면 과학에 대한 태도 중 호기심 영역에서 영재학교 학생들과 과학고등학교 학생들이 일반계 고등학교 학생들에 비해 높은 점수를 보였다. 이는 새로운 현상에 대해 의문을 제기하고 자연 현상에 대한 인과관계를 추론하고자 하며, 이유나 원인을 밝히고자 하는 호기심이 일반계 고등학교 학생들보다 영재학교 학생들과 과학고등학교 학생들이 높다는 것을 의미한다. 과학에 대한 태도 중 개방성 영역도 영재학교 학생들과 과학고등학교 학생들이 일반계 고등학교 학생들에 비해 높은 점수를 보였으며, 이는 다른 사람의 의견을 경청하고 자신의 의견을 수정하는 개방적인 태도를 지니는 것을 의미한다. 그 외에 비판성, 협동성, 자기 주도성, 끈기, 창의성 영역에서도 영재학교 학생들과 과학고등학교 학생들이 일반계 고등학교 학생들에 비해 높은 점수를 보였다.

학습양식을 분석한 결과에서는 학습 태도 면에서 독립형과 의존형 중 독립형의 비율이, 동료에 대한 태도 면에서 협동형과 경쟁형 중 협동형의 비율이, 수업 과정에 대한 태도 면에서 참여형과 회피형 중 참여형의 비율이 모두 영재학교 학생들과 과학고등학교 학생들이 일반계 고등학교 학생들에 비해 높은 결과를 보였다. 영재 학생은 학습자 중심으로 수업이 진행되는 방식을 선호하며, 서로의 창의성을 주고받으면서 가장 많은 것을 배울 수 있다고 생각하였다. 또한 교사와 동료 학습자들과 협력하면서 함께 어울려 공부하는 것을 선호하고, 소그룹 형태의 토의 수업에서 협력적인 태도를 보였다. 교실을 사회적인 상호작용을 위한 장소로 생각하며 수업에 관련된 활동뿐만 아니라 수업 이외의 활동에도 책임감을 갖고 참여하는 태도를 보였다.

선호하는 과학 수업의 형태와 수업 환경을 분석한 결과에서는 다양한 형태의 수업, 높은 수준의 사고와 반성적 사고를 요구하는 수업을 선호한다는 결과를 보였다. 또한 개별 활동 수업보다는 동료들과 협력할 수 있는 조별 협동 학습과 토론 수업을 선호하였으며, 학생들이 수업의 주체가 되는 학생 주도적 수업을 선호하고 어려운 내용 및 높은 수준의 사고를 요구하는 수업을 선호하는 결과를 보였다.

이정철 외(2009)의 연구뿐만 아니라 중등 영재교육기관을 다니는 영재 학생을 대상으로 한 김미숙 외(2005)의 연구에서도 영재 학생의 특성으로 일반 지능지수가 높고, 인내심이 강하고, 자기 확신이 강하며, 호기심과 상상력이 풍부하고, 개방적이며 모험적인 특성이 있음을 밝혔다. 또한 다양한 학습양식 중 프로젝트 수업을 선호하는 결과를 보였다. 중등 영재교육기관을 다니는 영재 학생을 대상으로 한 이항로(2011)의 연구에서도 과학영재 집단의 약 94.7%가 피아제의 형식적 조작 수준(Formal operations stage)에 도달해 있으며, 과학 탐구 능력 성취도가 일반 학생들보다 24.6% 높다는 연구 결과를 보였다.

4. 내적 타당화

모형 개발 관련 선행 문헌, VPython 관련 선행 문헌, 시뮬레이션 플랫폼 분석, 모델링 역량 측정 관련 선행 문헌의 통합적인 검토를 바탕으로 학습자의 특성을 고려하여 과학교육과 정보교육의 융합 수업으로서 개발한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략의 타당도를 검증하기 위하여 전문가 타당화를 실시하였다. 전문가 타당화는 내적 타당화를 위해 활용되는 일반적인 방식으로, 연구자가 우수한 전문가의 축적된 지식, 경험, 통찰 등을 통해 개발한 내용을 실제 현장에 적용하기 전, 전문가를 통해 해당 내용의 요소, 구조, 사용성 측면을 비판적으로 검토하는 과정이다(Richey, 2005). 개발한 모형을 실제 현장에 적용하기 전에 전문가 타당화를 실시하여 모형을 더 적절한 방향으로 수정하거나, 미리 오류를 찾아서 제거하는 등의 개선 과정을 통해 연구의 질을 높일 수 있다. 하지만 전문가 선정이 적절하지 못하면 전문적인 의견을 모으지 못하고 편향되고 단편적인 관점으로 전문가 타당화가 진행될 수 있으므로, 전문가 타당화를 위해서는 해당 분야의 전문가를 선정하는 작업이 매우 중요하다(Streiner *et al.*, 2015). 전문가 타당화는 전문가의 지식과 경험에 의존적이기 때문에 전문가의 수, 관점, 권위 등에 따라 결과가 달라질 수 있다(Korhonen *et al.*, 2009). Lynn(1986)은 최소 5명 이상의 전문가를 활용할 것을 제안하였으며, Rubio *et al.*(2003)은 3명에서 10명 정도의 전문가를 활용하는 것이 적절하다고 제안하였다. 또한 Leshin *et al.*(1992)은 전문가 타당화 시 1인 이상의 교수설계 전문가와 1인 이상의 내용 전문가를 선정할 것을 제안하였다.

가. 연구 참여자

본 연구에서는 통합적인 문헌 검토와 경험적 탐색을 바탕으로 도출해 낸 수업 모형, 수업 모형의 세부 단계별 설명, 수업 모형에 대한 설계 원리 및 교수전략, 개발한 수업 모형의 외적 타당화에 사용될 학생 인터뷰 질문지 문항과 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항의 내적 타당화를 위하여 전문가 타당화를 수행하였다. 본 연구에서는 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형 개발’에 대해 교수 설계적 관점과 실제 과학-정보 융합 교육 수업 운영의 관점을 균형 있게 종합하고자 교육공학의 교수설계 전문가 및 시뮬레이션 교육 전문가, 영재교육 전문가, 과학교육 및 정보교육 전문가를 대상으로 전문가 타당화를 진행하였다.

교수설계 전문가로는 수업 모형 설계 관련 논문을 게재한 실적이 있으며, 현재 인공지능 융합 교육 분야로 박사 후 연구원 과정을 수행하고 있는 자를 선정하였다.

본 연구의 교육 공학적 활동은 학생 스스로 시뮬레이션을 구성하는 것이다. 따라서 시뮬레이션 교육 관련 전문가가 필요하다고 판단하였다. 시뮬레이션 교육 관련 전문가로는 교육공학 분야 박사 학위를 소지하고 있으며, 과학 시뮬레이션 관련 및 과학교육에서의 증강현실 활용 관련 연구를 수행한 경력이 있는 자를 선정하였다.

본 연구에서 개발한 수업 모형의 대상 학습자는 영재 학생 또는 과학 지식과 정보 지식이 적정 수준 내재화되어 있는 학생이므로, 영재교육 영역에 대해 박사 학위를 소지하고 관련 논문을 게재한 실적이 있는 자를 영재교육 전문가로 선정하였다.

본 연구에서 개발하고자 하는 수업 모형은 과학교육과 정보교육의 융합이므로, 내용 전문가로 과학교육 및 정보교육 관련 분야에서 석사 학위 이상을 소지하고, 교육 경력이 5년 이상인 자를 선정하였다.

본 연구의 전문가 타당화 과정에 참여한 전문가들의 프로필과 참여 단계는 <표 III-8>과 같다.

<표 III-8> 전문가 타당화 검토 참여자 프로필 및 참여 단계

전문가 타당화 검토 참여자 프로필					참여 단계	
전문가	직업	경력	최종 학력	전문 분야	1차	2차
A	박사 후 연구원	9년	교육학 박사	· 교육공학(교수설계) · 인공지능 융합 교육 · 과학교육(화학 전공)	✓	✓
B	과학영재 고등학교 교사	15년	교육학 박사	· 영재교육 · 과학교육(화학 전공)	✓	✓
C	과학영재 고등학교 교사	4년	교육학 박사	· 교육공학(시뮬레이션) · 과학교육(화학 전공)	✓	✓
D	과학영재 고등학교 교사	7년	교육학 박사 수료	· 정보·컴퓨터교육	✓	✓
E	과학영재 고등학교 교사	5년	교육학 석사	· 과학교육(물리 전공)	✓	✓
F	서울시교육청 교육연구사	20년	교육학 석사	· 정보·컴퓨터교육	✓	✓
G	과학영재 고등학교 교사	7년	교육학 석사	· 정보·컴퓨터교육	✓	✓

총 두 차례에 걸쳐 전문가 타당화를 수행하였으며, 내적 타당화 과정을 통해 얻은 전문가들의 의견을 바탕으로 수업 모형, 수업 모형의 세부 단계별 설명, 수업 모형에 대한 설계 원리 및 교수전략, 개발한 수업 모형의 외적 타당화에 사용될 학생 인터뷰 질문지 문항과 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항을 수정·보완하여 개선하였다.

나. 연구 도구 및 자료 분석 방법

‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’의 모형, 수업 모형의 세부 단계별 설명, 설계 원리 및 교수전략, 개발한 수업 모형의 외적 타당화에 사용될 학생 인터뷰 질문지 문항과 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 전문가 타당화를 위해 타당화 검사 도구를 개발하였다. 검사 도구는 질문지의 형태로, 전문가 인적 사항을 응답하는 부분, 연구를 소개하고 개발한 수업 모형을 안내하는 부분, 개발한 수업 모형에 대한 전문가 타당도 검토 부분으로 구성하였다. 수업 모형 전반을 평가하는 문항은 <표 III-9>와 같이 타당성, 설명력, 유용성, 보편성, 이해도의 5가지 영역에 따라 구성하였고, 영역별로 4점 척도(4: 매우 그렇다, 3: 그렇다, 2: 그렇지 않다, 1: 전혀 그렇지 않다)로 응답하도록 하였다. 또한 각 문항에 대해 개선하거나 보완해야 하는 사항 등에 대해서는 전문가의 의견을 자유롭게 기술할 수 있도록 개방형 문항을 제시하여 4점 척도의 선택형 문항과 개방형 문항의 응답 결과를 동시에 수집하였다.

<표 III-9> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형에 대한 전문가 검토 문항

영역	문항
타당성	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 시행하는 데 있어서 참고할 수 있는 수업 모형으로 타당하다.
설명력	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에 필요한 요소를 잘 설명하고 있다.
유용성	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 시행하는 데 있어서 유용하게 활용될 수 있다.
보편성	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 시행하는 데 보편적으로 활용할 수 있다.
이해도	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 이해하기 쉽게 표현하고 있다.

전문가 타당화 검사지를 통해 수집된 선택형 문항의 응답에 대하여 타당도 및 신뢰도 확보를 위해 내용 타당도 지수(Content Validity Index; CVI)와 평가자 간 내용 일치도 지수(Inter-Rater Agreement; IRA)를 구하여 수업 모형, 수업 모형의 세부 단계별 설명, 설계 원리 및 교수전략, 개발한 수업 모형의 외적 타당화에 사용될 학생 인터뷰 질문지 문항과 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항을 분석하였다.

1) 내용 타당도 지수(Content Validity Index; CVI)

CVI는 전문가의 응답 내용의 객관성을 높일 수 있는 분석 방법으로, 검사 도구의 항목이 측정하고자 하는 것을 얼마나 충실하고 적절하게 측정하였는지를 나타내는 지수이다. CVI는 각 문항에 대해 전문가들이 매긴 점수가 어느 정도로 일치하는지에 따라 유효성을 판단한다(Grant & Davis, 1997; Rubio *et al.*, 2003). 본 연구의 전문가 타당화 검사 도구는 모두 4점 척도 문항으로 개발하였으며, 4점 척도 문항을 기준으로 각 항목에 대해 긍정적인 평정 값이 3점 또는 4점을 부여한 전문가의 비율을 계산하여 CVI 값을 도출하였다.

$$CVI = \frac{\text{3점 또는 4점을 선택한 전문가의 수}}{\text{평가에 참여한 전문가의 총 인원 수}}$$

Lynn(1986)은 CVI를 항목별 타당도 정도로써, 최소 5명의 전문가에 대해 각 타당화 항목의 CVI 값이 1이 되어야 한다는 기준을 제시하였다. 또한 전문가 타당화에 참여한 전문가가 5~10명일 경우, 3점 미만으로 응답한 전문가의 수가 1명 이하일 때만 통계적으로 유의미하다고 해석하며, CVI 값이 0.80 이상이면 타당도가 높은 것으로 간주하였다. 전문가 타당화에 참여한 전문가가 5~9명일 경우 CVI 값이 0.80 이상이면 타당하다고 해석할 수 있다(Grant & Davis, 1997).

2) 평가자 간 내용 일치도 지수(Inter-Rater Agreement; IRA)

IRA는 전문가들이 타당화 결과로써 부여한 평가에 대한 신뢰도를 나타내는 지수이며, 항목에 대한 평가의 일관성을 수치화하여 나타낸 지수이다. IRA 값을 구하는 방법에는 평가 일치 비율(the percentage of absolute agreement), 카파 상관계수(Cohen's Kappa), 급내 상관계수(Intra-Class Correlation; ICC)의 세 가지가 있다. 본 연구에서는 IRA 값을 구하는 방법으로 평가 일치 비율 방식을 활용하였다. 평가 일치 비율 방식에서는 모든 전문가가 타당하다고 응답한 문항의 수를 전체 문항의 수로 나누어 IRA 값을 구한다(Graham *et al.*, 2012; Rubio *et al.*, 2003). 즉, 본 연구의 전문가 타당화 검사 도구는 모두 4점 척도 문항으로 개발되었으며, 4점 척도 문항을 기준으로 각 항목에 대해 긍정적인 평정 값인 3점 또는 4점으로 응답한 문항을 전체 문항의 수로 나누어 IRA 값을 도출하였다.

$$IRA = \frac{\text{전문가 모두가 타당하다고 의견 일치를 보인 문항의 수}}{\text{전체 문항의 수}}$$

IRA 값은 평가자 간의 의견이 일관되어 서로 호환 가능한지에 대한 정보를 제공해 준다. IRA 값이 0이면 평가자 간 의견이 완전히 일치하지 않는다고 판단할 수 있으며, IRA 값이 1이면 평가자 간 의견이 완전히 일치한다고 판단할 수 있다. 일반적으로 IRA 값이 0.80 이상이면 전문가들의 평가를 어느 정도 신뢰할 수 있다고 해석할 수 있다(Graham *et al.*, 2012; Rubio *et al.*, 2003).

CVI 값과 IRA 값으로 각 문항에 대한 타당도와 신뢰도를 판단하고, 0.80 미만의 값으로 응답된 문항을 수정·보완하였다. 또한 전문가들이 자유롭게 의견을 서술할 수 있는 개방형 문항의 응답을 검토하여 CVI 값과 IRA 값이 0.80 이상인 문항에 대해서도 수정·보완하였다.

5. 외적 타당화

본 연구는 과학영재 고등학생을 대상으로 VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 구성하는 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 개발하고, 개발한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략의 적용 가능성 및 효과성을 살펴보는 것을 목적으로 한다. 따라서 본 연구에서 개발한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 실제 과학영재 고등학교 학생들에게 적용하여 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략의 적용 가능성과 효과성을 살펴보았다. 적용 가능성과 효과성 판단의 기준은 수업에서의 학습자 반응, 수업 모형 적용 전·후 설문조사 응답 분석, 수업 모형 적용 후 학생 인터뷰 분석을 통해 이루어졌다. 설문조사는 자기 보고식 평가로 실시되었다. 학생 인터뷰 분석은 영재 학생의 특성 및 학습자의 수업 경험과 수업의 교육적 효과를 풍부하게 이해하기 위해 수행하였으며, 이를 바탕으로 수업의 교육적 효과를 질적으로 분석하였다.

가. 연구 참여자

본 연구는 2024년 5~6월 X 과학영재 고등학교에 재학 중인 1~3학년 학생 중 연구 참여를 희망하는 학생 13명을 대상으로 실시되었다. 윤리적인 연구를 수행하기 위해 외적 타당화를 실시하기 전 연구 계획서를 상세하게 작성하고, 연구 참여자용 설명문 및 동의서, 법정 대리용 설명문 및 동의서, 모집 문건 등을 철저히 준비하였다. 모집 문건을 통해 연구 희망자를 모집하였으며, 연구 희망자들에게 연구 내용을 대면으로 설명하고 연구 희망자의 법정 대리인에게 설명문을 제공하였다. 이후 연구 참여자 동의서와 법정 대리인 동의서를 모두 제출한 연구 참여자 13명을 모집하였다. 외적 타당화 검토를 위해 본 연구에 참여한 학습자 프로필과 참여 단계는 <표 III-10>과 같다.

<표 III-10> 외적 타당화 검토 참여자 프로파일 및 참여 단계

외적 타당화 검토 참여자 프로파일				설문조사		인터뷰
구분	소속	학년	성별	사전	사후	
학습자 a	X 과학영재 고등학교	1	남	✓	✓	
학습자 b		1		✓	✓	✓
학습자 c		1		✓	✓	✓
학습자 d		1		✓	✓	✓
학습자 e		1		✓	✓	
학습자 f		1		✓		
학습자 g		1		✓	✓	✓
학습자 h		1		✓	✓	✓
학습자 i		2		✓	✓	✓
학습자 j		2		✓	✓	✓
학습자 k		2		✓	✓	✓
학습자 l		2		✓	✓	✓
학습자 m		2		✓	✓	

나. 외적 타당화 적용 절차

1) 연구 윤리를 고려한 현장 적용

X 과학영재 고등학교는 기숙사 학교로, 정규 수업 이후에도 학생들이 학교에 남아있다는 점을 활용하여 연구 참여를 희망하는 학생들을 대상으로 학생 자유시간(16:30~18:10)에 수업을 개설하여 운영하였다. 정규 수업 시간이 아닌 방과 후 학생 자유시간에 수업 모형을 적용함으로써 학생들에게 연구 참여의 자율성을 보장해 주었다. 또한 연구에 참여한 학생과 연구에 참여하지 않은 학생 모두 정규 교과 학습 및 정기고사에 유리하거나 불리한 점이 없도록 과학 교과 개념과 Python 프로그래밍 관련 내용은 따로 수업에서 다루지 않았다. 즉, 학생들이 이미 학습한 과학 개념 및 이론, 과학적 모형, Python 프로그래밍 지식 등을 활용하여 수업을 진행하였다.

모집 문건을 통해 연구 희망자를 모집하여 연구 내용을 대면으로 설명하는 과정에서 학생들에게 본 연구 내용은 학교생활기록부 교과 세부능력 및 특기사항에 기재되지 않음을 명시하였다. 교육부에서 제시한 「학교생활기록부 기재요령 훈령 제15조(교과학습발달상황)」 제6항에서 중·고등학교의 ‘세부능력 및 특기사항’에는 과목별 성취 기준에 따른 성취 수준의 특성 및 학습 활동 참여도 등을 문장으로 입력하게 되어 있으며, 제14항에서 세부능력 및 특기사항은 교과 담당 교사만 입력하도록 명시하고 있다. 또한 교육부에서 제시한 학교생활기록부 「표준 가이드라인」에서는 ‘방과 후 활동은 기재하지 않음’, ‘세부능력 및 특기사항은 수업 및 수업과 연계된 수행평가 등에서 관찰한 내용을 입력한다.’라고 명시하고 있다. 따라서 본 연구에 참여하기 전, 연구 참여를 희망하는 학생들에게 연구 내용을 대면으로 설명하는 과정에서 본 수업을 통해 연구 참여자가 학습할 내용은 ‘VPython’, ‘과학적 모형’, ‘과학적 시뮬레이션’ 등으로 정규 수업과 무관하며, 방과 후 활동이므로 학교생활기록부 교과 세부능력 및 특기사항에 본 수업과 관련된 내용을 기재할 수 없음을 강조하여 설명하였다.

외적 타당화 검토에 참여한 연구 참여자 13명은 본 수업에 아무런 외적 보상이 없음을 이해하였고 방과 후 자신의 자유시간을 할애하여 수업에 참여한 학생으로, 수업 내용의 학습에 대한 내재적 동기가 있는 학습자라고 판단할 수 있다.

2) 현장 적용 절차

현장 적용은 X 과학영재 고등학교에 재학 중인 13명의 학생을 대상으로 방과 후 학생 자유시간(16:30~18:10)에 진행되었다. 본 연구의 외적 타당화 과정의 절차는 ‘준비’, ‘실행 및 자료 수집’, ‘자료 분석 및 해석’, ‘결과 도출’의 네 단계로 구성하였다.

‘준비’ 단계에서는 모집 문건을 통해 연구 참여의 희망 의사를 밝힌 학생들을 대상으로 연구 내용을 대면으로 설명하고, 연구 희망자와 연구

희망자의 법정 대리인에게 설명문을 제공한 후, 연구 희망자와 연구 희망자의 법정 대리인 모두에게 동의서를 받아 연구 참여자를 선정하였다. 동의서를 제출한 연구 참여자들을 대상으로 5~6월 자유시간 중 연구 참여자 전원이 본 연구에 참여할 수 있는 날짜와 시간을 조사하여 수업 시간을 결정하였다.

‘실행 및 자료 수집’ 단계에서는 개발한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 바탕으로 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성’ 수업을 수행하였다. 수업 모형을 적용하기 전 연구 참여자를 대상으로 자기 보고식 설문조사를 실시하였다. 수업 모형의 적용은 정규 수업과 동일한 방식으로 운영하였다. X 과학영재 고등학교에서 정규 수업은 1개 차시를 50분으로 운영하고, 보통 2개 차시를 연달아 1회의 블록 타임 수업으로 운영한다. 본 연구에서도 정규 수업과 동일하게 1회에 2개 차시를 블록 타임 수업으로 운영하여 100분을 수업하였으며, 총 5회 10차시 수업으로 진행하였다. 수업의 설계와 적용은 본 연구에서 개발한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 기반으로 본 연구자가 직접 수행하였다. 수업 모형 적용을 모두 마친 후 연구 참여자를 대상으로 자기 보고식 설문조사를 실시하고, 연구 참여자의 수업 경험과 수업 모형의 교육적 효과를 심도 있게 이해하기 위하여 인터뷰를 수행하였다.

‘자료 분석 및 해석’ 단계에서는 ‘실행 및 자료 수집’ 단계에서 수집한 설문조사와 인터뷰 자료를 분석 및 해석하였다.

‘결과 도출’ 단계에서는 ‘자료 분석 및 해석’ 단계의 결과를 바탕으로 본 연구에서 개발한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략에 대한 연구 참여자의 반응을 도출하였으며, 연구 참여자의 과학과 핵심 역량 및 시뮬레이션 구성 역량에 미친 효과를 분석하였다.

<표 III-11> 외적 타당화 과정의 단계 및 세부 내용

절차	세부 내용
준비	• 연구 희망자 모집 및 연구 내용 설명 • 연구 참여를 희망하는 학생 및 법정 대리인의 동의서 수집 • 연구 참여자 전원이 참여할 수 있는 날짜 조사
실행 및 자료 수집	• VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 진행 - 1개 차시 수업을 50분 수업으로 구성 - 1회에 2개 차시 수업 진행 - 총 5회, 10차시 수업 진행 • 연구 참여자 13명을 대상으로 자료 수집 - 수업 모형 적용 전 설문조사 - 수업 모형 적용 후 설문조사 - 수업 모형 적용 후 인터뷰
자료 분석 및 해석	• 설문조사 결과 분석 • 인터뷰 결과 분석
결과 도출	• 본 수업에서 개발한 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’의 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략에 대한 학습자 반응 확인

3) 수업의 설계 및 실행

연구자는 본 연구에서 개발한 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’의 모형과 설계 원리 및 교수전략을 참고하여 수업을 설계하고 이를 직접 현장에 적용하였다. 본 수업 모형의 기본 바탕은 학생 중심의 프로젝트 기반 수업이다. 프로젝트 기반 수업은 학생이 중심이 되어 수업 활동이 이루어지고, 교수자는 학습 촉진자 또는 수업 안내자 역할을 하는 수업 모형을 의미한다. 프로젝트 기반 수업에서 교수자는 학생에게 개념, 원리 등 학습 내용을 직접적으로 알려주지 않으며, 피드백 방식 또한 학생이 직접 생각하고 스스로 해결할 수 있도록 도와야 한다(최지은 & 성은모, 2022). 따라서 수업 지도안도 교수자 중심이 아닌, 학생 중심으로 작성되었으며, 수업 설계 개요는 <표 III-12>와 같다.

<표 III-12> 본 수업 모형을 적용한 10차시 수업 설계 개요

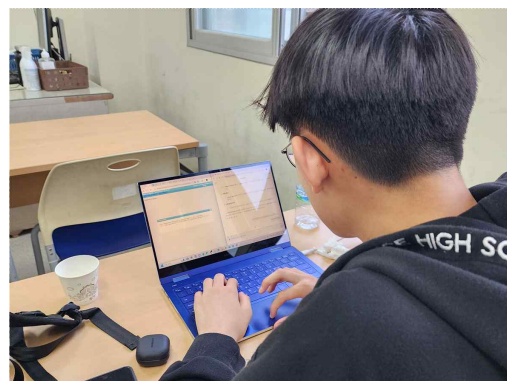
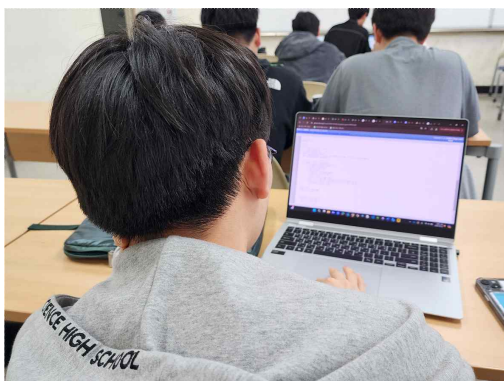
회	차시	학습 내용 및 학습 활동	활동 도구
1	1	- 수업 안내 - 과학적 모형 개념 및 예시 안내 - 시뮬레이션 개념, 유형, 예시 안내 - 수업을 통해 달성하고자 하는 능력, 역량 안내	MS Teams
	2	- VPython 소개 및 연습 - Web VPython 소개 - VPython documentation 소개 - VPython의 3차원 객체 생성 방법 안내 - VPython으로 시뮬레이션 구현 연습: 집, FCC(face-centered cubic) 구조, 자유 낙하 운동, 포물선 운동 시뮬레이션 구현	Web VPython
2	3	- 학생 개별 시뮬레이션 주제 탐색 & 팀 구성 - 탐색한 주제 공유 - 관심 있는 주제에 대해 팀 구성	MS Teams
	4	- 팀 시뮬레이션 주제 설정 - 시뮬레이션을 구성하기 위한 요소, 물리량, 과학 개념 및 과학 이론 탐색 - 탐색 결과를 시뮬레이션 구성에 적합하도록 정교화 - VPython 코딩으로 시뮬레이션 생성	Google Docs Web VPython
3	5	VPython 코딩으로 시뮬레이션 생성	Web VPython
	6	VPython 코딩으로 시뮬레이션 생성	Web VPython
4	7	VPython 코딩으로 시뮬레이션 생성	Web VPython
	8	VPython 코딩으로 시뮬레이션 생성	Web VPython
5	9	시뮬레이션 공유 및 발표 & 피드백	PowerPoint 한글/Word
	10	시뮬레이션 공유 및 발표 & 피드백	PowerPoint 한글/Word



[그림 III-28] 2차시: VPython으로 시뮬레이션 구현을 연습하는 모습



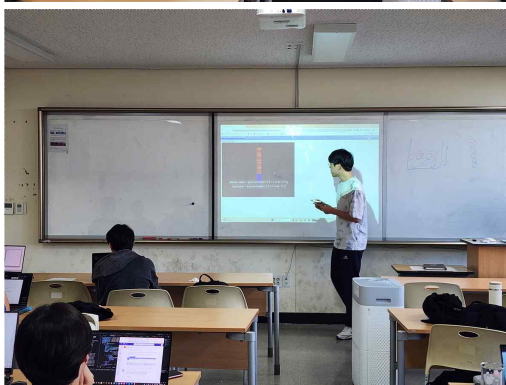
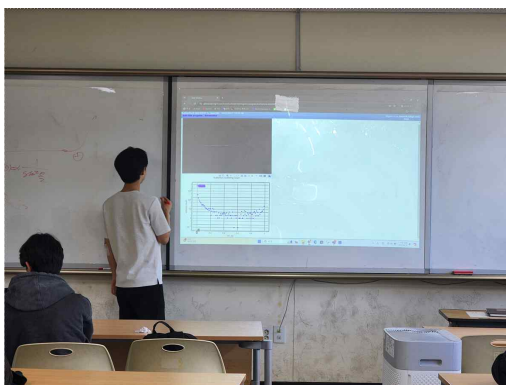
[그림 III-29] 3차시: 팀 구성 및 주제 탐색 모습



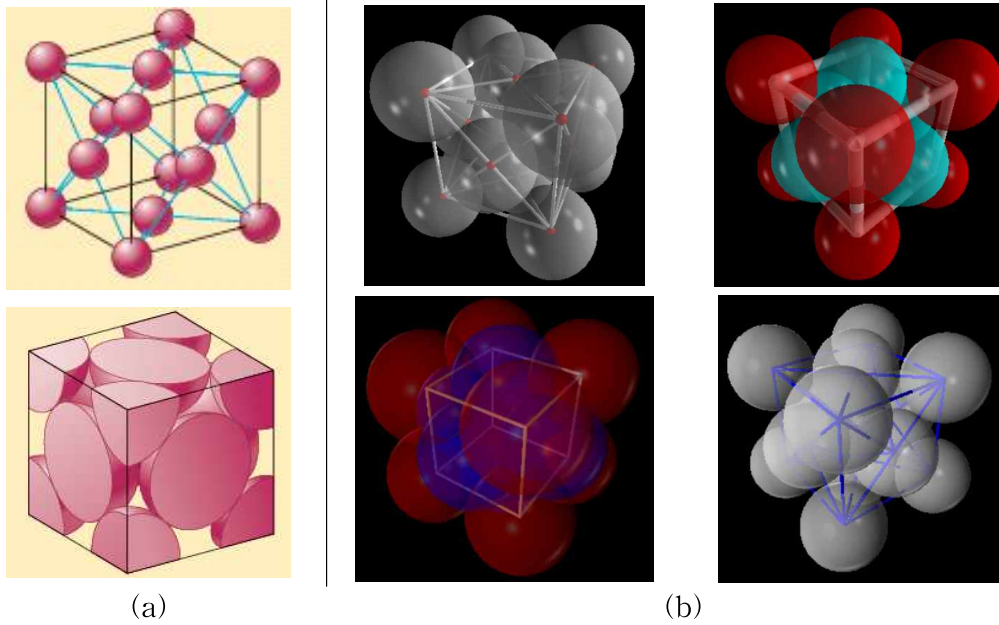
[그림 III-30] 4차시: 주제 선정 및 코딩 수행 모습



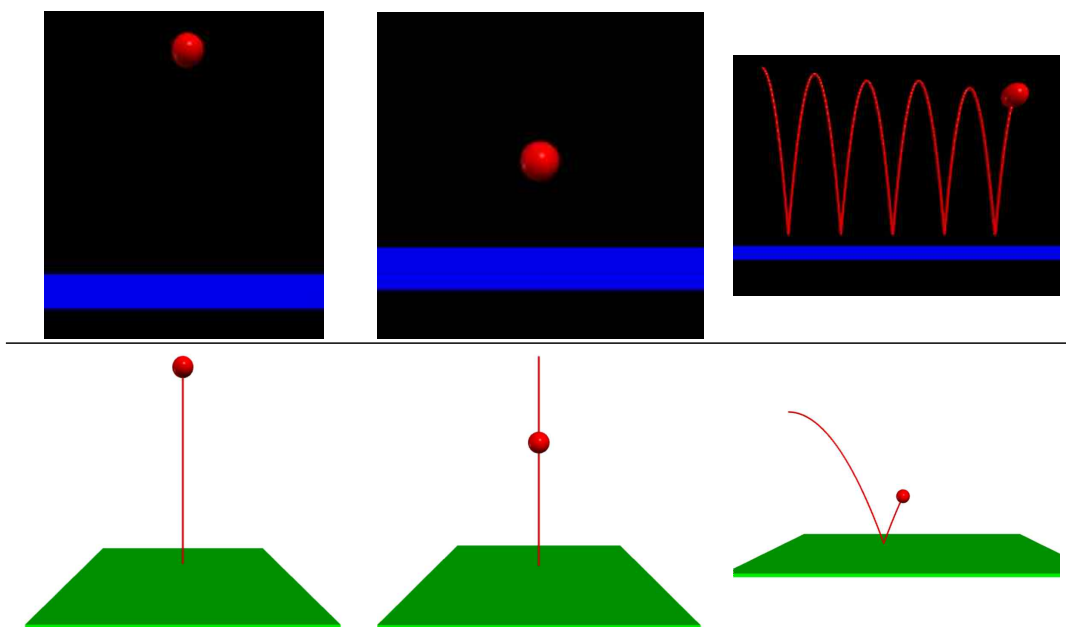
[그림 III-31] 5~8차시: VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 개발 모습



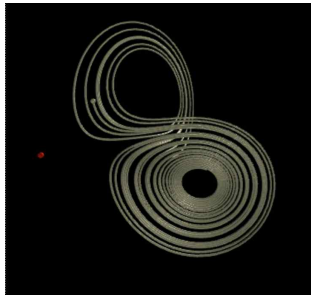
[그림 III-32] 9~10차시: 시뮬레이션 발표 및 피드백 모습



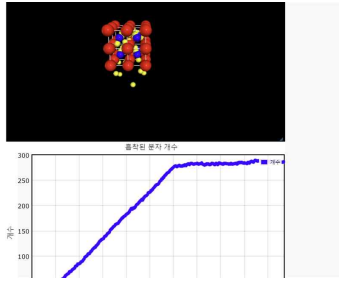
[그림 III-33] 2차시: 금(Au)의 FCC 구조(Zumdahl *et al.*, 2020) (a)와 학생들이 VPython으로 구현한 FCC 구조(b)



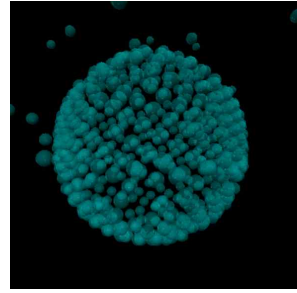
[그림 III-34] 2차시: 학습자 i(위)와 학습자 l(아래)이 VPython으로 구현한 자유 낙하, 공기 저항을 반영한 낙하, 포물선 운동 시뮬레이션



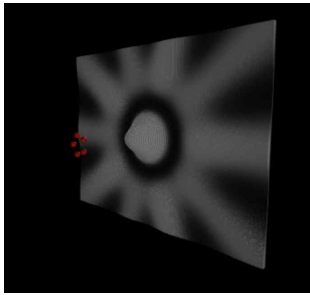
(a)



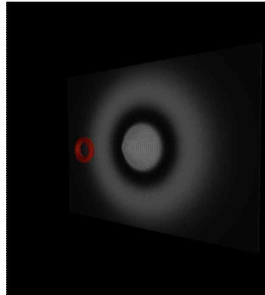
(b)



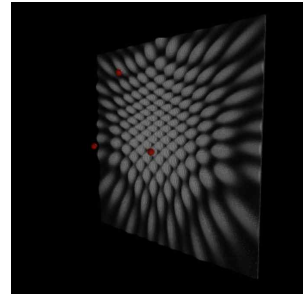
(c)



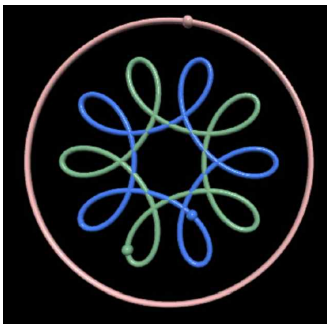
(d)



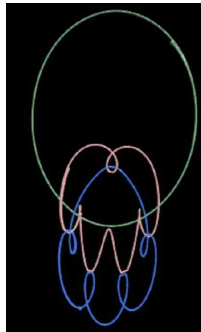
(e)



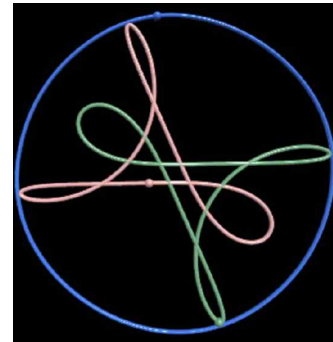
(f)



(g)



(h)



(i)

[그림 III-35] 9~10차시: 학습자들이 VPython을 활용하여 구성한 과학적
시뮬레이션 1

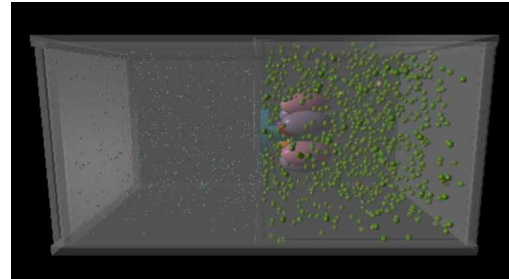
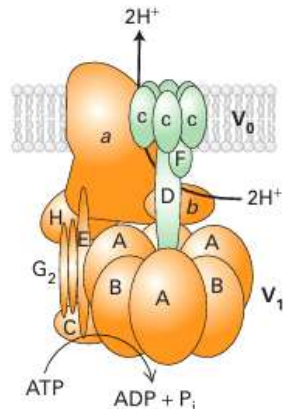
(a) Lorenz System을 시각화한 시뮬레이션

(b) MOF(Metal Organic Framework)와 물질의 흡착을 시각화한 시뮬레이션

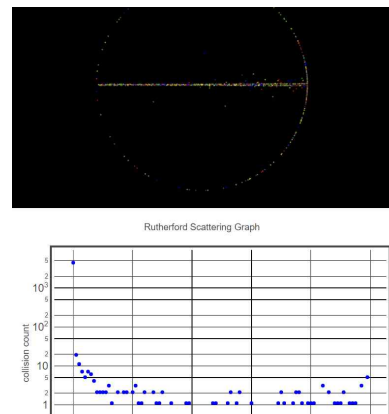
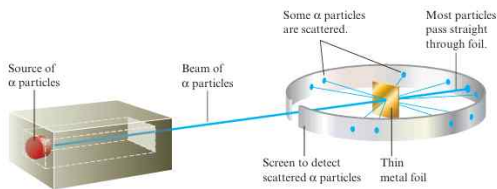
(c) 물방울의 표면 장력(Surface tension)을 시각화한 시뮬레이션

(d)~(f) 광원의 위치 및 모양에 따른 간섭무늬를 시각화한 시뮬레이션

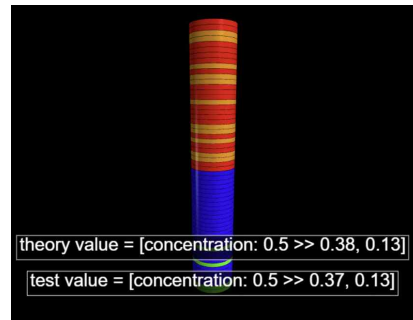
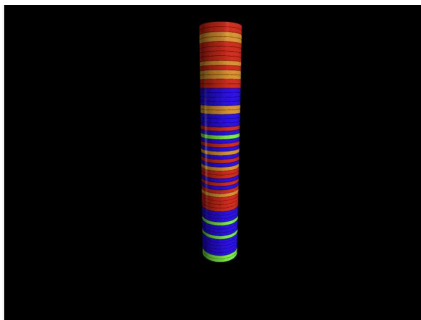
(g)~(i) 삼체 문제(Three-body problem)의 특수해를 시각화한 시뮬레이션



(j)



(k)



(l)

[그림 III-36] 9~10차시: 학습자들이 VPython을 활용하여 구성한 과학적
시뮬레이션 2

- (j) 수소 이온 펌프 모형(좌)(Lodish *et al.*, 2016)과 이를 학습자가 VPython으로 시각화한 시뮬레이션(우)
- (k) 러더퍼드 알파입자 산란 실험 모형(좌)(Zomdahl *et al.*, 2020)과 이를 학습자가 VPython으로 시각화한 시뮬레이션(우)
- (l) 학습자가 VPython으로 추출 전(좌)·후(우)를 시각화한 시뮬레이션

다. 연구 도구 및 자료 분석 방법

본 연구의 외적 타당화 과정에서 사용된 연구 도구로는 1) 수업 모형 적용 전 설문조사, 2) 수업 모형 적용 후 설문조사, 3) 학생 인터뷰이다. 본 연구의 외적 타당화는 개발한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략의 현장 적용 가능성과 교육적 효과를 탐색하는 것을 목적으로 한다. 즉, 과학영재 고등학생에게 본 수업에서 개발한 수업 모형의 적용 가능성을 확인하고, 이를 통해 학생의 과학과 핵심 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력, 시뮬레이션 구성 역량 등에 대해 교육적 효과를 탐색하는 것을 목적으로 한다. 따라서 본 연구에서는 연구 참여자의 자기 보고식 설문 조사와 인터뷰를 활용한 질적 분석을 수행하였다.

1) 수업 모형 적용 전 설문조사

수업 모형 적용 전 설문조사는 자기 보고식 문항으로 구성되었으며, MS Forms를 활용하여 연구 참여자 13명 전원을 대상으로 응답을 수집하였다. 설문조사 문항은 연구 참여자의 개인적인 특성이나 경험, 생각 등을 묻는 13개 문항, 시뮬레이션 구성 역량 검사 5개 문항(한형중, 2019; Lopes & Costa, 2007; Upmeier zu Belzen *et al.*, 2019의 내용을 참고하여 개발), 과학과 핵심 역량 조사 25개 문항(하민수 외, 2018)으로, 객관식 문항과 개방형 문항을 합하여 43개 문항으로 구성하였다. 43개 문항 중 38개 문항은 5점 척도(5: 매우 그렇다, 4: 그렇다, 3: 보통이다, 2: 그렇지 않다, 1: 매우 그렇지 않다)로 응답할 수 있도록 구성하였고, 3개 문항(8번, 12번, 13번)은 2점 척도(1: 있다, 2: 없다 또는 1: 그렇다, 2: 아니다)로 응답할 수 있도록 구성하였다. 나머지 2개 문항(5번, 7번)은 연구 참여자의 주관적인 생각을 자유롭게 서술할 수 있는 개방형 문항으로 구성하였다. 수업 모형 적용 전 설문조사 문항은 [부록 5]에 수록하였다.

2) 수업 모형 적용 후 설문조사

수업 모형 적용 후 설문조사는 자기 보고식 문항으로 구성되었으며, MS Forms를 활용하여 연구 참여자 13명을 대상으로 하였으나, 1명이 응답을 제출하지 않아 12명의 응답을 수집하였다. 설문조사 문항은 수업 모형 적용 전 설문조사 문항에서 연구 참여자의 개인적인 특성이나 경험, 생각 등을 묻는 13개 문항 중 5개 문항을 재사용하였고, 수업 경험과 관련된 16개 문항, 시뮬레이션 구성 역량 검사 10개 문항(한형중, 2019; Lopes & Costa, 2007; Upmeier zu Belzen *et al.*, 2019의 내용을 참고하여 개발), 과학과 핵심 역량 조사 25개 문항(하민수 외, 2018)으로, 객관식 문항과 개방형 문항을 합하여 56개 문항으로 구성하였다. 56개 문항 중 46개 문항은 5점 척도(5: 매우 그렇다, 4: 그렇다, 3: 보통이다, 2: 그렇지 않다, 1: 매우 그렇지 않다)로 응답할 수 있도록 구성하였으며, 2개 문항(13번, 18번)은 2점 척도(1: 그렇다, 2: 아니다 또는 1: 추천, 2: 비추천)로 응답할 수 있도록 구성하였다. 또한 1개 문항(12번)은 복수 응답이 가능하도록 구성하였으며, 7개 문항(9번, 14번, 16번, 17번, 19번, 20번, 21번)은 연구 참여자의 주관적인 생각을 자유롭게 서술할 수 있도록 개방형 문항으로 구성하였다. 수업 모형 적용 후 설문조사 문항은 [부록 6]에 수록하였다.

3) 수업 모형 적용 후 학생 인터뷰

학생 인터뷰 질문지를 미리 개발하고, 이에 대해 전문가 타당화를 거쳐 내적 타당도를 확보한 질문지를 이용하여 수업 모형 적용 후 학생 인터뷰 응답을 수집하였다. 질문지를 면담자에게 출력물로 제공하여 효과적으로 면담자의 생각과 의견을 수집하고자 하였다(임철일, 2012). 면담자의 동의를 얻은 후 인터뷰 내용을 녹음하고, 이를 모두 전사한 전사 기록지를 자료로 활용하였다. 전사 기록지를 통해 'VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업'에 관한 면담자의 경험을 수집하고, 공통적·

반복적으로 등장하는 내용을 코딩하고 범주화하여(Miles & Huberman, 1994) 연구 결과를 심층적으로 분석하였다. 본 연구에서 사용한 학생 인터뷰 질문지 문항은 [부록 7]에 수록하였다.

4) 설문조사에 사용된 역량 검사 문항

① 과학과 핵심 역량 조사 문항

본 연구에서 개발한 수업 모형의 과학과 핵심 역량에 대한 교육적 효과를 분석하기 위해 하민수 외(2018)의 연구에서 개발한 2015 개정 과학과 교육과정에 기초한 과학과 핵심 역량 조사 문항을 활용하였다. 하민수 외(2018)의 연구에서는 과학교육전문가 5인과 교육심리전문가 1인이 ‘과학적 사고력’, ‘과학적 탐구 능력’, ‘과학적 문제 해결력’, ‘과학적 의사소통 능력’, ‘과학적 참여와 평생학습 능력’의 5가지 영역에 대해 5문항씩 총 25개 문항을 개발하였다.

개발한 문항에 대해 초·중·고등학교 현장 교사 6인과 함께 협의와 검토 과정을 거쳤으며, 문항의 타당도, 신뢰도, 집단별 점수 차이 등을 확인하기 위하여 초·중·고등학교 학생 11,348명을 대상으로 자기 평가 형태의 설문조사를 실시하였다. 이를 통해 내용 타당도, 실제에 기초한 타당도, 내적 구조에 기초한 타당도, 일반화 타당도의 4가지 타당도 수준을 확인하였으므로 신뢰성 있는 연구 도구라고 판단하였다. 또한 25개 문항을 학생들이 응답하는 데 10분 이내의 시간이 소요되기에 본 연구의 연구 참여자들이 설문에 부담 없이 참여할 수 있는 연구 도구라고 판단하였다.

② 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항

시뮬레이션 구성 역량 검사 문항은 시뮬레이션 및 모델링과 관련된 선행 문헌(Blum, 2002; Chiu & Lin, 2019; Henning & Keune, 2004; Lopes & Costa, 2007; Maaß, 2004; Nicolaou & Constantinou, 2014; Nielsen & Nielsen, 2021; Upmeier zu Belzen *et al.*, 2019)을 탐색하여 연구자가 본

연구에 적절하게 수정·개발하여 사용했으며, 전문가 타당화를 거쳐 개발한 문항에 대한 내적 타당도를 확보하였다.

과학적 모형과 관련된 과학교육 분야의 연구를 분석해 보면 초기에는 모델링 역량을 메타 모델링 지식(Meta-modeling knowledge)과 모델링의 실제 적용(Modeling practice)의 두 가지 차원으로 제안하였지만(Nicolaou & Constantinou, 2014; Upmeier zu Belzen *et al.*, 2019), 최근에는 모델링 산출물(Modeling product)도 모델링 역량에 포함하여 세 가지 차원으로 제안한다(Chiu & Lin, 2019; Nielsen & Nielsen, 2021). 그 외에도 모델링 역량을 구성 요소를 기반으로 설명하거나(Blum, 2002; Maaß, 2004), 수준을 기반으로 설명한다(Henning & Keune, 2004). 또한 Lopes & Costa(2007)의 연구에서는 모델링 역량의 재현 가능한 평가 방법론을 검증하는 연구를 수행하였다. Lopes & Costa(2007)의 연구에서 개발한 모델링 역량 평가 문항은 포르투갈 북부에서 75명의 피험자를 대상으로 실시되었고, 검사 문항의 각 항목이 타당한지를 측정하기 위해 Guttman 반분 신뢰도를 측정하여 신뢰성을 확인하였다. 이를 통해 Lopes & Costa(2007)는 다양한 교육 배경을 가진 그룹의 모델링 역량을 평가할 수 있다고 제안하였다. 한형중(2019)은 가상현실을 기반으로 한 교육용 시뮬레이션의 최적화된 설계를 위한 원리를 종합적으로 탐색하고 이를 안내하는 절차 모형을 개발하여 교수설계의 영역을 가상현실 분야로 확장하였다.

여러 선행 문헌에서 모델링 역량 검사를 위해 사용한 문항을 조합하고, 이를 시뮬레이션 구성 역량에 적절하도록 수정·보완하여 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항을 개발하였다. 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항은 [부록 8]에 수록하였다.

IV. 연구 결과

본 연구는 과학영재 고등학생의 과학교육과 정보교육의 융합으로써 VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 학생 스스로 구성할 수 있는 학생 중심 수업을 개발하는 것을 목적으로 한다. 또한 현장 적용성이 높은 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 개발하기 위해 과학영재 고등학생을 대상으로 실제 수업을 적용하여 학생의 반응을 분석하고 수업 모형을 수정·보완하여 최종 수업 모형과 최종 설계 원리 및 교수전략을 설계하는 것을 목적으로 한다. 이에 본 연구는 총 네 단계의 과정을 거쳐 연구 수행이 이루어졌다.

첫째, 수업 모형 개발 관련 선행 문헌 분석, VPython 활용 관련 선행 문헌 분석, 국내외에서 개발되어 무료로 제공되는 시뮬레이션 플랫폼 분석, 모델링 역량 관련 선행 문헌 분석, 영재 학생 특성 관련 선행 문헌 분석 등 통합적 문헌 분석과 경험적 탐색을 통해 초기 수업 모형과 초기 설계 원리 및 교수전략을 도출하였다.

둘째, 도출된 초기 수업 모형과 초기 설계 원리 및 교수전략에 대하여 내적 타당화를 위해 7인의 전문가에게 두 차례에 걸쳐 전문가 타당화를 수행하였고, 이를 바탕으로 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 수정·보완하였다.

셋째, 수정·보완된 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 바탕으로 실제 과학영재 고등학생을 대상으로 수업을 적용하여 연구 참여자의 설문조사 응답과 인터뷰 응답을 수집하였다. 이를 통해 개발한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략의 강점과 약점, 개선점, 현장 적용 가능성, 수업 모형의 교육적 효과를 분석하였다.

마지막으로 외적 타당화 결과를 바탕으로 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’의 최종 모형과 최종 설계 원리 및 교수전략을 도출하였다.

1. 초기 모형 개발

가. 선행 문헌 검토와 경험적 탐색을 바탕으로 수업 모형 개발에 참고할 설계 원리 및 교수전략 추출

‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’의 모형을 개발하고, 이에 대한 설계 원리 및 교수전략을 도출하기 위하여 선행 문헌 검토와 경험적 탐색을 수행하였다. 선행 문헌 검토는 수업 모형 개발과 관련된 주제, VPython과 관련된 주제, 모델링 및 모델링 역량과 관련된 주제, 영재 학생의 특성과 관련된 주제를 바탕으로 수행되었다. 경험적 탐색은 본 연구자가 과학영재 고등학교에서 7년 이상 근무한 경험과 이미 개발되어 무료로 보급되고 있는 다양한 교육용 시뮬레이션 플랫폼 분석을 바탕으로 수행되었다.

본 연구와 관련된 선행 주제에 대한 조사를 위해 ‘파이썬’, ‘브이파이썬’, ‘게임 기반 수업’, ‘문제 해결 수업’, ‘인공지능 융합 수업’, ‘데이터 기반 수업’, ‘가상현실 기반 수업’, ‘메이커 교육’, ‘과학적 모형’, ‘과학적 모형 구성’, ‘모델링 역량’, ‘시뮬레이션’, ‘Python’, ‘VPython’, ‘game-based’, ‘problem-based’, ‘AI convergence education’, ‘data-based’, ‘VR-based’, ‘maker education’, ‘scientific model’, ‘scientific modeling’, ‘scientific model construction’, ‘modeling competency’, ‘simulation’ 등을 키워드로 선행 문헌 검토가 이루어졌다. 자료의 종류에 대해서는 국내외 학술지 논문, 학술대회 발표 논문, 국내외 석·박사 학위논문 등의 자료를 수집하고 검토하였다. 자료는 서울대학교 중앙도서관(<https://lib.snu.ac.kr/>), 한국교육학술정보원 학술연구정보서비스 RISS(<https://www.riss.kr/>), 한국학술지인용색인 서비스(<https://www.kci.go.kr/>), 누리미디어 학술검색 서비스 DBpia(<https://www.dbpia.co.kr/>), SSCI(Social Science Citation Index) 학술 저널(<https://www.webofscience.com/>), ERIC(Educational Resource Information Center) 학술 저널(<https://eric.ed.gov/>), 구글 학술

검색(<https://scholar.google.co.kr/>)을 활용하였다. 학생 스스로 시뮬레이션을 구성하는 수업, 또는 중·고등학교나 영재학교 맥락에서 VPython이 수업에 활용된 선행 연구가 거의 이루어지지 않았다는 점에서 본 연구는 탐색적 연구(Exploratory research)의 성격을 가진다(Singleton & Straits, 2005). 따라서 수집한 문헌들은 본 연구와의 관련성(Relevance)을 검토하여 적합한 문헌을 선정하였고(Hart, 2001), 선정한 문헌들에서 언급된 참고문헌도 함께 검토하였다.

경험적 탐색은 본 연구자가 과학영재 고등학교에서 7년 이상 근무하면서 관찰한 과학영재 고등학생의 특성, 과학 및 수학 역량, 과제 해결 역량 및 과제 집착력 등을 고려하고, 이러한 과학영재 고등학생의 특성을 이정철 외(2009)의 연구 및 그 외 영재 학생을 대상으로 한 선행 문헌과 함께 검토하였다. 또한 국내외에서 개발되어 무료로 보급되고 있는 교육용 시뮬레이션 플랫폼 19가지에 대해 탐색하여 기존의 교육용 시뮬레이션이 어떻게 구성되어 있는지를 분석하였다.

통합적 문헌 검토와 경험적 탐색을 바탕으로 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’에 적합한 11가지의 설계 원리와 그에 따른 22개의 교수전략을 <표 IV-1>과 같이 추출하였다.

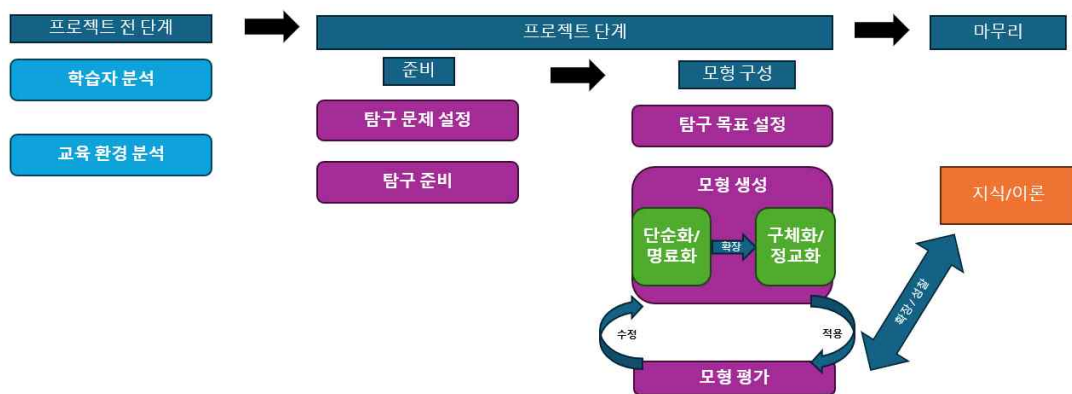
<표 IV-1> 초기 수업 모형 개발을 위해 통합적 문헌 검토와 경험적 탐색으로 도출해 낸 초기 설계 원리 및 교수전략

설계 원리	교수전략	참고
환경 구성의 원리	교실 내에서 모든 학습자가 Web VPython을 활용할 수 있도록 물리적 환경을 조성하라.	채지윤(2023)에서 수정
팀 구성의 원리	개별 학습자의 특성을 파악하기 위해 개별 학습자에 대한 분석을 시행하고 결과를 공유하라.	채지윤(2023), 한형중(2019)에서 수정
	학습자의 관찰 및 동료 학습자 면담 내용을 바탕으로 유사한 관심 주제별로 팀을 구성하라.	김근재(2019)에서 수정
학습 초점의 원리	VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 설계 활동이 해당 교과 학습의 지식 습득 및 고차원적 사고 개발에 효과적인지 검토하라.	정수진(2023)에서 수정
	시뮬레이션을 설계, 개발해야 하는 필요성과 목적이 교육 내용과 적합한지 판단하라.	한형중(2019)에서 수정
	학습자의 특성을 고려하여 학습 목표와 내용과 학습 활동을 계획하라.	채지윤(2023)에서 인용
수업 재구성의 원리	학습자의 교과 내용에 대한 이해도와 프로그래밍 수준을 파악한 후 교육과정을 설계하라.	정수진(2023)에서 수정
	VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업이 성취 기준 및 교육 목표 달성에 효과적인지 확인하라.	정수진(2023)에서 수정
상호작용의 원리	협력적 해결이 요구되는 과제를 설정하라.	정수진(2023)에서 인용
	활발한 의사소통을 통한 충분한 의견 교환이 일어나도록 하라.	정수진(2023)에서 인용
동기부여의 원리	학습자가 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 과정에 적극적으로 참여할 수 있는 자료와 학습 안내를 제공하라.	김근재(2019)에서 수정

설계 원리	교수전략	참고
안내의 원리	VPython을 직접 활용 및 탐색할 수 있는 충분한 시간과 기회를 제공하라.	임은선(2023)에서 수정
	문제 상황에서 해결해야 할 문제를 스스로 구체화할 수 있도록 안내하라.	김근재(2019)에서 수정
스캐폴딩 제공의 원리	학습자가 VPython을 활용할 때 순회 지도를 통해 학습자를 관찰하여 학습 내용 및 테크놀로지의 효과적인 사용에 대한 단계별 피드백을 제공하라.	정수진(2023)에서 수정
	학습자의 수준을 고려한 뼈대 코드를 준비하라.	김한휘(2023)에서 수정
	가상현실에서 전개될 시나리오의 요소와 내용을 설계하라.	한형중(2019)에서 인용
	문제를 해결하기 위한 전략을 세울 수 있도록 계획서를 작성하도록 안내하라.	김근재(2019), 김한휘(2023), 한형중(2019)에서 수정
	학습자 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 예시를 제시하라.	정수진(2023)에서 인용
단순-복잡 진행 원리	단순한 형태에서 복잡한 형태로 점진적으로 설계하라.	한형중(2019)에서 수정
정보 제공의 원리	수행해야 하는 시뮬레이션 활동이 고려해야 할 요소나 절차의 복잡성을 지니는 경우 내용을 확인할 수 있도록 하라.	한형중(2019)에서 인용
성찰 및 공유의 원리	최종 산출물을 시연하고 의견을 나누며 평가할 수 있는 기회를 제공하라.	김근재(2019), 김봉철 외(2022), 김한휘(2023), 정수진(2023)에서 수정
	학습자들이 자신의 학습 전반을 확인하고 성찰할 수 있는 기회를 제공하라.	김근재(2019), 김한휘(2023), 채지윤(2023)에서 수정

나. 초기 수업 모형 개발

통합적 문헌 검토와 경험적 탐색을 바탕으로 추출해 낸 11가지의 설계 원리와 그에 따른 22개의 교수전략을 바탕으로 [그림 IV-1]과 같이 초기 수업 모형을 개발하였다.



[그림 IV-1] VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 초기 수업 모형

초기 수업 모형 개발 시 가장 핵심적으로 고려한 점은 두 가지이다. 첫째, 학생 중심의 프로젝트 수업 모형을 기반으로 과학교육과 정보교육을 융합한 수업 모형을 개발하고자 하였다. 둘째, 과학적 모형은 자연 현상, 과학 개념, 과학 지식 및 이론 등을 설명하기 위한 도구이다. 따라서 학생이 설계 및 개발을 통해 구성한 과학적 시뮬레이션도 과학적 모형으로서 역할을 수행할 수 있어야 한다. 이를 위해 수업 모형의 마지막 단계에 학생이 구성한 과학적 시뮬레이션을 실제 과학 지식 및 이론에 적용하여 성찰할 수 있는 과정을 제시하였다. 초기 수업 모형은 크게 ‘프로젝트 전 단계’, ‘프로젝트 단계’, ‘마무리 단계’로 나뉘어져 있고, 단계별 세부 수업 절차가 1~3개씩 있다. 개발한 초기 수업 모형의 단계별 설명은 <표 IV-2>와 같다.

<표 IV-2> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 초기 수업 모형의 단계별 설명

단계	세부 단계	단계별 설명
프로젝트 전 단계	학습자 분석	· 지식수준 분석하기: 학습자의 과학 이론에 대한 지식수준을 분석한다. · 과학적 모형 분석하기: 학습자가 과학 이론을 학습하는 데 경험한 과학적 모형, 시뮬레이션 경험 등을 분석한다. · 프로그래밍 수준 분석하기: Python 학습 경험, 코딩 경험, 프로그래밍 경험 등 학습자의 프로그래밍 수준을 분석한다.
	교육 환경 분석	· 팀 구성: 학습자의 관심 분야, 지식수준, 프로그래밍 수준 등을 고려하여 팀 구성 인원과 팀 구성 학생을 설정한다. · 네트워크 환경 파악: Web VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션을 설계할 수 있는 환경에 접속할 수 있도록 물리적 환경을 파악한다. · 스마트 학습 환경 파악: 학습자가 스마트 기기(노트북, 스마트패드 등)를 수업 중에 활용할 수 있도록 학습자의 스마트 학습 환경을 파악한다.
프로젝트 단계 (준비)	탐구 문제 설정	· 기존 과학적 모형/시뮬레이션 탐색: 학습한 이론과 관련된 과학적 모형 및 시뮬레이션을 다양한 매체(교과서, 영상 매체, 시뮬레이션 등)를 통해 탐색한다. · 기존 과학적 모형/시뮬레이션 분석: 탐색한 과학적 모형/시뮬레이션이 표상하는 과학 개념, 이론을 파악하고 모형의 요소를 분석한다. · 기존 과학적 모형/시뮬레이션 문제점 도출: 기존에 제작된 과학적 모형 및 시뮬레이션의 문제점을 파악하고 이를 탐구 문제로 설정한다.

단계	세부 단계	단계별 설명
	탐구 준비	· 시뮬레이션 설계 도구 학습: VPython으로 3D 객체를 생성하는 방법을 학습한다. · 시뮬레이션 설계 도구 연습: VPython을 활용한 간단한 시뮬레이션을 제작해 보는 연습 기회를 제공한다.
프로젝트 단계 (모형 구성)	탐구 목표 설정	· 과학 개념, 이론 설정: 시뮬레이션으로 시각화할 과학 개념 및 이론을 설정한다. · 모형 요소 설정: 시뮬레이션으로 표현할 개념의 요소를 설정한다.
	모형 생성	· 설계·개발 일지 작성: 모형 설계를 구상하고 개발 일지를 작성한다. · 단계적 모형 생성: 팀원과 함께 단순한 시뮬레이션을 먼저 구성하고, 이를 구체화·정교화 단계를 거쳐 모형을 생성한다.
	모형 평가	· 적용: 개발한 시뮬레이션이 기존의 과학적 모형/시뮬레이션보다 설명력이 높은지, 과학 개념과 이론을 이해하는 데 도움을 주는지 적용하고 평가한다. · 수정: 개발한 시뮬레이션이 목표에 도달하지 못했거나, 과학 개념 및 이론을 이해하는데 적절하지 않다고 평가하면 모형 생성 단계로 돌아가 모형을 수정한다.
마무리 단계	확장 및 성찰	· 공유하기: 설계·개발한 시뮬레이션을 공유하고 동료 평가한다. · 성찰하기: 공유한 시뮬레이션을 경험하고 동료 평가한다. 또한 시뮬레이션 구성 과정에 대한 경험과 소감을 나눈다. · 제언하기: 설계·개발한 시뮬레이션을 발전시킬 수 있는 방안을 제언한다.

다. 초기 설계 원리 및 교수전략 개발

VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형에 대한 초기 설계 원리 및 교수전략은 <표 IV-3>과 같다. 선행 문헌 검토와 경험적 탐색을 바탕으로 <표 IV-1>과 같이 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에 적합한 설계 원리 및 교수전략을 추출하였으며, 이를 본 연구의 수업 모형에 적합하도록 수정하고 재구성하여 초기 설계 원리 및 교수전략을 도출하였다. 설계 원리 및 교수전략에 대해 예시 및 해설을 제시하여 교수자가 교수설계를 할 때 용이하게 설계 원리 및 교수전략을 활용할 수 있도록 하였다.

<표 IV-3> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형의 초기 설계 원리 및 교수전략

설계 원리	교수전략
1. 학습 초점의 원리	1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 설계 활동이 수업 목표 달성에 효과적인지 분석하라.
	1.1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 설계 활동이 목표한 교과 지식, 개념, 이론 등의 학습에 효과적인지 분석하라.
	예시 및 해설: 교수자는 해당 교과의 교과 지식, 개념, 이론 등을 학습하는 데 시뮬레이션을 설계하고 개발하는 활동이 적합한지 검토하여 수업 활동이 학습 목표 달성에 초점을 맞추도록 설계한다.
	1.1.2. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 설계 활동이 고차원적 사고 및 역량 개발에 효과적인지 분석하라.
	예시 및 해설: 교수자는 수업 활동을 통해 사고력, 문제 해결력, 의사소통 능력, 탐구 능력, 창의력, 협업 능력, 자기주도 학습 능력 등 함양시키고자 하는 역량을 파악하고, 이에 맞게 활동을 설계한다.
	1.1.3. 시뮬레이션을 설계, 개발해야 하는 필요성과 목적이 교육 내용과 적합한지 판단하라.
	예시 및 해설: 교수자는 과학적 모형으로서 시뮬레이션을 설계하고 개발하는 수업 활동이 학생들에게 새로운 과학적 모형을 구성하는 데 효과적인지 분석한다.

설계 원리	교수전략
2. 수업 재구성의 원리	2.1. 학습자의 교과 내용에 대한 이해도와 프로그래밍 수준을 파악하고 교육과정을 설계하라.
	2.1.1. 교육 목적을 고려하여 학습 활동과 VPython을 활용한 시뮬레이션 설계 활동 간의 목표를 통일하라.
	예시 및 해설: 교수자는 교육 목적이 학습자의 기존 과학적 모형을 고차원적 모형으로 발전시키는 것인지, 새로운 과학적 모형을 구성하는 것인지를 설정하고, 학습 활동의 수준을 고려한다.
	2.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 학습 목표, 학습 내용, 학습 활동을 계획하라.
	예시 및 해설: 교수자는 학습자가 이미 알고 있는 개념 및 과학적 모형의 수준을 파악하고, 학습자의 개념이 구조화될 수 있도록 학습 목표, 학습 내용, 학습 활동을 계획한다.
	2.1.3. 프로젝트 단계에 들어가기 전에 학습자의 지식수준과 프로그래밍 수준을 파악하고, 학습자 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준을 설정하라.
3. 환경 구성의 원리	예시 및 해설: 교수자는 목표한 교과의 이전 차시 수업 내용과 정보 교과에서 학습한 프로그래밍 수준을 형성평가, 관찰, 상담 등 다양한 방법을 통해 학습자의 수준을 파악하고, 이를 고려하여 최종적으로 학습자가 도출해 낼 수 있는 산출물의 수준을 잠정적으로 설정한다.
	3.1. 교실 내의 모든 학습자가 학습 활동에 참여할 수 있도록 물리적 환경을 조성하라.
	3.1.1. 교실 내의 모든 학습자가 인터넷에 접근할 수 있도록 무선랜망의 설치 여부를 확인하고 대안을 마련하라.
	예시 및 해설: 본 수업이 이루어지기 전에 교실 현장에 무선랜망 구축 여부를 확인하고, 무선랜망 구축이 제대로 이루어지지 않는 경우 무선랜망 활용이 가능한 교실로 수업 환경을 변경하거나, 미리 VPython 라이브러리를 설치해 오도록 안내한다.
	3.1.2. 교실 내의 모든 학습자가 개별 노트북(또는 PC나 스마트 기기)을 수업 중에 활용할 수 있도록 수업 시작 전에 학습자들의 기기 소유 여부를 확인하고 여분의 노트북을 준비하라.

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: 학습자 1인당 개별 노트북 사용이 가능하도록 물리적 환경을 조성하고, 개별 노트북 사용이 어려운 환경일 경우 2명당 1개의 노트북을 사용할 수 있도록 교실 환경을 구성하고 스마트 기기(스마트폰, 스마트패드) 등을 보조로 활용할 수 있도록 안내한다.
4. 동기부여 의 원리	4.1. 학습자가 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 수업에 적극적으로 참여할 수 있도록 동기를 부여하라.
	4.1.1. 기존의 과학적 모형 및 시뮬레이션을 탐색할 수 있는 학습자료와 학습 안내를 제공하라.
	예시 및 해설: 교과 지식, 개념, 이론과 관련된 기존의 과학적 모형의 예시, 시뮬레이션 예시를 제공하고 이를 탐색할 수 있는 시간을 충분히 준다.
	4.1.2. VPython으로 개발한 우수한 시뮬레이션 예시를 제공하여 동기를 부여하고 자신감을 높여라.
	예시 및 해설: 기존에 교과 지식, 개념, 이론과 관련하여 VPython으로 개발한 시뮬레이션 예시와 코드를 보여주어 학습자의 자신감을 높이고 학습 활동의 동기를 부여한다. 이때 비슷한 수준의 학습자가 개발한 시뮬레이션이 있다면 이를 예시로 활용한다.
	4.1.3. 학습자가 이미 가지고 있는 과학적 모형에서 불만족 및 문제 상황을 인식하고 스스로 해결해야 할 문제를 구체화할 수 있도록 안내하라.
	예시 및 해설: 학습자가 이미 가지고 있는 과학적 모형을 표현해보도록 하며, 과학적 모형에서 표현하지 못하는 과학 개념, 요소를 분석하여 구체화하도록 한다.
	4.2. VPython을 직접 활용 및 탐색할 수 있는 충분한 시간과 기회를 제공하라.
	4.2.1. VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 학습할 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체인 구, 직육면체 등을 학습자가 직접 생성해 볼 수 있는 시간과 기회를 제공한다.

설계 원리	교수전략
	4.2.2. VPython을 활용하여 간단한 시뮬레이션을 연습해 볼 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 이용하여 구의 자유 낙하 운동, 상자 속 입자의 움직임 등 기초적인 시뮬레이션 제작을 연습해 볼 수 있도록 한다.
5. 팀 구성 및 상호작용 원리	5.1. 수업 목표, 활동 목표에 맞게 팀을 구성하라.
	5.1.1. 개별 학습자의 특성을 파악하고 결과를 공유하라.
	예시 및 해설: 개별 학습자의 강점을 형성평가, 관찰, 면담, 발표 등을 통해 파악하거나 학습자 스스로 자신의 강점을 소개하고, 학습자들끼리 서로의 강점을 알 수 있도록 공유한다.
	5.1.2. 유사한 관심 주제별, 서로 다른 강점별로 팀을 구성하라.
	예시 및 해설: 설계하고자 하는 시뮬레이션의 주제가 비슷한 학습자끼리 가능하면 팀을 구성하도록 하고, 비슷한 주제가 없는 경우 학생의 평소 관심 주제에 따라 팀을 구성하도록 한다. 또한 프로그래밍에 강점을 보이는 학습자, 과학 개념 및 이론에 강점을 보이는 학습자 등 서로 다른 강점별로 팀을 구성하도록 한다.
	5.2. 프로젝트 활동에서 학습자 간 상호작용이 일어나도록 하라.
	5.2.1. 협력적 해결이 요구되는 도전적인 과제를 설정하라.
	예시 및 해설: 학습자의 협력을 통해 해결할 수 있을 정도의 도전적인 과제를 설정하고, 학습자 간 상호작용이 일어나도록 한다.
	5.2.2. 활발한 의사소통을 통한 충분한 의견 교환이 일어나도록 자유로운 교실 환경을 조성하라.
	예시 및 해설: 학습자들끼리 편안한 분위기에서 자유롭게 의견 교환이 일어날 수 있도록 충분한 시간을 제공하고 편안한 교실 환경을 조성한다. 또한 팀원들끼리만이 아니라 교실 전체 학습자들끼리도 상호작용 할 수 있는 시간을 제공한다.
6. 스캐폴딩 제공의 원리	6.1. 학습자가 현재의 수준을 넘어 다음 단계의 수준에 도달할 수 있도록 적절한 자극과 정보를 제공하여 학습을 촉진시켜라.
	6.1.1. 순회 지도를 통해 학습자를 관찰하고, 학습 내용 및 Vpython 활용, 시뮬레이션 탐색 등의 단계별 피드백을 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자 주도의 프로젝트 활동에서 교수자는 순회 지도를 통해 학습자의 학습 상황, 프로젝트 활동 상황 등을 관찰하고, 적절한 피드백과 격려를 제공한다.

설계 원리	교수전략
	6.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 뼈대 코드를 준비하라.
	예시 및 해설: VPython을 활용한 시뮬레이션 설계에 참고할 만한 간단한 시뮬레이션 코드를 제공하여 이를 적절하게 활용, 조합하여 시뮬레이션을 설계, 개발할 수 있도록 한다.
	6.1.3. 시뮬레이션을 설계할 때 개발 일지를 작성하도록 하라.
	예시 및 해설: Vpython에서 나타내고자 하는 교과 개념 및 이론, 시각화 요소, 시각화 방법, 시뮬레이션 작동 과정, 문제 해결 전략 등을 일지로 작성하도록 하여 프로젝트 활동을 구체화한다.
	6.2. 단순한 형태에서 복잡한 형태로 설계하도록 지도하라.
	6.2.1. 시뮬레이션의 구성 요소가 많을 때는 단순한 시뮬레이션부터 설계하고 점차 복잡성을 높여가라.
	예시 및 해설: 예를 들어 기체 분자의 운동을 시뮬레이션으로 시각화하는 경우, 입자를 적은 개수부터 설계하고 점차 수를 늘려간다. 또한 시각화하고자 하는 요소가 많은 경우(움직임, 그래프, 값 등) 간단한 것부터 시각화한다.
	6.2.2. 학습자 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준 및 예시를 제시하라.
	예시 및 해설: 교육 목표, 학습자의 수준 등에 맞춰 산출물의 수준을 잠정적으로 설정하고, 학생의 창의성을 발휘할 수 있도록 1~2개의 예시를 제시한다.
7. 공유 및 성찰의 원리	7.1. 최종 산출물을 시연하고 의견을 나누며 평가할 수 있는 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자가 설계하고 제작한 시뮬레이션을 공개하고, 시뮬레이션으로 제작한 과학적 모형의 유용성을 설명하도록 한다.
	7.2. 학습자들이 자신의 학습 전반을 확인하고 성찰할 수 있는 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자가 자기 평가서를 작성하도록 하여 학습 활동을 통해 얻은 경험, 지식, 생각을 성찰하도록 한다.

2. 내적 타당화 결과

가. 1차 전문가 타당화 결과

1차 전문가 타당화는 통합적 문헌 검토 및 경험적 탐색을 통해 도출된 초기 수업 모형, 초기 수업 모형의 세부 단계, 초기 설계 원리 및 교수전략, 외적 타당화에 사용될 학생 인터뷰 질문지 문항과 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항(한형중, 2019; Lopes & Costa, 2007; Upmeier zu Belzen *et al.*, 2019의 내용을 참고하여 개발)에 대하여 전문가 7인을 대상으로 실시되었다. 1차 전문가 타당화에서는 본 연구에 대한 개괄적인 설명을 제시하고, 타당화 질문지에 대한 전문가의 답변을 수집하였다. 타당화 질문지에 대한 전문가 답변을 활용하여 수업 모형 전체, 수업 모형의 세부 단계, 설계 원리 및 교수전략의 적합성과 타당성을 검토하였으며, 과학영재 고등학교 맥락에서 학교 수업의 적용 가능성을 검토하였다.

1) 초기 수업 모형에 대한 1차 전문가 타당화 결과

초기 수업 모형 전반에 대한 1차 전문가 타당화는 타당성, 설명력, 유용성, 보편성, 이해도의 5가지 준거에 따라 4점 척도(4: 매우 그렇다, 3: 그렇다, 2: 그렇지 않다, 1: 전혀 그렇지 않다)로 응답을 수집하였고, 개방형 문항을 통해 전문가가 응답한 점수에 대한 의견을 자유롭게 서술하도록 하였다. <표 IV-4>는 초기 수업 모형 전반에 대해 전문가들이 응답한 점수의 평균, 표준편차, CVI, IRA 값을 나타낸 것이며, 자연수가 아닌 값은 소숫점 셋째 자리에서 반올림하여 계산된 값이다. 전문가들의 문항별 평가 점수는 [부록 2-1]에 수록하였다.

<표 IV-4> 초기 수업 모형 전반에 대한 1차 전문가 타당화 결과

영역	평균	표준편차	CVI	IRA
타당성	3.86	0.35	1	1
설명력	3.86	0.35	1	
유용성	3.57	0.49	1	
보편성	3.57	0.49	1	
이해도	3.86	0.35	1	

초기 수업 모형 전반에 대한 1차 전문가 타당화 검사 결과 타당성, 설명력, 유용성, 보편성, 이해도의 5가지 준거에 대해 평균이 모두 3.50 이상이고, CVI와 IRA 값이 1로 타당한 것으로 확인되었다. 하지만 개방형 문항을 통해 전문가들이 수정 및 보완 의견을 제시하였으며, 이를 참고하여 수업 모형 전반에 대한 수정 사항을 분석하였다.

1차 전문가 타당화 검사 결과 ‘설명력’ 측면에서 ‘프로젝트 전 단계’와 ‘프로젝트 단계’ 중 ‘준비’ 단계는 상세하지만, ‘프로젝트 단계’ 중 ‘모형 구성’ 단계, 특히 ‘모형 생성’ 단계에 대한 설명이 상세하지 않다는 의견이 제시되었다. 또한 ‘모형 평가’ 단계에서 평가의 주체가 누구인지 모호하며, 수업 모형은 초보 교수자의 교수설계 가이드라인의 역할을 하므로 ‘모형 평가’ 단계에서 피드백 방식에 대한 자세한 설명이 필요하다는 의견이 제시되었다.

‘보편성’ 측면에서는 과학 지식과 정보 지식을 적정 수준 이상 학습하여 내재화한 학생을 대상으로 본 수업을 진행할 수 있다는 의견을 제시하며, 일반 고등학교 맥락에서는 보편적이지 않을 수 있다는 문제점이 제시되었다. 하지만 본 연구에서 개발하고자 하는 수업 모형의 적용 대상은 기본적으로 과학영재 고등학생 또는 과학 지식과 정보 지식을 적정 수준 이상 내재화하고 있는 학생이므로, 해당 목적과 내용을 2차 전문가 타당화의 개괄적인 설명에 추가 제시하여 전문가들에게 안내하는 방향으로 수정하였다.

‘이해도’ 측면에서는 교수자가 수업 모형을 용이하게 활용할 수 있도록

수업 모형의 각 단계와 설계 원리 및 교수전략 사이의 관련성을 표시할 것이 제안되었다. 또한 세부 단계가 8단계로 구성되어 있어, 정보처리이론(Information Processing Theory)에 따라 교수자가 수업 모형의 단계를 청킹(chunking)하기 쉽도록 표현의 인출 단서를 제시하면 좋겠다는 의견이 제안되었다.

종합적인 의견으로는 학교급에 따라 선수지식 변화의 폭이 큰 정보 교과와 특성을 반영하여 학습 대상을 명확하게 제시할 것, 차시 및 시간의 흐름을 수업 모형 전반에 표시할 것, 수업 모형의 세부 단계별 중점 사항을 명확하게 제시할 것, 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략 간의 연관성을 수업 모형 전반에 표시할 것 등의 의견이 제안되었다. 초기 수업 모형 전반에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견의 수정 사항을 <표 IV-5>와 같이 정리하고, 해당 내용을 바탕으로 초기 수업 모형을 수정하여 2차 수업 모형을 구성하였다.

<표 IV-5> 초기 수업 모형에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항

항목	전문가 타당화 검토 의견	수정 사항
유용성	모형의 일부 단계가 상세하지 않음	모형의 세부 단계를 구체적으로 시각화하여 수업 모형 전반을 수정
	모형 평가의 주체가 불분명하고, 피드백 방식이 모형에 설명되어 있지 않음	모형의 세부 단계에서 피드백이 필요한 부분을 제시하고, 동료 평가와 교사 평가가 이루어지도록 설명을 추가함
보편성	프로젝트 및 협력학습을 전제로 한 수업 모형이므로, 봉 효과(Sucker effect)나 무임승차 효과(Free-rider effect)를 제거할 수 있는 동기 전략이나 시스템이 제시될 필요가 있음	협력학습에서 나타날 수 있는 부정적 효과를 방지할 수 있도록 설계 원리 및 교수전략을 추가하고, 설계 원리 및 교수전략을 수업 모형과 연관시켜 교수자가 세부 단계에서 교수전략을 적절히 활용할 수 있도록 제시함

항목	전문가 타당화 검토 의견	수정 사항
	과학 지식과 정보 지식을 적정 수준 이상 학습하여 내재화한 학생을 대상으로 수업을 진행할 수 있을 것으로 판단되며, 따라서 수업 모형이 어떠한 학교급의 학습자를 대상으로 하는지 제시할 필요가 있음	본 수업 모형의 대상이 되는 학생을 과학영재 학생, 또는 과학 지식과 정보 지식을 적정 수준 이상 학습하여 내재화한 학생으로 한정하여 제시함
이해도	수업 모형의 각 단계와 설계 원리 및 교수전략 사이의 관련성이 표시되어 있지 않음	수업 모형의 각 단계에 적용할 수 있는 설계 원리 및 교수전략을 표시함
	수업 모형의 각 단계를 교수자가 쉽게 인출할 수 있는 단서를 제시할 것을 제안함	ADDIE 모형을 기반으로 교수자가 수업 모형의 각 단계를 인출할 수 있도록 수업 모형을 수정함
	차시 및 시간의 흐름 등이 수업 모형에 표시될 필요가 있음	수업 모형에 차시를 표시하고, 수업의 흐름을 화살표로 명확하게 표시함
기타	수업 모형의 구성 요소에 대한 이름이 교수자에게 명확하게 전달될 수 있도록 용어를 살펴볼 필요가 있음	선행 문헌 검토 및 전문가 타당화를 통해 세부 단계에 대한 용어를 수정함

2) 초기 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 1차 전문가 타당화 결과

초기 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 1차 전문가 타당화는 4점 척도(4: 매우 그렇다, 3: 그렇다, 2: 그렇지 않다, 1: 전혀 그렇지 않다)로 타당도 응답을 수집하였고, 한글 프로그램의 메모 기능을 활용하여 의견을 자유롭게 서술하도록 하였다. <표 IV-6>은 초기 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대해 전문가들이 응답한 점수의 평균, 표준편차, CVI, IRA 값을 나타낸 것이며, 자연수가 아닌 값은 소숫점 셋째 자리에서 반올림하여 계산된 값이다. 전문가들의 문항별 평가 점수는 [부록 2-2]에 수록하였다.

<표 IV-6> 초기 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 1차 전문가 타당화 결과

단계	세부 단계	단계별 설명	평균	표준편차	CVI	IRA
프로젝트 전 단계	학습자 분석	지식수준 분석하기	3.86	0.35	1	1
		과학적 모형 분석하기	3.43	0.73	0.86	
		프로그래밍 수준 분석하기	4	0	1	
	교육 환경 분석	팀 구성	3.57	0.73	0.86	
		네트워크 환경 파악	4	0	1	
		스마트 학습 환경 파악	4	0	1	
프로젝트 단계 (준비)	탐구 문제 설정	기존 과학적 모형/시뮬레이션 탐색	4	0	1	1
		기존 과학적 모형/시뮬레이션 분석	3.86	0.35	1	
		기존 과학적 모형/시뮬레이션 문제점 도출	3.86	0.35	1	
	탐구 준비	시뮬레이션 설계 도구 학습	4	0	1	
		시뮬레이션 설계 도구 연습	4	0	1	
프로젝트 단계 (모형 구성)	탐구 목표 설정	과학 개념, 이론 설정	3.71	0.45	1	1
		모형 요소 설정	4	0	1	
	모형 생성	설계·개발 일지 작성	3.71	0.45	1	
		단계적 모형 생성	3.57	0.49	1	
	모형 평가	적용	3.29	0.70	0.86	
		수정	3.71	0.45	1	
마무리	확장 및 성찰	공유하기	3.86	0.35	1	1
		성찰하기	3.71	0.45	1	
		제언하기	3.71	0.70	0.86	

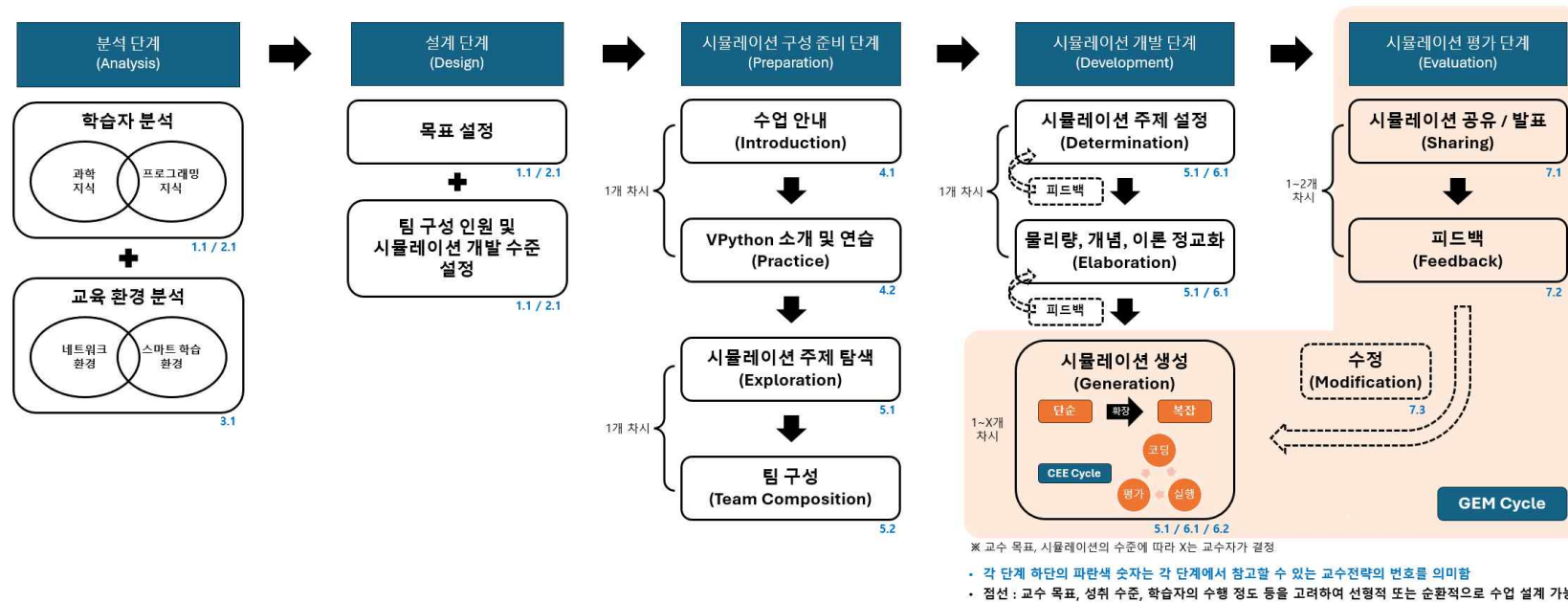
본 연구에서는 전문가 7인을 대상으로 전문가 타당화를 수행하였다. Lynn(1986)의 기준에 따르면 타당화에 참여한 전문가가 5~10명일 경우, 3점 미만으로 응답한 전문가의 수가 1명 이하일 때만 통계적으로 유의미하다고 해석할 수 있으며, CVI 값이 0.80 이상이면 타당도가 높은 것으로 간주할 수 있다. 또한 Grant & Davis(1997)의 기준에 따르면 타당화에 참여한 전문가가 5~9명일 경우, CVI 값이 0.80 이상이면 타당하다고 해석할 수 있다. 따라서 초기 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 1차 전문가 타당화 검사 결과 CVI 값은 타당한 것으로 확인되었다. IRA 값의 경우 0.80 이상이면 전문가들의 평가를 어느 정도 신뢰할 수 있다고 해석할 수 있다(Graham *et al.*, 2012; Rubio *et al.*, 2003). 한글 프로그램의 메모 기능을 통해 전문가들이 수정 및 보완 의견을 제시하였으며, 이를 참고하여 <표 IV-7>과 같이 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 수정 사항을 분석하였다.

<표 IV-7> 초기 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항

단계	전문가 타당화 검토 의견	수정 사항
프로젝트 전 단계	수업 전 단계인지, 수업 사태 일부인지 명시 필요	모형의 세부 단계를 구체적으로 시각화하여 수업 모형 전반을 수정함
	팀 구성은 분석 다음에 이루어지는 설계에 가까움	ADDIE 모형을 기반으로 분석 단계와 설계 단계를 명확하게 나누어 수업 모형 전반을 수정함
프로젝트 단계 (준비)	학습자는 전문가가 아니므로 기존 과학적 모형이나 시뮬레이션을 탐색하는 정도의 수준만 가능할 것으로 예상되며, 이를 분석하거나 문제점을 도출해 내기는 어려울 것으로 예상됨	학습자의 수준을 고려하여 해당 과정을 삭제하고, 수업 모형 전반을 수정함

단계	전문가 타당화 검토 의견	수정 사항
프로젝트 단계 (모형 구성)	일지라는 용어로 인하여 학습자가 매일 또는 주기적으로 문서를 작성해야 하는 부담감을 줄 수 있으며, 모형 생성 중에 이루어지는 일지 작성 행위가 평가와도 연결되어 있어 수정을 요함	‘설계·개발 일지’라는 용어를 ‘공유 문서 작성’이라는 용어로 수정하여 학습자가 협력적으로 이루어지는 시뮬레이션 개발 과정을 주제 탐색 및 아이디어 구성부터 시뮬레이션 생성까지 공유할 수 있도록 수정함
마무리	평가의 주체가 누구인지 명확히 할 필요가 있음	모형의 세부 단계에서 피드백이 필요한 부분을 제시하고, 동료 평가와 교사 평가가 이루어지도록 설명을 추가함
	수업 모형이 선형적 모형인지, 순환적 모형인지 고려할 필요가 있음	수업 모형 전반의 기본 토대를 선형적 모형으로 제시하고, 점선을 활용하여 순환적 모형도 적용할 수 있도록 수정함으로써, 교수자가 유연하게 교수설계를 할 수 있도록 수업 모형을 제시함
	실제 수업 사태에서는 성찰과 제언을 구분하기 어렵고, 학습자는 전문가가 아니므로 제언이 어려울 수 있음	학습자의 수준을 고려하여 해당 과정을 삭제하고, 수업 모형 전반을 수정함

초기 수업 모형과 초기 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견을 반영하여 [그림 IV-2]와 같이 2차 수업 모형을 도출하였으며, 2차 수업 모형에 대한 단계별 설명을 <표 IV-8>과 같이 제시하였다. 이때 2차 수업 모형에 대한 단계별 설명은 교수자의 교수설계를 돕기 위해 예시 및 해설을 함께 제시하였다.



[그림 IV-2] VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 2차 모형

<표 IV-8> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 2차 모형의 단계별 설명

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설	
분석 단계 (Analysis)	학습자 분석	과학 지식 분석	· 지식수준 분석: 학습자가 학습하여 내재화한 과학 개념, 지식, 이론에 대한 수준을 분석한다.
			예시 및 해설: 물리학·화학·생명과학·지구과학 등 과학과 교육과정 내용 요소 및 성취 기준을 분석하고, 과학과 교육과정에서 학습한 과학 개념, 지식, 이론이 무엇인지 확인한다. 또한 수업 시간에 질문하고 답하기, 토론 및 토의 하기, 형성평가 등으로 학습자가 학습하여 내재화한 과학 개념, 지식, 이론에 대한 수준을 분석한다.
			· 과학적 모형 수준 분석: 학습자가 과학 개념, 지식, 이론을 학습하는 데 경험한 과학적 모형의 내용 및 수준을 분석한다.
			예시 및 해설: 물리학·화학·생명과학·지구과학 등 과학과 교육과정 내용 요소 및 성취 기준에 따른 과학적 모형을 분석하고, 학습자가 내재화한 과학적 모형의 내용 및 수준의 정도를 질문하고 답하기, 모형 그리기, 모형 서술 하기 등으로 분석한다.
		프로그래밍 지식 분석	· 프로그래밍 지식 분석: 학습자의 Python 언어의 학습 수준을 분석한다.
			예시 및 해설: 정보과 교육과정 내용 요소 및 성취 기준을 분석하고, 정보과 교육과정에서 학습한 사칙연산, 반복문, 조건문, 함수 정의 등 Python 학습 내용을 확인한다. 또한 정보과 교육과정에서 실시한 수행평가 및 형성평가 등으로 학습자가 내재화한 정보 교과 수준 및 Python 학습 수준을 분석한다.

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설	
			· 프로그래밍 수준 분석: 학습자의 Python 프로그래밍 수준을 분석한다. 예시 및 해설: Python을 활용하여 특정 문제를 해결하거나 알고리즘을 세워 코딩하는 수준을 확인한다. 또한 정보과 교육과정에서 실시한 수행평가 및 형성평가 등으로 학습자의 Python 프로그래밍 수준을 분석한다.
	교육 환경 분석	· 네트워크 환경 파악: Web VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 설계할 수 있도록 인터넷 접속 환경을 파악한다. 예시 및 해설: 브라우저에서 바로 VPython 프로그램을 작성하고 실행할 수 있도록 인터넷 접속 환경을 확인한다. 전체 학습자가 인터넷에 동시에 접속할 수 없는 환경인 경우 다른 교실로 수업 환경을 변경하거나, VPython library package를 학습자 개별 노트북에 미리 설치해 오도록 한다. · 스마트 학습 환경 파악: 학습자가 개별 노트북을 수업 중에 활용할 수 있도록 학습자의 스마트 학습 환경을 파악한다. 예시 및 해설: 전체 학습자가 인터넷에 접속하여 수업에 참여할 수 있도록 개별 노트북이 준비되어 있는지 파악하고, 필요한 경우 PC가 설치되어 있는 곳으로 수업 환경을 변경하거나, 학교 여건에 따라 부족한 수량의 노트북은 교수자가 준비하여 제공한다.	
설계 단계 (Design)	목표 설정	· 교수 목표 설정: 수업을 통해 학습자가 도달하고자 하는 목표를 설정한다. 예시 및 해설: 학습자 분석을 통해 파악한 학습자의 수준을 바탕으로 도전적인 과제를 제시하여 시뮬레이션 구성 수업을 통해 학습자가 도달하고자 하는 목표를 설정한다. 이는 물리학·화학·생명과학·지구과학 등 특정 과학 분야에서의 교수 목표일 수도 있고, 과학적 모델링 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 역량 등 역량 함양을 위한 교수 목표일 수도 있다.	

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
	팀 구성 인원 및 시뮬레이션 개발 수준 설정	· 팀 구성 인원 및 시뮬레이션 개발 수준 설정: 교수 목표 달성에 적합한 팀 구성 인원과 학습자가 개발할 시뮬레이션 수준을 설정한다. 예시 및 해설: 구성하고자 하는 시뮬레이션의 수준을 정하고, 시뮬레이션의 수준에 따라 적절하게 팀 구성 인원을 설정한다. 팀 구성 인원을 설정할 때는 봉 효과(Sucker effect), 무임승차 효과(Free-rider effect) 등을 고려하여 적절한 인원수로 설정한다. 예를 들어 중학교 교육과정에서부터 학습하는 보일 법칙, 샤를 법칙, 흑의 법칙 등에 대한 과학적 모형을 시뮬레이션으로 구성하는 수준은 ‘하’이며, 이때는 1~2인이 한 팀을 구성하도록 한다. 고등학교 이상 교육과정에서 학습하는 오비탈, 맥스웰-볼츠만 분포, 2개 이상의 진자 운동, 2개 이상의 스프링과 물체가 연결된 운동 등에 대한 과학적 모형을 시뮬레이션으로 구성하는 수준은 ‘중’ 또는 ‘상’이며, 이때는 2~4인이 한 팀을 구성하도록 한다. 연구 활동 등 실생활 문제를 해당 학문의 지식으로 시뮬레이션을 구성하는 수준은 ‘상’이며, 이때는 교수자의 교수 목표 수준과 학습자 수준을 참고하여 적절한 팀 구성 인원을 설정한다.
	수업 안내	· 수업 안내: 교수자가 도출한 교수 목표에 따라 수업 전반에 대해 안내한다. 예시 및 해설: 수업을 통해 달성하고자 하는 교수 목표를 안내한다. 또한 물리학·화학·생명과학·지구과학 등 특정 교과에 대한 주제로 시뮬레이션을 구성할 것인지, 학습자가 원하는 주제를 탐색하여 시뮬레이션을 구성할 것인지, 구성하고자 하는 시뮬레이션의 수준은 어느 정도인지 수업 전반에 대해 안내한다.
시뮬레이션 구성 준비 단계 (Preparation)	VPython 소개 및	· VPython 소개 및 연습: VPython을 소개하고 VPython으로 3D 객체를 생성하는 방법을 안내한다.

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
	연습	예시 및 해설: VPython에서 기본으로 제공하는 12개의 3D 객체를 소개하고, 각 객체를 생성하는 데 필요한 파라미터를 안내한다. 이를 바탕으로 학생들이 직접 12개의 3D 객체를 생성해 볼 수 있는 연습 기회를 제공한다. 또한 3D 객체를 활용하여 자유 낙하 운동, 포물선 운동, 상자 속 입자의 완전 탄성 충돌 (이상 기체 운동)과 같이 간단한 시뮬레이션 제작을 연습해 볼 기회를 제공한다.
	시뮬레이션 주제 탐색	• 시뮬레이션 주제 탐색: 학습자 개인별로 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 주제를 탐색하도록 한다. 예시 및 해설: 수업 안내에서 안내된 내용에 따라 특정 교과 내용에 대한 주제를 탐색하거나, 과학과 교육과정 내용 전체에서 주제를 탐색하도록 한다. 다양한 아이디어를 도출해 낼 수 있도록 학습자에게 충분한 시간을 주고, 자유로운 수업 분위기를 조성한다.
	팀 구성	• 팀 구성: 분석 단계에서 정한 팀 구성 인원에 따라 시뮬레이션을 함께 제작할 팀을 구성하도록 한다. 예시 및 해설: 분석 단계에서 정한 팀 구성 인원과 시뮬레이션 주제 탐색에서 학습자가 개인별로 탐색한 주제를 바탕으로 팀을 구성한다. 학생들이 탐색한 주제를 공유하고, 관심 있는 주제를 중심으로 학습자 스스로 팀을 구성할 수 있도록 안내한다.
	시뮬레이션 주제 설정	• 시뮬레이션 주제 설정: 팀원과 상의하여 시뮬레이션으로 개발할 주제를 확정하도록 한다. 예시 및 해설: 시뮬레이션 주제 탐색 과정에서 도출한 주제에 대해서 팀을 구성하였으므로 팀원 모두가 공유할 수 있는 시뮬레이션으로 표현할 주제를 확정하도록 한다. 필요할 경우 교사 및 동료 피드백 단계를 추가하여 학습자가 개발하기에 적절한 주제를 설정할 수 있도록 안내한다.
시뮬레이션 개발 단계 (Development)	시뮬레이션 주제 설정	

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
	물리량, 개념, 이론 정교화	· 물리량, 개념, 이론 정교화: 시뮬레이션 주제로 설정한 과학적 개념, 지식, 이론을 구체화할 때 필요한 물리량, 개념, 이론을 정교화하여 시뮬레이션 개발의 기반을 마련하도록 한다. 예시 및 해설: 예를 들어 보일 법칙을 시뮬레이션으로 구현하고자 한다면 입자의 크기, 입자의 질량, 입자의 운동 속도, 입자의 수, 입자가 들어있는 용기의 초기 크기 설정, 용기의 부피 조절 방법, 용기에 부딪히는 입자의 압력 계산 방법 등 시뮬레이션으로 구현하고자 하는 요소를 분석하고, 각 요소에 대한 물리량을 과학 개념 및 이론에 맞게 정교화한다. 필요할 경우 교사 및 동료 피드백 단계를 추가하여 학습자가 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 물리량, 개념, 이론 등의 요소를 정교화하는 데 도움을 제공한다.
	시뮬레이션 생성	· 단순한 것에서 복잡한 것으로 확장: 정교화시킨 물리량, 개념, 이론 등 시뮬레이션으로 구현하고자 하는 요소를 단순한 것에서부터 복잡한 것으로 확장시키며 시뮬레이션을 생성하도록 한다. 예시 및 해설: 예를 들어 상자 속 기체 입자의 운동을 시뮬레이션으로 개발할 때는 상자 생성, 입자 1개 생성, 입자 1개의 움직임 구현에서부터 입자를 여러 개로 확장하도록 한다. · CEE cycle: 코딩(Coding) → 실행(Execution) → 평가(Evaluation)의 순환 단계를 반복하면서 시뮬레이션을 생성하도록 한다. 예시 및 해설: VPython은 Python을 기반으로 한 프로그래밍 언어로, 인터프리터 언어(Interpreted Language)로 코드 한 줄마다 바로 실행하여 결과를 볼 수 있다. 따라서 시뮬레이션으로 구현하고자 하는 코드를 작성하고 중간중간 코드를 실행하여 구성하고자 하는 시뮬레이션을 평가하도록 한다. 팀원과 함께 코드를 작성하고 실행 결과를 평가하여 팀 내에서 이루어지는 피드백을 반영할 수 있도록 한다. 코딩, 평가, 수정의 과정이 팀원과 유기적으로 이루어지도록 공유 문서를 작성하여, 시뮬레이션 개발 과정을 꾸준히 기록하도록 한다.

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
시뮬레이션 평가 단계 (Evaluation)	시뮬레이션 공유 / 발표	· 시뮬레이션 공유, 발표: 개발한 시뮬레이션을 공유하고 발표하도록 한다.
		예시 및 해설: 개발한 시뮬레이션의 주제는 무엇인지, 어떤 과학적 요소, 과학 개념 및 이론을 시뮬레이션으로 구성했는지 구체적으로 발표하도록 하고, 발표를 듣는 학생들은 발표팀이 목적에 적절하게 시뮬레이션을 구성했는지 주의 깊게 듣도록 한다.
	피드백	· 피드백: 발표를 듣고 교사 및 동료 피드백이 이루어지도록 한다.
		예시 및 해설: 학습자들이 발표를 들은 과학적 시뮬레이션이 과학 이론을 일반화하거나 자연 현상을 적절하게 설명하고 있는지 평가하도록 한다. 학습자들이 평가한 내용을 자유롭게 토의할 수 있는 분위기를 조성하고, 시뮬레이션을 개발한 학습자와 발표를 들은 학습자들 사이에서 협력적 의사소통이 이루어지도록 한다. 우수한 점, 개선할 점 등을 피드백하며, 미흡한 부분을 피드백할 때는 문제 해결을 도울 수 있는 이성적이고 타당하며 구체적인 정보나 의견을 함께 제시하도록 한다.
	수정	· 수정: 피드백을 바탕으로 시뮬레이션을 다시 생성하여 더 발전된 시뮬레이션을 개발하도록 한다.
		예시 및 해설: 시뮬레이션을 생성 → 피드백 → 수정하는 과정은 기존의 과학적 모형 구성 수업에서 제시한 GEM cycle과 같다(Clement, 1989). 교수 목표, 학습자의 성취 수준, 수업 차시 등을 고려하여 수정 단계를 수행하여 순환 모형으로 수업을 구성하거나, 수정 단계를 생략하여 선형 모형으로 수업을 구성한다.

3) 초기 설계 원리 및 교수전략에 대한 1차 전문가 타당화 결과

초기 설계 원리 및 교수전략은 7개의 설계 원리와 이에 대한 24개의 교수전략으로 구성되었다. 초기 개별 교수전략에 대한 1차 전문가 타당화는 4점 척도(4: 매우 그렇다, 3: 그렇다, 2: 그렇지 않다, 1: 전혀 그렇지 않다)로 타당도 응답을 수집하였고, 한글 프로그램의 메모 기능을 활용하여 의견을 자유롭게 서술하도록 하였다. <표 IV-9>는 초기 설계 원리 및 교수전략에 대해 전문가들이 응답한 점수의 평균, 표준편차, CVI, IRA 값을 나타낸 것이며, 자연수가 아닌 값은 소숫점 셋째 자리에서 반올림하여 계산된 값이다. 전문가들의 문항별 평가 점수는 [부록 2-3]에 수록하였다.

<표 IV-9> 초기 설계 원리 및 교수전략에 대한 1차 전문가 타당화 결과

설계 원리	교수전략	평균	표준편차	CVI	IRA
1	1.1	4	0	1	0.75
	1.1.1	3.43	0.90	0.71	
	1.1.2	3.71	0.70	0.86	
	1.1.3	3.57	0.73	0.86	
2	2.1	4	0	1	1
	2.1.1	3.57	0.73	0.86	
	2.1.2	4	0	1	
	2.1.3	4	0	1	
3	3.1	4	0	1	1
	3.1.1	3.86	0.35	1	
	3.1.2	4	0	1	
4	4.1	4	0	1	1
	4.1.1	3.86	0.35	1	
	4.1.2	3.71	0.45	1	
	4.1.3	4	0	1	
	4.2	4	0	1	
	4.2.1	4	0	1	
	4.2.2	4	0	1	

설계 원리	교수전략	평균	표준편차	CVI	IRA
5	5.1	4	0	1	1
	5.1.1	3.86	0.35	1	
	5.1.2	4	0	1	
	5.2	4	0	1	
	5.2.1	4	0	1	
	5.2.2	4	0	1	
6	6.1	4	0	1	1
	6.1.1	4	0	1	
	6.1.2	4	0	1	
	6.1.3	3.86	0.35	1	
	6.2	4	0	1	
	6.2.1	4	0	1	
	6.2.2	4	0	1	
7	7.1	3.86	0.35	1	1
	7.2	4	0	1	

초기 설계 원리 및 교수전략에 대한 1차 전문가 타당화 검사 결과 CVI 값은 1개의 교수전략을 제외하고 모두 타당한 것으로 확인되었다. IRA의 경우 CVI 값이 0.80 이상을 타당하다고 간주하여(Graham *et al.*, 2012; Grant & Davis, 1997; Lynn, 1986; Rubio *et al.*, 2003) 계산한 결과, ‘설계 원리 1. 학습 초점의 원리’가 타당하지 않다는 결과가 도출되었다. 1차 전문가 타당화 검사 결과와 함께 한글 프로그램의 메모 기능을 통해 전문가들이 제시한 수정 및 보안 의견을 참고하여 <표 IV-10>과 같이 설계 원리 및 교수전략에 대한 수정 사항을 분석하였다. 또한 초기 설계 원리 및 교수전략에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견을 반영하여 <표 IV-11>과 같이 2차 설계 원리 및 교수전략을 도출하였다.

<표 IV-10> 초기 설계 원리 및 교수전략에 대한 1차 전문가 타당화 검토
의견 및 수정 사항

설계 원리	전문가 타당화 검토 의견	수정 사항
1. 학습 초점의 원리	학습자가 과학 개념을 익히는 것인지, 이미 내재화된 과학 개념을 정교화하는 것인지 교수 목표를 명확히 할 필요가 있음	학습자가 내재화한 지식을 정교화할 수 있도록 교수전략 문구 및 설명을 수정함
	학습자가 새로운 과학적 모형을 구성하는 것이 목표인지, 학습자의 인지 구조 내에 내재화된 과학적 모형이나 과학 이론을 구조화하는 것이 목표인지 명확히 할 필요가 있음	학습자들이 내재화한 과학적 모형을 정교화할 수 있도록 교수전략 문구 및 설명을 수정함
2. 수업 재구성의 원리	교수전략과 예시 및 해설이 서로 적합하지 않은 부분이 존재함	교수전략과 예시 및 해설이 적절하도록 문구 및 설명을 수정함
3. 환경 구성의 원리	상황에 따라 무선랜망이 아닌 유선랜망도 이용할 수 있으므로 포괄적인 용어 사용을 권함	‘무선랜망’ 대신 ‘인터넷 연결 환경’으로 문구 및 설명을 수정함
4. 동기부여의 원리	우수한 시뮬레이션 예시가 학습자의 동기부여에 긍정적인 영향을 미칠지에 대한 고민이 필요함	학습자 수준에서 근접발달영역에 있는 도전적인 과제 수준을 설정하고, 그 수준에 적합한 시뮬레이션 예시를 사용하도록 문구 및 설명을 수정함
5. 팀 구성 및 상호작용 원리	교수자가 학습자의 강점별, 서로 차등적인 능력별로 팀을 구성하는 방법에 대한 안내와 지침이 필요함	관심 주제에 따라 팀을 구성하도록 하며, 학습자가 자발적으로 의사소통 과정을 통해 팀을 구성할 수 있도록 문구 및 설명을 수정함
6. 스캐폴딩 제공의 원리	‘일지’라는 표현은 매시간 작성해야 할 것 같은 느낌을 주므로 용어 수정을 권함	‘일지’ 대신 ‘공유 문서’로 용어를 수정함

설계 원리	전문가 타당화 검토 의견	수정 사항
7. 공유 및 성찰의 원리	동료 평가와 관련된 내용, 제 언과 관련된 내용이 교수전략 에 없음	동료 평가 및 교사 평가와 관 련된 내용, 학습자 스스로 성 찰하는 내용, 피드백 이후의 활동에 대해 교수전략을 추가 함

<표 IV-11> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 2차 모형의
설계 원리 및 교수전략

설계 원리	교수전략
1. 학습 초점의 원리	1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 활동이 교 수 목표 달성에 적합한지 분석하라.
	1.1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 활동에 참여하 는 학습자의 수준을 파악하고, 학습자의 수준에 맞게 교수 목표 를 설정하여 학습이 이루어지도록 하라.
	예시 및 해설: 학습자의 수준에 따라 VPython을 활용하여 개발 할 수 있는 시뮬레이션의 수준이 다르므로, 학습자가 내재화한 과학 지식과 정보 지식의 수준을 파악하고 학습자의 수준에 따라 교수 목표와 수업 활동으로 개발하고자 하는 시뮬레이션의 수 준을 설정하여 학습자의 학습 활동을 통해 실질적인 교수 목표를 달성하는 데 초점을 맞추어 설계한다.
	1.1.2. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 활동이 고차원적 사고 및 역량 개발에 적절한지 분석하라.
	예시 및 해설: 교수자는 수업 활동을 통해 과학적 사고력, 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 탐구 능력, 창의력, 협업 능력, 자기주도 학습 능력, 컴퓨팅 사고력, 프로그래밍 능력 등 함양시키고자 하는 고차원적 사고와 역량을 파악하고, 목표한 역량을 함양할 수 있도록 수업 활동을 설계한다.
	1.1.3. 시뮬레이션을 구성하는 수업의 설계 수준이 학습자의 학습 요구에 적절한 수준인지 분석하라.
	예시 및 해설: 교수자는 설계하고자 하는 시뮬레이션 구성 수업 이 학습자의 학습 요구에 적절한지, 학습자의 수준에 비해 도전 적인 수준으로 설계되었는지 분석한다.

설계 원리	교수전략
2. 수업 재구성의 원리	2.1. 학습자의 교과 내용에 대한 이해도와 프로그래밍 수준을 파악하고 수업을 설계하라.
	2.1.1. 교수 목표와 VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 활동 간의 목표를 통합하라.
	예시 및 해설: 교수자는 교수 목표로 학습자에게 어느 정도 수준의 시뮬레이션을 구성하도록 할 것인지, 어떤 역량을 중점적으로 함양시킬 것인지를 설정하고 수업의 단계별 활동이 교수 목표와 유기적으로 통합되도록 수업을 설계한다.
	2.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 학습 목표, 학습 내용, 학습 활동을 계획하라.
	예시 및 해설: 교수자는 형성평가, 질문하기, 토론 등 다양한 방법을 활용하여 학습자가 내재화한 과학 지식, 정보 지식, 과학적 모형을 파악하고 이를 활용하여 수업이 이루어질 수 있도록 학습 활동을 계획한다.
	2.1.3. 학습자 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준을 설정하라.
3. 환경 구성의 원리	예시 및 해설: 교수자는 형성평가, 질문하기, 토론 등 다양한 방법을 활용하여 학습자가 내재화한 정보 지식, 프로그래밍 수준을 파악하고, 이를 고려하여 최종적으로 학습자가 도출해 낼 수 있는 산출물의 수준을 잠정적으로 설정한다.
	3.1. 교실 내의 모든 학습자가 학습 활동에 참여할 수 있도록 물리적 환경을 조성하라.
	3.1.1. 교실 내의 모든 학습자가 인터넷에 접근할 수 있도록 인터넷 접속 환경을 확인하고 대안을 마련하라.
	예시 및 해설: 본 수업이 이루어지기 전에 교실 현장에 인터넷 접속 환경을 확인하고, 모든 학습자가 인터넷 접속이 가능한 환경을 조성한다. 기존 교실에서 인터넷 접속이 원활하지 않을 경우, 수업 환경을 변경하거나 미리 VPython library package를 학습자의 개인 노트북에 설치해 오도록 한다.
	3.1.2. 교실 내의 모든 학습자가 개별 노트북(또는 PC나 스마트 기기)을 수업 중에 활용할 수 있도록 수업 시작 전에 학습자들의 기기 소유 여부를 확인하고 여분의 노트북을 준비하라.

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: 학습자 1인당 개별 노트북 사용이 가능하도록 물리적 환경을 조성하고, 개별 노트북 사용이 어려운 환경일 경우, PC가 설치되어 있는 곳으로 수업 환경을 변경하거나, 학교의 여분 노트북을 학습자에게 대여해 준다. 만약 학습자 1인당 개별 노트북 사용이 어려운 경우 2명당 1개의 노트북을 사용할 수 있도록 교실 환경을 구성하고, 스마트폰이나 스마트 패드 등 스마트 기기를 보조로 활용할 수 있도록 안내한다.
4. 동기부여 의 원리	4.1. 학습자가 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에 적극적으로 참여할 수 있도록 동기를 부여하라.
	4.1.1. 수업 목표를 제시하고, 목표에 도달했을 때 습득할 수 있는 능력 및 역량을 안내하라.
	예시 및 해설: 시뮬레이션을 구성하는 수업의 목표를 제시하고, 시뮬레이션을 구성하는 경험을 통해 스스로 자연 현상을 시뮬레이션으로 구현할 수 있는 능력을 함양할 수 있고, 수업을 통해 과학 개념과 이론을 구조화하여 시뮬레이션으로 나타낼 수 있는 역량을 기를 수 있음을 안내한다.
	4.1.2. 이전 학습자가 VPython으로 개발한 시뮬레이션 예시를 학습자의 수준을 고려하여 제공함으로써 학습자의 VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 활동에 대한 자신감을 높이고 수업 활동에 대한 동기를 부여하라.
	예시 및 해설: 과학 개념, 이론, 자연 현상 등에 대해 이전 학습자가 VPython으로 개발한 시뮬레이션의 예시와 코드를 공유하여 수업에 참여하고 있는 학습자의 자신감을 높이고, 흥미를 유발하여 학습 참여 동기를 유발시킨다. 이때 학습자의 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준을 예시로 활용하고, 학습자의 자유로운 창의성을 발휘할 수 있도록 예시는 1~2개 정도로 적게 제시한다.
	4.1.3. 학습자에게 도전적인 수준의 시뮬레이션 구성을 요구하여, 수업 참여의 동기를 부여하고 시뮬레이션 구성 경험을 통해 성취감을 느낄 수 있도록 하라.

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: 학습자의 수준보다 조금 높은 도전적인 수준의 과제를 설정하고, 다른 학습자와의 협업을 통해 도전적인 수준의 시뮬레이션을 구성할 수 있는 수업 경험을 제공하여 수업 참여 동기와 동료 학습자와의 협업에 대한 동기를 유발시킨다.
	4.2. VPython을 직접 활용 및 탐색할 수 있는 충분한 시간과 기회를 제공하라.
	4.2.1. VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 학습할 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체인 구, 직육면체 등을 학습자가 직접 생성해 볼 수 있는 시간과 기회를 제공한다.
	4.2.2. VPython을 활용하여 간단한 시뮬레이션을 연습해 볼 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 이용하여 구의 자유 낙하 운동, 상자 속 입자의 움직임 등 기초적인 시뮬레이션 제작을 연습해 볼 수 있도록 한다.
5. 팀 구성 및 상호작용 원리	5.1. 다양한 상호작용이 일어나도록 하라.
	5.1.1. 협력적 해결이 요구되는 도전적인 과제를 설정할 수 있도록 교수자와 학습자가 끊임없이 상호작용하라.
	예시 및 해설: 학습자의 수준에 적절한 또한 학습자의 수준보다 도전적인 과학 개념 및 이론에 대해 시뮬레이션을 구성할 수 있도록 교수자와 학습자가 끊임없이 상호작용하고, 다양한 아이디어를 도출할 수 있도록 한다.
	5.1.2. 교수자와 학습자, 또는 학습자들 간에 활발한 의사소통이 일어날 수 있도록 자유로운 교실 환경을 조성하라.
	예시 및 해설: 교수자와 학습자 간, 또는 학습자들끼리 편안한 분위기에서 자유롭게 의견 교환이 일어날 수 있도록 충분한 시간을 제공하고 편안한 교실 환경을 조성한다.
	5.1.3. 공유 문서를 작성하여 공유하여 대면적인 상호작용뿐만 아니라 비대면적인 상호작용도 일어나도록 하라.

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: 시뮬레이션을 구성하기 전에 주제를 설정하는 과정에서부터 과학 개념 및 이론을 탐색하는 과정, 이를 시뮬레이션으로 구성하기 위해 정교화하는 과정, 시뮬레이션을 생성하는 단계별 과정 및 전략 등 수업 활동 전반을 공유 문서로 작성하여 시뮬레이션을 개발하는 활동을 구체화하도록 한다.
	5.2. 교수 목표 및 수준에 맞게 팀을 구성하라.
	5.2.1. 수업을 통해 학습자가 달성할 수 있는 능력 및 역량, 학습자가 구성할 시뮬레이션의 수준을 고려하여 팀 구성 인원을 설정하라.
	예시 및 해설: 교수 목표에서 설정한 수업을 통해 달성시키고자 하는 능력 및 역량, 학습자가 구성할 시뮬레이션의 수준을 고려하여 팀원들 간에 적절한 상호작용이 가능하도록 팀 구성 인원을 설정한다. 수업에서 구성하고자 하는 시뮬레이션의 수준이 ‘하’인 경우 개인별 수업을 진행하거나, 최대 2인 1팀을 구성하도록 한다. 시뮬레이션의 수준이 ‘중’ 또는 ‘상’인 경우 2~4인이 한 팀을 구성하도록 한다. 만약 매우 복잡한 시스템을 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 경우 자율적 협동학습 모형(Co-op Co-op)과 같이 적절한 소그룹으로 나누어 프로젝트를 진행하고, 나누어진 프로젝트를 합쳐 반 전체의 프로젝트를 완성하는 형식으로 팀을 구성한다.
	5.2.2. 유사한 관심 주제별, 서로 다른 강점별로 팀을 구성하라.
	예시 및 해설: 구성하고자 하는 시뮬레이션의 주제가 비슷한 학습자끼리 팀을 구성하도록 하고, 비슷한 주제가 없는 경우 학생의 평소 관심 주제에 따라 팀을 구성하도록 한다. 또한 팀 구성 인원이 3명 이상일 경우에는 학습자 분석을 통해 학습자가 평소 관심 있어 하는 분야, 또는 자신 있어 하는 분야 등을 분석하고 이를 토대로 서로 다른 강점을 가진 학습자들로 팀을 구성하여 협력적 활동에서 상승효과가 일어날 수 있도록 한다.
6. 스캐폴딩 제공의 원리	6.1. 학습자가 현재의 수준을 넘어 다음 단계의 수준에 도달할 수 있도록 적절한 자극과 정보를 제공하여 학습을 촉진시켜라.
	6.1.1. 순회 지도를 통해 학습자를 관찰하고, 과학 개념, VPython 코딩, 시뮬레이션 구성 등에 대해 단계별 피드백을 제공하라.

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: 학습자 주도의 수업 활동에서 교수자는 순회 지도를 통해 학습자의 학습 상황, 시뮬레이션 구성 활동 상황 등을 관찰하고 적절한 피드백과 격려를 제공한다.
	6.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 뼈대 코드를 준비하라.
	예시 및 해설: VPython을 활용한 시뮬레이션 구성에 참고할 만한 간단한 시뮬레이션 코드를 제공하여 이를 적절하게 활용, 조합, 수정하여 시뮬레이션을 설계, 개발할 수 있도록 한다.
	6.1.3. 공유 문서를 활용하여 수업 활동에 대해 학습자에게 스캐폴딩을 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자가 작성한 공유 문서를 분석하고, 각 수업 단계별로 학습자에게 필요한 도움과 정보를 도출하여 학습자가 수업 단계에 따라 유의미한 활동이 일어날 수 있도록 한다.
	6.2. 시뮬레이션을 전략적으로 생성하도록 지도하라.
	6.2.1. 시뮬레이션의 구성 요소가 많을 때는 단순한 요소부터 코딩하고, 점차 코드의 복잡성을 높여가라.
	예시 및 해설: 예를 들어 기체 분자의 운동을 시뮬레이션으로 시각화하는 경우, 입자 한 개 및 입자가 존재하는 공간을 먼저 코딩하도록 한다. 이후 입자를 여러 개로 확장하고 입자의 움직임을 부여하는 등 코드의 복잡성을 구조적으로 높여갈 수 있도록 안내한다. 또한 시각화하고자 하는 요소가 물체의 움직임, 그래프, 어떤 물리적인 값 등 여러 개일 경우 간단한 것부터 시각화하도록 한다.
	6.2.2. 코딩(coding)하고 이를 실행(execution)시켜 실행 결과를 평가(evaluation)하는 과정을 반복적으로 수행(CEE cycle)하면서 시뮬레이션을 프로그래밍하도록 하라.
	예시 및 해설: VPython은 Python을 기반으로 한 언어이므로 인터프리터 언어(Interpreted Language)로, 코딩한 것을 실행시켜 결과를 확인하고, 이를 자체 평가 또는 팀원끼리 평가하여 코드를 확장해 나가도록 한다.
	6.2.3. 생성형 AI를 활용하여 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 아이디어를 코드화하는 데 활용하도록 하라.

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: 챗GPT 또는 Bing챗(Copilot) 등 생성형 AI를 코드 작성하는 과정에서 활용하여 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 아이디어를 코드화하는 데 도움을 얻도록 한다. 생성형 AI를 활용할 때는 ‘VPython을 활용하여 OO의 주제로 코드를 작성하려고 해.’와 같이 먼저 정확한 문제를 정의하는 것에서부터 시작하도록 한다. 코드 작성을 요청할 때는 지시하는 내용을 구체적이고 명확하게 작성하여 프롬프트를 입력하도록 한다. 생성형 AI로 도출한 결과를 학습자가 적절한 방식으로 수정 및 보완하여 코드를 정교화하도록 한다.
7. 공유 및 성찰의 원리	7.1. 최종 산출물을 시연하고 의견을 나누며 평가할 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자가 어떠한 주제로 시뮬레이션을 구성하였고 어떤 방법으로 코딩하였는지 공유하고 발표하는 기회를 제공한다. 다른 학습자들은 발표하는 학습자의 발표 내용을 집중하여 경청할 수 있도록 지도한다.
	7.2. 자신의 학습 활동 전반을 확인하고 성찰할 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자가 학습 활동을 통해 얻은 경험, 지식, 생각 등 자기 평가서를 작성하여 자신을 성찰할 기회를 제공한다. 또한 공유한 시뮬레이션에 대해 교사 피드백 및 동료 피드백을 받아서 학습 활동을 유의미하게 마무리할 기회를 제공한다. 협력적 의사소통이 이루어지도록 우수한 점, 개선할 점 등을 피드백하도록 하며, 미흡하거나 개선할 점을 피드백할 때는 문제 해결에 도움을 줄 수 있는 이성적이고 타당하며 구체적인 정보나 의견을 함께 제시하여 건설적인 피드백이 되도록 지도한다.
	7.3. 피드백을 수용할 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: 교사 피드백 및 다른 학습자의 동료 피드백을 수용하여 자신이 구성한 시뮬레이션을 수정할 기회를 제공하여 과학적 모형 구성 수업에서 ‘모형 생성(Generation)’ - ‘모형 평가(Evaluation)’ - ‘모형 수정(Modification)’의 일련의 과정을 통해 시뮬레이션을 한 단계 높은 수준으로 구성할 수 있도록 한다.

4) 1차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 1차 전문가 타당화 결과

본 연구의 외적 타당화는 연구 참여자들의 수업 모형에 대한 반응을 질적으로 분석하는 것을 목적으로 한다. 따라서 연구 참여자의 수업 경험과 수업의 교육적 효과를 심도 있게 이해하기 위해 심층 면담의 수행이 중요하며, 이를 위해 학생 인터뷰 질문지 문항도 전문가 타당화 과정을 거쳐 타당도를 검증하였다. 1차 학생 인터뷰 질문지 문항은 총 17개 문항으로 구성하였다. 개별 문항에 대한 1차 전문가 타당화는 4점 척도(4: 매우 그렇다, 3: 그렇다, 2: 그렇지 않다, 1: 전혀 그렇지 않다)로 타당도 응답을 수집하였고, 한글 프로그램의 메모 기능을 활용하여 의견을 자유롭게 서술하도록 하였다. <표 IV-12>는 1차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대해 전문가들이 응답한 점수의 평균, 표준편차, CVI, IRA 값을 나타낸 것이며, 자연수가 아닌 값은 소숫점 셋째 자리에서 반올림하여 계산된 값이다. 전문가들의 문항별 평가 점수는 [부록 2-4]에 수록하였다.

<표 IV-12> 1차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 1차 전문가 타당화 결과

문항	평균	표준편차	CVI	IRA
1	3.86	0.35	1	1
2	4	0	1	
3	4	0	1	
4	4	0	1	
5	3.71	0.45	1	
6	3.57	0.49	1	
7	3.57	0.73	0.86	
8	3.71	0.7	0.86	
9	4	0	1	
10	4	0	1	
11	4	0	1	
12	4	0	1	
13	4	0	1	
14	4	0	1	
15	4	0	1	
16	4	0	1	
17	4	0	1	

1차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 1차 전문가 타당화 검사 결과 평균, CVI, IRA 모두 타당한 것으로 확인되었다. 하지만 한글 프로그램의 메모 기능을 통해 전문가들이 수정 및 보완 의견을 제시하였으며, 이를 참고하여 <표 IV-13>과 같이 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 수정 사항을 분석하였다. 또한 1차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견을 반영하여 <표 IV-14>과 같이 2차 학생 인터뷰 질문지 문항을 도출하였다.

<표 IV- 13> 1차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항

전문가 타당화 검토 의견	수정 사항
모형과 시뮬레이션에 대한 구분이 필요함	모형과 시뮬레이션을 명확하게 구분하여 질문 문항을 구성함
수업 모형의 목표와 관련된 질문을 구체적이고 방향성 있게 제시할 필요가 있음	학생 인터뷰 질문 문항을 카테고리 에 따라 정리하고, 각 문항에 대한 하위 문항을 구성함
질문을 구성할 때 한 번에 하나의 질문만 하는 것을 권장함.	
학생의 대답 유형에 따라 인터뷰가 진행될 수 있도록 질문의 하위 항목도 구성하는 것을 권유함	
수업 모형에 맞게 질문의 순서를 고려할 것을 권유함.	

<표 IV-14> 2차 학생 인터뷰 질문 문항

질문지	
1. 과학적 모형에 대해서	
1-1. 이 수업 이전에 과학적 모형의 개념이나 예시를 알고 있었나요?	
1-1-1. (예) 과학적 모형이 무엇인가요?	
1-1-2. (예) 알고 있는 과학적 모형의 예시에는 어떤 것이 있나요?	
(아니오) 원자 모형, DNA 모형과 같은 것이 과학적 모형입니다. 방금 제시한 예시 외에 생각나는 과학적 모형이 있나요?	
1-2. 교과서나 참고 자료 등에서 배운 과학적 모형 외에 스스로 과학적 모형을 만들어 본 경험이 있나요?	
1-2-1. (예) 어떤 경험이 있는지 구체적으로 설명해 줄 수 있나요?	
1-2-2. (예) 어떤 방법 또는 어떤 도구를 사용하여 과학적 모형을 만들어 보았나요?	
1-3. 과학적 모형이 과학 개념이나 이론을 이해하는 데 도움이 된다고 생각하나요?	
1-3-1. 왜 그렇게 생각하나요?	
2. 시뮬레이션 사용 경험에 대해서	
2-1. 이 수업을 듣기 전에 시뮬레이션이 무엇인지 알고 있었나요?	
2-1-1. (예) 학습자가 알고 있는 시뮬레이션에 대해 설명해 줄 수 있나요?	
2-1-2. (예) 학습자가 알고 있는 시뮬레이션의 예시를 몇 가지 말해줄 수 있나요?	
2-2. 시뮬레이션을 사용해 본 경험이 있나요?	
2-2-1. (예) 어떤 시뮬레이션을 사용해 보았나요?	
2-2-2. (예) 시뮬레이션을 사용했을 때 흥미, 유용성, 불편함 등 당시 느꼈던 경험을 공유해 줄 수 있나요?	
3. 시뮬레이션 구성 경험에 대해서	
3-1. 이 수업에서 했던 활동 외에 시뮬레이션을 개발해 본 경험이 있나요?	
3-1-1. (예) 어떤 도구를 사용해서 시뮬레이션을 개발했나요?	
3-1-2. (예) 그 도구는 어떤 점이 유용했고, 어떤 점이 불편했나요?	
3-1-3. (예) 개발한 시뮬레이션을 공유해 줄 수 있나요?	
3-2. 이 수업을 듣기 전 자신이 시뮬레이션을 개발할 수 있다고 생각해 본 적이 있나요?	
3-2-1. 왜 그렇게 생각했나요?	
3-2-2. 이 수업을 들은 후 그 생각이 바뀌었나요? 아니면 그대로인가요?	
4. VPython에 대해서	
4-1. 이 수업을 듣기 전 VPython에 대해 알고 있었나요?	
4-1-1. (예) VPython을 어떻게 처음 알게 되었나요?	
4-1-2. (예) VPython을 활용해 본 경험이 있나요?	

5. VPython 활용에 대해서

- 5-1. VPython을 활용할 때 어떤 점이 유용했나요?
- 5-2. VPython을 활용할 때 어떤 점이 불편했나요?
- 5-3. 평소 과학, 수학, 정보 등을 공부하거나 연구할 때 Python을 활용해 본 경험이 있나요?
- 5-3-1. (예) 왜 Python을 활용했나요?
(아니오) 왜 Python을 활용하지 않았나요?
- 5-3-2. (예) Python을 활용하는 정도는 어떻게 되나요?
- 5-4. VPython을 앞으로 활용할 것 같나요?
- 5-4-1. (예) 어떤 때 활용할 것 같나요? / 어떤 때 활용하면 좋을 것 같나요?
(아니오) 왜 활용하지 않을 것 같나요?

6. 팀 구성 과정에 대해서

- 6-1. 각자 주제 탐색 다음 팀 구성, 시뮬레이션 주제 설정의 단계로 팀을 구성하는 방식에 대해 좋았던 점은 무엇인가요?
- 6-2. 각자 주제 탐색 다음 팀 구성, 시뮬레이션 주제 설정의 단계로 팀을 구성하는 방식에 대해 아쉬운 점 또는 개선할 점은 무엇인가요?
- 6-3. 팀 구성 인원은 어땠나요? (적절했나요, 많았나요, 적었나요?)
- 6-3-1. 왜 그렇게 생각했나요?
- 6-4. 팀원과 협력 및 의사소통이 잘 이루어졌나요?
- 6-4-1. 그렇게 생각한 이유를 설명해 줄 수 있나요?
- 6-5. 팀을 구성할 때 어떤 점을 (추가로) 고려하면 좋을 것 같은가요?

7. 시뮬레이션 개발 과정에 대해서

- 7-1. 개발한 시뮬레이션의 주제는 무엇인가요?
- 7-2. 그 주제를 설정하는 데 어떤 과정을 거쳤는지 설명해 줄 수 있나요? / 어떻게 그 주제를 설정하게 되었나요?
- 7-3. 공동의 시뮬레이션 주제를 설정하는 데 어려움이 있었나요?
- 7-3-1. (예) 어떤 어려움이었나요?
- 7-3-2. (예) 그 어려움을 어떻게 극복했나요?
(아니오) 어떻게 어려움 없이 시뮬레이션 주제를 설정했나요?
- 7-4. 구성한 시뮬레이션에서 필요한 물리량, 개념, 이론은 무엇인가요?
- 7-4-1. 물리량, 개념, 이론을 어떻게 정교화했는지 구체적으로 설명해 줄 수 있나요?
- 7-5. 시뮬레이션을 생성하는 과정에서 코딩의 난이도는 어땠나요?
- 7-5-1. 코딩할 때 단순한 것에서 복잡한 것으로 확장하는 전략은 유용했나요? 그렇지 않았나요?
- 7-5-1-1. (예) 어떤 점에서 유용하다고 생각했나요?
(아니오) 어떤 점에서 유용하지 않다고 생각했나요?

질문지

7-5-2. 코딩할 때 코딩-실행-평가(CEE cycle)의 전략은 유용했나요? 그렇지 않았나요?

7-5-2-1. (예) 어떤 점에서 유용하다고 생각했나요?

(아니오) 어떤 점에서 유용하지 않다고 생각했나요?

7-5-3. 코딩할 때 생성형 AI(챗GPT 또는 Bing Chat)를 활용하는 것은 유용했나요? 그렇지 않았나요?

7-5-3-1. (예) 어떤 점에서 유용하다고 생각했나요?

(아니오) 어떤 점에서 유용하지 않다고 생각했나요?

7-5-4. 이 외에 코딩할 때 어떤 전략을 사용했나요?

7-6. 시뮬레이션을 개발하는 과정에서 공유 문서를 적절하게 활용했나요?

7-6-1. 시뮬레이션 개발에 공유 문서 작성이 어떤 도움을 주었나요?

7-6-2. 시뮬레이션 개발에 공유 문서 작성이 불편한 점이 있었나요?

7-7. 이 수업에서 시뮬레이션을 개발하는 데 어느 정도의 시간(몇 차시 정도의 시간)이 필요했었나요?

8. 과학적 역량에 대해서

8-1. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업은 과학적 사고력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

8-1-1. 왜 그렇게 생각하나요?

8-1-2. 과학 지식을 심도 있게 이해하는 데 도움이 된다고 생각하나요?

8-1-3. 과학 지식을 융합하는 데 도움이 된다고 생각하나요?

8-2. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업은 과학적 탐구 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

8-2-1. 왜 그렇게 생각하나요?

8-2-2. 연구 활동 및 과학 탐구 활동을 하는 데 도움이 된다고 생각하나요?

8-2-3. 과학 지식으로 문제를 해결하는 데 도움이 된다고 생각하나요?

8-3. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업은 과학적 문제 해결력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

8-3-1. 왜 그렇게 생각하나요?

8-3-2. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성은 어떤 과학적 문제를 해결할 수 있을지 예시를 들어줄 수 있나요?

8-4. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업은 과학적 의사소통 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

8-4-1. 왜 그렇게 생각하나요?

9. 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력에 대해서

9-1. (문제 분해 능력) VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업은 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 물리량, 함수 등을 파악하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

9-1-1. 왜 그렇게 생각하나요?

질문지

9-2. (추상화 능력) 시뮬레이션을 구성하는 과정에서 불필요한 요소를 제거하고 핵심 요소만 구성할 수 있도록 추상화하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

9-2-1. 왜 그렇게 생각하나요?

9-3. (알고리즘 절차-설계) 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 연산을 구조화하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

9-3-1. 왜 그렇게 생각하나요?

9-4. (알고리즘 절차-표현) (프로그래밍) 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 연산을 적절한 코드로 구현하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

9-4-1. 왜 그렇게 생각하나요?

9-5. (알고리즘 절차-분석) 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 연산의 수행 시간(run time)을 고려하여 코드로 구현하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

9-5-1. 왜 그렇게 생각하나요?

9-6. (자동화-디버깅) 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 코드의 결과를 확인한 후 오류를 수정하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

9-6-1. 왜 그렇게 생각하나요?

10. 시뮬레이션 역량에 대해서

10-1. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업은 시뮬레이션 구성에 필요한 요소를 파악하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

10-1-1. 왜 그렇게 생각하나요?

10-2. 이 수업을 통해 본인이 시뮬레이션을 구성할 수 있을 것이라는 자신감이 생겼나요?

10-2-1. (아니오) 어떤 점에서 자신감이 생기지 않았나요?

10-3. 시뮬레이션 구성 과정은 과학 개념 및 이론을 이해하는 데 도움이 되는 수업이라고 생각하나요?

10-3-1. 왜 그렇게 생각하나요?

10-4. 시뮬레이션 구성 과정은 자연 현상을 설명하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

10-4-1. 왜 그렇게 생각하나요?

11. 그 외 고차원적 사고 능력에 대해서

11-1. 이전에 물어본 과학적 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력 외에 다른 능력은 어떤 것이 향상되었다고 생각하나요?

(예시 : 창의력, 협업 능력, 자기 주도 능력, 끈기와 인내 등)

12. 공유, 발표 및 피드백에 대해서

12-1. 본인의 팀이 개발한 시뮬레이션은 어떤 점이 우수하다고 생각하나요?

질문지

12-2. 본인의 팀이 개발한 시뮬레이션은 어떤 점이 부족하거나 미흡하다고 생각하나요?

12-2-1. 부족하거나 미흡한 점을 개선하는 방법은 어떤 것이 있을까요?

12-3. 최종 시뮬레이션 산출물 중 어떤 작품이 우수하다고 판단했나요?

12-3-1. 그 이유는 무엇인가요?

12-4. 피드백 단계에서 인상적인 내용이 있었나요?

12-4-1. 어떤 점이 인상적이었나요?

13. 수업 소감에 대해서

13-1. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업에서 배운 점, 느낀 점, 아쉬운 점은 무엇이었나요?

13-2. VPython을 활용하여 시뮬레이션을 설계하고 개발하는 수업에서 좋았던 점은 무엇인가요?

13-3. VPython을 활용하여 시뮬레이션을 개발하는 과정에서 어려운 점은 무엇이었나요?

13-4. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업에서 배운 내용을 앞으로 어디에 활용할 수 있을 것 같나요?

5) 1차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 1차 전문가 타당화 결과

본 연구의 외적 타당화 과정에서 수업 모형 적용 전·후 설문조사에 활용할 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항을 개발하였다. 1차 전문가 타당화 과정에서는 해당 역량 검사명이 ‘모델링 역량 검사’였으나, 전문가 타당화 검토 의견을 반영하여 ‘시뮬레이션 구성 역량 검사’로 검사명을 수정하였다. 검사 문항은 시뮬레이션에 관해 연구한 한형중(2019), 모델링 역량에 관해 연구한 Lopes & Costa(2007) 및 Upmeier zu Belzen *et al.*(2019)을 참고하여 본 연구에 적절하게 수정·개발하였으며, 개발된 문항은 두 차례의 전문가 타당화를 거쳐 내적 타당도를 확보하였다.

1차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항은 총 10개 문항으로 구성되었다. 개별 문항에 대한 1차 전문가 타당화는 4점 척도(4: 매우 그렇다, 3: 그렇다, 2: 그렇지 않다, 1: 전혀 그렇지 않다)로 타당도 응답을 수집하였고, 한글 프로그램의 메모 기능을 활용하여 의견을 자유롭게 서술하도록

하였다. <표 IV-15>는 1차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대해 전문가들이 응답한 점수의 평균, 표준편차, CVI, IRA 값을 나타낸 것이며, 자연수가 아닌 값은 소숫점 셋째 자리에서 반올림하여 계산된 값이다. 전문가들의 문항별 평가 점수는 [부록 2-5]에 수록하였다.

<표 IV-15> 1차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 1차 전문가 타당화 결과

문항	평균	표준편차	CVI	IRA
1	3.71	0.7	0.86	0.8
2	3.43	0.73	0.86	
3	3.71	0.7	0.86	
4	3.57	0.73	0.86	
5	3.57	0.73	0.86	
6	3.71	0.7	0.86	
7	3.43	0.9	0.71	
8	3.71	0.7	0.86	
9	3.57	0.73	0.86	
10	3.43	0.9	0.71	

1차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 1차 전문가 타당화 검사 결과 전문가 모두가 타당하다고 의견 일치를 보인 문항은 존재하지 않았다. 하지만 Grant & Davis(1997) 및 Lynn(1986)이 제시한 기준에 따라 CVI 값이 0.80 이상인 문항은 타당도가 높은 것으로 해석할 수 있다. 또한 IRA의 경우 Graham *et al.*(2012) 및 Rubio *et al.*(2003)이 제시한 기준에 따라 0.80 이상이므로 신뢰할 수 있다고 해석할 수 있다. 1차 전문가 타당화 검사 결과와 함께 한글 프로그램의 메모 기능을 통해 전문가들이 제시한 수정 및 보안 의견을 참고하여 <표 IV-16>과 같이 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 수정 사항을 분석하였다. 또한 1차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견을 반영하여 <표 IV-17>과 같이 2차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항을 도출하였다.

<표 IV-16> 1차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 1차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항

문항	전문가 타당화 검토 의견	수정 사항
전반	용어 자체가 일상 용어가 아니기 때문에 학생이 이해하기 어려울 수 있으며, 어떤 대상에게 검사를 진행하느냐에 따라 결과에 차이가 발생할 것으로 보임	학습자들의 수준을 고려하여 검사 문항에 사용된 용어를 전반적으로 수정함
	모형과 시뮬레이션에 대한 구분이 필요함	모형과 시뮬레이션을 명확하게 구분하여 질문 문항을 구성함
4, 5	모형 및 시뮬레이션의 ‘잘못된 부분’과 ‘한계’의 차이를 구분하기 어려움	4번 문항과 5번 문항을 조합하여 하나의 문항으로 수정함
7	모형 및 시뮬레이션도 검증 대상이기 때문에 검증 대상으로 새로운 가설을 검증하는 질문이 어색하다고 느껴짐	해당 문항을 삭제

<표 IV-17> 2차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항

질문지
1. 나는 구성하고자 하는 시뮬레이션에 필요한 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성 등을 도출해 낼 수 있다.
2. 나는 구성하고자 하는 시뮬레이션에 필요한 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성을 코드로 표현할 수 있다.
3. 나는 필요한 경우 스스로 시뮬레이션을 구성할 수 있다.
4. 나는 이미 개발하여 제공되는 시뮬레이션의 강점과 한계가 무엇인지 설명할 수 있다.
5. 나는 내가 개발한 시뮬레이션의 강점과 한계가 무엇인지 설명할 수 있다.
6. 나는 내가 개발한 시뮬레이션에서 잘못된 부분을 스스로 수정할 수 있다.
7. 나는 시뮬레이션을 활용하여 새로운 가설을 검증할 수 있다.
8. 나는 예측 능력이 높은 과학적 시뮬레이션을 만들 수 있다.
9. 나는 시뮬레이션을 만들 때 구성 요소 간의 상호작용이나 변수의 관계를 명확하게 표현할 수 있다.
10. 나는 시뮬레이션을 만들 때 다른 사람들과 긍정적으로 협력할 수 있다.

나. 2차 전문가 타당화 결과

2차 전문가 타당화는 1차 전문가 타당화 결과에 대한 전문가의 답변을 바탕으로 수정된 수업 모형, 수업 모형의 세부 단계, 설계 원리 및 교수 전략, 외적 타당화에 사용될 학생 인터뷰 질문지 문항과 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항(한형중, 2019; Lopes & Costa, 2007; Upmeyer zu Belzen *et al.*, 2019의 내용을 참고하여 개발)에 대해 실시되었다. 2차 전문가 타당화에서는 1차 전문가 타당화 검토 의견을 바탕으로 수정된 내용을 설명하고, 전문가의 답변을 수집하였다. 2차 타당화 질문지에 대한 전문가 답변을 활용하여 수정된 수업 모형, 모형의 세부 단계, 설계 원리 및 교수전략의 적합성과 타당성을 검토하였으며, 과학영재 고등학교 맥락에서 학교 수업의 적용 가능성을 검토하였다. 2차 전문가 타당화도 1차 전문가 타당화와 마찬가지로 4점 척도(4: 매우 그렇다, 3: 그렇다, 2: 그렇지 않다, 1: 전혀 그렇지 않다)로 타당도 응답을 수집하였고, 한글 프로그램의 메모 기능을 활용하여 의견을 자유롭게 서술하도록 하였다.

1) 2차 수업 모형에 대한 2차 전문가 타당화 결과

<표 IV-18>은 2차 수업 모형에 대해 전문가들이 응답한 점수의 평균, 표준편차, CVI, IRA 값을 나타낸 것이며, 자연수가 아닌 값은 소숫점 셋째 자리에서 반올림하여 계산된 값이다. 전문가들의 문항별 평가 점수는 [부록 4-1]에 수록하였다.

<표 IV-18> 2차 수업 모형 전반에 대한 2차 전문가 타당화 결과

영역	평균	표준편차	CVI	IRA
타당성	3.57	0.49	1	1
설명력	4	0	1	
유용성	3.86	0.35	1	
보편성	3.57	0.49	1	
이해도	3.86	0.35	1	

2차 수업 모형 전반에 대한 2차 전문가 타당화 검사 결과, 타당성, 설명력, 유용성, 보편성, 이해도의 5가지 준거에 대해 평균이 모두 3.50 이상이고, CVI와 IRA 값이 1로 타당한 것으로 확인되었다. 하지만 개방형 문항을 통해 전문가들이 수정 및 보완 의견을 제시하였으며, 이를 참고하여 수업 모형 전반에 대한 수정 사항을 분석하였다.

2차 전문가 타당화 검사 결과 ‘타당성’ 측면에서 수업 모형 내에 목표가 제시된 점, 교수·학습 과정 및 평가 방법에 관한 내용이 모두 포함되어 있다는 점, 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략이 서로 연계되어 있다는 점을 바탕으로 타당성 있는 수업 모형이라는 의견이 제시되었다. 또한 생성형 AI를 활용한다는 점, 학생 스스로 시뮬레이션을 구성한다는 점에서 수업 모형이 참신하다는 의견이 제시되었다.

‘설명력’ 측면에서 교수·학습 전문가뿐만 아니라 교수·학습 실행자의 관점에서 수업에 필요한 요소를 모두 설명하고 있으며, 수업을 설계하는 과정에서 고려할 수 있는 많은 요소를 모형으로 잘 표현했다는 의견이 제시되었다.

‘유용성’ 측면에서 생성형 AI의 활용을 통해 학습자는 시뮬레이션을 구성하는 과정에 교사의 스캐폴딩뿐만 아니라 생성형 AI의 도움을 활용할 수 있다는 점, 이를 통해 시뮬레이션 구성에 필요한 시간을 단축시킬 수 있다는 점에서 유용하게 활용될 수 있는 수업 모형으로 평가되었다.

‘보편성’ 측면에서 생성형 AI의 활용 비중을 조절할 경우, 다양한 주제로 다양한 활동을 정해진 수업 시간에 보편적으로 운영할 수 있을 것이라는 의견이 제시되었다.

‘이해도’ 측면에서 수업 모형이 교수자가 참고하여 수업을 설계하기에 모형으로 쉽게 표현되어 있다는 점, 수업 모형의 각 단계에서 활용할 수 있는 설계 원리 및 교수전략이 모형에 시각적으로 제시되어 있다는 점, 수업 모형의 세부 단계에 대해 예시가 있어 용이성이 높다는 점을 바탕으로 이해하기 쉬운 수업 모형으로 평가되었다.

다만 모형에서 다양한 개념어가 사용되고 있으므로 개념어에 대한 정의가 필요하다는 의견이 제시되었다. 특히 ‘과학 지식’, ‘프로그래밍 지식’

등에서 의미하는 지식의 정의는 무엇이며, CEE cycle, GEM cycle에 대한 설명을 추가할 것이 제안되었다. 2차 수업 모형 전반에 대한 2차 전문가 타당화 검토 의견의 수정 사항을 <표 IV-19>와 같이 정리하고, 이를 바탕으로 최종 수업 모형을 도출하는 데 참고하였다.

<표 IV-19> 2차 수업 모형에 대한 2차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항

항목	전문가 타당화 검토 의견	수정 사항
타당성	수업 모형에 사용된 개념어를 명료하게 정의할 필요가 있음	수업 모형에 사용된 개념어가 구체적인 의미를 갖도록 용어 수정
설명력	팀 구성 인원을 결정하는 것과 프로그래밍 수준을 결정하는 것은 별개의 범주로 제시하는 것을 권유함	팀 구성 인원 설정, 프로그래밍 개발 수준 설정을 별개의 범주로 제시함
종합	CEE cycle, GEM cycle 등에 대해 가시화가 필요하며 추가 설명이 필요함	수업 모형의 세부 단계별 설명에서 CEE cycle, GEM cycle에 대한 설명을 구체적으로 제시함

2) 2차 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 2차 전문가 타당화 결과

<표 IV-20>은 2차 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대해 전문가들이 응답한 점수의 평균, 표준편차, CVI, IRA 값을 나타낸 것이며, 자연수가 아닌 값은 소숫점 셋째 자리에서 반올림하여 계산된 값이다. 전문가들의 문항별 평가 점수는 [부록 4-2]에 수록하였다.

<표 IV-20> 2차 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 2차 전문가 타당화 결과

단계	세부 단계		평균	표준편차	CVI	IRA
분석 (Analysis)	학습자 분석	과학 지식 분석 — 지식수준 분석	3.71	0.45	1	1
		과학적 모형 수준 분석	3.71	0.45	1	
		프로그래밍 지식 분석 — 프로그래밍 지식 분석	3.57	0.49	1	
		프로그래밍 수준 분석	3.71	0.45	1	
	교육 환경 분석	네트워크 환경 파악	3.86	0.35	1	
		스마트 학습 환경 파악	3.86	0.35	1	
설계 (Design)	교수 목표 설정		3.71	0.45	1	1
	팀 구성 인원 및 시뮬레이션 개발 수준 설정		3.43	0.73	0.86	
시뮬레이션 구성 준비 (Preparation)	수업 안내		3.71	0.45	1	0.75
	VPython 소개 및 연습		3.86	0.35	1	
	시뮬레이션 주제 탐색		4	0	1	
	팀 구성		3.43	0.90	0.71	
시뮬레이션 개발 (Development)	시뮬레이션 주제 설정		3.71	0.70	0.86	1
	물리량, 개념, 이론 정교화		3.71	0.45	1	
	시뮬레이션 생성	단순한 것에서 복잡한 것으로 확장	4	0	1	
		CEE cycle	4	0	1	
시뮬레이션 평가 (Evaluation)	시뮬레이션 공유 및 발표		4	0	1	1
	피드백		3.86	0.35	1	
	수정		3.86	0.35	1	

2차 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 2차 전문가 타당화 의견으로는 수업 모형의 목적과 사용자의 범주를 명확하게 한 후 이를 일관된 내용으로 표현할 것, 팀 구성 방법에 대한 현실적인 방안을 고려해 볼 것, 수업 모형에 대한 검토 의견과 동일하게 수업 모형의 세부 단계별 설명에서 제시하고 있는 개념어에 대한 정의를 명확히 할 것 등이 제시되었다. 2차 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 2차 전문가 타당화 검토 의견의 수정 사항을 <표 IV-21>과 같이 정리하고, 이를 바탕으로 최종 수업 모형의 세부 단계별 설명을 도출하는 데 참고하였다.

<표 IV-21> 2차 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 2차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항

단계	전문가 타당화 검토 의견	수정 사항
분석 단계	표현 재검토 권장	‘내재화’, ‘개념’, 등의 표현을 재검토하여 적절한 개념어로 수정함
	프로그래밍 지식 분석과 프로그래밍 수준 분석의 의미가 잘 드러나지 않음	단계 명을 수정하여 교수자가 명확한 차이를 설명 및 예시 없이 이해할 수 있도록 수정함
설계 단계	팀 구성 인원 및 시뮬레이션 개발 수준 설정의 단계에 대한 검토 필요	팀 구성 인원 설정과 시뮬레이션 개발 수준 설정의 단계를 나누어서 제시함
시뮬레이션 구성 준비 단계	VPython에서 기본으로 제공하는 12개의 객체가 추후 업데이트됨에 따라 변동 가능성이 있는지 고려	기본으로 제공하는 객체의 개수 언급을 삭제
시뮬레이션 평가 단계	피드백의 순서를 제시하는 것을 권유함	교사 피드백, 동료 평가의 순으로 설명 및 예시를 수정함
	선행 문헌의 패러다임과 달리 최근 교육에서는 수정과 같이 교육의 결과보다는 과정을 중요시하는 경향을 보임. 최종 작품을 만드는 것이 학습의 직접적인 목표가 아니라면 완성을 강요할 필요는 없다고 판단됨	교수자가 수정 단계를 적용하거나, 반성 단계(Reflect) 단계를 적용할 수 있도록 수업 모형을 수정함

3) 2차 설계 원리 및 교수전략에 대한 2차 전문가 타당화 결과

<표 IV-22>는 2차 설계 원리 및 교수전략에 대해 전문가들이 응답한 점수의 평균, 표준편차, CVI, IRA 값을 나타낸 것이며, 자연수가 아닌 값은 소숫점 셋째 자리에서 반올림하여 계산된 값이다. 전문가들의 문항별 평가 점수는 [부록 4-3]에 수록하였다.

<표 IV-22> 2차 설계 원리 및 교수전략에 대한 2차 전문가 타당화 결과

설계 원리	교수전략	평균	표준편차	CVI	IRA
1	1.1	4	0	1	1
	1.1.1	3.86	0.35	1	
	1.1.2	3.57	0.73	0.86	
	1.1.3	4	0	1	
2	2.1	4	0	1	1
	2.1.1	4	0	1	
	2.1.2	3.86	0.35	1	
	2.1.3	4	0	1	
3	3.1	4	0	1	1
	3.1.1	3.86	0.35	1	
	3.1.2	4	0	1	
4	4.1	4	0	1	1
	4.1.1	3.86	0.35	1	
	4.1.2	3.71	0.70	0.86	
	4.1.3	4	0	1	
	4.2	4	0	1	
	4.2.1	4	0	1	
	4.2.2	4	0	1	
5	5.1	4	0	1	0.86
	5.1.1	4	0	1	
	5.1.2	4	0	1	
	5.1.3	4	0	1	
	5.2	4	0	1	
	5.2.1	3.29	0.88	0.71	
	5.2.2	3.57	0.73	0.86	

설계 원리	교수전략	평균	표준편차	CVI	IRA
6	6.1	4	0	1	1
	6.1.1	4	0	1	
	6.1.2	4	0	1	
	6.1.3	4	0	1	
	6.2	4	0	1	
	6.2.1	4	0	1	
	6.2.2	4	0	1	
	6.2.3	3.57	0.73	0.86	
7	7.1	4	0	1	1
	7.2	4	0	1	
	7.3	3.86	0.35	1	

2차 설계 원리 및 교수전략에 대한 2차 전문가 타당화 의견으로는 원리가 타당하지만, 수업 모형의 세부 단계를 고려했을 때 일반적인 교수자가 수업 현장에 적용하기 어려운 교수전략일 수 있다는 점, 설계 원리 및 교수전략을 보다 추상적이고 고차원적으로 제시할 것 등이 제시되었다. 2차 설계 원리 및 교수전략에 대한 2차 전문가 타당화 검토 의견의 수정 사항을 <표 IV-23>과 같이 정리하고, 이를 바탕으로 최종 설계 원리 및 교수전략을 도출하는 데 참고하였다.

<표 IV-23> 2차 설계 원리 및 교수전략에 대한 2차 전문가 타당화 검토 의견 및 수정 사항

설계 원리	전문가 타당화 검토 의견	수정 사항
1. 학습 초점의 원리	함양하고자 하는 능력의 우선순위를 생각해 볼 필요가 있음 목표를 다양하게 설정할 경우 평가도 다양해야 하며, 학습의 초점에서 벗어날 수도 있음	교수자가 함양하고자 하는 역량이 무엇인지 판단하여 학습이 이루어질 수 있도록 교수전략을 수정함
2. 수업 재구성의 원리	교수자가 수업을 위하여 형성평가, 질문지, 토론 등을 준비하고, 학습자가 내재화하고 있는 과학 지식, 정보 지식, 과학적 모형을 파악하는 것은 매우 이상적이거나, 다소 실현하기 어려울 것으로 예상됨	이상적인 상황과 실제 교수자의 수업 설계 상황을 고려하여 교수전략을 수정함

설계 원리	전문가 타당화 검토 의견	수정 사항
3. 환경 구성의 원리	교수자 행위와 학습자 행위가 혼재되어 있음	교수자가 참고할 수 있도록 교수전략과 예시 및 해설을 수정함
5. 팀 구성 및 상호작용 원리	팀 구성 인원을 설정하는 데 있어 너무 많은 전략이 제시되어 있으므로 이를 세분화할 필요가 있음	팀 구성 인원을 설정할 때 사용 가능한 전략을 세분화하여 교수전략을 제시함
	팀 구성에 해당 교수자 행위와 학습자 행위가 혼재되어 있음	교수자가 참고할 수 있도록 교수전략과 예시 및 해설을 수정함
	수업 모형의 세부 단계를 고려했을 때 교수자가 학습자의 성취 수준과 관심사를 모두 수업 현장에 고려하여 팀을 구성하기에는 무리가 있음	이상적인 상황과 실제 교수자의 수업 설계 상황을 고려하여 교수전략을 수정함
6. 스캐폴딩 제공의 원리	시뮬레이션을 코딩하는 데 생성형 AI를 활용하는 교수전략이 필요한 이유를 설명해 줄 것을 권유함	교수전략으로 생성형 AI를 활용하는 것에 대한 타당성을 예시 및 해설로 구체적으로 설명함

4) 2차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 2차 전문가 타당화 결과

<표 IV-24>는 2차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대해 전문가들이 응답한 점수의 평균, 표준편차, CVI, IRA 값을 나타낸 것이며, 자연수가 아닌 값은 소숫점 셋째 자리에서 반올림하여 계산된 값이다. 전문가들의 문항별 평가 점수는 [부록 4-4]에 수록하였다.

<표 IV-24> 2차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 2차 전문가 타당화 결과

항목	문항	평균	표준편차	CVI	IRA
1	1-1	3.57	0.73	0.86	1
	1-1-1	3.71	0.70	0.86	
	1-1-2	3.71	0.70	0.86	
	1-2	4	0	1	

항목	문항	평균	표준편차	CVI	IRA
	1-2-1	3.71	0.70	0.86	
	1-2-2	4	0	1	
	1-3	4	0	1	
	1-3-1	4	0	1	
2	2-1	3.71	0.70	0.86	1
	2-1-1	3.71	0.70	0.86	
	2-1-2	3.71	0.70	0.86	
	2-2	3.71	0.70	0.86	
	2-2-1	3.71	0.70	0.86	
	2-2-2	3.71	0.70	0.86	
3	3-1	4	0	1	1
	3-1-1	4	0	1	
	3-1-2	4	0	1	
	3-1-3	3.71	0.70	0.86	
	3-2	4	0	1	
	3-2-1	4	0	1	
	3-2-2	4	0	1	
4	4-1	4	0	1	1
	4-1-1	4	0	1	
	4-1-2	4	0	1	
5	5-1	4	0	1	1
	5-2	4	0	1	
	5-3	3.43	0.73	0.86	
	5-3-1	3.57	0.73	0.86	
	5-3-2	3.43	0.73	0.86	
	5-4	4	0	1	
	5-4-1	4	0	1	
6	6-1	3.86	0.35	1	1
	6-2	3.86	0.35	1	
	6-3	4	0	1	
	6-3-1	4	0	1	
	6-4	4	0	1	
	6-4-1	4	0	1	
	6-5	4	0	1	
7	7-1	4	0	1	1
	7-2	4	0	1	
	7-3	4	0	1	
	7-3-1	4	0	1	
	7-3-2	4	0	1	
	7-4	4	0	1	
	7-4-1	4	0	1	

항목	문항	평균	표준편차	CVI	IRA
	7-5	4	0	1	
	7-5-1	4	0	1	
	7-5-1-1	4	0	1	
	7-5-2	4	0	1	
	7-5-2-1	4	0	1	
	7-5-3	3.86	0.35	1	
	7-5-3-1	3.86	0.35	1	
	7-5-4	3.86	0.35	1	
	7-6	4	0	1	
	7-6-1	4	0	1	
	7-6-2	4	0	1	
	7-7	4	0	1	
8	8-1	3.71	0.45	1	1
	8-1-1	3.86	0.35	1	
	8-1-2	3.86	0.35	1	
	8-1-3	3.71	0.45	1	
	8-2	3.71	0.45	1	
	8-2-1	3.86	0.35	1	
	8-2-2	3.86	0.35	1	
	8-2-3	3.57	0.73	0.86	
	8-3	3.71	0.45	1	
	8-3-1	3.86	0.35	1	
	8-3-2	3.71	0.45	1	
	8-4	3.57	0.49	1	
	8-4-1	3.71	0.45	1	
9	9-1	3.86	0.35	1	1
	9-1-1	3.86	0.35	1	
	9-2	3.86	0.35	1	
	9-2-1	3.86	0.35	1	
	9-3	3.86	0.35	1	
	9-3-1	3.86	0.35	1	
	9-4	3.86	0.35	1	
	9-4-1	3.86	0.35	1	
	9-5	3.86	0.35	1	
	9-5-1	3.86	0.35	1	
	9-6	3.71	0.45	1	
10	9-6-1	3.71	0.45	1	1
	10-1	3.86	0.35	1	
	10-1-1	3.86	0.35	1	
	10-2	3.86	0.35	1	
	10-2-1	3.86	0.35	1	

항목	문항	평균	표준편차	CVI	IRA
	10-3	3.86	0.35	1	
	10-3-1	3.86	0.35	1	
	10-4	3.86	0.35	1	
	10-4-1	3.86	0.35	1	
11	11-1	3.71	0.45	1	1
12	12-1	3.86	0.35	1	1
	12-2	3.86	0.35	1	
	12-2-1	4	0	1	
	12-3	3.86	0.35	1	
	12-3-1	4	0	1	
	12-4	4	0	1	
	12-4-1	4	0	1	
13	13-1	4	0	1	1
	13-2	4	0	1	
	13-3	4	0	1	
	13-4	4	0	1	

2차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 2차 전문가 타당화 의견으로는 문항이 구체적이고 세부적인 것은 바람직하나 문항의 수가 너무 많으므로 학생의 집중력을 고려하여 문항 수를 적절히 조절할 것, 질문을 범주화한 것은 우수하나 이를 바탕으로 질문을 압축하여 제시할 것, 일부 문항에 대해서는 학생의 자기 보고식 검사 문항으로 구성하여 학생 심층 면담 시 집중적으로 분석할 수 있는 부분에 초점을 두고 인터뷰할 것이 제시되었다.

5) 2차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 2차 전문가 타당화 결과

<표 IV-25>는 2차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대해 전문가들이 응답한 점수의 평균, 표준편차, CVI, IRA 값을 나타낸 것이며, 자연수가 아닌 값은 소숫점 셋째 자리에서 반올림하여 계산된 값이다. 전문가들의 문항별 평가 점수는 [부록 4-5]에 수록하였다.

<표 IV-25> 2차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 2차 전문가 타당화 결과

문항	평균	표준편차	CVI	IRA
1	4	0	1	1
2	4	0	1	
3	4	0	1	
4	4	0	1	
5	4	0	1	
6	4	0	1	
7	4	0	1	
8	4	0	1	
9	4	0	1	
10	4	0	1	

본 연구에서 개발한 시뮬레이션 역량 검사 문항에 대한 전문가 타당화 결과 CVI와 IRA 값이 1로 타당한 것으로 확인되었다. 두 차례에 걸친 전문가 타당화 과정을 통해 타당도를 확보한 시뮬레이션 역량 검사 문항을 적절히 활용하여 수업 모형 적용 전후 설문조사 문항을 구성하였다.

3. 외적 타당화 결과

외적 타당화는 본 연구에서 개발한 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 실제 수업 현장에 적용해 봄으로써 수업 모형의 교육적 효과와 영향을 확인하고 외적 타당화 과정에서 수집된 개선 사항을 반영하여 최종 수업 모형과 최종 설계 원리 및 교수전략을 도출하고자 하는 목적을 가진다. 외적 타당화는 2차 수업 모형과 2차 설계 원리 및 교수전략을 바탕으로 설계된 수업을 X 과학영재 고등학교에 재학 중인 1~3학년 학생 중 연구 참여에 동의한 13명의 학생을 대상으로 적용하여 실시되었다.

외적 타당화에서 수집한 데이터는 수업 모형 적용 전 설문조사 결과, 수업 모형 적용 후 설문조사 결과, 수업 모형 적용 후 학생 인터뷰이다.

설문조사는 자기 보고 형식으로 진행되었으며, 객관식 문항은 5점 척도 (5: 매우 그렇다, 4: 그렇다, 3: 보통이다, 2: 그렇지 않다, 1: 매우 그렇지 않다) 또는 2점 척도로 응답하도록 하였고, 중복 응답 가능 문항과 주관식 문항을 활용하여 연구 참여자의 생각을 자유롭게 표현할 수 있도록 하였다. 학생 인터뷰는 미리 개발된 학생 인터뷰 질문지 문항을 면담자에게 출력물로 제공하여 문항을 보면서 생각할 수 있는 시간을 주었으며, 자유롭고 개방적인 환경에서 실시되었다. 외적 타당화 과정에서 수집한 데이터의 상세 내용은 <표 IV-26>과 같다.

<표 IV-26> 외적 타당화 과정에서 수집한 데이터

수집 방법	수집 내용
수업 모형 적용 전 설문조사	• 기본 문항 13개 • 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항 5개 • 과학과 핵심 역량 조사 문항 25개
수업 모형 적용 후 설문조사	• 기본 문항 5개 • 수업 경험 관련 문항 16개 • 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항 10개 • 과학과 핵심 역량 조사 문항 25개
학생 인터뷰	• 수업 참여 전 기대한 바 • 수업 참여 전 과학적 모형/시뮬레이션 관련 학생의 경험 또는 생각 • VPython 사용 경험 • 팀 구성 과정 및 협력 과정에 대한 경험 또는 생각 • 시뮬레이션 개발 과정에 대한 경험 또는 생각 • 발표 및 피드백 과정에 대한 경험 또는 생각 • 수업을 통해 함양된 역량에 대한 연구 참여자의 생각 • 수업 소감

가. 수업 모형 적용 전 설문조사 결과

수업 모형 적용 전 설문조사는 연구 참여자의 특성, 연구 참여자가 과학적 모형 및 시뮬레이션에 대해 가지고 있는 경험 또는 생각, 연구 참여자 스스로 본인을 어떻게 생각하고 있는지 등 출발점을 확인하고자 실시되었다. <표 IV-27>은 연구 참여자 13명의 수업 모형 적용 전 설문조사 응답에 대한 평균, 표준편차를 나타낸 것이며, 자연수가 아닌 값은 소숫점 셋째 자리에서 반올림하여 계산된 값이다.

<표 IV-27> 수업 모형 적용 전 설문조사 응답 결과($n = 13$)

문항	문항 번호	평균	표준 편차	문항	문항 번호	평균	표준 편차
기본 문항	1	4.62	0.49	과학적 사고력	19	4.23	0.70
	2	2.85	1.17		20	4.15	0.86
	3	3.54	0.63		21	4	0.88
	4	3.31	1.20		22	4.46	0.63
	6	4.15	0.36		23	3.54	0.93
	8*	1.38	0.49	과학적 탐구 능력	24	3.46	0.84
	9	4.23	0.70		25	3.54	0.75
	10	4.31	0.82		26	3	1.30
	11	4.23	0.58		27	4.15	0.53
	12*	2	0		28	4.08	0.62
	13*	2	0	과학적 문제 해결력	29	4.15	0.53
시뮬레이션 구성 역량 검사 문항	14	3.77	0.70		30	3.46	0.50
	15	4.38	0.62		31	4.15	0.66
	16	3.77	0.89		32	4.54	0.75
	17	3.08	0.92		33	4.08	0.47
	18	3.08	1.00	과학적 의사소통 능력	34	3.31	0.91
* 8, 12, 13번 문항은 2점 척도 문항 ** 5, 7번 문항은 주관식 문항					35	3.92	0.73
					36	4	0.68
					37	3.69	1.14
					38	3.69	0.82
					39	3	1.24
				과학적 참여와 평생학습 능력	40	4.31	0.61
					41	3.85	0.77
					42	3.77	1.12
					43	4.38	0.92

1) 수업 모형 적용 전 설문조사 응답 분석

과학적 모형은 복잡한 자연 현상을 단순화하여 나타내거나, 추상적인 과학 개념 및 이론을 구체적인 형태로 시각화하여 과학에 대한 이해와 설명을 돕는 데 활용된다. 하지만 문항 2번 ‘나는 과학 개념이나 이론을 이해하는 데 과학적 모형이 오히려 혼란을 주거나 불만족을 느낀 경험 있다.’에 대해 절반 이상인 7명의 연구 참여자가 3점 이상의 응답을 보였으며, 과학적 모형 사용에 대해 부정적인 경험이 있음을 표현하였다. 이는 기존에 연구 참여자가 경험한 과학적 모형이 교과서나 전공 서적, 연구 논문 등에서 제시하고 있는 텍스트나 그림 등 2차원적 표상의 한계로 인한 결과라고 해석할 수 있다(한형중, 2019; 한형중 & 임철일, 2020; Burke *et al.*, 1998). 과학은 학년이 올라감에 개념의 복잡성과 추상성이 증가하며, 따라서 학습에 요구되는 지식수준이 높아지고 고등 정신 능력을 필요로 한다(박선영, 2010; 성태제 외, 2012). 과학영재 학생이 학습하는 내용은 고등지식 수준이며, 추상적이고 복잡한 과학 개념 및 이론을 정적인 과학적 모형으로 이해하는 데 연구 참여자들이 불만족을 느낀 경험이 있었을 것으로 추측할 수 있다.

문항 1번과 문항 6번을 통해 연구 참여자들은 과학적 모형 및 시뮬레이션의 유용성에 대해서 긍정적인 반응을 보였으나, 문항 8번을 통해 연구 참여자들이 직접 시뮬레이션을 개발하고자 하는 시도가 거의 없었음이 확인되었다. 시뮬레이션을 직접 구성해 보고자 하는 시도가 거의 없었음에도 시뮬레이션 구성 역량 검사 5개 문항에 대해 모두 평균 3점을 넘는 것으로 보아, 연구 참여자들은 시뮬레이션 구성에 필요한 요소를 도출해 내고, 이를 코드로 구현하여 시뮬레이션을 구성할 수 있을 것이라는 긍정적인 태도를 보였다.

마지막으로 문항 12번과 13번을 통해 연구 참여자 13명 모두 수업에 참여하기 전에 VPython에 대해 들어본 적이 없다는 것을 확인할 수 있었다.

나. 수업 모형 적용 후 설문조사 결과

수업 모형 적용 후 설문조사는 연구 참여자가 수업에 참여하고 나서 느낀 점, 수업을 통해 변화한 생각, 연구 참여자 스스로 느끼는 역량 함양 정도 등을 확인하고자 실시되었다. 수업 모형 적용 후 설문조사는 연구 참여자 중 학습자 f를 제외한 12명이 참여하였다. <표 IV-28>은 연구 참여자 12명의 수업 모형 적용 후 설문조사 응답에 대한 평균, 표준편차를 나타낸 것이며, 자연수가 아닌 값은 소숫점 셋째 자리에서 반올림하여 계산된 값이다.

<표 IV-28> 수업 모형 적용 후 설문조사 응답 결과($n = 12$)

문항	문항 번호	평균	표준편차	문항	문항 번호	평균	표준편차
기본 문항	1	4.58	0.49	과학적 사고력	32	4.25	0.72
	2	4.42	0.49		33	4.17	0.55
	3	4.5	0.65		34	4.17	0.69
	4	4.5	0.5		35	4.5	0.65
	5	4.25	0.60		36	3.83	0.99
수업 경험 관련 문항	6	4.67	0.47	과학적 탐구 능력	37	3.92	0.49
	7	4.75	0.60		38	3.92	0.64
	8	4.83	0.37		39	3.25	1.09
	10	4.67	0.47		40	4.5	0.5
	11	4.42	0.76		41	4.5	0.65
	13*	1.25	0.43	과학적 문제 해결력	42	4.17	0.69
	15	4.17	0.69		43	4.42	0.76
시뮬레이션 구성 역량 검사 문항	18*	1.08	0.28		44	4.08	0.76
	22	4.42	0.64		45	4.58	0.49
	23	4.5	0.5		46	4.17	0.69
	24	4.5	0.5	과학적 의사소통 능력	47	4	1.08
	25	4.17	0.55		48	4.58	0.49
	26	4.5	0.5		49	3.92	0.76
	27	4.17	0.99		50	3.83	0.80
	28	4	0.82		51	4.08	0.64
	29	3.75	0.60	과학적 참여와 평생학습 능력	52	4	1
	30	4.5	0.65		53	4.42	0.64
	31	4.58	0.64		54	4.33	0.62
					55	4.08	0.86
					56	4.58	0.49

* 13, 18번 문항은 2점 척도 문항

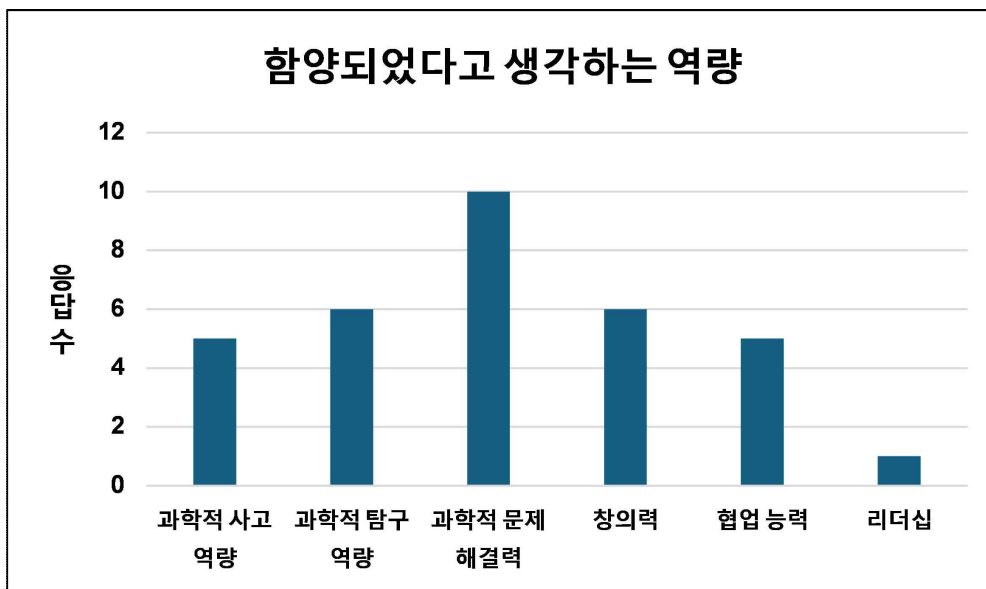
** 9, 12, 14, 16, 17, 19, 20, 21번 문항은 주관식 문항

1) 수업 모형 적용 후 설문조사 응답 분석

수업에 대한 학습 경험과 관련된 문항(6번, 12번, 13번, 14번, 15번)의 응답을 분석한 결과, 연구 참여자들은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업의 교육적 효과에 대해 긍정적인 반응을 보였다. 수업에 대한 학습 경험과 관련된 문항을 분석한 구체적인 내용은 다음과 같다.

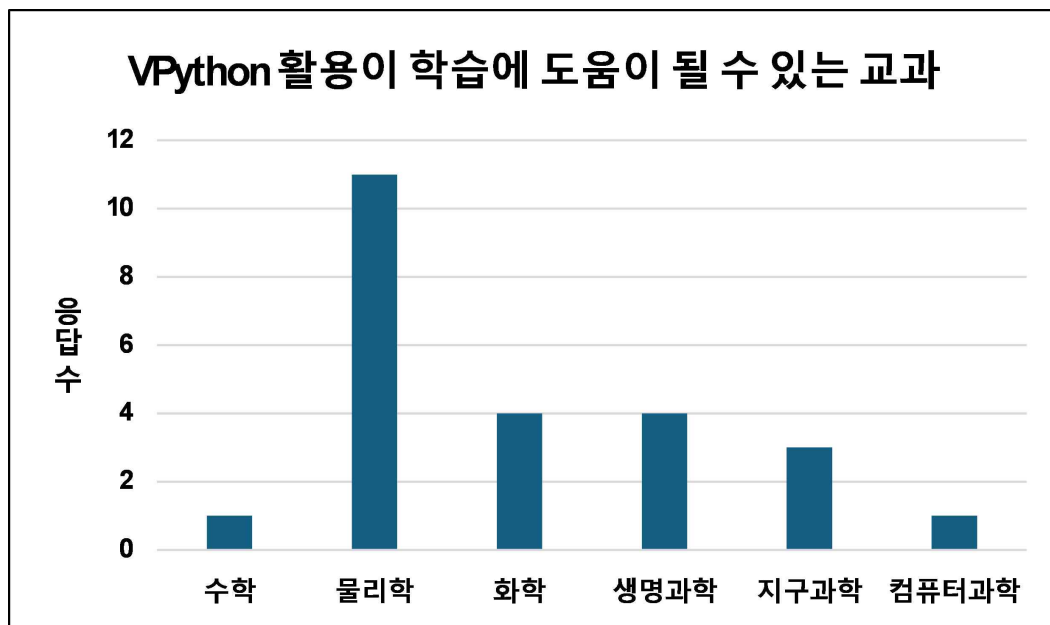
첫째, VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 경험을 통해 연구 참여자들은 과학적 모형으로써 시뮬레이션을 구성하고 이를 활용하는 것이 효과적이며, 과제연구 또는 R&E(Research and Education)와 같이 과학을 탐구하고 연구를 수행하는 분야에서 VPython을 활용하는 것이 유용할 것이라는 긍정적인 견해를 보였다.

둘째, VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 통해 연구 참여자들은 다양한 역량이 함양되었다는 응답을 보였다. 특히 과학적 문제 해결력이 함양되었다는 응답이 가장 많았으며, 그 외에 과학적 탐구 역량, 창의력, 과학적 사고력, 협업 능력이 향상되었다는 응답을 보였다. [그림 IV-3]은 복수 응답이 가능한 12번 문항에서 12명의 연구 참여자가 응답한 결과를 막대그래프로 나타낸 것이다.



[그림 IV-3] 연구 참여자가 수업을 통해 함양되었다고 응답한 역량($n = 12$)

셋째, 연구 참여자들은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업이 과학영재 고등학교 교육과정 내용을 학습하는 데 도움이 될 것이라는 견해를 보였다. 특히, 본 수업 모형을 개발하는 과정에서 VPython 관련 선행 문헌 검토를 수행할 때 물리교육 분야의 선행 문헌이 많았던 것과 유사한 경향으로, 거의 모든 연구 참여자가 VPython을 활용하는 것이 물리학 학습에 도움이 될 것이라고 도움이 될 것이라고 응답하였다. 물리학의 경우 Vpython을 활용하면 사고 과정만으로 이해하기 어려운 물체의 운동이나 자연 현상, 물리적 개념 등을 시뮬레이션으로 구현함으로써 이를 직관적으로 이해하는 데 도움이 될 것이라고 응답하였다. 또한 현실에서 구현하기 어려운 이상적 조건의 상황을 VPython 코드로 구현할 수 있으며, 전자기학(Electromagnetism)과 같이 실제 눈으로 관찰하기 어렵거나 삼체 문제(Three-body problem)와 같이 실험적으로 구현 불가능한 현상을 시뮬레이션으로 구현하여 시각화하는 것이 학습에 도움이 될 것이라는 견해를 보였다. [그림 IV-4]는 개방형 문항 14번에 대해 연구 참여자가 응답한 결과를 막대그래프로 나타낸 것이다.



[그림 IV-4] 연구 참여자가 VPython의 활용이 학습에 도움이 될 것으로 생각한 교과($n = 12$)

수업에 대한 정의적 영역과 관련된 문항(7~11번, 16~19번)의 응답을 분석한 결과, 연구 참여자들은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 전반에 대해 긍정적인 태도를 보였다. 연구 참여자들은 수업 전반에 대해 흥미를 갖고 집중하여 수업에 참여하였으며, 수업에 대한 만족도가 높은 것으로 나타났다. 특히 VPython을 활용하여 시뮬레이션을 개발하는 방법을 새롭게 알게 되어 앞으로도 교과 학습이나 연구 활동에서 이를 활용할 것이라는 확장성을 보였다. 또한 본 수업 모형은 학생 중심의 프로젝트 수업 모형을 기반으로 하고 있다. 이를 통해 연구 참여자는 구성하고자 하는 시뮬레이션 주제를 자율적으로 설정하는 과정에서 창의력을 발휘할 수 있고, 평소 관심을 가졌던 주제에 대해 시뮬레이션을 구성할 수 있다는 점에서 수업 구성 측면에 대한 긍정적인 반응을 보였다. 다만 연구 참여자들은 주어진 시간 내에 시뮬레이션을 완성해야 한다는 시간적 부담감을 느꼈으며, 과학적 연산 과정에서 필요한 행렬곱(Matrix multiplication)을 지원해 주는 Python의 NumPy 라이브러리가 Web VPython에서 지원되지 않는 것에 대해 아쉬운 반응을 보였다. 또한 2차 수업 모형을 적용하는 과정에서 ‘시뮬레이션 공유 및 발표’ 단계 이전에는 ‘시뮬레이션 생성’ 단계만 제시되어 있어 피드백 단계를 수업 설계에 고려하지 않았다. 이에 대하여 연구 참여자들은 시뮬레이션을 공유하고 발표하기 전에 동료 학습자들끼리 서로 피드백할 수 있는 시간을 가진다면 훨씬 더 완성도 높은 시뮬레이션을 구성할 수 있었을 것이라는 반응을 보였다.

다. 수업 모형 적용 전·후 설문조사 결과 통계 분석

통계 분석은 수업 모형 적용 전·후 공통 문항을 추출하여 두 설문조사에 모두 참여한 12명의 연구 참여자의 응답에 대해 수행하였다. 본 연구의 외적 타당화 분석 방법은 질적 연구를 기본으로 설계하였지만, 수업 모형 적용 전·후 설문조사 결과에 대한 통계 분석을 통해 수업 모형 적용에 대한 사전·사후 변화를 확인해 볼 수 있었다. 통계 분석은 IBM

SPSS Statistics 프로그램의 버전 29.0.2.0을 사용하였다. 이때 표본의 크기는 $n=12$ 로 매우 작으므로, Shapiro-Wilk 검정을 통해 정규성을 확인하고 검정 결과 p-value가 .05 이상 도출되어 정규성이 확인되었다고 하더라도, 이는 우연에 의한 결과일 가능성이 크다고 판단하였다(Nahm, 2016). 따라서 동일 집단 사전·사후 통계 분석은 Wilcoxon signed-rank 검정 방법을 활용하였다(Wilcoxon, 1945). 또한 수업 모형 적용 전·후 설문조사 문항을 구성하는 과정에서 공통 문항 내용의 문항 번호를 다르게 설정하였으므로, 통계 분석 수행이 용이하도록 항목별로 새롭게 문항 번호를 설정하였다. 통계 분석에 사용된 수업 모형 적용 전·후 설문조사의 공통 문항은 <표 IV-29>와 같다.

<표 IV-29> 수업 모형 적용 전·후 설문조사 공통 문항 및 통계 분석을 위해 새로 부여한 문항 번호

구분	번호	문항 내용	설문 문항 번호	
			사전	사후
기본 문항	1	나는 과학적 모형을 활용하여 과학 개념 및 이론을 이해하는 것이 효과적이라고 생각한다.	1	1
	2	나는 추상적인 이론이나 자연 현상에 대해 기존에 설명할 수 있는 모형이 없으면 스스로 과학적 모형을 만들 수 있다.	3	2
	3	나는 친구들과 협력하여 어려운 문제를 해결할 수 있다.	9	3
	4	나는 어려운 문제를 해결하는 과정에 도전 의식을 갖고 참여하는 것을 즐긴다.	10	4
	5	나는 새롭게 배운 개념, 이론, 기술 등을 적절한 방식으로 잘 활용한다.	11	5
시뮬레이션 구성 역량 검사 문항	1	나는 구성하고자 하는 시뮬레이션에 필요한 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성 등을 도출해 낼 수 있다.	14	22

구분	번호	문항 내용	설문 문항 번호	
			사전	사후
	2	나는 구성하고자 하는 시뮬레이션에 필요한 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성을 코드로 표현할 수 있다.	15	23
	3	나는 필요한 경우 스스로 시뮬레이션을 구성할 수 있다.	16	24
	4	나는 이미 개발된 시뮬레이션의 강점과 한계가 무엇인지 설명할 수 있다.	17	25
	5	나는 시뮬레이션을 활용하여 새로운 가설을 검증할 수 있다.	18	28
과학과 핵심 역량 조사 문항	1~5	과학적 사고력	19~23	32~36
	6~10	과학적 탐구 능력	24~28	37~41
	11~15	과학적 문제 해결력	29~33	42~46
	16~20	과학적 의사소통 능력	34~38	47~51
	21~25	과학적 참여와 평생학습 능력	39~43	52~56

1) 기본 문항에 대한 사전·사후 통계 분석 결과

Wilcoxon signed-rank 검정 결과는 <표 IV-30>과 같다.

<표 IV-30> 기본 문항에 대한 Wilcoxon signed-rank 검정 결과($n = 12$)

통계 분석	1	2	3	4	5
문항	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전
Z	.000**	-2.636*	-2.000*	-.816*	.000**
p-value	1.000	.008	.046	.414	1.000

* 음의 순위를 기준으로

** 음의 순위의 합계는 양의 순위의 합계와 같음

Wilcoxon signed-rank 검정 결과, 1번 문항과 5번 문항은 수업 모형 적용 전과 후 아무런 유의한 차이를 보이지 않았다. 즉, 연구 참여자들은 수업과 관계 없이 이미 과학적 모형에 대한 유용성은 인식하고 있었으며, 학습한 것을 잘 응용하고 있음이 확인되었다.

2번 문항과 3번 문항은 p-value가 .05보다 작아 유의한 차이가 있음이 확인되었으며, Z-value가 음의 순위를 기준으로 (-)값임을 바탕으로 사후 값이 사전 값보다 크다는 것이 확인되었다. 이는 VPython을 활용하여 연구 참여자가 직접 시뮬레이션을 구성해 보는 경험을 통해 스스로 과학적 모형 및 시뮬레이션을 개발할 수 있다는 자신감이 생겼다고 해석할 수 있으며, 그 과정에서 동료 학습자와의 협업 과정이 유의미했다고 해석할 수 있다.

2) 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 사전·사후 통계 분석 결과

Wilcoxon signed-rank 검정 결과는 <표 IV-31>과 같다.

<표 IV-31> 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항에 대한 Wilcoxon signed-rank 검정 결과($n = 12$)

통계 분석 문항	1	2	3	4	5
	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전
Z	-2.333*	-1.000*	-2.456*	-2.754*	-2.511*
p-value	.020	.317	.014	.006	.012

* 음의 순위를 기준으로

Wilcoxon signed-rank 검정 결과, 2번 문항은 p-value가 .05보다 크게 나와 수업 모형 적용 전과 후에 유의한 차이가 없음이 확인되었다.

2번 문항을 제외한 나머지 4개 문항에 대해서는 p-value가 .05보다 작아 유의한 차이가 있음이 확인되었으며, Z-value가 음의 순위를 기준으로 (-)값임을 바탕으로 사후 값이 사전 값보다 크다는 것이 확인되었다. 이는 연구 참여자들이 수업을 통해 시뮬레이션 구성을 위해 필요한 내용을 도출해 낼 수 있는 능력, 시뮬레이션을 구성할 수 있다는 자신감, 시뮬레이션의 강점과 한계점을 파악할 수 있는 능력, 시뮬레이션의 활용 능력 측면에서 역량이 향상되었다고 생각한다는 것으로 해석할 수 있다.

3) 과학과 핵심 역량 조사 문항에 대한 사전·사후 통계 분석 결과

Wilcoxon signed-rank 검정 결과는 <표 IV-32>와 같다.

<표 IV-32> 과학과 핵심 역량 조사 문항에 대한 Wilcoxon signed-rank 검정 결과($n = 12$)

통계 분석 문항	1	2	3	4	5
	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전
Z	.000**	.000**	-1.000*	.000**	-1.414*
p-value	1.000	1.000	.317	1.000	.157
통계 분석 문항	6	7	8	9	10
	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전
Z	-2.000*	-1.265*	-1.518*	-1.633*	-2.236*
p-value	.046	.206	.129	.102	.025
통계 분석 문항	11	12	13	14	15
	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전
Z	-0.378*	-2.420*	.000**	-0.447*	-0.447*
p-value	.705	.016	1.000	.655	.655
통계 분석 문항	16	17	18	19	20
	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전
Z	-1.189*	-2.271*	.000**	-0.447*	-1.732*
p-value	.235	.023	1.000	.655	.083
통계 분석 문항	21	22	23	24	25
	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전	사후-사전
Z	-2.428*	-0.447*	-1.292*	-1.890*	-1.134*
p-value	.015	.655	.196	.059	.257

* 음의 순위를 기준으로

** 음의 순위의 합계는 양의 순위의 합계와 같음

Wilcoxon signed-rank 검정 결과, 1번, 2번, 4번, 13번, 18번 문항은 수업 모형 적용 전과 후 아무런 유의한 차이를 보이지 않았다. 그 외에도 대부분의 문항에서 p-value가 .05보다 크므로 수업 모형 적용 전·후에 유의한 차이가 없음이 확인되었다. 본 연구는 과학영재 고등학생을 대상으로 실시되었기 때문에 수업 참여와 관계 없이 어느 정도 과학과 핵심 역량을 갖춘 학생으로 고려하여 연구 설계를 하였으며, 학생의 자기 보고식 검사로는 측정이 어려울 것이라 예상하였다. 즉, 통계 분석 결과 수업 모형 적용 전과 후 유의한 차이가 크게 없는 것은 연구 설계 과정에서 예상한 결과가 도출되었다고 해석할 수 있다.

하지만 과학적 탐구 능력 중 6번 문항과 10번 문항, 과학적 문제 해결력 중 12번 문항, 과학적 의사소통 능력 중 17번 문항, 과학적 참여와 평생학습 능력 중 21번 문항, 총 5개 문항에 대해서 p-value가 .05보다 작아 유의한 차이가 있음이 확인되었으며, Z-value가 음의 순위를 기준으로 (-)값임을 바탕으로 사후 값이 사전 값보다 크다는 것이 확인되었다. 수업 모형 적용 전·후 유의한 차이를 보인 과학과 핵심 역량 조사 문항의 구체적인 내용은 <표 IV-33>과 같다.

<표 IV-33> Wilcoxon signed-rank 검정 결과 유의한 차이를 보인 문항

번호	문항 내용
6	(과학적 탐구 능력) 나는 관찰이나 실험, 제작 등의 활동을 할 때 필요한 도구를 잘 다룬다.
10	(과학적 탐구 능력) 나는 과학 탐구의 결과를 통해 과학적 지식이나 의미를 잘 구성해 낸다.
12	(과학적 문제 해결력) 나는 조사나 실험 등으로 증거 자료를 잘 찾고 분석하여 과학적 문제를 해결한다.
17	(과학적 의사소통 능력) 나는 과학 지식이나 학습 결과물을 정보매체 프로그램을 사용하여 잘 표현한다.
21	(과학적 참여와 평생학습 능력) 나는 과학기술로 생기는 사회 문제와 그 해결 방안을 찾는 것에 관심이 많다.

연구 참여자들의 주관식 문항에 대한 답변을 살펴보면, 과학적 모형을 시각화하고 코딩을 통해 시뮬레이션을 구성할 수 있는 유용한 도구로 VPython을 인식하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 연구 참여자들은 시뮬레이션을 구성하는 과정에서 관련 과학 지식 및 이론을 탐색하고, 이를 탐구하여 연구 참여자 스스로 시뮬레이션을 개발해 보는 과정을 경험하였다. 이러한 수업 경험을 통해 연구 참여자들은 과학적 탐구 능력과 과학적 문제 해결력이 향상되었다고 생각한다는 것으로 해석할 수 있다. VPython을 활용하여 탐구한 과학 지식을 시각적으로 표현하는 학습 경험이 연구 참여자들에게 긍정적인 영향을 주었음이 확인되었다.

라. 수업 모형 적용 후 학생 인터뷰 결과

본 연구에 참여한 연구 참여자 13명 중 1인 1팀으로 시뮬레이션을 개발한 연구 참여자 1명과 2인 1팀으로 시뮬레이션을 개발한 연구 참여자 8명, 총 9명을 면담자로 선정하였고, 반구조화된 면담지를 활용하여 인터뷰를 수행하였다. 학생 인터뷰 질문지의 질문 문항은 두 차례의 전문가 타당화를 통해 문항의 타당도를 확보하였으며, 전문가의 피드백을 바탕으로 질문지 문항을 수정·보완하고, 질문 문항을 압축·재구조화하여 면담자가 30분 이내의 시간에 집중하여 인터뷰에 응할 수 있도록 하였다. 또한 미리 개발된 질문지를 면담자에게 출력물로 제공함으로써 인터뷰의 집중도를 높이고, 면담자의 생각과 의견을 수집하였다.

1) 면담자들의 연구 참여 목적 분석

먼저 면담자들의 수업에 참여하기 전 기대한 바를 파악하고, 본 수업 활동이 그 기대를 충족시켰는지 확인하였다. 또한 면담자들의 수업 참여 전 과학적 모형이나 시뮬레이션에 대한 경험과 생각 등을 파악하였다.

면담자들은 새로운 도구인 VPython을 학습하는 것에 대한 기대감, 수

업 자체에 대한 흥미와 호기심, 교과 학습이나 과학연구에 도움이 될 것 같다는 기대감으로 본 수업에 참여를 희망하였으며, 면담자 9명 모두 기대한 목적을 달성했다는 응답을 보였다. 특히 일부 면담자의 경우 본 수업에 참여하기 전 시뮬레이션을 개발해 본 경험이 있었으며, 그 과정에서 느꼈던 불편한 부분을 VPython이라는 도구를 통해 해결할 수 있을 것이라는 기대로 연구에 참여하였다. 또한 학습 도구로서 시뮬레이션을 활용하여 과학 개념이나 이론을 시각화하고, 이를 정교하게 이해하며, 타인에게 효과적으로 전달할 수 있을 것이라는 기대, 연구 도구로서 시뮬레이션을 활용하여 과학탐구를 수행할 수 있을 것이라는 기대 등을 보이며 과학의 ‘진정한 실행(authentic practice)’을 목표로 하는 태도도 보였다.

처음에는 잘 모르고 그냥 (호기심 때문에) 참여했는데, VPython을 알고 나서, 평소 제가 생각했던 것들을 다른 사람들에게 나눠줄 수 있겠구나 싶었어요. 다른 사람에게 잘 설명하는 능력을 함양할 수 있지 않을까, 그런 기대를 했어요. ... 그 (다른 사람에게 효과적으로 설명할 수 있는) 능력 함양이라는 목적 자체는 달성한 것 같아요. 남에게 자기 생각을 말로만 전달하는 건 한계가 있잖아요. 그래서 시각적으로 좀 더 직관적으로 와닿을 수 있도록 전달할 수 있을 것 같아요. (학습자 b)

시뮬레이션 같은 것을 (Pygame을 이용해서) 만든 적이 있었는데, 제가 사전 지식 없이 대충대충 만드니까, ... 3차원으로 좀 더 잘 만들 수 있는 게 있다는 게 신기해서 (수업에) 참여했어요. ... 이해 안 되는 게 있으면 (시뮬레이션을 활용하여) 좀 더 직관적으로 볼 수 있기도 하고, 인간이 증명하기 힘들거나 직접 풀기 힘든 것들을 탐구해 볼 때도 시뮬레이션을 사용하면 더 좋을 것 같아요. (학습자 c)

Python 실력을 기르고, VPython이라는 새로운 라이브러리를 써 보기 위해서 (참가했어요). ... (VPython) Documentation을 찾아보면서 라이브러리를 익히고 프로그램을 작성할 때 이용할 수 있는 능력을 길러서 (원하는 바를 달성했다고) 생각해요. ... (시뮬레이션은) 쉽게 와닿지 않는 모형이나 개념 같은 것을 눈으로 보기 쉽게 이해할 수 있게 해주는 게 (장점이라고 생각해요). (학습자 i)

작년에 Pygame을 통해 어떠한 움직이는 것들을 만들었는데, 좀 더 간단하고 직관적으로 쉽게 시뮬레이션을 만들 수 있는 VPython에 대해 배워보고 싶어서 (참여했어요). ... 잘 모르는 새로운 라이브러리에 대해 스스로 찾아보고 알아냄으로써 원하는 바를 이룬 것 같습니다. ... (시뮬레이션은) 직관적이지 않은 개념을 쉽게 이해할 수 있게 잘 도와주는 것 같아요. (학습자 j)

수업 시간에 배웠던 이론적인 개념들을 시뮬레이션으로 시각화하고 더 이해를 도울 수 있을 것이라는 기대로 수업에 참여하게 되었습니다. ... VPython을 (이 수업으로) 어떻게 사용하는지 충분히 익힌 것 같고, 프로젝트를 하면서 시뮬레이션을 직접 만들어 보는 기회가 있어서 좋았어요. ... 영상자료나 그림같이 정적이고 저희가 뭔가를 유동적으로 바꿀 수 없는 것들이 많은데, 시뮬레이션은 직접 체험할 수 있고 상호 작용하면서 몰입할 수 있는 장점이 있는 것 같습니다. (학습자 l)

2) 면담자들의 시뮬레이션 학습에 대한 요구 분석 및 수업 모형의 교육적 효과

본 수업에 참여하기 전 일부 연구 참여자들은 시뮬레이션을 통한 학습 경험이 있었다. 초등학교 또는 중학교 때 학교 선생님들을 통해서 자바 실험실과 같은 교육용 시뮬레이션 온라인 플랫폼을 경험해 본 연구 참여자도 있었고, 스스로 온라인 검색을 통해 PhET 시뮬레이션 플랫폼을 경험해 본 연구 참여자도 있었다. 또한 X 과학영재 고등학교의 수업 및 연구 활동 등에서 분자 모형을 시각화한 프로그램, 유체의 유동 현상을 시뮬레이션으로 구현할 수 있는 CFD(Computational Fluid Dynamics), Algoryx Simulation AB에서 개발한 2D 물리 엔진을 구현할 수 있는 Algodoo 등의 시뮬레이션 프로그램을 경험해 본 연구 참여자도 있었다. 그 외에도 Python의 Pygame 라이브러리를 활용해 보거나, 2D 및 3D 개발 환경을 제공하는 게임 엔진인 Unity를 이용해 본 연구 참여자도 있었다. 일부 연구 참여자들은 자기 주도적으로 또는 교과 수업, 실험 수업 및 연구 활동 등을 통해 시뮬레이션을 사용해 보거나 개발해 본 경험이 있었다.

시뮬레이션 사용 경험 및 개발 경험의 유무와 관계 없이 면담자들을 대상으로 시뮬레이션과 관련된 학습에 대한 요구 분석 결과 면담자 9명 모두 과학적 시뮬레이션을 구성하는 수업에 대한 요구를 보였으며, 본 수업을 통해 VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 구성할 수 있다는 자신감을 보였다. 시뮬레이션 경험이 없는 면담자들은 본 수업에 참여하기 전 시뮬레이션을 개발하는 방법 자체에 대해 알지 못하였으나, 수업을 통해 쉽게 개발할 수 있는 도구를 알게 된 점에 대해 긍정적인 반응을 보였다.

간단한 시뮬레이션은 만들 수 있다고 생각했습니다. ... 숫자로 나오는 건 해봤는데, (그것을) 시각화하는 방법을 몰라서 (시뮬레이션을 만드는 건) 못 했어요. 이 수업을 통해 (시뮬레이션 구성을) 할 수 있다는 느낌을 받았고, (앞으로) 여러 번 해볼 것 같습니다. (학습자 d)

이중 진자 모형, 이런 거는 유튜브에서 많이 보이던데, 약간 (나도 시뮬레이션을 구성) '할 수 있겠지'하고, (만드는 법을 몰라서) 실제로 해보지는 않았어요. ... 실제로 (시뮬레이션을 구성) 해보니까 코딩에 가깝다, 그래서 할 수 있을 것 같다는 느낌을 받았습니다. (학습자 g)

아무래도 그런 (시뮬레이션을) 만드는 것 자체가 상당히 복잡할 것 같고, 그래서 약간 제가 하기에는 무리가 있을 것 같아서 (개발할 생각을 하지 않았어요). ... (지금) 좀 더 어렵거나 좀 더 다채롭게 (시뮬레이션을) 만들 수 있을 것 같아요. (학습자 h)

(시뮬레이션 개발할 생각을) 해본 적은 없고, 약간 제 지식이 부족하다는 생각도 있었고, ... 제가 만들지 않아도 '누군가는 만들지 않을까'라고 생각했던 것 같아요. ... 저도 이제 만드는 방법 중 한 가지를 알게 되었고, ... 다양한 용도로 사용할 수 있다고 생각해요. (학습자 k)

일단 시뮬레이션을 개발할 수 있는 도구 자체를 알지 못했고, 코딩에는 별로 자신이 없어서, ... 이런 게 있으면 좋겠다고 생각했지만, 개발해 볼 생각은 하지 않았습니다. ... 원래 기술적으로 어떻게 하는지 몰라서 지금까지 못 했기 때문에, 이제는 알게 되었으니까 만들 수 있을 것 같아요. (학습자 l)

시뮬레이션 경험이 있는 면담자들은 기존에 사용해 본 시뮬레이션 개발 도구에 비해 3차원으로 시각화하기 쉽고, 코드 작성이 쉽다는 점에서 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에 대한 긍정적인 요구를 보였다.

창의적인 사고를 할 수 있는 영재들을 뽑아왔으면 ... 필수 과목이나 선택 심화 과목을 들으며 자신의 진로를 찾아가는 것도 좋다고 생각하는데, 이런 VPython을 통해 무언가를 자기가 직접 만들어 보거나, 다른 인터넷에 있는 수많은 자료를 공부하면서 사회에서 진짜 쓰이는 (VPython과 같이 활용할 수 있는) 이런 것들을 지금부터 학습해 나가는 게 굉장히 저는 좀 더 의미 있다고 생각하거든요. (학습자 b)

저는 그냥 조금씩 (시뮬레이션을) 개발해 봤는데, 간단한 것밖에 개발 못 해서 ... 물리 시뮬레이터 만들 때 3차원이 안 돼서 불편한 점이 많았는데 (VPython을) 좀 많이 사용할 것 같아요. (학습자 c)

옛날에 게임 엔진 Unity 같은 것을 독학한 것이 있어서. 거기서 물리 엔진이 완성되어 있으니까, 그런 걸로 간단히 만들어 볼 수 있겠다는 생각을 해본 적은 있어요. ... (물방울 시뮬레이션에 대해) Unity는 3차원으로 구현한 선례가 없어요. ... 비교적 간단한 시뮬레이션 같은 것을 (개발할 때) VPython을 사용하면 좋을 것 같아요. (학습자 i)

2차원에서 작동하는 물리 엔진 Algodoo라는 프로그램이 있는데, 그 프로그램을 사용해서 광학 실험이나 시뮬레이션을 만들어 본 적이 있습니다. ... (VPython으로) 미리 간단히 만들어 보고, 나중에 더 복잡한 시뮬레이션을 만들기 전에 활용해 보면 좋을 것 같아요. (학습자 j)

3) 면담자들의 사용 경험에 대한 VPython의 장점 및 단점

VPython은 Visual 모듈을 통해 3차원 객체를 쉽게 생성할 수 있고 3차원 디스플레이를 생성하여 쉽게 시각화할 수 있으며, Python 언어를 기반으로 학습이 쉽다는 장점이 여러 연구를 통해 보고되었다(윤정은, 2022; 이종완 & 송창근, 2013; Sherer *et al.*, 2000). VPython과 관련된 교육 분야 연구에서는 VPython의 장점만을 제시하고 있으며, VPython의 단점은 제시하지 않았다. 따라서 본 연구를 통해 면담자들이 사용하면서 느꼈던 VPython의 장점 및 단점을 분석해 보았다.

면담자들이 가장 큰 불편함으로 지적했던 Web VPython의 단점으로는 Python의 가장 큰 장점인 모듈 import 기능에 제한이 있다는 점이였다. 현재 Web VPython 3.2에서는 NumPy 라이브러리와 Pandas 라이브러리의 import가 지원되지 않는다(Chabay & Sherwood, 2023). 또한 math 라이브러리를 import 하면 오류가 발생하며 VPython 코드가 실행되지 않는다. 하지만 Web VPython에서는 math 라이브러리를 import 하지 않아도 <표 II-1>과 <표 II-2>에서 정리했듯이 다양한 벡터 연산과 math 함수를 활용할 수 있다. 그 외에도 Web VPython에서 지원하는 다양한 기능을 VPython Documentation(Chabay & Sherwood, 2023)에서 찾아서 활용할 수 있다. 2차 수업 모형과 2차 설계 원리 및 교수전략을 수정하여 최종 수업 모형과 최종 설계 원리 및 교수전략을 도출할 때 VPython Documentation을 학습자가 전략적으로 사용하도록 하고, 면담자들이 느꼈던 불편함을 최소화할 수 있도록 관련 내용을 추가하였다. 그 외에도 면담자들이 지적한 Web VPython의 장점 및 단점을 <표 IV-34>와 같이 정리하였다.

<표 IV-34> VPython의 장점 및 단점

항목	장점	단점
코드 작성 관련	• 변수(Variable) 설정이 매우 편리함 • 벡터를 사용하여 3차원 객체의 위치, 움직임 등의 변수 설정이 가능함 • 코딩 길이가 길지 않고, 짧은 코드 수로 시각화 가능 • Python 기반으로 코딩하는 과정이 어렵지 않고, 따로 프로그래밍 언어를 공부하지 않아도 됨 • 코드가 단순하고 직관적임 • 코드를 읽고 이해하기 편함 • 모듈 내에서 3차원 디스플레이와 3차원 객체가 코드로 구현됨	• Web VPython과 VS Code 환경에서 서로 코드가 호환되지 않음 • Web VPython에서 import 할 수 있는 모듈(Module)에 제약이 있음
사용 환경 관련	• 다른 시뮬레이션과 달리 3차원으로 시점 이동, 시점 회전, 확대 및 축소할 수 있으며, 이를 통해 다양한 시점으로 시뮬레이션 관찰 가능 • 그래프나 도표로도 시뮬레이션의 시각화 가능 • API가 간단함 • 웹 브라우저에서 쉽게 실행 가능 • 실행 버튼만 누르면 작성한 코드가 3차원으로 시각화되어 바로 관찰 가능	• 3차원 디스플레이에 x, y, z 축에 대한 척도나 수치가 보이지 않아 3차원 객체의 위치를 정교하게 설정하기 불편함 • 작동하고자 하는 객체의 수가 많아지면 실행 속도가 느려짐
개발 환경 관련	• 창의적이고 개인의 요구를 충족시킬 수 있는 다양한 시뮬레이션 개발 가능 • 코드를 링크로 공유할 수 있음	• 여러 명이 동시에 같은 코드 작업 창에서 코드 작성이 불가능

4) VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업의 단계별 면담자 반응 분석

본 연구에서 개발한 수업 모형은 학생 중심의 프로젝트 기반 수업을 바탕으로 한 과학-정보 융합 수업으로, 팀을 적절하게 구성하는 것과 학생 중심의 프로젝트를 수행할 수 있는 시간을 적절하게 설정하는 것이 중요하다. 따라서 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업의 2차 수업 모형을 바탕으로 설계된 수업의 단계별 활동 중 팀 구성 방식과 팀 구성 인원, 시뮬레이션 생성에 소요된 시간에 대해 면담자들의 반응을 심층적으로 분석하였고, 응답을 바탕으로 최종 수업 모형과 최종 설계 원리 및 교수전략을 수정하였다.

① 팀 구성 방식에 관한 면담자 반응 분석

본 연구에서 개발한 수업 모형을 바탕으로 설계된 수업에서 학습자 개인별로 시뮬레이션 주제 탐색이 이루어진 후, 이를 공유하고 관심 있는 주제별로 연구 참여자들이 팀을 구성하도록 하였다. 면담자들은 ‘개인별 시뮬레이션 주제 탐색 - 탐색한 주제 공유 - 팀 구성’의 과정에 대해 매우 긍정적인 반응을 보였다. 탐색한 시뮬레이션 주제를 공유함으로써 친구들의 다양하고 창의적인 아이디어를 살펴볼 수 있고 자신이 생각하지 못한 부분으로 사고를 확장할 수 있다는 점, 공유된 주제나 아이디어도 여러 사람의 관점을 통해 바라보면 새로운 시각이 생긴다거나 더 좋은 방향으로 수정될 수 있다는 점, 자신과 비슷한 관심사를 가지고 있는 친구들을 알 수 있다는 점 등에서 면담자들은 수업 모형의 해당 단계를 긍정적으로 평가하였다.

모든 사람이 어떤 목적으로 VPython이라는 도구를 사용하려는지 알 수 있어서 좋았고, 뜻이 맞는 친구랑 같이 팀을 하게 되는 게 좋았던 것 같습니다. (학습자 b)

제 주제에 관심 있는 사람을 알 수 있었고, 제가 누구한테 관심 있는지 알려줄 수 있어서 좀 더 팀을 짜는 데 수월했어요. (학습자 c)

저 스스로 좋은 주제를 생각하지 못했는데, 좋은 주제를 생각해 주는 친구를 만나서 같이 옆에서 (시뮬레이션 구성을) 도와줄 수 있다는 사실이 좋았어요. (학습자 g)

아이디어 기반으로 서로 비슷한 걸 만들어 보고자 하는 친구들끼리 팀을 했던 게 좋았던 것 같아요. (학습자 i)

팀을 먼저 정하지 않고, 각자 아이디어를 한 번씩 내보게 해서, ... 아이디어를 내보면 다른 사람의 아이디어가 다르게 보일 수도 있어서 (좋았어요.) (학습자 j)

제가 생각하지 않았던 새로운 주제들에 대해서도 ‘이거 좋은데’하고 탐구할 수 있는데 ... 주제를 공유한다는 점에서 새로운 주제를 탐구할 수 있고, 새로운 만남을 통해서 지식을 공유할 기회도 많아지는 점에서 좋은 것 같아요. (학습자 k)

만약 혼자서 각자 주제를 정하라고 하면 생각이 안 나는 친구들도 있는데, 다른 친구들의 좋은 아이디어를 보고 그 팀에 들어감으로써 같이 참여할 수 있어서 주제 선택의 폭이 넓어서 좋았어요. (학습자 l)

일부 면담자들은 해당 과정에 대해 약간의 우려를 보이기도 하였다.

자기에게 관심 있는 사람이 바로 보이니까, 상처받는 친구가 있을 수도 있을 것 같아요. (학습자 b)

제 주제에 관심 있는 사람이 있었는데, 제가 다른 주제에 관심 가지니까 그 친구랑 팀을 못 하는 게 살짝 마음에 걸렸어요. (학습자 c)

좋긴 했는데, 시작할 때 (모르는 친구나 다른 학년이 같이 있어서) 약간 어색했어요. (학습자 d)

자기가 좀 더 실력 있고 잘한다고 생각하면 혼자서 해도 되는 거니까. 자율적으로 하고 싶은 대로 하는 게 (좋은 것 같아요.) (학습자 h)

② 팀 구성 인원 에 관한 면담자 반응 분석

본 연구의 외적 타당화 과정에서 13명의 연구 참여자 중 5명은 1인 1팀, 나머지 8명은 2인 1팀을 구성하여 과학적 시뮬레이션을 구성하였다. 팀 구성 인원 에 대해서는 2인 1팀이 적절하다는 응답이 많았으며, 그 외에도 다양한 의견이 제시되었다. 2인 1팀이 적절하다는 의견으로는 코드를 협업하여 작성하는데 2명이 적절하다는 점, 협동학습 과정에서 한 조의 구성원이 3명 이상만 되어도 일부 친구들은 협업하지 않고 무임승차하는 과거의 부정적 경험 등을 언급하였다.

3명 이상이 되면 코드를 함께 짜기 힘들어요. 그래서 2명 정도가 적당하다고 생각해요. ... (생성형 AI를 사용하지 않았는데) 생성형 AI를 쓰면 그냥 사람 1명이 더 늘어나는 것과 같아 2명이 (코드를) 짜는 게 좋았어요. (학습자 d)

2인 1팀이 적당하다고 생각해요. 연구 같은 걸 해보면 알지만, 3명 이상 연구하면 2명만 있어도 충분하다는 느낌을 받았거든요. 3명이 되면 (1명 정도는) 놀기 시작하는 거죠. (학습자 g)

(시뮬레이션 코드) 개발 면에서는 1인이 나올 수 있긴 한데, 사실 학교 수업은 서로 같이 아이디어를 공유하고 개선점에 대해서 팀 내부에서 피드백을 서로 주면서 하는 게 1인 1팀보다는 더 나올 것 같다고 생각해서, 2인 1팀이 적당하다고 생각했습니다. (학습자 j)

(VPython뿐만 아니라) Python 자체가 코드를 공유하기 약간 불편한 환경이라서 사람이 너무 많으면 오히려 다양한 의견을 빠르게 반영하기가 힘들 것 같고, 1명인 것보다 2명인 게 다양한 아이디어를 모아 집약적으로 (시뮬레이션을) 만들 수 있으니까. 그런 점에서 2인 1팀이 적당하다고 생각합니다. (학습자 k)

하지만 그 외에도 생성하고자 하는 시뮬레이션의 수준 및 개수에 따라 팀 구성 인원을 조절해야 한다는 의견, Web VPython 사이트 자체에서 클라우드를 통해 코드 공유는 가능하지만, 같은 코드 작업 창에서 코드를 작성할 수 없다는 점을 들어 2인 1팀 외에 추가 의견도 제시되었다.

(시뮬레이션 구성) 기간이랑 만들어야 하는 산출물의 질, 개수 등에 따라서 (팀 구성 인원은) 영향을 많이 받을 것 같아요. 저는 2인 1팀이라서 ... 한 사람이 (시뮬레이션 구성을) 다 기획하고 코드 작성하기에는 심적으로 부담이 많이 될 것 같아요. ... 분업해서 잘할 수 있는 정도면 저는 2~3인 정도가 적당하다고 생각해요. (학습자 b)

기간 자체가 길지 않고 좀 그럴듯한 커다란 산출물 하나를 만들려면 4명 정도 필요할 것 같습니다. 4명도 전부 다 코딩을 잘하는 것도 아니고, 못 하는 사람을 좀 보완하려면 4명 정도 있어야 서로 보완해 줄 수 있을 것 같아요. (학습자 c)

VPython 코딩하는 사이트는 협업 기능이 없어서 여럿이 코드를 쓰려면 조금 불편한 점이 생기기 때문에 1인 1팀이 나올 것으로 생각했어요. (학습자 i)

③ 시뮬레이션 생성 단계에 관한 면담자 반응 분석

본 수업에서 ‘시뮬레이션 생성’ 단계는 5차시부터 8차시까지 총 4개 차시로 구성되었다. 연구 참여자들은 팀원과 의사소통하여 구성하고자 하는 시뮬레이션 주제를 설정하고, 시뮬레이션 구성에 필요한 내용을 정교화하는 단계를 거친 후, ‘시뮬레이션 생성’ 단계에서 VPython을 활용하여 시뮬레이션을 개발하였다.

학생 인터뷰를 통해 면담자들이 시뮬레이션을 생성하는 과정에서 사용한 전략을 분석하고, VPython 코드를 작성하여 과학적 시뮬레이션을 생성하는 데 요구되는 수업 차시를 파악하였다. 본 연구에서 개발한 수업 모형의 ‘시뮬레이션 생성’ 단계는 교수 설계자가 학습자 분석을 통해 설정한 교수 목표, 시뮬레이션 구성 수준, 팀 구성 인원 등을 종합하여 수업 차시를 적절하게 조절할 수 있도록 수업 설계의 자유도를 부여하였다. 단, 교수 설계자에게 대략적인 수업 차시에 대한 가이드라인을 제시하기 위하여 면담자들을 대상으로 시뮬레이션 생성 단계에서 활용한 전략을 파악하고, 수업 차시에 대한 요구를 분석하였다.

면담자들이 활용한 시뮬레이션 생성 전략은 면담자들이 개발하고자 하는 시뮬레이션 주제에 따라 <표 IV-35>와 같이 다양한 양상으로 나타났다.

<표 IV-35> 시뮬레이션 생성 과정에 사용한 면담자들의 전략

항목	시뮬레이션 생성 전략
코딩 전략	• 일부 물리량, 구성 요소 등을 상수(Constant)로 단순화 • Python의 Class를 활용하여 객체 지향 프로그래밍(OOP; Object-Oriented Programming)으로 코드 작성 • 간단한 부분을 먼저 작업하고 점차 복잡한 것으로 확장 • CEE cycle(Coding - Execution - Evaluation)을 활용하여 코드를 실행하고 결과를 확인하면서 수정하는 과정을 반복
시각화 전략	• 프레임 레이트(Frame rate)를 적절하게 조절 • 시뮬레이션 구성으로 표현하고자 하는 것을 실제 크기 비율이 아닌, 시각적으로 적절한 크기로 조절
협업 전략	• 팀원과 협업하기 위해 로드맵 작성 • 생성형 AI 사용

면담자들이 사용한 전략 중 생성형 AI를 사용하는 전략은 면담자마다 의견이 다르게 나타났다. 일부 면담자들은 생성형 AI를 유용하게 사용하였으나, 일부 면담자들은 생성형 AI를 전혀 사용하지 않았다. 생성형 AI를 활용하는 것에 대해 면담자들의 의견은 <표 IV-36>과 같다.

<표 IV-36> 생성형 AI에 대한 면담자들의 긍정 의견과 부정 의견

긍정 의견	부정 의견
• 생성형 AI가 시뮬레이션 코드의 골자를 작성하는 데 도움이 됨 • 코드에서 발생한 오류를 찾고, 이를 수정하는 데 도움이 됨	• 생성형 AI를 신뢰하지 않음 • 생성형 AI의 결과물은 부정확하다고 생각함 • 생성형 AI는 입력한 내용을 잘못 이해하는 경우가 많고, 원하는 것과 다른 결과물을 출력함 • 코딩 실력을 기르는 데 방해됨 • 코드를 합치는 과정에서 인원이 증가하면 잘 안 맞는 경우가 생기며, 생성형 AI의 사용은 인원이 증가하는 것과 동일한 효과임

본 수업 모형에서 ‘시뮬레이션 생성’ 단계는 ‘X개 차시’로 제시하여 교수 설계자의 재량에 따라 수업 차시를 조절할 수 있도록 구성하였으며, 외적 타당화 과정에서는 해당 단계를 4차시로 구성하였다. 면담자들은 이에 대해 적당하다는 의견, 또는 1~2개 차시 정도를 추가했으면 좋겠다는 의견을 제시하였다. ‘시뮬레이션 생성’ 단계의 적절한 차시는 교수 설계자의 교수 목적, 학습자 수준, 시뮬레이션 구성 수준, 팀 구성 인원, 학습자에게 함양하고자 하는 역량 등 다양한 요인에 의해 조절되겠지만, 본 연구에 참여한 면담자들의 응답을 살펴보면 대략 4~6개 차시가 적절한 차시라고 판단된다.

(시뮬레이션 생성하는 시간은) 구현하고자 하는 (시뮬레이션에 따라) 난이도가 너무 많이 달라져서 ... (학습자 b)

저희는 시간이 딱 맞긴 했는데, 계획대로 착착 된 케이스여서. (시간을 더 준다면) 3시간 정도. (학습자 d)

저는 주제만 잘 잡히면 딱 이 정도 시간이 적당하다고 생각해요. 주제가 명확하게 잡히고 나서는 꽤 빠르게 (시뮬레이션 생성 작업이) 진행되었어요. (학습자 g)

저는 (4개 차시가) 괜찮았어요. 왜냐하면 기본적인 것들을 만드는 데는 별로 (시간이) 안 걸렸고, 나머지 시간 동안 계속 디테일적인 부분을 좀 추가하는 일이라서. (학습자 h)

팀 주제와 그 성향에 따라 좀 편차가 클 것 같아서. 저는 그냥 이 정도가 적절한데, 혹시 추가로 약간 스케일이 큰 걸 만들고 싶은 친구들은 각자 시간을 할애해서 하는 것이 적절하다고 생각합니다. (학습자 l)

5) VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업이 함양시킬 수 있는 역량 분석

학생 인터뷰를 통해서 본 수업 모형이 길러줄 수 있는 역량을 심층적으로 분석해 보았다. 본 수업 모형을 통해 과학과 핵심 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력, 시뮬레이션 구성 역량, 그 외 창의성과 같은 인지적 영역, 끈기나 인내와 같은 정의적 영역의 능력을 길러줄 수 있을 것으로 기대하였다. 수업 모형 적용 전·후 설문조사를 통해서도 연구 참여자가 느낀 함양된 역량에 대해 분석하였으나, 수업 모형의 교육적 효과를 심층적으로 분석하기 위해 면담자들을 대상으로 인터뷰를 수행하였다.

① 과학과 핵심 역량 함양에 관한 면담자 반응 분석

수업 모형 적용 후 설문조사 중 복수 응답이 가능한 12번 문항을 통해 연구 참여자들이 함양되었다고 느낀 과학과 핵심 역량은 [그림 IV-3]과 같다. 수업 모형 적용 후 설문조사에서는 과학과 핵심 역량 중 과학적 의사소통 능력과 과학적 참여 및 평생학습 능력에 대해 함양되었다는 응답을 전혀 하지 않았다. 하지만 학생 인터뷰를 통해 과학과 핵심 역량을 심층 분석한 결과, 면담자들은 다양한 과학과 핵심 역량이 함양되었다고 느꼈으며, 수업 모형 적용 후 설문조사 응답에서 나오지 않았던 과학적 의사소통 능력과 과학적 참여 및 평생학습 능력도 함양되었다는 반응을 보였다. <표 IV-37>은 과학과 핵심 역량 함양에 관한 면담자들의 응답을 정리한 것이다.

<표 IV-37> 과학과 핵심 역량에 관한 면담자들의 응답

역량	면담자 응답 정리
과학적 사고력	· 시뮬레이션을 구성하기 위해 프로그래밍 언어로 코드를 작성하는 과정에서 사고력이 길러졌다. · 실험값을 컴퓨터로 옮기고, 이론을 바탕으로 시뮬레이션을 구성하는 과정에서 사고력이 많이 향상되었다.

역량	면담자 응답 정리
과학적 탐구 능력	• 코드를 작성할 때 코드가 작동하는 메커니즘 자체를 이해해야 하므로, 메커니즘을 알아내는 탐구 능력이 길러졌다. • 시뮬레이션을 구성하기 위해서는 관련 이론을 알기만 하는 것에서 더 나아가, 어떤 점이 필요하고 어떤 점을 개선해야 하는지 등 다양한 탐색이 이루어지므로 그 과정에서 탐구 능력이 길러졌다.
과학적 문제 해결력	• 코드 작성 과정, 시각화 과정에서 문제가 발생하면 그것을 고치는 것 자체를 통해 문제 해결력이 길러졌다. • 특정 목표를 설정하고, 이에 맞춰 개발하는 과정을 통해 문제 해결력이 길러졌다. • 이론적인 부분을 그대로 시뮬레이션으로 구성하면 많은 문제가 발생하며, 문제를 해결하기 위해 아이디어를 구상하고 직접 코드로 해결하는 과정을 통해 문제 해결력이 길러졌다.
과학적 의사소통 능력	• 다른 사람에게 과학 개념 및 원리를 VPython으로 쉽게 전달할 수 있는 방법을 학습했으므로 의사소통 능력이 길러졌다. • 팀원과 협업하여 코드 작성하고, 코드의 문제점을 파악하고, 코드를 보완하는 과정에서 논의가 이루어졌기 때문에 의사소통 능력이 길러졌다. • 내가 이해하는 방식을 그대로 다른 사람에게 설명할 수 있는 능력을 기를 수 있었다.
과학적 참여와 평생학습 능력	• VPython을 활용하여 다양한 주제에 대해 스스로 시뮬레이션 구성이 가능하므로 평생학습 능력에 도움이 되었다. • VPython을 사용하는 것이 이번 수업으로 끝이 아니며, 앞으로 VPython을 활용하여 더 다양한 시뮬레이션을 만들 수 있는 방법을 알게 되었으므로 평생학습 능력이 길러졌다.

② 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력에 관한 면담자 반응 분석

본 연구에서는 면담자들의 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력을 분석하기 위해 CSTA(Computer Science Teachers Association, 2017)에서 제시한 역량과, 이민우 & 김성식(2019)의 연구에서 제시한 역량을 참고하여 학생 인터뷰 질문지 문항에 <표 IV-38>의 항목을 질문으로 구성하였다.

<표 IV-38> 본 연구에서 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력을 파악하기 위한 인터뷰 질문지 문항

능력	조작적 정의
문제 분해 능력	시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 물리량, 함수 등을 파악하는 능력
추상화 능력	시뮬레이션을 구성하는 과정에서 불필요한 요소를 제거하고 핵심 요소만 구성할 수 있는 능력
알고리즘 설계 능력	시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 연산을 구조화하는 능력
알고리즘 표현 능력	시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 연산을 적절한 코드로 구현하는 능력
알고리즘 분석 능력	시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 연산의 수행 시간(run time)을 고려하여 코드로 구현하는 능력

면담자들은 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력과 관련된 문항의 각 항목에 대해 명확하게 구분하여 답하기보다는 복합적으로 답변하였으며, 본 수업을 통해 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력이 향상되었다는 반응을 보였다.

코드로 구현할 때 모든 복잡한 것을 다 구현해야 하는 게 아니라 내가 원하는 것만 추려서 구현하는 능력들이 필요했어요. (학습자 b)

사실과 좀 거리가 먼 부분이 있는데, 이런 걸 추상화시킴으로써 어느 정도 합의를 보고, ... 뭔가 좀 뜯어고치고, 뜯어 보는 분해 능력 등이 길러졌어요. (학습자 c)

실제 상황을 컴퓨터에 (코드로) 옮기고, ... 운동을 그냥 눈으로 보는 것과 코드로 짜는 거는 다르잖아요. 그때 핵심 요소만 파악하고, 이를 추상화시키는 작업이 필요했던 것 같아요. ... 그래프 그리는 연산 속도가 좀 느려서 (런타임)을 고려하는 정도로 해봤습니다. (학습자 d)

(시뮬레이션의) 골자를 만든다는 것 자체가 문제를 (파악하고) 단순하게 본다는 거. ... 구현하려면 어떻게 작동할지 생각해 놓아야 하니까. 내가 어떻게 연산해서 어떤 결과를 이끌어 낼 것인지를 생각하려면 (알고리즘 능력 전반에 대한) 능력이 필요하다고 생각해요. ... 코드로 구현하는 능력이 제일 중요하죠. 물론 런타임 고려도 해야 하는 게, 만약 실행 레이트가 너무 높거나 낮으면 보는 데 불편하거나 계산이 틀어져 버리는 문제가 발생해요. (학습자 h)

프로그램 같은 경우에는 최적화해야 하니까 ... (학습자 i)

3D로 프로그래밍하니까 사실 너무 많은 데이터를 집어넣으면 잘 작동하지 않더라고요. 그러다 보니까 딱 필요한 것만 골라서 할 수 있는 그런 능력이 오히려 좋아진 것 같습니다. (학습자 j)

시뮬레이션을 구성하다 보니까 (코드를 작성하고) 개념을 추상화해서 코드로 옮기고, ... 다양한 단계로 (코드 작성을) 나눠서 시뮬레이션을 구성했어요. (학습자 k)

해결하고자 하는 문제를 통째로 바라보기 힘들다 보니까 각각의 세부 과정으로 나눠서 분업해서 (문제를) 해결했기 때문에 이런 문제 분해 능력, 코드 구현 능력 등을 상당히 기르는 데 도움 되었던 것 같아요. (학습자 l)

③ 그 외 고차원적 능력에 관한 면담자 반응 분석

본 수업 모형에서 함양할 수 있는 역량으로 과학과 핵심 역량, 컴퓨팅 사고력과 프로그래밍 능력 외에 면담자들이 느낀 교육적 효과에 대해 인터뷰 답변을 분석해 보았다.

면담자들은 본 수업을 통해서 의사소통 능력, 협업 능력, 분석 능력, 그래프나 도표 및 3차원으로 시각화하는 능력, 시뮬레이션을 구성할 수 있는 능력, 끈기와 인내, 창의력 등 다양한 능력을 기를 수 있었다고 응답하였다.

4. 최종 모형 개발

가. 수업 모형의 가정 및 특징

본 연구에서 개발한 수업 모형은 과학 지식과 정보 지식을 적정 수준 이상 학습하여 내재화한 학습자를 대상으로, 과학교육과 정보교육의 융합 수업으로서 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 경험을 제공하기 위한 수업의 설계를 안내하는 모형이다. 따라서 본 수업 모형의 사용자는 과학영재 고등학교에서 과학을 교수하는 교사이다. 또한 본 수업 모형은 과학영재 고등학생이 아니더라도 어느 정도 과학 지식을 내재화하고 있고, Python 언어를 사용하여 프로그래밍할 수 있을 정도의 코딩 능력을 갖춘 학습자를 대상으로 활용할 수 있다. 즉, 본 연구에서 개발한 수업 모형은 교수자의 교수설계 목적과 수업 목표에 따라 과학영재 고등학교가 아닌, 일반계 고등학교, 특수목적 고등학교, 특성화 고등학교, 자율형 고등학교 등에서도 과학-정보 융합 수업으로써 활용될 수 있다.

본 수업 모형을 통해 교사는 학생 중심 수업을 설계하고, VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 실행하여 학생에게 과학적 시뮬레이션을 개발해 보는 수업 경험을 제공해 줄 수 있다. 수업 모형을 활용하여 교수 목적에 따라 학생에게 과학과 핵심 역량, 시뮬레이션 구성 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력 등 다양한 역량을 함양시킬 수 있는 수업을 설계할 수 있다. 학생은 시뮬레이션 주제 탐색 및 주제 설정, 시뮬레이션 구성 요소·물리량·과학 개념 및 이론 정교화, 시뮬레이션 생성 등의 수업 과정을 통해 과학과 핵심 역량 및 창의성, 끈기와 인내 등의 역량을 함양할 수 있다. 피드백, 시뮬레이션 공유 및 발표, 팀원과의 상호작용 등의 수업 과정을 통해 의사소통 능력, 협업 능력 등을 함양할 수 있다. 시뮬레이션 구성 과정 전반에 걸쳐 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력, 시뮬레이션 구성 역량을 함양하고, 수업 경험을 통해 시뮬레이션 개발에 대한 자신감을 기를 수 있다.

본 모형의 특징은 다음과 같다.

첫째, 학생 중심 수업 모형이며, VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 진행할 때 수행해야 하는 각 단계와 활동을 수업 모형으로 시각화하고 세분화하여, 교수 설계자뿐만 아니라 교수 대상자도 이해하기 쉽도록 구체적이고 명시적으로 제시한 수업 모형이다. 교사는 수업 모형의 각 단계에 따라 구체적으로 제시된 학생 중심의 활동과 설계 원리 및 교수전략을 참고하여 과학-정보 융합 수업으로서 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 수행할 수 있다.

둘째, 과학영재 고등학생의 특성을 고려하여 모형의 단계 및 활동을 구성하였다. 영재 학생을 대상으로 그 특성을 연구한 선행 문헌(김미숙 외, 2005; 이정철 외, 2009; 이항로, 2011; Feldhusen & Hoover, 1986; Renzulli, 2011)에 따르면 영재 학생은 일반 학생과 비교했을 때 평균 이상의 높은 지능과 과제 집착력, 창의성을 보인다. 또한 교사의 동기 유발 없이 스스로 동기 유발을 할 수 있고, 호기심이 많으며, 개별 활동 수업 보다는 교사 및 동료 학습자들과 상호작용하면서 도전적인 수준의 과제를 해결하는 조별 협동 학습과 토론 수업을 선호하는 경향을 보였다. 따라서 본 수업 모형에서는 교수설계 과정에서 영재 학생의 특성을 고려하여 도전적인 수준의 과학적 시뮬레이션을 구성할 수 있는 수업 기회를 제공하고, 팀 내에서의 협력적 상호작용과 팀 간 피드백 활동을 통해 교사 및 동료 학습자들과 긍정적인 상호작용이 이루어지도록 수업 모형의 단계 및 활동을 구성하였다.

셋째, 본 수업 모형은 과학교육과 정보교육의 융합으로 교사가 원하는 교수 목표에 따라 수업 설계와 수업 실행을 지원한다. 영재교육진흥법 제13조(교육과정 및 교과용 도서) 제1항 및 영재교육진흥법 시행령 제33조(영재교육기관의 교육내용)에서 명시하고 있듯이 과학영재 고등학교는 국가 교육과정이 아닌, 학교 자체 교육과정을 수립하여 운영하고 있다. 본 연구에서 개발한 수업 모형의 사용자는 자율적인 교육과정이 운영되는 영재교육 기관에서 과학을 교수하는 교사이며, 수업 모형 적용 대상자는 과학영재 고등학생이지만, 일반 학교에서도 교수자는 본 수업 모형

을 교과 교육에 활용하여 유연하게 수업을 설계하여 실행할 수 있다. 2022 개정 교육과정은 학생 행위주체성(Student Agency)와 자율성, 창의성의 신장을 강조하고 있으며, 교육과정에서 깊이 있는 학습을 통해 역량을 함양할 수 있도록 교과 간 연계와 통합, 학습에 대한 성찰 등을 강조하고 있다. 또한 다양한 학생 참여형 수업을 활성화하고 문제 해결 및 사고의 과정을 중시하는 평가를 통해 학습의 질을 개선하는 것을 교육과정 구성의 중점으로 삼았으며, 폭넓은 기초 능력을 바탕으로 진취적 발상과 도전을 통해 새로운 가치를 창출하는 창의적인 사람, 공동체 의식을 바탕으로 협력을 실천하는 사람을 추구하고 있다. 2022 개정 교육과정에서 고등학교 교육 목표로 다양한 분야의 지식과 경험을 융합하여 창의적으로 문제를 해결하고 새로운 상황에 능동적으로 대처하는 능력을 기르고, 배려와 나눔을 실천하는 협력적 자질과 태도를 기르는 것을 제시하고 있다(교육부, 2022a). 또한 2015 개정 정보과 교육과정 및 2022 개정 정보과 교육과정에서는 컴퓨팅 시스템을 활용하여 문제를 창의적으로 해결하는 능력 함양, 문제 해결을 위한 해법을 컴퓨터과학 관점에서 설계하고 이를 소프트웨어로 구현하는 프로그래밍 능력과 태도 함양, 과학·인문학·예술 등 다양한 학문 분야의 문제를 컴퓨터과학의 관점에서 재해석하고 창의·융합적으로 해결하는 능력 함양, 지식 공동체와 학습 공동체를 통해 협력적 문제 해결을 위한 의사소통 능력과 협업 능력 함양을 목적으로 하고 있다(교육부, 2022d; 교육부, 2015d). 특히 2022 개정 정보과 교육과정에서는 정보 교과가 여러 학문 분야로 전이될 수 있는 특성을 고려하여 과목의 영역별 내용, 다른 교과 내용의 융합 등의 연계를 통해 깊이 있는 학습이 가능하도록 독창적인 교육과정을 설계할 것을 요구하고 있다. 따라서 국가 교육과정을 따르는 일반계 고등학교, 특수목적 고등학교, 특성화 고등학교, 자율형 고등학교 등에서도 교사는 교수 목표 달성을 위해 본 수업 모형을 활용하여 수업을 설계하고 운영할 수 있다.

넷째, 본 수업 모형은 과학교육과 정보교육의 융합 수업 모형으로, 학생이 내재화한 과학 지식과 정보 지식을 활용하여 학습자 간 협력을 통

해 과학적 시뮬레이션을 구성하는 학생 중심의 수업 모형이다. 따라서 교수 설계자는 수업을 설계하기 이전에 학습자 분석, 과학과 교육과정 분석, 정보과 교육과정 분석을 바탕으로 학생 스스로 VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 구성할 수 있는지 판단하여야 한다. 또한 본 수업 모형은 Python 프로그래밍 언어를 사용하여 과학적 시뮬레이션을 코딩할 수 있도록 학생들이 1인 1디바이스(노트북, PC, 또는 스마트 기기)를 갖춘 환경이어야 하며, Web VPython을 사용하고 공유 문서를 통해 협력적 상호작용을 할 수 있도록 학생 모두가 인터넷에 접속할 수 있는 네트워크 환경이 구축되어야 한다.

다섯째, 본 수업 모형은 교수 설계자가 수업을 설계하는 데 있어 학교 교육과정 운영, 교수자가 목표한 교수 목표, 학습자의 특성 등에 따라 수업 모형의 세부 단계를 조절할 수 있도록 자율성을 제시하였다. 본 수업 모형의 ‘시뮬레이션 개발’ 단계에서 피드백 단계를 점선으로 제시하였으며, ‘시뮬레이션 평가’ 단계의 마지막에 수정 또는 성찰 단계를 선택하여 수업을 운영할 수 있도록 제시하였다. 교수자는 시뮬레이션 평가 단계에서 수정(Modification) 단계를 운영하여 시뮬레이션 구성에 GEM cycle을 적용하거나, 성찰(Reflection) 단계를 운영하여 수업을 마무리할 수 있다. 또한 수업 설계 과정에서 점선으로 제시된 세부 단계를 구성하여 순환적 모형으로 수업을 설계하거나, 점선으로 제시된 세부 단계를 생략하여 선형적 모형으로 수업을 설계할 수 있도록 자율성 있는 수업 모형을 개발하였다.

마지막으로 수업 모형의 세부 단계에 대한 설명과 예시 및 해설, 설계 원리 및 교수전략에 대한 예시 및 해설을 구체적으로 제시하였다. 이를 통해 교수 설계자가 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 설계하고 실행하는 데 어려움을 겪지 않도록 지원하였다. 또한 수업 모형의 세부 단계에서 참고할 수 있는 설계 원리 및 교수전략을 함께 수업 모형에 제시하여 교수 설계자가 수업 모형을 설계하고 실행하는 데 설계 원리와 교수전략을 함께 고려할 수 있도록 하였다.

나. 최종 수업 모형

수업 모형 개발 관련 선행 문헌 분석, VPython 활용 관련 선행 문헌 분석, 국내외에서 개발되어 무료로 제공되는 교육용 시뮬레이션 플랫폼 분석, 모델링 역량 관련 선행 문헌 분석, 영재 학생 특성 관련 선행 문헌 분석 등 통합적 문헌 분석과 과학영재 고등학교 교육 경험을 바탕으로 한 경험적 탐색을 통해 도출된 초기 수업 모형은 두 차례의 내적 타당화와, 수업 모형을 현장에 적용하고 학습자 반응을 탐색한 외적 타당화 과정을 거쳐 최종적으로 수정되었다.

본 수업 모형은 교수 설계자가 과학교육과 정보교육의 융합으로서 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 영재 학생 혹은 과학 지식과 정보 지식을 어느 정도 내재화한 학습자를 대상으로 활용하기 위한 수업을 설계할 때 참고할 수 있는 구체적인 절차와 방법을 안내한다. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업의 최종 모형은 크게 1) 분석(Analysis), 2) 설계(Design), 3) 시뮬레이션 구성 준비(Preparation), 4) 시뮬레이션 개발(Development), 5) 시뮬레이션 평가(Evaluation)의 총 5단계로 구성된다. 본 수업 모형은 기존에 개발된 다양한 교수설계 모형 중 단순하고 체계적이며 유용성이 높은 모형인 ADDIE 모형을 기반으로 하였다(임관혁 외, 2021). Seels & Richey(1994)의 ADDIE 모형은 분석(Analysis), 설계(Design), 개발(Development), 실행(Implementation), 평가(Evaluation)의 5단계로 이루어져 있다. 일반적으로 ADDIE 모형은 설계 단계에서 수업 설계도를 제작하고, 개발 단계에서 수업 설계도를 바탕으로 실제 교수·학습 프로그램을 개발 및 제작한다. 개발 단계에서 프로토타입(prototype)을 개발하여 파일럿 테스트를 하고, 최종 산출물을 제작한다. 실행 단계에서는 앞서 개발된 교육 프로그램을 실제 현장에 적용하고 유지 및 관리한다(임관혁 외, 2021). 본 연구에서 개발한 수업 모형은 교수자가 학생 중심 수업을 설계하고 실행하는 과정에서 수업 모형의 단계를 청킹(chunking)하는 데 용이하도록 ‘시뮬레이션 구성 준비(Preparation)’와 ‘시뮬레이션 개발(Development)’로 용어를 제안하였다.

‘분석(Analysis)’ 단계에서 교수자는 학습자 분석과 교육 환경 분석을 수행한다. 학습자 분석에서 학습자의 과학 교과 지식의 수준과 학습자가 지닌 과학적 모형을 파악하고, Python 학습 정도와 Python을 활용하여 코드를 작성할 수 있는 수준을 파악한다. 본 수업 모형은 학습자가 내재화하고 있는 과학 개념 및 이론을 시각화하거나, 과학적 모형을 시뮬레이션으로 정교하게 이해하는 것을 목표로 한다. 따라서 과학 교과 개념 학습이나 Python 프로그래밍 학습은 본 수업 모형을 적용하기 위해 선행되어야 한다. 교육 환경 분석에서는 네트워크 환경과 스마트 학습 환경을 파악하여 학습자가 수업에서 Web VPython에 자유롭게 접근할 수 있는지 확인한다.

‘설계(Design)’ 단계에서 교수자는 교수 목표를 설정하고, 교수 목표에 도달할 수 있도록 학습자가 개발할 시뮬레이션 구성의 수준을 잠정적으로 설정한다. 또한 학습자 간 협력이 이루어질 수 있도록 적절한 팀 구성 인원을 설정한다. 교수자는 학습자의 학습에 초점을 맞추고, 학교 수업 시수를 고려하여 적절한 난이도의 시뮬레이션 구성을 요구해야 하며 학습자 간 긍정적인 상호작용이 이루어질 수 있도록 팀 구성 인원을 적절히 조절해야 한다.

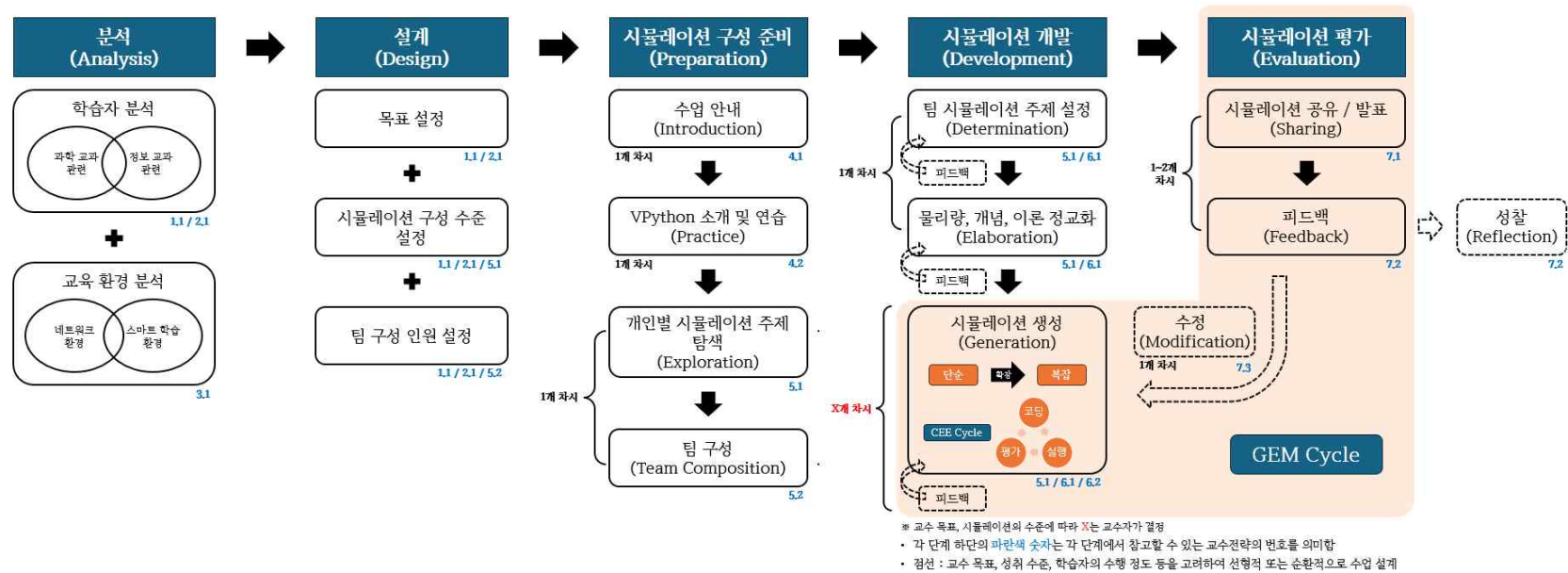
‘시뮬레이션 구성 준비(Preparation)’ 단계에서 교수자는 학습자에게 수업을 안내하고 VPython에 대한 학습 기회를 제공한다. VPython에서 기본으로 제공하는 3D 객체를 학습자가 생성해 보도록 하며, 3D 객체를 조합하여 3차원의 간단한 시뮬레이션을 제작할 수 있는 연습 시간을 제공한다. 이때 VPython 연습은 ‘정지된 상태 - 공의 자유 낙하 운동 - 공의 포물선 운동 - 공기 저항을 고려한 공의 자유 낙하 운동 - 공기 저항을 고려한 공의 포물선 운동’과 같이 간단한 시뮬레이션에서부터 복잡한 시뮬레이션으로 확장해 나갈 수 있는 적절한 과제 제시를 통해 시뮬레이션 생성 과정에서 활용할 수 있는 전략을 경험해 볼 수 있도록 한다. 학습자가 VPython 코드 연습을 마쳤으면 개별 학습자마다 시뮬레이션 주제를 탐색하도록 하며, 탐색한 주제를 공유하고 설계 단계에서 설정한 팀 구성 인원에게 맞게 학습자들끼리 팀을 구성하도록 한다. 교수자

는 학습자들이 다양한 주제에 대해 탐색하고, 학습자들끼리 적극적인 의사소통을 통해 팀을 구성할 수 있도록 학습 촉진자의 역할을 수행한다.

‘시뮬레이션 개발(Development)’ 단계에서 교수자는 학습자가 구성한 팀에서 실제로 개발할 시뮬레이션 주제를 최종적으로 설정하도록 하며, 시뮬레이션 구성 계획을 세우고 계획에 따라 시뮬레이션에 표현할 과학적 개념 및 이론, 물리량 등을 정교화하도록 한다. 교수자는 학습자에게 시뮬레이션 개발 과정에 대한 로드맵을 작성하도록 하고, 문서를 공유하도록 하여 팀원들끼리 긍정적인 상호작용이 일어나도록 환경을 조성하며, 순회 지도와 관찰을 통해 어려움을 겪는 학습자들에게 피드백을 제공한다. 시뮬레이션 생성 과정에서는 수업 시수를 고려하여 학습자에게 충분한 시간을 제공해 준다. 이때 학습자들이 시뮬레이션 생성 과정에서 유용하게 활용할 수 있는 다양한 전략을 소개해 주고 이를 활용하도록 한다. 시뮬레이션 개발 단계에서 교수자는 필요에 따라 피드백 단계를 적절하게 구성하여 학습자가 주어진 수업 시간 내에 과학적 시뮬레이션을 구성할 수 있도록 한다.

‘평가(Evaluation)’ 단계에서는 학습자들이 개발한 시뮬레이션을 공유하고 발표하도록 한다. 교수자는 발표 과정에서 학습자들이 발표를 적극적으로 경청할 수 있는 환경을 조성하며, 동료평가 양식을 미리 제공해주어 학습자들끼리 적극적인 피드백이 이루어질 수 있도록 한다. 개발한 시뮬레이션에 대해 발표와 피드백을 마치면, 학습자가 개발한 시뮬레이션에 대해 수정할 수 있는 시간을 추가로 제공해 주거나, 수업 과정 전반에 대해 성찰할 수 있는 시간을 갖도록 한다. 평가 단계에서 교수자는 동료평가, 관찰, 학습자가 개발한 과학적 시뮬레이션 산출물, 수업 태도 등을 바탕으로 학습자가 교수 목표에 도달했는지를 평가한다.

본 연구에서 개발한 최종 수업 모형은 [그림 IV-5], 최종 수업 모형에 대한 단계별 설명은 <표 IV-39>, 수업 모형에 활용할 수 있는 최종 설계 원리 및 교수전략은 <표 IV-40>이다.



[그림 IV-5] VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 최종 모형

<표 IV-39> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 최종 모형의 단계별 설명

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설	
분석 (Analysis)	학습자 분석	과학 교과 관련	· 과학 교과 지식 수준 파악: 학습자가 학습한 과학 개념, 지식, 이론에 대한 수준을 파악한다.
			예시 및 해설: 물리학·화학·생명과학·지구과학 등 과학과 교육과정 내용 요소 및 성취 기준을 분석하고, 과학과 교육과정에서 학습한 과학 개념, 지식, 이론이 무엇인지 확인한다. 또한 평소 수업 시간에 질문하고 답하기, 토론 및 토의하기, 형성평가 등으로 학습자가 학습하여 내재화한 과학 개념, 지식, 이론에 대한 수준을 파악한다.
			· 학습자가 지닌 과학적 모형 파악: 학습자가 과학 개념, 지식, 이론을 학습하는 데 경험한 과학적 모형의 내용 및 수준을 파악한다.
			예시 및 해설: 물리학·화학·생명과학·지구과학 등 과학과 교육과정 내용 요소 및 성취 기준에 따른 과학적 모형을 분석하고, 학습자가 내재화한 과학적 모형의 내용 및 수준의 정도를 질문하고 답하기, 모형 그리기, 모형 서술하기 등으로 파악한다.
		정보 교과 관련	· Python 학습 정도 파악: 학습자의 Python 언어의 학습 수준을 파악한다.
			예시 및 해설: 정보과 교육과정 내용 요소 및 성취 기준을 분석하고, 정보과 교육과정에서 학습한 연산자, 반복문, 조건문, 함수 정의 등 Python 학습 내용을 확인한다. 또한 정보과 교육과정에서 실시한 수행평가 및 형성평가 등으로 학습자가 학습한 정보 교과 수준 및 Python 학습 수준을 분석한다.
			· 프로그래밍 수준 파악: 학습자의 Python 프로그래밍 수준을 파악한다.

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설	
			예시 및 해설: Python을 활용하여 특정 문제를 해결하거나 알고리즘을 세워 코딩하는 수준을 확인한다. 또한 정보과 교육과정에서 평소에 실시한 수행평가 및 형성평가 등으로 학습자의 Python 프로그래밍 수준을 파악한다.
	교육 환경 분석	• 네트워크 환경 파악: Web VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 설계할 수 있도록 인터넷 접속 환경을 파악한다.	
		예시 및 해설: 브라우저에서 바로 VPython 프로그램을 작성하고 실행할 수 있도록 인터넷 접속 환경을 확인한다. 전체 학습자가 인터넷에 동시에 접속할 수 없는 환경일 경우 다른 교실로 수업 환경을 변경하거나, 학습자 개별 노트북에 VPython library package를 미리 설치해 오도록 안내한다.	
		• 스마트 학습 환경 파악: 학습자가 개별 노트북을 수업 중에 활용할 수 있도록 학습자의 스마트 학습 환경을 파악한다.	
		예시 및 해설: 전체 학습자가 인터넷에 접속하여 수업에 참여할 수 있도록 개별 노트북이 준비되어 있는지 파악한다. 필요한 경우 PC가 설치되어 있는 곳으로 수업 환경을 변경하거나, 학교 여건에 따라 부족한 수량의 노트북을 교수자가 미리 준비하여 제공할 수 있도록 준비한다.	
설계 (Design)	교수 목표 설정	• 설명: 수업을 통해 학습자에게 함양하고자 하는 역량 목표를 설정한다.	
		예시 및 해설: 학습자 분석을 통해 파악한 학습자의 수준을 바탕으로 도전적인 과제를 제시하여 시뮬레이션 구성 수업을 통해 학습자에게 함양하고자 하는 역량을 목표로 설정한다. 이때 과학-정보 융합 수업임을 고려하여 과학과 핵심 역량, 시뮬레이션 구성 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력, 창의성, 협업 능력 등을 고려할 수 있다.	

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
	시물레이션 구성 수준 설정	• 설명: 교수 목표 달성에 적합하도록 학습자가 개발할 시물레이션 수준을 설정한다. 예시 및 해설: 학습자 분석을 통해 파악한 학습자의 수준을 바탕으로 도전적인 과제 또는 목표가 될 수 있도록 학습자가 개발할 시물레이션의 수준을 설정한다. 또한 학교 수업 시수를 고려하여 적절한 시간 내에 학습자가 시물레이션을 구성할 수 있는 수준을 설정한다. 예를 들어 개발할 시물레이션 수준을 ‘상’, ‘중’, ‘하’로 나눈다면, 변수가 중력 가속도 1개인 자유 낙하 운동, 포물선 운동 등은 ‘하’ 수준, 변수가 2개인 보일 법칙 또는 샤를 법칙 등은 ‘중’ 수준, 고등학교 이상의 교육과정에서 학습하는 오비탈, 맥스웰-볼츠만 분포 등 변수가 3개 이상 또는 추상성과 복잡성이 높은 과학적 모형은 ‘상’ 수준으로 볼 수 있다.
	팀 구성 인원 설정	• 설명: 교수 목표, 시물레이션 구성 수준, 학습자 분석을 통한 학습자의 출발점 수준 등을 바탕으로 팀 구성 인원수를 설정한다. 예시 및 해설: 교수 목표에 따라, 시물레이션 구성 수준에 따라, 학습자의 출발점 수준에 따라 적절한 학습이 이루어질 수 있도록 팀 구성 인원을 설정하며, 이때 봉 효과(Sucker effect), 무임승차 효과(Free-rider effect) 등을 협동 학습에서 나타날 수 있는 부정적인 상황이 발생하지 않도록 팀 구성 인원을 고려한다. 학습자들 간에 협업과 의사소통 능력을 기를 수 있도록 가능하면 2인 1팀으로 구성하며, 시물레이션의 수준에 따라 1인 1팀 또는 3인 1팀의 구성도 고려할 수 있다.
시물레이션 구성 준비 (Preparation)	수업 안내	• 설명: 교수자가 도출한 교수 목표에 따라 수업 전반에 대해 안내한다. 예시 및 해설: 수업을 통해 달성하고자 하는 교수 목표, 학습자에게 목표하는 성취 수준 등을 안내한다. 또한 학습자에게 과학적 모형에 대한 간단한 설명과 평소 학습자가 접해보았을 친숙한 예시, 시물레이션에 대한 간단한 설명과 친숙한 예시로 학습자를 학습에 초대한다.

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
	VPython 소개 및 연습	· 설명: VPython을 소개하고 VPython으로 3D 객체를 생성하는 방법을 안내한다. 또한 VPython의 기본 객체를 활용하여 간단한 시뮬레이션을 만들어 보는 연습 경험을 제공한다.
		예시 및 해설: VPython에서 기본으로 제공하는 3D 객체를 소개하고, 각 객체를 생성하는데 필요한 파라미터를 안내한다. 이때 학생들에게 VPython Documentation을 소개하고, VPython에서 지원하는 다양한 기능들을 탐색해 보도록 한다. VPython Documentation 탐색 후 학생들이 직접 3D 객체를 생성해 볼 수 있는 연습 기회를 제공한다. 또한 3D 객체를 활용하여 FCC(Face-Centered Cubic), 자유 낙하 운동, 공기 저항을 고려한 낙하 운동, 포물선 운동, 공기 저항을 고려한 포물선 운동, 상자 속 입자의 완전 탄성 충돌(이상 기체 운동) 등과 같이 간단한 시뮬레이션 제작을 연습해 볼 기회를 제공하며, 간단한 것에서 복잡한 것으로 확장해 나가는 과제를 통한 연습으로 시뮬레이션 생성 과정에서 활용할 수 있는 전략을 경험해 볼 수 있도록 한다.
	시뮬레이션 주제 탐색	· 설명: 학습자 개인별로 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 주제를 탐색하도록 한다.
		예시 및 해설: 수업 안내에서 안내된 내용에 따라 특정 교과 내용에 대한 주제를 탐색하거나, 과학과 교육과정 내용 전체에서 주제를 탐색하도록 한다. 다양한 아이디어를 도출해 낼 수 있도록 학습자에게 충분한 시간을 주고, 자유로운 수업 분위기를 조성한다.
	팀 구성	· 설명: 분석 단계에서 정한 팀 구성 인원수에 따라 시뮬레이션을 함께 제작할 팀을 구성하도록 한다.
		예시 및 해설: 분석 단계에서 정한 팀 구성 인원과 시뮬레이션 주제 탐색에서 학습자가 개인별로 탐색한 주제를 바탕으로 팀을 구성한다. 학생들이 탐색한 주제를 공유하고, 관심 있는 주제를 중심으로 학습자 스스로 팀을 구성할 수 있도록 안내한다.

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
시물레이션 개발 (Development)	시물레이션 주제 설정	• 설명: 구성된 팀원과 상의하여 시물레이션으로 개발할 주제를 확정하도록 한다.
		• 예시 및 해설: 시물레이션 주제 탐색 과정에서 탐색한 주제가 시물레이션에 적절한지 팀원과 상의하고, 이를 바탕으로 구성할 시물레이션 주제를 확정하도록 한다. 필요할 경우 교사 및 동료 피드백 단계를 추가하여 학습자가 개발하기에 적절한 주제를 설정할 수 있도록 안내한다.
	물리량, 개념, 이론 정교화	• 설명: 시물레이션 주제로 설정한 내용을 구체화할 때 필요한 물리량, 개념, 이론 등을 정교화하여 시물레이션 개발의 기반을 마련하도록 한다.
		• 예시 및 해설: 예를 들어 보일 법칙을 시물레이션으로 구현하고자 한다면 입자의 크기, 입자의 질량, 입자의 운동 속도, 입자의 수, 입자가 들어있는 용기의 초기 크기 설정, 용기의 부피 조절 방법, 용기에 부딪히는 입자의 압력 계산 방법 등 시물레이션으로 구현하고자 하는 요소를 분석하고, 각 요소에 대한 물리량을 과학 개념 및 이론에 맞게 정교화한다. 필요할 경우 교사 및 동료 피드백 단계를 추가하여 학습자가 시물레이션을 구성하는 데 필요한 물리량, 개념, 이론 등의 요소를 정교화하는 데 도움을 제공한다.
	시물레이션 생성	• 단순한 것에서 복잡한 것으로 확장: 정교화시킨 물리량, 개념, 이론 등 시물레이션으로 구현하고자 하는 요소를 단순한 것에서부터 복잡한 것으로 확장시키며 시물레이션을 생성하도록 한다.
		• 예시 및 해설: 예를 들어 상자 속 기체 입자의 운동을 시물레이션으로 개발할 때는 상자 생성, 입자 1개 생성, 입자 1개의 움직임 구현에서부터 입자를 여러 개로 확장하도록 한다. • CEE cycle: 코딩(Coding) → 실행(Execution) → 평가(Evaluation)의 순환 단계를 반복하면서 시물레이션을 생성하도록 한다.

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
		예시 및 해설: VPython은 Python을 기반으로 한 프로그래밍 언어로, 인터프리터 언어 (Interpreted Language)로 코드 한 줄마다 바로 실행하여 결과를 볼 수 있다. 따라서 시뮬레이션으로 구현하고자 하는 코드를 작성하고 중간중간 코드를 실행하여 구성하고자 하는 시뮬레이션을 평가하도록 한다. 팀원과 함께 코드를 작성하고 실행 결과를 평가하여 팀 내에서 이루어지는 피드백을 반영할 수 있도록 한다. 코딩, 평가, 수정의 과정이 팀원과 유기적으로 이루어지도록 시뮬레이션을 생성하기 전 로드맵을 작성하고 공유 문서를 통해 개발 과정을 꾸준히 기록하여 공유하도록 한다. 필요할 경우 교사 및 동료 피드백 단계를 추가하여 학습자가 구성하는 시뮬레이션의 완성도를 높일 수 있도록 도움을 제공한다.
시뮬레이션 평가 (Evaluation)	시뮬레이션 공유 / 발표	• 설명: 개발한 시뮬레이션을 공유하고 발표하도록 한다. 예시 및 해설: 개발한 시뮬레이션의 주제는 무엇인지, 어떤 과학적 요소, 과학 개념 및 이론을 시뮬레이션으로 구성했는지 구체적으로 발표하도록 하고, 발표를 듣는 학생들은 발표팀이 목적에 적절하게 시뮬레이션을 구성했는지 주의 깊게 듣도록 한다.
	피드백	• 설명: 발표를 듣고 교사 및 동료 피드백이 이루어지도록 한다. 예시 및 해설: 학습자들이 발표를 들은 과학적 시뮬레이션이 과학 이론을 일반화하거나 자연 현상을 적절하게 설명하고 있는지 평가하도록 한다. 학습자들이 평가한 내용을 자유롭게 토의할 수 있는 분위기를 조성하고, 시뮬레이션을 개발한 학습자와 발표를 들은 학습자들 사이에서 협력적 의사소통이 이루어지도록 한다. 우수한 점, 개선할 점 등을 피드백하며, 미흡한 부분을 피드백할 때는 문제 해결을 도울 수 있는 이성적이고 타당하며 구체적인 정보나 의견을 함께 제시하도록 한다. 또한 개발한 시뮬레이션을 공유하고 발표하는 과정에서 생긴 궁금증을 자유롭게 질의하고 응답할 수 있도록 한다.

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
	수정	• 설명: 피드백을 바탕으로 시뮬레이션을 다시 생성하여 더 발전된 시뮬레이션을 개발하도록 기회를 제공한다.
		• 예시 및 해설: 시뮬레이션을 생성 → 피드백 → 수정하는 과정은 기존의 과학적 모형 구성 수업에서 제시한 GEM cycle과 같다(Clement, 1989). 교수 목표, 학습자의 성취 수준, 수업 차시 등을 고려하여 수정 단계를 수행하여 순환적 모형으로 수업을 구성한다.
	성찰	• 설명: 학습자 스스로, 또는 구성된 팀 내에서 시뮬레이션 구성 경험, 협동 과정, 발표 구상 등 수업 활동 전반에 대해 성찰하는 기회를 제공한다.
		• 예시 및 해설: 학습자가 구성한 시뮬레이션의 수준, 학교 교육 운영 상황, 교수 목표, 수업 차시 등을 고려하여 수정 단계를 생략하고 성찰 단계를 수행하여 선형적 모형으로 수업을 구성한다.

<표 IV-40> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 최종 모형의 설계 원리 및 교수전략

설계 원리	교수전략
1. 학습 초점의 원리	1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 활동이 교수 목표 달성에 적합한지 분석하라.
	1.1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 활동에 참여하는 학습자의 수준을 파악하고, 학습자의 수준에 맞게 교수 목표를 설정하라.
	예시 및 해설: 학습자의 수준에 따라 VPython을 활용하여 개발할 수 있는 시뮬레이션의 수준이 다르므로, 학습자가 학습한 과학 지식과 정보 지식의 수준을 파악하고 학습자의 수준에 적합하도록 교수 목표를 설정한다. 이를 바탕으로 학습자의 학습 활동이 실질적인 교수 목표를 달성하도록 하는 데 초점을 맞추어 수업을 설계한다.
	1.1.2. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 활동이 고차원적 사고 및 역량 개발에 적절한지 분석하라.
	예시 및 해설: 교수자는 함양시키고자 하는 역량(과학과 핵심 역량, 시뮬레이션 구성 역량, 모델링 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력, 창의성, 협업 능력, 자기 주도 학습 능력 등)이 무엇인지 명확하게 설정하고, 목표한 역량을 함양할 수 있도록 수업 활동을 설계한다.
	1.1.3. 시뮬레이션을 구성하는 수업의 설계 수준이 학습자의 학습 요구에 적절한 수준인지 분석하라.
2. 수업 재구성의 원리	예시 및 해설: 교수자는 설계하고자 하는 시뮬레이션 구성 수업이 학습자의 학습 요구에 적절한지, 학습자의 수준에 비해 도전적인 수준으로 설계되었는지 분석한다.
	2.1. 학습자의 교과 내용에 대한 이해도와 프로그래밍 수준을 파악하고 수업을 설계하라.
	2.1.1. 교수 목표와 VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 활동 간의 목표를 통합하라.
	예시 및 해설: 교수자는 교수 목표로 학습자에게 어느 정도 수준의 시뮬레이션을 구성하도록 할 것인지, 어떤 역량을 중점적으로 함양시킬 것인지를 설정하고 수업의 단계별 활동이 교수 목표와 유기적으로 통합되도록 수업을 설계한다.

설계 원리	교수전략
	2.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 학습 목표, 학습 내용, 학습 활동을 계획하라.
	예시 및 해설: 교수자는 기존 수업에서 형성평가, 질문하기, 토론 등 다양한 방법으로 학습자를 관찰하여 학습자의 수준을 파악한다. 필요할 경우 동료 교수자와 정보 교환을 통해 학습자의 수준을 파악한다. 이를 바탕으로 학습자에게 적절한 수준의 수업이 이루어질 수 있도록 학습 활동을 계획한다.
	2.1.3. 학습자 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준을 설정하라.
	예시 및 해설: 교수자는 형성평가, 질문하기, 토론 등 다양한 방법을 활용하여 학습자가 내재화한 정보 지식, 프로그래밍 수준을 파악하고, 이를 고려하여 최종적으로 학습자가 도출해 낼 수 있는 산출물의 수준을 잠정적으로 설정한다.
3. 환경 구성의 원리	3.1. 교실 내의 모든 학습자가 학습 활동에 참여할 수 있도록 물리적 환경을 조성하라.
	3.1.1. 교실 내의 모든 학습자가 인터넷에 접근할 수 있도록 인터넷 접속 환경을 확인하고 대안을 마련하라.
	예시 및 해설: 본 수업이 이루어지기 전에 교실 현장에 인터넷 접속 환경을 확인하고, 모든 학습자가 인터넷 접속이 가능한 환경을 조성한다. 기존 교실에서 인터넷 접속이 원활하지 않을 경우, 수업 교실을 변경하거나 학습자 개별 노트북에 미리 VPython library package 설치해 올 수 있도록 안내한다.
	3.1.2. 교실 내의 모든 학습자가 개별 노트북(또는 PC나 스마트 기기)을 수업 중에 활용할 수 있도록 수업 시작 전에 학습자들의 기기 소유 여부를 확인하고 여분의 노트북을 준비하라. 예시 및 해설: 학습자 모두 개별 노트북을 소지하고 있는 경우 수업에 노트북을 지참하도록 안내한다. 일부 학습자만 노트북을 소지하고 있지 않을 경우, 교수자는 여분의 노트북을 준비하여 학습자 1인당 개별 노트북 사용이 가능하도록 환경을 조성한다. 만약 다수의 학습자가 노트북을 소지하고 있지 않을 경우, PC가 설치되어 있는 곳으로 수업 교실을 변경하거나, 적어도 한 팀당 1대의 노트북을 사용할 수 있도록 노트북을 준비하고 스마트폰이나 스마트패드 등 스마트 기기를 보조로 활용할 수 있도록 안내한다.

설계 원리	교수전략
4. 동기부여 의 원리	4.1. 학습자가 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에 적극적으로 참여할 수 있도록 동기를 부여하라.
	4.1.1. 수업 목표를 제시하고, 목표에 도달했을 때 습득할 수 있는 능력 및 역량을 안내하라.
	예시 및 해설: 시뮬레이션을 구성하는 수업의 목표를 제시하고, 시뮬레이션을 구성하는 경험을 통해 다양한 역량(과학과 핵심 역량, 시뮬레이션 구성 역량, 모델링 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력, 창의성, 협업 능력, 자기 주도 학습 능력 등)을 기를 수 있음을 안내한다.
	4.1.2. VPython으로 개발한 시뮬레이션 예시를 학습자의 수준을 고려하여 제공함으로써 학습자의 VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 활동에 대한 자신감을 높이고 수업 활동에 대한 동기를 부여하라.
	예시 및 해설: VPython으로 개발한 시뮬레이션의 예시와 코드를 공유하여 수업에 참여하고 있는 학습자의 자신감을 높이고, 흥미를 유발하여 학습 참여 동기를 유발시킨다. 이때 학습자의 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 산출물의 수준을 예시로 활용한다. 비슷한 수준의 학습자가 개발한 시뮬레이션을 예시로 활용하는 방법도 고려할 수 있으며, 학습자의 자유로운 창의성을 발휘할 수 있도록 예시는 1~2개 정도로 적게 제시한다.
	4.1.3. 학습자에게 도전적인 수준의 시뮬레이션 구성을 요구하여, 수업 참여의 동기를 부여하고 시뮬레이션 구성 경험을 통해 성취감을 느낄 수 있도록 하라.
	예시 및 해설: 학습자의 수준보다 조금 높은 도전적인 수준의 과제를 설정하고, 다른 학습자와의 협업을 통해 도전적인 수준의 시뮬레이션을 구성할 수 있는 수업 경험을 제공하여 수업 참여 동기와 동료 학습자와의 협업에 대한 동기를 유발시킨다.
	4.2. VPython을 직접 활용 및 탐색할 수 있는 충분한 시간과 기회를 제공하라.
	4.2.1. VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 학습할 기회를 제공하라.

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체인 구, 직육면체 등을 학습자가 직접 생성해 볼 수 있는 시간과 기회를 제공한다.
	4.2.2. VPython을 활용하여 간단한 시뮬레이션을 연습해 볼 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 이용하여 구의 자유 낙하 운동, 공기 저항을 고려한 낙하 운동, 포물선 운동, 상자 속 입자의 움직임 등 단순한 시뮬레이션에서 점차 확장해 나가는 전략을 활용할 수 있도록 기초적인 시뮬레이션 개발 연습 기회를 제공한다.
5. 팀 구성 및 상호작용 원리	5.1. 다양한 상호작용이 일어나도록 하라.
	5.1.1. 협력적 해결이 요구되는 도전적인 과제를 설정할 수 있도록 교수자와 학습자가 끊임없이 상호작용하라.
	예시 및 해설: 학습자의 수준에 적절한 또한 학습자의 수준보다 도전적인 과학 개념 및 이론에 대해 시뮬레이션을 구성할 수 있도록 교수자와 학습자가 끊임없이 상호작용하고, 다양한 아이디어를 도출할 수 있도록 한다.
	5.1.2. 교수자와 학습자, 또는 학습자들 간에 활발한 의사소통이 일어날 수 있도록 자유로운 교실 환경을 조성하라.
	예시 및 해설: 교수자와 학습자 간, 또는 학습자들끼리 편안한 분위기에서 자유롭게 의견 교환이 일어날 수 있도록 충분한 시간을 제공하고 편안한 교실 환경을 조성한다.
	5.1.3. 공유 문서를 작성하여 공유하여 대면적인 상호작용뿐만 아니라 비대면적인 상호작용도 일어나도록 하라.
	예시 및 해설: 시뮬레이션을 구성하기 전에 주제를 설정하는 과정에서부터 과학 개념 및 이론을 탐색하는 과정, 이를 시뮬레이션으로 구성하기 위해 정교화하는 과정, 시뮬레이션을 생성하는 단계별 과정 및 전략 등 수업 활동 전반을 공유 문서로 작성하여 시뮬레이션을 개발하는 활동을 구체화하도록 한다.
	5.1.4. 설정한 시뮬레이션 주제에 대해 로드맵을 작성하도록 하여, 팀원이 공동 목표를 가지고 시뮬레이션을 구성할 수 있도록 하라.

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설 : 시뮬레이션을 개발하고 코딩하는 과정을 수행하기 이전에, 설정한 시뮬레이션의 내용, 필요한 요소, 시뮬레이션에 적용할 물리량과 과학 개념 및 이론, 추상화 정도 등 시뮬레이션 구성 과정의 시작부터 마무리 단계까지에 대해 로드맵을 작성하도록 하여, 팀원끼리 공동의 목표를 수행할 수 있도록 안내한다.
	5.2. 교수 목표 및 수준에 맞게 팀을 구성하라.
	5.2.1. 수업을 통해 학습자가 달성할 수 있는 능력 및 역량, 학습자가 구성할 시뮬레이션 수준을 고려하여 팀 구성 인원을 설정하라.
	예시 및 해설: 교수 목표에서 설정한 수업을 통해 달성시키고자 하는 능력 및 역량, 학습자가 구성할 시뮬레이션의 수준을 고려하여 팀원들 간에 적절한 상호작용이 가능하도록 1인 1팀, 2인 1팀, 또는 최대 3인 1팀으로 팀 구성 인원을 설정한다.
	5.2.2. 학습자 주도로 팀을 구성할 수 있도록 환경을 설정하라.
	예시 및 해설: 학습자들끼리 의사소통 과정을 통해 팀을 구성할 수 있도록 환경을 조성한다. 학습자들이 평소 관심 있는 주제를 탐색하고 이를 공유하여 팀을 구성할 수 있는 전략을 활용하거나, 학습자 본인의 강점이나 특기 등을 소개하는 기회를 제공하는 전략을 활용할 수 있다. 만약 팀 구성을 어려워하는 학습자가 있다면 교수자가 학습자에게 질문하고 답하기, 발표시키기 등을 통해 팀 구성 과정에 참여할 수 있도록 도움을 제공한다.
6. 스캐폴딩 제공의 원리	6.1. 학습자가 현재의 수준을 넘어 다음 단계의 수준에 도달할 수 있도록 적절한 자극과 정보를 제공하여 학습을 촉진시켜라.
	6.1.1. 순회 지도를 통해 학습자를 관찰하고, 과학 개념, VPython 코딩, 시뮬레이션 구성 등에 대해 단계별 피드백을 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자 주도의 수업 활동에서 교수자는 순회 지도를 통해 학습자의 학습 상황, 시뮬레이션 구성 활동 상황 등을 관찰하고 적절한 피드백과 격려를 제공한다.
	6.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 뼈대 코드를 준비하라.
	예시 및 해설: VPython을 활용한 시뮬레이션 구성에 참고할 만한 간단한 시뮬레이션 코드를 제공하여 이를 적절하게 활용, 조합, 수정하여 시뮬레이션을 설계, 개발할 수 있도록 한다.
	6.1.3. 학습자가 작성한 로드맵에 대해 학습자에게 스캐폴딩을 제공하라.

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: 시뮬레이션 생성을 수행하기 전 학습자에게 구성하고자 하는 시뮬레이션의 전체적인 로드맵을 작성하도록 하며, 학습자가 작성한 로드맵을 통해 시뮬레이션 생성 과정에서 조원과의 협동 방법, 분업, 구성하고자 하는 시뮬레이션의 주제 등을 분석하고 필요한 경우 피드백을 제공한다. 6.1.4. 개발 과정이 기록된 공유 문서 분석을 통해 학습자에게 스캐폴딩을 제공하라. 예시 및 해설: 학습자에게 시뮬레이션을 개발 및 구성하는 과정을 꾸준히 기록하도록 하며, 각 과정에서 학습자가 어려움을 겪는 경우 적절한 교사 피드백 및 다른 학습자들과의 의견 교류를 통해 교실 전체의 협업이 이루어지도록 환경을 조성한다. 6.1.5. VPython Documentation을 소개하여 Web VPython의 기능을 적절하게 활용하도록 하라. 예시 및 해설: Web VPython 3.2에서 math 라이브리를 import 하면 오류가 발생한다. 하지만 VPython Documentation에는 Web VPython 3.2에서 import 없이 사용 가능한 함수, 3차원 객체의 생성 방법, 3차원 객체의 parameters, User input 방법 등이 자세하게 설명되어 있다. 따라서 학습자가 요구하는 기능이 Web VPython에서 지원되는지 VPython Documentation에서 찾아서 학습자 스스로 활용할 수 있도록 안내한다. 6.2. 시뮬레이션을 전략적으로 생성하도록 지도하라. 6.2.1. 시뮬레이션의 구성 요소가 많을 때는 단순한 요소부터 코딩하고, 점차 코드의 복잡성을 높여가라. 예시 및 해설: 예를 들어 기체 분자의 운동을 시뮬레이션으로 시각화하는 경우, 입자 한 개, 입자가 존재하는 공간을 먼저 코딩하도록 한다. 이후 입자를 여러 개로 확장하고 입자의 움직임을 부여하는 등 코드의 복잡성을 구조적으로 높여갈 수 있도록 안내한다. 또한 시각화하고자 하는 요소가 물체의 움직임, 그래프, 어떤 물리적인 값 등 여러 개인 경우, 간단한 것부터 시각화하도록 한다. 6.2.2. 코딩(coding)하고 이를 실행(execution)시켜 실행 결과를 평가(evaluation)하는 과정을 반복적으로 수행(CEE cycle)하면서 시뮬레이션을 프로그래밍하도록 하라.

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: VPython은 Python을 기반으로 한 언어이므로 인터프리터 언어(Interpreted Language)로, 코딩한 것을 실행시켜 결과를 확인하고, 이를 자체 평가 또는 팀원끼리 평가하여 코드를 확장해 나가도록 한다.
	6.2.3. 생성형 AI를 활용하여 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 아이디어를 코드화하는 데 활용하도록 하라.
	예시 및 해설: 챗GPT 또는 Bing챗(Copilot) 등 생성형 AI를 코드 작성하는 과정에서 활용하여 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 아이디어를 코드화하는 데 도움을 얻도록 한다. 생성형 AI를 활용할 때는 ‘VPython을 활용하여 OO의 주제로 코드를 작성하려고 해.’와 같이 먼저 정확한 문제를 정의하는 것에서부터 시작하도록 한다. 코드 작성을 요청할 때는 지시하는 내용을 구체적이고 명확하게 작성하여 프롬프트를 입력하도록 한다. 생성형 AI로 도출한 결과를 학습자가 적절한 방식으로 수정 및 보완하여 코드를 정교화하도록 한다.
7. 공유 및 성찰의 원리	7.1. 최종 산출물을 시연하고 의견을 나누며 평가하는 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자가 어떠한 주제로 시뮬레이션을 구성하였고 어떤 방법으로 코딩하였는지 공유하고 발표하는 기회를 제공한다. 다른 학습자들은 발표하는 학습자의 발표 내용을 집중하여 경청할 수 있도록 지도한다.
	7.2. 자신의 학습 활동 전반을 확인하고 성찰하는 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자가 학습 활동을 통해 얻은 경험, 지식, 생각 등 자기 평가서를 작성하여 스스로 성찰하는 기회를 제공한다. 또한 공유한 시뮬레이션에 대해 교사 피드백 및 동료 피드백을 받아서 학습 활동을 유의미하게 마무리하는 기회를 제공한다. 협력적 의사소통이 이루어지도록 우수한 점, 개선할 점 등을 피드백하도록 하며, 미흡하거나 개선할 점을 피드백할 때는 문제 해결에 도움을 줄 수 있는 이성적이고 타당하며 구체적인 정보나 의견을 함께 제시하여 건설적인 피드백이 되도록 지도한다.

설계 원리	교수전략
	7.3. 피드백을 수용하는 기회를 제공하라. 예시 및 해설: 교사 피드백 및 다른 학습자의 동료 피드백을 수용하여 자신이 구성한 시뮬레이션을 수정할 기회를 제공하여 과학적 모형 구성 수업에서 ‘모형 생성(Generation)’ - ‘모형 평가(Evaluation)’ - ‘모형 수정(Modification)’의 일련의 과정을 통해 시뮬레이션을 한 단계 높은 수준으로 구성할 수 있도록 한다.

V. 논의 및 결론

1. 논의

본 연구의 목적은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 설계하고 실행할 때 참고할 수 있는 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 개발하는 것이다. 본 연구에서는 두 차례에 걸친 전문가 검토를 통해 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략에 대한 타당성을 검토하였다. 이후 외적 타당화 과정으로 10차시에 걸쳐 실제 과학영재 고등학교 학생들에게 수업 모형을 바탕으로 설계한 수업을 적용함으로써 학습자 반응을 분석하여 수업 모형, 설계 원리 및 교수전략의 강점, 약점 및 개선점을 파악하고 이를 반영하여 최종 수업 모형과 최종 설계 원리 및 교수전략을 도출하였다. 본 연구에서 수행한 연구 결과를 바탕으로 의의와 시사점을 살펴보고자 한다.

가. VPython을 활용한 과학-정보 융합 수업 모형

2022 개정 교육과정에서는 학습자 중심의 수업을 요구하며, 학습자의 주도성과 자율성, 창의성의 신장을 요구하고 있다. 이를 위해 다양한 학생 참여형 수업을 활성화하고 문제를 해결하는 과정, 문제에 대해 사고하는 과정을 중심으로 하는 과정 중심 평가를 통해 학습의 질을 개선할 것을 요구한다. 또한 인공지능 및 디지털 기초소양을 갖추고, 학생이 자신의 학습을 주도적으로 설계하며, 학습을 통해 역량을 함양할 수 있도록 교과 간 연계와 통합을 강조하고 있다(교육부, 2022a). 모든 교과교육에 정보과학의 융합을 강조하고 있는 상황에서 다양한 교육 연구가 이루어지고 있으며, 과학교육에서도 정보교육을 융합한 수업 연구가 활발하

게 이루어지고 있다. 특히 학생들이 배우기 쉬운 Python 프로그래밍 언어를 활용한 융합이 활발하게 이루어지고 있다(공병민 외, 2023; 김민환 외, 2020; 이준행 외, 2017; 장진섭 외, 2023; 조훈 & 손정주, 2022). 하지만 Python 언어에 Visual 라이브러리를 결합한 VPython 관련 국내 연구는 대부분이 대학 교육에 초점이 맞추어져 있었다. 이러한 교육 연구 경향에서 본 연구는 고등학교 수업 맥락, 특히 과학영재 고등학교 수업 맥락에서 VPython을 활용하여 과학교육과 정보교육을 융합할 수 있는 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 탐구하였고, 내적 타당화와 외적 타당화를 통해 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업의 모형과 설계 원리 및 교수전략이 학습자 중심의 창의성을 요하는 과학-정보 융합 수업으로서 효과적임을 확인했다는 의의를 지닌다.

또한 기존의 VPython 관련 교육 분야 연구는 Richey & Klein(2007)의 설계·개발 연구의 유형 I ‘산출물 및 도구 연구’에 주로 초점이 맞추어져 있었다. 하지만 본 연구는 설계·개발 연구의 유형 II ‘모형 연구’로, 교수 설계자가 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 통해 과학-정보 융합 수업을 설계할 때 참고할 수 있도록 체계적인 절차와 방법을 제시했다는 점에서 의의가 있다. 본 수업 모형을 바탕으로 교수 설계자는 학습자들에게 함양시키고자 하는 역량과 능력에 따라 수업을 설계할 수 있다. 또한 수업 모형에서 일부 수업 단계를 점선으로 표시하여 교수자가 수업 모형의 모든 단계를 활용하지 않고 유연하게 교수설계를 할 수 있는 자유도가 높은 수업 모형을 개발하였다. 점선의 단계를 활용하여 교수자는 수업 전반에 대해 순환적 모형 혹은 선형적 모형으로 교수설계를 할 수 있으며, 일부 수업 단계에 대해서만 순환적 모형 또는 선형적 모형을 적용할 수 있다.

나. 교수설계 및 교수 목적에 따라 다양한 역량을 함양 시킬 수 있는 수업 모형

본 연구에서 개발한 수업 모형의 교육적 효과를 탐색하기 위해 과학영재 고등학교 1~3학년 학생들을 대상으로 연구 참여자를 모집하였으며, 방과 후에 수업 모형을 기반으로 설계된 수업을 적용하였다. 모집된 연구 참여자 13명을 대상으로 수업 모형 적용 전 설문조사와 수업 모형 적용 후 설문조사를 실시하여 수업 모형의 교육적 효과에 대한 사전·사후를 비교·분석하였다. 또한 교육적 효과를 심층적으로 분석하기 위해 연구 참여자 13명 중 9명의 면담자를 선정하여 심층 면담을 진행하였다.

OECD(2005)는 DeSeCo 프로젝트를 통해 [그림 II-1]과 같이 ‘여러 도구를 상호작용적으로 활용하는 능력(Use tools interactively)’, ‘이질적 집단에서의 상호작용 능력(Interact in heterogeneous)’, ‘자율적 행동 능력(Act autonomously)’이라는 미래 사회에서 개인이 갖추어야 할 3대 핵심 역량을 제시하였다.

‘여러 도구를 상호작용적으로 활용하는 능력’은 다양한 삶을 살아가는데 필요한 요구를 충족시키는 수단으로, 개인이 다양한 사회적·물리적 환경 속에서 언어 등 다양한 소통이 가능한 도구를 활용할 수 있는 능력, 지식·정보를 활용할 수 있는 능력, 테크놀로지를 활용할 수 있는 능력 등 다양한 도구를 활용할 수 있는 역량을 의미한다(이경호 & 안선희, 2014). 본 연구에서 연구 참여자들은 VPython 프로그래밍 언어를 활용하여 과학적 모형을 효과적으로 시각화할 수 있는 능력을 함양하였고, VPython을 통해 자신이 학습한 개념 및 지식을 3차원 시뮬레이션으로 구성함으로써 지식, 정보, 테크놀로지 등을 활용할 수 있는 능력을 함양하였다.

‘이질적 집단에서의 상호작용 능력’은 개인의 성공적인 삶, 사회에 공헌하는 삶과 관련된 능력으로, 다양한 배경을 가진 사람들과 원만한 관계를 맺고 협력하여 갈등을 관리하고 해결할 수 있는 능력을 의미한다(이경호 & 안선희, 2014). 본 연구에서 개발한 수업 모형은 학습자 중심

의 프로젝트 기반형 수업으로 학습자 주도로 주제 탐색과 팀 구성이 이루어진다. 또한 수업 과정에서 피드백, 공유 및 발표 등을 통해 팀 구성원끼리의 상호작용뿐만 아니라 팀 간 상호작용도 일어난다. 수업에 참여하는 학생들은 서로의 흥미, 관심사, 강점과 약점, 능력 수준, 특성 및 성향 등이 다른 이질적인 집단이며(최병언 & 이림, 2022), 학습자 간 의사소통을 통해 이질적 집단에서의 상호작용 능력을 함양하였다. 또한 자신의 성장뿐만 아니라 VPython을 활용하여 사회에 공헌하고자 하는 태도도 보였다.

제가 어린 친구들한테 과학 개념을 가르치는 봉사활동을 하거든요. 그때 (VPython을 활용하면) 좋을 것 같아요. 판서에 그리는 것은 2차원이잖아요. 그런데 코드(결과)는 3차원이니까 이렇게 (마우스로 화면을) 돌려가면서 좀 더 잘 볼 수 있지 않을까 생각해요. (학습자 b)

‘자율적 행동 능력’은 모든 개인에게 필요한 능력으로, 사회 속에서 개인이 자율적으로 행동할 수 있는 능력, 자신의 삶을 스스로 계획하고 실천하며 이에 따른 책임과 의무를 지는 것을 의미한다(이경호 & 안선희, 2014). 연구 참여자들은 본 수업에서 주어진 시간에 VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션 구성해야 했으며, 1학기 정규 수업이 이루어지고 교과별 수행평가가 진행되는 학기 중에도 본 수업에서 자신의 역할을 책임지고 수행하는 과정을 통해 자율적 행동 능력을 함양하였다.

연구 참여자들은 OECD의 DeSeCo 프로젝트에서 제시한 3대 핵심 역량 외에도 본 연구를 통해 과학과 핵심 역량인 과학적 사고력, 과학적 탐구 능력, 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생학습 능력도 함양되었다. 연구 참여자들은 과학 개념 및 이론, 자연현상을 다양하고 독창적인 아이디어를 바탕으로 VPython 프로그래밍 언어로 시각화하는 과정에서 과학적 사고력을 함양하였다. 과학적 시뮬레이션을 3차원으로 구성하기 위해 관련 이론을 탐색하고 이를 추상화하는 과정, 구성한 과학적 시뮬레이션을 다시 과학 개념 및 이론에 적용하여 설명력을 높이는 과정을 통해 과학적 탐구 능력을 함양하였다. 본 수업 모형의 적용은 특히 연구 참여자들의 과학적 문제 해결력과 과학적 의사

소통 능력을 함양하는 데 크게 기여하였다. 과학적 사고를 바탕으로 과학 개념 및 이론을 VPython 프로그래밍 언어로 시각화하는 과정에서 연구 참여자들은 다양한 문제 상황을 마주하였으며, 적절한 해결 과정을 탐색하고 문제 상황을 극복하는 과정에서 과학적 문제 해결력을 함양하였다. 또한 발생한 문제를 공유하고 함께 해결하는 과정에서 연구 참여자들 간에 다양한 양식의 의사소통이 이루어졌으며, 타인에게 자기의 생각을 말, 글, 코드, 시뮬레이션 결과 등을 통해 전달하는 과정에서 과학적 의사소통 능력이 함양되었다. 마지막으로 연구 참여자들은 과학지식과 정보지식의 융합을 통해 새로운 탐구를 시도하고 이를 교과 학습으로 확장시키는 태도를 보이며 과학적 참여와 평생학습 능력을 함양하였다.

연구 참여자들은 본 수업 모형을 통해 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력도 함양되었다. 과학적 개념을 VPython으로 프로그래밍하여 시뮬레이션을 구성하는 과정에서 시각화할 요소, 과학 개념 및 이론 등을 코드로 작성하며 문제 분해 능력을 함양하였다. 과학 개념 및 이론을 시뮬레이션으로 구성하는 과정에서 필요한 요소만 추출하고 불필요한 요소는 생략하고, 적절한 크기로 시각화함으로써 추상화 능력을 함양하였다. 또한 전체적인 시뮬레이션 코드를 작성하는 과정에서 알고리즘 설계, 알고리즘 표현, 알고리즘 분석 능력을 함양하였다.

과학과 핵심 역량과 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력 외에도 연구 참여자들은 본 수업 모형을 통해 다양한 고차원적 능력이 함양되었다. 시각적으로 뛰어난 과학적 시뮬레이션을 구성하기 위해 연구 참여자들은 다양한 고민과 탐색을 하였으며, 그 과정에서 창의성과 심미성을 함양하였다. 시뮬레이션을 개발하는 과정에서 발생하는 다양한 문제를 극복하고, 과학적 시뮬레이션 구성이라는 목표에 도달하는 과정에서는 끈기와 인내 등의 역량을 함양하였다.

세포의 대략적인 크기랑 단백질 크기, ATP나 수소 (이온) 등 정확한 (비율)대로 하면 크기가 너무 이상해지니까, 크기를 어림잡아서 (시각화) 했어요. (학습자 c)

삼체 문제에서 구현한 건 중력밖에 없거든요. 중력을 구현하는 게 제일 큰 테스트였어요. ... 시뮬레이션은 완전 연속적인 상황이 아니다 보니까 프레임 레이트를 끊어서 아주 작은 시간 dt 를 정해야 해요. 그래서 이 dt 를 얼마나 작게 정의하냐에 따라 전체적인 궤도가 유지되는 시간이 늘어나거든요. ... 부드럽게 유지되는 시간이라고 보면 돼요. ... 삼체 문제는 (특수) 해가 여러 개 있어요. 근데 그 해 중에 되게 샤프한 해가 있거든요. 샤프하다는 게 뭐냐면 행성 2개가 매우 작은 거리에서 교차하는 거예요. 이것 VPython으로 실험해 봤는데, 잘못하면 완전 이렇게 팡 (부딪혀서 행성들이) 멀어지더라고요. 그래서 수많은 테스트 케이스들 중에서 하나씩 넣어보면서 정교화하고 안정성이 높은 dt 를 찾았어요. (학습자 b)

이처럼 본 연구의 외적 타당화 과정에서 연구 참여자들은 본 연구에서 개발한 수업 모형이 적용된 수업을 통해 다양한 역량이 함양되었다는 반응을 보였다. 교수 설계자는 교수 목적, 학교 수업 상황, 학습자의 수준 등에 따라 학습자에게 함양하고자 하는 역량을 다양하게 설정할 수 있으며, 본 연구에서 개발한 수업 모형을 활용하여 교수자가 요구하는 역량을 함양시킬 수 있는 수업을 학습자에게 제공해 줄 수 있다.

다. 과학교육과 정보교육의 융합으로서 새로운 분야의 탐색

급변하는 미래 사회를 선도할 수 있는 역량 함양을 위해 현재 우리나라 교육은 모든 교과교육에 정보과학의 융합을 강조하며, 다양한 교수학습 활동을 통해 디지털·인공지능 기초소양 함양을 강조하고 이를 위해 교사의 디지털 교수역량 강화를 요구하고 있다(교육부, 2022a; 교육부, 2022b). 교사의 디지털·인공지능 기초소양과 교수역량 강화를 위해 교육대학원에 AI 융합 교육 전공을 신설하여 운영하고 있으며, 교육대학원 과정을 통해 다양한 교과의 현직 교사들이 다양한 분야에서 인공지능 융합 교육과 관련된 연구를 수행하고 있다(관계부처 합동, 2022). 하지만 지금까지 AI 융합교육학과가 개설된 12개의 대학(건국대, 광운대, 동국

대, 서울교육대, 서울대, 성균관대, 세종대, 숙명여대, 숭실대, 이화여대, 중앙대, 한국교원대) 중 VPython과 관련된 학위논문이 작성된 대학은 숙명여자대학교 단 한 곳이었으며, 관련 논문도 단 1건이었다. Python 활용 교육과 관련된 연구, AI 활용 교육과 관련된 연구가 국내외에서 활발하게 진행되고 있는 것에 비해, VPython과 관련된 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 또한 Python 활용 교육, AI 활용 교육과 관련된 교사 연수는 지금까지 많이 이루어지고 있는 데 비해, VPython 활용 교육과 관련된 교사 연수는 서울시교육청을 기준으로 2024년에 처음으로 실시되었다. 2024년 5월에 교사 직무연수 1기가 개설되었고, 2024년 7월에 2기 교육이 개설될 예정이다(서울특별시교육청교육연구정보원 교수학습정보부, 2024). Python 및 AI 융합 교육과 관련된 교사 연수를 통해 교사의 AI·소프트웨어·디지털 역량을 신장시키고 다양한 학교급에서 관련된 수업이 이루어지도록 정책적 지원이 이루어지고 있는 것처럼, VPython과 관련된 교사 연수를 통해 VPython을 수업에 유용하게 활용할 수 있는 방안에 대한 교사들의 요구가 생길 수 있다. 이때 본 연구에서 개발한 수업 모형은 VPython을 수업에서 유용하게 활용하고자 하는 교사들의 교수설계에 가이드라인을 제시해 줄 수 있는 의의를 지닌다. 또한 AI 융합 교육 연구 측면에서 본 연구는 기존의 국내 연구자들이 많이 연구하지 않았던 분야인 VPython을 연구 대상으로 하였고 과학적 모형을 시뮬레이션으로 시각화하여, AI 융합 교육의 연구 영역을 확장시킨 것에 의의가 있으며, VPython 활용 교육과 관련하여 추후 연구하고자 하는 연구자들에게 참고가 될 수 있다.

2. 제언

가. 연구의 제한점

본 연구의 제한점은 다음과 같다.

첫째, 본 연구의 외적 타당화에서 개발된 수업 모형의 적용 대상은 과학영재 학생이다. 연구 대상이 된 학생은 학습 능력이 뛰어나고 적극적인 학습 태도를 보이며, 창의성, 도전 의식 등의 측면에서 보편적으로 일반 학생에 비해 뛰어난 능력을 보인다(김미숙 외, 2005; 이정철 외, 2009; 이항로, 2011; Feldhusen & Hoover, 1986; Renzulli, 2011). 특히 학습자 중심 수업으로 본 수업 모형을 적용하고 효율적으로 운영하기 위해서는 학습자가 Python 프로그래밍 언어의 문법을 기본적으로 익히고 있어야 하며, 과학 개념 및 이론을 코드로 구현할 수 있는 능력과 코딩 과정에서 발생하는 다양한 에러를 수정할 수 있는 능력 등이 요구된다. 따라서 학습자의 수준에 따라 본 수업 모형을 적용하고 운영하는데 다소 제약이 있을 수 있다. 학습자의 인지적 수준 및 학습 의지와 같은 정의적 태도는 본 연구의 외적 타당화 결과에 영향을 미칠 수 있다.

둘째, 본 연구에서는 X 과학영재 고등학교에 재학 중인 13명의 학생을 대상으로 외적 타당화가 수행되었다. 영재교육진흥법 제32조(영재교육기관의 수업 등) 제4항에 ‘학급당 학생수는 20인 이하로 한다.’라는 조항으로 인하여 현재 X 과학영재 고등학교의 학급당 학생 수는 평균 15 ± 1 명이다. 즉, 13명의 연구 참여자는 X 과학영재 고등학교의 한 학급 학생 수라고 볼 수 있다. 하지만 13명의 학생을 대상으로 한 연구 결과가 영재 학생 전체를 대표한다고 보기 어렵다. 본 연구에서 개발한 수업 모형의 교육적 효과를 검증하기 위하여 수업 모형 적용 전·후 설문조사 응답을 바탕으로 Wilcoxon signed-rank 검정 방법을 활용하여 동일 집단의 사전·사후 통계 분석을 실시하였고, 학생 인터뷰를 진행하여 공통적·반복적으로 등장하는 내용을 코딩하고 범주화하여(Miles & Huberman,

1994) 결과를 심층적으로 분석하였다. 동일 집단의 사전·사후 통계 분석을 위해 비모수 통계 방법인 Wilcoxon signed-rank 검정을 수행한 결과 일부 설문조사 문항에서 사후가 사전에 비해 유의한 효과를 보였다. 또한 학생 인터뷰 응답을 심층 분석한 결과, 인터뷰에 응답한 학생 전원이 수업의 교육적 효과에 대해 다양한 관점에서 긍정적인 반응을 보였다. 하지만 이는 수업 모형 적용 전·후 설문조사에 모두 참여한 12명의 연구 참여자 응답과, 9명의 인터뷰 면담자의 응답을 분석한 결과이다. 따라서 본 연구에서 개발한 수업 모형의 교육적 효과를 영재 학생 전체로 일반화하기 어렵다. 또한 영재 학생은 일반 학생과는 다른 집단이므로, 본 연구의 결과를 일반 학생으로 일반화하는 것도 불가능하다.

나. 후속 연구를 위한 제언

본 연구의 한계점을 바탕으로 추후 연구를 위한 제언은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 개발한 수업 모형을 연구가 수행된 X 과학영재 고등학교 학생 전체를 대상으로 확장하여 추가적인 연구를 수행한다. 또는 X 과학영재 고등학교 외의 다른 영재학교에 적용해 본다. 이를 통해 본 수업 모형의 외적 타당화 과정에서 수집한 데이터의 신뢰도와 타당도를 확보하고 연구 결과의 일반화 가능성을 높일 수 있다. 추가로 본 연구에서 개발한 수업 모형을 일반계 고등학교, 특수목적 고등학교, 특성화 고등학교, 자율형 고등학교 등 영재 학생과는 다른 특성을 보이고 인지적 영역 및 정의적 영역 수준이 다양한 학생들을 대상으로 추가 연구를 수행함으로써 수업 모형과 설계 원리 및 교수전략을 정교화할 필요가 있다. 본 연구의 제한점으로 제시한 것과 같이 연구에 참여한 학생의 특성 및 학생 수의 제약으로 인하여 본 연구에서 탐색한 연구 결과를 일반화하는 데 한계가 있다. 따라서 본 연구의 연구 참여자 외의 학생, X 과학영재 고등학교가 아닌 다른 영재 고등학교 학생, 또는 그 외 다양한 종류의 고등학교에 재학 중인 학생들을 대상으로 과학-정보 융합 수업의 맥락에서 수업 모형에 대한 교육적 효과를 확인해 볼 필요가 있다. 본

연구에서 개발한 수업 모형은 학습자가 Python 프로그래밍 언어의 문법을 어느 정도 학습한 상태라면 ‘분석’ 단계와 ‘설계’ 단계를 통해 학습자의 수준에 적절한 수업 설계가 가능하다. 현재 정보과 교육과정에서 Python을 다루고 있으므로, Python 언어를 학습한 학생을 대상으로 학습자 분석을 통해 인지적 수준과 정의적 수준을 확인하고, 이를 바탕으로 시뮬레이션 구성 수준과 팀 구성 인원을 적절하게 설정하여 수업을 설계한다면 다양한 학교에서 다양한 수준의 학생들을 대상으로 본 연구에서 개발한 수업 모형을 적용할 수 있고, 이를 통해 본 수업 모형의 교육적 효과를 풍부하게 탐색해 볼 수 있을 것이다.

영재교육은 영재의 개별적인 특성에 맞추어 교육의 내용과 방법을 수정하는 ‘차별적 교육과정(differentiate curriculum)’ 운영을 기본으로 한다. 그 이유는 영재의 개별성, 즉 영재 개인이 가지고 있는 고유한 특성인 개인의 요구, 강점, 흥미 등이 영재마다 다르기 때문이다. 하지만 학교 교육의 목적 중 하나가 모든 학생이 자신의 재능을 발견하고 그 재능을 최대한 계발하도록 도와주는 것이므로, 일반 학생도 영재 학생만큼 이질적인 집단임을 고려할 때 영재의 개인차를 최대한 반영하여 이루어지는 영재교육은 일반교육에도 적용할 수 있다(최병연 & 이림, 2022). Tomlinson & Callahan(1992)은 지능에 대한 관점 확장, 소외 계층 학생에 대한 관심, 수업 기법, 주제 중심 학습, 차별화된 교육과정, 자기 주도적 학습, 학생의 생산성, 개별화 수업, 수업 모형 등 다양한 측면에서 영재교육이 일반교육의 발전에 기여했다고 주장하였다. 또한 Reis(2003)는 영재교육 프로그램에서 사용된 몇몇 교수법은 일반 학생에게도 확장되어 사용할 수 있고, 영재를 위한 집단에서 사용된 교수전략은 일반교실에서 사용할 수 있다고 주장하였다. 따라서 본 수업 모형은 과학영재 학생을 대상으로 연구되었으나, 적절히 수정·보완하면 일반 학생을 대상으로도 활용할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

둘째, 본 연구의 외적 타당화 과정에서 사용한 시뮬레이션 구성 역량 검사 도구에 대해 보다 엄밀하고 실험적인 타당화 과정을 수행할 필요가 있다. 본 연구의 외적 타당화 과정에서 사용한 시뮬레이션 구성 역량 검

사 도구는 모델링 역량과 관련된 선행 연구(Chiu & Lin, 2019; Nicolaou & Constantinou, 2014; Nielsen & Nielsen, 2021; Lopes & Costa, 2007; Upmeier zu Belzen *et al.*, 2019)와 교수설계의 영역을 가상현실 분야로 확장한 연구(한형중, 2019)를 바탕으로 본 연구에 적절하게 수정·번역을 통해 재구성하여 개발되었다. 이렇게 개발된 시뮬레이션 구성 역량 검사 도구는 두 차례에 걸친 전문가 타당화 과정을 통해 타당성을 확보하였으며, 수업 모형의 교육적 효과를 탐색하는 보조적인 검사 도구로 활용되었다. 검사 도구는 신뢰도와 타당도가 확보되어야 한다. 신뢰도는 검사 도구가 측정하고자 하는 것을 얼마나 일관되고 정확하게 측정하는가를 나타내며, 타당도는 검사 도구가 측정하고자 하는 것을 얼마나 제대로 측정하는가를 나타낸다(백순근, 2005; 이종승, 2009). 문항의 타당도와 신뢰도, 집단별 점수 차이 등을 확인하기 위해서는 적절한 수의 표본이 필요하다. 본 연구에서는 시뮬레이션 역량 검사 도구의 내용 타당도만을 두 차례에 걸친 전문가 검토를 통해 이루어졌으므로, 엄밀하고 실험적인 타당화 과정을 수행하여 검사 문항의 신뢰도와 타당도를 확보할 필요가 있다.

참고문헌

- 강남화, & 이은미 (2013). 2009 개정 과학교육과정에 따른 고등학교 물리 교과서 탐구활동 분석. **한국과학교육학회지**, 33(1), 132 - 143.
- 고려대한국어대사전. accessed June 2, 2024.
<https://ko.dict.naver.com/#/entry/koko/05d9c5286e8e4d61b99ee577c55ce359>
- 공병민, 공민규, 이현정, 임호성, & 심현진 (2023). 우주 망원경 영상 데이터를 활용한 코딩 기반 천문 교육 프로그램의 개발과 적용. **현장과학교육**, 17(3), 331 - 345.
- 관계부처 합동 (2022). 인공지능시대, 교육정책방향과 핵심과제 추진성과 점검 결과 및 개선 방향. 세종.
- 교육부 (2015a). 2015 개정 교육과정 총론. 교육부 고시 제2015-74호 [별책 1].
- 교육부 (2015b). 2015 개정 교육과정 총론 해설(고등학교). 교육부 고시 제2015-74호(교육부 고시 제2020-225호 일부개정 포함). 발간등록번호 11-1342000-000331-14.
- 교육부 (2015c). 2015 개정 교육과정 과학과 교육과정. 교육부 고시 제2015-74호 [별책 9].
- 교육부 (2015d). 2015 개정 교육과정 실과(기술가정)/정보과 교육과정. 교육부 고시 제2015-74호 [별책 10].
- 교육부 (2020a). 과학·수학·정보·융합 교육 종합계획('20~'24).
- 교육부 (2020b). 제4차 과학교육 종합계획(안) 2020년~2024년.
- 교육부 (2020c). 제4차 융합교육 종합계획(안) 2020년~2024년.
- 교육부 (2021). 2022 개정 교육과정 총론 주요사항(시안).
- 교육부 (2022a). 2022 개정 교육과정 총론. 교육부 고시 제2022-33호 [별책 1].
- 교육부 (2022b). 2022 개정 교육과정 총론 해설(고등학교). 교육부 고시 제2022-33호(2022.12.22.). 발간등록번호 11-1342000-001048-01.
- 교육부 (2022c). 2022 개정 교육과정 과학과 교육과정. 교육부 고시 제2022-33호 [별책 9].
- 교육부 (2022d). 2022개정 교육과정 실과(기술가정)/정보과 교육과정. 교육부 고시 제2022-33호 [별책 10].

- 김가은, 김영주, 나윤희, 송주은, & 윤유상 (2023). 국내 보건의료분야 시뮬레이션 실습교육 현황. **한국의료시뮬레이션학회지**, 7(2), 68 - 76.
<https://doi.org/10.22910/KOSSH.2023.7.2.2>
- 김근재 (2019). **피지컬 컴퓨팅 도구를 활용한 메이커 교육 수업 모형 개발**. 서울대학교 대학원, 서울.
- 김미숙, 윤초희, & 조석희 (2005). 우리나라 중학생 영재의 지적·정의적 특성. **아시아교육연구**, 6(3), 25 - 58.
- 김민환, 서혜린, & 김두찬 (2020). Python을 이용한 2차원 파동의 간섭 시뮬레이션. **현장과학교육**, 14(3), 415-422.
- 김봉철, 김봄솔, & 김종훈 (2022). 데이터 과학 교육을 위한 수업모형 개발 및 타당성 검증. **정보교육학회논문지**, 26(5), 417 - 425.
- 김수란, 박경애, & 김은숙 (2023). 해양 수치모델 데이터를 활용한 데이터 시각화 수업 자료 개발. **현장과학교육**, 17(4), 395-415.
- 김은진 (2009). **웹퀘스트를 활용한 스크래치 프로그래밍 학습에 관한 연구**. 서울교육대학교 교육대학원. 서울.
- 김인숙, 이문복, 박종임, 송민호, 김성기, 곽민호, 김성숙, 김창환, 임은진, & 장현진 (2019). **핵심역량 평가를 위한 컴퓨터 기반 평가 시스템 (KICE-eAssessment) 개발 연구(II)**. (연구보고 RRE 2022-8). 한국교육과정평가원.
- 김종혜 (2014). 과학영재 고등학교 도구교과로서의 프로그래밍 교육과정 내용요소 설계. **컴퓨터교육학회 논문지**, 17(4), 1 - 11.
<https://doi.org/10.32431/kace.2014.17.4.001>
- 김지혜 (2015). **컴퓨팅 사고 증진을 위한 중학교 정보 교과 문제해결 단원 설계: 파이썬 프로그래밍 언어를 이용하여**. 연세대학교 교육대학원. 서울.
- 김창배, 이동렬, 김희상, 정진석, 천명기, 이운상, 김진민, 이태훈, 이항모, 박세영, 김남미, Kim Doris, & 최현희 (2020). VPython을 활용한 선형 질량-스프링 결합계 진동의 대화형 시뮬레이션. **새물리**, 70(10), 871 - 879.
<https://doi.org/10.3938/NPSM.70.871>
- 김한휘 (2023). **초등 수학교육에서 데이터 기반 문제해결 수업 모형 개발**. 서울대학교 대학원, 서울.
- 김현정 (2010). Scratch를 활용한 프로그래밍 교육이 문제해결력 향상에 미치는 영향. **한국정보교육학회:학술대회논문집**, 2010(1), 307 - 312.

- 김현정, & 김성기 (2021). 한국과 에스토니아의 과학 교육과정 비교 연구: 화학 영역을 중심으로. **대한화학회지**, 65(5), 347-357.
- 노동균 (2023). **과학 데이터 기반 인공지능(AI)·고등학교 과학 융합 교육 프로그램의 개발 및 적용: pH 예측을 중심으로**. 서울대학교 대학원, 서울.
- 문우중, 고승환, 부용호, 박예진, & 김종훈 (2022). 몬테카를로 시뮬레이션을 적용한 정보·환경 융합 교육 프로그램 개발 및 타당성 검증 연구. **정보교육학회논문지**, 26(2), 121 - 128.
- 박선영 (2010). **교육학개론**. 서울: 원미사.
- 박일우 (2022). 등속 원운동과 Web VPython으로 우주 망원경의 위치 계산하기 (1) - 라그랑주 L1과 L2 지점을 중심으로. **현장과학교육**, 16(4), 503 - 517.
- 박홍준 & 전영국 (2016). 순천만 흑두루미 생태를 활용한 ICT 융합 수업 탐구. **한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집**, 20(1), 57-59.
- 박홍준 & 전영국 (2018). 과학영재반 학생 대상 NetLogo 기반 모델링 콘텐츠 개발 및 적용 사례. **과학영재교육**, 10(1), 1-17.
<https://doi.org/10.29306/jseg.2018.10.1.1>
- 박희경 (2015). **과학적 모형 기반 수업을 통한 과학 영재 학생들의 모형 구성 능력 변화**. 서울대학교 대학원, 서울.
- 배대성 (2012). **중학생의 힘과 운동 현상 관련 과학적 모형구성에서 학습의 진행**. 서울대학교 대학원, 서울.
- 백순근 (2007). **교육측정의 이론과 실제**. 서울: 교육과학사.
- 서울특별시교육청교육연구정보원 교수학습정보부 (2024). 디지털기반 교육혁신 역량 강화를 위한 융합교육을 위한 파이썬 기초 및 VPython 프로젝트(2기) 직무연수 운영 계획.
- 성태제, 강대중, 강이철, 곽덕주, 김계현, 김천기, 김혜숙, 봉미미, 유재봉, 이윤미, 이윤식, 임웅, & 홍후조 (2012). **최신 교육학개론 (제2판)**. 서울: 학지사.
- 송유경 (2021). **데이터 리터러시 향상을 위한 데이터 기반 토론 수업 모형 개발**. 서울대학교 대학원, 서울.
- 송유경, 송석리, 김예지, & 임철일 (2021). 데이터 리터러시 향상을 위한 데이터 기반 토론 수업 모형 및 교수전략 개발 연구. **교육공학연구**, 37(4), 943 - 982.
<https://doi.org/10.17232/KSET.37.4.943>
- 알지오매스. <https://www.algeomath.kr/>. accessed March 23, 2024.

- 오필석, & 김찬중 (2005). 지구과학의 한 탐구 방법으로서 귀추법에 대한 이론적 고찰. **한국과학교육학회지**, 25(5), 610 - 623.
- 우정훈 & 전영국 (2014). NetLogo 기반의 과학탐구용 시뮬레이션콘텐츠 개발 및 형성평가. **컴퓨터교육학회 논문지**, 17(2), 65-76.
<https://doi.org/10.32431/kace.2014.17.2.007>
- 유진아 (2008). **공개소프트웨어 Python을 이용한 프로그래밍 교육에 관한 연구**. 단국대학교 교육대학원, 서울.
- 유희원, 함동철, 차현정, 김민석, 김희백, 유준희, 박현주, 김찬중, & 최승언 (2012). 달의 위상 변화에 대한 과학적 모형 구성 수업에서 나타나는 과학 영재들의 모형 생성 및 발달 과정. **영재교육연구**, 22(2), 291-315.
- 윤정은 (2022). **고등학교 정보 교과에서 VPython 기반 소프트웨어 교육의 학습 몰입도 및 학업 성취도 분석**. 숙명여자대학교 교육대학원, 서울.
- 윤정일, 김민성, 윤순경, & 박민정 (2007). 인간 능력으로서의 역량에 대한 고찰: 역량의 특성과 차원. **교육학연구**, 45(3), 233-260.
- 이미현, & 구덕희 (2011). 초등학교 정보교육을 위한 EPL 적용 분석. **정보교육학회논문지**, 15(1), 85 - 91.
- 이민우, & 김성식 (2019). 문제해결 프로그래밍 교육을 위한 범용 컴퓨팅 사고력 척도 개발 연구. **컴퓨터교육학회 논문지**, 22(5), 67 - 77.
<https://doi.org/10.32431/kace.2019.22.5.006>
- 이상은, 김은영, 김소아, 유예림, 최수진, 소경희, & 인연재 (2018). **OECD 교육 2030 참여 연구: 역량의 교육정책적 적용 과제 탐색**. (연구보고 RR 2018-08). 한국교육개발원.
- 이소율, & 이영준 (2021). 머신러닝 교육 플랫폼 활용 '분자 구조의 이해'를 위한 융합교육 프로그램 개발. **정보교육학회논문지**, 25(6), 961 - 972.
<https://doi.org/10.14352/jkaie.2021.25.6.961>
- 이인화, 박상복, 심현표, & 이정우 (2017). **핵심역량 신장을 위한 교과별 평가자료 개발 및 적용: 의사소통 역량과 공동체 역량을 중심으로**. (연구보고 RRE 2017-7). 한국교육과정평가원.
- 이정철, 강순민, & 허홍욱 (2009). 한국과학영재학교 학생들의 과학적 태도, 학습양식, 선호하는 수업형태와 수업환경 조사를 통한 수업전략의 수립. **영재교육연구**, 19(1), 138 - 159.
- 이종승 (2009). **교육, 심리, 사회 연구방법론**. 파주: 교육과학사.

- 이종완 (2023). VPython으로 구현한 블로흐 구의 온라인 3차원 시뮬레이터. **새물리**, 73(11), 984 - 991. <https://doi.org/10.3938/NPSM.73.984>
- 이종완, & 송창근 (2013). 게임물리학 교수학습 자료의 개발. **새물리**, 63(10), 1112 - 1117.
- 이준행, 지영래, & 채승철 (2018). 과학교육에서 Python을 이용한 기호연산, 시각화, 그리고 확률적 시뮬레이션의 활용방안. **현장과학교육**, 12(1), 85 - 96. <https://doi.org/10.15737/ssj.12.1.201802.85>
- 이창윤 (2019). **실제적 관찰 및 실제적 조작을 지원하는 과학 시뮬레이션의 개발 사례 연구**. 서울대학교 대학원, 서울.
- 이향로 (2011). 과학 영재의 행동 특성 분석. **한국지구과학회지**, 32(3), 294 - 305.
- 임관혁, 박지윤, & 신혜성 (2021). 교과목 설계를 위한 교수설계타당화 모형의 제안. **교양 교육 연구**, 15(1), 205-216. <https://doi.org/10.46392/kjge.2021.15.1.205>
- 임은선 (2023). **인공지능 기반 적응형 학습 시스템 활용 영어 수업 모형 개발**. 서울대학교 대학원, 서울.
- 임철일 (2012). **교수설계 이론과 모형 (제2판)**. 파주: 교육과학사.
- 임철일, & 연은경 (2009). 사례기반 시뮬레이션 설계 원리에 관한 형성 연구. **교육공학연구**, 25(2), 117 - 149. <https://doi.org/10.17232/KSET.25.2.117>
- 임희준 (2005). 원자 모형과 오비탈에 대한 고등학생들의 이해. **한국과학교육학회지**, 25(2), 297-306.
- 임희준, & 장신호 (2004). 오비탈과 원자 모형에 대한 과학 고등학교 학생들의 이해. **열린교육연구**, 12(2), 261 - 274.
- 자바실험실. <https://javalab.org/>. accessed March 23, 2024.
- 장진섭, 홍의정, & 채승철 (2023). 인공지능경망 코딩을 활용한 수학·과학·정보 융합 교육자료 개발. **현장과학교육**, 17(2), 174-191.
- 전영은 (2023). **화학 결합 학습을 위한 모바일 증강현실 애플리케이션 개발과 적용**. 서울대학교 대학원, 서울.
- 정수진 (2023). **게임 기반 인공지능 융합 수업 모형 개발**. 서울대학교 대학원, 서울.
- 조난심 (2017). 제4차 산업혁명과 교육. **교육비평**, (39), 330 - 347.
- 조훈, & 손정주 (2022). 고등학교 천문학 수업에서 코딩을 활용한 데이터 기반 탐구활동의 활성화 방안 탐색. **현장과학교육**, 16(5), 602-618.
- 지능형 과학실 ON. <https://science-on.kofac.re.kr/>. accessed March 18, 2024.

- 채지윤 (2023). **클라우드 기반 학습도구를 활용한 데이터 기반 맞춤형 수업 모형 개발**: 중등 수학 교육을 중심으로. 서울대학교 대학원, 서울.
- 최병연, & 이림 (2022). 일반교육에서 영재 교육과정 모형의 적용 가능성 탐색. *Global Creative Leader: Education & Learning*, 12(3), 12(3), 79 - 112.
<https://doi.org/10.34226/gcl.2022.12.3.79>
- 최섭 (2021). **VR 기반 프로그램을 활용한 과학적 모형 구성 수업의 개발과 효과**. 서울대학교 대학원, 서울.
- 최섭, & 김희백 (2020). 가상현실 특성을 반영한 VR 프로그램 기반 수업 적용 및 효과. *한국과학교육학회지*, 40(2), 203 - 216.
<https://doi.org/10.14697/jkase.2020.40.2.203>
- 최유정 (2021). **실제적 데이터를 활용한 생명과학 수업이 고등학생의 데이터 리터러시와 그래프 능력에 미치는 영향**. 이화여자대학교 대학원, 서울.
- 최지은 & 성은모 (2022). 플립러닝 과정기반 온라인 프로젝트학습 수업모형 개발. *교육공학연구*, 38(3), 907 - 951. <https://doi.org/10.17232/KSET.38.3.907>
- 최진호 (2023). **소프트웨어를 활용한 물리학 수업이 고등학생의 과학과 핵심역량에 미치는 영향**. 전남대학교 교육대학원, 전남.
- 표준국어대사전. accessed June 2, 2024.
<https://stdict.korean.go.kr/search/searchResult.do>
- 하민수, 박현주, 김용진, 강남화, 오필석, 김미점, 민재식, 이운형, 한효정, 김무경, 고성우, & 손미현 (2018). 2015 개정 과학과 교육과정에 기초한 과학과 핵심역량 조사 문항의 개발 및 적용. *한국과학교육학회지*, 38(4), 495 - 504.
<https://doi.org/10.14697/jkase.2018.38.4.495>
- 하희수, 이차은, & 김희백 (2018). 스마트 기기를 활용한 모형 구성 활동에서 드러난 개념 특성의 변화 및 변화 지원 요인 탐색. *생물교육학회지*, 46(3), 300 - 317. <https://doi.org/10.15717/bioedu.2018.46.3.300>
- 한국과학창의재단 (2022). **초중등 AI교육 학교 적용 방안 연구보고서**.
<https://www.kofac.re.kr/brd/board/457/L/menu/244?brdType=R&thisPage=1&bbIdx=37427&searchField=&searchText=>
- 한국과학창의재단 (2023). **2022 첨단과학기술 활용 과학탐구 시뮬레이션 콘텐츠 가이드**.
https://www.kofac.re.kr/jnrepo/viewer/skin/doc.html?fn=a77886415d1148d9882c4bb45e64621f_1686717551293.pdf&rs=jnrepo/viewer/result/202403/

- 한정선, 김영수, 주영주, 강명희, 조일현, & 이정민 (2011). **(21세기 교사를 위한) 교육방법 및 교육공학 (제2판)**. 파주: 교육과학사.
- 한형중 (2019). **가상현실 기반 교육용 시뮬레이션 설계모형 개발**. 서울대학교 대학원, 서울.
- 한형중, & 임철일 (2020). 가상현실 기반 교육용 시뮬레이션 설계원리 개발. **교육공학연구**, 36(2), 221 - 264. <https://doi.org/10.17232/KSET.36.2.221>
- 홍춘표, & 김용연 (2010). 가상현실 실험이 학업 성취도와 과학 관련 태도 및 창의성에 미치는 효과: 10학년 과학 교과-물질 단원을 중심으로. **현장과학교육**, 4(2), 80 - 90. <https://doi.org/10.15737/ssj.4.2.201008.80>
- Abichandani, P., Primerano, R., & Kam, M. (2010). Symbolic Scientific Software Skills for Engineering Students. *2010 IEEE Transforming Engineering Education: Creating Interdisciplinary Skills for Complex Global Environments*, 1 - 26. IEEE. <https://doi.org/10.1109/TEE.2010.5508844>
- Academo. <https://academo.org/>. accessed March 23, 2024.
- Adams, W. K. (2010). Student engagement and learning with PhET interactive simulations. *Il Nuovo Cimento*, 33(3), 21 - 32.
- Adams, W. K., Reid, S., LeMaster, R., McKagan, S. B., Perkins, K. K., & Wieman, C. E. (2008a) A study of educational simulations Part I - *Engagement and Learning, Journal of Interactive Learning Research*, 19(3), 397-419.
- Adams, W. K., Reid, S., LeMaster, R., McKagan, S. B., Perkins, K. K., & Wieman, C. E., (2008b) A study of educational simulations Part II - *Interface Design Journal of Interactive Learning Research*, 19(4), 551-577.
- Ahamed, S., Brylow, D., Ge, R., Madiraju, P., Merrill, S., Struble, C., & Early, J. (2010). Computational thinking for the sciences: a three day workshop for high school science teachers. *Proceedings of the 41st ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 42 - 46. ACM. <https://doi.org/10.1145/1734263.1734277>

- Akpojotor, G., Ehwerhemuepha, L., Echenim, M., & Akpojotor, F. (2010). Modeling and visualization of some physics phenomena with Vpython simulations. *African Journal of Physics*, 3, 94-118.
<https://www.researchgate.net/publication/252287320>
- Alessi, S. M., & Trollip, S. R. (1991). *Computer-based instruction: Methods and Development (2nd ed.)*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Allan, V., Barr, V., Brylow, D., & Hambruch, S. (2010). Computational thinking in high school courses. *Proceedings of the 41st ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 390 - 391. ACM.
<https://doi.org/10.1145/1734263.1734395>
- Ammonet, R., Göhner, M. F., Bielik, T., & Krell, M. (2024). *Why most definitions of modeling competence in science education fall short: Analyzing the relevance of volition for modeling*. <https://doi.org/10.1002/sce.21841>
- Australian Curriculum, Assessment and Reporting Authority (ACARA). (2015). *The Australian curriculum: Science*.
<https://www.australiancurriculum.edu.au/>
- Baek, H. (2013). *Tracing fifth-grade students' epistemologies in modeling through their participation in a model-based curriculum unit*. ProQuest Dissertations Publishing.
- 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.
<https://doi.org/10.1007/s10956-014-9532-6>
- 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.
[https://doi.org/10.1002/1098-2736\(200009\)37:7<719::AID-TEA6>3.0.CO;2-V](https://doi.org/10.1002/1098-2736(200009)37:7<719::AID-TEA6>3.0.CO;2-V)
- Beer, S. (2011). *Teaching 21st century skills: An ASCD action tool*. Virginia: Association of Supervision and Curriculum Development.

- 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*, 45(3), 346 - 372. <https://doi.org/10.1002/tea.20227>
- Beltzer, A. I., & Shenkman, A. L. (1995). Use of symbolic computation in engineering education. *IEEE Transactions on Education*, 38(2), 177 - 184. <https://doi.org/10.1109/13.387221>
- Biology Simulations. <https://www.biologysimulations.com/>. accessed March 23, 2024.
- Blum, W. (2002). ICMI Study 14: Applications and Modelling in Mathematics Education: Discussion Document. *Educational Studies in Mathematics*, 51(1/2), 149 - 171. <https://doi.org/10.1023/A:1022435827400>
- Boone, W. J., Staver, J. R., & Yale, M. S. (2014). *Rasch Analysis in the Human Sciences*. New York, Ny: Springer.
- British Columbia Ministry of Education (BCMOE). (2019). *Curriculum redesign*. <https://curriculum.gov.bc.ca/rethinking-curriculum>
- Bronson, R. (1984). Computer simulation: What was it and how it is one. *BYTE*, 9(3), 95-102.
- Buckley, B. C. (2000). Interactive multimedia and model-based learning in biology. *International Journal of Science Education*, 22(9), 895 - 935. <https://doi.org/10.1080/095006900416848>
- Bufasi, E., Hoxha, M., Cuka, K., & Vrtagic, S. (2022). Developing Student's Comprehensive Knowledge of Physics Concepts by Using Computational Thinking Activities: Effects of a 6-Week Intervention. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 17(18), 161 - 176. <https://doi.org/10.3991/ijet.v17i18.31743>
- Burke, K. A., Greenbowe, T. J., & Windschitl, M. A. (1998). Developing and Using Conceptual Computer Animations for Chemistry Instruction. *Journal of Chemical Education*, 75(12), 1658 - 1661. <https://doi.org/10.1021/ed075p1658>

- Campbell, T., Oh, P. S., Maughn, M., Kiriazis, N., & Zuwallack, R. (2015). A Review of modeling pedagogies: Pedagogical functions, discursive acts, and technology in modeling instruction. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(1), 159 - 176.
<https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1314a>
- Capece, A. M., & Gazley, J. L. (2021). The Hohmann transfer as an application for teaching introductory physics. *American Journal of Physics*, 89(11), 1002 - 1008. <https://doi.org/10.1119/10.0005659>
- Chabay, R., & Sherwood, B. (2023). *Vpython documentation*.
<https://www.glowscript.org/docs/VPythonDocs/index.html>
- Chamberlain, J. M., Lancaster, K., Parson, R., & Perkins, K. K. (2014). How guidance affects student engagement with an interactive simulation. *CHEMISTRY EDUCATION RESEARCH AND PRACTICE*, 15(4), 628 - 638. <https://doi.org/10.1039/c4rp00009a>
- Chang, C. J., Chang, M. H., Chiu, B. C., Liu, C. C., Fan Chiang, S. H., Wen, C. T., Hwang, F. K., Wu, Y. T., Chao, P. Y., Lai, C. H., Wu, S. W., Chang, C. K., & Chen, W. (2017). An analysis of student collaborative problem solving activities mediated by collaborative simulations. *Computers and Education*, 114, 222 - 235. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.07.008>
- ChemCollective. <https://chemcollective.org/>. accessed March 23, 2024.
- Chiu, M. H., Chou, C. C., Chen, Y. H., Hung, T., Tang, W. T., Hsu, J. W., Liaw, H. L., & Tsai, M. K. (2019). Model-based learning about structures and properties of chemical elements and compounds via the use of augmented realities. *Chemistry Teacher International: Best Practices in Chemistry Education*, 1(1), 31 - 40. <https://doi.org/10.1515/cti-2018-0002>
- Chiu, M.-H., & Lin, J.-W. (2019). Modeling competence in science education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 1 - 11. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0012-y>
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041 - 1053.
<https://doi.org/10.1080/095006900416901>

- Computer Science Teachers Association (CSTA) (2017). *K-12 Computer Science Standards, Revised 2017*.
<https://members.csteachers.org/documents/en-us/46916364-83ab-4f51-85fb-06b3b25b417c/1/>
- Concord Consortium. <https://concord.org/>. accessed March 23, 2024.
- Cornish, N. J. (1998). The Lagrange Points. *WMAP Education and Outreach*.
<https://map.gsfc.nasa.gov/ContentMedia/lagrange.pdf>
- Davies, C. (2002). Student engagement with simulations: A case study. *Computers and Education*, 39(3), 271 - 282.
[https://doi.org/10.1016/S0360-1315\(02\)00046-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1315(02)00046-5)
- de Jong, T. (2006). Computer simulations. Technological advances in inquiry learning. *Science (American Association for the Advancement of Science)*, 312(5773), 532 - 533. <https://doi.org/10.1126/science.1127750>
- de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179 - 201. <https://doi.org/10.3102/00346543068002179>
- Dickes, A. C., Kamarainen, A., Metcalf, S. J., Gün Yildiz, S., Brennan, K., Grotzer, T., & Dede, C. (2019). Scaffolding ecosystems science practice by blending immersive environments and computational modeling. *British Journal of Educational Technology*, 50(5), 2181 - 2202.
<https://doi.org/10.1111/bjet.12806>
- Dounas-Frazer, D. R., & Lewandowski, H. J. (2018). The Modelling Framework for Experimental Physics: description, development, and applications. *European Journal of Physics*, 39(6), 64005.
<https://doi.org/10.1088/1361-6404/aae3ce>
- Duschl, R. (2008). Science Education in Three-Part Harmony: Balancing Conceptual, Epistemic, and Social Learning Goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268 - 291. <https://doi.org/10.3102/0091732X07309371>
- EDISON. <https://www.edison.re.kr/>, accessed March 23, 2024.
- Feldhusen, J. F., & Hoover, S. M. (1986). A conception of giftedness: Intelligence, self concept and motivation. *Roeper Review*, 8(3), 140 - 143.
<https://doi.org/10.1080/02783198609552957>

- Fennell, H. W., Lyon, J. A., Magana, A. J., Rebello, S., Rebello, C. M., & Peidrahita, Y. B. (2019). *Designing hybrid physics labs: combining simulation and experiment for teaching computational thinking in first-year engineering*. 2019 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE), Covington, KY, USA, 2019, 1–8.
<https://doi.org/10.1109/FIE43999.2019.9028390>
- Finkelstein, N. D., Perkins, K. K., Adams, W., Kohl, P., & Podolefsky, N. (2005). Can computer simulations replace real equipment in undergraduate laboratories? *2004 Physics Education Research Conference*, 790, 101 – 104. MELVILLE: Amer Inst Physics. <https://doi.org/10.1063/1.2084711>
- Francoeur, E. (1997). The Forgotten Tool: The Design and Use of Molecular Models. *Social Studies of Science*, 27(1), 7 – 40.
<https://doi.org/10.1177/030631297027001002>
- GeoGebra. <https://www.geogebra.org/?lang=ko/>. accessed March 23, 2024).
- Giere, R. N. (1988). *Explaining science: a cognitive approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- Giere, R. N. (2018). *Modelling in Science and Technology*. In *Supplement to the Guide for Teachers on the School Exam Physics havo/vwo*.
https://staff.fnwi.uva.nl/a.j.p.heck/Guide_on_modelling/Text/watismodellieren.html
- Gilbert, J. (1995). *The role of models and modelling in some narratives in science learning*. Paper presented at the Annual meeting of the American Educational Research Association. San Francisco, CA, USA.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115 – 130. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. (2009). *Multiple Representations in Chemical Education*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000b). *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.

- Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A., & Franco, C. (2000a). *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.
- Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73 - 79.
<https://doi.org/10.1002/tea.3660280107>
- Gobert, J. D., Sao Pedro, M. A., Baker, R. S., Toto, E., & Montalvo, O. (2012). Leveraging educational data mining for real-time performance assessment of scientific inquiry skills within microworlds. *Journal of Educational Data Mining*, 4(1), 104 - 143.
- Gohner, M., & Krell, M. (2022). Preservice Science Teachers' Strategies in Scientific Reasoning: the Case of Modeling. *Research in Science Education (Australasian Science Education Research Association)*, 52(2), 395 - 414. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09945-7>
- Graham, M., Milanowski, A., & Miller, J. (2012). *Measuring and Promoting Inter-Rater Agreement of Teacher and Principal Performance Ratings*.
- Grant, J. S., & Davis, L. L. (1997) Selection and Use of Content Experts for Instrument Development. *Research in nursing & health*, 20(3), 269-274..
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2002). Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education (Salem, Mass.)*, 86(1), 106 - 121. <https://doi.org/10.1002/sce.10013>
- Halloun, I. A. (2006). *Modeling Theory in Science Education (1. Aufl., Vol. 24)*. Dordrecht: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/1-4020-2140-2>
- Hammond, K. R. (1971). Computer Graphics as an Aid to Learning: Computer graphics can facilitate the rapid learning of an important cognitive skill. *Science (American Association for the Advancement of Science)*, 172(3986), 903 - 908. <https://doi.org/10.1126/science.172.3986.903>

- Harlow, D. B., Bianchini, J. A., Swanson, L. H., & Dwyer, H. A. (2013). Potential teachers' appropriate and inappropriate application of pedagogical resources in a model-based physics course: A "knowledge in pieces" perspective on teacher learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(9), 1098 - 1126. <https://doi.org/10.1002/tea.21108>
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011 - 1026. <https://doi.org/10.1080/095006900416884>
- Hart, C. (2001). *Doing a literature search: a comprehensive guide for the social sciences*. London; Thousand Oaks, Calif.: Sage.
- Henning, H., & Keune, M. (2007). *Levels of Modelling Competencies*. In Modelling and Applications in Mathematics Education (Vol. 10, pp. 225 - 232). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-29822-1_23
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141-158. <https://doi.org/10.1119/1.2343497>
- Hodson, D. (1992). In Search of a Meaningful Relationship : An Exploration of Some Issues Relating to Integration in Science and Science Education: Research in Science Education. *International Journal of Science Education*, 14(5), 541 - 562.
- Idris, A. M., & Idris, A. M. (2023). Visualization and Computational Modelling Using VPython to Teach Physics at the Faculty of Science, University of Derna. *International Journal of Applied Sciences and Technology*, 5(4), 166-179. <https://doi.org/10.47832/2717-8234.17.12>
- Jablonka, E. (1996). *Meta-Analyse von Zugängen zur Mathematischen Modellbildung und Konsequenzen für den Unterricht*. Berlin: Transparent.
- Jonassen, D. H., & Ionas, I. G. (2008). Designing Effective Supports for Causal Reasoning. *Educational Technology Research and Development*, 56(3), 287 - 308. <https://doi.org/10.1007/s11423-006-9021-6>
- JonDarkow. <https://sites.google.com/site/biologydarkow/home/>. accessed March 23, 2024.

- Justi, R., & Gilbert, J. (2006). *Models and Modelling in Chemical Education. In Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 47 - 68). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/0-306-47977-X_3
- Justi, R., & van Driel, J. (2005). The development of science teachers' knowledge on models and modelling: promoting, characterizing, and understanding the process. *International Journal of Science Education*, 27(5), 549 - 573. <https://doi.org/10.1080/0950069042000323773>
- Keller, C. J., Finkelstein, N. D., Perkins, K. K., & Pollock, S. J. (2007). Assessing the effectiveness of a computer simulation in introductory undergraduate environments. *2006 PHYSICS EDUCATION RESEARCH CONFERENCE*, 883, 121 - 124. MELVILLE: Amer Inst Physics. <https://doi.org/10.1063/1.2508707>
- Keshwani, D. R., Ryan Drew Anderson, Keshwani, J., Subbiah, J., Guru, A., & Rice, N. C. (2017). Educational Immersive Simulation Game Design to Enhance Understanding of Corn-Water-Ethanol-Beef System Nexus. *Association for Engineering Education - Engineering Library Division Papers*. Atlanta: American Society for Engineering Education-ASEE.
- Keune, M., & Henning, H. (2003). *Modelling and Spreadsheet Calculation. In Mathematical Modelling in Education and Culture: ICTMA 10* (pp. 101 - 110). <https://doi.org/10.1016/B978-1-904275-05-3.50014-6>
- Khan, S. (2011). What's Missing in Model-Based Teaching. *Journal of Science Teacher Education*, 22(6), 535 - 560. <https://doi.org/10.1007/s10972-011-9248-x>
- Knuuttila, T. (2011). Modelling and representing: An artefactual approach to model-based representation. *Studies in History and Philosophy of Science. Part A*, 42(2), 262 - 271. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2010.11.034>
- Korhonen, H. Paavilainen, J., & Saarenpaa, H. (2009). Expert review method in game evaluation: comparison of two playability heuristic sets. In Proceeding of the 13th International MindTrek conference: *Everyday life in the ubiquitous era*, 74-81.

- Krell, M., Walzer, C., Hergert, S., & Krüger, D. (2019). Development and Application of a Category System to Describe Pre-Service Science Teachers' Activities in the Process of Scientific Modelling. *Research in Science Education (Australasian Science Education Research Association)*, 49(5), 1319 - 1345. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9657-8>
- Kultusministerkonferenz (KMK). (2020). *Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife* [Educational standards in biology for the higher education entrance qualification]. https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2020/2020_06_18-BildungsstandardsAHR_Biologie.pdf
- LabXChange. <https://www.labxchange.org/>. accessed March 23, 2024.
- Langbeheim, E. (2020). Simulating the Effects of Excluded-Volume Interactions in Polymer Solutions. *Journal of Chemical Education*, 97(6), 1613 - 1619. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00003>
- Lee, S. W., Shih, M., Liang, J., & Tseng, Y. (2021). Investigating learners' engagement and science learning outcomes in different designs of participatory simulated games. *British Journal of Educational Technology*, 52(3), 1197 - 1214. <https://doi.org/10.1111/bjet.13067>
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2005). *Cultivating Model-Based Reasoning in Science Education*. In *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences* (pp. 371 - 388). United Kingdom: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816833.023>
- Leshin, C. B., Pollock, J., & Reigeluth, C. M. (1992). *Instructional design strategeis and tactics. Educational Technology*.
- Liu, H. C., Andre, T., & Greenbowe, T. (2008). The Impact of Learner's Prior Knowledge on Their Use of Chemistry Computer Simulations: A Case Study. *Journal of Science Education and Technology*, 17(5), 466 - 482. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9115-5>

- Liu, M., Lee, J., Kang, J., & Liu, S. (2016). What We Can Learn from the Data: A Multiple-Case Study Examining Behavior Patterns by Students with Different Characteristics in Using a Serious Game. *Technology, Knowledge and Learning*, 21(1), 33 - 57.
<https://doi.org/10.1007/s10758-015-9263-7>
- Lodish, H., Berk, A., Kaiser, C. A., Krieger, M., Bretscher, A., Ploegh, H., Amon, A., & Martin, K. C. (2016). *Molecular cell biology*. eighth edition. New York: W.H. Freeman-Macmillan Learning.
- Lopes, B. J., & Costa, N. (2007). The Evaluation of Modelling Competences: Difficulties and potentials for the learning of the sciences. *International Journal of Science Education*, 29(7), 811 - 851.
<https://doi.org/10.1080/09500690600855385>
- Lynn, M. R. (1986). Determination and Qualification of Content Validity. *Nursing research*, 35(6), 382-386,
- Maaß, K. (2004). Mathematisches Modellieren im Unterricht - Ergebnisse einer empirischen Studie. *Journal für Mathematik-Didaktik*, 25(2), 175 - 176.
<https://doi.org/10.1007/BF03339002>
- Marciuc, D., & Miron, C. (2017). Using VPython programming for interdisciplinary learning and problem solving. *The 13th International Scientific Conference eLearning and Software for Education*, 2(106).
<https://doi.org/10.12753/2066-026X-17-101>
- Marciuc, D., Miron, C., & Barna, E. S. (2015). Using GeoGebra and VPython software for teaching motion in a uniform gravitational field. *Romanian Reports in Physics*, 68(4). 1603-1620.

- McGrath, J. L., Taekman, J. M., Dev, P., Danforth, D. R., Mohan, D., Kman, N., Crichlow, A., Bond, W. F., Fernandez, R., Riker, S., Lemheney, A. J., Talbot, T. B., Franzen, D., Eric, M. C., Chipman, A., Parekh, K., Papa, L., Harter, P., Frey, J., Hock, S., Kerrigan, K., Kesawadan, K., Koboldt, T., Kulkornia, M., Mahajan, P., Pusic, M., Robinson, D., Ruby, D., Sankaran, N. K., Siegelman, J., Wang, E., & Won, K. (2018). *Using Virtual Reality Simulation Environments to Assess Competence for Emergency Medicine Learners. Academic Emergency Medicine, 25*(2), 186 - 195. <https://doi.org/10.1111/acem.13308>
- 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 and Education, 70*, 29 - 40. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Keeney-Kennicutt, W., Kwok, O., Cifuentes, L., & Davis, T. J. (2012). The learner characteristics, features of desktop 3D virtual reality environments, and college chemistry instruction: A structural equation modeling analysis. *Computers and Education, 59*(2), 551 - 568. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.02.004>
- Miles, M. B., & Huberman, M. A. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. Thousand Oaks, CA: Sage.
- Moore, E. B., Herzog, T. A., & Perkins, K. K. (2013). Interactive simulations as implicit support for guided-inquiry. *Chemistry Education Research and Practice, 14*(3), 257 - 268. <https://doi.org/10.1039/c3rp20157k>
- Mulder, Y. G., Bollen, L., de Jong, T., & Lazonder, A. W. (2016). Scaffolding learning by modelling: The effects of partially worked-out models. *Journal of Research in Science Teaching, 53*(3), 502 - 523. <https://doi.org/10.1002/tea.21260>
- Mulder, Y. G., Bollen, L., de Jong, T., & Lazonder, A. W. (2016). Scaffolding learning by modelling: The effects of partially worked-out models. *Journal of Research in Science Teaching, 53*(3), 502 - 523. <https://doi.org/10.1002/tea.21260>

- Mulder, Y. G., Lazonder, A. W., & de Jong, T. (2011). Comparing two types of model progression in an inquiry learning environment with modelling facilities. *Learning and Instruction*, 21(5), 614 - 624.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2011.01.003>
- Nahm, F. S. (2016). Nonparametric statistical tests for the continuous data: The basic concept and the practical use. *Korean Journal of Anesthesiology*, 69(1), 8 - 14. <https://doi.org/10.4097/kjae.2016.69.1.8>
- National Research Council (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School: Expanded Edition*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/9853>
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, D.C.: National Academies Press.
- NetLogo. <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. accessed March 23, 2024.
- Next Generation Science Standards(NGSS) (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. <https://doi.org/10.17226/18290>
- Nicolaou, C. T., & Constantinou, C. P. (2014). Assessment of the modeling competence: A systematic review and synthesis of empirical research. *Educational Research Review*, 13, 52 - 73.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2014.10.001>
- Nielsen, S. S., & Nielsen, J. A. (2021). Models and Modelling: Science Teachers' Perceived Practice and Rationales in Lower Secondary School in the Context of a Revised Competence-Oriented Curriculum. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(4), 1 - 18.
<https://doi.org/10.29333/ejmste/10790>
- NobelPrize.org. *The Nobel Prize in Chemistry 2013*. accessed March 24, 2024.
<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2013/summary/>
- OECD (2005). *The Definition and Selection of key Competencies*.
- OECD (2018). *The Future of Education and Skills: Education 2030*.
- OpenSciEd. <https://www.openscienced.org/>. accessed March 23, 2024.
- oPhysics. <https://ophysics.com/>. accessed March 23, 2024.

- Ornek, F. (2012). The Role of Computer Modeling in Enhancing Students' Conceptual Understanding of Physics. *Bulgarian journal of science and education policy*, 6(1), 89 - 116.
- Oxford Learner's Dictionaries. accessed June 2, 2024.
<https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/simulation?q=simulation>
- Pajares, F., & Graham, L. (1999). Self-efficacy, motivation constructs, and mathematics performance of entering middle school students. *Contemporary Educational Psychology*, 24(2), 124-139.
<https://doi.org/10.1006/ceps.1998.0991>
- Pallier, G. (2003). Gender differences in the self-assessment of accuracy on cognitive tasks. *Sex Roles*, 48(5), 265-276.
<https://doi.org/10.1023/A:1022877405718>
- 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.
<https://doi.org/10.1080/0950069980200501>
- Passmore, C., Stewart, J., & Cartier, J. (2009). Model-Based Inquiry and School Science: Creating Connections. *School Science and Mathematics*, 109(7), 394 - 402. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.2009.tb17870.x>
- PhET. <https://phet.colorado.edu/ko/>. accessed March 22, 2024.
- Physics at school. <https://www.vascak.cz/physicsanimations.php/>. accessed March 23, 2024.
- Physics Simulations. <https://www.mypysicslab.com/>. accessed March 23, 2024.
- Plass, J. L., Milne, C., Homer, B. D., Schwartz, R. N., Hayward, E. O., Jordan, T., Verkuilen, J., Ng, F., Wang, Y., & Barrientos, J. (2012). Investigating the Effectiveness of Computer Simulations for Chemistry Learning. *Journal of research in science teaching*, 49(3), 394-419.
- Rea-Ramirez, M. A., Clement, J., & Núñez-Oviedo, M. C. (2008). *An Instructional Model Derived from Model Construction and Criticism Theory*. In Model Based Learning and Instruction in Science (pp. 23 - 43). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6494-4_2

- Reigeluth, C. M., & Schwartz, E. (1989). An instructional theory for the design of computer-based simulations. *Journal of Computer-Based Instruction*, 16(1), 1-10.
- Reis, S. M. (2003). Reconsidering regular curriculum for high achieving students, gifted underachievers, and the relationship between gifted and regular education. In J. H. Borland (Ed). *Rethinking gifted education*, 186 - 200. New York: Teacher's College Press.
- Renzulli, J. S. (2011). What Makes Giftedness?: Reexamining a Definition. *Phi Delta Kappan*, 92(8), 81-88. <https://doi.org/10.1177/003172171109200821>
- Richey, R. C. (2005). *Validating Instructional Design Models*. In J. M. Spector & D. A. Wiley (Eds.), *Innovations in Instructional Technology: Essays in Honor of M. David Merrill* (pp. 171-185). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Richey, R., & Klein, J. (2007). *Design and development research: methods, strategies, and issues*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Rouse, W. B., & Morris, N. M. (1986). On Looking Into the Black Box: Prospects and Limits in the Search for Mental Models. *Psychological Bulletin*, 100(3), 349 - 363. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.100.3.349>
- Royrvik, O. (2002). Teaching Electrical Engineering Using Maple. *International Journal of Electrical Engineering & Education*, 39(4), 297 - 309. <https://doi.org/10.7227/IJEEE.39.4.1>
- Rubio, D. M. G., Berg-Weger, M., Tebb, S. S., Lee, E. S., & Rauch, S. (2003). Objectifying content validity: Conducting a content validity study in social work research. *Social Work Research*, 27(2), 94 - 104.
- Scalise, K., & Clarke Midura, J. (2018). The many faces of scientific inquiry: Effectively measuring what students do and not only what they say. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(10), 1469 - 1496. <https://doi.org/10.1002/tea.21464>
- Scherer, D., Dubois, P., & Sherwood, B. (2000). VPython: 3D interactive scientific graphics for students. *Computing in Science & Engineering*, 2(5), 56 - 62. <https://doi.org/10.1109/5992.877397>

- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling Knowledge: Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165 - 205. https://doi.org/10.1207/s1532690xc2302_1
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, 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. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>
- Seels, B. B., & Richey, R. C. (1994). *Instructional technology: The definition and domains of the field*, AECT.
- Seo, J. H., Smith, B. M., Cook, M., Malone, E., Pine, M., Leal, S., Bai, Z., & Suh, J. (2018). *Anatomy Builder VR: Applying a Constructive Learning Method in the Virtual Reality Canine Skeletal System*. In ADVANCES IN HUMAN FACTORS IN TRAINING, EDUCATION, AND LEARNING SCIENCES, AHFE 2017 (Vol. 596, pp. 245 - 252). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60018-5_24
- Shi, F., Wang, L., Liu, X., & Chiu, M. (2021). Development and validation of an observation protocol for measuring science teachers' modeling based teaching performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 58(9), 1359 - 1388. <https://doi.org/10.1002/tea.21712>
- Singleton, R. A., & Stratis, B. C. (2005). Adaptive technologies. *ETS Research Report Series*, 1, 1-34.
- Stankov, L., & Lee, J. (2008). Confidence and cognitive test performance. *Journal of Educational Psychology*, 100(4), 961-976. <https://doi.org/10.1037/a0012546>
- STEAMuP. <https://www.steamup.academy/ko/>. accessed March 23, 2024.
- Streiner, D. L., Norman, G. R., & Cairney, J. (2015). *Health measurement scales: A practical guide to their development and use*. New York, NY: Oxford University Press. (fifth edition)
- Tomlinson, C. A., & Callahan, C. M. (1992). Contributions of Gifted Education to General Education In a Time of Change. *The Gifted Child Quarterly*, 36(4), 183 - 189. <https://doi.org/10.1177/001698629203600403>

- Upmeier zu Belzen, A., van Driel, J., & Krüger, D. (2019). *Introducing a Framework for Modeling Competence*. In Towards a Competence-Based View on Models and Modeling in Science Education (pp. 3 - 19). Cham: Springer International Publishing.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-30255-9_1
- Urbano, L. D., & Houghton, J. L. (2006). An Interactive Computer Model for Coriolis Demonstrations. *Journal of Geoscience Education*, 54(1), 54 - 60.
<https://doi.org/10.5408/1089-9995-54.1.54>
- Victorian Curriculum and Assessment Authority (VCAA). (2016). *Victorian curriculum: F10*.
<https://victoriancurriculum.vcaa.vic.edu.au/science/curriculum/f-10>
- VlabON. <https://vlabon.re.kr/>. accessed March 23, 2024.
- Vo, T., Forbes, C. T., Zangori, L., & Schwarz, C. V. (2015). Fostering Third-Grade Students' Use of Scientific Models with the Water Cycle: Elementary teachers' conceptions and practices. *International Journal of Science Education*, 37(15), 2411 - 2432.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1080880>
- Vo, T., Forbes, C., Zangori, L., & Schwarz, C. V. (2019). Longitudinal investigation of primary inservice teachers' modelling the hydrological phenomena. *International Journal of Science Education*, 41(18), 2788 - 2807. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1698786>
- vpython.org. *Vpython documentation*. accessed March 4, 2024.
<https://www.glowscript.org/docs/VPythonDocs/index.html>
- Wang, Y.-J., Lee, S. W.-Y., Liu, C.-C., Lin, P.-C., & Wen, C.-T. (2021). Investigating the Links Between Students' Learning Engagement and Modeling Competence in Computer-Supported Modeling-Based Activities. *Journal of Science Education and Technology*, 30(6), 751 - 765.
<https://doi.org/10.1007/s10956-021-09916-1>
- Weatherford, S. A. (2011). *Student Use of Physics to Make Sense of Incomplete but Functional VPython Programs in a Lab Setting*. ProQuest Dissertations Publishing.

- Westra, D. (2017). *Lagrangian Points*.
<https://www.mat.univie.ac.at/~westra/lagrangepoints>
- Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6), 80 - 83. <https://doi.org/10.2307/3001968>
- Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education (Salem, Mass.)*, 92(5), 941 - 967.
<https://doi.org/10.1002/sce.20259>
- Wu, H. K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science Education (Salem, Mass.)*, 88(3), 465 - 492.
<https://doi.org/10.1002/sce.10126>
- Wu, T., Wang, Q., & Wang, S. (2021). Research on the application of VPython 3D dynamic visualization in the teaching of college physics. *Journal of Contemporary Educational Research*, 5(9), 10-15.
<https://doi.org/10.26689/jcer.v5i9.2533>
- Yildirim, E. (2015). Kinematic Model Extraction for Serial Manipulators Which Have in Different Topologies in Vpython Environment. *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, 5(9), 503 - 509.
<https://doi.org/10.17265/2159-5275/2015.09.004>
- Zumdahl, S. S. & Zumdahl, S. A. (2015). Chemistry. ninth edition. Cengage Learning.

부록

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

[부록 2] 1차 전문가 타당화 결과

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

[부록 4] 2차 전문가 타당화 결과

[부록 5] 수업 모형 적용 전 설문조사 문항

[부록 6] 수업 모형 적용 후 설문조사 문항

[부록 7] 학생 인터뷰 질문지 문항

[부록 8] 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항

‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형의 개발과 효과

(Development and Effects of an Instructional Model for Scientific Simulation Construction Using VPython)’

연구의 전문가 타당화 설문지 (1차)

안녕하십니까?

저는 서울대학교 사범대학 AI융합교육학과 석사과정에 재학 중인 최원근입니다. 본 설문지는 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형의 개발과 효과’ 연구에 대한 타당화를 검토하기 위한 목적으로 개발되었습니다. 설문
에 응해주신 전문가님의 검토 의견은 보다 나은 수업 모형과 설계 원리 및 상
세 지침을 개발하는 데 큰 도움이 될 것입니다.

본 설문지는 1. 전문가 인적사항, 2. 연구의 소개, 3. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형 안내, 4. 타당도 검토로 구성되어 있으며, 타당도 검토 부분은 1) 도출된 수업 모형의 전반에 대한 타당화 질문, 2) 각 절차에 대한 타당화 질문, 3) 각 원리 및 상세 지침에 대한 타당화 질문, 4) 외적 타당화에 사용될 인터뷰 질문과 검사 도구에 대한 타당화 질문의 네 가지 부분으로 이루어져 있습니다. 타당도 검토는 객관식 문항과 구체적인 의견을 묻는 개방형 질문을 포함하였습니다.

질문에 응답하실 때 이해가 되지 않거나 추가로 설명이 필요한 부분은 연구자에게 질문하실 수 있습니다. 본 설문지의 응답 예상 소요 시간은 약 30분입니다. 전문가 인적사항에 작성해 주시는 성함은 자료 식별용으로만 사용되며 논문에는 언급되지 않을 것입니다. 다만 전공 분야, 최종 학력, 소속, 경력 등의 정보는 논문에 언급될 예정입니다. 바쁘신 와중에 소중한 시간을 내어주셔서 진심으로 감사드립니다.

서울대학교 대학원 AI융합교육학과 석사과정 최원근 올림

	연구 담당자: 서울대학교 AI융합교육학과 최원근
	e-mail:
	연락처:

1. 전문가 인적사항

- 이름 :
- 소속 / 지위 :
- 전공 분야 :
- 최종 학력 :
- 실무 및 연구 경력 기간 :

2. 연구의 소개

※ 과학적 시뮬레이션 용어 정리

- de Jong & van Joolingen(1998)은 시뮬레이션의 유형을 크게 두 가지로 나눈다. 하나는 개념적 모형(Conceptual models)으로 전기 회로, 기체 입자 운동 등을 시각화한 것을 의미하며 컴퓨터 시뮬레이션이라고도 함. 다른 하나는 작동적 모형(Operational models)으로 기기 조작과 같은 훈련 상황이나 모의 실험 상황에 대한 경험을 제공해 주는 것을 의미함.
- 본 연구에서 의미하는 ‘과학적 시뮬레이션’이란 가상공간에서 과학적 모형의 시간에 따른 움직임이나 과학 개념 및 이론을 시각화한 개념적 모형의 시뮬레이션(컴퓨터 시뮬레이션)을 의미함.

1) 연구의 필요성과 목적

○ 과학교육에서 모형의 필요성 및 기존 모형의 한계

- 과학 모형은 과학적으로 사고하는 데 필수적이며, 과학 개념의 이해를 돕고 자연 현상을 설명하거나 예측하는 데 도움을 줌(Gilbert, 2004). 또한 모형은 과학 지식을 생산하고 개념을 이해하는 데 필수적임(Giere, 1988; Gilbert, 1991). 모형은 현상이 어떤 방식으로 일어나는지에 대한 설명을 제공하며 데이터로 바탕으로 예측을 할 수 있게 도와주므로 과학적 모형을 구성하는 과정은 과학 탐구에서 핵심적이고 본질적인 활동임(Schwarz *et al.*, 2009).
- 하지만 기존의 모형은 텍스트, 그림 등의 2차원적 표상으로 현실성을 반영하는 데 한계가 있고, 다양한 시점에서 사건과 상황에 대한 이해를 돕는 데 한계가 있음(한형중 & 임철일, 2020; Burke *et al.*, 1998).

○ 과학적 모형 구성 수업에 컴퓨터 프로그래밍의 필요성

- 학생이 직접 모형을 구성하고 수정하는 과정에 참여하는 것은 과학 지식을 구성하는 데 효과적이고 중요한 과정임(박희경, 2015; 하희수 외, 2018; Baek, 2013; Baek & Schwarz, 2015; Clement, 2000; Gilbert *et al.*, 2000). 하지만 학생은 본인 스스로 지식을 생성할 수 없을 것이라는 인식이 있으며(Baek, 2013), 추상적인 과학 개념을 이해하고 이를 시각화하는 데 어려움을 느끼고(Parker & Heywood, 1998), 과학 개념에 대한 직접적인 상호작용의 경험을 할 수 없는 상황에서 과학적 모형을 구성하는 데 어려움을 겪음(Bell & Trundle, 2008).
- 이러한 어려움을 극복하기 위해 컴퓨터 또는 스마트 기기를 과학교육에 적용하는 연구가 지속적으로 이루어져 왔음(최섭, 2021; 하희수 외, 2018; 한정선 외, 2011; 한형중, 2019; Barab *et al.*, 2000; Baek & Schwarz, 2015; McGrath *et al.*, 2018; Merchant *et al.*, 2014; Merchant *et al.*, 2012).
- 과학적 모형 구성 과정에서 컴퓨터를 도입하면 시각화 측면에서 관찰하기 어려운 자연 현상을 이해하는 데 도움을 줄 수 있으며(Hammond, 1971), 확률적 시뮬레이션 측면에서 비용이나 현실성의 제약을 받지 않고 문제를 해결할 수 있도록 도와주고(김중혜, 2014), 현실에서 실행 불가능한 아이디어를 탐구하는 데 중요한 역할을 할 수 있음(Ahamed *et al.*, 2010). 그 외에도 프로그래밍을 통한 문제 해결력을 향상시킬 수 있으며(김현정, 2010), 창의력과 논리력을 키워줄 수 있고(이미현 & 구덕희, 2011), 코드 완성을 통해 성취감, 자신감, 협동심, 상호작용 능력 등의 정의적 영역도 향상시킬 수 있음(김은진, 2009).

○ 기존에 개발된 시뮬레이션 분석 및 과학적 모형 구성 수업에 VPython 활용 가능성

- 기존에 국내/외에서 개발된 교육용 시뮬레이션 온라인 플랫폼을 탐색함. VPython을 제외하고 총 19개의 교육용 시뮬레이션 온라인 플랫폼을 탐색하였으며, 그중 사용자가 직접 시뮬레이션을 개발할 수 있는 플랫폼은 수학 교육을 위한 알지오매스(한국과학창의재단에서 개발), 수학 및 과학교육을 위한 STEAMuP(샘웨어에서 개발), GeoGebra(오스트리아 잘츠부르크 대학에서 개발), EDISON(과학기술정보통신부 & 한국과학창의재단에서 개발), NetLogo(미국 Uri Wilensky & CCL team에서 개발) 5개가 존재함.

- 알지오매스, GeoGebra는 기하, 그래프 등을 그릴 수 있는 환경을 제공하며 주로 수학 모형에 특화되어 있고, GeoGebra는 물리 분야에서도 종종 활용됨. 알지오매스, STEAMuP은 블록 코딩 환경을 제공하여 간단한 코딩으로 시뮬레이션을 구현할 수 있지만, 높은 수준의 학습이나 시뮬레이션을 통한 탐구에는 적절하지 않음. NetLogo나 EDISON은 다양한 방식으로 시뮬레이션을 구현할 수 있으나 학생들에게 익숙하지 않아 사용 방법을 따로 학습해야 함. 따라서 학생들에게 익숙하면서도 과학 분야 전반에서 과학적 모형을 시뮬레이션으로 쉽게 구현할 수 있는 환경을 제공해 줄 필요가 있음.
- VPython은 Python 언어를 기반으로 하므로 Python 언어를 아는 사람이라면 누구나 유용하게 사용할 수 있음(Chabay & Sherwood, 2023). VPython을 이용하면 3차원 도형을 간단한 코드로 생성할 수 있고, 실행 결과화면에서 3차원 객체를 마우스로 제어할 수 있고, 문법이 간단하고 인터프리터 언어로 디버깅이 용이하여 교육과정과 연계 가능하다는 장점이 있어(김지혜, 2015; 유진아, 2018) 과학적 모형을 시뮬레이션으로 구현하기 적합한 환경을 제공함.

2) 연구 문제

- 첫째, VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형은 어떻게 구성되는가?
둘째, VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형이 내적으로 타당한가?
셋째, VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형은 외적으로 타당한가?

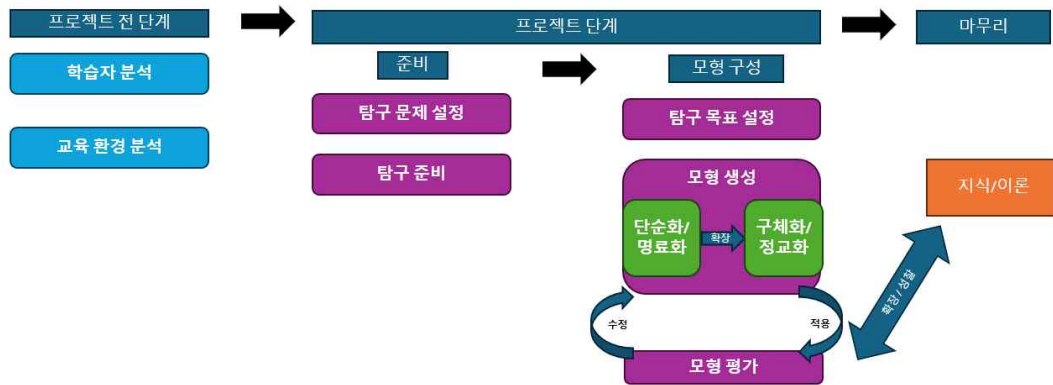
3) 수업 모형 개발 과정

- 문헌 검토와 경험적 탐색을 바탕으로 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형과 이를 위한 설계 원리 및 상세 지침을 개발하고자 함. 문헌 검색은 서울대학교 중앙도서관, 한국교육학술정보원 학술연구정보서비스 RISS, 구글 학술 검색, DBpia를 활용하였음.
- 수업 모형과 설계 원리 및 상세 지침을 개발하기 위해 다음과 같은 키워드를 중심으로 선행 문헌을 탐색하였음.
 - : 게임 기반 수업(game-based), 문제 해결 수업(problem-based), 인공지능 융합 수업(AI convergence education), 데이터 기반 수업(data-based), 가상현실 기반 교육(VR-based), 메이커 교육(maker education), 과학적 모형(scientific model, scientific modeling, model-based, modeling-based), 모델링 역량(modeling competence), 시뮬레이션(simulation), VPython, Python

3. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형 안내

1) 수업 모형

- 통합적인 문헌 검토와 경험적 탐색을 바탕으로 선행 문헌에서 11가지의 설계 원리와 그에 따른 23개의 상세 지침을 모형 개발 과정에 참고하였음. 이를 바탕으로 1차 수업 모형을 도출하고, 수업 단계별 설명을 제시함.



[그림] VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 초기 모형

2) 수업 모형의 세부 단계별 설명

<표> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 초기 수업 모형의 단계별 설명

단계	단계별 설명
프로젝트 전 단계	학 습 자 분 석
	- 지식수준 분석하기: 학습자의 과학 이론에 대한 지식수준을 분석한다.
	- 과학 모형 분석하기: 학습자가 과학 이론을 학습하는 데 경험한 과학적 모형, 시뮬레이션 경험 등을 분석한다.
교육 환경 분석	프 로 그 래 밍 수 준 분 석
	- 프로그래밍 수준 분석하기: Python 학습 경험, 코딩 경험, 프로그래밍 경험 등 학습자의 프로그래밍 수준을 분석한다.
	팀 구 성
교육 환경 분석	- 팀 구성: 관심 분야, 지식수준, 프로그래밍 수준 등을 고려하여 팀 구성 인원
	과 학 모 형 분 석
	- 네트워크 환경 파악: Web VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션을 설계할 수 있는 환경에 접속할 수 있도록 물리적 환경을 파악한다.
교육 환경 분석	스 마 트 학 습 하 위 장 비 구 비
	- 스마트 학습 환경 파악 : 학습자가 스마트 기기(노트북, 스마트패드 등)를 수업 중에 활용할 수 있도록 학생들의 스마트 학습 환경을 파악한다.

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

단계		단계별 설명
프로젝트 준비 단계	탐구 문제 설정	- 기존 과학적 모형/시뮬레이션 탐색: 학습한 이론과 관련된 과학적 모형 및 시뮬레이션을 다양한 매체(교과서, 영상 매체, 시뮬레이션 등)를 통해 탐색한다. - 기존 과학적 모형/시뮬레이션 분석: 탐색한 과학적 모형/시뮬레이션이 표상하는 과학 개념, 이론을 파악하고, 모형의 요소를 분석한다. - 기존 과학적 모형/시뮬레이션 문제점 도출: 기존에 제작된 과학적 모형 및 시뮬레이션의 문제점을 파악하고 이를 탐구 문제로 설정한다.
	탐구 준비	- 시뮬레이션 설계 도구 학습: VPython으로 3D 객체를 생성하는 방법을 학습한다. - 시뮬레이션 설계 도구 연습: VPython을 활용한 간단한 시뮬레이션을 제작해 보는 연습 기회를 제공한다.
프로젝트 모형 구성 단계	탐구 목표 설정	- 과학 개념, 이론 설정: 시뮬레이션으로 시각화할 과학 개념 및 이론을 설정한다. - 모형 요소 설정 : 시뮬레이션으로 표현할 개념의 요소를 설정한다.
	모형 생성	- 설계·개발 일지 작성: 모형 설계를 구상하고 개발 일지를 작성한다. - 단계적 모형 생성: 팀원과 함께 단순한 시뮬레이션을 먼저 구성하고, 이를 구체화·정교화 단계를 거쳐 모형을 생성한다.
	모형 평가	- 적용: 개발한 시뮬레이션이 기존의 과학적 모형/시뮬레이션보다 설명력이 높은지, 과학 개념과 이론을 이해하는 데 도움을 주는지 적용하고 평가한다. - 수정: 개발한 시뮬레이션이 목표에 도달하지 못했거나, 과학 개념 및 이론을 이해하는데 적절하지 않다고 평가하면 모형 생성 단계로 돌아가 모형을 수정한다.
마무리	확장 및 성찰	- 공유하기: 설계·개발한 시뮬레이션을 공유하고 동료 평가한다. - 성찰하기: 공유한 시뮬레이션을 경험하고 동료 평가한다. 또한 시뮬레이션 설계·개발 과정에 대한 경험과 소감을 나눈다. - 제언하기: 설계·개발한 시뮬레이션을 발전시킬 수 있는 방안을 제언한다.

3) 수업 모형 설계 원리 및 상세 지침

- 모형 개발 과정에 참고한 선행 문헌의 설계 원리와 상세 지침을 바탕으로 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형에 대해 7가지의 설계 원리와 그에 따른 24개의 교수전략을 개발함.

<표> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형의 초기 설계 원리 및 교수전략

설계 원리	교수전략
1. 학습 초점의 원리	1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 설계 활동이 수업 목표 달성에 효과적인지 분석하라.
	1.1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 설계 활동이 목표한 교과 지식, 개념, 이론 등의 학습에 효과적인지 분석하라.
	예시 및 해설: 교수자는 해당 교과의 교과 지식, 개념, 이론 등을 학습하는 데 시뮬레이션을 설계하고 개발하는 활동이 적합한지 검토하여 수업 활동이 학습 목표 달성에 초점을 맞추도록 설계한다.
	1.1.2. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 설계 활동이 고차원적 사고 및 역량 개발에 효과적인지 분석하라.
	예시 및 해설: 교수자는 수업 활동을 통해 사고력, 문제 해결력, 의사소통 능력, 탐구 능력, 창의력, 협업 능력, 자기주도 학습 능력 등 함양시키고자 하는 역량을 파악하고, 이에 맞게 활동을 설계한다.
	1.1.3. 시뮬레이션을 설계, 개발해야 하는 필요성과 목적이 교육 내용과 적합한지 판단하라.
	예시 및 해설: 교수자는 과학적 모형으로서 시뮬레이션을 설계하고 개발하는 수업 활동이 학생들에게 새로운 과학적 모형을 구성하는 데 효과적인지 분석한다.
2. 수업 재구성의 원리	2.1. 학습자의 교과 내용에 대한 이해도와 프로그래밍 수준을 파악하고 교육과정을 설계하라.
	2.1.1. 교육 목적을 고려하여 학습 활동과 VPython을 활용한 시뮬레이션 설계 활동 간의 목표를 통일하라.
	예시 및 해설: 교수자는 교육 목적이 학습자의 기존 과학적 모형을 고차원적 모형으로 발전시키는 것인지, 새로운 과학적 모형을 구성하는 것인지를 설정하고, 학습 활동의 수준을 고려한다.
	2.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 학습 목표, 학습 내용, 학습 활동을 계획하라.
	예시 및 해설: 교수자는 학습자가 이미 알고 있는 개념 및 과학적 모형의 수준을 파악하고, 학습자의 개념이 구조화될 수 있도록 학습 목표, 학습 내용, 학습 활동을 계획한다.
	2.1.3. 프로젝트 단계에 들어가기 전에 학습자의 지식수준과 프로그래밍 수준을 파악하고, 학습자 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준을 설정하라.

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: 교수자는 목표한 교과와 이전 차시 수업 내용과 정보 교과에서 학습한 프로그래밍 수준을 형성평가, 관찰, 상담 등 다양한 방법을 통해 학습자의 수준을 파악하고, 이를 고려하여 최종적으로 학습자가 도출해 낼 수 있는 산출물의 수준을 잠정적으로 설정한다.
3. 환경 구성의 원리	3.1. 교실 내의 모든 학습자가 학습 활동에 참여할 수 있도록 물리적 환경을 조성하라.
	3.1.1. 교실 내의 모든 학습자가 인터넷에 접근할 수 있도록 무선랜망의 설치 여부를 확인하고 대안을 마련하라.
	예시 및 해설: 본 수업이 이루어지기 전에 교실 현장에 무선랜망 구축 여부를 확인하고, 무선랜망 구축이 제대로 이루어지지 않는 경우 무선랜망 활용이 가능한 교실로 수업 환경을 변경하거나, 미리 VPython 라이브러리를 설치해 오도록 안내한다.
	3.1.2. 교실 내의 모든 학습자가 개별 노트북(또는 PC나 스마트 기기)을 수업 중에 활용할 수 있도록 수업 시작 전에 학습자들의 기기 소유 여부를 확인하고 여분의 노트북을 준비하라.
	예시 및 해설: 학습자 1인당 개별 노트북 사용이 가능하도록 물리적 환경을 조성하고, 개별 노트북 사용이 어려운 환경일 경우 2명당 1개의 노트북을 사용할 수 있도록 교실 환경을 구성하고 스마트 기기(스마트폰, 스마트패드) 등을 보조로 활용할 수 있도록 안내한다.
4. 동기부 여의 원리	4.1. 학습자가 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 수업에 적극적으로 참여할 수 있도록 동기를 부여하라.
	4.1.1. 기존의 과학적 모형 및 시뮬레이션을 탐색할 수 있는 학습 자료와 학습 안내를 제공하라.
	예시 및 해설: 교과 지식, 개념, 이론과 관련된 기존의 과학적 모형의 예시, 시뮬레이션 예시를 제공하고 이를 탐색할 수 있는 시간을 충분히 준다.
	4.1.2. VPython으로 개발한 우수한 시뮬레이션 예시를 제공하여 동기를 부여하고 자신감을 높여라.
	예시 및 해설: 기존에 교과 지식, 개념, 이론과 관련하여 VPython으로 개발한 시뮬레이션 예시와 코드를 보여주어 학습자의 자신감을 높이고 학습 활동의 동기를 부여한다. 이때 비슷한 수준의 학습자가 개발한 시뮬레이션이 있다면 이를 예시로 활용한다.
	4.1.3. 학습자가 이미 가지고 있는 과학적 모형에서 불만족 및 문제 상황을 인식하고 스스로 해결해야 할 문제를 구체화할 수 있도록 안내하라.
	예시 및 해설: 학습자가 이미 가지고 있는 과학적 모형을 표현해 보도록 하며, 과학적 모형에서 표현하지 못하는 과학 개념, 요소를 분석하여 구체화하도록 한다.
	4.2. VPython을 직접 활용 및 탐색할 수 있는 충분한 시간과 기회를 제공하라.
	4.2.1. VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 학습할 기회를 제공하라.

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

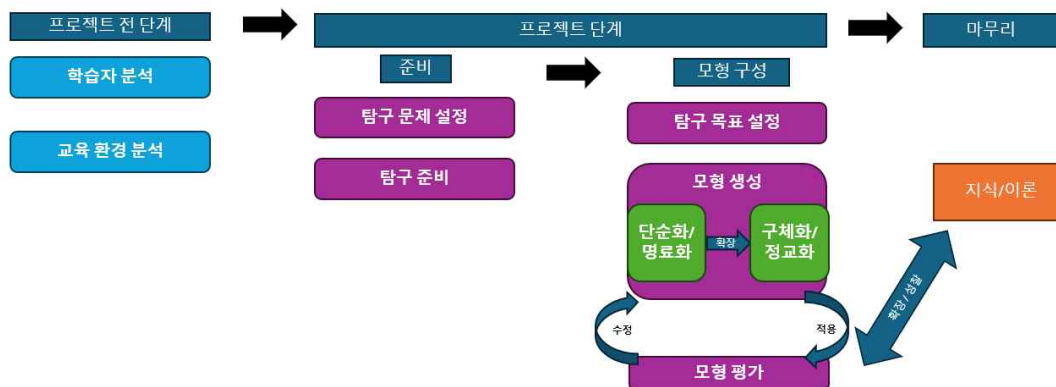
설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체인 구, 직육면체 등을 학습자가 직접 생성해 볼 수 있는 시간과 기회를 제공한다.
	4.2.2. VPython을 활용하여 간단한 시뮬레이션을 연습해 볼 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 이용하여 구의 자유낙하 운동, 상자 속 입자의 움직임 등 기초적인 시뮬레이션 제작을 연습해 볼 수 있도록 한다.
5. 팀 구성 및 상호작용 원리	5.1. 수업 목표, 활동 목표에 맞게 팀을 구성하라.
	5.1.1. 개별 학습자의 특성을 파악하고 결과를 공유하라.
	예시 및 해설: 개별 학습자의 강점을 형성평가, 관찰, 면담, 발표 등을 통해 파악하거나 학습자 스스로 자신의 강점을 소개하고, 학습자들끼리 서로의 강점을 알 수 있도록 공유한다.
	5.1.2. 유사한 관심 주제별, 서로 다른 강점별로 팀을 구성하라.
	예시 및 해설: 설계하고자 하는 시뮬레이션의 주제가 비슷한 학습자끼리 가능하면 팀을 구성하도록 하고, 비슷한 주제가 없는 경우 학생의 평소 관심 주제에 따라 팀을 구성하도록 한다. 또한 프로그래밍에 강점을 보이는 학습자, 과학 개념 및 이론에 강점을 보이는 학습자 등 서로 다른 강점별로 팀을 구성하도록 한다.
	5.2. 프로젝트 활동에서 학습자 간 상호작용이 일어나도록 하라.
	5.2.1. 협력적 해결이 요구되는 도전적인 과제를 설정하라.
	예시 및 해설: 학습자의 협력을 통해 해결할 수 있을 정도의 도전적인 과제를 설정하고, 학습자 간 상호작용이 일어나도록 한다.
	5.2.2. 활발한 의사소통을 통한 충분한 의견 교환이 일어나도록 자유로운 교실 환경을 조성하라.
	예시 및 해설: 학습자들끼리 편안한 분위기에서 자유롭게 의견 교환이 일어날 수 있도록 충분한 시간을 제공하고 편안한 교실 환경을 조성한다. 또한 팀원들끼리만이 아니라 교실 전체 학습자들끼리도 상호작용 할 수 있는 시간을 제공한다.
6. 스캐폴딩 제공의 원리	6.1. 학습자가 현재의 수준을 넘어 다음 단계의 수준에 도달할 수 있도록 적절한 자극과 정보를 제공하여 학습을 촉진시켜라.
	6.1.1. 순회 지도를 통해 학습자를 관찰하고, 학습 내용 및 Vpython 활용, 시뮬레이션 탐색 등의 단계별 피드백을 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자 주도의 프로젝트 활동에서 교수자는 순회 지도를 통해 학습자의 학습 상황, 프로젝트 활동 상황 등을 관찰하고, 적절한 피드백과 격려를 제공한다.
	6.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 뼈대 코드를 준비하라.
	예시 및 해설: VPython을 활용한 시뮬레이션 설계에 참고할 만한 간단한 시뮬레이션 코드를 제공하여 이를 적절하게 활용, 조합하여 시뮬레이션을 설계, 개발할 수 있도록 한다.
	6.1.3. 시뮬레이션을 설계할 때 개발 일지를 작성하도록 하라.

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: Vpython에서 나타내고자 하는 교과 개념 및 이론, 시각화 요소, 시각화 방법, 시뮬레이션 작동 과정, 문제 해결 전략 등을 일지로 작성하도록 하여 프로젝트 활동을 구체화한다.
	6.2. 단순한 형태에서 복잡한 형태로 설계하도록 지도하라.
	6.2.1. 시뮬레이션의 구성 요소가 많을 때는 단순한 시뮬레이션부터 설계하고 점차 복잡성을 높여가라.
	예시 및 해설: 예를 들어 기체 분자의 운동을 시뮬레이션으로 시각화하는 경우, 입자를 적은 개수부터 설계하고 점차 수를 늘려간다. 또한 시각화하고자 하는 요소가 많은 경우(움직임, 그래프, 값 등) 간단한 것부터 시각화한다.
	6.2.2. 학습자 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준 및 예시를 제시하라.
	예시 및 해설: 교육 목표, 학습자의 수준 등에 맞춰 산출물의 수준을 잠정적으로 설정하고, 학생의 창의성을 발휘할 수 있도록 1~2개의 예시를 제시한다.
7. 공유 및 성찰의 원리	7.1. 최종 산출물을 시연하고 의견을 나누며 평가할 수 있는 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자가 설계하고 제작한 시뮬레이션을 공개하고, 시뮬레이션으로 제작한 과학적 모형의 유용성을 설명하도록 한다.
	7.2. 학습자들이 자신의 학습 전반을 확인하고 성찰할 수 있는 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자가 자기 평가서를 작성하도록 하여 학습 활동을 통해 얻은 경험, 지식, 생각을 성찰하도록 한다.

4. 타당도 검토

1) VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 초기 모형에 대한 전문가 검토



다음은 수업 모형 전반에 대한 타당성을 묻는 문항입니다. 각 영역에 속하는 문항을 살펴보고 아래의 평정 척도에 따라 해당하는 곳에 ‘✓(체크)’ 표시를 해주시고, 3점 이하로 응답하신 문항에 대해서는 그 이유와 개선하거나 보완해야 하는 사항을 의견란에 적어주시기를 바랍니다.

(1: 전혀 그렇지 않다, 2: 그렇지 않다, 3: 그렇다, 4: 매우 그렇다)

영역	문항	타당도			
		1	2	3	4
타당성	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 시행하는 데 있어서 참고할 수 있는 모형으로 타당하다.				
	의견:				
설명력	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에 필요한 요소를 잘 설명하고 있다.				
	의견:				
유용성	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 시행하는 데 있어서 유용하게 활용될 수 있다.				
	의견:				
보편성	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 시행하는 데 보편적으로 활용할 수 있다.				
	의견:				
이해도	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 이해하기 쉽게 표현하고 있다.				
	의견:				
기타					

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

2) 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 전문가 검토

다음은 수업 모형의 단계별 활동에 대한 타당성을 묻는 문항입니다. ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’ 모형의 단계별 활동과 설명이 타당한지 판단하여 해당하는 곳에 ‘✓(체크)’ 표시를 해주시기를 바랍니다. 단계별 설명에 대한 의견이 있으시면 **메모** 기능을 통해서 의견 주시길 바랍니다.

(1: 전혀 그렇지 않다, 2: 그렇지 않다, 3: 그렇다, 4: 매우 그렇다)

단계		단계별 설명	타당도			
			1	2	3	4
프로젝트 진 단계	학습자 분석	지식수준 분석하기: 학습자의 과학 이론에 대한 지식수준을 분석한다.				
		과학 모형 분석하기: 학습자가 과학 이론을 학습하는 데 경험한 과학적 모형, 시뮬레이션 경험 등을 분석한다.				
		프로그래밍 수준 분석하기: Python 학습 경험, 코딩 경험, 프로그래밍 경험 등 학습자의 프로그래밍 수준을 분석한다.				
	교육 환경 분석	팀 구성: 관심 분야, 지식수준, 프로그래밍 수준 등을 고려하여 팀 구성 인원과 팀 구성 학생을 설정한다.				
		네트워크 환경 파악: Web VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션을 설계할 수 있는 환경에 접속할 수 있도록 물리적 환경을 파악한다.				
		스마트 학습 환경 파악: 학습자가 스마트 기기(노트북, 스마트패드 등)를 수업 중에 활용할 수 있도록 학생들의 스마트 학습 환경을 파악한다.				
프로젝트 준비 단계	탐구 문제 설정	기존 과학적 모형/시뮬레이션 탐색: 학습한 이론과 관련된 과학적 모형 및 시뮬레이션을 다양한 매체(교과서, 영상 매체, 시뮬레이션 등)를 통해 탐색한다.				
		기존 과학적 모형/시뮬레이션 분석: 탐색한 과학적 모형/시뮬레이션이 표상하는 과학 개념, 이론을 파악하고, 모형의 요소를 분석한다.				
		기존 과학적 모형/시뮬레이션 문제점 도출: 기존에 제작된 과학적 모형 및 시뮬레이션의 문제점을 파악하고 이를 탐구 문제로 설정한다.				

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

단계		단계별 설명	타당도			
			1	2	3	4
	탐구 준비	시물레이션 설계 도구 학습: VPython으로 3D 객체를 생성하는 방법을 학습한다.				
		시물레이션 설계 도구 연습: VPython을 활용한 간단한 시물레이션을 제작해 보는 연습 기회를 제공한다.				
프로 젝트 모형 구성 단계	탐구 목표 설정	과학 개념, 이론 설정: 시물레이션으로 보일 과학 개념 및 이론을 설정한다.				
		모형 요소 설정: 시물레이션으로 표현할 개념의 요소를 설정한다.				
	모형 생성	설계·개발 일지 작성: 모형 설계를 구상하고 개발 일지를 작성한다.				
		단계적 모형 생성: 팀원과 함께 단순한 시물레이션을 먼저 구성하고, 이를 구체화·정교화 단계를 거쳐 모형을 생성한다.				
	모형 평가	적용: 개발한 시물레이션이 기존의 과학적 모형/시물레이션보다 설명력이 높은지, 과학 개념과 이론을 이해하는 데 도움을 주는지 적용하고 평가한다.				
		수정: 개발한 시물레이션이 목표에 도달하지 못했거나, 과학 개념 및 이론을 이해하는데 적절하지 않다고 평가하면 모형 생성 단계로 돌아가 모형을 수정한다.				
마무 리	확장 및 성찰	공유하기: 설계·개발한 시물레이션을 공유하고 동료 평가한다.				
		성찰하기: 공유한 시물레이션을 경험하고 동료 평가한다. 또한 시물레이션 설계·개발 과정에 대한 경험과 소감을 나눈다.				
		제언하기: 설계·개발한 시물레이션을 발전시킬 수 있는 방안을 제언한다.				

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

3) 수업 모형의 설계 원리 및 교수전략 설명에 대한 전문가 검토

다음은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 위한 설계 원리와 교수전략에 대한 타당성을 묻는 문항입니다. 설계 원리와 교수전략이 타당한지 판단하여 해당하는 곳에 ‘✓(체크)’ 표시를 해주시기를 바랍니다. 각 항목에 대한 의견이 있으시면 **메모** 기능을 통해서 의견 주시길 바랍니다.

(1: 전혀 그렇지 않다, 2: 그렇지 않다, 3: 그렇다, 4: 매우 그렇다)

설계 원리	상세 지침	타당도			
		1	2	3	4
1. 학습 초점의 원리	1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 설계 활동이 수업 목표 달성에 효과적인지 분석하라.				
	1.1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 설계 활동이 목표한 교과 지식, 개념, 이론 등의 학습에 효과적인지 분석하라.				
	예시 및 해설: 교수자는 해당 교과와 교과 지식, 개념, 이론 등을 학습하는 데 시뮬레이션을 설계하고 개발하는 활동이 적합한지 검토하여 수업 활동이 학습 목표 달성에 초점을 맞추도록 설계한다.				
	1.1.2. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 설계 활동이 고차원적 사고 및 역량 개발에 효과적인지 분석하라.				
	예시 및 해설: 교수자는 수업 활동을 통해 사고력, 문제 해결력, 의사소통 능력, 탐구 능력, 창의력, 협업 능력, 자기주도 학습 능력 등 함양시키고자 하는 역량을 파악하고, 이에 맞게 활동을 설계한다.				
	1.1.3. 시뮬레이션을 설계, 개발해야 하는 필요성과 목적이 교육 내용과 적합한지 판단하라.				
	예시 및 해설: 교수자는 과학적 모형으로서 시뮬레이션을 설계하고 개발하는 수업 활동이 학생들에게 새로운 과학적 모형을 구성하는 데 효과적인지 분석한다.				
2. 수업 재구성 원리	2.1. 학습자의 교과 내용에 대한 이해도와 프로그래밍 수준을 파악하고 교육과정을 설계하라.				
	2.1.1. 교육 목적을 고려하여 학습 활동과 VPython을 활용한 시뮬레이션 설계 활동 간의 목표를 통일하라.				
	예시 및 해설: 교수자는 교육 목적이 학습자의 기존 과학적 모형을 고차원적 모형으로 발전시키는 것인지, 새로운 과학적 모형을 구성하는 것인지를 설정하고, 학습 활동의 수준을 고려한다.				
	2.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 학습 목표, 학습 내용, 학습 활동을 계획하라.				

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	상세 지침	타당도			
		1	2	3	4
3. 환경 구성의 원리	예시 및 해설: 교수자는 학습자가 이미 알고 있는 개념 및 과학적 모형의 수준을 파악하고, 학습자의 개념이 구조화될 수 있도록 학습 목표, 학습 내용, 학습 활동을 계획한다.				
	2.1.3. 프로젝트 단계에 들어가기 전에 학습자의 지식수준과 프로그래밍 수준을 파악하고, 학습자 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준을 설정하라.				
	예시 및 해설: 교수자는 목표한 교과와 이전 차시 수업 내용과 정보 교과에서 학습한 프로그래밍 수준을 형성평가, 관찰, 상담 등 다양한 방법을 통해 학습자의 수준을 파악하고, 이를 고려하여 최종적으로 학습자가 도출해 낼 수 있는 산출물의 수준을 잠정적으로 설정한다.				
	3.1. 교실 내의 모든 학습자가 학습 활동에 참여할 수 있도록 물리적 환경을 조성하라.				
	3.1.1. 교실 내의 모든 학습자가 인터넷에 접근할 수 있도록 무선랜망의 설치 여부를 확인하고 대안을 마련하라.				
4. 동기부 여의 원리	예시 및 해설: 본 수업이 이루어지기 전에 교실 현장에 무선랜망 구축 여부를 확인하고, 무선랜망 구축이 제대로 이루어지지 않는 경우 무선랜망 활용이 가능한 교실로 수업 환경을 변경하거나, 미리 VPython 라이브러리를 설치해 오도록 안내한다.				
	3.1.2. 교실 내의 모든 학습자가 개별 노트북(또는 PC나 스마트 기기)을 수업 중에 활용할 수 있도록 수업 시작 전에 학습자들의 기기 소유 여부를 확인하고 여분의 노트북을 준비하라.				
	예시 및 해설: 학습자 1인당 개별 노트북 사용이 가능하도록 물리적 환경을 조성하고, 개별 노트북 사용이 어려운 환경일 경우 2명당 1개의 노트북을 사용할 수 있도록 교실 환경을 구성하고 스마트 기기(스마트폰, 스마트패드) 등을 보조로 활용할 수 있도록 안내한다.				
	4.1. 학습자가 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 수업에 적극적으로 참여할 수 있도록 동기를 부여하라.				
	4.1.1. 기존의 과학적 모형 및 시뮬레이션을 탐색할 수 있는 학습 자료와 학습 안내를 제공하라.				
	예시 및 해설: 교과 지식, 개념, 이론과 관련된 기존의 과학적 모형의 예시, 시뮬레이션 예시를 제공하고 이를 탐색할 수 있는 시간을 충분히 준다.				
	4.1.2. VPython으로 개발한 우수한 시뮬레이션 예시를 제공하여 동기를 부여하고 자신감을 높여라.				

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	상세 지침	타당도			
		1	2	3	4
	예시 및 해설: 기존에 교과 지식, 개념, 이론과 관련하여 VPython으로 개발한 시뮬레이션 예시와 코드를 보여주어 학습자의 자신감을 높이고 학습 활동의 동기를 부여한다. 이때 비슷한 수준의 학습자가 개발한 시뮬레이션이 있다면 이를 예시로 활용한다.				
	4.1.3. 학습자가 이미 가지고 있는 과학적 모형에서 불만족 및 문제 상황을 인식하고 스스로 해결해야 할 문제를 구체화할 수 있도록 안내하라.				
	예시 및 해설: 학습자가 이미 가지고 있는 과학적 모형을 표현해 보도록 하며, 과학적 모형에서 표현하지 못하는 과학 개념, 요소를 분석하여 구체화하도록 한다.				
	4.2. VPython을 직접 활용 및 탐색할 수 있는 충분한 시간과 기회를 제공하라.				
	4.2.1. VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 학습할 기회를 제공하라.				
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체인 구, 직육면체 등을 학습자가 직접 생성해 볼 수 있는 시간과 기회를 제공한다.				
	4.2.2. VPython을 활용하여 간단한 시뮬레이션을 연습해 볼 기회를 제공하라.				
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 이용하여 구의 자유 낙하 운동, 상자 속 입자의 움직임 등 기초적인 시뮬레이션 제작을 연습해 볼 수 있도록 한다.				
	5.1. 수업 목표, 활동 목표에 맞게 팀을 구성하라.				
	5.1.1. 개별 학습자의 특성을 파악하고 결과를 공유하라.				
5. 팀 구성 및 상호작용 원리	예시 및 해설: 개별 학습자의 강점을 형성평가, 관찰, 면담, 발표 등을 통해 파악하거나 학습자 스스로 자신의 강점을 소개하고, 학습자들끼리 서로의 강점을 알 수 있도록 공유한다.				
	5.1.2. 유사한 관심 주제별, 서로 다른 강점별로 팀을 구성하라.				
	예시 및 해설: 설계하고자 하는 시뮬레이션의 주제가 비슷한 학습자끼리 가능하면 팀을 구성하도록 하고, 비슷한 주제가 없는 경우 학생의 평소 관심 주제에 따라 팀을 구성하도록 한다. 또한 프로그래밍에 강점을 보이는 학습자, 과학 개념 및 이론에 강점을 보이는 학습자 등 서로 다른 강점별로 팀을 구성하도록 한다.				
	5.2. 프로젝트 활동에서 학습자 간 상호작용이 일어나도록 하라.				
	5.2.1. 협력적 해결이 요구되는 도전적인 과제를 설정하라.				

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	상세 지침	타당도			
		1	2	3	4
	예시 및 해설: 학습자의 협력을 통해 해결할 수 있을 정도의 도전적인 과제를 설정하고, 학습자 간 상호작용이 일어나도록 한다.				
	5.2.2. 활발한 의사소통을 통한 충분한 의견 교환이 일어나도록 자유로운 교실 환경을 조성하라.				
	예시 및 해설: 학습자들끼리 편안한 분위기에서 자유롭게 의견 교환이 일어날 수 있도록 충분한 시간을 제공하고 편안한 교실 환경을 조성한다. 또한 팀원들끼리만이 아니라 교실 전체 학습자들끼리도 상호작용 할 수 있는 시간을 제공한다.				
6. 스캐폴 딩 제공의 원리	6.1. 학습자가 현재의 수준을 넘어 다음 단계의 수준에 도달할 수 있도록 적절한 자극과 정보를 제공하여 학습을 촉진시켜라.				
	6.1.1. 순회 지도를 통해 학습자를 관찰하고, 학습 내용 및 Vpython 활용, 시뮬레이션 탐색 등의 단계별 피드백을 제공하라.				
	예시 및 해설: 학습자 주도의 프로젝트 활동에서 교수자는 순회 지도를 통해 학습자의 학습 상황, 프로젝트 활동 상황 등을 관찰하고, 적절한 피드백과 격려를 제공한다.				
	6.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 뼈대 코드를 준비하라.				
	예시 및 해설: VPython을 활용한 시뮬레이션 설계에 참고할 만한 간단한 시뮬레이션 코드를 제공하여 이를 적절하게 활용, 조합하여 시뮬레이션을 설계, 개발할 수 있도록 한다.				
	6.1.3. 시뮬레이션을 설계할 때 개발 일지를 작성하도록 하라.				
	예시 및 해설: Vpython에서 나타내고자 하는 교과 개념 및 이론, 시각화 요소, 시각화 방법, 시뮬레이션 작동 과정, 문제 해결 전략 등을 일지로 작성하도록 하여 프로젝트 활동을 구체화한다.				
	6.2. 단순한 형태에서 복잡한 형태로 설계하도록 지도하라.				
	6.2.1. 시뮬레이션의 구성 요소가 많을 때는 단순한 시뮬레이션부터 설계하고 점차 복잡성을 높여가라.				
	예시 및 해설: 예를 들어 기체 분자의 운동을 시뮬레이션으로 시각화하는 경우, 입자를 적은 개수부터 설계하고 점차 수를 늘려간다. 또한 시각화하고자 하는 요소가 많은 경우(움직임, 그래프, 값 등) 간단한 것부터 시각화한다.				

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	상세 지침	타당도			
		1	2	3	4
7. 공유 및 성찰의 원리	6.2.2. 학습자 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준 및 예시를 제시하라.				
	예시 및 해설: 교육 목표, 학습자의 수준 등에 맞춰 산출물의 수준을 잠정적으로 설정하고, 학생의 창의성을 발휘할 수 있도록 1~2개의 예시를 제시한다.				
	7.1. 최종 산출물을 시연하고 의견을 나누며 평가할 수 있는 기회를 제공하라.				
	예시 및 해설: 학습자가 설계하고 제작한 시뮬레이션을 공개하고, 시뮬레이션으로 제작한 과학적 모형의 유용성을 설명하도록 한다.				
	7.2. 학습자들이 자신의 학습 전반을 확인하고 성찰할 수 있는 기회를 제공하라.				
	예시 및 해설: 학습자가 자기 평가서를 작성하도록 하여 학습 활동을 통해 얻은 경험, 지식, 생각을 성찰하도록 한다.				

4) 외적 타당화에 사용될 인터뷰 질문지와 검사 도구에 대한 전문가 검토

다음은 개발한 수업 모형의 외적 타당화(수업 적용)에 사용될 검사지에 대한 타당성을 묻는 문항입니다. 각 문항이 타당한지 판단하여 해당하는 곳에 ‘✓(체크)’ 표시를 해주시기를 바랍니다. 각 항목에 대한 의견이 있으시면 **메모** 기능을 통해서 의견 주시길 바랍니다.

① 학생 인터뷰 질문지 문항

(1: 전혀 그렇지 않다, 2: 그렇지 않다, 3: 그렇다, 4: 매우 그렇다)

질문지	타당도			
	1	2	3	4
1. 이 수업을 듣기 전에 과학적 모형의 개념이나 예시를 알고 있었나요? 스스로 과학적 모형을 만들어 본 경험이 있나요?				
2. 과학적 모형을 바탕으로 과학 개념이나 이론을 이해하는 데 도움을 받았던 경험이 있나요?				
3. 시뮬레이션을 사용해 보거나 경험해 본 적이 있나요? 있다면 어떤 시뮬레이션이었는지 설명해 줄 수 있나요?				
4. 시뮬레이션을 사용/경험했을 때 유용함을 느꼈나요? 느꼈다면 어떤 게 유용했나요? 느끼지 못했다면 어떤 게 유용하지 않았나요?				
5. 시뮬레이션을 개발해 본 경험이 있나요? 있다면 어떤 도구를 사용했나요?				
6. 자신이 시뮬레이션을 개발할 수 있다고 생각해 본 적이 있나요?				
7. 이 수업을 듣기 전에 VPython에 대해 알고 있었나요?				
8. 프로젝트를 진행하기 전 팀을 구성할 때 어떤 점을 고려하면 좋을 것 같은가요?				
9. 팀원과 협력 및 의사소통이 잘 이루어졌나요?				
10. 스스로 시뮬레이션을 설계하고 개발하는 과정이 과학 개념과 이론을 이해하는 데 도움이 되었나요? 또는 다른 사람에게 도움이 될 것 같나요?				
11. 시뮬레이션 설계 계획서 및 개발 일지를 작성하는 것이 시뮬레이션 작성에 도움이 되었나요?				
12. 최종 산출물 중 어떤 작품이 우수하다고 판단했나요? 그 이유는 무엇인가요?				
13. 이 수업을 통해 어떤 능력이 향상되었다고 생각하나요?				
14. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업에서 배운 점, 느낀 점, 아쉬운 점은 무엇이었나요?				
15. VPython을 활용하여 시뮬레이션을 설계하고 개발하는 수업에서 좋았던 점은 무엇인가요?				

[부록 1] 1차 전문가 타당화 설문지

16. VPython을 활용하여 시뮬레이션을 개발하는 과정에서 어려운 점은 무엇이었나요?				
17. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업에서 배운 내용을 어디에 활용할 수 있을 것 같나요?				

② 모델링 역량 검사 문항: 한형중(2019), Lopes & Costa(2007), Upmeier zu Belzen *et al.*, 2019)을 참고하여 개발

(1: 전혀 그렇지 않다, 2: 그렇지 않다, 3: 그렇다, 4: 매우 그렇다)

질문지	타당도			
	1	2	3	4
1. 나는 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성 등을 모형/시뮬레이션으로 잘 표현할 수 있다.				
2. 나는 어떤 현상에 대한 다양한 모형이 있는 경우, 모형 수준의 차이를 설명할 수 있다.				
3. 나는 모형/시뮬레이션을 활용하여 과학적 개념, 이론, 현상 등을 설명할 수 있다.				
4. 나는 모형/시뮬레이션에서 잘못된 부분을 발견할 수 있다.				
5. 나는 모형/시뮬레이션의 강점과 한계가 무엇인지 설명할 수 있다.				
6. 나는 모형/시뮬레이션에서 잘못된 부분을 스스로 수정할 수 있다.				
7. 나는 모형/시뮬레이션을 활용하여 새로운 가설을 검증할 수 있다.				
8. 나는 함수나 공식, 법칙 등을 활용하여 모형/시뮬레이션을 만들 수 있다.				
9. 나는 예측 능력이 높은 모형/시뮬레이션을 만들 수 있다.				
10. 나는 모형/시뮬레이션을 만들 때 고려한 시스템의 상호작용, 변수 간의 관계를 설명할 수 있다.				

- 귀중한 시간 내주셔서 감사합니다. -

[부록 2-1] 1차 전문가 타당화 결과: 초기 수업 모형 전반

<표> 초기 수업 모형 전반에 대한 1차 전문가 타당화 결과

영역	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
	A	B	C	D	E	F	G				
타당성	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	1
설명력	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
유용성	4	3	3	4	3	4	4	3.57	0.49	1	
보편성	3	4	3	4	4	3	4	3.57	0.49	1	
이해도	4	4	3	4	4	4	4	3.86	0.35	1	

[부록 2-2] 1차 전문가 타당화 결과: 초기 수업 모형의 세부 단계별 설명

<표> 초기 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 1차 전문가 타당화 결과

단계	세부 단계	설명	전문가							평균	표준 편차	CVI	IRA
			A	B	C	D	E	F	G				
프로젝트 전 단계	학습자 분석	지식수준 분석하기	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	1
		과학적 모형 분석하기	2	4	3	4	4	4	3	3.43	0.73	0.86	
		프로그래밍 수준 분석하기	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	교육 환경 분석	팀 구성	2	4	3	4	4	4	4	3.57	0.73	0.86	
		네트워크 환경 파악	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
		스마트 학습 환경 파악	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
프로젝트 단계 (준비)	탐구 문제 설정	기존 과학적 모형/시뮬레이션 탐색	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
		기존 과학적 모형/시뮬레이션 분석	4	4	4	4	4	4	3	3.86	0.35	1	
		기존 과학적 모형/시뮬레이션 문제점 도출	4	4	4	3	4	4	4	3.86	0.35	1	
	탐구 준비	시뮬레이션 설계 도구 학습	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
		시뮬레이션 설계 도구 연습	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	탐구 목표 설정												
프로젝트 단계 (모형 구성)	탐구 목표 설정	과학 개념, 이론 설정	4	4	3	3	4	4	4	3.71	0.45	1	1
		모형 요소 설정	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	모형 생성	설계·개발 일지 작성	4	3	3	4	4	4	4	3.71	0.45	1	
		단계적 모형 생성	3	3	3	4	4	4	4	3.57	0.49	1	
	모형 평가	적용	3	4	2	3	4	4	3	3.29	0.70	0.86	
		수정	3	4	3	4	4	4	4	3.71	0.45	1	
마무리	확장 및 성찰	공유하기	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	1
		성찰하기	3	4	4	4	3	4	4	3.71	0.45	1	
		제언하기	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	

[부록 2-3] 1차 전문가 타당화 결과: 초기 설계 원리 및 교수전략

<표> 초기 설계 원리 및 교수전략에 대한 1차 전문가 타당화 결과

설계 원리	교수전략	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
		A	B	C	D	E	F	G				
1	1.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	0.75
	1.1.1	2	4	4	4	2	4	4	3.43	0.90	0.71	
	1.1.2	2	4	4	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	
	1.1.3	2	4	4	4	3	4	4	3.57	0.73	0.86	
2	2.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	2.1.1	2	4	4	4	3	4	4	3.57	0.73	0.86	
	2.1.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	2.1.3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
3	3.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	3.1.1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	3.1.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
4	4.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	4.1.1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	4.1.2	3	4	4	4	3	4	4	3.71	0.45	1	
	4.1.3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	4.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	4.2.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	4.2.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
5	5.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	5.1.1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	5.1.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	5.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	5.2.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	

[부록 2-3] 1차 전문가 타당화 결과: 초기 설계 원리 및 교수전략

설계 원리	교수전략	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
		A	B	C	D	E	F	G				
	5.2.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
6	6.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	6.1.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6.1.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6.1.3	4	4	3	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	6.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6.2.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6.2.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
7	7.1	4	4	4	4	3	4	4	3.86	0.35	1	1
	7.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	

[부록 2-4] 1차 전문가 타당화 결과: 1차 학생 인터뷰 질문지 문항

<표> 1차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 1차 전문가 타당화 결과

문항	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
	A	B	C	D	E	F	G				
1	4	4	4	4	3	4	4	3.86	0.35	1	1
2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
5	4	4	4	4	3	4	3	3.71	0.45	1	
6	4	3	4	4	3	4	3	3.57	0.49	1	
7	4	4	4	4	2	4	3	3.57	0.73	0.86	
8	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.7	0.86	
9	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
10	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
11	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
12	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
13	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
14	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
15	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
16	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
17	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	

[부록 2-5] 1차 전문가 타당화 결과: 1차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항

<표> 1차 시뮬레이션 구성 역량 검사에 대한 1차 전문가 타당화 결과

문항	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
	A	B	C	D	E	F	G				
1	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.7	0.86	0.8
2	4	3	2	4	3	4	4	3.43	0.73	0.86	
3	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.7	0.86	
4	4	3	2	4	4	4	4	3.57	0.73	0.86	
5	4	3	2	4	4	4	4	3.57	0.73	0.86	
6	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.7	0.86	
7	2	4	2	4	4	4	4	3.43	0.9	0.71	
8	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.7	0.86	
9	4	4	2	4	4	4	3	3.57	0.73	0.86	
10	4	2	2	4	4	4	4	3.43	0.9	0.71	

‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형의 개발과 효과

(Development and Effects of an Instructional Model for Scientific Simulation Construction Using VPython)’

연구의 전문가 타당화 설문지 (2차)

안녕하십니까?

저는 서울대학교 사범대학 AI융합교육학과 석사과정에 재학 중인 최원근입니다. 본 설문지는 ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형의 개발과 효과’ 연구에 대한 타당화를 검토하기 위한 목적으로 개발되었습니다. 설문
에 응해주신 전문가님의 검토 의견은 보다 나은 수업 모형과 설계 원리 및 상
세 지침을 개발하는 데 큰 도움이 될 것입니다.

본 설문지는 1. 전문가 인적사항, 2. 연구의 소개, 3. VPython을 활용한 과학
적 시뮬레이션 구성 수업 모형 안내, 4. 타당도 검토로 구성되어 있으며, 타당도
검토 부분은 1) 도출된 수업 모형의 전반에 대한 타당화 질문, 2) 각 절차에 대
한 타당화 질문, 3) 각 원리 및 상세 지침에 대한 타당화 질문, 4) 외적 타당화
에 사용될 인터뷰 질문과 검사 도구에 대한 타당화 질문의 네 가지 부분으로
이루어져 있습니다. 타당도 검토는 객관식 문항과 구체적인 의견을 묻는 개방형
질문을 포함하였습니다.

질문에 응답하실 때 이해가 되지 않거나 추가로 설명이 필요한 부분은 연구
자에게 질문하실 수 있습니다. 본 설문지의 응답 예상 소요 시간은 약 30분입니
다. 전문가 인적사항에 작성해 주시는 성함은 자료 식별용으로만 사용되며 논문
에는 언급되지 않을 것입니다. 다만 전공 분야, 최종 학력, 소속, 경력 등의 정
보는 논문에 언급될 예정입니다. 바쁘신 와중에 소중한 시간을 내어주셔서 진심
으로 감사드립니다.

서울대학교 대학원 AI융합교육학과 석사과정 최원근 올림

	연구 담당자: 서울대학교 AI융합교육학과 최원근
	e-mail:
	연락처:

1. 전문가 인적사항

- 이름 :
- 소속 / 지위 :
- 전공 분야 :
- 최종 학력 :
- 실무 및 연구 경력 기간 :

2. 연구의 소개

※ 과학적 시뮬레이션 용어 정리

- de Jong & van Joolingen(1998)은 시뮬레이션의 유형을 크게 두 가지로 나눈다. 하나는 개념적 모형(Conceptual models)으로 전기 회로, 기체 입자 운동 등을 시각화한 것을 의미하며 컴퓨터 시뮬레이션이라고도 함. 다른 하나는 작동적 모형(Operational models)으로 기기 조작과 같은 훈련 상황이나 모의 실험 상황에 대한 경험을 제공해 주는 것을 의미함.
- 본 연구에서 의미하는 ‘과학적 시뮬레이션’이란 가상공간에서 과학적 모형의 시간에 따른 움직임이나 과학 개념 및 이론을 시각화한 개념적 모형의 시뮬레이션(컴퓨터 시뮬레이션)을 의미함.

1) 연구의 필요성과 목적

○ 과학교육에서 모형의 필요성 및 기존 모형의 한계

- 과학 모형은 과학적으로 사고하는 데 필수적이며, 과학 개념의 이해를 돕고 자연 현상을 설명하거나 예측하는 데 도움을 줌(Gilbert, 2004). 또한 모형은 과학 지식을 생산하고 개념을 이해하는 데 필수적임(Giere, 1988; Gilbert, 1991). 모형은 현상이 어떤 방식으로 일어나는지에 대한 설명을 제공하며 데이터의 바탕으로 예측을 할 수 있게 도와주므로 과학적 모형을 구성하는 과정은 과학 탐구에서 핵심적이고 본질적인 활동임(Schwarz *et al.*, 2009).
- 하지만 기존의 모형은 텍스트, 그림 등의 2차원적 표상으로 현실성을 반영하는 데 한계가 있고, 다양한 시점에서 사건과 상황에 대한 이해를 돕는 데 한계가 있음(한형중 & 임철일, 2020; Burke *et al.*, 1998).

○ 과학적 모형 구성 수업에 컴퓨터 프로그래밍의 필요성

- 학생이 직접 모형을 구성하고 수정하는 과정에 참여하는 것은 과학 지식을 구성하는 데 효과적이고 중요한 과정임(박희경, 2015; 하희수 외, 2018; Baek, 2013; Baek & Schwarz, 2015; Clement, 2000; Gilbert *et al.*, 2000). 하지만 학생은 본인 스스로 지식을 생성할 수 없을 것이라는 인식이 있으며(Baek, 2013), 추상적인 과학 개념을 이해하고 이를 시각화하는 데 어려움을 느끼고(Parker & Heywood, 1998), 과학 개념에 대한 직접적인 상호작용의 경험을 할 수 없는 상황에서 과학적 모형을 구성하는 데 어려움을 겪음(Bell & Trundle, 2008).
- 이러한 어려움을 극복하기 위해 컴퓨터 또는 스마트 기기를 과학교육에 적용하는 연구가 지속적으로 이루어져 왔음(최섭, 2021; 하희수 외, 2018; 한정선 외, 2011; 한형중, 2019; Barab *et al.*, 2000; Baek & Schwarz, 2015; McGrath *et al.*, 2018; Merchant *et al.*, 2014; Merchant *et al.*, 2012).
- 과학적 모형 구성 과정에서 컴퓨터를 도입하면 시각화 측면에서 관찰하기 어려운 자연 현상을 이해하는 데 도움을 줄 수 있으며(Hammond, 1971), 확률적 시뮬레이션 측면에서 비용이나 현실성의 제약을 받지 않고 문제를 해결할 수 있도록 도와주고(김중혜, 2014), 현실에서 실행 불가능한 아이디어를 탐구하는 데 중요한 역할을 할 수 있음(Ahamed *et al.*, 2010). 그 외에도 프로그래밍을 통한 문제 해결력을 향상시킬 수 있으며(김현정, 2010), 창의력과 논리력을 키워줄 수 있고(이미현 & 구덕희, 2011), 코드 완성을 통해 성취감, 자신감, 협동심, 상호작용 능력 등의 정의적 영역도 향상시킬 수 있음(김은진, 2009).

○ 과학적 모형 구성 수업에 컴퓨터 프로그래밍의 필요성(추가)

- 김미숙 외(2005)의 연구 : 영재 학생들은 일반 학생보다 지능지수가 높음. 다양한 학습양식 중 프로젝트, 토론학습 등 자기 주도적이고 비구조화된 수업을 선호, 창의성에서 일반 학생보다 더 강한 창의성을 보임. 인내심이 강하고 자기 확신이 있음. 호기심과 상상력이 풍부. 개방적이고 모험심이 많음.
- 이정철 외(2009)의 연구 : 과학적 태도 측면에서 높은 호기심, 창의성, 자기 주도성이 있음. 협동성과 개방성이 높음.
- 영재 학생에게 필요한 교육은 단순히 과학적 지식을 가르치는 것을 넘어 과학자적 자질과 소양을 길러주는 방식의 수업이어야 함.

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

- 2013년 노벨화학상은 단백질과 같은 거대분자의 화학적 성질을 알아내는 시뮬레이션 프로그램을 개발한 화학자들이 수상함(NobelPrize.org, 2024). 이는 컴퓨터를 이용한 가상공간에서의 연구가 앞으로 중요한 분야임을 시사하는 것. 또한 과학과 정보가 융합한 전산물리학, 계산화학, 생물정보학 등의 연구 분야가 있는 것처럼 과학영재에게 실험적 한계를 컴퓨터 프로그램을 이용하여 극복할 수 있는 것도 필요한 역량이 됨.

○ 기존에 개발된 시뮬레이션 분석 및 과학적 모형 구성 수업에 VPython 활용 가능성

- 기존에 국내/외에서 개발된 교육용 시뮬레이션 온라인 플랫폼을 탐색함. VPython을 제외하고 총 19개의 교육용 시뮬레이션 온라인 플랫폼을 탐색하였으며, 그중 사용자가 직접 시뮬레이션을 개발할 수 있는 플랫폼은 수학 교육을 위한 알지오매스(한국과학창의재단에서 개발), 수학 및 과학교육을 위한 STEAMuP(샘웨어에서 개발), GeoGebra(오스트리아 잘츠부르크 대학에서 개발), EDISON(과학기술정보통신부 & 한국과학창의재단에서 개발), NetLogo(미국 Uri Wilensky & CCL team에서 개발) 5개가 존재함.
- 학생에게 익숙하면서도 과학 분야 전반에서 과학적 모형을 시뮬레이션으로 쉽게 구현할 수 있는 환경을 제공해 줄 필요가 있음. VPython은 Python 언어를 기반으로 하므로 Python 언어를 아는 사람이라면 누구나 유용하게 사용할 수 있음(Chabay & Sherwood, 2023). VPython을 이용하면 3차원 도형을 간단한 코드로 생성할 수 있고, 실행 결과화면에서 3차원 객체를 마우스로 제어할 수 있으며, 문법이 간단하고 인터프리터 언어로 디버깅이 용이하여 교육 과정과 연계 가능하다는 장점이 있어(김지혜, 2015; 유진아, 2018) 과학적 모형을 시뮬레이션으로 구현하기 적합한 환경을 제공함.

2) 연구 문제

첫째, VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형은 어떻게 구성되는가?
둘째, VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형이 내적으로 타당한가?
셋째, VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형은 외적으로 타당한가?

3) 수업 모형 개발 과정

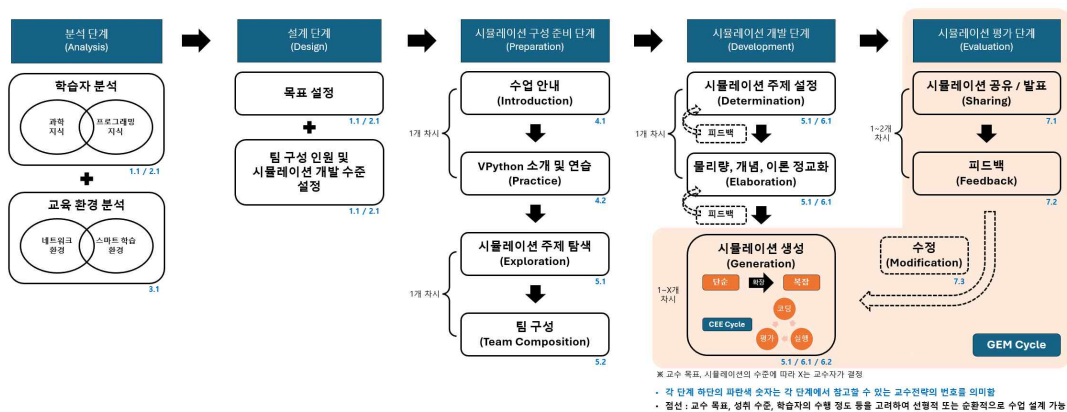
- 문헌 검토와 경험적 탐색을 바탕으로 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형과 이를 위한 설계 원리 및 상세 지침을 개발하고자 함. 문헌 검색은 서울대학교 중앙도서관, 한국교육학술정보원 학술연구정보서비스 RISS, 구글 학술 검색, DBpia를 활용하였음.
- 수업 모형과 설계 원리 및 상세 지침을 개발하기 위해 다음과 같은 키워드를 중심으로 선행 문헌을 탐색하였음.

: 게임 기반 수업(game-based), 문제 해결 수업(problem-based), 인공지능 융합 수업(AI convergence education), 데이터 기반 수업(data-based), 가상현실 기반 교육(VR-based), 메이커 교육(maker education), 과학적 모형(scientific model, scientific modeling, model-based, modeling-based), 모델링 역량(modeling competence), 시뮬레이션(simulation), VPython, Python

3. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형 안내

1) 수업 모형

- 통합적인 문헌 검토와 경험적 탐색을 바탕으로 선행 문헌에서 11가지의 설계 원리와 그에 따른 23개의 상세 지침을 모형 개발 과정에 참고하였음. 1차 전문가 타당화의 검토 의견을 바탕으로 2차 수업 모형을 도출하고, 수업 단계별 설명을 제시함.



[그림] VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 2차 모형

2) 수업 모형의 세부 단계별 설명

<표> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 2차 모형의 단계별 설명

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설	
분석 단계 (Analysis)	학습자 분석	과학 지식 분석	· 지식수준 분석: 학습자가 학습하여 내재화한 과학 개념, 지식, 이론에 대한 수준을 분석한다.
			예시 및 해설: 물리학·화학·생물과학·지구과학 등 과학과 교육과정 내용 요소 및 성취 기준을 분석하고, 과학과 교육과정에서 학습한 과학 개념, 지식, 이론이 무엇인지 확인한다. 또한 수업 시간에 질문하고 답하기, 토론 및 토의하기, 형성평가 등으로 학습자가 학습하여 내재화한 과학 개념, 지식, 이론에 대한 수준을 분석한다.
			· 과학적 모형 수준 분석: 학습자가 과학 개념, 지식, 이론을 학습하는 데 경험한 과학적 모형의 내용 및 수준을 분석한다.
			예시 및 해설: 물리학·화학·생물과학·지구과학 등 과학과 교육과정 내용 요소 및 성취 기준에 따른 과학적 모형을 분석하고, 학습자가 내재화한 과학적 모형의 내용 및 수준의 정도를 질문하고 답하기, 모형 그리기, 모형 서술하기 등으로 분석한다.
		프로그 래밍 지식 분석	· 프로그래밍 지식 분석: 학습자의 Python 언어의 학습 수준을 분석한다.
			예시 및 해설: 정보과 교육과정 내용 요소 및 성취 기준을 분석하고, 정보과 교육과정에서 학습한 사칙연산, 반복문, 조건문, 함수 정의 등 Python 학습 내용을 확인한다. 또한 정보과 교육과정에서 실시한 수행평가 및 형성평가 등으로 학습자가 내재화한 정보 교과 수준 및 Python 학습 수준을 분석한다.
			· 프로그래밍 수준 분석: 학습자의 Python 프로그래밍 수준을 분석한다.
			예시 및 해설: Python을 활용하여 특정 문제를 해결하거나 알고리즘을 세워 코딩하는 수준을 확인한다. 또한 정보과 교육과정에서 실시한 수행평가 및 형성평가 등으로 학습자의 Python 프로그래밍 수준을 분석한다.
	교육 환경 분석		· 네트워크 환경 파악: Web VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 설계할 수 있도록 인터넷 접속 환경을 파악한다.

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
		예시 및 해설: 브라우저에서 바로 VPython 프로그램을 작성하고 실행할 수 있도록 인터넷 접속 환경을 확인한다. 전체 학습자가 인터넷에 동시에 접속할 수 없는 환경인 경우 다른 교실로 수업 환경을 변경하거나, VPython library package를 학습자 개별 노트북에 미리 설치해 오도록 한다.
		· 스마트 학습 환경 파악: 학습자가 개별 노트북을 수업 중에 활용할 수 있도록 학습자의 스마트 학습 환경을 파악한다.
		예시 및 해설: 전체 학습자가 인터넷에 접속하여 수업에 참여할 수 있도록 개별 노트북이 준비되어 있는지 파악하고, 필요한 경우 PC가 설치되어 있는 곳으로 수업 환경을 변경하거나, 학교 여건에 따라 부족한 수량의 노트북은 교수자가 준비하여 제공한다.
설계 단계 (Design)	목표 설정	· 교수 목표 설정: 수업을 통해 학습자가 도달하고자 하는 목표를 설정한다.
		예시 및 해설: 학습자 분석을 통해 파악한 학습자의 수준을 바탕으로 도전적인 과제를 제시하여 시뮬레이션 구성 수업을 통해 학습자가 도달하고자 하는 목표를 설정한다. 이는 물리학·화학·생명과학·지구과학 등 특정 과학 분야에서의 교수 목표일 수도 있고, 과학적 모델링 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 역량 등 역량 함양을 위한 교수 목표일 수도 있다.
	팀 구성 인원 및 시뮬레이션 개발 수준 설정	· 팀 구성 인원 및 시뮬레이션 개발 수준 설정: 교수 목표 달성에 적합한 팀 구성 인원과 학습자가 개발할 시뮬레이션 수준을 설정한다. 예시 및 해설: 구성하고자 하는 시뮬레이션의 수준을 정하고, 시뮬레이션의 수준에 따라 적절하게 팀 구성 인원을 설정한다. 팀 구성 인원을 설정할 때는 봉 효과(Sucker effect), 무임승차 효과(Free-rider effect) 등을 고려하여 적절한 인원수로 설정한다. 예를 들어 중학교 교육과정에서부터 학습하는 보일 법칙, 샤를 법칙, 훅의 법칙 등에 대한 과학적 모형을 시뮬레이션으로 구성하는 수준은 ‘하’이며, 이때는 1~2인이 한 팀을 구성하도록 한다. 고등학교 이상 교육과정에서 학습하는 오비탈, 맥스웰-볼츠만 분포, 2개 이상의 진자 운동, 2개 이상의 스프링과 물체가 연결된 운동 등에 대한 과학적 모형을 시뮬레이션으로 구성하는 수준은 ‘중’ 또는 ‘상’이며, 이때는 2~4인이 한 팀을 구성하도록 한다. 연구 활동 등 실생활 문제를 해당 학문의 지식으로 시뮬레이션을 구성하는 수준은 ‘상’이며, 이때는 교수자의 교수 목표 수준과 학습자 수준을 참고하여 적절한 팀 구성 인원을 설정한다.

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
시뮬레이션 구성 준비 단계 (Preparation)	수업 안내	· 수업 안내: 교수자가 도출한 교수 목표에 따라 수업 전반에 대해 안내한다. 예시 및 해설: 수업을 통해 달성하고자 하는 교수 목표를 안내한다. 또한 물리학·화학·생명과학·지구과학 등 특정 교과에 대한 주제로 시뮬레이션을 구성할 것인지, 학습자가 원하는 주제를 탐색하여 시뮬레이션을 구성할 것인지, 구성하고자 하는 시뮬레이션의 수준은 어느 정도인지 수업 전반에 대해 안내한다.
	VPython 소개 및 연습	· VPython 소개 및 연습: VPython을 소개하고 VPython으로 3D 객체를 생성하는 방법을 안내한다. 예시 및 해설: VPython에서 기본으로 제공하는 12개의 3D 객체를 소개하고, 각 객체를 생성하는 데 필요한 파라미터를 안내한다. 이를 바탕으로 학생들이 직접 12개의 3D 객체를 생성해 볼 수 있는 연습 기회를 제공한다. 또한 3D 객체를 활용하여 자유 낙하 운동, 포물선 운동, 상자 속 입자의 완전 탄성 충돌(이상 기체 운동)과 같이 간단한 시뮬레이션 제작을 연습해 볼 기회를 제공한다.
	시뮬레이션 주제 탐색	· 시뮬레이션 주제 탐색: 학습자 개인별로 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 주제를 탐색하도록 한다. 예시 및 해설: 수업 안내에서 안내된 내용에 따라 특정 교과 내용에 대한 주제를 탐색하거나, 과학과 교육과정 내용 전체에서 주제를 탐색하도록 한다. 다양한 아이디어를 도출해 낼 수 있도록 학습자에게 충분한 시간을 주고, 자유로운 수업 분위기를 조성한다.
	팀 구성	· 팀 구성: 분석 단계에서 정한 팀 구성 인원에 따라 시뮬레이션을 함께 제작할 팀을 구성하도록 한다. 예시 및 해설: 분석 단계에서 정한 팀 구성 인원과 시뮬레이션 주제 탐색에서 학습자가 개인별로 탐색한 주제를 바탕으로 팀을 구성한다. 학생들이 탐색한 주제를 공유하고, 관심 있는 주제를 중심으로 학습자 스스로 팀을 구성할 수 있도록 안내한다.
시뮬레이션 개발 단계 (Development)	시뮬레이션 주제 설정	· 시뮬레이션 주제 설정: 팀원과 상의하여 시뮬레이션으로 개발할 주제를 확정하도록 한다. 예시 및 해설: 시뮬레이션 주제 탐색 과정에서 도출한 주제에 대해서 팀을 구성하였으므로 팀원 모두가 공유할 수 있는 시뮬레이션으로 표현할 주제를 확정하도록 한다. 필요할 경우 교사 및 동료 피드백 단계를 추가하여 학습자가 개발하기에 적절한 주제를 설정할 수 있도록 안내한다.
	물리량, 개념, 이론	· 물리량, 개념, 이론 정교화: 시뮬레이션 주제로 설정한 과학적 개념, 지식, 이론을 구체화할 때 필요한 물리량, 개념, 이론을 정교화하여 시뮬레이션 개발의 기반을 마련하도록 한다.

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
	정교화	예시 및 해설: 예를 들어 보일 법칙을 시뮬레이션으로 구현하고자 한다면 입자의 크기, 입자의 질량, 입자의 운동 속도, 입자의 수, 입자가 들어있는 용기의 초기 크기 설정, 용기의 부피 조절 방법, 용기에 부딪히는 입자의 압력 계산 방법 등 시뮬레이션으로 구현하고자 하는 요소를 분석하고, 각 요소에 대한 물리량을 과학 개념 및 이론에 맞게 정교화한다. 필요할 경우 교사 및 동료 피드백 단계를 추가하여 학습자가 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 물리량, 개념, 이론 등의 요소를 정교화하는 데 도움을 제공한다.
	시뮬레이션 생성	· 단순한 것에서 복잡한 것으로 확장: 정교화시킨 물리량, 개념, 이론 등 시뮬레이션으로 구현하고자 하는 요소를 단순한 것에서부터 복잡한 것으로 확장시키며 시뮬레이션을 생성하도록 한다.
		예시 및 해설: 예를 들어 상자 속 기체 입자의 운동을 시뮬레이션으로 개발할 때는 상자 생성, 입자 1개 생성, 입자 1개의 움직임 구현에서부터 입자를 여러 개로 확장하도록 한다.
		· CEE cycle: 코딩(Coding) → 실행(Execution) → 평가(Evaluation)의 순환 단계를 반복하면서 시뮬레이션을 생성하도록 한다.
시뮬레이션 평가 단계 (Evaluation)	시뮬레이션 공유 / 발표	예시 및 해설: VPython은 Python을 기반으로 한 프로그래밍 언어로, 인터프리터 언어(Interpreted Language)로 코드 한 줄마다 바로 실행하여 결과를 볼 수 있다. 따라서 시뮬레이션으로 구현하고자 하는 코드를 작성하고 중간중간 코드를 실행하여 구성하고자 하는 시뮬레이션을 평가하도록 한다. 팀원과 함께 코드를 작성하고 실행 결과를 평가하여 팀 내에서 이루어지는 피드백을 반영할 수 있도록 한다. 코딩, 평가, 수정의 과정이 팀원과 유기적으로 이루어지도록 공유 문서를 작성하여, 시뮬레이션 개발 과정을 꾸준히 기록하도록 한다.
		· 시뮬레이션 공유, 발표: 개발한 시뮬레이션을 공유하고 발표하도록 한다.
	피드백	예시 및 해설: 개발한 시뮬레이션의 주제는 무엇인지, 어떤 과학적 요소, 과학 개념 및 이론을 시뮬레이션으로 구성했는지 구체적으로 발표하도록 하고, 발표를 듣는 학생들은 발표팀이 목적에 적절하게 시뮬레이션을 구성했는지 주의 깊게 듣도록 한다.
		· 피드백: 발표를 듣고 교사 및 동료 피드백이 이루어지도록 한다.

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

단계	세부 단계	단계별 설명과 예시 및 해설
		예시 및 해설: 학습자들이 발표를 들은 과학적 시뮬레이션이 과학 이론을 일반화하거나 자연 현상을 적절하게 설명하고 있는지 평가하도록 한다. 학습자들이 평가한 내용을 자유롭게 토의할 수 있는 분위기를 조성하고, 시뮬레이션을 개발한 학습자와 발표를 들은 학습자들 사이에서 협력적 의사소통이 이루어지도록 한다. 우수한 점, 개선할 점 등을 피드백하며, 미흡한 부분을 피드백할 때는 문제 해결을 도울 수 있는 이성적이고 타당하며 구체적인 정보나 의견을 함께 제시하도록 한다.
	수정	· 수정: 피드백을 바탕으로 시뮬레이션을 다시 생성하여 더 발전된 시뮬레이션을 개발하도록 한다. 예시 및 해설: 시뮬레이션을 생성 → 피드백 → 수정하는 과정은 기존의 과학적 모형 구성 수업에서 제시한 GEM cycle과 같다(Clement, 1989). 교수 목표, 학습자의 성취 수준, 수업 차시 등을 고려하여 수정 단계를 수행하여 순환 모형으로 수업을 구성하거나, 수정 단계를 생략하여 선형 모형으로 수업을 구성한다.

3) 수업 모형 설계 원리 및 상세 지침

- 모형 개발 과정에 선행 문헌 탐색을 통해 11가지의 설계 원리와 그에 따른 23개의 교수전략을 참고하여 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형에 대해 설계 원리와 교수전략을 개발함. 또한 2차 전문가 타당화의 검토 의견을 바탕으로 2차 수업 모형을 도출하고 이에 적합하도록 7가지의 설계 원리와 그에 따른 27개의 교수전략을 개발함.

<표> VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 2차 모형의 설계 원리 및 교수전략

설계 원리	교수전략
1. 학습 초점의 원리	1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 활동이 교수 목표 달성에 적합한지 분석하라.
	1.1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 활동에 참여하는 학습자의 수준을 파악하고, 학습자의 수준에 맞게 교수 목표를 설정하여 학습이 이루어지도록 하라.
	예시 및 해설: 학습자의 수준에 따라 VPython을 활용하여 개발할 수 있는 시뮬레이션의 수준이 다르므로, 학습자가 내재화한 과학 지식과 정보 지식의 수준을 파악하고 학습자의 수준에 따라 교수 목표와 수업 활동으로 개발하고자 하는 시뮬레이션의 수준을 설정하여 학습자의 학습 활동을 통해 실질적인 교수 목표를 달성하는 데 초점을 맞추어 설계한다.
	1.1.2. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 활동이 고차원적 사고 및 역량 개발에 적절한지 분석하라.
	예시 및 해설: 교수자는 수업 활동을 통해 과학적 사고력, 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 탐구 능력, 창의력, 협업 능력, 자기주도 학습 능력, 컴퓨팅 사고력, 프로그래밍 능력 등 함양시키고자 하는 고차원적 사고와 역량을 파악하고, 목표한 역량을 함양할 수 있도록 수업 활동을 설계한다.
	1.1.3. 시뮬레이션을 구성하는 수업의 설계 수준이 학습자의 학습 요구에 적절한 수준인지 분석하라.
2. 수업 재구성의 원리	예시 및 해설: 교수자는 설계하고자 하는 시뮬레이션 구성 수업이 학습자의 학습 요구에 적절한지, 학습자의 수준에 비해 도전적인 수준으로 설계되었는지 분석한다.
	2.1. 학습자의 교과 내용에 대한 이해도와 프로그래밍 수준을 파악하고 수업을 설계하라.
	2.1.1. 교수 목표와 VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 활동 간의 목표를 통합하라.

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: 교수자는 교수 목표로 학습자에게 어느 정도 수준의 시뮬레이션을 구성하도록 할 것인지, 어떤 역량을 중점적으로 함양시킬 것인지를 설정하고 수업의 단계별 활동이 교수 목표와 유기적으로 통합되도록 수업을 설계한다.
	2.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 학습 목표, 학습 내용, 학습 활동을 계획하라.
	예시 및 해설: 교수자는 형성평가, 질문하기, 토론 등 다양한 방법을 활용하여 학습자가 내재화한 과학 지식, 정보 지식, 과학적 모형을 파악하고 이를 활용하여 수업이 이루어질 수 있도록 학습 활동을 계획한다.
	2.1.3. 학습자 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준을 설정하라.
	예시 및 해설: 교수자는 형성평가, 질문하기, 토론 등 다양한 방법을 활용하여 학습자가 내재화한 정보 지식, 프로그래밍 수준을 파악하고, 이를 고려하여 최종적으로 학습자가 도출해 낼 수 있는 산출물의 수준을 잠정적으로 설정한다.
3. 환경 구성의 원리	3.1. 교실 내의 모든 학습자가 학습 활동에 참여할 수 있도록 물리적 환경을 조성하라.
	3.1.1. 교실 내의 모든 학습자가 인터넷에 접근할 수 있도록 인터넷 접속 환경을 확인하고 대안을 마련하라.
	예시 및 해설: 본 수업이 이루어지기 전에 교실 현장에 인터넷 접속 환경을 확인하고, 모든 학습자가 인터넷 접속이 가능한 환경을 조성한다. 기존 교실에서 인터넷 접속이 원활하지 않을 경우, 수업 환경을 변경하거나 미리 VPython library package를 학습자의 개인 노트북에 설치해 오도록 한다.
	3.1.2. 교실 내의 모든 학습자가 개별 노트북(또는 PC나 스마트 기기)을 수업 중에 활용할 수 있도록 수업 시작 전에 학습자들의 기기 소유 여부를 확인하고 여분의 노트북을 준비하라.
	예시 및 해설: 학습자 1인당 개별 노트북 사용이 가능하도록 물리적 환경을 조성하고, 개별 노트북 사용이 어려운 환경일 경우, PC가 설치되어 있는 곳으로 수업 환경을 변경하거나, 학교의 여분 노트북을 학습자에게 대여해 준다. 만약 학습자 1인당 개별 노트북 사용이 어려운 경우 2명당 1개의 노트북을 사용할 수 있도록 교실 환경을 구성하고, 스마트폰이나 스마트 패드 등 스마트 기기를 보조로 활용할 수 있도록 안내한다.
4. 동기부여의 원리	4.1. 학습자가 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에 적극적으로 참여할 수 있도록 동기를 부여하라.
	4.1.1. 수업 목표를 제시하고, 목표에 도달했을 때 습득할 수 있는 능력 및 역량을 안내하라.
	예시 및 해설: 시뮬레이션을 구성하는 수업의 목표를 제시하고, 시뮬레이션을 구성하는 경험을 통해 스스로 자연 현상을 시뮬레이션으로 구현할 수 있는 능력을 함양할 수 있고, 수업을 통해 과학 개념과 이론을 구조화하여 시뮬레이션으로 나타낼 수 있는 역량을 기를 수 있음을 안내한다.

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	교수전략
5. 팀 구성 및 상호작용 원리	4.1.2. 이전 학습자가 VPython으로 개발한 시뮬레이션 예시를 학습자의 수준을 고려하여 제공함으로써 학습자의 VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 활동에 대한 자신감을 높이고 수업 활동에 대한 동기를 부여하라.
	예시 및 해설: 과학 개념, 이론, 자연 현상 등에 대해 이전 학습자가 VPython으로 개발한 시뮬레이션의 예시와 코드를 공유하여 수업에 참여하고 있는 학습자의 자신감을 높이고, 흥미를 유발하여 학습 참여 동기를 유발시킨다. 이때 학습자의 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준을 예시로 활용하고, 학습자의 자유로운 창의성을 발휘할 수 있도록 예시는 1~2개 정도로 적게 제시한다.
	4.1.3. 학습자에게 도전적인 수준의 시뮬레이션 구성을 요구하여, 수업 참여의 동기를 부여하고 시뮬레이션 구성 경험을 통해 성취감을 느낄 수 있도록 하라.
	예시 및 해설: 학습자의 수준보다 조금 높은 도전적인 수준의 과제를 설정하고, 다른 학습자와의 협업을 통해 도전적인 수준의 시뮬레이션을 구성할 수 있는 수업 경험을 제공하여 수업 참여 동기와 동료 학습자와의 협업에 대한 동기를 유발시킨다.
	4.2. VPython을 직접 활용 및 탐색할 수 있는 충분한 시간과 기회를 제공하라.
	4.2.1. VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 학습할 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체인 구, 직육면체 등을 학습자가 직접 생성해 볼 수 있는 시간과 기회를 제공한다.
	4.2.2. VPython을 활용하여 간단한 시뮬레이션을 연습해 볼 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 이용하여 구의 자유 낙하 운동, 상자 속 입자의 움직임 등 기초적인 시뮬레이션 제작을 연습해 볼 수 있도록 한다.
	5.1. 다양한 상호작용이 일어나도록 하라.
	5.1.1. 협력적 해결이 요구되는 도전적인 과제를 설정할 수 있도록 교수자와 학습자가 끊임없이 상호작용하라.
	예시 및 해설: 학습자의 수준에 적절한 또한 학습자의 수준보다 도전적인 과학 개념 및 이론에 대해 시뮬레이션을 구성할 수 있도록 교수자와 학습자가 끊임없이 상호작용하고, 다양한 아이디어를 도출할 수 있도록 한다.
	5.1.2. 교수자와 학습자, 또는 학습자들 간에 활발한 의사소통이 일어날 수 있도록 자유로운 교실 환경을 조성하라.
	예시 및 해설: 교수자와 학습자 간, 또는 학습자들끼리 편안한 분위기에서 자유롭게 의견 교환이 일어날 수 있도록 충분한 시간을 제공하고 편안한 교실 환경을 조성한다.
	5.1.3. 공유 문서를 작성하여 공유하여 대면적인 상호작용뿐만 아니라 비대면적인 상호작용도 일어나도록 하라.

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: 시뮬레이션을 구성하기 전에 주제를 설정하는 과정에서부터 과학 개념 및 이론을 탐색하는 과정, 이를 시뮬레이션으로 구성하기 위해 정교화하는 과정, 시뮬레이션을 생성하는 단계별 과정 및 전략 등 수업 활동 전반을 공유 문서로 작성하여 시뮬레이션을 개발하는 활동을 구체화하도록 한다.
	5.2. 교수 목표 및 수준에 맞게 팀을 구성하라.
	5.2.1. 수업을 통해 학습자가 달성할 수 있는 능력 및 역량, 학습자가 구성할 시뮬레이션의 수준을 고려하여 팀 구성 인원을 설정하라.
	예시 및 해설: 교수 목표에서 설정한 수업을 통해 달성시키고자 하는 능력 및 역량, 학습자가 구성할 시뮬레이션의 수준을 고려하여 팀원들 간에 적절한 상호작용이 가능하도록 팀 구성 인원을 설정한다. 수업에서 구성하고자 하는 시뮬레이션의 수준이 ‘하’인 경우 개인별 수업을 진행하거나, 최대 2인 1팀을 구성하도록 한다. 시뮬레이션의 수준이 ‘중’ 또는 ‘상’인 경우 2~4인이 한 팀을 구성하도록 한다. 만약 매우 복잡한 시스템을 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 경우 자율적 협동학습 모형(Co-op Co-op)과 같이 적절한 소그룹으로 나누어 프로젝트를 진행하고, 나누어진 프로젝트를 합쳐 반 전체의 프로젝트를 완성하는 형식으로 팀을 구성한다.
	5.2.2. 유사한 관심 주제별, 서로 다른 강점별로 팀을 구성하라.
	예시 및 해설: 구성하고자 하는 시뮬레이션의 주제가 비슷한 학습자끼리 팀을 구성하도록 하고, 비슷한 주제가 없는 경우 학생의 평소 관심 주제에 따라 팀을 구성하도록 한다. 또한 팀 구성 인원이 3명 이상일 경우에는 학습자 분석을 통해 학습자가 평소 관심 있어 하는 분야, 또는 자신 있어 하는 분야 등을 분석하고 이를 토대로 서로 다른 강점을 가진 학습자들로 팀을 구성하여 협력적 활동에서 상승효과가 일어날 수 있도록 한다.
6. 스캐폴딩 제공의 원리	6.1. 학습자가 현재의 수준을 넘어 다음 단계의 수준에 도달할 수 있도록 적절한 자극과 정보를 제공하여 학습을 촉진시켜라.
	6.1.1. 순회 지도를 통해 학습자를 관찰하고, 과학 개념, VPython 코딩, 시뮬레이션 구성 등에 대해 단계별 피드백을 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자 주도의 수업 활동에서 교수자는 순회 지도를 통해 학습자의 학습 상황, 시뮬레이션 구성 활동 상황 등을 관찰하고 적절한 피드백과 격려를 제공한다.
	6.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 뼈대 코드를 준비하라.
	예시 및 해설: VPython을 활용한 시뮬레이션 구성에 참고할 만한 간단한 시뮬레이션 코드를 제공하여 이를 적절하게 활용, 조합, 수정하여 시뮬레이션을 설계, 개발할 수 있도록 한다.
	6.1.3. 공유 문서를 활용하여 수업 활동에 대해 학습자에게 스캐폴딩을 제공하라.

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

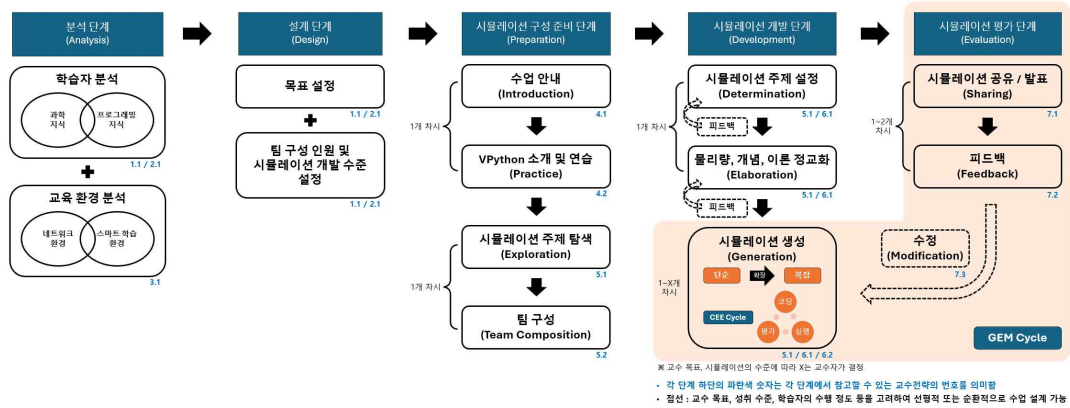
설계 원리	교수전략
	예시 및 해설: 학습자가 작성한 공유 문서를 분석하고, 각 수업 단계별로 학습자에게 필요한 도움과 정보를 도출하여 학습자가 수업 단계에 따라 유의미한 활동이 일어날 수 있도록 한다.
	6.2. 시뮬레이션을 전략적으로 생성하도록 지도하라.
	6.2.1. 시뮬레이션의 구성 요소가 많을 때는 단순한 요소부터 코딩하고, 점차 코드의 복잡성을 높여가라.
	예시 및 해설: 예를 들어 기체 분자의 운동을 시뮬레이션으로 시각화하는 경우, 입자 한 개 및 입자가 존재하는 공간을 먼저 코딩하도록 한다. 이후 입자를 여러 개로 확장하고 입자의 움직임을 부여하는 등 코드의 복잡성을 구조적으로 높여갈 수 있도록 안내한다. 또한 시각화하고자 하는 요소가 물체의 움직임, 그래프, 어떤 물리적인 값 등 여러 개일 경우 간단한 것부터 시각화하도록 한다.
	6.2.2. 코딩(coding)하고 이를 실행(execution)시켜 실행 결과를 평가(evaluation)하는 과정을 반복적으로 수행(CEE cycle)하면서 시뮬레이션을 프로그래밍하도록 하라.
	예시 및 해설: VPython은 Python을 기반으로 한 언어이므로 인터프리터 언어(Interpreted Language)로, 코딩한 것을 실행시켜 결과를 확인하고, 이를 자체 평가 또는 팀원끼리 평가하여 코드를 확장해 나가도록 한다.
	6.2.3. 생성형 AI를 활용하여 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 아이디어를 코드화하는 데 활용하도록 하라.
7. 공유 및 성찰의 원리	예시 및 해설: 챗GPT 또는 Bing챗(Copilot) 등 생성형 AI를 코드 작성하는 과정에서 활용하여 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 아이디어를 코드화하는 데 도움을 얻도록 한다. 생성형 AI를 활용할 때는 ‘VPython을 활용하여 OO의 주제로 코드를 작성하려고 해.’와 같이 먼저 정확한 문제를 정의하는 것에서부터 시작하도록 한다. 코드 작성을 요청할 때는 지시하는 내용을 구체적이고 명확하게 작성하여 프롬프트를 입력하도록 한다. 생성형 AI로 도출한 결과를 학습자가 적절한 방식으로 수정 및 보완하여 코드를 정교화하도록 한다.
	7.1. 최종 산출물을 시연하고 의견을 나누며 평가할 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자가 어떠한 주제로 시뮬레이션을 구성하였고 어떤 방법으로 코딩하였는지 공유하고 발표하는 기회를 제공한다. 다른 학습자들은 발표하는 학습자의 발표 내용을 집중하여 경청할 수 있도록 지도한다.
	7.2. 자신의 학습 활동 전반을 확인하고 성찰할 기회를 제공하라.
	예시 및 해설: 학습자가 학습 활동을 통해 얻은 경험, 지식, 생각 등 자기 평가서를 작성하여 자신을 성찰할 기회를 제공한다. 또한 공유한 시뮬레이션에 대해 교사 피드백 및 동료 피드백을 받아서 학습 활동을 유의미하게 마무리할 기회를 제공한다. 협력적 의사소통이 이루어지도록 우수한 점, 개선할 점 등을 피드백하도록 하며, 미흡하거나 개선할 점을 피드백할 때는 문제 해결에 도움을 줄 수 있는 이성적이고 타당하며 구체적인 정보나 의견을 함께 제시하여 건설적인 피드백이 되도록 지도한다.

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	교수전략
	7.3. 피드백을 수용할 기회를 제공하라. 예시 및 해설: 교사 피드백 및 다른 학습자의 동료 피드백을 수용하여 자신이 구성한 시뮬레이션을 수정할 기회를 제공하여 과학적 모형 구성 수업에서 ‘모형 생성(Generation)’ - ‘모형 평가(Evaluation)’ - ‘모형 수정(Modification)’의 일련의 과정을 통해 시뮬레이션을 한 단계 높은 수준으로 구성할 수 있도록 한다.

4. 타당도 검토

1) VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 모형에 대한 2차 전문가 검토



다음은 수업 모형 전반에 대한 타당성을 묻는 문항입니다. 각 영역에 속하는 문항을 살펴보고 아래의 평정 척도에 따라 해당하는 곳에 ‘✓(체크)’ 표시를 해주시고, 3점 이하로 응답하신 문항에 대해서는 그 이유와 개선하거나 보완해야 하는 사항을 의견란에 적어주시기를 바랍니다.

(1: 전혀 그렇지 않다, 2: 그렇지 않다, 3: 그렇다, 4: 매우 그렇다)

영역	문항	타당도			
		1	2	3	4
타당성	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 시행하는 데 있어서 참고할 수 있는 모형으로 타당하다.				
	의견:				
설명력	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에 필요한 요소를 잘 설명하고 있다.				
	의견:				
유용성	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 시행하는 데 있어서 유용하게 활용될 수 있다.				
	의견:				
보편성	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 시행하는 데 보편적으로 활용할 수 있다.				
	의견:				
이해도	본 수업 모형은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 이해하기 쉽게 표현하고 있다.				
	의견:				
기타					

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

2) 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 2차 전문가 검토

다음은 수업 모형의 단계별 활동에 대한 타당성을 묻는 문항입니다. ‘VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업’ 모형의 단계별 활동과 설명이 타당한지 판단하여 해당하는 곳에 ‘✓(체크)’ 표시를 해주시기를 바랍니다. 단계별 설명에 대한 의견이 있으시면 **메모** 기능을 통해서 의견 주시길 바랍니다.

(1: 전혀 그렇지 않다, 2: 그렇지 않다, 3: 그렇다, 4: 매우 그렇다)

주요 단계	세부 단계	단계별 설명 및 예시	타당도			
			1	2	3	4
분석 단계 (Analysis)	학습자 분석	과 학 지 식 분 석	· 지식수준 분석: 학습자가 학습하여 내재화한 과학 개념, 지식, 이론에 대한 수준을 분석한다.			
			예시 및 해설: 물리학·화학·생명과학·지구과학 등 과학과 교육과정 내용 요소 및 성취 기준을 분석하고, 과학과 교육과정에서 학습한 과학 개념, 지식, 이론이 무엇인지 확인한다. 또한 수업 시간에 질문하고 답하기, 토론 및 토의하기, 형성평가 등으로 학습자가 학습하여 내재화한 과학 개념, 지식, 이론에 대한 수준을 분석한다.			
			· 과학적 모형 수준 분석: 학습자가 과학 개념, 지식, 이론을 학습하는 데 경험한 과학적 모형의 내용 및 수준을 분석한다.			
			예시 및 해설: 물리학·화학·생명과학·지구과학 등 과학과 교육과정 내용 요소 및 성취 기준에 따른 과학적 모형을 분석하고, 학습자가 내재화한 과학적 모형의 내용 및 수준의 정도를 질문하고 답하기, 모형 그리기, 모형 서술하기 등으로 분석한다.			
	프 로 그 래 밍		· 프로그래밍 지식 분석: 학습자의 Python 언어의 학습 수준을 분석한다.			
			예시 및 해설: 정보과 교육과정 내용 요소 및 성취 기준을 분석하고, 정보과 교육과정에서 학습한 사칙연산, 반복문, 조건문, 함수 정의 등 Python 학습 내용을 확인한다. 또한 정보과 교육과정에서 실시한 수행평가 및 형성평가 등으로 학습자가 내재화한 정보 교과 수준 및 Python 학습 수준을 분석한다.			

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

주요 단계	세부 단계	단계별 설명 및 예시		타당도			
				1	2	3	4
	지식 분석	· 프로그래밍 수준 분석: 학습자의 Python 프로그래밍 수준을 분석한다.					
		예시 및 해설: Python을 활용하여 특정 문제를 해결하거나 알고리즘을 세워 코딩하는 수준을 확인한다. 또한 정보과 교육과정에서 실시한 수행평가 및 형성평가 등으로 학습자의 Python 프로그래밍 수준을 분석한다.					
	교육 환경 분석	· 네트워크 환경 파악: Web VPython을 활용하여 과학적 시뮬레이션을 설계할 수 있도록 인터넷 접속 환경을 파악한다.					
		예시 및 해설: 브라우저에서 바로 VPython 프로그램을 작성하고 실행할 수 있도록 인터넷 접속 환경을 확인한다. 전체 학습자가 인터넷에 동시에 접속할 수 없는 환경인 경우 다른 교실로 수업 환경을 변경하거나, VPython library package를 학습자 개별 노트북에 미리 설치해 오도록 한다.					
		· 스마트 학습 환경 파악: 학습자가 개별 노트북을 수업 중에 활용할 수 있도록 학습자의 스마트 학습 환경을 파악한다.					
		예시 및 해설: 전체 학습자가 인터넷에 접속하여 수업에 참여할 수 있도록 개별 노트북이 준비되어 있는지 파악하고, 필요한 경우 PC가 설치되어 있는 곳으로 수업 환경을 변경하거나, 학교 여건에 따라 부족한 수량의 노트북은 교수자가 준비하여 제공한다.					
	설계 단계 (Design)	· 교수 목표 설정: 수업을 통해 학습자가 도달하고자 하는 목표를 설정한다.					
		예시 및 해설: 학습자 분석을 통해 파악한 학습자의 수준을 바탕으로 도전적인 과제를 제시하여 시뮬레이션 구성 수업을 통해 학습자가 도달하고자 하는 목표를 설정한다. 이는 물리·화학·생명과학·지구과학 등 특정 과학 분야에서의 교수 목표일 수도 있고, 과학적 모델링 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 역량 등 역량 함양을 위한 교수 목표일 수도 있다.					
		· 팀 구성 인원 및 시뮬레이션 개발 수준 설정: 교수 목표 달성에 적합한 팀 구성 인원과 학습자가 개발할 시뮬레이션 수준을 설정한다.					

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

주요 단계	세부 단계	단계별 설명 및 예시	타당도			
			1	2	3	4
	시물레이션 개발 수준 설정	예시 및 해설: 구성하고자 하는 시물레이션의 수준을 정하고, 시물레이션의 수준에 따라 적절하게 팀 구성 인원을 설정한다. 팀 구성 인원을 설정할 때는 봉 효과(Sucker effect), 무임승차 효과(Free-rider effect) 등을 고려하여 적절한 인원수로 설정한다. 예를 들어 중학교 교육과정에서부터 학습하는 보일 법칙, 샤를 법칙, 훅의 법칙 등에 대한 과학적 모형을 시물레이션으로 구성하는 수준은 ‘하’이며, 이때는 1~2인이 한 팀을 구성하도록 한다. 고등학교 이상 교육과정에서 학습하는 오비탈, 맥스웰-볼츠만 분포, 2개 이상의 진자 운동, 2개 이상의 스프링과 물체가 연결된 운동 등에 대한 과학적 모형을 시물레이션으로 구성하는 수준은 ‘중’ 또는 ‘상’이며, 이때는 2~4인이 한 팀을 구성하도록 한다. 연구 활동 등 실생활 문제를 해당 학문의 지식으로 시물레이션을 구성하는 수준은 ‘상’이며, 이때는 교수자의 교수 목표 수준과 학습자 수준을 참고하여 적절한 팀 구성 인원을 설정한다.				
시물레이션 구성 준비 단계 (Preparation)	수업 안내 (Introduction)	· 수업 안내: 교수자가 도출한 교수 목표에 따라 수업 전반에 대해 안내한다. 예시 및 해설: 수업을 통해 달성하고자 하는 교수 목표를 안내한다. 또한 물리학·화학·생명과학·지구과학 등 특정 교과에 대한 주제로 시물레이션을 구성할 것인지, 학습자가 원하는 주제를 탐색하여 시물레이션을 구성할 것인지, 구성하고자 하는 시물레이션의 수준은 어느 정도인지 수업 전반에 대해 안내한다.				
	VPython 소개 및 연습 (Practice)	· VPython 소개 및 연습: VPython을 소개하고 VPython으로 3D 객체를 생성하는 방법을 안내한다. 예시 및 해설: VPython에서 기본으로 제공하는 12개의 3D 객체를 소개하고, 각 객체를 생성하는 데 필요한 파라미터를 안내한다. 이를 바탕으로 학생들이 직접 12개의 3D 객체를 생성해 볼 수 있는 연습 기회를 제공한다. 또한 3D 객체를 활용하여 자유 낙하 운동, 포물선 운동, 상자 속 입자의 완전 탄성 충돌(이상 기체 운동)과 같이 간단한 시물레이션 제작을 연습해 볼 기회를 제공한다.				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

주요 단계	세부 단계	단계별 설명 및 예시	타당도			
			1	2	3	4
	시뮬레이션 주제 탐색 (Exploration)	· 시뮬레이션 주제 탐색: 학습자 개인별로 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 주제를 탐색하도록 한다.				
		예시 및 해설: 수업 안내에서 안내된 내용에 따라 특정 교과 내용에 대한 주제를 탐색하거나, 과학과 교육과정 내용 전체에서 주제를 탐색하도록 한다. 다양한 아이디어를 도출해 낼 수 있도록 학습자에게 충분한 시간을 주고, 자유로운 수업 분위기를 조성한다.				
	팀 구성 (Team Composition)	· 팀 구성: 분석 단계에서 정한 팀 구성 인원에 따라 시뮬레이션을 함께 제작할 팀을 구성하도록 한다.				
		예시 및 해설: 분석 단계에서 정한 팀 구성 인원과 시뮬레이션 주제 탐색에서 학습자가 개인별로 탐색한 주제를 바탕으로 팀을 구성한다. 학생들이 탐색한 주제를 공유하고, 관심 있는 주제를 중심으로 학습자 스스로 팀을 구성할 수 있도록 안내한다.				
시뮬레이션 개발 단계 (Development)	시뮬레이션 주제 설정 (Determination)	· 시뮬레이션 주제 설정: 팀원과 상의하여 시뮬레이션으로 개발할 주제를 확정하도록 한다.				
		예시 및 해설: 시뮬레이션 주제 탐색 과정에서 도출한 주제에 대해서 팀을 구성하였으므로 팀원 모두가 공유할 수 있는 시뮬레이션으로 표현할 주제를 확정하도록 한다. 필요할 경우 교사 및 동료 피드백 단계를 추가하여 학습자가 개발하기에 적절한 주제를 설정할 수 있도록 안내한다.				
	물리량, 개념, 이론	· 물리량, 개념, 이론 정교화: 시뮬레이션 주제로 설정한 과학적 개념, 지식, 이론을 구체화할 때 필요한 물리량, 개념, 이론을 정교화하여 시뮬레이션 개발의 기반을 마련하도록 한다.				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

주요 단계	세부 단계	단계별 설명 및 예시	타당도			
			1	2	3	4
	정교화 (Elaboration)	예시 및 해설: 예를 들어 보일 법칙을 시뮬레이션으로 구현하고자 한다면 입자의 크기, 입자의 질량, 입자의 운동 속도, 입자의 수, 입자가 들어있는 용기의 초기 크기 설정, 용기의 부피 조절 방법, 용기에 부딪히는 입자의 압력 계산 방법 등 시뮬레이션으로 구현하고자 하는 요소를 분석하고, 각 요소에 대한 물리량을 과학 개념 및 이론에 맞게 정교화한다. 필요할 경우 교사 및 동료 피드백 단계를 추가하여 학습자가 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 물리량, 개념, 이론 등의 요소를 정교화하는 데 도움을 제공한다.				
	시뮬레이션 생성 (Generation)	· 단순한 것에서 복잡한 것으로 확장: 정교화시킨 물리량, 개념, 이론 등 시뮬레이션으로 구현하고자 하는 요소를 단순한 것에서부터 복잡한 것으로 확장시키며 시뮬레이션을 생성하도록 한다.				
		예시 및 해설: 예를 들어 상자 속 기체 입자의 운동을 시뮬레이션으로 개발할 때는 상자 생성, 입자 1개 생성, 입자 1개의 움직임 구현에서부터 입자를 여러 개로 확장하도록 한다.				
		· CEE cycle: 코딩(Coding) → 실행(Execution) → 평가(Evaluation)의 순환 단계를 반복하면서 시뮬레이션을 생성하도록 한다.				
		예시 및 해설: VPython은 Python을 기반으로 한 프로그래밍 언어로, 인터프리터 언어(Interpreted Language)로 코드 한 줄마다 바로 실행하여 결과를 볼 수 있다. 따라서 시뮬레이션으로 구현하고자 하는 코드를 작성하고 중간중간 코드를 실행하여 구성하고자 하는 시뮬레이션을 평가하도록 한다. 팀원과 함께 코드를 작성하고 실행 결과를 평가하여 팀 내에서 이루어지는 피드백을 반영할 수 있도록 한다. 코딩, 평가, 수정의 과정이 팀원과 유기적으로 이루어지도록 공유 문서를 작성하여, 시뮬레이션 개발 과정을 꾸준히 기록하도록 한다.				
시뮬레이션	시뮬레	· 시뮬레이션 공유, 발표: 개발한 시뮬레이션을 공유하고 발표하도록 한다.				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

주요 단계	세부 단계	단계별 설명 및 예시	타당도			
			1	2	3	4
평가 단계 (Evaluation)	이전 공유 / 발표 (Sharing)	예시 및 해설: 개발한 시물레이션의 주제는 무엇인지, 어떤 과학적 요소, 과학 개념 및 이론을 시물레이션으로 구성했는지 구체적으로 발표하도록 하고, 발표를 듣는 학생들은 발표팀이 목적에 적절하게 시물레이션을 구성했는지 주의 깊게 듣도록 한다.				
	피드백 (Feedback)	· 피드백: 발표를 듣고 교사 및 동료 피드백이 이루어지도록 한다.				
		예시 및 해설: 학습자들이 발표를 들은 과학적 시물레이션이 과학 이론을 일반화하거나 자연 현상을 적절하게 설명하고 있는지 평가하도록 한다. 학습자들이 평가한 내용을 자유롭게 토의할 수 있는 분위기를 조성하고, 시물레이션을 개발한 학습자와 발표를 들은 학습자들 사이에서 협력적 의사소통이 이루어지도록 한다. 우수한 점, 개선할 점 등을 피드백하며, 미흡한 부분을 피드백할 때는 문제 해결을 도울 수 있는 이성적이고 타당하며 구체적인 정보나 의견을 함께 제시하도록 한다.				
	수정 (Modification)	· 수정: 피드백을 바탕으로 시물레이션을 다시 생성하여 더 발전된 시물레이션을 개발하도록 한다.				
		예시 및 해설: 시물레이션을 생성 → 피드백 → 수정하는 과정은 기존의 과학적 모형 구성 수업에서 제시한 GEM cycle과 같다(Clement, 1989). 교수 목표, 학습자의 성취 수준, 수업 차시 등을 고려하여 수정 단계를 수행하여 순환 모형으로 수업을 구성하거나, 수정 단계를 생략하여 선형 모형으로 수업을 구성한다.				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

3) 수업 모형의 2차 설계 원리 및 교수전략에 대한 세부 단계별 설명에 대한 전문가 검토

다음은 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업을 위한 설계 원리와 교수전략에 대한 타당성을 묻는 문항입니다. 설계 원리와 교수전략이 타당한지 판단하여 해당하는 곳에 ‘✓(체크)’ 표시를 해주시기를 바랍니다. 각 항목에 대한 의견이 있으시면 **메모** 기능을 통해서 의견 주시길 바랍니다.

(1: 전혀 그렇지 않다, 2: 그렇지 않다, 3: 그렇다, 4: 매우 그렇다)

설계 원리	교수전략	타당도			
		1	2	3	4
1. 학습 초점의 원리	1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 활동이 교수 목표 달성에 적합한지 분석하라.				
	1.1.1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 활동에 참여하는 학습자의 수준을 파악하고, 학습자의 수준에 맞게 교수 목표를 설정하여 학습이 이루어지도록 하라.				
	예시 및 해설: 학습자의 수준에 따라 VPython을 활용하여 개발할 수 있는 시뮬레이션의 수준이 다르므로, 학습자가 내재화한 과학 지식과 정보 지식의 수준을 파악하고 학습자의 수준에 따라 교수 목표와 수업 활동으로 개발하고자 하는 시뮬레이션의 수준을 설정하여 학습자의 학습 활동을 통해 실질적인 교수 목표를 달성하는 데 초점을 맞추어 설계한다.				
	1.1.2. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업 활동이 고차원적 사고 및 역량 개발에 적절한지 분석하라.				
	예시 및 해설: 교수자는 수업 활동을 통해 과학적 사고력, 과학적 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 탐구 능력, 창의력, 협업 능력, 자기주도 학습 능력, 컴퓨팅 사고력, 프로그래밍 능력 등 함양시키고자 하는 고차원적 사고와 역량을 파악하고, 목표한 역량을 함양할 수 있도록 수업 활동을 설계한다.				
	1.1.3. 시뮬레이션을 구성하는 수업의 설계 수준이 학습자의 학습 요구에 적절한 수준인지 분석하라.				
	예시 및 해설: 교수자는 설계하고자 하는 시뮬레이션 구성 수업이 학습자의 학습 요구에 적절한지, 학습자의 수준에 비해 도전적인 수준으로 설계되었는지 분석한다.				
2. 수업	2.1. 학습자의 교과 내용에 대한 이해도와 프로그래밍 수준을 파악하고 수업을 설계하라.				
	2.1.1. 교수 목표와 VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 활동 간의 목표를 통합하라.				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	교수전략	타당도			
		1	2	3	4
재구성의 원리	예시 및 해설: 교수자는 교수 목표로 학습자에게 어느 정도 수준의 시뮬레이션을 구성하도록 할 것인지, 어떤 역량을 중점적으로 함양시킬 것인지를 설정하고 수업의 단계별 활동이 교수 목표와 유기적으로 통합 되도록 수업을 설계한다.				
	2.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 학습 목표, 학습 내용, 학습 활동을 계획하라.				
	예시 및 해설: 교수자는 형성평가, 질문하기, 토론 등 다양한 방법을 활용하여 학습자가 내재화한 과학 지식, 정보 지식, 과학적 모형을 파악하고 이를 활용하여 수업이 이루어질 수 있도록 학습 활동을 계획한다.				
	2.1.3. 학습자 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준을 설정하라.				
3. 환경 구성의 원리	예시 및 해설: 교수자는 형성평가, 질문하기, 토론 등 다양한 방법을 활용하여 학습자가 내재화한 정보 지식, 프로그래밍 수준을 파악하고, 이를 고려하여 최종적으로 학습자가 도출해 낼 수 있는 산출물의 수준을 잠정적으로 설정한다.				
	3.1. 교실 내의 모든 학습자가 학습 활동에 참여할 수 있도록 물리적 환경을 조성하라.				
	3.1.1. 교실 내의 모든 학습자가 인터넷에 접근할 수 있도록 인터넷 접속 환경을 확인하고 대안을 마련하라.				
	예시 및 해설: 본 수업이 이루어지기 전에 교실 현장에 인터넷 접속 환경을 확인하고, 모든 학습자가 인터넷 접속이 가능한 환경을 조성한다. 기존 교실에서 인터넷 접속이 원활하지 않을 경우, 수업 환경을 변경하거나 미리 VPython library package를 학습자의 개인 노트북에 설치해 오도록 한다.				
	3.1.2. 교실 내의 모든 학습자가 개별 노트북(또는 PC나 스마트 기기)을 수업 중에 활용할 수 있도록 수업 시작 전에 학습자들의 기기 소유 여부를 확인하고 여분의 노트북을 준비하라.				
4. 동기부여	예시 및 해설: 학습자 1인당 개별 노트북 사용이 가능하도록 물리적 환경을 조성하고, 개별 노트북 사용이 어려운 환경일 경우, PC가 설치되어 있는 곳으로 수업 환경을 변경하거나, 학교의 여분 노트북을 학습자에게 대여해 준다. 만약 학습자 1인당 개별 노트북 사용이 어려운 경우 2명당 1개의 노트북을 사용할 수 있도록 교실 환경을 구성하고, 스마트폰이나 스마트패드 등 스마트 기기를 보조로 활용할 수 있도록 안내한다.				
	4.1. 학습자가 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에 적극적으로 참여할 수 있도록 동기를 부여하라.				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	교수전략	타당도			
		1	2	3	4
의 원리	4.1.1. 수업 목표를 제시하고, 목표에 도달했을 때 습득할 수 있는 능력 및 역량을 안내하라.				
	예시 및 해설: 시뮬레이션을 구성하는 수업의 목표를 제시하고, 시뮬레이션을 구성하는 경험을 통해 스스로 자연 현상을 시뮬레이션으로 구현할 수 있는 능력을 함양할 수 있고, 수업을 통해 과학 개념과 이론을 구조화하여 시뮬레이션으로 나타낼 수 있는 역량을 기를 수 있음을 안내한다.				
	4.1.2. 이전 학습자가 VPython으로 개발한 시뮬레이션 예시를 학습자의 수준을 고려하여 제공함으로써 학습자의 VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 활동에 대한 자신감을 높이고 수업 활동에 대한 동기를 부여하라.				
	예시 및 해설: 과학 개념, 이론, 자연 현상 등에 대해 이전 학습자가 VPython으로 개발한 시뮬레이션의 예시와 코드를 공유하여 수업에 참여하고 있는 학습자의 자신감을 높이고, 흥미를 유발하여 학습 참여 동기를 유발시킨다. 이때 학습자의 수준을 고려하여 최종적으로 도출할 수 있는 산출물의 수준을 예시로 활용하고, 학습자의 자유로운 창의성을 발휘할 수 있도록 예시는 1~2개 정도로 적게 제시한다.				
	4.1.3. 학습자에게 도전적인 수준의 시뮬레이션 구성을 요구하여, 수업 참여의 동기를 부여하고 시뮬레이션 구성 경험을 통해 성취감을 느낄 수 있도록 하라.				
	예시 및 해설: 학습자의 수준보다 조금 높은 도전적인 수준의 과제를 설정하고, 다른 학습자와의 협업을 통해 도전적인 수준의 시뮬레이션을 구성할 수 있는 수업 경험을 제공하여 수업 참여 동기와 동료 학습자와의 협업에 대한 동기를 유발시킨다.				
	4.2. VPython을 직접 활용 및 탐색할 수 있는 충분한 시간과 기회를 제공하라.				
	4.2.1. VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 학습할 기회를 제공하라.				
	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체인 구, 직육면체 등을 학습자가 직접 생성해 볼 수 있는 시간과 기회를 제공한다.				
	4.2.2. VPython을 활용하여 간단한 시뮬레이션을 연습해 볼 기회를 제공하라.				
5. 팀	예시 및 해설: VPython에서 제공하는 기본 3차원 객체를 이용하여 구의 자유 낙하 운동, 상자 속 입자의 움직임 등 기초적인 시뮬레이션 제작을 연습해 볼 수 있도록 한다.				
	5.1. 다양한 상호작용이 일어나도록 하라.				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	교수전략	타당도			
		1	2	3	4
구성 및 상호작용 원리	5.1.1. 협력적 해결이 요구되는 도전적인 과제를 설정할 수 있도록 교수자와 학습자가 끊임없이 상호작용하라.				
	예시 및 해설: 학습자의 수준에 적절한 또한 학습자의 수준보다 도전적인 과학 개념 및 이론에 대해 시뮬레이션을 구성할 수 있도록 교수자와 학습자가 끊임없이 상호작용하고, 다양한 아이디어를 도출할 수 있도록 한다.				
	5.1.2. 교수자와 학습자, 또는 학습자들 간에 활발한 의사소통이 일어날 수 있도록 자유로운 교실 환경을 조성하라.				
	예시 및 해설: 교수자와 학습자 간, 또는 학습자들끼리 편안한 분위기에서 자유롭게 의견 교환이 일어날 수 있도록 충분한 시간을 제공하고 편안한 교실 환경을 조성한다.				
	5.1.3. 공유 문서를 작성하여 공유하여 대면적인 상호작용뿐만 아니라 비대면적인 상호작용도 일어나도록 하라.				
	예시 및 해설: 시뮬레이션을 구성하기 전에 주제를 설정하는 과정에서부터 과학 개념 및 이론을 탐색하는 과정, 이를 시뮬레이션으로 구성하기 위해 정교화하는 과정, 시뮬레이션을 생성하는 단계별 과정 및 전략 등 수업 활동 전반을 공유 문서로 작성하여 시뮬레이션을 개발하는 활동을 구체화하도록 한다.				
	5.2. 교수 목표 및 수준에 맞게 팀을 구성하라.				
	5.2.1. 수업을 통해 학습자가 달성할 수 있는 능력 및 역량, 학습자가 구성할 시뮬레이션의 수준을 고려하여 팀 구성 인원을 설정하라.				
	예시 및 해설: 교수 목표에서 설정한 수업을 통해 달성시키고자 하는 능력 및 역량, 학습자가 구성할 시뮬레이션의 수준을 고려하여 팀원들 간에 적절한 상호작용이 가능하도록 팀 구성 인원을 설정한다. 수업에서 구성하고자 하는 시뮬레이션의 수준이 ‘하’인 경우 개인별 수업을 진행하거나, 최대 2인 1팀을 구성하도록 한다. 시뮬레이션의 수준이 ‘중’ 또는 ‘상’인 경우 2~4인이 한 팀을 구성하도록 한다. 만약 매우 복잡한 시스템을 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 경우 자율적 협동학습 모형(Co-op Co-op)과 같이 적절한 소그룹으로 나누어 프로젝트를 진행하고, 나누어진 프로젝트를 합쳐 반 전체의 프로젝트를 완성하는 형식으로 팀을 구성한다.				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	교수전략	타당도			
		1	2	3	4
6. 스캐폴딩 제공의 원리	5.2.2. 유사한 관심 주제별, 서로 다른 강점별로 팀을 구성하라.				
	예시 및 해설: 구성하고자 하는 시뮬레이션의 주제가 비슷한 학습자끼리 팀을 구성하도록 하고, 비슷한 주제가 없는 경우 학생의 평소 관심 주제에 따라 팀을 구성하도록 한다. 또한 팀 구성 인원이 3명 이상일 경우에는 학습자 분석을 통해 학습자가 평소 관심 있어 하는 분야, 또는 자신 있어 하는 분야 등을 분석하고 이를 토대로 서로 다른 강점을 가진 학습자들로 팀을 구성하여 협력적 활동에서 상승효과가 일어날 수 있도록 한다.				
	6.1. 학습자가 현재의 수준을 넘어 다음 단계의 수준에 도달할 수 있도록 적절한 자극과 정보를 제공하여 학습을 촉진시켜라.				
	6.1.1. 순회 지도를 통해 학습자를 관찰하고, 과학 개념, VPython 코딩, 시뮬레이션 구성 등에 대해 단계별 피드백을 제공하라.				
	예시 및 해설: 학습자 주도의 수업 활동에서 교수자는 순회 지도를 통해 학습자의 학습 상황, 시뮬레이션 구성 활동 상황 등을 관찰하고 적절한 피드백과 격려를 제공한다.				
	6.1.2. 학습자의 수준을 고려하여 뼈대 코드를 준비하라.				
	예시 및 해설: VPython을 활용한 시뮬레이션 구성에 참고할 만한 간단한 시뮬레이션 코드를 제공하여 이를 적절하게 활용, 조합, 수정하여 시뮬레이션을 설계, 개발할 수 있도록 한다.				
	6.1.3. 공유 문서를 활용하여 수업 활동에 대해 학습자에게 스캐폴딩을 제공하라.				
	예시 및 해설: 학습자가 작성한 공유 문서를 분석하고, 각 수업 단계별로 학습자에게 필요한 도움과 정보를 도출하여 학습자가 수업 단계에 따라 유의미한 활동이 일어날 수 있도록 한다.				
	6.2. 시뮬레이션을 전략적으로 생성하도록 지도하라.				
	6.2.1. 시뮬레이션의 구성 요소가 많을 때는 단순한 요소부터 코딩하고, 점차 코드의 복잡성을 높여가라.				
	예시 및 해설: 예를 들어 기체 분자의 운동을 시뮬레이션으로 시각화하는 경우, 입자 한 개 및 입자가 존재하는 공간을 먼저 코딩하도록 한다. 이후 입자를 여러 개로 확장하고 입자의 움직임을 부여하는 등 코드의 복잡성을 구조적으로 높여갈 수 있도록 안내한다. 또한 시각화하고자 하는 요소가 물체의 움직임, 그래프, 어떤 물리적인 값 등 여러 개일 경우 간단한 것부터 시각화하도록 한다.				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

설계 원리	교수전략	타당도			
		1	2	3	4
7. 공유 및 성찰의 원리	6.2.2. 코딩(coding)하고 이를 실행(execution)시켜 실행 결과를 평가(evaluation)하는 과정을 반복적으로 수행(CEE cycle)하면서 시뮬레이션을 프로그래밍하도록 하라.				
	예시 및 해설: VPython은 Python을 기반으로 한 언어이므로 인터프리터 언어(Interpreted Language)로, 코딩한 것을 실행시켜 결과를 확인하고, 이를 자체 평가 또는 팀원끼리 평가하여 코드를 확장해 나가도록 한다.				
	6.2.3. 생성형 AI를 활용하여 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 아이디어를 코드화하는 데 활용하도록 하라.				
	예시 및 해설: 챗GPT 또는 Bing챗(Copilot) 등 생성형 AI를 코드 작성하는 과정에서 활용하여 시뮬레이션으로 구성하고자 하는 아이디어를 코드화하는 데 도움을 얻도록 한다. 생성형 AI를 활용할 때는 ‘VPython을 활용하여 OO의 주제로 코드를 작성하려고 해.’와 같이 먼저 정확한 문제를 정의하는 것에서부터 시작하도록 한다. 코드 작성을 요청할 때는 지시하는 내용을 구체적이고 명확하게 작성하여 프롬프트를 입력하도록 한다. 생성형 AI로 도출한 결과를 학습자가 적절한 방식으로 수정 및 보완하여 코드를 정교화하도록 한다.				
	7.1. 최종 산출물을 시연하고 의견을 나누며 평가할 기회를 제공하라.				
	예시 및 해설: 학습자가 어떠한 주제로 시뮬레이션을 구성하였고 어떤 방법으로 코딩하였는지 공유하고 발표하는 기회를 제공한다. 다른 학습자들은 발표하는 학습자의 발표 내용을 집중하여 경청할 수 있도록 지도한다.				
	7.2. 자신의 학습 활동 전반을 확인하고 성찰할 기회를 제공하라.				
	예시 및 해설: 학습자가 학습 활동을 통해 얻은 경험, 지식, 생각 등 자기 평가서를 작성하여 자신을 성찰할 기회를 제공한다. 또한 공유한 시뮬레이션에 대해 교사 피드백 및 동료 피드백을 받아서 학습 활동을 의미있게 마무리할 기회를 제공한다. 협력적 의사소통이 이루어지도록 우수한 점, 개선할 점 등을 피드백하도록 하며, 미흡하거나 개선할 점을 피드백할 때는 문제 해결에 도움을 줄 수 있는 이성적이고 타당하며 구체적인 정보나 의견을 함께 제시하여 건설적인 피드백이 되도록 지도한다.				
	7.3. 피드백을 수용할 기회를 제공하라.				
	예시 및 해설: 교사 피드백 및 다른 학습자의 동료 피드백을 수용하여 자신이 구성한 시뮬레이션을 수정할 기회를 제공하여 과학적 모형 구성 수업에서 ‘모형 생성(Generation)’ - ‘모형 평가(Evaluation)’ - ‘모형 수정(Modification)’의 일련의 과정을 통해 시뮬레이션을 한 단계 높은 수준으로 구성할 수 있도록 한다.				

4) 외적 타당화에 사용될 인터뷰 질문지와 검사 도구에 대한 2차 전문가 검토

다음은 개발한 수업 모형의 외적 타당화(수업 적용)에 사용될 검사지에 대한 타당성을 묻는 문항입니다. 각 문항이 타당한지 판단하여 해당하는 곳에 ‘✓(체크)’ 표시를 해주시기를 바랍니다. 각 항목에 대한 의견이 있으시면 메모 기능을 통해서 의견 주시길 바랍니다.

① 학생 인터뷰 질문지 문항

(1: 전혀 그렇지 않다, 2: 그렇지 않다, 3: 그렇다, 4: 매우 그렇다)

질문지	타당도			
	1	2	3	4
1. 과학적 모형에 대해서				
1-1. 이 수업 이전에 과학적 모형의 개념이나 예시를 알고 있었나요?				
1-1-1. (예) 과학적 모형이 무엇인가요?				
1-1-2. (예) 알고 있는 과학적 모형의 예시에는 어떤 것이 있나요? (아니오) 원자 모형, DNA 모형과 같은 것이 과학적 모형입니다. 방금 제시한 예시 외에 생각나는 과학적 모형이 있나요?				
1-2. 교과서나 참고 자료 등에서 배운 과학적 모형 외에 스스로 과학적 모형을 만들어 본 경험이 있나요?				
1-2-1. (예) 어떤 경험이 있는지 구체적으로 설명해 줄 수 있나요?				
1-2-2. (예) 어떤 방법 또는 어떤 도구를 사용하여 과학적 모형을 만들어 보았나요?				
1-3. 과학적 모형이 과학 개념이나 이론을 이해하는 데 도움이 된다고 생각하나요?				
1-3-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
2. 시뮬레이션 사용 경험에 대해서				
2-1. 이 수업을 듣기 전에 시뮬레이션이 무엇인지 알고 있었나요?				
2-1-1. (예) 학습자가 알고 있는 시뮬레이션에 대해 설명해 줄 수 있나요?				
2-1-2. (예) 학습자가 알고 있는 시뮬레이션의 예시를 몇 가지 말해 줄 수 있나요?				
2-2. 시뮬레이션을 사용해 본 경험이 있나요?				
2-2-1. (예) 어떤 시뮬레이션을 사용해 보았나요?				
2-2-2. (예) 시뮬레이션을 사용했을 때 흥미, 유용성, 불편함 등 당시 느꼈던 경험을 공유해 줄 수 있나요?				
3. 시뮬레이션 구성 경험에 대해서				
3-1. 이 수업에서 했던 활동 외에 시뮬레이션을 개발해 본 경험이 있나요?				
3-1-1. (예) 어떤 도구를 사용해서 시뮬레이션을 개발했나요?				
3-1-2. (예) 그 도구는 어떤 점이 유용했고, 어떤 점이 불편했나요?				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

3-1-3. (예) 개발한 시뮬레이션을 공유해 줄 수 있나요?				
3-2. 이 수업을 듣기 전 자신이 시뮬레이션을 개발할 수 있다고 생각해 본 적이 있나요?				
3-2-1. 왜 그렇게 생각했나요?				
3-2-2. 이 수업을 들은 후 그 생각이 바뀌었나요? 아니면 그대로인가요?				
4. VPython에 대해서				
4-1. 이 수업을 듣기 전 VPython에 대해 알고 있었나요?				
4-1-1. (예) VPython을 어떻게 처음 알게 되었나요?				
4-1-2. (예) VPython을 활용해 본 경험이 있나요?				
5. VPython 활용에 대해서				
5-1. VPython을 활용할 때 어떤 점이 유용했나요?				
5-2. VPython을 활용할 때 어떤 점이 불편했나요?				
5-3. 평소 과학, 수학, 정보 등을 공부하거나 연구할 때 Python을 활용해 본 경험이 있나요?				
5-3-1. (예) 왜 Python을 활용했나요? (아니오) 왜 Python을 활용하지 않았나요?				
5-3-2. (예) Python을 활용하는 정도는 어떻게 되나요?				
5-4. VPython을 앞으로 활용할 것 같나요?				
5-4-1. (예) 어떤 때 활용할 것 같나요? / 어떤 때 활용하면 좋을 것 같나요? (아니오) 왜 활용하지 않을 것 같나요?				
6. 팀 구성 과정에 대해서				
6-1. 각자 주제 탐색 다음 팀 구성, 시뮬레이션 주제 설정의 단계로 팀을 구성하는 방식에 대해 좋았던 점은 무엇인가요?				
6-2. 각자 주제 탐색 다음 팀 구성, 시뮬레이션 주제 설정의 단계로 팀을 구성하는 방식에 대해 아쉬운 점 또는 개선할 점은 무엇인가요?				
6-3. 팀 구성 인원은 어땠나요? (적절했나요, 많았나요, 적었나요?)				
6-3-1. 왜 그렇게 생각했나요?				
6-4. 팀원과 협력 및 의사소통이 잘 이루어졌나요?				
6-4-1. 그렇게 생각한 이유를 설명해 줄 수 있나요?				
6-5. 팀을 구성할 때 어떤 점을 (추가로) 고려하면 좋을 것 같은가요?				
7. 시뮬레이션 개발 과정에 대해서				
7-1. 개발한 시뮬레이션의 주제는 무엇인가요?				
7-2. 그 주제를 설정하는 데 어떤 과정을 거쳤는지 설명해 줄 수 있나요? / 어떻게 그 주제를 설정하게 되었나요?				
7-3. 공동의 시뮬레이션 주제를 설정하는 데 어려움이 있었나요?				
7-3-1. (예) 어떤 어려움이었나요?				
7-3-2. (예) 그 어려움을 어떻게 극복했나요? (아니오) 어떻게 어려움 없이 시뮬레이션 주제를 설정했나요?				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

7-4. 구성된 시뮬레이션에서 필요한 물리량, 개념, 이론은 무엇인가요?				
7-4-1. 물리량, 개념, 이론을 어떻게 정교화했는지 구체적으로 설명해 줄 수 있나요?				
7-5. 시뮬레이션을 생성하는 과정에서 코딩의 난이도는 어땠나요?				
7-5-1. 코딩할 때 단순한 것에서 복잡한 것으로 확장하는 전략은 유용했나요? 그렇지 않았나요?				
7-5-1-1. (예) 어떤 점에서 유용하다고 생각했나요? (아니오) 어떤 점에서 유용하지 않다고 생각했나요?				
7-5-2. 코딩할 때 코딩-실행-평가(CEE cycle)의 전략은 유용했나요? 그렇지 않았나요?				
7-5-2-1. (예) 어떤 점에서 유용하다고 생각했나요? (아니오) 어떤 점에서 유용하지 않다고 생각했나요?				
7-5-3. 코딩할 때 생성형 AI(챗GPT 또는 Bing Chat)를 활용하는 것은 유용했나요? 그렇지 않았나요?				
7-5-3-1. (예) 어떤 점에서 유용하다고 생각했나요? (아니오) 어떤 점에서 유용하지 않다고 생각했나요?				
7-5-4. 이 외에 코딩할 때 어떤 전략을 사용했나요?				
7-6. 시뮬레이션을 개발하는 과정에서 공유 문서를 적절하게 활용했나요?				
7-6-1. 시뮬레이션 개발에 공유 문서 작성이 어떤 도움을 주었나요?				
7-6-2. 시뮬레이션 개발에 공유 문서 작성이 불편한 점이 있었나요?				
7-7. 이 수업에서 시뮬레이션을 개발하는 데 어느 정도의 시간(몇 차시 정도의 시간)이 필요했었나요?				
8. 과학적 역량에 대해서				
8-1. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업은 과학적 사고력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?				
8-1-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
8-1-2. 과학 지식을 심도 있게 이해하는 데 도움이 된다고 생각하나요?				
8-1-3. 과학 지식을 융합하는 데 도움이 된다고 생각하나요?				
8-2. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업은 과학적 탐구 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?				
8-2-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
8-2-2. 연구 활동 및 과학 탐구 활동을 하는 데 도움이 된다고 생각하나요?				
8-2-3. 과학 지식으로 문제를 해결하는 데 도움이 된다고 생각하나요?				
8-3. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업은 과학적 문제 해결력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?				
8-3-1. 왜 그렇게 생각하나요?				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

8-3-2. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성은 어떤 과학적 문제를 해결할 수 있을지 예시를 들어줄 수 있나요?				
8-4. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업은 과학적 의사소통 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?				
8-4-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
9. 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력에 대해서				
9-1. (문제 분해 능력) VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업은 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 물리량, 함수 등을 파악하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?				
9-1-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
9-2. (추상화 능력) 시뮬레이션을 구성하는 과정에서 불필요한 요소를 제거하고 핵심 요소만 구성할 수 있도록 추상화하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?				
9-2-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
9-3. (알고리즘 절차-설계) 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 연산을 구조화하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?				
9-3-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
9-4. (알고리즘 절차-표현) (프로그래밍) 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 연산을 적절한 코드로 구현하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?				
9-4-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
9-5. (알고리즘 절차-분석) 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 연산의 수행 시간(run time)을 고려하여 코드로 구현하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?				
9-5-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
9-6. (자동화-디버깅) 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 코드의 결과를 확인한 후 오류를 수정하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?				
9-6-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
10. 시뮬레이션 역량에 대해서				
10-1. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업은 시뮬레이션 구성에 필요한 요소를 파악하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?				
10-1-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
10-2. 이 수업을 통해 본인이 시뮬레이션을 구성할 수 있을 것이라는 자신감이 생겼나요?				
10-2-1. (아니오) 어떤 점에서 자신감이 생기지 않았나요?				
10-3. 시뮬레이션 구성 과정은 과학 개념 및 이론을 이해하는 데 도움이 되는 수업이라고 생각하나요?				
10-3-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
10-4. 시뮬레이션 구성 과정은 자연 현상을 설명하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

10-4-1. 왜 그렇게 생각하나요?				
11. 그 외 고차원적 사고 능력에 대해서				
11-1. 이전에 물어본 과학적 역량, 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력 외에 다른 능력은 어떤 것이 향상되었다고 생각하나요? (예시 : 창의력, 협업 능력, 자기 주도 능력, 끈기와 인내 등)				
12. 공유, 발표 및 피드백에 대해서				
12-1. 본인의 팀이 개발한 시뮬레이션은 어떤 점이 우수하다고 생각하나요?				
12-2. 본인의 팀이 개발한 시뮬레이션은 어떤 점이 부족하거나 미흡하다고 생각하나요?				
12-2-1. 부족하거나 미흡한 점을 개선하는 방법은 어떤 것이 있을까요?				
12-3. 최종 시뮬레이션 산출물 중 어떤 작품이 우수하다고 판단했나요?				
12-3-1. 그 이유는 무엇인가요?				
12-4. 피드백 단계에서 인상적인 내용이 있었나요?				
12-4-1. 어떤 점이 인상적이었나요?				
13. 수업 소감에 대해서				
13-1. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업에서 배운 점, 느낀 점, 아쉬운 점은 무엇이었나요?				
13-2. VPython을 활용하여 시뮬레이션을 설계하고 개발하는 수업에서 좋았던 점은 무엇인가요?				
13-3. VPython을 활용하여 시뮬레이션을 개발하는 과정에서 어려운 점은 무엇이었나요?				
13-4. VPython을 활용한 시뮬레이션 구성 수업에서 배운 내용을 앞으로 어디에 활용할 수 있을 것 같나요?				

[부록 3] 2차 전문가 타당화 설문지

② 시뮬레이션 역량 검사 문항: 한형중(2019), Lopes & Costa(2007), Upmeier zu Belzen *et al.*, 2019)을 참고하여 개발

(1: 전혀 그렇지 않다, 2: 그렇지 않다, 3: 그렇다, 4: 매우 그렇다)

질문지	타당도			
	1	2	3	4
1. 나는 구성하고자 하는 시뮬레이션에 필요한 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성 등을 도출해 낼 수 있다.				
2. 나는 구성하고자 하는 시뮬레이션에 필요한 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성을 코드로 표현할 수 있다.				
3. 나는 필요한 경우 스스로 시뮬레이션을 구성할 수 있다.				
4. 나는 이미 개발하여 제공되는 시뮬레이션의 강점과 한계가 무엇인지 설명할 수 있다.				
5. 나는 내가 개발한 시뮬레이션의 강점과 한계가 무엇인지 설명할 수 있다.				
6. 나는 내가 개발한 시뮬레이션에서 잘못된 부분을 스스로 수정할 수 있다.				
7. 나는 시뮬레이션을 활용하여 새로운 가설을 검증할 수 있다.				
8. 나는 예측 능력이 높은 과학적 시뮬레이션을 만들 수 있다.				
9. 나는 시뮬레이션을 만들 때 구성 요소 간의 상호작용이나 변수의 관계를 명확하게 표현할 수 있다.				
10. 나는 시뮬레이션을 만들 때 다른 사람들과 긍정적으로 협력할 수 있다.				

- 귀중한 시간 내주셔서 감사합니다. -

[부록 4-1] 2차 전문가 타당화 결과: 2차 수업 모형 전반

<표> 2차 수업 모형 전반에 대한 2차 전문가 타당화 결과

영역	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
	A	B	C	D	E	F	G				
타당성	3	4	3	4	4	3	4	3.57	0.49	1	1
설명력	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
유용성	4	4	4	4	4	3	4	3.86	0.35	1	
보편성	3	4	4	4	3	3	4	3.57	0.49	1	
이해도	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	

[부록 4-2] 2차 전문가 타당화 결과: 2차 수업 모형의 세부 단계별 설명

<표> 2차 수업 모형의 세부 단계별 설명에 대한 2차 전문가 타당화 결과

단계	세부 단계		전문가							평균	표준 편차	CVI	IRA
			A	B	C	D	E	F	G				
분석 단계 (A)	학습자 분석	과학 지식	지식수준 분석	3	4	3	4	4	4	4	3.71	0.45	1
		분석	과학적 모형 수준 분석	3	4	3	4	4	4	4	3.71	0.45	1
		프로그래밍 지식	프로그래밍 지식 분석	3	4	3	4	4	4	3	3.57	0.49	1
		분석	프로그래밍 수준 분석	3	4	3	4	4	4	4	3.71	0.45	1
	교육 환경 분석	네트워크 환경 파악		4	4	3	4	4	4	4	3.86	0.35	1
		스마트 학습 환경 파악		4	4	3	4	4	4	4	3.86	0.35	1
설계 단계 (D)	교수 목표 설정		3	4	3	4	4	4	4	4	3.71	0.45	1
	팀 구성 인원 및 시뮬레이션 개발 수준 설정		2	4	3	4	3	4	4	4	3.43	0.73	0.86
시뮬레이션 구성 준비 (P)	수업 안내		3	4	3	4	4	4	4	4	3.71	0.45	1
	VPython 소개 및 연습		4	4	3	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1
	시뮬레이션 주제 탐색		4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1
	팀 구성		2	4	2	4	4	4	4	4	3.43	0.90	0.71
시뮬레이션 개발 (D)	시뮬레이션 주제 설정		4	4	2	4	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86
	물리량, 개념, 이론 정교화		3	4	3	4	4	4	4	4	3.71	0.45	1
	시뮬레이션 생성	단순한 것에서 복잡한 것으로 확장		4	4	4	4	4	4	4	4	0	1
		CEE cycle		4	4	4	4	4	4	4	4	0	1
시뮬레이션 평가 (E)	시뮬레이션 공유 및 발표		4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1
	피드백		4	4	3	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1
	수정		4	4	3	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1

[부록 4-3] 2차 전문가 타당화 결과: 2차 설계 원리 및 교수전략

<표> 2차 설계 원리 및 교수전략에 대한 2차 전문가 타당화 결과

설계 원리	교수전략	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
		A	B	C	D	E	F	G				
1	1.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	1.1.1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	1.1.2	3	4	2	4	4	4	4	3.57	0.73	0.86	
	1.1.3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
2	2.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	2.1.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	2.1.2	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	2.1.3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
3	3.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	3.1.1	4	4	3	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	3.1.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
4	4.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	4.1.1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	4.1.2	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	
	4.1.3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	4.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	4.2.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	4.2.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
5	5.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	0.86
	5.1.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	5.1.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	5.1.3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	5.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	

[부록 4-3] 2차 전문가 타당화 결과: 2차 설계 원리 및 교수전략

설계 원리	교수전략	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
		A	B	C	D	E	F	G				
	5.2.1	2	4	2	4	3	4	4	3.29	0.88	0.71	
	5.2.2	3	4	2	4	4	4	4	3.57	0.73	0.86	
6	6.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	6.1.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6.1.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6.1.3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6.2.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6.2.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6.2.3	2	4	4	3	4	4	4	3.57	0.73	0.86	
7	7.1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	7.2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7.3	4	4	4	3	4	4	4	3.86	0.35	1	

[부록 4-4] 2차 전문가 타당화 결과: 2차 학생 인터뷰 질문지 문항

<표 IV-> 2차 학생 인터뷰 질문지 문항에 대한 2차 전문가 타당화 결과

항목	문항	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
		A	B	C	D	E	F	G				
1	1-1	4	4	2	4	4	4	3	3.57	0.73	0.86	1
	1-1-1	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	
	1-1-2	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	
	1-2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	1-2-1	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	
	1-2-2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	1-3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
2	1-3-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	2-1	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	
	2-1-1	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	
	2-1-2	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	
	2-2	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	
	2-2-1	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	
3	2-2-2	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	1
	3-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	3-1-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	3-1-2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	3-1-3	4	4	2	4	4	4	4	3.71	0.70	0.86	
	3-2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	3-2-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
4	3-2-2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	4-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	4-1-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
5	4-1-2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	5-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	

[부록 4-4] 2차 전문가 타당화 결과: 2차 학생 인터뷰 질문지 문항

항목	문항	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
		A	B	C	D	E	F	G				
	5-2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	5-3	4	4	3	4	3	4	2	3.43	0.73	0.86	
	5-3-1	4	4	3	4	4	4	2	3.57	0.73	0.86	
	5-3-2	4	4	3	4	3	4	2	3.43	0.73	0.86	
	5-4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	5-4-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
6	6-1	4	4	4	4	4	4	3	3.86	0.35	1	1
	6-2	4	4	4	4	4	4	3	3.86	0.35	1	
	6-3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6-3-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6-4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6-4-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	6-5	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
7	7-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	7-2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-3-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-3-2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-4-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-5	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-5-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-5-1-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-5-2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-5-2-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-5-3	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	

[부록 4-4] 2차 전문가 타당화 결과: 2차 학생 인터뷰 질문지 문항

항목	문항	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
		A	B	C	D	E	F	G				
	7-5-3-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	7-5-4	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	7-6	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-6-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-6-2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	7-7	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
8	8-1	3	4	3	4	4	4	4	3.71	0.45	1	1
	8-1-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	8-1-2	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	8-1-3	3	4	3	4	4	4	4	3.71	0.45	1	
	8-2	3	4	3	4	4	4	4	3.71	0.45	1	
	8-2-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	8-2-2	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	8-2-3	2	4	3	4	4	4	4	3.57	0.73	0.86	
	8-3	3	4	4	4	3	4	4	3.71	0.45	1	
	8-3-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	8-3-2	3	4	3	4	4	4	4	3.71	0.45	1	
	8-4	3	4	3	4	3	4	4	3.57	0.49	1	
	8-4-1	3	4	3	4	4	4	4	3.71	0.45	1	
9	9-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	1
	9-1-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	9-2	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	9-2-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	9-3	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	9-3-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	9-4	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	

[부록 4-4] 2차 전문가 타당화 결과: 2차 학생 인터뷰 질문지 문항

항목	문항	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
		A	B	C	D	E	F	G				
	9-4-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	9-5	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	9-5-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	9-6	3	4	3	4	4	4	4	3.71	0.45	1	
	9-6-1	3	4	3	4	4	4	4	3.71	0.45	1	
10	10-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	1
	10-1-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	10-2	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	10-2-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	10-3	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	10-3-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	10-4	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	10-4-1	3	4	4	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
11	11-1	4	4	4	4	3	3	4	3.71	0.45	1	1
12	12-1	4	4	3	4	4	4	4	3.86	0.35	1	1
	12-2	4	4	3	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	12-2-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	12-3	4	4	3	4	4	4	4	3.86	0.35	1	
	12-3-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	12-4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	12-4-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
13	13-1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
	13-2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	13-3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
	13-4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	

[부록 4-5] 2차 전문가 타당화 결과: 2차 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항

<표> 2차 시뮬레이션 구성 역량 검사에 대한 2차 전문가 타당화 결과

문항	전문가							평균	표준편차	CVI	IRA
	A	B	C	D	E	F	G				
1	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	1
2	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
3	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
4	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
5	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
6	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
7	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
8	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
9	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	
10	4	4	4	4	4	4	4	4	0	1	

[부록 5] 수업 모형 적용 전 설문조사 문항

기본 문항

1. 나는 과학적 모형(예: 원자 모형, DNA 모형 등)을 활용하여 과학 개념 및 이론을 이해하는 것이 효과적이라고 생각한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

2. 나는 과학 개념이나 이론을 이해하는 데 과학적 모형이 오히려 혼란은 주거나 불만족을 느낀 경험이 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

3. 나는 추상적인 이론이나 자연 현상에 대해 기존에 설명할 수 있는 모형이 없으면, 스스로 과학적 모형을 만들 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

4. 나는 공부할 때 과학적 시뮬레이션을 사용해 본 적이 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

5. (4번 문항에서 3, 4, 5를 선택한 사람만) 과학적 시뮬레이션을 사용해 본 적이 있다면, 어떤 시뮬레이션인지 설명해 주세요.

(주관식)

6. 시뮬레이션을 사용하여 공부하는 것은 나에게 도움이 된다. 혹은 도움이 될 것이다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

7. (6번 문항에 대해서) 그렇게 생각한 이유를 설명해 주세요.

(주관식)

[부록 5] 수업 모형 적용 전 설문조사 문항

8. 나는 시뮬레이션을 개발하려고 시도했거나, 시뮬레이션을 개발한 경험이 있다.

- ① 있다. ② 없다.

9. 나는 친구들과 협력하여 어려운 문제를 해결할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

10. 나는 어려운 문제를 해결하는 과정에 도전 의식을 갖고 참여하는 것을 즐긴다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

11. 나는 새롭게 배운 개념, 이론, 기술 등을 적절한 방식으로 잘 활용한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

12. 나는 VPython에 대해 알고 있다. 혹은 들어보았다.

- ① 그렇다. ② 아니다.

13. (12번 문항에서 1번을 선택한 사람만) 나는 VPython을 사용해 보았다.

- ① 그렇다. ② 아니다.

시뮬레이션 역량 검사 문항

14. 나는 구성하고자 하는 시뮬레이션에 필요한 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성 등을 도출해 낼 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

15. 나는 구성하고자 하는 시뮬레이션에 필요한 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성을 코드로 표현할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

[부록 5] 수업 모형 적용 전 설문조사 문항

16. 나는 필요한 경우 스스로 시뮬레이션을 구성할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

17. 나는 이미 개발된 시뮬레이션의 강점과 한계가 무엇인지 설명할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

18. 나는 시뮬레이션을 활용하여 새로운 가설을 검증할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

과학과 핵심 역량 조사 문항

19. 나는 의견을 주장할 때 논리적 근거를 들어서 한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

20. 나는 어떤 일을 판단할 때, 과학적 증거가 있는지 잘 따져본다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

21. 나는 어떤 일을 판단할 때, 과학적 지식을 잘 사용한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

22. 나는 다른 사람의 말이나 토론에서 옳고 그름을 논리적으로 잘 따진다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

23. 나는 남들이 생각해 내지 못하는 아이디어를 자주 만들어 낸다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

[부록 5] 수업 모형 적용 전 설문조사 문항

24. 나는 관찰이나 실험, 제작 등의 활동을 할 때 필요한 도구를 잘 다룬다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

25. 나는 관찰이나 실험을 통해 증거를 찾고 해석하는 것을 잘한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

26. 나는 어떤 일이 생기면 직관적으로 판단하기보다는 여러 상황을 자세히 조사한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

27. 나는 과학 탐구를 할 때, 관련된 과학 지식과 잘 연계하여 생각한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

28. 나는 과학 탐구의 결과를 통해 과학적 지식이나 의미를 잘 구성해 낸다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

29. 나는 과학 관련 문제를 해결할 때, 과학적 지식을 잘 사용한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

30. 나는 조사나 실험 등으로 증거 자료를 잘 찾고 분석하여 과학적 문제를 해결한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

31. 나는 일상생활에서의 현상들에 대해 어떤 과학적 지식과 관련이 있는지 곰곰이 생각한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

[부록 5] 수업 모형 적용 전 설문조사 문항

32. 나는 과학 문제를 해결하기 위해 정보매체(PC, 스마트폰이나 신문 등)로 관련 자료를 잘 찾아낸다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

33. 나는 일상생활에서 문제가 생기면 합리적인 해결 방안을 찾으려고 깊이 생각한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

34. 나는 어떤 문제를 해결하는 과정을 친구에게 효율적으로 설명한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

35. 나는 과학 지식이나 학습 결과물을 정보매체(PC, 스마트폰 등)의 프로그램을 사용하여 잘 표현한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

36. 나는 과학 지식이나 학습 결과물을 글이나 그림, 기호 등으로 종이나 칠판에 잘 나타낸다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

37. 나는 과학 문제와 관련하여 다른 사람과 질의 응답하는 토의나 토론을 잘한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

38. 나는 다른 사람의 말을 끝까지 잘 듣고 판단한 후 내 의견을 조리 있게 말한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

[부록 5] 수업 모형 적용 전 설문조사 문항

39. 나는 과학기술로 생기는 사회 문제와 그 해결 방안을 찾는 것에 관심이 많다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

40. 나는 협동적으로 해야 하는 과학 활동의 경우, 적극 참여하여 내가 맡은 책임을 다한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

41. 나는 친구들의 학습 활동이나 결과물에 대해 평가할 경우, 공정하게 평가한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

42. 나는 새로운 과학기술 제품이 나오면 그 사용법을 쉽게 이해하고 익힌다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

43. 나는 나이가 들어도 새로운 과학 지식이나 정보를 찾아 배울 것이라고 생각한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

끝.

[부록 6] 수업 모형 적용 후 설문조사 문항

기본 문항

1. 나는 과학적 모형(예: 원자 모형, DNA 모형 등)을 활용하여 과학 개념 및 이론을 이해하는 것이 효과적이라고 생각한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

2. 나는 추상적인 이론이나 자연 현상에 대해 기존에 설명할 수 있는 모형이 없으면, 스스로 과학적 모형을 만들 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

3. 나는 친구들과 협력하여 어려운 문제를 해결할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

4. 나는 어려운 문제를 해결하는 과정에 도전 의식을 갖고 참여하는 것을 즐긴다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

5. 나는 새롭게 배운 개념, 이론, 기술 등을 적절한 방식으로 잘 활용한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

수업 관련 문항

6. 나는 과학적 모형으로 시뮬레이션을 활용하는 것이 효과적이라고 생각한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

7. 나는 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에 집중하여 참여하였다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

[부록 6] 수업 모형 적용 후 설문조사 문항

8. 나는 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업이 흥미롭고 재미있었다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

9. (8번 문항에 대해서) 그렇게 생각한 이유를 설명해 주세요.
(주관식)

10. 나는 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에 전반적으로 만족한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

11. 나는 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에서 배운 내용을 활용하여 앞으로도 시뮬레이션을 구성해 보고 싶다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

12. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업은 나의 OO 역량(또는 OO 능력) 향상에 도움이 되었다고 생각한다. (복수 응답 가능, 보기에 없는 경우 기타에 적어주세요.)

☐ 과학적 사고 역량	☐ 과학적 탐구 역량	☐ 과학적 문제 해결력
☐ 과학적 의사소통 역량	☐ 창의력	☐ 협업 능력
☐ 리더십	☐ 윤리 의식	☐ 기타 :

13. 나는 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업이 다른 교과를 공부하는 데 도움이 될 것이라고 생각한다.

- ① 그렇다. ② 아니다

14. (13번 문항에 대해서 1을 선택한 사람만) 어떤 교과에 도움이 될 것으로 생각하나요?

(주관식)

[부록 6] 수업 모형 적용 후 설문조사 문항

15. 나는 VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업이 연구 활동(과제연구, R&E 등)에 도움이 된다고 생각한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

16. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에서 좋았던 점은 무엇인가요?

(주관식)

17. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에서 아쉬운 점, 어려운 점, 개선한 점 등은 무엇인가요?

(주관식)

18. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업이 특별교육프로그램으로 개설된다면 친구들에게 추천할 건가요? 비추천할 건가요?

- ① 추천 ② 비추천

19. (18번 문항에 대해서) 그 이유는 무엇인가요?

20. 만약 새롭게 시뮬레이션을 개발한다면 어떤 내용의 시뮬레이션을 개발해 보고 싶은가요?

(주관식)

21. 기타 수업에 대한 의견이 있으면 남겨주세요.

(주관식)

시뮬레이션 역량 검사 문항

22. 나는 구성하고자 하는 시뮬레이션에 필요한 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성 등을 도출해 낼 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

[부록 6] 수업 모형 적용 후 설문조사 문항

23. 나는 구성하고자 하는 시뮬레이션에 필요한 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성을 코드로 표현할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

24. 나는 필요한 경우 스스로 시뮬레이션을 구성할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

25. 나는 이미 개발된 시뮬레이션의 강점과 한계가 무엇인지 설명할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

26. 나는 내가 개발한 시뮬레이션의 강점과 한계가 무엇인지 설명할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

27. 나는 내가 개발한 시뮬레이션에서 잘못된 부분을 스스로 수정할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

28. 나는 시뮬레이션을 활용하여 새로운 가설을 검증할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

29. 나는 예측 능력이 높은 과학적 시뮬레이션을 만들 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

30. 나는 시뮬레이션을 만들 때 구성 요소 간의 상호작용이나 변수의 관계를 명확하게 표현할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

[부록 6] 수업 모형 적용 후 설문조사 문항

31. 나는 시뮬레이션을 만들 때 다른 사람들과 긍정적으로 협력할 수 있다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

과학과 핵심 역량 조사 문항

32. 나는 의견을 주장할 때 논리적 근거를 들어서 한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

33. 나는 어떤 일을 판단할 때, 과학적 증거가 있는지 잘 따져본다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

34. 나는 어떤 일을 판단할 때, 과학적 지식을 잘 사용한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

35. 나는 다른 사람의 말이나 토론에서 옳고 그름을 논리적으로 잘 따진다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

36. 나는 남들이 생각해 내지 못하는 아이디어를 자주 만들어 낸다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

37. 나는 관찰이나 실험, 제작 등의 활동을 할 때 필요한 도구를 잘 다룬다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

38. 나는 관찰이나 실험을 통해 증거를 찾고 해석하는 것을 잘한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

[부록 6] 수업 모형 적용 후 설문조사 문항

39. 나는 어떤 일이 생기면 직관적으로 판단하기보다는 여러 상황을 자세히 조사한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

40. 나는 과학 탐구를 할 때, 관련된 과학 지식과 잘 연계하여 생각한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

41. 나는 과학 탐구의 결과를 통해 과학적 지식이나 의미를 잘 구성해 낸다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

42. 나는 과학 관련 문제를 해결할 때, 과학적 지식을 잘 사용한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

43. 나는 조사나 실험 등으로 증거 자료를 잘 찾고 분석하여 과학적 문제를 해결한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

44. 나는 일상생활에서의 현상들에 대해 어떤 과학적 지식과 관련이 있는지 곰곰이 생각한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

45. 나는 과학 문제를 해결하기 위해 정보매체(PC, 스마트폰이나 신문 등)로 관련 자료를 잘 찾아낸다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

[부록 6] 수업 모형 적용 후 설문조사 문항

46. 나는 일상생활에서 문제가 생기면 합리적인 해결 방안을 찾으려고 깊이 생각한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

47. 나는 어떤 문제를 해결하는 과정을 친구에게 효율적으로 설명한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

48. 나는 과학 지식이나 학습 결과물을 정보매체(PC, 스마트폰 등)의 프로그램을 사용하여 잘 표현한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

49. 나는 과학 지식이나 학습 결과물을 글이나 그림, 기호 등으로 종이나 칠판에 잘 나타낸다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

50. 나는 과학 문제와 관련하여 다른 사람과 질의 응답하는 토의나 토론을 잘한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

51. 나는 다른 사람의 말을 끝까지 잘 듣고 판단한 후 내 의견을 조리 있게 말한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

52. 나는 과학기술로 생기는 사회 문제와 그 해결 방안을 찾는 것에 관심이 많다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

[부록 6] 수업 모형 적용 후 설문조사 문항

53. 나는 협동적으로 해야 하는 과학 활동의 경우, 적극 참여하여 내가 맡은 책임을 다한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

54. 나는 친구들의 학습 활동이나 결과물에 대해 평가할 경우, 공정하게 평가한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

55. 나는 새로운 과학기술 제품이 나오면 그 사용법을 쉽게 이해하고 익힌다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

56. 나는 나이가 들어도 새로운 과학 지식이나 정보를 찾아 배울 것이라고 생각한다.

- ① 매우 그렇지 않다. ② 그렇지 않다. ③ 보통이다.
④ 그렇다. ⑤ 매우 그렇다.

끝.

0. 연구 참여 목적

0-1. 이 수업에 참여하기 전 기대한 바를 말해주세요. 왜 이 수업에 참여하게 되었습니까?

0-2. 기대한 바를 수업을 통해 달성한 것 같나요?

1. 과학적 모형/시뮬레이션 경험, 생각

1-1. 과학적 모형에는 그림, 텍스트와 같은 정적인 모형이 있고, 시뮬레이션, 영상자료와 같은 동적인 모형이 있습니다. 과학적 모형으로서 시뮬레이션이 갖는 특별한 장점은 무엇이라고 생각하나요?

1-2. 이 수업에 참여하기 전에 이미 개발된 시뮬레이션을 사용해 본 경험이 있나요?

1-2-1. 어떤 분야의 시뮬레이션이었는지, 어떤 과학 개념이나 이론을 시뮬레이션으로 구현한 것인지 설명해 줄 수 있나요?

1-3. 만약에 평소 시뮬레이션을 활용해서 공부한다고 가정했을 때, 어떤 시뮬레이션이 있으면 좋겠다고 생각하나요?

1-3-1. 그러한 시뮬레이션을 스스로 개발해 볼 생각을 해보았나요? (왜?)

1-3-1-1. (예) 생각을 실천해서 스스로 시뮬레이션을 개발했나요?

1-3-1-2. (아니오) 왜 스스로 개발할 생각을 하지 않았나요?

1-4. 이 수업을 듣기 전, 자신이 시뮬레이션을 개발할 수 있다고 생각해 본 적이 있나요?

1-4-1. 왜 그렇게 생각했나요?

1-4-2. (만약 시뮬레이션을 개발할 수 없다고 생각한 경우) 이 수업을 들은 후 그 생각이 바뀌었나요?

2. VPython에 대해서

2-1. 이 수업을 듣기 전 설문조사 결과 모든 학생이 VPython에 대해 모른다고 응답하였는데, 다른 학생들도 VPython에 대해 대부분 모르나요?

[부록 7] 학생 인터뷰 질문지 문항

2-2. VPython을 활용할 때 어떤 점이 유용했나요?

2-3. VPython을 활용할 때 어떤 점이 불편했나요?

2-4. VPython을 앞으로도 활용할 것 같나요?

2-4-1. (예) 어떤 때 활용할 것 같나요? 어떤 때 활용하면 좋을 것 같나요?

2-4-2. (아니오) 왜 활용하지 않을 것 같나요?

3. 팀 구성 및 협력에 대해서

3-1. 수업에서 팀을 구성할 때, 먼저 각자 주제를 탐색해 보고, 탐색한 주제를 공유하고, 팀을 구성한 다음에 다시 팀원과 상의하여 시뮬레이션 주제를 설정했습니다. 이러한 팀 구성 방식에 대해 좋았던 점, 불편했던 점(또는 개선할 점)을 공유해 줄 수 있나요?

3-2. 이번 수업에서는 1인 1팀, 또는 2인 1팀으로 팀을 구성했습니다. 만약 이 과정을 정규 수업에서 다룬다면 팀 구성 인원은 몇인 1팀이 적당하다고 생각하나요?

3-2-1. 왜 그렇게 생각했나요?

3-3. 팀원과 협력 및 의사소통은 어떤 방법으로 이루어졌나요?

3-4. 그 외 팀 구성 방식에 대해 추가로 말해줄 내용이 있나요?

4. 시뮬레이션 개발 과정에 대해서

4-1. 개발한 시뮬레이션의 주제는 무엇인가요?

4-2. 그 주제를 선정하는 데 어떤 과정을 거쳤는지 설명해 줄 수 있나요? / 어떻게 그 주제를 선정하게 되었나요?

4-3. 구성한 시뮬레이션에서 필요한 물리량, 개념, 이론은 무엇인가요?

4-3-1. 물리량, 개념, 이론을 어떻게 정교화했는지 구체적으로 설명해 줄 수 있나요?

[부록 7] 학생 인터뷰 질문지 문항

4-4. 시뮬레이션을 생성하는 과정에서 코딩의 난이도는 어땠나요?

4-5. 코딩할 때 어떤 전략 또는 어떤 방식을 사용해서 코딩했나요?

4-6. 코딩할 때 단순한 것에서 복잡한 것으로 확장하는 전략은 유용했나요?

4-6-1. (예) 어떤 점에서 유용하다고 생각했나요?

4-6-2. (아니오) 어떤 점에서 유용하지 않다고 생각했나요?

4-7. 코딩할 때 코딩-실행-평가(CEE cycle)의 전략은 유용했나요?

4-7-1. (예) 어떤 점에서 유용하다고 생각했나요?

4-7-2. (아니오) 어떤 점에서 유용하지 않다고 생각했나요?

4-8. 코딩할 때 생성형 AI(챗GPT 또는 Bing Chat)를 활용했나요?

4-8-1. (예) 생성형 AI를 왜 사용했나요? 사용하면 어떤 점에서 유용하다고 생각했나요?

4-8-2. (아니오) 왜 사용하지 않았나요? 어떤 점에서 유용하지 않다고 생각했나요?

4-9. 이 수업에서 시뮬레이션을 개발하는 데 어느 정도의 시간(몇 차시 정도의 시간)이 필요하다고 생각하나요?

5. 공유, 발표 및 피드백에 대해서

5-1. 본인의 팀이 개발한 시뮬레이션은 어떤 점이 우수하다고 생각하나요?

5-2. 본인의 팀이 개발한 시뮬레이션은 어떤 점이 부족하거나 미흡하다고 생각하나요?

5-2-1. 부족하거나 미흡한 점을 개선하는 방법은 어떤 것이 있을까요?

5-3. 최종 시뮬레이션 산출물 중 어떤 작품이 우수하다고 판단했나요?

5-3-1. 그 이유는 무엇인가요?

5-4. 피드백 단계에서 인상적인 내용이 있었다면, 무엇이었나요?

6. 과학적 역량에 대해서

6-1. 과학적 역량에는 사고력, 탐구 능력, 문제 해결력, 과학적 의사소통 능력, 과학적 참여와 평생학습 능력이 있습니다. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업이 이러한 과학적 역량을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

6-1-1. 수업의 어떤 부분에서 해당 능력을 기를 수 있다고 생각하나요?

6-1-2. 이러한 5가지 역량 중 특히 어떤 역량을 길러줄 수 있을 것으로 생각하나요? 1~2개 정도 선택해서 그 이유를 말해주세요.

6-2. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업은 과학끼리의 융합, 과학과 정보의 융합, 혹은 과학과 다른 과목의 융합에 도움이 된다고 생각하나요?

6-2-1. 어떻게 융합할 수 있을지 몇 가지 예시를 들어줄 수 있나요?

6-3. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업은 과제연구 및 R&E와 같은 연구 활동을 하는 데 도움이 된다고 생각하나요?

6-3-1. 수업의 어떤 부분에서 도움이 된다고 생각하나요?

7. 컴퓨팅 사고력 및 프로그래밍 능력에 대해서

7-1. (문제 분해 능력) VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업은 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 물리량, 함수 등을 파악하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

7-1-1. 수업의 어떤 부분에서 해당 능력을 기를 수 있다고 생각하나요?

7-2. (추상화 능력) 시뮬레이션을 구성하는 과정에서 불필요한 요소를 제거하고 핵심 요소만 구성할 수 있도록 추상화하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

7-2-1. 수업의 어떤 부분에서 해당 능력을 기를 수 있다고 생각하나요?

7-3. (알고리즘 절차-설계 능력) 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 연산을 구조화하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

7-3-1. 수업의 어떤 부분에서 해당 능력을 기를 수 있다고 생각하나요?

[부록 7] 학생 인터뷰 질문지 문항

7-4. (알고리즘 절차-표현 능력) (프로그래밍 능력) 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 연산을 적절한 코드로 구현하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

7-4-1. 수업의 어떤 부분에서 해당 능력을 기를 수 있다고 생각하나요?

7-5. (알고리즘 절차-분석 능력) 시뮬레이션을 구성하는 데 필요한 연산의 수행 시간(run time)을 고려하여 코드로 구현하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

7-5-1. 수업의 어떤 부분에서 해당 능력을 기를 수 있다고 생각하나요?

8. 시뮬레이션 구성 역량에 대해서

8-1. 이 수업은 시뮬레이션 구성에 필요한 요소를 파악하는 능력을 길러줄 수 있는 수업이라고 생각하나요?

8-1-1. 수업의 어떤 부분에서 해당 능력을 기를 수 있다고 생각하나요?

8-2. 이 수업을 통해 본인이 시뮬레이션을 구성할 수 있을 것이라는 자신감이 생겼나요?

8-2-1. (아니오) 어떤 점에서 자신감이 생기지 않았나요?

8-3. 시뮬레이션 구성 과정은 과학 개념 및 이론을 이해하거나 자연 현상을 설명하는 데 도움이 되는 수업이라고 생각하나요?

8-3-1. 왜 그렇게 생각하나요?

9. 그 외 능력에 대해서

9-1. 그 외에 다른 능력(창의성, 협업 능력, 자기 주도 능력, 끈기, 인내 등)은 어떤 것이 향상되었다고 생각하나요?

9-1-1. 수업의 어떤 부분에서 해당 능력을 기를 수 있다고 생각하나요?

10. 수업 소감에 대해서

10-1. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에서 배운 점, 느낀 점, 아쉬운 점은 무엇이었나요?

10-2. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에서 좋았던 점은 무엇이었나요?

10-3. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션을 구성하는 과정에서 어려운 점은 무엇이었나요?

10-4. VPython을 활용한 과학적 시뮬레이션 구성 수업에서 배운 내용을 앞으로 어디에 활용할 수 있을 것 같나요?

끝.

[부록 8] 시뮬레이션 구성 역량 검사 문항

1. 나는 구성하고자 하는 시뮬레이션에 필요한 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성 등을 도출해 낼 수 있다.
2. 나는 구성하고자 하는 시뮬레이션에 필요한 과학적 개념, 이론, 자연 현상, 대상의 특정 속성을 코드로 표현할 수 있다.
3. 나는 필요한 경우 스스로 시뮬레이션을 구성할 수 있다.
4. 나는 이미 개발하여 제공되는 시뮬레이션의 강점과 한계가 무엇인지 설명할 수 있다.
5. 나는 내가 개발한 시뮬레이션의 강점과 한계가 무엇인지 설명할 수 있다.
6. 나는 내가 개발한 시뮬레이션에서 잘못된 부분을 스스로 수정할 수 있다.
7. 나는 시뮬레이션을 활용하여 새로운 가설을 검증할 수 있다.
8. 나는 예측 능력이 높은 과학적 시뮬레이션을 만들 수 있다.
9. 나는 시뮬레이션을 만들 때 구성 요소 간의 상호작용이나 변수의 관계를 명확하게 표현할 수 있다.
10. 나는 시뮬레이션을 만들 때 다른 사람들과 긍정적으로 협력할 수 있다.

Abstract

Development and Effects of an Instructional Model for Scientific Simulation Construction Using VPython

Choi Won Keun

Artificial Intelligence Integrated Education

The Graduate School

Seoul National University

Even before the development of artificial intelligence and the advent of the 4th Revolution, the importance of a teaching and learning environment in which students can directly participate in the process of constructing scientific knowledge has been continuously emphasized in science education. One way to have students directly participate in the process of constructing scientific knowledge is to have them construct scientific models. Scientific models help understand abstract scientific concepts and theories, and help explain or predict complex natural phenomena. In other words, constructing scientific models directly is an essential activity of science that allows students to directly participate in actual scientific exploration, and is a very

important process that helps students understand scientific knowledge by building scientific knowledge and constructing abstract concepts. However, existing scientific models have limitations in reflecting reality through two-dimensional representations such as text or pictures. Therefore, in this study, the purpose was to develop a Science & Computer-science convergence instructional model that allows students to construct simulations. This instructional model overcomes the limitations of two-dimensional representation through the VPython programming language, which allows visualization in three dimensions. The research questions are 1) to develop an instructional model, design principles, and teaching strategies for 'scientific simulation construction class using VPython', 2) the internal validity of the developed instructional model, design principles, and teaching strategies was confirmed two rounds of expert review, 3) the educational effects of the instructional model were explored by applying the developed instructional class to students.

This study was conducted with the following procedures according to Type II 'Model Research' method among design and development research methods. First, an initial instructional model, design principles, and teaching strategies were developed based on the results of a comprehensive review of prior literature in various fields, including instructional model development, VPython, modeling competencies, simulation education, and the characteristics of gifted students. Nineteen educational simulation online platforms were compared to develop an instructional model. 7 years of science gifted education experience were taken into consideration when developing the instructional model, design principles, and teaching strategies. Second, a total of two rounds of expert validations were conducted

targeting 2 educational technology and science education experts, 1 gifted education and science education expert, 1 science education expert, and 3 computer-science education experts (total 7 experts) for confirm the internal validity of the instructional model, design principles, and teaching strategies. The instructional model, design principles, and teaching strategies were revised and supplemented based on the expert validation results. Third, for external validity, classes were conducted with 13 participants from X Science High School for Gifted Students who agreed to the study. The external validation was conducted with the second revised model and strategies. The data collected in external validation are surveys before and after applying the instructional model, and interview after applying the instructional model. The collected data are analyzed in depth to explore the educational effects of the instructional model. Based on the analysis, the instructional model, design principles, and teaching strategies were revised and improved to derive the final version.

The final instructional model consists of 5 steps that is based on the framework of the ADDIE model: 1) Analysis(A), 2) Design(D), 3) Simulation Construction Preparation(P), 4) Simulation Development(D), 5) Simulation Evaluation(E). In addition, 7 design principles and 30 teaching strategies were developed and offered with detailed examples and explanations.

The educational effectiveness of the instructional model was explored using pre- and post-result analysis methods for the same group. Common questions from surveys before and after applying the instructional model were used, and because the number of study

subjects was very small(13 students), the Wilcoxon signed-rank test method, a non-parametric statistical method, was used. As a result of statistical analysis, differences were found in terms of the study participants' confidence in their simulation construction capabilities, their ability to derive the content needed to construct the simulation, their ability to identify the strengths and limitations of the simulation, and their ability to utilize the simulation. As a result of pre- and post-statistical analysis of the Science Core Competency survey questions using the Wilcoxon signed-rank test, differences were found in 5 out of 25 questions: 2 about scientific inquiry ability, 1 about scientific problem-solving ability, 1 about scientific communication ability, and 2 about scientific participation and lifelong learning ability.

In addition, this study took into account the uniqueness of the research subjects as science-gifted high school students and conducted qualitative analysis through interviews to analyze in-depth the educational effectiveness of the instructional model. As a result of in-depth analysis through interviews, the instructional model can have an impact on cultivating not only Science Core Competencies, Computational Thinking and Programming Abilities, but also high-level competencies such as Creativity, Persistence and Perseverance, and Aesthetics, and can foster various competencies depending on the purpose of teaching.

Based on the results of this study, the significance and implications of this study were derived, and the limitations of the study and the need for follow-up research were presented. This study has the following significance. First, this study uses VPython as a Science &

Computer-science convergence instructional model. Second, an instructional model that can cultivate various competencies has been developed. Third, as a convergence of science education and Computer-science education, the study is explored the educational effects of scientific simulation, a new field different from existing research trends.

Keywords : VPython, Web VPython, Simulation, Competency,
Scientific Modeling, Design and Development Research

Student Number : 2022-26773