creative commons

COMMONS DEED

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

dCollection

교육학박사 학위논문

화학 결합 학습을 위한 모바일 증강현실 애플리케이션 개발과 적용

Development and Application of Mobile Augmented Reality Application for Learning Chemical Bonding

2023년 2월

서울대학교 대학원

과학교육과 화학전공

전 영 은

화학 결합 학습을 위한 모바일 증강현실 애플리케이션 개발과 적용

지도교수 홍 훈 기

이 논문을 교육학박사 학위논문으로 제출함
2022년 10월

서울대학교 대학원
과학교육과 화학전공
전 영 은

전영은의 박사 학위논문을 인준함
2022년 12월

위 원 장 전 상 학 (인)

부위원장 홍 훈 기 (인)

위 원 정 대 홍 (인)

위 원 여 상 인 (인)

위 원 박 현 주 (인)

국문초록

본 연구의 목적은 화학 결합의 이해를 돕는 화학 결합 증강현실 애플리케이션(앱)을 개발하고, 이를 교수학습 방법 및 스캐폴딩과 접목하여 교육 현장에 적용해봄으로써 어떠한 교육적 의미를 지니는지 알아보고자 하였다. 화학 결합 모바일 증강현실 앱 개발을 위해 교육적 어포던스 관점에서 화학 결합 증강현실 앱 개발의 중점 사안을 선정하고, 인지적, 감각적, 물리적 어포던스를 반영하여 증강현실 애플리케이션을 디자인하였다. 그리고 이를 현장 교사 대상으로 전문가 평정을 실시한 뒤, 이에 대한 개선점을 반영한 앱에 대해 고등학생을 대상으로 사용성 태도를 조사하였다. 현장 적용 연구로는 증강현실 학습 도구와 과정지향 안내탐구학습 방법을 조합한 교수학습을 제안하고, 고등학교 1학년의 통합과학 교과의 화학 결합과 관련된 내용을 4차시에 걸쳐 학습하는 동안 학업성취도, 학습 동기, 학습 몰입감에서 어떠한 변화가 발생하였는지를 분석하였다. 또한, 스캐폴딩 종류에 따른 증강현실 기반 교수학습을 제안하고, 화학Ⅰ 교과의 화학 결합과 관련된 내용을 5차시에 걸쳐 학습하는 동안 학업성취도, 학습 동기, 학습 몰입감에서 어떠한 변화가 발생하였는지를 분석하였다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 어포던스를 반영하여 개발한 화학 결합 증강현실 애플리케이션의 사용성 태도 조사 결과, 앱 사용에 대한 인지된 즐거움이 사용 태도에 긍정적인 영향을 주었으며, 인지된 유용성, 사용 태도, 인지된 즐거움이 사용 의도에 반영되어 개발되었음을 확인하였다. 이는 증강현실 앱이 학습의 이해와 흥미를 유발하는 학습 도구가 될 수 있음을 시사한다.

둘째, 제안한 증강현실 기반 과정지향 안내탐구학습이 인지적 영역의 과학 학업성취도, 정의적 영역의 학습 동기, 학습 몰입감에서 유의미한 향상이 나타났다. 또한, 학습 동기의 하위 요인에 대하여 분석한 결과, 내재동기, 직업동기, 자기의지, 자아효능, 점수동기 모두에서 유의미한 향상을 보였고, 학습 몰입감의 하위 요인 중 분명한 목표, 분명한 피드백, 행위-인식 일체감, 학습 통제감, 자기만족적 경험에서 유의미한 향상을 보였다. 더욱이, 제안한 증강현실 기반 과정지향 안내탐구학습으로 인해 하위권 학생들의 학업성취도가 향상되었을 뿐만 아니라, 이들에게서 가장 큰 내재동기의 향상이 있었다. 이러한 결과는 증강현실 학습 도구의 효과와 본 연구에서 채택한 교수학습 방법이 지닌 학습에 대한 긍정적인 측면이 합쳐져 시너지가 나타난 것이라 볼 수 있다. 이처럼 본 연구는 과학 과목에서 기초 학력 미달 학생의 비율이 증가하고 있는 현시점을 타계하고, 학습 동기와 학습 몰입감의 향상을 통해 학습에 대한 즐거움을 본질적으로 회복하는 데 도움이 되리라 본다.

셋째, 사전 학업 성취수준에 따라 스캐폴딩 적용의 효과가 다르게 다르게 나타났다. 상위권 학생들은 학업성취도, 학습 몰입감에 대해서 성찰적 스캐폴딩을 적용한 증강현실 기반 교수학습 방법이 지원적 스캐폴딩을 적용한 증강현실 기반 교수학습 방법과 비교하여 유의미한 향상을 보였다. 반면, 하위권 학생들은 학업성취도, 학습 동기, 학습 몰입감 모두 지원적 스캐폴딩을 적용한 증강현실 기반 교수학습 방법이 성찰적 스캐폴딩을 적용한 증강현실 기반 교수학습 방법보다 유의미한 향상을 보였다. 이러한 결과는 성찰적 스캐폴딩의 적용이 상위권 학생들의 학업성취도와 학습 몰입감 향상을 이끌어내고, 지원적 스캐폴딩의 적용이 하위권 학생들의 인지적, 정의적 영역 모두에 도움을 가져다주었다는 점에서 의의가 있다.

본 연구를 통해 증강현실 학습 도구를 접목한 교수학습 방법과 스캐폴딩의 적용이 학생들의 화학 결합의 이해를 돕고, 학습 동기

와 학습 몰입감의 향상을 가져다주었다는 것을 확인하였다. 이러한 연구의 결과는 미래세대 교육을 위한 첨단 과학기술 학습 도구를 개발하고 이를 학교 현장에 적용해 봄으로써 과학 교육이 추구해야 할 방향을 제시하였다는 점에서 의미가 있다. 시공간의 제약을 뛰어넘는 장점이 있는 모바일 증강현실 학습 도구로 인해 대표적인 학교 현장이라 할 수 있는 교실에서 사용이 가능할 뿐만 아니라, 교실 밖 장소에서도 시간에 관계없이 학습이 가능하게 되리라 본다. 앞으로 과학 학습의 이해를 돕는 증강현실을 이용한 학습 도구의 개발이 더 다양하게 이루어지고 또한 이를 돕는 교수학습 방법과 스캐폴딩이 함께 설계되길 기대하는 바이다.

주요어 : 증강현실, 화학 결합, 과정지향 안내탐구학습,
지원적 스캐폴딩, 성찰적 스캐폴딩
학 번 : 2016-35677

목 차

Ⅰ. 서 론 ····· 1
1. 연구의 필요성 ····· 1
2. 연구 목적 및 연구 문제 ····· 8
3. 용어 정리 ····· 9
4. 연구의 한계 ····· 11

Ⅱ. 이론적 배경 ····· 13
1. 화학 결합 ····· 13
1.1. 화학 결합의 연계성과 위상 ····· 13
1.2. 화학 결합 학습의 어려움 ····· 16
1.3. 화학 결합과 관련된 에듀테크 사례 ····· 19
2. 증강현실과 과학 교육 ····· 23
2.1. 증강현실의 정의와 특징 ····· 23
2.2. 증강현실과 과학 교육 선행 연구 ····· 25
2.3. 증강현실과 화학 교육 선행 연구 ····· 30
2.4. 화학 결합과 관련된 증강현실 선행 연구 ····· 33
3. 과정지향 안내탐구학습(POGIL) ····· 39
3.1. 과정지향 안내탐구학습(POGIL)의 정의와 특징 ····· 39
3.2. POGIL 교수학습 설계 ····· 41
3.3. POGIL 교수학습의 적용 분야 및 선행 연구 ····· 47
4. 스캐폴딩 ····· 49
4.1. 스캐폴딩의 정의와 특징 ····· 49
4.2. 스캐폴딩의 유형과 제시 형태 ····· 51
4.3. 과학 교육에서의 스캐폴딩 선행 연구 ····· 56

Ⅲ. 연구 방법 및 절차 ····· 58
1. 화학 결합 모바일 증강현실 애플리케이션 개발 ··· 60
1.1. 증강현실 플랫폼 ····· 60
1.2. 개발 절차 ····· 63
1.3. 화학 결합 증강현실 애플리케이션 설계 ····· 68
1.4. 화학 결합 증강현실 앱에 대한 전문가 평정 ····· 72
1.5. 화학 결합 증강현실 앱에 대한 사용성 태도 조사 ···· 75
2. 화학 결합 모바일 증강현실의 교육 현장 적용 ····· 78
2.1. 연구 참여자 ····· 78
2.2. 연구 절차 ····· 81
2.3. 자료 수집 ····· 91
2.4. 자료 분석 ····· 96

Ⅳ. 연구 결과 및 논의 ····· 98
1. 화학 결합 모바일 증강현실 애플리케이션 ····· 98
1.1. 어포던스를 반영한 화학 결합 앱 및 가능 시나리오 ·· 98
1.2. 전문가 평정 결과 ····· 107
1.3. 사용성 태도 결과 ····· 115
2. 화학 결합 증강현실의 교육 현장 적용 결과 ····· 120
2.1. 증강현실 기반 교수학습이 인지적, 정의적 영역에 미치는 영향 ····· 120
2.2. 증강현실 기반 스캐폴딩 종류가 인지적, 정의적 영역에 미치는 영향 ····· 132
3. 해석과 논의 ····· 138
3.1. 증강현실 기반 POGIL 교수학습 적용의 교육적 의미 138
3.2. 증강현실 기반 지원적, 성찰적 스캐폴딩 적용의 교육적 의미 ····· 140

Ⅴ. 결론 및 제언 ····· 144
1. 결론 ····· 144
2. 제언 ····· 147

참고문헌 ····· 150
부록 ····· 171
Abstract ····· 201

표 목 차

<표 Ⅱ-1> 화학 결합 관련 에듀테크 사례 ····· 20
<표 Ⅱ-2> 증강현실을 활용한 과학 교육의 국내 연구 동향 ····· 29
<표 Ⅱ-3> 증강현실을 활용한 화학 교육 연구의 주제 영역 ····· 32
<표 Ⅱ-4> 화학 결합 관련 증강현실 선행 연구 ····· 37
<표 Ⅱ-5> POGIL 교수학습과 7E 모형의 구성 요소 ····· 42
<표 Ⅱ-6> POGIL 교수학습 단계별 요소 및 내용 ····· 44
<표 Ⅱ-7> POGIL 교수학습의 비판적 사고 질문(CTQ)의 단계 ····· 45
<표 Ⅱ-8> POGIL 교수학습에서 그룹 내 구성원 역할 ····· 47
<표 Ⅱ-9> 연구자별 스캐폴딩의 유형 분류 ····· 55
<표 Ⅲ-1> ARCore의 주요 기능 ····· 60
<표 Ⅲ-2> 화학 결합 모바일 증강현실의 어포던스 설계 가이드라인 (황윤자, 2013 재구성) ····· 68
<표 Ⅲ-3> 화학 결합 증강현실 앱에 대한 전문가 평정 참여교사 ····· 72
<표 Ⅲ-4> 화학 결합 증강현실 앱에 대한 타당성 평가 설문지 ····· 73
<표 Ⅲ-5> 증강현실 앱에 대한 사용성 태도 연구 참여자 ····· 75
<표 Ⅲ-6> 사전 과학 성취 수준에 따른 집단별 학생 수 ····· 79
<표 Ⅲ-7> 사전 성취 수준에 따른 집단별 학생 수 ····· 80
<표 Ⅲ-8> POGIL-MAR 교수학습 내용 및 각 차시별 증강현실 학습 도구 사용 여부 ····· 83
<표 Ⅲ-9> 각 차시별 학습 주제 및 학습 내용 ····· 87
<표 Ⅲ-10> 처치 집단별 스캐폴딩 종류에 따른 교수학습 ····· 88
<표 Ⅲ-11> [적용 1]연구에 대한 SMQ Ⅱ 검사의 하위 요인 신뢰도 계수 ····· 93
<표 Ⅲ-12> [적용 1]연구에 대한 학습 몰입감 검사의 하위 요인 신뢰도 계수 ····· 94
<표 Ⅲ-13> [적용 2]연구에 대한 SMQ Ⅱ 검사의 하위 요인 신뢰도 계수 ····· 95
<표 Ⅲ-14> [적용 2]연구에 대한 학습 몰입감 검사의 하위 요인 신뢰도 계수 ····· 95

<표 Ⅳ-1> 가능한 화합 결합의 종류 ····· 106
<표 Ⅳ-2> 화학 결합 증강현실 앱에 대한 타당성 평가 결과 ····· 107
<표 Ⅳ-3> 증강현실 앱 사용성 태도 검사의 기술 통계량 ····· 115
<표 Ⅳ-4> 사용성 태도의 하위 변인 간 Pearson 상관관계 ····· 116
<표 Ⅳ-5> 증강현실 앱 사용성 태도의 단순회귀분석 결과 ····· 117
<표 Ⅳ-6> 증강현실 앱 사용성 태도의 단계적 다중회귀분석 결과 ····· 118
<표 Ⅳ-7> 사전 성취 수준에 따른 과학 학업성취도 기술 통계량 ····· 121
<표 Ⅳ-8> 과학 학업성취도에 대한 이원 공변량 분석 결과 ····· 121
<표 Ⅳ-9> 사전 성취 수준에 따른 과학 학업성취도 내재설계 결과 ····· 122
<표 Ⅳ-10> 사전 성취 수준에 따른 과학 학습 동기의 하위 요인별 기술 통계량 ····· 122
<표 Ⅳ-11> 과학 학습 동기에 대한 이원 공변량 분석 결과 ····· 124
<표 Ⅳ-12> 과학 학습 동기에 대한 MANCOVA 결과 ····· 124
<표 Ⅳ-13> 과학 학습 동기에 대한 개체-간 효과 검증 결과 ····· 125
<표 Ⅳ-14> 과학 학습 동기의 하위 종속변인에 대한 대응별 비교 ····· 126
<표 Ⅳ-15> 사전 성취 수준에 따른 학습 몰입감의 하위 요인별 기술 통계량 ····· 127
<표 Ⅳ-16> 학습 몰입감에 대한 이원 공변량 분석 결과 ····· 129
<표 Ⅳ-17> 학습 몰입감에 대한 MANCOVA 결과 ····· 130
<표 Ⅳ-18> 학습 몰입감에 대한 개체-간 효과 검증 결과 ····· 131
<표 Ⅳ-19> 학습 몰입감의 하위 종속변인에 대한 대응별 비교 ····· 132
<표 Ⅳ-20> 사전 성취 수준에 따른 화학 학업성취도 기술 통계량 ····· 133
<표 Ⅳ-21> 화학 학업성취도에 대한 이원 공변량 분석 결과와 단순 주효과 검증 ····· 134
<표 Ⅳ-22> 사전 성취 수준에 따른 학습 동기 기술 통계량 ····· 135
<표 Ⅳ-23> 학습 동기에 대한 이원 공변량 분석 결과와 단순 주효과 검증 ····· 136
<표 Ⅳ-24> 사전 성취 수준에 따른 학습 몰입감 기술 통계량 ····· 136
<표 Ⅳ-25> 학습 몰입감에 대한 이원 공변량 분석 결과와 단순 주효과 검증 ····· 137

그 림 목 차

[그림 Ⅱ-1] 화학 결합 관련 2015 개정 과학과 교육과정의 내용 요소 연계성 ····· 15
[그림 Ⅱ-2] 현실세계과 가상세계의 연속성(Milgram & Keshio, 1994) ···· 23
[그림 Ⅱ-3] POGIL의 두 차원을 나타낸 도식도(Şen et al., 2016 재구성) 40
[그림 Ⅲ-1] 연구 방법 모식도 ····· 59
[그림 Ⅲ-2] 화학 결합 증강현실 앱의 실제적 개발 과정 ····· 63
[그림 Ⅲ-3] 교육적 어포던스 관점의 화학 결합 증강현실 앱 개발 중점 사안 ····· 65
[그림 Ⅲ-4] 화학 결합 증강현실 앱의 주요 Class Diagram ····· 69
[그림 Ⅲ-5] 화학 결합 증강현실 앱의 주요 Flow Chart ····· 71
[그림 Ⅲ-6] 나선형 자료 분석 단계(Creswell & Creswell, 2017) ····· 74
[그림 Ⅲ-7] ARLES model에서의 증강현실 사용성 태도에 대한 하위 영역의 관계도(Wojciechowski & Cellary, 2013) ····· 76
[그림 Ⅲ-8] POGIL-MAR 활동 사진 및 영상 QR ····· 82
[그림 Ⅳ-1] 인지적 어포던스를 반영한 증강현실 앱 디자인 ····· 99
[그림 Ⅳ-2] 감각적 어포던스를 반영한 공유 결합 예시 ····· 101
[그림 Ⅳ-3] 감각적 어포던스를 반영한 이온 결합 예시 ····· 101
[그림 Ⅳ-4] 물리적 어포던스 반영 QR ····· 102
[그림 Ⅳ-5] 화학 결합 증강현실 앱의 작동 과정(예: 물분자) ····· 104
[그림 Ⅳ-6] 증강현실 애플리케이션 시연 ····· 105
[그림 Ⅳ-7] 화학 결합 증강현실 앱의 사용성 태도에 대한 하위 요인의 관계 결과 ····· 119

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 필요성

현대 화학에서 화학 결합은 이온성 화합물과 분자 구분의 기본이 되는 개념으로, 화학 학습에서 학생들이 알아야 할 핵심 개념 중 하나이다(Hurst, 2002). 2015 개정 과학과 교육과정에서도 화학 결합은 중요하게 다뤄지고 있다. 중학교 과정에서 물질의 입자에 대한 기본 개념이 처음 제시되며, 이를 학습하고 난 다음 간단한 분자와 이온 형성과정을 학습하도록 구성되어 있다. 고등학교 과정에서는 통합과학과 화학Ⅰ 교과에서 전자배치 규칙을 학습한 뒤 입자 모형을 이용하여 이온 결합, 공유 결합을 학습하는데, 화학Ⅰ에서는 전자쌍 반발 원리(VSEPR)로 분자의 모양을 추론하는 내용도 성취기준에 제시되어 있다(교육부, 2015). 즉, 화학 결합에 대한 체계적인 이해를 위해 중학교와 고등학교 과정에서 유기적으로 다루고 있음을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 지각을 구성하는 규산염의 사면체 구조, 생명체 속의 기본 단위, 그리고 지구와 생명체의 구성 물질 등의 설명에도 화학 결합이 등장한다(교육부, 2015). 이처럼 화학 결합은 지구과학 분야, 생명과학 분야 등 과학 전반에 걸쳐서 다루어지기 때문에 이에 대한 학습은 필수적이라 할 수 있다.

대학교 과정에서도 화학 결합은 탄소 화합물, 단백질, 산과 염기, 화학 에너지, 열역학 등 화학을 이해하는 데 필수적인 개념으로, 화학 교육과정에서 중요한 위치를 차지하고 있다(백은숙, 2020; Hurst, 2002). 또한, 화학 결합은 화학과 유기화학에 대한 학습의 기초이자 분석 화학의 분광학에 이르기까지 화학 학습에 있어서 중요한 개념이다(Nicoll, 2001).

그러나 학생들은 화학 결합을 학습하는 과정에서 어려움을 경험하곤 한다(Bergqvist et al., 2013; Butts & Smith, 1987; Griffiths & Preston, 1992; Harrison & Treagust, 2000; Nahum et al., 2007). 이는 화학 결합

이 본질적으로 미시적인 특징을 보이기 때문이다. 화학 결합은 눈에 직접적으로 보이는 것이 아닌 추상적인 개념이기 때문에 학생들은 이를 상상하거나 거시적인 현상과 연결시키기 어려워한다. 예를 들어, 이온 화합물이 분자로 된 공유 결합이라고 잘못 이해할 뿐만 아니라, 공간적 사고 능력이 부족하여 분자 구조를 제대로 이해하는 데 어려움을 겪기도 한다(Bergqvist et al., 2013; Butts & Smith, 1987; Furio & Calatayud, 1996; Tuckey et al., 1991; Wu & Shah, 2004). 이로 인해 교과서 위주의 교사 설명을 통해 결합 모양을 학습한 학생들이 분자 구조를 평면으로 생각하려는 경향을 보이기도 하며(Bergqvist et al., 2013), 입체적 분자 구조에 대해 3차원적 배열을 고려하기보다 루이스 구조식에서 분자 모양을 결정하는 경향을 보이기도 한다(Furio & Calatayud, 1996; Tuckey et al., 1991). 이에 연구자들은 명확한 화학 결합 개념 형성을 위해 다양한 화합물의 예시를 접할 수 있도록 학생들이 모형을 직접 그려보거나 설명할 수 있는 새로운 학습 방법의 필요성을 제안하였다(신혜영 & 우애자, 2016). 따라서 화학 결합 이해의 어려움을 해결하기 위해서는 화학 수업에 사용되는 학습 도구의 개선과 이에 적절한 교수학습 방법이 필요한 실정이다.

한편, 정보 통신 기술(ICT)의 발전과 함께 언제 어디서든 사용이 가능한 태블릿 PC, 스마트폰과 같은 기기의 보편화, 대중화로 시공간의 제약을 뛰어넘어선 삶을 영위하게 되었다. 무엇보다 현재 우리가 겪고 있는 사회를 4차 산업혁명 시대라 일컬으며, 지식기반사회라고도 한다. '4차 산업혁명'은 정보통신기술이 다양한 산업들과의 결합으로 지금까지는 볼 수 없었던 새로운 형태로의 창출을 의미한다(김성범 & 강성현, 2016). 이러한 4차 산업혁명으로 교육, 경제, 문화 영역에 많은 변화를 겪고 있으며, 특히, 교육에 있어 이러한 기술적 발전은 새로운 학습 형태로의 교육 패러다임으로 변화될 것으로 예상된다. 넘쳐나는 지식의 홍수 속에 교육의 방향이 주입식 형태의 지식 암기에서 벗어나 지식을 활용하는 방법적 측면의 접근으로 변화하면서, 학교 교육에서 테크놀로지 도입의 필요성이 강조되고 있다(강인애 외, 2006; Wong et al., 2015).

이에 교육부는 ‘지능정보사회의 소양을 갖추고 세계를 선도하는 인재 양성’을 목표로 과학교육 종합계획을 세워 발표하고 운영하고 있다. 교육부가 지난 3차 과학교육 종합계획(2016～2020) 추진의 한계 및 시사점으로 첨단 기술 활용이 가능한 교육 환경과 수업 방법의 혁신이 필요함을 언급하였다. 미래 교육에 대비하여 과학교육의 혁신방안을 제시한 제4차 과학교육 종합계획(2020～2024)에서는 지능형 과학교육 환경 조성 추진을 위한 전략으로 증강현실(AR), 가상현실(VR), 인공지능(AI) 등 첨단 과학기술을 적용한 지능형 과학실 구축 계획을 발표하였다(교육부, 2020). 이를 통해 첨단 과학기술을 활용한 온・오프라인 탐구실험 활동으로 학교 과학실의 한계를 극복하고, 학생 참여 중심 자기 주도 과학 학습이 가능하도록 지원하여 학생들의 과학에 대한 흥미와 학습에 자신감을 높이는 데 중요한 역할을 하리라 기대하고 있다.

첨단 과학기술 중에서 증강현실(AR)은 학생들의 활동을 향상시켜주고 학생 중심의 학습 환경을 만들어 주기 때문에, 다양한 교육 분야에서 주목을 받아 왔다. 증강현실은 실제 카메라 이미지와 특정 지점에 배치된 가상 물체를 통해 실제와 가상 객체의 상호작용을 일으키는 기술로(계보경 & 김영수, 2008; Azuma, 1997; Erbas & Demirer, 2019), 3차원 가상 객체와 실제 객체의 결합으로 실시간 상호작용하여 현실감과 실재감 있는 학습 경험을 가능하게 한다(Milgram & Kishino, 1994). 또한, 증강현실 기술은 보이지 않고 시각화하기 어려운 내용의 3차원 표현을 가능하게 함으로써 학생들에게 이해를 제공한다(Cai et al., 2014; Wu et al., 2013).

이러한 증강현실을 활용한 과학교육 선행 연구에서, 다음과 같은 여러 가지 교육적 이점이 주장되었다. 증강현실을 활용한 학습이 학생들에게 직접 조작에 의한 학습 경험을 제공해 주었을 뿐만 아니라(계보경 & 김영수, 2008; Sumadio & Rambli, 2010), 학생들의 적극적인 참여를 이끌어내어 수업에 대한 동기가 부여되었고, 학습 태도에도 긍정적인 영향을 주었다(Cai et al., 2013; Cai et al., 2014; Sumadio & Rambli, 2010). 또한, 증강현실 활용을 통해 학생들의 학업 수준도 향상되었기에(Ibáñez et

al., 2014; Lin et al., 2013), 과학교육의 다양한 영역에서도 증강현실 기술의 교육적 이점이 공유되고 있음을 알 수 있다(Alizkan et al., 2021; Arici et al., 2019). 이러한 연구 결과들은 정의적 영역이 인지적 영역보다 상대적으로 낮은 우리나라 학생들의 인지적, 정의적 성취 불일치 문제에 증강현실을 활용한 학습이 하나의 해결 방안이 될 수 있음을 시사한다(곽영순, 2017; 상경아 외, 2016; 정수임 & 신동희, 2017).

또한, 증강현실은 학생들이 실제 세계에서 볼 수 없거나 경험하기 힘든 실험의 적용에 도입되어 교육적 효과를 보여주었다(김혜나, 2018; Bacca et al., 2014). 특히 증강현실이 미시세계를 다루고 있는 화학 결합을 가시화해 줌으로써, 학생들이 화학 결합 학습에서 겪는 어려움을 해소시켜 줄 수 있는 방안으로 기대되고 있다.

화학 결합에 대하여 증강현실 기술을 적용한 선행 연구들을 살펴보면, 기술적, 교육적 측면에서 몇 가지 보완되어야 할 내용이 존재하였다. 기술적 측면에서 Núñez et al.(2008)과 Cen et al.(2019)은 자신들이 개발한 증강현실이 마커를 조합하여 인식할 수 있는 시스템이 아니라, 하나의 카드 위에 바로 결합이 증강되어 나타나 조작의 자율과 탐색에 한계가 있다고 언급하였다. Iordache et al.(2012)은 증강현실에 특화된 고가의 기기가 필요했으며, Cai et al.(2014)는 컴퓨터에 장착된 웹캠과 같은 좀 더 보편화된 인식도구의 사용으로 다양한 현장 적용 가능성을 보여주었으나, 인식의 불안정이 제기되어 개선이 필요하였다. 국내 연구에서는 신석진 외(2020a, 2020b)가 수업 환경의 제약을 덜 받는 스마트폰의 증강현실 앱 개발로 기술적 환경의 진전을 보여주었으나, 보어 모형만 제시하고 실제적 결합인 3차원 결합의 모습은 구현되지 않아 학습 내용에 한계가 있었다. 더욱이 지금까지의 연구들은 가능한 화학 결합 구조의 종류가 10가지 내외로 다양한 결합의 가능성을 보여주기 어려운 한계점이 있었다.

교육적 연구 측면으로는, 이제까지의 연구가 증강현실 학습 도구의 개발과 증강현실 교육 환경 분석에 집중되어(신석진 외, 2020b; Cai et al., 2014; Cen et al., 2019; Iordache et al., 2012; Núñez et al., 2008), 실제

교육 현장 적용을 위해 개발되어야 할 교수학습 측면의 연구는 미비하였다. 또한, 증강현실 사용이 학업성취도가 낮은 학생들에게 효과가 있는 도구임을 증명하였지만, 학업성취도 상위권 학생들에게는 유의미한 향상은 나타나지 않아(Cai et al., 2014), 이를 해결하기 위한 방법도 모색할 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 지금까지의 연구에서 언급된 기술적 측면에서의 한계점을 보완하고자 다양한 조합으로 결합을 보여줄 수 있는 마커조합형 증강현실 화학 결합 애플리케이션을 개발하고, 교육적 연구 측면으로 이를 학교 현장에 적용하여 학습 효과를 알아보고자 한다.

학습 효과에 대한 연구를 위해 증강현실 학습 도구를 적용한 교수학습을 제안하고자 한다. 이에 대한 교수학습 방법으로 과정지향 안내탐구학습(Process Oriented Guided inquiry Learning, 이하 'POGIL')을 선택하였다. POGIL은 5E 또는 7E의 순환학습 모형과 그 맥락을 같이 하고 있는 학생 중심 교수학습 전략으로, 학생들은 교사로부터가 아닌 학생 간 상호작용으로 소그룹에서 학습 개념을 개발하며 이러한 과정 가운데 문제 해결 능력, 비판적 사고와 의사소통 능력 등을 터득하게 된다(Moog et al., 2006; Moog & Spencer, 2008). 즉, POGIL을 통해 과학 개념의 습득과 과학적 탐구 기능을 함양할 수 있다.

이러한 교수학습 방법이 해외에서는 보편적으로 적용되고 있으며, POGIL에 대한 많은 연구가 진행되어 학습 효과에 대한 의미있는 보고가 나오고 있다(Conway, 2014; Hein, 2012; Walker & Warfa, 2017). 구체적으로 분자 구조를 비롯한 다양한 화학 학습과 관련하여 전통적 강의 그룹보다 POGIL 그룹이 통계적으로 유의미한 학업성취도 향상을 보였고(Canelas et al., 2019; Hein, 2012; Walker & Warfa, 2017), 화학 학습에 대한 태도와 자아효능감이 POGIL의 개입으로 인해 통계적으로 유의미한 향상을 보였다(Vishnumolakala et al., 2017). 이는 POGIL 교수학습 방법이 학생들에게 긍정적인 인지적, 정서적 경험을 제공했음을 시사한다. 국내에서는 다양한 순환학습 모형을 적용해왔으나, POGIL을 적용한 연구는 없는 것으로 보여, 화학 결합에 대하여 POGIL 교수학습을 적용

해보고, 더 나아가 학습 효과에 긍정적 영향을 줄 수 있는 모바일 증강현실 기술을 도입한 새로운 POGIL 교수학습을 제안하여 그 효과를 검증해 볼 필요가 있다.

또한, 선행 연구에서 증강현실의 적용 효과가 학업성취 수준에 따라 다르게 나타난다는 보고가 있어, 성취도 상하위권 학생에게 효과적인 증강현실 학습 도구 사용을 위한 방법적 모색으로 스캐폴딩 설정에 따른 교수학습 효과에 대해서도 알아보고자 한다.

스캐폴딩은 학습 과정의 어려움을 줄여 학습의 효과를 높여주며(Azevedo & Hadwin, 2005; Ge & Er, 2005), 학습자에게 더 높은 인지적 활동을 하도록 도움을 줄 수 있다고 보고되었다(Saye & Brush, 2002). 따라서 교사는 적극적이고 긍정적인 상호작용을 위한 환경을 마련해줌으로써 학생이 스스로 문제를 해결할 수 있도록 학생의 필요에 따라 적절한 도움을 주어야 한다. 이를 통해 학생들은 개념을 구성하고 탐구 과정에 대한 다양한 기술을 익힐 수 있다. 학생들은 주어진 학습 환경에 따라 개념 획득의 과정과 적용이 달라질 수 있어, 이를 고려한 스캐폴딩의 적용이 필요하다.

스캐폴딩의 종류는 상호작용, 기능, 사용 목적에 따라 다양하게 분류될 수 있다. Cagiltay(2006)은 사용 목적에 따라 지원적, 성찰적, 절차적, 전략적 스캐폴딩으로 분류하였는데, 이 중 지원적 스캐폴딩은 학습자의 인지적 지식에 직접적 도움을 주는 스캐폴딩, 성찰적 스캐폴딩은 메타인지적 지식을 활용하여 학습의 어려움을 해결해줄 수 있는 스캐폴딩임을 강조하였다.

과학 교육 선행 연구에서 많이 활용되는 스캐폴딩 전략은 지원적 스캐폴딩과 메타인지적 스캐폴딩으로(강명희 외, 2009; 황경양 & 김회수, 2021; Kim & Lim, 2019), 이는 영역 지식과 메타인지적 사고와 밀접한 관련이 있기 때문이다(Kim & Lim, 2019). 그러나, 지금까지 연구 영역이 주로 웹 기반 학습에서의 스캐폴딩 종류에 따른 효과 입증을 다루고 있거나(강명희 외, 2009; 황경양 & 김회수, 2021; Kim & Lim, 2019), 탐구 기능 향상을 위한 스캐폴딩 적용에 대한 연구가 진행되어(이기영 외,

2019), 첨단 테크놀로지를 활용한 과학학습에서의 스캐폴딩 제공이 학습에 미치는 영향에 대해서도 알아볼 필요가 있다.

학업성취도가 높은 학생은 메타인지 활동이 활발하고(Brown & Palincsar, 1982), 메타인지 전략을 활용한 반성적 사고 훈련이 성취도가 높은 학생들에게는 올바른 과학 개념 이해에 중요한 역할을 한다고 보고되었다(정애진 외, 2011; Michalsky et al., 2009). 이는 이러한 성향을 반영한 성찰적 스캐폴딩의 적용이 학업성취도가 높은 학생들에게 학습 효과를 가져다 줄 것으로 예상되어진다. 한편 영역적 지식에 대한 직접적 도움을 제공하는 지원적 스캐폴딩의 적용은 학업성취도가 낮은 학생들에게 도움이 되리라 예상되어진다. 따라서 모바일 증강현실을 활용한 POGIL 교수학습 방법에 지원적 스캐폴딩과 성찰적 스캐폴딩을 적용하여 사전 학업성취도 수준에 따른 인지적, 정의적 측면에서의 학습 효과를 알아보고자 한다.

2. 연구 목적 및 연구 문제

본 연구의 목적은 화학 결합 학습에 적합한 모바일 증강현실 애플리케이션을 개발하고, 이를 실제 현장 수업에 적용하여 학습 효과를 살펴보는 것이다. 현장 수업은 두 가지 연구 방향을 설정하여 적용하였다. 하나는 개발한 애플리케이션을 기반으로 교수학습 방법을 제안하고 이에 대한 학습 효과를 분석하는 것이다. 다른 하나는 증강현실을 활용한 설계된 교수학습에서 서로 다른 스캐폴딩을 제공받은 학습자들의 성취 수준에 따른 학습 효과를 분석하는 것으로, 이를 통해 학습자의 특성에 맞는 증강현실 기반 스캐폴딩의 종류를 살펴보는 데 그 목적이 있다. 이상의 연구 목적을 바탕으로 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

1. 화학 결합 모바일 증강현실 애플리케이션(앱)의 개발은 타당한가?
1-1. 개발한 화학 결합 모바일 증강현실 앱의 교육적 활용 가능성에 대한 전문가들의 인식은 어떠한가?
1-2. 개발한 화학 결합 모바일 증강현실 앱에 대한 고등학생의 사용성 태도는 어떠한가?

2. 모바일 증강현실을 활용한 과정지향 안내탐구학습의 학습 효과는 어떠한가?
2-1. 모바일 증강현실을 활용한 과정지향 안내탐구학습이 고등학생의 인지적 영역에 미치는 영향은 어떠한가?
2-2. 모바일 증강현실을 활용한 과정지향 안내탐구학습이 고등학생의 정의적 영역에 미치는 영향은 어떠한가?

3. 스캐폴딩의 종류에 따른 모바일 증강현실을 활용한 과정지향 안내탐구학습의 학습 효과는 어떠한가?
3-1. 사전 성취 수준에 따라 지원적, 성찰적 스캐폴딩을 적용한 증강현실 기반 교수학습이 인지적 영역에 미치는 영향은 어떠한가?

3-2. 사전 성취 수준에 따라 지원적, 성찰적 스캐폴딩을 적용한 증강현실 기반 교수학습이 정의적 영역에 미치는 영향은 어떠한가?

3. 용어 정리

증강현실(AR)

증강현실(Augmented Reality, 이하 'AR')은 실제 환경에 가상 물체가 겹쳐 보이도록 구현된 영상 기술로, 디스플레이 위에 현실 세계를 기반으로 컴퓨터 그래픽 가상 정보가 혼합되어 사용자에게 제공됨으로써 보다 향상된 몰입감과 현실감을 제공해준다(Azuma, 1997; Milgram & Kishino, 1994). 본 논문에서는 기술적 차원에서의 증강현실을 가리킬 때 이를 명료화하기 위해서 '증강현실 기술'로 표기하였다. 이에 대한 하위 개념으로 증강현실의 기술적 구현 방법 중 마커 조합의 증강현실 방법을 선택하였기에 '마커조합형 증강현실'로 표기하였으며, 증강현실의 사용 장치로 모바일 기기를 선택하여 '모바일 증강현실'(Mobile Augmented Reality, 이하 'MAR')로 표기하였다. 또한 모바일 증강현실을 도입하여 개발한 학습 도구에 대해서는 '모바일 증강현실 학습 도구'로 표기하였다.

과정지향 안내탐구학습(POGIL)

과정지향 안내탐구학습(Process Oriented Guided Inquiry Learning)은 안내된 탐구 활동지를 사용하여 지식 획득과 탐구 학습 기술을 증진하기 위해 제안된 학습 설계이다(Moog & Spencer, 2008). 3~5명의 학생이 한 그룹이 되어 학습을 위한 역할을 정하고 그룹 내 학생 간 능동적 상호작용을 통해 학습 지식을 구성하며, 비판적 사고 질문을 해결하는 과정 탐구 학습 기술도 습득하게 된다(Simonson, 2019; Talanguer &

Pollard, 2017). 본 논문에서는 원어 그대로를 사용하여 '과정지향 안내탐구학습'이라고 표기하거나 해외 연구자들이 보고한 논문에서 사용한 용어의 약자를 사용하여 'POGIL'로 표기하였다.

모바일 증강현실 활용 과정지향 안내탐구학습 (POGIL-MAR)

본 연구에서는 모바일 증강현실을 개발하여 이를 과정지향 안내탐구학습의 학습 도구로 사용하였으며, 증강현실과 접목한 교수학습 방법의 학습 효과를 알아보기 위해, '모바일 증강현실 활용 과정지향 안내탐구학습(POGIL using Mobile Augmented Reailty)'을 제안하였다. 이에 본 논문에서는 합성한 용어의 약자를 사용하여 'POGIL-MAR'로 표기하였다.

스캐폴딩(Scaffolding)

본 연구에서 스캐폴딩은 모바일 증강현실을 활용한 과정지향 안내탐구학습에서 비판적 사고질문에 대한 해결을 위해 도와주는 교수자의 도움 및 다양한 도구, 전략, 안내, 자원 등의 지원으로 정의하였다. 스캐폴딩의 종류는 Cailtay(2006)가 제안한 스캐폴딩 유형 중 지원적 스캐폴딩과 성찰적 스캐폴딩을 선정하여 학습자에게 제시하였다.

지원적 스캐폴딩(Supportive scaffolding)

지원적 스캐폴딩은 문제 해결에 필요한 개념적, 인지적 도움이나 영역적 지식에 대한 도움을 제공하는 스캐폴딩이다. 증강현실을 이용하여 POGIL 활동지에서 제공된 문제를 해결하며 개념을 구성하는 동안 교사는 주요 개념에 대한 적절한 설명 및 문제 해결과 관련된 읽기 자료나 웹 사이트 링크 등의 참고 자료를 제공하였다. 그리고 활동의 마무리로

조별 보고서를 작성하는 단계에서 적절한 양식을 제공하여 이를 채워가도록 하였다. 본 연구에서는 '지원적 스캐폴딩의 모바일 증강현실 활용 POGIL(Supportive Scaffolding POGIL using mobile augmented reality)' 설계를 제안하고, 이를 'SS'로 표기하였다.

성찰적 스캐폴딩(Reflective scaffolding)

성찰적 스캐폴딩은 문제를 해결하고자 할 때, 자신이 해야 하는 것이 무엇이고 어떻게 해야 하는지 등의 메타인지적 질문을 통해 성찰 행위를 명료하게 하도록 도와주는 스캐폴딩이다. POGIL 활동에서 교사는 문제 해결에 필요한 탐색적 질문과 이를 해결하기 위한 단서를 제공하고, 조별 보고서를 작성하는 단계에서는 작성 예시의 전문가 모델을 제시하여 도움을 주었다. 또한 학습 과정에 대한 자기점검표와 성찰일지를 제공하여 학습 과정에 대한 점검 및 자기 반성의 시간을 갖도록 하였다. 본 연구는 '성찰적 스캐폴딩의 모바일 증강현실 활용 POGIL(Reflective scaffolding POGIL using mobile augmented reality)' 설계를 제안하였고, 이를 'RS'로 표기하였다.

4. 연구의 한계

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서는 화학 결합 증강현실 앱의 개발을 위해 '결합이 가능한 각도'를 중점 사안 중 하나로 내세워 결합각을 고려한 카드의 조합만 결합이 형성되도록 구현하고자 하였으나, 입체 구조를 지닌 몇 가지 분자에 대한 한계가 존재하였다. 예를 들면, 메테인과 같은 사면체 구조의 경우는 결합각이 입체 구조 내의 탄소 원자를 중심으로 이루어지므로, 카드 조합이 이뤄지는 2차원 평면에서는 이러한 입체 구조의 결합각을 구현하기 어려워 카드 조합이 중심 원자 주변으로 십자 배열을 이루면 결합이 형성되도록 하였다.

둘째, 가능한 결합의 종류에서 탄화수소와 같은 탄소 3개 이상의 분자

구조와 방향족 화합물인 벤젠과 같은 공명 구조는 제외하였다. 이는 2015 개정 교육과정의 화학Ⅰ 내용의 적정화를 반영한 결과이다.

셋째, 본 연구는 고등학생을 대상으로 화학 결합에 한해서 연구한 결과를 제시하였기 때문에, 연구의 결과를 모든 대상, 모든 과목에 한하여 확대 적용할 수 없다. 화학 결합 이해에 어려움을 겪고 있는 고등학생들을 대상으로 진행된 연구이기에, 특정 대상, 특정 주제로 연구 결과를 일반화하는 데 한계가 있다. 따라서 다양한 과학 주제에 대한 증강현실 학습 도구와 교수학습의 개발이 필요하며, 이를 다양한 연구 대상에게 적용하여 이에 대한 학습 효과를 알아보는 연구가 지속적으로 진행될 필요가 있다.

넷째, 증강현실 학습 도구를 적용한 교수학습 방법을 제안하여 이에 대한 학습 효과를 통계적으로 조사하였기에 구체적으로 어떤 요인으로 인해 위와 같은 학습 효과를 가져다준 것인지 수업 맥락적 차원에서 보다 심층적인 분석이 필요하다고 본다. 학습자의 특성을 보다 면밀히 분석하여 수업 맥락적 측면에서 각 집단별 학습 활동 중 경험한 도움이나 어려움, 학생들의 상호작용 등을 알아보고, 증강현실 학습 도구를 사용하는 학습자에게 적합한 교수학습 방법의 요소들을 찾아볼 필요가 있다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. 화학 결합

1.1. 화학 결합의 연계성과 위상

연계성의 사전적 정의는 '학년이나 학교 수준 사이의 교육내용이 적절한 관련을 맺고 있는 상태'로(서울대사범대학교육연구소, 1989, p368), 교육제도 내에서 학습자에 대한 효율적 지도와 개발을 위해 교육과정을 포함한 여러 학습 요소를 수평적 및 수직적으로 관련짓는 것을 의미한다(김진숙 외, 2013; 박근희, 2001; 이명근, 1984). 이처럼 교육과정의 연계성은 수직적 연계성(vertical connection)과 수평적 연계성(horizontal connection)으로 구분할 수 있다. 수직적 연계성은 계속성 및 계열성을 포함하여 시간상 서로 다른 학년이나 학교 급간의 연결성 여부에 초점을 두는 것으로, 이전 학년의 내용을 기초로 다음 내용을 심화 및 확대하여 전개하는 것을 의미한다. 수평적 연계성은 통합성을 포함한 동일시기에 다른 교육과정과의 관련성을 보는 것으로, 동일한 학교 또는 학년 수준에서 교과 간 또는 교과 내에서의 다른 영역 간의 관련성을 분석하는 것이다(김진숙 외, 2013; 유영의 & 김은정, 2013; 이윤아 & 이효녕, 2016). 이러한 연계성의 정의에 의거하여 본 연구 주제인 화학 결합에 대한 교육과정의 연계성에 대해서 살펴보고자 한다.

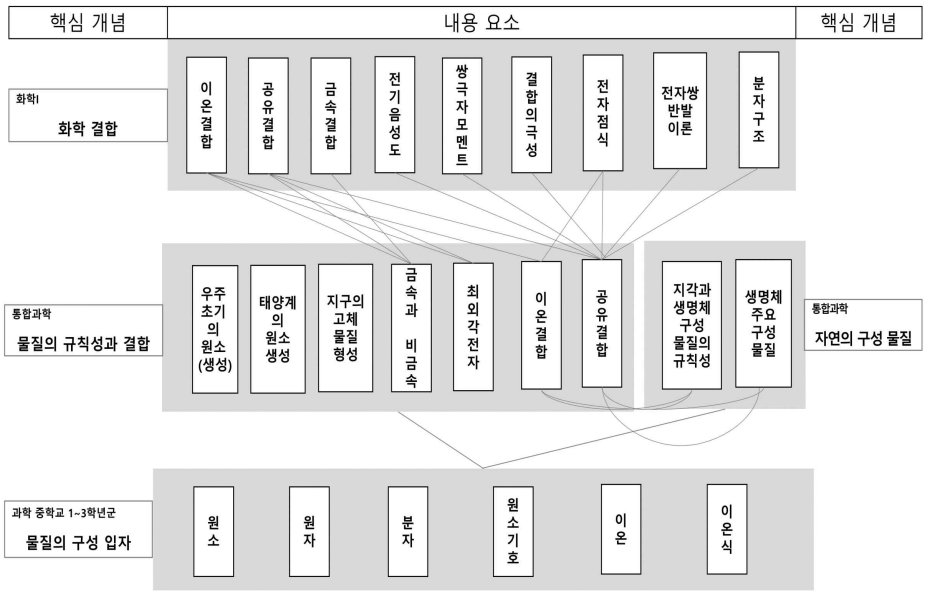
2015 개정 과학과 교육과정에서 화학 결합과 관련된 내용 요소 간의 연계성 관계 도표는 [그림 Ⅱ-1]과 같다. 화학 결합과 관련된 내용은 중학교 1~3학년 군의 '물질의 구조' 영역에서 처음으로 제시된다. 핵심 개념은 '물질의 구성 입자'이며, 이에 대한 내용 요소는 '원소, 원자, 분자, 원소 기호, 이온, 이온식'이다. 이 영역을 통해 원자, 분자, 이온에 대한 기본 개념을 이해하고 원소 기호의 표현 방법이 물질 표현의 효율적인 방법임을 깨닫도록 하며, 원자 개념을 통해 간단한 분자와 이온 과정의

형성을 이해하도록 한다. 이는 화학이라는 학문을 이해하기 위한 필수 개념이자 화학 결합 이해에 필요한 선수 개념으로 작용한다. 이 영역은 고등학교에서 학습하게 되는 통합과학 교과의 '물질과 규칙성'과 화학Ⅰ 교과의 '화학 결합과 분자의 세계'와 연계된다.

통합과학 교과의 '물질과 규칙성' 영역에서 화학 결합과 직접적으로 연관된 핵심 개념은 '물질의 규칙성과 결합'과 '자연의 구성 물질'이다. '물질의 규칙성과 결합'에서 관련 내용 요소는 '금속과 비금속, 최외각 전자, 에너지 준위, 이온 결합, 공유 결합'으로, 구체적으로 원소를 금속과 비금속으로 구분하고 주기율표 상에서 원소의 성질에 대한 주기성 현상을 통해 자연의 규칙성을 찾도록 한다. 이와 관련하여 학생들은 원자 보어 모형을 통해 최외각 전자와 에너지 준위 개념을 학습하게 되며, 이를 바탕으로 안정성을 지닌 원소를 예를 들어 화학 결합의 형성 이유에 대해 이해하도록 구성되어 있다. 또한, 지구와 생명체를 구성하는 물질의 화학 결합 종류 중 이온 결합과 공유 결합에 대해 각 결합의 형성 원리 및 성질을 학습한다. '자연의 구성물질'의 핵심 개념에서 '지각과 생명체 구성 물질의 규칙성, 생명체 주요 구성 물질'의 내용 요소를 통해 물질의 다양성을 이해하게 되는데, 이는 앞선 '물질의 규칙성과 결합'과 수평적 연계성을 지니고 있다. 즉, 지각과 생명체를 구성하는 다양한 광물 및 탄소 화합물에 대한 결합의 규칙성 발견과 생명체를 구성하는 핵산과 단백질의 구조적 특징 및 규칙성을 학습하는 과정이 지구와 우주, 생명 영역의 관련된 부분과 연계성이 있음을 확인할 수 있다.

화학Ⅰ 교과의 '물질의 구조(화학 결합과 분자의 세계)' 영역에 대한 핵심 개념은 '화학 결합'으로, 이 영역에서는 통합 과학에서의 화학 결합 개념의 심화된 내용으로 다루어지며, 학생들은 화학 결합의 원리를 입자 간 거리에 따른 입자 간 상호작용의 관점으로 학습하고 이를 통해 형성된 결합을 루이스 전자점식으로 표현하는 방법을 배우게 된다. 더욱이 실제 존재하는 분자의 구조가 어떤 이론에 입각하여 다루어지는지를 이해하고, 이에 따른 분자 구조를 해석하며 가능한 분자 구조를 찾아가는 과정을 통해 구조의 다양성을 학습하게 된다. 이를 내용 요소 간의 수직적 연계성으로 살펴보면[그림 Ⅱ-1], 화학Ⅰ의 '이온 결합, 공유 결합, 금속 결합'은 결합의 종류에 대한 내용 요소로 통합과학의 '금속과 비금속,

최외각 전자, 이온 결합, 공유 결합'과 연계된 내용 요소임을 확인할 수 있다. '물질의 구조(화학 결합과 분자의 세계)' 영역은 분자에 대한 내용을 보다 자세하게 다루고 있어, '전기음성도, 쌍극자모멘트, 결합의 극성, 전자점식, 전자쌍 반발 이론, 분자 구조'의 내용 요소가 통합과학의 '공유 결합'과 연계된 내용 요소임을 확인할 수 있다.



[그림 Ⅱ-1] 화학 결합 관련 2015 개정 과학과 교육과정의 내용 요소 연계성

한편, 지금까지 화학 결합 관련 2015 개정 과학과 교육과정에서의 연계성을 살펴보았다면, 대학교 입문 수준의 화학 내용이 담긴 일반 화학의 내용 요소 가운데 화학 결합의 위상을 살펴보고자 한다.

Gillespie(1997)은 화학을 이해하기 위한 필수 아이디어로 6가지를 제시하였다. 6가지 아이디어는 원자, 분자 및 이온, 화학 결합, 분자 형태 및 기하학, 운동 이론, 화학 반응, 에너지와 엔트로피이며, 화학에 대한 기본적인 이해는 다양한 과학 분야를 수학하기 위한 전문적 지식 함양의 토대가 될 것이라 기대하고 화학의 중요성을 강조하였다. 이중 화학 결합은 원자, 분자, 이온의 입자에 대한 이해가 선행되며, 입자 간 상호작용으로 결합이 형성되고 이들의 결합 구조로 물질의 특성에 대한 이해가

가능하다고 언급하였다.

일반 화학 교재의 내용 요소를 추출하고 이들 간의 관련성을 연구한 백은숙(2020)의 연구에 따르면, 화학 결합은 원자, 분자, 이온 등과 같은 화학의 기본 개념의 이해를 바탕으로 고체, 액체, 기체뿐만 아니라 열역학, 전기화학, 반응속도론에 이르기까지 화학의 전반적인 내용을 이해하기 위한 매개 역할을 하고 있는 중요한 내용 요소임을 확인할 수 있다. 이는 Husrt(2002)가 화학 결합이 탄소 화합물, 단백질, 산과 염기, 화학 에너지, 열역학 등 화학을 이해하기 위해 필수적인 개념이라 언급한 부분과 일맥상통한다. 이처럼 화학 결합이 화학 교육과정에서 중요한 위치를 차지하고 있음을 알 수 있다.

1.2. 화학 결합 학습의 어려움

화학 결합이 화학의 전반적인 내용 이해에 중요한 내용임에도 불구하고 화학 결합 학습에 다양한 이유로 오개념이 발생하곤 한다. 잘못된 이해로 인해 학생들은 화학 결합 학습에 어려움을 겪기도 하며, 오개념이 방치된 상태로 다른 화학 개념을 학습하여 또 다른 오개념이 발생하기도 한다. 본 절에서는 화학 결합 이해에 대한 어려움을 학생들에게서 나타나는 오개념과 관련지어 제시하고자 하며, Bergqvist et al.(2013)의 구분 방법을 참고하여 결합의 종류에 따른 어려움을 구체적으로 살펴보고자 한다. 결합의 종류는 크게 이온 결합, 공유 결합, 금속 결합으로 구분되나, 본 연구와 직접적 연관이 있는 이온 결합과 공유 결합에 한해서만 살펴보고자 한다.

1.2.1. 이온 결합

Butts & Smith(1987)는 고등학교 12학년을 대상으로 화학 결합에 대한 이해를 연구한 결과, 학생들이 공유 결합과 이온 결합에 대해 혼동하고 있다고 발표하였다. 연구한 26명의 학생 중 10명이 고체 염화나트륨이 공유 결합으로 결합된 분자라고 응답하였으며, 4명의 학생만이 염화

나트륨의 3차원 결정 격자구조를 분명하게 이해하고 있음을 보고하였다. 또한, 학생들은 고체 염화나트륨의 3차원 볼 앤 스틱(Ball and stick) 모형에 대한 해석을 혼란스러워 하기도 하였는데, 각 공에 부착된 6개의 막대기에 대한 해석에 대해, '나트륨과 염소가 이온 결합이 하나 있고 나머지 5개는 물리적 결합을 하고 있다'거나 '염소의 최외각 전자와 연결하기 위해 7개의 막대기가 있어야 한다' 등의 언급을 하기도 하였다. 이에 대해 연구자들은 학습 이해를 돕는 도구가 혼란을 야기하는 것을 우려하며 도구의 적절성 판단이 필요함을 언급하면서 염화나트륨에 대한 공간 채우기 모델 사용을 제안하였다. 또한, 이온 결합과 공유 결합의 결합 개념에 대한 비교 및 대조를 보다 명확하게 할 필요가 있고, 고체 결정의 배열에 대한 다양한 예시를 제공할 필요가 있음을 언급하였다.

Othman et al.(2008)은 학생들이 이온 결합 물질을 분자로 이해하거나, 이온 쌍으로 구성된 물질이라 이해하는 경향을 보인다고 보고하였다. 더욱이, 이온 결합 물질에 원자가 존재하며 화합물이 녹으면 원자가 이온이 된다고 언급하였는데, 이는 이온 결합 물질이 물에 용해될 때 전기전도성이 발현되는 이유가 자유전자 때문이라는 학생들이 지닌 선개념과 혼합되어 생성된 오개념의 한 사례를 보여준다.

Barke et al.(2009)은 염화나트륨 결정이 이온으로 구성된 것이 아닌 용해되는 과정에서 생성되는 것으로 이해하는 경향이 있다고 보고하였다. 이에 이온 결합 설명을 위한 개념을 명확히 제시할 필요가 있으며, 이온 결정의 배열을 제시하여 학생이 가진 선개념과의 비교로 과학적 개념을 강화할 필요가 있음을 언급하였다.

신혜영 & 우애자(2016)는 2009 개정 교육과정의 교과서에 제시된 이온 결합 화합물의 설명 개념과 모형을 분석하고, 중고등학생을 대상으로 학생들의 이해도를 알아보았다. 학생들은 이온의 형성 과정, 결합비에 대한 과학적 개념에 취약하였을 뿐만 아니라, 결정의 2차원 모형에 대한 이해도는 높았으나 3차원 모형은 어려워하는 것으로 나타났다. 또한, 이온 결합의 형성을 분자로 된 공유 결합이라고 잘못 이해하는 경우가 있어, 결합의 원리를 명확하게 이해하기 위해 관련 과학적 개념을 명확하게 제시하고 다양한 모형을 설명 및 제시함으로써 개념 형성에 도움을 주어야 한다고 언급하였다.

이러한 선행 연구 결과로부터 이온 결합에 대한 이해의 어려움은 이온 결합 원리의 정확한 이해 부족, 이온 결합을 설명하기 위한 관련 개념의 부재, 제시된 모형에 대한 올바른 해석의 부족에 의해 나타난 결과라고 볼 수 있다.

1.2.2. 공유 결합

Tuckey et al.(1991)은 화학 결합 학습 이해에 필요한 3차원적 사고에 대한 어려움을 알아보고자 볼 앤 스틱 모형으로 제시된 분자의 2차원 표현(종이상)을 3차원으로 이해하기 위해 공간에 대한 깊이 능력의 사용 여부, 정팔면체 구조의 X, Y, Z 축 회전을 통한 2차원 평면 상에 표현 예측, XY, XZ, YZ 평면에 대한 반사를 통해 2차원 평면상에 나타나는 표현 예측 등을 대학교 2학년을 대상으로 단계적으로 분석하였다. 이를 통해 대학 레벨에서도 여전히 많은 학생들이 3차원 사고의 어려움을 겪고 있음을 밝혔다.

Furio & Calatayud(1996)는 12학년, 대학교 1학년, 3학년을 대상으로 분자의 기하학적 구조 및 극성에 대한 어려움에 대해 알아보고자 분자 구조와 분자의 극성에 대한 진단 평가를 실시하였다. 그 결과, 학생들은 XY_Z 분자에서 중심 원자의 최외각 전자로부터 예측할 수 있는 분자의 기하학적 구조에 대해 최외각 전자 수를 찾지 못하거나, 3차원 공간 능력에 대한 부족으로 구조 예측을 어려워하기도 하였다. 또한, 루이스 구조식을 제시하고 이를 통해 3차원 구조를 예측하는 과정에서 루이스 구조식에서의 결합선 즉, 공유 전자쌍만을 고려하여 3차원 구조를 예측하는 경향이 있음을 보였다.

Birk & Kurtz(1999)는 결합의 극성, 분자 형태, 분자 극성, 격자, 분자 간 힘, 옥텟 규칙 등에 대한 이해를 조사하여, 학생들에게서 각 영역에 대한 개념적, 현상적 오개념이 발생하였음을 보고하였다. 예컨대, 분자의 모양이 단순 결합쌍의 반발에 의해서만 기인한다든지, 또는 비결합 전자쌍 사이의 반발에 의해서만 기인한다고 이해하고 있으며, 모든 공유 결합은 전자쌍의 균등 분배로 이루어져 있다고 보고하였다.

고기환 외(2007)는 화학 결합 단원의 학습 어려움에 대한 교사와 학생

의 인식을 살펴본 연구에서, 학생이 가장 어렵다고 느낀 단원은 '전기음성도'였으나 교사가 가르치기 어렵다고 생각한 단원은 '분자의 모양'으로, 학생과 교사가 어렵다고 인식한 내용이 차이가 있음을 보고하였다. 학생들은 전기음성도를 전자친화도와 혼동하며 실제 보고 느낄 수 없는 내용이라 어렵다고 응답하였으며, 교사는 학생들이 공간적 지각능력이 떨어져 분자 구조를 예측하는 데 어려움을 겪고 있어 수업하기 어렵다고 응답하였다.

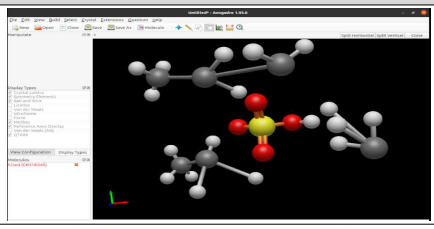
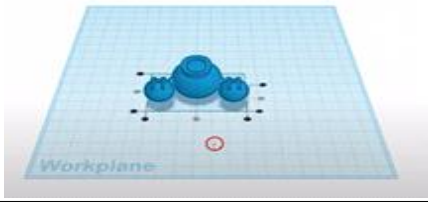
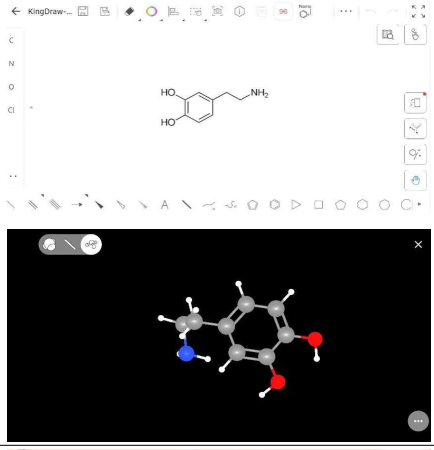
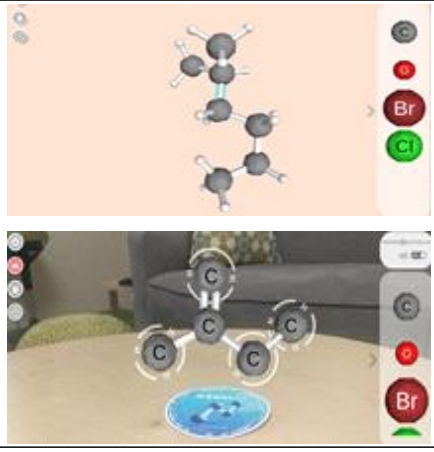
Bergqvist et al.(2013)은 고등학교 2학년 화학 교과서에 제시된 화학 결합의 내용을 분석하고 학생들의 대안 개념 및 이해의 어려움을 지적하며, 화학 결합에 제시된 모델에 대한 정확한 개념, 출처, 한계를 밝혀 학생들의 이해를 도울 것을 권고하였다. 또한, 화학 결합의 설명 체계를 제시하여 이해의 흐름에 도움이 되도록 교과서의 개념 체계의 중요성을 강조하였다. 무엇보다 교과서 위주의 교사 설명을 통해 결합 구조를 학습한 학생들은 분자 구조를 평면으로 생각하는 경향을 보여, 교과서의 한계를 언급하고 구조 설명에 필요한 다양한 대안적 도구 사용의 필요성을 제시하였다.

이러한 선행 연구 결과로부터 공유 결합 이해에 대한 어려움은 공유 결합과 관련한 다양한 개념의 명확한 이해 부족, 개념 간 연결성 부재, 분자 구조에 대한 공간적 사고 능력 부족에 의해 나타난 결과라고 볼 수 있다.

1.3. 화학 결합과 관련된 에듀테크 사례

화학 결합과 관련하여 여러 기술들이 에듀테크 시장에 공개되고 있다 <표 Ⅱ-1>.

<표 Ⅱ-1> 화학 결합 관련 에듀테크 사례

소프트웨어	대표 이미지	특징
Avogadro		• 2008년 출시 • PC용 화학 결합 편집 프로그램 • 자유자재로 분자구조 구성 • 3차원 구조 회전 • 실제 결합이 아닌 구조도 구현
Tinkercad		• 2011년 출시 • web browser용 3D 모델링 프로그램 • 원자모양인 구, 연결고리인 실린더를 이용하여 자유자재로 설계
Kingdraw: chemistry station		• 2018년 출시 • Windows, Andorid, iOS 호환 • 탄소 골격 구조로부터 고분자 형성 • 화합물의 IUPAC명 변환 • 3차원 구조 확인 • 클라우드 내 구조 공유 가능
ModelAR Organic Chemistry		• 2019년 출시 • 모바일 Andorid 애플리케이션 • 자유자재로 분자구조 구성 • 3차원 구조 회전에 증강현실 마커 이용 • 실제 결합이 아닌 구조도 구현

VlabON	 	• 2022년 출시 • web browser용 가상현실 프로그램 • 15개의 화합물에 대해 단계적으로 3차원 분자 구조 구현 • 화합물 구성에 필요한 원소 제공. 마우스 클릭으로 결합 연결 • 가상 아바타가 분자 구조 형성 안내

Avogadro는 2008년에 출시된 PC용 화학 결합 에디터로 다양한 원자들을 3차원에서 결합하여 원하는 분자로 조합할 수 있는 소프트웨어이다. 이원자 분자부터 고분자까지 제한 없이 자유 자재로 사용자가 원하는 분자를 결합해 볼 수 있는 장점이 있다. 단점으로는 결합이 이루어질 수 없는 분자도 만들 수 있기 때문에 분자 형성에 대한 정확한 이해가 없이는 사용이 어렵다는 문제가 있다. 또한, PC에서 실행되는 프로그램이기에 컴퓨터 실습 장비가 구축된 학교 실험실에서만 사용할 수 있다는 단점이 있다.

Tinkercad 웹 소프트웨어는 간단한 3차원 물체인 구, 실리더 등을 쉽게 모델링 해주는 도구로서 해당 소프트웨어를 이용해 여러 분자 모형들을 제작하고 결과물을 3D 프린터에서 출력해 볼 수 있다. 하지만 일일이 결합을 이루는 실린더의 크기와 두께, 원자 구의 크기와 모양 등을 모두 디자인해야 하기에 교사가 여러 분자 모형을 3D 프린팅해서 수업 시간에 분자 모형 예시를 보여주는 용도로 사용하거나, 화학 결합 개념을 명확하게 이해하고 학습한 분자 구조를 확인하는 용도로 학생이 직접 제작하는 데 사용해볼 수 있으리라 본다.

Kingdraw: chemistry station은 2018년에 출시되어 PC, Android 및 iOS에서 작동이 가능한 화학 결합 편집 도구이다. 특징으로는 검색창에 화학 결합 이름을 쓰면 화학 결합 구조가 나타나며, 벤젠 구조로부터 다른 원자, 작용기 및 분자를 추가하면서 고분자 모양을 만들어 낼 수 있다. 화학 구조를 IUPAC 이름으로 변환해 줄 뿐만 아니라, 2차원 탄소

골격 구조를 3차원 입체 구조로도 볼 수 있다. 무엇보다 클라우드 시스템을 이용하여 모든 플랫폼에서 호환 가능할 뿐만 아니라 클라우드 내 접속한 모든 이들 간 구조를 공유할 수 있다. 다만, 해당 프로그램은 화합물의 구조 형태가 탄소 골격 구조로 제시되고 고분자 수준의 구조 확인에 최적화되어 있어, 화학식과 화합물에 익숙한 대학생 이상의 수준에서는 유용할 수 있으나 아직 화학 결합 개념의 입문 수준인 중고등학교 학생들이 배우는 화학 결합 교육용으로는 적합하지 못한 단점이 있다.

ModelAR Organic Chemistry은 모바일용 애플리케이션으로 2019년도에 출시되었다. 구글 안드로이드 스마트폰뿐만 아니라 아이폰에서도 동작이 가능하다. Avogadro와 같이 다양한 원자들을 결합하여 원하는 분자를 3차원으로 볼 수 있으며, 증강현실 기술을 이용하여 결합이 형성된 분자를 마커 위에 증강시키고 사용자가 마커를 회전하면서 분자 모델을 관찰할 수 있는 특정이 있다. 해당 앱도 Avogadro와 마찬가지로 자유도가 높기 때문에 분자 형성에 대한 이해가 필요하고, 증강현실 기술은 분자의 회전을 위해서만 사용되어 증강현실 기술로 마커 조합을 통해 화학 결합을 생성하는 애플리케이션보다 상호작용 효과가 덜한 단점이 있다.

마지막으로 VlabON은 KISTI에서 제작한 웹에서 실행되는 가상현실(VR) 소프트웨어로, 2022년 9월 출시에 출시되었으며 키보드 또는 마우스를 이용해 조작 가능하다. 프로그램 사용법에 대한 안내를 받아 프로그램에 미리 설정된 15개의 화합물을 단계적으로 결합해보도록 구성되어 있으며, 한 화합물 구조 형성 시 화면 하단에 원소를 제공하여 이를 마우스로 클릭 또는 드래그하여 연결하도록 되어 있다. 무엇보다 '라비'라는 가상의 선생님의 가이드와 힌트를 받으면서 여러 다양한 분자들을 결합해 볼 수 있는 장점이 있다. 해당 기술은 가상현실 기술이기 때문에 증강현실 기술이 제공해 주는 실재감과 현실감은 덜 느껴지지만 증강현실 기술을 활용한 화학 결합 소프트웨어와 병행해서 사용하면 교육적 효과가 더 나타나리라 본다.

2. 증강현실과 과학 교육

2.1. 증강현실의 정의와 특징

증강현실은 실제 환경에 이미지, 오디오, 모션 애니메이션, 정보 등을 포함한 가상의 객체를 실시간으로 결합하고 혼합하는 컴퓨터 그래픽 기술이다(Azuma, 1997). 가상 세계를 전제로 한 가상현실과는 달리 현실 세계를 기반으로 정보를 증강하여 제공하기 때문에 사용자의 지각과 활동에 보다 향상된 현실감과 몰입감을 제공한다(Billinghurst et al., 2005). 즉, 가상현실은 컴퓨터로 만들어진 가상의 공간에서 존재하는 가상의 사물을 다루기 때문에 현실감이 떨어질 수 있지만 증강현실은 실제 환경에서 가상 물체를 겹쳐 보여줌으로써 현실감을 제공한다.

이를 바탕으로 Milgram & Keshio(1994)가 제시한 [그림Ⅱ-2]를 살펴보면 현실 세계에서 가상 세계로 이어지는 환경의 연속선 상에서 증강현실이 현실 세계에 더 가깝다는 것을 알 수 있다. 이로 인해 증강현실은 혼합 공간 속에서 능동적 상호작용으로 내용이 보다 쉽게 이해될 뿐만 아니라 흥미가 유발되고 더 깊은 몰입이 가능해질 수 있다(이인숙, 2013).

[그림 Ⅱ-2] 현실세계과 가상세계의 연속성(Milgram & Keshio, 1994)

증강현실은 현실 세계 환경이 대부분인 상태에서 증강된 시각적 정보와 만나 맥락적 이해를 가능하게 한다(Liou et al., 2017). 증강된 가상의 객체는 사전에 설정된 위치에 표출되고 의도된 변이 과정에 의해 표현되

기 때문에, 개발 목적에 따라 재구성이 가능하다. Billinghurst(2002)는 증강현실의 기술에 대한 장점을 다음과 같이 제시하였다. 첫째, 현실 세계와 가상 객체의 결합으로 실시간 매끄러운 상호작용을 제공하며, 둘째, 현실 세계와 가상 정보의 결합으로 눈에 보이는 정보 제공을 통한 현존감을 향상시켜준다. 셋째, 공간적 제약을 벗어나 실제 환경과 접목된 가상의 객체를 통해 증강된 현실감과 증강된 정보를 제공하며, 넷째, 일상 속에서 쉽게 접하는 주변 사물을 디지털 매개로 활용하여 텐저블 인터페이스에 새로운 메타포를 부여한다. 다섯째, 현실 세계와 가상 세계의 부드러운 전환을 가능하게 해준다. 이러한 특성으로 인해 증강현실이 교육 현장에도 활용되어 학습자와 가상의 정보가 실시간 상호작용이 가능한 환경이 마련되었고, 학습자에게 융통성있는 맞춤형 교육 제공이 가능하게 되었다. 이는 학습자의 경험에 의해 지식이 구성된다고 보는 구성주의 교육관점에 부합한다(Vygotsky, 1978). 이렇듯 증강현실은 구성주의적 학습을 가능하게 할 뿐만 아니라 능동적, 의도적, 실제적 학습 및 협동학습을 촉진하는 역할도 한다(Shelton, 2003).

증강현실이 교육 매체로서 지니는 장점은 다음과 같다. 증강현실은 현실과 가상의 학습정보를 연결하여 학습 효과를 증진시키는데 기여하며, 학습 내용에 대한 학습자의 감각적 몰입으로 학습에 대한 흥미, 동기 및 몰입을 가져다주고, 3차원의 실물을 통해 학습자의 능동적 학습이 가능하도록 한다(김정현 외, 2005). 또한 텐저블 인터페이스를 통해 학습자의 상호작용성이 증진되고 학습 콘텐츠에 대한 학습자의 통제감이 강화될 수 있다(서희전, 2008).

그러나 증강현실에 대한 혼동성, 거부감, 일회성, 정확도, 화질 등의 단점 및 한계가 지속적으로 지적되는 만큼 이에 대한 개선의 필요성이 강조되고 있다(오은석, 2011; 정효남, 2013). 이에 따라 이창윤(2019)은 다중양식 특성을 고루 갖춘 실시간 정보 입력, 배열에 대한 정보처리, 그리고 디스플레이에 관한 시각화 기술이 증강현실 시뮬레이션 개발에 요구되며, 이들 간의 조화로 증강현실이 구현될 수 있음을 제안하였다. 이러한 기술의 개선은 교육 현장에서 나타날 수 있는 기술적 제약으로 인한

학습 효과 저해 요소를 줄이고, 증강현실의 긍정적 효과를 더욱 강화시킬 수 있다.

증강현실 환경은 실물과 유사한 가상 시뮬레이션을 체험하게 하며 실물 인터페이스를 이용한 직접 조작을 통해 실제적인 맥락 안에서 문제를 경험하고 이해할 수 있도록 돕는다. 모바일 증강현실의 적용은 사용자가 자신의 모바일 장치를 통해 자신과 주변 맥락 정보를 수집, 관리, 활용하여 서비스나 콘텐츠를 사용자 맥락에 따라 현실 공간에서 증강, 선택적 공유 등의 상호작용을 가능하게 한다. 또한 이를 바탕으로 사용자 상호작용을 통한 협력학습을 지원한다.

2.2. 증강현실과 과학 교육 선행 연구

증강현실을 과학 교육에 적용한 해외 연구 동향은 다음과 같다. Arici et al.(2019)은 Web of Science를 통해 2013년부터 2018년까지 게재된 총 79편의 논문을 찾아 그 중에서 62편의 논문을 선정하여 교육분야, 방법론, 데이터 수집, 샘플 및 데이터 분석 방법에 대해서 알아보았다. 적용 교과 영역을 과학, 생명과학, 물리학, 천문학, 화학, 생화학, STEM의 7종류로 나누어 살펴본 결과, 과학이 34편(55.7%), 생명과학이 15편(24.6%), 물리학이 6편(9.8%), 화학을 비롯한 나머지 교과가 2편(3.3%)이였다.

과학 교육에서 사용된 측정 변인으로는 학업성취도(51.6%), 학습 동기(19.4%), 태도(14.5%)였고, 인지적 측면, 사용성, 자아효능감, 몰입감, 비판적 사고 등도 변인으로 사용되었다. 그중 교육 효과를 알아보기 위한 중요한 요인인 학업성취도가 연구에 가장 많이 등장하였다(Cai et al., 2014; Chen & Wang, 2015; Núñez et al., 2008; Zhang et al., 2014).

연구방법에 대한 비율은 양적 연구(81%)가 대부분으로, 그 다음으로 혼합 연구(10%), 문헌 및 메타 연구(6%), 질적 연구(3%)가 진행되었다. 양적 연구에서는 유사실험설계가 가장 많았다. 다만 최근, 교육 연구 동향으로 혼합 연구가 대두되고 있어, 질적 연구의 비중이 낮았다. 대상은

12학년제로 보았을 때, 5~8학년이 가장 많았으며 1~4학년, 대학생, 그리고 9~12학년 순으로, 매년 초·중학생에 대한 연구는 계속 증가하였으나 대학생 및 고등학생에 대한 연구는 오히려 감소했음을 알 수 있다.

증강현실에 사용된 자료 및 도구 유형으로는 모바일 애플리케이션(42%)이 가장 많았으며, 종이 소재의 마커 기반 도구(10%), 증강현실 그림 책(4%) 순이었다. 모바일 기술의 발전이 학습의 개선을 가져왔고, 학습 도입에 있어 비용적 측면뿐만 아니라 학습에 이익을 가져다주었다는 점을 감안할 때, 모바일 증강현실 학습 도구의 사용은 계속해서 증가할 것으로 예상된다(Arici et al., 2019; Chen et al., 2017). 마커 기반 종이 소재는 사용에 대한 편의성과 휴대성의 장점이 있어 모바일 애플리케이션과 함께 교육 현장에서 지속적으로 사용되리라 본다.

이상으로 살펴본 해외 연구 동향을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 적용 교과의 대부분이 포괄적으로 언급된 과학 교과이며, 둘째, 학습 효과에 대한 변인은 학업성취도, 동기, 태도 위주였다. 셋째, 연구의 방법은 양적 연구가 주였으며, 그 대상도 초·중학생이 가장 많았다. 넷째, 학습 도구의 적용은 모바일 애플리케이션이 많았다. 따라서 과학 교육 현장에서 증강현실에 대한 교육적 함의와 새로운 교육 환경으로서의 적절성을 분석하기 위해서는 다양한 교과 영역에서 연구가 필요하며, 양적 연구뿐만 아니라 증강현실 교육 학습 효과에 대한 깊은 논의를 위해 혼합 연구 및 질적 연구도 필요하다. 또한 증강현실 교육적 효과에 대한 분석도 중요하지만 이에 못지않게 증강현실이 교육 현장에 더욱 효과적으로 반영되기 위해 체계적이고 구체적인 교수학습 방법을 개발하는 연구도 모색될 필요가 있다.

증강현실을 활용한 과학 교육의 국내 연구 동향을 살펴보면, 학술 논문에 게재된 논문의 수가 많지 않지만 꾸준히 연구되고 있는 실정이다. 연구 주제에 따라 살펴보면, 생명과학(김경현, 2009; 류혜주 & 박헌우, 2017; 정연화 & 이정민, 2015), 지구과학(계보경 & 김영수, 2008; 고영남 & 김종우, 2012; 서희전, 2008)을 주제로 한 연구가 대부분이었으며, 물리학 영역에서도 연구가 1편 있었다(이지수 외, 2010). 최근 화학 교과

영역도 연구가 진행되었으며(신석진 외, 2020a; 신석진 외, 2020b; 이재원 외, 2020), STEAM 교육에도 증강현실이 활용되었다(심효영 외, 2017; 최유미 & 문영순, 2015). 연구 대상도 연구의 초반에는 초등학생이 10편으로 주를 이루었으나(계보경 & 김영수, 2008; 고영남 & 김종우, 2012; 김경현, 2009; 류혜주 & 박헌우, 2017; 서희전, 2008; 이지수 외, 2010; 최유미 & 문영순, 2015), 중학생 대상이 2편(이재원 외, 2020; 정연화 & 이정민, 2015), 고등학생 대상이 3편(신석진 외, 2020a; 신석진 외, 2020b; 심효영 외, 2017)으로 연구 대상이 확대되고 있다.

연구 방법은 80% 이상이 양적 연구로 혼합 연구(류혜주 & 박헌우, 2017)와 질적 연구(신석진 외, 2020b)는 각 1편이었다. 각각 연구의 교육적 효과를 살펴보면 몰입감이 4편으로 가장 많았고(계보경 & 김영수, 2008; 서희전, 2008; 신석진 외, 2020a; 정연화 & 이정민, 2015), 그다음으로 학업성취도(서희전, 2008; 이재원 외, 2020; 이지수 외, 2010), 학습 동기(고영남 & 김종우, 2012; 이지수 외, 2010), 개념이해도(신석진 외, 2020a; 이재원 외, 2020) 등이 연구되었다. 그 밖에 연구 목적에 따라, 과학 탐구능력, 창의성, 문제해결능력, 과학수업 즐거움, 흥미, 과학적 태도 등이 사용되었다. 이에 대한 교육적 효과로 몰입감은 모두 긍정적으로 나타났으나 학업성취도는 긍정적인 측면도 있었지만(서희전, 2008), 학업성취도의 세부 요인별로 긍정과 부정적 측면이 혼재된 경우도 있었다(이재원 외, 2020; 이지수 외, 2010). 학습 동기도 긍정적 효과(이지수 외, 2010)와 부정적 효과가 혼재하였다(고영남 & 김종우, 2012). 이렇듯 학업성취도와 학습 동기에 대한 일관되지 않은 결과 때문에 증강현실 환경에 적합한 과학 교육 방법을 찾는 연구가 필요하며, 긍정적 학습 효과를 가져다줄 수 있는 증강현실을 활용한 구체적인 학습 설계 방안도 필요하다. 또한, 이에 대한 심층적인 접근으로서의 질적 연구도 필요하다.

한편, 증강현실에 사용된 장치 및 도구의 종류는 초반에는 컴퓨터와 웹카메라를 이용한 마커 인식의 장치가 주를 이루어 학생들이 사용하는데 불편함이 있었지만, 최근 휴대성이 좋은 스마트 기기를 활용한 마커 인식용 증강현실 애플리케이션 학습 도구가 개발되고 있다(류혜주 & 박

헌우, 2017; 신석진 외, 2020a; 신석진 외, 2020b; 이재원 외, 2020). 본 연구도 이러한 추세에 따라 모바일 기기에 증강현실을 적용한 연구를 진행하였다.

증강현실을 활용한 국내 연구 문헌을 교과 영역, 연구 방법, 연구 대상, 구인, 교육적 효과에 대해 정리한 내용은 <표 Ⅱ-2>와 같다.

<표 Ⅱ-2> 증강현실을 활용한 과학 교육의 국내 연구 동향

영역	연구자 및 연도	연구 방법	연구 대상	구인	교육적 효과
물리학	이지수 외(2010)	양적	초등학생	학습 동기	긍정
				학업성취도	(부분)긍정
화학	이재원 외(2020)	양적	중학생	개념 이해도	긍정
				학업성취도	(부분)긍정
				과학 수업 즐거움	긍정
	신석진 외(2020a)	양적	고등학생	개념 이해도	긍정
				몰입감	긍정
				상황 흥미	긍정
	신석진 외(2020b)	질적	고등학생	언어적 상호작용	상호작용
				물리적 상호작용	분석
생명 과학	김경현(2009)	양적	초등학생	학습집중도	부정
				학습활동	긍정
				학습참여 능동성	(부분)긍정
				수업 분위기	긍정
	정연화, 이정민(2015)	양적	중학생	과학탐구능력	부정
				과학적 태도	긍정
				몰입감	긍정
	류혜주, 박현우(2017)	혼합	초등학생	(양적) 수업 효과	긍정
				참여도 흥미	긍정
				활용가능성	긍정
				(질적) 증강현실에 대한 수업 의견	긍정
지구 과학	계보경, 김영수(2008)	양적	초등학생	현존감	긍정
				학습몰입	긍정
				학습효과	긍정
	서희전(2008)	양적	초등학생	현존감	(부분)긍정
				학습몰입감	긍정
				사용성	긍정
				학업성취도	긍정
	고영남, 김종우(2012)	양적	초등학생	학습 동기	부정
				지식, 태도	긍정
				실천	부정
STEAM	최유미, 문영순(2015)	양적	초등학생	효용성	긍정
	심효영 외(2017)	양적	고등학생	창의성	긍정
				문제해결능력	부정
				과학역량	긍정
				예술역량	긍정

2.3. 증강현실과 화학 교육 선행 연구

증강현실을 화학 교육에 적용한 해외 연구 동향은 다음과 같다. 본 연구자는 2012년도부터 2021년까지 게재된 학술 논문을 Web of Science를 통해 총 107편을 찾아 그 중에서 39편을 선정하여 해당 문헌들의 연구 주제, 연구 환경, 연구 방법, 자료 수집 방법, 자료 분석 방법, 연구 변인, 표집 방법, 표집 크기, 연구 대상을 분석하였다.

연구 주제는 '화학 일반', '유기 화학', '화학 실험'이 가장 많았고, 연구 환경은 실험실과 교실이 가장 많았다. 연구 방법에서는 양적 연구가 가장 선호되는 방법이었다. 자료 수집 방법에서는 설문지 및 설문조사가 가장 많았으며, 성취도 검사, 관찰, 인터뷰 등이 그 뒤를 따랐다. 자료 분석 방법은 양적 연구의 경우 기술 통계는 평균과 표준편차가, 추리 통계에서는 t-test가 가장 많이 사용되었고, 질적 연구의 경우 내용 분석이 가장 많이 사용되었다. 연구 변인은 인지적 차원의 성취도, 정의적 차원의 태도, 행동적 차원의 행동 변화와 상호작용, 기술적 차원의 사용성 변인이 주된 연구 변인으로 사용되었다. 연구 참여자의 표집 방법에서는 편의표본 추출이 가장 많았고, 표집 크기는 30이상 100명 미만이 가장 많았으며, 대학생을 대상으로 한 연구가 가장 많았다.

연구 주제에 대해서 구체적으로 살펴보면, 연구 주제 영역을 화학 일반, 화학 실험, 유기 화학, 생화학, 무기 화학, 물리 화학, 분석 화학, 주제 혼합, 기타로 구분하여 분석하였다. 학습의 수준을 고려하여 고등학교 수준까지의 화학 내용을 다룬 주제를 화학 일반으로 구분하였고, 그 이상의 학습 수준은 화학의 세부 영역 중 해당하는 영역을 찾아 구분하였다. 분석 결과, 화학 일반이 총 11편(28.2%)으로 가장 많은 연구 주제를 차지하고 있었다. 그다음으로는 유기 화학이 8편(20.5%), 화학 실험이 6편(15.4%)에서 다뤄지고 있었으며, 두 영역 이상의 혼합 연구 4편(10.3%), 생화학 4편(10.3%), 무기 화학과 물리 화학이 각 2편(5.1%)에서 다뤄지고 있었다. 기타로는 화학 약품을 연구 주제로 한 논문이 1편 있었다. 증강현실을 활용한 화학 교육 연구의 주제 영역과 내용은 <표 Ⅱ-3>과 같다.

화학 일반 연구 주제가 가장 많이 차지한 것은 연구 대상과도 연관이 있는데, 이는 중고등학생을 대상으로 한 연구가 증강현실 활용 화학 교육 연구에 상당한 부분을 차지하고 있기 때문이다. 연구 내용을 살펴보면 주기율표(Alrige et al., 2021; Chen & Liu, 2020; Iordache et al., 2012; Pribeanu et al., 2017), 화학 결합(Cai et al., 2014; Iordache et al., 2012), 분자구조(Badilla-Quintana et al., 2020; Pribeanu et al., 2017), 화학 반응(Chen & Liu, 2020; Ewais & Troyer, 2019; Iordache et al., 2012; Pribeanu et al., 2017; Yang et al., 2018), 원자 분자 모형(Cai et al., 2014; Zhang et al., 2021), 산환 환원 반응(Wan et al., 2018), 다니엘 전지(Tarng et al., 2021) 등을 다루고 있었다.

대학교 이상의 경우, 연구 주제로 유기 화학과 화학 실험이 많은 부분을 차지하였다. 먼저 유기 화학에서는 주로 분자 구조 확인을 위한 입체 화학이 대부분이었고(Abdinejad et al., 2021a; Aw et al., 2020; Habig, 2020; Keller et al., 2021), diels-alder reaction, S_N1 reaction, pericyclic reaction 등의 화학 반응(Abdinejad et al., 2021b; Keller et al., 2021), 혼성 오비탈(Abdinejad et al., 2021a; Abdinejad et al., 2021b), NMR 분광학(Wright & Oliver-Hoyo, 2020)을 다루고 있었다. 화학 실험에서는 용액 혼합으로 발생하는 화학 반응(Lam et al., 2020), 중화 반응(Wojciechowski & Cellary, 2013), 비색 적정(Tee et al., 2018) 등을 연구 주제로 삼았고, 실험실 장비(An et al., 2019; An & Holme, 2021) 뿐만 아니라, 실험실 안전(Zhu et al., 2018)에 이르기까지 화학 실험과 관련하여 다양한 연구 주제를 다루고 있었다. 한편, 혼합 연구 주제로 일반 화학과 유기 화학(Cen et al., 2019; Fernandes et al., 2021; Wong et al., 2021), 생화학과 물리 화학(Sanii, 2020), 그리고 생화학, 무기 화학, 유기 화학(Rodríguez et al., 2021)을 다루었다.

증강현실을 활용한 화학 교육의 국내 연구를 살펴보면 학술 논문에 게재된 논문의 수가 3건으로(신석진 외, 2020a; 신석진 외, 2020b; 이재원 외, 2020; 2020년도 기준)<표 Ⅱ-2>, 연구 동향을 밝히기에는 아직 관련 연구가 더 진행되어야 하기에 꾸준한 연구가 필요한 실정이다.

<표 Ⅱ-3> 증강현실을 활용한 화학 교육 연구의 주제 영역

주제 영역	구체적 내용	저자 및 발행연도
화학 일반	주기율표의 원소, 화학 결합 형성, 화학 반응	Iordache et al.(2012), Pribeanu et al.(2017)
	주기율표의 원소, 화학 반응	Chen & Liu(2020)
	주기율표의 원소	Alrige et al.(2021)
	원자, 분자	Zhang et al.(2021)
	원소, 화학 반응	Yang et al.(2018)
	원자, 분자의 반응	Ewais & Troyer(2019)
	원자 분자 보어모형, 물의 형성, 다이아몬드 구조	Cai et al.(2014)
	유기 및 무기 화합물 만들기, 분자 구조	Badilla-Quintana et al.(2020)
	산화환원 반응	Wan et al.(2018)
	다니엘 전지	Tarng et al.(2021)
화학 실험	중화반응	Wojciechowski & Cellary(2013)
	pH미터, 전기전도도 측정기(실험실 장비)	An et al.(2019), An & Holme(2021)
	생화학 실험실 안전	Zhu et al.(2018)
	용액 혼합으로 발생하는 화학 반응	Lam et al.(2020)
	테르밋 반응	Zhang et al.(2021)
유기 화학	알데하이드/케톤, 카이랄성,광학 이성질체, VSEPR	Aw et al.(2020)
	입체화학, 카이랄성 분자 명명	Habig(2020)
	입체화학, 카보닐화학, 고리형 협동 반응	Keller et al.(2021)
	분자구조, 유기화합물의 특성(알케인, 알켄, 알카인, 방향족 화합물)	Ling et al.(2021)
	화합물 작용기, 분자 구조	Wong et al.(2021)
	CH4 분자구조, 이성질체(Cis-, Trans-; alkene, 2-butene), 뉴먼 투영도, 피셔 투영도, 사이클로헥세인의 의자 형태	Abdinejad et al.(2021a)
	diels-alder 반응, S_N1 반응, 뉴먼 투영도, 피셔 투영도, 분자 구조	Abdinejad et al.(2021b)
	NMR 분광학	Wright & Oliver-Hoyo(2020)
생화학	단백질, DNA 구조	Peterson et al.(2020)
	DNA 침전	Ovens et al.(2020)
	막전위 수송 단백질	Argüello & Dempski(2020)
	칼륨 채널	Sung et al.(2019)
무기 화학	제올라이트 구조, 고체상태 구조, 결정 격자	Schmid et al.(2020)
	금속 착물	Elford et al.(2021)
물리 화학	열복사, 대류, 전도, 열 에너지, 에너지 전달	Jiang et al.(2021), Sung et al.(2021)
분석 화학	비색적정	Tee et al.(2018)
주제 혼합	화학 일반 + 유기 화학	Cen et al.(2019)
	생화학 + 물리 화학	sanii(2020)
	화학 일반 + 생화학	Fernandes et al.(2021)
	화학 일반 + 생화학 + 물리 화학	Rodríguez et al.(2021)
기 타	화학약품	Lu et al.(2021)

2.4. 화학 결합과 관련된 증강현실 선행 연구

화학 결합과 관련된 증강현실 선행 연구에서 개발한 증강현실 이미지와 구현 도구 및 활동 사진을 정리하여 <표 Ⅱ-4>에 제시하였다.

먼저, 증강현실을 활용한 화학 결합과 관련된 해외 선행 연구를 살펴보면, Núñez et al.(2008)[1]은 대학 수준의 학생들에게 공간 관계와 화학적 문제를 가르치기 위한 증강현실 시스템을 제시하였다. 이 실험에서 학생들은 $ZrSiO_4$와 같은 특정 물질의 결정 구조를 마커로 조작할 수 있도록 구현했지만 정적인 이미지와 구조만 보여주는 방식이었다.

Iordache et al.(2012)은 증강현실 교육 플랫폼(ARTP)을 개발하고 증강현실 인식에 특화된 기기(projection-based Augmented Reality display system)를 사용하여 거대한 탁자 위에 증강현실이 실현되도록 설계하였다. 공을 배치할 수 있는 주기율표를 제공하고, 색깔 공을 카메라에 갖다 대면 화면 위에 핵 전하와 전자 껍질이 증강되어 나타나 주기율표에 배치되도록 하였다. 주기율표의 족과 주기의 규칙성을 찾는 활동, 가능한 화학 결합을 찾는 활동, 화학 반응식 시뮬레이션 활동을 중학교 1학년을 대상으로 3차시에 걸쳐 각 30분 동안 진행하였다. ARTP를 통한 학습 과정의 효과와 효율성의 관계를 분석하여 ARTP가 적은 노력으로 더 나은 이해와 학습을 지원하고 있음을 밝혔다. Pribeanu et al.(2017)도 동일한 기기를 사용하여 증강현실 학습 도구의 품질을 측정하는 연구를 진행하였다. 이 연구에서는 인체공학적 측면, 학습의 질 측면, 쾌락적 측면으로 평가틀을 구성하여 확인적 요인분석을 수행하고 결론을 도출하였다.

Cai et al.(2014)은 탐구기반 증강현실 학습 도구를 개발하고 중학교 2학년 학생을 대상으로 번호 카드로 구성된 증강현실 마커를 사용하여 탐구 학습을 실시하였다. 물분자, 다이아몬드, 흑연, 소금 등의 물질을 6개

---

[1] IASME International Conference on ENGINEERING EDUCATION(2008)에서 발표한 것으로, Ⅱ.2.3.장의 증강현실을 활용한 화학교육 학술지 논문에는 해당사항이 없으나, 화학 결합에 관한 증강현실 도입의 선구적 역할을 하였기에 기술하였다.

의 카드 조합으로 구현하여 학습 보조 도구로 사용하였다. 교사의 개입 없이 증강현실 사용의 원리부터 학습까지 활동 양식에 따라 조별 자체적으로 자율 탐색 과정을 수행하고 사전과 동일한 사후 성취도 평가, 사후 설문지 및 인터뷰를 실시하였다. 이를 통해 증강현실 도구 사용이 보충 학습 효과를 충분히 나타내고 도구 사용이 낮은 성취도 학생들에게 더 효과적인 방법임을 밝혔다. 또한, 설문에 대한 상관관계를 분석하여 증강현실에 긍정적 태도를 가지고 있음을 확인하였다.

Cen et al. (2019)은 고등학생들이 화학을 배울 수 있도록 'AIR-EDUTECH' 교육용 모바일 시스템을 개발하고 이를 고등학교 2학년을 대상으로 학습 효과를 알아보았다. AIR-EDUTECH는 증강현실 스마트 기기가 카드와 근접하면 분자가 자동으로 3차원 구조 형태로 변형되어 공간적 학습 능력이 가능하도록 구현된 시스템이다. 이를 현장에 투입하여 전통적 강의반과 비교하기 위해 2차시 수업을 진행하였다. 첫 번째 차시에서는 학생들이 4개의 원소(O, H, Cl, Na)로부터 이루어지는 반응을 학습하였고, 두 번째 차시에서는 탄소 화합물의 구조를 학습하였다. 수업 후 퀴즈 및 설문조사를 수행하고 이를 심층적 다중 모드 정량 분석으로 분석한 결과, AIR-EDUTECH 시스템이 학생들의 지식 격차를 줄여줄 수 있는 중요한 역할을 담당하고 있으며, 학습 내용의 이해와 유지에 영향을 주는 도구임을 밝혔다.

이와 관련하여 최근에 국내에서도 증강현실을 활용하여 화학 결합과 관련된 연구가 진행되었다. 신석진 외(2020a)는 이온 결합과 공유 결합을 주제로 증강현실을 활용하여 협력적 과학 학습에서 나타나는 학생들의 언어적, 물리적 상호작용을 분석한 질적 연구 결과를 제시하였다. 또한, 신석진 외(2020b)는 소집단에 제공된 증강현실 기기 수에 따라 어떤 교육적 효과가 나타날 수 있는지를 알기 위한 목적으로 고등학생 1학년을 대상으로 2차시 동안 실시하여 개념 이해도, 몰입, 상황 흥미에 대하여 양적 연구를 실시하였고 자기 조절 수준에 따른 학습 효과도 비교하였다. 개발한 모바일 증강현실 학습 도구는 Unity 2.1과 AR/VR 콘텐츠 개발 플랫폼인 Vuforia SDK(Software Development Kit)를 사용하였으

며 Ca, Mg, O, Cl 원자 카드를 이용하여 이온 결합 보어 모형이 나타나도록 개발하였고, Cl, O, F 원자 카드로 결합 가능한 이원자 분자(Cl_2, O_2, F_2)와 삼원자 분자(H_2O, OF_2)의 공유 결합 보어 모형이 나타나도록 하였다. 이를 4인 1조 구성의 소집단에 마커 세트와 기기 수를 각 1개, 2개, 4개씩 제공하여 어떤 환경에서 학습 효과가 일어나는지를 알아보았다. 분석 결과, 기기를 많이 제공할수록 개념 이해도 검사, 몰입감 검사, 상황 흥미가 다른 환경보다 유의미하게 높았다.

지금까지의 선행 연구의 긍정적인 효과를 요약하자면, 증강현실은 입자의 구조 및 화학 결합에 관한 미시 세계의 시각화로 인해 학습 이해, 흥미, 즐거움, 몰입감 등 인지적, 정의적 요소에 긍정적인 효과를 가져다 주었다. 그러나 선행 연구들에서 연구의 한계점이 존재하여 개선이 필요한 실정이다.

Núñez et al.(2008)의 경우, 마커를 조합하여 인식할 수 있는 시스템이 아니었기에 조작의 자율성과 탐색성이 결여되어 있었고, Iordache et al.(2012)은 증강현실에 특화된 고가의 기기 사용으로 인해 수업 현장 도입이 어렵고 파일럿 수준의 단순한 설문지로 인해 해석의 한계가 존재하였다.

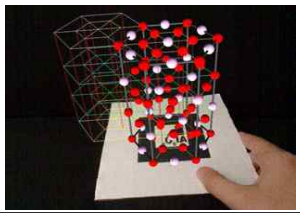
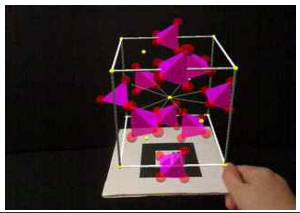
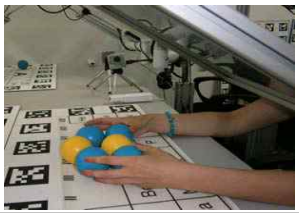
Cai et al.(2014)은 증강현실 학습 도구가 이전 Iordache et al.(2012)의 연구에 비해서 인식 도구의 보편화와 증강현실 마커의 편리성을 가져다 주었지만, 여전히 인식의 불안정이 제기되어 개선이 필요함을 언급하였다. 더욱이 해당 연구는 실험 연구임에도 통제 집단을 두지 않아 학생들에게 익숙한 교사 주도 강의 형태의 화학 학습과 비교가 어려웠다. 또한 실험 집단의 사전-사후 성취도 평가에 동일한 문항을 제시하여, 평가 문항에 대한 익숙함으로 사후 평가의 점수가 높게 나올 수 있는 가능성을 배제할 수 없다고 연구의 한계점으로 언급하였다. 또한, 문항의 수준이 기본적이고 일반적인 개념 위주의 빈칸 채우기 형식으로 성취도 수준이 높은 학생들에 대한 증강현실 적용 효과 여부를 분석하기에는 한계가 있어, 문항의 수준이 개념 위주가 아닌 보다 고차원적인 사고를 반영한 문항을 개발하여 성취도 향상 정도를 비교 및 분석할 필요가 있음을 언급

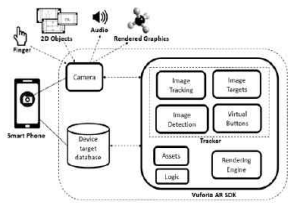
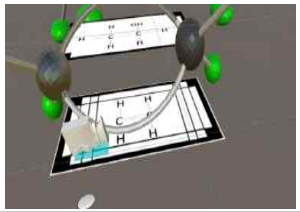
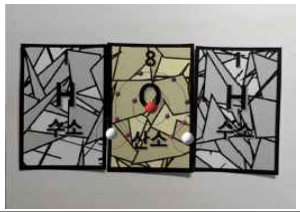
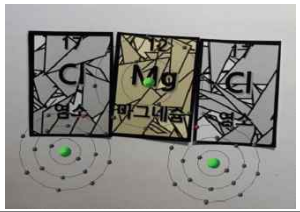
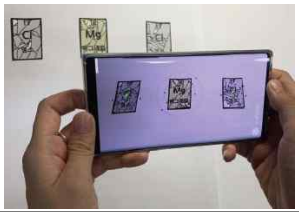
하였다. 뿐만 아니라, 동일한 문항에 대해 사전 사후 점수가 뒤바뀐 경우가 발생하여 이에 대한 반성적 접근과 시사점을 언급하였다. 이는 교사의 지도 없이 증강현실 작동법뿐만 아니라 이를 이용한 개념 학습까지 학생 스스로 해야 하기 때문에 자칫 학생들이 인지 부하를 경험할 여지가 있고, 적절한 피드백이 없었기에 오개념이 생기기도 하였음을 의미한다. 따라서 증강현실 사용법에 대한 동영상이나 그림이 포함된 간단한 설명이 필요하며, 학생 주도 탐구 학습이기는 하나 적절한 교사의 피드백으로 오개념 생성을 방지할 필요가 있다.

신석진 외(2020a, 2020b)는 통합과학 교과서에 제시된 이온 결합과 공유 결합의 예시보다 증강현실 학습 도구를 통해 구현될 수 있는 예시가 적었다. 따라서 다양한 예시를 통한 개념 이해 및 개념 확립 제공에 한계가 있을 수 있다. 또한, Cai et al.(2014)의 연구와 마찬가지로 통제 집단을 두지 않았다. 이 또한 해석의 주의가 필요하고 통제 집단과의 비교로 학습 환경을 면밀하게 분석할 필요가 있다. 더욱이 개념 이해도 검사에서 사전 개념에 대한 집단 간 동질성 검증 없이 사후 검사에 대한 비교를 하였다. 이는 학생의 사전 지식 수준이 결과에 반영될 수 있어, 개념 이해도의 차이가 학습 환경의 변화로부터 왔는지 정확하게 알 수 없어 해석적 한계가 있을 수 있다.

본 연구는 선행 연구의 한계점을 개선하여 보다 나은 학습 도구로의 역할을 제공하기 위해 새로운 증강현실 학습 도구를 개발하고 이를 접목한 학생 중심의 교수학습을 제안하였다.

<표 Ⅱ-4> 화학 결합 관련 증강현실 선행 연구

연구자 및 연도	증강현실 이미지		증강현실 구현 도구 및 활동 사진	
	a-Al_2O_3 결정 구조	$ZrSiO_4$ 결정 구조	컴퓨터 기반. 웹캠과 마커를 사용. 프로젝터로 송출	
Núñez et al.(2008)				
			증강현실 특화된 기기 기반. 색깔 공 인식. 프로젝터 송출.	
Iordache et al.(2012) Pribeanu et al.(2017)				
	보어 원자 모형	물 분자 형성	컴퓨터 기반. 웹캠과 마커 조합.	
Cai et al.(2014)				

연구자 및 연도	증강현실 이미지		증강현실 구현 도구 및 활동 사진	
	시스템 구조	C_2H_4 분자 모형	스마트기기 기반. 앱 구현. 마커인식.	
Cen et al.(2019)				
	H_2O 보어 모형	$MgCl_2$ 보어 모형	스마트기기 기반. 앱 구현. 마커조합.	
신석진 외(2020a) 신석진 외(2020b)				

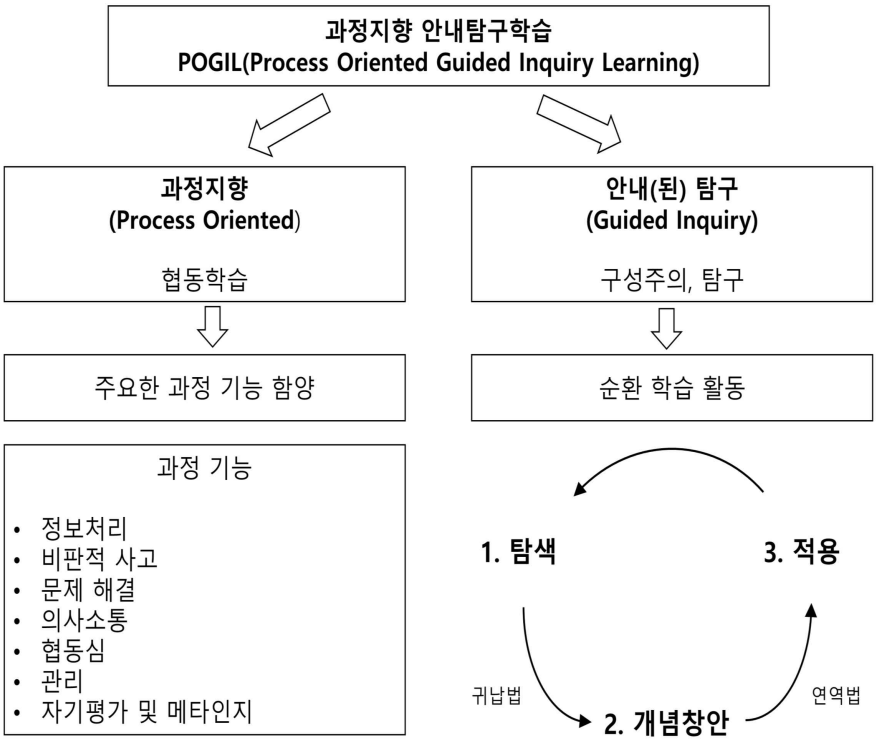
3. 과정지향 안내탐구학습(POGIL)

3.1. 과정지향 안내탐구학습(POGIL)의 정의와 특징

과정지향 안내탐구학습(Process oriented guided inquiry learning, 이하 'POGIL')은 탐구 기반 학습 환경을 위해 안내된 탐구 활동과 이에 특화된 활동지를 사용하여 지식을 획득하고 이해를 증진시키기 위해 제안된 학습 설계로 증거 기반, 학생 중심, 능동적 학습 방법이다(Moog et al., 2006; Moog & Spencer, 2008). 학생들이 학습 그룹에서 협력적 활동을 통해 상호작용하며(Simonson, 2019), 사회적으로 지식을 구성하는 것을 강조하는 내용 중립적 교육학적 접근 방식으로(Talanguer & Pollard, 2017), Vygotsky의 사회적 구성주의 학습 이론에 맥락을 두고 있다(Vygotsky, 1978). 사회적 구성주의에서 지식은 협력적 상호작용에 의해 구성된다. 탐구 학습에서 지식의 구성은 교사로부터 학생에게 직접 전달되는 것이 아닌 학생의 적극적인 개발로 이루어진다(Zion & Mendelovici, 2012). 탐구 학습은 학생 간 상호작용이 교사와 학생 간 상호작용보다 더 적극적인 의미 구성을 하며(Nihalani et al., 2010), 이러한 능동적인 학생 간 상호작용이 학생에게 더 나은 성과를 가져다준다(Freeman et al., 2014; Theobald et al., 2020). POGIL 교수학습은 탐구 활동을 통해 구성된 내용 지식을 적용할 수 있도록 동료 간 협력이 가능한 수업을 제안한다. 이를 바탕으로 Bloom의 지식체계 계층 구조에 제시된 인지 능력 개발에도 사용이 되었고(Kuhn et al., 2000), POGIL의 적용이 학업성취도에도 영향을 주었다(Conway, 2014; De Gale & Boisselle, 2015; Hein, 2012).

POGIL 교수학습의 용어 안에는 학습을 통해 함양될 수 있는 기능과 과학 개념의 습득 과정이 내포되어 있다[그림 Ⅱ-3]. POGIL 교수학습은 과학 개념 학습을 하는 동안 특정 과정 기능이 향상되고 발전할 수 있는 기회를 제공한다. POGIL 활동을 하는 동안 학생들은 그룹에서 정보처리 능력, 문제 해결력과 비판적 사고 능력을 함양할 수 있고, 의사소통 기술

이 증진될 수 있다. 뿐만아니라, 도전적인 과제를 해결하는 데 있어 그룹 내 협동심(팀워크)이 형성되고, 학습에 대한 자기 평가 및 그룹 반성으로 메타인지 능력이 향상될 수 있다. 또한, 학생들은 일련의 순환학습 모형과 비슷한 학습 주기 과정을 통해 과학 개념을 구성한다. 이러한 POGIL 교수학습은 전통적인 강의식 수업과는 다르게 수업에서 과정적 기술을 향상시킬 수 있는 기회를 제공하여 학생의 학업성취도가 증가하였으며, POGIL 교수학습을 통해 내용 숙달 정도와 선호도가 높아졌고 적은 노력에도 학습이 향상되었다(Walker & Warfa, 2017).



[그림 Ⅱ-3] POGIL의 두 차원을 나타낸 도식도(Şen et al., 2016 재구성)

POGIL 교수학습은 학습 내용과 함께 과정에 대한 기능을 동시에 습득할 수 있어 다음과 같은 경우에 적합하다.

- 교실과 실험실에서 적극적인 참여와 사고
- 데이터, 모델, 또는 예를 분석하고 아이디어를 논의하여 결론 도출
- 개념을 이해하고 문제를 해결하기 위해 그룹과 함께 협력
- 학생들이 배운 것을 반영하고 그들의 학습능력(성취도)을 향상시키고자 할 때
- 학습 촉진자로서의 교수자와 교류

따라서 POGIL 교수학습은 탐구기반 학습 환경에서 학습 그룹과 안내된 탐구 활동을 통해 비판적, 분석적인 사고를 촉진하는 질문에 대한 문제 해결 과정을 거쳐 개념 이해를 증진시킨다. 더욱이 메타인지적 과정과 그룹 내 역할 분담으로 개인 책무성도 발달시킨다(Farrell et al., 1999; Hanson, 2013; Liyanage et al., 2021).

3.2. POGIL 교수학습 설계

POGIL 교수학습은 안내된 탐구 활동에 학습 주기를 적용하여 학생들의 이해력이 증진되도록 돕는다. POGIL의 기본적인 설계는 (1) 탐색(Exploration; 관찰 및 분석), (2) 개념 창안(Concept Invention; 개념 소개, 개념 형성), (3) 적용(Application; 개념을 새로운 상황에 적용)으로 특징지어지는 비판적 사고 질문(Critical Thinking Questions, 이하 'CTQ')을 포함한 학습 주기(learning cycle)에 기초한다(Abraham & Renner 1986; Lawson, 1995). 이는 과학 교수 모형 중 순환학습 모형과 맥락이 유사하다. 순환학습 모형은 발견 및 탐구 모형에 따른 개념의 분화 및 대체 개념의 교환, 과학적 탐구 과정 기능의 습득을 목적으로 한다(조희형 외, 2010). 순환학습 모형의 이론적 배경은 피아제의 지능발달 이론을 포함한 발달심리학 뿐만 아니라, 행동주의에 의한 학습 이론, 귀

납주의의 발견 학습 이론에도 영향을 받았다. 순환학습 모형은 최초로 제시된 탐색-창안-발견 모형의 3단계(Karplus, 1977)에서 유도-관여-탐색-설명-정교화-평가-확장의 7단계(Eisenkraft, 2003)에 이르기까지 다양한 형태로 개선되거나 발전되어 왔다. 초창기에 제시된 순환학습 모형은 전통적 심리학과 발달심리학에도 이론적 배경을 두었으나, 차츰 구성주의를 더 중요시해 오고 있으며, 초창기의 순환학습 모형은 탐구중심 과학 교수학습에, 4E, 5E, 7E 순환학습 모형 등은 과학 개념의 변화에 목적을 둔 수업에 적합하다고 볼 수 있다(조희형 외, 2010).

POGIL 교수학습에 대한 설계를 7E 모형과 비교하여 각 단계에서 필요한 활동 구성 요소를 제시한 <표 Ⅱ-5>에 따르면, POGIL 교수학습의 핵심인 탐구, 개념 창안 또는 형성, 적용의 3단계 학습 주기가 중간에 언급되어 있다(Hanson, 2013). 이는 POGIL 교수학습의 주요 요소인 3단계 외에도 학습자가 복잡한 내용이나 과목을 배우는 데 동기 부여가 필요하고, 이미 알고 있는 지식에서 새로운 지식을 쌓아야 하며, 학습 후 자신에 대한 반성이 필요하다는 것을 명시적으로 고려해야 함을 의미한다.

<표 Ⅱ-5> POGIL 교수학습과 7E 모형의 구성 요소

POGIL 과정 단계	7E	활동 구성 요소
1. 학습 필요성 파악	관여	• 흥미와 관심을 고조시키는 이슈(issue)가 제시된다. • '왜?'라는 질문에 대한 답이 주어진다. • 학습 목표와 성취 기준이 정의된다.
2. 사전 이해와 연결	유도	• 질문이나 문제가 제기되고, 학생들의 설명이나 예측이 요구된다. • 필수 구성 요소가 확인된다.
3. 탐색	탐색	• 모델이나 과제가 제공되며, 이에 대한 자원이 확인된다. • 학생들은 비판적 사고 질문에 답하며 모델이나 과제를 탐구한다.
4. 개념 창안, 소개, 형성	설명	• 비판적 사고 질문은 개념 파악으로 이어지고, 이에 대한 이해력이 발달한다.
5. 지식 적용 연습		• 기능 연습(Skill exercise)은 지식의 직접적인 적용을 포함한다.
6. 새로운 맥락에 지식 적용	정교화, 확장	• 문제와 확장된 문제는 종합적인 개념과 전이를 필요로 한다.
7. 과정에 대한 반성	평가	• 문제 해결책과 질문에 대한 답변을 검증하고 개념을 통합한다. • 학습 및 성과를 평가한다.

이러한 순환학습 모형과 POGIL 교수학습 모형은 학생으로 하여금 과학적으로 생각하게 하고, 교수 내용과 선행경험을 관련시키고, 학생 자신의 생각을 검증하고 다른 학생과 토의하게 하며, 귀납적 접근법과 연역적 접근법이 통합되어 있는 등의 공통된 장점을 지니고 있다(Douglas & Chiu, 2013; Settlage & Southerland, 2007).

한편, POGIL 교수학습만의 차별화된 특징은 학생들이 학습할 것을 구체화하고 학습 목표를 달성하도록 이끄는 자료를 모델(Model)로 제공받아 이를 관찰하고 분석하는 것이다. 또한, 학생들이 체계화된 각 단계별 비판적 사고 질문(CTQ)을 해결하면서 학습에 임하도록 구성되어 있으며, 이러한 질문을 해결하는 과정을 통해 개념에 대한 깊은 이해에 도달하게 된다. POGIL 교수학습에서의 모델 제공과 CTQ는 POGIL에 특화된 활동지에 제시되어 있으며, 학생들은 그룹 안에서 협력학습하는 동안 안내된 활동지를 따라가며 학습한다.

POGIL 교수학습 3단계를 구체적으로 살펴보면, 탐색 단계(Exploration)에서는 학생들은 학습해야 할 것을 구체화하고 학습 목표를 달성하기 위해 제시된 모델을 검토하거나 질문 형식의 과제를 따른다. 이러한 질문은 모델을 탐색하거나, 과제 수행을 위해 필요한 개념 형성으로 깊은 이해를 유도한다. 여기에서 모델은 탐색 대상이 되는 정보의 형태로 도표, 그래프, 데이터 표, 방정식, 산문, 컴퓨터 시뮬레이션 등으로 제시될 수 있다. 이 단계에서 학생들은 수집한 데이터나 제공된 데이터에서 경향성이나 규칙을 찾아 데이터를 이해하고 이를 설명하는 데 도움이 되는 가설을 생성하거나 시험할 기회를 갖는다. 학생들은 이 단계에서 비판적 사고 방식을 유도하는 질문을 해결하여야 한다. 질문을 통해 학생들이 모델에서 무엇을 발견했고, 이미 알고 있었던 것은 무엇이었는지, 이를 통해 무엇을 배웠는지를 생각하면서 답을 구성한다.

두 번째 단계는 개념 창안(Concept Invention) 혹은 개념 형성 단계(Concept Formation)로, 명시적으로 제시되지 않은 개념을 탐색 단계를 거치면서 현재 이해한 것을 바탕으로 결론을 내리고 예측을 시도한다. 그러고 나서 추가 정보와 개념에 대해서 교사가 소개하는데 개념에 대한

규칙성 발견은 학생 간 상호작용을 통해 이루어진다. 이 단계에서 새로운 개념이나 용어를 정의하기 위해서 탐색 단계에서 수행한 경향성, 규칙성, 가설을 사용한다. 이때 학생들은 구성된 이해를 바탕으로 개념을 확립한다.

적용 단계(Application)에서는 개념을 강화하고 확장하기 위해 연습, 적용 질문, 연구 질문 활동이 수반된다. 연습은 학습자에게 친숙한 맥락으로 자신감을 쌓는 기회를 제공하고, 적용 질문은 새로운 개념이 다른 상황이나 맥락에 적용되어 학생들에게 그것의 의미와 적용 가능성, 일반화의 기회를 제공한다. 연구 질문은 학습자가 새로운 질문이나 가설을 제기하여 학습을 확장 시킬 기회를 제공한다. POGIL 활동에 이러한 세 단계가 주기적으로 수행되는 동안, 탐구 과정을 안내하고 학습 과정 기술 개발에 도움을 줄 수 있는 비판적 사고 질문이 사용된다. 각 단계별 활동에 대한 내용은 <표 Ⅱ-6>에 제시하였다. POGIL이 소그룹 안에서 잘 이루어지기 위해서는 POGIL 활동의 구성 요소를 잘 파악할 필요가 있다.

<표 Ⅱ-6> POGIL 교수학습 단계별 요소 및 내용

학습주기	POGIL 요소	내용
탐색 (Exploration)	• 모델(Model)	학생들이 탐색할 데이터(그림, 그래프, 표)나 활동 자료
	• 유도 질문 (Directed Questions)	활동지에 제시된 유도 질문에 답을 찾기 위해 모델을 탐색함 유도 질문은 모델 탐색을 통해 학생의 주의를 집중시키는 역할을 함
개념 창안 (Concept Invention)	• 수렴 질문 (Convergent Questions)	활동지에 제시된 수렴 질문은 학생들이 탐색한 답변을 모아 일반적인 결론이나 개념에 도달할 수 있도록 도움을 줌
	• 개념 확인 (Concept Checks)	POGIL 활동 중간에 학생들의 개념 이해 여부를 파악하기 위한 교사의 짧은 질문
적용 (Application)	• 확장 질문 (Divergent Questions)	새로운 맥락에서 지식을 적용 확장 질문을 통해 새롭게 구성된 지식을 새로운 상황에 적용함으로써 지식을 일반화
	• 연습(Excercise)	습득한 개념 및 지식을 직접 적용하는 연습을 통해 정보 처리, 비판적 사고, 문제 해결, 의사소통, 팀워크, 관리, 자기 평가 등의 학습 기술(Skill)을 함양

POGIL에서 사용하는 비판적 사고 질문의 종류는 세 가지이다. 첫째는 학습자가 이용한 자료를 통해 명확한 답을 얻을 수 있는 활동에 대한 기

초적 유도 질문(Directed Questions)으로 구성되어 있어 일반적으로 어려움 없이 해결할 수 있다. 두 번째는 수렴 질문(Convergent Questions)으로 그룹에서 아직 확실하지 않은 결론에 도달하기 위해 정보를 분석하고 합성해보도록 요구하며, 여러 가지 답이 있을 수 있다. 세 번째는 발산 또는 확장 질문(Divergnet Questions)으로 학생들이 개념에 대한 연관성, 적용 가능성, 일반화의 여부를 고려할 수 있도록 한 개방적 질문이다. <표 Ⅱ-7>은 CTQ의 각 단계 질문에 대한 이해를 돕기 위해 본 연구에서 실제 사용한 활동지(부록3)를 예로 들어 나타내었다.

<표 Ⅱ-7> POGIL 교수학습의 비판적 사고 질문(CTQ)의 단계

학습 주제			탐색 → 개념 창안 → 적용 (유도 질문) (수렴 질문) (확장 질문)
화학 결합 종류	모델1 이온 결합	유도	• 금속 나트륨과 비금속 염소의 원자가 전자의 개수는 각각 몇 개인가? • 금속 나트륨 원소는 양이온이 되기 쉬운가? 음이온이 되기 쉬운가? 모델1에서 이온 종류를 표시하고, 그렇게 생각한 이유도 쓰시오.
		수렴	• 나트륨 이온과 염화 이온이 결합하여 염화나트륨을 형성하는 원동력은 무엇인가?
	모델2 다양한 종류의 이온 결합	유도	• 1족 원소(수소제외)와 2족 원소의 공통점은 무엇인가? • 1족 원소와 2족 원소에 대해 이온의 종류와 전하는 각각 얼마인가? 그렇게 생각한 이유는?
		수렴	• 1, 2 ,16, 17족 원소들이 이온 결합을 형성할 때, 발견되는 규칙성은 무엇인가?
	모델3 공유 결합 (이원자분자)	유도	• 수소, 플루오린, 염소, 산소, 질소의 원자가 전자는 각각 몇 개인가?
		수렴	• 모델 3에서 옥텟 규칙을 만족시키면서 각 원소의 공유 결합 모형을 완성하고, 결합의 이유를 설명하시오.
	모델4 공유 결합 (다원자분자)	유도	• 분자의 공유 결합에 관여하는 원자의 종류와 수를 쓰시오.
		수렴	• 각 원자의 보어 모형을 이용하여 공유 결합 모형을 완성하고, 결합의 이유를 설명하시오.
		확장	• 원자가 전자가 1개인 원소와 비금속 사이에 형성되는 결합의 종류를 찾아, 그 이유를 설명하시오. • 유리관 양쪽에 진한 암모니아수와 진한 염산을 묻힌 솜을 넣으면, 잠시 후 암모니아와 염화수소가 만나 흰 연기가 발생한다. 발생한 흰 연기는 염화암모늄으로 확인되었다. 염화암모늄(NH_4Cl)은 어떤 결합을 하고 있는가?

POGIL 교수학습에서 교사의 역할은 수업의 진행자가 아닌 학습의 촉진에 초점을 맞추는 역할로 바뀐다. 이는 학생들이 그룹 활동을 하는 동안 쉬거나 다른 작업을 하는 시간이 주어진다는 것을 의미하지 않는다. 학생들이 능동적 학습 과정으로 서로 상호작용하며 새로운 개념을 적립하는 활동을 하는 동안 교사는 학생의 학습이 용이하도록 해야 한다(Farrell et al., 1999). 따라서 교사는 학습자 중심의 환경을 조성하고, 학생들에게 지원과 안내를 통해 그룹의 상담자 역할을 수행해야 하며, 학생들이 주제에 대한 사전 지식이 얼마나 있는지 탐색해야 한다. 무엇보다 학생에게 답을 직접 제공하기보다는 질문으로 학생이 개념을 이해하도록 도우며, 수업 시간에 제공된 활동지를 통해 학생들과 지속적인 의사소통의 기회를 제공해 주고, 배운 내용에 대한 평가에 대해 학생들을 격려해야 한다(Moog & Spencer, 2008). 교사는 학생들이 자료 및 모델에 대해 생각하도록 하고 학습 궤도에 머물도록 도와야 한다. 또한 교사는 학생들의 의사 결정에 도움을 주고 주요 개념을 명확하게 하는 촉진자 역할을 함으로써 적극적으로 학습을 지원해야 한다(Farrell et al., 1999; Moog et al., 2006).

협력학습을 지향하는 POGIL은 그룹 내 학생의 역할을 지정하여 학습에 대한 개인 책무성을 부여한다. 즉, 그룹의 구성원 간의 역할 배분을 통해 상호 보완적으로 학습에 적극적으로 참여할 수 있도록 역할을 할당한다. Farrell et al.(1999)은 관리자, 대변인(발표자), 기록자, 기술자 또는 반성가를 제안하였고, Hanson(2013)은 관리자, 대변인, 기록자, 전략분석가를 제안하였다. 또한 Liyanage et al.(2021)은 관리자, 발표자, 반성가, 탐색가의 역할을 제시하여 학생들이 역할을 돌아가면서 수행하도록 하였다. 그룹에서의 역할은 학습 환경과 목적에 따라 다양하게 부여될 수 있다. POGIL 적용 가이드에 제시된 역할에 대한 구체적 내용은 <표 Ⅱ-8>과 같다.

<표 Ⅱ-8> POGIL 교수학습에서 그룹 내 구성원 역할

역할	내용
관리자	그룹 관리하는 역할로, 구성원이 자신의 역할을 이행하고 있는지, 주어진 과제를 제시간에 수행하고 있는지, 그룹 구성원이 활동에 참여하여 개념을 이해하고 있는지 확인
발표자 또는 대변인	학급에 그룹 보고서와 토론 내용을 발표
기록자	과제 및 그룹이 수행한 것을 기록하고, 그룹에서 협의한 보고서를 준비하고 작성
전략분석가 또는 반성가	문제 해결을 위한 전략과 방법을 파악하며, 그룹이 잘 하고 있는 것과 그룹 내에서 협의하는 데 개선이 필요한 사항을 확인하고, 함께 보고서를 준비

본 연구에서는 활동 그룹 인원을 4인으로 구성하고, 역할을 관리자, 기록자, 발표자 겸 기술자, 전략분석가로 정하였다. 각 역할에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

- 관리자: 그룹의 책임자로, 그룹의 중심이 되어 학습 조율한다. 그룹 내 구성원 모두가 참여할 수 있도록 독려한다.
- 기록자: 그룹에서 협의한 내용과 조별 보고서를 작성한다.
- 발표자 겸 기술자: 그룹 활동에 대한 조별 보고서 및 결과를 발표하고 학습 도구를 관리하고 작동시킨다.
- 전략분석가: 제시된 과제 해결을 위해 필요한 전략과 방법을 파악하고 제안하며 그룹 내 협의를 주도적으로 이끈다.

3.3. POGIL 교수학습의 적용 분야 및 선행 연구

POGIL은 1994년 미국의 대학 화학 강좌에서 처음 시도되었고(Farrell et al., 1999), 생명과학, 공학, 컴퓨터 과학 등 과학 관련 분야를 넘어 수학, 항공학, 정보 기술, 외국어, 금융, 마케팅 등 더 넓은 학문 영역으로 확대되어 시행되고 있으며, 대상도 중학생부터 예비교사 교육까지 다양

하게 적용되고 있는 학습 중 하나이다(Hanson, 2013; Rodriguez et al., 2020).

POGIL 교수학습에 대한 연구 결과를 살펴보면, Şen et al.(2015)은 미국의 11학년 학생들을 대상으로 POGIL이 화학 수업에서 이들의 자기조절 학습능력에 미치는 영향을 알아보았다. 성취 목표 질문(AGQ)과 학습 동기전략 질문(MSLQ)에 대한 분석 결과, POGIL이 전통적 강의보다 자기조절 학습능력 발달에 더 우수했음을 밝혔다. Vishnumolakala et al.(2017)은 호주 대학교 1학년을 대상으로 태도(attitude), 자아효능감(self-efficacy), 경험(experience)에 대해 조사하였다. 이때 학생들은 화학을 처음 접하거나 사전 화학 지식이 제한된 상태에서 수행되었다. 화학 학습에 대한 태도(ASCI v2), 화학 태도와 경험에 대한 설문지(CAEQ)를 채택하여 POGIL 개입 전후에 대해 알아본 결과, 학습 태도, 자아효능감, 경험에 대해서 통계적으로 유의미한 긍정적 결과가 나왔다. 이는 POGIL 교수법이 학생에게 긍정적인 정서 경험을 제공했음을 시사한다. 또한 질적 연구 결과 POGIL이 학생들과의 상호작용에 전통적 강의보다 더 많은 기회를 제공하였고, 이로 인해 학생들의 조절능력이 향상되어 국가 교육과정의 목표를 달성하는 데 도움이 되었다고 보고하였다.

POGIL에 대한 교수학습 효과에 대하여 분석한 논문에 의하면(Walker & Warfa, 2017), POGIL이 성취도에는 영향이 작았지만(효과크기=.29), 학생들의 수업 통과 확률은 상당히 향상되었다고 보고하였다(효과크기=2.02). 이는 POGIL 수업이 전통적 강의 수업보다는 수업 합격률이 높았음을 의미하며 POGIL 수업이 학업적 실패 확률을 줄였다는 것을 의미한다. POGIL 수업이 강의식 수업과 달리 학생의 참여에 의해 더 나은 성취를 보여주었듯이 학생 참여가 학습 이해에 있어 매우 중요함을 시사한다.

한편, Rodroguez et al.(2020)의 POGIL 교수학습에 대한 메타 분석(총 87개의 논문)에 따르면 지금까지 연구된 연구 방향은 양적 연구가 69개로 대부분을 차지하였다. 이러한 양적 연구의 방대한 결과를 통해 POGIL에 대한 긍정적인 효과가 부각은 되었지만, 일부 연구에서는

POGIL에 대해 우려나 부정적 견해가 존재하는 것도 발견되었다. 학생들이 POGIL을 내용을 다루는 데 시간을 빼앗는 활동이라고 생각하기도 한다는 것이다. 따라서 POGIL의 영향에 대한 더 깊은 이해를 위해 학생 및 교사 대상으로 질적 연구도 더 많이 수행되어야 할 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 여전히 긍정적인 효과로 인해 POGIL은 수업 현장에 적용에 선호되는 교수학습 방법이다. 더욱이 연구의 영역은 POGIL의 고유한 교수학습 설계로부터 확장되기 시작하였다. DeMatteo(2019)은 POGIL에 Flipped Learning을 접목한 교수학습을 개발하고 이를 유기 화학 수업에 적용하였다. 그 결과 상위 사고력을 포함한 영역에서 상호작용이 극대화되었고, 학생의 성취도에 유의미한 차이가 있음을 입증하였다. 그러나 POGIL에 테크놀로지 기술을 도입한 교수학습은 아직 없는 것으로 보인다. 따라서 본 연구는 증강현실 학습 도구를 접목한 증강현실 기반 POGIL 교수학습을 제안하고 이를 적용해보고자 한다.

4. 스캐폴딩

4.1. 스캐폴딩의 정의와 특징

스캐폴딩(Scaffolding)의 사전적 의미는 '높은 곳에서 일할 수 있도록 설치하는 임시가설물, 재료 운반이나 작업원의 통로 및 작업을 위한 발판'으로, 원래는 건축용어로 사용되었다. 이 용어를 교육 분야에서 도입하여 학습자의 효과적인 교수학습을 위해 학습자가 자신의 능력으로 할 수 없는 복잡한 과제를 다른 사람의 도움으로 수행할 수 있는 일련의 과정을 설명하고자 하였다(Puntambekar & Hubscher, 2005; Wood et al., 1976).

Vygotsky의 사회문화이론(1978)에 의하면 개인의 지적 발달은 개인이 속한 사회적 환경의 언급 없이는 이해될 수 없다는 것을 전제로 하며, 개인이 속한 사회의 좀 더 유능한 구성원과의 상호작용이 인지적 발달의

핵심이라고 하였다. Vygotsky는 아동이 독립적으로 수행하는 것이 가능한 '실제적 발달 수준(actual developmet level)'과 도움을 얻었을 때 도달할 수 있거나 도움을 받아야 수행할 수 있는 '잠재적 발달 수준(potential development level)'을 제시하면서 두 발달 수준 사이의 거리를 근접발달영역(ZPD)라 언급하였다. 이러한 ZPD는 고정된 것이 아닌 학습자가 좀 더 높은 수준의 사고, 지식, 기능 및 이해를 획득함에 따라 역동적으로 변화될 수 있기에 학습자의 인지적, 정의적 측면의 발달은 학습자의 실제적 발달수준에 적합한 스캐폴딩에 의존한다. 즉, ZPD는 독립적으로 해결할 수 없지만 도움을 받으면 풀 수 있는 문제들에 의해 결정되며, ZPD 내에서 주어지는 도움을 통해 학습자의 발달을 유도할 수 있다고 보며 이러한 도움 및 지원 체제가 바로 스캐폴딩이다.

Wood et al.(1976)은 스캐폴딩을 '학습자들의 능력 이상의 것을 성취가 가능하도록 해주는 전문가의 도움'이라 정의하였고, Gailmore & Tharp(1990)은 '유능한 성인이 시범을 보이거나 학습자의 수행에 피드백을 주어 인지적 구조화를 돕는 역할'이라 하였다. 이러한 스캐폴딩은 학습자에게 단순하게 제공되는 도움과는 차별화를 지니고 있다.

Van de Pol et al.(2010)은 최근 10년간의 스캐폴딩에 관한 연구 동향을 밝히며 이를 바탕으로 정리한 스캐폴딩의 세 가지 특성을 제시하였다. 첫 번째 특성은 적응성(Contingency)으로, 이는 반응적, 차별적, 또는 조정적인 도움이라 할 수 있다. 교수자가 제공하는 도움은 학습자의 현 수준보다 한 단계 높은 수준이어야 하며, 도움이 적당한 수준의 복잡성을 지녀 학습자가 도전의식을 불러일으킬 정도가 되어야 한다는 것이다. 이를 위해서는 학습자의 현재 수준에 대한 진단이 선행되어야 한다.

두 번째 특성은 페이딩(Fading)으로, 학습자가 목표한 기술을 습득하면 스캐폴딩을 줄여나가는 것을 의미한다(Collin et al., 1987). 페이딩되지 않은 스캐폴딩은 학습자가 자기조절을 촉진시키는 데 방해가 될 수 있기에, 학습자의 과제 해결 역량 수준과 반비례하여 제공되어야 한다.

세 번째 특성은 책임 전이(Transfer of responsibility)로, 스캐폴딩 과정에서 학습에 대한 책임이 교수자에서 학습자에게 점차 옮겨지는 것을

의미한다. 학습에 대한 책임이 학습자가 학습에 대한 통제권이 강화될 때 전이되므로, 성공적인 스캐폴딩을 위해서는 교수자가 제공하는 학습 도움이나 전략이 시간이 지남에 따라 페이딩 되어 과제에 대한 학습자의 책임이 증가되어야 한다. 따라서, 스캐폴딩은 교수자와 학습자 간의 과제 공유에서 완수의 과정을 겪는 동안, 학습자가 독립적으로 과제를 수행할 수 있게 되는 단계의 과정을 거치는 것이라고 볼 수 있다.

그 밖에 스캐폴딩의 특성으로는 지속적인 진단(Ongoing diagnosis)과 상호주관성(Intersubjectivity)이 있다. Wood et al.(1976)은 교수자의 도움이 특정 시점에서의 과제와 학습자에 맞춰질 때 보다 적절해짐을 강조하며 교수자가 지속적으로 학습자의 변화에 대해 민감하게 반응할 필요가 있음을 지적하였다. Puntambeker & Hubscher(2005)은 이러한 지속적인 진단이 스캐폴딩의 수준 및 양을 역동적으로 변화시키고, 학습자가 상호작용의 방향을 결정하는 적극적인 참여자가 되게 한다고 하였다. 상호주관성은 어떤 과제를 시작할 때 서로 다르게 이해하던 참여자들이 공유된 이해에 도달하는 것을 의미하는 것으로, 교수자가 학습자와 과제를 재정의하는 과정 가운데 학습자가 자신이 성취해야 할 목표를 이해하면서 획득되게 된다. 이러한 상호주관성은 학습자가 새로운 정보와 활동의 이해도를 높이도록 지원하는 역할을 한다(진영은 & 서향희, 2011).

이러한 스캐폴딩은 학습자의 과제 수행에 맞춰 주어지는 개입이기에 교수자의 지원이 학습자의 반응이나 과제 유형에 의존한다. 본 연구에서는 스캐폴딩을 학습자가 자기주도 학습이 가능하도록 근접발달영역 내에서 이루어지는 교사 또는 또래와의 상호작용과 이를 도와주는 다양한 도구, 전략, 안내, 자원 등의 지원으로 정의하고자 한다.

4.2. 스캐폴딩의 유형과 제시 형태

스캐폴딩의 유형은 연구자에 따라 사용 목적과 내용, 방법에 따라 다양하게 구분되어 사용되어 왔다. 본 연구에서는 어떤 요소에 초점을 두었는가를 기준으로 ‘상호작용’, ‘기능’, ‘사용 목적’에 따라 분류하여 정리

하였다<표 Ⅱ-9>.

Saye & Brush(2002)는 멀티미디어 학습 환경에서 상호작용을 기준으로 하드(고정적) 스캐폴딩과 소프트(적응적) 스캐폴딩으로 분류하였다. 하드 스캐폴딩은 사전에 학습자의 어려움과 필요를 미리 예상하여 고정된 가이드라인, 절차 등을 제공하여 학습자의 협상이 필요 없는 정보의 형태로 제공하는 것을 의미한다. 소프트 스캐폴딩은 보다 동적인 것으로 학습자가 과제 수행에 있어 교수자의 도움을 필요로 할 때 교수자가 직접 제공하는 것을 의미한다.

Bean & Stevens(2002)는 스캐폴딩이 제공하는 기능에 따라 인지적(cognitive) 스캐폴딩, 정서적(emotional) 스캐폴딩으로 분류하였다. 인지적 스캐폴딩은 학습자의 이해 촉진을 위해 교수자가 제공하는 스캐폴딩을, 정서적 스캐폴딩은 학습에 대한 동기 부여를 위해 교수자가 제공하는 것을 의미한다.

다음의 두 연구는 스캐폴딩의 사용 목적에 따라 유형을 분류하였는데, 먼저 Hill & Hannafin(2001)은 개념적(conceptual), 메타인지적(metacognitive), 절차적(procedual), 전략적(strategic) 스캐폴딩으로 분류하였다. 개념적 스캐폴딩은 학습자들이 문제를 이해하도록 안내하며 문제와 관련된 지식에 대하여 학습자의 이해를 높이기 위한 지원을 제공하는 것을, 메타인지적 스캐폴딩은 학습자가 자신의 이해 상태를 평가하고, 자신의 사고를 되돌아보며 문제 해결 과정을 점검하도록 돕는 것을 의미한다. 절차적 스캐폴딩은 학생의 인지적 부담을 줄일 수 있도록 과제 해결에 필요한 도구와 자원을 활용하는 방법을 안내하는 것을, 전략적 스캐폴딩은 학습자가 과제 해결을 위해 다른 관점이나 방법을 이용하는 것을 돕는 것으로, 예비 해결책이나 잠정적인 해결책을 고안하도록 돕는 것을 의미한다.

Cagiltay(2006)은 지원적(supportive), 성찰적(reflective), 절차적(procedual), 전략적(strategic) 스캐폴딩으로 분류하였다. 지원적 스캐폴딩은 학습자가 개념 형성을 위해 무엇을 고려해야 하는지, 개념을 어떻게 연결해야 하는지를 안내하고 문제 해결에 필요한 자료 등을 제공하는 것을, 성찰적 스캐폴딩은 학습자가 무엇을 했고, 다음에 무엇을 해야 하며, 어떻게 해

야 하는 가에 대한 메타인지적 질문을 통해 학생 스스로 학습 상황을 점검하고 관리, 평가할 수 있는 기회를 제공하는 것을 의미한다. 절차적 스캐폴딩은 주어진 환경에서 사용 가능한 자원과 도구를 사용하는 다양한 방법에 대한 지원을, 전략적 스캐폴딩은 학습과제나 문제에 대하여 분석하고 접근하는 것을 안내하며 유용하리라 생각되는 대안을 제공해 주는 것을 의미한다.

박재용 & 이기용(2012)은 개방적 탐구에 적합한 스캐폴딩 유형으로 인지적(cognitive), 정서적(emotional), 전략적(strategic) 스캐폴딩으로 분류하였으며, 인지적 스캐폴딩을 개념적(conceptual) 스캐폴딩과 메타인지적(metacognitive) 스캐폴딩으로, 정서적 스캐폴딩을 동기적(motivational) 스캐폴딩과 중재적(arbitrative) 스캐폴딩으로 세분화하였다. 이는 앞선 Hill & Hannafin(2001)과 Cagiltay(2006)의 유형과 맥락을 같이하고 있다. 인지적 스캐폴딩에서 개념적 스캐폴딩은 개방적 탐구 수행 시 고려해야 할 점과 과제 해결에 필요한 자료를 안내하는 것이며, 메타인지적 스캐폴딩은 학생 스스로 자신의 탐구 상황을 점검, 관리, 평가할 수 있는 기회를 제공하는 것이다. 정서적 스캐폴딩에서 동기적 스캐폴딩은 허용적인 탐구 분위기를 조성하여 공감과 인정을 통해 학생들의 탐구 의지를 지속적으로 자극하는 것을, 중재적 스캐폴딩은 협동학습에 따르는 학생 간 갈등 예방 및 분쟁 조정, 협력적 상황 등을 유지시키는 것이다. 전략적 스캐폴딩은 학생들이 개방적 탐구에 적극적으로 참여할 수 있는 학습 지원 전략을 적용하고 탐구수행이 원활하게 이루어지도록 기반을 조성하는 것을 의미한다.

학습자들은 영역적 지식과 메타인지적 지식의 부족으로 학습 과정의 어려움을 겪기도 한다(An & Cao, 2014: Belland et al., 2008). 이에 본 연구에서는 화학 결합 학습에 대한 인지적 도움을 제공하고자 Cagiltay(2006)가 정의한 지원적 스캐폴딩과 성찰적 스캐폴딩을 선택하여 증강현실 학습 도구를 활용한 교수학습 방법에 적용해 보고자 하였다. Cagiltay(2006)에 의하면, 지원적 스캐폴딩은 교사로부터 개념에 대한 설명과 문제 해결에 도움이 되는 참고 자료를 제공받아 학습에 대한 직접적인 도움을 얻어

문제를 해결하지만, 성찰적 스캐폴딩은 문제 해결 방법에 대한 단서를 제공받아 메타인지를 활용하여 전략을 세워 문제를 해결하고 그 과정 가운데 자신의 학습 상황을 점검하도록 한다. 특히 성찰적 스캐폴딩에서 성찰적 질문은 메타인지적 활동을 지원하고 문제 해결 과정의 촉진을 통해 내용을 습득하고 지식을 구성하는 데 효과적이라고 보고되었다(Bulu & Pedersen, 2010; Roll et al., 2012). 본 연구에 반영된 구체적인 스캐폴딩에 대한 요소는 Ⅲ.2.2장 연구 절차에서 언급하고자 한다.

<표 Ⅱ-9> 연구자별 스캐폴딩의 유형 분류

기준	연구자	유형	내용
상호 작용	Saye & Brush (2002)	하드	과제 수행 시 학생들이 겪는 전형적인 어려움에 근거하여 미리 예측되거나 계획될 수 있는 정적 지원
		소프트	학습 과정을 돕기 위해 교사 또는 동료에 의해 제공되는 역동적 지원으로, 학습 과정에서 학생들의 지속적 진단에 의한 학생의 반응에 근거하여 지원
기능	Bean & Stevens (2002)	인지적	학습자의 이해를 촉진시키기 위한 제공
		정서적	학습에 대한 동기를 부여하기 위해 제공
사용 목적	Hill & Hannafin (2001)	개념적	문제를 파악할 때 학습자가 고려해야 할 사항에 대한 안내 제공
		메타 인지적	제시된 문제에 대하여 생각하는 방법과 문제를 해결할 수 있는 전략은 무엇이고, 문제를 발견하고 구상하는데 필요한 안내 제공
		절차적	수업 환경에서 도구와 자원을 활용하는 방법에 대한 안내 제공
		전략적	학습 과제와 문제를 분석하고 접근하는 것에 대한 안내 제공
	Cagiltay (2006)	지원적	학습자가 고려할 것이나 개념들 간의 연결에 대한 도움 제공
		성찰적	메타인지적 질문을 통한 학습자의 성찰 과정을 명료화하도록 도움 제공
		절차적	주어진 환경에서 사용가능한 자원과 도구를 사용하는 방법에 대한 도움 제공
		전략적	학습과제나 문제를 분석하고 접근하는 것을 안내, 대안을 제공
	박재용 & 이기용 (2012)	인지적	(개념적) 탐구 과정에서 고려해야 할 점과 과제 해결에 필요한 자료 안내
			(메타인지적) 학생들 스스로 자신의 탐구 상황을 점검하고 관리, 평가할 수 있는 기회를 제공
		정서적	(동기적) 허용적 탐구 분위기 조성, 학습 상황에 대한 공감, 향상 정도에 대한 인정을 통해 탐구 의지를 지속적으로 자극
			(중재적) 학생 상호 간의 갈등 예방, 분쟁 조정, 협력적 상황 유지
		전략적	적극적인 탐구 참여를 이끌기 위한 학습 지원 전략을 적용하고 원활한 탐구 진행 기반 조성

4.3. 과학 교육에서의 스캐폴딩 선행 연구

국내 발표된 스캐폴딩을 활용한 논문을 메타분석한 연구에 따르면(신재한, 2011), 스캐폴딩을 활용한 여러 교과 중 과학 교과에서 학습효과가 가장 크게 나타났다. 또한, 온라인 학습 환경보다는 면대면 학습 환경에서의 효과가 더 컸으며, 인지적 영역이 정의적 영역보다 학습 효과를 달성하는 데 더 효과적이라고 보고하였다.

과학 교육에 적용된 스캐폴딩에 대한 국내 연구를 살펴보면, 강명희 외(2009)는 고등학교 2학년을 대상으로 웹기반 과학탐구수업 도구인 WISE 프로그램을 활용하여 설명제공형 스캐폴딩과 단서제공형 스캐폴딩을 제공하고 이에 대한 학업성취도와 과학탐구능력에 대해 알아보았다. 분석 결과, 두 스캐폴딩 간 학업성취도 차이는 없었으나, 과학탐구능력에서는 차이가 나타났으며 단서제공형이 설명제공형에 비해 높은 과학탐구능력을 보였다.

박재용 & 이기영(2012)은 개방적 탐구에서 요구되는 스캐폴딩 요소를 추출하고, 효과적인 개방적 탐구를 위한 교사의 스캐폴딩 기능을 탐색하는 연구를 수행하였다. 중학교 학생을 대상으로 설문조사와 일부 학생 대상 그룹 인터뷰를 실시하고 이를 분석하여, 스캐폴딩 요소를 추출하였다. 또한, 연구에 참여한 교사를 대상으로 심층 면접을 실시하여 이를 분석한 결과, 스캐폴딩의 기능을 인지적(개념적, 메타인지적), 정서적(동기적, 중재적), 전략적 기능으로 범주화하였다. 한편, 교사들은 스캐폴딩의 인지적, 전략적 기능을 정서적 기능보다 더 선호하는 것으로 나타났다.

이기영 외(2019)는 고등학생들의 통합 탐구 기능 함양을 위해 학교 현장에서 활용할 수 있는 인지적 스캐폴딩 도구를 개발하고, 이를 일반계 고등학교 학생들에게 적용하여 인지적 스캐폴딩 도구 활용이 통합 탐구 기능에 미치는 효과를 알아보고자 하였다. 통합 탐구 기능 교육을 위한 수업용 자료, 자신의 학습 수준에 맞춰 선택적으로 활용할 수 있는 개별 학생용 자료, 그리고 가설 연역적 탐구 형식의 탐구과제를 개발하고 이에 대한 효과 검증으로 실험군, 대조군의 사전, 사후 검사를 수행하였다.

이때, 인지적 스캐폴딩 도구는 학생들이 과학 탐구 활동을 수행하기 전 단계에서 과학 탐구 과정과 통합 탐구 기능의 이해를 목적으로 사용되었으며, 앞서 박재용 & 이기영(2012)이 범주화한 인지적 스캐폴딩의 모든 요소가 수업 자료 및 과정에 포함되어 있다. 분석 결과, 인지적 스캐폴딩 도구를 사용한 실험군이 모든 평가 요소에서 유의미하게 높은 점수를 보였으며, 전반적으로 통합 탐구 능력이 향상되었다.

황경양 & 김회수(2021)는 위키 기반 블랜디드 협력학습에서 스캐폴딩 유형이 초등학생의 과학성취도에 미치는 영향을 살펴보았다. 자기점검 스캐폴딩 집단, 내용점검 스캐폴딩 집단, 통제 집단을 선정하고, 메타인지적 지식이 스캐폴딩과 성취도에 미치는 영향을 고려한 선행 연구를 바탕으로 메타인지를 통제한 후 집단 간 차이를 분석한 결과, 자기점검 스캐폴딩 집단이 다른 두 집단에 비해 사후 과학성취도 점수가 통계적으로 유의미하게 높았다. 또한, 파지효과 분석 결과도 자기점검 스캐폴딩 집단이 가장 높은 것으로 나타났다. 자기점검 스캐폴딩의 집단은 수업 완료 후에도 과학성취도 점수가 감소하지 않고 높은 수준으로 유지되고 있어, 자기검검 스캐폴딩이 과학 학습의 문제 해결에 필요함을 입증하였다.

그러나, 지금까지 연구 영역이 주로 웹 기반 학습에서의 스캐폴딩 종류에 따른 효과 입증을 다루고 있거나(강명희 외, 2009; 황경양 & 김회수, 2021), 탐구 기능 향상을 위한 스캐폴딩 적용에 대한 연구가 진행되어(이기영 외, 2019), 첨단 테크놀로지를 활용한 과학 학습에서의 스캐폴딩 제공이 학습에 미치는 영향에 대해서도 알아볼 필요가 있다. 또한, 지금까지의 연구가 학습자의 수준이나 성향을 고려하지 않은 스캐폴딩의 적용 효과를 알아보았다면, 학습자의 수준이나 성향에 따라 직면하는 어려움이 다를 수 있으므로, 개별 수준에 적합한 스캐폴딩 유형을 알아보는 연구도 필요한 실정이다.

Ⅲ. 연구 방법 및 절차

본 연구의 목적은 화학 결합 학습에 적합한 모바일 증강현실 애플리케이션을 개발하고, 이를 실제 현장 수업에 적용하는 것이다. 증강현실 앱 개발과 이에 대한 현장 적용을 위해 관련 문헌을 고찰하여 개발 및 현장 적용의 연구 방향을 설정하였다. 이후 화학 결합 앱 개발을 위해 개발 중점 사안을 선정하고 이를 토대로 마커조합형 앱을 개발하여 현장교사 5인을 대상으로 전문가 평정을 실시하고, 고등학생을 대상으로 증강현실 사용성 태도 평가를 수행하였다. 현장 연구는 두 종류로 진행하였으며, 그중 한 연구는 개발한 앱을 과정지향 안내탐구학습에 접목하여 이에 대한 교육적 효과를 검증한 연구로, 고등학생 1학년을 대상으로 증강현실을 활용한 교수학습 방법이 인지적 영역(학업성취도)과 정의적 영역(학습 동기, 학습 몰입감)에 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 하였다. 다른 하나는 스캐폴딩의 유형에 따른 증강현실 기반 교수학습이 인지적, 정의적 영역에 어떠한 영향을 미치는지 고등학생 2학년을 대상으로 알아보고자 하였다. 이러한 연구를 통해 화학 결합 증강현실 앱을 활용한 교수학습 적용이 어떠한 교육적 의미를 가지는지 탐색하고 이와 관련된 시사점을 도출하고자 하였다. 본 연구의 전체적인 연구 방법은 [그림 Ⅲ-1]과 같다.

연구 절차	연구 활동
문헌 연구	• 증강현실 기반 과학 교육 및 화학 교육에 대한 문헌 고찰 • 과정지향 안내탐구학습, 스캐폴딩 등의 문헌 고찰 • 통합과학, 화학I 교과서 분석 • 증강현실 앱 개발 종류 선정 및 수업 전략 구성
개발	**화학 결합 모바일 증강현실 애플리케이션 개발** • 어포던스 관점의 증강현실 앱 개발 중점 사안 선정 • ARCore를 활용한 Android OS 기반 마커조합형 앱 개발 • 현장 교사 5인의 전문가 평정 - 설문조사를 통한 CVI, IRA 값 도출, 전문가 개별 면담 • 고등학생 대상 증강현실 앱 사용성 평가 검증
현장 적용	**모바일 증강현실을 활용한 과정지향 안내탐구학습의 효과** • 증강현실 기반 교수학습을 적용한 수업 실시 - 준실험설계 - 고등학교 1학년 학생 대상 :전통적 강의, POGIL, POGIL-MAR 집단 - 통합과학 '물질의 규칙성과 결합' 4차시 적용 - 사전-사후 과학 학업성취도, 학습동기, 학습 몰입감 검사 - 2-way ANCOVA, 2-way MANCOVA 분석 **스캐폴딩 유형에 따른 모바일 증강현실을 활용한 과정지향 안내탐구학습의 효과** • 증강현실 기반 스캐폴딩을 적용한 수업 실시 - 준실험설계 - 고등학교 2학년 학생 대상 : SS, RS 집단 - 화학 I '화학 결합과 분자의 세계' 5차시 적용 - 사전-사후 화학 학업성취도, 학습동기, 학습 몰입감 검사 - 2-way ANCOVA 분석

화학 결합 증강현실 앱을 활용한 현장 적용의 교육적 의미 탐색 및 시사점 도출

[그림 Ⅲ-1] 연구 방법 모식도

1. 화학 결합 모바일 증강현실 애플리케이션 개발

1.1. 증강현실 플랫폼[2)]

본 연구에서 사용할 증강현실 기술 구현을 위해 ARCore라는 증강현실 플랫폼을 이용하였다. ARCore는 증강현실 경험을 구축하기 위한 Google의 플랫폼이다. ARCore는 다양한 API(Application Programming Interface)를 사용하여 모바일 기기가 환경을 감지하고 실제 세계를 이해하며 이를 통해 가상 콘텐츠와 실제 세계 간 상호작용이 일어나도록 도와준다. 본 연구에서는 ARCore의 다음과 같은 주요 기능을 사용하여 모바일 기기 카메라를 통해 볼 수 있는 실제 세계와 가상 콘텐츠를 통합하였다<표 Ⅲ-1>.

<표 Ⅲ-1> ARCore의 주요 기능

ARCore의 주요 기능	내 용
모션 추적	실제 세계에서 스마트 기기를 이동함에 따라 상대적인 위치를 파악
환경 이해	특징점과 평면을 감지하여 실제 환경에 대한 이해를 지속적으로 개선
거리 이해	가상 개체가 관찰된 표면과 정확하게 위치하도록 만들거나 실제 개체의 앞이나 뒤에 표시되도록 함
사용자 상호작용	실제 환경에서 개체를 선택하거나 상호작용할 수 있는 기능
증강 이미지	특정 2D 영상에 반응할 수 있는 증강현실 앱을 구축할 수 있는 기능

첫째, 모션 추적 기능으로, 실제 세계에서 스마트 기기를 이동함에 따라 ARCore는 SLAM(simultaneous localization and mapping)이라는 프로세스를 사용하여 스마트 기기의 실제 세계에서의 상대적인 위치를 파악한다. ARCore는 캡처된 카메라 영상에서 특징점이라고 하는 시각적으로 구별되는 특징을 감지하고 이러한 점을 사용하여 위치 변화를 계산한

2) 이 절은 Google사에서 제공하는 ARCore의 개발 환경 개요의 주요 기능을 재구조화하여 제시하였다.

다. 시각 정보는 장치 IMU의 관성 측정 값과 결합되어 시간 경과에 따른 실제 세계에 대한 카메라의 자세(위치 및 방향)를 추정한다. 3D 콘텐츠를 렌더링하는 가상 카메라의 자세를 ARCore에서 제공하는 장치 카메라의 자세와 일치시킴으로써 개발자는 가상 콘텐츠를 올바른 시점에 렌더링 할 수 있다. 렌더링된 가상 영상은 장치의 카메라에서 얻은 영상 위에 겹쳐서 가상 콘텐츠가 실제 세계의 일부인 것처럼 보이게 할 수 있다.

둘째, 환경 이해 기능으로, ARCore는 특징점과 평면을 감지하여 실제 환경에 대한 이해를 지속적으로 개선한다. ARCore는 테이블이나 벽과 같은 일반적인 수평 또는 수직 표면에 있는 특징점 집합을 찾고 이러한 표면을 앱에서 평면으로 사용할 수 있도록 한다. 또한 각 평면의 경계를 결정하고 해당 정보를 앱에 제공한다. 이 정보를 사용하여 사용자는 평평한 표면에 가상 개체를 배치할 수 있다. ARCore가 특징점을 사용하여 평면을 감지하기 때문에 흰색 벽과 같이 질감이 없는 평평한 표면은 제대로 감지되지 않을 수 있다.

셋째, 거리 이해 기능이다. ARCore는 지원되는 장치의 기본 RGB 카메라를 사용하여 특정 지점과 표면 사이의 거리에 대한 데이터가 포함된 영상인 깊이 맵(depth map)을 만들 수 있다. 깊이 맵에서 제공하는 정보를 사용하여 가상 개체가 관찰된 표면과 정확하게 위치하도록 만들거나 실제 개체의 앞이나 뒤에 표시되도록 하는 등 몰입감 있고 사실적인 사용자 경험을 구현할 수 있다.

넷째, 사용자 상호작용 기능으로, ARCore는 모바일 기기 (x, y) 화면 좌표(화면 탭을 통해 얻은 좌표 정보)와 대응되는 실제 세계에서의 위치를 hit 테스트를 사용하여 구한다. hit 테스트는 모바일 화면 좌표에서 역으로 광선을 투영했을 때 실제 세계와 만나는 점을 구하는 것으로 이를 통해 사용자는 실제 환경에서 개체를 선택하거나 상호작용할 수 있다.

다섯째, 증강 이미지 기능이다. 증강 이미지는 제품 포장이나 영화 포스터와 같은 특정 2D 영상에 반응할 수 있는 증강현실 앱을 구축할 수

있는 기능이다. 사용자는 모바일 기기의 카메라로 특정 영상을 가리키면 증강현실 경험을 시작하게 할 수 있다. 영상은 ARCore의 영상 데이터베이스에 등록해야 하며 ARCore가 등록된 영상과 영상의 경계를 감지하여 해당 영상의 실제 세계에서의 자세 즉, 위치 및 방향를 반환한다.

위와 같은 기능을 탑재한 증강현실 플랫폼을 이용하여 화학 결합에 대한 Android용 애플리케이션을 개발하였다.

1.2. 개발 절차

1.2.1. 증강현실 애플리케이션의 실제적 개발

본 연구에서 증강현실 애플리케이션의 실제적 개발 과정은 다음과 같이 분석, 디자인, 개발, 평가, 보완, 논의의 단계로 진행하였으며, 이에 대한 내용은 [그림 Ⅲ-2]와 같다.

단계	수행 내용
분석	선행문헌 분석을 기반으로 요구를 조사하여 증강현실 애플리케이션의 개발 방향을 모색함.
디자인	선행문헌에 근거한 어포던스 기반 개발 중점 사안을 선정하여 화학결합 증강현실 애플리케이션의 디자인 특성을 설정함.
개발	'ARCore'를 이용하여 화학 결합 증강현실 애플리케이션을 개발함.
평가	과학교사 5인을 대상으로 타당성 평가를 시행하고, 개선점에 관한 조언을 얻음.
보완	타당성 평가의 결과 수렴 및 제기한 개선점을 반영하여 고등학생을 대상으로 사용성 태도를 시행함.
논의	개발한 증강현실 애플리케이션의 사용성 특징을 논의함.

[그림 Ⅲ-2] 화학 결합 증강현실 앱의 실제적 개발 과정

본 연구의 애플리케이션 개발은 화학 결합 관련 선행 연구의 기술적 측면을 분석해 각 연구들의 한계점을 보완하는 방향으로 애플리케이션의 개발 방향을 모색하였다. 또한 현장 교사의 경험에 입각한 조언을 반영하여 어포던스 기반 개발 중점 사안을 선정하였다. 이를 통해 애플리케이션의 디자인 특성을 설정하고, 출판된 2015 개정 통합과학 모든 교과

서 속에 제시된 결합이 모두 구현되도록 결합 종류 리스트를 1차적으로 작성하였다. 개발 도구로는 안정적이고 범용적인 화학 결합 증강현실 애플리케이션 구축을 위해 안드로이드 운영체제(Android OS)에도 적용 가능한 ARCore를 선택하였다. 프로토타입의 애플리케이션은 개발 중점 사안의 기술적 측면에 집중하여 제작하였다면, 이후 진행한 개발 버전은 학습 이해 측면에 집중하여 제작하였다. 기존의 통합과학 수준의 결합의 예시로는 고등학교 전반에 걸쳐 사용하기에는 한계가 있기에 화학 Ⅰ수준까지의 예시의 종류를 확장하였으며, 추가로 한국교육과정평가원에서 출제한 지난 5년간의 기출 문제를 분석하여 해당 예시가 모두 구현되도록 결합의 종류를 늘렸다. 이렇게 개발된 화학 결합 증강현실 앱(알파버전)에 대하여 연구자는 화학 수업에 경력이 있는 현장교사 5인으로부터 전문가 평정을 실시하고 의견을 수렴하여 수정 및 보완 사항을 점검하였다. 평가에 대한 보완 과정으로 실제로 사용해보고 의견을 주신 5인의 교사 피드백을 반영하여 사용자의 편의를 돕는 화학 결합 증강현실 앱을 만드는데 주력하였다. 개선점이 반영된 버전(베타버전)은 학교 현장에 투입하였으며, 고등학생을 대상으로 증강현실 앱의 사용성 태도를 평가하고 증강현실 사용성의 특징을 논의하였다.

1.2.2. 어포던스 기반 개발 중점 사안 및 디자인 특성

화학 결합 증강현실 앱은 화학 결합 학습에 도움을 주기 위한 학습 도구로서 교육적 어포던스 관점에서 개발 중점 사안을 선정하여 개발되었다. 어포던스는 Gibson(1979)이 제안한 용어로, 인간을 둘러싼 환경이나 사물에 대한 지식 또는 정보가 신념, 기억, 재현, 추론 등의 내적 조작에 의한 노력 없이도 직접적으로 지각되는 것을 의미한다. 또한, 어포던스는 인간의 행위를 암묵적으로 유도하는 사물에 내재된 단서 또는 디자인 특성을 의미하기도 한다(Gibson & Pick, 2000; Hartson, 2003). 어포던스 이론은 제품디자인, HCI 분야뿐만 아니라, 교육 분야에 이르기까지 적용되면서 개념이 점차 확장되었다. 특히, 교육 분야에서는 교육적 환경에서

의 학습 도구의 역할 및 특징에 대해 어포던스 관점으로 연구가 진행되어왔다(손미현 외, 2017; 이재원 외, 2018; Cheng & Tsai, 2013).

교육적 어포던스는 주어진 교육 맥락 안에서 특정 학습 행동에 대해 그것이 일어날 수 있거나 일어나도록 인위적으로 의도된 교육 자원의 특징으로 정의되며, 학습자원이 학습 목적에 도달할 수 있도록 수행할 수 있는지 없는지를 결정하는 효용성(utility)과 관련이 있다(Kirschner, 2002; Kirschner et al., 2004). 이러한 관점을 반영하여 증강현실 애플리케이션의 개발에 있어 4가지 중점 사안을 고려하였다[그림 Ⅲ-3].

[그림 Ⅲ-3] 교육적 어포던스 관점의 화학 결합 증강현실 앱 개발 중점 사안

첫 번째 중점 사안은 '마커조합형 결합 형성'으로, 한 장의 카드 위에 분자 모형이 단순히 증강되었던 대부분의 화학 결합 증강현실 앱과 달리 마커 카드를 조합해야 실제 결합이 가능한 분자 및 이온 결합물이 증강될 수 있도록 하였다. 두 번째 중점 사안은 '결합 가능한 각도 구현'으로,

이는 결합이 가능한 원자를 결합 각도를 고려하지 않은 채 무작위로 배열한다고 해서 결합이 형성되는 것이 아니라, 결합 각도를 고려한 원자 카드의 조합만이 결합이 형성되도록 구현하고자 하였다. 이에 다양한 각도의 조합의 가능하도록 원자 카드를 원형으로 만들었다. 세 번째 중점 사안은 '결합 가능 물질의 다양화'이다. 이는 교과서 속 예시로만 화학 결합 구조를 살펴보는 것에서 그치는 것이 아니라, 다양한 결합 형태를 살펴볼 수 있도록 출판된 모든 교과서의 예시를 살펴보고 이에 포함된 원소를 모두 제공하여 많은 결합 구조가 가능하도록 개발하고자 하였다. 네 번째 중점 사안은 '3차원 입체 구조의 회전'으로, 공간지각능력에 대한 어려움을 해소하기 위한 방안으로 입체 구조를 360°로 회전하며 보여주고자 하였다.

증강현실 앱 개발을 위한 디자인 특성은 황윤자(2013)가 제안한 교육용 모바일 증강현실 어포던스 가이드 라인을 참고하여 화학 결합 증강현실 앱의 디자인 설계를 진행하였다. 황윤자(2013)는 증강현실의 특징, 어포던스와 관련된 사용성 설계원리, 애플리케이션 디자인 등의 문헌 연구를 바탕으로 어포던스를 Hartson(2003)이 제시한 인지적, 감각적, 물리적 어포던스로 나누고 각 유형에 맞게 항목을 설정하였다. 어포던스 유형의 항목별 세부 지침은 2~5개로 제시하고 있으나, 이 중 개발에 필요한 항목의 세부 지침만 활용하여 디자인을 설계하였다. <표 Ⅲ-2>는 화학 결합 증강현실 앱 디자인을 위해 활용한 어포던스 설계 가이드라인을 나타낸 것이다.

인지적 어포던스는 직관적 인식, 가이드, 학습정보제공, 학습자 인지수준의 4항목으로 구분하여 세부지침을 설정하였다. 직관적 인식은 증강현실 앱이 어떤 기능을 가졌는지 쉽게 인식할 수 있어야 하며, 버튼이나 메뉴 레이블을 보고 예측 가능해야 함을 말한다. 가이드는 문제가 발생하였을 때 무엇을 해야 하는지 명확하게 안내하는 것을 말한다. 학습정보제공은 모바일의 한 화면에 제시 가능한 양의 학습 정보만을 제시해야 하고, 연습 및 참여 기회를 제공하는 것을 의미한다. 학습자 인지수준은 학습자의 수준을 고려하여 쉽고 재미있게 공부할 수 있도록 개발해야 함

을 의미한다.

감각적 어포던스는 색상, 화면 배치, 오감활용의 3항목으로 구분하여 세부지침을 설정하였다. 전체적인 색상은 가독성을 고려한 최적의 색상을 사용하고, 가상현실(2D, 3D)의 색상은 실제의 특성을 반영해야 함을 의미한다. 화면 배치는 불필요한 메뉴를 줄이고 실제의 특징을 고려해 단순하고 집중 가능한 배치를 해야 함을 말한다. 오감활용은 모바일 증강현실에 맞게 텍스트, 이미지, 오디오 등의 정보 유형을 적절하게 활용하는 것을 말한다.

물리적 어포던스는 객체조작용이성, 입력용이성, 조작오류대처의 3항목으로 구분하여 세부지침을 설정하였다. 객체조작용이성은 증강현실 객체를 통해 콘텐츠를 쉽고 편리하게 움직이는 것을 의미한다. 입력용이성은 버튼, 메뉴, 아이콘 등은 정확하게 터치할 수 있도록 크기가 충분히 크게 설계하는 것을 말한다. 조작오류대처는 오류가 발생하였을 때 바로 복귀할 수 있는 기능을 지니고 있어야 함을 의미한다.

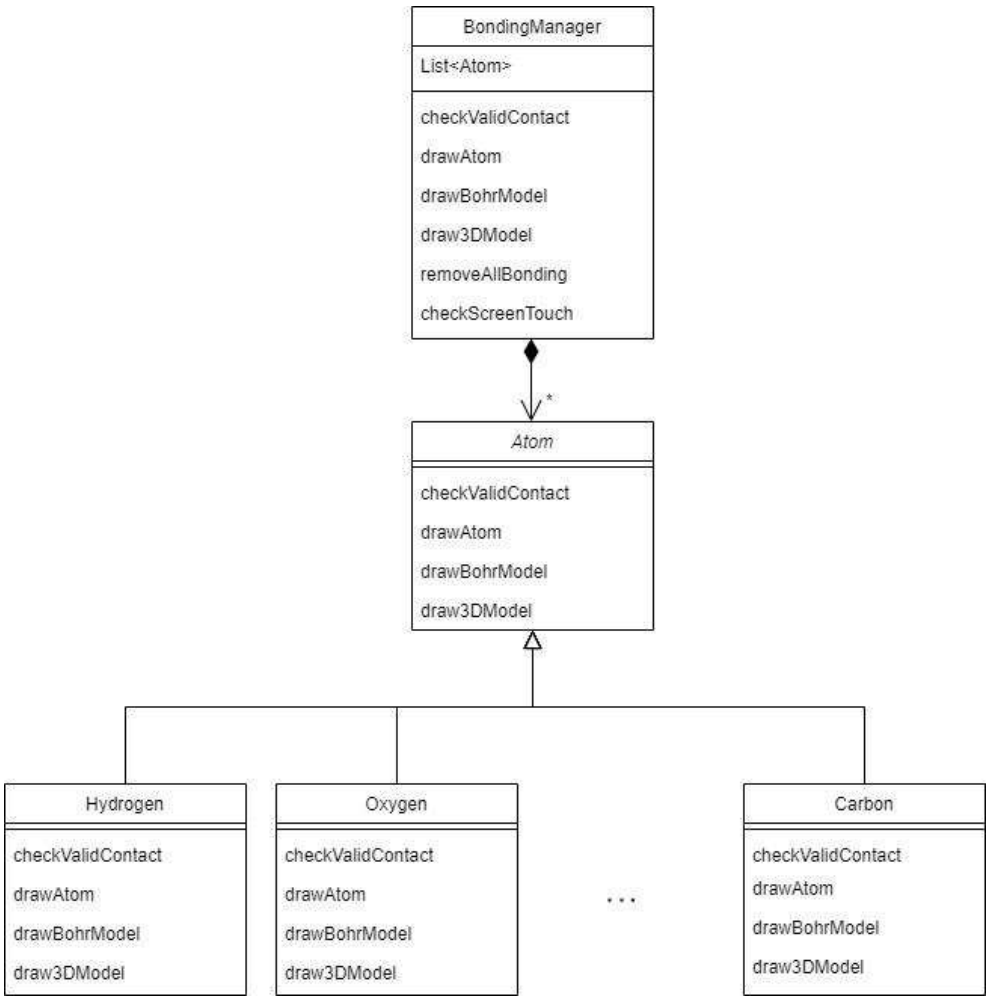
<표 Ⅲ-2> 화학 결합 모바일 증강현실의 어포던스 설계 가이드라인(황윤자, 2013 재구성)

유형	설명	항목	디자인 방향의 세부 지침
인지적 어포던스	무엇인가를 알고자 할 때 사용자를 돕는 디자인	1) 직관적 인식	1-1) 모바일 증강현실이 어떤 기능을 가졌는지를 쉽게 인식할 수 있어야 한다. 1-2) 버튼이나 메뉴의 레이블을 보고 예측 가능해야 한다.
		2) 가이드	2) 문제 발생 시 무엇을 해야 하는지 명확해야 한다.
		3) 학습정보제공	3-1) 모바일의 한 화면에서 제시 가능한 양의 학습정보만 제시되어야 한다. 3-2) 연습 및 참여의 기회를 제공해야 한다.
		4) 학습자 인지수준	4) 학습자의 수준을 고려하여 학습자가 학습내용을 쉽고 재미있게 공부할 수 있도록 해야 한다.
감각적 어포던스	사용자가 무엇인가를 느끼는 데 도움이 되는 디자인	1) 색상	1-1) 한눈에 들어오도록 가독성을 고려한 최적의 색상을 사용해야 한다. 1-2) 가상현실(2D, 3D)의 색상은 실제의 특징을 고려해야 한다.
		2) 화면 배치	2-1) 불필요한 메뉴는 줄이고, 증강현실의 화면 배치는 실제의 특징을 고려해야 한다. 2-2) 증강현실 표현은 단순하고 집중 가능해야 한다.
		3) 오감활용	3) 모바일 증강현실에 맞는 텍스트, 이미지, 오디오 등의 정보유형을 적절하게 활용해야 한다.
물리적 어포던스	신체적 행동을 할 때 사용자를 돕는 디자인	1) 객체조작용이성	1) 증강현실 객체를 통해 콘텐츠를 쉽고 편리하게 움직일 수 있어야 한다.
		2) 입력용이성	2) 버튼, 메뉴, 아이콘은 정확하게 터치할 수 있도록 충분히 커야 한다.
		3) 조작오류대처	3) 조작 오류 시 바로 복귀할 수 있는 기능이 있어야 한다.

1.3. 화학 결합 증강현실 애플리케이션 설계

화학 결합 증강현실 애플리케이션(이하 '화학 결합 앱')은 객체 지향적으로 설계되었다. 객체 지향 프로그래밍(영어: Object-Oriented Program-ming, OOP)은 컴퓨터 프로그래밍의 패러다임 중 하나로, 컴퓨터 프로그램을 명령어의 목록으로 보는 시각에서 벗어나서 여러 개의 독립된 단위, 즉 '객체(Object)'들의 모임으로 파악하는 것이다. 각각의 객체는 메

시지를 주고받고, 데이터를 처리할 수 있다. 화학 결합 앱의 주요 Class Diagram은 [그림 Ⅲ-4]와 같다.



[그림 Ⅲ-4] 화학 결합 증강현실 앱의 주요 Class Diagram

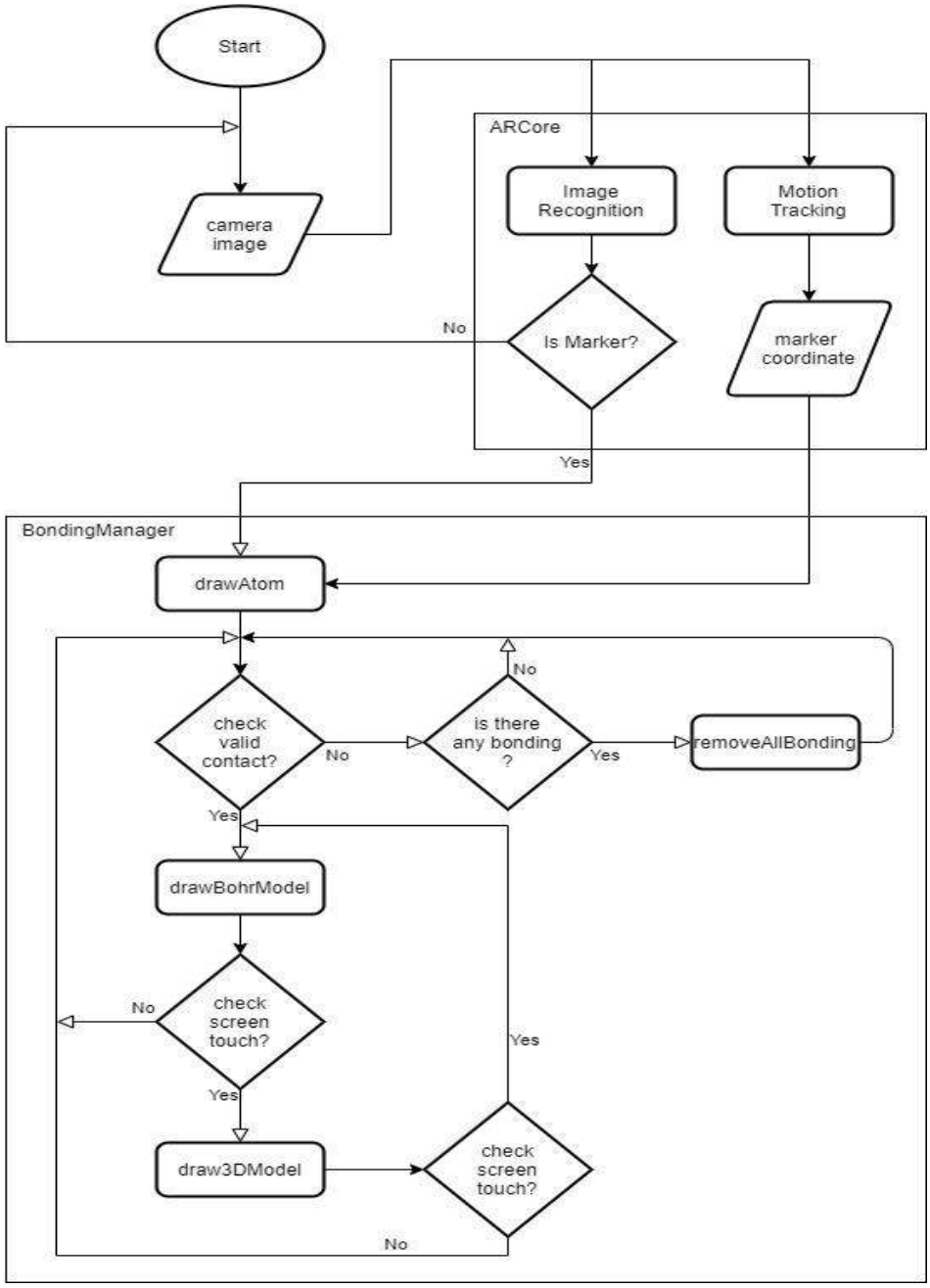
먼저 Atom 클래스는 다양한 원자 클래스의 Base 클래스로 4개의 주요 멤버 함수로 이루어져 있다. Atom 클래스의 checkValidContact() 멤버 함수는 자신의 원자가 분자로 결합될 수 있는 상대 원자가 무엇인지

에 대한 정보를 바탕으로 해당 상대 원자가 일정 거리 및 일정 각도에 배치되어 있는지를 판단하고 해당 상대 원자와 결합을 이룰 수 있는지의 여부를 리턴한다. drawAtom() 멤버 함수는 ARCore에서 마커를 인식했다고 알려주면 인식된 마커 위에 원자 모델을 그려준다. drawBohrModel() 멤버 함수는 checkValidConatct() 멤버 함수가 true를 리턴할 경우 화면에 각 원자가 결합할 때 나타나는 해당 보어 모델을 그려주며 draw3DModel() 멤버 함수는 결합이 형성된 분자를 화면에서 터치 시에 해당 보어 모델을 지우고 3D 모델을 그려주는 역할을 담당한다.

다음으로 화학 결합 전체를 관리하는 BondingManager 클래스는 Atom 클래스 리스트를 멤버 변수로 하고 6개의 주요 멤버 함수로 이루어져 있다. 화면에 원자 마커가 인식될 때마다 BondingManager 클래스의 멤버 변수인 Atom 클래스 리스트에 해당 원자가 추가된다. 화학 결합 앱의 중요한 클래스인 BondingManager 클래스 내에서 이루어지는 주요한 Flow Chart는 [그림 Ⅲ-5]와 같다.

먼저 모바일 기기의 카메라로부터 취득된 영상은 ARCore의 입력으로 들어온다. 카메라 영상에 마커가 있으면 해당 마커가 어떤 마커인지를 식별하고 식별된 마커의 ID를 BondingManager로 넘겨준다. 또한 ARCore는 카메라가 움직일 경우 식별된 마커를 추적하면서 마커의 정보 즉 마커의 위치 등을 BondingManager로 넘겨준다.

한편, ARCore로부터 마커의 ID를 전달받은 BondingManager에서는 Atom 리스트에 저장된 원자들의 checkValidContact() 함수를 차례로 호출하면서 화학 결합 유무를 체크한다. 유효한 배치일 경우 Atom 리스트에 저장된 원자들의 drawBohrModel() 함수를 차례로 호출하면서 해당 원자의 보어 모형을 그려준다. 만약 유효한 배치가 아니거나 이미 결합이 형성이 되어 있을 시에는 removeAllBonding() 함수를 호출하여 상태를 초기화한다. 또한 결합이 형성되어 이미 보어 모형이 나타나고 있는 상황에서 해당 결합을 스크린에서 터치를 하면 BondinManager에서는 Atom 리스트에 저장된 원자들의 draw3DModel() 함수를 차례로 호출하면서 해당 보어 모델을 3D 모델 형태로 전환시켜준다.



[그림 Ⅲ-5] 화학 결합 증강현실 앱의 주요 Flow Chart

1.4. 화학 결합 증강현실 앱에 대한 전문가 평정

1.4.1. 연구 참여자

본 연구에서 개발한 마커조합형 화학 결합 증강현실 앱(알파버전)에 대하여 현장 교사 5인을 대상으로 타당성 평가 및 면담을 시행하였다(Grant & Davis, 1997). 이는 경력 있는 과학교사들의 관점이 반영된 양적, 질적 데이터를 얻기 위해 수행된 것으로 개발된 화학 결합 증강현실 학습 도구의 타당성을 재고하기 위함이다. 이러한 평가 방법은 혼합연구 방법의 관점에 상응된다고 볼 수 있다(Creswell & Clark, 2017).

전문가 평정 타당성 평가에 참여한 교사는 <표 Ⅲ-3>과 같다. 모두 석사 학위를 지니고 있었으며, ICT 기반 교수학습을 운영해 본 경험이 있었다. 평가에 참여한 교사 5인은 본 화학 결합 증강현실 앱을 체험한 이후에 타당성 평가지를 작성하였고, 응답 내용과 관련하여 추가적인 면담에도 참여하였다.

<표 Ⅲ-3> 화학 결합 증강현실 앱에 대한 전문가 평정 참여교사

참여교사 코드	전공 분야	최종학력	소속 직책	교사경력	ICT 기반 교수학습 경험
A 교사	화학교육	석사	고등학교 교사	12년	있음
B 교사	화학교육	석사	고등학교 교사	8년	있음
C 교사	화학교육	석사	고등학교 교사	25년	있음
D 교사	화학교육	석사	고등학교 교사	19년	있음
E 교사	화학교육	석사	고등학교 교사	10년	있음

*참여교사 코드 순서는 임의 배열한 것임

1.4.2. 자료 수집

전문가 평정을 위한 타당성 평가는 Grant & Davis(1997)가 제안한 형식을 포함한 이창윤(2019)이 사용한 평가지를 활용하였다. 설문지 내용

은 본 연구에서 개발한 화학 결합 증강현실 앱이 학습 도구로서 적절한가에 대한 적합성, 가시성, 유용성, 보편성, 이해도 측면에서의 4단계 리커트 척도 문항과 화학 결합 증강현실 앱에 관한 조언을 얻을 수 있는 서술형 문항이 포함되어 있다. 구체적인 타당성 평가 설문지는 <표 Ⅲ-4>와 같다.

<표 Ⅲ-4> 화학 결합 증강현실 앱에 대한 타당성 평가 설문지

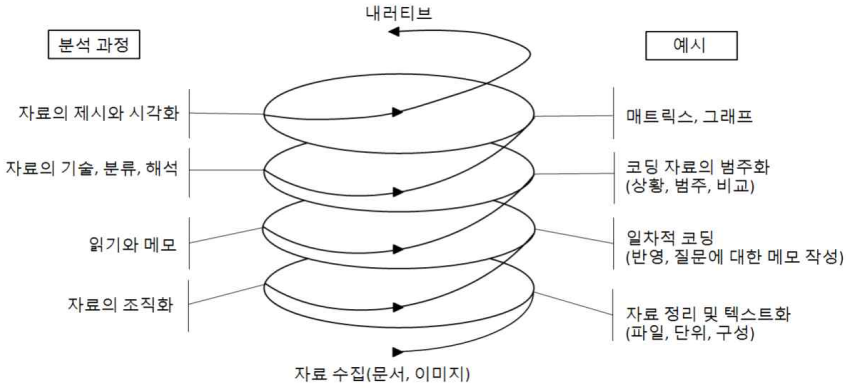
유형		설문지 내용
4단계 리커트 척도	(적합성)	본 화학 결합 증강현실 앱은 중등 과학교육을 위한 교육콘텐츠로 적합하다.
	(가시성)	본 화학 결합 증강현실 앱은 중등 과학교육에서 다루는 내용을 (학생들에게) 시각적으로 제대로 전달할 수 있다.
	(유용성)	본 화학 결합 증강현실 앱은 중등 과학교육을 위한 교육콘텐츠로, 교육 현장에서 유용하게 이용될 수 있다.
	(보편성)	본 증강현실 기반 화학 결합 앱은 중등 과학교육을 위한 교육콘텐츠로, 교육 현장에서 보편적으로 이용될 수 있다.
	(이해도)	본 증강현실 기반 화학 결합 앱은 중등 과학교육을 위한 교육콘텐츠로 활용하는 데 있어, (교사가) 이해할 만하다.
서술형	본 증강현실 기반 화학 결합 앱(원소 카드를 포함하여)의 장점(또는 기대효과)은 무엇입니까?	
	본 증강현실 기반 화학 결합 앱(원소 카드를 포함하여)의 단점(또는 걱정, 우려 등)은 무엇입니까?	
	본 증강현실 기반 화학 결합 앱(원소 카드를 포함하여)에서 개선하거나 보완해야 할 점은 무엇입니까?	
	(기타) 본 증강현실 기반 화학 결합 앱(원소 카드를 포함하여)에서 추가로 언급하고 싶은 내용이 있는 경우, 자유롭게 기재해 주시기 바랍니다.	

1.4.3. 자료 분석

타당성 평가에 대한 4단계 리커트 척도 자료 분석은 Rubio et al. (2003)이 제안한 내용 타당도 지수(Content Validity Index: CVI)와 평정자 간 일치도 지수(Inter-Relater Agreement: IRA)를 중심으로 평가 응답 내용을 분석하였다. 전문가 타당성 평가는 4점 척도로 평가를 하고, 1(전혀 그렇지 않다)과 2(그렇지 않다)를 부정적 응답으로 코딩하고, 3(그렇다)와 4(매우 그렇다)를 긍정적 응답으로 코딩하여 이 두 그룹에

대한 전문가들의 평가에 대한 일치 여부를 측정하였다. 내용 타당도 지수(CVI)는 각 설문 항목에 대해 타당하다고 평가한 긍정적 응답의 전문가 수를 전체 전문가의 수로 나누어 계산하였으며, 평가자 간 일치도(IRA)는 전체 문항 중 평가자 간 의견일치를 보인 문항의 수로 나누어 계산하였다. CVI는 .08 이상이면 내용 타당도가 높은 것으로 판단하며(Davis, 1992), IRA도 .08 이상이면 전문가들의 평가를 신뢰할 수 있다고 해석된다(Rubio et al., 2003).

타당성 평가 설문지에서의 서술형 문항 응답과 면담 내용에 대해서는 나선형 질적 자료 분석 방법에 입각하여 분석하였다(Creswell & Creswell, 2017). 수집한 다양한 형태의 자료(관찰, 면담, 문서)를 바탕으로 자료를 정리하고 텍스트를 변환하여 자료 조직화, 읽기와 메모 과정을 거쳐 의미 단위의 작은 범주로 통합하는 일차적 코딩 과정을 수행하였다. 이후 코딩된 자료를 기술, 분류, 해석하는 과정을 통해 더 큰 추상적 단위로 조직화하는 범주화 과정을 거쳐, 이를 적절한 형식으로 분석한 결과 자료를 제시하고자 하였다. 또한, 본 연구자는 다양한 출처의 자료를 비교 분석하는 과정에서 삼각검증(triangulation)을 이루고 연구의 편향을 최대한 줄이고자 하였다. [그림 Ⅲ-6]은 나선형 자료 분석을 도식화하여 나타낸 것이다.



[그림 Ⅲ-6] 나선형 자료 분석 단계(Creswell & Creswell, 2017)

1.5. 화학 결합 증강현실 앱에 대한 사용성 태도 조사

1.5.1. 연구 참여자

증강현실 학습 도구 사용성 태도를 알아보기 위하여 경기도 소재 A 고등학교의 통합과학을 수강하고 있는 고등학교 1학년을 대상으로 연구 참여자 모집을 실시하였고, 최종 학생 46명이 2020년 6월부터 7월까지 연구에 참여하였다. A 고등학교는 학구열이 높은 편에 속하는 지역의 일반계 고등학교로, 연구자가 속해있는 학교이기도 하다. 연구자는 통합과학을 수강하고 있는 6개의 반 중 2개의 반을 무선 표집으로 선정하였으며, 50명의 학생 중 연구 실시 기간에 빠진 학생이나 무응답을 한 참여자 4명을 제외하고 46명만을 최종 연구 참여자로 결정하였다. 연구 참여자의 정보는 <표 Ⅲ-5>와 같다.

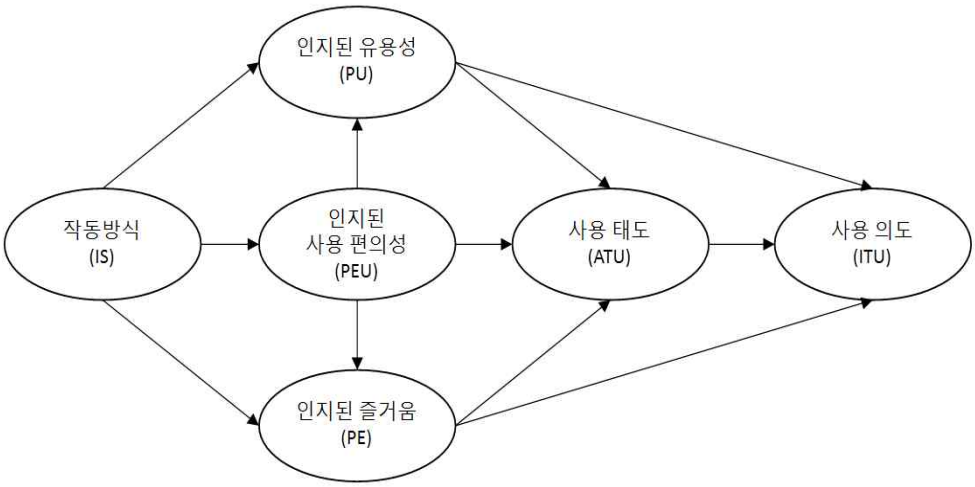
<표 Ⅲ-5> 증강현실 앱에 대한 사용성 태도 연구 참여자

학년	성별	학생 수	전체
고등학교 1학년	남	26	46
	여	20	

1.5.2. 자료 수집

Wojciechowski & Cellary(2013)는 증강현실 학습 환경(ARLES : AR Learning Environments)에서 학습자의 증강현실 도구 사용에 대한 태도를 평가하기 위한 검사 도구를 설계하고 영역별 상관관계를 분석하였다. 검사 도구는 TAM(Technology Acceptance Model)의 설문을 기반으로 설계되었으며 6가지 하위 영역인 작동 방식(Interface Style; IS), 인지된 유용성(Perceived Usefulness; PU), 인지된 사용 편의성(Perceived Ease of Use; PEU), 인지된 즐거움(Perceived Enjoyment; PE), 사용 태도

(Attitude Toward Using; ATU), 사용 의도(Intention to Use; ITU)에 대하여 알아볼 수 있다. [그림 Ⅲ-7]은 Wojciechowski & Cellary 연구에서 제안한 ARLES 모델에서 증강현실 사용성 태도의 하위 영역들 간의 관계를 나타낸 것이다. 이 연구에서는 중학생 2학년을 대상으로 증강현실 환경의 화학 실험 수업에서 학습을 수행하고 난 다음 해당 검사를 통해 각 영역에 대하여 타당도와 신뢰도 검증을 마쳤다(Cronbach's α =0.77). 본 연구는 Wojciechowski & Cellary(2013) 연구에서 사용한 검사지의 번역을 위해 1인의 과학교육 전문가와 3인의 고등학교 교사가 지속적으로 협력하였으며, 1인의 교육공학 전문가, 1인의 증강현실 전문가에게 본 검사지의 내용 타당도를 검증받았다. 이를 연구에 참여하지 않는 고등학생 1학년 20명을 대상으로 파일럿 테스트를 실시하고 문항의 이해 정도에 대한 확인을 통해 최종 번역본으로 수정하여 사용성 태도 검사지로 사용하였다(부록 1).



[그림 Ⅲ-7] ARLES model에서의 증강현실 사용성 태도에 대한 하위 영역의 관계도(Wojciechowski & Cellary, 2013)

1.5.3. 자료 분석

증강현실 학습 환경 사용성 태도 분석은 검사지 개발에 적용된 분석 절차를 따라 수행하였다. Wojciechowski & Cellary(2013)는 작동 방식이 인지된 유용성, 인지된 사용 편의성, 인지된 즐거움 각각에 미치는 영향과 인지된 사용 편의성이 인지된 유용성과 인지된 즐거움 각각에 미치는 영향을 단순회귀분석으로 살펴보았고, 인지된 유용성, 인지된 사용 편의성, 인지된 즐거움이 사용 태도에 미치는 영향과 인지된 유용성과 사용 태도, 인지된 즐거움이 사용 의도에 미치는 영향을 단계적 다중회귀분석으로 살펴보았다. 본 연구 역시, ARLES model에 입각한 하위 요소 간의 관계를 살펴보고자 하위 요인인 작동 방식, 인지된 유용성, 인지된 사용 편의성, 인지된 즐거움, 사용 태도, 사용 의도 간의 영향력 정도를 알아보고자 관측 변인들의 영역 간 상관관계를 분석하고 단순회귀분석과 단계적 다중회귀분석을 사용하였다.

본 연구에서의 전체 신뢰도 계수(Cronbach's α)는 .943로 나타났으며, 각 하위 요인에 대해서 작동 방식은 .792, 인지된 유용성은 .914, 인지된 사용 편의성 .801, 인지된 즐거움은 .928, 사용 태도는 .827, 사용 의도는 .909로 나타났다. 모든 통계 분석에는 SPSS statistics 25 프로그램을 이용하였다.

2. 화학 결합 모바일 증강현실의 교육 현장 적용[3)]

2.1. 연구 참여자

2.1.1. 적용 1: 증강현실 기반 교수학습 방법을 적용한 고등학교 통합과학 수업

본 연구는 생명윤리 심의위원회(IRB)에서 연구 승인을 받은 후, 경기도에 소재한 남녀 공학 고등학교 1학년을 대상으로 연구의 목적, 내용, 연구 방법 등을 설명하였다. 이에 대하여 자발적으로 참여 의사를 밝힌 학생들을 대상으로 연구 참여에 대한 동의를 얻어, 6개 학급 150명이 연구에 참여하였다. 연구자는 전통적 강의 집단(Traditional Lecture, 이하 'TL'; 통제 집단), 과정지향 안내탐구학습 집단(Process Oriented Guieded Inquiry Learning, 이하 'POGIL'; 실험 집단1), 모바일 증강현실을 활용한 과정지향 안내탐구학습 집단(Process Oriented Guieded Inquiry Learning using Mobile Augmented Reality, 이하 'POGIL-MAR'; 실험 집단2)을 각각 2개 학급씩 무선 배치하였다. 연구자는 학생들의 개인 정보 보호를 위해 임의의 ID로 부호화한 자료를 제공받아 활용하였다. 참여 학생 대상으로 사전 과학성취도 검사를 실시하였고, 점수의 중앙값에 기초하여 학생들을 상위와 하위로 구분하였다. 참여 의사를 밝힌 학생은 150명이었으나, 한 번 이상 사전 또는 사후 검사 실시 기간에 빠진 학생이나 무응답을 한 참여자 11명을 제외하고 총 139명에 대한 응답을 분석하였다. 사전 과학 성취 수준에 따른 집단별 연구 참여자 수는 <표 Ⅲ-6>과 같다. TL 집단은 47명, POGIL 집단은 46명, POGIL-MAR 집단은 46명이었고, 사전 성취 수준별 상위 그룹 학생은 70명, 하위 그룹 학생은 69명이었다. POGIL-MAR 집단 학생들을 대상

---

3) 이 부분은 연구자가 수행한 논문(전영은, 지준용, 홍훈기(2022), 전영은, 홍훈기(2022))에 게재된 내용의 일부를 재구조화하여 제시하였다.

으로 증강현실 기기를 다루어 본 경험에 대한 설문 조사 결과, 15명(33%)의 학생만 증강현실에 익숙하다는 답변을 하여 연구에 참여한 학생들 모두 증강현실 환경에 익숙하도록 사전 연습을 수행하였다.

모든 사전·사후 검사와 수업 처치는 연구 참여 학교에 근무 중인 과학 교사 1명이 담당하였다. 해당 교사는 화학 교육을 전공한 경력 15년의 교사이며 최종 학위는 석사로, 연구 참여 이전에 POGIL 교수학습 방법을 다른 학년에 적용해 본 경험이 있으나, 증강현실을 활용한 수업 및 연구를 경험해본 적이 없었다. 이에 해당 수업 방식에 익숙하도록 증강현실 애플리케이션, PPT, 교사용 수업 지도안 등의 교수학습 자료를 미리 제공하였고, 연구 내용과 교수학습 방법 및 지침을 4주 동안 5회에 걸쳐 숙지하도록 하였다. 본 연구자는 수업 처치가 계획대로 진행되는지를 살펴보고자 수업에 참관하였다.

<표 Ⅲ-6> 사전 과학 성취 수준에 따른 집단별 학생 수

집단 / 사전 성취 수준	TL	POGIL	POGIL-MAR	계
상위 그룹	24	23	23	70
하위 그룹	23	23	23	69
전체	47	46	46	139

2.1.2. 적용 2: 스캐폴딩을 활용한 증강현실 기반 교수학습 방법을 적용한 고등학교 화학Ⅰ 수업

현장 적용 연구의 다른 하나로, 스캐폴딩 유형에 따른 모바일 증강현실 기반 교수학습의 효과를 알아보기 위하여, 다음과 같은 연구 참여자를 선정하였다. 경기도에 소재한 남녀 공학 일반계 고등학교에서 화학Ⅰ 교과를 선택한 2학년 4개 학급, 총 94명을 대상으로 연구를 진행하였다. 연구 진행에 앞서 생명윤리 심의위원회(IRB)에서 연구 승인을 받은 다음 연구의 목적, 내용, 연구 절차 등을 부모 또는 법정 대리인 및 학생

본인에게 설명하였다. 그리고 자발적으로 연구 참여에 동의한 학생들을 지원적 스캐폴딩의 MAR 활용 POGIL 집단(SS 집단), 성찰적 스캐폴딩의 MAR 활용 POGIL 집단(RS 집단)으로 각각 2개 학급씩 무선 배치하였다. 또한, 연구 대상 학생들에게 사전 화학 학업성취도 검사를 실시하여 점수의 중앙값을 기준으로 연구에 참여한 전체 학생들을 사전 성취 수준 상위 그룹과 하위 그룹으로 구분하였다. 사전 성취 수준에 따른 집단별 연구 참여자 수는 <표 Ⅲ-7>과 같다. 실험 집단 학생들을 대상으로 증강현실을 다루어 본 경험에 대한 설문 조사 결과, SS 집단은 6명(12%), RS 집단은 8명(18%)의 학생만이 증강현실에 익숙하다는 답변을 하여 실험 집단 학생들 모두가 증강현실 환경에 익숙해질 수 있도록 수업 처지 전 오리엔테이션 시간에 증강현실 애플리케이션 사용 방법을 익혔다.

모든 수업은 경력 15년의 화학 담당 교사 1인이 운영하였다. 연구자는 처치 그룹에 따른 교사용 수업 지도안과 학생용 활동지 및 수업에 필요한 교수학습 자료를 제공하였고, 해당 교사가 증강현실 애플리케이션을 활용한 수업 과정과 스캐폴딩 유형에 따른 교사의 역할에 대해서 익숙해지도록 하였다. 본 연구자는 수업 처치가 계획대로 진행되는지를 살펴보고자 수업에 참관하였다.

<표 Ⅲ-7> 사전 성취 수준에 따른 집단별 학생 수

집단 / 사전 성취 수준	SS	RS	계
상위 그룹	23	22	45
하위 그룹	26	23	49
전체	49	45	94

2.2. 연구 절차

2.2.1. 적용 1: 증강현실 기반 교수학습 방법을 적용한 고등학교 통합과학 수업

본 연구 내용 주제인 '화학 결합'과 관련하여 통합과학 교과 '물질의 규칙성과 결합' 단원의 성취 기준과 해당 교과서 내용을 분석하고 POGIL 교수학습에 대한 교사용 수업 지도안, POGIL 활동지, 그리고 증강현실 환경에서의 개념 이해를 위한 학습 자료 등을 개발하였다. POGIL 활동지는 Trout(2012)이 개발한 활동지를 참고하였다. 이러한 교수학습 자료의 내용 수준, 어휘 등의 적절성에 대해서 과학 교육 전문가 2인과 석사학위 이상의 현직 교사 3인이 여러 차례 논의를 거쳐 수정 및 보완하였다. 그리고 최종 확정된 POGIL 활동지와 모바일 증강현실 기반 POGIL 활동지를 수업 처치에 사용하였다. POGIL-MAR 활동지의 경우는 POGIL 활동지와 구성이 동일하나 증강현실 학습 도구의 사용이 필요한 곳에 증강현실 마커를 표시하였다(부록 3).

수업 처치 이전에 사전 검사로 원소와 분자에 대한 과학 학업성취도, 과학 학습 동기, 그리고 학습 몰입감에 대한 검사를 실시하였다. POGIL 교수학습 방법과 모바일 증강현실 학습 도구에 익숙해지도록 POGIL 집단에는 전반적인 POGIL 방법을, POGIL-MAR 집단에는 POGIL 방법과 모바일 증강현실 앱 이용 방법을 주기율표의 원소에 대한 주제를 가지고 설명하였다. 이후 통합과학의 '물질의 규칙성과 결합' 대단원에서 화학 결합과 관련된 소단원을 POGIL 활동의 주제로 재구성하여 총 4차시의 수업을 진행하였다. 활동 주제는 원소의 주기적 성질, 원자의 전자 배치, 화학 결합의 종류, 화학 결합 모형으로, 각 1차시씩 차시당 수업 시간은 50분으로 진행하였다. 세 집단의 수업 내용은 모두 동일하게 구성하였다. 통제 집단의 경우, 교사가 강의식 수업으로 수업 목표에 따라 학습 내용을 가르치고 교과서 내용을 확인하며 제시된 문제를 풀고 설명하는 방식

으로 수업을 실시하였으며, 교사가 결합 그림과 같은 판서가 어려운 부분에 대해서는 필요에 따라 교실 화면으로 PPT를 사용하여 결합에 관한 내용을 설명하였다. 실험 집단 중 POGIL 집단의 경우는 학생 중심의 소집단 활동으로 학생들이 4인 1조로 구성되어 학습에 참여하도록 하였다. POGIL에서의 소집단 구성원은 사전 성취도가 높은 학생 2인, 사전 성취도가 낮은 학생 2인으로 이질적으로 구성하였고, 수업 처치 기간 동안 소그룹 구성원은 그대로 유지하였다. 또한, POGIL에서 제안한 각자의 역할에 따른 개별 책무성을 부여하고자 관리자, 기록자, 발표자 겸 기술자, 전략분석가를 선택하도록 하고 이를 매 차시별 돌아가면서 맡도록 하여 POGIL 활동에 적극적으로 참여하도록 하였다(Farrell et al., 1999; Hanson, 2013; Liyanage et al., 2021). POGIL-MAR 집단도 소집단 구성 방법은 POGIL 집단과 동일하게 하고 학생들은 스마트 태블릿 기기와 마커 세트를 조별로 한 세트씩 가지고 수업에 참여하게 하였다. POGIL 집단과 POGIL-MAR 집단 학생들은 개발된 활동지를 제공받아 수업에 활용하였다. 수업 처치가 끝난 후에는 학습한 내용에 대해 과학 학업성취도, 과학 학습 동기, 그리고 학습 몰입감 검사를 실시하였다. 모바일 증강현실 학습 도구를 활용한 POGIL 활동 사진 및 영상은 [그림 Ⅲ-8]과 같다.

[그림 Ⅲ-8] POGIL-MAR 활동 사진 및 영상 QR

모바일 증강현실을 활용한 과정지향 안내탐구학습(POGIL-MAR) 전략은 POGIL에서 제시한 탐색, 개념 창안, 적용 단계를 따르며 이 과정에

서 학습 이해 증진을 위해 모바일 증강현실 학습 도구를 사용하도록 하였다. 수업 활동 계획에 따라 총 4차시 수업을 진행하며 POGI-MAR 집단은 활동의 필요에 따라 모바일 증강현실 학습 도구를 활용하였다<표 Ⅲ-8>.

<표 Ⅲ-8> POGIL-MAR 교수학습 내용 및 각 차시별 증강현실 학습 도구 사용 여부

핵심 개념	학습 차시 및 주제	POGIL 활동 내용	증강현실 사용여부
물질의 규칙성과 결합	(1차시) 원소의 주기적 성질	· (E) 원소의 정보가 담긴 카드를 이용한 비금속, 금속 원소의 구분 · (CI) 원소의 성질을 바탕으로 원소의 규칙성 토의 · (E) 제시된 방법에 따라 멘델레예프 주기율표 제작 · (CI) 멘델레예프 주기율표와 현대 주기율표의 공통점과 차이점 비교 · (A) 새로운 카드의 정보를 이용하여 금속과 비금속 구분 및 주기율표의 위치 예측	
	(2차시) 원자의 전자 배치	· (E) 보어 원자 모형 모델 탐색 · (CI) 전자껍질, 원자가 전자, 옥텟 규칙 등 개념 형성 · (E) 원소를 보어 전자 배치로 그려 주기율표에 작성 · (CI) 주기율표의 주기와 족에 따른 보어 전자 배치의 규칙성 토의 · (A) 물질의 안정성과 전자 배치와의 관계 이해 · (A) 금속과 비금속이 안정하게 결합할 수 있는 방법을 전자배치로 예측	○ ○ ○
	(3차시) 화학 결합의 종류	· (E) 이온 결합 형성 과정을 보어 전자 배치와 결합 모형으로 확인 · (CI→A) 이온 결합 형성 원리 토의 및 다양한 이온 결합 종류 찾기 · (E) 공유 결합 형성 과정을 보어 전자 배치와 결합 모형으로 확인 · (CI→A) 공유 결합 형성 원리 토의 및 다양한 공유 결합 종류 찾기 · (A) 다원자 이온이 존재하는 물질(NH4Cl)의 결합 예측 및 보어 전자 배치 그리기	○ ○ ○ ○
	(4차시) 화학 결합 모형	· (E) 제공받은 원소 카드를 금속과 비금속으로 구분하고 보어 전자 배치 작성 · (E→CI) 가능한 이온 결합의 종류를 찾아 이온 결합 화학식 작성 · (E→CI) 가능한 공유 결합의 종류를 찾아 공유 결합 화학식 작성 · (A) 중심 원자가 2개인 공유 결합 물질의 보어 전자 배치 예측 · (A) 다양한 결합의 예시를 찾아 조별 보고서 작성	○ ○ ○

*E: Exploration(탐색), CI: Concept Invention(개념 창안), A: Application(적용)

1차시 '원소의 주기적 성질'에서 POGIL 집단은 탐색 단계에서 원자량, 원소기호, 0℃, 1기압에서의 상태, 전기전도성, 화학 반응 등 원소의 정보가 담겨 있는 마커가 아닌 원소 카드 1번부터 20번까지를 금속과 비금속 원소로 구분하고, 개념 창안 단계에서 상태, 전기 전도성, 반응성 등의

정보를 바탕으로 원소의 규칙성에 관하여 토의하였다. 또한, 새로운 모델 제시로 멘델레예프의 주기율표를 제시된 방법에 따라 직접 제작해 보는 탐색 단계를 거쳐 개념 창안 단계에서 현대 주기율표와 비교하며 차이점을 발견하고 주기율표에 담겨 있는 규칙성을 알아보는 활동을 수행하였다. 이를 바탕으로 적용 단계에서 새로운 원소 카드에 대해 카드의 정보를 이용하여 원소를 구분하고 주기율표 상의 위치를 예측하는 활동을 하였다. POGIL-MAR 집단도 1차시는 POGIL 집단의 수업과 동일하게 진행하였다.

2차시 '원자의 전자배치'에서 POGIL 집단은 탐색 단계에서 수소(H), 탄소(C), 산소(O) 원자의 보어 원자 모형을 분석하고 원자의 전자 배치에 따른 주기율표 작성을 수행하였다. 주기율표 1주기에서 3주기까지 원소들의 보어 전자배치를 살펴보고 전자껍질 수, 총 전자 수, 최외각 전자 수를 확인하였다. 이를 통해 개념 창안 단계에서 주기율표에서의 주기 및 족에 따른 보어 전자 배치의 규칙성에 대하여 토의하였다. 적용 단계에서는 최외각 전자, 원자가 전자, 옥텟 규칙에 대한 개념으로 물질의 안정성을 판단하는 과정을 연습하고, 금속 원소 나트륨(Na)과 비금속 원소 염소(Cl)가 안정해지는 방법, 탄소(C)의 보어 전자 배치를 고려하여 탄소가 안정해지는 방법을 모색하였다. POGIL-MAR 집단은 수소, 탄소, 산소 원자의 보어 모형을 증강현실 도구로 살펴보며 보어 모형을 학습하고, 주기율표에 각 원자의 보어 모형을 그려가면서 자신이 그린 모형을 증강현실로 확인하였다. 또한, 주기별 규칙성과 족의 규칙성을 찾기 위해 2주기, 3주기의 원소들과 1족, 2족, 16족, 17족 원소들의 보어 전자배치를 증강현실을 활용하여 살펴보았고, 나트륨, 염소, 탄소 원자에 대해 증강현실로 보어 전자 배치를 확인하며 안정해질 수 있는 방법을 토의하였다.

3차시 '화학 결합의 종류'에서 POGIL 집단은 염화나트륨(NaCl)을 예로 들어 이온 결합의 형성 과정이 제시된 모델을 탐색하며 활동지를 채워가며 소그룹 내에서 구성원 간 이온 결합의 원리에 대해 토의하고 주기율표를 이용하여 다양한 이온 결합의 종류를 찾도록 하였다. 또한, 수소(H_2), 플루오린(F_2), 염소(Cl_2), 산소(O_2), 질소(N_2), 플루오린화수소(HF),

염화수소(HCl)를 예로 들어 이원자 분자의 결합 형성 과정이 제공된 모델 탐색을 통해 공유 결합 원리에 대해서도 토의하였다. 이를 바탕으로 물(H_2O), 암모니아(NH_3), 메테인(CH_4), 이산화탄소(CO_2) 등 삼원자 이상의 다원자 분자에 이르기까지 가능한 분자의 형태를 보어 전자 배치로 그려보며 분자 형성에 대한 연습을 수행하였다. 적용 단계에서는 염화암모늄(NH_4Cl)을 제시하여 다원자 이온이 존재하는 물질의 결합 종류를 예측하고 이에 대한 보어 전자 배치를 그려보는 활동을 하였다. POGIL-MAR 집단은 활동지에 안내된 대로 염화나트륨(NaCl)의 이온 결합 형성 과정을 증강현실로 살펴보고, 3차원 구조까지 확인하였다. 또한, 1족-17족, 2족-16족, 1족-16족, 2족-17족의 원소들로 이루어진 이온 결합의 예시를 증강현실 학습 도구를 통해 확인해 보고, 이들의 3차원 구조도 확인하였다. 공유 결합에 대해서도 POGIL 활동지와 동일하게 제시된 이원자 분자의 예시와 다원자 분자의 예시를 증강현실로 보어 전자 배치와 3차원 분자 구조를 확인하며, 2차원에서 표현된 분자 구조와의 차이점을 살펴보았다. 마지막으로 적용 단계에서 제시된 물질의 결합 종류를 예측해보고 증강현실 학습 도구를 이용하여 이를 확인하였다.

4차시 '화학 결합 모형'에서 POGIL 집단은 수소(H) 4개, 리튬(Li) 2개, 탄소(C) 1개, 질소(N) 1개, 산소(O) 2개, 플루오린(F) 2개, 나트륨(Na) 2개, 마그네슘(Mg) 2개, 염소(Cl) 2개의 총 9종류 18장의 원소 카드를 가지고 이를 금속과 비금속으로 구분하고 보어 전자 배치를 작성하였다. 그 후, 3차시에서 학습한 결합 원리를 상기하며 가능한 이온 결합과 공유 결합의 종류를 찾아보고 이들의 화학식을 작성하는 활동을 수행하였다. 학생들은 소집단에서 찾은 다양한 결합 물질을 실시간으로 기기에 저장하고 학습 클래스에 업로드하였다. 적용 단계에서는 중심 원자가 2개인 공유 결합 물질을 찾아 이에 대한 보어 전자 배치를 예측해 보는 활동을 하였다. 소그룹에서 적용 단계의 활동을 하는 동안 교사는 학생들이 업로드한 결합 사진을 출력하여 나눠주었다. 학생들은 이를 가지고 조별 보고서를 작성하여 발표하는 시간을 가지며 화학 결합 물질의 다양한 예들을 정리하는 활동을 하였다. POGIL-MAR 집단은 4차시의 모든

활동에서 제시된 원소 카드를 가지고 증강현실 학습 도구를 이용하여 보어 전자 배치를 살펴보고, 가능한 이온 결합과 공유 결합 종류를 찾아보고 이들의 3차원 구조까지 확인하며 POGIL 활동에 임했다.

2.2.2. 적용 2: 스캐폴딩을 활용한 증강현실 기반 교수학습 방법을 적용한 고등학교 화학Ⅰ 수업

본 연구를 위한 구체적인 연구 절차는 다음과 같다. 연구자는 증강현실을 화학 교육에 적용한 선행 연구와 스캐폴딩에 대한 교육적 효과를 알아본 선행 연구를 분석하여 화학 결합 학습에서 개념 이해 향상을 이끌어낼 수 있는 요소를 찾아보았다. 이를 통해 스캐폴딩 유형에 따른 증강현실 학습 도구를 활용한 POGIL 교수학습 방법을 설계하였다. 즉, 여러 가지 스캐폴딩 유형 중 Cagiltay(2006)에 의해 정의된 스캐폴딩 유형인 지원적 스캐폴딩과 성찰적 스캐폴딩을 POGIL에 필요한 요소로 재구성하였다. 또한, 화학Ⅰ 교과의 '화학 결합과 분자의 세계' 단원의 내용과 성취 기준을 분석하여, 각 집단별 교사용 수업 지도안과 활동지 등을 개발하였다. 개발한 교수학습 자료의 내용 수준, 어휘 등의 적절성에 대해서 과학 교육 전문가 2인과 석사학위 이상의 현직 교사 3인이 여러 차례 논의 및 수정을 거쳐 검증하였다. SS 집단과 RS 집단은 연구 설계에 맞게 각각 다른 활동지를 사용하였으며, RS 집단은 추가로 자기점검표와 성찰일지를 사용하였다(부록 4-7).

수업 처치 이전에 모든 연구 참여자를 대상으로 사전 검사로 통합과학 교과에서 다룬 화학 결합 내용 수준으로 화학 학업성취도 검사와 화학 과목에 대한 학습 동기와 평상시 수업에 대한 몰입도를 알아보고자 학습 동기와 학습 몰입감 검사를 실시하였다.

SS 집단과 RS 집단은 스캐폴딩 유형과 증강현실 학습 도구에 익숙해지도록 각 집단에 맞는 스캐폴딩 적용한 POGIL 방법과 증강현실 학습 도구에 대한 안내를 겸한 연습 수업을 연구 처치 전 1차시 실시하였다. 연습 수업의 내용은 고1 과정인 통합과학 교과에서 배웠던 화학 결합에

관한 것으로 이온 결합과 공유 결합의 기본 내용을 다루었다. 이후 총 5차시 동안 교수학습 방법에 따른 수업 처치를 진행하였으며, 차시당 수업 시간은 50분으로 진행하였다. 각 차시별 학습 주제는 이온 결합, 공유 결합, 루이스 전자점식, 분자 구조, 화학 결합 구분 기준으로, 구체적 학습 내용은 <표 Ⅲ-9>와 같다. 수업 처치가 끝난 후에는 화학Ⅰ의 학습한 내용에 대해서 화학 학업성취도, 학습 동기, 학습 몰입감 검사를 실시하였다.

<표 Ⅲ-9> 각 차시별 학습 주제 및 학습 내용

차시	학습 주제	학습 내용
1	이온 결합	· 보어 전자 배치를 이용한 이온 결합 형성 과정 · 이온 거리에 따른 에너지 변화 그래프 분석 · 주기율표를 이용한 다양한 이온 결합 화합물 예시 · 이온 결합 물질의 화학식 완성하기 · 다원자 이온과 이온 결합 물질
2	공유 결합	· 보어 전자 배치를 이용한 공유 결합 형성 과정 · 비금속 원소의 2원자 분자 - 단일, 이중, 삼중 결합 · 다원자 분자(3원자 이상)의 보어 전자 배치를 이용한 공유 결합 형성 · 원자핵 사이의 거리에 따른 에너지 변화 그래프 분석 - 결합 길이, 결합 에너지 · 이원자 분자의 결합 길이와 결합 에너지 경향성(이원자 분자의 결합 길이와 결합 에너지 비교)
3	루이스 전자점식	· 루이스 전자점식으로 원자 표현-주기율표에서의 경향성 · 루이스 전자점식으로 이온 표현 · 양이온 및 음이온 루이스 전자점식의 공통점 찾기 · 루이스 전자점식으로 이온 결합 화합물 표현 · 루이스 전자점식과 루이스 구조식으로 분자 표현
4	분자 구조	· 풍선(전자쌍 비유)으로 표현한 공간 예측 · 루이스 구조와 중심 원자의 전자쌍 고려를 통한 3D 분자 구조 예측 · 전자쌍 반발 이론 · 결합각 · 원소 카드로 가능한 분자를 찾아 분자식, 루이스 구조식, 3차원 분자 구조, 결합각 쓰기
5	화학 결합 구분 기준	· 제시된 원소 종류를 이용하여 가능한 이온 결합 물질 찾기 · 제시된 원소 종류를 이용하여 가능한 공유 결합 물질 찾기 · 이온 결합 물질과 공유 결합 물질의 예를 이용하여 물질을 구분하는 기준 세우기

각 교수학습 설계에 대한 수업 형태는 <표 Ⅲ-10>과 같다. SS 방법과 RS 방법은 소그룹 안에서 POGIL 활동지에 제시된 질문을 해결하기 위해 POGIL 활동을 수행했다는 점에서는 동일하지만, SS 방법은 지원적 스캐폴딩을 적용한 POGIL-MAR 방법으로 활동 중 소그룹 안에서 해결

되지 않는 질문에 대해서 교사에게 물어보면 교사가 직접 설명하며 도움을 제공하는 형태로 진행하였으며, RS 방법은 성찰적 스캐폴딩을 적용한 POGIL-MAR 방법으로 교사의 설명으로 도움을 얻기보다는 추가로 제공받은 태블릿을 이용하여 필요한 정보와 내용을 검색해보도록 하거나 교사로부터 문제 해결의 실마리나 힌트만 얻고 메타인지와 반성적 사고를 통해 문제를 해결하기 위한 방법이나 전략을 스스로 점검하는 학습 형태로 진행하였다. 또한, RS 방법은 POGIL 활동 중에는 자기점검표를, 활동 후에는 학습 성찰일지를 작성하도록 하였다.

실험 집단 모두 4인 1조로 학생들을 사전 학업성취 수준에 따라 이질적으로 구성하였으며, POGIL에서 제안한 역할(관리자, 기록자, 발표자 겸 기술자, 전략분석가)을 부여해 매 차시별 역할을 돌아가면서 소그룹 활동에 적극적으로 참여하도록 하였다. 두 집단 모두 원소카드 1세트와 화학 결합 증강현실 앱이 탑재된 태블릿 기기를 조별로 1대씩 제공받았으며, RS 집단에만 태블릿을 조별로 1대씩 추가로 부여받아 검색에 사용하도록 하였다.

<표 Ⅲ-10> 처치 집단별 스캐폴딩 종류에 따른 교수학습

	SS	RS
의미	학생 간 협력학습을 중심으로 문제 해결에 필요한 개념적, 인지적 도움이나 영역적 지식에 대한 도움 제공	적극적인 협력학습을 위해 문제 해결에 필요한 절차 및 전략을 스스로 점검하며 자신의 학습과정을 되돌아보는 과정 수반
교수학습 전략	과정지향 안내탐구학습(POGIL) + 모바일 증강현실(MAR)	과정지향 안내탐구학습(POGIL) + 모바일 증강현실(MAR)
스캐폴딩	지원적 스캐폴딩	성찰적 스캐폴딩
상호작용	학생과 학생/교사와 학생	학생과 학생/교사와 학생, 학생 내면(메타인지)
수업 진행	개념적 질문 소그룹별 교사 설명 참고 자료 제공 형성평가(연습문제) 조별 보고서(양식 제공)	탐색적 질문 교사 힌트 제공 관련 정보 검색 형성평가(연습문제) 조별 보고서(전문가 모델)
학습 도구	MAR 화학 결합 학습 도구(태블릿, 원소 카드) PPT 교과서 POGIL 활동지	MAR 화학 결합 학습 도구(태블릿, 원소 카드) 자료검색용 태블릿 POGIL 활동지 자기점검표 학습 성찰일지

지원적 스캐폴딩을 반영한 POGIL-MAR 교수학습 방법(SS 방법)은 POGIL 활동을 바탕으로 개념적 질문, 설명, 참고 자료를 학습 과정의 적절한 시기에 제공하고 문제 해결에 필요한 개념적, 인지적 도움을 주어서 학습 개념을 형성하도록 하는 교수학습 방법이다<표 Ⅲ-10>. POGIL은 탐색, 개념 창안, 적용의 3단계 순환학습 형태를 따르며, 활동지에 안내된 질문을 소그룹 협력학습으로 함께 해결하면서 학습 개념과 과학적 탐구 기능을 함양하는 교수학습 방법이다(Moog & Spencer, 2008). 각 단계의 과정에서 활동지에 제시된 비판적 사고 질문이나 핵심 질문에 대한 답변을 통해 개념을 형성하게 되는데, 질문은 개념적 질문의 형태로 구성되었다. 질문의 예는 다음과 같다. '금속 나트륨의 이온은 어떤 비활성 기체의 전자 배치와 같아지는가?', '이원자 분자의 공유 결합 형성 원리와 규칙성을 찾아 설명하시오.', '물 분자(H_2O)의 중심 원자에 존재하는 전자 쌍의 종류는 무엇이 있는가?', '물 분자(H_2O)의 중심 원자에서 어떤 전자 쌍이 더 반발적인 상호작용을 하는가?' 등이 있다.

설명은 문제와 관련된 주요 개념의 이해를 돕기 위해 학습자가 알아야 할 내용에 대한 설명을 제공하는 것으로, 학습 개념, 원리에 대해서 POGIL 활동지에 제시된 설명을 읽거나 교사의 설명을 통해 학습에 도움을 받도록 하였다. 교사는 학급 전체를 대상으로 설명하지 않고 교사의 도움을 요청한 경우에 한해 소그룹 안에서 맞춤형 설명을 하였다.

또한, 참고 자료는 문제 해결에 필요한 지식과 관련된 읽기 자료로, 본 연구에서는 강의식 수업에서 사용한 슬라이드 자료와 교과서를 활용하도록 하였다. 탐구 활동에 대한 마무리로 학생들에게 보고서 양식을 제공하여 조별 보고서를 작성해 발표하는 시간을 가졌으며, 학습에 대한 점검을 위해 간단한 평가를 실시하였다. POGIL 활동을 하는 동안 증강현실 학습 도구가 필요할 때마다 적극적으로 활용하도록 하였다.

성찰적 스캐폴딩을 반영한 POGIL-MAR 교수학습 방법(RS 방법)은 문제해결에 필요한 절차 및 전략을 스스로 점검하고, 자신의 학습과정을 되돌아보는 반성적 사고의 과정을 수반한 POGIL 활동이다<표 Ⅲ-10>. 성찰적 스캐폴딩의 요소가 반영된 탐색적 질문, 힌트, 전문가 모델, 그리

고 차시별 자기점검표와 학습 성찰일지 등을 제공하여, 학습 과정을 스스로 점검하고 해결 방안을 모색하는 등의 메타인지적 과정에 학생들이 익숙해지도록 하였다. 또한, POGIL 활동을 하는 동안 증강현실 학습 도구를 적극적으로 활용하도록 하였다.

문제 해결에 대한 접근 방법으로 문제 해결을 위한 전략을 유도하는 질문 형태인 탐색적 질문을 제공하였다(Hannafin et al., 1999; Simons & Klein, 2007). 탐색적 질문은 문제를 해결하기 위해 필요한 요소는 무엇이며, 어떤 정보를 탐색해야 하는지, 어떻게 접근해야 하는지, 찾아낸 정보에 대한 관련성, 적절성, 신뢰성 등을 검토하도록 묻는 질문으로, 활동지에 '탐색'이라 표시된 질문을 자기점검표를 활용하여 스스로 답해보고 소그룹 안에서 토의를 통해 해결하도록 하였다. 본 연구에서 자기점검표에 반영된 탐색적 질문의 예는 다음과 같다. '문제의 목적이 무엇인가?', '문제가 요구하는 것은 무엇인가?', '문제 해결에 필요한 정보는 무엇인가?', '문제 해결과 관련 있는 정보를 찾았는가?', '문제 수행에 필요한 전략이 무엇인지 고려하고 있는가?' 등이 있다.

또한, 힌트를 통해 POGIL 활동에 도움을 받도록 하였는데, 힌트는 필요한 정보, 문제 해결 방법, 전략에 대한 단서를 제공하는 것을 의미한다(Hannafin et al., 1999; Simons & Klein, 2007). 본 연구에서는 POGIL 활동지에 문제 해결에 필요한 핵심 단어를 제공하여 이를 통해 학생들이 직접 핵심 단어의 의미를 태블릿을 이용하여 찾아보고 제시된 문제의 연관성을 판단하며 탐구 학습에 임하도록 하였다. 교사는 소그룹이 도움을 요청할 경우, 핵심 단어나 문제 해결의 전략을 직접적으로 설명하지 않고, 학생들이 찾은 핵심 개념의 출처, 과정 및 내용에 대해 확인 후 이를 바탕으로 질문을 던져 소그룹 스스로 문제를 해결하도록 도왔다.

전문가 모델은 문제를 해결하기 위한 전문가의 접근 및 분석 방법을 제공하는 것으로(Hannafin et al., 1999; Simons & Klein, 2007), 전문가의 사례와 비교하여 학습자 스스로 과제를 해결해나가는 전략을 세우도록 돕는 것이다. 본 연구에서는 5차시 수업에서 화학 결합 구분 기준을 마련하고 그 기준에 따른 물질을 구분하는 활동을 수행할 때, 한국교육

과정평가원에서 제공한 화학Ⅰ 문항 중 물질을 구분하는 그림을 발췌하여 전문가 모델로 제공하였다. 탐구 활동에 대한 마무리로 학생들이 조별 보고서를 작성해서 발표하도록 하였는데, 이 경우에는 조별 보고서 양식을 제공하지 않았다.

학습 성찰일지는 학습에 대한 이해 수준, 학습 과정에서의 경험, 생각, 의문점, 학습 개선에 대한 의지 등을 기록하는 것으로, 학생들은 수업을 마치고 각자 학습 성찰일지를 작성하였다.

2.3. 자료 수집

개발한 화학 결합 증강현실을 교육 현장에 적용하여 인지적, 정의적 영역의 학습 효과를 알아보기 위해 양적 분석 방법을 진행하고 데이터를 수집하였다. 인지적 영역으로는 학업성취도 검사를, 정의적 영역으로는 학습 동기와 학습 몰입감 검사를 실시하였다.

2.3.1. 적용 1: 증강현실 기반 교수학습 방법을 적용한 고등학교 통합과학 수업

과학 학업성취도 검사의 사전 검사는 2015 개정 과학과 교육과정에서 화학 결합과 연계된 중학교 2학년 '물질의 구성' 단원의 성취 기준에 부합하도록 문항을 구성하였다. Bloom의 교육 목표 분류에 따라 내용 영역은 물질의 기본 성분, 물질을 구성하는 입자, 전하를 띠는 입자로 나누어 구성하였고, 행동 영역은 지식 3문항, 이해 10문항, 적용 2문항으로 개발하였다. 문항은 총 15문항으로 10문항은 선택형 문항, 5문항은 서답형 문항으로 구성하였다. 사후 검사는 사전 검사와 행동 영역 및 내용 영역별 문항 수를 동일하게 하여 목표 단원인 '물질의 규칙성과 결합'의 성취 기준에 따라 원소와 주기율, 화학 결합의 형성 등의 학습 내용을 평가하기 위한 문항을 구성하였다. 서답형 문항은 원자를 구성하는 입자

의 이름, 분자의 화학식 쓰기 등의 단답형부터 원자가 중성을 띠는 까닭, 같은 원소로 구성된 분자들의 공통점과 차이점, 이온의 형성 과정, 제시된 원소로 가능한 화합물 찾는 등의 서술형에 이르기까지 다양한 형태로 제공하였다. 과학 학업성취도 검사 점수는 선택형 문항의 경우 각 문항별 난이도에 따라 2~4점을 부여하여 30점, 서답형 문항의 경우 부분 점수를 포함하여 1~4점을 부여하여 10점, 총점 40점 만점으로 채점하였다. 개발한 과학 학업성취도 검사지는 과학 교육 전문가 2인과 현직 화학 교사 3인으로부터 내용 타당도를 검증받았다. 본 연구에서 과학 학업성취도 검사의 신뢰도 계수(Cronbach's α)는 사전 및 사후에서 각각 .729과 .793로 나타났다.

과학 학습 동기 검사는 동일한 검사지로 사전 및 사후 검사를 실시하였다. 과학 학습 동기 검사지에는 PALS, MSLQ, CIS, SMQ Ⅱ 등의 다양한 종류가 있다. SMQ Ⅱ는 초기 형태가 Glynn et al.(2009)에 의해 개발되었으며, 2011년에 이를 일부 수정해 타당도를 수행하여 학술지에 보고된 학습 동기 검사지이다. SMQ Ⅱ의 하위 요인은 내재동기, 직업동기, 자기의지, 자아효능, 점수동기의 5가지 영역에 대한 5단계 리커트 척도로 되어 있는 문항이 각각 5개씩 고르게 분포되어 있으며, 하위 요인에 대한 신뢰도 또한 타 검사지에 비하여 고르게 높은 편이다(α=일괄 .80 이상). 하민수 & 이준기(2013)는 국내에서 고등학생들을 대상으로 SMQ Ⅱ 번역본의 문항 반응, 일반화 및 구조 타당도를 검증하였다. 이에 본 연구에서는 하민수 & 이준기(2013)가 번안한 SMQ Ⅱ 검사지를 과학 학습 동기 검사지로 사용하였다(부록 2). SMQ Ⅱ 검사에 대한 전체 신뢰도 계수(Cronbach's α)는 사전 및 사후에서 각각 .918와 .946으로 나타났으며, 각 하위 요인별 신뢰도 계수는 <표 Ⅲ-11>과 같다.

<표 Ⅲ-11> [적용 1]연구에 대한 SMQ Ⅱ 검사의 하위 요인 신뢰도 계수

하위 요인	문항수	신뢰도 계수	
		사전	사후
내재동기	5	.910	.917
직업동기	5	.933	.954
자기의지	5	.929	.932
자아효능	5	.922	.943
점수동기	5	.925	.931

모바일 증강현실 학습 환경에서 학습자가 모바일 증강현실 콘텐츠 조작을 통해 학습 과정에 몰두하며 느낀 감정에 대해 알아보고자 Jackson & March(1996)이 개발한 몰입상태 척도(Flow state scale)를 채택하였다. 이 검사지는 학습의 과정에서 일어나는 몰입경험에 대한 요인을 도출하여 몰입상태의 9가지 요인을 측정한 도구로 총 36문항으로 구성되어 있다. 9가지 하위 요인은 분명한 목표, 분명한 피드백, 도전 능력 균형, 행위인식 일체감, 과제에 대한 집중, 학습 통제감, 자기만족적 경험, 시간 개념의 왜곡, 자의식 상실로 각 문항은 5점 척도이다. 서희전(2008)의 연구에서 36문항 중 유사한 문항을 제외하고 각 요인의 특성이 잘 반영된 문항을 선별하여 요인별 2문항씩 18문항을 구성해 초등학생을 대상으로 하여 높은 신뢰도를 보였다(α= .84). 본 연구는 서희전(2008)과 같은 방식으로 Jackson & March의 검사지를 1인의 과학교육 전문가와 세 명의 고등학교 교사가 지속적으로 협력하여 번역하였으며, 유사한 문항을 제외하고 각 요인의 특성이 반영된 2문항씩 총 18문항을 선별하였다. 이를 1인의 교육공학 전문가, 1인의 증강현실 전문가에게 본 검사지의 내용타당도를 검증받았으며, 연구에 참여하지 않는 고등학생 1학년 학생 20명을 대상으로 파일럿 테스트를 실시하여 문항의 이해 정도에 대한 확인을 통해 최종 번역본으로 수정하였다(부록 2). 이를 본 연구에서 학습 몰입감 검사지로 사용하였으며, 해당 검사지의 전체 신뢰도 계수(Cronbach's α)는 사전 및 사후에서 각각 .873와 .951로 나타났다. <표 Ⅲ-12>는 하위 요인별 신뢰도 계수를 나타낸 것이다.

<표 Ⅲ-12> [적용 1]연구에 대한 학습 몰입감 검사의 하위 요인 신뢰도 계수

하위 요인	문항수	신뢰도 계수	
		사전	사후
분명한 목표	2	.782	.822
분명한 피드백	2	.751	.889
도전 능력 균형	2	.851	.891
행위인식 일체감	2	.678	.845
과제에 대한 집중	2	.878	.896
학습 통제감	2	.912	.828
자기만족적 경험	2	.826	.897
시간개념의 왜곡	2	.849	.880
자의식 상실	2	.945	.904

2.3.2. 적용 2: 스캐폴딩을 활용한 증강현실 기반 교수학습 방법을 적용한 고등학교 화학Ⅰ 수업

화학 학업성취도 검사는 사전, 사후 검사를 위한 문항을 개발하고 이를 검사지로 활용하였다. 사전 검사는 통합과학의 '물질의 규칙성과 결합' 단원 내용을 바탕으로 문항을 개발하여, Bloom의 신교육목표분류에 따라 총 19문항으로 구성하였다. 문항 중 15문항은 선택형 문항, 4문항은 서답형 문항으로, 총점은 40점으로 하였다. 사후 검사는 처치 기간 동안 학습한 화학 결합을 내용으로 사전 검사의 문항 수, 문항 종류와 동일하게 구성하였다. 개발한 화학 학업성취도 검사는 과학 교육 전문가 2인과 현직 화학 교사 3인으로부터 내용 타당도를 검정받았다. 사전 및 사후 화학 학업성취도 검사에 대한 신뢰도 계수(Cronbach's α)는 각각 .833과 .892로 나타났다.

학습 동기 검사는 [적용 1] 연구에서 사용한 SMQ Ⅱ 검사지에서 '과학'이라는 단어를 '화학'으로 변경하여 사용하였다. 사전 및 사후 학습 동기 검사에 대한 전체 신뢰도 계수(Cronbach's α)는 각각 .961과 .942로 나타났으며, 각 하위 요인의 신뢰도 계수는 <표 Ⅲ-13>과 같다.

<표 Ⅲ-13> [적용 2]연구에 대한 SMQ Ⅱ 검사의 하위 요인 신뢰도 계수

하위요인	문항수	신뢰도 계수	
		사전	사후
내재동기	5	.959	.943
직업동기	5	.954	.937
자기의지	5	.968	.928
자아효능	5	.977	.956
점수동기	5	.952	.949

학습 몰입감 검사도 [적용 1] 연구와 동일한 검사지를 사용하였다. 이에 대한 사전 및 사후 학습 몰입감 검사에 대한 전체 신뢰도 계수(Cronbach's α)는 각각 .911과 .942로 나타났다. <표 Ⅲ-14>는 각 하위요인의 신뢰도 계수를 나타낸 것이다.

<표 Ⅲ-14> [적용 2]연구에 대한 학습 몰입감 검사의 하위 요인 신뢰도 계수

하위요인	문항수	신뢰도 계수	
		사전	사후
분명한 목표	2	.910	.974
분명한 피드백	2	.913	.953
도전 능력 균형	2	.895	.923
행위인식 일체감	2	.848	.931
과제에 대한 집중	2	.951	.958
학습 통제감	2	.879	.877
자기만족적 경험	2	.921	.954
시간개념의 왜곡	2	.932	.948
자의식 상실	2	.935	.906

2.4. 자료 분석

사전 및 사후 학업성취도 검사에 대한 채점의 신뢰도를 높이기 위해 연구자와 수업처치 교사가 무작위로 추출한 학생의 답안지를 각자 채점하고 비교하는 과정을 반복하여 연구자 간 일치도가 90% 이상 도달한 다음, 연구자가 모든 답안지를 채점하였다.

과학 학업성취도, 학습 동기, 학습 몰입감 검사에 대해서는 사전 성취 수준과 교수학습 방법에 따른 사전, 사후 점수에 대한 기술 통계를 분석하였고, 각 검사에 대한 추리 통계 분석도 수행하였다.

추리 통계 분석에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다. [적용 1] 연구는 과학 학업성취도 검사, 과학 학습 동기, 학습 몰입감 각각에 대하여 외생변인인 사전 검사를 공변량으로 처리하고, 교수학습 방법과 사전 성취 수준을 독립변인, 사후 검사 점수를 종속변인으로 하는 2(사전 성취 수준)×3(교수학습 방법) 요인의 이원공변량 분석(two-way Analysis of Covariance, 이하 'two-way ANCOVA')를 실시하였다. 이원공변량 분석을 수행한 이유는 사후 점수에 영향을 줄 수 있는 사전 검사를 통제하고, 교수학습 방법과 사전 성취 수준에 따라 사후 검사가 차이가 있는지 조사하기 위함이다. 이원공변량 분석 후, 측정 검사에 대하여 사후검정을 실시하여 결론을 내렸다. 또한 사전 성취 수준에 따른 교수학습 방법의 차이를 확인하기 위해 내재설계와 사후검정을 실시하여 분석하였다.

과학 학습 동기 검사는 5개의 하위 요인 즉, 사전 과학 학습 동기 요인을 공변인, 교수학습 방법과 사전 성취 수준을 독립변인, 사후 과학 학습 동기 하위 요인을 종속변인으로 하여 2(사전 성취 수준)×3(교수학습 방법) 요인 설계에 의한 이원 중다공변량분석(Multivariate Analysis of Covariance, 이하 'MANCOVA')을 실시하였다.

학습 몰입감 검사도 9개의 하위 요인 즉, 사전 학습 몰입감 요인을 공변인, 교수학습 방법과 사전 성취 수준을 독립변인, 사후 학습 몰입감 하위 요인을 종속변인으로 하여 2(사전 성취 수준)×3(교수학습 방법) 요인 설계에 의한 중다공변량분석(MANCOVA)을 실시하였다.

[적용 2] 연구는 화학 학업성취도 검사, 학습 동기 검사, 학습 몰입감 검사 각각에 대해서 사전 검사 점수를 공변량으로 처리하고, 스캐폴딩

종류와 사전 성취 수준을 독립변인, 사후 검사 점수를 종속변인으로 하는 2(사전 성취 수준)×2(스캐폴딩 종류) 요인의 이원 공변량 분석(two-way ANCOVA)을 실시하였다. 분석 결과가 통계적 유의미한 차이가 발생한 경우에는 Bonferroni 방법을 이용하여 사후검정을 실시하였다. 모든 통계 분석은 SPSS statistics 25 프로그램을 사용하였다.

Ⅳ. 연구 결과 및 논의

1. 화학 결합 모바일 증강현실 애플리케이션

1.1. 어포던스를 반영한 화학 결합 앱 및 가능 시나리오

학교 현장에서 손쉽게 사용할 수 있는 보편적이고 휴대가 가능한 모바일 기기를 이용하여 화학 결합 증강현실 앱을 개발하였다. 기존의 증강현실 인식에 대한 발전적 측면으로 번호나 기하학적 무늬의 마커 인식이 아닌 실제 원소를 발견하거나 원소와 관련된 과학자 인물 사진을 마커로 하여 과학적 호기심을 유도하도록 하였으며 카드 형태를 네모가 아닌 원형으로 구현하여 결합 방향에 대한 자율성을 높였다. 또한 보어 원자 모형에서 원자의 크기를 실제 크기에 따른 상대적 비율로 적용하였으며 이온 결합 형성에서 반지름의 변화 크기도 고려하여 개발하였다.

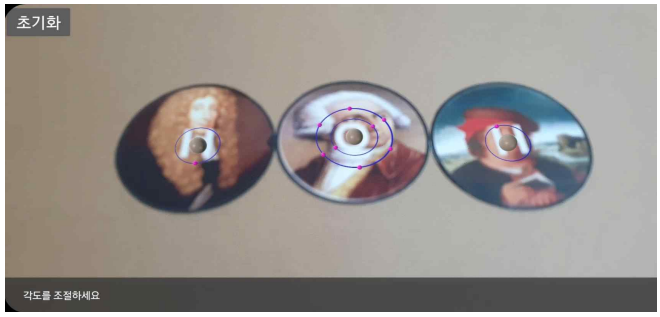
또한 화학 결합 증강현실 앱은 인지적, 감각적, 물리적 어포던스 관점에 입각하여 증강현실 애플리케이션을 디자인하였으며, 이를 반영한 결과는 다음과 같다.

첫째, 인지적 어포던스는 직관적 인식, 가이드, 학습정보제공, 학습자 인지수준 항목으로 구분하여 반영하였다. 개발한 앱은 [그림 Ⅳ-1]과 같이 앱 아이콘의 이름인 'AR화학결합'을 통해 증강현실 앱의 용도에 대해서 알 수 있고(a), 화면 좌측 상단에 나타난 '초기화' 버튼의 이름을 보고 바로 그 용도를 알아차릴 수 있다(b). 또한, 앱 구동 시 첫 화면에 '원자 카드를 스캔하세요'라는 문구가 나타나도록 하였으며(b), 결합 가능한 각도로 마커를 조합하지 않았을 경우에는 화면 하단에 '각도를 조절하세요'라는 문구가 나타나도록 가이드를 제공하였다(c). 학습정보제공은 결합이 형성되면 먼저, 보어 결합 전자 배치와 화면 하단에 화학식과 이름이 제공되며, 이를 한 번 터치하면 3차원 구조가 나타나도록 하여 한 화면에

제시 가능한 양의 정보만 나타나도록 하였다. 학습자 인지수준으로는 2015 개정 교육과정의 통합과학과 화학Ⅰ의 내용 요소를 반영하여 개발을 진행하였기에 학습자의 인지수준을 고려하였다고 볼 수 있으며, 학습을 보다 쉽고 재미있게 할 수 있도록 마커조합의 결합 애플리케이션을 구상하였고, 마커를 기하학적 무늬가 아닌 원소와 관련된 과학자의 인물 사진으로 설정하였다.

(a)

(b)

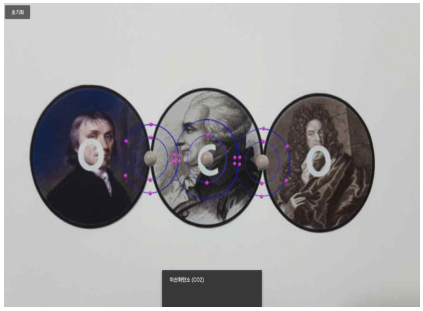


(c)

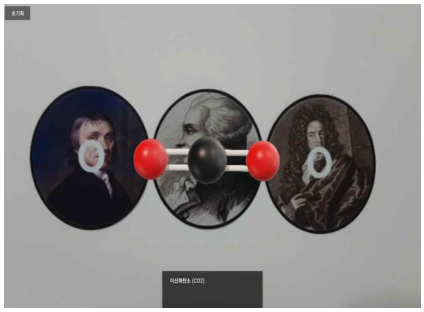
[그림 Ⅳ-1] 인지적 어포던스를 반영한 증강현실 앱 디자인
(a) 앱 아이콘 (b) 초기화 버튼 및 초기 화면 문구
(c) 결합 완성을 위한 가이드

둘째, 감각적 어포던스는 색상, 화면 배치, 오감활용 항목으로 구분하여 반영하였다. 보어 모형 색상은 과학자 카드 위에 전자 껍질, 핵, 전자가 눈에 잘 들어오도록 색상을 선택하였으며, 결합의 3차원 구조 색상은

교과서의 예시와 볼 앤 스틱 모형에서 통용되는 색상을 사용하였다. 예를 들어, 3차원 구조의 색상으로 공유 결합의 경우, 수소는 흰색, 탄소는 검은색, 산소는 빨간색으로 나타내었으며, 결합 스틱의 색상은 흰색을 사용하였다. 또한, 이온 결합의 경우, 나트륨은 보라색, 염소는 황녹색으로 나타내었다. 화면 배치에 대해서는 결합에 대해서만 집중할 수 있도록 앱 디자인도 단순하게 설계하였으며, 증강현실로 보여주고자 하는 보어 전자 배치와 3차원 구조가 카드 위 중앙에 나타나도록 배치하였다. 텍스트는 앱 구동 시 나타나는 초기 문구인 '원자를 스캔하세요'를 제외하고는 안내나 간단한 설명이 필요할 때 앱 하단에 생성된 바에 텍스트가 표시되도록 하였다. 예를 들어, 결합 형성이 안되면, '각도를 조절하세요'라는 문구가 표시되고, 결합이 형성되면 해당 결합의 이름과 화학식이 화면 하단의 바에 표시된다. 오감활용에 있어서는 증강현실에 의한 시각적 효과는 충분히 반영되었지만, 추가로 청각적 효과를 반영하여 다양한 감각을 제공하고자 하였다. 이에 결합이 형성되는 순간 알림 소리가 발생하도록 하여 결합 형성에 오디오 효과를 활용하였는데, 이는 전문가 평정을 통한 개선점을 반영한 결과이다. [그림 Ⅳ-2]와 [그림 Ⅳ-3]은 감각적 어포던스가 반영된 공유 결합 형성과 이온 결합 형성의 예시를 나타낸 것이다.



(a)

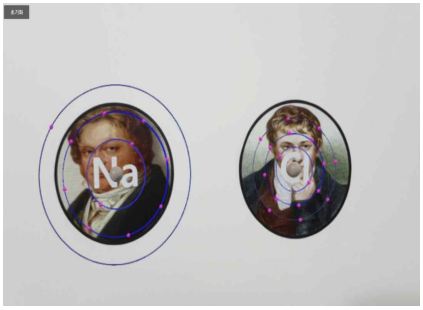


(b)

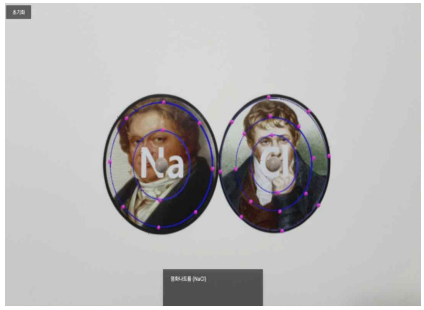
(c)

(d)

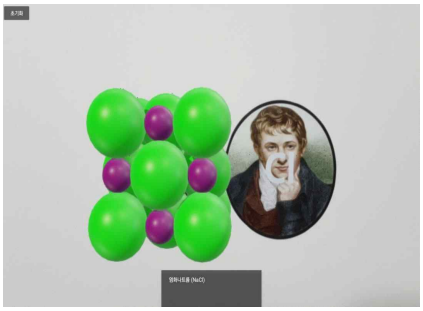
[그림 Ⅳ-2] 감각적 어포던스를 반영한 공유 결합 예시
(a) 이산화탄소(CO_2)의 보어 모형 (b) 이산화탄소(CO_2)의 3차원 분자 구조
(c) 메탄올(CH_3OH)의 보어 모형 (d) 메탄올(CH_3OH)의 3차원 분자 구조



(a)



(b)



(c)

(d)

[그림 Ⅳ-3] 감각적 어포던스를 반영한 이온 결합 예시
(a) 나트륨(Na), 염소(Cl)의 보어 모형 (b) 염화나트륨(NaCl)의 보어 모형
(c) 염화나트륨(NaCl)의 3차원 구조(정면) (d) 염화나트륨(NaCl)의 3차원 구조(측면)

셋째, 물리적 어포던스는 객체조작용이성, 입력용이성, 조작오류대처 항목으로 구분하여 반영하였다. 개발한 앱의 증강현실 객체는 마커가 이동하면 함께 이동하거나, 디바이스의 움직임에 따라 증강현실 객체도 함께 움직인다. 이는 ARCore 플랫폼이 모션 추적, 환경 이해, 거리 이해, 사용자 상호작용 기능을 지니고 있기에 가능하다. 또한, 한 번의 터치로 보어 결합 모형에서 3차원 구조로의 변환이 가능하며, 다시 한번 터치하면 3차원 구조에서 보어 결합 모형으로 돌아가도록 설계하였다. 증강현실 앱의 버튼은 화면 좌측 상단에 '초기화' 버튼 하나이며, 이는 정확하게 터치할 수 있도록 크기가 적당하고 이름에서 바로 내용을 알 수 있듯이 버튼을 누르게 되면 이제까지 보여주었던 화면이 사라지고 카드를 새로 인식할 수 있도록 시작 상태의 화면상태가 다시 나타난다. 이는 조작에 대한 오류가 나타났을 때 카드를 새로 인식할 수 있도록 마련한 앱 내의 기능이라 할 수 있다. 물리적 어포던스를 반영한 영상은 [그림 Ⅳ-4]에서 QR 코드로 확인할 수 있다.

[그림 Ⅳ-4] 물리적 어포던스 반영 영상 QR

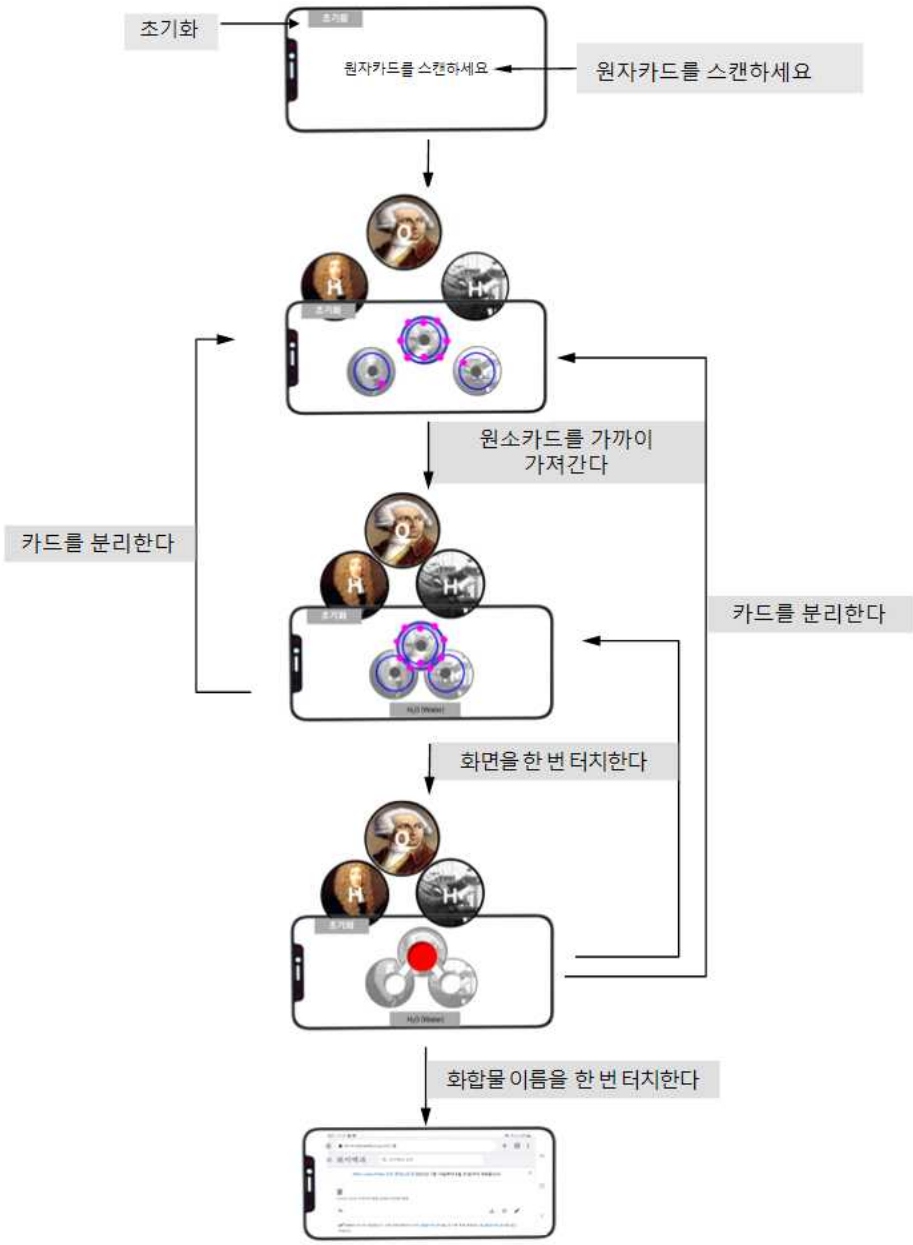
화학 결합 증강현실 앱의 사용법은 매우 직관적이며 다음과 같은 순서로 조작할 수 있다[그림 Ⅳ-5].

1. 원자 기호와 함께 해당 원자와 관련된 화학자 초상이 그려진 원형 모양의 원자 카드를 화학 결합 증강현실 앱으로 인식하면 원자 카드 위에 원자 보어 모형이 배치된다. 보어 모형은 핵과 전자 그리고 전자 궤도로 이루어져 있으며 핵과 전자 궤도는 정지 상태이고 전자는

핵을 중심으로 공전한다. 전자 궤도의 크기 및 전자의 개수는 실제 원자 특성에 맞게 정해진다.

2. 인식된 원자 카드를 천천히 이동시키면 원자 보어 모형도 원자 카드와 함께 이동한다.
3. 원자 카드를 화학 결합이 이루어질 수 있는 조합(결합 각도 및 원자 배치)으로 접촉시키면 해당 원자 보어 모형은 결합 보어 모형으로 변하며 화면 하단에 해당 결합의 화학식과 화합물 이름이 표시된다. 이때 공전하던 전자는 움직임을 멈추며 전자 배치도 결합 특성에 맞게 재배치된다.
4. 사용자가 결합 보어 모형을 화면에서 터치하면 결합 보어 모형에서 결합 3차원 모형으로 변하고 다시 터치하면 결합 보어 모형으로 재전환된다. 결합 3차원 모형은 구 모양의 원자(전자와 전자 궤도는 없음)와 결합을 의미하는 얇은 실린더 모양의 막대로 구성된다. 구 모양의 원자는 그 크기와 색이 원자의 특성에 맞게 표현된다. 이중 혹은 삼중 결합에 따라 결합 실린더 막대도 2개, 3개가 된다. 이온 결합일 경우에는 막대가 없는 대신 결합된 이온이 반복적으로 나타나는 공간 채우기 결정 구조 형태로 나타난다.
5. 결합이 형성되어 화합물 이름이 표시된 곳을 터치하면 화합물에 대한 정보가 담긴 웹사이트로 이동된다(하이퍼링크: 위키피디아).
6. 접촉되어 있는 하나 이상의 원자 카드를 다른 원자 카드로부터 분리시키면 결합 모형(보어 결합 모형, 3차원 결합 모형)이 사라지면서 결합 이전의 원자 보어 모형으로 전환된다.

증강현실 앱의 시연에 대해서는 아세트산(CH_3COOH)을 예로 들어 [그림 Ⅳ-6]에 제시하였다.



[그림 Ⅳ-5] 화학 결합 증강현실 앱의 작동 과정(예: 물분자)

(a) (b)

[그림 Ⅳ-6] 증강현실 애플리케이션 시연
(a) 아세트산(CH_3COOH)의 공유 결합 보어 전자배치 시연
(b) 아세트산(CH_3COOH)의 3차원 분자구조 시연

화학 결합 증강현실 앱에서 결합이 가능한 총 개수는 85개이며, 이는 현재 고등학교 통합과학 및 화학Ⅰ 교과서와 평가 문항에 제시된 이온 결합, 공유 결합을 모두 포함하고 있다. 2015 개정 교육과정에서 화학Ⅰ 내용의 적정화로 탄화수소 관련된 자세한 내용은 제외되었다. 이에 맞춰 탄화수소에 대한 에테인, 에텐, 에타인의 기본 분자 구조는 구현이 가능하도록 설계하였지만, 탄소 3개 이상의 분자 구조와 방향족 화합물인 벤젠과 같은 공명 구조는 제외하였다.

화학 결합 증강현실 앱으로 인식 가능한 원소 카드는 수소(H) 6장, 리튬(Li) 2장, 베릴륨(Be) 1장, 붕소(B) 1장, 탄소(C) 2장, 질소(N) 2장, 산소(O) 4장, 플루오린(F) 2장, 나트륨(Na) 2장, 마그네슘(Mg) 2장, 염소(Cl) 4장, 총 29장이다. 제공된 총 29개의 원자 카드로 조합할 수 있는 모든 화학 결합은 구현이 가능하다. 예를 들어 CH_4과 같은 부류의 결합으로 실험 가능한 결합은 CH_4, CF_4, CCl_4, CH_3F, CH_3Cl, CH_2F_2, CH_2Cl_2, CHF_3, $CHCl_3$, $CFCl_3$, CF_2Cl_2, CF_3Cl, CH_2FCl, CHF_2Cl, $CHFCl_2$가 있다. 이온 결합의 경우는 다원자 이온의 경우를 제외한 단원자 이온 결합만 가능하다. 앱에서 실험 가능한 화학 결합은 <표 Ⅳ-1>과 같다.

<표 Ⅳ-1> 가능한 화합 결합의 종류

결합형태		구조	가능한 결합 물질의 예시
Covalent bonding	Bonding structure	Linear	H_2, HF, HCl, F_2, Cl_2, ClF, O_2, N_2, BeF_2, BeH_2, $BeCl_2$, BeHF, BeFCl, BeHCl, CO_2, HCN, FCN, ClCN
		Bent	H_2O, OF_2, OCl_2, HOF, HClO, FOCl, O_3, NO_2
		Trigonal planar	BH_3, BCl_3, BF_3, BF_2Cl, $BFCl_2$, BH_2F, BH_2Cl, BHF_2, $BHCl_2$, BHFCl, CH_2O, COF_2, $COCl_2$, HCOF, HCOCl, FCOCl
		Trigonal bipyramidal	NH_3, NF_3, NCl_3, NH_2F, NH_2Cl, NHF_2, $NHCl_2$, NHFCl, NF_2Cl, $NFCl_2$
		Tetrahedral	CH_4, CF_4, CCl_4, CH_3F, CH_3Cl, CH_2F_2, CH_2Cl_2, CH_2FCl, CHF_3, $CHCl_3$, CHF_2Cl, $CHFCl_2$, CF_3Cl, CF_2Cl_2, $CFCl_3$
		More than one central atom	C_2H_2, C_2H_4, C_2H_6, CH_3OH, CH_3CO_2H, H_2O_2, N_2H_2, N_2H_4, N_2O_4
Ionic bonding	Crystal structure	Face-centered cubic	NaCl, NaF, LiCl, LiF, MgO
		Antifluorite(cubic)	Li_2O, Na_2O
		Rutiel(tetragonal)	MgF_2

1.2. 전문가 평정 결과

본 화학 결합 증강현실 앱에 대하여 ICT 교수학습에 대한 경험이 있는 현장 교사 5인으로부터 타당성 평가를 진행하였다. 현장 교사 5인은 개발된 화학 결합 증강현실 앱을 사용해보고, 이에 대한 설문 문항 및 면담에 응했다. 연구자는 교사들이 화학 결합 증강현실 앱을 사용하는 모습을 직접 관찰하고 그 모습을 기록하였다.

평가에 참여한 전문가들은 화학 결합 증강현실 앱이 학습 도구로 적절한지를 묻는 설문 문항에서 긍정적인 응답을 하였다<표 Ⅳ-2>. 타당성 평가 결과, 4단계 리커트 척도 문항에서 전체평균 3.92로 매우 높게 나타났다. 또한, 타당성 평가의 5가지 항목인 적합성, 가시성, 유용성, 보편성, 이해도 모두 CVI 값이 1.0으로 나타났으며, IRA 값 역시 1.0으로 나타났다. 이는 내용 타당도가 매우 높다고 판단할 수 있으며, 평정자 간 일치도가 신뢰할 수 있다고 판단할 수 있다.

<표 Ⅳ-2> 화학 결합 증강현실 앱에 대한 타당성 평가 결과

평가문항	전문가					M(SD)	CVI	IRA
	A	B	C	D	E			
적합성	4	4	4	4	4	4.00(0.00)	1.0	
가시성	4	4	4	4	4	4.00(0.00)	1.0	
유용성	4	4	4	4	4	4.00(0.00)	1.0	1.0
보편성	4	3	4	4	3	3.60(0.45)	1.0	
이해도	4	4	4	4	4	4.00(0.00)	1.0	

면담은 주로 타당성 평가에서의 서술형 질문에 대한 응답의 이유를 묻기 위해 수행되었다. 개발한 증강현실 앱에 대한 긍정적 측면을 다음과 같이 의미화된 단위로 나누어 살펴보고자 한다.

결합 가시화. 이는 가장 많은 교사들이 언급한 부분으로 B 교사를 제외한 나머지 교사들은 개발된 화학 결합 증강현실 앱이 전자 배치와 결

합을 직접 확인할 수 있어 인상적이라고 언급하였다. A 교사는 증강현실로 전자 배치와 결합을 직접 볼 수 있고, 해당 앱에서 입체 구조의 회전으로 3차원 구조 확인을 명확하게 볼 수 있다고 하였다. 또한, A, D, C 교사는 보어 원자 모형에서 화학 결합 구조가 바로 확인되는 점을 장점이라고 언급하였다. 이를 통해 D 교사는 학생들이 원자간 결합을 직관적으로 이해할 수 있으리라 기대하였고, C 교사는 원자가 전자의 결합 참여를 체감할 수 있을 것 같다고 언급하였다. 추가로 C 교사는 시각적으로 원자의 상대적 크기 및 결합각 확인이 가능함을 이 화학 결합 증강현실 앱의 장점으로 들었다.

시각적으로 평면적 표현뿐만 아니라 공간적 표현을 통해 전자 배치와 결합을 직접 볼 수 있다는 점이 가장 좋은 것 같아요. 입체 구조는 회전이 가능하네요? 3차원 구조를 가시적으로 이리저리 살펴볼 수 있어 좋네요. 이 활동으로 원자의 보어 모형과 결합뿐만 아니라 분자 구조적 측면까지 한 번에 살펴볼 수 있다는 점이 인상적이에요.

– A 교사 –

보어 원자 모형을 터치하면 3차원 분자 구조 모형으로 전환되는 게 신기해요. 학생들이 원자간 결합을 직관적으로 이해할 수 있을 것 같아요.

– D 교사 –

보어 전자 배치와 화학 결합을 동시에 확인할 수 있어 원자가 전자의 결합 참여를 체감할 수 있어 좋아요. 원자의 상대적 크기랑 결합각도 시각적으로 확인할 수 있고...

– C 교사 –

결합에 대한 이해. 화학을 가르치는 교사의 입장에서 화학 결합 단원 중에 '분자의 모양' 단원이 학생들에게 가르치기 어려워하는 단원으로 꼽히는데(고기환 외, 2007), 이는 학생들이 공간적 사고 능력이 부족하여 분자 구조를 입체적으로 이해하기 어려워하기 때문이다(박현주 & 임희준, 2017; Butts & Smith, 1987). A 교사도 화학 결합 단원에서 학생들

에게 구조 설명에 어려움을 겪었던 지난 수업 경험을 떠올리면서 화학 결합 교수학습 방법에 어려움을 해결할 수 있는 하나의 방안으로 증강현실 앱의 사용이 학생들의 화학 결합 구조 학습에 도움이 될 도구가 충분히 될 수 있음을 언급하였다. E 교사는 증강현실 앱으로 이온 결합과 공유 결합 화합물에 대한 이해를 높일 수 있으리라 언급하였고, B 교사는 학생들이 화학 결합의 구조를 암기하는 것이 아니라, 자주 접하면서 이해할 수 있도록 돕는 도구가 될 수 있으리라 언급하였다.

수업에서 학생들에게 3차원 입체 구조를 표현해서 알려주는 게 쉽지 않아요. 칠판에서 그림을 그려 예로 든다고 해도 학생들이 잘 이해하지 못하고 평면으로 생각하고, 3차원 구조를 표현한 간단한 영상을 화면으로 보여줘도 아이들이 잘 와닿지 않는다고 하고, 분자 구조 키트로 활동하면 조금 이해하긴 하는데, 학생들이 왜 그렇게 연결해야 하는지를 모르는 체 블록 끼우기 놀이처럼 하는 경우도 있고, 가르치는 입장에서 고민이 많이 되는 단원이었는데... 이 화학 결합 증강현실 앱은 일단 결합이 3차원 공간 속에서 표현되는 것을 학생들이 가까이에서 확인할 수 있으니 입체 구조에 대해 더 명확하게 이해할 수 있을 것 같아요. 또, 카드를 아무거나 배열한다고 해서 결합이 되는 것도 아니고, 결합이 가능한 경우를 고민하면서 카드를 잘 배열해야 결합이 형성되는 것을 볼 수 있으니, 학습에 도움이 더 많이 될 것 같아요.

– A 교사 –

학생들이 이온 결합과 공유 결합 화합물에 대한 결합 형성의 차이점에 대해 무엇보다 잘 이해할 수 있을 것 같아요. 카드가 이동해서 결합이 형성될 때, 이온 결합은 원자가 전자가 이동하고, 공유 결합은 전자가 공유되는 게 AR로 보이니깐 이 부분은 한 번만 이렇게 봐도 각인이 될 것 같고, 이온 결합은 이온 결정 구조를 이루고, 공유 결합은 분자 구조 형태를 이루는 모습을 볼 수 있으니 화학 결합을 좀 더 쉽게 이해할 수 있지 않을까? 하네요.

– E 교사 –

학생들이 화학 결합 공부를 암기하듯 하더라고요. 이해가 안 되는 화합물마다 이 분자는 이 구조, 결합각 몇 도, 이런 형태로요. 그러다 보니, 외울 내용이 많다고 암기과목처럼 취급하니 금방 싫증 내고 화학을 꺼려 하는 학생도 더러

있더라고요. 근데 이렇게 3차원 구조가 눈에 확 들어오는 AR을 학습에 자주 이용하면 안 외워도 될 것 같아요.

– B 교사 –

흥미 및 호기심 유발. 화학 교과의 주된 수업의 형태가 강의식 설명식 수업이 대부분인 고등학교 수업 현장에서 수업 환경의 개선은 학생들에게 학습에 대한 흥미와 관심을 끌기에 충분하다(박현주 & 임희준, 2017). 더욱이 화학 학습에 어려움을 겪고 있는 학생들에게 관심과 즐거움을 가져다줄 수 있도록 수업 환경에 변화를 준다면, 화학 교과의 기피 현상을 탈피할 수 있으리라 본다. B 교사는 수동적으로 학습에 참여했던 기존의 강의식 수업 형태를 벗어나 학생들이 증강현실 앱을 직접 조작해 볼 수 있어, 그 자체만으로 흥미를 불러일으킬 수 있으리라 기대하였다. C 교사도 학생들이 충분히 흥미를 느낄 수 있는 앱이고, IT 기기에 익숙한 학생들일수록 더 관심을 가질 것 같다고 언급하였다.

강의식 수업하면 학생들이 지루해서 금방 졸아요. 근데, AR은 일단 직접 조작해볼 수 있으니까, 학생들이 관심 가지고 해볼 수 있고, 이 자체만으로 흥미를 가지고 (학습에) 임하지 않을까... 무엇보다 수업시간에 핸드폰이나 테블릿을 활용해서 활동을 하면 더 적극적으로 임할 것 같아요.

– B 교사 –

학생들이 충분히 흥미를 느낄만하겠어요. 카드 조합으로 화학 결합을 확인할 수 있으니... 무엇보다 IT 기기에 익숙한 학생들이 주도적으로 활동을 이끌어가면서 흥미를 느낄 것 같아요.

– C 교사 –

그 밖에 C 교사는 화학 결합 증강현실 앱의 사용으로 이온 결합 물질에 대한 오개념이 해소될 수 있음을 언급하였고, D 교사는 볼 앤 스틱 모형 활동과 비교하면서 원자 구조 모형 관리 및 분실 문제 등에 대한 관리의 불편함을 해소해 줄 수 있고, 다중 결합 조립의 어려움과 교과서와의 차이점을 설명해야 하는 난감함에서 벗어나게 해 줄 수 있는 학습

도구라고 언급하였다.

다음으로는 화학 결합 증강현실 앱의 부정적인 측면과 이에 대한 개선점을 의미화된 단위로 나누어 살펴보고자 한다.

선명하지 않은 이미지. 화학 결합 증강현실 앱을 접한 교사 중 A 교사와 D 교사는 원자 카드의 과학자 배경 그림으로 인해 보라색 전자가 잘 안 보일 수 있음을 우려사항으로 언급하였다. A 교사는 이에 대한 개선 방안으로 원소 카드의 배경 그림의 단순화나 변화를 주는 것을 제안하였고, D 교사는 전자의 크기를 더 키울 것을 제안하였다.

> **카드에 있는 과학자들 배경 그림에 겹쳐서 보라색 전자가 명확하게 보이지 않는 경우가 있기도 하네요. 원소 카드의 보어 모형이 좀 더 명확하게 보일 수 있게 조치를 취했으면... 예를 들면, 배경 그림을 단순하게 바꾼다든가, 아니면 AR에 변화를 주어 좀 더 선명하게 보이도록 하면 괜찮을 것 같습니다.**
>
> **– A 교사 –**

> **원소 카드에 과학사 사진이 인쇄되어 있어 보라색 작은 전자모형이 잘 안 보여요. 보라색 전자 사이즈를 좀 더 키우면 좋겠어요.**
>
> **– D 교사 –**

보충 설명의 필요성. A 교사는 이온 결합 결정 모형이나 공유 결합의 3차원 구조에서 이온의 종류를 바로 인식하기 어렵고, 어떤 원자간 결합이 형성되었는지 직관적으로 알기 어려움을 언급하면서, 이를 구별할 수 있도록 표시나 설명이 필요함을 제안하였다. E 교사도 학생들의 이해를 돕기 위해 3차원 분자 구조로 표현된 원소의 색깔과 원소의 기호를 매칭시켜 화면에 표시해주거나, 미리 원자의 색상을 알려주는 과정이 필요하며 원자의 특정 색은 실제 원자의 색상은 아님을 주지시켜 줄 필요가 있음을 언급하였다. 이를 통해 오개념이 형성되지 않도록 교사의 설명이 필요하다고 강조하였다. 또한, B 교사는 보어 모형에서의 결합 전과 결합 후의 전자 움직임의 변화에 대한 오개념 발생 가능성을 언급하면서

이에 대한 보충 설명이 꼭 필요하다고 언급하였다.

> 이온 결정으로 3차원 구조가 나타나는 것은 인상적이기는 한데, 우리는 잘 알지만, 결정에서 학생들은 어떤 입자가 양이온이고 음이온인지 잘 모를 듯해요. 표시가 안 되어 있으니, 학생들이 바로 인식하기 어려울 수도 있지 않을까 해요. 3차원 구조가 나타날 때 양이온이랑 음이온이 구별되도록 입자에 표시를 해주면 좋을 것 같고, 분자 구조도 3차원 공간상에 나타날 때 어떤 원자를 표현한 건지 쓰여 있으면 즉각적으로 인식이 가능하니 이해가 수월할 것 같아요. 예를 들면, 구조 옆에 원자 색 공이랑 원자를 써서 표현하는 방식도 괜찮을 듯해요.
>
> – A 교사 –

> 어떤 원자가 결합되었는지 잘 모를 수 있으니, AR 구조가 나타난 화면 옆에 어떤 원자인지 알 수 있도록 결합 원소의 색깔과 기호를 매칭시켜서 나타내주는 것은 어떨지... 그게 어려우면, 학생들에게 미리 어떤 원자가 어떤 색으로 표현된다는 것을 알려주는 거죠. 이해를 좀 더 돕기 위해서요. 근데, 오개념이 생기지 않도록 학생들에게 원자가 여기 제시된 특정 색을 실제 지니고 있는 것은 아니고 임의의 색으로 표현되었다고 꼭 설명해 줘야... 자칫하면 오해하고 있는 학생들이 좀 있을 거예요.
>
> – E 교사 –

> 결합 전에는 궤도에서 원운동 하던 전자가 결합 후 운동을 멈추잖아요. 이걸 보고 있는 학생들은 '결합하면 전자가 운동을 안 하는구나'라고 받아들일 수 있는 위험이 있어 보여요. 교사가 이에 대한 추가 설명을 해서 학생들이 새로운 오개념이 발생하지 않도록 주의가 필요해요.
>
> – B 교사 –

실행가능성에 대한 우려. 이 부분은 화학 결합 증강현실 앱을 실제 학교 현장에서 사용하고자 할 때 기기 보유에 대한 우려로부터 언급된 내용이다. C 교사의 경우, 해당 근무 학교의 환경을 언급하며, 기기 확보를 위한 학교 예산 편성이 필요하며, D 교사 또한 증강현실을 구현할 수 있는 기기 확보가 우선임을 언급하였다. 교육부는 '제4차 과학교육 종합

계획(2020~2024)'에서 증강현실을 비롯한 첨단 과학 기술 적용을 위한 지능형 과학실 구축 계획을 발표하여, 현재 학교 과학실의 한계를 극복하여 학생 참여 중심의 탐구실험 활동을 지원하는 방안을 제시하였다. 이러한 방침에 따라 앞으로 증강현실을 활용한 수업 환경에 필요한 제반 여건이 학교마다 충분히 마련될 것으로 보인다.

이게 좀 현실적으로 우리 학교는 입시에 대한 경쟁이 치열한 학교라 학생들이 스마트폰을 가지고 다니는 경우가 많지 않아요. 그렇다 보니 이 화학 결합 앱으로 수업을 하려면 학교에서 기기를 제공해줘야 하는데, 그게 가능할지... 학교에서 대량으로 구입할 수 있도록 예산 확보가 필요하지 않을까...

- C 교사 -

화학을 선택한 반 학생들이 평균 인원수가 32명 정도 되는데, 4인 1조로 수업한다고 해도 교사용을 제외한다고 해도 최소 기기가 8대는 필요해요. 기기가 있어야 수업이 가능하니, 무엇보다 AR이 구현될 수 있는 기기가 잘 갖추어져 있어야 활용할 수 있을 듯합니다.

- D 교사 -

마지막으로 부정적인 측면으로는 언급되지 않았으나 화학 결합 증강현실 앱에 대한 개선점이나 추가로 언급한 부분에 대해 제시해보려고 한다. 먼저, 새로운 분자 구조에 대한 기대를 언급한 B 교사는 지금까지의 분자 구조가 고등학교 2학년 수준의 옥텟 규칙을 만족하는 분자 수준의 표현이었다면, 화학 결합 증강현실 앱이 고등학생뿐만 아니라, 더 다양한 사람들이 사용할 수 있도록 복잡한 분자나 확장된 옥텟 규칙이 반영된 분자 구조의 구현도 가능하도록 앱에서 가능한 분자의 종류와 수준을 확장시켜주었으면 하는 바람을 언급하였다.

이 앱이 주신 카드만 가지고 구현할 수 있는 게 전부죠? 고2 수준에서... 더 복잡한 분자도 구현되면 좋을 것 같아요. 확장된 옥텟 규칙도 가능하도록요. 그럼 고2 수준까지만 할 수 있는 앱이 아니라 더 학령이 높은 사람들도 이용할 수 있어 대중화 혹은 보편화되고 좋을 것 같아요. 화학을 좋아하는 사람의 입장

에서...(웃음)

- B 교사 -

C교사는 증강현실 앱이 모든 방향에서 관찰 가능하도록 표현되었으면 하는 바람을 언급하였다. 입체 구조의 경우에 한해서만 3차원 구조가 나타나면 자체 회전으로 분자의 형태를 다각도로 관찰이 가능하도록 구현된 현재의 앱에서 평면구조에도 이 기능을 적용시켜 구조가 평면임을 인식시켜주는 것도 의미가 있으리라고 제안하였고, 이러한 제안은 D교사도 언급하였다.

입체 구조만 회전을 통해 분자 형태를 볼 수 있는 것도 좋지만, 평면구조도 회전을 통해 분자가 평면임을 보여주는 것도 의미가 있을 것 같아요. 제안하자면, 3차원 360도 어느 방향에서건 입체를 볼 수 있는 메뉴가 있으면 보다 이해하는 데 도움이 되고 보다 쉬울 것 같아요.

- C 교사 -

평면구조를 갖는 분자도 회전이 가능하면 좋겠습니다.

- D 교사 -

추가로, E 교사는 원소가 만나 결합이 형성될 때, 결합 형성을 알리는 소리 추가를 제안하였다. 또한, D 교사는 만들어진 물질을 클릭하면 위키피디아 등으로 연결되어 바로 성질 및 취급법 등에 대한 정보를 알 수 있도록 구현하는 방안을 제안하였고, 원소 카드에 제시된 과학자에 대해 관심을 표하면서 학생들 역시 원소 카드 속 과학자에 대해 궁금해 할 것 같다며 원소 카드 과학자에 대한 정보를 카드 뒷면에 제공하여 궁금증을 해결해주는 방안을 언급하였다.

연구자는 5명의 현장 교사로부터 전문가 평정을 받은 내용을 참고하여 화학 결합 증강현실 앱을 최종 수정하였다. 먼저, 보어 전자 모형에서 전자가 과학자 사진과 겹쳐 잘 보이지 않는다고 언급한 부분에 대해 전자의 크기를 조절하고 색상의 채도를 높여 보다 선명하게 보일 수 있도록

수정하였고, 전자 껍질의 굵기도 조절하여 궤도가 잘 보이도록 조정하였다. 다음으로는 3차원 구조에서 원소의 색깔과 원소 이름에 대한 표기에 대해서는 증강현실 앱에 직접 표시하여 나타내기보다는 증강현실 작동 설명서 배부 시 표로 제공하여 학생들이 사전에 인지하고, 해당 원소의 색은 임의의 색임을 교사가 언급하기로 하였다. 3차원 구조의 모든 방향에서의 관찰 가능에 대한 여부는 앱의 단순화를 위해 버튼 추가를 선택하지 않고, 기존의 입체 구조의 회전 방식을 그대로 적용하여 평면 구조에서도 회전이 가능하도록 조정하여 모든 분자를 다양한 방향에서 살펴볼 수 있도록 하였다. 결합 형성을 알리는 소리 추가와 화합물의 이름을 터치하면 화합물의 정보 연결도 가능하도록 하였고, 또한 원소 카드의 뒷면에 간단한 과학자 정보를 기입하여 학생들의 궁금증을 해결하도록 하였다. 확장된 옥텟 규칙이 반영된 새로운 분자는 개발 중에 있으며, 다음 버전에 반영하기로 결정하였다.

1.3. 사용성 태도 결과

증강현실을 사용한 학생을 대상으로 증강현실 앱에 대한 사용성 태도 검사를 실시한 결과에 대한 기술 통계량은 <표 Ⅳ-3>과 같다.

<표 Ⅳ-3> 증강현실 앱 사용성 태도 검사의 기술 통계량

하위 변인	평균	표준편차	최소값	최대값	왜도	첨도
작동방식	4.14	0.62	2.67	5.00	-0.39	-0.31
인지된 유용성	4.29	0.61	3.00	5.00	-0.52	-0.50
인지된 사용 편의성	4.18	0.63	2.67	5.00	-0.32	-0.46
인지된 즐거움	4.25	0.66	3.00	5.00	-0.35	-0.83
사용 태도	4.16	0.62	3.00	5.00	-0.14	-0.98
사용 의도	4.15	0.63	3.00	5.00	-0.21	-0.72

사용성 태도에 대한 하위 변인 간의 영향력 정도를 알아보기 위해, 하

위 변인 간 상관관계를 분석하고, 단순회귀분석(Simple Regression Analysis)과 단계적 다중회귀분석(Stepwise multiple Regression Analysis)을 사용하였다.

사용성 태도 검사의 6개 하위 변인 간 상관관계를 분석한 결과는 <표 Ⅳ-4>와 같다. 변인별 Pearson r 상관관계 계수는 .6이상으로, 이는 높은 상관관계를 가진다고 볼 수 있다.

<표 Ⅳ-4> 사용성 태도의 하위 변인 간 Pearson r 상관관계

	작동방식	인지된 유용성	인지된 사용 편의성	인지된 즐거움	사용 태도	사용 의도
작동방식	-					
인지된 유용성	.698**	-				
인지된 사용 편의성	.718**	.713**	-			
인지된 즐거움	.716**	.789**	.670**	-		
사용 태도	.659**	.773**	.631**	.860**	-	
사용 의도	.668**	.793**	.685**	.800**	.882**	-

$^{**}p < .01$

단순회귀분석을 위한 기본가정은 다음과 같다. 첫째, 독립변인과 종속변인이 선형적 상관관계에 있어야 하며, 이를 산점도로 판단하였다. 둘째, 오차항(잔차)이 정규 분포와 등분산성을 따라야 하는데, 잔차의 정규성은 P-P도표를 이용하여 대각선을 중심으로 데이터들이 균일하게 분포되어 있는지 확인하였다. 잔차의 정규 분포에서의 이상값이 생기게 될 경우, 결정계수가 낮아지고, 회귀식의 설명력이 낮아지게 되므로 주의해야 한다. 이상값의 판별은 표준화의 절댓값이 3미만, 쿡의 거리 절댓값이 1미만, 그리고 표준화 DIFFIT 절댓값이 2미만으로 나와야 하기에 이를 확인하였다. 오차항의 등분산성은 산점도를 이용하여 확인하였는데 회귀분석 표준화 예측값과 표준화 잔차값이 -2와 +2사이에 분포하고 있어 등분산성을 만족하였다. 셋째, 오차항의 상호 독립성을 만족해야 한다. 오차항이 다른 잔차에 영향을 미치게 되는 자기 상관이 높을 경우에는 분석의 신뢰성을 잃게 된다. Durbin-Watson값이 기준값인 2에 가까운지

확인한 결과, 잔차의 상호 독립성 가정이 충족됨을 확인하였다.

제안된 모델을 바탕으로 작동 방식, 인지된 사용 편의성을 독립변인으로, 인지된 유용성, 인지된 사용 편의성, 인지된 즐거움을 종속변인으로 하여 실시한 단순회귀분석 결과는 <표 Ⅳ-5>와 같다.

<표 Ⅳ-5> 증강현실 앱 사용성 태도의 단순회귀분석 결과

종속변인	독립변인	비표준화계수 B	표준화계수 β	t	R^2(adj.R^2)	F
인지된 유용성	작동방식	.734	.741	7.641***	.549(.539)	58.381***
	인지된 사용 편의성	.712	.732	7.434***	.535(.525)	55.261***
인지된 사용 편의성	작동방식	.711	.699	6.766***	.488(.478)	45.781***
인지된 즐거움	작동방식	.746	.699	6.767***	.488(.478)	45.787***
	인지된 사용 편의성	.682	.651	5.935***	.423(.411)	35.218***

$^{*}p < .05$, $^{**}p < .01$, $^{***}p < .001$

작동 방식을 독립변인으로 인지된 유용성, 인지된 사용 편의성, 인지된 즐거움을 종속변인으로 하여 실시한 회귀분석 결과, F통계값을 통해 회귀모형이 통계적으로 유의미하였으며(F(1,44)=58.38, p<.001; F(1,44)=45.78, p<.001; F(1,44)=45.79, p<.001), 작동 방식이 각 종속변인을 유의미하게 예측하는 것으로 나타났다(t=7.64, p<.001; t=6.77, p<.001; t=6.77, p<.001). 이는 작동 방식이 인지된 유용성, 인지된 사용 편의성, 인지된 즐거움에 유의미한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 작동 방식이 인지된 유용성에 대한 설명력은 54.9%(수정된 설명력 53.9%)이었으며, 인지된 사용 편의성에 대한 설명력과 인지된 즐거음에 대한 설명력은 48.8%(수정된 설명력 47.8%)으로 같았다. 또한, 작동 방식이 각 종속변인에 미치는 상대적 영향력은 인지된 유용성이 가장 높았고(β=.741), 인지된 사용 편의성(β=.699)과 인지된 즐거움(β=.699)은 영향이 같았다. 결과적으로 작동 방식이 인지된 유용성에 더 영향을 준다고 할 수 있다.

인지된 사용 편의성을 독립변인으로 인지된 유용성, 인지된 즐거움을

종속변인으로 하여 실시한 회귀분석 결과, F통계값을 통해 회귀모형이 통계적으로 유의미하였으며(F(1,44)=55.26, p<.001; F(1,44)=35.22, p<.001), 인지된 사용 편의성이 각 종속변인을 유의미하게 예측하는 것으로 나타났다(t=7.43, p<.001; t=5.94, p<.001). 인지된 사용 편의성이 인지된 유용성, 인지된 즐거움에 유의미한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 인지된 사용 편의성이 인지된 유용성에 대한 설명력은 53.5%(수정된 설명력 52.5%)이고, 인지된 즐거움에 대한 설명력은 42.3%(수정된 설명력 41.1%)을 나타냈다. 인지된 사용 편의성이 각 종속변인에 미치는 상대적 영향력은 인지된 유용성(β=.732)이 인지된 즐거움(β=.651)보다 높았다. 이는 인지된 사용 편의성이 인지된 유용성에 대해서 인지된 즐거움보다 상대적으로 더 많은 영향을 준다고 할 수 있다.

다중회귀분석 결과는 다음과 같다. 다중회귀분석의 기본 가정은 단순회귀분석의 기본 가정을 충족하면서, 다중공선성의 여부를 확인해봐야 한다. 다중공선성의 여부는 공차한계(Tolerance)와 분산팽창요인(Variance Inflation Factor: VIF)으로 확인하며, 공차한계가 0.1보다 작거나, 분산팽창요인이 10보다 크면 다중공선성이 크다고 판단한다. 상관관계가 높은 변인들 간의 다중공선성 여부를 확인한 결과, 각각의 공차한계가 0.464, 1.0이며, 분산팽창요인(VIF)이 1.0, 2.15로 다중공선성이 없는 것으로 나타났다. 각 종속변인에 영향을 줄 수 있는 독립변인만을 회귀식에 포함하여 설명력이 있는 변인들의 결정계수를 분석해주는 단계적 다중회귀분석 방법을 선택하여 분석한 결과는 <표 Ⅳ-6>과 같다.

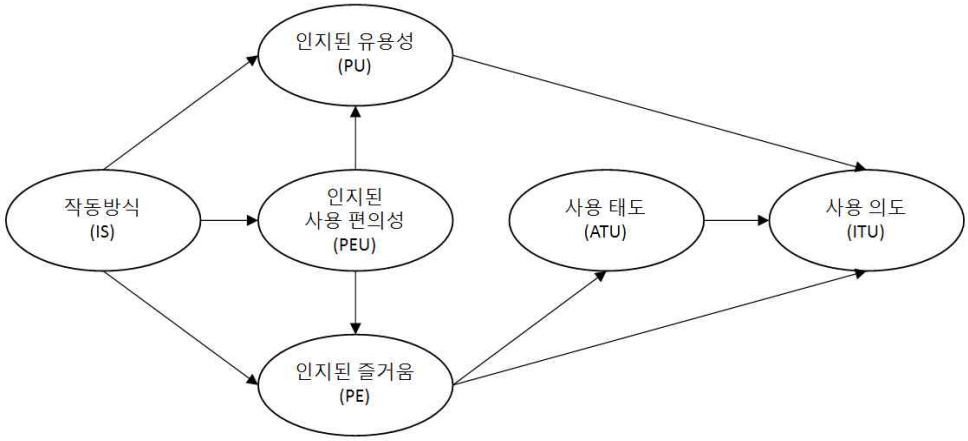
<표 Ⅳ-6> 증강현실 앱 사용성 태도의 단계적 다중회귀분석 결과

종속변인	독립변인	비표준화계수 B	표준화계수 β	t	R^2(adj.R^2)	F
사용 태도	인지된 즐거움	.821	.870	.244***	.757(.752)	149.919***
사용 의도	사용 태도	.663	.659	6.233***	.756(.746)	72.838***
	인지된 유용성	.268	.262	2.479*		
	인지된 즐거움	.254	.251	1.578*		

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

인지된 유용성, 인지된 사용 편의성, 인지된 즐거움이 사용 태도에 미치는 영향을 분석한 결과, F통계값을 통해 회귀모형이 통계적으로 유의미하였으며(F(1,44)=149.92, p<.001), 모형 1에서 인지된 유용성과 인지된 사용 편의성은 사용 태도를 잘 설명하지 못하는 요인으로 제거되어, 인지된 즐거움만 사용 태도에 유의미한 영향을 주었음이 확인되었다(t=12.44, p<.001). 모형 1의 설명력은 75.7%(수정된 설명력 75.1%)이며, 인지된 즐거움이 사용 태도에 미치는 상대적인 영향력은 β가 .870로 매우 긍정적인 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

인지된 유용성, 사용 태도, 인지된 즐거움이 사용 의도에 미치는 영향을 분석한 결과, F통계값을 통해 회귀모형이 통계적으로 유의미하였고(F(1,44)=72.84, p<.001), 모형 2에서 사용 태도(t=6.23, p<.001), 인지된 유용성(t=2.48, p<.05), 인지된 즐거움(t=1.58, p<.05)이 사용 의도에 유의미한 영향을 주었음이 확인되었다. 모형 2의 설명력은 75.6%(수정된 설명력 74.6%)이며, 사용 의도에 미치는 상대적인 영향력은 사용 태도(β=.652)가 인지된 유용성(β=.262)과 인지된 즐거움(β=.251)보다 더 긍정적인 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 증강현실 환경에 대한 사용성 태도 검사를 통해 각 변인의 관계 및 영향 정도를 종합해보면 [그림 Ⅳ-7]과 같다.



[그림 Ⅳ-7] 화학 결합 증강현실 앱의 사용성 태도에 대한 하위 요인의 관계 결과

2. 화학 결합 증강현실의 교육 현장 적용 결과

2.1. 증강현실 기반 교수학습이 인지적, 정의적 영역에 미치는 영향[4)]

추리 통계 분석에 앞서 본 연구의 집단 표본 크기가 30미만으로, 모수 통계 기법의 사용 가능 여부를 알아보기 위해 변인들이 정규성 가정과 등분산 가정을 만족하는지를 확인하였다(Sani & Todman, 2008).

종속변인에 대한 Kolmogorov-Smirnov 정규성 검정 결과, 과학 학업성취도, 과학 학습 동기, 학습 몰입감 모두 정규성을 띠는 것으로 나타났으며(p>.05), 집단 간의 등분산성을 확인하기 위해 Levene 검정을 실시하여 등분산성을 확인하였다(p>.05). 또한, 과학 학습 동기와 학습 몰입감에 대한 MANCOVA를 실시하기 위한 기본 가정이 충족되는지 알아보고자 다변량 정상성, 다중공선성, 분산-공분산 행렬의 동질성, 회귀선 기울기의 동일성 검정을 검토하였다. 검토 결과, 기본 가정이 모두 충족됨을 확인하였다.

2.1.1. 과학 학업성취도

화학 결합에 대한 MAR 활용 과정지향 안내탐구학습에서 과학 학업성취도 평가를 실시한 결과, 사전 성취 수준에 따른 사전 및 사후 검사에 대한 평균과 표준편차, 교정평균은 <표 Ⅳ-7>과 같다.

---

4) 이 부분은 연구자가 수행한 논문(전영은, 지준용, 홍훈기(2022). 화학 결합에서 모바일 증강현실을 이용한 과정기반 안내탐구학습이 과학 학업성취도, 과학 학습 동기, 학습 몰입감에 미치는 영향. 과학교육학회지, 42(3), 357-370.)에 게재된 내용의 일부를 재구조화하여 기술하였다.

<표 Ⅳ-7> 사전 성취 수준에 따른 과학 학업성취도 기술 통계량

사전 성취 수준	교수학습 방법	사전 과학 학업성취도	사후 과학 학업성취도	
		평균(표준편차)	평균(표준편차)	교정평균
상위 그룹	TL	36.7(5.09)	26.2(14.6)	26.2
	POGIL	36.6(4.95)	27.0(12.5)	27.0
	POGIL-MAR	37.5(4.21)	33.0(12.0)	33.0
	전체	36.9(4.72)	28.7(13.3)	28.7
하위 그룹	TL	14.3(9.03)	16.1(10.1)	16.6
	POGIL	15.1(8.37)	18.2(10.5)	18.3
	POGIL-MAR	17.1(10.4)	24.6(12.1)	24.9
	전체	15.5(9.26)	20.1(12.4)	19.9

이원 공변량 분석 결과<표 Ⅳ-8>, 과학 학업성취도에서 교수학습 방법의 주효과가 나타났다(p<.01). 그러나 사전 성취 수준의 주효과는 나타나지 않았고(p>.05), 교수학습 방법과 사전 성취 수준의 상호작용 효과도 나타나지 않았다(p>.05). 교수학습 방법에 대한 사후 분석으로 Bonferroni 검정을 실시하여 집단 간 대응 비교 결과, POGIL-MAR 집단은 TL 집단과 POGIL 집단 모두에 대하여 유의미한 차이가 있었다(평균차이=8.06, p<.01; 평균차이=6.72, p<.05). 반면, TL 집단과 POGIL 집단은 유의미한 차이가 없었다(평균차이=1.34, p>.05).

<표 Ⅳ-8> 과학 학업성취도에 대한 이원 공변량 분석 결과

구분	제곱합(SS)	자유도(df)	평균제곱(MS)	F	p
교수학습 방법	1704.95	2	852.48	6.03	.002**
사전 성취 수준	17.50	1	17.50	.13	.726
교수학습 방법×사전 성취 수준	57.05	2	28.53	.20	.818

**$p < .01$

상위 그룹과 하위 그룹에서 교수학습 방법에 따른 효과를 살펴보고자 내재 설계를 실시한 결과는 <표 Ⅳ-9>와 같다. 상위 그룹의 학생들은

교수학습 방법 간 통계적 차이가 없었으나(p>.05), 하위 그룹의 학생들은 통계적 유의미한 차이가 있었다(p<.05). Bonferroni 검정을 통한 교수학습 방법별 대응 비교 결과, 하위 그룹에서 POGIL-MAR 집단이 TL 집단보다 교정평균이 8.3점 높고(p<.01), POGIL 집단보다 교정평균이 6.5점 높아 집단 간 차이가 있음을 알 수 있었다(p<.05).

즉, 상위 그룹의 경우는 POGIL-MAR 집단의 평균 점수가 가장 높긴 하나 유의미한 수준은 아니었다. 그러나 하위 그룹의 경우는 POGIL-MAR 집단이 TL 집단과 POGIL 집단보다 유의미한 수준으로 향상되었음이 확인되어 과학 학업성취도에 긍정적인 영향을 주었다고 볼 수 있다.

<표 Ⅳ-9> 사전 성취 수준에 따른 과학 학업성취도 내재설계 결과

구분	제곱합(SS)	자유도(df)	평균제곱(MS)	F	p
교수학습 방법 in 상위 그룹	639.05	2	319.52	2.06	.132
교수학습 방법 in 하위 그룹	1326.72	2	633.36	4.27	.016*

*p < .05

2.1.2. 과학 학습 동기

사전 성취 수준에 따른 과학 학습 동기 검사 점수의 하위 요인별 사전 및 사후 학습 동기의 평균과 표준편차, 교정평균은 <표 Ⅳ-10>과 같다.

<표 Ⅳ-10> 사전 성취 수준에 따른 과학 학습 동기의 하위 요인별 기술 통계량

			사전 학습 동기	사후 학습 동기	
			평균(표준편차)	평균(표준편차)	교정평균
내재동기	상위 그룹	TL	3.35(0.89)	3.73(0.85)	3.56
		POGIL	3.40(1.03)	3.68(1.10)	3.52
		POGIL-MAR	3.54(0.91)	3.87(0.94)	3.65
		소계	3.43(0.93)	3.76(0.96)	3.58
	하위 그룹	TL	2.99(0.89)	3.10(1.09)	3.25
		POGIL	2.87(1.20)	3.34(1.20)	3.56
		POGIL-MAR	3.02(0.97)	3.99(0.59)	4.16
		소계	2.96(1.02)	3.48(1.05)	3.66

직업동기	상위 그룹	TL	3.25(1.00)	3.76(0.95)	3.67
		POGIL	3.41(1.15)	3.59(1.20)	3.43
		POGIL-MAR	3.46(1.18)	4.04(1.05)	3.85
		소계	3.37(1.10)	3.80(1.07)	3.65
	하위 그룹	TL	3.06(0.92)	3.12(1.10)	3.27
		POGIL	3.30(1.20)	3.51(1.34)	3.56
		POGIL-MAR	2.90(1.00)	3.64(0.71)	3.89
		소계	3.09(1.05)	3.43(1.09)	3.57
자기의지	상위 그룹	TL	3.44(1.80)	3.46(0.76)	3.14
		POGIL	2.97(1.00)	3.48(1.02)	3.42
		POGIL-MAR	3.48(0.98)	3.90(0.93)	3.58
		소계	3.30(0.95)	3.61(0.92)	3.38
	하위 그룹	TL	2.90(0.73)	3.07(1.17)	3.16
		POGIL	2.50(1.15)	3.08(1.21)	3.39
		POGIL-MAR	2.55(0.84)	3.55(0.69)	3.84
		소계	2.65(0.93)	3.23(1.06)	3.47
자아효능	상위 그룹	TL	3.34(0.90)	3.60(0.77)	3.31
		POGIL	3.03(0.96)	3.43(1.14)	3.32
		POGIL-MAR	3.10(0.88)	3.87(0.93)	3.64
		소계	3.16(0.91)	3.63(0.96)	3.42
	하위 그룹	TL	2.81(0.98)	2.96(1.26)	3.08
		POGIL	2.62(1.08)	3.11(1.22)	3.38
		POGIL-MAR	2.61(0.76)	3.49(0.82)	3.75
		소계	2.68(0.94)	3.19(1.12)	3.40
점수동기	상위 그룹	TL	4.19(0.80)	4.04(0.92)	3.79
		POGIL	3.94(0.94)	4.04(0.88)	3.97
		POGIL-MAR	4.18(0.64)	4.49(0.65)	4.28
		소계	4.11(0.80)	4.19(0.84)	4.02
	하위 그룹	TL	3.83(0.85)	3.67(1.03)	3.75
		POGIL	3.70(1.22)	3.64(1.28)	3.82
		POGIL-MAR	3.51(0.90)	4.13(0.64)	4.41
		소계	3.68(1.00)	3.81(1.03)	3.99
전체	상위 그룹	TL	3.52(0.75)	3.72(0.72)	3.49
		POGIL	3.35(0.89)	3.65(0.98)	3.53
		POGIL-MAR	3.55(0.77)	4.03(0.80)	3.80
		소계	3.47(0.80)	3.80(0.84)	3.61
	하위 그룹	TL	3.12(0.77)	3.18(1.06)	3.30
		POGIL	3.00(1.06)	3.34(1.18)	3.54
		POGIL-MAR	2.92(0.73)	3.76(0.57)	4.01
		소계	3.01(0.85)	3.43(0.99)	3.62

이원 공변량 분석 결과<표 Ⅳ-11>, 과학 학습 동기에서 교수학습 방법의 주효과가 나타났다(p<.001). 그러나 사전 성취 수준의 주효과는 나타나지 않았고(p>.05), 교수학습 방법과 사전 성취 수준의 상호작용 효과도 나타나지 않았다(p>.05). 교수학습 방법에 대한 사후 분석으로

Bonferroni 검정을 실시하여 집단 간 대응 비교 결과, POGIL-MAR 집단은 TL 집단에 대하여 유의미한 차이가 있었고(평균차이=0.51, p<.001), POGIL 집단과도 유의미한 차이가 있었다(평균차이=0.37, p<.01). 반면, TL 집단과 POGIL 집단은 유의미한 차이가 없었다(평균차이=0.14, p>.05).

<표 Ⅳ-11> 과학 학습 동기에 대한 이원 공변량 분석 결과

구분	제곱합(SS)	자유도(df)	평균제곱(MS)	F	p
교수학습 방법	6.47	2	3.24	10.64	.000***
사전 성취 수준	.03	1	.03	.08	.776
교수학습 방법×사전 성취 수준	1.27	2	.64	2.09	.128

***p < .001

MANCOVA 분석 결과<표 Ⅳ-12>, 세 집단 간 교수학습 방법의 주효과가 종속변인들의 선형조합에 유의미한 차이가 있었고(Pillai's *Trace*= .18, F(10, 250)=2.48, p<.01), 교수학습 방법과 사전 성취 수준의 상호작용의 효과도 선형조합에 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(Pillai's *Trace*= .18, F(10, 250)=2.47, p<.01). 그러나, 사전 성취 수준의 주효과는 통계적으로 유의하지 않았다(Pillai's *Trace*= .04, F(5, 124)= .92, p>.05).

<표 Ⅳ-12> 과학 학습 동기에 대한 MANCOVA 결과

구분	효과	값 (Value)	F	가설 자유도 (Hypo.df)	오차 자유도 (Error df)	p
Pillai's *Trace*	교수학습 방법	.18	2.48	10	250	.008**
	사전 성취 수준	.04	.92	5	124	.471
	교수학습 방법 × 사전 성취 수준	.18	2.47	10	250	.008**

**p < .01

각 종속변인의 차이를 보기 위한 개체-간 검증 결과는 <표 Ⅳ-13>과

같다. 세 집단 간 교수학습 방법에 따른 과학 학습 동기 하위 요인에서의 차이를 분석한 결과, 교수학습 방법에 따라 세 집단 간의 내재동기(F(2, 128)=8.13, p<.001), 직업동기(F(2, 128)=4.72, p<.05), 자기의지(F(2, 128)=7.67, p<.01), 자아효능(F(2, 128)=6.31, p<.01), 점수동기(F(2, 128)=10.25, p<.001)의 모든 하위 요인에서 유의미한 차이를 보였다. 교수학습 방법에 따른 5개 하위 요인에서 유의미한 차이를 기여하는 상대적인 중요도는 점수동기가 가장 높았으며, 이어서 내재동기, 자기의지, 자아효능, 직업동기의 순서로 나타났다. 각각의 검증력(power=1.00)은 모두 .80을 초과하여 본 교수학습 방법의 처치 효과가 실제 존재하는 것으로 나타났다.

<표 Ⅳ-13> 과학 학습 동기에 대한 개체-간 효과 검증 결과

독립변인	종속변인	제곱합 (SS)	자유도 (df)	평균제곱 (MS)	F	p	η^2
교수학습 방법	내재동기	5.99	2	3.00	8.13	.000***	0.113
	직업동기	4.45	2	2.23	4.72	.011*	0.069
	자기의지	7.04	2	3.52	7.67	.001**	0.107
	자아효능	5.88	2	2.94	6.31	.002**	0.090
	점수동기	8.13	2	4.07	10.25	.000***	0.138
사전 성취 수준	내재동기	0.20	1	0.20	0.54	.465	0.004
	직업동기	0.19	1	0.19	0.40	.529	0.003
	자기의지	0.22	1	0.22	0.47	.493	0.004
	자아효능	0.01	1	0.01	0.02	.882	0.000
	점수동기	0.02	1	0.02	0.04	.841	0.000
교수학습 방법 × 사전 성취 수준	내재동기	3.87	2	1.94	5.25	.006**	0.076
	직업동기	1.80	2	0.90	1.91	.152	0.029
	자기의지	0.52	2	0.26	0.57	.568	0.009
	자아효능	0.76	2	0.38	0.81	.446	0.013
	점수동기	0.47	2	0.23	0.59	.557	0.009

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

교수학습 방법에 대한 종속변인별 주효과 비교를 Bonferroni 검정으로 분석한 결과<표 Ⅳ-14>, 내재동기의 경우, POGIL-MAR 방법이 TL 방법과 차이가 있었으며(I-J= .50, p<.01), POGIL 방법과도 차이가 있었다(I-J= .37, p<.05). 직업동기의 경우, POGIL-MAR 방법이 TL 방법과 차이가 있었으며(I-J= .40, p<.05), POGIL 방법과도 차이가 있었다(I-J= .38, p<.05). 자아효능의 경우, POGIL-MAR 방법이 TL 방법과 차이가

있었으며(I-J= .51, p<.01), POGIL 방법과도 차이가 있었다(I-J= .35, p<.05). 점수동기의 경우 역시, POGIL-MAR 방법이 TL 방법과 차이가 있었으며(I-J= .58, p<.001), POGIL 방법과도 차이가 있었다(I-J= .45, p<.01). 그러나 자기의지의 경우, POGIL-MAR 방법이 TL 방법과 차이가 있었으나(I-J= .57, p<.001), POGIL 방법과는 차이가 없었다(I-J= .31, p>.05).

종합해보면 POGIL-MAR 방법이 내재동기, 직업동기, 자기의지, 점수동기의 하위 요인에서 TL과 POGIL 방법보다 더 높은 학습 동기를 보였고, 자기의지 요인에서만 TL 방법보다 더 높은 학습 동기를 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 POGIL-MAR 방법이 학생들에게 과학 학습 동기의 모든 하위 요인에 긍정적인 영향을 주었다고 볼 수 있다.

<표 Ⅳ-14> 과학 학습 동기의 하위 종속변인에 대한 대응별 비교

종속변인	대응별비교 (Bonferroni)	교수학습 방법 (I)	교수학습 방법 (J)	평균차이 (I-J)	표준오차	p
내재동기	a<c, b<c	POGIL-MAR	TL	0.50	0.13	.001**
			POGIL	0.37	0.13	.016*
직업동기	a<c, b<c	POGIL-MAR	TL	0.40	0.15	.022*
			POGIL	0.38	0.15	.036*
자기의지	a<c	POGIL-MAR	TL	0.57	0.15	.000***
			POGIL	0.31	0.15	.111
자아효능	a<c, b<c	POGIL-MAR	TL	0.51	0.15	.002**
			POGIL	0.35	0.15	.047*
점수동기	a<b, a<c	POGIL-MAR	TL	0.58	0.13	.000***
			POGIL	0.45	0.14	.003**

$^{*}p < .05$, $^{**}p < .01$, $^{***}p < .001$

a: 전통적 강의(TL), b: 과정지향 안내탐구학습(POGIL), c: 모바일 증강현실 활용 과정지향 안내탐구학습(POGIL-MAR)

교수학습 방법과 사전 성취 수준의 상호작용에 따른 집단 간 차이를 개별 종속변인별로 분석한 결과, 내재동기에서만 상호작용 효과가 확인되었고, 직업동기, 자기의지, 자아효능, 점수동기에서는 상호작용의 효과가 확인되지 않았다. 이는 학습 동기의 내재동기 측면에서 증강현실을 활용한 교수학습의 효과가 학생들의 사전 성취 수준에 따라 다르게 나타났다는 것을 의미한다. 각 사전 성취 수준에 따른 교수학습 방법의 단순

주효과 검증을 실시한 결과, 사전 성취 수준 상위 그룹의 경우는 교수학습 방법에 따라 POGIL-MAR 집단이 TL 집단과 POGIL 집단보다 교정평균이 약간 높았으나 그 차이는 통계적으로 유의미하지 않았고(p>.05), 사전 성취 수준 하위 그룹의 경우 교정평균은 POGIL-MAR 집단이 TL 집단과 POGIL 집단보다 높았으며 그 차이도 통계적으로 유의미하였다 (p<.001; p<.01).

2.1.3. 학습 몰입감

사전 성취 수준에 따른 학습 몰입감 검사 점수의 하위 요인별 사전 및 사후 학습 몰입감의 평균과 표준편차, 교정평균은 <표 Ⅳ-15>와 같다.

<표 Ⅳ-15> 사전 성취 수준에 따른 학습 몰입감의 하위 요인별 기술 통계량

			사전 학습 몰입감	사후 학습 몰입감	
			평균(표준편차)	평균(표준편차)	교정평균
분명한 목표	상위 그룹	TL	3.44(0.92)	3.81(0.82)	3.56
		POGIL	3.33(0.86)	3.57(0.93)	3.60
		POGIL-MAR	3.76(0.96)	4.33(0.65)	4.25
		소계	3.51(0.92)	3.90(0.86)	3.80
	하위 그룹	TL	3.26(1.08)	3.35(1.18)	3.52
		POGIL	3.35(0.92)	3.46(0.93)	3.62
		POGIL-MAR	3.28(0.84)	3.85(0.71)	3.92
		소계	3.30(0.94)	3.55(0.97)	3.69
분명한 피드백	상위 그룹	TL	3.63(0.84)	3.96(0.82)	3.71
		POGIL	3.43(0.82)	3.57(0.93)	3.58
		POGIL-MAR	3.65(0.79)	4.11(0.74)	4.04
		소계	3.57(0.81)	3.88(0.85)	3.78
	하위 그룹	TL	3.30(0.65)	3.33(0.97)	3.47
		POGIL	3.11(1.17)	3.41(1.09)	3.60
		POGIL-MAR	3.39(0.81)	3.91(0.67)	3.98
		소계	3.27(0.90)	3.55(0.95)	3.68
도전 능력 균형	상위 그룹	TL	3.48(0.84)	3.81(0.93)	3.53
		POGIL	2.83(1.07)	3.46(1.03)	3.51
		POGIL-MAR	3.43(0.84)	3.85(0.96)	3.71
		소계	3.25(0.96)	3.71(0.98)	3.58
	하위 그룹	TL	2.57(0.91)	3.00(1.08)	3.15
		POGIL	2.74(1.14)	3.26(1.19)	3.42
		POGIL-MAR	2.70(0.81)	3.61(0.78)	3.69
		소계	2.67(0.95)	3.29(1.04)	3.42

행위 인식 일체	상위 그룹	TL	2.94(0.81)	3.17(0.95)	2.97
		POGIL	2.65(0.75)	3.17(1.16)	3.21
		POGIL-MAR	3.04(0.60)	3.72(0.82)	3.59
		소계	2.88(0.73)	3.35(1.01)	3.26
	하위 그룹	TL	2.74(0.60)	2.78(0.91)	2.88
		POGIL	2.50(0.74)	3.24(1.00)	3.36
		POGIL-MAR	2.57(0.84)	3.59(0.94)	3.66
		소계	2.60(0.73)	3.20(0.99)	3.30
과제에 대한 집중	상위 그룹	TL	3.69(0.79)	3.90(0.81)	3.72
		POGIL	3.54(0.82)	3.54(0.86)	3.59
		POGIL-MAR	3.72(0.70)	4.04(0.72)	3.95
		소계	3.65(0.77)	3.83(0.82)	3.75
	하위 그룹	TL	3.30(0.82)	3.33(1.00)	3.45
		POGIL	3.33(0.89)	3.46(0.93)	3.58
		POGIL-MAR	3.26(0.93)	3.87(0.88)	3.95
		소계	3.30(0.87)	3.55(0.95)	3.66
학습 통제감	상위 그룹	TL	3.40(0.81)	3.67(0.84)	3.43
		POGIL	2.89(0.93)	3.43(1.16)	3.50
		POGIL-MAR	3.22(0.90)	3.91(0.83)	3.77
		소계	3.17(0.89)	3.67(0.96)	3.57
	하위 그룹	TL	2.98(0.87)	3.04(0.99)	3.17
		POGIL	2.65(1.04)	3.39(1.02)	3.51
		POGIL-MAR	2.85(0.98)	3.72(0.80)	3.80
		소계	2.83(0.96)	3.38(0.97)	3.49
자기 만족적 경험	상위 그룹	TL	3.31(0.82)	3.71(0.91)	3.40
		POGIL	3.09(0.79)	3.50(1.08)	3.56
		POGIL-MAR	3.28(0.91)	4.11(0.81)	3.95
		소계	3.23(0.84)	3.77(0.96)	3.63
	하위 그룹	TL	2.85(0.82)	3.24(0.99)	3.37
		POGIL	2.70(1.01)	3.57(1.10)	3.66
		POGIL-MAR	3.07(0.77)	4.11(0.66)	4.18
		소계	2.87(0.87)	3.64(0.99)	3.74
시간 개념의 왜곡	상위 그룹	TL	3.04(0.69)	3.46(0.91)	3.32
		POGIL	3.09(0.93)	3.35(0.99)	3.37
		POGIL-MAR	2.89(0.93)	3.50(0.77)	3.43
		소계	3.01(0.84)	3.44(0.88)	3.37
	하위 그룹	TL	3.07(0.80)	3.11(1.11)	3.21
		POGIL	2.80(1.06)	3.33(1.10)	3.51
		POGIL-MAR	2.85(0.79)	3.59(0.90)	3.68
		소계	2.91(0.89)	3.34(1.04)	3.47
자의식 상실	상위 그룹	TL	3.63(1.05)	3.65(0.87)	3.44
		POGIL	3.15(1.17)	3.61(0.93)	3.63
		POGIL-MAR	3.35(1.07)	3.98(0.76)	3.87
		소계	3.38(1.10)	3.74(0.86)	3.65
	하위 그룹	TL	3.20(1.03)	3.30(0.96)	3.43
		POGIL	3.13(0.96)	3.54(1.17)	3.58
		POGIL-MAR	3.28(1.17)	3.67(0.95)	3.74
		소계	3.20(1.04)	3.51(1.03)	3.58

전체	상위 그룹	TL	3.39(0.60)	3.68(0.67)	3.45
		POGIL	3.11(0.54)	3.47(0.82)	3.51
		POGIL-MAR	3.37(0.58)	3.95(0.63)	3.84
		소계	3.29(0.58)	3.70(0.73)	3.60
	하위 그룹	TL	3.03(0.61)	3.16(0.92)	3.30
		POGIL	2.92(0.73)	3.41(0.91)	3.54
		POGIL-MAR	3.03(0.63)	3.77(0.64)	3.85
		소계	2.99(0.65)	3.45(0.86)	3.56

이원 공변량 분석 결과<표 Ⅳ-16>, 학습 몰입감에서 교수학습 방법의 주효과가 나타났다(p<.01). 그러나 사전 성취 수준의 주효과는 나타나지 않았고(p>.05), 교수학습 방법과 사전 성취 수준의 상호작용 효과도 나타나지 않았다(p>.05). 교수학습 방법에 대한 사후 분석으로 Bonferroni 검정을 실시하여 집단 간 대응 비교 결과, POGIL-MAR 집단은 TL 집단에 대하여만 유의미한 차이가 있었고(평균차이=0.47, p<.01), POGIL-MAR 집단은 POGIL 집단과 유의미한 차이가 없었으며(평균차이=0.32, p>05), POGIL 집단과 TL 집단도 유의미한 차이가 없었다(평균차이=0.15, p>05).

<표 Ⅳ-16> 학습 몰입감에 대한 이원 공변량 분석 결과

구분	제곱합(SS)	자유도(df)	평균제곱(MS)	F	p
교수학습 방법	4.77	2	2.38	5.70	.004**
사전 성취 수준	.07	1	.07	.16	.691
교수학습 방법×사전 성취 수준	.84	2	.42	1.00	.369

**p < .01

MANCOVA 분석 결과<표 Ⅳ-17>, 세 집단 간 교수학습 방법의 주효과가 종속변인들의 선형조합에 유의미한 차이가 있었으나(Pillai's *Trace*= .24, F(18, 234)=1.81, p<.05), 사전 성취 수준의 주효과는 통계적으로 유의미하지 않았다(Pillai's *Trace*= .09, F(9, 116)=1.19, p>.05). 또한 교수학습 방법과 사전 성취 수준의 상호작용의 효과 역시 선형조합에 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다(Pillai's *Trace*= .10, F(18, 234)= .69, p>.05).

<표 Ⅳ-17> 학습 몰입감에 대한 MANCOVA 결과

구분	효과	값 (Value)	F	가설 자유도 (Hypo.df)	오차 자유도 (Error df)	p
Pillai's *Trace*	교수학습 방법	.24	1.81	18	234	.025*
	사전 성취 수준	.09	1.19	9	116	.308
	교수학습 방법 × 사전 성취 수준	.10	.69	18	234	.823

*p < .05

각 종속변인의 차이를 보기 위한 개체-간 검증 결과는 <표 Ⅳ-18>과 같다. 세 집단 간 교수학습 방법에 따른 학습 몰입감 하위 요인에서의 차이를 분석한 결과, 교수학습 방법에 따라 분명한 목표(F(2, 124)=5.81, p<.01), 분명한 피드백(F(2, 124)=3.66, p<.05), 행위인식 일체감(F(2, 124)=8.08, p<.01), 학습 통제감(F(2, 124)=3.76, p<.05), 자기만족적 경험(F(2, 124)=7.97, p<.01)의 5개 하위 요인에서 유의미한 차이를 보였다. 그러나, 도전 능력 균형(F(2, 124)=1.99, p>.05), 과제에 대한 집중(F(2, 124)=2.71, p> .05), 시간개념의 왜곡(F(2, 124)=1.67, p>.05), 자의식 상실(F(2, 124)=1.98, p>.05)의 하위 요인에서는 유의미한 차이가 없었다. 교수학습 방법에 따른 5개 하위 요인에서 유의미한 차이를 기여하는 상대적인 중요도는 행위인식 일체감이 가장 높았으며, 이어서 자기만족적 경험, 분명한 목표, 학습 통제감, 분명한 피드백의 순서로 나타났다. 각각의 검증력(power=1.00)은 모두 .70을 초과하여 본 교수학습 방법의 처치 효과가 실제 존재하는 것으로 나타났다.

<표 Ⅳ-18> 학습 몰입감에 대한 개체-간 효과 검증 결과

독립변인	종속변인	제곱합 (SS)	자유도 (df)	평균제곱 (MS)	F	p	η^2
교수학습 방법	분명한 목표	6.35	2.00	3.17	5.81	.004**	0.086
	분명한 피드백	3.41	2.00	1.71	3.66	.028*	0.056
	도전 능력 균형	2.45	2.00	1.22	1.99	.142	0.031
	행위인식 일체감	11.21	2.00	5.61	8.08	.001**	0.115
	과제에 대한 집중	3.36	2.00	1.68	2.71	.070	0.042
	학습 통제감	4.94	2.00	2.47	3.76	.026*	0.057
	자기만족적 경험	9.34	2.00	4.67	7.97	.001**	0.114
	시간개념의 왜곡	2.44	2.00	1.22	1.67	.193	0.026
	자의식 상실	2.96	2.00	1.48	1.98	.143	0.031
사전 성취 수준	분명한 목표	0.35	1.00	0.35	0.64	.425	0.005
	분명한 피드백	0.01	1.00	0.01	0.01	.916	0.000
	도전 능력 균형	0.05	1.00	0.05	0.08	.781	0.001
	행위인식 일체감	0.49	1.00	0.49	0.71	.403	0.006
	과제에 대한 집중	0.08	1.00	0.08	0.13	.717	0.001
	학습 통제감	0.00	1.00	0.00	0.00	.973	0.000
	자기만족적 경험	0.90	1.00	0.90	1.54	.217	0.012
	시간개념의 왜곡	0.56	1.00	0.56	0.76	.384	0.006
	자의식 상실	0.56	1.00	0.56	0.75	.387	0.006
교수학습 방법 × 사전 성취 수준	분명한 목표	0.40	2.00	0.20	0.37	.694	0.006
	분명한 피드백	1.20	2.00	0.60	1.29	.280	0.020
	도전 능력 균형	1.94	2.00	0.97	1.58	.210	0.025
	행위인식 일체감	0.76	2.00	0.38	0.55	.580	0.009
	과제에 대한 집중	1.30	2.00	0.65	1.05	.355	0.017
	학습 통제감	1.35	2.00	0.67	1.03	.361	0.016
	자기만족적 경험	1.05	2.00	0.52	0.89	.413	0.014
	시간개념의 왜곡	1.26	2.00	0.63	0.86	.426	0.014
	자의식 상실	0.27	2.00	0.14	0.18	.835	0.003

$^{*}p < .05$, $^{**}p < .01$, $^{***}p < .001$

교수학습 방법에 대한 종속변인별 주효과 비교를 Bonferroni 검정으로 분석한 결과는 <표 Ⅳ-19>와 같다. 분명한 목표의 경우, POGIL-MAR 방법이 TL 방법과 차이가 있었으며(I-J= .49, p<.01), POGIL 방법과도 차이가 있었다(I-J= .43, p<.01). 분명한 피드백의 경우, POGIL-MAR 방법이 TL 방법과 차이가 있었으며(I-J= .34, p<.05), POGIL 방법과도 차이가 있었다(I-J= .30, p<.05). 자기만족적 경험의 경우 역시, POGIL-MAR 방법이 TL 방법과 차이가 있었으며(I-J= .64, p<.001), POGIL 방법과도 차이가 있었다(I-J= .40, p<.05). 행위인식 일체감의 경우, POIGL-MAR 방법과 TL 방법 간 차이가 있었으나(I-J= .71, p<.001), POGIL 방법과는 차이가 없었다(I-J= .31, p>.05). 학습 통제감 역시, POGIL-MAR 방법과 TL 방법 간 차이가 있었으나(I-J= .47,

p<.01), POGIL 방법과는 차이가 없었다(I-J= .24, p>.05). 도전 능력 균형, 과제에 대한 집중, 시간 개념의 왜곡, 자의식 상실의 하위 변인에서는 교수학습 방법 간 차이가 없었다.

따라서 POGIL-MAR 방법이 분명한 목표, 분명한 피드백, 행위인식 일체감, 학습 통제감, 자기 만족적 경험의 하위 요인에 대하여 전통적 강의와 POGIL 방법보다 훨씬 더 높은 학습 몰입감을 보여주었다. 이러한 결과를 바탕으로 증강현실을 활용한 POGIL 방법이 학생들의 과학 학습 몰입감에 긍정적인 영향을 주었다는 것을 확인할 수 있었다.

<표 Ⅳ-19> 학습 몰입감의 하위 종속변인에 대한 대응별 비교

종속변인	대응별비교 (Bonferroni)	교수학습 방법 (I)	교수학습 방법 (J)	평균차이 (I-J)	표준오차	p
분명한 목표	a<c, b<c	POGIL-MAR	TL	0.49	0.16	.002**
			POGIL	0.43	0.16	.008**
분명한 피드백	a<c, b<c	POGIL-MAR	TL	0.34	0.15	.022*
			POGIL	0.30	0.15	.020*
행위인식 일체감	a<c	POGIL-MAR	TL	0.71	0.18	.000***
			POGIL	0.31	0.18	.086
학습 통제감	a<c	POGIL-MAR	TL	0.47	0.17	.007**
			POGIL	0.24	0.17	.167
자기만족적 경험	a<b, a<c	POGIL-MAR	TL	0.64	0.16	.000***
			POGIL	0.40	0.16	.015*

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

a: 전통적 강의(TL), b: 과정지향 안내탐구학습(POGIL), c: 모바일 증강현실 활용 과정지향 안내탐구학습(POGIL-MAR)

2.2. 증강현실 기반 스캐폴딩 종류가 인지적, 정의적 영역에 미치는 영향

본 연구의 집단 표본 크기는 30미만으로, 모수 통계 기법의 사용 가능 여부를 알아보기 위해 변인들이 정규성 가정과 등분산 가정을 만족하는지를 확인하였다(Sani & Todman, 2008). 화학 학업성취도 검사, 학습 동기 검사, 학습 몰입감 검사 각각에 대해서 종속변인에 대한 Kolmogorov-Smirnov 정규성 검정 결과, 본 연구에서 알아보고자 한 변

인 모두 정규성 가정이 충족됨을 확인하였다(p>.05). 또한, 분산의 동질성 검정을 위한 Levene 검정 결과, 집단 간의 등분산성을 확인하였으며(p>.05), 공변인과 종속변인의 상관성, 등회귀선의 검정을 실시하여 공변량 분석을 위한 모든 기본 가정이 충족됨을 확인하였다.

2.2.1. 화학 학업성취도

화학 결합에 대하여 스캐폴딩 종류에 따른 모바일 증강현실을 활용한 과정지향 안내탐구학습에서 화학 학업성취도 검사를 실시한 결과, 사전 성취 수준에 따른 사전 및 사후 검사에 대한 평균과 표준편차, 교정평균은 <표 Ⅳ-20>과 같다. 사전 성취 수준에 관계없이 스캐폴딩 종류에 따른 실험 집단들의 화학 학업성취도 교정평균은 RS 집단이 SS 집단보다 높았다.

<표 Ⅳ-20> 사전 성취 수준에 따른 화학 학업성취도 기술 통계량

사전 성취 수준	스캐폴딩 종류	사전 화학 학업성취도	사후 화학 학업성취도	
		평균(표준편차)	평균(표준편차)	교정평균
상위 그룹	SS	21.7(3.53)	24.3(5.85)	21.8
	RS	23.9(3.24)	34.3(3.43)	30.8
	전체	22.8(3.53)	29.2(7.86)	26.3
하위 그룹	SS	10.9(3.93)	17.2(6.08)	19.7
	RS	10.1(3.98)	13.0(5.01)	15.9
	전체	10.5(3.92)	15.2(5.93)	17.8

이원 공변량 분석 결과<표 Ⅳ-21>, 화학 학업성취도에서 스캐폴딩 종류의 주효과가 통계적으로 유의미하게 나타났고(p<.05), 스캐폴딩 종류와 사전 성취 수준 사이의 상호작용 효과도 통계적으로 유의미하게 나타났다(p<.001). 이는 사전 성취 수준을 고려하지 않은 전체 그룹에서 증강현실 기반 성찰적 스캐폴딩 학습 방법이 증강현실 기반 지원적 스캐폴딩 학습 방법에 비해 화학 결합 개념 이해에 더 효과적이라는 것을 의미

한다. 또한, 상호작용의 통계적 유의미한 결과로부터 학업성취도 측면에서 스캐폴딩의 종류에 따른 학습의 효과가 사전 성취 수준에 따라 다르게 나타났다는 것을 확인할 수 있었다. 이에 학생들의 사전 성취 수준에 따른 증강현실을 활용한 스캐폴딩 종류의 학습 효과를 각각 조사하는 단순 주효과 검증을 실시한 결과<표 Ⅳ-21>, 상위 그룹의 경우는 RS 집단의 교정 평균이 SS 집단의 교정 평균보다 높았으며 그 차이도 통계적으로 유의미하였고(p<.001), 하위 그룹의 경우는 SS 집단의 교정 평균이 RS 집단의 교정 평균보다 높았으며 그 차이도 통계적으로 유의미하였다(p<.05). 즉, 스캐폴딩의 종류에 따라 성찰적 스캐폴딩은 상위 그룹, 지원적 스캐폴딩은 하위 그룹의 학업성취도 향상에 유의미한 영향을 미쳤다고 볼 수 있다.

<표 Ⅳ-21> 화학 학업성취도에 대한 이원 공변량 분석 결과와 단순 주효과 검증

구분	제곱합(SS)	자유도(df)	평균제곱(MS)	F	p
스캐폴딩 종류	151.578	1	151.578	4.793	.031*
사전 성취 수준	432.732	1	432.732	13.683	.000***
스캐폴딩 종류×사전 성취 수준	924.446	1	924.446	29.230	.000***
상위 그룹	866.953	1	866.953	27.412	.000***
하위 그룹	180.307	1	180.307	5.701	.019*

*$p < .05$, ***$p < .001$

2.2.2. 학습 동기

화학 결합에 대하여 스캐폴딩 종류에 따른 모바일 증강현실을 활용한 과정지향 안내탐구학습에서 학습 동기 검사를 실시한 결과, 사전 성취 수준에 따른 사전 및 사후 검사에 대한 평균과 표준편차, 교정평균은 <표 Ⅳ-22>와 같다. 사전 성취 수준에 관계없이 스캐폴딩 종류에 따른 실험 집단들의 학습 동기 교정평균은 SS 집단과 RS 집단이 비슷하였다. 사전 성취 수준에 따른 교정평균은 상위 그룹의 경우, RS 집단이 SS 집

단보다 높았으며, 하위 그룹의 경우, SS 집단이 RS 집단보다 높았다.

<표 Ⅳ-22> 사전 성취 수준에 따른 학습 동기 기술 통계량

사전 성취 수준	스캐폴딩 종류	사전 학습동기	사후 학습 동기	
		평균(표준편차)	평균(표준편차)	교정평균
상위 그룹	SS	3.98(0.55)	4.01(0.50)	3.95
	RS	4.42(0.47)	4.48(0.48)	4.16
	전체	4.19(0.55)	4.24(0.54)	4.06
하위 그룹	SS	3.44(0.65)	3.95(0.55)	4.23
	RS	3.80(0.66)	3.89(0.76)	3.95
	전체	3.61(0.67)	3.92(0.65)	4.09

이원 공변량 분석 결과<표 Ⅳ-23>, 학습 동기에서 스캐폴딩 종류의 주효과는 통계적으로 유의미하게 나타나지 않았으나(p>.05), 스캐폴딩의 종류와 사전 성취 수준 사이의 상호작용 효과는 통계적으로 유의미하게 나타났다(p<.01). 이는 학습 동기의 측면에서 사전 성취 수준을 고려하지 않은 전체 그룹에 대하여는 스캐폴딩의 종류에 따라 차이가 없었으나, 사전 성취 수준에 따라서는 스캐폴딩의 종류에 따라 학습 동기의 효과가 다르게 나타났다는 것을 의미한다.

학생들의 사전 성취 수준에 따른 스캐폴딩을 활용한 POGIL-MAR 학습의 학습 동기 효과를 각각 조사하는 단순 주효과 검증을 실시한 결과<표 Ⅳ-23>, 상위 그룹에서는 스캐폴딩 종류에 대한 차이가 통계적으로 유의미하지 않았고(p>.05). 하위 그룹에서는 스캐폴딩 종류에 대한 차이가 통계적으로 유의미하게 나타났다(p<.05). 즉, 스캐폴딩의 종류에 따른 증강현실 학습에서 상위 그룹은 스캐폴딩 종류에 따라 학습 동기의 유의미한 차이가 없었던 반면, 하위 그룹은 지원적 스캐폴딩의 POGIL-MAR 학습이 성찰적 스캐폴딩의 POGIL-MAR 학습보다 더 높은 동기 향상을 가져다주었다고 볼 수 있다.

<표 Ⅳ-23> 학습 동기에 대한 이원 공변량 분석 결과와 단순 주효과 검증

구분	제곱합(*SS*)	자유도(*df*)	평균제곱(*MS*)	F	*p*
스캐폴딩 종류	.036	1	.036	.176	.676
사전 성취 수준	.023	1	.023	.114	.737
스캐폴딩 종류×사전 성취 수준	1.445	1	1.445	7.152	.009**
상위 그룹	.452	1	.452	2.237	.138
하위 그룹	.974	1	.974	4.822	.031*

*$p < .05$, **$p < .01$

2.2.3. 학습 몰입감

화학 결합에 대하여 스캐폴딩 종류에 따른 모바일 증강현실을 활용한 과정지향 안내탐구학습에서 학습 몰입감 검사를 실시한 결과, 사전 성취 수준에 따른 사전 및 사후 검사에 대한 평균과 표준편차, 교정평균은 <표 Ⅳ-24>와 같다. 사전 성취 수준에 관계없이 스캐폴딩 종류에 따른 실험 집단들의 학습 몰입감 교정평균은 SS 집단과 RS 집단이 비슷하였다. 사전 성취 수준에 따른 교정평균은 상위 그룹의 경우, RS 집단이 SS 집단보다 높았으며, 하위 그룹의 경우, SS 집단이 RS 집단보다 높았다.

<표 Ⅳ-24> 사전 성취 수준에 따른 학습 몰입감 기술 통계량

사전 성취 수준	스캐폴딩 종류	사전 학습 몰입감	사후 학습 몰입감	
		평균(표준편차)	평균(표준편차)	교정평균
상위 그룹	SS	3.70(0.48)	3.84(0.48)	3.83
	RS	4.18(0.47)	4.36(0.49)	4.18
	전체	3.93(0.53)	4.09(0.55)	4.01
하위 그룹	SS	3.31(0.48)	3.98(0.43)	4.13
	RS	3.63(0.68)	3.78(0.59)	3.80
	전체	3.46(3.60)	3.89(0.52)	3.96

이원 공변량 분석 결과<표 Ⅳ-25>, 학습 몰입감에서 스캐폴딩 종류의 주효과는 통계적으로 유의미하게 나타나지 않았으나(p>.05), 스캐폴딩의 종류와 사전 성취 수준 사이의 상호작용 효과는 통계적으로 유의미하게 나타났다(p<.01). 이는 학습 몰입감의 측면에서 사전 성취 수준을 고려하지 않은 전체 그룹에 대하여는 스캐폴딩의 종류에 따라 차이가 없었으나, 사전 성취 수준에 따라서는 스캐폴딩의 종류에 따라 학습 몰입감의 효과가 다르게 나타났다는 것을 의미한다.

학생들의 사전 성취 수준에 따른 스캐폴딩을 활용한 POGIL-MAR 학습의 학습 몰입감 효과를 각각 조사하는 단순 주효과 검증을 실시한 결과<표 Ⅳ-25>, 상위 그룹에서 스캐폴딩 종류에 대한 차이가 통계적으로 유의미하게 나타났을 뿐만 아니라(p<.05). 하위 그룹에서도 스캐폴딩 종류에 대한 차이가 통계적으로 유의미하게 나타났다(p<.05). 즉, 스캐폴딩 종류에 따른 증강현실 학습에서 상위 그룹은 성찰적 스캐폴딩의 POGIL-MAR 학습이 지원적 스캐폴딩의 POGIL-MAR 학습보다 더 높은 학습 몰입감 향상을 가져다주었으며, 하위 그룹은 지원적 스캐폴딩의 POGIL-MAR 학습이 성찰적 스캐폴딩의 POGIL-MAR 학습보다 더 높은 학습 몰입감 향상을 가져다주었다고 볼 수 있다.

<표 Ⅳ-25> 학습 몰입감에 대한 이원 공변량 분석 결과와 단순 주효과 검증

구분	제곱합(SS)	자유도(df)	평균제곱(MS)	F	p
스캐폴딩 종류	.003	1	.003	.012	.912
사전 성취 수준	.037	1	.037	.172	.680
스캐폴딩 종류×사전 성취 수준	2.663	1	2.663	12.470	.001**
상위 그룹	1.251	1	1.251	5.856	.018*
하위 그룹	1.241	1	1.241	5.811	.018*

*$p < .05$, **$p < .01$

3. 해석과 논의

3.1. 증강현실 기반 POGIL 교수학습 적용의 교육적 의미

인지적 영역 차원에서 살펴본 과학 학업성취도는 POGIL-MAR 집단이 유의미한 향상을 보였다. 사전 성취 수준에 따른 각 집단별 양상을 살펴보면, 상위 그룹은 POGIL-MAR 집단이 유의미한 수준의 향상이 있지는 않았으나, 하위 그룹은 유의미한 수준의 향상을 보였다. 정의적 영역 차원에서 살펴본 과학 학습 동기는 POGIL-MAR 집단이 유의미한 향상을 보였다. 과학 학습 동기의 하위 요인을 분석한 결과, 내재동기, 직업동기, 자아효능, 점수동기는 POGIL-MAR 집단이 TL과 POGIL 집단보다 더 높은 학습 동기의 향상을 보였고, 자기의지는 POGIL-MAR 집단이 TL 집단보다 더 높은 학습 동기의 향상을 보였다. 또한, 하위 그룹에서 POGIL-MAR 집단이 가장 큰 내재동기 향상을 보였다. 정의적 영역 차원에서 살펴본 학습 몰입감도 POGIL-MAR 집단이 유의미한 향상을 보였다. 학습 몰입감의 하위 요인을 분석한 결과, 분명한 목표, 분명한 피드백, 자기만족적 경험은 POGIL-MAR 집단이 TL과 POGIL 집단보다 더 높은 몰입감 향상을 보였고, 행위인식 일체감, 학습 통제감은 POGIL-MAR 집단이 TL 집단보다 높은 몰입감을 보였다. 반면, 학습 몰입감 하위 요인 중 도전 능력 균형, 과제에 대한 집중, 시간 개념의 왜곡, 자의식 상실은 유의미한 차이가 나타나지 않았다.

이러한 연구 결과를 통해 얻을 수 있는 논의 및 시사점은 다음과 같다.

첫째, 화학 결합을 연구주제로 증강현실을 활용한 POGIL 교수학습 결과, 과학 학업성취도, 과학 학습 동기, 학습 몰입감이 향상되었다. 이는 비판적 사고 질문이 포함된 활동지를 바탕으로 POGIL 활동을 통한 학생들 간 적극적인 상호작용(Conway, 2014; De Gale & Boisselle, 2015; Hein, 2012)과 더불어 실재감과 현존감있게 3차원 구조를 확인할 수 있는 증강현실 학습 도구(Cai et al., 2014; Habig, 2020; Wong et al.,

2021)의 사용이 학생들에게 긍정적인 영향을 주어 화학 결합 학습에 시너지 효과를 나타낸 것이라고 여겨진다. 이러한 점으로 미루어 보아 본 연구가 화학 결합 학습의 어려움을 해결해 줄 수 있는 하나의 교수학습 방법이 될 수 있음을 시사한다.

둘째, 성취 수준 상하위 그룹으로 나누어 살펴본 결과, 과학 학업성취도 측면에서의 효과가 하위권 학생들에게서만 나타났다. 이는 상하위 그룹에 대한 학습 효과를 알아본 선행 연구(이재원 외, 2020; Cai et al., 2014)의 결과와 부합한다. 상위 그룹 학생들은 학습에 대한 이해 수준이 높고 공간 지각 능력도 충분히 발달하여 증강현실의 도움이 없이도 화학 결합 학습이 가능해 이로 인한 점수의 향상을 기대하기 어려웠을 수 있고, 한정된 원소 카드만 제공하여 보다 다양한 화학 결합 예시를 살펴볼 수 없었기에 심화 학습을 기대하기 어려웠을 수도 있다. 반면, 하위 그룹의 학생들은 상위 그룹의 학생들에 비해 추상적인 학습 개념을 더 어려워하므로 증강현실을 통해 구조를 실감있게 확인하면서 개념을 이해하는 과정을 통해 과학 학업성취도가 향상되었으리라 본다. 이처럼 증강현실 학습 도구는 하위 그룹 학생들의 학습 보조 역할을 충분히 하리라고 본다.

셋째, POGIL-MAR 교수학습이 학습 동기의 5가지 하위 요인 모두에 긍정적인 영향을 주었고, 또한, 하위 그룹의 학생들에게서 가장 큰 내재 동기 향상을 보였다는 점은 주목할 만하다. 이는 POGIL-MAR 교수학습이 하위 그룹 학생들에게 과학 학습에 대한 즐거움, 흥미, 호기심을 불러일으켜 학습 행위 자체의 즐거움과 학습에 대한 만족감을 경험했음을 의미하며, 이러한 결과는 증강현실의 교육적 효과를 입증한 선행 연구의 결과(김정현 외, 2005; 서희전, 2008)와도 일치한다는 점에서 의미가 있다고 할 수 있다. 국제 학업성취도 평가(TIMSS & PISA)에서 과학 학업성취도는 최상위 수준을 유지하고 있으나, 최근 들어 기초 학력 미달 학생의 비율이 증가하고 있고, 여전히 과학에 대한 동기와 태도를 나타내는 정의적 영역은 매우 낮은 수준에 머물고 있다(곽영순, 2017; 상경아 외, 2016). 이에 '제4차 과학교육 종합 계획'에서 과학 수업 방법의 혁신이 필요함과 과학 학습에 대한 긍정적인 인식의 개선을 강조하였다(교육

부, 2020). 따라서 인지적 측면과 정의적 측면 모두 긍정적 영향을 준 증강현실 학습 도구를 활용한 과정지향 안내탐구학습(POGIL-MAR)이 하나의 대안이 될 수 있으리라 생각된다.

넷째, POGIL-MAR 교수학습이 학습 몰입감의 9가지 하위 요인 중 행위인식 일체감, 학습 통제감, 자기만족적 경험, 분명한 목표, 분명한 피드백에 향상을 보였다. 이는 비판적 사고 질문의 제공이 학습자에게 분명한 목표를 제시하였다는 점에서 POGIL 교수학습의 목표와 동일하며, 증강현실과의 상호작용으로 학습하고자 하는 방향이 명확해지고, 실시간으로 구조를 검증할 수 있는 활동을 하였다는 점에서 선행 연구의 결과와 일치한다(Ibáñez et al., 2014). 또한, 선행 연구에서 언급한 화학 결합 증강현실 학습 도구는 한 장의 카드에 분자 구조가 증강된 단편적인 형태였다면(Habig, 2020; Wong et al., 2021), 본 연구에서 개발한 증강현실 학습 도구는 마커조합형으로 다양한 카드 조합이 가능하며, 화학 결합이 보어 전자 모형과 3차원 구조로 단계적으로 구현되도록 하였다. 이러한 학습 도구의 사용이 학생들에게 행위인식 일체감, 학습 통제감, 자기만족적 경험의 향상을 가져다주었다고 본다. 다만, 모든 하위 요인에서 긍정적인 영향을 가져다주지는 않았기에 증강현실을 활용한 교수학습 설계 시 증강현실의 강점과 한계를 고려할 필요가 있다.

3.2. 증강현실 기반 지원적, 성찰적 스캐폴딩 적용의 교육적 의미

증강현실의 교육 현장 적용 연구로 화학 결합 학습에서 스캐폴딩의 종류에 따른 증강현실 기반 교수학습의 학습 효과를 알아보고자 고등학교 2학년을 대상으로 이에 대한 학습 효과를 분석해보았다. 연구 결과에 대한 교육적 의미은 다음과 같다.

첫째, 학업성취도 측면에서 사전 성취 수준에 관계없이 성찰적 스캐폴딩을 적용한 POGIL-MAR 방법(RS 방법)이 지원적 스캐폴딩을 적용한 POGIL-MAR 방법(SS 방법)보다 성취도 향상에 더 효과적인 것으로 나

타났다. RS 집단은 학생 스스로 자기점검표를 통해 메타인지 전략을 활용하며 문제를 해결하고, 관찰한 증강현실 결과를 소그룹 내에서 공유하며 논의하는 활동을 지속적으로 하였다. 특히, 활동 말미에 학습 성찰일지를 작성하며 각자 자신의 생각과 활동을 정리는 시간을 가졌다. 이러한 활동이 복합적으로 작용하여 학업성취도 향상에 도움을 준 것으로 보인다.

사전 성취 수준에 의한 상위 그룹의 경우, RS 방법이 SS 방법에 비해서 유의미한 수준으로 화학 학업성취도 향상을 보였고, 하위 그룹의 경우, SS 방법이 RS 방법에 비해서 유의미한 수준으로 화학 학업성취도 향상을 보였다. 이는 학업성취도가 높은 학생들에게 메타인지 전략을 활용한 반성적 사고 훈련이 과학 개념 이해에 도움을 가져다준다는 선행연구의 결과와 일치한다(정애진 외, 2011; Michalsky et al., 2009). 상위 그룹은 성찰적 스캐폴딩을 적용한 POGIL-MAR 활동에서 자신의 인지 과정을 자각하고 조절하는 메타인지 전략을 통해 화학 결합에 관한 개념을 효과적으로 이해할 수 있었으리라 본다. 반면, 하위 그룹은 활동 중 궁금한 사항에 대해 질문하면 교사가 직접 찾아와 설명하는 지원적 스캐폴딩이 학습 과정을 스스로 점검하고 교사의 직접 도움이 아닌 문제 해결의 실마리를 얻어가며 개념을 이해하고 문제를 해결하는 성찰적 스캐폴딩보다 화학 결합 학습에 더 도움이 되었다고 볼 수 있다. 이는 지원적 스캐폴딩과 동일한 맥락을 지닌 개념적 스캐폴딩을 적용하였을 때 효과를 살펴본 Koes-H et al.(2020)의 연구 결과와 일치한다. 교사는 하위 그룹 학생들에게 학습에 대한 사고를 분명히 하도록 격려하고 필요에 따라 학습 계획을 제공함으로써 학습 과정을 진행하는 데 도움을 주었을 뿐만 아니라, 설명을 통해 학생들이 지닌 학습의 어려움이나 학습 교착 상태를 해결하는 데 도움을 준다. 성취도가 낮은 학생들은 종종 학습 과정에서 명시적인 지침을 기대한다(Hargis, 2005). 따라서, 교사나 성취도가 높은 동료로부터 충분한 정보를 제공받았을 때, 학습에 진전을 이루어 성취도 향상을 이루어낼 수 있다(Hmelo et al., 2000; Koes-H et al., 2020; Raes et al., 2012).

둘째, 학습 동기 측면에서는 RS 방법과 SS 방법이 유의미한 차이가 없었다. 사전 성취 수준에 의한 상위 그룹의 경우는 RS 방법과 SS 방법이 유의미한 차이가 없었으나, 하위 그룹의 경우는 SS 방법이 RS 방법보다 더 큰 학습 동기 향상을 보였다. 이는 하위 그룹에 한해서 스캐폴딩의 종류에 따라 학습 동기가 달라질 수 있음을 의미한다. 스캐폴딩이 성취도 향상 즉, 인지적 확장을 위한 도움이긴 하나, 하위 그룹에서는 정의적 영역에도 영향을 주어 지원적 스캐폴딩의 적용이 성찰적 스캐폴딩을 적용한 것보다 학습 동기의 향상을 더 이끌어 내었다고 볼 수 있다.

셋째, 학습 몰입감 측면에서는 RS 방법과 SS 방법이 유의미한 차이가 없었다. 그러나, 상위 그룹에서는 RS 방법이 SS 방법보다 더 큰 학습 몰입감을 향상을 보였고, 하위 그룹에서는 SS 방법이 RS 방법보다 더 큰 학습 몰입감 향상을 보였다. 몰입 경험은 환경과 적극적인 상호작용을 할 때 발생하고, 사람들이 활동에 열중하며 높은 수준의 동기 부여를 경험할 때 발생한다고 보고되었다(Csikszentmihalyi et al., 1993). 학생들이 경험한 학습 방법은 스캐폴딩의 종류만 다를 뿐, 사용한 학습 도구와 적용한 교수학습이 동일하다. 이는 증강현실 학습 도구를 이용할 때 물리적 마커를 조작하며 가상 객체를 확인하는 과정에서 증강현실 도구와의 상호작용을 경험하였으리라고 본다. 뿐만 아니라, 학생들이 POGIL 활동에서 1인 1역할을 부여받아 학습 참여가 높아졌고 문제를 해결하기 위해 활동에 집중하였으리라 본다. 따라서, 두 종류의 스캐폴딩 모두 학습 몰입감 향상을 가져다주었으나, 두 방법 간 차이는 나타나지 않은 것으로 보인다.

한편, 학업성취도가 높은 학생들은 수업 환경이나 분위기와 같은 외적 요인보다 내재적 동기, 학습 효능감 같은 내적 요인에 의해 학습 몰입감이 영향을 받는다고 알려져 있다(석임복, 2008; Csikszentmihalyi et al., 1993; Heine, 1997). 예를 들어, 스스로 문제 해결 방법을 모색하고 이를 통해 얻는 성취감과 자신의 능력에 대한 평가에 집중하며 학습에 임한다. 이는 성찰적 스캐폴딩에서의 자기 점검 과정 및 반성적 성찰과 깊은 관련이 있다고 볼 수 있다. 따라서, 성찰적 스캐폴딩의 적용이 지원적 스

캐폴딩의 적용보다 상위 그룹 학생들에게 더 높은 학습 몰입감을 가져다 준 것으로 보인다. 그러나, 학업성취도가 낮은 학생들은 외적 요인에 의해서 몰입 정도가 달라질 수 있다고 알려져 있다(석임복, 2008; Alvord & Grados, 2005). 예를 들어, 자신의 유능성을 보여줄 수 있는 분야를 찾아 그 분야에서 즐거움과 성취감을 경험하고, 유의미한 타인들과 긍정적인 관계를 형성할 수 있는 기회를 가지면 학습의 몰입이 향상된다고 알려져 있다. 지원적 스캐폴딩 집단의 하위 그룹 학생들은 화학 결합 학습을 하는 동안 자신의 역할을 찾아 본인의 능력을 보여주고 이 과정에서 소그룹 내 학생들 간 긍정적인 상호작용과 직접 학습에 도움을 제공하는 교사와의 상호작용으로 인해 학습 몰입감이 더 향상된 것으로 보인다.

이상에서 살펴본 연구 결과로부터 상하위 그룹 학생들의 학업성취도와 학습 몰입감에 영향을 준 스캐폴딩의 종류가 동일함을 확인하였다. 이는 학습 몰입감이 학업성취도에 영향을 주는 중요한 매개변인임을 밝힌 선행 연구의 결과와도 일치한다(계보경 & 김영수, 2008; 서희전, 2008; Salar et al., 2020). 한편, 본 연구가 스캐폴딩의 종류를 다르게 적용하여 학업성취도, 학습 동기, 학습 몰입감에 대하여 각각의 효과를 살펴보았기에, 각각의 변인이 어떠한 관계를 지니고 있는지에 대해서도 살펴볼 필요가 있으므로, 변인 간 관계를 심층적으로 규명하는 연구도 진행될 필요가 있다.

또한 지금까지 증강현실의 효과에 대해서만 다룬 연구가 대부분이었으나(고영남 & 김종우, 2012; 김경현, 2009; Cen et al., 2019; Ling et al., 2021; Wan et al., 2018), 본 연구는 스캐폴딩 종류에 따른 증강현실 활용 교수학습에 대한 학습 효과를 살펴보고, 학생의 개인 능력에 따라 어떠한 스캐폴딩이 적합한 지 인지적, 정의적 측면에서 살펴보았다는 점에서 의의가 있다. 앞으로 다양한 과학탐구 증강현실 애플리케이션을 개발하고 과학 학습에 도움을 줄 수 있는 스캐폴딩을 제시하여 학교 현장에 효과적으로 적용될 수 있기를 기대해 본다.

Ⅴ. 결론 및 제언

1. 결론

최첨단 학습 도구로 증강현실은 사용하는 모든 이에게 현실감 있고 실재감을 제공함으로써 보다 향상된 몰입감을 제공하는 기술이다(Azuma, 1997). 이는 화학 결합을 가르치기 어려워하는 교사와 공간적 사고 능력이 부족하여 화학 결합에 대한 오개념을 종종 가지고 있는 학생들에 대한 해결책으로 그 역할을 충분히 할 수 있으리라 본다. 이에 본 연구에서는 마커조합형 화학 결합 증강현실 애플리케이션을 개발하고 이에 대한 전문가 평정 및 학생 대상 사용성 태도 검증을 수행하였다. 화학 결합에 관한 증강현실 개발 선행 연구 분석을 통해 본 연구에서 개발하고자 한 증강현실 애플리케이션의 중점 사안을 교육적 어포던스 관점에 입각하여 도출하였다. 현장교사 5인의 전문가 평정을 통해 알파버전 앱의 긍정적 측면, 부정적 측면, 그리고 개선할 점에 대해서 논의하였고, 이를 반영하여 베타버전 앱을 개발하였다. 그 후 개발한 베타버전에 대해 고등학생을 대상으로 증강현실 사용성 태도에 대해 조사하여 애플리케이션이 학생들에게 도구적 효용성으로서 어떤 가치를 지니고 있는지 알아보고자 하였다.

한편, 지금까지 화학 교육 관련 증강현실 선행 연구들은 대부분 증강현실에 대한 학습 효과에 집중하여 증강현실을 학교 현장에 도입하기 위한 관련 연구는 미비하였다. 따라서 현장 적용을 위한 연구 중 하나로 증강현실 학습 도구 사용의 자유도를 높여줄 수 있는 과정지향 안내탐구학습을 도입하여 그 효과를 알아보고자 증강현실 학습 도구와 과정지향 안내탐구학습과 접목한 교수학습 방법을 제안하고, 이러한 교수학습 방법이 인지적, 정의적 측면에 어떠한 영향을 미치는지 조사하였다. 또한 현장 적용을 위한 교수학습 관련 연구의 결과로부터 상위권 학생과 하위권 학생의 교육적 효과가 상이하게 나타난 점을 착안하여, 상위권 학생

과 하위권 학생에 대한 맞춤형 교수학습 방법에 대한 제안으로 스캐폴딩 종류에 따른 증강현실 교수학습을 설계하고, 이 교수학습 방법이 사전 학업성취도 수준에 따라 인지적, 정의적 측면에 어떠한 영향을 미치는지 조사하였다.

연구의 결론은 다음과 같다. 첫째, 어포던스를 반영하여 개발한 증강현실 앱에 대하여 전문가 평정 결과, 앱에 대한 긍정적인 측면으로 (1) 결합 가시화, (2) 결합에 대한 이해, (3) 흥미 및 호기심 유발, (4) 오개념 해소 등이 있었고, 부정적인 측면으로는 (1) 선명하지 않은 이미지, (2) 보충 설명의 필요성, (3) 실행가능성에 대한 우려 등이 있었다. 또한, 개선할 점으로 (1) 확장된 옥텟 규칙의 반영, (2) 모든 방향에서 관찰 가능, (3) 결합 형성을 알리는 사운드, (4) 결합 물질의 추가 정보 제공 등을 제안하였다. 이를 참고하여 베타버전 화학 결합 증강현실 앱을 완성하고, 고등학생 대상으로 사용성 태도 평가에 대해 알아보았다.

화학 결합 증강현실 앱에 대한 사용성 태도의 하위 변인 간 관계를 살펴보면, 작동 방식은 인지된 유용성, 인지된 사용 편의성, 인지된 즐거움에 영향을 주었으며, 인지된 사용 편의성은 인지된 유용성과 인지된 즐거움에 영향을 주었다. 또한, 사용 태도는 인지된 즐거움에만 영향을 받았고, 사용 의도는 인지된 유용성, 사용 태도, 인지된 즐거움에 영향을 받았다. 이는 화학 결합 학습에 있어 증강현실 학습 도구의 사용에 대한 즐거운 경험이 사용 태도를 결정하는 중요한 요소가 될 수 있음을 의미하며, 증강현실 학습 도구가 사용 의도 측면에서 인지된 유용성, 사용 태도, 인지된 즐거움의 모든 면을 고려하여 개발되었다고 볼 수 있다. 이러한 결과를 바탕으로 개발한 화학 결합 증강현실 학습 도구가 화학 수업에서 학생들의 학습 이해를 돕는 도구로서의 역할을 충분히 할 수 있으리라고 본다.

둘째, 개발한 증강현실 학습 도구와 과정지향 안내탐구학습을 접목한 교수학습 방법이 인지적, 정의적 측면에서 긍정적인 효과가 나타났다. 이러한 결과는 증강현실 학습 도구와 본 연구에서 채택한 교수학습 방법이 지닌 학습에 대한 긍정적인 측면이 합쳐져 시너지가 나타난 것으로 여겨진다. 또한, 화학 결합을 가르치기 어려워하는 교사와 이를 이해하는 데 어려움을 겪고 있는 학생들에게 도움을 줄 수 있는 새로운 형태의 교수

학습 방법이 될 수 있음을 시사한다. 뿐만 아니라, 하위권 학생들의 학업성취도가 향상되었고, 이들에게서 가장 큰 내재동기의 향상이 있었다. 이는 과학 과목에서 기초 학력 미달 학생의 비율이 증가하고 있는 현시점을 타계하는 데 도움 될 수 있으며, 더불어 동기의 향상으로 본질적으로 학습에 대한 즐거움을 회복할 수 있으리라고 본다.

셋째, 사전 성취수준에 따라 스캐폴딩의 적용의 효과가 다르게 나타났다. 상위권 학생들은 학업성취도와 학습 몰입감에 대해 성찰적 스캐폴딩을 적용한 증강현실 기반 교수학습 방법(RS 방법)이 지원적 스캐폴딩을 적용한 증강현실 기반 교수학습 방법(SS 방법)과 비교하여 유의미한 향상을 보였으나, 학습 동기에 대해서는 스캐폴딩에 따른 차이가 없었다. 반면, 하위권 학생들은 학업성취도, 학습 동기, 학습 몰입감 모두 SS 방법이 RS 방법과 비교하여 유의미한 향상을 보였다. 본 연구는 인지적 측면에서 기존의 높은 점수를 유지하고 있는 상위권 학생들의 학업성취도에 대한 유의미한 향상을 기대하기 어려운 가운데 성찰적 스캐폴딩의 적용으로 상위권 학생들의 성취도 향상을 이끌어내었다는 점에서 의의가 있다. 또한, 하위권 학생들에게는 인지적, 정의적 측면 모두에 긍정적인 영향을 가져다준 지원적 스캐폴딩 제공이 효과적으로 작용했다는 점에서 의의가 있다. 본 연구를 통해 학생의 개인의 능력에 따라 스캐폴딩의 종류를 다르게 적용할 필요가 있음을 확인할 수 있었다. 그러나, 상위권의 학습 동기에서만 스캐폴딩의 종류에 따른 차이가 나타나지 않았기에 이에 대한 심층적인 분석이 필요하다.

본 연구는 디지털 교구의 사용이 점차적으로 증가하는 시대에 화학교육이 추구할 수 있는 모습을 보였다는 점에서 의미가 있다. 직접 개발한 모바일 증강현실 학습 도구는 안드로이드 애플리케이션으로 제작하였기 때문에 모바일 기기를 대부분 사용하고 있는 고등학생들은 누구나 앱을 다운로드하여 쉽게 활용할 수 있다. 한 번 다운받으면 인터넷 연결 없이도 작동이 가능하도록 제작되었기 때문에, 인터넷을 사용할 수 없는 교실 환경이라도 학습이 가능하며 더 나아가 교실 현장이 아니더라도 장소와 시간을 불문하고 화학 결합에 대한 학습이 가능하다. 이러한 증강현실 과학 학습 도구는 첨단 과학 기술을 바탕으로 미래형 과학 학습 환경을 구축하고자 하는 교육부의 계획과도 일맥상통하여(교육부, 2020), 자

기 주도적 과학 학습을 도와줄 수 있는 학습 도구로 충분히 제 역할을 하리라 본다. 또한, 증강현실을 접목한 교수학습의 제안과 학습자 수준에 적합한 스캐폴딩 제안하여 검증해 본 현장 연구는 향후 증강현실 관련 과학 교육 연구에 참고할 만한 자료로 활용될 수 있으리라 본다. 앞으로 화학 결합 증강현실 애플리케이션 뿐만 아니라, 과학 학습에 도움을 줄 수 있는 증강현실 기술을 이용한 다양한 과학 탐구 및 실험 콘텐츠의 개발이 더 다양하게 이루어지고, 이를 돕는 교수학습과 스케폴딩이 함께 설계되길 기대해 본다.

2. 제언

4차 산업혁명 시대의 도래로 우리 사회는 혁신적인 변화를 맞이하고 있다. 고도화된 정보화 기술을 바탕으로 사회시스템의 패러다임이 변화하고 있으며, 복잡성, 다양성, 불확실성이 증가하는 시대로 급변하고 있다. 세계경제포럼의 보고서에 따르면, 4차 산업혁명 시대의 필요한 핵심역량으로 10대 핵심역량을 제시하였다(WEF, 2016). 이는 복합문제 해결력, 비판적 사고능력, 창의력, 인적자원 관리능력, 협업능력, 감성능력, 판단 및 의사결정능력, 서비스 지향성, 협상능력, 인지적 유연성으로 교사중심의 지식전달에 치중한 주입식, 암기식 수업방식으로는 개발하기 어려운 것들이다.

이러한 변화에 발맞춰 우리나라의 교육과정도 여러 차례에 걸친 지속적인 개정을 통해 이러한 시대의 흐름에 부합하도록 교육이 추구해야 할 방향을 제시해왔다. 이에 '창의융합형 인재' 양성에 대한 국가 및 사회적 요구에 따라 2015 개정 교육과정이 시행되고 있다(교육부, 2015). 2015 개정 교육과정의 비전으로 '미래사회가 요구하는 창의융합형 인재 양성'과 '학습 경험의 질 개선을 통한 행복한 학습의 구현'을 내세웠고, 이는 문이과 칸막이 현상을 해소하고 학생들의 학습 몰입과 즐거움을 경험할 수 있는 교육의 필요성에 대한 반영이라 할 수 있다.

그러나 여전히 대학교 입시 준비를 위한 교육방식의 고수로 교사중심의 암기식 수업이 진행되고 있는 안타까운 실정에 직면하고 있다. 더욱

이 이창윤(2019)에 의하면, 2015 교육과정을 실현하기 위한 새로운 학습 자원에 대한 안내가 모호하며 시대의 흐름에 부합하는 새로운 학습자원의 방향에 대한 제시가 없기에 여전히 교사는 보수적으로 교과서만을 채택하여 활용할 수 밖에 없는 상황을 지적하고 교육적 효과가 입증된 새로운 학습자원의 종류가 다양화될 필요가 있음을 강조하였다. 이와 관련하여 교육부도 과학교육 종합계획에서 첨단과학기술 활용 과학수업을 강화하겠다는 전략을 내세워 자기주도 과학학습을 지원을 약속하였다(교육부, 2020). 그러나 새로운 학습 자원에 대한 개발 및 도입은 국가적 차원에서 시도되고 있기는 하지만, 여전히 학교 현장으로의 도입은 더디게 진행되고 있다.

한편, 우리나라 일반계 고등학교 학생들의 화학 수업에 대한 인식 조사에서 화학을 암기의 대상으로 여겨 흥미가 다소 낮고, 어려워하는 경향이 있음을 보고하였다. 주로 강의식 설명식 수업으로 화학 수업을 접하고 있는 학생들에게 학습에 흥미 향상을 위해서라도 학교 교실의 학습 문화에 대한 변화가 필요한 실정이다.

본 연구자는 미래 교육이 나아가야 할 방향과 더불어 학교 현장에서 교사와 학생들이 겪고 있는 학습에 대한 어려움 해결에 도움을 주고자 첨단과학 기술인 증강현실 학습 도구를 개발하고 이에 대한 효과 확인을 통해 새로운 증강현실 학습 도구가 수업 현장에 사용될 수 있는 혁신적인 도구가 될 수 있음을 확인하였다. 그러나, 이러한 증강현실 학습 도구가 미래 세대 교육과정에 학습 도구로 자리 잡기 위해서는 관련 연구가 지속적으로 진행될 필요가 있다.

이에 대한 후속 연구에 대한 제언은 다음과 같다. 첫째, 증강현실 학습 도구의 개발은 아직까지 개발의 장벽이 높아, 개발 소요 시간이 상당하다. 이에 대한 해결책으로 필요에 따라 증강현실 학습 도구를 손쉽게 제작할 수 있는 증강현실 개발 매뉴얼이 시도될 필요가 있다.

둘째, 교과 내용의 성격, 학습자의 역량, 교수자의 활용 가능성을 고려한 증강현실 학습 도구의 개발이 필요하다. 증강현실의 무분별한 개발은 시간 소모적일 뿐만 아니라, 마치 과학실에 사용하지 않고 비치해 둔 학습 교구와 별반 다를 게 없다. 증강현실이라는 기술의 장점이 잘 반영되어 학습자의 이해에 도움을 줄 수 있는 내용의 선정과 증강현실 활용으

로 항상가능한 학습자의 역량을 고려하고, 또한 수업 현장에서 다양하게 활용할 수 있도록 학습자와 교수자의 요구를 반영한 학습 도구를 개발할 필요가 있다.

셋째, 학습 도구가 개발되었다고 하더라도 이를 수업에 무작정 적용하는 것이 아니라, 이를 적절하게 활용할 수 있는 교수학습 방법을 찾아 적용할 필요가 있다. 학습 도구를 어떻게 사용하느냐에 따라서 학습의 질이 달라질 수 있다. 본 연구는 학생 중심의 비판적 사고 질문을 통해 문제를 해결하는 순환학습 종류의 일종인 과정지향 안내탐구학습을 적용하였으나, 교과 내용과 상황에 따라 다양한 교수학습 방법을 선정하여 이에 대한 학습 효과를 알아볼 필요가 있다.

넷째, 증강현실 학습 도구의 사용에 대한 영향을 다각도로 살펴볼 필요가 있다. 본 연구는 인지적, 정의적 측면의 양적 연구에 대한 결과를 살펴보았으나, 탐구 능력, 핵심 역량, 과학의 본성 등을 살펴볼 수 있는 연구로의 확대가 필요하며, 이에 따라 양적 연구뿐만 아니라 질적 연구도 시도될 필요가 있다. 또한, 증강현실 사용에 대한 이론적 논의 단계에서 벗어나 학교 수업에 실제적인 도움을 주기 위해, 증강현실의 개입이나 교사의 활용 정도, 학생의 증강현실 활용에 대한 상호작용 등과 같은 상황과 행동, 반응에 대한 연구가 진행될 필요가 있다.

다섯째, 본 연구는 4~5차시의 비교적 짧은 기간의 처치에 대한 효과를 알아보았기에 증강현실 학습 도구와 POGIL 교수학습 방법이 가져다주는 상황적 흥미 혹은 증강현실 도구의 현존감으로 인한 신기성으로 인해 나타난 결과일 수 있다. 따라서, 증강현실을 활용한 교수학습 방법의 처치 기간을 보다 길게 하여 증강현실 학습 도구의 지속 사용에 대한 학습 효과를 알아보는 연구도 진행된 필요가 있다.

여섯째, 증강현실과 같은 테크놀로지의 현장 적용은 이를 활용하기 위한 교사의 의사결정이 반영된다. 예컨대, 어떠한 테크놀로지를 사용할 것이며, 어떤 상황에, 어떤 방식으로 적용할지에 대한 교수자의 안목이 필요하다. 이는 테크놀로지 교수 내용 지식(TPACK)이 반영된 교사의 역량과도 연결되며, 이러한 TPACK 역량 증진을 위한 교육 연구가 진행될 필요가 있다.

참 고 문 헌

강명희, 임윤진, 김민정, 김지연. (2009). WISE (Web-based Inquiry Science Environment) 프로그램을 활용한 과학수업에서 스캐폴딩 유형에 따른 학업성취도와 과학탐구능력의 차이 검증. **교육방법연구, 21**(1), 1-19.

강인애, 최정임, 장경원 (2006). 구성주의 연구에 대한 회고와 전망: 국내, 외 연구동향 비교. **교육공학연구, 22**(4), 105-136.

계보경, 김영수. (2008). 증강현실 기반 학습에서 매체특성, 현존감, 학습몰입, 학습효과의 관계 규명. **교육공학연구, 24**(4), 193-224.

고기환, 이선경, 강경희. (2007). 화학 II 화학 결합 단원의 학습 어려움에 대한 학생과 교사의 인식 연구. **대한화학회지, 51**(5), 447-458.

고영남, 김종우. (2012). 증강현실 조합형 마커시스템의 교육효과분석. **정보교육학회논문지, 16**(3), 373-382.

곽영순. (2017). 우리나라 중학교 2 학년 학생들의 과학에 대한 정의적 태도 특성 탐색. **한국과학교육학회지, 37**(1), 135-142.

교육부 (2015). **과학과 교육과정**. 교육부 고시 제2015-74호 [별책 9].

교육부 (2020). **제4차 과학교육 종합계획(2020~2024).** 교육부 2020.05.27.

김경현. (2009). 초등학교 과학수업에서 AR 콘텐츠 활용이 학습 활동에 미치는 효과. **컴퓨터교육학회 논문지, 12**(5), 75-85.

김성범, 강성현 (2016). 제4차 산업혁명을 주도하는 데이터 사이언스. **ie 매거진, 23**(3), 9-13.

김정현, 계보경, 서진석, 고범석. (2005). **증강현실 기반의 체험형 학습 콘텐츠 개발 및 현장 적용 연구.** 서울, 한국교육학술정보원 (KERIS).

김진숙, 박순경, 최정순, 이효녕, 송지윤, 박영미. (2013). **초·중등학교 교육과정 연계성에 대한 국제비교.** 연구보고 RRC 2013-3. 한국교육과정평가원.

김혜나 (2018). 증강현실기반 교육 연구 동향: 국내 연구에 대한 체계적 문헌고찰을 통하여. **정보교육학회논문지, 22**(3), 397-407.

류혜주, 박헌우. (2017). '우리 몸'단원에 대한 증강현실 교육콘텐츠의 제작과 적용. **초등과학교육, 36**(4), 367-378.

박근희. (2001). **초·중·고등학교 생물영역의 연계성 연구.** 성균관대학교 대학원 석사 학위 논문.

박재용, 이기영. (2012). 요인 분석을 통한 개방적 탐구의 스캐폴딩 요소 및 기능 탐색. **한국과학교육학회지, 32**(7), 1204-1221.

박현주, 임희준. (2017). 고등학교 화학 I, II 수업에 대한 학생의 인식 조사. **대한화학회지, 61**(6), 369-377.

백은숙. (2020). **화학과 교육과정의 실행에서 나타난 연계성 부족에 대한 연구** 서울대학교 대학원 박사 학위 논문.

상경아, 곽영순, 박지현, 박상욱(2016). **수학과학 성취도 추이변화 국제 비교 연구: TIMSS 2015 결과 분석.** 한국교육과정평가원 연구보고 RRE 2016-15-1.

서울대사범대학교육연구소 (1989). 교육학용어사전. 서울: 배영사, p. 368.

서희전. (2008). 증강현실기반 학습 환경에서 학습자의 현존감, 학습 몰입감, 사용성에 대한 태도, 학업성취도의 관계 연구. **교육정보미디어연구, 14**(3), 137-165.

석임복. (2008). 학습 몰입의 성격 분석 연구-학습 동기, 학업성취도 및 Csikszentmihalyi 의 몰입 모델 중심으로. **교육공학연구, 24**(1), 187-212.

손미현, 조영환, 정대홍. (2018). 어포던스 관점에서 살펴본 디지털 탐구도구의 역할과 특징: 과학탐구 활동 사례를 중심으로. **현장과학교육, 12**(2), 274-286.

신석진, 김혜린, 노태희, 이재원. (2020a). 고등학생의 증강현실을 활용한 협력적 과학 개념학습에서 나타나는 언어적・물리적 상호작용. **한국과학교육학회지, 40**(2), 191-201

신석진, 노태희, 이재원. (2020b). 증강현실을 활용한 소집단 학습에서 개념 이해 및 몰입, 상황 흥미를 촉진할 수 있는 학습 환경 탐색. **대한화학회지, 64**(6), 360-370.

신재한. (2011). 스캐폴딩 (scaffolding) 전략을 활용한 수업 효과에 대한 메타 분석. **초등교육연구, 24**(2), 25-46.

신혜영, 우애자. (2016). 2009 개정 교육과정에 따른 교과서에서 이온 화합물의 설명 개념과 모형 및 학생 이해도 분석. **대한화학회지, 60**(5), 362-373.

심효영, 조성화, 김효정. (2017). 4차 산업혁명을 대비한 증강현실(AR) 기반의 융합인재교육 프로그램 개발 및 효과. **문화산업연구, 17**(3), 119-127.

오은석. (2011). **3D 입체영상과 증강현실을 활용한 융합형 콘텐츠 디자인 방안 연구.** 한양대학교 대학원 박사학위 논문.

유영의, 김은정 (2013). 유치원, 초등학교, 중학교의 과학교육과정의 구성 및 내용의 연계성 분석. **유아교육연구, 33**(4), 241-265.

이기영, 허준혁, 박재용. (2019). 고등학생들의 통합 탐구 기능 향상을 위한 인지적 스캐폴딩 도구 개발 및 적용. **한국과학교육학회지, 39**(4), 545-562.

이명근. (1984). **대학 교양과정 연계성에 관한 연구.** 연세대학교 대학원 석사 학위 논문.

이윤아, 이효녕 (2016). 2009 개정 과학과 교육과정의 지구과학(지권) 영역에 대한 종적 연계성 분석과 미국 차세대 과학 기준과의 비교. **중등교육연구, 64**(3), 701-724.

이인숙(2013). 스마트러닝에서 모바일 증강현실의 효과적인 활용 방향성 제안. **한국디자인포럼, 40**, 195-208.

이재원, 노태희, 이선경. (2017). 고등학생의 학교 과학 탐구 활동에서 나타나는 도구발생의 특징. **한국과학교육학회지, 37**(6), 971-980.

이재원, 박가영, 노태희. (2020). 물질의 입자성 개념에서 증강현실을 활용한 다중 표상 학습 전략의 개발과 적용. **한국과학교육학회지, 40**(4), 375-383.

이지수, 심현애, 김경연, 이강성. (2010). 증강현실 기반 학습프로그램이 학습동기 및 학업성취도에 미치는 영향: Keller 의 동기설계 모형을 적용한 초등과학 학습프로그램의 개발 및 적용. **교육의 이론과 실천, 15**(1), 99-121.

이창윤. (2019). **실제적 관찰 및 실제적 조작을 지원하는 과학 시뮬레이션의 개발 사례 연구.** 서울대학교 대학원 박사 학위 논문.

전영은, 지준용, 홍훈기(2022). 화학 결합에서 모바일 증강현실을 이용한 과정기반 안내탐구학습이 과학 학업성취도, 과학 학습 동기, 학습 몰입감에 미치는 영향. **한국과학교육학회지. 42**(3), 375-390.

전영은, 홍훈기(2022). 스캐폴딩 종류에 따른 모바일 증강현실(MAR) 교수학습 방법이 화학 학업성취도, 학습 몰입감, 학습 동기에 미치는 영향, **학습자중심교과교육연구, 22**(15), 275-293.

정수임, 신동희. (2017). 과학 교육 평가에서 나타나는 고등학생들의 성취 불일치 사

례-정의적 영역 검사 도구를 중심으로. **한국과학교육학회지, 37**(5), 891-909.
정연화, 이정민. (2015). 증강현실 활용 탐구학습의 효과성분석: 중등과학수업을 중심으로. **교육정보미디어연구, 21**(4), 521-542.
정애진, 주희영, 이길재. (2011). 반성적 자기평가를 활용한 메타인지 전략이 고등학생의 유전개념 이해와 메타인지 능력에 미치는 영향. **생물교육 (구 생물교육학회지), 39**(3), 472-484.
정효남. (2013). **증강현실 기술을 활용한 융합형 교육 콘텐츠 설계및 구현**. 상명대학교 박사학위논문.
조희형, 김희경, 윤희숙, 이기영. (2010). 과학 교수 모형의 특징과 적용에 대한 이론적 고찰. **한국과학교육학회지, 30**(5), 557-575.
진영은, 서향희(2011). 유아교육 연구에서 Vygotsky 이론의 스캐폴딩(scaffolding)에 관한 국내 연구의 동향고찰. **한국교원교육연구, 28**(4), 211-236.
최유미, 문영순. (2015). '증강현실'기반 교육용 어플리케이션 개발을 통한 효과적인 초등 STEAM 교육에 관한 연구: 과학과 미술융합을 중심으로. **애니메이션연구, 11**(2), 85-108.
하민수, 이준기. (2013). Science Motivation Questionnaire Ⅱ (SMQⅡ) 번역본의 문항 반응, 일반화, 및 구조 타당도. **학습자중심교과교육연구, 13**, 1-18.
황경양, 김회수. (2021). 위키 기반 블렌디드 협력학습에서 스캐폴딩 유형이 과학 성취도에 미치는 효과 분석. **교육정보미디어연구, 27**(2), 585-618.
황윤자. (2013). **어포던스 이론 기반의 모바일 증강현실 교육시스템 설계 가이드라인 및 프로토타입 개발 연구.** 한양대학교 대학원 박사 학위 논문.
Abdinejad, M., Ferrag, C., Qorbani, H. S., & Dalili, S. (2021). Developing a Simple and Cost-Effective Markerless Augmented Reality Tool for Chemistry Education. *Journal of Chemical Education, 98*(5), 1783-1788.
Abdinejad, M., Talaie, B., Qorbani, H. S., & Dalili, S. (2021). Student perceptions using augmented reality and 3d visualization technologies in chemistry education. *Journal of Science Education and Technology, 30*(1), 87-96.
Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1986). The sequence of learning cycle activities in high school chemistry. *Journal of research in science*

teaching, 23(2), 121-143.

Alizkan, U., Wibowo, F. C., Sanjaya, L., Kurniawan, B. R., & Prahani, B. K. (2021, October). Trends of Augmented Reality in Science Learning: A Review of the Literature. *In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 2019, No. 1, p. 012060)*. IOP Publishing.

Alrige, M., Bitar, H., Al-Suraihi, W., Bawazeer, K., & Al-Hazmi, E. (2021). MicroWorld: An Augmented-Reality Arabian App to Learn Atomic Space. *Technologies, 9*(3), 53-67.

Alvord, M. K., & Grados, J. J. (2005). Enhancing resilience in children: A proactive approach. *Professional Psychology: Research and Practice, 36*(3), 238-245.

An, J., & Holme, T. A. (2021). Evaluation of augmented reality application usage and measuring students' attitudes toward instrumentation. *Journal of Chemical Education, 98*(4), 1458-1464.

An, J., Poly, L. P., & Holme, T. A. (2019). Usability testing and the development of an augmented reality application for laboratory learning. *Journal of Chemical Education, 97*(1), 97-105.

An, Y. J., & Cao, L. (2014). Examining the effects of metacognitive scaffolding on students' design problem solving and metacognitive skills in an online environment. *MERLOT Journal of Online Learning and Teaching, 10*(4), 552-568.

Argüello, J. M., & Dempski, R. E. (2020). Fast, Simple, Student Generated Augmented Reality Approach for Protein Visualization in the Classroom and Home Study. *Journal of Chemical education, 97*(8), 2327-2331.

Arici, F., Yildirim, P., Caliklar, Ş., & Yilmaz, R. M. (2019). Research trends in the use of augmented reality in science education: Content and bibliometric mapping analysis. *Computers & Education, 142*, 103647.

Aw, J. K., Boellaard, K. C., Tan, T. K., Yap, J., Loh, Y. P., Colasson, B., ... & Fung, F. M. (2020). Interacting with three-dimensional molecular structures using an augmented reality mobile app. *Journal of Chemical*

education, 97(10), 3877-3881.

Azevedo, R., & Hadwin, A. F. (2005). Scaffolding self-regulated learning and metacognition - Implications for the design of computer-based scaffolds. *Instructional science, 33*(5), 367-379.

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and virtual environments, 6*(4), 355-385.

Bacca, J., Baldiris, S., Fabregat, R., Graf, S., & Kinshuk. (2014). Augmented Reality Trends in Education: A Systematic Review of Research and *Applications. Educational Technology & Society, 17*(4), 133 - 149.

Badilla-Quintana, M. G., Sepulveda-Valenzuela, E., & Salazar Arias, M. (2020). Augmented reality as a sustainable technology to improve academic achievement in students with and without special educational needs. *Sustainability, 12*(19), 8116.

Barke, H. D., Hazari, A., & Yitbarek, S. (2009). *Misconceptions in chemistry: Addressing perceptions in chemical education.* Springer Science & Business Media.

Baydas, O., & Goktas, Y. (2016). Influential factors on preservice teachers' intentions to use ICT in future lessons. *Computers in Human Behavior, 56*, 170-178.

Bean, T. W., & Stevens, L. P. (2002). Scaffolding reflection for preservice and inservice teachers. *Reflective Practice, 3*(2), 205-218.

Belland, B. R., Glazewski, K. D., & Richardson, J. C. (2008). A scaffolding framework to support the construction of evidence-based arguments among middle school students. *Educational Technology Research and Development, 56*(4), 401-422.

Bergqvist, A., Drechsler, M., De Jong, O., & Rundgren, S. N. C. (2013). Representations of chemical bonding models in school textbooks-help or hindrance for understanding?. *Chemistry Education Research and Practice, 14*(4), 589-606.

Billinghurst, M. (2002). Augmented reality in education. *New horizons for*

learning, 12(5), 1-5.

Billinghurst, M. Grasset, R., & Looser, J. (2005). Designing augmented reality interfaces. *SIGGRAPH Computer Graphics, 39*(1), 17-22.

Birk, J. P., & Kurtz, M. J. (1999). Effect of experience on retention and elimination of misconceptions about molecular structure and bonding. *Journal of Chemical Education, 76*(1), 124-128.

Brown, A. L., & Palincsar, A. S. (1982). *Inducing strategic learning from texts by means of informed, self-control training.* Center for the Study of Reading Technical Report; no. 262.

Bulu, S. T., & Pedersen, S. (2010). Scaffolding middle school students' content knowledge and ill-structured problem solving in a problem-based hypermedia learning environment. *Educational Technology Research and Development, 58*(5), 507-529.

Butchart, B. (2011). *Augmented Reality for Smartphones,* (pp. 1-49), UKOLN, University of Bath.

Butts, B., & Smith, R. (1987). HSC chemistry students′ understanding of the structure and properties of molecular and ionic compounds. *Research in Science Education, 17*(1), 192-201.

Cagiltay, K. (2006). Scaffolding strategies in electronic performance support systems: Types and challenges. *Innovations in Education and Teaching International, 43*(1), 93-103.

Cai, S., Chiang, F.-K., & Wang, X. (2013). Using the Augmented Reality 3D technique for a convex ımaging experiment in a physics course. *International Journal of Engineering Education, 29*(4), 856 - 865.

Cai, S., Wang, X., & Chiang, F. K. (2014). A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior, 37*, 31-40.

Canelas, D. A., Hill, J. L., & Carden, R. G. (2019). *Cooperative learning in large sections of organic chemistry: Transitioning to POGIL. In active*

learning in organic chemistry: Implementation and analysis (pp. 199-215). American Chemical Society.

Cen, L., Ruta, D., Al Qassem, L. M. M. S., & Ng, J. (2019). Augmented immersive reality (AIR) for improved learning performance: a quantitative evaluation. *IEEE Transactions on Learning Technologies, 13*(2), 283-296.

Chamely-Wiik, D. M., Haky, J. E., Louda, D. W., & Romance, N. (2014). SQER3: An instructional framework for using scientific inquiry to design classroom demonstrations. *Journal of Chemical Education, 91*(3), 329-335.

Chen, C. P., & Wang, C. H. (2015). Employing augmented-reality-embedded instruction to disperse the imparities of individual differences in earth science learning. J*ournal of Science Education and Technology, 24*(6), 835-847.

Chen, P., Liu, X., Cheng, W., & Huang, R. (2017). A review of using Augmented Reality in Education from 2011 to 2016. *Innovations in smart learning*, 13-18.

Chen, S. Y., & Liu, S. Y. (2020). Using augmented reality to experiment with elements in a chemistry course. *Computers in Human Behavior, 111*, 106418.

Cheng, K. H., & Tsai, C. C. (2013). Affordances of augmented reality in science learning: Suggestions for future research. *Journal of science education and technology, 22*(4), 449-462.

Chiang, T. H., Yang, S. J., & Hwang, G. J. (2014). An augmented reality-based mobile learning system to improve students' learning achievements and motivations in natural science inquiry activities. *Journal of Educational Technology & Society, 17*(4), 352-365.

Collins, A., Brown, J. S., & Newman, S. E. (1987). *Cognitive apprenticeship: Teaching the craft of reading, writing, and mathematics*. Center for the Study of Reading Technical Report; no. 403.

Conway, C. J. (2014). Effects of guided inquiry versus lecture instruction on final grade distribution in a one-semester organic and biochemistry course. *Journal of Chemical Education, 91*(4), 480-483.

Creswell, J. W., & Clark, V. L. P. (2017). *Designing and conducting mixed methods research.* Sage publications.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches.* Sage publications.

Csikszentmihalyi, M., Rathunde, K., & Whalen, S. (1993). *Talented teenagers: A longitudinal study oftheir development.* Cambridge University Press.

Davis, L. (1992). Instrument review: Getting the most from your panel of experts. *Applied Nursing Research, 5*(4), 194-197.

De Gale, S., & Boisselle, L. N. (2015). The Effect of POGIL on Academic Performance and Academic Confidence. *Science Education International, 26*(1), 56-79.

DeMatteo, M. P. (2019). *Combining POGIL and a flipped classroom methodology in organic chemistry. In Active learning in organic chemistry: Implementation and analysis (pp. 217-240).* American Chemical Society.

Douglas, E. P., & Chiu, C. C. (2013). Implementation of Process Oriented Guided Inquiry Learning (POGIL) in Engineering. *Advances in Engineering Education, 3*(3), 1-16.

Dünser, A., & Hornecker, E. (2007). Lessons from an AR book study. *In Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*, 179-182.

Eisenkraft, A. (2003). Expanding the 5E model: A proposed 7E model emphasizes "transfer of learning"and the importance of eliciting prior understanding. *The Science Teacher, 70*(6), 56-59.

Elena, B., & Deborah, L. (2007). *Tools of the mind: The Vygotskian approach to early childhood education(2nd Ed.).* Merrill: Pearson Education, Inc. 박은혜, 신은수(역)(2010). 정신의 도구: 비고츠키 유아 교육. 서울: 이화여자대학교출판부.

Elford, D., Lancaster, S. J., & Jones, G. A. (2021). Stereoisomers, not stereo enigmas: A stereochemistry escape activity incorporating augmented and

immersive virtual reality. *Journal of Chemical Education, 98*(5), 1691-1704.

Erbas, C., & Demirer, V. (2019). The effects of augmented reality on students' academic achievement and motivation in a biology course. *Journal of Computer Assisted Learning, 35*(3), 450-458.

Ewais, A., & Troyer, O. D. (2019). A usability and acceptance evaluation of the use of augmented reality for learning atoms and molecules reaction by primary school female students in Palestine. *Journal of Educational Computing Research, 57*(7), 1643-1670.

Farrell, J. J., Moog, R. S., & Spencer, J. N. (1999). A guided-inquiry general chemistry course. *Journal of Chemical education, 76*(4), 570-574.

Fernandes, H. S., Cerqueira, N. M., & Sousa, S. F. (2021). Developing and Using BioSIMAR, an Augmented Reality Program to Visualize and Learn about Chemical Structures in a Virtual Environment on Any Internet-Connected Device. *Journal of Chemical Education, 98*(5), 1789-1794.

Fidan, M., & Tuncel, M. (2019). Integrating augmented reality into problem based learning: The effects on learning achievement and attitude in physics education. *Computers & Education, 142*, 103635.

Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the national academy of sciences, 111*(23), 8410-8415.

Furio, C., & Calatayud, M. L. (1996). Difficulties with the geometry and polarity of molecules: beyond misconceptions. *Journal of Chemical Education, 73*(1), 36-41.

Gallimore, R., & Tharp, R. (1990). Teaching mind in society: Teaching, schooling, and literate discourse. *Vygotsky and education: Instructional implications and applications of sociohistorical psychology,* 175-205.

Ge, X., & Er, N. (2005). An online support system to scaffold real-world problem solving. *Interactive Learning Environments, 13*(3), 139-157.

Georgiou, Y., & Kyza, E. A. (2018). Relations between student motivation, immersion and learning outcomes in location-based augmented reality settings. *Computers in Human Behavior, 89*, 173-181.

Gibson, E. J., & Pick, A. D. (2000). *An ecological approach to perceptual learning and development.* Oxford University Press, USA.

Gibson, J. J. (1979). The theory of affordances. The ecological approach to visual perception. *The People, Place and, Space Reader; Routledge: New York, NY, USA,* 56-60.

Gillespie, R. (1997). The great ideas of chemistry. *Journal of Chemical Education, 74,* 862 - 864.

Glynn, S. M., Brickman, P., Armstrong, N., & Taasoobshirazi, G. (2011). Science motivation questionnaire II: Validation with science majors and nonscience majors. *Journal of research in Science Teaching, 48*(10), 1159-1176.

Grant, J. S. & Davis, L. L. (1997). Selection and use of content experts for instrument development. *Research in Nursing and Health, 20*(3), 269-274.

Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of research in Science Teaching, 29*(6), 611-628.

Gun, E. T., & Atasoy, B. (2017). The effects of augmented reality on elementary school students' spatial ability and academic achievement. *Egitim ve Bilim, 42*(191), 31-51.

Habig, S. (2020). Who can benefit from augmented reality in chemistry? Sex differences in solving stereochemistry problems using augmented reality. *British Journal of Educational Technology, 51*(3), 629-644.

Hannafin, M., Land, S., & Oliver, K. (1999). Open learning environments: Foundations, methods, and models. *Instructional-design theories and models: A new paradigm of instructional theory, 2*, 115-140.

Hanson, D. M. (2013). *Instructor's Guide to Process Oriented Guided Inquiry Learning.* New York: Pacific Crest.

Hargis, C. H. (2005). *Teaching low achieving and disadvantaged students (3rd ed.)*. Springfield, IL: Charles C. Thomas.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education, 84*(3), 352-381.

Hartson, R. (2003). Cognitive, physical, sensory, and functional affordances in interaction design. *Behaviour & information technology, 22*(5), 315-338.

Hein, S. M. (2012). Positive impacts using POGIL in organic chemistry. *Journal of Chemical Education, 89*(7), 860-864.

Heine, C. (1997). *Task enjoyment and mathematical achievement,* doctoral dissertation, Department of Education, University of Chicago.

Hill, J. R., & Hannafin, M. J. (2001). Teaching and learning in digital environments: The resurgence of resource-based learning. *Educational Technology Research and Development, 49*(3), 37-52.

Hmelo, C. E., Nagarajan, A., & Day, R. S. (2000). Effects of high and low prior knowledge on construction of a joint problem space. *The Journal of Experimental Education, 69*(1), 36-56.

Hurst, M. O. (2002). How we teach molecular structure to freshmen. *Journal of Chemical Education, 79*(6), 763-764.

Ibáñez, M.-B., Di Serio, Á., Villarán, D., & Kloos, C. D. (2014). Experimenting with electromagnetism using augmented reality: Impact on flow student experience and educational effectiveness. *Computers & Education, 71*, 1-13.

Iordache, D. D., Pribeanu, C., & Balog, A. (2012). Influence of specific AR cap abilities on the learning effectiveness and efficiency. *Studies in Informatic s and Control, 21*(3), 233-240.

Jackson, S. A., & Marsh, H. W. (1996). Development and validation of a scale to measure optimal experience: The Flow State Scale. *Journal of sport and exercise psychology, 18*(1), 17-35.

Jiang, S., Tatar, C., Huang, X., Sung, S. H., & Xie, C. (2021). Augmented

Reality in Science Laboratories: Investigating High School Students' Navigation Patterns and Their Effects on Learning Performance. *Journal of Educational Computing Research, 60*(3), 777-803.

Kafumann, H., & Schmalstieg, D. (2003). Mathematics and geometry education with collaborative augmented reality. *Comptuers & Graphics, 27*(3), 339-345.

Karagozlu, D. (2018). Determination of the impact of augmented reality application on the success and problem-solving skills of students. *Quality & Quantity, 52*(5), 2393-2402.

Karplus, R. (1977). Science teaching and the development of reasoning. *Journal of Research in Science Teaching, 14*(2), 169-175.

Keller, S., Rumann, S., & Habig, S. (2021). Cognitive Load Implications for Augmented Reality Supported Chemistry Learning. *Information, 12*(3), 96-115.

Khan, T., Johnston, K., & Ophoff, J. (2019). The impact of an augmented reality application on learning motivation of students. *Advances in Human-Computer Interaction, 2019*, 1-14.

Kim, J. Y., & Lim, K. Y. (2019). Promoting learning in online, ill-structured problem solving: The effects of scaffolding type and metacognition level. *Computers & Education, 138*, 116-129.

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

Kirschner, P., Strijbos, J. W., Kreijns, K., & Beers, P. J. (2004). Designing electronic collaborative learning environments. Educational technology research and development, 52(3), 47-66.

Koes-H, S., Pradana, S. D. S., & Suwasono, P. (2020, March). Integration conceptual scaffolding in the group investigation: its influence on students' critical thinking skills. In *Journal of Physics Conference Series* (Vol. 1481, No. 1, p. 012132).

Kuhn, D., Black, J., Keselman, A., & Kaplan, D. (2000). The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and Instruction, 18*(4), 495-523.

Lam, M. C., Tee, H. K., Nizam, S. S. M., Hashim, N. C., Suwadi, N. A., Tan, S. Y., ... & Liew, S. Y. (2020). Interactive augmented reality with natural action for chemistry experiment learning. *TEM Journal, 9*(1), 351-360.

Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking.* Belmont: Wadsworth.

Lin, T. J., Duh, H. B. L., Li, N., Wang, H. Y., & Tsai, C. C. (2013). An investigation of learners' collaborative knowledge construction performances and behavior patterns in an augmented reality simulation system. *Computers & Education, 68*, 314 - 321.

Ling, Y., Zhu, P., & Yu, J. (2021). Which types of learners are suitable for augmented reality? A fuzzy set analysis of learning outcomes configurations from the perspective of individual differences. *Educational Technology Research and Development, 69*(6), 2985-3008.

Liou, H. H., Yang, S. J., Chen, S. Y., & Tarng, W. (2017). The influences of the 2d image-based augmented reality and virtual reality on student learning. *Journal of Educational Technology & Society, 20*(3), 110-121.

Liyanage, D., Lo, S. M., & Hunnicutt, S. S. (2021). Student discourse networks and instructor facilitation in process oriented guided inquiry physical chemistry classes. *Chemistry Education Research and Practice, 22*(1), 93-104.

Lu, A., Wong, C. S., Cheung, R. Y., & Im, T. S. (2021, April). Supporting flipped and gamified learning with augmented reality in higher education. *Frontiers in Education, 6*, 110-121.

May, D. B., & Etkina, E. (2002). College physics students' epistemological self-reflection and its relationship to conceptual learning. *American Journal of Physics, 70*(12), 1249-1258.

Michalsky, T., Mevarech, Z. R., & Haibi, L. (2009). Elementary school

children reading scientific texts: Effects of metacognitive instruction. *The Journal of Educational Research, 102*(5), 363-376.

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

Moog, R. S., & Spencer, J. N. (2008). *Process oriented guided inquiry learning (POGIL)* (Vol. 994, pp. 1-13). Washington, DC: American Chemical Society.

Moog, R. S., Spencer, J. N., & Straumanis, A. R. (2006). Process-oriented guided inquiry learning: POGIL and the POGIL project. *Metropolitan Universities, 17*(4), 41-52.

Mutambuki, J. M., Mwavita, M., Muteti, C. Z., Jacob, B. I., & Mohanty, S. (2020). Metacognition and active learning combination reveals better performance on cognitively demanding general chemistry concepts than active learning alone. *Journal of Chemical Education, 97*(7), 1832-1840.

Nahum, T. L., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., & Krajcik, J. (2007). Developing a new teaching approach for the chemical bonding concept aligned with current scientific and pedagogical knowledge. *Science Education, 91*(4), 579-603.

Nicoll, G. (2001). A report of undergraduates' bonding misconceptions. *International Journal of Science Education, 23*(7), 707 - 730.

Nihalani, P. K., Wilson, H. E., Thomas, G., & Robinson, D. H. (2010). What determines high- and low- performing groups?. The superstar effect. *Journal of Advanced Academics, 21*(3), 500-529.

Núñez, M., Quirós, R., Núñez, I., Carda, J. B., & Camahort, E. (2008, July). Collaborative augmented reality for inorganic chemistry education. *In Proceedings of the 5th WSEAS/IASME international conference on Engineering education,* 271-277.

Ohn-Sabatello, T. (2020). Incorporating technology tools and the 5E instructional model to teach high school students chemistry by online

instruction. J*ournal of Chemical Education, 97*(11), 4202-4208.

Othman, J., Treagust, D. F., & Chandrasegaran, A. L. (2008). An investigation into the relationship between students' conceptions of the particulate nature of matter and their understanding of chemical bonding. *International Journal of Science Education, 30*(11), 1531-1550.

Ovens, M., Ellyard, M., Hawkins, J., & Spagnoli, D. (2020). Developing an Augmented Reality Application in an Undergraduate DNA Precipitation Experiment to Link Macroscopic and Submicroscopic Levels of Chemistry. *Journal of Chemical education, 97*(10), 3882-3886.

Peterson, C. N., Tavana, S. Z., Akinleye, O. P., Johnson, W. H., & Berkmen, M. B. (2020). An idea to explore: Use of augmented reality for teaching three dimensional biomolecular structures. *Biochemistry and Molecular Biology Education, 48*(3), 276-282.

Pribeanu, C., Balog, A., & Iordache, D. D. (2017). Measuring the perceived quality of an AR-based learning application: a multidimensional model. *Interactive Learning Environments, 25*(4), 482-495.

Puntambekar, S., & Hubscher, R. (2005). Tools for scaffolding students in a complex learning environment: What have we gained and what have we missed? *Educational Psychologist, 40*(1), 1-12.

Raes, A., Schellens, T., Wever, B. D., & Vanderhoven, E. (2012). Scaffolding information problem solving in web-based collaborative inquiry learning. *Computer & Education, 59*(1), 82 - 94.

Robert, J., Lewis, S. E., Oueini, R., & Mapugay, A. (2016). Coordinated implementation and evaluation of flipped classes and peer-led team learning in general chemistry. *Journal of Chemical Education, 93*(12), 1993-1998.

Rodríguez, F. C., Frattini, G., Krapp, L. F., Martinez-Hung, H., Moreno, D. M., Roldán, M., ... & Abriata, L. A. (2021). MoleculARweb: A Web Site for Chemistry and Structural Biology Education through Interactive

Augmented Reality out of the Box in Commodity Devices. *Journal of Chemical Education, 98*(7), 2243-2255.

Rodriguez, J. M. G., Hunter, K. H., Scharlott, L. J., & Becker, N. M. (2020). A review of research on process oriented guided inquiry learning: Implications for research and practice. *Journal of Chemical Education, 97*(10), 3506-3520.

Roll, I., Holmes, N. G., Day, J., & Bonn, D. (2012). Evaluating metacognitive scaffolding in guided invention activities. *Instructional Science, 40*(4), 691-710.

Rubio, D. M., 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.

Salar, R., Arici, F., Caliklar, S., & Yilmaz, R. M. (2020). A model for augmented reality immersion experiences of university students studying in science education. *Journal of Science Education and Technology, 29*(2), 257-271.

Sani, F., & Todman, J. (2011). 실험설계 및 통계의 기초. 문선모 역. 서울: 시그마프레스. (원제: *Experimental design and statistics for psychology: A first course*, 2006)

Sanii, B. (2020). Creating Augmented Reality USDZ Files to Visualize 3D Objects on Student Phones in the Classroom. *Journal of Chemical Education, 97*(1), 253-257.

Saye, J. W., & Brush, T. (2002). Scaffolding critical reasoning about history and social issues in multimedia-supported learning environments. *Educational Technology Research and Development, 50*(3), 77-96.

Schmid, J. R., Ernst, M. J., & Thiele, G. (2020). Structural Chemistry 2.0: Combining Augmented Reality and 3D Online Models. *Journal of Chemical Education, 97*(12), 4515-4519.

Şen, Ş., Yılmaz, A., & Geban, Ö. (2015). The effects of process oriented guided inquiry learning environment on students' self-regulated learning skills. *Problems of Education in the 21st Century, 66*, 54-67.

Şen, Ş., Yilmaz, A., & Geban, Ö. (2016). The effect of Process Oriented Guided Inquiry Learning (POGIL) on 11th Graders' conceptual understanding of electrochemistry. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching, 17*(2), 1-8.

Settlage, J. & Southerland, S. A. (2007). *Teaching science to every child: Using culture as a starting point.* New York: Routledge.

Shelton, B. E. (2003). *How augmented reality helps students learn dynamic spatial relationships.* Seattle: University of Washington.

Simons, K. D., & Klein, J. D. (2007). The impact of scaffolding and student achievement levels in a problem-based learning environment. *Instructional Science, 35*(1), 41-72.

Simonson, S. R. (Ed.). (2019). *POGIL: An introduction to process oriented guided inquiry learning for those who wish to empower learners.* Stylus Publishing, LLC.

Sumadio, D. D., & Rambli, D. R. A. (2010). Preliminary evaluation on user acceptance of the augmented reality use for education. *Proceedings of second international conference on computer engineering and applications,* 461 - 465.

Sung, R. J., Wilson, A. T., Lo, S. M., Crowl, L. M., Nardi, J., St. Clair, K., & Liu, J. M. (2019). BiochemAR: an augmented reality educational tool for teaching macromolecular structure and function. *Journal of Chemical Education, 97*(1), 147-153.

Sung, S. H., Li, C., Chen, G., Huang, X., Xie, C., Massicotte, J., & Shen, J. (2021). How does augmented observation facilitate multimodal representational thinking? Applying deep learning to decode complex student construct. *Journal of Science Education and Technology, 30*(2), 210-226.

Talanquer, V., & Pollard, J. (2017). Reforming a large foundational course: Successes and challenges. *Journal of Chemical Education, 94*(12), 1844-1851.

Tarng, W., Lin, Y. J., & Ou, K. L. (2021). A virtual experiment for learning

the principle of daniell cell based on augmented reality. *Applied Sciences, 11*(2), 762-786.

Tee, N. Y. K., Gan, H. S., Li, J., Cheong, B. H. P., Tan, H. Y., Liew, O. W., & Ng, T. W. (2018). Developing and demonstrating an augmented reality colorimetric titration tool. *Journal of Chemical Education, 95*(3), 393-399.

Theobald, E. J., Hill, M. J., Tran, E., Agrawal, S., Arroyo, E. N., Behling, S., ... & Freeman, S. (2020). Active learning narrows achievement gaps for underrepresented students in undergraduate science, technology, engineering, and math. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 117*(12), 6476-6483.

Trout, L. (Ed.). (2012). *POGIL activities for high school chemistry.* Batavia, IL: Flinn Scientific.

Tuckey, H., Selvaratnam, M., & Bradley, J. (1991). Identification and rectification of student difficulties concerning three-dimensional structures, rotation, and reflection. *Journal of Chemical Education, 68*(6), 460-464.

Van de Pol, J., Volman, M., & Beishuizen, J. (2010). Scaffolding in teacher-student interaction: A decade of research. *Educational psychology review, 22*(3), 271-296.

Vishnumolakala, V. R., Southam, D. C., Treagust, D. F., Mocerino, M., & Qureshi, S. (2017). Students' attitudes, self-efficacy and experiences in a modified process-oriented guided inquiry learning undergraduate chemistry classroom. *Chemistry Education Research and Practice, 18*(2), 340-352.

Vygotsky, L. S., & Cole, M. (1978). *Mind in society: the development of higher, psychological processes.* 정회욱(역). 마인드 인 소사이어티. 서울: 학이시습

Walker, L., & Warfa, A. R. M. (2017). Process oriented guided inquiry learning (POGIL) marginally effects student achievement measures but substantially increases the odds of passing a course. *PLoS One, 12*(10), e0186203.

Wan, A. T., San, L. Y., & Omar, M. S. (2018). Augmented reality technology for year 10 chemistry class: Can the students learn better?. *International*

Journal of Computer-Assisted Language Learning and Teaching (IJCALLT), 8(4), 45-64.

WEF(World Economic Forum). (2016). New Vision for Education: Fostering Social and Emotional Learning Through Technology.

Wojciechowski, R., & Cellary, W. (2013). Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers & Education, 68*, 570-585.

Wong, C. H., Tsang, K. C., & Chiu, W. K. (2021). Using Augmented Reality as a Powerful and Innovative Technology to Increase Enthusiasm and Enhance Student Learning in Higher Education Chemistry Courses. *Journal of Chemical Education, 98*(11), 3476-3485.

Wong, L. H., Milrad, M., & Specht, M. (Eds.) (2015). *Seamless learning in the age of mobile connectivity.* Singapore: Springer.

Wood, D., Bruner, J. S., & Ross, G. (1976). THE ROLE OF TUTORING IN PROBLEM SOLVING. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 17*(2), 89-100.

Wright, L., & Oliver-Hoyo, M. (2020). Development and Evaluation of the H NMR MoleculAR Application. *Journal of Chemical Education, 98*(2), 478-488.

Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education, 62*, 41-49.

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

Yang, S., Mei, B., & Yue, X. (2018). Mobile augmented reality assisted chemical education: Insights from elements 4D. *Journal of Chemical Education, 95*(6), 1060-1062.

Yen, J. C., Tsai, C. H., & Wu, M. (2013). Augmented reality in the higher education: Students' science concept learning and academic achievement in astronomy. *Procedia-social and behavioral sciences, 103*, 165-173.

Zhang, J., Sung, Y. T., Hou, H. T., & Chang, K. E. (2014). The development

and evaluation of an augmented reality-based armillary sphere for astronomical observation instruction. *Computers & Education, 73*, 178-188.

Zhang, N., Liu, Q., Zheng, X., Luo, L., & Cheng, Y. (2021). Analysis of social interaction and behavior patterns in the process of online to offline lesson study: A case study of chemistry teaching design based on augmented reality. *Asia Pacific Journal of Education,* 1-22.

Zhang, Z., Li, Z., Han, M., Su, Z., Li, W., & Pan, Z. (2021). An augmented real ity-based multimedia environment for experimental education. *Multimedia Tools and Applications, 80*(1), 575-590.

Zhu, B., Feng, M., Lowe, H., Kesselman, J., Harrison, L., & Dempski, R. E. (201 8). Increasing enthusiasm and enhancing learning for biochemistry-laboratory safety with an augmented-reality program. *Journal of Chemical Education, 95*(10), 1747-1754.

Zion, M., & Mendelovici, R. (2012). Moving from structured to open inquiry: Challenges and limits. *Science Education International, 23*(4), 383-399.

부록 1. 설문지 1

모바일 증강현실 기반 사용성 태도 검사

이 연구는 **모바일 증강현실 기반 과정지향 안내탐구학습**에 참여한 고등학교 학생들의 모바일 증강현실 환경에서 학습한 학생의 생각을 알아보기 위한 설문 검사로 학교의 성적과는 아무런 관련이 없습니다. 또한, 조사 자료는 공개하지 않으며, 연구 목적 이외에는 사용하지 않을 것입니다.
각 문항을 읽고 답하여 주시기 바랍니다. 여러분이 모바일 증강현실 환경 시스템(화학 결합 증강현실 앱)을 통해서 얻은 경험과 관련하여 다음 질문에 답하시길 바랍니다. 각 문항은 수업에서 사용한 모바일 증강현실 시스템에 대해 여러분의 생각이나 느낌과 관련이 있습니다. 모바일 증강현실 시스템에 대하여 느낀 점을 생각해 보고 아래의 문항을 읽은 다음, 각 문항의 오른쪽에 있는 가장 적합한 번호에 표시(V)하여 주시기 바랍니다.

		전혀 아니다				매우 그렇다
1	카드를 사용하여 화면에 나타난 가상의 이미지를 쉽게 이동할 수 있다.	1	2	3	4	5
2	카드를 이용하여 조작하는 것은 좋은 생각이다.	1	2	3	4	5
3	나는 카드를 사용하여 쉽게 조절할 수 있었다.	1	2	3	4	5
4	이와 같은 시스템의 사용은 교실에서 학습을 향상시킨다.	1	2	3	4	5
5	수업 중에 이 시스템을 사용하면 특정 개념을 쉽게 이해할 수 있다.	1	2	3	4	5
6	나는 이 시스템이 학습에 도움이 된다고 믿는다.	1	2	3	4	5
		전혀 아니다				매우 그렇다
7	나는 이 시스템이 사용하기 쉽다고 생각한다.	1	2	3	4	5
8	시스템 사용법을 배우는 것은 문제가 되지 않는다.	1	2	3	4	5
9	시스템 작동법이 명확하고 이해할 수 있다.	1	2	3	4	5
10	나는 이 시스템으로 놀이를 통해 배움이 가능하다고 생각한다.	1	2	3	4	5
11	나는 이 시스템을 사용하는 것이 즐거웠다.	1	2	3	4	5
12	이러한 시스템으로 배우는 것은 즐거운 활동이다.	1	2	3	4	5
		전혀 아니다				매우 그렇다
13	이러한 시스템의 사용은 학습을 더욱 흥미롭게 한다.	1	2	3	4	5
14	이 시스템을 통한 학습이 지루했다.	1	2	3	4	5
15	나는 교실에서 이 시스템을 사용하는 것이 좋은 생각이라고 믿는다.	1	2	3	4	5
16	기회가 된다면 앞으로 이 시스템을 사용하고 싶다.	1	2	3	4	5
17	이러한 시스템을 이용하여 화학 실험도 할 수 있을 것 같다.	1	2	3	4	5
18	화학과 다른 과목을 학습하는 데 이 시스템을 사용하고 싶다.	1	2	3	4	5

부록 2. 설문지 2

과학 학습에 대한 정의적 영역 (사전, 사후) 설문 검사 (과학 학습 동기, 학습 몰입감)

이 연구는 **모바일 증강현실 기반 과정지향 안내탐구학습**에 참여한 고등학교 학생들의 과학 학업 성취도, 과학 학습 동기, 학습 몰입감에 어떠한 변화가 있는지 알아보고자 설계한 연구입니다. 본 검사는 관련 연구에 대한 수업(강의식 수업, 과정지향 안내탐구학습, 모바일 증강현실 과정지향 안내탐구학습)에 참여하고, 이에 대한 학생의 생각을 알아보기 위한 설문 검사로 학교의 성적과는 아무런 관련이 없습니다. 또한, 조사 자료는 공개하지 않으며, 연구 목적 이외에는 사용하지 않을 것입니다. 각 문항을 읽고 답하여 주시기 바랍니다.

참여 형태	Group A. 강의식 수업 □ Group B. 과정지향 안내탐구학습 □ Group C. 모바일 증강현실 기반 과정지향 안내탐구학습 □		
학년		성별	(남, 여)

과학 학습 동기

여러분의 과학 수업에 대한 생각과 느낌을 확인하기 위한 설문입니다.
'내가 과학 수업에서…' 를 생각하면서 아래 제시된 문항을 읽은 다음, 각 문항의 오른쪽에 있는 가장 적합한 번호에 표시(∨)하여 주시기 바랍니다.

		전혀 아니다				매우 그렇다
1	내가 학습한 과학은 나의 삶과 관련이 있다.	1	2	3	4	5
2	나는 과학 시험에서 다른 학생들에 비하여 더 잘하고 싶다.	1	2	3	4	5
3	과학 학습이 흥미롭다.	1	2	3	4	5
4	좋은 과학 점수를 받는 것은 나에게 중요하다.	1	2	3	4	5

5	나는 과학 학습에 충분한 노력을 한다.	|1|2|3|4|5|
		전혀 아니다 매우 그렇다
6	나는 과학 학습을 잘하기 위해 전략들을 사용한다.	|1|2|3|4|5|
7	과학 학습은 나중에 내가 좋은 직업을 구하는 데 도움을 줄 것이다.	|1|2|3|4|5|
8	과학에서 우수한 성적을 받는 것은 나에게 중요하다.	|1|2|3|4|5|
9	나는 과학 시험에서 잘 할 것으로 확신한다.	|1|2|3|4|5|
10	과학을 아는 것은 내 직업에 많은 이점을 줄 것이다.	|1|2|3|4|5|
		전혀 아니다 매우 그렇다
11	나는 많은 시간을 과학 학습에 사용한다.	|1|2|3|4|5|
12	과학 학습은 나의 삶을 더 의미 있게 해준다.	|1|2|3|4|5|
13	과학을 이해하는 것은 내 직업에 많은 이점을 줄 것이다.	|1|2|3|4|5|
14	나는 과학 실험을 잘 할 것으로 확신한다.	|1|2|3|4|5|
15	나는 과학 지식과 기술을 익힐 수 있을 것으로 믿는다.	|1|2|3|4|5|
		전혀 아니다 매우 그렇다
16	나는 과학 시험과 실험 수업에 준비를 잘한다.	|1|2|3|4|5|
17	나는 과학의 발견들에 호기심이 있다.	|1|2|3|4|5|
18	나는 과학에서 우수한 성적을 얻을 것으로 믿는다.	|1|2|3|4|5|
19	나는 과학 학습을 즐긴다.	|1|2|3|4|5|
20	나는 과학에서 받을 점수에 대해 생각한다.	|1|2|3|4|5|
		전혀 아니다 매우 그렇다
21	나는 과학을 이해할 수 있을 것으로 확신한다.	|1|2|3|4|5|
22	나는 과학 공부를 열심히 한다.	|1|2|3|4|5|
23	내 미래 직업은 과학과 관련될 것이다.	|1|2|3|4|5|
24	나에게 과학 실험과 실험 수업에 높은 점수를 받는 것은 중요한 문제이다.	|1|2|3|4|5|
25	나는 과학 문제 해결을 내 직업에 사용할 것이다.	|1|2|3|4|5|

학습 몰입감

여러분이 수업을 통해서 얻은 경험과 관련하여 다음 질문에 답하시길 바랍니다. 각 문항은 여러분이 과학 수업을 통해 학습하는 동안 경험했을지도 모르는 생각이나 느낌과 관련이 있습니다. 수업에 대해 느낀 점을 생각해 보고 아래의 문항을 읽은 다음, 각 문항에 오른쪽에 있는 가장 적합한 번호에 표시(V)하시기 바랍니다.

		전혀 아니다				매우 그렇다
1	나는 학습할 때, 내가 가진 능력으로 충분히 학습할 수 있으리라 믿는다.	1	2	3	4	5
2	나는 제시된 학습 상황에서 생각하지 않고 바로 정확한 동작을 취했다.	1	2	3	4	5
3	내가 하고 있는 학습이 잘 통제되고 있는 것을 느꼈다.	1	2	3	4	5
4	나는 학습하는 동안 다른 사람들이 나에 대해 어떻게 생각하고 있는지 신경 쓰지 않았다.	1	2	3	4	5
5	나는 학습하는 동안 즐거웠다.	1	2	3	4	5
6	나의 실력은 학습에서 요구하는 높은 수준과 맞먹는다.	1	2	3	4	5
		전혀 아니다				매우 그렇다
7	학습하는 동안 주변에 무슨 일이 일어나는지 계속 신경 쓰는 것은 학습에 효과가 없다.	1	2	3	4	5
8	나는 학습을 잘 통제할 수 있으리라 생각한다.	1	2	3	4	5
9	학습하는 동안 시간이 평소와는 다르게 흘러가는 것 같았다.	1	2	3	4	5
10	나는 이 학습 방법이 좋아서 다시 경험해 보고 싶다.	1	2	3	4	5
11	나는 학습 목표가 무엇인지 잘 알고 있었다.	1	2	3	4	5
12	나는 내가 학습하는 동안 어떻게 하면 잘할 수 있을지에 대해 좋은 생각이 있었다.	1	2	3	4	5
		전혀 아니다				매우 그렇다
13	학습하는 동안 시간이 멈춘 것 같았다.	1	2	3	4	5
14	나는 제시된 학습 상황에서 생각하지 않고 바로 자발적이고 자동으로 행동했다.	1	2	3	4	5
15	나의 목표는 분명하게 정해져 있었다.	1	2	3	4	5
16	나는 내가 학습을 잘하고 있는지 내가 학습한 방식을 보면 알 수 있다.	1	2	3	4	5
17	나는 나에게 주어진 학습에 완전히 집중했다.	1	2	3	4	5
18	나는 학습하는 동안 다른 사람들이 나에 대해 어떻게 생각하고 있는지 걱정하지 않았다.	1	2	3	4	5

부록 3. POGIL-MAR 활동지 예시(3차시 '화학 결합의 종류')

화학 결합의 종류

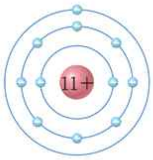
원소의 성질에 따른 화학 결합의 종류에는 어떤 것이 있을까?

학습이유?why?

18족 원소들은 가장 바깥 전자 배치에 전자가 모두 채워져 있어 안정하기 때문에 화학 결합을 하지 않는다. 가장 바깥 전자 껍질에 8개의 전자가 채워지지 않는 원소들은 어떤 방법으로 안정한 전자 배치를 이룰까? 이 활동을 통해서 원소의 성질에 따른 **화학 결합의 종류**를 배울 것이다.

모델1: 이온 결합 AR

1단계 – 이온의 형성



나트륨 원자

나트륨 (양, 음) 이온

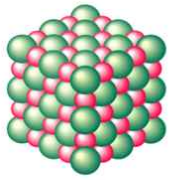
염소 원자

염화 (양, 음) 이온

2단계 – 이온 결합 형성

양이온

음이온



염화나트륨

- 1 -

◉ *이것을 읽자!*

금속 원소와 비금속 원소가 전자를 주고 받아 양이온과 음이온이 되어 서로 결합하는 화학 결합을 **이온 결합**이라고 한다. 자연계에서 이온결합물질은 주로 양이온과 음이온이 규칙적으로 배열된 3차원 구조를 이루고 있다.

1. 모델 1을 참고하여, 금속 나트륨과 비금속 염소를 살펴보자.

[탐색]

a. 금속 나트륨과 비금속 염소의 원자가 전자의 개수는 각각 몇 개인가?

b. 금속 나트륨 원소는 양이온이 되기 쉬운가? 아니면 음이온이 되기 쉬운가? 모델1에서 이온 종류를 표시하고, 그렇게 생각한 이유도 쓰시오.

c. 비금속 염소 원소는 양이온이 되기 쉬운가? 아니면 음이온이 되기 쉬운가? 모델1에서 이온 종류를 표시하고, 그렇게 생각한 이유도 쓰시오.

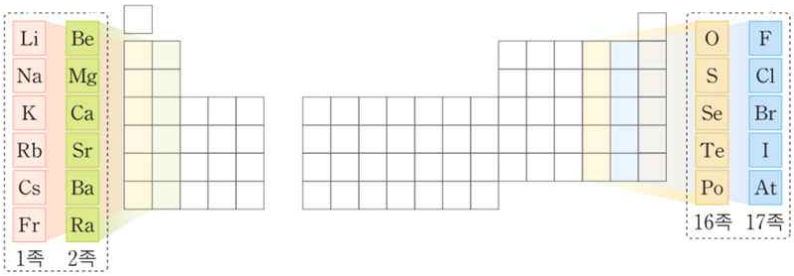
[개념 창안]

d. 모델1의 각 단계에서 원소의 이온 모형을 그리고, 이온 결합 모형을 완성하시오.

[개념 창안]

2. 나트륨 이온과 염화 이온이 결합하여 염화나트륨을 형성하는 원동력은 무엇인가?

모델2. 다양한 종류의 이온 결합



[탐색]
3. 모델 2를 바탕으로 족별 원소들의 공통점과 차이점을 찾아보자.
[탐색]
a. 1족 원소와 2족 원소에 대해 이온의 종류와 전하는 각각 얼마인가? 그렇게 생각한 이유는?

b. 1족 원소(수소 제외)와 2족 원소의 공통점은 무엇인가?

c. 16족 원소와 17족 원소에 대해 이온의 종류와 전하는 각각 얼마인가? 그렇게 생각한 이유는?

d. 16족 원소와 17족 원소의 공통점은 무엇인가?

[개념 창안]
4. 1,2,16,17족 원소들이 이온 결합을 형성할 때, 발견되는 규칙성은 무엇인가?

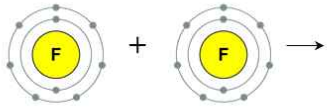
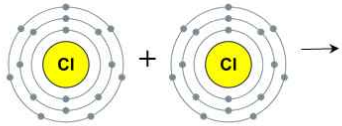
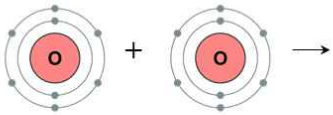
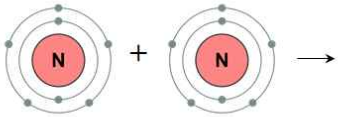
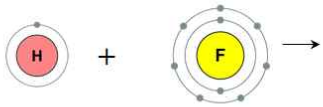
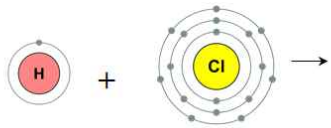
◉ *이것을 읽자!*

이온 결합을 이룰 때 전체적으로 전기적 중성이 되어야 하므로, 양이온의 총 전하량과 음이온의 총 전하량이 같아야 한다. **(양이온의 전하)×(양이온의 수)+(음이온의 전하)×(음이온의 수) = 0**
따라서, 금속 나트륨 원자의 양이온은 Na^+으로, 이 때 전하는 +1, 비금속 염소 원자의 음이온은 Cl^-으로, 이 때 전하는 -1이다. Na^+ 1개당 1개의 Cl^-이 결합되므로 양이온과 음이온이 1:1의 개수비로 결합하여 화학식이 NaCl이다.

[적용-연습]
5. 모델 2를 바탕으로 다음 표의 각 원소에 대하여 가능한 원소 결합의 화학식을 써보자.

원소 A	이온 A	원소 B	이온 B	양이온과 음이온의 개수 비	이온 결합 물질 (화학식)
Na		F			
Na		O			
Li		F			
Li		Cl			
Li		Br			
Li		O			
Mg		F			
Mg		Cl			
Mg		O			
Ca		F			
Ca		Cl			
K		S			

모델3. 공유 결합(이원자 분자)

결합의 종류	공유 결합 모형
(　　)결합	
(　　)결합	
(　　)결합	
(　　)결합	
(　　)결합	
(　　)결합	
(　　)결합	

- 4 -

◉ *이것을 읽자!*

비금속 원소와 비금속 원소 사이에서는 전자를 서로 얻으려는 경향이 있어 이온 결합을 형성하기 어렵다. 따라서 비금속 원소는 각각 전자를 내놓아 전자쌍을 이루고, 그 전자쌍을 공유하여 옥텟 규칙을 만족시키며 안정해진다. 2개 이상의 원자가 전자쌍을 공유하여 형성되는 화학 결합을 **공유 결합**이라고 한다. 한 쌍의 전자쌍을 공유하는 결합을 **단일 결합**, 두 쌍의 전자쌍을 공유하는 결합을 **이중 결합**, 세 쌍의 전자쌍을 공유하는 결합을 **삼중 결합**이라고 한다. 이 때, 공유하는 전자쌍을 **공유 전자쌍**이라고 하며, 최외각 껍질에서 공유되지 않은 전자쌍을 **비공유 전자쌍**이라고 한다.

6. 모델 3의 각 원자에 대하여 다음 물음에 답해보자.

[탐색]

a. 수소(H), 플루오린(F), 염소(Cl), 산소(O), 질소(N)의 원자가 전자는 각각 몇 개인가?

[개념 창안]

b. 모델 3에서 옥텟 규칙을 만족시키면서 각 원소의 공유 결합 모형을 완성하고, 결합의 이유를 설명하시오.

[적용-연습]

c. b.의 공유 결합 모형을 바탕으로 분자의 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍은 각각 몇 쌍인지 찾아보자.

분자	공유 전자쌍의 수	비공유 전자쌍의 수
H_2		
F_2		
Cl_2		
O_2		
N_2		
HF		
HCl		

모델4. 공유 결합(다원자 분자)

분자 종류	분자 이름	원자 종류 (원자 수)	공유 결합 모형
H_2O			
NH_3			
CH_4			
CO_2			

7. 모델 4의 표를 채워보자.

[탐색]

a. 각 분자의 이름을 쓰시오.

b. 분자의 공유 결합에 관여하는 원자의 종류와 그 수를 쓰시오.

c. 분자 형성에 관여하는 원자의 원자가 전자는 각각 몇 개인가?

분자 종류	관여 원자의 원자가 전자
H_2O	
NH_3	
CH_4	
CO_2	

[개념 창안]

d. c를 참고로 각 원자의 보어 모형을 이용하여 공유 결합 모형을 완성하고, 결합의 이유를 설명하시오.

[적용-연습]

8. 각각의 분자에 존재하는 중심 원자를 찾고, 중심 원자의 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍의 수를 쓰시오.

분자 종류	중심 원자	중심 원자 공유 전자쌍	중심 원자 비공유 전자쌍
H_2O			
NH_3			
CH_4			
CO_2			

[적용]

확장 질문

9. 이온 결합 물질은 분자인가?아닌가? 그렇게 생각한 이유를 쓰시오.

10. 금속 알루미늄(Al) 원자와 비금속 산소(O) 원자에 대하여, 이온 결합 물질의 화학식은 무엇인가?

11. 원자가 전자가 1개인 원소와 비금속 사이에 형성되는 결합의 종류는 무엇인가?

12. 유리관 양쪽에 진한 암모니아수와 진한 염산을 묻힌 솜을 넣으면, 잠시 후 암모니아와 염화수소가 만나 흰 연기가 발생한다. 발생한 흰 연기는 염화암모늄으로 확인되었다. 염화암모늄(NH_4Cl)은 어떤 결합을 하고 있는가?

부록 4. SS 활동지 예시(4차시 '분자구조')

분자 구조

VSEPR 이론을 통해 분자의 형태를 어떻게 예측할까?

학습이유?why?

분자의 구조는 분자 내 원자들의 배열로 결정된다. 종이에 분자에 대한 루이스 구조식을 그리면 원자들과 전자쌍의 배치가 표현되지만, 2차원 평면으로 제시되기 때문에 실제 분자 구조를 나타내기 어렵다. 분자는 2차원 평면이 아닌 **3차원**이므로 분자의 구조를 종이에 표현하는 것은 쉽지 않다. 분자의 구조에 의해 물질의 물리적, 화학적 성질이 결정되므로 실제 구조를 아는 것을 중요하다. 이 활동에서 우리는 **분자 구조**를 어떻게 예측하는지를 배울 것이다.

모델1: 풍선으로 나타낸 분자 구조

1. 모델 1의 풍선이 위와 같은 모양으로 배열되는 까닭은 무엇인가?
–

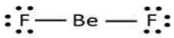
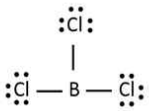
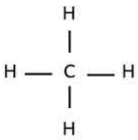
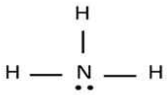
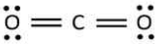
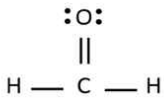
2. 모델 1의 풍선 배열을 참고하여 공유 결합으로 이루어진 분자 구조를 결정한다면, 풍선은 무엇에 비유될 수 있는가?
–

3. 풍선의 개수에 따라 전체적인 모양은 어떻게 되는가?

4. 묶여 있는 여러 개의 풍선 중에서 풍선 하나의 크기가 커지면 모양은 어떻게 바뀔지 상의해보자.(이 질문에 대한 합의에 도달해야 한다.)
–

- 1 -

모델2. 루이스 구조

루이스 구조	전자 영역	3D 분자 구조
1. BeF_2 	BeF_2 2 전자 영역 공유 전자쌍 : 2 비공유 전자쌍 : 0 (중심원자)	
2. BCl_3 	BCl_3 3 전자 영역 공유 전자쌍 : 3 비공유 전자쌍 : 0 (중심원자)	
3. CH_4 	CH_4 4 전자 영역 공유 전자쌍 : 4 비공유 전자쌍 : 0 (중심원자)	
4. NH_3 	NH_3 4 전자 영역 공유 전자쌍 : 3 비공유 전자쌍 : 1 (중심원자)	
5. H_2O	H_2O 4 전자 영역 공유 전자쌍 : 2 비공유 전자쌍 : 2 (중심원자)	
6. CO_2 	CO_2 2 전자 영역 공유 전자쌍 : 4 비공유 전자쌍 : 0 (중심원자)	
7. CH_2O 	CH_2O 3 전자 영역 공유 전자쌍 : 4 비공유 전자쌍 : 0 (중심원자)	

1. 모델 2에서 '전자 영역'이라는 단어는 무엇을 의미하는가?

2. 모델 2에서 어떤 분자가 4개의 전자 영역을 가지고 있는가? 확인한 분자에 대하여 루이스 구조에서 4개의 전자 영역을 가진 분자에 원 또는 강조 표시하시오.

3. 모델 2에서 어떤 분자가 3개의 전자 영역을 가지고 있는가? 확인한 분자에 대하여 루이스 구조에서 3개의 전자 영역을 가진 분자에 원 또는 강조 표시하시오.

4. 모델 2에서 어떤 분자가 2개의 전자 영역을 가지고 있는가? 확인한 분자에 대하여 루이스 구조에서 2개의 전자 영역을 가진 분자에 원 또는 강조 표시하시오.

5. 루이스 구조에서 전자 영역의 수를 결정할 때 무엇을 고려해야 하는가? 다음 중에서 고르시오.
모델 2에서 답변에 뒷받침할 증거를 함께 찾으시오.

a. 중심 원자에 대한 결합
b. 중심 원자의 비공유 전자쌍
c. 분자의 총 원자수
d. 주변 원자의 비공유 전자쌍

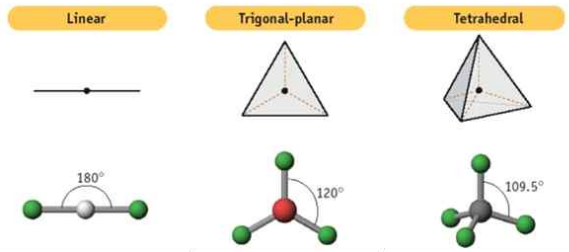
6. 루이스 구조에서 전자 영역의 수를 결정할 때, 이중 결합을 하나의 영역으로 세는가, 두 개의 영역으로 세는가? 모델 2에서 답변에 뒷받침할 증거를 찾으십시오.

7. 모델 1과 모델 2를 바탕으로 ( ) 안에 들어갈 알맞은 말을 골라보자.
a. 중심 원자를 둘러싼 전자 영역은 가능한 한 서로 (가까이, 멀리) 할 것이다.
b. 같은 원자에 있는 한 쌍의 공유 전자쌍과 한 쌍의 비공유 전자쌍은 서로 (밀어낼 것이다, 잡아당길 것이다).

◉ *이것을 읽자!*

전자쌍 반발(VSEPR) 이론은 화학자 시지윅이 '원자가 전자의 전자쌍들은 서로 반발하므로, 가능한 서로 멀리 떨어지도록 배치된다'라고 제안하였다. 중심 원자를 둘러싸고 있는 전자쌍끼리는 서로 정전기적 반발력이 작용하므로 반발력을 최소화하기 위해 가능한 한 멀리 떨어져 있으려고 한다는 이론이다. VSEPR 이론은 분자의 모양을 예측하는 데 도움이 된다. 이 때, **결합각**은 분자에서 중심 원자의 핵과 중심 원자와 결합한 두 원자의 핵을 연결한 선이 이루는 각도이다.

8. 중심 원자에 공유 전자쌍만 있는 경우, 전자쌍 반발 이론에 대하여 3차원 분자 구조를 나타낸 표이다. 결합각과 가능한 분자의 예를 화학식으로 써보고, 해당 구조를 모델 2에 직접 스케치해보자.

전자 영역	2	3	4
3차원 분자 구조			
분자 구조 이름	직선형	평면삼각형	정사면체형
가능한 결합 종류	(단일결합2) (이중결합2)	(단일결합3) (단일결합2, 이중결합1)	(단일결합4)
결합각			
분자의 예(화학식)			

9. 모델 2에서 나타난 3개의 분자 CH_4, NH_3, H_2O는 각각 4개의 전자 영역을 가진 분자이다.

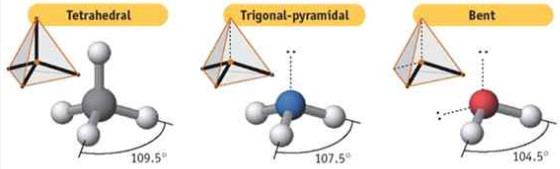
a. 이 3개의 분자의 중심 원자에 존재하는 전자쌍끼리의 상호작용의 종류는 무엇이 있는가?

b. 상호작용 간 크기를 비교하면 어떻게 되는가? 이에 대한 근거는 무엇인가?

c. 중심 원자에 대한 비공유 전자쌍이 증가할수록 결합각의 크기는 어떻게 되는가?

–

d. 중심 원자에 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍이 존재하는 경우, 전자쌍 반발 이론에 대하여 3차원 분자 구조를 나타낸 표이다. 결합각과 가능한 분자의 예를 화학식으로 써보고, 해당 구조를 모델 2에 직접 스케치해보자.

전자 영역	4	4	4
공유 전자쌍 수	4	3	2
비공유 전자쌍 수	0	1	2
3차원 분자 구조			
분자 구조 이름	정사면체	삼각뿔	굽은 형
결합각			
분자의 예(화학식)			

10. 어떤 학생이 PH_3의 분자 구조를 루이스 구조를 그리지 않고, 인 원자에 수소 원소 3개가 결합되어 있어 구조가 평면 삼각형이라고 언급하였다.

a. PH_3의 분자 구조에 대한 학생의 답이 옳은가? 판단에 대한 근거를 들어 설명하시오.

b. 분자의 모양을 식별하기 전에 분자에 대한 루이스 구조를 그리는 것이 중요한 이유는 무엇인가?

모델4. 원소 카드로 가능한 분자 찾기

H	Be	B	C
6 장	1 장	1 장	2 장
N	O	F	Cl
2 장	4 장	4 장	4 장

선택한 원자 종류	분자식 (분자이름)	루이스 구조식	3차원 분자 구조	분자 구조 이름 (결합각)

11. 모델 4에서 선택한 원소 카드에 대하여 가능한 분자식을 4개를 찾아 루이스 구조식, 3차원 분자 구조, 분자 구조의 이름, 결합각을 작성하시.

확장 질문

12. 탄화수소의 대표적 종류인 에테인(C_2H_6), 에텐(C_2H_4), 에타인(C_2H_2)에 대하여 3차원 분자 구조를 표현하시오.

13. 중심 원자가 2개인 메탄올(CH_3OH), 아세트산(CH_3CO_2H)에 대하여 3차원 분자 구조를 표현하시오.

14. 오존(O_3)의 구조를 예측해 보자.

a. 오존의 루이스 구조를 그리시오.

b. 오존의 분자 구조는 무엇인지 표현하시오.

c. 물 분자와 오존 분자의 결합각을 비교하시오.

15. 모델 4의 원소 카드를 이용하여 분자 구조를 가능한 한 모두 찾아서 표현해보자.

분자식	분자 구조

(다음에 계속)

분자식 (분자이름)	분자 구조

분자식 (분자이름)	분자 구조

분자식 (분자이름)	분자 구조

분자식 (분자이름)	분자 구조

(다음에 계속)

부록 5. RS 활동지 예시(4차시 '분자구조')

분자 구조

VSEPR 이론을 통해 분자의 형태를 어떻게 예측할까?

학습이유?why?

분자의 구조는 분자 내 원자들의 배열로 결정된다. 종이에 분자에 대한 루이스 구조식을 그리면 원자들과 전자쌍의 배치가 표현되지만, 2차원 평면으로 제시되기 때문에 실제 분자 구조를 나타내기 어렵다. 분자는 2차원 평면이 아닌 **3차원**이므로 분자의 구조를 종이에 표현하는 것은 쉽지 않다. 분자의 구조에 의해 물질의 물리적, 화학적 성질이 결정되므로 실제 구조를 아는 것을 중요하다. 이 활동에서 우리는 **분자 구조**를 어떻게 예측하는지를 배울 것이다.

모델1: 풍선으로 나타낸 분자 구조

1. 모델 1의 풍선이 위와 같은 모양으로 배열되는 까닭은 무엇인가?
–

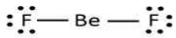
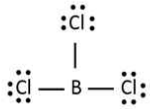
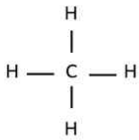
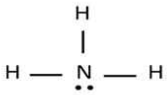
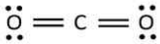
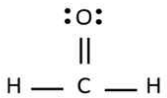
2. 모델 1의 풍선 배열을 참고하여 공유 결합으로 이루어진 분자 구조를 결정한다면, 풍선은 무엇에 비유될 수 있는가?
–

3. 풍선의 개수에 따라 전체적인 모양은 어떻게 되는가?

4. 묶여 있는 여러 개의 풍선 중에서 풍선 하나의 크기가 커지면 모양은 어떻게 바뀔지 상의해보자.(이 질문에 대한 합의에 도달해야 한다.)
–

- 1 -

모델2. 루이스 구조

루이스 구조	전자 영역	3D 분자 구조
1. BeF_2 	BeF_2 2 전자 영역 공유 전자쌍 : 2 비공유 전자쌍 : 0 (중심원자)	
2. BCl_3 	BCl_3 3 전자 영역 공유 전자쌍 : 3 비공유 전자쌍 : 0 (중심원자)	
3. CH_4 	CH_4 4 전자 영역 공유 전자쌍 : 4 비공유 전자쌍 : 0 (중심원자)	
4. NH_3 	NH_3 4 전자 영역 공유 전자쌍 : 3 비공유 전자쌍 : 1 (중심원자)	
5. H_2O	H_2O 4 전자 영역 공유 전자쌍 : 2 비공유 전자쌍 : 2 (중심원자)	
6. CO_2 	CO_2 2 전자 영역 공유 전자쌍 : 4 비공유 전자쌍 : 0 (중심원자)	
7. CH_2O 	CH_2O 3 전자 영역 공유 전자쌍 : 4 비공유 전자쌍 : 0 (중심원자)	

- 2 -

1. 모델 2에서 '전자 영역'이라는 단어는 무엇을 의미하는가?

2. 모델 2에서 어떤 분자가 4개의 전자 영역을 가지고 있는가? 확인한 분자에 대하여 루이스 구조에서 4개의 전자 영역을 가진 분자에 원 또는 강조 표시하시오.

3. 모델 2에서 어떤 분자가 3개의 전자 영역을 가지고 있는가? 확인한 분자에 대하여 루이스 구조에서 3개의 전자 영역을 가진 분자에 원 또는 강조 표시하시오.

4. 모델 2에서 어떤 분자가 2개의 전자 영역을 가지고 있는가? 확인한 분자에 대하여 루이스 구조에서 2개의 전자 영역을 가진 분자에 원 또는 강조 표시하시오.

5. 루이스 구조에서 전자 영역의 수를 결정할 때 무엇을 고려해야 하는가? 다음 중에서 고르시오.
모델 2에서 답변에 뒷받침할 증거를 함께 찾으시오.

a. 중심 원자에 대한 결합
b. 중심 원자의 비공유 전자쌍
c. 분자의 총 원자수
d. 주변 원자의 비공유 전자쌍

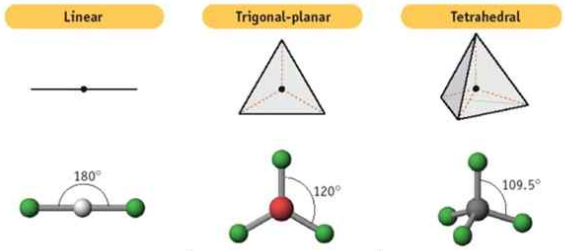
6. 루이스 구조에서 전자 영역의 수를 결정할 때, 이중 결합을 하나의 영역으로 세는가, 두 개의 영역으로 세는가? 모델 2에서 답변에 뒷받침할 증거를 찾으십시오.

7. 모델 1과 모델 2를 바탕으로 ( ) 안에 들어갈 알맞은 말을 골라보자.
a. 중심 원자를 둘러싼 전자 영역은 가능한 한 서로 (가까이, 멀리) 할 것이다.
b. 같은 원자에 있는 한 쌍의 공유 전자쌍과 한 쌍의 비공유 전자쌍은 서로 (밀어낼 것이다, 잡아당길 것이다).

◉ *이것을 읽자!*

탐색(4-5p)	**전자쌍 반발(VSEPR) 이론은** (　　)이다. VSEPR 이론은 분자의 모양을 예측하는 데 도움이 된다. 이 때, **결합각은** (　　)이다.

8. 중심 원자에 공유 전자쌍만 있는 경우, 전자쌍 반발 이론에 대하여 3차원 분자 구조를 나타낸 표이다. 결합각과 가능한 분자의 예를 화학식으로 써보고, 해당 구조를 모델 2에 직접 스케치해보자.

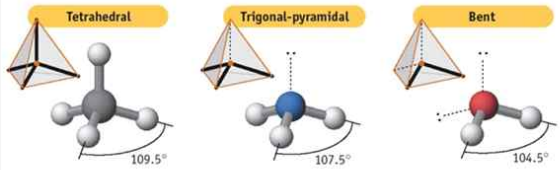
전자 영역	2	3	4
3차원 분자 구조			
분자 구조 이름	직선형	평면삼각형	정사면체형
가능한 결합 종류	(단일결합2) (이중결합2)	(단일결합3) (단일결합2, 이중결합1)	(단일결합4)
결합각			
분자의 예(화학식)			

9. 모델 2에서 나타난 3개의 분자 CH_4, NH_3, H_2O는 각각 4개의 전자 영역을 가진 분자이다.
a. 이 3개의 분자의 중심 원자에 존재하는 전자쌍끼리의 상호작용의 종류는 무엇이 있는가?

b. 상호작용 간 크기를 비교하면 어떻게 되는가? 이에 대한 근거는 무엇인가?

c. 중심 원자에 대한 비공유 전자쌍이 증가할수록 결합각의 크기는 어떻게 되는가?
–

d. 중심 원자에 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍이 존재하는 경우, 전자쌍 반발 이론에 대하여 3차원 분자 구조를 나타낸 표이다. 결합각과 가능한 분자의 예를 화학식으로 써보고, 해당 구조를 모델 2에 직접 스케치해보자.

전자 영역	4	4	4
공유 전자쌍 수	4	3	2
비공유 전자쌍 수	0	1	2
3차원 분자 구조			
분자 구조 이름			
결합각			
분자의 예(화학식)			

10. 어떤 학생이 PH_3의 분자 구조를 루이스 구조를 그리지 않고, 인 원자에 수소 원소 3개가 결합되어 있어 구조가 평면 삼각형이라고 언급하였다.

a. PH_3의 분자 구조에 대한 학생의 답이 옳은가? 판단에 대한 근거를 들어 설명하시오.

b. 분자의 모양을 식별하기 전에 분자에 대한 루이스 구조를 그리는 것이 중요한 이유는 무엇인가?

모델4. 원소 카드로 가능한 분자 찾기

탐색(p6-8)

H	Be	B	C
6 장	1 장	1 장	2 장

N	O	F	Cl
2 장	4 장	4 장	4 장

선택한 원자 종류	분자식 (분자이름)	루이스 구조식	3차원 분자 구조	분자 구조 이름 (결합각)

- 6 -

11. 모델 4에서 선택한 원소 카드에 대하여 가능한 분자식을 4개를 찾아 루이스 구조식, 3차원 분자 구조, 분자 구조의 이름, 결합각을 작성하시오.

확장 질문

12. 탄화수소의 대표적 종류인 에테인(C_2H_6), 에텐(C_2H_4), 에타인(C_2H_2)에 대하여 3차원 분자 구조를 표현하시오.

13. 중심 원자가 2개인 메탄올(CH_3OH), 아세트산(CH_3COOH)에 대하여 3차원 분자 구조를 표현하시오.

14. 오존(O_3)의 구조를 예측해 보자.

a. 오존의 루이스 구조를 그리시오.

b. 오존의 분자 구조는 무엇인지 표현하시오.

c. 물 분자와 오존 분자의 결합각을 비교하시오.

15. 모델 4의 원소 카드를 이용하여 분자 구조를 가능한 한 모두 찾아서 표현해보자.

분자식	분자 구조

(다음에 계속)

- 7 -

분자식 (분자이름)	분자 구조

분자식 (분자이름)	분자 구조

분자식 (분자이름)	분자 구조

분자식 (분자이름)	분자 구조

(다음에 계속)

부록 6. 자기점검표

< 자기점검표 > - 분자 구조

질문을 읽고 스스로 답하며, 활동지를 완성하세요.

● 학습계획에 따른 시간 조정은 어떻게 할 것인가?

	단계	과제(문제) 해결을 위해 활용하는 단계별 질문
1단계	문제확인	• 문제의 목적이 무엇인가? • 문제가 요구하는 것이 무엇인가? • 문제해결에 필요한 정보는 무엇인가?
2단계	정보검색	• 문제해결과 관련 있는 핵심단어를 생각하고 어떤 검색어를 사용할지 정했는가? • 현재 상황에서 알아야 할 내용과 정보는 어떤 것이 있는가?
3단계	정보탐색	• 문제해결과 관련 있는 정보를 찾았는가?
4단계	정보사용	• 주어진 정보를 해석할 수 있는가? • 주어진 정보를 자신의 말로 바꾸어 설명할 수 있는가? • 과제수행에 필요한 전략이 무엇인지 고려하고 있는가?
5단계	조직화	• 관련 있는 정보를 엮어 문제해결의 큰 틀을 만들어내었는가? • 다양한 근거와 이유를 들어 자신만의 독창적인 틀을 완성하였는가? • 정보의 참고문헌을 밝혔는가?

부록 7. 성찰일지

< 성찰일지 >

학습을 통해 배운 점이나 느낀 점(자신의 반성 및 다짐)을 써보세요.

Abstract

Development and Application of Mobile Augmented Reality Application for Learning Chemical Bonding

Young-Eun Jeon

Department of Science Education, Major in Chemistry

The Graduate School

Seoul National University

The purpose of this study was to develop a chemical bonding augmented reality application that helps the understanding of chemical bonding, and to find out what kind of educational meaning and implications it have by applying it to the educational field by combining it with teaching and learning methods and scaffolding. In order to develop a chemical bonding augmented reality app, the key issues of development were selected from the educational affordance perspective, and the app was designed reflecting the cognitive, sensory, and physical affordance. And then an expert evaluation was conducted on app by field teachers, and usability attitude of high school students was investigated. As a field application study, a teaching and learning method that combines augmented reality learning tools and process oriented guided inquiry learning methods

was proposed, and we analyzed what changes occurred in academic achievement, learning motivation, and learning flow during four sessions of learning related to chemical bonding of integrated science subject in the first grade of high school. In addition, an augmented reality based teaching and learning method according to the type of scaffolding was proposed to analyze what changes occurred in academic achievement, learning motivation, and learning flow during five sessions of learning related to chemical bonding of Chemistry I subject.

The study results are summarized as follows. First, through the results of the usability attitude survey of the developed chemical bonding augmented reality application, we confirmed that the perceived enjoyment of using the app had a positive effect on the attitude toward using, and the perceived usefulness, the attitude toward using and the perceived enjoyment were reflected in the intention of using. The results of the study suggest that the developed augmented reality app can be a learning tool that stimulates understanding and interest in learning.

Second, the proposed teaching and learning method showed a significant improvement in science academic achievement of the cognitive domain, learning motivation and learning flow of the affective domain. In addition, the analysis of sub-factors of learning motivation showed significant improvement in intrinsic motivation, career motivation, self-determination, self-efficacy, and grade motivation, and the analysis of sub-factors of learning flow showed significant improvement in clear goals, unambiguous feedback, action-awareness merging, sense of control, autotelic experience. Moreover, not only did the proposed teaching and learning method improve the academic achievement of the low-level students, but also

there was the greatest improvement in their intrinsic motivation. These results show that there is synergy between the effect of the AR learning tool and the positive aspects of the teaching and learning method adopted in this study. As such, this study is expected to help to overcome the current increase in the proportion of students who do not have basic academic ability in science subjects, and to restore the enjoyment of learning intrinsically through improvement of learning motivation and learning flow.

Third, the effect of scaffolding was different according to the level of prior academic achievement. In the case of academic achievement of the high-level students, augmented reality based teaching and learning method with reflective scaffolding showed significant improvement in academic achievement and learning flow compared to the augmented reality based teaching and learning method with supportive scaffolding. On the other hand, in the case of academic achievement of the low-level students, augmented reality based teaching and learning method with supportive scaffolding showed significant improvement in academic achievement, learning motivation, and learning flow compared to the augmented reality based teaching and learning method with reflective scaffolding. This study is meaningful in that the application of reflective scaffolding led to improvement in the academic achievement and learning flow of high-level students, and the application of supportive scaffolding led to improvement in cognitive and affective domain of low-level students.

This study confirmed that the teaching and learning methods incorporating augmented reality learning tools helped students understand chemical bonding and brought improvement in learning motivation and learning flow. The results of this study are

meaningful in that it suggests the direction that science education should pursue by developing advanced science and technology learning tools for future generation education and applying them to school. Mobile augmented reality learning tool, which has the advantage of exceeding the constraints of time and space, will not only be used in classrooms, but also elsewhere out of classrooms regardless of time. In the future, we expect that many more learning tools using augmented reality to help understanding of science learning will be developed, and also the teaching and learning methods to help them will be designed together with learning tools.

keywords : Augmented Reality, Chemical Bonding,
Process Oriented Guided Inquiry Learning,
Supportive Scaffolding, Reflective Scaffolding
Student Number : 2016-35677