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

중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 Learning Progression에 기반한 교수-학습 전략 연구

A Study of Instruction Strategy Based on Learning Progression for Modeling in Particulate Nature of Matter

2022년 2월

서울대학교 대학원

과학교육과 화학전공

고 은 정

중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 Learning Progression에 기반한 교수-학습 전략 연구

A Study of Instruction Strategy Based on Learning Progression for Modeling in Particulate Nature of Matter

지도교수 정 대 홍

이 논문을 교육학박사 학위논문으로 제출함
2021년 11월

서울대학교 대학원
과학교육과 화학전공
고 은 정

고은정의 박사 학위논문을 인준함
2022년 1월

위 원 장 홍 훈 기 (인)

부위원장 정 대 홍 (인)

위 원 박 종 석 (인)

위 원 남 정 희 (인)

위 원 손 정 우 (인)

중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 Learning Progression에 기반한 교수-학습 전략 연구

서울대학교 사범대학 과학교육과 화학전공

고 은 정

과학 교육에서 학습자가 스스로 모델을 구성하는 '모델링'이 중요한 교수-학습 방법으로 주목을 받고 있으며, 모델링을 활용한 과학 수업을 구체화하기 위한 다양한 연구가 시도되고 있다. 이러한 경향에 따라 본 연구는 물질의 입자성에 대한 학습에서 모델링 Learning Progression에 기반한 교수-학습 전략을 개발하고, 이 전략이 학생들의 개념 성취, 모델에 대한 인식, 모바일 기기를 활용한 수업에 대한 인식에 미치는 영향을 알아보는 것을 목적으로 하였다.

첫 번째 연구에서는 학생의 입자성 개념과 표상 수준을 분석하고, 국내외 모델링 LP 연구와 현 과학과 교육과정 해석을 통해 모델링 LP를 이론적으로 제시하였다. 먼저 중·고등학교 학생들에게 물질의 입자성에 대한 LP 수준을 조사한 결과, 높은 수준 문항의 정답을 고른 빈도수는 낮은 수준의 문항을 모두 정답으로 고른 경우에 높았으며 이는 학생들이 본 연구에서 제시한 LP 경로대로 이해 과정을 정교화시킨다는 것을 의미하였다. 하지만, 대부분 학생들의 개념이 초등학교 수준의 거시적 특성 단계에 머물러 있었

으며, 표상은 고등학생들도 중학교 수준인 미시적 표상 단계에 있었다. 이는 하위 수준의 입자성 개념과 표상 이해도 없이 높은 수준의 개념과 표상을 학습하는 것으로, 불완전한 이해과정이라 할 수 있다. 주요 원인은 과학적 모델의 본질, 관련 선지식 및 미시적 입자 표상에 대한 이해가 부족하기 때문인 것으로 정리된다. 특히 미시적 입자 표상의 이해 부족은 학생들에게 수업을 진행하면서 복수의 표상을 제시하는 수준으로만 교수-학습이 진행되어서는 안 된다는 것을 의미한다. 교과서나 자료로 접한 여러 미시적 입자 표상을 텍스트로 제시된 개념과 연관지어 이해하기 위해서는 학생들이 직접 모델을 구성하는 과정을 경험하는 모델링 교수-학습으로 이 부족한 부분을 보완해야 한다. 이에 모델링 LP의 선행연구를 분석하여 모델링 LP를 제시하였다. 현재 모델링 LP과 관련한 선행 연구들은 공통적으로 과학 내용을 고려하지 않았고, 주로 모델링에 대한 '인식'에 초점이 맞춰져 있었으며, '가설 단계'의 LP라는 세 가지 특징을 보였다. 또 현재 우리나라 과학과 교육과정 핵심성취기준에는 모델링에 대해 도달 가능한 목표가 수준별로 나타나 있지 않았다. 이에 따라 본 연구에서는 첫째, 과학 내용과 연계된 모델링 LP 제시, 둘째, 인식 조사에서 벗어나 모델링 활동 중심의 LP 제시, 셋째, 평가를 통한 LP 검증을 목표로 하여 모델링에 대한 하위요소를 '표상', '근거', '설명'으로 선정하고 세부 수준을 3단계로 설정하였다. 물질의 입자성을 질적으로 설명하기 위해 꼭 필요한 하위 요소인 '표상'의 LP에서는, 거시적 표상을 수준 1, 미시적 입자 표상은 수준 2, 복합적 표상을 수준 3으로 제시하였으며, 자신의 모델을 지지하기 위한 '근거'의 LP에서는 근거의 부족을 수준 1, 충분하지 못한 권위적 근거를 수준 2, 충분한 권위적 근거 또는 경험적 근거를 수준 3으로 나타내었다. 모델의 '설명' LP에서는, 모델과 실제 현상 사이의 관계를 설명하지 못하는 단계

를 수준 1, 모호한 감각에 의존한 설명과 예측은 수준 2, 모델과 실제 현상과의 인과관계를 적절히 설명하는 단계를 수준 3으로 제시하였다.

두 번째로, 이론적으로 제시한 모델링 LP의 수업 적용을 위해 모델링 LP 기반의 교수-학습 전략을 제안하였다. '핵심 개념 이해하기', '모델 경험하기', '모델 설계하기' 및 '모델 평가·수정하기'의 4단계로 제안하고 각 단계에서의 학습 내용과 모델링 활동 과제를 제시하였다. 더불어 효과적인 모델링 활동 수업을 위해 모바일 기기를 활용한 활동 도구를 개발하였다.

세 번째로, 개발한 교수-학습 전략을 실제 과학 수업에 적용하여 그 효과를 분석하였다. 연구 결과, 모델링 LP 기반의 수업을 한 집단은 교과서에 따른 수업 집단에 비해 과학적 모델에 대한 긍정적 인식 정도가 전반적으로 증가하였다. 모델의 다양성, 모델의 설명적 도구, 모델의 유용성, 모델의 잠정성 영역에서 인식이 개선되었는데, 이는 스스로 근거를 찾고 표상으로 나타내고 현상을 설명하는 모델링 과정을 연습한 결과, 모델의 본성, 유용성, 모델의 목적, 모델의 이점과 제한점 등을 이해한 것으로 분석된다. 개념 성취도 검사를 통해 통제 집단에 비해 모델링 LP 기반의 수업을 한 집단의 개념 이해가 효과적인 것으로 나타났다. 또한 학생들은 모델링 활동을 수행하며 학습 내용을 성취함과 동시에 오개념을 수정하는 과정을 거쳤다. 이러한 수정 과정에는 동료 친구들과의 모델링 활동 내용 공유와 교사의 피드백이 작용한 것으로 분석된다. 마지막으로 학생들의 모바일 기기 활용 학습에 대한 인식을 조사한 결과, 수업 처치가 학생의 모바일 기기에 대한 선호도, 학습 흥미도, 학습 유용도 등에 효과적으로 작용했다.

본 연구는 학생의 이해 수준을 탐색하고, LP 설계를 통해 교수-

학습을 실행하는 연속적인 연구를 통해 '물질의 입자성'에 대한 학습에 있어 모델링 교수-학습 전략을 제시했다는 측면에서 의의가 있다. 추후로는 다양한 학습자와 학습의 맥락, 다양한 주제를 기반으로 본 연구의 결과를 확장하고, 교사 지원 방안을 탐색하는 추가적인 연구가 필요할 것이다.

주요어 : 물질의 입자성, 모델링, Learning Progression, 모바일 기기
학 번 : 2013-30448

목 차

Ⅰ. 서 론 ····· 1

1. 연구의 필요성 ····· 1

2. 연구 목적 및 주제 ····· 6

3. 연구의 개요 ····· 8

4. 용어의 정의 ····· 10

5. 연구의 제한점 ····· 12

Ⅱ. 이론적 배경 ····· 13

1. 과학교육에서 모델과 모델링 ····· 13

가. 과학적 모델(model) ····· 13

나. 물질의 입자성과 미시적 표상 모델 ····· 16

다. 과학 수업에서 모델링(modeling) ····· 17

라. 모델링을 활용한 과학수업에 대한 선행연구 ····· 19

2. Learning Progression (이하 LP) ····· 21

가. LP의 의미 ····· 21

나. 물질의 입자성에 대한 개념과 표상 LP ····· 22

3. 모바일 기기와 모델링 수업 ····· 26

가. 디지털 리터러시와 과학수업 ····· 26
나. 모바일 기기를 과학수업에 활용한 연구 ····· 27
다. 모델링 수업에서 모바일 기기의 역할 ····· 30

Ⅲ. 연구 방법 ····· 33

1. 전체적인 연구 절차 ····· 33
2. [연구 1]의 연구 방법 ····· 34
3. [연구 2]의 연구 방법 ····· 44
4. [연구 3]의 연구 방법 ····· 49

Ⅳ. 연구 결과 ····· 58

연구 1. 중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 LP의 개발 ····· 58
가. 물질의 입자성에 대한 개념과 표상 LP 연구 ····· 58
나. 모델링 LP에 대한 국내외 연구 특징 ····· 74
다. 중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 LP의 개발 ····· 77
연구 2. 중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 LP 기반 교수-학습 전략 개발 ····· 95
가. 모델링 LP 기반 교수-학습 전략의 개발 ····· 95
나. 모바일 기기 활용 모델링 활동 도구 개발 ····· 102

연구 3. 중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 LP 기반 교수-학습 전략의 효과 분석 ····· 111

가. 과학적 모델에 대한 인식에 미치는 영향 ····· 111

나. 개념 이해에 미치는 영향 ····· 116

다. 모바일 기기 활용 학습에 대한 인식에 미치는 영향 ····· 122

라. 논의 ····· 127

Ⅴ. 결론 및 제언 ····· 129

1. 결론 ····· 129

2. 제언 ····· 134

참 고 문 헌 ····· 137

부록 ····· 166

Abstract ····· 179

표 목 차

<표 Ⅱ-1 > 미시적 입자 표상 ····· 16

<표 Ⅱ-2> '물질의 입자성'에 대한 개념과 표상 LP ····· 23

<표 Ⅲ-1> 모델링의 LP 연구를 위해 검토한 주요 문헌 목록 ····· 39

<표 Ⅲ-2> 모델링 활동 과제의 구성 ····· 46

<표 Ⅲ-3> 모델링 활동 도구의 학습 메뉴 ····· 47

<표 Ⅲ-4> 모델링 활동 도구의 구성 ····· 48

<표 Ⅲ-5> 연구 대상 ····· 50

<표 Ⅲ-6> 모바일 기기를 활용한 모델링 수업 과정 예시 ····· 52

<표 Ⅲ-7> 사전 평가 문항 ····· 53

<표 Ⅲ-8> 사후 평가 문항 예시 ····· 56

<표 Ⅳ-1> '물질의 입자성' 개념에 대한 LP ····· 59

<표 Ⅳ-2> '물질의 입자성' 표상에 대한 LP ····· 65

<표 Ⅳ-3> '표상'의 LP ····· 83

<표 Ⅳ-4> '분자 운동과 상태 변화' 개념 LP ····· 84

<표 Ⅳ-5> '근거'의 LP ····· 87

<표 Ⅳ-6> '설명'의 LP ····· 89

<표 Ⅳ-7> 2015 과학과 교육과정 중학교 '물질의 입자성' 영역의 성취기

준 세부수준 ····· 90

<표 Ⅳ-8> '모델링' LP ····· 92

<표 Ⅳ-9> 핵심 개념과 교수-학습 내용 ····· 97

<표 Ⅳ-10> 모델링 활동 과제 ····· 99

<표 Ⅳ-11> 모델링 활동 도구의 사용자 테스트 결과 ····· 110

<표 Ⅳ-12> 과학적 모델에 대한 인식 ····· 111

<표 Ⅳ-13> 과학적 모델에 대한 인식 범주별 평균, 표준 편차, 교정 평균과 표준오차 ····· 114

<표 Ⅳ-14> 과학적 모델에 대한 인식 범주별 공분산분석 결과 ····· 115

<표 Ⅳ-15> 사전평가 t-검증 결과 ····· 117

<표 Ⅳ-16> 사후 개념 성취도 검사의 t-검증 결과 ····· 119

<표 Ⅳ-17> 모바일 기기 활용 수업의 경험 ····· 123

<표 Ⅳ-18> 모바일 기기 활용 수업에 대한 사전 인식 ····· 123

<표 Ⅳ-19> 모바일 기기 활용 수업에 대한 인식 ····· 124

<표 Ⅳ-20> 모바일 기기 활용 수업을 선호하는 이유 ····· 125

그 림 목 차

<그림 Ⅰ-1> 연구의 흐름 ····· 8

<그림 Ⅱ-1> 비유와 과학적 모델에 의한 추론 과정 ····· 14

<그림 Ⅲ-1> 전체 연구 절차 ····· 33

<그림 Ⅲ-2> 연구 1의 연구 절차 ····· 34

<그림 Ⅲ-3> 학생 개념 답안 수준 지정 예시 ····· 37

<그림 Ⅲ-4> 학생 표상 답안 수준 지정 예시 ····· 38

<그림 Ⅲ-5> 모델링 LP 구성 절차 ····· 43

<그림 Ⅲ-6> 물질의 입자성 영역의 모델링 문항 ····· 44

<그림 Ⅲ-7> 연구 3의 연구 절차 ····· 51

<그림 Ⅳ-1> 원자 개념에 대한 LP ····· 61

<그림 Ⅳ-2> 분자 개념에 대한 LP ····· 62

<그림 Ⅳ-3> 분자 배열에 대한 개념 LP ····· 63

<그림 Ⅳ-4> 원자 표상에 대한 LP ····· 66

<그림 Ⅳ-5> 원자구조 표상에 대한 LP ····· 67

<그림 Ⅳ-6> 분자 표상에 대한 LP ····· 68

<그림 Ⅳ-7> 분자 배열 표상에 대한 LP ····· 69

<그림 Ⅳ-8> 분자 배열 표상에 대한 학생 답안 ····· 69

<그림 Ⅳ-9> 모델링 LP기반의 교수-학습 전략 ····· 96

<그림 Ⅳ-10> 모델링 활동 도구의 개요 ····· 102

<그림 Ⅳ-11> 모델링 활동 도구의 기본 설계 구조 ····· 103

<그림 Ⅳ-12> '핵심 개념 이해하기' 수업 화면 ····· 104

<그림 Ⅳ-13> '모델 경험하기' 예시 1 - 비디오 ····· 105

<그림 Ⅳ-14> '모델 경험하기' 예시 2 - 시뮬레이션 ····· 105

<그림 Ⅳ-15> '모델 경험하기' 예시 3 - 증강 현실(AR) ····· 105

<그림 Ⅳ-16> 모델링 활동 도구의 수업 화면 ····· 106

<그림 Ⅳ-17> '모델 설계하기' 수업 화면 ····· 107

<그림 Ⅳ-18> '모델 설계하기' 활동 예시 ····· 108

<그림 Ⅳ-19> '모델 평가·수정하기' 수업 화면 ····· 109

<그림 Ⅳ-20> 학생 모델링 활동의 예시 ····· 117

<그림 Ⅳ-21> 학생 개념 이해의 변화 예시 1 ····· 120

<그림 Ⅳ-22> 학생 개념 이해의 변화 예시 2 ····· 120

<그림 Ⅳ-23> 학생 개념 이해의 변화 예시 3 ····· 120

<그림 Ⅳ-24> 학생 개념 이해의 변화 예시 4 ····· 122

<그림 Ⅳ-25> 피드백 예시 ····· 126

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 필요성

과학은 자연 세계를 다양한 방법으로 연구하여 이론을 구성하고 현상을 설명하는 활동으로 정의할 수 있다(National Research Council [NRC], 1996). 과학자들은 과학적 모델을 개발하여 스스로 평가하며 수정해나가는 활동을 통해 관찰한 자연 현상을 설명하고 그 본성에 대해 탐구한다(Passmore et al., 2009). 이때 과학적 모델(scientific model)은 관찰한 과학적 현상을 설명하기 위해서 현상을 추상화하고 간략화하여 나타낸 표상(Chamizo, 2013; Gobert & Buckley, 2000; Morgan & Morrison, 1999; National Research Council, 2012), 구체적으로 관찰할 수 있는 현상과 추상적인 이론을 연결하는 설명 도구(오필석, 2007; 2009) 등으로 정의할 수 있다. 과학자들이 탐구하는 대상이나 그것의 체계, 과정, 현상들 중에는 직접적으로 관찰하거나 다루기 어려운 것들이 있기 때문에 과학 활동에서 자연 현상이나 과학적인 아이디어를 모델로 만들고, 모델을 활용하는 것이 중요하다(Gilbert, 2004). 이러한 모델을 구성하고 더 나아가 평가 및 반성을 통해 정교화시키는 일련의 과정을 과학적 모델링(scientific modeling)이라고 하며, 이러한 모델링은 과학자의 중요한 연구 방법 중 하나로써(Harrison & Treagust, 2000), 과학 지식을 구성하고 발전시키고 적용하는 체계적인 활동이라 할 수 있다(Halloun, 1996). 학생들이 모델링을 통해 자신의 생각을 표현하는 것은 과학적 현상을 이해하는 것에 도움이 되며 과학의 본성을 이해하고 탐구 실행에 참여하는 핵심적 역할을 수행하도록 돕는다(Carey & Smith, 1993; Schwarz & White, 2005). 이러한 의미에서 과학교육 분야에서 모델링은 새로운 교수-학습 전략으로 주목받고 있으며 학생의 과학적 모

델링 능력 향상을 위한 다양한 연구가 시도되고 있다(NRC, 2012; Schwarz et al., 2009a; Stevens et al., 2010). Gilbert(2004)는 '모델링은 과학교육의 중요한 학습 도구'라고 하였으며, 미국 National Research Council에서 고지한 "A framework for K-12 science education: Practices, cross cutting concepts, and core ideas"(NRC, 2012)와 "Next generation science standards"(NGSS Lead States, 2013)에서는 학생들의 사고를 정교화하는 도구로써 과학적 모델과 모델링의 역할을 강조하여 '모델 개발 및 사용하기'를 하나의 과학 수행 방안으로 제시하고 있다. 특히 우리나라 2015 개정 과학과 교육과정(교육부, 2015)에서도 과학 내용과 결합하여 성취할 기능으로 단순한 탐구 기능을 넘어선 과학적 실천 8가지 기능을 강조하고 있는데, 그중 하나가 '모형의 개발과 사용'이다. 다양한 연구들에서 모델링은 학생이 자신의 생각을 표현할 수 있게 해주고, 자기 생각에 대해 반성적 사고과정을 경험하며 본인의 모델을 평가받고 검증 받는 단계를 거치기 때문에 과학 활동을 실현하는 방법으로 꼽고 있다(Bamberger & Davis, 2013).

과학 교과에서 물질에 대한 학습은 초등학교에서 물질의 물리적 성질과 겉보기 성질을, 고등학교에서는 미시세계의 입자관을 중심으로 학습이 이루어진다(김선경 등 2007). 이 중간 과정으로 중학교 과학에서는 거시세계의 현상과 미시세계의 입자관을 연계하는 학습을 하게 되는데(백성혜 등, 2000), 이때 현상과 이론의 다리(bridge) 역할을 해줄 모델과 모델링은 중학교 과학교육과정에서 중요하다고 할 수 있다(고은정과 정대홍, 2020). 입자는 감각 기관을 통해 확인하지 못하는 미시적인 개념인 반면, 학생들의 사고는 주로 감각 기관으로 받아들일 수 있는 정보에 의존하므로(Ardac & Akaygun, 2004), 학생들이 물질의 입자적 성질을 이해하기 위해서는 그림, 궤도, 애니메이션 등과 같은 다양한 모델들을 사용하는 것이 효과적이다(Kozma & Russell, 1997; Noh & Scharmann, 1997; Williamson & Abraham, 1995). '미시적' 수준에서 일어나는 입자의 상호작용을 인식하여 '거시적' 수준의 개념을 이해하는 것에 모델과 모델링은 도움이 될 것이다(Johnstone, 1993).

모델링이 과학교육에서 갖는 중요성과 함께 모델 및 모델링에 대한 연구가 진행되고 있음에도 불구하고, 학생들은 과학적 모델을 효과적이고 적절하게 사용할 기회가 부족하였기 때문에 모델의 역할을 제대로 이해하지 못하고 있다(Treagust et al., 2002). 또한 교사가 이끄는 수업에서는 과학자들이 이미 만들어놓은 모델을 제시하는 수업에 치중되어 있고, 모델을 만드는 과정인 '모델링' 활동에 학생들을 능동적으로 참여시키는 교수-학습 방법이 아직 많이 도입되지 못하고 있다(Bamberger & Davis, 2013; Van Driel & Verloop, 1999). 또한, 그동안 화학 영역에서 모델의 특성이나 모델에 대한 인식, 교과서에서의 활용 실태 등 '모델'과 관련된 연구가 많이 진행되었으나(강훈식 등, 2007; 노태희 등, 2009) 모델의 특성 또는 모델에 대한 인식 등의 '모델' 자체에 치중되어 있으며(장은경 등, 2012) 학생들이 스스로 모델을 구성하는 활동인 '모델링'에 대해서는 연구가 부족하다. 현재까지의 모델링 관련 선행 연구는 모델링 프로그램을 제안하거나(김은주 등, 2008; 김한제 등, 2013; 이기종 등, 1989; 조혜숙과 남정희, 2017), 기존에 개발된 프로그램을 적용하여 그 효과를 분석하고 있다(고민석과 양일호, 2013; 유희원 등, 2012; 조정일 등, 2008; 채동현, 2004). 학생들의 성공적인 모델링 활동을 위해서는 모델링 수업 프로그램을 개발하는 것뿐만 아니라, 모델링에 대한 학생의 수준 진단, 모델링 활동을 지원하는 활동 도구 등을 함께 개발하여 이를 실제 수업에 적용하여 효과를 알아보는 연구가 이루어져야 한다(고은정과 정대홍, 2020). 교사들은 과학 수업에서 모델링을 적용하는 것에 어려움을 겪는데, 그 이유는 첫째, 학생의 모델링 수준에 대해 명확하게 이해하지 못하기 때문이다. 교사들은 모델링에 대한 학생 수준에 대해 무지한데(Harrison & Treagust, 2000; Justi & Gilbert, 2002), 교수-학습이 효율적으로 이루어지기 위해서는 학습자에 대한 이해가 필수적이다. 현재 우리나라는 과학과 교육과정에서 '기능'을 도입하여 내용 체계표에 제시하였고 그중 하나로 '모형의 개발과 사용'이라는 모델링 활동을 학습하도록 내세우고 있지만, 이에 대한 구체적인 정의나 활용 방법에 대한 안내는 교육과정과 해설서 모두에 제시되어 있지 않다. 모델링이라는 기능

을 학생들의 수행기대 측면으로 제시하려면 학생의 모델링 수준이 먼저 설정되어야 한다. 이에 본 연구는 모델링에 대한 Learning progression (이하 LP)을 제시하고자 한다. LP는 과학의 핵심 아이디어 또는 과학 활동의 이해 과정을 논리적이고 순차적인 단계로 정교하게 기술한 틀이다(Mohan et al., 2009; NRC, 2007; Smith et al., 2006; Stevens et al., 2010). 모델링 LP의 개발은, 학생들의 모델링 수준을 단계별로 추적·모니터링하여 교수-학습 전략 및 교수 자료 개발에 필요한 정보를 제공할 수 있을 것이다. 두 번째 교사의 어려움은 모델링 수업을 지원하는 자료가 부족하다는 것이다. 교사들은 모델링을 과학 학습에서 유용하고 개념 이해에 도움이 된다고 생각하지만, 모델링에 대한 교수-학습 전략을 알지 못하고 교수 자료가 부족하여 모델링을 실제수업에 적용하지 못한다(Justi & Gilbert, 2002). 모델링이 개념의 이해도와 연관되어 어떻게 학습되어야 하는지를 보여주는 자료가 제공되어야 실제 한 차시의 과학 수업에서 유용하게 사용될 수 있다. 현재까지 연구된 모델링 LP들은 과학 내용과 연계되지 않고 모델링이 독립적으로 서술되어 있다(고은정과 정대홍, 2019). 특정한 과학 현상이나 개념에 대한 모델링 LP 개발과 그에 기반한 교수-학습 전략의 개발이 필요하다.

모델링 활동에는 표상과 설명, 자신의 모델을 수정하는 과정 등이 포함되므로 이에 모바일 기기의 장점을 활용할 수 있다(고은정과 정대홍, 2020). 그동안 모델링 활동에 있어서 모바일 기기의 역할에 대해 다룬 연구(Ryu et al., 2015; 장은진 등, 2017)에서 모바일 기기가 학생들에게 필요한 정보를 다양한 형태로 제공할 수 있는 점, 학생들의 모델 평가 및 개선을 위한 의사소통에 도움이 되는 점, 교실 외부 주체를 의사소통 상황에 포함시킬 수 있는 점 등을 모바일 기기가 지닌 장점으로 꼽았다. 또한 모바일 기기는 기존의 PDA나 디지털 교과서와는 다르게 풍부한 학습 자원과 상호작용이 가능한 학습 환경, 가상현실을 통한 실제 맥락을 제공한다(임걸, 2011). 즉, 학생들이 모델링 활동을 하는 데 필요한 자료를 수집하는 데 모바일 기기를 사용하거나, 학습자간 또는 학습자와 교사간 의사소통하는 도구로써, 모델링 활동의 기록과 저장 및 공유의

도구로 사용할 수 있다. 교사는 모바일 기기를 통해 실시간으로 학습자들의 정보를 수집하여 수준을 파악할 수 있고, 학생들은 모바일 기기를 통해 학습 자료나 평가를 실시간으로 제공받아 동일한 시간과 공간에서도 개별화 학습을 할 수 있다(Shuler et al., 2013). 또한 모바일 교육 환경은 학습에 대한 동기부여 및 학습효과의 증대로 이어질 수 있는 가능성을 지니고 있다(Anderson & Blackwood, 2004; Herrington, 2009). 이에 교육에서 모바일 기기를 이용하는 다양한 방법이 소개되고 있고(Coulby et al., 2009; Roschelle et al., 2005; Song, 2014; 김미용과 배영권, 2012; 김현주와 임정훈, 2014; 임병노 등, 2013; 천세영 등, 2014; 황유리와 강신천, 2013) 최근 모바일 기기를 개별화 학습이나 탐구 수업에 적용한 연구들이 보고되고 있지만(배진호 등, 2015; 윤정현 등, 2015; 윤정현 등, 2016), 모델링 활동을 위해 모바일 기기를 활용한 연구는 부족하다. 현재까지의 연구는 모델 구성과정에서 모바일 기기의 인터넷 활용 정보 검색 측면과 모델의 사회적 구성에서의 모바일 기기 역할 연구에 한정되어 있고, 모델링 활동에 모바일 기기를 적용한 사례 연구나 수업 설계와 실천 연구 측면에서는 매우 부족한 실정이다.

위와 같은 사항들을 고려하여 본 연구에서는 '모델링'에 초점을 맞추어 모델링 LP기반의 교수-학습 전략을 설계하고 모바일 기기를 활용하여 이를 실행하고자 하였다. 물질의 입자성에 대한 개념, 표상의 학생 수준을 LP를 활용하여 진단하고 분석하였으며, 국내외 모델링 LP 문헌 연구를 통해 물질의 입자성 개념이 반영된 모델링 LP를 제시하였다. 이 과정은 학습자의 수준을 분석하고 교육 목적, 제한점을 발견하여 학습 내용과 목적에 따라 성취 수준을 계열화, 구조화한 것이다. 개발한 모델링 LP를 기반으로 교수-학습 전략을 적용함에 있어 모바일 기기를 활용하였다. 또한, 모바일 기기를 학습 도구로 하여 모델링 수업을 적용하고 그 효과를 분석함으로써 학습자의 개념 성취, 모델링 능력, 모델에 대한 인식, 모바일 기기 학습에 대한 인식이 어떻게 변화하는지 연구하였다.

2. 연구 목적 및 주제

본 연구는 중학교 물질의 입자성에 대한 학습에서 모델링 LP 기반의 교수-학습 전략을 개발하고, 이 전략이 학생들의 개념 성취, 모델에 대한 인식, 모바일 기기를 활용한 수업에 대한 인식에 미치는 영향을 알아보는 것에 그 목적이 있다. 연구 목적을 달성하기 위해 구성한 연구 문제는 아래와 같다.

1. 모델링 LP의 개발

학생의 '물질의 입자성'에 대한 개념과 표상 수준을 분석하여 학습자의 요구와 어려움을 파악하고, 모델링과 LP에 대한 국내외 선행연구의 특징을 조사하였다. 이로부터 중학교 '물질의 입자성' 영역의 모델링 LP를 구성하였다. 연구 문제는 다음과 같다.

1-1. 물질의 입자성에 대한 '개념'과 '표상'의 학생 이해도가 어떠한가?
1-2. 모델링 LP에 대한 국내외 연구의 특징은 어떠한가?
1-3. 중학교 '물질의 입자성' 영역의 모델링 LP를 개발한다.

2. 모델링 LP 기반 교수-학습 전략 개발

'물질의 입자성'에 대한 학습에서 구현 가능한 모바일 기기 활용 모델링 교수-학습 전략을 개발하였다.

2-1. 모델링 LP 기반 교수-학습 전략을 개발한다.
2-2. 모바일 기기 활용 모델링 활동 도구를 개발한다.

3. 모델링 LP 기반 교수-학습 전략의 효과

모델링 LP에 기반한 교수-학습 전략을 과학 수업에 적용하고 그 효과를 모델에 대한 인식 측면, 개념 이해의 측면, 모바일 기기 활용 학습에 대한 인식 측면에서 분석하였다.

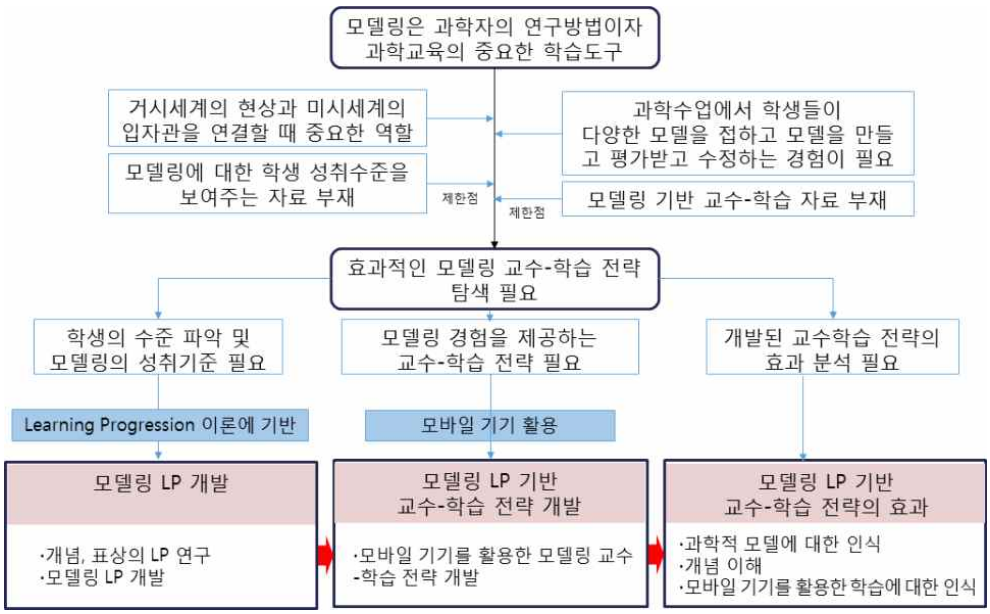
3-1. 과학적 모델에 대한 인식에 어떠한 영향을 미치는가?

3-2. 물질의 입자성 개념 이해에 어떠한 영향을 미치는가?

3-3. 모바일 기기를 활용한 학습에 대한 인식에 어떠한 영향을 미치는가?

3. 연구의 개요

본 연구의 전체 개요는 <그림 Ⅰ-1>과 같다. 모델링은 과학교육의 중요한 교수-학습 도구로써(Bamberger & Davis, 2013), '물질의 입자성'에 대한 과학 수업에서 학생들이 다양한 모델을 접하고 모델을 만들고 평가받고 수정하는 경험은 필요하다. 하지만 모델링에 대한 학생 성취수준을 보여주는 자료가 부족하고(Harrison & Treagust, 2000; Justi & Gilbert, 2003), 모델링 기반의 교수-학습 자료가 없다는 제한점으로 인해(Henze et al., 2007; Justi & Gilbert, 2002) 모델링 수업이 활발히 진행되지 못하고 있다. 이에 효과적인 모델링 교수-학습 전략 탐색의 필요성을 가지고 모델링 LP의 개발, 모델링 LP 기반의 교수-학습 전략 개발, 교수-학습 전략의 효과 분석의 순서로 연구를 진행하였다.



<그림 Ⅰ-1> 연구의 흐름

<그림 Ⅰ-1>에 제시한 연구의 흐름과 같이, 첫째 물질의 입자성 영역에 대한 개념과 표상의 학생들의 이해 특성을 분석하였으며, 모델링 활동의 국내외 LP 선행연구를 통해 모델링 LP를 제시하였다. 둘째, 모바일 기기를 활용하여 모델링 LP 기반 교수-학습 전략을 개발하였다. 셋째, 개발한 교수-학습 전략을 학교 현장에 적용하고 그 효과를 확인하였다. 학습자들의 개념 이해와 모델링 활동의 특징을 살펴봄으로써, LP 기반 모델링 교수-학습이 학습자에게 미친 영향을 분석하였다.

4. 용어의 정의

이 연구에서 사용한 주요 용어들을 아래와 같이 정의하였다.

모델링(Modeling)

과학적 모델이란 자연 현상을 설명하고 예측하기 위해 자연 현상과 체계를 표상화한 설명 체계를 말한다(Gilbert et al., 1998; Halloun, 2006; Harrison & Treagust, 2000; Ingham & Gilbert, 1991; NRC, 1996; Passmore & Stewart, 2002; Schwarz et al., 2009b). 이러한 모델의 생성 과정이자(Gilbert & Justi, 2016), 평가 및 반성을 통해 정교화하고 사용하는 일련의 과정을 '모델링'이라고 한다(Clement, 2000; Justi & Gilbert, 2002). 즉, 모델링은 '과학적 모델을 개발하고 사용하는 것'으로, 학생들이 스스로 다양한 모델을 창안하고 이를 이용하여 관심 있는 자연 현상을 설명하고 예측하는 활동을 의미한다. 비가시적 입자를 표현해내는 '표상', 자신의 주장을 뒷받침하기 위해 과학적 내용을 적절히 사용하는 능력인 '근거', 자신의 모델을 가지고 현상에 대해 다른 이들과 소통할 수 있는 '설명' 능력이 모델링의 구성 요소이다.

Learning Progression(LP)

Learning Progression은 학습의 순서와 계열이 학생들의 학습 경로와 일치하는 정도를 적절한 평가 시스템을 통해 파악하고자 NRC(2006)에서 처음 공식적으로 용어를 정의하였다. NRC(2007)는 LP를 과학의 핵심개념(core concepts)의 이해와 과학 탐구 실행(scientific inquiry practices)의 능력이 적절한 교수-학습 활동에 의하여 점차적으로 정교화되는 경

로로 설명하며, 학생들이 과학의 핵심개념에 대해 이해하고 핵심개념을 활용하는 수행 능력이 정밀하게 성장하는 과정에 대한 평가가 가능한 가설로 정의한다(Corcoran et al., 2009).

LP는 다음과 같은 특성을 가진다. 첫째, 과학의 핵심개념을 이해하고 핵심개념을 활용하여 과학적 탐구를 수행하는 능력이 점차 정교해지는 과정에 대한 경로를 다루고 있다. 둘째, LP는 과학 교사의 적절한 교수-학습 방법과 활동에 의해 형성되는 발달 과정을 의미하며, 과학교육의 선행적 연구 결과를 기반으로 한 경험적 근거 자료를 바탕으로 한 경로이다(맹승호 등, 2013).

Learning Progression은 학습발달과정, 학습진행과정, 학습진전 등 여러 용어로 번역되고 있으나 교육적 처치에 의해 학생들의 학습이 성장되는 과정이라는 본질적인 의미는 동일하므로 본 연구에서는 번역하지 않고 'Learning Progression' 또는 약자인 'LP'로 통일하여 사용하였다.

모델링 LP

학생들의 과학적 모델링 능력이 학년이 올라감에 따라 적절한 교수-학습 활동에 의해 점차 정교하게 발달할 수 있을 것으로 기대되는 가설적인 학습 경로로 정의한다.

5. 연구의 제한점

본 연구는 다음의 제한점을 갖는다.

첫째, 학습자 수준 분석과 수업 실행에 있어 성격이 다른 집단을 각 연구의 대상으로 하였기 때문에 특정 집단의 결과로 일반화하기 어렵다.

둘째, 국내외 선행연구를 통해 모델링에 대한 LP 특징을 제시함에 있어, LP 연구 및 모델링 연구 각각에서 본 연구와 관련이 있다고 판단한 내용 요소들만을 초록과 주제어를 중심으로 추출하였고 세부 분류 범주를 바탕으로 연구 대상 논문의 특성을 분석하지 않았기 때문에 방법론적 제한점을 가진다.

셋째, 개발한 모델링 LP 기반 수업 전략을 적용한 집단이 적어서 모델링 활동 변화에 대한 효과를 일반화하기에는 어려움이 있다. 적용한 집단의 학교는 교육부 디지털교과서 연구학교로써, 외부의 디지털 교과서 개발팀과의 협력이 가능한 상황이며 모바일 기기 사용이 용이하였다. 이러한 단위학교의 특수성을 고려하여 이루어진 연구이기에, 학교의 환경이나 상황이 다른 여타의 학교에 연구 결과를 일반화하기에는 한계가 있다. 또한 학생들의 모바일 기기 관련 기술적 소양의 정도 차이가 모델링 활동 과정에 미쳤을 영향을 배제할 수 없다는 한계점을 가진다.

Ⅱ. 이론적 배경

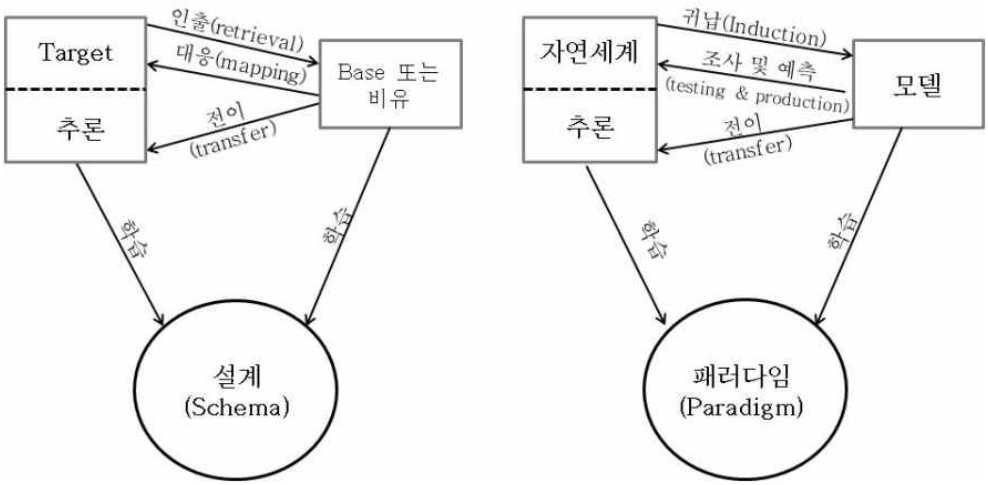
1. 과학교육에서 모델과 모델링

가. 과학적 모델(model)

과학적 모델은 어떤 사물이 될 수도 있고, 어떤 추상적인 것에 대한 표상이 될 수도 있으며, 어떤 체계가 될 수도 있다고 하였으며(Gilbert, 2004), 주로 표상이나 개념체계, 또는 현상과 이론을 연결하는 설명체계나 도구 등으로 정의되어 왔다(Gilbert et al., 1998; Greca et al., 2000; Halloun, 2006; Hestenes, 1987; Schwarz et al., 2009b; 오필석, 2007; 2009; 차정호 등, 2004). 이처럼 모델은 현상을 과학의 특수한 언어인 시각적 표상으로 묘사해서 설명하는 중요한 소통의 매개체 또는 과학의 주요 생산물로 인식되고 있으며(Gilbert, 1993; Justi & Gilbert, 2002). 과학 연구 방법으로 중요한 역할을 한다. 언어로 씌여진 연구 내용을 설명, 보완하거나 언어로 설명이 어려운 화학구조나 화학반응의 결과를 효과적으로 표현하기 위해 모델을 이용한다. 또한 모델은 학교 과학교육에서 중요한 교수-학습 도구이다. 눈으로 확인할 수 없는 추상적인 과학 개념을 친숙한 시각적 모델로 묘사하고 설명하여 학생의 개념 이해를 돕고, 호기심과 상상력을 자극하여, 창의력을 향상시킨다(Hodgson, 1995). 여러 국내외 연구들에서 학생들은 과학교육을 통해 과학자들의 과학 활동을 습득해야 하며(NRC, 2007; 2011), 과학자에 의해 사용된 모델을 이해하는 것이 과학을 이해하는 것으로, 모델은 과학교육에서 다루어야 할 중요 내용으로 제기하고 있다(Harrison & Treagust, 1996; NRC, 2013).

Van Driel & Verloop(1999)와 Schwartz & Lederman(2005)은 모델의 특징을 모델의 대상, 목적 등 다음과 같이 구체적으로 제시하였다. 첫째,

모델은 표상되는 대상인 물체, 사건 과정, 현상, 개념을 가지고 표현되어야 한다. 둘째, 모델은 직접적으로 측정되거나 쉽게 관찰될 수 없는 대상물에 대해 정보를 얻을 수 있는 수단이 제공되어야 한다. 셋째, 모델은 대상물과 직접적으로 상호작용할 필요는 없다. 넷째, 모델은 대상과 유사하므로 하나의 가설을 구성할 수 있다. 다섯째, 모델은 단순화하는 것이므로 대상물에 대해 부정확한 표상으로 만들어진다. 모델은 실제 세계의 과정과 현상을 보다 단순화한 것으로, 현실의 가장 중요한 기능만을 통합하여 닫힌 계에 대해서만 설명한 것으로 덜 중요한 것은 초기에 무시되기 때문이다. 이러한 특징으로 인해 모델은 실제를 정확하게 나타낼 수 없다는 부정적인 측면이 있지만, 오히려 모델을 통해 실제 사이를 구별할 수 있는 긍정적인 측면도 있다(Gilbert, 1993). 여섯째, 모델은 대상물과 모델 사이의 비유(유사점)와 차이점 사이의 타협으로 설계된다. 이때 모델이 가져야 하는 비유의 특징은 다음과 같다. Holyyork(2005)는 비유와 과학적 모델에 대한 추론 과정을 <그림 Ⅱ-1>과 같이 나타내었다.



<그림 Ⅱ-1> 비유와 과학적 모델에 의한 추론 과정

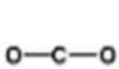
비유는 대상물, 모르는 물체, 현상, 계 일반적으로 원래 상황의 문맥에

서의 문제를 의미하는 'target'과 target의 이해를 돕기 위한 source, 친숙한 물체, 현상, 계를 의미하는 'base'인 모델 사이의 구조적 유사성에 바탕을 둔 연결이다. 그러나 비유가 target과 base 사이를 단순히 대응시키는 관계인데 반해, 모델은 유도와 조사 및 예측, 분석, 설명, 평가까지 포함된(Sins et al., 2005) 것이다. 일곱째, 모델은 대상물을 이해하기 위해 사용되는 과정을 통해 발전한다. 여덟째, 모델은 관찰을 설명하거나 조직화하는 것을 도와준다. 이를 위해 모델은 실험하고 이해하는 것이 가능하도록 복잡하지 않아야 하고, 사실과 단순함 사이에 분별 있는 타협이 필요하다. 아홉째, 모델은 예측 및 조사를 위해 사용할 수 있다. Gilbert et al.(2000)은 모델이 예측을 위해 이론의 추상성을 구체화하여 현실과 이론을 연결시켜주는 역할을 한다고 하였다. 과학적 이론은 모델들의 집합과 이들 속에서 적합한 것을 선별해 낸 이론적 가설들의 집합을 일컫는다.

나. 물질의 입자성과 미시적 표상 모델

모델의 중요한 요소 중 하나는 과학적 아이디어, 실체, 현상 등을 여러 시각적 형태로 묘사하고 제시하기 위해 표상을 개발하고 사용하는 것이다(Wu & Puntambekar, 2012). 물질의 입자성을 질적으로 설명하기 위해 과학자들은 미시적(Submicroscopic) 표상을 이용하여 물질의 입자성을 표현한다(Harrison & Treagust, 2000; Kenyon et al., 2008; Schwarz et al., 2009a, 2009b). 미시적 표상에는 Particle ball, Ball and stick, Space-filling, Structural formula, Lewis electron-dot formula 표상 등이 포함된다<표 Ⅱ-1>. 하나의 표상으로 복잡한 현상들을 설명하기엔 한계가 있으므로, 과학자들은 <표 Ⅱ-1>에서 제시된 복수의 미시적 입자 표상들을 사용하여 실체를 설명하려고 한다(e.g., Kozma et al., 2000; Roth & McGinn, 1998). 즉, 한 현상은 설명하고자 하는 내용에 따라 복수의 표상으로 설명될 수 있으며, 각각의 표상은 같은 대상을 다른 관점으로 강조하거나 묘사하는데 사용된다.

<표 Ⅱ-1 > 미시적 입자 표상

미시적 표상	Particle ball	Ball and stick	Space -filling	Structural formula	Lewis electron-dot formula
사용 목적	눈에 보이지 않는 입자를 표현하는 기본적인 모델	원자와 원자 간의 결합을 강조한 모델	분자가 차지하는 공간을 나타내기 위해 사용하는 모델	분자를 구성하는 원소 및 분자 구조와 골격을 강조한 모델	원자가전자를 원소기호 주위에 점으로 표시하여 전자배치를 강조한 모델
예. 물					
예. 이산화탄소					

다. 과학 수업에서 모델링(modeling)

모델링(modeling)은 앞서 설명한 모델을 구성하는 활동 과정으로 학습자가 모델을 과학의 기본이며 과학 언어로써 이해하고, 모델로 현상을 설명하는 과정을 통해 과학 능력을 증진시키는 과학 활동 경험을 의미한다. 이를 통해 학생들은 스스로 자신이 이해한 것을 살펴보고 반성할 수 있는 기회를 갖게 된다(Gilbert et al., 1998). 모델링은 자연 현상에 대한 설명과 예측을 위하여 모델의 정교화 및 표현화를 포함하여 모델의 설명력의 향상을 위한 평가, 수정이라는 과정을 통해 새로운 지식의 형성 및 정당화, 개념적 변화 및 추론을 촉진하기 위한 교육 과정이자 교수법이며, 과학의 주요 산출물인 동시에 교수 방법에서 중요한 요소로 간주된다. 과학 수업에 적용되는 모델링 적용 과정을 살펴보면 모델 기반 교수(model-based teaching)와 모델링 기반 교수(modeling-based teaching)로 나눌 수 있다. 모델 기반 교수(model-based teaching)는 학생들이 존재하는 모델을 사용하는 것이라면 모델링 기반 교수(modeling-based teaching)는 학생들이 모델을 만들고 사용하는 것이라고 할 수 있다. 모델 재구성을 통한 모델링 기반 교수(Modeling-based teaching)는 학생들의 과학 개념 및 모델, 모델링에 대한 인식론적 시각의 이해 뿐만 아니라 비판적인 추론 능력을 발달시킬 수 있다(Buckley, 2000).

이렇듯 모델링이 과학교육에서 갖는 중요성과 함께 모델 및 모델링에 대한 연구가 진행되고 있음에도 불구하고, 학생들은 과학적 모델을 효과적이고 적절하게 사용할 기회가 부족하였기 때문에 모델의 역할을 제대로 이해하지 못하고 있다(Treagust et al., 2002). 과학 수업에서 모델링을 적용하기 어려운 이유를 학생과 교사 측면에서 살펴볼 수 있다.

1) 학생들이 모델링에서 겪는 어려움

학생들이 모델링에서 느끼는 어려움은 이해, 과제 인식, 내용, 도구의

수준으로 살펴볼 수 있다(Sibley 2009; Sins et al., 2005).

첫째, 학생들은 과학적 모델을 구성하는 방법에 대한 '이해의 수준'이 미흡하다(White & Frederiksen, 1998). 많은 학생들이 모델을 단지 과학적 현상의 복사품으로 보고(Grosslight et al., 1991), 모델의 역할을 극단적으로 단순하게 여긴다(Treagust et al., 2003).

둘째, 학생들은 '과제 인식의 수준'에서 학생들은 모델의 수단에 초점을 맞추기보다 결과에 초점을 맞추고, 적절한 추론 없이 실제 세계에서 일어나는 행동을 모델에 맞추는 경향이 있다. 학생들은 모델의 결과를 관찰한 경험적 자료와 유사할 때까지 모델의 매개 변인을 조정한다(Sins et al., 2005). 또한 모델의 결과와 현상에 대한 기대 행동 사이의 불일치를 인식하지 못하고(Doerr, 1996; Steed, 1994; Whitfield, 1988), 가설을 생성하기 위해 실증적 자료를 모으지 못한다(de Jong & van Joolingen, 1998).

셋째, 학생들은 '내용의 수준'에서 복잡한 현상의 개념화를 어렵게 여기며 일반적인 어려움은 변인의 시간 의존성과 여러 과정이 상쇄되는 것이다. 학생들은 변인들을 개별적으로 분리해서 영향을 미친다고 고려하는 경향이 있다. 학생들은 계(system)에서 존재하는 피드백 순환에서 선형적 원인과 상호작용 변인에 대해 하나의 원인이 다른 하나의 결과가 된다는 것을 추론하는데 종종 실패하곤 한다(Kurtz dos Santos & Ogborn, 1994; Lohner et al., 2003; Riley, 1990; Zohar, 1995).

넷째 '도구의 수준'에서 학생들은 모델링 형식에서 자신의 생각을 표현하는 것을 어려워한다(Sins et al., 2005). 학생들은 자신의 모델에서 요소를 구체화하여 흐름을 나타내는 것을 복잡하다고 여기며(Hogan & Thomas, 2001; Kurtz dos Santos & Ogborn, 1994), 특히 모델에서 변인의 종류를 결정하는 것과 변인 사이의 수학적 관계를 자세히 기술하는데 자주 어려움을 느낀다(Cox & Webb, 1994; Ossimitz, 2002; Sweeney & Sterman, 2000; Tinker, 1993).

2) 교사가 모델링에서 겪는 어려움

교사 또한 과학적 모델링 수업에서 어려움을 겪는다. 교사들은 모델과 모델링 분야에 대한 능력을 가지고 있지 않고, 모델링 활동을 수업에 포함시키지 않고 있다(Justi & Gilbert, 2002, 2003; van Driel & Verloop, 1999). 모델링을 수업에 적용한다 하더라도, 많은 교사들이 과학적 모델링에 제한된 경험을 가지고 있고, 모델링에 대한 학생들의 지식에 대해 무지하다(Harrison & Treagust, 2000; Justi & Gilbert, 2002). 교사는 모델을 과학 내용을 가르치는데 유용한 도구로써 생각하지만, 교사의 수업을 지원하는 높은 질의 교육과정 자료가 없기 때문에(Henze et al., 2007; Justi & Gilbert, 2002) 모델링을 수업에 적용하는데 어려움을 갖는다.

라. 모델링을 활용한 과학수업에 대한 선행연구

Halloun & Hestenes(1987)은 대학생들을 대상으로 일반 역학에서 문제 풀이를 가르치는 방법에 모델링을 적용하였다. 학생들을 하나의 통제집단과 세 개의 처치 집단으로 나누어서 사전 검사, 사후 검사를 통해 모델링의 효과를 연구하였다. 그 결과 모델링이 역학 문제 풀이 성취도 향상에 효과가 있는 것으로 판명되었다(Halloun & Hestenes, 1987). 또한 Halloun(1996)은 레바논의 고등학생과 대학생을 대상으로 앞선 연구와 마찬가지로 문제 풀이 과정에서 모델링 방법을 적용하였고, 이 결과를 다른 통제집단과 비교하였는데, 모델링 방법을 적용한 집단은 사전 검사에 비해서 사후 검사에서 성취도가 많이 높아졌으며, 통제 집단보다도 더 높게 나타났다. Malcolm et al.(1995)은 고등학교 물리 수업에서 물리적 현상에 대한 과학적 모델을 구성하고 사용하도록 함으로써, 모델링 수업을 한 학급이 탐구 수업을 한 학급이나 전통적인 수업을 한 학급보다 그 성취도가 높은 것을 밝혔다. Schwarz & Grekwerere(2007)는 탐구 활동에서 예비 초등교사를 대상으로 안내된 탐구와 모델링 탐구 활

동을 비교하였다. 모델링 활동은 과학적 탐구와 유사한 형태로 나타났으며, 과학자가 연구하는 지식 생성 과정을 학습하기 위한 방법으로 모델링 활동이 적합하다고 주장하였다. 국내 연구에서도 권지연 등(2021)은 소집단 모델링이 고등학생의 과학의 본성 이해에 미치는 영향을 분석하여 학생들의 과학탐구 능력 및 과학적 소양이 향상되었음을 주장하였고, 과학적 모형의 사회적 구성 수업에서의 초등학생들의 모형 변화 양상에 관한 연구(송윤정, 2015)에서 학생들의 모델링 구성 능력의 변화를 보여주었다. 심영숙 등(2015)은 과학적 모델의 사회적 구성과정에서 나타나는 소집단 활동 특징을 분석하여 소집단의 모델 생성 시 협력 유형의 변화를 밝혔고, 조혜숙과 남정희(2014)는 과학적 글쓰기를 바탕으로 과학 수업에서 이루어지는 의사소통인 논의에 기반을 두는 모델링 전략을 개발 및 적용하여 논의-기반 모델링 전략이 모델링의 목적인 의사소통을 위해 자신이 만든 모델을 논의와 글쓰기를 통해 과학적 언어를 사용하여 스스로 정리하거나 표현하고, 다른 사람의 의견을 듣고 교환하는 과정을 통해 모델을 평가하고 수정하는 일련의 과정을 통해서 학생들의 모델링 능력의 향상에 효과적임을 보여주었다

2. Learning Progression (이하 LP)

가. LP의 의미

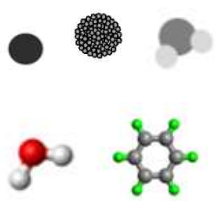
LP는 과학 개념이 발달해가는 이해 경로를 서술하여 학생들의 지식 구축 과정의 단계를 예측하는 데 중요한 역할을 한다. 학습은 새로운 개념이 기존 선개념과 유의미하게 연결되는 과정으로, 잘못된 개념을 수정하거나 지워버리는 순환을 거치면서 체계화되고 정교화된다(NRC, 1996). LP는 한 단원 안에서 학생들의 단순한 개념 이해도를 측정하는데 초점을 둘 수도 있지만, 소수의 핵심 아이디어를 오랜 기간 동안 이해해가는 학습 경로를 추적하는데 더 큰 중요성을 둔다(Smith et al., 2006; Stevens et al., 2009a). 예를 들면, Smith et al.(2006)은 '물질의 입자적 모델'에 대해 유치원부터 중학교 2학년 학생들의 LP를 설명하였다. 이러한 연구는 초, 중, 고등학생들의 과학 핵심 아이디어 이해 과정을 설명한 A framework for K-12 science education(NRC, 2012), Next Generation Science Standards(NGSS Lead States, 2013), Stevens et al.(2013)의 물질의 입자성 LP와 일맥상통한다. 모든 LP는 내용의 범위를 명확하게 서술하는 하부 시작점(lower anchor), 상부 도달점(upper anchor), 단계별 내용(level)의 설명을 포함한다(NRC, 2007). 하부 시작점은 학습을 시작하기 전에 습득해야 할 학생들의 선지식 내용을 제공하고, 상부 도달점은 문헌연구에 근거하여, 학생이 성취가 가능하며 사회 공동체에서 요구하는 과학적 소양에 기여할 수 있는 학습목표를 구체적으로 제시한다(Mohan et al., 2009). 마지막으로 단계별 내용에서는, 이해 수준의 질적인 차이점을 전 단계의 수준과 연결하여 설명한다(NRC, 2007). 본 연구의 LP 내용에는 상부 도달점에 도달할 수 있는 과학적 개념만을 포함한다. 단, 내용 이해를 위해 생산적인 오개념 제시가 필요하다고 판단되었을 때에는 LP 내용에 첨부하였다(신남수 등, 2014).

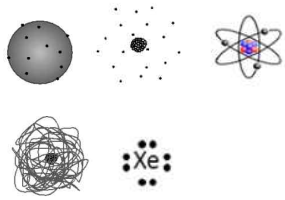
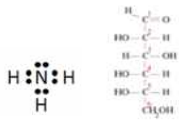
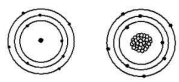
나. 물질의 입자성에 대한 개념과 표상 LP

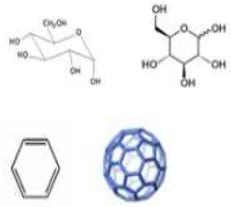
'물질의 입자성'은 미시적 세계의 원자, 분자로 우리 주변에서 일어나는 다양한 현상을 설명할 수 있는 중요한 개념이다. 미시간 연구팀은 핵심 아이디어인 '물질의 본성' LP를 이론적, 실험적 증거에 근거하여 '물질과 물체', '힘과 상호작용', '분자운동', '보존', '에너지'라는 하위 주요 개념으로 나누었으며, 정의한 하위 개념들이 서로 연결되어 전문가 수준의 지식체계까지 구축되는 LP를 개발하였다(Stevens et al., 2013). 이 LP는 Next Generation Science Standards(NGSS Lead States, 2013)와 New Science Framework(NRC, 2013)의 내용을 기반으로 하고 있다. 본 연구를 위해, '물질의 본성' LP에서 하위개념인 '물질의 입자성'과 '미시적 입자 표상'의 LP를 우리나라교육과정에 반영하여 수정·개발하였다 <표 Ⅱ-2>. 이때, '입자들 사이의 빈 공간 존재' 등 우리나라 교육과정 내용에는 포함되지 않지만 학생들의 LP 내용 이해도를 조사하기 위해서 본 연구진의 판단에 따라 삭제하지 않고 포함된 개념도 있다.

'물질의 입자성' 개념에 대한 이해 과정에서 수준 Ⅰ은 LP의 하부 시작점으로, 물질의 세 가지 상태를 구분하고, 모양과 부피에 대해 거시적으로 이해하는 단계이다. 수준 Ⅱ에서 학생들은 '모든 물질은 너무 작아서 눈에 보이지 않는 아주 작은 입자로 이루어져 있다'는 입자적 관점을 이해하고, '원자와 분자가 물질을 이루는 기본 단위'임을 알게된다. 원자와 분자의 본성을 이해한 후, 수준 Ⅲ과 Ⅳ에서 심층적인 원자구조, 분자구조, 분자결합을 이해하게 된다<표 Ⅱ-2>. '물질의 미시적 입자 표상' LP는 관련 문헌(Harrison & Treagust, 2002)과 미국 및 우리나라 과학 교과서 및 평가지에서 사용된 표상을 조사하여 LP 단계와 연계하여 개발하였다(신남수 등, 2014).

<표 II-2> '물질의 입자성'에 대한 개념과 표상 LP

수준	내용	
	개념	표상
수준 I Macroscopic 거시적 이해	(초등 3~4학년군 물질의 상태; 초등 5~6학년군 여러 가지 기체) - 모든 상태의 물질은 공간을 차지하고, 질량을 갖는다. - 우리 주변의 물질은 고체, 액체, 기체의 세 가지 상태로 구분할 수 있다. - 고체는 일정한 모양과 크기를 가진다. - 액체는 부피가 일정하지만 담는 용기에 따라 모양이 달라진다. - 기체는 부피를 차지하지만 모양과 부피가 일정하지 않다.	- 거시적 모델을 지니고 있어, 관찰 가능한 속성과 변화에 의존하여 물질을 묘사하고 현상을 설명한다.
수준 II Basic Particle Model 입자적 이해	(중학교 1~3학년군 기체의 성질, 물질의 상태변화) - 모든 물질은, 너무 작아서 눈에 보이지 않는 아주 작은 입자로 이루어져 있다. - 물질을 구성하는 입자는 원자와 분자이다. - 입자의 종류와 수, 배열방식이 물질의 속성을 결정한다. - 고체는 분자 사이의 거리가 매우 가깝고, 분자 배열이 규칙적이다. - 액체는 분자 사이의 거리가 고체상태일 때보다 멀고, 분자 배열이 약간 불규칙적이다. - 기체는 분자 사이의 거리가 매우 멀고, 분자 배열이 매우 불규칙적이다; 특히 기체분자는 용기 안에 넓게 분포되어 있다.	- 입자의 종류, 배열, 운동, 다른 입자와의 상호작용이 물질의 속성과 고유성을 결정한다는 것을 이해하고 표상으로 나타낸다. 예) Particle ball, space filing, ball &stick 
수준 III Basic Atomic Structure 원자구조 이해	(중학교 1~3학년군 물질의 구성; 통합과학 물질의 규칙성과 결합, 화학 I 원자의 세계, 화학결합과 분자의 세계) - 원자는 중성자, 양성자, 전자로 이루어져 있다. - 핵의 질량이 원자 질량의 대부분을 차지하고, 원자가 차지하는 공간의 대부분은 전자가 기여한다. - 양성자는 양전하(+1)을 가지며, 전자는 음전하(-1), 중성자는 중성(전하=0)이다.- 원자들은 분자, 또는 격자를 형성하기 위해 특정한 배열을 한다. - 분자들 사이에는 빈 공간이 존재한다.	- 비중이 크고, 양성자와 중성자로 구성된, 양전하로 대전된 핵과 그 주위를 감싸고 있는 전자를 포함하고 있는 원자 구조 모델을 나타낸다. - 음전하인 전자와 양전하인 핵과의 정전기적 인력, 음전하를 띠는 전자들 간의 반발력에 대해 이해한다. 이러한 원자 구조에 대한

		모델을 가지고, 원자들 사이의 정전기적 인력을 고려하여, 전자의 공유와 같은 결합에 대해 표상으로 나타낸다. 예) 원자: nucleus with electrons around it, electron dot  예) 분자: Electron dot structure, structural formula(2D) with symbol of elements 
수준 Ⅳ Basic Bonding 분자의 결합과 구조 이해	(화학 I 화학결합과 분자의 세계,)	
	- 원자핵 주변의 전자들은 '전자껍질(shell)', 또는 '에너지 준위(level)'에 따라 구별된다. - 원자가전자는 분자 및 물질의 구조에 큰 영향을 준다. - 원자의 종류와 수로 분자의 구조를 예측할 수 있다. - 분자 구성은 같지만 배열이 다른 분자를 이성질체라고 한다. - 이성질체는 물리적 성질과 화학적 성질이 다르다.	-원자의 에너지 준위 모델로, 결합을 이해하고 주족 원소로 구성된 분자의 기하학적 구조를 예측한다. - 공유결합과 이온결합에 대한 이해를 바탕으로 3차원 분자구조를 이해한다. 예) 원자: Nucleus model (protons, neutrons, electrons)+ shell + Energy  예) 분자: structural formula(3D) with symbol of elements(some atoms("C", "H") are not shown), wire, stick

		
수준 Ⅴ Probablilistic Model 전자의 확률론적 분포 이해	(화학 Ⅰ화학결합과 분자의 세계; 화학 Ⅱ; 대학교 과정)	
	- 전자는 확률론적으로 분포한다.	- 전자의 확률론적 분포 표상을 이해하고, 원자구조는 전자의 양자역학적 상태, 즉 파동함수 또는 오비탈함수로 주어짐을 안다. 예) 원자: Probablistic model

3. 모바일 기기와 모델링 수업

가. 디지털 리터러시와 과학수업

지식과 정보량이 폭발적으로 증가하고, 역동성이 강화되는 현대 사회에서는 능동적으로 대처할 수 있는 능력과 창의력을 바탕으로 한 융합인재를 육성하는 것이 교육에서 궁극적인 목표가 되었다(신재한, 2013). 이와 같은 사회 분위기 속에서 학교에서 교육은 학생들이 단순히 모바일 기기의 사용법을 익히는 것뿐만 아니라 모바일 기기를 활용하여 정보를 획득하고 활용하며 의사소통하는 역량에 초점을 두어야 한다는 주장이 대두되고 있다(Nelson et al., 2019; 김환희, 2017; 서윤경과 권성호, 2004; 이재진과 김성욱, 2019). 획득한 정보를 무비판적으로 수용하는 것이 아니라, 해당 정보를 비판적으로 해석하고 활용하는 점을 강조하고 있다. 즉, 디지털 리터러시와 관련된 교육은 모바일 기기나 정보를 활용하는 방법과 더불어 이를 이용한 비판적인 정보의 활용으로 볼 수 있다.

디지털 리터러시에 대한 학자들의 정의는 학자마다 다소 차이가 있으나, 공통적인 부분은 모바일 기기나 정보를 활용하는 능력을 기초로 한다는 데 있다(Eshet, 2004; 강정묵 등, 2014; 김민하와 안미리, 2003; 서윤경과 권성호, 2004). 모바일 기기는 휴대전화, 인터넷 통신, 고성능 카메라 및 다양한 애플리케이션 등의 기능을 갖추고 있어(배재권과 정화민, 2008), 학생들에게 친숙하고 유용하게 사용될 수 있다. 과학 수업에서 모바일 기기는 과학 탐구를 위한 애플리케이션과 그 외에 학습을 도와주는 상호작용 도구 등을 기반으로 유용하게 활용될 수 있다. 특히, 모바일 기기는 탐구와 실험 활동 시 데이터를 측정하고 측정된 결과를 분석할 수 있는 기능을 가지고 있어 탐구 도구의 역할을 할 수 있다. 이러한 흐름에 따라 모바일 기기를 활용한 교육용 콘텐츠나 앱(App)의 개발, 디지털 교과서를 이용한 수업의 개발, 모바일 교육 수업 모형의 개발 등 다양한 시도와 연구들이 이루어지고 있다(김미용과 배영권, 2012; 김현주

와 임정훈, 2014; 임병노 등, 2013; 천세영 등, 2014; 황유리와 강신천, 2013).

여기에 모바일 기기를 활용하여 얻은 정보를 비판적으로 해석하고 활용하는 교육도 강조되고 있다. 배진호 등(2015)은 스마트 기기를 활용한 역진행 자유탐구 수업이 초등학생의 디지털 리터러시, 21세기 핵심역량, 과학적 태도에 미치는 영향에 대해 연구한 결과, 스마트 기기를 활용한 역진행 자유탐구 수업은 초등학생의 디지털 리터러시 향상에 통계적으로 유의미한 영향을 주었다고 보고하였다. 단순히 모바일 기기를 사용하는 능력에서 나아가 찾은 정보의 가치를 제대로 평가하기 위해 학습자들이 갖추어야하는 비판적인 사고력을 기르고자 하는 것이 디지털 리터러시 교육의 핵심이다. Gilster(1997)는 디지털 리터러시 개념을 이해하는 중요한 두 가지 핵심으로 '이해'와 '활용'을 언급했다. 정보를 자신의 언어로 이해하고 내용을 비판적으로 평가함으로써 검증된 정보만을 골라서 사용할 줄 알아야 함을 강조하였다(Eshet, 2004; Gilster, 1997; 이희수와 강숙희, 2000).

나. 모바일 기기를 과학수업에 활용한 연구

Liu et al.(2009)은 5E 순환 학습에 기반을 둔 모바일 자연과학 학습 활동을 설계하고 이를 평가하기 위하여 대만의 초등학교 방과 후 과학 활동에 참여한 4학년 학생 46명을 대상으로 학생의 지식과 이해를 사전-사후 평가로 비교하였으며 활동에 대한 인식을 설문 조사하였다. 이 연구에서 제안한 학습 활동은 학생들의 과학 학습 결과에 지식 및 이해 수준 차원에서 모두 긍정적으로 영향을 주었으며, 학생들의 인식 역시 긍정적인 것으로 나타났다. 이러한 결과는 학생들이 과학적 탐구 수행 중에 수행한 모바일 기술을 활용한 관찰과 조작 등에 의한 영향으로 해석되었다.

Huang et al.(2010)은 모바일 식물 학습 시스템(Mobile Plant Learning

System, MPLS)을 개발하여 대만의 초등학교 식물학 교과에서 학생의 학습을 용이하게 하는 연구를 진행하였다. MPLS와 개인용 디지털 보조 장치인 PDA를 활용하면 교사와 학생 모두 현장에서 식물학 관련 정보를 실시간으로 얻을 수 있었다. MPLS와 PDA를 활용하여 식물학 야외 수업을 진행한 연구 결과, 학생들의 학업 성취도가 향상되었다.

Zhai et al.(2016)은 고등학생들이 물리 과목의 수업 시간과 방과 후에 모바일 기기를 사용하는 방법과 모바일 기술의 사용이 물리 학습의 성과 및 흥미도에 미치는 영향을 조사하였다. 연구 결과, 학생들은 방과 후에 물리 학습을 위해 모바일 기기를 자주 사용하였다. 또한 모바일 기기가 물리 학습에 매우 유용하다고 인식했으며, 유용성에 대한 인식은 사용 빈도와 양의 상관 관계가 있었다. 수업 시간과 방과 후의 모바일 기술 사용 빈도는 학생들의 물리 학습 성취 및 흥미도에 긍정적인 영향을 미쳤다. 그러나 모바일 기술은 물리 수업을 완전히 변화시킨다기보다는 주로 물리 학습을 보조하는 데 사용된다는 사실을 발견했다.

이성희(2013)는 모바일 러닝에 기반한 생태 STEAM 교육 자료를 개발하고 초등학생 대상으로 그 효과를 검증해보았다. 생태 개념의 STEAM 교육을 위하여 모바일 인프라와 모바일 러닝 학습 방법과 결합시켰다. 학교 주변에서 쉽게 접할 수 있는 동물, 식물 등의 과학적 지식이나 탐구 과정을 스마트폰, 태블릿 PC 등을 활용하여 학습 방법과 STEAM 요소와 결합시키는 학습활동을 고안해냈다. 예를 들어 학교 주변에서 자주 접하는 동물, 식물 등의 익숙한 생태환경을 소재로 하여 사진 및 동영상으로 촬영하거나, 소셜 네트워크 서비스, 애플리케이션과 같은 모바일 기기를 활용한 기술들을 STEAM의 요소와 결합하여 프로그램을 구성하였다. 연구 결과를 정리하면 첫째, 우리 학교 주변에 항상 함께 있으나 쉽게 지나치기 쉬운 동·식물 등의 생태 환경을 관찰하고 탐구하는 개별적 경험을 통해 감성적 체험을 가져올 수 있기 때문에, 과학적 호기심뿐만 아니라 다양한 감성적 체험을 할 수 있다. 둘째, 과학적 탐구 과정에서 정보를 검색하거나 공유하는 정보 활용 능력을 키울 수 있을

뿐만 아니라, 모바일 기기를 기반으로 자신이 습득한 지식과 자신의 생각을 창의적으로 구성하고 표현하는 능력을 효과적으로 기를 수 있었다. 셋째, 학교 주변의 생태 환경에 대해 모바일폰, 태블릿 PC 등의 학습 도구를 활용하여 정보를 검색하고 공유하는 과정에서 학생들은 생태 수업의 흥미를 갖게 되었다.

박수경(2013)은 중학교 과학 수업을 위한 모바일 기반의 수업 모듈을 개발·적용하고 학생들의 인식과 만족도를 조사하였다. 모바일 기반의 수업 모듈은 중학교 2학년 천문 단원의 태양계 행성과 달의 위상을 주제로 3가지 유형의 모듈로 개발하였고, 중학생 207명을 대상으로 수업을 실시하였다. 수업에 참여한 모든 학생들에게 태블릿 PC를 제공하였고, 천문 교육용 앱 Solar Walk, 미러링 기능, QR코드, 구글 프리젠테이션 등을 활용하여 학교와 가정에서 학습이 이루어졌다. 모바일 기반의 수업에 대하여 남학생이 여학생보다 긍정적으로 인식하는 것으로 나타났으며, 과학 성취도가 높은 집단이 자기주도학습 요인과 학습 동기 유발 요인에서 성취도가 낮은 집단보다 긍정적으로 인식하였다.

이 외에도 윤정현 등(2015)은 과학 수업에서 스마트 기기를 활용한 개념 적응적 개별화 학습을 적용한 결과 개념 검사, 개념 파지검사, 학습 동기 검사, 과학 수업에 대한 즐거움 검사에서 유의미한 긍정적 영향이 있음을 나타냈고 안정민과 소금현(2020)은 스마트 기기를 활용한 기후변화교육 프로그램을 개발하고 초등학생들에게 적용한 결과 학생들의 기후변화에 대한 인식과 태도 향상에 긍정적인 영향을 미쳤다고 하였다. 남혜인 등(2017)은 과학관련 사회쟁점 (SSI) 토론 수업에서 스마트 기기의 활용 방식과 수업의 특징을 살펴보았으며 양찬호 등(2015)은 스마트기기를 활용한 과학 교사의 교수 실행과 과학교육에서 스마트교육 적용 방안에 대한 의견을 조사하기도 하였다.

다. 모델링 수업에서 모바일 기기의 역할

모델링 과정에서 학생들은 어려움을 겪는데 그 이유 중 하나는 모델링 구성에 능동적으로 참여해본 경험이 없는 것이다. 과학적 모델링은 학생들이 실제 과학을 하는(doing science) 과정에 참여하고, 자신의 지식과 아이디어를 스스로 정교화한 능동적 사고 과정이다(National Research Council, 2012). 하지만 학생들은 능동적으로 과학적 모델링을 통해 지식을 습득하고 발달시키기 어려워하며, 대부분의 학생들은 모델이 과학자의 지식을 단순히 복제한 복제본에 불과하다는 편견이 있다(Baek, 2013). 학생들이 자기 자신에게 지식을 구성할 힘이 있으며 새로운 지식 즉, 자기만의 모델을 만들어 낼 수 있다는 확신을 가질 수 있도록 지원할 필요가 있다. 모델링 수업에서 나타나는 어려움을 해소하기 위한 방안으로 모바일 기기의 활용을 고려할 수 있다.

모바일 기기는 세 가지 측면에서 모델링 학습에 도움을 준다. 첫째, 기술적 측면이다. 모바일 기기는 전면적이고 포괄적으로 누구나 손쉽게 활용이 가능한 형태와 기능을 지니고 있어 학습자의 모델링 학습을 지원하는 효과적인 도구가 된다. Mellar et al.(2014)은 시뮬레이션, 가상현실과 같은 기술이 학습자 모델링에서 중요하고 결정적인 역할을 할 수 있는 가능성을 내포하고 있다고 보았다. 이러한 기술은 모델의 동적 메커니즘을 이해하고 모델 구성의 인식론을 지원하고 발달시킬 수 있으며(Baek & Schwarz, 2015), 특정 현상의 주요 특성을 가시화함으로써 현상의 설명과 예측을 모델에 반영하는 데 도움이 될 수 있다(Harrison & Treagust, 2000). William & Pence(2011)는 과학 수업에서 모바일 기기의 주요 활용 요소로 월드와이드 웹 활용, 2차원 바코드(QR 코드) 활용, 다양한 애플리케이션 활용 등을 제안하고 있다. 모바일 기기를 활용한 교수-학습은 학습자가 다양한 학습 자원과 자유롭게 연결되도록 지원할 수 있으므로 학습 효과를 극대화하는데 유용하다고 보는데, 예를 들어, 탐구 활동을 안내할 수 있는 웹의 풍부한 교육 자료 및 다양한 애플리케이션을 쉽게 연결해줄 수 있다. 모바일 기기의 다양한 애플리케이션은

과학 탐구 과정에서 측정과 분석 도구의 역할을 할 수도 있다(Kumar et al., 2012). 예를 들어, 가속도 측정 센서나 고도계, pH 측정기 등, 측정 기구를 대신하는 애플리케이션이나 계산이나 그래프 작성 등 실험 데이터를 처리하는 애플리케이션 등을 활용한다면, 보다 쉽게 데이터를 측정하고 분석할 수 있으므로 학습자의 탐구를 촉진할 수 있다. 뿐만 아니라, 학생들의 협력 활동을 유도할 수 있는 공동 문서 작성 애플리케이션이나 실시간 메신저 애플리케이션, SNS 애플리케이션 등의 활용은 학생 간의 상호작용을 촉진하는데 매우 유용할 수 있다.

둘째, 학생 개별적 경험 측면이다. 장은진 등(2017)은 과학적 모형의 사회적 구성에서 모바일 기기의 역할을 모색하는 과정에서 모바일 기기가 학생들의 요구에 맞는 설명력이 높고 권위 있는 정보를 제공했으며, 자신들이 표현하고자 하는 바를 수월하게 표현할 수 있었다고 하였다. 과학 교육에서 모바일 기기를 활용한 선행 연구들의 결과를 통해 얻을 수 있는 시사점은 모바일 기기를 과학 수업에 도입했을 때 기존 수업과 다르게 학습자의 참여 구조의 변화를 야기할 수 있다는 것이다. 학생들은 모바일 기기를 통해 학습 자료나 평가를 실시간으로 제공받아 동일한 시간과 공간에서도 개별화 학습을 할 수 있다(Shuler et al., 2013). 모바일 기기를 활용한 과학 학습은 언제, 어디서나 학습이 이루어지는 상시성을 특성으로 한다. 개인이 소지하는 모바일 기기와 무선 인터넷 기기는 언제나 접속 가능한 학습 환경을 가능하게 한다. 이러한 상시성을 바탕으로 학습의 경계는 교실을 벗어나 학교 밖까지 확장된다. 모바일 기기를 활용한 학습은 상시적이므로 형식적 교육과 비형식적 교육과의 경계가 없어지고 일상 생활 자체도 지속적으로 학습자의 학습 환경으로 확장되어간다. 즉 학습이 학습자의 실제 삶과 밀접하게 연관되어 실제성을 띠게 되며 이러한 실제성은 학습에 개별 학습자와의 직접적 관련성을 부여하여 학습에 대한 재미, 관심, 동기를 향상시킨다(Barab et al., 2000).

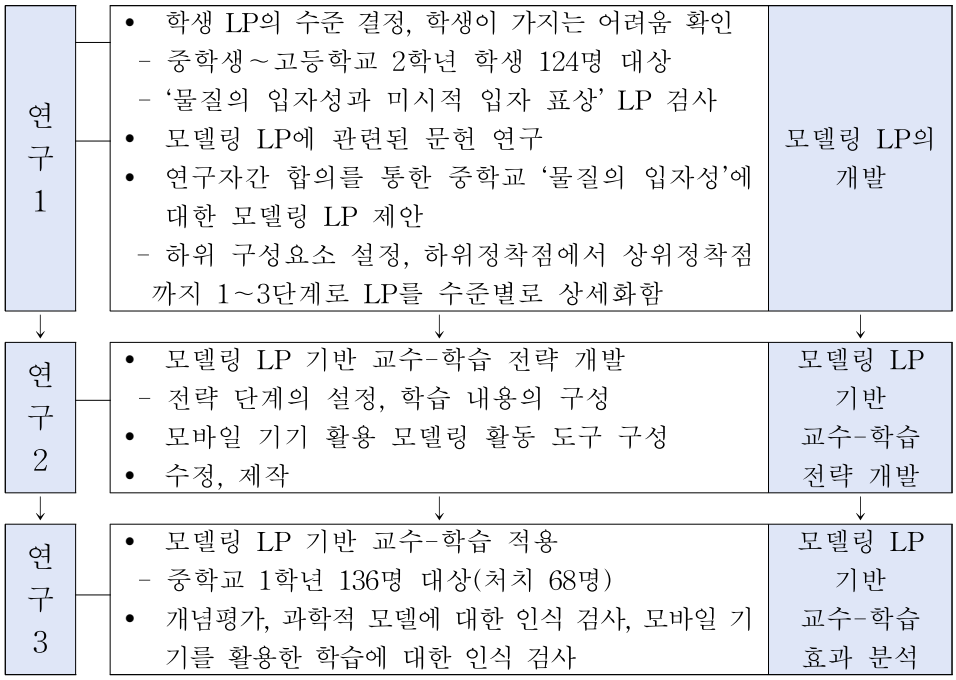
셋째, 모델링 과정의 사회적 구성 측면이다. 모델링 구성과정에 모바일 기기의 활용은 교실 내 즉시적, 협력적 상호작용을 지원하여 모델링의

구성과정 학습 효과를 극대화 할 수 있다(양찬호 등, 2015). 예를 들어, 정보를 탐색하고 공유하는 소집단 학습을 진행할 수 있으며(이신영 등, 2015), 상호작용으로 공동의 모델을 구성할 수 있다(윤정현 등, 2016). 모델링의 사회적 구성은 학습자의 모델링 과정을 드러내고, 새로 수집한 증거를 기반으로 대안 모델을 구성해 나가고, 다시 이러한 대안 모델이 구성원의 평가와 수정을 거치는 과정을 통하여 발전시켜 나가는 일련의 과정이다. 모바일을 활용할 경우, 교사와 학생 사이의 의사교환 뿐만 아니라 학생과 학생 사이에도 실시간으로 의견 교환과 피드백이 가능하다. 모바일 기기를 활용하는 학습자 사이에서 시공간의 제약 없는 즉각적이고 다양한 형태의 의견 교환 및 피드백이 가능하다는 특징은 모델링 과정의 사회적 구성 차원에서 도움이 된다. 모바일 기기를 활용하게 되면 학습자는 메신저, 채팅, 실시간 토론방, 공동문서 작성 애플리케이션 등과 같은 실시간 의사소통 방식 및 학습 커뮤니티를 이용한 다자간 협력학습이 가능하게 된다. 또한 최근에 확산되고 있는 SNS인 페이스북이나 트위터를 활용하면 비실시간과 실시간 의사소통의 경계 없이 협력학습이 가능할 수 있다(민성기와 양승빈, 2011).

Ⅲ. 연구 방법

1. 전체적인 연구 절차

전체적인 연구 절차는 <그림Ⅲ-1>과 같다. 연구 1에서는 물질의 입자성 개념과 미시적 표상에 대한 LP를 활용하여 학생의 수준을 파악하였으며, 문헌 연구와 전문가 협의를 통해 모델링 LP를 설계하였다. 연구 2에서 모델링 LP 기반의 교수-학습 전략을 개발하고, 모바일 기기를 활용하여 모델링 활동 도구를 개발하였다. 연구 3에서 교수-학습 전략을 수업에 실행하여 그 효과를 분석하였다.



<그림 Ⅲ-1> 전체 연구 절차

2. [연구 1]의 연구 방법

연구 1의 연구 절차는 <그림 Ⅲ-2>와 같다. 물질의 입자성 개념과 미시적 표상에 대한 학생의 수준을 파악하고 어려움을 분석하였으며, 문헌 연구와 전문가 협의를 통해 모델링 LP를 설계하였다.

<그림 Ⅲ-2> 연구 1의 연구 절차

연구 대상, 검사 도구, 검사 분석 방법, 문헌 연구 대상, 모델링 LP 개발 절차는 다음과 같다.

가. 연구 대상

본 연구는 중학교 모델링 교수-학습 전략 개발을 위한 기초 작업으로, 물질의 입자성 개념과 미시적 표상에 대한 이해가 중학교에서 고등학교로 이어지며 잘 진행되었는지 학생 수준을 진단하고, 현장 수업에서 복수의

표상에 대한 이해, 구현, 적용을 위해 필요한 교수-학습이 이루어졌는지를 확인하기 위함이다. 이미 중학교 1~3학년 '기체의 성질'과 '물질의 상태변화' 단원에서 물질의 입자성을 학습한 고등학교 1학년 학생을 주요 대상으로 하였다. 중학교에서 고등학교 화학을 배울 때까지 경로를 추적하여 중학교에서 필요한 교수-학습방법, 평가 자료를 탐색하기 위한 목적으로, 고등학교 1학년 학생들과의 비교를 위해 중학생 및 고등학교 2학년 학생까지 연구 대상으로 선정하였다. 중학생은 방과 후 과학 수업에 참여하는 학생들로, 이 학교의 방과 후 과학 수업은 과학 교과 성취도가 높기보다는 과학에 흥미가 있는 학생이 자발적으로 신청하여 구성된 수업이다. 과학 흥미도가 높아서 어려운 과학문제가 제시되어도 성실하게 응답해 줄 수 있는 학생이므로 본 연구 대상으로 선택하였다. 연구에 참여한 학생수는 서울 소재 1개의 남자 중학교 학생 29명(1학년 5명, 2학년 17명, 3학년 7명)과 서울 소재 4개의 고등학교 학생 95명(1학년 70명, 2학년 25명; 남학생 22명, 여학생 73명)으로 총 124명이다.

나. 검사 도구

본 연구에서는 Stevens & Shin(2010)이 개발한 '물질의 입자성과 미시적 입자 표상' LP 검사지를 우리나라 교육과정에 맞게 수정하여 사용하였다. 총 112개의 문항으로 구성된 영문 검사지는 원자, 분자 개념 문항, 개념을 표상으로 표현하는 모델링 문항, 그리고 타당성이 증명된 기존 표상 문항(Harrison & Treagust, 2002)으로 구성되었다. LP의 수준들에 포함된 내용들을 효과적으로 평가하기 위해서, O-X 문항, 선다형, 서답형, 모델링형 등 다양한 형태의 문항들을 사용하였다(Scalise & Gifford, 2006). 검사 도구의 타당성 확보를 위해 3단계의 검사 도구 표준화 작업을 수행하였다(Stevens & Shin, 2010). 간단히 표준화 과정을 설명하면, 먼저 미시간 대학교 교수와 미국 과학교육 연구원 총 10명으로 구성된 전문가 집단의 문항별 검토 의견을 수렴하고, 1차 수정된 문항을 미국 남동부 도시와 도시 근교에 위치한 공, 사립 중.고등학교 학생 550명에게 적용하여 자료를 수

집하여 문항반응이론에 근거하여 문항을 검토하였다. 문항 반응이론을 통해 문항의 난이도와 학생의 능력을 고려하여 통계적 모형 적합도를 살펴봄으로써 문항의 통계적 타당성을 확보할 수 있었다. 동시에 문항당 30~35명 학생과의 면담을 통해 문항의 가독성 및 이해도에 대한 정보를 수집하였다. 이를 바탕으로 2차 수정된 문항을 같은 지역에 위치한 4개 중고등학교와 3개 대학교 소속 학생 844명에게 적용하여 연령에 따른 평가도구의 타당성을 확보하였다. 최종 선택된 문항은 모형 적합도 1.0~1.3의 범위에 해당하며, -3.3~2.2사이의 문항 곤란도와 0.30 이상의 문항 변별도, 3.0 이하의 문항 추측도를 가졌다(Stevens & Shin, 2010). 이상의 표준화된 검사 문항을 한글로 번역하여 본 연구에 적용하였으며, 번역의 타당성 확보를 위해 2명의 교육 전문가와 2명의 현장 교사가 문항을 검토하였다(신남수 등, 2014). 원자, 분자 개념을 평가하는 문항은 O-X형 소문항 10~11개씩 묶은 2문항, 주어진 모델을 평가하는 서술형 1문항 <그림 Ⅳ-3a>와 모델 그리기 1문항<그림 Ⅳ-3b>를 포함하여 총 4문항을 사용하였다. 미시적 표상을 평가하는 문항은, 여러 표상들 중 적절한 표상을 선택하는 29개의 소문항을 3문항으로 묶어서 제시하였고<그림 Ⅳ-4, 그림 Ⅳ-5, 그림 Ⅳ-6>, 모델 그리기 1문항<그림 Ⅳ-7>이 포함되었다.

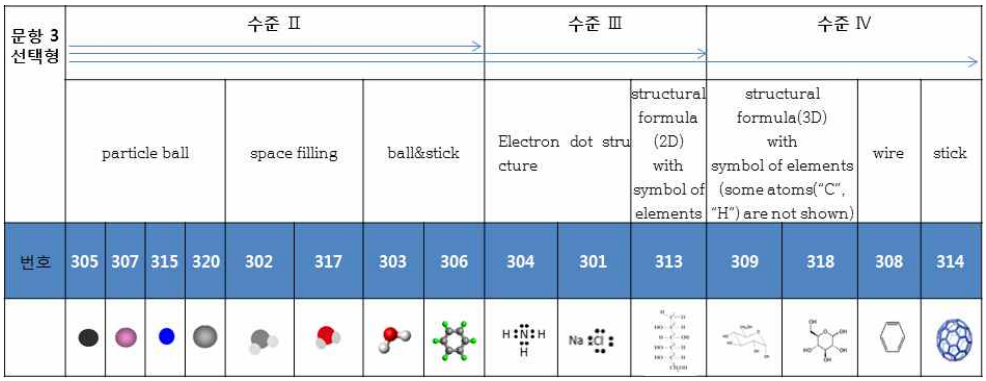
다. 분석 방법

대상 학생들에게 위에 제시된 문항들로 평가를 실시하였다. 평가지에 답하기 전, 평가지의 목적과 의도, 질문에 답하는 방법을 설명했다. 특히, 문항에 답할 때 정확히 모르는 경우엔 O-X문항은 '확실하지 않음'을 선택하고, 복수의 표상을 선택하는 문항에서는 확실하지 않은 표상을 선택에서 제외하라고 강조했다. 대부분의 학생들은 30분 내외에 평가지 응답을 끝냈다. 학생들의 LP 수준 분석이 주목적이므로, 정답수로 분석을 하지 않고 개발된 LP를 참고로 학생들의 응답지를 수준별로 코딩하였다. 응답지의 수준 예시는 <그림 Ⅲ-3> 및 <그림 Ⅲ-4>와 같다. O-X 문항은 각 수준에 해당하는 여러 문항들에서 모두 정답을 선택했을 때 해당 수준으로 지

정해 주었다. 예를 들면, 수준 II 문항을 모두 맞고 수준 III의 문항을 다 맞지 못한 경우 LP의 수준을 수준 II로 지정하였다. 나머지 수준 III, IV도 동일한 방법으로 수준을 지정해 주었다. 학생들의 응답에 따라 개별 4문항의 수준을 지정한 후, 총 문항 중 75% 이상이 속해있는 수준을 학생들의 LP 수준으로 했다. 즉, 총 4문항의 개념 문항 중, 3문항 이상이 속한 수준을 LP의 수준으로 결정했다(신남수 등, 2014). 정확한 구분이 어려운 경우는 모델 평가형 문항과 모델 그리기형 문항의 학생서술 내용을 자세히 분석하여 수준을 결정했다. 코딩된 데이터는 기술통계 분석를 사용하여 각각의 수준에 몇 퍼센트의 학생들이 속했는지를 구분하여 중·고등학생별로 분석하였다. 문항별 분석은 중·고등학생과 고등학교 학년별, 학교별, 성별로 나누어서 t-검증으로 차이점을 조사하였다(신남수 등, 2014). 표상과 개념의 LP 이해도의 관련성은 비모수적 상관 분석인 Spearman 등위 상관계수로 두 변수 간 등위 사이의 일치도를 검정하였다.

문항 1: O-X형		
수준	번호	
II	101	우리 주변의 모든 물질은 원자들로 구성되어 있다
	109	금속판을 구성하는 원자들은 움직일 수 없다
III	102	원자 내에서 전자들 사이에는 공기가 존재한다
	104	원자핵은 원자의 부피 중 약 반을 차지한다
	105	전자는 원자핵을 둘러싸고 있다
IV	107	원자에서 핵은 모든 전자를 똑같이 끌어당긴다
	110	전자는 원자 내에 어디에나 존재할 수 있다
	111	전자가 원자에서 분리되어 나와 양이온을 만들 때, 분리되어 나오려는 정도가 원자 내의 모든 전자가 같다

<그림 III-3> 학생 개념 답안 수준 지정 예시



<그림 Ⅲ-4> 학생 표상 답안 수준 지정 예시

라. 문헌 연구

모델링 LP 연구의 특징을 이해하기 위하여 2001년에서 2018년까지 국내외 과학교육 관련 주요 학술지에 게재된 모델링 LP에 대한 연구 논문과 과학교육 정책 보고서의 연구 내용을 개괄적으로 검토하고 고찰하였다(고은정과 정대홍, 2019). 국외 논문은 과학교육 관련 저널인 Science Education(SE), International Journal of Science Education(IJST), Research in Science Education(RSE), Journal of Research in Science Teaching(JRST) 4개 저널과 학술 논문 데이터베이스인 SCOPUS, SCIENCE DIRECT 사이트에 게재된 논문을 대상으로 분석하였다. 국내에서 이루어지고 있는 모델링 LP 논문 검색은 학술검색 데이터베이스인 RISS(http://www.riss.kr), 국회전자도서관(http://dl.nanet.go.kr)을 통해 이루어졌다. 검색 키워드는 '모델(model)', '모델링(modeling)', 'LP(Learning Progression)'을 기본으로 사용하였으며, 키워드 조합인 '모델링에 대한 LP' 연구는 아직 미흡하여 학위 논문도 포함하였다. 초, 중, 고, 대학생, 예비교사, 현장 교사 등을 대상으로 한 연구 논문, LP 관련 이론적 연구, 과학교육에서 모델링 활동의 적용을 목적으로 하는 연구를 포함하였다. 논문의 제목에 모델, 모형이 포함되어 있어도 수업 또는 학습모형과 같이 관련 연구가 아닌 경우(예: 순환학습 모델, 발견수업 모형), 적

용 대상 과목이 과학이 아닌 다른 과목인 경우(수학, 사회에서의 모델링, LP)는 연구 논문에서 제외하였다. LP에 대한 국내외 연구 논문 47편, 모델 및 모델링에 대한 국내 연구 논문 80편, 모델링에 대한 LP 국내외 연구 논문 5편을 검토하였고, 이들 논문의 연구 대상, 핵심개념, 연구 방법 및 자료수집 등 주요 특징을 비교 분석하였다. 본 연구의 목적은 모델링에 대한 LP 특징 제시로써, LP 연구 및 모델링 연구 각각에서 본 연구와 관련이 있다고 판단한 내용 요소들만을 초록과 주제어를 중심으로 추출하였다.

검토한 주요 문헌 자료의 목록을 <표 Ⅲ-1>에 제시하였다(고은정과 정대홍, 2019). 이로부터 LP의 정의, 필요성, 연구방법 등에 대해 고찰하였으며 과학교과에서의 모델링 교수-학습방법을 탐구하였다. 선행연구의 특징을 추출하고, 우리나라 과학교육과정과 외국의 과학교육과정 속의 모델링 LP를 비교하여 한계점, 개선점 등을 논하였다.

<표 Ⅲ-1> 모델링의 LP 연구를 위해 검토한 주요 문헌 목록

요목	저자(년도)	주요 특징
학습 진행 과정	노태희 등 (2016)	핵심개념: 용해와 용액 대상: 초5~중3 학생 구인 모델링 방식을 적용
	맹승호 등 (2013)	핵심개념: 물의 순환 대상: 초등학생 LP 연구의 현황과 연구 방법을 소개하고, 물의 순환에 대한 LP 사례를 제시함
	신남수 등 (2014)	핵심개념: 물질의 입자성과 미시적 입자 표상 대상: 중, 고등학생 물질의 입자성과 미시적 입자 표상에 대한 LP를 제시하고 평가지를 개발 및 적용하여 중, 고등학생들의 LP 특성을 분석
	여채영과 이효녕	핵심개념: 생태계 대상: 초, 중, 고등학생 LP의 개발 단계 수립, 과학과 교육과정의 핵심 성취기준

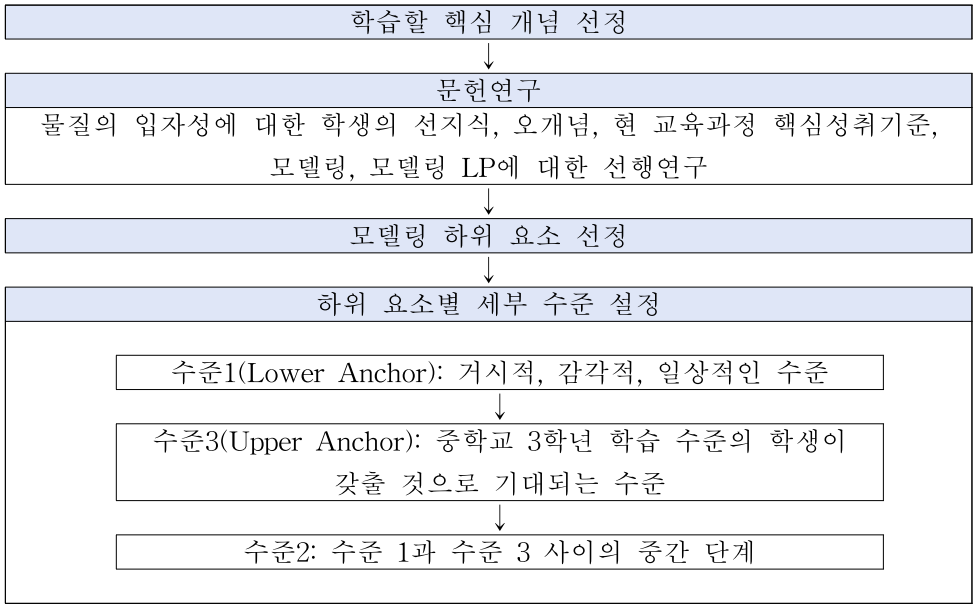
(2016)	을 적용한 LP를 제시함.
이기영과 박재용 (2017)	과학활동: 통합탐구 기능 대상: 중, 고, 대학생 126명 통합 탐구 기능에 대한 학생들의 LP 탐색
Alonzo & Steedle (2008)	핵심개념: 힘과 운동 대상: 7학년 순위정렬 선다형 평가문항과 개방형 질문을 이용하여 힘과 운동에 대한 LP를 4단계로 제시
Berland & McNeillL (2010)	과학활동: 논변(argumentation) 대상: 5-12학년 논변과정의 복잡성을 파악하여 과학적 논변에 대한 LP를 제시
Boo & Watson (2001)	핵심개념: 용액에서의 화학반응 대상: 12-16학년 학생들의 화학반응 관찰 후, 네가지 핵심요소에 대한 답을 통해 화학반응에 대한 LP 제시
Catley et al. (2005)	핵심개념: 진화 대상: K-8학년 핵심아이디어 설정과 핵심아이디어에 대한 학생들의 학습을 연구한 연구자료 기술 등, LP 개발과정의 예시를 제시하고자 함
Corcoran et al. (2009)	과학교과의 LP에 대한 전반적인 설명 LP 소개와 개발정도, 예시, 앞으로의 개발 방향 제시
Duncan et al. (2009)	핵심개념: 현대유전학 대상: 5-10학년 현재 유전학의 8대 주요 아이디어를 제안하고 학년별로 현대유전학에 대한 LP를 3단계로 나타냄
Lehrer & Schauble (2012)	핵심개념: 진화 대상: K-6학년 변화, 변이, 생태계에 대해 모델링 활동을 주제로 함

	Mohan et al. (2009)	핵심개념: 탄소 순환 대상: 4, 6-12학년 생명, 물질, 규모, 모델에 대해 탄소 순환 설명을 비교하여 LP 제시
	Stevens et al. (2010)	핵심개념: 원자구조와 전기적 힘 대상: 7-14학년 구인중심 설계 연구에 기반하였으며, 가설적/경험적, 다차원적인 LP를 제시함
모델링	김미영과 김희백 (2009)	중등과학 교과서의 생명 영역에 제시된 과학적 모형들의 유형 분석 선행연구를 통해 모형 분석틀을 개발하여 교과서의 모형들을 분석하여 양적 수치로 나타내고 그 사례를 함께 제시함
	김애정 등 (2012)	중학교 과학 교과서 물질 영역의 과학적 모형 유형 분석 중학교 1학년 11종 교과서에서 물질 영역의 모형의 유형 및 특성을 조사하고 과학적 모형 분석틀을 개발함. 개발한 분석틀로 모형의 유형과 빈도수 분석
	김한제 등 (2013)	'어는점 내림'에 대한 초등 예비교사들의 인식 조사 및 설명 모형 제안 어는점 내림에 대한 4개의 서술형 문항에 대한 초등예비교사들(18명)의 답안을, 과학적 용어 사용여부와 진술의 명확성에 따라 4가지 유형으로 분류하여 분석하고 간단한 설명 모형 예시를 제시함
	신미영 등 (2005)	서울대학교 과학 영재 프로그램에서 과학적 모형을 사용하고, 분석틀을 이용하여 분석함
	오필석 (2009)	대상: 예비 초등교사 모델에 대한 인식 연구 과학과 과학교육에서 사용되는 모델에 관한 예비 초등 교사들의 인식을 개방형 질문지를 통해 조사함
	유희원 등	대상: 중학교 과학영재 학생

	(2012)	달 위상 변화에 대한 과학적 모형 형성 수업에서 모형 생성 및 발달의 유형과 특성이 어떠한지를 알아보고, 모형발달과정에 영향을 미치는 모둠활동의 특성과 교사의 역할에 대해 살펴봄
	장은경 등 (2012)	대상: 대학생 3가지 실험을 모델링 탐구활동을 적용하여 실시하고, 대학생들이 모델을 만드는 사고과정 유형에 대해 살펴봄
	차정호 등 (2004)	대상: 중·고등학생 모델에 대한 인식 연구 과학적 모델에 대한 중, 고등학생들의 견해를 조사하고, 학년과 성, 성취도에 따라 견해를 비교함
모델링의 학습 진행 과정	김산희 (2016)	대상: 중학생 및 고등학생 전기영역에서 과학적 모델링에 대한 LP 탐색
	배대성 (2012)	대상: 중학생 힘과 운동 영역에서 모형구성에 대한 학습의 진행을 수준별로 상세화하고, 모형구성에서 중학생들이 가지는 어려움을 확인함
	Bamberger & Davis (2013)	학습자의 모델링 활동은 얼마나 내용 지식 향상과 연관이 있는지, 다른 영역으로 모델링 능력을 얼마나 전이할 수 있는가를 살펴봄
	Schwarz & White (2005)	대상: 7학년 학생, 4학급, 10.5주간의 수업처치 메타모델링 지식 교수를 동반한 탐구를 강조하는 것이 모델링의 본성과 과정에 대한 학생들의 이해를 개선하며, 모델-중심의 교육과정이 학생들의 탐구 기술과 물리 개념적 지식 성취를 향상시킨다는 것을 보여줌
	Schwarz et al. (2009a)	대상: 5, 6학년 학생 학생들로 하여금 어떻게 그림자가 생기는지에 대한 모델을 구성하게 하고, 모델을 어떻게 이해하는지에 대한 LP를 4수준으로 나타냄

마. 모델링 LP 구성 절차

‘물질의 입자성’에 대한 학습에서의 모델링 LP는 5인의 연구자간 합의 과정을 거쳐 제안되었다(고은정과 정대홍, 2019). 연구진은 과학교육 전문가 1인, 과학교육 전공 박사과정 2인, 초등교사와 중등 교사로 재직 중인 석사과정 2인으로 구성되었으며, 10개월 동안 주 1~2회 모델링과 LP에 대한 선행연구, 현 교육과정 및 핵심성취기준를 바탕으로 회의를 진행하여 모델링의 정의, 하위구성요소, 중점을 둘 과학 내용에 대해 논의하여 LP에 대한 큰 틀을 결정하였다. 이후, 모델링 하위 구성 요소별로 가장 낮은 수준에 해당하는 하위정착점(lower anchor)과 중학교 3학년 과정을 마쳤을 때 학생들이 도달해야 하는 수준으로 기대하는 상위정착점(upper anchor)을 설정하고 그 사이의 세부수준을 구별하였다<그림 Ⅲ-5>.



<그림 Ⅲ-5> 모델링 LP 구성 절차

결정한 가설단계의 LP는 중학교 과학 교사 2인 및 미국의 NGSS교육과

정 개발에 참여하였던 교육공학 전문가 1명의 협력 아래 수정되었다. 수정 과정에서 중점적으로 검토된 것은 하위요소별로 각각의 세부 수준에서 그 위계가 적절하게 배치되었는지에 대한 것이었다. 이 과정에서 7학년 남녀 학생 136명을 대상으로 물질의 입자성 내용을 기반으로 하는 모델링 문항을 제시하여 하위수준별로 어떠한 수준에 해당하는지 학생 답안을 채점하였다. 제시 문항은 Stevens & Shin(2010)이 개발한 '물질의 입자성' 검사지 중 한 문항이다<그림 Ⅲ-6>. 가설 단계의 모델링 LP가 학생의 수준에 적합한지에 대한 타당성을 확보하기 위해 3인의 연구자가 따로 채점하여 연구자간 채점 결과 일치율이 90% 이상이 될 때까지 LP 서술에서 모호하거나 중첩되게 제시된 부분이 있는지를 검토하여 수정하였다(고은정과 정대홍, 2019).

<그림 Ⅲ-6> 물질의 입자성 영역의 모델링 문항

3. [연구 2]의 연구 방법

학생의 과학적 모델링 활동에 대한 다양한 연구를 고찰하여 모델링 교수-학습 전략 개발을 6개월간 진행하였다. 개발된 모델링 교수-학습 전략과 활동 과제는 예비 검사를 통해 여러 차례 수정하는 과정을 거쳤으며, 개발된 활동 도구에 대해서 사용자 테스트를 통해 문제점을 수정하였다.

가. 중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 LP 기반 교수-학습 전략 개발

중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 LP 기반 교수-학습 전략 개발을 위하여 학생의 과학적 모델링 활동에 대한 선행 연구를 고찰하였다. 개발과정에는 과학교육 전문가 1인, 과학교육 박사과정 1인, 중등교사 2인이 참여하였다. 먼저, '물질의 입자성'에 대해 Stevens et al.(2013)의 LP와 우리나라 중학교 과학과 교육과정을 반영하여 핵심 개념을 추출하였으며, 핵심개념에 대해 교수-학습 내용을 선정하였다. 핵심 개념은 곧 모델링의 하위 요소인 '근거'로 볼 수 있으며, 학생들이 모델링 활동을 하기 위해서는 근거의 수집과 이해가 필요하다. 따라서 '핵심 개념 이해하기'를 모델링 교수-학습의 단계에 포함시켰다. 이후, '모델 경험하기', '모델 설계하기', '모델 평가·수정하기'를 순서대로 단계를 설정하고 각 단계에서의 교수-학습 전략에 대해 논의하였다. 각 수업마다 '모델 설계하기' 단계에 활동 과제를 제시하였다.

모델링 활동 과제의 내용은 물질의 입자성 개념의 이해도 측정 연구들(구선아, 2010; 김동현과 김효남, 2012; 김석중 등, 2002; 박인순과 강순희, 2009; 박지애 등, 2010)을 토대로 하였으며, 총 10개의 과제로 '물질의 입자성 개념 포함', '실생활 현상과 연계된 맥락적인 주제', '미시적 관점이 필요한 내용 포함' 이라는 세 가지 전략들을 공통적으로 적용하였다. 또한 모델링의 하위 요소 중 '표상', '근거', '설명(의사소통)' 요소를 측정할 수 있는 형식을 갖추었다. 표상 활동을 위해, 10개의 활동 과제 모두에서 그림을 그려 모델을 구성하도록 요구하였고 그렇게 그린 이유, 왜 이런 현상이 일어났는지에 대한 설명 요구를 통해서, 근거 제시와 설명의 활동이 가능하도록 하였다. 학생 답안의 수준이 수준 3에 이를 수 있도록 모델링 활동 과제를 개발하였다<표 Ⅲ-2>.

<표 Ⅲ-2> 모델링 활동 과제의 구성

	내용	형식
전략	1. 물질의 입자성 개념 포함 2. 실생활 현상과 연계된 맥락적인 주제 3. 미시적 관점이 필요한 내용 포함	1. 모델링 LP의 수준3에 해당되도록 구성 2. 모델링 하위요소 반영 가. 표상 나. 근거 다. 설명(의사소통)

개발된 모델링 활동 과제는 연구와 관련 없는 동일 학교 3학년 학생 39명을 대상으로 예비 검사를 통해 학생들이 과제를 접했을 때 연구자의 의도대로 해석하는지, 응답 결과는 과학적 모델링 측면으로 해석할 수 있는지를 검토하여 과제를 수정하는 과정을 거쳤다.

나. 모바일 기기를 활용한 모델링 활동 도구 개발 방법

개발과정에는 과학교육 전문가 1인, 교육공학 전문가 1인, 과학 교육 박사과정 1인, 중등교사 1인, 과학교과서 개발자 2인, 애플리케이션 개발 기술자 2인이 참여하였으며, 모델링 활동 도구 개발에 관한 논의를 진행하여 모바일 기기를 활용한 과학 모델링 활동 도구를 개발하였다. 사용한 모바일 기기는 안드로이드 OS 4.0, 삼성 갤럭시탭(화면 크기 8.9인치, 해상도 1280×800)이다(고은정과 정대홍, 2020).

모델링 활동 도구는 첫째, 교과서의 학습 내용을 학생들이 개별적으로 학습할 수 있는 '학습 내용' 측면, 입자를 여러 표상 형태로 제시하고 학생들이 간단히 조작해 볼 수 있도록 한 '모델 제시' 측면, 셋째, 학생들이 스스로 구성한 모델을 기록하고 공유할 수 있도록 한 '모델링 활동' 측면으로

구성되었다. 학습 메뉴와 하위 요소의 종류와 기능을 소개하면 다음 <표 Ⅲ-3>과 같다.

<표 Ⅲ-3> 모델링 활동 도구의 학습 메뉴

학습 메뉴	하위요소		기능
학습 내용	메모		• 학습 내용 페이지에 메모 입력(형광펜, 텍스트 입력 기능)
	메모함		• 자신의 메모 이력 보기
	화면저장		• 학습 중인 화면 캡쳐
	하이퍼링크		• 페이지에 웹 페이지 링크
	책갈피		• 페이지에 북마크하기
	읽기		• 음성으로 본문의 내용을 읽어줌
	학습 용어		• 학습 용어 등록 및 조회
	읽기 자료		• 학습 내용 관련 과학 읽기 자료 조회
모델 제시	멀티미디어		• 애니메이션, 비디오 학습
	체험 활동		• 시뮬레이션, AR 학습
모델링 활동	모델의 기록과 생성	기본 입력 기능	• 드로잉, 텍스트, 지우개
			• 이미지 삽입, 갤러리 연동, 동영상 촬영, 음성 녹음 삽입, 유투브 실행
		과학 교과 특화 입력 기능	• 과학 실험기구 삽입, 그래프 그리기, 입자 그리기, 움직임의 표현, 마인드맵 그리기
		저장	• 자신의 모델링 저장하기
	모델의 공유와 수정	불러오기	• 자신의 모델링 이력 가져오기
		내보내기	• 자신의 모델링 이력 공유하기
		모델링 활동 현황	• 친구들의 모델링 이력 보기
			• 댓글 입력
			• 공동 모델링 도구 실행

모바일 기기로 학습 내용을 제시함에 있어 학습 내용 페이지에 메모, 메모함, 화면 저장, 하이퍼링크, 책갈피, 읽기, 학습 용어, 관련 과학 읽기 자료를 추가하여 학생 개별화 수업이 가능하게 구성하였다. 모델 제시에서는 애니메이션, 동영상, 시뮬레이션, 증강 현실을 활용하였다. 학생들이 직접 모델링을 할 도구는 첫째, 학생들의 모델링 활동 기록을 보조하는 도구로서, 둘째, 모델링 활동의 저장 및 공유, 학생 및 교사간 의사소통을 하는 도구로써의 기능을 활용하고자 하였다. 모델링 활동 기록에 필요한 기본 기능으로 페이지 추가, 드로잉, 텍스트 입력 기능 등을 내장하였으며, 기본 기능 이외에 과학 교과에 특화되어 필요한 그래프 그리기, 입자 그리기, 화살표와 같은 움직임의 표현 그리기 등을 추가하였다. 또, 학생간·교사와 학생간 의사소통 도구로써 피드백 기능, 모델링 기록 결과 공유 기능을 추가하였다<표 Ⅲ-4>.

<표 Ⅲ-4> 모델링 활동 도구의 구성

학습 내용	모델 제시	모델링 활동
• 학습 내용 제시	• 미시적 입자 표상을 제시	• 모델을 기록, 생성
(메모, 책갈피, 학습 용어, 읽기 자료 등)	(표상 그림, 애니메이션, 동영상)	(기본 기능+과학 교과 특화 기능)
	• 학생들이 간단히 조작	• 생성한 모델 공유, 수정
	(시뮬레이션, 증강 현실)	(모델 결과 공유 기능, 피드백 기능)

논의된 내용은 연구자들이 구현해 보고 사용자 테스트 후 문제점, 개선점을 논의하여 수정하고 보완하였다. 모델링 활동 도구의 인터페이스 검증을 위하여 연구와 관련 없는 동일 학교 3학년 학생 39명을 대상으로 사용

자 테스트를 실시하였다(고은정과 정대홍, 2020). Norman et al.(2007)의 Questionnaire for User Interaction Satisfaction(QUIS) 설문 문항을 이용하였고, 전체적 사용자 반응, 화면, 용어, 학습, 시스템 능력, 멀티미디어 6개의 요소에 대해 10문항으로 구성되었으며 각 문항은 9단계 리커트 척도로 구성되었다.

4. [연구 3]의 연구 방법

‘물질의 입자성’에 대하여 개발한 모델링 LP 기반 교수-학습 전략을 모바일 기기를 활용하여 수업에 적용하고, 교수-학습의 효과를 교과서에 따른 수업과 비교하였다. 연구 대상, 연구 절차, 수업 방법, 검사 도구 및 분석 방법은 다음과 같다.

가. 연구 대상

본 연구의 대상은 분당에 위치한 중학교 1학년 남녀학생 136명으로, 해당 중학교는 ‘교육부 요청 디지털교과서 분야 연구학교’를 운영하고 있어 학생들이 이용할 모바일 패드 및 네트워크 환경이 갖추어져 있고, 전교과 디지털 교과서 활용 및 전교실 모바일 기기 환경 적용이 진행되고 있었다(고은정과 정대홍, 2020). 수업을 진행한 교사는 대상 학생들이 재학하고 있는 학교에서 디지털 교육에 대한 연수 및 교육 연구 활동을 활발하게 진행하고 있는 과학 담당 교사 1인이었으며, 학습 내용 개발 과정에 참여하여 연구의 의도를 이해하고 있었다. 연구자는 각 차시의 수업마다 교사 안내자료를 제작하였으며, 수업 전 담당 교사와 회의를 통해 수업의 구성면에서 도입, 전개, 정리에 사용할 내용, 자료, 시간을 조정하고 교사의 변인이 최소화될 수 있도록 하였다.

대상 학교 학생들의 정기고사와 국가수준 학업성취도 평가 중 과학 과

목의 평가 결과를 분석하여 학생들의 성취수준이 한쪽 등급에 편향되지 않고 고루 퍼져있음을 확인하여 동일한 과학교사가 수업하는 1학년 전체 4개 학급의 학생들의 수준이 고루 퍼져있을 것으로 예상하고 학급을 기준으로 남녀 학생 수에 차이가 나지 않도록 임의로 두 집단으로 나누었다. 모델링 활동 집단(처치집단)과 통제집단으로 두 학급씩 나누어 선정하였으며 사전 개념 평가를 실시함으로써 학습 수준 면에서 동질 집단임을 확인하였다<표 Ⅲ-5>.

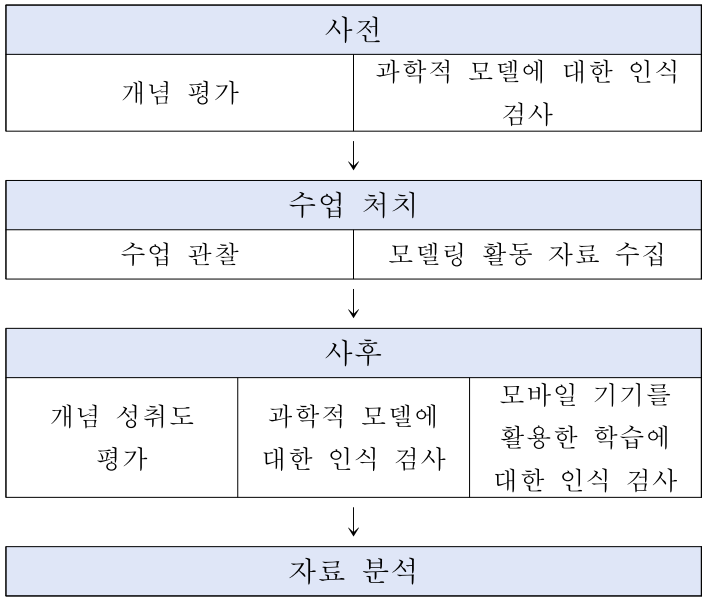
<표 Ⅲ-5> 연구 대상

	통제집단	처치집단
남	35	35
여	33	33
계	68	68

나. 연구 절차

수업을 실시하기에 앞서 각 집단에 대하여 사전 개념 평가와 과학적 모델에 대한 인식 설문을 실시하였다. 사전 개념 평가에 대한 결과를 수집하여 두 집단의 동질성을 확인한 후 수업을 실시하였다. 물질의 입자성을 핵심개념으로 하는 '기체의 성질'과 '물질의 상태변화' 단원에 대하여 1차시 45분의 수업을 일주일에 3회, 4주간, 총 12차시에 걸쳐 두 집단에 모델링 활동 수업과 교과서에 따른 수업을 각각 진행하였다. 수업 동안 학생들의 모델링 활동 자료를 수집하고 사후 과학적 모델에 대한 인식 검사, 개념 성취도 평가를 실시하였으며 처치집단에게는 모바일기기를 활용한 학습에 대한 인식 조사를 추가로 실시하였다. 수집된 자료는 수업 처치 이후 ANCOVA, t-검정 등의 통계적 분석과 모델링 활동 자료의 질적 분석 등

다각도로 분석되었다<그림 Ⅲ-7>.



<그림 Ⅲ-7> 연구 3의 연구 절차

다. 수업 방법

수업 운영에 있어서 도입과 전개의 강의식 부분은 통제 집단과 처치 집단 모두 동일한 형태로 진행되었다. 학생들에게 제공한 학습 내용은 동일하고 다만, 통제 집단은 교과서를, 처치 집단은 모바일 기기를 이용하였다. 12차시에 걸쳐 교사가 전체 학생을 대상으로 도입 부분(생각하기)을 진행하고 배울 내용에 대해 강의식으로 설명한 이후, 처치집단은 그 차시의 모델링 활동(시뮬레이션, AR, 비디오 등)을 모바일 기기를 가지고 개별적으로 학습하는 시간을 갖고, 주어진 모델링 활동 과제에 대한 답안을 작성하였다. 통제집단 학생들은 처치 집단과 같은 내용에 대해서 교과서를 중심으로 개념 확인, 탐구활동, 조사하기 등을 진행하였다. 수업의 예시는 <표 Ⅲ-6>와 같다. 연구자는 모든 수업에 참관하여 수업 진행 상황을 확인하였다.

<표 Ⅲ-6> 모바일 기기를 활용한 모델링 수업 과정 예시

학습 내용	통제 집단		처치 집단	
입자 운동은 온도의 영향을 받는다	도입	온도에 따라 기체의 부피가 변하는 이유 생각해보기	핵심 개념 이해하기	온도에 따라 기체의 부피가 변하는 이유 생각해보기
	전개	강의식: 입자 운동과 온도의 변화(교과서 학습 내용)		강의식: 입자 운동과 온도의 변화(모바일 기기 학습 내용)
		교과서에 따른 학습 - 온도에 따른 탁구공 모양 변화 교과서 그림과 설명 - 교사의 시범 탐구 활동: 유리관 속 잉크 방울의 높이 변화 실험	모델 경험하기	모바일 기기를 활용한 개별학습 - 온도에 따른 탁구공 모양 변화 동영상 실행 - 유리관 속 잉크 방울의 높이 변화 실험 비디오 재생 및 온도에 따른 입자 운동 AR 실행
	정리	종이와 펜을 이용한 개념 확인, 탐구 활동, 조사하기	모델 설계하기	모바일 기기 활동 도구를 활용하여 모델 설계하기(활동 과제 제시)
			모델 평가 수정하기	모바일 기기 활동 도구를 활용한 모델 공유하기, 피드백

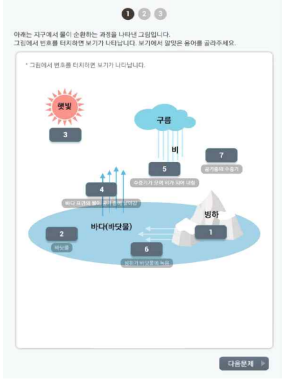
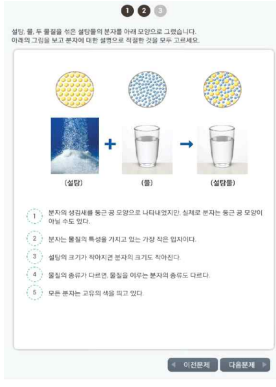
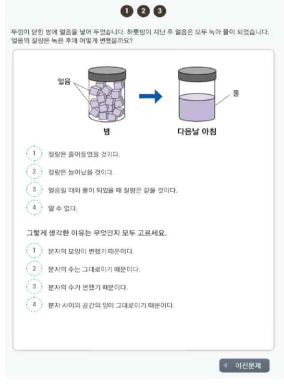
라. 검사 도구 및 분석 방법

본 연구에서는 사전 평가를 실시하여 두 집단의 동질성을 확인하였다. 과학적 모델의 인식에 대한 설문을 사전, 사후에 실시하였으며 개념 성취도 평가 및 모바일 기기 활동 수업에 대한 인식을 사후에 실시하였다. 또한 수업 과정 동안 학생들이 작성한 모델링 활동 과제의 답안을 수집하여 학생 개념 이해의 질적 변화를 살펴보았다.

1) 사전 개념 평가

사전 개념 평가는 선다형 세 문항으로 <표 Ⅲ-7>에 제시하였으며, 문항은 국가 수준 학업 성취도 평가 및 교과서의 평가 문항을 참고하여 개발하였다(이현영, 2015). 각 문항의 오답은 선행연구(구선아, 2010; 박인숙과 강순희, 2009; 박지애 등, 2010; 이현영, 2015; 정지영, 2009; Johnson, 1998)에서 드러난 학생들의 오개념을 참고하여 구성하였다(고은정과 정대홍, 2020).

<표 Ⅲ-7> 사전 평가 문항

번호	1	2	3
사전 평가 문항	아래는 지구에서 물이 순환하는 과정을 나타낸 그림입니다. 그림에서 번호를 터치하면 보기가 나타납니다. 보기에서 알맞은 용어를 골라주세요.	설탕과 물, 두 물질을 섞은 설탕물의 분자를 아래 모양으로 그렸습니다. 아래의 그림을 보고 분자에 대한 설명으로 적절한 것을 모두 고르세요.	뚜껑이 닫힌 병에 얼음을 넣어 두었습니다. 하룻밤이 지난 후 얼음은 모두 녹아 물이 되었습니다. 얼음의 질량은 녹은 후에 어떻게 변했을까요?
제시 형태			

문항 1은 초등학교 수준의 물질의 상태 및 상태 변화에 대한 용어 및 개념의 이해를 평가하기 위함이며, 문항 2는 입자 표상의 특성에 대한 학생들의 이해 수준을 평가하고, 문항 3은 상태 변화 전후의 질량 보존 개념을 평가하는 것을 목적으로 하였다. 학생의 답안을 채점하여 독립표본 t-검증으로 집단의 차이를 분석하여 동질성을 판단하였다. 통계적 분석은 SPSS(version 21.0)를 활용하였다.

2) 과학적 모델에 대한 인식(SUMS)

과학적 모델에 대한 학생들의 인식을 조사하기 위해 Treagust et al.(2002)의 SUMS(Students' Understanding of Models in Science)의 문항을 사용했다. SUMS는 '모델의 다양성', '모델의 실재성', '설명 도구로서의 모델', '모델의 유용성', '모델의 잠정성'의 5가지 범주로 구성되어 있으며, 범주별 각각 순서대로 8, 8, 5, 3, 3개로 총 27문항을 사용했다. '모델의 다양성(MR:Models as multiple representations)'은 총 8문항으로 구성되어 있으며, 모델이 다양해야 하는 근거를 모델을 만드는 사람의 입장, 모델의 본성 측면에서 조사하도록 되어 있다. '모델의 실재성(ER: Models as exact replicas)'은 총 8문항으로 구성되어 있으며 모델이 어느 정도로 실재성 높게 표현해야 하는지, 어떤 요소를 정밀하게 복제해야 하는가에 대한 인식을 조사하도록 되어있다. '설명적 도구로서 모델(ET: Models as explanatory tools)' 영역은 총 5문항으로 구성되어 있다. 이 영역에서는 과학적 모델이 학생들의 학습 개념을 설명해주는 것과 관련이 있는지를 확인하는 것이다. 단순한 표현적 도구, 정신 모델 형성 도구, 과학현상을 표현하는 도구, 아이디어 표현하는 도구로서의 속성에 대한 인식을 설문을 통해 확인한다. '모델의 유용성(USM:Uses of scientific models)' 영역은 총 3문항으로 구성되어 있으며 모델이 어떻게 사용되어질 수 있는가에 대한 인식을 확인하는 것이다. 과학적 사건들에 대한 이론 형성과 아이디어의 체계화 기능, 탐구적 기능, 예측과 검증의 기능에 대한 인식을 확인하고자 한다. '모델의 잠정성(CNM: The changing nature of models)' 영역은

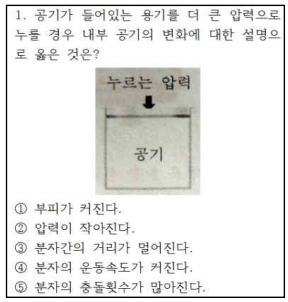
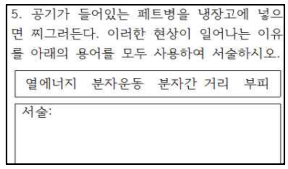
총 3문항으로 이루어져 있다. 이 영역에서는 새로운 발견, 새로운 이론이나 증거, 데이터나 신념에 따라 모델이 변할 수 있는 속성인가에 대한 인식을 확인하고 있다.

각 문항은 5단계 리커트 척도로 구성되어 있으며 본 연구의 검사지 내적 신뢰도(크론바하 α)는 5개 영역 순서대로 각각 .69, .32, .71, .72, .75 로 1개 영역의 신뢰도가 낮았으며 전체 문항의 신뢰도는 .70이었다(고은정과 정대홍, 2020). 본 연구에서는 검사지 내적 신뢰도가 낮은 '모델의 실재성'을 제외한 4가지 범주에 대해 분석하였다. 통계 분석은 4가지 범주에 대한 평균과 표준편차를 구하고, 수업처치를 독립변인으로 하고 사전 인식을 공변량으로 하며 사후 인식을 종속변인으로 하는 공분산분석(ANCOVA)를 실시하였다. 통계적 분석은 SPSS(version 21.0)를 활용하였다.

3) 사후 개념 평가

사후 개념 성취도 평가 문항은 각 수업 차시의 학습 목표에 기초하여 12문항으로 구성하였다. 문항은 국가 수준 학업 성취도 평가 및 교과서의 평가 문항을 참고하여 개발하였고(이현영, 2015) 8개의 문항은 선다형 답지 중 하나를 선택하는 것이었으며, 4개의 문항은 서술형으로 구성하였다. <표 Ⅲ-8>과 같이 선다형과 서술형 문항 모두에서 '물질의 입자성'에 대한 내용 영역을 다루었으며 Bloom의 평가 목표 이원 분류표에 따라 지식 3문항, 이해 5문항, 적용 4문항으로 구성되었다. 제작한 검사 문항에 대하여 과학교육 전문가 4인으로부터 안면 타당도를 검증받았고 검사 실시 후 크론바하 α로 구한 신뢰도는 .65이었으며 수업 처치 효과를 살펴보기 위하여 독립표본 t검정을 실시하였다.

<표 III-8> 사후 평가 문항 예시

	사후평가 문항 예시	제시 형태
(a) 선다형	공기가 들어있는 용기를 더 큰 압력으로 누를 경우 내부 공기의 변화에 대한 설명으로 옳은 것은? ① 부피가 커진다. ② 압력이 작아진다. ③ 분자간의 거리가 멀어진다. ④ 분자의 운동속도가 커진다. ⑤분자의 충돌횟수가 많아진다.	
(b) 서술형	공기가 들어있는 페트병을 냉장고에 넣으면 찌그러든다. 이러한 현상이 일어나는 이유를 아래의 용어를 모두 사용하여 서술하시오. 열에너지, 분자운동, 분자간 거리, 부피	

4) 모델링 활동 과제 답안

수업 과정 동안 학생들이 모바일 기기를 활용하여 작성한 모델링 활동 과제의 답안을 수집하였다. 시간대별로 학생들의 답안이 서버에 수집되었으며 이를 문항별, 학생별로 다시 분류하여 학생 개념 이해의 질적 변화를 분석하였다.

5) 모바일 기기를 활용한 학습에 대한 인식

모바일 기기를 활용한 학습에 대한 인식은 Bebell(2005)의 TPSE 학생설

문과 GoKnow(2004)의 Palm 컴퓨터 학생 설문을 참고로 하였으며, 개발한 검사는 과학교육 전문가 1인과 교육공학 전문가 1인으로부터 안면 타당도를 검증받았다(고은정과 정대홍, 2020). 모바일 기기를 학교 내에서 어떤 시간에 사용해보았는지와 모바일 기기 선호도에 대해 모든 집단에 대해 사전에 조사하였고 사후 모바일 기기를 활용한 모델링 활동 집단에 대해 모바일 기기에 대한 선호도, 학습 흥미도, 학습 유용도 등에 대해 10문항을 5점 리커트 척도로 조사하였다. 또한 모바일 기기 활용 학습이 좋은 이유에 대해 복수응답이 가능하게 조사하였다.

Ⅳ. 연구 결과

연구 1. 중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 LP의 개발

본 연구에서는, '물질의 입자성' 개념과 미시적 입자 표상에 대한 중·고등학교 학생들의 이해 수준을 LP를 활용하여 분석하였다(신남수 등, 2014). 또 국내외 선행 연구로부터 모델링 LP 개발의 방향성을 제안하고, 과학 내용과 과학 활동이 연계된 모델링 LP를 이론적으로 제시하였다(고은정과 정대홍, 2019).

가. 물질의 입자성에 대한 개념과 표상 LP 연구

본 연구는 '물질의 입자성' 개념과 미시적 입자 표상에 대한 중·고등학교 학생들의 LP를 탐색하였다. 미시간 대학 연구팀이 개발한 LP 및 관련 평가지(NGSS Lead States, 2013; NRC, 2013; Stevens et al., 2009b; Stevens & Shin, 2010)를 우리나라 과학과 교육과정과 연계하여 수정·개발하여 서울지역 124명의 중·고등학생의 LP 특성을 분석하는데 사용하였다(신남수 등, 2014). 학생들의 입자성 개념과 표상의 이해도, 개념과 표상 이해도 사이의 연관성을 중점으로 분석하였다.

1) 물질의 입자성 개념에 대한 LP 특성

물질의 입자성 '개념'에 대한 이해 과정에서 수준 Ⅰ은 물질의 세 가지 상태를 구분하고, 모양과 부피에 대해 거시적으로 이해하는 수준이다. 수준 Ⅱ에서 학생들은 '모든 물질은 너무 작아서 눈에 보이지 않는 아주 작

은 입자로 이루어져 있다'는 입자적 관점을 이해하고, '원자와 분자가 물질을 이루는 기본 단위'임을 알게 된다. 원자와 분자의 본성을 이해한 후, 수준 Ⅲ과 Ⅳ에서 심층적인 원자구조, 분자구조, 분자결합을 이해하게 된다.

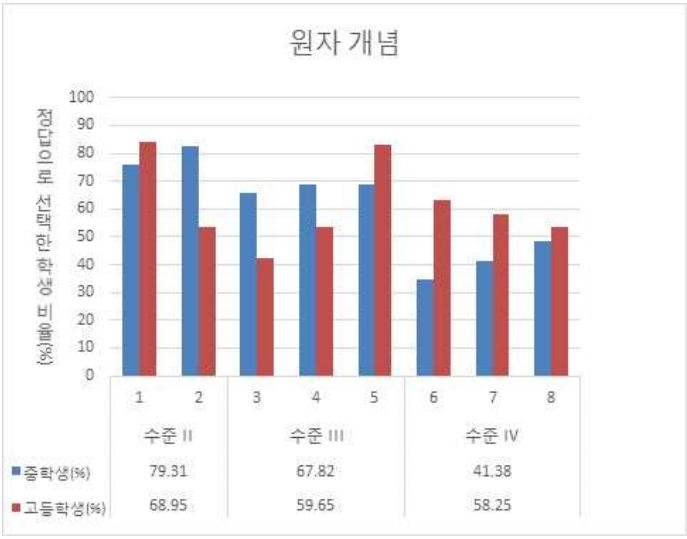
네 개의 문항에서 얻은 수준을 조합하여 얻은 학생들의 수준 분포는 <표 Ⅳ-1>과 같다. 대부분의 학생들은 수준 Ⅰ에서 Ⅲ에 분포하고 있으며, 고등학생들은 수준 Ⅰ 65%, 수준 Ⅱ 21%, 수준 Ⅲ 14%로 거시적 개념 이해에 많이 분포(65%)하고 있으며, 중학생들은 수준 Ⅰ 34%, 수준Ⅱ 38%, 수준 Ⅲ 24%로 거시적 이해, 입자적 이해에 골고루 분포하고 있다. 이는 대부분의 고등학생이 물질의 입자성에 관한 오개념을 가지고 있어 초등학교 수준의 거시적 물질 개념에 머물고 있음을 보여준다. 또한 높은 수준으로 갈수록 학생들의 숫자가 점진적으로 낮아지는 결과는 학생들이 단순개념에서 복잡한 개념으로 이해 과정이 쉽지 않음을 나타낸다. 특히, 거시적 관점에서 입자적 관점으로 개념 이해 과정에 많은 어려움이 있음을 나타낸다. 중·고등학생들의 입자성 개념 LP의 특성을 이해하기 위해 원자개념과 분자개념 문항들을 개별로 자세히 분석하였다.

<표 Ⅳ-1> '물질의 입자성' 개념에 대한 LP

수준	학생수	
	고등(%)	중등(%)
수준 Ⅰ 거시적 이해 (Macroscopic)	62(65.26)	10 (34.48)
수준 Ⅱ 미시적 입자 이해 (Basic Particle Model)	20(21.05)	11(37.93)
수준 Ⅲ 원자 구조 이해 (Basic Atomic Structure)	13(13.68)	7(24.14)
수준 Ⅳ 분자의 결합과 구조 이해 (Basic Bonding)	0(0.00)	1(3.45)
수준 Ⅴ 전자의 확률론적 분포 이해 (Probablilistic Model)	0(0.00)	0(0.00)

가) 원자개념

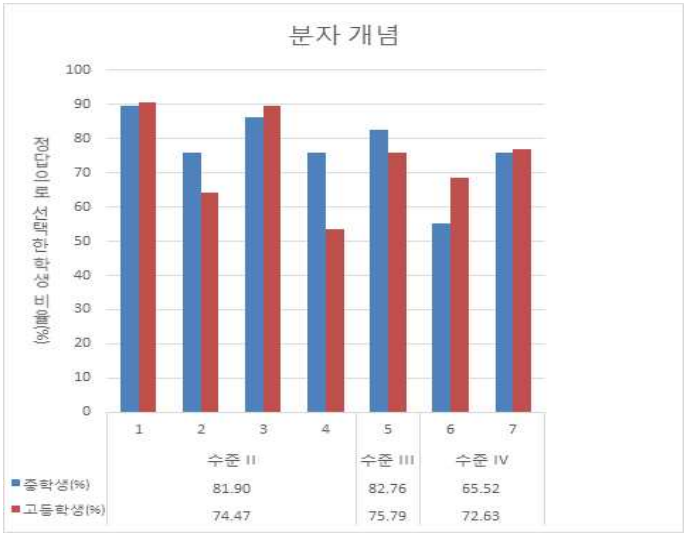
원자개념 문항 분석 결과를 종합해 보면, 중학생들은 높은 수준으로 갈수록 점진적으로 정답률이(수준 II: 79%, 수준 III: 68%, 수준 IV: 41%) 낮아지는 LP의 진행 과정으로 이동하는 경향을 보인다<그림 Ⅳ-1>. 이와 반대로 고등학생은 수준과 상관없는 불규칙한 정답률을 보인다. 모든 수준 IV 문항에서 고등학생들이 중학생보다 정답률이 높다. 하지만 몇몇 수준 II와 III 문항에서 중학생들보다 정답률이 낮으며, 수준 IV에 해당하는 문항들보다도 정답률이 낮게 나타난다. 예를 들면 수준 II 문항인 '금속판을 구성하는 원자가 움직일 수 있다' (중: M = 0.83 [SD=0.38] 고: M = 0.54 [SD = 0.50], t = 3.31, p = 0.002**), 수준 III 문항인 '원자 내에서 전자들 사이에 공기가 존재한다' (중: M = 0.66 [SD=0.48] 고: M = 0.42 [SD = 0.50], t = 2.27, p = 0.028*)와 '원자핵이 원자의 부피 중 약 반을 차지한다' (중: M = 0.69 [SD=0.47] 고: M = 0.54 [SD=0.50], t = 1.50, p =0.138, [NS])에서 이러한 경향이 나타난다. 이는 고등학생들이 수준 IV에 해당하는 문항엔 정답률이 높으나 낮은 단계의 원자에 대한 정교하지 못한 개념을 갖고 있고, 이로 인해 65% 이상의 고등학생들이 수준 I의 LP에 속하게 된 것이다. 학년별, 학교별, 성별 분석 결과, 일반적인 모든 고등학생들이 비슷한 경향을 보였다. 종합해 보면, 본 연구에 참여한 중학생들은 단순한 원자개념을 이해하고 오개념 없이 LP로 이동하고 있음을 알 수 있다. 하지만, 참여한 고등학생들은 고등학교 교과내용은 외우고 있으나, 필요한 선개념을 확인하고 새로운 개념과의 연결하는 과정 없이 불완전한 LP로 수준을 이동하고 있으며, 원자개념 지식체계로 정교하게 학습을 진행시키지 못하고 있음을 추측할 수 있다. 현 교육과정에서 물질의 입자적 개념과 원자구조 개념의 교육방법 문제점을 알아보고 효과적인 교수-학습 연구가 필요함을 시사한다. 이러한 불완전한 학습은 높은 수준의 복잡한 개념 습득을 어렵게 하고, 학생들을 전문가적인 지식체계를 가진 과학자로 교육하는데 대학교육 및 대학졸업 후 교육에 많은 노력을 요하게 한다.



<그림 Ⅳ-1> 원자 개념에 대한 LP

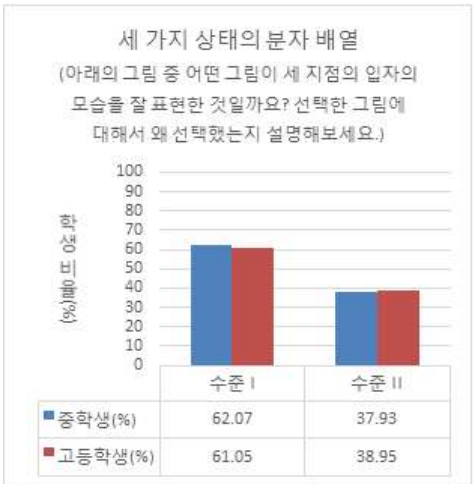
나) 분자개념

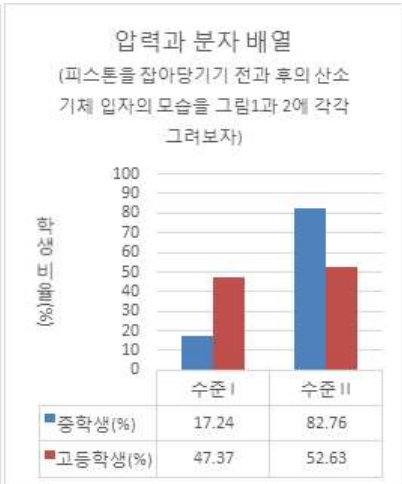
분자개념 문항 결과에서, 중학생과 고등학생들은 유사한 학습 진행 경향을 보였다. 수준 II와 III 문항에 비슷한 정답률을 보였고, 이온화 에너지, 에너지 준위 등이 연관된 수준 IV 분자의 구조 문항에서는 고등학생들이 중학생보다 정답률이 높았다(중: M = 0.34 [SD = 0.48], 고: M = 0.63 [SD = 0.49], t = 2.79, p = 0.006**). 하지만, 수준 II(입자적 개념)와 수준 III(분자적 개념) 문항의 정답률은 중학생이 높은 경향을 보인다<그림 Ⅳ-2>. 예를 들면, '아이스크림은 분자도 차갑다' (중: M = 0.76 [SD = 0.44], 고: M = 0.64 [SD = 0.48], t = 1.23, p = 0.23 [NS])와 '바위를 구성하는 분자는 움직이지 않는다' (중: M = 0.76 [SD = 0.44], 고: M = 0.54 [SD = 0.50], t = 2.31, p = 0.03*)는 문항에서 고등학생들이 중학생보다 정답률이 낮았다.

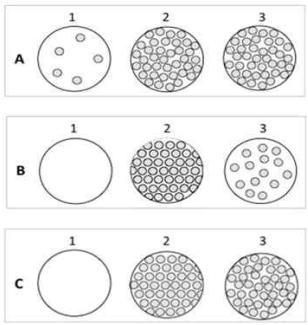
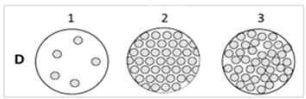


<그림 Ⅳ-2> 분자 개념에 대한 LP

또한, 밀폐 용기에 물을 넣어두었을 경우, 공간에 아무것도 없을 것이라고 잘못된 개념을 가진 학생들이 많아 대부분 학생들이 거시적 개념 이해에 머물고 있다고 분석되었다<그림 Ⅳ-3a>. 물의 증발을 생각하지 못하며, 공간 안에 기체 입자는 없다고 생각한다. 주사기를 잡아당기기 전과 후의 산소 기체 입자를 그리는 문항에서 입자의 개수가 변하거나, 크기와 모양 변화, 한쪽으로만 몰리는 입자 분포 등을 그리는 등, 정확하지 못하거나 정교하지 못한 개념을 가지고 있는 것으로 나타났는데, 특히 고등학생에게서 이러한 현상이 많이 나타났다<그림 Ⅳ-3b>. 학년별, 학교별, 성별 차이 없이 모든 고등학생들이 비슷한 경향을 보였다.





수준	a. 세 가지 상태의 분자배열	수준	b. 압력과 분자배열
수준 Ⅰ		수준 Ⅰ	- 입자크기 변한 경우 - 입자모양 변한 경우 - 배열 오개념(쏠리거나 바깥 벽 쪽으로 붙음, 원 안에만 존재하게 그림)
수준 Ⅱ		수준 Ⅱ	- 입자 크기, 모양 변화 없이 거리, 배열만 변화하게 그린 경우

<그림 Ⅳ-3> 분자 배열에 대한 개념 LP

결과를 종합해 보면, 학생들은 분자개념의 이해가 원자보다 높았으며, 복잡한 원자와 분자 개념에 대해 배우지 않은 중학생이 고등학생들보다 오개념이 적은 것으로 분석되었다. 이는 참여 고등학생들은 하위의 물질의 입자성 이해도가 부족한 채, 고난위의 분자구조를 배우고 있으며 이로 인해 체계적인 이해단계로 진행을 못하는 불완전한 물질의 입자적 개념 LP

로 진행하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는, 현 교육과정의 학생들이 LP III수준에 관련된 원자, 분자 입자성과 원자구조 내용 학습을 깊이 있게 다루지 못하는 것으로 추측할 수 있다. 학생들의 유의미한 물질의 입자성 개념 이해를 위해 현 교육과정의 원자, 분자 입자성 개념 제시 순서를 분석하고 학생들의 이해도에 따라 다양한 경험을 제시하였는지 살펴볼 필요성이 있다.

2) 물질의 미시적 입자 표상에 대한 LP 특성

물질의 미시적 입자'표상' LP는 수준 Ⅰ에서 거시적 표상 즉 관찰 가능한 속성으로 물질을 묘사하는 수준이다. 수준 Ⅱ에서 학생들은 입자의 종류, 배열, 운동, 다른 입자와의 상호작용을 표상으로 나타낸다. 수준 Ⅲ과 Ⅳ에서 심층적인 원자구조, 분자구조, 전자의 확률론적 분포, 오비탈 등을 표상한다.

네 개의 문항에서 얻은 수준을 조합하여 얻은 학생들의 표상 수준 분포는 <표 Ⅳ-2>에 나타내었다. 수준 Ⅰ에 해당하는 학생은 거의 없으나 수준 II에서 수준 IV로 이동하는 단계에서 학생 수가 점진적으로 줄어드는 결과를 보이는데, 이는 학생들이 거시적인 표상 이해보다는 높은 수준에 있지만 대체로 미시적 입자 표상 수준의 LP에 머물고 있음을 나타낸다. 대부분 학생들의 표상 이해는 수준 II(미시적 입자 이해) 수준이며(고: 67%, 중: 59%), 수준 III(원자구조)와 수준 IV(분자결합 구조 이해)에 분포하는 비율은 중학생(41%)이 고등학생(29%)보다 높다. 중·고등학생들의 물질의 입자 표상의 특성을 이해하기 위해 아래와 같이 원자 표상, 원자구조 표상, 분자 표상 문항별로 자세히 분석하였다.

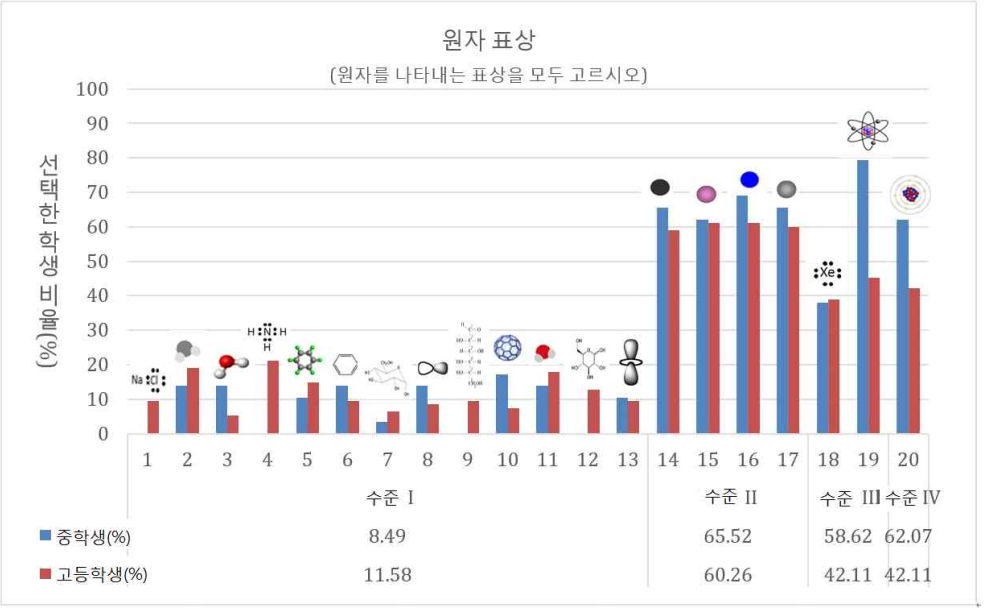
<표 Ⅳ-2> '물질의 입자성' 표상에 대한 LP

수준	학생수	
	고등(%)	중등(%)
수준 I 거시적 이해 (Macroscopic)	3(3.16)	0(0.00)
수준 II 미시적 입자 이해 (Basic Particle Model)	64(67.37)	17(58.62)
수준 III 원자 구조 이해 (Basic Atomic Structure)	25(26.32)	6(20.69)
수준 IV 분자의 결합과 구조 이해 (Basic Bonding)	3(3.16)	6(20.69)
수준 V 전자의 확률론적 분포 이해 (Probablilistic Model)	0(0.00)	0(0.00)

가) 원자 표상

원자 표상 문항에서 4개의 입자형 표상을 선택한 학생의 비율은 고등학생과 중학생 모두 높게 나타났는데(고: 60%, 중: 66%), 학생들은 원자를 수준 II의 입자형이라고 생각하는 경향이 높다<그림 Ⅳ-4>. 전체적인 고등학생의 결과는 문항18을 제외하면, 수준이 높을수록 정답률이 낮아지는 경향을 보이는(수준II: 60%, 수준III: 42%, 수준IV: 42%) LP의 진행과정으로 이해과정이 진행됨을 보여준다. 대부분의 학생들은 문항18 '원자가전자를 원소기호 주변에 배치한 루이스전자점식 표상은 원자를 나타낸다'에서 낮은 빈도를 보였다. 하지만 중학생들의 원자 표상 정답률이 고등학생들보다 높았으며, 특히 수준 III와 IV 문항에서 고등학생보다 높은 선택율을 보인다(수준 IV, 중: M=0.62 [SD=0.49] 고: M=0.42 [SD=0.50], t=1.90, p=0.060*. 수준 III, 중: M=0.79 [SD=0.41] 고: M=0.45 [SD=0.50], t=3.69, p=0.001**). 두 문항은 원자핵과 전자의 에너지 준위를 함께 표시한 표상이다. 중학생들은 원소기호와 전자점이라는 symbol보다는, 핵과 전자를

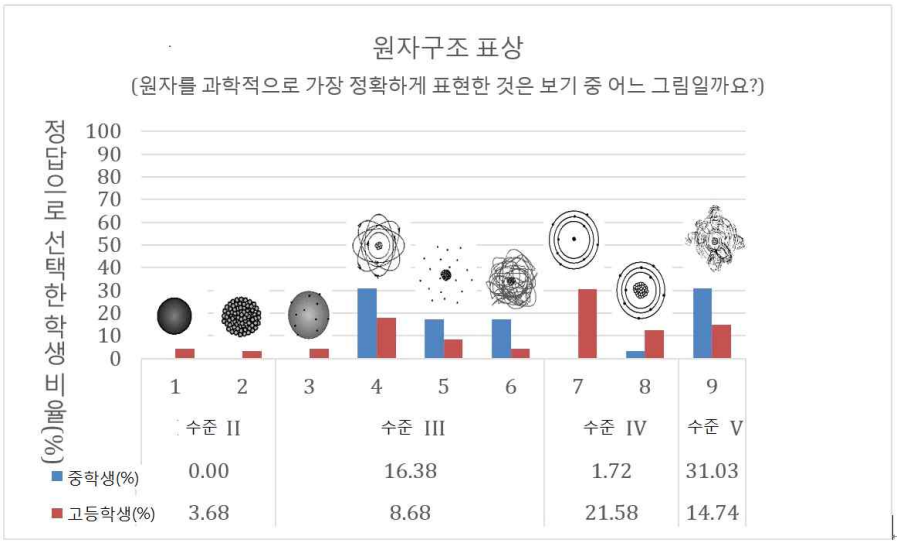
구형으로 표현한 표상을 더 원자표상에 가깝다고 여기는 것으로 해석된다. 또한 고등학생들이 수준 I의 표상(오답)을 중학생들보다 많이 선택한 결과는 입자형 분자나 오비탈 표상을 원자로 인식한 불완전한 개념을 가지고 있음을 나타낸다. 이러한 결과의 원인을 알아보기 위해서는 대상 중고등학교 학생들의 학교과학수업 및 과학교과서 내용을 분석하여 수준 III와 IV 모델에 대한 학습경험이 어떻게 이루어졌는지에 대한 분석이 필요하다.



<그림 Ⅳ-4> 원자 표상에 대한 LP

원자의 구조를 구체적으로 나타낸 표상 문항에서<그림 Ⅳ-5>, 고등학생들은 전자들이 에너지 준위를 가지고 핵 주위를 돌고 있는 수준 IV 표상을 주로 선택했다(43%). 하지만 중학생들은 수준 III와 수준 V의 표상을 주로 선택하여 고등학생들과 다른 양상을 보였다. 특히, 원자핵 주변에 전자가 돌고 있는 것을 나타내는 문항 4와 9에 각각 31% 학생들이 응답하였다. 이러한 결과의 자세한 분석을 위해서는 현 교과서, 문항지, 그리고 교

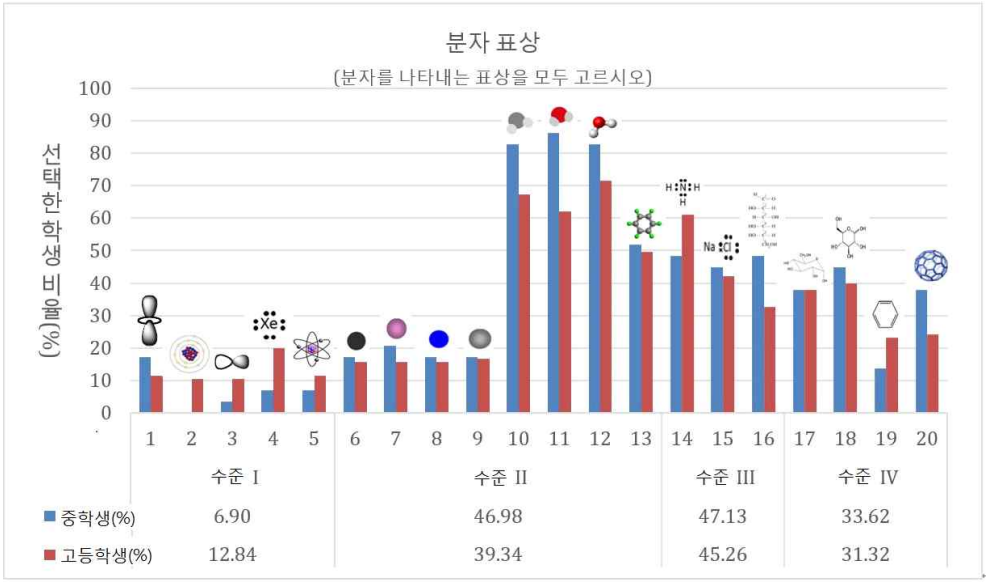
사의 표상의 사용도 현황 연구가 수행되어야 하므로, 이에 대한 후속 연구가 필요하다.



<그림 Ⅳ-5> 원자구조 표상에 대한 LP

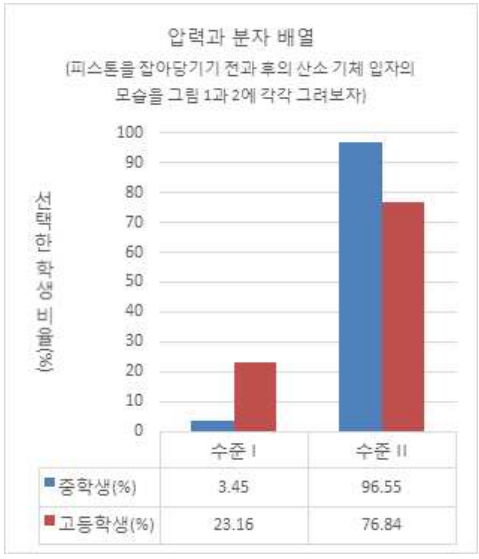
나) 분자 표상

분자 표상 문항 분석에서 학생들의 정답률은 수준이 높아지면서 낮아지는 경향을 보이는 LP 경로 이동을 보여준다(중, 수준 II: 47%, 수준 III: 47%, 수준 IV: 34%). 문항별 결과를 보면, 같은 수준 II이지만, 입자형 모델(문항6-9) 선택율이 다른 표상들의 선택율보다 현저히 낮음을 확인할 수 있다<그림 Ⅳ-6>. 이는 학생들이 입자형 표상을 원자의 표상이라고는 생각하지만 분자 표상으로는 연결짓지 못함을 나타낸다. 또한, 모든 수준 II 의 정답률이 중학생이 높은 경향을 보이는 결과는 고등학생이 입자형 표상으로 분자를 표현할 수 있다는 생각을 하지 못하고 다원자 형태의 표상만을 분자의 표상으로 생각하는 제한된 개념을 가지고 있음을 나타낸다.

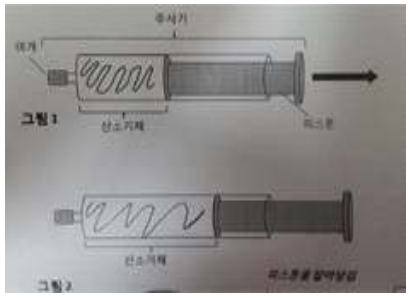
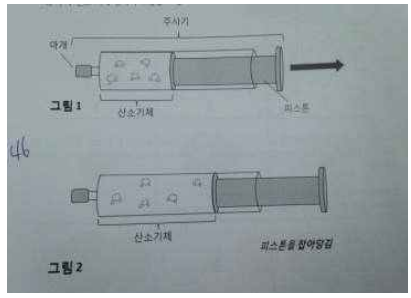
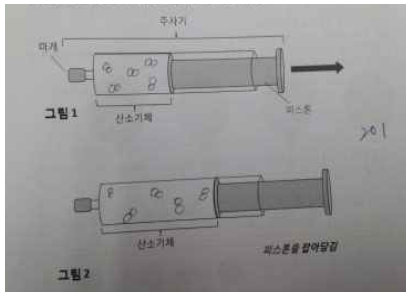
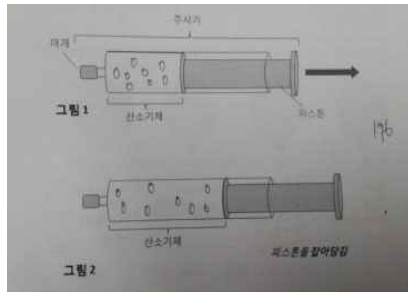


<그림 Ⅳ-6> 분자 표상에 대한 LP

또한, 주사기를 잡아당기기 전과 후의 산소 기체 분자를 그리는 문항에서, 대부분의 학생들이 입자형과 space filling 표상을 이용하여 산소 기체 분자를 나타내었지만, 일부 학생들, 특히 고등학생(중: 3%, 고:23%)은 산소 분자를 입자형으로 표현하지 못하거나, 산소 분자를 물분자 표상(미키마우스 모양)으로 표현하였다<그림 Ⅳ-7, 그림 Ⅳ-8>.



<그림 Ⅳ-7> 분자 배열 표상에 대한 LP

수준 I		
수준 II		

<그림 Ⅳ-8> 분자 배열 표상에 대한 학생 답안

표상 결과를 종합하면, 학생들은 원자 표상 이해도가 분자 표상보다 높지만 원자 구조 표상 이해에 어려움을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 학생들이 표상을 정답이 있는 개념으로 숙지하여 교과서에서 제시된 표상을 외워서 적용하는 경향을 보였으며, 분자 표상 질문에서 입자형 표상들을 선택하지 않은 결과로 유추할 때, 상황에 맞추어 다양한 표상 중에서 단순하고 효과적인 표상을 선택하는 모델링 과학활동 경험이 부족함을 알 수 있다. 이러한 결과는 과학교육에 과학적 미시적 입자 표상, 표상의 정의 및 이용목적에 대한 정립이 필요하며 교과서 집필, 평가지 개발, 교사 교육에 실질적으로 적용이 가능한 교수-학습자료가 필요함을 시사한다.

3) 물질의 입자성에 관한 개념과 표상의 이해도 관계 분석

개념과 표상의 LP 수준 간의 등위상관계수는 Corr. = 0.142 (p = 0.116 [NS])으로, 개념과 표상 이해도는 관련성이 없음으로 나타났다. 학생들의 표상 이해도가 개념 이해도보다 높았지만, 표상과 개념 LP 수준은 서로 영향력 없이 별개의 단위로 이루어지고 있음이 보여진다. 이러한 결과로 유추해 볼 때, 본 연구에 참여한 학생들은 입자성 개념을 시각화하기 위한 도구로서의 표상이 아닌 단순 암기를 해야 하는 개념으로 표상을 인식하고 있음을 알 수 있다. 각각의 학습 수준의 입자성 개념을 제시할 때 선택된 표상과 제시된 개념의 연관성을 구체적으로 설명하여 표상은 개념을 설명하기 위해 사용된 그림임을 강조하는 효과적인 교수 방법이 필요하다.

4) 논의

본 연구는 중·고등학생을 대상으로 물질의 입자성과 표상 이해도를 LP와 연결하여 이해과정 경로를 분석하였고 고등학생과 중학생의 결과를 비교하여 오개념을 알아보았다. 연구에 참가한 대부분의 중고등학생들이 높은 수준 문항의 정답을 고른 빈도수는, 낮은 수준 문항을 모두 정답으로

고른 경우에 높았으며 이는 대부분의 학생들이 제시된 LP 경로로 이해과정을 정교화시킴을 알 수 있다. 하지만 참여한 고등학생들은 제시된 LP 수준보다 낮은 이해 수준이며, 입자적 개념과 표상 이해 과정이 불완전하게 진행되고 있다는 것으로 나타났다. 학생들의 '물질의 입자성' 개념은 '거시적 물질' LP 수준에 머물고 있으며, 표상에 대해서는 '미시적 입자 표상' LP에 도달해있다. 또한 고등학생들은 높은 수준 문항의 정답률이, 낮은 수준의 문항 정답률보다 높았고, 몇몇의 낮은 수준 문항의 정답률은 중학생보다 낮았다. 이러한 경향은 개념과 표상 이해도에 비슷하게 나타났다.

본 연구대상 표본 집단과 참여 학생 수는 결과를 일반화시키는데 제한점이 있으나, 이상의 결과로부터 중학교에서 습득된 개념이 고등학교 과정의 학습을 거치면서 체계화되어 발전하지 못하고 학습을 방해하는 오개념으로 진행되었음을 추측할 수 있다. 또한 개념과 표상 간의 상관관계가 없는 결과는 과학과 교육과정과 현장교육에 물질의 입자적 개념과 표상을 연관지어 교수하는 방법에 문제점이 있음을 제시한다. 다시 말하면, 현 우리나라 교육현장에서는 교과서, 교수-학습자료, 평가지 개발 시 다양한 유형의 미시적 입자 표상을 사용하여 입자적 개념을 설명하고 있다. 하지만 학생들이 다양한 표상들을 사용하여, 거시적 현상과 관련지어 입자적 관점을 쉽게 해석할 수 있으리라 추측 하에, 필요한 교수-학습이 지원되지 않고 있음을 알 수 있다(Noh et al., 2009). 이러한 교수-학습의 부재는 참여 고등학생들의 불완전한 물질의 입자적 개념 이해와 오개념의 원인으로 추측할 수 있다. 눈으로 볼 수 없는 입자적 물질의 개념을 이해하기 위해, 학생들은 시각화된 복수의 미시적 입자 표상에 대한 이해, 미시적 입자 표상과 텍스트로 제시된 내용의 연관성 이해, 일상생활에서 경험한 거시적 현상을 미시적 입자 표상으로 연계해서 해석하는 '모델링' 능력이 필요하다(Harrison & Treagust, 2002; Treagust et al., 2003). 이러한 '모델링' 은 중요한 과학적 소양이지만 학생들에게는 쉽지 않은 도전과제이다. 많은 연구 결과들은 교수-학습 자료에서 제시된 복수의 표상들로 표현된 모델을 학생들이 이해하는 과정에서 의도하지 않은 오개념을 생성하고, 학습을 방

해하는 요소가 될 수 있다고 제시한 바 있다(Cobern & Aikenhead, 1998; Noh, et al., 2007).

참여 학생들의 데이터와 선행된 문헌연구 분석을 바탕으로 물질의 입자성 개념과 표상 이해 실패의 주요 원인은 첫째, 과학적 모델의 본질, 둘째, 관련 선지식, 셋째, 미시적 입자 표상의 이해 부족(Duit, 1991; Gentner, 1983; Glynn, 1991)으로 정리된다. 첫째로 과학적 모델에 대한 부족한 이해도를 가지고 있다. 학생은 모델을 과정, 지식, 이론의 발달 단계를 거쳐 수정, 보완될 수 있는 과학적 언어로서 이해하는 대신 고정된 과학지식으로 인지하는 경향이 있다(예를 들면, 모든 분자는 미키마우스 모양을 하고 있다). 더 나아가, 현상의 한 측면을 설명하기 위해 표현된 모델로부터 학생이 가지고 있는 선지식과 경험을 모두 이해하려고 일반화하는 경향 때문에 오개념을 형성한다(Chi et al., 1994). 둘째는, 필요한 선지식의 부재로 미시적 관점의 표상을 의도와 다르게 해석하여 오개념을 형성할 수가 있다. 예를 들면, 입자의 의미가 무엇인지 알아야 거시적 세계의 물질을 미시적 관점의 입자 표상과 연계하여 모델을 이해할 수 있다. 만약, 학생들이 필요한 선지식인 입자성에 대한 이해 없이, 물질은 연속적인 덩어리로 구성되어 있다는 개념을 가지고, 미시적 입자 표상의 실체를 이해하기에는 많은 난관이 있다. 또한 설명하고자 하는 현상의 선경험이 없을 시, 예를 들면, 온도의 변화로 비에서 눈이 되는 상태 변화를 설명하고자 할 때, 눈을 경험하지 못한 더운 지역의 학생들에게는 표상과 제시된 현상을 연계하여 이해하는데 어려움이 있다. 이러한 일상의 현상 경험과 관련 선지식의 부족은 학생들이 미시적 입자 표상에서 무엇을 학습하고 이해해야 하는지에 명확하지 않은 상황을 초래한다. 셋째는 모델에서 사용된 다양한 미시적 입자 표상 유형에 대한 경험 부족이다. 이러한 경험의 부재는 미시적 입자로 제시된 실체(entity)를 시각적으로 이해하는 능력 부족(Tuckey & Selvaratnam, 1993)으로 연결되며, 미시적 입자로 표현된 물질의 본성에 대한 혼동(Harrison & Treagust, 2002)을 초래한다. 학습자는 미시적 입자 표상 간의 차이점과 복수의 미시적 입자 표상을 사용하는 목적과 의도를 이해해야 한다. 예를 들면, 설명하려는 현상의 관점에 따라 물 분자는

space-filling 표상으로 표현할 수 있으며, ball and stick 표상으로도 모델 제시가 가능하다는 것을 알아야 한다. 하지만, 학생들은 space-filling과 ball and stick으로 표현된 분자를 같은 물이 아닌 서로 다른 물질로 이해하는 경향이 있다.

과학 주요개념인 '물질의 본성'의 전문가적인 지식체계 구축을 위해서는, 하위 개념인 물질의 입자성 개념 및 표상 이해가 필요하다. 표상을 이용한 모델링은 눈으로 볼 수 없는 미시적 입자을 가시화할 수 있는 중요한 과학 활동으로 입자적 개념 이해에 도움을 준다. 그러므로 현장교육은 수업에서 복수의 표상을 사용하는 학습 환경을 구축하여 학생들에게 모델링 과학활동 과정에 대한 질적인 경험을 제공해야한다. 이러한 경험을 통해서 학생들은 체계적인 학습으로 이해과정을 정교화하며, 더 나아가 전문가적인 지식체계를 형성할 수 있을 것이다.

나. 모델링 LP에 대한 국내외 연구 특징

모델링 LP의 연구 현황을 파악하기 위해 선행 연구들을 고찰하고, 이로부터 3가지 주요 특징을 추출하였다. 주요 특징들을 고찰함으로써 국내 과학과 교육과정에 적용 가능한 모델링 LP 개발의 방향성을 탐색하였다(고은정과 정대홍, 2019).

1) 과학내용(contents)과 과학활동(practice)이 분리된 LP

그동안의 과학 관련 LP에 대한 연구 문헌에서는 과학의 각 영역(물리, 화학, 생물, 지구과학)별로 핵심개념(core idea)을 선정하고 이들에 대한 LP를 규명한 연구들이 많았다(Alonzo & Steedle, 2008; Boo & Watson, 2001; Catley et al., 2005; Corcoran et al., 2009; Duncan et al., 2009; Lehrer & Schauble, 2012; Mohan et al., 2009; Stevens et al., 2010; 맹승호 등, 2013; 신남수 등, 2014). 맹승호 등(2013)도 그동안 연구들에서 다루어진 주제들은 과학의 탐구활동(inquiry practice)보다는 주로 과학의 핵심내용(contents)에 대한 것이라고 분석하고 있다. 과학내용에 대한 LP 연구들보다는 양적으로 부족하지만 과학활동에 대한 LP 연구도 있는데(Bamberger & Davis, 2013; Berland & Mcneil, 2010; Schwarz et al., 2009a; Schwarz & White, 2005; 김산희, 2016; 배대성, 2012), 이 연구들 중 일부는 일반적인 과학활동의 진행과정이 모든 과학개념에 적용될 수 있으므로 과학 내용과 연계하기보다는 과학활동이 독립적인 과정으로 서술될 것을 주장한다. 과학활동의 한가지인 모델링 활동에 있어서도 모델링 능력의 진행만을 제시한 연구들이 있고(NRC, 2013), 특히 Banberger & Davis(2013)는 과학내용이 무엇이든 상관없이 모델링의 일반적인 진행 과정은 모든 과학내용에 적용 가능하다고 주장하며 모델링 LP과 몇 가지 과학개념의 성취도 간 연관성을 조사하기도 했다.

그러나 과학 활동의 LP만 독립적으로 제시한 연구들에서 과학내용을 전

혀 배제하는 것은 아니다. 이들 대부분의 연구들은 LP 제시 과정에서 한 주제를 선택하여 이 주제를 학습하는 경우, 과학활동의 학습 발달이 어떨지를 제시하고 이를 다른 과학내용에도 적용할 수 있도록 일반화한 것이다. 모델링 활동이 모든 과학내용에 적용 가능하기 때문에 모델링 독립적인 학습 과정의 서술이 필요함에는 틀림없지만, 실제로 어떠한 한 영역의 과학내용을 학습할 때 모델링 요소들이 어떻게 나타날 수 있으며, 이러한 능력들이 개념의 이해도와 연관되어 어떻게 진행되어 가는지를 보여주어야 실제 한 차시의 과학 수업에서 유용하게 사용될 수 있다. 과학활동과 과학내용이 연계된 LP 서술은, 개념을 배제하지 않기 때문에 한단원의 학습 후 형성 평가에도 유용하게 사용될 수 있는 평가기준 역할을 할 수 있을 것이다. 따라서 과학의 LP 연구는 과학내용과 과학활동을 서로 맞추어 활용하는 능력의 진행경로를 제시하는 것이 중요하다(Dushl & Grandy, 2013). 즉, 모델링 능력과 과학의 영역 특이적인(domain-specific) 개념 이해를 중첩한(embedding) LP의 서술이 필요하다.

2) 모델링의 '인식'에 대한 LP

모델링 LP에 대한 연구들은 크게 두 가지 유형으로 나뉘어졌다. 첫 번째는 '모델링'의 LP를 제시한 연구이고(Grevatt et al., 2007; 배대성, 2012; 유희원 등, 2012; 장은경 등, 2012), 두 번째는, '모델링에 대한 인식(메타모델링)' LP 연구이다(Grosslight et al., 1991; Shwarz & White, 2005; 차정호 등, 2004; 오필석, 2009). 후자는 학생들을 대상으로 모델의 본성에 대한 인식 조사를 주로 실시한 것으로, 모델의 본성과 목적에 대해 낮은 단계부터 높은 단계로 학습하는 과정이 다른 탐구실행 능력이나 과학개념의 습득에 긍정적인 영향을 준다고 주장한다. 즉, 이러한 관점의 연구들은 모델이 예상이나 설명을 돕는 추론체계이며, 정확도·신뢰도와 같은 구체적인 기준으로 평가될 수 있으며, 과학자들은 그들의 모델을 바꾸거나 수정할 수 있다는 인식을 중요하게 여기기 때문에 이를 학교 과학수업시간에 학생들이 학습해야한다고 주장한다.

그러나 인식 수준이 높다고 해서 실제로 그렇게 행한다고 할 수는 없다. 즉, 기계적으로 메타지식만 높은 수준으로 학습하는 것은 의미가 없으며, 실제로 모델링 활동에서 메타모델링 지식이 반영되어 실행될 때 의미를 지닌다. 메타모델링에 대한 연구가 학습자 머리 속의 활동에 대한 인식을 진단해주는 연구라면 모델링 활동 자체에 대한 연구는 실제 학습자에게서 표현되는 활동을 진단하고 교수적 지원, 교육과정에 대한 전망을 내포하는 연구라고 할 수 있을 것이다. Shwartz & White(2005)와 Shwartz et al.(2009a)의 연구는 모델링에 대한 인식과 활동을 둘 다 다루고 있는데, 메타모델링을 강조한 학습이 과학내용 및 탐구실행의 학습 발달과 어떠한 관련이 있는지를 탐색한 연구로, 메타모델링 지식을 내면화하여 탐구실행으로 표현될 때 의미있는 학습이 된다고 주장한다.

3) 가설단계인 LP

조사한 연구들 중에서 가설 단계의 LP만을 제시한 연구들이 있는가하면, 이를 검증하여 2차 수정된 LP를 제시한 연구가 있다. LP의 제시는 단 한 번의 가설 단계에서 연구가 끝나서는 안되며, 검증 절차를 거쳐 학생들의 특성에 따른 LP를 살펴보는 과정이 필요하다. 이러한 수정, 반복의 과정을 거쳐야 학생들의 LP를 보다 구체적이고 정확하게 파악할 수 있다.

검증 단계에서 필요한 것은 평가 기준과 평가 문항이다. 조사한 연구들 중에서 LP의 제시 이전에 평가 문항을 먼저 만들고 평가를 실시한 다음, 학생 답안으로부터 공통적 유형을 추출하고, 이들을 정렬하여 높은 수준에서 낮은 수준까지 단계를 설정하여 그것을 학생의 최종 LP로 제시한 연구들이 있다(Shwartz et al., 2009a; 유희원 등, 2012; 장은경 등, 2012). 이와 반대로 평가 이전에 가설 단계의 모델링 LP를 설정하고, 이를 평가의 기준 또는 평가 문항 개발의 기반으로 사용하여 학생의 LP를 검증한 연구들도 있다(Bamberger & Daives, 2013; NRC, 2013; 김한제 등, 2013; 배대성, 2012). 배대성(2012)은 중학생의 힘과 운동 관련 현상에 대한 모델링 능력

을 평가하기 위해 모델의 요소, 모델의 구조, 개념 표현, 개념 조직화의 4개 차원을 설정하고, 4가지 문항을 선행연구로부터 선정한 후, 차원별로 점수를 부여하여 LP를 양적으로 검증하였다. LP의 개발은 첫째, 문헌연구 기반의 LP 가설 설정, 둘째, 주요 개념과 과학 활동을 접목한 단계별 평가 문항 개발, 셋째, 학생 데이터 수집・분석・결과 도출, 그리고 넷째, LP 수정의 과정을 반복적으로 수행하면서 이루어진다(신남수 등, 2014). 즉, 가설의 LP 설정 후 평가를 통해 학생들의 특성을 살펴 수정해나가는 과정을 거치는 것이 보다 더 정교한 LP를 제시할 수 있게 되고 학생의 수준을 보다 정확히 파악할 수 있게 된다.

이상에서 살펴본 특징 3가지를 바탕으로 볼 때 앞으로의 모델링 LP 개발의 방향은 첫째, 과학 내용과 연계된 모델링 활동의 LP 제시, 둘째, 인식조사에서 벗어나 모델링 활동 중심의 LP 제시, 셋째, 평가를 통한 LP 검증에 초점을 두어야 할 것이다.

다. 중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 LP의 개발

1) 모델링의 하위요소 선정

모델링은 매우 큰 개념으로서 많은 하위 요소로 구성되어 있어(Bamberger & Daives, 2013; Schwarz et al., 2009b), 모델링 학습 진행 수준을 구체적으로 진술하기 위해서는 하위 요소로 세분화할 필요가 있다. 하위요소는 모델링 및 LP 관련 선행 연구에 제시된 모델링의 정의와 학생들의 모델링에서 나타나는 진행과정의 특징적 요소, 모델링 능력 평가 기준, 국내 핵심 성취기준 등에서 추출하였다. 우리나라 학생을 대상으로 LP에 대한 연구가 수행될 때, 우리나라 교육과정에서 제시하는 교수.학습 및 평가의 실질적인 기준인 핵심 성취기준을 표준으로 이용한다면 LP의 개발에 수월성을 가질 수 있다(여채영과 이효녕, 2016).

Shwartz et al.(2009)는 '표상', '규칙', '추론 구조'를 모델링의 하위요소로 정의하였으며, NRC(2013)는 시스템을 '표상'하고, '설명 및 질문을 생성'하고, 예측하기 위한 '데이터를 만들고', 아이디어를 '의사소통'하며, 학생들이 실제 세계와 모델을 비교하는 과정을 통해 '모델을 평가 및 수정'하는 과정이 모델링의 구성요소라고 제시한 바 있다. 또한 Grevatt et al.(2007)는 모델의 '구성', '평가', '근거', '설명'을 모델링의 하위요소로 보았으며, Bamberger & Davis(2013)는 '구성', '사용', '평가', '수정'하는 것을 모델링의 핵심과정으로 보았다.

본 연구에서는 문헌 연구를 토대로 모델링 하위요소를 '표상', '근거', '설명(의사소통)' 3가지로 설정하였다. 과학교과에서 표상 활동이 특히 필요한 과학내용 영역이 있는데 화학의 '물질의 입자성' 영역이 대표적이다. 추상적인 용어나 비가시적인 입자적 현상이 일상적인 경험과 쉽게 연관되어지지 않기 때문에 학생들이 많은 오개념을 갖는 것으로 알려져 있다(Haidar & Abraham, 1991). 학생들은 '물질은 입자로 구성되어 있고 그 입자는 운동하며, 입자들 사이에는 빈 공간이 있다'라는 비가시적인 개념을 이해하고 사용하는 데 어려움을 느끼며, 입자의 움직임에 대한 오개념을 많이 가지고 있다(Abraham et al., 1994; Nakhleh, 1992; Raia, 2005). 이때, 모델은 눈으로 직접 관찰이 불가능한 원자나 분자의 세계를 그림으로 나타냄으로써 보이지 않는 미시 세계에 접근할 수 있으며(김미영과 김희백, 2009; 박종석과 정경민, 2010), 직접 관찰할 수 없는 개념과 이론의 이해를 도울 수 있다는 측면에서 유용하다고 제안되었다(Treagust & Harrison, 1999). 따라서 본 연구에서 비가시적 입자를 표현해내는 '표상', 그리고 자신의 주장을 뒷받침하기 위해 과학적 내용을 적절히 사용하는 능력인 '근거', 자신의 모델을 가지고 현상에 대해 다른 이들과 의사소통할 수 있는 '설명' 능력을 모델링의 하위요소로 설정하였다. 우리나라 2015 교육과정에 따른 핵심 성취기준에서도 '물질의 세 가지 상태의 특징을 설명하고 이를 입자 모델로 표현할 수 있다(표상), 상태 변화와 열에너지의 관계를 이해하고(근거), 상태 변화 과정에서 출입하는 열에너지가 생활에 이용되는 사례를 찾고 설명할 수 있다.(설명)' 등과 같이 성취기준에 '표상',

‘근거’, ‘설명’의 요소들이 반영되어 있다고 분석되었다. ‘표상’과 ‘근거’가 모델의 구성 과정이라면, ‘설명’은 모델을 사용하고 평가하고 수정하는 과정을 의미한다. 본 연구에서는 그림, 사진, 도표, 그래프, 수식 등으로 나타낸 표현을 ‘표상’으로, 물질의 상태와 물질의 상태변화 영역의 개념 이해와 사용을 ‘근거’로, 표상과 근거로 뒷받침한 과학 이론과 실제 현상 사이의 연관성 해석을 ‘설명’으로 구분지었다. 각 하위요소의 중요성 및 필요성은 아래와 같다.

가) 표상(representation)

모델의 중요한 요소 중 하나는 과학적 아이디어, 실체, 현상 등을 여러 시각적 형태로 묘사하고 제시하기 위해 표상을 개발하고 사용하는 것이다(Wu & Puntambekar, 2012). 화학에서는 전통적으로 거시적인 현상과 미시적인 입자를 나타내는 시각자료가 많이 사용되어 왔다(Treagust et al., 2003). 물질의 입자성을 질적으로 설명하기 위해 과학자들은 미시적(Submicroscopic) 표상을 이용하여 물질의 입자성을 표현한다(Harrison & Treagust, 2000; Kenyon et al., 2008; Schwarz et al., 2009a; 2009b). 입자는 감각 기관을 통해 확인하지 못하는 추상적인 개념인 반면, 학생들의 사고는 주로 감각 기관으로 받아들일 수 있는 정보에 의존하므로(Ardac & Akaygun, 2004), 학생들이 물질의 입자적 성질을 이해하기 위해서는 그림, 궤도, 애니메이션 등과 같은 다양한 표상들을 사용하는 것이 효과적이다(Kozma & Russell, 1997; Noh & Scharmann, 1997; Williamson & Abraham, 1995).

나) 근거(evidence)

모델은 근거에 기반한다(NRC, 2013). 즉, 근거에 의해 추론하여 모델을 생성하고 모델과 실세계의 일치를 판단한다. 학생들은 현상을 설명하기 위

해 모델을 생성, 평가, 수정하는 과정에서 실험 결과, 이론 등의 근거를 통해 자신의 모델 및 모델링 활동을 지지한다. 이전의 모델링 LP 연구에서도 모델 생성, 평가, 수정이 근거에 기반하여 이루어진다는 관점에서 학생들이 사용한 근거의 수준을 모델링의 수준 판단 기준에 포함시킨 바 있다(Bamberger et al., 2013; Grevatt et al., 2007; Schwarz et al., 2009a; Schwarz & White, 2005). 과학에서의 모델링은 실험 등의 경험적인 근거로 지지되는 것이 일반적이나(Clement, 2009; Driver et al., 1996), 학생들의 모델링에서는 실험 뿐 아니라 교과서, 주어진 자료, 경험 등 다양한 근거가 사용되는 것을 확인할 수 있으므로(유희원 등, 2012; 한문현과 김희백, 2012) 근거의 사용에 대한 학습 진행을 구체화할 필요가 있다. 학생들이 모델링을 통해 주변의 현상을 설명하고 해석하기 위해서는 기존의 모델 및 이를 지지하는 권위적 근거를 바탕으로, 새로 경험하거나 발견한 사실·현상에 따라 모델을 생성, 평가, 수정, 적용하는 능력이 필요하다. 또한 실세계의 현상은 복합적 양상을 보이므로, 상황에 따라 가장 그럴듯하게 해석할 수 있도록 실험 결과, 이론 등 다양한 근거에 기반하여 구성한 모델을 발전시키는 것이 중요하다.

다) 설명(explanation & communication)

설명은 구성한 모델을 해석에 사용하는 과정에서 핵심이다. 모델을 생성하는 과정 뿐 아니라 과학적 모델을 평가, 수정, 적용하는 과정을 강조하는 최근의 연구 경향(Bamberger et al,, 2013; Grosslight et al., 1991; Justi et al., 2009; NRC, 2013; Schwarz et al., 2009b)에서도 '설명' 과정을 강조하고 있다. 과학자들이 자신들의 연구 성과와 아이디어를 다른 과학자나 과학자 집단과 소통하기 위해서 의사소통 기능이 필요하듯이(Garvey & Griffith, 1972), 미래의 과학관련 전문가인 학생들에게도 이러한 의사소통 능력을 갖추게 하는 것은 매우 중요하다(Holbrrok &Tannikmae, 2007). 사실, 현상, 원인 등에 대한 과학적 설명과 주장을 전달, 교환, 공유하는 능력은 대부분의 연구가 개인이 아닌 그룹의 형태로 진행되는 오늘날 학생들

이 갖추어야할 중요한 과학적 소양의 하나이다.

2) 하위요소별 세부 수준

가) 하위요소 1: 표상

모델의 표상에 대한 학습 진행은 수준 1의 단순 표상 모델에서 시작하여 점차 구체화된 모델의 형태로 구성하고, 가장 높은 수준에서는 다른 상황에서의 여러 모델로부터 구성요소를 융합하여 모델을 구성하고 사용할 수 있는 수준까지로 보았다. 각 학습 진행 수준은 이전 수준에서의 성취를 기반으로 한다.

(1) 수준 1

학생들의 LP 과정의 시작 단계인 수준 1에서 표상 능력은 거시적 수준의 단순 묘사에 한정된다. 수준 1에 주로 해당되는 초등학교 3·4학년 학생들은 구체적 조작기에 해당하므로 추상화된 일반 모델의 형태로 나타내는 것에는 어려움이 있으나, 현상을 가시적인 요소들을 사용하여 단순히 묘사할 수 있다. 감각으로 인지 불가능한 특징은 표현하지 못한다. Harrison & Treagust(1996)가 제시한 '과학적 모델 유형학' 분류틀에서 크기 모델에 해당되는 수준으로, 구체적이고 관찰이 가능한 실체에 대해 색, 외형, 외부 구조 등을 묘사한다. 예를 들어, 자신이 눈으로 관찰한 문, 사람, 컵 등을 실제 모습과 유사한 형태와 색을 사용하여 그림으로 나타내는 수준이다. 또한 신남수 등(2014)에서 제시한 수준 1, '거시적 이해'와 맥락을 같이 한다.

(2) 수준 2

수준 2에서는 학생들이 입자, 운동, 파동 등과 같이 감각을 통해 인지할 수 없는 미시적 요소들을 보여주기 위한 수단으로 모델을 구성하고 사용하고, 비유, 기호, 수학, 이론적 모델을 사용한다. 신남수 등(2014)에서 제시한 '입자적 이해'와 맥락을 같이 하는 것으로, 입자의 종류, 배열, 운동, 다른 입자와의 상호작용이 물질의 속성과 고유성을 결정한다는 것을 이해하고 표상으로 나타낸다. 또한 Harrison & Treagust(1996)가 제시한 '과학적 모델 유형학' 분류틀에서 교육적 비유모델, 기호와 상징 모델, 수학적 모델, 이론적 모델에 해당한다. 교육적으로 목표로 하는 대상의 강조하고자 하는 부분을 강조하여 과장되게 표현되는 특징이 있다. 이 수준의 학생들은 화학식이나 화학반응식과 같은 기호를 사용하고, 그래프와 수학방정식을 이용한 모델을 사용한다. 모델을 새로운 사례에 적용하기 위해 구성하고 사용하지만, 넓은 범위의 현상에 적용하지는 못하는 한계를 가진다.

(3) 수준 3

수준 3에서는 1개 이상의 모델로부터 구성요소를 융합한 모델을 사용한다. 예를 들면, 미시적인 요소들을 사용하며 상대적인 크기 비교를 함께 제시한다. Harrison & Treagust(1996)가 제시한 '과학적 모델 유형학' 분류틀에서 지도, 도형, 표 모델과 개념-과정 모델, 모의실험에 해당하는 것으로, 직접 관찰되지 않는 물체, 패턴, 경로, 관계 등을 보여주는 표상, 복합적이고 복잡한 과정인 경우를 모델화한 동적인 표상이 해당된다. <표 Ⅳ-3>는 '표상'의 LP를 수준별로 정리한 것이다.

<표 Ⅳ-3> '표상'의 LP

하위 요소	수준 1	수준 2	수준 3
표상 Representation	1. 한 가지 현상을 그대로 단순히 묘사하기 위해 모델을 구성하고 사용한다. 2. 감각으로 인지 불가능한 특징은 표현하지 못한다. 관찰 가능한 속성과 변화에 의존하여 물질을 묘사한다. 3. 거시적 표상- 구체적이고 관찰이 가능한 실체에 대해 색, 외형, 외부 구조 등을 묘사한다.	1. 감각을 통해 인지할 수 없는 것들을 보여주기 위한 수단으로 모델을 구성하고 사용한다. 2. 모델을 새로운 사례에 적용하기 위해 사용하지만, 넓은 범위의 현상에 적용하지는 못한다. 3. 미시적 입자 표상 - 입자의 종류, 배열, 운동, 다른 입자와의 상호작용이 물질의 속성과 고유성을 결정한다는 것을 이해하고 표상으로 나타낸다.	1. 다수의 모델로부터 구성요소를 융합함으로써, 모델을 구성하고 사용한다. 2. 직접 관찰되지 않는 패턴, 경로, 관계 등을 보여준다. 3. 복합적 표상- 개념이 복합적이고 복잡한 과정인 경우를 표상으로 나타낸다.

나) 하위요소 2: 근거

과학적 근거에는 다양한 분류가 존재하여 선행연구에서 언급된 근거의 분류를 바탕으로(Tytler, 2001; 김희경과 송진웅, 2004) 모델링의 근거에 대한 학습 진행은 외부권위에 의존한 근거와 경험적 근거의 사용을 기준으로 하여 수준을 설정하였다. 경험적 근거란 과학실험, 실생활의 경험처럼 학생들이 직접 활동으로 습득한 것이며, 외부권위에 의존한 근거란 교사, 부모, 친구 등 사람과 교과서, 참고서, TV, 인터넷 등의 자료에 의존하

는 근거이다. 과학자들의 모델링은 실험 등의 경험적인 근거로 지지되므로 (Clement, 2009; Gilbert, 2004), 모델링 LP의 상위 수준으로 갈수록 학생들이 모델링에서 경험적 근거를 사용하는 비중이 높아지는 것으로 보았다. 수준 1-은 적절한 증거를 사용하지 않아 모델이 지지되지 않는 단계이며, 수준 1은 학생들이 교사 또는 교과서에 의해 제시된 권위적 근거에 의존하지만, 그 근거가 주어진 상황과 관련성이 떨어지는 근거를 사용하는 수준이며, 수준 2는 타당한 권위적 근거를 일부만 사용하고, 수준 3은 충분하고 타당한 권위적 근거 또는 경험적 근거를 사용한다. 또한 수준 3+는 권위적 근거도 변할 수 있음을 인식하고 능동적으로 근거를 구성하여 사용하는 수준이다. 학생들이 '물질의 입자성' 영역에서 사용할 수 있는 권위적 근거의 자료는 곧 개념 체계라고 할 수 있다. 이에 본 연구에서 '근거'의 수준은 이현영(2015)이 제시한 '분자운동과 상태변화' 개념 LP인 <표 Ⅳ-4>를 참고로 하였다.

<표 Ⅳ-4> '분자 운동과 상태 변화' 개념 LP

핵심개념 / 수준	물질과 물체	보존	분자운동	분자 사이의 힘	상태변화와 열에너지
3	분자들 사이는 빈공간이 존재한다.		분자의 운동 방식은 물질의 상태에 따라 다르다.	분자들 사이의 힘은 분자 운동과 분자 배열에 영향을 준다.	열에너지는 분자 배열, 분자 운동에 영향을 준다.
2	물질의 상태에 따라 분자배열이 다르다.	상태변화에서 질량과 물질의 성질은 변하지 않는다.	분자운동은 온도의 영향을 받는다.	분자들 사이의 힘은 물질의 상태에 따라 다르다.	상태 변화를 하면서 열에너지를 흡수하거나 방출한다.
1	분자는 물질의 성질을 나타내는 가		분자는 끊임없이 무질서하게 움직인		

	장 작은 입자이다.	다.
1-	물질은 세 가지 상태에 따라 서로 다른 특성을 가지며, 각 상태는 서로 변할 수 있다.	

*출처: 이현영, 2015

(1) 수준 1-

모델을 지지하기 위한 적절한 증거를 채택하지 못하는 수준이다. 과학적 증거를 들어 설명하는 능력이 부족한 학생들은 과학적 증거가 갖추어야 할 바람직한 특징에 대한 이해와 체계적인 사고가 부족하여, 자신이 가진 정보와 입력된 정보를 결합하여 독립적으로 사고하는데 어려움이 있다(정혜선과 오은아, 2003). 주어진 모델을 지지하는데 어떤 근거가 필요한지 선택하는 과정에서 적절성을 고려하지 않고 선택하거나, <표 Ⅳ-4>에서 1- 수준의 근거를 선택하거나 근거를 사용하지 않는 수준이다.

(2) 수준 1

수준 1의 학생들은 <표 Ⅳ-4>에 제시된 개념을 근거로 사용하지만, 그 근거가 주어진 상황과 관련성이 떨어진다. 많은 학생들이 근거를 활용함에 있어 권위적 근거를 당연히 받아들여야 한다고 생각하거나 과학 수업에서 배운 내용 등의 권위를 그대로 빌려 자신의 생각을 지지하려는 경향이 있다(Driver et al., 1996). 이 수준의 학생은 현상 해석에 관련된 핵심적인 이론 지식이 부족하여 이론과 데이터의 조정과정 없이 주어진 이론을 그대로 사용하여 설명하거나, 근거로 활용될 수 있는 것이 무엇인지 교사의 안내에 따라 사용한다. 또는 자신이 실험 및 실생활에서 얻은 자료와 경험이 있어도, 교과서·교사에 의해 제시된 원리, 데이터, 예가 옳다고 생각하여 이를 그대로 사용하여 설명하는 수준이다. 모델에 대한 전통적 견해를 지니는 학생들일수록 과학적 지식의 구성 과정에서 과학 지식 및 교사의 권

위를 절대적인 것으로 파악하는 경향이 있는 것으로 보고된 바 있다(차정호 등, 2004). 그러므로 이 수준의 학생들은 자신이 알고 있는 기존 권위에 부합하지 않는 데이터의 경향을 오류라고 생각하여 무시하거나 제외시키는 경향이 있다.

(3) 수준 2

현상을 설명하는 모델에 대한 특정 주장에 대해 정당한 이유를 가지고 권위적 증거를 사용하지만, 모델을 뒷받침하기에 증거가 부족한 경우이다. 즉, <표 Ⅳ-4>의 개념을 근거로 사용하지만, 주어진 상황에 해당하는 근거를 일부만 사용하는 수준이다.

(4) 수준 3

현상을 설명하는 모델에 대한 특정 주장에 대해 정당한 이유를 가지고 충분한 권위적 증거 또는 경험적 증거를 사용한다. <표 Ⅳ-4>의 수준 1, 2, 3에 해당하는 개념을 충분히 근거로 사용하는 수준이다.

(5) 수준 3+

수준 3보다 더 높은 수준의 학생들은 모델의 설명력을 스스로 더 찾거나, 자신이 얻은 모든 실험 결과를 설명하고자 권위적 근거를 수정하거나 재구성하여 사용한다. 이 수준의 학생들은 능동적으로 근거를 구성하여 현상을 설명한다. 능동적으로 구성한 근거란 주어진 정보 외에 모델을 설명하거나 지지할 수 있는 권위적 근거도 수정 및 변화할 수 있음을 인식하고 기존 외부권위에 부합하지 않는 다른 현상 또는 실험 결과가 발견되었을 때, 권위적 근거를 재구성하여 현상을 설명하는 것을 의미한다. <표 Ⅳ-5>는 '근거'의 LP를 수준별로 정리한 것이다.

<표 Ⅳ-5> '근거'의 LP

하위 요소	수준 1-	수준 1	수준 2	수준 3	수준 3+
근거 Evidence	모델을 지지하기 위해 어떤 증거를 사용하지 않는다.	학습했던 내용 지식, 권위에 기반한 증거를 사용한다. 즉, 교과서·교사의 설명에 부합하는 근거를 사용하며, 외부권위에 기반하여 자료를 해석한다.	현상을 설명하는 모델을, 어떻게 증거가 지지하는지 권위적 근거를 일부 사용한다.	현상을 설명하는 모델을, 어떻게 증거가 지지하는지 정당한 이유를 가지고, 충분한 권위적 근거 또는 경험적 증거를 사용한다.	주어진 정보 외에 모델을 설명하거나 지지할 수 있는 근거를 스스로 더 찾거나, 권위적 근거를 수정하거나 재구성하여 사용한다.
		(주어진 상황과 관련성이 떨어지는) 권위적 근거	(주어진 상황을 설명하기에 충분하지 않은) 권위적 근거	(주어진 상황을 설명하기에 충분한) 권위적 근거 또는 경험적 근거	충분한 경험적 근거를 바탕으로 권위적 근거의 수정 또는 재구성

다) 하위요소 3: 설명

모델의 '설명' LP에서는, 모델과 실제 현상 사이의 관계를 설명하지 못하는 단계를 수준 1, 모호한 감각에 의존한 설명과 예측은 수준 2, 모델과 실제 현상과의 인과관계를 설명하는 단계를 수준 3으로 제시하였다.

(1) 수준 1

모델과 실제 현상 사이의 관계를 설명하지 못하고 현상 또는 모델만을 제시하는 수준이다. 예를 들어 다른 온도에 대한 단순한 순간은 묘사하지만, 동적인 모델을 사용하지는 못하므로 온도 변화 과정에 대한 설명을 할 수 없다.

(2) 수준 2

다른 이들에게 잘 이해시키려는 목적으로 모호한 감각에 의존한 설명과 예측을 한다. 모델에 핵심 개념을 제시하며 다른 이들이 이해할 수 있도록 일부요소에 말하고자 하는 정보를 포함한다. 학생들이 자신의 아이디어를 설명하는 능력이 발달하면, 모델의 구체성과 명확성을 향상시키기 위한 보조 정보를 포함시키기도 한다. 보조 정보란 기호, 화살표, 모델에 대한 부가적인 설명 등을 말하며, 학생들이 이러한 정보를 활용하여 모델을 정교화하고 의사소통 도구로 사용할 수 있는 수준으로 구성함을 뜻한다. 이 수준의 학생들은 일부 보조요소를 첨가하여 결과가 일어난 과정동안 일어난 일을 묘사하는 동적인 모델을 구성할 수 있지만, 모호한 감각에 의존한 설명과 예측을 하며 메커니즘에 대한 고려가 없다.

(3) 수준 3

모델과 현상의 인과관계를 설명하는 모델을 구성하여 해석한다. 학생들이 현상과 관련된 증거를 가지고 그 현상이 어떻게, 왜 발생하는지를 일관성 있게 기술하고 설명하기 위해 모델을 구성하고 사용한다. 이는 원인을 추론하고, 현상이 일어나게 된 원인들의 관계를 일반적으로 설명할 수 있는 수준이다. 원인 및 경향성 분석 능력이 모델 형성에 큰 영향을 미치는 점(장은경 등, 2012)을 고려할 때, 일반적인 정보를 포함하는 수준의 모델 설명(해석)보다 인과관계를 포함하는 수준의 모델 설명과 평가와 수정을 높은 수준으로 볼 수 있다. <표 Ⅳ-6>은 '설명'의 LP를 수준별로 정리한

것이다.

<표 Ⅳ-6> '설명'의 LP

하위 요소	수준 1	수준 2	수준 3
설명 Explanation (communication)	1. 모델과 실제 현상 사이에 어떤 관계가 있는지 언급하지 않는다. 2. 설명하고자 하는 대상이 어떻게 생겼는지 다른 이들에게 보여주기 위해 사용하며, 거시적인 모습 이외의 특성에 대한 이해는 돕지 않는다. 단순 순간의 묘사이다. 3. '정성적으로 말하기', '구분하기', '정의 말하기', '예를 들기' 정도의 수준이다.	1. 모델과 실제 현상 사이의 관계에 대해 모호한 감각에 의존한 설명과 예측을 하며, 메커니즘에 대한 고려가 없다. 2. 모델 구성자의 사고가 얼마나 잘 모델에 반영되는지를 고려하여 모델을 구성하고 사용한다. 또는, 모델이 얼마나 다른 이들에게 잘 이해될 수 있는지를 고려한다. 3. 결과가 일어난 과정동안 일어난 일을 묘사한다.	1. 현상을 예측하고 설명하기 위해 메커니즘과 과정을 제시하고자 한다. 2. 증거와 메카니즘에 대한 아이디어에 대해 얼마나 다른 이들과 잘 의사소통되는지를 고려하여 모델을 구성하고 사용한다. 3. 거시적 현상과 미시적 요인과의 인과관계를 함께 나타낸다.

우리나라 2015 개정 교육과정의 초, 중, 고등학교 핵심 성취기준을 이용하여, 앞서 제시한 모델링 하위 요소 수준을 핵심성취기준이 어떻게 나타내고 있는지를 분석하였다. 이러한 교육과정 핵심 성취기준 분석은, 우리나라 교육과정에서 모델링에 대한 학생의 발달 수준을 어떻게 제시하고

있는지를 보여주어 부족한 부분에 대한 모델링 LP 개발의 방향성을 제시할 수 있다. <표 Ⅳ-7>은 중학교 '물질의 입자성'과 관련된 모델링의 하위 요소별 세부수준을 나타낸 것이다.

<표 Ⅳ-7> 2015 과학과 교육과정 중학교 '물질의 입자성' 영역의 성취기준 세부수준

교육과정 내용 [성취기준]	성취 기준의 세부 수준			
	하위 요소	수준 1	수준 2	수준 3
기체의 성질 [9과04-01]	표상	-	-	이를 입자 모형으로 표현할 수 있다.
	근거	입자가 운동하고 있음을 알고,	-	-
	설명	기체의 확산과 증발 현상을 관찰하여	-	-
기체의 성질 [9과04-03~04-04]	표상	-	-	입자 모형으로 해석하고
	근거	-	-	-
	설명	이와 관련된 실생활의 예를 찾을 수 있다.	-	기체의 압력과 부피의 관계를 설명할 수 있다.
물질의 상태변화 [9과05-01]	표상	-	-	이를 입자 모형으로 표현할 수 있다.
	근거	-	-	-
	설명	물질의 세 가지 상태의 특징을 설명하고	-	-
물질의	표상	-	-	입자 모형으로

상태변화 [9과05-02]	근거	여러 가지 물질의 상태 변화를 관찰하고.	-	-
	설명	상태 변화 시 나타나는 현상을 설명할 수 있다.	-	-
물질의 상태변화 [9과05-03~05-04]	표상	-	-	-
	근거	-		상태 변화가 일어날 때의 온도 변화에 대한 자료를 해석하여
	설명	-	-	상태 변화 과정에서 출입하는 열에너지가 생활에 이용되는 사례를 찾고 설명할 수 있다.

현재 교육과정 핵심성취기준에는 도달 가능한 성취목표가 각 수준별로 나타나 있지 않다. 수준 1, 2에 대한 언급이 거의 없고 높은 단계만을 제시하고 있으므로 학생들이 체계적인 활동 단계로 진행을 못하는 불완전한 학습경로이다. 하위 단계에서 상위 단계로 연결되는 과정 없이 상위 단계만을 강조하게 되면, 학생들은 모델을 학습해야할 고정된 과학지식으로 인지하게 되므로, 모델을 수정, 보완될 수 있는 과학적 언어로서 이해하게 하려면 하위 단계에서 도달해야 할 성취기준을 언급할 필요가 있다.

모델링의 하위요소 선정과 각 수준별 진술, 우리나라 핵심성취기준의 분석을 토대로 개발된 '물질의 입자성' 영역의 모델링 LP를 간단히 나타내면 아래 <표 Ⅳ-8>과 같다(고은정과 정대홍, 2019).

<표 Ⅳ-8> '모델링' LP

하위 요소	수준 1	수준 2	수준 3
표상	1. 한 가지 현상을 그대로 단순히 묘사 2. 관찰 가능한 속성과 변화에 의존하여 물질을 묘사 3. 거시적 표상	1. 감각을 통해 인지할 수 없는 것들을 묘사 2. 미시적 입자 표상	1. 다수의 모델로부터 구성요소를 융합 2. 직접 관찰되지 않는 패턴, 경로, 관계 등을 묘사 3. 복합적 표상
근거	(주어진 상황과 관련성이 떨어지는) 권위적 근거	(주어진 상황을 설명하기에 충분하지 않은) 권위적 근거	(주어진 상황을 설명하기에 충분한) 권위적 근거
	예 1. 분자는 물질의 성질을 나타내는 가장 작은 입자이다. 2. 입자는 끊임없이 무질서하게 움직인다.	예 1. 물질의 상태에 따라 입자 배열이 다르다. 2. 상태 변화에서 질량과 물질의 성질은 변하지 않는다. 3. 입자 운동은 온도의 영향을 받는다. 4. 입자들 사이의 힘은 물질의 상태에 따라 다르다. 5. 상태변화를 하면서 열에너지를 흡수하거나 방출한다.	예 1. 입자들 사이는 빈공간이 존재한다. 2. 입자의 운동 방식은 물질의 상태에 따라 다르다. 3. 입자들 사이의 힘은 입자 운동과 입자 배열에 영향을 준다. 4. 열에너지는 입자배열, 입자 운동에 영향을 준다.
설명	1. 모델과 실제 현상 사이의 관계를 설명하지 못함	1. 모델과 실제 현상 사이의 관계에 대해 모호한 감각에 의존한 설명과 예측	1. 현상을 예측하고 설명하기 위해 메커니즘과 과정을 제시

2 ‘정성적으로 말하기’, ‘구분하기’, ‘정의 말하기’, ‘예를 들기’	2. ‘메커니즘 해석하기’, ‘모델과 실제 현상 사이를 연결짓기’	2. 거시적 현상과 미시적 요인과의 인과관계 제시

3) 논의

본 연구에서는 모델링 LP 제시를 목적으로, 물질의 입자성 학습에서의 ‘모델링’ 활동에 초점을 맞추었다. 모델링에 대한 하위요소를 ‘표상’, ‘근거’, ‘설명’으로 선정하고 세부 수준을 3단계로 설정하였다. 물질의 입자성을 질적으로 설명하기 위해 꼭 필요한 하위 요소인 ‘표상’의 LP에서는, 거시적 표상을 수준 1, 미시적 입자 표상은 수준 2, 복합적 표상을 수준 3으로 제시하였으며, 자신의 모델을 지지하기 위한 ‘근거’의 LP에서는 권위적 근거의 부족을 수준 1, 충분하지 못한 권위적 근거를 수준 2, 충분한 권위적 근거 또는 경험적 근거를 수준 3으로 나타내었다. 모델의 ‘설명’ LP에서는, 모델과 실제 현상 사이의 관계를 설명하지 못하고 현상 또는 모델만을 제시하는 단계를 수준 1, 모호한 감각에 의존한 설명과 예측은 수준 2, 모델과 실제 현상과의 인과관계를 설명하는 단계를 수준 3으로 제시하였다.

본 연구와 같은 LP 구성 연구는 다른 영역의 주제 또는 개념에 대한 모델링 LP로의 확장이 가능하며, 하위요소 선정 및 LP 단계의 개발과정을 함께 제시하였으므로 일선 학교의 개별적인 현황을 고려한 LP 개발시 참고할 수 있는 가이드라인이 될 수 있을 것이다. 또한 교육과정 개발시 중요하게 반영되어야 할 LP에 대한 연구가 활발하게 진행되는 국외에서와는 달리, 국내에서는 그 연구된 범위가 넓지 않다는 점에서 본 연구는 국내 교육과정 내용과 연계한 LP 개발 과정을 제시한 것에 의의가 있다. 그러나 본 연구는 두 가지 제한점을 갖는다. 첫째, 선행연구 선정 과정에서 LP 연구 및 모델링 연구 각각에서 본 연구와 관련이 있다고 판단한 내용 요소

들의 추출을 목적으로 하였으므로 모델링 및 LP 관련 모든 논문을 연구 대상으로 하지 않았고, 세부 분류 범주를 바탕으로 연구 대상 논문의 특성을 분석하지 않았기 때문에 방법론적 제한점을 가진다. 과학교과에서의 LP 및 모델링 연구에 대한 내용 분석(contents analysis) 연구를 진행하여 분석 결과에 대한 타당화를 확보할 필요가 있다. 둘째, 제시한 LP는 경험적 검증 단계가 부족한 이론적 가설단계에 불과하다. 실제 학생들의 이해 수준을 반영하지 못한 LP는 개발되더라도 교육과정 및 평가를 위한 가이드로 바로 사용하기에 무리가 있다. 모델링 활동에 대한 LP 검증 문항을 개발하고 학생들에게 적용하여 평가 실시 후 LP의 수정 및 개선을 통해 학생들의 수준에 적합한 LP를 재구성하는 후속 연구가 진행되어야만 일반화될 수 있을 것이다. 본 연구에서 모델링 LP를 설정하였으므로 이를 평가의 기준, 평가 문항 개발의 기반으로 사용하여 학생의 LP를 검증해야한다. 또 학교 현장에서 실질적으로 도움이 될 수 있는 교수-학습 자료를 제공하는 것이 필요하다. LP 개발 과정이 갖는 기존 교육과정과의 가장 큰 차이점은 평가를 통해 학생들의 수준에 맞게 교육과정을 재구성하는 것이라고 볼 수 있으므로, 반복되는 평가와 재구성이 기반이 된 LP 연구를 통해 교육 내용, 교육 방법, 교육 평가가 체계적으로 연계된 교육과정이 강화될 수 있을 것이다.

연구 2. 중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 LP 기반 교수-학습 전략 개발

본 연구에서는 중학교 '물질의 입자성'에 대한 학습에서 미시적 입자 개념 학습을 모델링 활동으로 학습하기 위해 모델링 LP 기반의 교수-학습 전략을 개발하였다.

가. 모델링 LP 기반 교수-학습 전략의 개발

모델링 LP는 학생들의 과학적 모델링 능력이 학년이 올라감에 따라 적절한 교수-학습 활동에 의해 점차 정교하게 발달할 수 있을 것으로 기대되는 학습 경로이다. 학생의 수준이 상위 정착점에 도달할 수 있도록 하는 것이 모델링 교수-학습 활동의 목적이다. 잘 짜여진 모델링 교수-학습 전략을 통해, 학생들은 자신이 하고자 하는 설명을 뒷받침하기 위해 적절한 근거를 제시하고, 다양한 미시적 입자 표상으로 표현하는 능력을 키우게 된다. 본 연구에서는 앞서 제시한 모델링 LP에 기반하여 학생들의 모델링 수준이 표상, 근거, 설명 면에서 상위정착점(수준 3)에 도달할 수 있도록 모델링 교수-학습 전략을 다음 <Ⅳ-9>와 같이 4단계로 구성하였다. 효과적인 모델링 활동 중심 수업을 위해 모바일 기기를 활용하였다.

교수-학습 전략 단계	내용
1. 핵심 개념 이해하기	모델링을 위해 근거를 수집하고 이해한다.
↓	
2. 모델 경험하기	모바일 기기를 활용하여 다양한 미시적 표상에 대해 경험한다.
↓	
3. 모델 설계하기	모바일 기기를 활용하여 적절한 증거와 이론을 근거로, 표상을 사용하여 현상을 설명한다.
↓	
4. 모델의 평가·수정하기	모바일 기기를 활용하여 다른 사람과 모델을 공유하고 다양한 모델을 평가하며 자신의 모델을 수정한다.

<그림 Ⅳ-9> 모델링 LP기반의 교수-학습 전략

1) 핵심 개념 이해하기

첫 번째 단계는 핵심 개념을 이해하는 단계이다. 모델 구성을 위해 현상을 해석하는 근거를 수집하는 단계라고 볼 수 있다. 개발된 모델링 LP에서 근거의 수준 3은 충분하고 타당한 권위적 근거를 사용하는 수준이다. 학생들이 '물질의 입자성' 영역에서 사용할 수 있는 권위적 근거는 곧 개념 체계라고 할 수 있으며 이 핵심 개념의 이해가 수반되어야 자신이 구성한 모델을 설명하거나 지지할 수 있다.

교육과정 및 교과서 분석을 통해 물질의 입자성과 관련하여 중학생들이 학습하고 성취하기를 기대하는 과학 개념은 '입자, 입자 배열, 입자 운동 및 입자 사이의 힘, 상태 변화 시의 물리적 변화, 그리고 상태 변화 과정에서의 열에너지 변화'이다(이현영, 2015). Stevens et al.(2013)은 '물질의 본성'에 대한 LP를 초등학교 저학년부터 대학교 또는 그 이상까지의 수준을 고려하여 '보존, 성질/주기성, 물체와 물질, 원자 구조, 운동론,

힘, 에너지, 안정성의 변화'로 총 여덟 개의 핵심 아이디어를 제시하였다. 본 연구에서는 중학생들을 대상으로 하였으므로, Stevens et al.(2013)의 LP 일부와 우리나라 중학교 과학과 교육과정 내용을 반영하여 '물질과 물체, 입자 사이의 힘, 입자 운동, 상태 변화와 에너지'라는 네 가지 핵심 개념을 학습하도록 하였다. LP의 각 수준은 이전 수준에서의 성취를 기반으로 하므로, 수준 3에 도달할 수 있도록 수준 1부터 수준 3까지의 모든 근거에 대해 교수-학습 내용을 구성하였다. 4개의 핵심 개념(물질과 물체, 입자 운동, 입자 사이의 힘, 상태변화와 열에너지)에 대해 다음의 10가지 교수-학습 내용을 선정하였다<표 Ⅳ-9>.

<표 Ⅳ-9> 핵심 개념과 교수-학습 내용

핵심 개념	교수-학습 내용
물질과 물체	• 물질은 입자로 구성되어 있다(수준1) • 물질의 상태에 따라 입자 배열이 다르다(수준2) • 입자들 사이에는 빈공간이 존재한다(수준3)
입자 운동	• 입자는 끊임없이 무질서하게 움직인다(수준1) • 입자운동은 온도의 영향을 받는다(수준2) • 입자운동의 운동방식은 물질의 상태에 따라 다르다(수준3)
입자 사이의 힘	• 입자들 사이의 힘은 물질의 상태에 따라 다르다(수준2) • 입자들 사이의 힘은 입자 운동과 입자 배열에 영향을 준다(수준3)
상태변화와 열에너지	• 상태변화를 하면서 열에너지를 흡수하거나 방출한다(수준2) • 열에너지는 입자 배열, 입자 운동에 영향을 준다(수준3)

2) 모델 경험하기

두 번째 단계는 모바일 기기를 활용하여 모델을 접하는 단계이다. 물질의 입자성을 설명하기 위해 과학자들은 여러 미시적 표상을 이용하여

물질을 표현하는데(Harrison & Treagust, 2000), 이 단계는 학생들이 여러 표상의 형태를 학습하는 과정이다. 한 현상은 설명하고자 하는 내용에 따라 복수의 표상으로 설명될 수 있으며, 학생은 자신의 모델을 설명하기 위해 여러 가지 표상을 이해하고 사용해야 한다. 학생들의 효율적인 모델 경험을 위해 모바일 기기를 사용할 수 있다. 웹 활용, 애니메이션, 시뮬레이션, 가상현실 등으로 이미 과학자들이 만들어낸 모델을 가시화해주는 도구로 모바일 기기를 사용한다.

이 단계에서 표상의 수준 1에서부터 수준 3까지의 모든 표상 형태를 학생들에게 제공하는데, 먼저 수준 1에 해당하는 구체적이고 관찰 가능한 실체에 대해 색, 외형, 외부 구조 등을 묘사하는 애니메이션, 비디오 등을 제시한다. 수준 2에 해당하는 입자의 종류, 배열, 운동, 다른 입자와의 상호작용을 미시적 입자 표상, 기호, 상징을 사용한 비디오, 시뮬레이션 등의 모델로 나타낸다. 또한 수준 3에 해당하는 패턴, 경로, 관계 등 복합적이고 복잡한 과정의 동적인 입자의 성질을 가상 현실 등으로 제시한다. 학생들의 화학 개념의 이해를 돕기 위해 삽화, 시뮬레이션, 가상현실 등은 과학적 개념을 다루는 수업에서 도입된 사례가 있으며, 학생들의 개념 이해를 돕는 콘텐츠로 활용될 수 있음이 알려져 있다(Höffler & Leutner, 2007; Smetana & Bell, 2012). 특히 모바일 기기를 활용하면 수준 3에 해당하는 표상을 3차원적인 역동적 측면으로 제공할 수 있다. 화학적 현상의 동적 모델에 관한 정보를 제공함으로써 개념의 이해를 증가시킬 수 있다(박종욱과 김수현, 2001).

3) 모델 설계하기

세 번째 단계에서 학생들은 현상의 관찰과 근거의 수집을 통해 설명을 위한 모델을 설계한다. 과학의 목표는 실제 세계를 밝히기 위해 설명인 이론을 구성하는 것이다. 현상의 관찰이나 조사, 검증을 통해 실체와 비교하거나 현상의 중요한 속성과 특성에 대해 확인하고, 이를 근거로 하여 현상

과 모델이 어떻게 관련이 되어있는지 상세하게 기술하는 단계이다(Romberg et al., 2005). 이때 학생들은 다양한 표상을 활용할 수 있어야 하며, 과학적 근거를 통해 다른 사람들과 소통할 수 있는 과학적 모델을 생성해내며, 거시적 현상을 미시적 입자 표상으로 해석하는 경험의 과정을 겪게 된다.

모델 설계를 위해 각 수업에서 모델링 과제를 제시하는데 그 내용은 물질의 입자성 개념의 이해도 측정 연구들(구선아, 2010; 김동현과 김효남, 2012; 김석중 등, 2002; 박인순과 강순희, 2009; 박지애 등, 2010)을 토대로 하였다. 총 10개의 과제로 '향초의 향이 방 전체에 퍼지는 현상', '상온과 냉장고 속의 풍선 크기', '물이 끓는 현상', '사막에서 사용하는 양가죽 물통' 등, 실생활 현상과 연계된 맥락적인 주제를 포함하였다. 또한, 우리 주변의 세계에서 나타나는 현상과 특성들이 물질을 구성하고 있는 입자의 특성, 배열, 운동 등에 의하여 나타난다는 것을 입자적인 이해를 기반으로 설명해야 하는 단원이므로, 이러한 미시적 관점을 드러낼 수 있는 주제로 구성하였다. 전체 모델링 활동 과제는 <표 Ⅳ-10>와 같다.

<표 Ⅳ-10> 모델링 활동 과제

번호	학습 내용	모델링 활동 과제
1	물질은 입자로 구성되어있다.	물과 에탄올을 섞은 용액이 있다. 이 용액을, 입자를 볼 수 있을 정도로 강력한 확대 장치로 들여다보면 어떤 모습일지 입자 모델을 사용하여 그려보자. 그림을 그릴 때 고려한 점은 무엇인가? 자신의 그림과 실제 현상을 연관지어 설명해보자.
2	입자들 사이에는 빈공간이 존재한다.	일정한 온도에서 기체가 들어있는 주사기의 끝을 막고 피스톤을 누를 때와 당길 때 기체 입자의 분포를 예상하여 그려보자. 그림을 그릴 때 고려한 점은 무엇인가? 자신의 그림과 실제 현상을 연관지어 설명해보자.

3	입자는 끊임없이 무질서하게 움직인다.	(페트리접시 위에서 페놀프탈레인 용액과 암모니아수의 반응에 의해 색이 변해가는 동영상 관찰) 용액의 색깔이 변해가는 방향을 노트에 그려보자. 왜 관찰된 방향으로 변해갈까? 입자와 이 현상을 연관지어 설명해보자.
4	입자는 끊임없이 무질서하게 움직인다.	현미경으로 잉크 물을 확대해서 입자까지 볼 수 있다고 가정하자. 관찰한 잉크가 물속에서 퍼지는 현상을 그려보자. 그림을 그릴 때 고려한 점은 무엇인가? 자신의 그림과 실제 현상을 연관지어 설명해보자.
5	입자운동은 온도의 영향을 받는다.	상온에 있는 풍선을 냉동실에 넣었다. 상온에 있는 풍선과 냉동실에 넣은 후의 풍선을 그려보자. 그림을 그릴 때 고려한 점은 무엇인가? 자신의 그림과 실제 현상을 연관지어 설명해보자.(풍선의 크기, 모양을 그리고 내부의 기체를 표현하여라.)
6	입자 운동은 온도의 영향을 받는다.	향이 나는 왁스를 아래 그림처럼 용기에 넣고 열을 가했더니 왁스의 향이 방 전체에 퍼졌다. 어떻게 향이 방 안 전체로 퍼질까. 그림을 그려보자. 그림을 그릴 때 고려한 점은 무엇인가? 자신의 그림과 실제 현상을 연관지어 설명해보자.
7	입자의 운동방식은 물질의 상태에 따라 다르다.	아래 그림의 빈 공간에 얼음, 물, 수증기의 입자 모델을 그려보자. 그림을 그릴 때 고려한 점은 무엇인가? 자신의 그림과 실제 현상을 연관지어 설명해보자.
8	입자들 사이의 힘은 물질의 상태에 따라 다르다.	상온에서 설탕과 물은 각각 고체와 액체로 존재한다. 각 물질에 대한 입자 배열, 입자 운동, 입자 사이의 인력을 그림을 그려보자. 그림을 그릴 때 고려한 점은 무엇인가? 자신의 그림과 실제 현상을 연관지어

		설명해보자.
9	상태변화를 하면서 열에너지를 흡수하거나 방출한다.	사막을 여행하는 탐험가들은 무더운 날씨에 시원한 물을 마시기 위해 양가죽으로 만든 물주머니를 사용한다. 이 물주머니가 시원한 이유는, 양가죽에 눈으로 볼 수 없는 작은 구멍이 있기 때문이라고 한다. 양가죽 속의 물이 시원하게 유지되는 이유를 그림으로 그려보자. 그림을 그릴 때 고려한 점은 무엇인가? 자신의 그림과 실제 현상을 연관지어 설명해보자.
10	열에너지는 입자배열, 입자운동에 영향을 준다.	아래 그림과 같이 물이 담긴 비커 위에 얼음을 담을 접시를 올려두고 가열한다. 이 때 표시된 B, C, D 위치의 입자들을 그림으로 그려보자. 그림을 그릴 때 고려한 점은 무엇인가? 자신의 그림과 실제 현상을 연관지어 설명해보자.

4) 모델 평가·수정하기

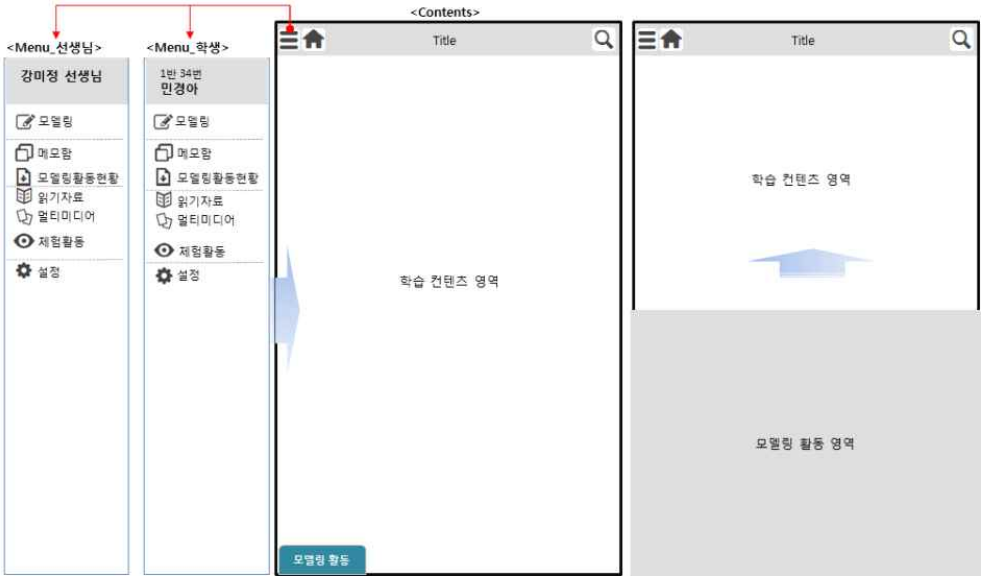
네 번째 단계에서 학생들은 공유된 다른 친구들의 모델을 접하게 되고 의견을 교환하게 된다. 이러한 모델 평가의 목적은 주어진 현상을 보다 잘 묘사하고 설명하기 위한 것으로, 모델의 수정 활동을 이끈다(Sins et al., 2005). 평가 과정에서 다른 사람의 의견을 듣게 되고, 이를 통해 모델의 수정이 이루어지게 된다. 이러한 점진적인 과정을 통해 모델은 정교화되는 것이다. 모델의 수정은 모델의 설계 및 사용 방법을 배운 학생들이 모델의 변경 방법에 대해 배우는 과정을 의미한다(Gilbert, 2004).

나. 모바일 기기 활용 모델링 활동 도구 개발

모델링 활동 도구의 개요는 <그림 Ⅳ-10>과 같다. 개발한 모델링 활동 도구는 첫째, 모델 구성 과정에서 모델의 '근거'가 될 학습 내용을 제시하는 측면, 둘째, 물질의 입자성과 관련된 현상을 여러 표상 형태(애니메이션, 비디오 등)로 제시하고 학생들이 간단히 조작해 볼 수 있도록 한 측면, 셋째, 학생들이 스스로 모델을 설계하는 측면, 셋째, 학생간, 학생과 교사간 공유할 수 있도록 한 측면으로 구성되었다.

<그림 Ⅳ-10> 모델링 활동 도구의 개요

수업에서 실제로 제시되는 모델링 활동 도구의 설계 구조(UI)는 <그림 Ⅳ-11>과 같다.



<그림 Ⅳ-11> 모델링 활동 도구의 기본 설계 구조

1) 핵심 개념 이해하기

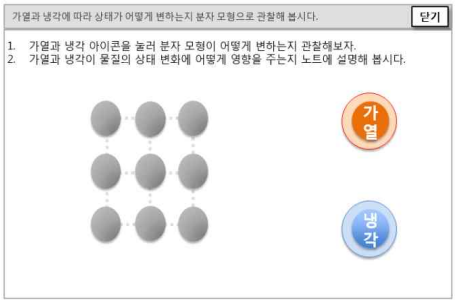
4개의 핵심 개념(물질과 물체, 입자 운동, 입자 사이의 힘, 상태변화와 열에너지)에 대해 모바일 기기에 10가지 교수-학습 내용을 탑재하였다. 연구를 수행할 학교에서 사용 중인 과학 교과서의 내용과 이미지를 바탕으로 하였으며, 기존 교과서 내용에 용어 사전, 멀티미디어 자료, 메모, 하이퍼링크 등의 기능을 추가하여 능동적이고 자기주도적인 학습을 지원하고자 하였다. <그림 Ⅳ-12>는 물질과 물체 핵심 개념의 '입자들 사이에는 빈 공간이 존재한다'는 교수-학습 내용을 제시한 것이다.

<그림 Ⅳ-12> '핵심 개념 이해하기' 수업 화면

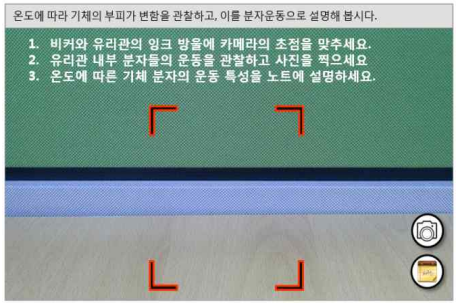
2) 모델 경험하기

모바일 기기로 제시할 시각적 모델 형태로는 실제로 관찰하기 힘든 미시적 관점의 입자 관찰, 현실 제약이 있는 실험의 가상 실험 환경 구축을 위해 애니메이션, 비디오<그림 Ⅳ-13>, 시뮬레이션<그림 Ⅳ-14>, 증강현실(AR)<그림 Ⅳ-15>을 활용하였다. 이렇게 제시된 모델을 활용하여 학생들이 간단한 조작을 통해 교과서의 실험을 모의실험으로 수행할 수 있도록 하였다.

<그림 Ⅳ-13> '모델 경험하기' 예시 1 - 비디오



<그림 Ⅳ-14> '모델 경험하기' 예시 2 - 시뮬레이션

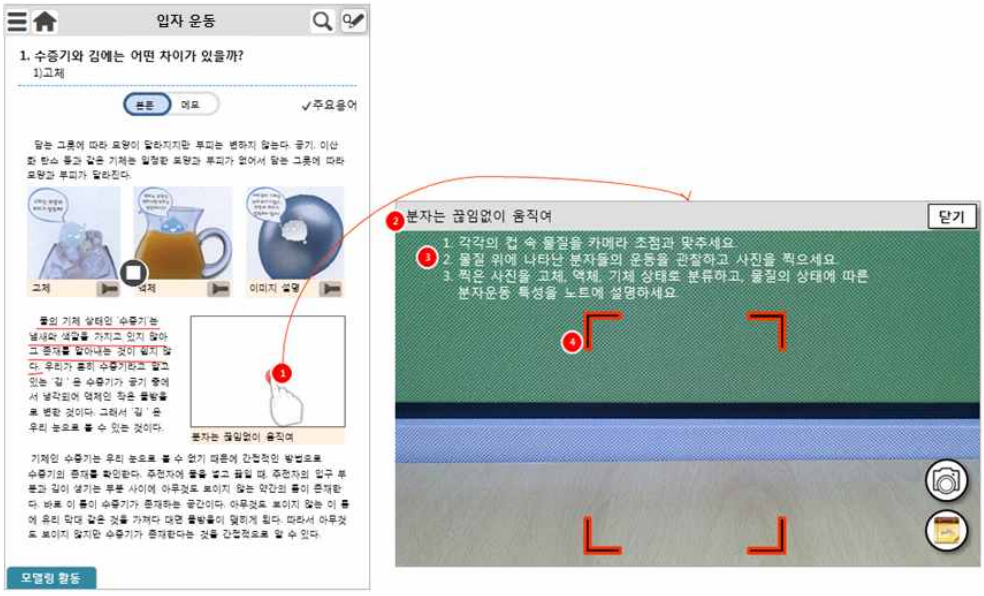


<그림 Ⅳ-15> '모델 경험하기' 예시 3 - 증강 현실(AR)

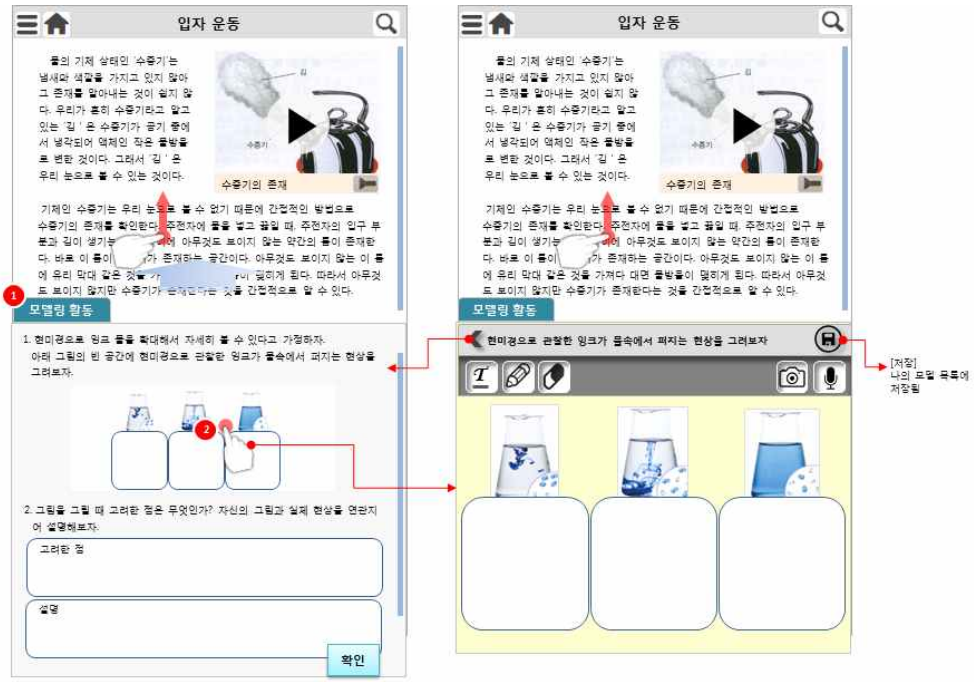
3) 모델 설계하기

학생들이 직접 모델링을 할 도구는 학생들의 모델링 활동 기록을 보조하는 도구로써의 기능을 활용하고자 하였다. 모델링 활동 기록에 필요한 기본 기능으로 페이지 추가, 드로잉, 텍스트, 지우개, 이미지 삽입, 갤러리 연동, 동영상 촬영 및 음성 메모 등을 내장하였으며, 기본 기능 이외에 과학 교과에 특화되어 필요한 그래프 그리기, 입자 그리기, 화살표와 같은 움직임의 표현, 유투브 실행, 마인드맵 그리기를 추가하였다. 기존에 알려진 보편적인 기능 적용에 더하여 교과의 특수성을 고려한 기능을 더한 것이다(Quintana et al., 2004).

아래의 <그림 Ⅳ-16>, <그림 Ⅳ-17>은 실제 수업에서 제시되는 모델링 활동 도구의 화면이다.



<그림 Ⅳ-16> 모델링 활동 도구의 수업 화면



<그림 Ⅳ-17> '모델 설계하기' 수업 화면

본 연구의 모델링 활동 과제에서는 모델링의 하위 요소 중 앞선 연구에서 제시한 '표상', '근거', '설명(의사소통)' 요소를 측정할 수 있는 형식을 갖추었다. 표상 활동을 위해, 10개의 활동 과제 모두에서 그림을 그려 모델을 구성하도록 요구하였다. 또한 그렇게 그린 이유, 왜 이런 현상이 일어났는지에 대한 설명 요구를 통해서, 근거 제시와 설명의 활동이 가능하도록 하였다. 예를 들어 4번째 과제의 경우<그림 Ⅳ-17>, '입자는 끊임없이 무질서하게 움직인다'는 개념에 대한 모델링 활동 과제로 이러한 개념을 그림을 그려 표상하고 근거를 가지고 설명하는 과정을 통해 모델링 능력을 함양하도록 하였다.

이러한 기능의 사용에 대한 사례로 모델링 활동 도구로 작성한 학생들의 실제 모델링 활동 자료를 <그림 Ⅳ-18>에 나타내었다. <그림 Ⅳ-18>

의 (a)는 펜 드로잉 기능으로 모델링 활동을 하였으며, (b)는 실험 동영상을 캡쳐하고 스포이드와 같은 기본 도구를 삽입, 펜 드로잉을 사용하였고 (c)는 AR 활동 캡쳐 및 입자 그리기 기능을 사용해서 모델링을 한 예시이다.

(a) 펜 드로잉

(b) 비디오 삽입 및 과학 기구 그리기

(c) 증강현실 캡쳐 삽입

<그림 Ⅳ-18> '모델 설계하기' 활동 예시

4) 모델 평가·수정하기

학생간·교사와 학생간 의사소통 도구로써 저장, 닫기, 삭제, 잠그기, 편집, 교사의 피드백 제공, 모델링 기록 공유 기능을 추가하였다. 학생이 모델을 구성하는 데 있어서 가장 핵심적인 도움을 주는 주체로 주로 동료 학생이나 교사를 꼽고 있다(Clement, 2008; Khan, 2008; Megowan-Romano

wicz, 2011; 심영숙 등., 2015; 이신영 등, 2012). <그림 Ⅳ-19>는 모델링 공유 화면이다. 학생들은 자신이 생성한 모델을 저장하고 공유할 수 있으며, 공유된 친구들의 모델을 평가할 수 있다. 학생간 또는 교사와 학생간 피드백을 통해 모델 수정에 필요한 다양한 정보를 얻을 수 있다.

<그림 Ⅳ-19> '모델 평가·수정하기' 수업 화면

활동 도구는 연구자들이 구현해보고 사용자 테스트 후 문제점, 개선점을 논의하여 수정하고 보완하였다. 모델링 활동 도구의 인터페이스 검증을 위하여 연구와 관련 없는 동일 학교 3학년 학생 39명을 대상으로 사용자 테스트를 실시하였다. Norman et al.(2007)의 Questionnaire for User Interaction Satisfaction(QUIS) 설문에 대한 <표 Ⅳ-11>의 결과에 따라

전환 속도가 느려 사용 중 다운되는 문제와 그림과 텍스트의 사용 전환이 어려운 문제점 등이 발견되어 이를 수정, 보완하였다.

<표 Ⅳ-11> 모델링 활동 도구의 사용자 테스트 결과

요목	문항	리커트 척도	평균
전체적 사용자 반응	프로그램에 대한 전체적 느낌은	불만스럽다=1, 만족한다=9	6.43
		따분하다=1, 흥미롭다=9	5.84
		어렵다=1, 쉽다=9	5.95
화면	화면의 글자는 읽기가	어렵다=1, 쉽다=9	6.43
	화면에 제시된 정보의 양은	부족하다=1, 충분하다=9	6.54
용어	화면에 나타나는 메세지는	불분명하다=1, 명료하다=9	6.43
학습	프로그램 사용 방법은	어렵다=1, 쉽다=9	6.49
시스템 능력	다른 화면으로의 전환 속도가	느리다=1, 빠르다=9	4.16
멀티미디어	그림이나 동영상의 질은	나쁘다=1, 좋다=9	6.68
	음향(효과음)은	들리지않는다=1, 잘들린다=9	6.89

연구 3. 중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 LP 기반 교수-학습 전략의 효과 분석

본 연구에서는 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 LP 기반의 교수-학습 전략을 적용하여 그 효과를 분석하였다(고은정과 정대홍, 2020).

가. 과학적 모델에 대한 인식에 미치는 영향

수업 처치 이전과 이후의 과학적 모델에 대한 학생 인식의 평균과 표준편차를 <표 Ⅳ-12>에 제시하였다. 수업 처치 이전, 모델의 다양성 영역(MR)에 대해 학생들은 전반적으로 현대적인 견해를 가지고 있었다. 특히 하나의 과학 현상의 특징을 표현하기 위해 여러 가지 과학적 모델들이 사용될 수 있다는 문항(MR1)에 대해 높은 긍정적 인식을 보였다. 설명도구로서의 모델에 대한 견해(ET)에 대해 도표, 그림, 지도, 그래프도 과학적 모델이 될 수 있다는 문항(ET21)에 높은 긍정적 인식을 가지는 것으로 보아, 학생들은 모델의 표상적 관점을 중요하게 생각함을 알 수 있다. 학생들과 교사들은 과학적 모델의 표상적 측면을 고려하여 모델을 '개념가시화'의 도구로 인식한다는 연구 결과(강남화, 2017)와 일맥상통한다. 또한 학생들은 모델의 잠정성에 대해 잘 이해하고 있는 것으로 나타났다. 과학적 모델은 바뀔 수 있다는 모델의 잠정성과 관련된 모든 문항에서 학생들은 높은 긍정적 인식을 나타내었다.

<표 Ⅳ-12> 과학적 모델에 대한 인식

범주	모델링 인식 문항	집단	사전		사후	
			평균	표준편차	평균	표준편차
MR1	한 가지 사물을 바라보는 관점이 여러 가지 있을 수 있기 때문에, 하나의 과학 현상의 특징을 표현하기 위해 여러 가지 과학적 모델들이 사용될 수 있다.	통제집단	3.82	.82	3.69	.94
		실험집단	3.76	.99	4.12	.96
MR2	한 가지 과학 현상을 표현하는 과학적 모델은 여러 가지 버전이 있을 수 있다.	통제집단	3.81	.79	3.68	.94
		실험집단	3.76	1.00	4.15	.78
MR3	과학적 모델은 과학적 아이디어와 연결되어 있고, 그 관계를 매우 명확하게 나타낼 수 있다.	통제집단	3.53	.91	3.63	.84
		실험집단	3.68	1.05	3.85	.97
MR4	어떤 사물이 어떻게 나타나 보이고, 어떤 작용을 하는지, 그것을 관찰하는 사람들의 생각은 서로 다르기 때문에 여러 가지 과학적 모델들이 사용된다.	통제집단	3.68	.86	3.57	.83
		실험집단	3.82	1.00	3.94	.96
MR5	어떤 사물의 여러 측면과 서로 다른 모양들을 나타내기 위해 여러 가지 과학적 모델들을 이용할 수 있다.	통제집단	3.69	.84	3.81	.92
		실험집단	3.76	.99	4.01	.84
MR6	과학적 모델들은 한 사물의 서로 다른 측면을 보여주거나, 여러 사물들을 서로 다르게 보여준다.	통제집단	3.66	.78	3.68	.88
		실험집단	3.68	.96	3.97	.89
MR7	서로 다른 정보들이 어떻게 이용되는지를 여러 가지 과학적 모델들이 보여준다.	통제집단	3.66	.81	3.65	.89
		실험집단	3.60	1.07	3.90	.87
MR8	과학적 모델은 한 가지 과학 현상을 표현하고 설명하는데 필요한 것들을 가지고 있다.	통제집단	3.62	.82	3.56	.85
		실험집단	3.57	1.04	3.79	.86
ET17	과학적 모델은 어떤 사물을 물리적 또는 시각적으로 나타내기 위해 사용된다.	통제집단	3.63	.75	3.49	.92
		실험집단	3.72	.97	3.87	.89
ET18	과학적 모델은 과학적 사건에 대해 마음 속으로 그림을 그릴 수 있도록 도와준다.	통제집단	3.62	.80	3.59	.88
		실험집단	3.66	1.11	3.96	.84

ET19	과학적 모델은 과학 현상을 설명하기 위해 사용된다.	통제집단	3.71	.84	3.63	.89
		실험집단	3.75	1.04	4.01	.84
ET20	과학적 모델은 아이디어를 나타내기 위해 사용된다.	통제집단	3.69	.94	3.74	.87
		실험집단	3.71	1.07	3.90	.90
ET21	도표, 그림, 지도, 그래프도 과학적 모델이 될 수 있다.	통제집단	3.87	.96	3.60	.93
		실험집단	3.76	1.12	3.96	.85
USM22	과학적 모델은 과학적인 사건들에 대한 이론을 형성하고 아이디어를 체계화하는 것을 돕기 위해 사용된다.	통제집단	3.72	.84	3.68	.92
		실험집단	3.74	1.00	4.01	.84
USM23	과학적 모델은 과학적 탐구에서 어떻게 이용될 수 있는지 보여주기 위해 사용된다.	통제집단	3.68	.86	3.65	.89
		실험집단	3.69	.99	3.93	.87
USM24	과학적 모델은 과학적 사건을 예측하고 검증하기 위해 사용된다.	통제집단	3.69	.90	3.66	.96
		실험집단	3.75	.97	3.87	.95
CNM25	과학적 모델은 새로운 이론과 증거가 나타나면 바뀔 수 있다.	통제집단	3.79	.80	3.74	.87
		실험집단	3.85	.99	4.07	.97
CNM26	과학적 모델은 새로운 발견이 있을 경우 바뀔 수 있다.	통제집단	3.85	.94	3.75	.90
		실험집단	3.93	1.07	4.12	.80
CNM27	과학적 모델은 데이터가 변하거나 옳다고 믿고 있던 생각이 변한다면 바뀔 수도 있다.	통제집단	3.85	.88	3.68	.87
		실험집단	3.91	1.05	3.91	.89

MR(Models as multiple representation); ET(Models as explanatory tools); USM(The uses of scientific models); CNM(The changing nature of models)

<표 Ⅳ-13> 과학적 모델에 대한 인식 범주별 평균, 표준 편차, 교정 평균과 표준오차

범주	집단	사전		사후		교정 사후	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준 오차
MR	통제집단	29.47	5.40	29.26	6.18	29.29	.70
	처치집단	29.65	7.01	31.74	5.72	31.74	.70
ET	통제집단	18.51	3.40	18.01	3.63	18.05	.42
	처치집단	18.60	4.58	19.69	3.43	19.69	.42
USM	통제집단	11.04	2.25	10.99	2.41	11.01	.26
	처치집단	11.18	2.74	11.81	2.23	11.79	.26
CNM	통제집단	11.50	2.28	11.16	2.29	11.19	.27
	처치집단	11.69	2.87	12.10	2.32	12.08	.27

MR(Models as multiple representation); ET(Models as explanatory tools);
USM(The uses of scientific models); CNM(The changing nature of models)

과학적 모델에 대한 인식 문항의 범주별 사전 점수, 사후 점수 및 사전 점수를 통제한 교정 점수의 평균과 표준편차는 <표 Ⅳ-13>에 제시한 바와 같으며 교정된 사후 과학적 모델 인식이 처치에 따라 차이가 있는지에 대한 공분산분석 결과는 <표 Ⅳ-14>에 제시하였다.

<표 Ⅳ-14> 과학적 모델에 대한 인식 범주별 공분산분석 결과

범주	분산원	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
MR	공분산(PreMR)	317.734	1	317.734	9.526	0.002
	처치	200.337	1	200.337	6.01	0.016*
	오차	4435.929	133	33.353		
	합계	131468.000	136			
ET	공분산(PreMR)	81.343	1	81.343	6.80	0.010
	처치	90.347	1	90.347	7.56	0.007**
	오차	1589.927	133	11.954		
	합계	50176.000	136			
USM	공분산(PreMR)	92.992	1	92.992	19.542	0.000
	처치	20.678	1	20.678	4.34	0.039*
	오차	632.889	133	4.759		
	합계	18412.000	136			
CNM	공분산(PreMR)	72.470	1	72.470	15.00	0.000
	처치	26.788	1	26.788	5.55	0.020*
	오차	642.360	133	4.830		
	합계	19144.000	136			

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

수업 처치 이후 모델링 LP 기반의 교수-학습을 적용한 집단의 과학적 모델에 대한 긍정적 인식 정도가 전반적으로 증가하였다. 이는 예비교사들이 직접 모델을 구성해보도록 하는 컴퓨터 프로그램을 통해 그들의 인식이 개선되었다고 한 Crawford & Cullin(2004)의 연구와 맥락을 함께한다.

사전 과학적 모델에 대한 인식의 영향을 통제한 후 교정된 사후 과학적 모델 인식 수준의 통계성 유의성을 검정한 결과, MR문항에서 F통계값은 6.01, 유의 확률은 .016, ET문항에서 F통계값은 7.56, 유의 확률은 .007, USM문항에서 F통계값은 4.34, 유의 확률은 .039, CNM문항에서 F통계값은 5.55, 유의 확률은 .020으로써 유의수준 .05에서 처치에 따라 과학적 모델의 인식 수준에 집단별 유의가 차이가 있다. 이는 사전 과학적 모델에 대한 인식 수준에 관계없이 모델링 LP 기반의 교수-학습이 교과서에 따른 학습보다 학생들의 과학적 모델 인식 수준 향상에 효과적임을 의미한다. 이는 학생들이 친구들의 모델링 활동을 관찰하고 자신의 것과 비교한 과정을 통해 모델의 다양성에 대해 긍정적 인식을 기르고, 스스로 근거를 찾고 표상으로 나타내고 설명하는 모델링 과정을 연습한 결과 모델의 설명적 도구 영역에서 긍정적 인식이 증가한 것으로 보인다. 또한 자신의 모델을 검토, 수정하는 과정에서 모델의 잠정성 영역의 인식에도 영향을 받은 것으로 분석된다. 학생들이 다른 친구의 모델과 본인의 모델을 공유하고 검토하는 과정을 거치고, 과학교사가 피드백을 통해 모델 구성과정에 개입하고 중재하면서 과학적 모델의 사회적 구성 절차가 이루어짐으로써 긍정적 인식에 도움을 준 것으로 분석된다. 모델 구성 과정이 보다 정교한 형태로 발전되기 위해서는 학생과 학생간, 교사와 학생간 의미있는 상호작용을 강조해야 한다(김소정 등, 2013).

나. 개념 이해에 미치는 영향

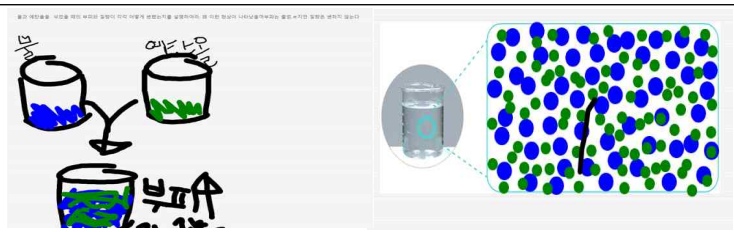
먼저 두 집단의 동질성을 확인하기 위하여 사전평가로 분석된 학습 수준 차이를 비교하였다<표 Ⅳ-15>. 수업 처치 이전에 모델링 활동 집단의 평균 수준은 0.90, 통제 집단의 평균 수준은 0.70으로 모델링 활동 집단의 평균이 높았으나 t-검증 결과 두 집단의 사전검사 평균에 유의한 차이가 없었다(t=1.37, p=.171).

<표 Ⅳ-15> 사전평가 t-검증 결과

	평균	표준편차	사례수	t 통계값	유의확률
통제집단	.70	.845	68	1.37	.171
처치집단	.90	.937	68		

학생들의 모델링은 '표상', '근거', '설명'의 세 가지 요소로 나타났다. 거시적 물질을 미시적 입자모델로 표상하였으며, 표상을 뒷받침하는 적절한 근거를 가지고 현상을 설명하였다. 과제 1은 학생들이 '물질은 입자로 구성되어 있다'는 개념을 이해할 수 있도록 물과 에탄올을 섞었을 때의 현상에 대해 모델링을 하도록 한 과제이다. 학생들은 거시적 현상인 용액의 부피와 질량 변화를 미시적 관점인 입자 표상으로 표현하여 입자 사이의 빈 공간 개념과 연결지었다<그림 Ⅳ-20(a), 그림 Ⅳ-20(b)>. 과제 8의 경우, '입자들 사이의 힘은 물질의 상태에 따라 다르다'라는 개념 이해를 위해 상온에서의 설탕과 물의 상태를 입자 사이의 힘과 연관짓게 한 과제이다. 학생들은 고체와 액체의 거시적 상태를 입자의 관점에서 미시적으로 표상하고 입자 배열, 운동, 입자간 인력을 근거로 들어 설명하는 모델링 결과를 보여주었다<그림 Ⅳ-20(c)-(e)>. 미시적 입자의 표상 외에도, 느슨하게 손을 잡은 친구들과 단단하게 어깨동무를 한 친구들에 빗대어, 상태에 따라 다른 입자의 모습을 표상하기도 하였다.

(a) 과제 1

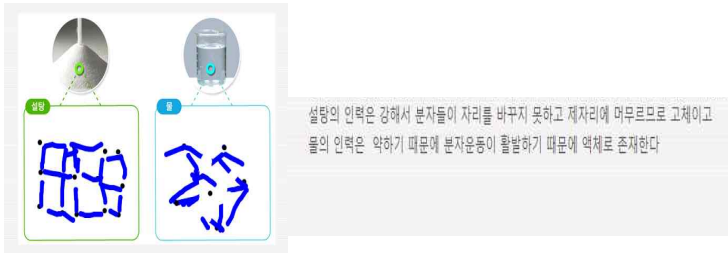


부피는 줄지만 질량은 변하지 않는다.

(b) 과제 1

에탄올과 물을 섞으면 부피는 줄어들고 질량이 변화가 없다. 물과 에탄올은 작은 입자로 이루어져있다.

(c) 과제 8



설탕의 인력은 강해서 분자들이 자리를 바꾸지 못하고 제자리에 머무르므로 고체오고 물의 인력은 약하기 때문에 분자 운동이 활발하기 때문에 액체로 존재한다.

(d) 과제 8

분자들 사이의 힘은 물질의 상태에 따라 다르다. 기체 사이에는 인력이 약하고 거의 작용하지 않지만 고체 사이에는 인력이 강하다. 인력이란 분자와 분자 사이에 서로 끌어당기는 힘이 작용하는 것이다.

(e) 과제 8

설탕은 분자 사이의 인력이 크다. 분자 배열은 빈틈이 별로 없으며 분자 운동은 진동운동이다. 설탕은 인력이 크기 때문에 분자가 모여있게 된다. 이것이 고체가 된 것이다. 물은 분자 사이의 인력이 작은 편이다. 분자운동 역시 활발하다. 분자가 넓게 퍼져있는데 이것이 액체가 된 것이다.

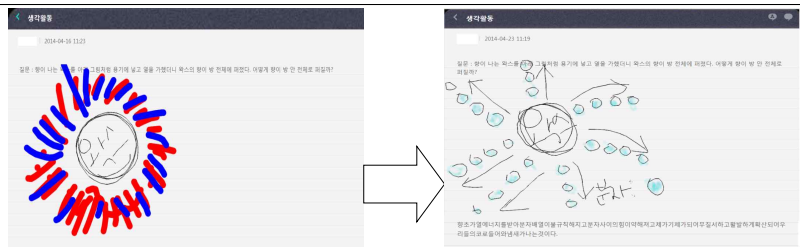
<그림 Ⅳ-20> 학생 모델링 활동의 예시

수업 처치 이후 학생들의 개념 성취도 검사의 평균과 표준편차는 <표 Ⅳ-16>와 같다. 개념 성취도 검사에서 모델링 활동 집단의 평균은 9.43, 표준편차는 2.62이고, 통제 집단의 평균은 8.10, 표준편차는 3.25이다. 모델링 활동 수업과 교과서에 따른 수업에 따라 개념 성취도에 차이가 있는지 알아보기 위하여 독립표본 t검정을 실시한 결과도 <표 Ⅳ-16>에 나타내었다. 집단의 평균 차이에 대한 t 통계값이 2.68, 유의확률은 .008로서 유의수준 .05에서 두 집단의 개념성취도에 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이는 모델링 LP 기반의 교수-학습 전략이 학생들의 개념 이해도 향상에 효과적임을 나타낸다. 모델링 활동은 성취도 및 탐구활동 등에 효과가 있는 것으로 분석한 선행연구들(Halloun, 1996; Halloun & Hestenes, 1987; Malcolm et al., 1995; Schwarz & Grekwerere, 2007)과 일맥상통하는 연구 결과이다.

<표 Ⅳ-16> 사후 개념 성취도 검사의 t-검증 결과

	통제집단	처치집단
평균	8.10	9.43
표준편차	3.25	2.62
사례수	68	68
t 통계값	2.68	
유의확률	0.008	

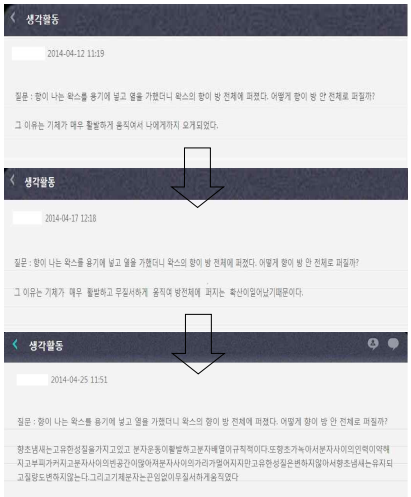
학생들의 모델링 활동 과제를 수집하여 학생들의 개념 변화가 어떻게 나타났는지를 분석하였다. 몇몇 학생들은 모델링 활동을 통해 '물질은 입자로 구성되어 있다' 및 그 외 학습내용을 성취함과 동시에, 오개념들을 수정하는 과정을 거치며 미시적 입자 개념의 이해가 모델링 활동을 통해 정교화되었음을 확인할 수 있다.



향초가 열에너지를 받아 분자 배열이 불규칙해지고 분자 사이에 힘이 약해져 고체가 기체가 되어 무질서하고 활발하게 확산되어 코로 들어와 냄새가 나는 것이다.

<그림 Ⅳ-21> 학생 개념 이해의 변화 예시 1

<그림 Ⅳ-22> 학생 개념 이해의 변화 예시 2



[2014-04-12 11:19] 그 이유는 기체가 매우 활발하게 움직여서 나에게까지 오게 되었다.

⇓

[2014-04-17 12:18] 그 이유는 기체가 매우 활발하고 무질서하게 움직여 방전체에 퍼지는 확산이 일어났기 때문이다.

⇓

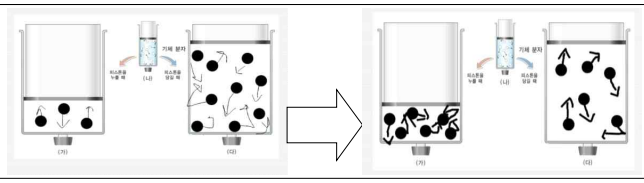
[2014-04-25 11:51] 향초 냄새는 고유한 성질을 가지고 있고 분자 운동이 활발하고 분자 배열이 규칙적이다. 향초가 녹아서 분자 사이의 인력이 약해지고 부피가 커지고 분자 사이의 빈공간이 많아서 분자 사이의 거리가 멀어지지만 고유한 성질을 변하지 않아서 향초 냄새는 유지되고 질량도 변하지 않는다. 그리고 기체 분자는 끊임없이 무질서하게 움직였다.

<그림 Ⅳ-23> 학생 개념 이해의 변화 예시 3

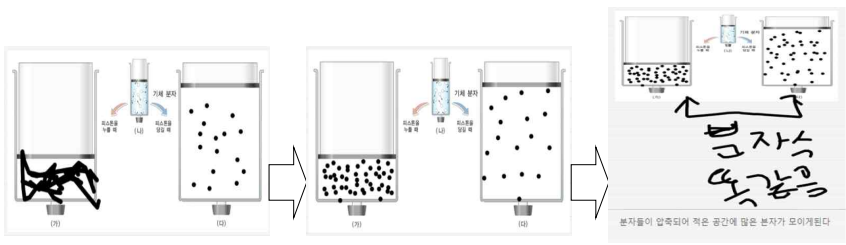
<그림 Ⅳ-21, 그림 Ⅳ-22, 그림 Ⅳ-23>은 학생의 모델링 활동의 예로, 과제 6에 대한 답변이다. <그림 Ⅳ-21>와 <그림 Ⅳ-22>는 표상만으로 모델을 구성한 예이고, <그림 Ⅳ-23>은 근거와 설명만을 제시한 예이다. 수업을 진행해가며 학생들은 본인의 모델을 수정하는 과정을 거쳤는데, 향초를 가열하여 냄새가 퍼지는 현상에 대하여 초기에 <그림 Ⅳ-21>, <그림 Ⅳ-22>와 같이 거시적 입자의 관점으로 양초의 냄새가 뻗어나가는 그림으로 표현하였으나 수업이 진행됨에 따라 미시적 입자 개념을 이해하고 입자와 확산방향을 그림으로 표상하였다. <그림 Ⅳ-21>의 경우에 적절한 근거를 들어 현상을 설명하고자 하는 모델로 변화하였다. 또한 <그림 Ⅳ-23>에서는 초기에 기체가 움직이는 성질이 있다는 개념을 가지고 있었으나 입자가 자발적으로 운동하는 것에 대해 이해하지는 못하고 있었다. 그러나 수업을 진행함에 따라 이것을 입자의 운동과 입자간 인력, 거리 등의 근거를 가지고 현상을 설명하는 모델로 수정하였다.

<그림 Ⅳ-24>는 과제 3에 대한 답변으로, '입자들 사이에는 빈공간이 존재한다'는 개념을 두 학생 모두 잘 인지하고 있었으나 '압력이 변화할 때 입자의 모양과 크기 또는 입자 수가 변한다'는 오개념을 지니고 있었다. 이를 모델링 활동을 통해 완전한 개념으로 수정해갔다. <그림 Ⅳ-24>의 (a)는 공간이 좁은 곳에는 적은 수의 입자가 들어있고, 피스톤을 당기면 공간이 넓어져 입자의 수가 많아진다는 오개념을 지니고 있었으며, <그림 Ⅳ-24>의 (b)는 좁은 공간에서 기체는 입자가 아닌 거시적 특성으로 존재한다고 여겼으며 좁은 공간에는 더 많은 입자가 존재한다고 생각하고 있었다. 그러나 압력 변화에 입자의 수는 변하지 않는다는 완전한 개념으로 모델을 수정하였다. 이러한 결과는 모델링을 통해 학생들은 관찰한 자연 현상을 설명하고 예측하기 위한 개념적 변화를 촉진할 수 있다는 선행연구와도 일맥상통한다(Mandinach & Cline, 1993; 김한제 등, 2013).

(a)



(b)



분자들이 압축되어 적은 공간에 많은 분자가 모이게 된다.

<그림 Ⅳ-24> 학생 개념 이해의 변화 예시 4

다. 모바일 기기 활용 학습에 대한 인식에 미치는 영향

1) 모바일 기기 활용 수업에 대한 사전 조사

학교에서 모바일 기기를 수업시간에 사용해보았냐는 문항에 73.5%의 학생들이 사용해보지 않았다고 답하였다. 그러나 수업 이외에 체험활동 등에서 사용해보았다는 응답은 56.6%로, 모바일 기기의 특성상 이동하면서 사용할 수 있는 체험활동 등에서 수업시간보다 활용되고 있음이 나타났다 <표 Ⅳ-17>.

<표 Ⅳ-17> 모바일 기기 활용 수업의 경험

설문 문항		빈도(%)
학교에서 모바일 기기를 수업시간에 사용해봤다	예	36(26.5)
	아니오	100(73.5)
학교에서 모바일 기기를 체험활동 등 수업시간 이외에 사용해봤다	예	77(56.6)
	아니오	59(43.4)

또한 모바일 기기 사용을 좋아하는지, 모바일 기기를 학습에 사용하고 싶은지를 묻는 사전 질문에 두 집단 모두 높은 긍정적 인식을 보였고 통제 집단 학생들이 더 높은 긍정적 인식을 보였으나, 두 집단 간 의미 있는 평균 차이는 없었다<표 Ⅳ-18>.

<표 Ⅳ-18> 모바일 기기 활용 수업에 대한 사전 인식

설문 문항	집단	응답자수	평균	표준편차	t 통계값	유의확률
모바일 기기 사용을 좋아합니까	통제집단	68	4.34	.874	-1.198	.233
	처치집단	68	4.15	.957		
모바일 기기를 학습에 사용할 것입니까	통제집단	68	4.50	.763	-.913	.363
	처치집단	68	4.37	.850		

2) 모바일 기기 활용 학습에 대한 인식

모바일 기기를 활용한 모델링 활동 집단 학생들을 대상으로 모바일 기기를 활용한 수업에 대한 인식 검사를 한 결과를 <표 Ⅳ-19>에 제시하였다. '모바일 기기 사용을 좋아합니까' 문항에 대해 처치 집단의 사전 응답

평균은 4.15에서 수업처치 이후 4.06으로 평균이 낮아졌다. 대부분의 학생들이 모바일 기기 사용에 대한 호감도를 높은 수준으로 유지하였으나 몇몇 학생들의 응답의 평균이 낮아졌는데, 종속표본 t 검정에 의하여 사전과 사후의 평균을 비교한 결과 t 통계값은 .69, 유의확률은 .49로서 유의수준 .05에서 유의미한 차이는 없었다. 전체적으로 학생들은 모바일 기기를 과학 수업에서 활용하는 활동에 흥미를 느꼈고(곽형석과 신영준, 2014), 특히 모바일 기기를 앞으로도 학습에 사용할 것이냐는 질문에 평균 4.44의 높은 긍정적 인식을 보였다. 모바일 기기를 활용한 학습이 과학에 대한 동기, 태도, 흥미, 만족도에 긍정적 효과가 있다는 결과는 선행 연구(박수경, 2013; 윤정현 등, 2015; 윤정현 등, 2016)에서도 확인할 수 있다.

<표 Ⅳ-19> 모바일 기기 활용 수업에 대한 인식(처치 집단 대상)

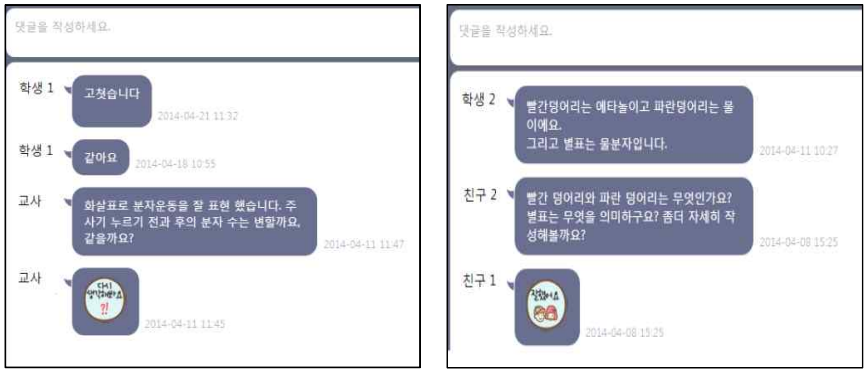
설문 문항	평균	표준 편차
모바일 기기 사용을 좋아합니까?	4.06	.93
모바일 기기를 앞으로도 학습에 사용할 것입니까?	4.44	.87
데스크탑 컴퓨터보다 모바일 기기가 더 나은가요?	3.54	1.25
나는 수업에서 모바일 기기를 사용하는 것을 좋아한다.	3.76	1.09
모바일 기기를 사용하는 것은 학습을 재미있게 해준다.	3.88	1.03
모바일 기기를 사용하는 것은 시간 낭비다.	2.38	1.09
모바일 기기는 전자 완구와 같아서 멋지다.	3.15	1.34
모바일 기기 사용이 나를 더 좋은 학생으로 만든다.	3.16	1.15
모든 학생이 모바일 기기를 가져야 한다.	3.07	1.23
나만의 모바일 기기가 있으면 좋겠다.	4.15	1.03

<표 Ⅳ-20> 모바일 기기 활용 수업을 선호하는 이유(처치 집단 대상)

설문 문항(다중선택)	응답	
	빈도	퍼센트
모바일 기기는 흥미있는 과학 활동을 할 수 있어서 좋다.	33	20.8%
모바일 기기는 나 혼자서 학습을 할 수 있어서 좋다.	26	16.4%
모바일 기기는 필요한 내용을 선생님 도움 없이 찾을 수 있어서 좋다.	25	15.7%
모바일 기기는 친구들과 활동 내용을 공유할 수 있어서 좋다.	23	14.5%
모바일 기기는 쉽게 사용할 수 있어서 좋다.	21	13.2%
모바일 기기는 친구들의 활동 내용을 볼 수가 있어서 나의 활동 내용과 비교할 수 있어서 좋다.	17	10.7%
모바일 기기는 친구들의 도움을 받을 수 있어서 좋다.	7	4.4%
모바일 기기는 내가 활동한 내용에 대한 선생님, 연구원, 친구들의 피드백을 받을 수 있어서 좋다.	7	4.4%

<표 Ⅳ-20>에 제시한 바와 같이 학생들은 모바일 기기 활용 학습이 좋은 이유로 '흥미 있는 과학 활동을 할 수 있어서 좋다'를 가장 많이 선택하였으며, '모바일 기기는 나 혼자서 학습을 할 수 있어서 좋다', '모바일 기기는 필요한 내용을 선생님 도움 없이 찾을 수 있어서 좋다'는 인식을 많이 가지는 것으로 보아 모바일 기기를 활용하여 다양한 멀티미디어 요소를 제공하고 다양한 학생들의 능력 및 특성 차이를 고려하여 개개인에게 적합한 학습 환경을 제공한 것이 학생들로 하여금 스스로 수업에 참여하도록 하는 긍정적 인식을 갖도록 한 것으로 분석된다. 학생들은 또한 '친구들과 활동 내용을 공유할 수 있어서', '친구들의 활동 내용을 나의 활동 내

용과 비교할 수 있어서', '친구들의 도움을 받을 수 있어서', '선생님, 친구들 등의 피드백을 받을 수 있어서' 모바일 기기 활용 학습을 긍정적으로 인식하였는데, 실제로 몇몇 학생들의 모델링 활동은 동료 친구들과의 모델링 활동 내용 공유 기능과 교사의 피드백 기능으로 정교해진 모습을 보였다<그림 Ⅳ-25>. 학생들은 자신이 만든 모델을 다른 사람과의 의사소통을 통해 평가하고 수정하는 일련의 과정을 통해서 스스로 과학적 지식을 만들고 재구성한다(Gilbert et al., 1998; Jonassen et al., 2005; Koponen, 2007). 모바일 기기를 활용한 피드백은 해당 과학수업에서 학습자에게 학습 과정에서의 높은 학습흥미와 자기주도적 학습참여를 유도한다는 선행연구(곽형석과 신영준, 2014)와 본 연구의 긍정적 학생 인식 결과가 일맥상통한다고 볼 수 있다.



(a) (b)

<그림 Ⅳ-25> 피드백 예시 (a) 교사와 학생간, (b) 학생과 학생간

과학 수업에서 모바일 기기를 활용한 학습은 자기주도적인 학습을 지원하고 협력적 상호작용을 유발하는 구체적인 방안이 될 수 있다. 모바일기기에서 제공하는 학생들의 요구에 맞는 설명력이 높고 권위를 가진 정보는 교사가 학생들의 수준과 상황에 따라 알맞은 정보를 제공해야하는 상황에서 생길 수 있는 한계를 극복하는 데 도움이 될 수 있다. 기존의 전통

적 학습 환경에서는 모델링 구성의 주체가 교사에 머물렀다면, 모바일 기기를 활용한 학습 환경에서는 학생들이 모델링 과정에 적극적으로 참여할 수 있고, 동료 학습자에게 모델링 내용을 공유하고 설명하는 경험을 통해 보다 효과적인 상호작용 활동을 할 수 있는 것이다.

라. 논의

화학은 거시적, 미시적, 상징적 수준에서의 종합적인 이해가 필요한데(윤회정과 이윤하, 2014), 많은 화학 개념들은 눈에 보이지 않아서 직접 관찰하거나 지각하여 이해하기 어렵다(Osborn & Cosgrove, 1983). 이러한 특성으로 인해 학생들의 오개념이 많으므로, 구체적으로 관찰할 수 있는 현상과 추상적인 이론을 연결하는 설명도구(오필석, 2007; 2009)인 모델링을 과학수업에 도입하는 시도가 필요하다. 본 연구에서는 '물질의 입자성'의 개념을 학습하는 데에 필요한 미시적 입자 개념을 모바일 기기를 활용한 모델링 활동으로 학습할 수 있도록 모델링 LP 기반의 교수-학습 전략을 개발·적용하고 그 효과를 분석하였다.

모델링 LP 기반의 교수-학습 전략을 적용한 결과, 처치 집단은 통제 집단에 비해 과학적 모델에 대한 긍정적 인식 정도가 전반적으로 증가하였다. 이는 스스로 근거를 찾고 표상으로 나타내고 현상을 설명하는 모델링 과정을 연습함으로써, 모델의 본성, 유용성, 모델의 목적, 모델의 이점과 제한점 등에 대한 이해가 높아진 것으로 분석된다. 개념 성취도 검사를 통해 통제 집단에 비해 모델링 활동 수업을 한 집단의 개념 이해가 효과적인 것으로 나타났다. 또한 학생들은 모델링 활동을 수행하며 학습내용을 성취함과 동시에 오개념을 수정하는 과정을 거쳤다. 이러한 수정 과정에는 동료 친구들과의 모델링 활동 내용 공유와 교사의 피드백이 작용한 것으로 분석된다. 학습자 본인이 자신의 생각을 표현하고 자기 생각에 대해 반성적 사고과정을 경험하는 동시에, 본인의 모델에 대해 평가받고 검증 받는 단계를 거쳤기 때문에(Bamberger & Davis, 2013) 개념 이해에 긍정적 작

용을 한 것이다. 또한 학생들의 모바일 기기 활용 학습에 대한 인식을 조사한 결과, 모바일 기기 사용에 대해 높은 긍정적 인식을 지니고 있었다. 모바일 기기를 활용한 수업이 좋은 이유로는 '흥미로운 과학 활동', '자기주도적 학습', '친구 및 교사와의 학습 내용 공유' 등을 꼽았다. 선행연구에서 모바일 기기의 사용이 학생들의 모바일 기기 중독을 유발하고 수업집중도와 학생 간의 상호 작용과 같은 정의적 측면에 부정적 영향을 미친다는 주장(최현석 등, 2012; 황태경과 손원경, 2014)이 있었으나, 본 연구에서는 모바일 기기를 활용한 수업이 모델에 대한 인식면, 개념 이해 측면, 모바일 기기에 대한 인식 면에서 긍정적 효과가 있는 것으로 나타났다. 이러한 연구의 결과는 모바일 기기 수업 활용에 대한 막연한 우려를 해소하고 모바일 기기를 수업에 적극적으로 도입할 수 있는 근거가 될 수 있을 것이다.

Ⅴ. 결론 및 제언

1. 결론

본 연구에서는 학생들이 스스로 모델을 구성하는 활동인 '모델링'에 대해 이해하고 수업에 활용하고자 하였다. 첫째, 모델링 LP를 제시하였는데 이는 학생의 현재 입자적 개념과 표상 수준을 이해하고 모델링 활동의 성취 수준을 제시한 것이다. 둘째, 모델링 LP 기반의 교수-학습 전략을 제안하고, '물질의 입자성'에 대한 학습에서 구현 가능한 모바일 기기 활용 모델링 활동 도구를 개발하였다. 셋째, 모델링 LP 기반의 교수-학습 전략을 수업에 실행하여 그 효과를 분석하였다.

연구 1에서는 학생의 현재 입자적 개념과 표상 수준을 이해하고, 문헌 연구 및 과학과 교육과정의 성취기준 해석을 통해 중학교 '물질의 입자성' 영역에서 모델링 LP를 이론적으로 제시하였다. LP는 "과학의 핵심 아이디어(core idea) 혹은 과학 활동(scientific practices) 이해 과정을 상대적으로 단순한 체계에서 전문가의 지식체계로 논리적이고, 순차적인 단계로 정교하게 설명한 틀"로써 연계적 교육과정을 구성하는 이론적 기반을 제공한다. 본 연구는 Stevens & Shin(2010)의 '물질의 입자성(particle nature of matter)과 미시적 입자 표상(submicroscophic representation)'의 LP 평가지를 우리나라 과학교육과정과 연계, 수정하여 124명의 중고등학생의 LP 경로 특성을 분석하는 데 사용하였다. 학생들의 입자적 개념과 표상의 이해도, 개념과 표상 이해도 연관성을 중점으로 분석하여 관련 과학교육과정과 교수-학습의 문제점과 시사점을 도출하였다. 본 연구 결과를 종합해 보면, 높은 수준 문항의 정답을 고른 빈도수는 낮은 수준 문항을 모두 정답으로 고른 경우에 높았으며 이는 학생들이 본 연구에서 개발한 LP 경로로 이해과정을 정교화시킴을 알 수 있다. 하지만, 대부분의 학생들이 초등학교 수준의 거시적 특성의 개념 LP 단계에 머물고 있으며, 표상은 중학교

수준인 미시적 표상 LP 단계에 있었다. 이는 하위 단계의 물질의 입자성 개념과 표상 이해도 없이 높은 단계의 개념과 표상을 학습하는 것으로 불완전한 LP라 할 수 있다. 입자성 개념과 표상 이해 실패의 주요 원인은 첫째, 과학적 모델의 본질 이해 부족, 둘째, 관련 선지식 부족, 셋째, 미시적 입자 표상의 이해 부족으로 정리된다. 특히 미시적 입자 표상의 이해 부족은 학생들에게 수업을 진행하면서 복수의 표상을 제시하는 수준으로만 교수-학습이 진행되어서는 안된다는 것을 의미한다. 교과서나 자료로 접한 여러 미시적 입자 표상을 텍스트로 제시된 개념과 연관지어 이해하기 위해서는 학생들이 직접 모델을 구성하는 과정을 경험하는 모델링 교수-학습으로 이 부족한 부분을 보완해야 한다. 이에 모델링 LP의 선행연구와 과학과 교육과정 성취기준을 분석하여 모델링 LP를 제시하였다. 현재 모델링 LP과 관련한 선행 연구들은 대부분 과학내용을 고려하지 않았고, 주로 모델링에 대한 '인식'에 초점이 맞춰져 있었으며, '가설 단계'의 LP라는 세 가지 특징을 보였다. 따라서 본 연구에서는 첫째, 과학 내용과 연계된 모델링 활동의 LP 제시, 둘째, 인식 조사에서 벗어나 모델링 활동 중심의 LP 제시, 셋째, 평가를 통한 LP 가설검증을 목표로 하였다. 모델링에 대한 하위요소를 '표상', '근거', '설명'으로 선정하고 세부 수준을 3단계로 설정하였다. 물질의 입자성을 질적으로 설명하기 위해 꼭 필요한 하위 요소인 '표상'의 LP에서는, 거시적 표상을 수준 1, 미시적 입자 표상은 수준 2, 복합적 표상을 수준 3으로 제시하였으며, 자신의 모델을 지지하기 위한 '근거'의 LP에서는 근거의 부족을 수준 1, 충분하지 못한 권위적 근거를 수준 2, 충분한 권위적 근거 또는 경험적 근거를 수준 3으로 나타내었다. 모델의 '설명' LP에서는, 모델과 실제 현상 사이의 관계를 설명하지 못하는 단계를 수준 1, 모호한 감각에 의존한 설명과 예측은 수준 2, 모델과 실제 현상과의 인과관계를 적절히 설명하는 단계를 수준 3으로 제시하였다. 본 연구 결과는 물질의 입자성과 관련된 개념, 표상, 모델링 활동을 증진시키고 개개인 특성에 맞는 맞춤형 학습환경 제공을 위한 교수-학습 전략, 교수 자료 및 평가 자료 개발에 기여하는 바가 크다.

연구 2에서는 앞선 연구를 토대로 '물질의 입자성'을 학습하는 데에 필

요한 미시적 입자 개념을 모바일 기기를 활용한 모델링 활동으로 학습할 수 있도록 LP 기반의 모델링 교수-학습 전략을 4단계로 제안하였다. 첫 번째 단계는 모델링을 위한 근거를 수집하고 이해하는 '핵심 개념 이해하기' 단계이며, 두 번째는 '모델 경험하기' 단계로, 다양한 미시적 표상에 대해 경험을 하게 된다. 세 번째 단계는 '모델 설계하기' 단계로, 경험적 증거와 이론을 근거로 표상을 사용하여 모델을 설계하는 단계이다. 마지막으로 '모델 평가·수정하기' 단계에서 학생간 모델을 공유하고 다양한 모델을 평가하며 자신의 모델을 수정하게 된다. 효과적인 모델링 활동 수업을 위해 모바일 기기를 활용한 활동 도구를 개발하고 사용하였다.

연구 3에서는 개발된 모델링 LP 기반 교수-학습 전략과 모바일 모델링 활동 도구를 중학교 1학년 학생들에게 적용하여 효과를 분석하였다. 연구 결과 '물질의 입자성' 영역에서 LP기반 모델링 교수-학습을 한 집단은 교과서에 따른 수업 집단에 비해 과학적 모델에 대한 긍정적 인식 정도가 전반적으로 증가하였다. 모델의 다양성, 모델의 설명적 도구, 모델의 유용성, 모델의 잠정성 영역에서 인식이 개선되었는데, 이는 스스로 근거를 찾고 표상으로 나타내고 현상을 설명하는 모델링 과정을 연습한 결과, 모델의 본성, 유용성, 모델의 목적, 모델의 이점과 제한점 등을 이해한 것으로 분석된다. 개념 성취도 검사를 통해 통제 집단에 비해 모델링 활동 수업을 한 집단의 개념 이해가 효과적인 것으로 나타났다. 또한 학생들은 모델링 활동을 수행하며 학습내용을 성취함과 동시에 오개념을 수정하는 과정을 거쳤다. 이러한 수정 과정에는 동료 친구들과의 모델링 활동 내용 공유와 교사의 피드백이 작용한 것으로 분석된다. 또한 학생들의 모바일 기기 활용 학습에 대한 인식을 조사한 결과, 수업 처치가 학생의 모바일 기기에 대한 선호도, 학습 흥미도, 학습 유용도 등에 효과적으로 작용했다. 모바일 기기를 활용한 수업이 좋은 이유로는 '흥미로운 과학 활동', '자기주도적 학습', '친구 및 교사와의 학습내용 공유' 등을 꼽았다.

개발한 모델링 LP 기반의 교수-학습 전략이 학생들의 물질의 입자성 개념 이해에 효과적임을 나타내는 결과로부터, 학생의 수준을 고려한 모델링

기반 수업(Modeling-Based Instruction)이 필요하다고 하겠다. 학생들은 모델링 LP의 하위요소를 반영하여 모델을 설계하고 수정하는 과정을 거치면서 추상적인 입자 개념을 구체화하였다. 표상을 통해 그림을 그리면서 시각적으로 개념을 조직하여 통합하는 인지 과정이 보완되었으며(Edens & Potter, 2003), 근거를 제시하는 과정에서 학생들의 배경 지식이 활성화됨으로써 과학 개념의 학습을 돕게 되었다(Glynn, 1997)고 할 수 있다. 또한 현상과 이론 사이의 설명을 구성하는 과정에서 개념들 사이의 조직화에도 도움이 된 것으로 분석된다. 그동안 학생의 물질에 대한 본성 이해에 도움을 주기 위한 다양한 연구들이 소개되어 왔다. 과학 읽기 자료를 이용하거나(최용석 등, 2009), 과학사(김경순 등, 2008), 애니메이션(김창민 등, 1998)을 활용한 모델 기반 교수(Model-Based Teaching)가 그 예이다. 이러한 연구들을 포함하여 교과서, 평가지 등 다양한 교수-학습자료들이 모델을 기반으로 하지만 학생들은 다양한 유형의 미시적 입자 표상을 입자적 개념과 연결 짓지 못하는데, 이는 실제 자신들이 일상적 생활에서 경험한 거시적 현상을 미시적 입자 표상으로 해석해본 '경험'이 부족하기 때문이다. 즉 이미 만들어진 모델을 제시하는 방법에 대한 연구도 중요하지만, 모델을 사용하는 목적과 의도를 이해하고 모델을 고정된 지식이 아니라 수정, 보완될 수 있는 과학적 언어로서 이해하고 스스로 모델을 구성하는 경험 과정이 필요하다. 본 연구는 다양한 모델을 접하고 학생들이 자신들의 모델을 실현하고 평가받는 단계를 경험하게 하는 모델링 기반 수업(Modeling-Based Instruction)이라고 볼 수 있다. 모델링 기반 수업은 학생들의 과학 개념 및 모델, 모델링에 대한 인식론적 시각의 이해뿐만 아니라 비판적인 추론 능력을 발달시킬 수 있다(Buckley, 2000). 또한, 제시한 중학생들의 물질의 입자성에 대한 모델링 LP를 참고로 교사들은 학생들의 모델링 수준을 파악할 수 있고 이를 반영하여 수업에서 지도해야 할 교수-학습의 내용을 결정할 수 있다. 교수-학습 전략이 있어도 교사들은 과학 수업에서 학생들의 능력에 대해 알지 못하여 실제 교수 활동에 적극적으로 반영하고 있지 못하고, 지도하는 방법을 적용하지 못한다(Justi & Gilbert, 2002; van Driel & Verloop, 2002). 즉 제시한 LP는 교사들로 하여

금 학생들의 수준 파악을 위한 진단 평가의 틀이 되어, 학생의 수준을 고려한 교수-학습 설계에 도움이 될 것이다. 더불어 하위요소 선정 및 LP 단계의 개발과정을 함께 제시하였으므로 다양한 학습자, 학습의 맥락, 다양한 주제를 기반으로 하여 일선 학교의 개별적인 현황을 고려한 LP 개발시 참고할 수 있는 가이드라인이 될 수 있을 것이다. 향후 개념과 표상을 연결하는 다양한 모델링 기반의 교수-학습 방법의 연구가 지속적으로 필요할 것이다.

2. 제언

본 연구는 모델링 LP의 구성, 모델링 LP 기반의 교수-학습 전략 개발 연구를 통해 모델링 과학 수업을 실행하고 그 효과를 제시했다. 이제까지의 연구 결과로부터 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

가. 모델링 LP를 과학 학습에 적용하기 위해서는 후속 연구가 필요하다.

제안한 모델링 LP는 '물질의 입자성'을 학습하는 중학생에게 초점이 맞추어져 학습의 진행을 수준별로 제시함으로써, 이를 참고로 수업 후 성취도 평가를 넘어 진단 평가의 중요한 틀로써 학생들의 모델링 수준을 진단하여 파악할 수 있고, 이를 반영하여 우선적으로 지도해야할 교수-학습의 내용을 결정할 수 있게 하였다. LP는 다양한 학생 데이터의 수집과 분석이 절대적으로 필요하다. 학생들은 개개인마다 다른 경험을 가지고 있으므로, 어떤 학생들은 한번의 수업으로 수준 이동이 일어날 수 있고, 어떤 학생들은 다수의 수업을 통해서 다음 수준으로 이동할 수 있다(Stevens et al., 2009a). 이러한 학습자의 특성으로 다양한 학생의 데이터 수집과 분석이 있어야 하며, 이러한 과정을 거쳐야 초등학생에서 고등학생에 이를 때 필요한 모델링 활동에 대해 교수-학습방법, 평가 방법 등 학습 환경을 더 정교하고 학습자 맞춤형으로 구성할 수 있을 것이다. 또한 다른 과학적 현상에 대한 모델링에서는 모델링의 요소, 근거가 되는 개념 등이 본 연구와 달라지기 때문에 다양한 과학적 현상에 대해서 학생들의 모델링이 어떤 LP를 거치는지에 대한 추후 연구가 진행되어야 할 것이다.

나. 모바일 기기 활용 모델링 활동 도구에 대한 후속 연구가 필요하다.

개발된 활동 도구를 적용한 집단이 적어서 그 효과를 일반화하기에는

어려움이 있다. 적용한 집단의 학교는 외부의 디지털 교과서 개발팀과의 협력이 가능한 상황이며 모바일 기기 사용이 용이하였다. 이러한 단위학교의 특수성을 고려하여 이루어진 연구이기에, 학교의 환경이나 상황이 다른 여타의 학교에서 연구 결과를 확장하기에는 한계가 있다. 다양한 학교 현장의 맥락에서 모바일 기기를 활용한 모델링 활동 자료를 어떤 학년의 수업에서, 어떻게 사용하는 것이 효과적인지에 대한 후속 연구를 진행하여야 할 것이다.

다. 교사 지원 방안이 마련되어야 한다.

모델링 수업이 과학교육에서 효과적인 교수-학습 방법으로 활용되기 위한 교사 지원 방안을 모델링 교육과 모바일 교육 측면에서 제시하면 다음과 같다.

첫째, 교사에게도 모델링 교육이 필요하고 모델링 교수-학습을 위한 자료와 연수가 지원되어야 한다. 실제 현장에서 모델링 활용 수업을 적용하기 위해서는 현장 교사의 적극적이고 직접적인 모델링 수업 실행이 가장 필요할 것이다. 모델링 수업을 운영하기 위해서는 교사가 과학적 모델링 수업에 대한 이해 및 지식을 갖추는 것이 필수적인데(강남화, 2017), 많은 연구들에 따르면 학생들에게 모델링을 가르치는 방법에 대한 교사의 이해가 부족하다는 점이 지적된 바 있다(Justi & Gilbert, 2002; van Driel & Verloop, 2002; Windschitl & Thompson, 2006). 현재 교육 과정에서는 모형의 개발과 사용(모델링)에 대해 제시만 해놓았을 뿐 구체적인 가이드가 부족하다. 먼저 교육 과정에서 모델링 중요성과 의미를 기술하고 학생들의 모델링 이해가 어떠한 경로를 거쳐 진행되는 성취 기준이 제시되어야 할 것이며 나아가 이렇게 제시된 성취 기준을 기본으로 한 다양한 모델링 교수-학습 자료를 제공해야 한다. 또 모델링과 관련된 다양한 연수 및 교사 교육 프로그램과 지역 네트워크를 기반으로 하는 교내외 교사 학습 공동체 형태의 다양한 연수가 필요할 것이다. 모델에 대한 자료 제공이든, 수업

설계 실습이든, 수업 실행이든 이러한 경험이 없는 교사들에게 모델링과 관련된 지식의 변화를 기대할 수 없다. 따라서 학교 현장에서 교사 스스로 모델링 교육에 대한 자료를 접하고, 동료들과 논의하며, 교육 과정을 분석하고 계획하고, 수업에 실행해보는 적극적인 과정을 통해서 교사의 모델링에 대한 실천적인 교사 전문성이 발달할 것이다.

둘째, 모바일 기기 활용 교육이 필요하다. 본 연구에서 수업을 진행한 교사는 모바일 교육 및 디지털 교과서 관련 연수를 다양하게 이수한 경험을 갖고 있었기 때문에 모바일 활용 수업에 대한 거부감과 어려움이 비교적 적었다. 교육학적 내용과 기술 지식 이론에서는 학습 내용을 위한 교수-학습전략 이외에도 테크놀로지의 역할을 이해하고 교수 방법에 맞게 적용하는 교사 교육이 필요하다고 강조한다(Neiss, 2005). 교사들의 전문성에 따라 교육과정 실행정도는 교실마다 다르게 나타날 수 있을 것이다. 모바일 기기를 활용하여 과학 수업을 시행할 때에는 기기를 실행하는 교사들의 테크놀로지 활용 교수내용지식(Technology Pedagogical Content Knowledge), 학교 현장의 ICT 환경 조성, 모바일 기기나 장치를 배우기 위한 시간 확보 등이 필요하다(나지연과 장병기, 2016). 모바일 교육이 단순히 모바일 기기를 사용하여 학생의 이목을 끌기 위한 것이 아니라 학생들의 협력적 상호작용과 과학적 활동을 촉진하기 위해 효과적으로 활용될 수 있다는 것을 교사들이 인식하고 이를 실행할 수 있도록 지원할 필요가 있다.

참 고 문 헌

강남화 (2017). 과학 탐구와 과학 교수학습에서의 모델과 모델링에 대한 교사들의 인식. 과학교육학회지, 37(1), 143-154.

강정묵, 송효진, & 김현성 (2014). 스마트시대의 디지털 리터러시 측정을 위한 진단도구의 개발과 적용. 한국지역정보화학회지, 17(3), 143-173.

강훈식, 김유정, & 노태희 (2007). 제 7차 중학교 1학년 과학 교과서의 물질 단원에서 외적 표상들의 활용 실태 분석. 한국과학교육학회지, 27(3), 190-200.

고민석, & 양일호 (2013). 과학적 문제해결을 위한 소집단 논의 과정에서 나타난 비유적 추론의 생성 수준과 설명적 모델 생성의 관계 분석. 한국과학교육학회지, 33(2), 522-537.

고은정, & 정대홍 (2019). 과학교과에서 모델링 활동의 학습진행과정 구성 연구: 중학교 분자운동과 상태변화 영역을 중심으로. 학습자중심교과교육연구, 19(10), 21-51.

고은정, & 정대홍 (2020). 중학교 '분자운동과 상태변화'에 대한 수업에서 스마트 기기 활용 모델링 학습의 효과. 학습자중심교과교육연구, 20(3), 21-52.

곽형석, & 신영준 (2014). 모바일을 활용한 형성평가가 과학수업의 흥미성과 자기주도성에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 34(3), 285-294.

교육부 (2015). 과학과 교육과정. 교육부 고시 제 2015-74호.

구선아 (2010). 분자 운동에 대한 중학생의 학년 간 이해도 및 오개념 비교. 서울대학교 대학원 석사학위논문.

권지연, 오현석, 하윤희, 곽제연, 김찬종, & 최승언 (2021). 소집단 모델링이

과학의 본성 이해에 미치는 영향에 대한 사례연구: 고등학교 지구 기후 변화 수업을 중심으로. 현장과학교육, 15(3), 219-239.

김경순, 노정아, 서인호, & 노태희 (2008). 중학교 과학 '물질의 구성' 단원에서 과학사 소재를 활용한 명시적·반성적 과학의 본성 수업의 효과. 한국과학교육학회지 28(1), 89-99.

김동현, & 김효남 (2012). 국가 수준 과학과 교육과정의 입자 관련 내용 국제 비교. 한국초등과학교육학회지, 31(2), 164-176.

김미용, & 배영권 (2012). 스마트교육 현장 적용을 위한 스마트교육 모형 개발, 인터넷정보학회논문지, 13(5), 77-92.

김미영, & 김희백 (2009). 중등 과학 교과서의 생명 영역에 제시된 과학적 모형들의 유형 분석. 한국과학교육학회지, 29(4), 423-436.

김민하, & 안미리 (2003). 디지털 리터러시 능력 확인을 위한 문항개발 및 능력 평가. 교육정보미디어연구, 9(1), 159-192.

김산희 (2016). 중등학교 전기 영역에서 과학적 모델링에 대한 학습 진전(Learning progression) 탐색. 한국교원대학교 석사학위 논문.

김석중, 남철우, 김정길, 송판섭, 한광래, 최도성, & 김숙희 (2002). 초등학생들의 물질 개념에 관한 연구. 초등교육연구, 17, 161-177.

김선경, 김영미, & 백성혜 (2007). 물질의 상태에 관한 중・고등학생들과 과학교사들의 분류 기준에 대한 유형 분석. 한국과학교육학회지, 27(4), 337-345.

김소정, 맹승호, 차현정, 김찬종, & 최승언 (2013). 과학적 모델의 사회적 구성 수업에서 구현된 두 과학 교사의 실천적 지식의 내용. 한국과학교육학회지, 33(4), 807-825

김애정, 박현주, 김찬종, 김희백, 유준희, & 최승언 (2012). 중학교 과학 교과서 물질 영역의 과학적 모형 유형 분석. 대한화학회, 56(3),

363-370.

김은주, 이효녕, 윤일희, & 강천덕 (2008). 창의적 사고 계발을 위한 고등학교 학습 프로그램 개발: 태양계 축소 모형을 중심으로. 한국지구과학회지, 29(3), 290-304.

김창민, 노태희, 전경문, & 차정호 (1998). 물질의 입자성과 문제 해결 전략을 강조한 컴퓨터 보조 수업이 고등학생들의 화학 학습에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 18(3), 337-345.

김한제, 정용재, & 장명덕 (2013). '어는점 내림'에 대한 초등 예비교사들의 인식 조사 및 설명 모형 제안. 초등과학교육, 32(2), 206-224.

김현주, & 임정훈 (2014). 스마트러닝 기반 협력적 문제해결 수업모형 개발. 교육공학연구, 30(4), 651-677.

김희경, & 송진웅 (2004). 학생의 논변활동을 강조한 개방적 과학탐구활동 모형의 탐색. 한국과학교육학회지, 24(6), 1216-1234.

김환희 (2017). 4차 산업혁명과 디지털 리터러시 교육. 사회연구, 18(2), 187-214.

나지연, & 장병기. (2016). 교육실습에 참여한 예비 초등교사들이 테크놀로지 활용 과학수업 실행에서 느끼는 어려움과 요구. 초등과학교육, 35(1), 98-110.

남혜인, 강훈식, & 노태희 (2017). 과학관련 사회쟁점(SSI) 토론 수업에서 스마트 기기의 활용 방식과 수업의 특징. 한국과학교육학회지, 37(5), 787-797.

노태희, 윤미숙, 강훈식, & 한재영 (2007). 중학교 3학년 과학 교과서에서 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 기호학적 분석. 대한화학회지, 51(5), 423-432.

노태희, 윤미숙, & 한재영 (2009). 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료

에 대한 중학생들의 이해 및 해석 과정. 대한화학회지, 53(3), 355-367.

노태희, 이재원, 양찬호, 강석진, & 강훈식 (2016). 용해와 용액 개념에 대한 학습발달과정 조사. 한국과학교육학회지, 36(2), 295-302.

맹승호, 성연선, & 장신호 (2013). 학습 발달과정 연구의 현황, 방법론적 특징 및 연구 사례. 한국과학교육학회지, 33(1), 161-180.

민성기, & 양승빈 (2011). 모바일환경에서의 스마트러닝 시스템 개발 전략. 한국컴퓨터종합학술대회논문집, 38(1), 16-19.

박수경 (2013). 스마트러닝 기반 과학수업에 대한 중학생들의 인식과 학습만족도 분석. 한국지구과학회지, 34(7), 727-737.

박인숙, & 강순희 (2009). 과학3 물질의 구성 관련 학생들의 개념 분석. 교과교육학연구, 13(1), 1-22.

박종석, & 정경민 (2010). 고등학교 화학 Ⅰ 교과서 실험에 제시된 삽화와 삽화 속 '옥에 티' 분석. 한국과학교육학회지, 30(2), 181-191.

박종욱, & 김수현 (2001). 초등학교 자연과 분자 단원 학습에서 입자성을 강조한 동적 자료와 정적 자료의 교수 효과 비교. 科學과 數學 敎育論文集 22, 39-55.

박지애, 한수진, & 노태희 (2010). 물질의 입자성과 관련된 학생들의 오개념에 대한 중등 교사들의 지식과 인식. 한국과학교육학회지, 30(1), 42-53.

배대성 (2012). 중학생의 힘과 운동 현상 관련 과학적 모형구성에서 학습의 진행. 서울대학교 석사학위 논문.

배재권, & 정화민 (2008). 스마트폰의 기능적 속성이 채택 결정 요인에 미치는 영향. e-비즈니스 연구, 9(4), 337-361.

배진호, 김진수, 김은아, & 소금현 (2015). 스마트 기기를 활용한 역진행

자유탐구 수업이 초등학생의 디지털 리터러시, 21세기 핵심 역량, 과학적 태도에 미치는 영향. 한국초등과학교육학회지, 34(4), 476-485.

백성혜, 조부경, & 김효남 (2000). 유치원, 초등, 중등학교 과학 교재의 '물질의 성질' 관련 학습 내용 전개에 대한 특징 분석. 한국과학교육학회지, 20(4), 527-541.

서윤경, & 권성호 (2004). 프락시스 중심의 디지털 리터러시 학습을 위한 학습 전략 개발 및 적용. 교육공학연구, 20(2), 101-131.

송윤정 (2015). 과학적 모형의 사회적 구성 수업에서 초등학생들의 모형 변화 양상에 관한 사례 연구. 서울대학교 석사학위 논문.

신재한 (2013). STEAM 융합교육의 이론과 실제. 파주, 교육과학사.

신남수, 고은정, 최취임, & 정대홍 (2014). Learning Progression을 적용한 중·고등학생의 '물질의 입자성'에 관한 지식과 미시적 표상에 대한 특성 분석. 한국과학교육학회지, 34(5), 437-447.

신미영, 전미란, & 최승언 (2005). 서울대학교 과학 영재 프로그램의 학습 목표, 과학적 모형, 과학탐구의 인지 과정 분석. 한국지구과학회지, 26(5), 387-394.

심영숙, 김찬종, 최승언, 김희백, 유준희, 박현주, 김혜영, 박경미, & 장신호 (2015). 연소 모델의 사회적 구성과정에서 나타나는 소집단 활동 특징 탐색. 한국과학교육학회지, 35(2), 217-229.

안정민, & 소금현 (2020). 스마트기기를 활용한 기후변화교육 프로그램이 초등학생의 기후변화에 대한 지식, 인식 및 태도에 미치는 영향. 에너지기후변화교육, 10(1), 51-60.

양찬호, 조민진, & 노태희 (2015). 스마트 기기를 활용한 과학 교사의 교수 실행과 과학교육에서 스마트교육 적용 방안에 대한 의견 조사.

한국과학교육학회지, 35(5), 829-840.

여채영, & 이효녕 (2016). 생태계에 대한 학습발달과정의 개발과 평가. 한국과학교육학회지, 36(1), 29-43.

오필석 (2007). 중등학교 지구과학 수업에서 과학적 모델의 활용 양상 분석: 대기 및 해양 지구과학 관련 수업을 중심으로. 한국과학교육학회지, 27(7), 645-662.

오필석 (2009). 과학과 과학 교육에서 사용되는 모델에 관한 예비 초등교사들의 인식. 한국초등과학교육학회지, 28(4), 450-466.

유희원, 함동철, 차현정, 김민석, 김희백, 유준희, 박현주, 김찬종, & 최승언 (2012). 달의 위상 변화에 대한 과학적 모형 구성 수업에서 나타나는 과학 영재들의 모형 생성 및 발달 과정. 영재교육연구, 22(2), 291-315.

윤정현, 강석진, & 노태희 (2016). 과학 수업에서 스마트 기기를 활용한 소집단 학습의 효과. 한국과학교육학회지, 36(4), 519-526

윤정현, 안인영, & 노태희 (2015). 과학 수업에서 스마트 기기를 활용한 개념 적응적 개별화 학습의 효과. 한국과학교육학회지, 35(2), 325-331.

윤회정, & 이윤하 (2014). 중학생들의 전해질과 이온에 관련된 입자 개념 표현의 일관성 분석. 대한화학회지, 58(6), 580-589.

이기영, & 박재용 (2017). 지구과학 탐구에서 통합 탐구 기능에 대한 학습발달과정 탐색. 한국지구과학교육학회지, 38(3), 222-238.

이기종, 이광호, 이종철, & 김자홍 (1989). 과학교육 개선을 위한 실험모델 제작에 관한 연구(Ⅰ). 한국과학교육학회지, 9(2), 13-27.

이성희 (2013). 스마트러닝 기반의 생태 STEAM 교육 프로그램 개발. 초등과학교육, 32(3), 250-259.

이신영, 김찬종, 최승언, 유준희, 박현주, 강은희, & 김희백 (2012). 소집단 상호작용에 따른 심장 내 혈액 흐름에 대한 소집단 모델 발달 유형과 추론 과정 탐색. 한국과학교육학회지, 32 (5), 805-822.

이재진, & 김성욱 (2019). 디지털 리터러시 교육을 위한 정보과 교육과정 및 수업 사례 분석. 컴퓨터교육학회 논문지, 22(5), 11-25.

이현영 (2015). 중학교 1학년 분자 운동과 상태 변화 단원에 대한 학교 중심 교육과정 설계 연구: 수준별 학습이 가능한 디지털교과서 환경을 고려하여. 서울대학교 대학원 석사학위논문.

이희수, & 강숙희. (2000). 평생학습능력으로서 정보문해개념의 변천에 관한 고찰. Andragogy Today: Interdisciplinary Journal of Adult & Continuing Education (IJACE), 3, 177-212.

임걸 (2011). 스마트 러닝 교수학습 설계모형 탐구. 컴퓨터교육학회논문지, 14(2), 33-45.

임병노, 임정훈, & 성은모 (2013). 스마트 교육 핵심 속성 및 스마트 교육 콘텐츠 유형 탐색. 교육공학연구, 29(3), 459-489.

장은경, 고운, & 강성주 (2012). 모델링 탐구 활동에서의 대학생의 모델링 유형 분석 및 인식, 한국과학교육학회지, 32(1), 1-14.

장은진, 김찬종, & 최승언 (2017). 과학적 모형의 사회적 구성에서 스마트기기의 역할 모색. 한국과학교육학회지, 37(5), 813-824.

정지영 (2009). 상태변화와 열에너지 관계에 관한 학생들의 설명 유형과 모둠별 상호작용을 강조한 과학수업의 효과. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.

정혜선, & 오은아 (2003). 과학적 증거와 설명에 대한 초등학교 6학년 학생의 이해. 한국과학교육학회지, 23(6), 634-649.

조정일, 김진희, & 홍행화 (2008). 10학년 과학 탐구 단원의 맥락에서 모

델구성과 규칙발견을 통한 명시적 수업이 과학의 본성의 관점에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 28(8), 955-963.

조혜숙, & 남정희 (2014). 중학교 과학수업에 적용한 글쓰기를 활용한 논의-기반 모델링 전략의 효과. 한국과학교육학회지, 34(6), 583-592.

조혜숙, & 남정희 (2017). 과학교육에서 모델과 모델링 관련 국내 과학교육 연구 동향 분석. 한국과학교육학회지, 37(4), 539-552.

차정호, 김영희, & 노태희 (2004). 과학적 모델에 대한 중· 고등학생들의 견해. 대한화학회지, 48(6), 638-644.

채동현 (2004). 지구운동 중심 태양계 실험 모형이 초등 예비교사와 초등학교 교사의 천문개념 변화에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 24(5), 886-901.

천세영, 전미애, & 방인자 (2014). 스마트교육기반 디지털교과서 활용수업 효과 분석. 초등교육연구, 27(3), 137-161.

최용석, 이영민, & 이국행 (2009). 과학 읽기 자료를 활용한 수업이 과학 학업성취도와 태도에 미치는 효과 -10학년 물질영역을 중심으로-. 科學敎育論叢, 34, 69-74.

최현석, 이현경, & 하정철 (2012). 스마트폰 중독이 정신건강, 학교생활, 대인관계에 미치는 영향 - K대 대학생을 중심으로. 한국데이터정보과학회지, 23(5), 1005-1015.

한문현, & 김희백 (2012). '먹이 그물과 먹이 피라미드'모형 구성에서 나타. 난 초등학생의 추론 유형. 초등과학교육, 31(1), 71-83.

황유리, & 강신천 (2013). 스마트교육을 위한 스마트기기 및 콘텐츠 효과성 연구. 한국컴퓨터교육학회 학술발표대회논문집, 17(2), 243-248.

황태경, & 손원경 (2014). 유아의 스마트기기 사용실태와 중독경향성, 자기조절력, 친사회적 행동 간의 관계. 생애학회지, 4(1), 69-83.

Abraham, M. R., Williamson, V. M., & Westbrook, S. L. (1994). A cross age study of the understanding of five chemistry concepts. Journal of Research in Science Teaching, 31(2), 147-165.

Alonzo, A. C., & Steedle, J. T. (2008). Developing and assessing a force and motion learning progression. Science Education, 93(3), 389-421.

Anderson, P., & Blackwood, A. (2004). Mobile and PDA technologies and their future use in education. JISC Technology and Standards Watch, 03, 1-33.

Ardac, D., & Akaygun, S. (2004). Effectiveness of multimedia based instruction that emphasizes molecular representations on students' understanding of chemical change. Journal of Research in Science Teaching, 41(4), 317-337.

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

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

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

Science Education, 35(2), 213-238.

Barab, S. A., Hay, K. E., Barnett, M., & Keating, T. (2000). Virtual solar system project: Building understanding through model building. Journal of Research in Science Teaching, 37(7), 719-756.

Bebell, D. (2005). Technology Promoting Student Excellence: An investigation of the first year of 1:1 computing in New Hampshire middle schools. Boston, MA: Technology and Assessment Study Collaborative. Boston College.

Berland, L. K., & McNeill, K. L. (2010). A learning progression for scientific argumentation: Understanding student work and designing supportive instructional contexts. Science Education, 94(5), 765-793.

Boo, H. K., & Watson, J. R. (2001). Progression in high school students' (aged 16 - 18) conceptualizations about chemical reactions in solution. Science Education, 85(5), 568-585.

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

Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. Educational Psychologist, 28(3), 235 - 251.

Catley, K., Lehrer, R., & Reiser, B. (2005). Tracing a prospective learning progression for developing understanding of evolution. Committee on Test Design for K-12 Science Achievement. Washington, DC: National Academies Press.

Chamizo, J. A. (2013). A new definition of models and modeling in chemistry' teaching. Science & Education, 22(7), 1613-1632.

Chi, M. T., Slotta, J. D., & De Leuw, N. (1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. Learning and Instruction, 4(1), 27 - 43.

Clement, J. J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. International Journal of Science Education, 22(9), 1041-1053

Clement, J. J. (2008). Creative model construction in scientists and students. New York: Springer.

Clement, J. J. (2009). The Role of Imagistic Simulation in Scientific Thought Experiments. Topics in Cognitive Science 1: 686-710.

Cobern, W. W., & Aikenhead, G. S. (1998). Cultural aspects of learning science. In B. Fraser, & K. Tobin (Eds.), International handbook of science education part 1 (pp.39-52). Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers.

Corcoran, T., Mosher, F. A., & Rogat, A. (2009). Learning progressions in science: An evidence based approach to reform. Philadelphia, PA: Consortium for Policy Research in Education.

Coulby, C., Hennessey, S., Davies, N., & Fuller, R. (2009). The use of mobile technology for work-based assessment: The student experience. British Journal of Educational Technology, 42(2), 251-265.

Cox, M., & Webb, M. (1994). In H. Mellar, J. Bliss, R. Boohan, J. Ogborn, & C. Thompsett (Eds.), Learning with artificial

worlds: Computer based modelling in the curriculum (pp.188 - 198). London: The Falmer Press.

Crawford, B., & Cullin, M. (2004). Supporting prospective teachers' conceptions of modeling in science. International Journal of Science Education, 26, 1379 - 1401.

de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. Review of Educational Research Summer, 68(2), 179-201.

Doerr, H. M. (1996). Integrating the study of trigonometry, vectors, and force through modeling. School Science and Mathematics, 96(8), 407-418.

Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). Young People's Images Of Science. Open University Press.

Duit, R. (1991). On the role of analogies and metaphors in learning science. Science Education, 75(6), 649 - 672.

Duncan, R. G., Rogat, A. D., & Yarden, A. (2009). A Learning Progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th-10th grades. Journal of Research in Science Teaching, 46(6), 655-674.

Duschl, R. A., & Grandy, R. (2013). Two Views About Explicitly Teaching Nature of Science. Science & Education, 22(9), 2109 - 2139.

Edens, K. M., & Potter, E. F. (2003). Using descriptive drawings as a conceptual change strategy in elementary science. School Science and Mathmatics, 103(3), 135-144.

Eshet, Y. (2004). Digital literacy: A conceptual framework for survival skills in the digital era. Journal of Educational Multimedia and Hypermedia, 13(1), 93-106.

Garvey, W. D., & Griffith, B. C. (1972). Communication and information processing within scientific disciplines: Empirical findings for psychology. Information Storage and Retrieval 8, 123-126.

Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. Cognitive Science, 7(2), 155-170.

Gilbert, J. (1993). Models & modelling in science education. Hatfield, UK: The Association for Science Education.

Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A., & Faranco, C. (2000). Science and education: Notion of reality, theory and model, In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (Eds.), Developing models in science education (pp. 19 - 40). Netherlands: Springer.

Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling: Routes to more authentic science education. International Journal of Science and Mathematics Education, 24(2), 115-130.

Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses. International Journal of Science Education, 20(1), 83-97.

Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). Modelling-based teaching in science education (Vol. 9). Basel, Switzerland: Springer international publishing.

Glister, P. (1997). Digital literacy. New York: John Wiley & Sons.

Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. In S. M. Glynn, R. H. Yeany & B. K Britton (Eds.), The psychology of learning science. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Glynn, S. M. (1997). Drawing mental models. The Science Teacher, 64(1), 30-32.

Gobert, J. D., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. International Journal of Science Education, 22(9), 891-894.

GoKnow (2004). Why your child or student needs a handheld computer for school. Retrieved 18 June 2009 from <http://goknow.com/GettingStarted/Documents/WhyHandhelds.pdf>.

Grevatt, A., Gilbert, J. K., & Newberry, M. (2007). Challenging able science learners through models and modelling. Science Education for Gifted Learners, 85-99.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models and modelling. International Journal of Science Education, 22(1), 1-11.

Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. Journal of Research in Science Teaching, 28(9), 799-822.

Haidar, A. H., & Abraham, R. (1991). A comparison of applied and theoretical knowledge of concepts based on the particulate

nature of matter. Journal of Research in Science Teaching, 28(6), 919-938.

Halloun, I. (1996). Schematic modeling for meaningful learning of physics. Journal of Research in Science Teaching, 33(9), 1-26.

Halloun, I. (2006). Modeling theory in science education. Dordrecht: Springer.

Halloun, I., & Hestenes, D. (1987). Modeling instruction in mechanics. American Journal of Physics, 55, 455-465.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (1996). Secondary students' mental models of molecules: Implication for teaching chemistry. Studies in Science Education, 80, 509 - 534.

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, 352 - 381.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2002). The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopoic world. In Gilbert, J. K., Jong, O. D., Justi, R., Treagust, D. F. & Van Driel, J. H. (Eds.), Chemical education: Towards research-based practice (pp. 189-212). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Henze, I., Van Driel, J., & Verloop, N. (2007). The change of science teachers' personal knowledge about teaching models and modelling in the context of science education reform. International Journal of Science Education, 29(15), 1819 - 1846.

Herrington, A. (2009). Using a smartphone to create digital teaching

episodes as resources in adult education. In: Herrington, J., Herrington, A., Mantei, J., Olney, I. and Ferry, B. (Ed.), New technologies, new pedagogies: Mobile learning in higher education. Wollongong: Faculty of Education, University of Wollongong.

Hestenes, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. American Journal of Physics, 55(5), 440-454.

Hodgson, T. (1995). Secondary mathematics modeling: Issues and challenges. School Science and Mathematics, 95, 351-358.

Höffler, T. N. & Leutner, D. (2007). Instructional animation versus static pictures: A meta-analysis. Learning and instruction, 17(6), 722-738.

Hogan, K., & Thomas, D. (2001). Cognitive comparisons of students' systems modelling in ecology. Journal of Science Education and Technology, 10(4), 319 - 345.

Holbrook, J., & Tannikmae, M. (2007). The nature of science education for enhancing scientific literacy. International Journal of Science Education, 29, 1347-1362.

Huang, Y. M., Lin, Y. T., & Cheng, S. C. (2010). Effectiveness of a mobile plant learning system in a science curriculum in Taiwanese elementary education. Computers & Education, 54(1), 47-58.

Ingham, A. M., & Gilbert, J. K. (1991). The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. International Journal of Science Education, 22(9), 1011 - 1026.

Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching. Journal of Chemical Education, 70, 701-705.

Johnson, P. (1998). Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: A longitudinal study. International Journal of Science Education, 20(4), 393-412.

Jonassen, D. H., Strobel, J., & Gottdenker, J. (2005). Model building for conceptual change. Interactive Learning Environments, 13(1 - 2), 15 - 37.

Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modeling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the education of modelers. International Journal of Science Education, 24(4), 369 - 387.

Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. International Journal of Science Education, 25(11), 1369-1386.

Justi, R. S., Gilbert, J. K., & Ferreira, P. F. M. (2009). The Application of a 'Model of Modelling' to Illustrate the Importance of Metavisualisation in Respect of the Three Types of Representation. Multiple Representations in Chemical Education (pp. 285-307). Springer.

Kenyon, L., Schwarz, C., & Hug, B. (2008). The benefits of scientific modelling. Science and Children, 46(2), 40-44.

Khan, S. (2008). Co-construction and model evolution in chemistry. In Model based learning and instruction in science, 59-78. Springer.

Koponen, I. T. (2007). Models and modeling in physics education: a critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. Science & Education. 16, 751-773.

Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. Journal of Research in Science Teaching, 34(09), 949-968.

Kozma, R., Chin, E., Russell, J., & Marx, N. (2000). The roles of representations and tools in the chemistry laboratory and their implications for chemistry learning. Journal of the Learning Sciences, 9(2), 105-143.

Kumar, N., Belhumeur, P. N., Biswas, A., Jacobs, D. W., Kress, W. J., Lopez, I. C., & Soares João V. B. (2012). Leafsnap: A computer vision system for automatic plant species identification. Lecture Notes in Computer Science, 7577, 502-516.

Kurtz dos Santos, A. C., & Ogborn, J. (1994). Sixth form students' ability to engage in computational modelling. Journal of Computer Assisted Learning, 10, 182-200.

Lai, C. H., Yang, J. C., Chen, F. C., Ho, C. W., & Chan, T. W. (2007). Affordances of mobile technologies for experiential learning: the interplay of technology and pedagogical practices. Journal of Computer Assisted Learning, 23(4), 326-337.

Lehrer, R., & Schauble, L. (2012). Seeding evolutionary thinking by engaging children in modeling its foundations. Science

education, 96(4), 701-724.

Liu, T-C., Peng, H., Wu, W-H., & Lin, M-S. (2009). The effects of mobile natural-science learning based on the 5E learning cycle: A case study.Educational Technology & Society, 12(4), 344-358

Malcolm, W., Gregg, S., & Hestenes, D. (1995). A modeling method for high school physics instruction. American Journal of Physics, 63(7), 606-619.

Mandinach, E., & Cline, H. (1993). Systems, science and schools. System Dynamics Review, 9(2), 195-206.

Megowan-Romanowicz, C. (2011). Helping students construct robust conceptual models. In: Models and modeling, 99-120. Springer.

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

Mohan, L., Chen, J., & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. Journal of Research in Science Teaching, 46(6), 675-698.

Morgan, M., & Morrison, M. (1999). Models as mediators. Perspectives on natural and social sciences. Cambridge: Cambridge University Press.

Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. Journal of Chemical Education, 69(3), 191-207.

National Research Council. (1996). National science education

standards. Washington, DC: The National Academy Press.

National Research Council. (2007). Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8. In R. A. Duschl, H. A. Schweingruber, & A. W. Shouse (Eds.). Washington, DC: The National Academies Press.

National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas. Committee on conceptual framework for the new K-12 science education standards. Washington, DC: The National Academies Press.

NGSS Lead States. (2013). Next generation science standards: For states, by states. Washington, DC: The National Academies Press.

Neiss, M. L. (2005). Preparing teachers to teach science and mathematics with technology: Developing a technology pedagogical content knowledge. Teaching and Teacher Education, 21(5), 509 - 523.

Nelson, K., Courier, M., & Joseph, G. W. (2019). An investigation of digital literacy needs of students. Journal of Information Systems Education, 22(2), 2.

Noh, T. H., & Scharmann, L. C. (1997). Instructional influence of a molecular level pictorial presentation of matter on students' conceptions and problem solving ability. Journal of Research in Science Teaching, 34(2), 199-217.

Norman, K., Shneiderman, B., Harper, B., & Slaughter, L. (2007).

Questionnaire for User Interaction Satisfaction(QUIS) version 7.0. Users' Guide, Questionnaire and Related Papers. College Park, Md: University of Maryland. from <www.wam.umd.edu/~katyn/779/QUIS7.doc>.

Osborne, R. J., & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. Journal of research in Science Teaching, 20(9), 825-838.

Ossimitz, O. (2002). Stock-flow-thinking and reading stock-flow-related graphs: An empirical investigation in dynamic thinking abilities. Paper presented at the 2002 System Dynamics Conference, Palermo, Italy.

Passmore, C., Stewart, J., & Cartier, J. (2009). Model based inquiry and school science: creating connections. School Science and Mathematics, 109 (7), 394-402.

Passmore, C., & Stewart, J. (2002). A modeling approach to teaching evolutionary biology in high schools. Journal of Research in Science Teaching, 39 (3), 185-204.

Plass, J. L., Milne, C., Homer, B. D., Schwartz, R. N., Hayward, E. O., Jordan, T., Verkuilen, J., Ng, F., Wang, Y., & Barrientos, J. (2012). Investigating the effectiveness of computer simulations for chemistry learning. Journal of Research in Science Teaching, 49(3), 394-419.

Quintana, C., Reiser, B. J., Davis, E. A., Krajcik, J., Fretz, E., Duncan, R. G., Kyza, E., Edelson, D., & Soloway, E. (2004). A scaffolding design framework for software to support science

inquiry. Journal of the Learning Sciences, 13(3), 337-386.

Raia, F. (2005). Students' Understanding of Complex Dynamic Systems. Journal of Geoscience Education, 53(3), 297-308.

Riley, D. (1990). Learning about systems by making models. Computers and Education, 15(1-3), 255-263.

Romberg, T., Carpenter, T., & Kwako, J. (2005). Standards based reform and teaching for understanding. In T. Romberg, T. Carpenter, & F. Dremock (Eds.), Understanding mathematics and science matters (pp. 3 26). Mahwah, - NJ: Erlbaum.

Roschelle, J., Sharples, M., & Chan, T. W. (2005). Introduction to the special issue on wireless and mobile technologies in education. Journal of Computer Assisted Learning, 21, 159-161.

Roth, W. M., & McGinn, M. K. (1998). Inscriptions: Toward a theory of representing as social practice. Review of Educational Research, 68(1), 35-59.

Ryu, S., Han, Y., & Paik, S. H. (2015). Understanding co-development of conceptual and epistemic understanding through modeling practices with mobile internet. Journal of Science Education and Technology, 24(2-3), 330-355.

Scalise, K., & Gifford, B. (2006). Computer-based assessment in e-learning: A framework for constructing "intermediate constraint" questions and tasks for technology platforms. The Journal of Technology, Learning, and Assessment, 4(6), 1-45.

Schwarz, C. V., & Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support

preservice K-8 science teaching. Science Education, 91(1), 158 - 186.

Schwarz, C., Reiser, B., Davis, E., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009a). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. Journal of Research in Science Teaching, 46(6), 632 - 654.

Schwarz, C., Reiser, B., Fortus, D., Shwartz, Y., Acher, A., Davis, B., Krajcik, J., & Hug, B. (2009b). Models: Defining a learning progression for scientific modeling. Paper presented at the Learning Progression in Science (LeaPS) conference, Iowa City, IA, USA.

Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodelling knowledge: Developing students'understanding of scientific modelling. Cognition and Instruction, 23(2), 165 - 205.

Schwartz, R. S., & Lederman, N. G. (2005). What scientists say: Scientists'' views of models. Paper presented at the Annual Conference of National Association for Research in Science Teaching, Dallas, TX.

Shuler, C., Winters, N., & West, M. (2013). The future of mobile learning: Implications for policy makers and planners. UNESCO Working Paper Series on Mobile Learning, Paris.

Sibley D. F. (2009). A cognitive framework for reasoning with scientific models. Journal of Geoscience Education, 57(4), 263-265.

Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. (2005).The difficult process of scientific modelling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modelling, International Journal of Science Education, 27(14). 1695 - 1721.

Smetana, L. K. & Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. International Journal of Science Education, 34(9), 1337-1370.

Smith, C. L., Wiser, M., Anderson, C. W., & Krajcik, J. S. (2006). Implications of research on children's learning for standards and assessment: A proposed learning progression for matter and the atomic molecular theory. Measurement: Interdisciplinary Research and Perspectives, 14(1-2), 1-98.

Song, Y. (2014). "Bring your own device (BYOD)" for seamless science inquiry in a primary school. Computer & Education, 74(1), 50-60.

Steed, M. B. (1994). Effects of computer simulation construction on shifts in cognitive representation: A case study using STELLA. Unpublished doctoral dissertation, University of Massachusetts, Amherst, MA.

Stevens, S. Y., Shin, N., & Krajcik, J. S. (2009a). Towards a model for the development of an empirically tested learning progression. Paper presented at the Learning Progressions in Science (LeaPS) Conference, Iowa City, IA, USA.

Stevens, S., Sutherland, L., & Krajcik, J. S. (2009b). The big ideas of

nanoscale science and engineering. Arlington, VA: National Science Teachers Association Press.

Stevens, S. Y., Delgado, C., & Krajcik, J. S. (2010). Developing a Hypothetical Multi-Dimensional Learning Progression for the Nature of Matter. Journal of Research in Science Teaching, 47(6), 687-715.

Stevens, S. Y., & Shin, N. (2010). An investigation into students' interpretations of submicroscopic representations. Poster presented at the intenational Conferences of the Leatning Sciences. Chicago, IL, USA.

Stevens, S. Y., Shin, N., & Peek-Brown, D. (2013). Learning progressions as a guide for developing meaningful science learning: A new framework for old ideas. Journal of Education Quimica, 24(4), 381-390.

Sweeny, L. B., & Sterman, J. D. (2000). Bathtub dynamics: Preliminary results of a systems thinking inventory. Proceedings of International System Dynamics Conference, Bergen, Norway.

Tinker, R. (1993). Modelling and theory building: Technology is support of student theorizing. In D. L. Ferguson (Ed.), Advanced educational technologies for mathematics and science, pp.91 - 113. Berlin: Springer-Verlag.Tobin & Tippins.

Treagust, D. F., Chittelborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. International Journal of Science Education,

24(4), 357-368.

Treagust, D., & Harrison, A. (1999). The genesis of effective scientific explanations for the classroom. Researching Teaching (pp.28-43). Methodologies and Practices for Understanding Pedagogy.

Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. International Journal of Science Education, 25(11), 1353-1369.

Tuckey, H., & Selvaratnam, M. (1993). Studies involving three-dimensional visualisation skills in chemistry: A review. Studies in Science Education, 21(1), 99-121.

Tytler, R. (2001). Dimensions of evidence, the public understanding of science and science education. International Journal of Science Education 23(8): 815-832.

Van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. International Journal of Science Education, 21(11), 1141-1153.

Van Driel, J. H., & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. International Journal of Science Education, 24(12), 1255-1272.

Wang, F., Kinzie, M. , McGuire, P., & Pan, E. (2010). Applying technology to inquiry-based learning in early childhood education. Early Childhood Education Journal, 37(5), 381-389.

White, B. Y., & Frederiksen, J. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. Cognition and Instruction, 16(1), 3-118.

Whitfield, A. (1988). STELLA and its impact on the teaching of mathematical modelling. In F. Lovis, & E. D. Tagg (Eds.), Computers in education, Proceedings of the IFIP TC3 First European Conference on Computers in Education-ECCE 88, International Federation for Information Processing (pp.299 - 304). Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science Publishers.

Williams, A. J., & Pence, H. E. (2011). Smart phones, a powerful tool in the chemistry classroom. Journal of Chemical Education, 88(6), 683-686.

Williamson, V. M., & Abraham, M. R. (1995). The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. Journal of Research in Science Teaching, 32(5), 521-534.

Windschitl, M., & Thompson, J. (2006). Transcending Simple Forms of School Science Investigation: The Impact of Preservice Instruction on Teachers' Understandings of Model-Based Inquiry. American Educational Research Journal, 43(4), 783-835.

Wu, H. K., & Puntambekar, S. (2012). Pedagogical affordances of multiple external representations in scientific processes. Journal of Science Education and Technology, 21(6), 754-767.

Zhai, X., Zhang, M., & Li. M. (2016). One-to-one mobile technology in high school physics classrooms: Understanding its use and

outcome. British Journal of Educational Technology, DOI: http://10.1111/bjet.12539

Zohar, A. (1995). Reasoning about interactions between variables. Journal of Research in Science Teaching, 32(10), 1039-1063.

부록

<부록 1> 'Ⅲ-2. 물질의 입자성에 대한 개념 및 표상 LP' 검사지

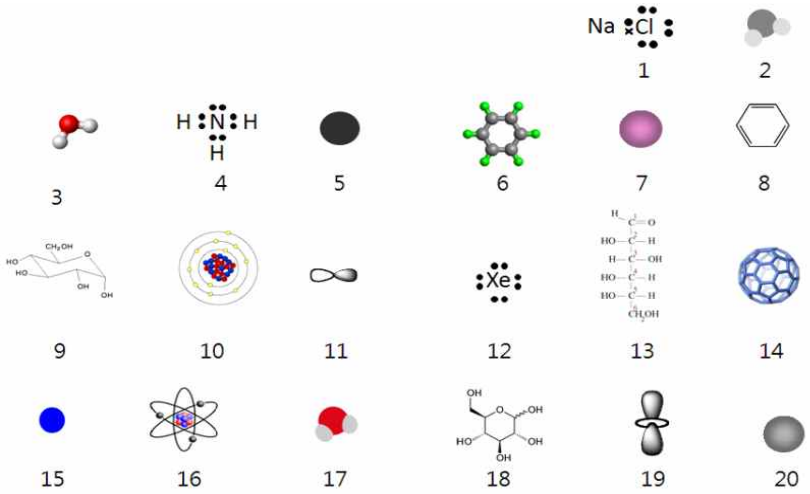
본 설문은 원자와 분자에 대한 여러분의 생각을 알아보는 것입니다. 이 설문은 시험이 아니므로 성적과 무관합니다. 아래의 내용을 자세히 읽고 자신의 생각을 솔직하게 쓰세요.

이름: 성별: 학년:

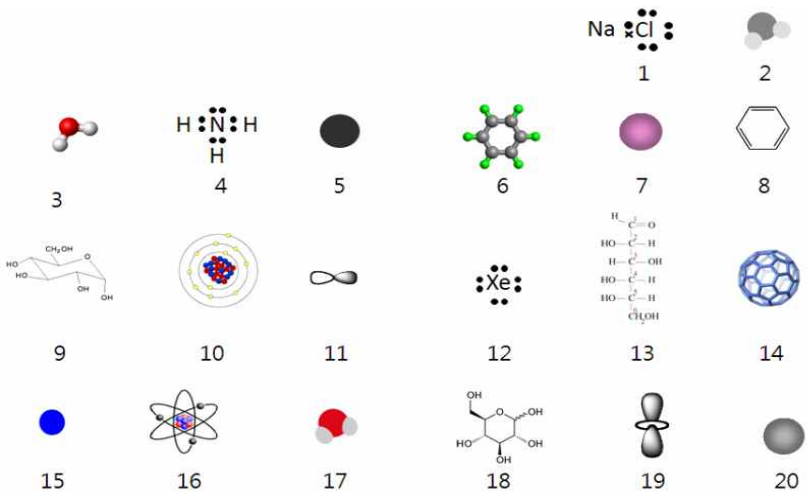
1. 원자에 대한 아래의 문장들이 맞는지, 틀린지 표시하세요. 확실하지 않으면 '확실하지 않다'에 표시하세요.

번호	문항	맞다	틀리다	확실하지 않다.
1	우리 주변의 모든 물질은 원자들로 구성되어 있다.			
2	원자 내에서 전자들 사이에는 공기가 존재한다.			
3	원자핵은 중성자와 전자로 이루어져 있다.			
4	원자핵은 원자의 부피 중 약 반을 차지한다.			
5	전자는 원자핵을 둘러싸고 있다.			
6	원자핵은 중성이다.			
7	원자에서 핵은 모든 전자를 똑같이 끌어당긴다.			
8	행성이 태양 주위를 도는 것처럼 전자는 원자핵 주위를 돈다.			
9	금속판을 구성하는 원자들은 움직일 수 없다.			
10	전자는 원자 내에 어디에나 존재할 수 있다.			
11	전자가 원자에서 분리되어 나와 양이온을 만들 때, 분리되어 나오려는 정도가 원자 내의 모든 전자가 같다.			

2. 원자: 아래 제시한 모델 중 교과서에서 원자를 나타내는 것은 어떤 것인가요? 해당되는 모델에 모두 밑줄을 치세요.



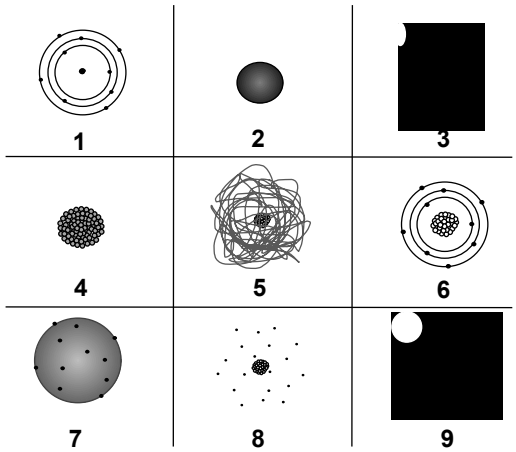
3. 분자: 아래 제시한 모델 중 교과서에서 분자를 나타내는 것은 어떤 것인가요? 해당되는 모델에 모두 밑줄을 치세요.



4. 분자에 대한 아래의 문장들이 맞는지, 틀린지 표시하세요. 확실하지 않으면 '확실하지 않다'에 표시하세요.

번호	문항	맞다	틀리다	확실하지 않다.
1	세포는 분자의 종류들이다.			
2	분자들은 모두 같은 크기이다.			
3	아이스크림에 있는 분자는 매우 차갑다.			
4	분자에 포함되어 있는 원자의 종류와 수를 이용해 분자의 형태를 예측할 수 있다.			
5	물로 가득 찬 풍선을 누를 때, 풍선 모양이 변한다. 이때 누르는 압력은 물 분자의 모양도 변하게 한다.			
6	여러분이 볼 수 있는 것들은 분자로 이루어진 것이다.			
7	바위를 구성하는 분자는 이동하지 않는다.			
8	두 개의 서로 다른 물질은 같은 종류의 원자로 이루어질 수는 있으나 분자는 서로 다르다.			
9	액체 상태에서 분자들 간의 거리는 고체상태에 있는 분자들 간의 거리보다 항상 훨씬 더 멀다.			
10	5개의 원자로 이루어진 분자는 종류와 관계없이 같은 모양을 갖는다.			

5. 아래는 원자를 나타내는 일반적인 방법입니다.
원자를 과학적으로 가장 정확하게 표현한 것은 위의 보기 중 어느 그림일까요?



6. 주사기에 산소를 가득 채운 후 산소가 나가지 못하도록 마개로 막았습니다. 피스톤을 잡아당기기 전과 후의 산소 기체 분자의 모습을 그림 1과 2에 각각 그려보세요.

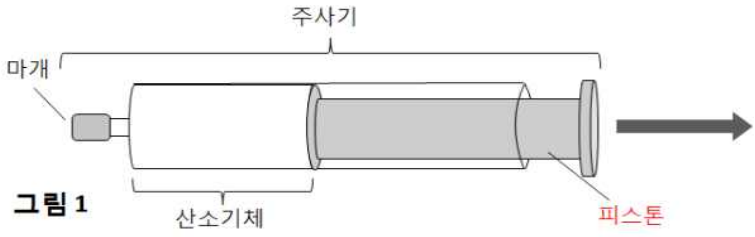
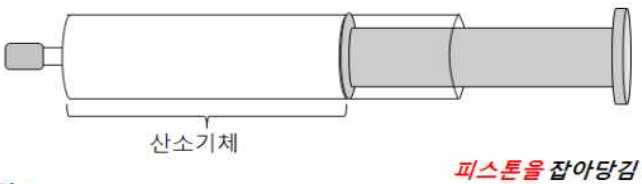


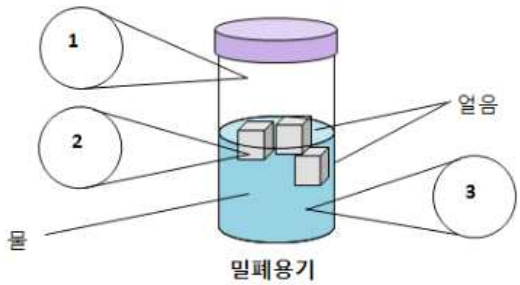
그림 1



피스톤을 잡아당김

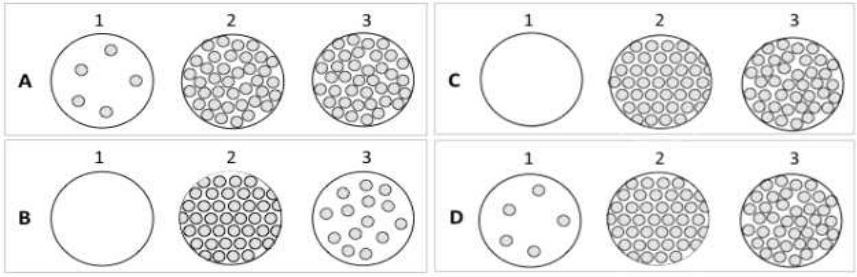
그림 2

7. 아래의 그림과 같이 밀폐 용기에 얼음물을 반쯤 채운 후 용기 속의 공기를 모두 뺐습니다.



어느 정도 시간이 지난 후 분자를 볼 수 있는 도구를 가지고 그림에 표시된 1, 2, 3의 세 지점의 입자들을 관찰하였다. 아래의 그림 중 어떤 그림이 세 지점의 입자의 모습을 잘 표현한 것일까요?

선택한 그림에 대해서 왜 선택했는지 설명해보세요.
선택하지 않은 그림에 대해서 왜 선택하지 않았는지 설명해보세요.



< 수고하셨습니다. >

<부록 2> 'Ⅲ-4. 모델과 모델링에 대한 인식 조사' 설문지

모델과 모델링에 대한 인식 조사 설문지[1](한국어 버전)[2]

이 설문 조사는 여러분들의 모델과 모델링에 대한 인식을 조사하기 위해서입니다. 아래의 항목에 답하는 데에는 약 20분이 걸릴 것입니다. 설문을 통해 얻어진 자료는 연구를 위한 목적으로만 사용할 것임을 약속드립니다.

2014년 4월 서울대학교 대학원 화학교육 전공 고은정, 정대홍 드림

이 연구는 아래의 □ 칸에 체크하여 자발적으로 참여 의사를 밝히신 분에 한하여 수행됩니다.

1. 나는 연구 설명서를 읽었으며 이 연구에 참여하는 것에 대하여 자발적으로 동의합니다. □
2. 나는 언제라도 이 연구의 참여를 철회할 수 있고 이러한 결정이 나에게 어떠한 해도 되지 않을 것이라는 것을 압니다. □
3. 나는 이 연구에서 얻어진 나에 대한 정보를 현행 법률과 생명윤리심의위원회 규정이 허용하는 범위 내에서 연구자가 수집하고 처리하는데 동의합니다. □

---

1) Treagust, D. F., Chittleborough, G., Mamiala, T. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. International Journal of Science Education, 24, 357.

2) 정현석(2012). 과학적 모형에 대한 고등학생과 예비교사의 인식조사. 부산대학교 석사학위논문

차정호, 김영희, 노태희(2004). 과학적 모델에 대한 중고등학생들의 견해. 대한화학회지, 48(6), 638-644.

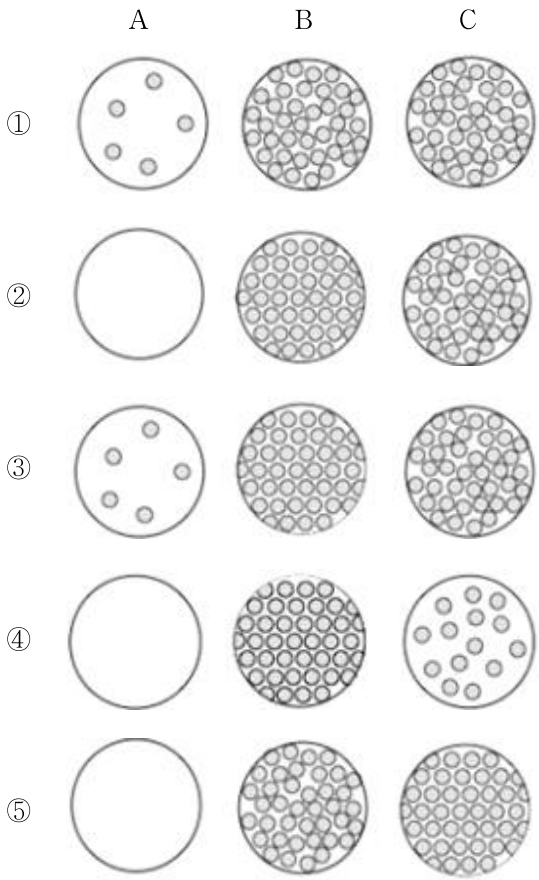
Item/ Number	문항	매우 아니다	아니다	확신 없다	그렇다	매우 그렇다
MR/1	한 가지 사물을 바라보는 관점이 여러 가지 있을 수 있기 때문에, 하나의 과학 현상의 특징을 표현하기 위해 여러 가지 과학적 모델들이 사용될 수 있다.					
MR/2	한 가지 과학 현상을 표현하는 과학적 모델은 여러 가지 버전이 있을 수 있다.					
MR/3	과학적 모델은 과학적 아이디어와 연결되어 있고, 그 관계를 매우 명확하게 나타낼 수 있다.					
MR/4	어떤 사물이 어떻게 나타나보이고, 어떤 작용을 하는지, 그것을 관찰하는 사람들의 생각은 서로 다르기 때문에 여러 가지 과학적 모델들이 사용된다.					
MR/5	어떤 사물의 여러 측면과 서로 다른 모양들을 나타내기 위해 여러 가지 과학적 모델들을 이용할 수 있다.					
MR/6	과학적 모델들은 한 사물의 서로 다른 측면을 보여주거나, 여러 사물들을 서로 다르게 보여준다.					
MR/7	서로 다른 정보들이 어떻게 이용되는지를 여러 가지 과학적 모델들이 보여준다.					
MR/8	과학적 모델은 한 가지 과학 현상을 표현하고 설명하는데 필요한 것들을 가지고 있다.					
ET/17	과학적 모델은 어떤 사물을 물리적 또는 시각적으로 나타내기 위해 사용된다.					
ET/18	과학적 모델은 과학적 사건에 대해 마음 속으로 그림을 그릴 수 있도록 도와준다.					
ET/19	과학적 모델은 과학 현상을 설명하기 위해 사용된다.					
ET/20	과학적 모델은 아이디어를 나타내기 위해 사용된다.					
ET/21	도표, 그림, 지도, 그래프도 과학적 모델이 될 수 있다.					
USM/22	과학적 모델은 과학적인 사건들에 대한 이론을 형성하고 아이디어를 체계화하는 것을 돕기 위해 사용된다.					
USM/23	과학적 모델은 과학적 탐구에서 어떻게 이용될 수 있는지 보여주기 위해 사용된다.					
USM/24	과학적 모델은 과학적 사건을 예측하고 검증하기 위해 사용된다.					
CNM/25	과학적 모델은 새로운 이론과 증거가 나타나면 바뀔 수 있다.					
CNM/26	과학적 모델은 새로운 발견이 있을 경우 바뀔 수 있다.					
CNM/27	과학적 모델은 데이터가 변하거나 옳다고 믿고 있던 생각이 변한다면 바뀔 수도 있다.					

MR (모델의 다양성 영역), ER (모델의 정밀설 영역), ET(모델의 설명적 도구 영역), USM (모델의 유용성 영역), CNM (모델의 가변성)

<부록 3> 'Ⅲ-4. 사후 개념 검사' 문항지

○본 문항지는 선택형 8문항, 서술형 4문항입니다. 제 1학년 ( )반 ( )번 ( )

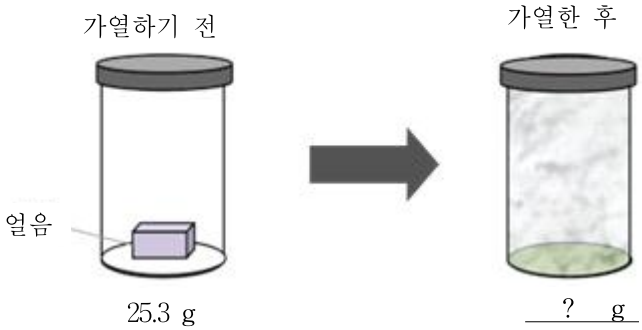
1. 대부분의 물질의 세 가지 상태를 분자모델로 나타낸 것이다. 기체-고체-액체의 순서대로 가장 바르게 나타낸 것은?



2. 냄비에 물을 넣고 가열하였다. 물이 끓을 때 분자 사이의 인력과 분자운동을 옳게 설명한 것은?

① 물 분자 사이의 인력이 수증기보다 강해서 물분자의 운동이 느리다.
② 물 분자 사이의 인력이 수증기보다 약해서 물분자의운동이 느리다.
③ 물 분자 사이의 인력이 수증기보다 약해서 물분자의운동이 활발하다.
④ 물 분자 사이의 인력이 수증기보다 강해서 물분자의운동이 활발하다.
⑤ 물 분자와 수증기 분자는 분자 사이의 인력이 같아서 분자운동 속도가 같다.

3. 얼음을 밀폐된 용기에 넣고 질량을 측정하였더니 25.3g이었다. 이것을 모두 수증기가 될 때까지 가열하여 질량을 다시 측정하였다. 이 때 질량에 대한 설명으로 옳은 것은?



① 수증기가 얼음보다 가벼워서 25.3g보다 작다.
② 수증기의 비열이 얼음보다 작아서 25.3g보다 작다.
③ 수증기와 얼음의 질량이 같아서 25.3g이다.
④ 수증기의 부피가 커져서 25.3g보다 크다.
⑤ 수증기가 얼음보다 분자수가 많아져서 25.3g보다 크다.

4. 얼음이 물보다 단단한 이유를 바르게 설명한 것은?

① 얼음 분자 사이에 물이 얼어 있기 때문이다.
② 얼음 분자가 물 분자보다 더 단단하기 때문이다.
③ 물 분자는 서로 끌어당기는 힘이 없기 때문이다.
④ 얼음 분자의 크기가 물 분자보다 더 크기 때문이다.
⑤ 얼음 분자 사이의 인력이 물 분자사이의 인력보다 더 크기 때문이다.

5. 다음은 생활 속에서 나타나는 상태변화이다.

○ 얼음조각이 녹는다. ○ 젖은 빨래가 마른다. ○ 드라이아이스의 크기가 점점 작아진다.

이에 대한 설명으로 옳은 것을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

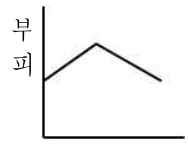
<보기>

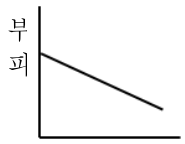
ㄱ. 주변의 온도가 높아진다. ㄴ. 분자운동이 점점 둔해진다. ㄷ. 주변으로부터 열에너지를 흡수한다.

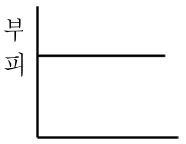
① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

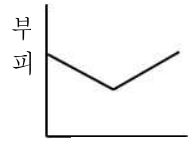
6. 그림은 플라스크 안에 물을 넣고 풍선을 씌운 후 전열기 위에 놓고 가열하는 것이다.

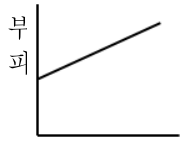
냉각시키는 동안 풍선의 부피변화를 그래프로 옳게 나타낸 것은?

① 

② 

③ 

④ 

⑤ 

7. 그림은 공기가 들어 있는 용기를 더 큰 압력으로 누를 경우 내부 공기의 변화에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 부피가 커진다.
② 압력이 작아진다.
③ 분자간의 거리가 멀어진다.
④ 분자의 운동속도가 커진다.
⑤ 분자의 충돌횟수가 많아진다.

8. 초콜릿을 냉장고에서 꺼내 따뜻한 실내에 두면 녹게 된다. 이때, 초콜릿을 이루는 분자의 크기 변화와 분자 운동 변화로 옳은 것은?

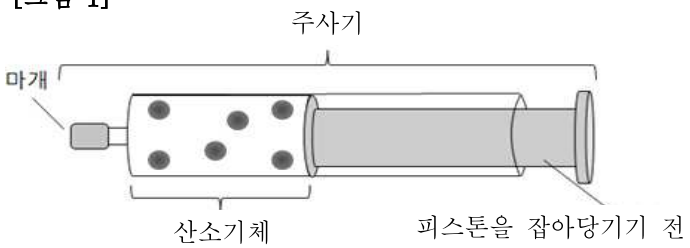
	분자의 크기	분자 운동
①	커진다.	둔해진다.
②	커진다.	활발해진다.
③	작아진다.	활발해진다.
④	변함없다.	변함없다.
⑤	변함없다.	활발해진다.

서술형

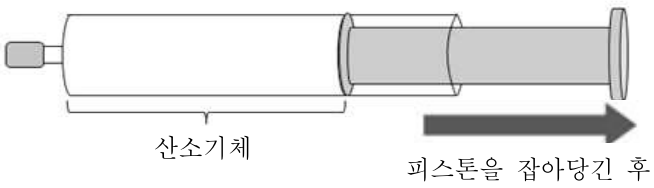
※ 다음 문제의 알맞은 답을 답안지에 직접 쓰시오.

1. [그림 1]은 주사기에 산소를 넣은 후 산소가 나가지 못하도록 마개로 막아 놓은 분자들을 모델로 나타낸 것이다. 피스톤을 잡아당길 때 산소 분자의 모델을 [그림 2]에 그리시오.

[그림 1]



[그림 2]



2. 그림은 교실 안에 향수병의 마개를 열어 놓을 때 향기 냄새가 퍼지는 과정을 나타낸 것이다.

이 그림으로 볼 때 분자 운동의 특성을 2가지만 쓰시오.

3. 우리 주변에서 열에너지를 받아 부피가 팽창되는 현상의 예를 2가지 쓰시오.

4. 공기가 들어 있는 페트병을 냉장고에 넣으면 찌그러든다. 이러한 현상이 일어나는 이유를 아래의 용어를 모두 사용하여 서술하시오.

열에너지 분자운동 분자간 거리 부피

Abstract

A Study of Instruction Strategy based on Learning Progression for Modeling in Particulate Nature of Matter

Koh Eun Jung

Major in Chemistry Education

Department of Science Education

The Graduate School

Seoul National University

In science education, 'modeling', by which learners construct their own models, becomes more important as teaching-learning method, and various studies have been attempted to organize science classes using modeling. According to this trend, this study develops a instruction strategy based on Learning Progression (LP) for modeling in the particle nature of matter, and investigates the effect of this strategy on students' conceptual achievement, perception of model, and perception of using mobile devices in science class.

The first study characterized the level of students' concept and

representaion of the particulate nature of matter. Modeling LP was theoretically presented through preceding LP research and the current science curriculum. First, as a result of examining the LP level of concept and representation in middle and high school students, the frequency of choosing the correct answer to the high-level questions was higher when all the low-level questions were answered correctly. This meant that students progressed their understanding according to the LP pathway presented in this study. However, most of the students' concepts remained at the macro-characteristic level, Representation was in the basic particle level even in high school students. This meant that students learn high-level concepts and representations without understanding low-level particulate concepts and representations, and it can be said to be an incomplete LP. The results revealed that students have difficulties in understanding the relationship between the macroscopic phenomena and microscopic concepts. Their difficulties may be attributed to a lack of understanding of the models used to represent the particle nature of matter. In particular, the lack of understanding of microscopic representations means that teaching-learning should not proceed only presenting multiple representations to students. In order to understand the relationship between various microscopic representations encountered in textbooks and the concepts presented in texts, modeling-based instruction in which students directly experience the process of constructing models must be supplemented. Through the analysis of the preceding research, the characteristics of prior modeling LP research was as follows. First, the contents of science were not considered, second, the focus was on the 'recognition' of modeling and third, the learning progression was in the hypothesis stage. Also, the achievable goals for modeling were not indicated by

level in the current Korean science curriculum. The aim of development of modeling LP would be focused on the presenting the learning progression of modeling activity linked with science contents, centered on modeling activities not cognitive survey. The sub-elements of modeling were selected as 'representation', 'evidence', and 'explanation', and the level of detail was set to 3 levels. In the LP of 'representation', which is a necessary sub-element for explaining the particle nature of the matter, the macroscopic representation was presented as Level 1, the particle representation as Level 2, and the complex representation as Level 3. In the 'evidence', the lack of authoritative evidence was expressed as Level 1, the insufficient authoritative evidence as Level 2, and sufficient authoritative evidence or empirical evidence as Level 3. In 'explanation', Level 1 was the step of presenting only the phenomenon or the model without describing the relationship between the model and the actual phenomenon, Level 2 was the step of explanation and prediction based on the ambiguous sense, and level 3 was the step of describing the causal relationship between the model and the actual phenomenon.

In the second study, a teaching-learning strategy based on modeling LP was proposed. It is proposed in four stages: 'Understanding the core concepts', 'Experiencing the model', 'Designing the model', and 'Evaluating and modifying the model'. The learning contents and modeling activity tasks at each stage were presented. In addition, a modeling activity tool using a mobile device was developed for an effective modeling activity.

In the third study, the developed teaching-learning strategy was applied to the actual science class and the effect was analyzed. As a

result of the study, in the middle school 1st graders, the group of modeling LP based teaching group showed an overall increase of positive perception of model as compared with the traditional group. Their perceptions were improved in the areas of 'Models as multiple representation', 'Models as explanatory tools', 'The uses of scientific models', 'The changing nature of models'. Through the conceptual achievement test, it was found that the concept understanding of the group of modeling LP based teaching was more effective than the traditional instruction group. In addition, students also underwent a process of correcting misconceptions during modeling activities. The reason for this revision process is due to the sharing of modeling activities with peers and the feedback from teachers. As a result of studying the perception of 'using mobile devices in science class', students cited 'interesting science activities', 'self-directed learning', and 'sharing modeling activities with friends', which are good reasons to use moble devices in the science class.

This study is significant in that it explores the student's level of understanding, designs modeling LP, and suggests a teaching-learning strategy based on modeling LP. In the future, additional research will be needed to expand the results of this study based on various learners, learning contexts, and various topics, and to explore ways to support teachers.

Keywords : Modeling, Learning Progression, Mobile Devices, Particulae Nture of Matter

Student Number : 2013-30448