



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](#)

교육학석사학위논문

중학교 과학 교과서에 나타난
시각적 입자 표상 분석
: 2015 개정 교육과정에 따른
물질영역을 중심으로

2023년 2월

서울대학교 대학원
과학교육과 화학전공
전 유 선

중학교 과학 교과서에 나타난 시각적 입자 표상 분석 .. 2015 개정
교육과정에 따른 물질 영역을 중심으로

2023

전유선

중학교 과학 교과서에 나타난
시각적 입자 표상 분석
: 2015 개정 교육과정에 따른
물질 영역을 중심으로

지도교수 노 태 희

이 논문을 교육학석사학위논문으로 제출함
2022년 12월

서울대학교 대학원
과학교육과 화학전공
전 유 선

전유선의 석사학위논문을 인준함
2022년 12월

위 원 장

부위원장

위 원

국문 초록

이 연구는 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 과학 교과서의 물질 영역 단원에 제시된 시각적 입자 표상 활용 실태를 분석하였다. 4종의 교과서의 시각적 입자 표상의 활용 방식, 활동 방식과 요구하는 활동 수준을 본문, 탐구, 평가 영역으로 나누어 분석하였다. 시각적 입자 표상은 본문 영역에서 가장 높은 빈도로 제시되었으며 평가 및 탐구 영역에서는 유사한 빈도로 제시되었다. 본문 영역에서는 보조적 활용이 주로 나타났으며 평가 및 탐구 영역에서는 직접적 활용이 주로 나타났다. ‘물질의 특성’ 단원에서는 시각적 입자 표상이 거의 나타나지 않았으나 일부 교과서에서는 입자 표상을 통해 미시적 측면과 연계하여 개념을 설명하고 있었다. 활동 방식의 경우 본문과 평가 영역에서 해석하기가 가장 높은 비율로 제시되었으나 탐구 영역에서는 다양한 활동 방식이 나타났다. 요구하는 활동 수준은 본문 영역의 경우 찾기 활동이 주로 나타났으며 탐구와 평가 영역에서는 유추하기 활동이 주로 나타났다. 연구 결과를 바탕으로 시각적 입자 표상 제시 및 활용 방안에 대한 교육적 함의를 제안했다.

주요어 : 시각적 입자 표상, 과학 교과서, 2015 개정 교육과정, 외적 표상, 물질의 입자성

학 번 : 2021-29672

목 차

국문 초록	i
목차	ii
표 목차	iv
그림 목차	iv
I. 서론	
1.1 연구의 필요성	1
1.2 연구의 내용 및 연구 문제	5
1.3 연구의 제한점	6
1.4 용어의 정의	7
II. 이론적 배경	
2.1 외적 표상	8
2.1.1 과학교육에서의 표상	8
2.1.2 과학교육에서의 외적 표상	9
2.2 물질의 입자성	14
2.2.1 물질의 입자성에 대한 연구	14
2.2.2 과학교육에서의 시각적 입자 표상	16
2.2.3 시각적 입자 표상을 활용한 입자적 수준의 교수학습 ..	17
III. 연구 방법	
3.1 연구 대상	24

3.2 분석 기준	24
3.2.1 영역	25
3.2.2 활용 방식	26
3.2.3 활동 방식	27
3.2.4 요구하는 활동 수준	28
3.3 분석 방법	29
IV. 연구 결과 및 논의	
4.1 시각적 입자 표상 활용 방식	30
4.2 시각적 입자 표상 활용의 활동 방식	35
4.3 시각적 입자 표상 활용에서 요구하는 활동 수준	37
V. 결론 및 제언	40
참고 문헌	43
ABSTRACT	52

표 목 차

<표 II-1> 과학교육에서의 외적 표상 분석	9
<표 II-2> 시각적 입자 표상을 활용한 입자적 수준의 교수학습	17
<표 III-1> 시각적 입자 표상 분석 기준	25
<표 IV-1> 영역과 활용 방식에 따른 시각적 입자 표상의 빈도	29
<표 IV-2> 시각적 입자 표상 활용의 활동 방식	33
<표 IV-3> 시각적 입자 표상 활용에서 요구하는 활동 수준	37

그 림 목 차

<그림 III-1> 활용 방식의 유형별 예	26
<그림 III-2> 활동 방식의 유형별 예	27
<그림 III-3> 요구하는 활동 수준의 유형별 예	27
<그림 IV-1> 본문 영역에서의 보조적 활용 예	31
<그림 IV-2> 본문 영역에서 찾기 활동의 예	38

I. 서론

1.1 연구의 필요성

화학 교과에서 물질의 입자성은 화학 반응식, 기체의 성질과 같은 화학 개념을 미시적 수준에서 이해하는 데 필요한 핵심 개념 중 하나로서 (Merritt & Krajcik, 2013) 과학 교육과정 전반에 걸쳐 중요한 개념으로 다루어지고 있다. 특히 2015 개정 교육과정에서 물질의 입자성은 중학교 1학년에서 입자의 운동 및 물질의 상태 등의 학습 이후 상위 학년에서 다양한 화학 반응을 설명하는 데에 활용되고 있다(MOE, 2015).

하지만 입자 개념은 학생이 직접 감각할 수 없는 원자나 분자와 같은 이론적 모델을 기반으로 하고 있어 직관적이고 경험적인 사고를 하는 많은 학생이 이를 이해하는 데 어려움을 겪고 있다(Adadan *et al.*, 2009; Adbo & Taber, 2009). 선행 연구에 따르면 중학교 학생 중 형식적 조작 수준에 도달해 있는 학생의 비율이 높지 않다(고경휘, 2004; 정희선 등, 2010). 이는 중학교 학생 중 구체적 조작기에 머물러 있는 학생이 적지 않은 비율을 차지하고 있음을 보여주며 많은 학생이 형식적 조작 수준이 요구되는 물질의 입자성을 이해하는 데에 어려움을 겪는다는 선행 연구 결과를 뒷받침한다(이재원 등, 2018; Taber, 2001). 물질의 입자성에 대한 오개념은 중학교뿐 아니라 이후까지도 지속될 수 있으므로(윤희정, 우애자, 2007; 조인영, 강영진, 2010) 물질의 입자성을 처음 학습하는 중학교 시기부터 학생이 입자 개념을 올바르게 이해할 수 있도록 교과서 및 교수학습 자료를 효과적으로 구성할 필요가 있다.

학생의 입자 개념 학습을 돕기 위한 방법으로 시각적 입자 표상의 활용이 제안되었다(박재원, 백성혜, 2004; 이재원 등, 2020; Adadan, 2013; Akaygun & Jones, 2013; Bridle & Yeziarski, 2012; Tang & Abraham, 2016). 시각적 입자 표상은 비가시적인 원자, 이온, 분자와 같은 입자를

시각적으로 나타낸 것으로서 물질의 입자성을 이해하는 데에 도움을 주며(Cheng & Gilbert, 2015; Treagust *et al.*, 2010) 언어로는 표현하기 어려운 내용을 효과적으로 전달하고 설명하는 역할을 담당한다(Gilbert, 2010). 특히 시각적 입자 표상을 통한 시각적 정보와 언어적 정보의 연계 과정은 학생의 입자 개념 학습에 도움이 된다(Adadan, Irving & Trundle, 2009). 예를 들어 입자에 관한 언어적 정보를 그림으로 나타내는 것은 학생의 입자 개념 이해에 도움이 되며(강훈식 등, 2005; 한재영 등, 2005; Brooks, 2009) 시각적 입자 표상에 제시된 정보를 바탕으로 이에 대해 글을 쓰는 활동은 언어적 정보와 시각적 정보 연계를 촉진하는 정교화 과정이 이루어지게 한다(Edens & Potter, 2003). 이러한 장점을 바탕으로 과학 교과서에는 시각적 입자 표상 활용해 과학 개념을 설명하고, 관련한 활동을 제시하고 있다.

하지만 시각적 입자 표상을 단순히 제시한다고 교수학습 효과가 보장되지는 않는다. 학생들에게 시각적 입자 표상에 표현된 과학 개념을 해석하고 이를 활용하는 것이 쉽지 않은 과제이기 때문이다. 학생들은 표상이 의미하는 바에 대해 제한적으로 이해하거나 반대로 표상이 제공하는 특정 정보를 일반화하는 경향이 있다(백종호 등, 2022; 윤희정, 방담이, 2018; Sara Raven, 2015). 또 표상에 표현된 입자를 인식하더라도 과학적 개념과 연결해 설명하는데 어려움을 겪는다(Taskin & Bernholt, 2012; Víctor López & Roser Pintó, 2017). 그러므로 시각적 입자 표상을 제시하고 활용할 때 학습자의 수준과 특성을 고려할 필요성이 있다. 특히 교과서는 학생들이 교수학습 과정에서 다양한 외적 표상을 접하는 일차적 자료이다(송나운 등, 2020). 학생들은 교과서에 제시된 표상을 해석하고, 과학 개념을 시각화하는 활동을 통해 표상과 상호작용하며 과학 개념을 학습하고 탐구 기능을 익힌다. 그러므로 교과서에 나타난 표상의 제시 방식이나 활용 방식은 학생의 개념 형성에 도움을 줄 수 있으며 반대로 학습의 방해 요인으로도 작용될 수 있다(강훈식 등, 2007; 권이영 외, 2011). 그러므로 교과서에서 시각적 입자 표상의 활용 방식과 학생에

게 요구하는 활동 수준에 대해 알아볼 필요가 있다.

과학 교과서에 제시된 외적 표상을 분석한 연구는 꾸준히 진행되어왔다.(강훈식 등, 2007; 김노아 등, 2018; 김형진 등, 2014; 노태희 등, 2007; 송나운 등, 2020; 윤희정, 2020; 조광희 등, 2015) 중학교 과학 교과서 속 외적 표상을 분석한 연구로는 물질 영역의 외적 표상 분석(강훈식 등, 2007; 노태희 등, 2007; 송나운 등, 2020; 윤희정, 2020), ‘힘’ 관련한 단원의 외적 표상 분석(김노아 등, 2018), 전자기 단원에 제시된 시각적 표상 유형 분석(조광희 등, 2015) 등이 있다. 이 중 물질 영역의 외적 표상을 분석한 연구는 주로 중학교 1학년 교과서를 분석한 연구로 외적 표상의 종류, 외적 표상의 수준, 캡션과의 관련성과 같은 외적 표상 제시 방식에 초점을 맞추고 있으며(노태희 등, 2007; 송나운 등, 2020; 윤희정, 2020) 시각적 입자 표상과 같이 특정한 외적 표상에 초점을 두고 분석한 연구는 거의 없다. 강훈식 등(2007)은 중학교 1학년 과학 교과서 물질 영역에서 제시된 외적 표상을 외적 표상 제시 방법과 외적 표상을 활용한 활동의 적용 방법 두 가지 측면에서 분석하였다. 또 윤희정(2020)은 중학교 1학년 교과서의 물질 영역에 제시된 외적 표상을 표상의 유형, 표면적 특성의 해석, 본문과의 관련성, 캡션의 존재와 특성, 복합적 표상에서 표상 간 관련성, 표상의 기능 측면에서 분석하였다. 하지만 외적 표상 전체를 분석하여 물질 영역 이해에 중요한 역할을 담당하는 시각적 입자 표상이 교과서에서 어떠한 목적으로 활용되고 있는지 알기 어렵다. 또 중학교 1학년 교과서의 외적 표상만을 분석하여 상위 학년에서의 시각적 입자 표상 활용 방식과 표상을 활용한 입자 개념 학습의 연계성에 대한 충분한 정보를 제공하지 못한다. 특히 시각적 표상은 과학 분야에서 효과적인 의사소통 도구로 활용되므로(Latour, 1987) 선행 연구에서 조사한 외적 표상의 제시 방식을 넘어 시각적 입자 표상이 학생에게 어떠한 종류와 수준의 활동을 통해 상호작용을 요구하는지 조사할 필요가 있다.

시각적 입자 표상이 학생의 효과적 학습으로 이어지기 위해서는 표상에 대한 이해와 활용 능력을 도모할 수 있는 대표적 교육자료 중 하나인

교과서의 올바른 개발이 중요하다(Kozma & Russel, 2005). 이를 위해 먼저 학생이 표상 속 정보를 해석하고, 표상을 활용하는 방식을 익히기에 교과서의 시각적 입자 표상이 적절하게 제시 및 활용되고 있는지 알아볼 필요가 있다. 이는 교과서를 주요 교수학습 자료로 이용하는 교사와 교과서 개발자에게 시각적 입자 표상의 활용 방향에 대한 의미 있는 정보를 제공할 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 과학 교과서의 물질 영역에서 제시된 시각적 입자 표상의 활용 실태를 출판사와 단원 및 교과서 영역에 따른 활용 방식, 활동 방식 및 활동 수준 측면에서 분석하였다.

1.2 연구의 내용 및 연구 문제

이 연구에서는 2015 개정 교육과정 중학교 과학 물질 영역에 제시된 시각적 입자 표상을 분석하였다.

이 연구에서의 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

- 1) 시각적 입자 표상의 활용 방식이 영역 및 교과서의 종류에 따른 차이가 있는지 조사한다.
- 2) 시각적 입자 표상을 활용할 때 제안된 활동 방식이 영역 및 교과서의 종류에 따른 차이가 있는지 조사한다.
- 3) 시각적 입자 표상의 활용에서 요구하는 활동 수준이 영역 및 교과서의 종류에 따른 차이가 있는지 조사한다.

1.3 연구의 제한점

이 연구는 다음과 같은 제한점을 가진다.

1) 이 연구에서는 중학교 교과서 물질 영역에 수록된 시각적 입자 표상을 분석하였으며, 교과서의 내용은 연구하지 않아 중학교 과학 교과서 전체에 대한 분석이 아니라는 한계점을 지닌다.

2) 시각적 입자 표상 분석에 있어 연구자의 주관이 반영될 수 있으며 모호한 경우에는 연구자 간 협의를 거쳐 분석을 시행하였으나, 분석한 결과를 일반화시키는데 제한점이 있을 수 있다.

1.4 용어의 정의

이 연구에서 사용한 주요 용어는 다음과 같이 정의하였다.

(1) 시각적 입자 표상(Visual representation of particle)

시각적 입자 표상은 선행 연구를 참고하여(Papageorgiou *et al.*, 2019) 분자, 원자, 이온 또는 미시적 입자를 시각적으로 표현한 외적 표상으로 정의한다. 이 연구에서는 그림, 만화 등으로 분자, 원자, 이온 및 미시적 입자를 표현한 것을 시각적 입자 표상으로 포함하였으며 거시적 물체를 입자에 비유하여 표현한 표상 또한 시각적 입자 표상에 포함하였다.

II. 이론적 배경

2.1 외적 표상

2.1.1. 과학교육에서의 표상

과학교육 분야에서 표상을 활용한 교육에 관심이 높아지고 있으며 이를 바탕으로 다양한 교수학습 연구가 진행되고 있다. 표상의 사전적 정의는 ‘지각 또는 기억에 근거하여 의식할 수 있게 된 관념 또는 심상’ 혹은 ‘감각적으로 외적 대상을 의식상에 나타내는 심상이며 사고에 의한 논리적, 추리적 개념과는 구분되는 것’이다(조광희 등, 2015).

Pierce(1986)는 삼각형의 구조를 통해 이를 기호학적으로 설명하였다. 삼각형 모형에는 대상체, 해석체, 표상체가 포함되어있다. 가령, 대상체가 물체가 움직이는 현상이라면 해석체는 운동이고 표상체는 이 운동에 대한 화살표 표시라고 볼 수 있다. 즉 표상은 개념 이해를 위해 사용된다고 할 수 있다. 한편 Paivio(1990)는 어떤 실체가 마음에 떠올려지는 것이라고 설명한다. 이는 내적 표상과 외적 표상으로 구분할 수 있는데 내적 표상은 개인의 정신 심상으로서 정신적으로 이미지를 떠올리고 조작하는 것(Kosslyn, 1994)이다. 이와 구분하여 외적 표상은 다양한 형식을 빌려 외적으로 표현한 것(Eisner, 1979)을 의미한다. 다시 말해, 내적 표상은 외부로 나타나지 않은 개인의 정신 모형을 의미하며 외적 표상은 하나의 현상, 개념을 설명하는 글이나 말 등의 언어적 정보, 그림, 애니메이션, 모형, 공식, 그래프 등의 시각적 정보로 구분할 수 있다(조광희 등, 2015; Treagust *et al.*, 2003).

2.1.2. 과학교육에서의 외적 표상

과학 교과는 비가시적이고 추상적인 과학 개념을 포함하므로 이를 구체적이고 가시화된 방식으로 표상하기 위해 그래프, 도표, 모형 등의 외적 표상을 사용한다. 과학교육에서 외적 표상은 중요한 역할을 담당하는데 학생의 내적 표상에 대한 의미를 부여하고 효과적으로 개념을 설명하는 의사소통 도구로써 외적 표상이 활용되기 때문이다(Gilbert & Treagust, 2009).

과학교육에서의 외적 표상과 관련한 연구는 주로 교과서 속 외적 표상 분석, 학생의 외적 표상 활용 및 교수학습자료로서의 외적 표상과 관련한 연구가 주로 진행되어왔다. 이 중 교과서 속 외적 표상 분석은 주로 외적 표상의 종류, 기능, 제시 방법 등에 따라 분류하거나 연구의 특성에 따라 또 다른 범주를 추가하여 외적 표상을 분석하였다. 이와 관련된 선행 연구의 결과를 <표 II-1>에 정리하였다.

<표 II-1> 과학교육에서의 외적 표상 분석

연구자	대상 학년	대상 단위	비고
강훈식 등 (2007)	중학교 1학년	물질 영역 단원	<ul style="list-style-type: none"> 외적 표상 제시 방법(언어적 정보 형태, 시각적 정보 형태, 언어적·시각적 정보의 공간적 근접성, 관계없는 외적 표상 포함 여부) 외적 표상 활용 활동 적용 방법(환경, 도입 시기, 외적 표상 제시 방법, 공간적 근접성)
노태희 등 (2007)	중학교 3학년	물질 영역 단원	원자 및 분자 모형의 표현 방식
강훈식 등 (2008)	초등학교 3-6학년		강훈식 등(2007)의 분석틀 수정 및 보완 <ul style="list-style-type: none"> 외적 표상 제시 방법(언어적 정보 형태, 시각적 정보 형태, 언어적·시각적 정보의 공간적 근접성, 관계없는 외적 표상 포함 여부) 외적 표상 활용 활동 적용 방법(환경, 도입 시기, 외적 표상

제시 방법, 공간적 근접성			
조광희 등 (2015)	초등, 중등, 고등	전자기 단원	추상성 정도(거시, 미시, 상징), 표상의 주요 목적이나 기능(기술적, 설명적, 관계적)
김노아 등 (2018)	중학교 서책형 및 디지털 교과서	'힘' 관련 단원	외적 표상의 종류(표현 형태, 추상성), 외적 표상의 기능, 외적 표상의 제시 방법(제시 형태, 공간 활용 형태)
송나윤 등 (2020)	중학교 1학년 디지털 교과서	물질 영역 단원	외적 표상의 수준, 외적 표상 양식, 외적표상 제시방법, 외적 표상 상호작용성
윤희정 (2020)	중학교 1학년	물질 영역 단원	<ul style="list-style-type: none"> Gkitzia et al.(2011)의 분석틀 수정 및 보완(표상의 유형, 표면적 특성의 해석, 본문과의 관련성, 캡션의 존재와 특성, 복합적 표상에서 표상간 관련성, 표상의 기능)
김혜린 등 (2022)	초등학교 디지털 교과서	물질 영역 단원	외적 표상의 양식, 제시방법, 근접성, 상호작용성

강훈식 등(2007)은 7차 중학교 1학년 과학 교과서의 물질 단원에서 외적 표상의 활용 실태를 외적 표상 제시 방법과 외적 표상 활용 활동 적용 방법 측면에서 분석하였다. 외적 표상 제시 방법으로 미시적 표상이 높은 빈도로 나타났으며 언어적 정보만 제시되거나 언어적 정보와 시각적 정보가 함께 제시된 경우가 많았다. 외적 표상만 제시된 경우보다 외적 표상이 그리기 또는 쓰기와 함께 제시된 경우가 더 높게 나타났다. 외적 표상의 적용 방법 측면에서는 대부분 쓰기로 제시되었으며 그리기나 쓰기 활동은 개별적인 환경에서 정보 제시 전에 도입된 경우가 많았다. 또한 특정 외적 표상을 같은 유형의 외적 표상 형태로 변환하는 활동이 많았다.

노태희 등(2007)은 중학교 3학년 과학 교과서에서 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료를 기호학적 관점에서 분석하였다. 교과서 속 원자 및 분자 표현 방식은 구 도식, 사물, 공-막대기 모형 등 다양하였다. 학습자의 시각자료 해석 과정을 예측하고 이를 분석한 결과, 해석 과정에서 여러 번의 구조화 및 번역 과정이 존재하였으며 이를 올바르게 해석

할 수 있도록 돕기 위한 필요한 시사점을 제안하였다.

강훈식 등(2008)은 7차 초등학교 3-6학년 과학 교과서에 제시된 외적 표상을 외적 표상 제시 방법과 외적 표상 활용 활동 적용 방법 측면에서 나누어 분석하였다. 분석 결과, 외적 표상은 대부분 거시적 표상이었고 상징적 표상은 매우 적었으며 미시적 표상은 없었다. 또 언어적 정보만 제시되거나 언어적 정보와 시각적 정보가 함께 제시된 경우가 많았으며 외적 표상을 단순히 제시하는 형태보다 그리거나 쓰기와 같이 외적 표상을 활용하는 활동 형태가 더 많았다. 그리기와 쓰기를 활용할 경우 개별적 환경에서 정보가 제시되기 전 같은 유형의 외적 표상 형태로 변환하는 활동으로 활용하는 경우가 많았다.

조광희 등(2015)은 시각적 표상 유형을 추상성 정도(거시, 미시, 상징)와 표상의 목적 및 기능(기술, 설명, 관계)을 중심으로 이차원적으로 범주화해 총 11가지의 범주 유형을 제안하여 초중고 과학 교과서의 전자기 단원에 제시된 시각적 표상 유형의 분포를 분석하였다. 분석 결과, 초등학교 교과서에는 3가지의 유형의 표상만 나타났지만 중학교에서는 9가지, 고등학교 교과서에는 11가지 표상이 모두 나타났으며 표상의 평균 수도 증가하였다. 또 상급학교로 올라갈수록 거시적 표상의 비율이 줄어들고 미시적, 상징적 표상의 비율이 증가하였다. 또한 설명적 표상이나 관계적 표상의 활용 또한 상급학교로 올라갈수록 증가하였다.

김노아 등(2018)은 2009 개정 및 2015 개정 교육과정에서 디지털 및 서책형 교과서에서 모두 검인정 받은 교과서를 대상으로 중학교 ‘힘’과 관련한 외적 표상을 외적 표상의 종류, 기능, 제시 방법 3가지 측면에서 특징을 분석하였다. 분석 결과, 서책형 교과서보다 디지털 교과서에서 외적 표상의 수 및 종류가 증가하였으나 디지털 교과서에 추가된 대부분의 표상이 언어적 표상에 해당 되어 다소 제한적인 시청각 자료의 활용을 보였다. 또 디지털 교과서와 서책형 교과서 모두 설명적 기능 및 예시적 기능의 표상을 많이 활용하였으며 2015 개정 디지털 교과서에서는 정화상과 동화상을 동시에 활용한 표상이 많이 증가하여 2009 개정 및 서책형 교과서와 비교해 더욱 다양한 표상을 제시하는 모습을 보였다.

송나운 등(2020)은 2015 개정 교육과정 중학교 1학년 물질 영역의 디지털 교과서에서 나타난 외적 표상의 활용 실태를 외적 표상의 수준, 외적 표상의 양식, 제시 방법 및 상호작용성을 기준으로 분석하였다. 연구 결과, 거시적 수준의 외적 표상이 중점적으로 제시되었으며 입자적 설명을 위한 외적 표상의 경우 거시적, 미시적 수준의 외적 표상이 함께 활용되었다. 또 주로 시각언어와 시각비언어 표상으로 제시되었으며 청각언어 및 청각비언어 표상은 거의 나타나지 않았다. 또 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우가 많았다. 근접성의 경우 설명 영역에서는 시각언어 및 시각비언어 표상이 대부분 근처에 제시되었고 삽입과 마우스 오버 형태가 활용되었으며 활동 영역에서는 근처 및 마우스 오버 형태가 주로 활용되었다.

윤희정(2020)은 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 과학 교과서 물질 영역에 제시된 외적 표상을 분석하였다. 표상의 유형에서 거시적 표상이 가장 높은 빈도로 제시되었으며 명시적 특성을 가진 표상의 빈도가 가장 높았다. 또 대부분의 표상은 본문과 완전한 연관성과 연결 또는 완전한 연관성과 비연결에 해당하였다. 캡션의 존재와 특성의 경우 적절한 캡션이 존재하는 표상의 빈도가 가장 높았으며 표상의 기능의 경우 완성형이 가장 높았으나 탐구 활동에서는 미완성형 표상이 높은 빈도를 나타냈다.

김혜린 등(2022)은 2015 개정 교육과정 초등학교 3-6학년 과학 디지털 교과서 물질 영역에 제시된 외적 표상 양식과 제시 방법, 상호작용성을 '본문'과 '탐구'로 구분하여 분석하였다. 분석 결과, 외적 표상의 양식은 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 가장 많이 제시되었으며 청각비언어 표상은 본문에서만 높은 빈도로 제시되었다. 언어적 표상은 시각언어 표상과 청각언어 표상 모두 대부분 형식적 형태로 제시되었다. 근접성의 경우 시각언어 표상과 시각 비언어 표상은 주로 근처에 배치되었다. 상호작용성 측면에서 설명적 피드백과 낮은 수준의 조작이 주로 나타났다.

이와 같은 교과서 외적 표상 분석 연구는 주로 표상의 제시 방식에

초점을 맞추어 외적 표상의 종류, 제시 형태, 캡션 또는 본문과의 관련성 등을 분석하였다. 하지만 외적 표상이 일방적으로 정보를 제공하는 도구가 아니라 과학 개념을 표상하여 학생과 의사소통하는 도구임을 고려할 때 제시 방식만이 아닌 표상이 활용되는 방식이나, 표상을 바탕으로 학생이 수행해야 하는 활동 종류나 수준에 대한 정보가 요구된다.

2.2 물질의 입자성

2.2.1. 물질의 입자성에 대한 연구

과학 교과에서 물질의 입자성은 필수적인 기초 개념으로서 거시적 수준에서 보이는 현상과 원리를 체계적으로 이해하는 데에 도움을 준다(Merritt & Krajcik, 2013; Rappoport & Ashkenazi, 2008). 특히 화학 교과에서 물질의 입자성은 물질의 상태나 물리, 화학적 변화를 이해하기 위한 바탕이 되는 개념이다. 이에 따라 거시적 현상을 입자 개념과 연계하여 이해하고 설명하는 능력은 화학 교육 연구자들에 의해 지속해서 강조되어왔다(Sanger, 2000). 하지만 입자성은 학생이 감각할 수 없는 원자나 분자와 같은 모델을 기반으로 하고 있기에 물질의 입자성을 이해하는데 어려움을 겪는다(Adbo & Taber, 2009). 특히 중학생의 경우 물질의 입자성에 대한 오개념을 많이 가지고 있는 것으로 보고되고 있는데(Horton, 2007; Novick & Nussbaum, 1981; Pereira & Pestana, 1991) 학생들이 가지는 물질의 입자성과 관련한 오개념 연구를 살펴보면 다음과 같다.

Novick과 Nussbaum(1981)의 연구에 따르면 초등학생, 중학생, 고등학생, 대학생을 대상으로 TAP(Test About Particles in a Gas) 검사지를 개발하여 연구를 진행한 결과 학생들은 입자 사이의 공간이 존재하는 것과 입자 간 상호작용을 이해하는 데에 어려움을 가지고 있는 것으로 나타났다.

Haidar과 Abraham(1991)은 11, 12학년 학생 183명을 대상으로 물질의 입자성에 대한 오개념을 조사하였다. 전체 학생 중 오개념을 가지고 있는 학생의 비율이 40% 이상이었으며 오개념의 분포나 특징은 문제 유형에 따라 다르게 나타났다.

초등학교 예비교사 또한 물질의 입자성에 대한 오개념을 가지고 있는 것으로 나타났는데 Gabel, Samuel, Hunn(1987)는 물질의 입자성을 가르친 경험이 없는 초등학교 예비교사를 대상으로 한 물질의 입자성 이해

정도를 ‘Nature of Matter Inventory’ 검사 도구를 사용하여 조사하였다. 예비교사들은 액체에서 기체로 변할 때 입자의 크기가 변화하게 그림을 그리거나, 액체의 위쪽을 입자가 아닌 경계선으로 표현하기도 하였다. 또 기체를 규칙적인 분자 배열로 표현하거나 분자의 분해 반응 후에도 원래 분자와 동일하게 표현하는 등의 오류를 보였다.

우리나라 학생을 대상으로 한 물질의 입자성 오개념 연구로는 우규환, 노태희, 임희준(1995)의 연구가 있다. 중학교 여학생 134명과 고등학교 여학생 128명을 대상으로 화학 양론, 기체 문제 및 확산 개념을 조사하였다. 고등학생의 경우 화학 양론에서 중학생에 비해 옳은 개념을 더 많이 보유하고 있었으나 기체 법칙과 확산에서는 중학생이 옳은 개념을 더 많이 보유하는 모습을 보였다.

이처럼 많은 학생이 물질의 입자성을 이해하는 데에 어려움을 겪고 있으며 오개념을 가지고 있는 것으로 나타났다. 또 물질의 입자성에 대한 오개념은 중학생뿐 아니라 상급학교 학생에게도 나타나 중학교 이후 까지도 오개념이 지속되는 경향이 있다. 그러므로 물질의 입자성에 대한 학생이 올바르게 이해할 수 있도록 도울 필요가 있으며 이를 위한 방법으로 시각적 입자 표상의 활용이 제안되어왔다(Adadan, 2013; Akaygun & Jones, 2013; Chang *et al.*, 2010; 이재원 등, 2020).

2.2.2. 과학교육에서의 시각적 입자 표상

시각적 입자 표상은 분자, 원자, 이온 또는 미시적 입자를 시각적으로 표현한 외적 표상 중 하나를 의미하며(Papageorgiou *et al.*, 2019) 이는 학생이 실제 세계에 나타나는 현상을 이해하기 위한 전제조건이 되기에 화학 분야에서는 그 중요성이 크다.

화학의 개념적 이해는 거시적, 미시적, 상징적 형태의 표현을 사용해 화학 문제를 해결하고 번역하는 능력을 포함한다(Bowen, 1998; Gabel & Bunce, 1994). 학생들은 거시적인 수준에서 나타나는 변화를 개별 원자와 분자 사이의 상호작용 관점에서 이해하고 설명할 수 있어야 한다. Ardac과 Akaygun(2004)도 많은 선행 연구의 결과들이 화학에서 미시적 수준의 이해가 중요함을 강조하고 있으며 이러한 맥락에서 화학적 현상과 입자 표상과의 연결을 통한 학습이 필요함을 암시하고 있음을 지적했다. 또한 Johnstone(1993)은 화학에서 각 꼭지점에 거시적, 미시적, 상징적 표현 수준을 가진 삼각형을 사용하여 화학에서 사용되는 수준을 묘사하였다. 거시적 측면은 관찰 가능한 수준을 묘사하며 미시적 수준은 분자, 원자 및 이러한 입자의 운동과 관련된 측면을 포함한 입자 개념을 포함한다. 그리고 상징적 수준은 기호, 방정식 등을 의미한다. 이때 화학 수업은 세 가지 위계를 연계하여 이루어져야 함을 강조하였다.

이러한 맥락에서 시각적 입자 표상을 활용하여 미시적 수준이 강조된 화학 수업이 제안되었으며 많은 연구에서 이러한 교수학습 전략이 입자 개념 학습에 효과적이었음을 보였다.

2.2.3. 시각적 입자 표상을 활용한 입자적 수준의 교수학습

화학 개념 학습에서 입자적 수준의 화학을 강조하기 위해 언어적 정보와 함께 입자 표상을 다양한 방식으로 제시한다. 언어적 설명과 함께 분자 수준의 그림을 칠판에 그리거나(Gabel *et al.*, 1987), 이미지(Gabel, 1993; Noh & Scharmann, 1997) 또는 시뮬레이션, 애니메이션과 같은 동화상을 제공하거나(김창민 등, 1998; 최용남 등, 1998; Williamson & Abraham, 1995), 분자 모형(Copolo & Hounshell, 1995; Small & Morton, 1983), 둥근 자석(Gabel, 1993) 등을 사용하는 교수 방법들이 제안되었다. 최근에는 정보 과학 기술의 발달로 증강현실을 활용하여 입자 표상을 증강현실을 통해 제공하는 교수 방법도 활용(이재원 등, 2020)되고 있다. 이와 관련된 선행 연구의 결과를 <표 II-2>에 정리하였다.

<표 II-2> 시각적 입자 표상을 활용한 입자적 수준의 교수학습

연구자	대상	디자인 및 사례 수	내용	교수매체	기간	사후 검사	결과 ¹⁾	비고
Small & Morton (1983)	대학생	통제 집단 33명	유기 화학	공간시각화 훈련 워크북: 그림, 2D, 3D 모형	8주	3차원 모형의 사용을 요구하지 않는 첫 번째 시험(5주 후)	N.	
		처치 집단 32명				3차원적 모형의 사용을 요구하는 기말 시험	S.P.	
Gabel 등 (1987)	고등학생			교사의 그림		개념 검사	S.P.	
						성취도 검사	N.	
Gabel (1993)	고등학생	통제 집단 23명 처치 집단 20, 23명	기초 화학	TP, 자석, 활동지	1년	미시적, 거시적, 상징적 수준의 개념 검사	S.P.	
Williamson & Abraham (1995)	대학생	통제 집단 48명	기체, 액체, 고체, 화학 반응	컴퓨터	10차시	개념 검사	S.P.	처치 집단 1, 2 > 통제 집단
		처치 집단 1 41명				기말 시험	N.	
		처치 집단 2 35명				수업에 대한 태도	N.	
Copolo & Hounshell (1995)	대학생	통제 집단(2D)	유기 화학	컴퓨터, 공막대 모형		이성질체 구별에 대한 3차원 파지검사	S.P.	처치집단 > 통제집단
		처치 집단(3D)				2차원 파지검사	S.P.	처치집단 < 통제집단
Russell &	대학생	295명	일반화학	컴퓨터	2	개념 검사	S.P.	사전 검사와

Kozma (1997)					차시	(단답형, 계산, 다이어그램 그리기)		사후 점수 분석	점수의 차이를 분석
Sanger (2000)	대학생	통제 집단 65명 처치 집단 62명	물질의 상태, 물질의 조성	컴퓨터, 실제 화합물	50분	개념 검사 (분자 수준에서의 그림 분류하기)	S.P.		
Wu 등 (2001)	고등학생	71명	VSEPR, 결합, IUPAC	컴퓨터 (eChem)	6주	선다형 개념 검사 녹음/녹화, 활동지, 필드노트, 학생작품, 면담	S.P.	사전 점수 분석	점사와 점수의 차이를 분석
Noh & Scharmann (1997)	고등학생	통제 집단 51명(개념) 49명(문제) 처치 집단 50명(개념) 52명(문제)	화학양론, 기체, 액체, 용액	패도	13주	개념 검사 문제 해결 검사 · 개념 문제 · 수리 문제	S.P. N. N. N.		
노태희 등 (1998)	중학생	통제 집단 42명 처치 집단 42명	화산, 상변화, 기체의 온도와 부피	컴퓨터	5차시	개념 검사 학습 동기 수업에 대한 태도	N. S.P. S.P.		
노태희 등 (1999)	고등학생	통제 집단 50명 처치 집단 52명	용해	컴퓨터	3차시	개념 검사 학업 성취도 학습 동기	S.P. S.P. S.P.	학습 동기에서 관련성은 차이 없음	
박재원, 백성혜 (2004)	초등학생	통제 집단 93명 처치 집단 89명	용해, 증발, 화산, 물질의 상태, 기체 법칙, 공기 움직임 등	컴퓨터	8차시	개념 검사	S.P.	고기압과 저기압 관련 문항에서만 차이 없음	
강훈식 (2006)	중학생	통제 집단 47명 처치 집단(정적그리기SD) 46명 처치 집단(동적그리기DD) 47명 처치 집단(정적쓰기SW) 47명 처치 집단(동적쓰기DW) 46명	보일칙 샤를 법칙	그리기 쓰기 동화상 정화상	2차시	개념 이해도 수업에 대한 인식	S.P.	SD, DD>통제 SW, DW>통제	그리기, 쓰기 활용에 긍정적
이재원(2020)	중학생	통제 집단 72명 처치 집단 64명	용해도 녹는점 끓는점	AR	3주 (5차시)	개념 이해도 학업 성취도 과학수업에	S.P. N. S.P.	보존에 대해서만 수업 처치의 주 효과	

						대한 즐거움		
--	--	--	--	--	--	--------	--	--

¹⁾ S.P.: Significantly Positive ($p < .05$), N.: Non-Significant ($p > .05$).

Small과 Morton(1983)은 유기 화학을 수강하는 대학생 65명을 대상으로 공간시각화 기술(spatial visualization skill)을 강조하는 훈련의 효과를 조사하였다. 이 훈련은 그림, 2차원 모형 해석, 3차원 모형 구성 및 조작, 3차원 모형 상상 및 조작을 포함하며, 8주 동안 실시되었다. 처치 집단의 학생들이 훈련을 받는 동안 통제 집단의 학생들은 명명법(nomenclature)과 화학 기호법(chemical notation)을 훈련하였다. 분석 결과, 3차원적 모형의 사용을 요구하는 질문이 포함되지 않은 첫 번째 시험(5주 후)에서는 두 집단 간에 통계적으로 유의미한 점수 차이가 없었으나, 3차원적 모형의 사용을 요구하는 일부 질문이 포함된 기말 시험에서는 통제 집단보다 처치 집단 학생들의 점수가 통계적으로 유의미한 차이로 높았다.

Gabel 등(1987)은 교사가 분자 수준의 그림을 칠판에 많이 그려가며 강의하는 수업의 효과를 조사하였다. 그 결과, 개념 검사에서는 처치 집단의 점수가 통제 집단에 비교하여 통계적으로 유의미한 차이로 높았으나, 성취도 검사에서는 점수 차이가 통계적으로 유의미하지 않았다.

또 Gabel(1993)은 66명의 고등학생을 대상으로 등근 자석을 활용하고, 미시적, 거시적, 상징적 수준에서의 이해를 요구하는 활동지를 사용하여 물질의 입자성을 강조하는 수업을 진행하였다. 1년 동안 처치 집단과 통제 집단의 수업을 한 명의 교사가 진행하였는데, 통제 집단과 달리 처치 집단에서는 45번에 걸쳐 물질의 입자성을 강조하였다. 분석 결과, 학생들의 성취 수준은 50% 미만으로 매우 낮았으나, 미시적 수준, 거시적 수준, 상징적 수준으로 구성된 사후 검사에서 통제 집단보다 처치 집단의 점수가 통계적으로 유의미한 차이로 높았다.

Williamson과 Abraham(1995)은 대학생 124명을 대상으로 물질의 입자성을 구현한 컴퓨터 애니메이션의 효과를 조사하였다. 물질의 상태와 화학 반응 단원의 교수학습 과정에 두 집단에는 다양한 외적 표상이 제공되었다. 그리고 통제 집단과 달리 처치 집단에는 애니메이션이 추가로

제공되었다. 구체적으로 처치 집단 1에서는 전체 강의식 수업에서 애니메이션이, 처치 집단 2에서는 전체 강의식 수업 시간과 개별 컴퓨터 활동 시간이 주어졌는데, 이 때 애니메이션이 추가로 제공되었다. 그 결과, 두 처치 집단의 개념 검사 점수가 통제 집단과 비교해 통계적으로 유의미한 차이로 높았다. 그러나 선다형 수리 문제로 구성된 시험 점수와 화학 수업에 대한 태도 검사에서는 점수 차이가 통계적으로 유의미하지 않았다.

Copolo과 Hounshell(1995)는 유기화학 수업에서 2차원과 3차원의 분자 구조 모형의 활용 효과를 비교하였다. 그 결과, 3차원 컴퓨터 모형과 공막대 모형(ball-and-stick model)을 사용한 학생 집단은 3차원의 이성질체 구별에 대한 과제 검사에서 더 높은 점수를 받았으나, 2차원의 과제 검사에서 오히려 더 낮은 점수를 받았다.

Russell과 Kozma(1997)은 미시적, 거시적, 상징적 수준의 화학을 강조하는 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. 이는 실험 동영상, 분자 수준 애니메이션, 화학식, 그래프 또는 다이어그램을 함께 보여주는 형태로 진행되었다. 그리고 프로그램의 효과를 대학생 295명을 대상으로 조사하였다. 과학적 개념과 오개념의 측면에서 사전 사후 검사 점수를 비교한 결과, 사후 검사에서 과학적 개념을 진술한 학생의 수가 더 많았으며 오개념이 나타난 학생의 수는 감소하였다.

Sanger(2000)는 대학생 127명을 대상으로 애니메이션을 활용한 입자성을 강조하는 수업의 효과를 조사하였다. 애니메이션은 거시적 수준과 미시적 수준의 외적 표상을 연결해 일상생활에서 사용되는 화합물을 보여주는 형태로 구성되었다. 분자 수준의 그림 분류하기 문항을 통해 개념 이해 정도를 비교한 결과, 대부분 문제에서 처치 집단 학생의 정답률이 전통적 수업을 받은 통제 집단 학생의 정답률보다 통계적으로 유의미한 차이로 높았다.

Wu 등(2001)은 71명의 고등학생을 대상으로 전자쌍 반발 원리(VSEPR), 공유 결합, 분자의 극성 그리고 명명법에 대해 컴퓨터 프로그램을 활용해 6주 동안 수업을 진행하였다. 사전 사후 검사 점수를 비교

한 결과, 외적 표상들에 대한 학생의 이해가 향상되었으며 학생들은 내적 모형을 더 잘 구축하였으며 다양한 외적 표상을 연계하였다. 또한 학습 과정에서 토론에 열심히 참여한 학생들은 시각적 측면과 개념적 측면의 정보를 더욱 잘 연계하였다.

Noh와 Scharmann(1997)의 연구에서는 202명의 남자 고등학생들에게 화학 양론, 기체, 액체, 고체, 용액 단원에 대해 13주 동안 분자 수준의 그림을 제공한 수업을 진행하였으며 그 효과 조사하였다. 그 결과, 처치 집단의 화학 개념 이해도 점수가 통계적으로 유의미하게 높았으며, 특히 확산과 용해 개념에서 가장 차이가 높게 나타났다. 그러나 선다형의 화학 문제 해결력 검사에서는 두 집단간에 통계적으로 유의미한 점수 차이가 없었다.

중학교 여학생 84명을 대상으로 한 노태희 등(1998)의 연구에서는 분자 수준의 애니메이션을 이용한 수업 효과를 조사하였다. ‘분자의 운동’과 관련한 단원에 대해 5차시 동안 애니메이션을 활용해 수업을 진행하였다. 처치 집단의 학생들은 통제 집단에 비해 분자의 운동에 대한 오개념을 적게 나타내었으나, 개념 이해도 검사 점수에서는 집단 간 유의미한 차이가 없었다. 과학 수업에 대한 태도와 동기 검사에서 학생들은 애니메이션을 활용한 수업에 대해 긍정적으로 인식하는 것으로 나타났다. 또 학생들이 컴퓨터 보조 수업에 대해 전반적으로 긍정적으로 인식하였으나, 일부 학생들은 화면에 제공된 내용이 어려웠다고 응답하였다.

애니메이션과 활동지를 이용한 수업의 효과에 대해 조사한 연구도 있다. 노태희 등(1999)은 102명의 여자 고등학생을 대상으로 분자 수준의 애니메이션 및 활동지를 이용한 용해 단원의 수업을 3차시 동안 진행하고 그 효과를 조사하였다. 그 결과 처치 집단의 학업 성취도와 개념 이해도 검사 점수가 통제 집단에 비해 통계적으로 유의미하게 높았다. 또 학습 동기 검사에서 역시 한 개 범주를 제외한 모든 범주에서 처치 집단 학생들의 점수가 통계적으로 유의미한 차이로 높았다.

초등학생을 대상으로 한 애니메이션을 활용한 수업의 효과를 조사한 연구는 박재원과 백성혜(2004)의 연구가 있다. 초등학생 182명을 대상으

로 입자 모델의 컴퓨터 애니메이션을 이용한 컴퓨터 보조 수업의 효과를 조사하였다. 용해, 증발, 확산, 물질의 상태, 기체 법칙, 대류, 공기의 움직임 등에 대해 8차시 동안 수업을 진행한 결과, 컴퓨터 보조 수업을 통해 학습한 처치 집단의 학생들이 그렇지 않은 통제 집단의 학생들보다 입자 수준에서의 개념 이해 정도를 측정하는 검사에서 통계적으로 유의미한 차이로 높은 점수를 받았다.

강훈식(2006)은 중학교 화학 학습에서 제공되는 다양한 외적 표상들 간의 연계와 통합을 촉진하기 위한 방안으로 그리기와 쓰기 전략을 개발하고, 그 교수 효과를 다양한 측면에서 조사하였다. 또한, 학습자 특성들이 그 교수 효과에 미치는 영향도 조사하였다. 그 결과, 그리기 또는 쓰기에서 시각적 정보를 정화상보다는 동화상으로 제공하는 경우, 개별보다는 소집단 환경에서 진행하는 경우에 그리기와 쓰기의 효과가 증가하는 경향이 있었다. 또한, 공간시각화 능력이나 학습양식과 같은 학습자 특성이 그리기와 쓰기의 효과에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이재원 등(2020)은 중학생 166명을 대상으로 증강현실을 활용한 다중 표상 학습 전략의 효과를 조사하였다. 물질의 특성 중 용해도, 녹는점 및 끓는점 개념에 대해 각각 2차시씩 총 4차시 동안 수업을 진행한 결과, 증강현실을 통해 학습한 처치 집단의 학생들이 그렇지 않은 통제 집단의 학생들보다 입자 수준에서의 개념 이해 정도를 측정하는 검사에서 통계적으로 유의미한 차이로 높은 점수를 받았다. 학업성취도 검사의 경우 수업 처치의 주효과는 나타나지 않았으나 사전 성취 수준에 따라 증강현실을 활용한 학습의 효과가 다르게 나타났다. 또 증강현실을 통해 학습한 학생은 통제 집단과 비교해 통계적으로 유의미한 차이로 과학 수업에 대해 더 긍정적으로 인식하였다.

이와 같이 선행 연구에서는 학생의 입자 개념 학습을 돕기 위해 시각적 입자 표상을 활용한 교수학습 전략이 다양하게 활용되었으며 이러한 전략이 입자 개념 이해에 효과적임으로 보고되었다. 과학 교과서의 물질 영역에서도 시각적 입자 표상을 제시하여 개념을 설명하거나 학생에게 표상을 활용한 활동을 제공하고 있다. 하지만 교과서의 입자 표상이 제

시 방식이나 활용 방식에 따라 학생의 개념 형성에 도움이 될 수도, 혹은 방해 요인으로 작용할 수도 있다(강훈식 등, 2008; 권이영 등, 2011). 그러므로 교과서의 시각적 입자 표상의 제시 방식과 학생에게 요구하는 활동 종류 및 수준에 대해 조사할 필요가 있다.

Ⅲ. 연구 방법

3.1 연구 대상

이 연구에서는 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 과학 교과서 5종 중 중학교 1학년부터 3학년까지 교과서가 개발된 동아출판(A), 미래엔(B), 비상교육(C), 천재교육(D) 4종을 분석하였다. 물질 영역에 해당하는 중학교 1학년 과학의 기체의 성질과 물질의 상태 변화, 중학교 2학년의 물질의 구성과 물질의 특성 그리고 3학년의 화학 반응의 규칙과 에너지 변화 단원에 제시된 시각적 입자 표상을 연구 대상으로 선정하였다. 도입부에 제시되거나 단원 마무리의 단순한 복습 활동은 분석 대상에서 제외하였다. 하나의 시각적 입자 표상을 하나의 분석 단위로 설정하였으며 하나의 시각적 입자 표상이 두 가지 이상의 방식으로 활용되는 경우 각각 독립적인 표상으로 간주하였다. 교과서별 분석 단위의 개수는 교과서 A 53개, B 63개, C 56개 그리고 D 82개이다.

3.2 분석 기준

과학 교과서에 제시된 외적 표상 및 이를 포함한 활동을 분석한 선행 연구(Postigo & López-Manjón, 2019)를 참고하여 화학 교과 특성에 맞추어 예비 분석틀을 구성하였다. 이를 기준으로 4종의 교과서 중 1종을 무작위로 추출하여 이를 바탕으로 예비 분석하였다. 그리고 분석 항목 및 세부 분석 기준을 수정 및 보완하였다. 이후 다음과 같이 영역, 표상 활용 방식, 활동 방식, 요구하는 활동 수준에 대한 구체적인 분석 기준 <표 III-1>을 확정하였다.

<표 III-1> 시각적 입자 표상 분석 기준

범주		설명
영역	본문	과학 개념을 설명하는 영역
	탐구	실험, 자료 해석, 관찰하기 등의 활동 영역
	평가	소·중·대단원 마무리에 평가 문항이 제시된 영역
활용 방식	직접적 활용	학습에 표상을 직접 활용
	보조적 활용	활동 및 설명의 이해를 위해 표상을 보조적으로 활용
활동 방식	해석하기	시각적 입자 표상에 포함된 정보 해석
	완성하기	부분적으로 제시된 표상을 그리기로 완성
	생성하기	그리기로 과학 개념 시각화
요구하는 활동 수준	찾기	표상에 제시된 명시적인 정보를 단순히 처리
	유추하기	표상에 제시된 정보를 바탕으로 개념, 원리, 법칙을 도출하거나 다른 상황에 적용

3.2.1 영역

첫 번째 분석 범주는 영역으로 시각적 입자 표상이 제시된 교과서의 영역을 의미하며 본문 영역, 탐구 영역, 평가 영역으로 나누었다. 본문

영역의 경우 교과서에서 과학 개념을 언어로 설명하는 영역을 의미한다. 탐구 영역은 실험, 자료 해석, 관찰하기 등의 활동 영역이며 평가는 소단원, 중단원 및 대단원 마무리에 학생이 자신이 학습한 내용을 평가하도록 문항을 제시한 영역을 의미한다. 교과서의 이 세 영역은 그 기능과 목적이 서로 다르므로 제시된 시각적 입자 표상을 영역별로 분석하였다.

3.2.2. 활용 방식

두 번째 범주는 표상 활용 방식이다. 표상 활용 방식은 직접적 활용과 보조적 활용으로 나뉘어진다. 직접적 활용은 학습에 시각적 입자 표상을 직접 활용하는 것이다. 예를 들어 암모니아 기체 입자의 분포를 부분적으로 제공한 후 기체의 분포 변화를 예측하여 그림으로 표현하는 것과 같은 활동이다(<그림 III-1> (a)). 보조적 활용은 표상을 활동 및 언어적 설명의 이해를 위해 보조적으로 활용되는 것을 의미한다. 교과서 본문에 제시된 설명의 이해를 돕기 위해 풍선 속의 헬륨 기체 입자를 시각적 입자 표상으로 나타낸 것(<그림 III-1> (b))이 대표적 예이다. 보조적 활용의 경우 표상 없더라도 내용을 이해하거나 문제를 해결하는 것이 가능하다.



(a) 직접적 활용

(b) 보조적 활용

<그림 III-1> 활용 방식의 유형별 예(출처: 천재교육 중학교 과학 1, 140; 과학 1, 143)

3.2.3. 활동 방식

활동 방식은 해석하기, 완성하기, 생성하기 세 가지로 나누었다. 해석하기는 표상에 포함된 정보를 해석하는 활동 방식이며, 완성하기는 부분적으로 제시된 표상을 그리기를 통해 완성하는 활동을, 생성하기는 과학 개념을 그리기로 시각화하는 활동 방식을 의미한다. 해석하기와 완성하기 및 생성하기의 사례를 <그림 III-2>에 제시하였다. <그림 III-2>의 (a)는 해석하기의 예시로 물의 기화와 전기 분해 현상을 나타낸 입자 표상을 해석하는 활동이다. <그림 III-2>의 (b)는 완성하기에 해당하는 유형으로 탄소와 산소 및 이산화탄소 모형이 부분적으로 제시된 시각적 입자 표상을 바탕으로 학생이 표상을 그리기를 통해 완성하는 활동이다. <그림 III-2>의 (c)는 생성하기의 예시로 각 물질의 상태에 해당하는 입자 배열을 그리기를 통해 나타내는 활동이다.



(a) 해석하기

(b) 완성하기



(c) 생성하기

<그림 III-2> 활동 방식의 유형별 예(출처: 천재교육 중학교 과학3; 과학 3, 16; 과학 1, 175)

3.2.4. 요구하는 활동 수준

네 번째 범주는 시각적 입자 표상을 활용하는 과정에서 학생에게 요구되는 활동 수준으로서 찾기와 유추하기로 구분하였다. 찾기는 시각적 입자 표상에 제시된 명시적인 정보를 처리하는 수준의 단순한 활동을 요구하여 학생에게 표상을 활용하는 기초적 방법을 연습하는 기회를 제공하는 경우이며(<그림 III-3> (a)), 유추하기는 입자 표상에 제공된 정보를 바탕으로 개념, 원리, 법칙을 도출하거나 다른 상황에 적용하는 활동을 요구하는 경우(<그림 III-3> (b))를 의미한다.



(a) 찾기

2 [의사소통하기] 강철 솜을 연소시키기 전과 연소시킨 후의 상황을 입자 모형으로 나타내면 다음과 같다. 연소 반응에서 질량 보존 법칙이 성립한다고 할 수 있는지 토의해 보자.



(b) 유추하기

<그림 III-3> 요구하는 활동 수준의 유형별 예(출처: 천재교육 중학교 과학 1, 176-177; 과학 3, 30)

3.3 분석 방법

4종의 교과서 중 1종을 무작위로 선정하여 연구자 2인이 개별적으로 분석한 후 분석자 간의 일치도를 구하고 차이점을 논의하는 과정을 반복하였다. 분석자 간의 일치도가 95% 이상에 도달한 후 연구자 1인이 모든 시각적 입자 표상을 다시 분석하였다. 연구 전반에 걸쳐 과학교육 전문가와 현직 과학 교사 및 과학교육 전공 대학원생으로 구성된 세미나를 통해 지속적으로 타당성을 검토받고 결과 분석 및 해석을 보완하였다. 분석 결과는 각 범주 및 하위영역에 대한 빈도와 백분율(%)을 영역 및 교과서 종류별로 제시하였다.

IV. 연구 결과 및 논의

4.1 시각적 입자 표상 활용 방식

시각적 입자 표상 활용 방식을 <표 IV-1>에 제시하였다. 시각적 입자 표상은 본문 영역에 가장 많이 사용되었고 평가 영역과 탐구 영역에 비슷하게 사용되었다. 본문 영역에서는 76.3~87.3%의 시각적 입자 표상이 보조적 활용 방식으로 제시되었고 12.7~23.7%는 직접적 활용 방식으로 제시되었다. 반면 탐구 영역에서 84.6~100.0%, 평가 영역에서 77.3~100%가 직접적 활용 방식으로 제시되었고 보조적 활용 방식은 탐구 영역 0.0~15.4%, 평가 영역 0.0~22.7%로 나타났다. 분석 결과, 본문 영역에서는 보조적 활용이 주로 나타났는데 이는 시각적 입자 표상을 본문의 설명을 보충하는 보조적 목적으로만 주로 사용하고 있기에 나타난 결과로 볼 수 있다. 그러나 시각적 표상은 언어적 설명을 보충하거나 예시적 역할 뿐 아니라 학생이 표상을 바탕으로 활동을 수행하도록 돕는 역할도 담당한다(이기영, 2009). 또한, 학생들은 입자 표상을 해석하는 방법이나 표상 속 정보 중 어떤 측면에 주목해 보아야 할지 잘 알지 못한다는 연구 결과가 보고되고 있다(노태희 등, 2009; 윤희정, 방담이, 2018). 그러므로 탐구 및 평가 영역뿐 아니라 본문 영역에서도 입자 표상의 직접적 활용을 보다 많이 제시하여 학생이 표상을 해석하고 사용 방법을 연습할 기회를 제공할 필요성이 있다.

<표 IV-1> 영역과 활용 방식에 따른 시각적 입자 표상의 빈도

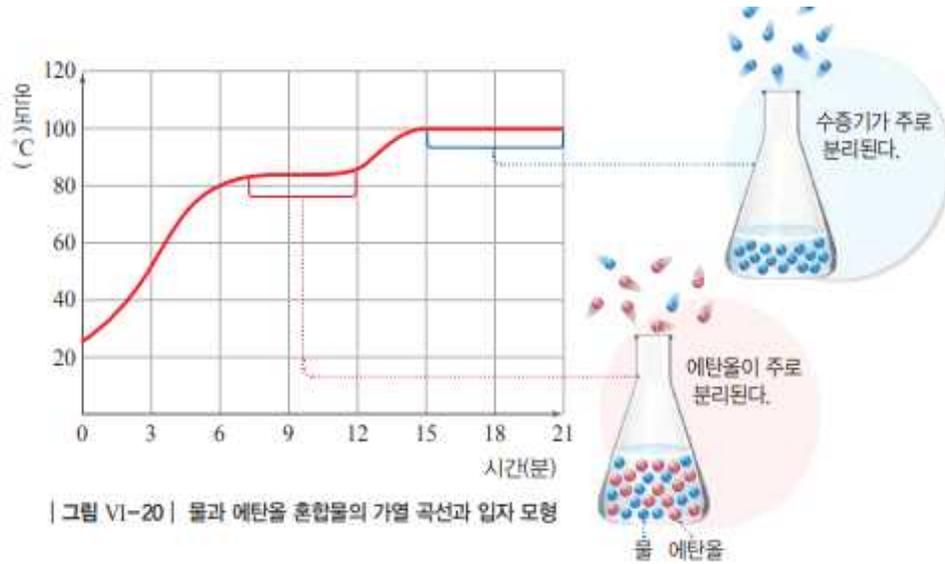
교과서	본문		탐구		평가	
	직접적 활용	보조적 활용	직접적 활용	보조적 활용	직접적 활용	보조적 활용
A	6(18.8)	26(81.2)	9(90.0)	1(10.0)	11(100.0)	0(0.0)
B	5(15.2)	28(84.8)	22(100.0)	0(0.0)	12(92.3)	1(7.7)
C	9(23.7)	29(76.3)	11(84.6)	2(15.4)	8(100.0)	0(0.0)
D	6(12.7)	41(87.3)	14(87.5)	2(12.5)	17(77.3)	5(22.7)
계	26(17.3)	124(82.7)	56(90.0)	5(10.0)	48(88.9)	6(11.1)
	150(100.0)		61(100.0)		54(100.0)	

(개(%))

본문 영역에서 교과서의 종류에 따른 직접적 활용 비율은 A 교과서 18.8%, B 교과서 15.2%, C 교과서 23.9%, D 교과서 12.7%로 C 교과서는 본문 영역에서의 직접적 활용 비율이 다른 교과서에 비해 상대적으로 높았다. 이러한 결과는 본문 영역에서 본문을 설명할 때 보조적 활용으로 제시된 시각적 입자 표상 옆에 간단한 활동을 추가하여 표상을 직접 활용할 수 있는 기회를 함께 제공한 것에 기인한다. 가령, C 교과서 ‘물질의 구성’ 단원에서는 본문 영역에서 이온이 전하를 띠고 있음을 확인하는 방법에 대한 설명을 보조하기 위해 염화나트륨 수용액과 설탕 수용액의 시각적 입자 표상을 제시하였다. 그리고 표상 옆에 염화나트륨 수용액에 들어있는 이온의 종류를 적어보도록 하였다. 시각적 표상의 직접적 활용은 표상에 시각적으로 표현된 과학 개념을 글로 표현하거나, 본문에서 설명한 개념이 시각적 표상에 어떻게 표현되어 있는지 묻는 활동

을 통해 시각적 정보와 언어적 정보 연계를 돕고 있었다. 다중 표상 원리에 따르면 언어적 정보 혹은 시각적 정보만을 제공받을 때보다 두 정보를 함께 제공받을 때 학습 내용을 더 잘 이해할 수 있다(Mayer, 2001, 2003). 이는 두 표상을 함께 제공될 때 언어적, 시각적 내적 표상을 더 쉽게 만들어 두 표상을 잘 연계하고 통합할 수 있기 때문이다(Adadan, Irving, & Trundle, 2009; Seufert, 2003; 남정희 등, 2012). 하지만 학생들은 외적 표상의 비공유 속성 등으로 인해 외적 표상간의 연계에 어려움을 겪는다(Víctor López & Roser Pintó, 2017; Wu & Shah, 2004). 따라서 본문 영역에서 학생이 직접적으로 활용할 수 있도록 시각적 입자 표상을 제시한다면 입자 표상을 활용하는 방법을 가르치고 동시에 시각적 정보와 언어적 정보의 효과적 연계를 통해 학생의 입자 개념 학습에 도움을 줄 수 있을 것이다.

단원별 시각적 입자 표상의 비율은 ‘기체의 성질’ 단원에서 17.0~33.0%로, ‘물질의 상태 변화’ 단원에서 16.1~28.6%, ‘물질의 구성’ 단원에서 29.2~35.8%, ‘화학 반응의 규칙과 에너지 변화’ 단원에서 19.7~24.4%로 비슷한 수준이었다. 그러나 ‘물질의 특성’ 단원의 경우 0.0~9.8%로 다른 단원에 비해 매우 낮았는데 이는 해당 단원의 ‘물질의 고유한 성질을 이용하여 혼합물을 분리할 수 있다’는 성취기준에 명시적 측면이 명시적으로 제시되지 않기 때문으로 보인다. 하지만 D 교과서의 경우 ‘물질의 특성’ 단원에서도 많은 시각적 입자 표상을 제시하여 활용하고 있었다. 순물질과 혼합물 개념 설명, 밀도와 온도에 따른 기체의 용해도를 설명한 본문에서 거시적 현상과 입자 표상을 동시에 사용하였다. 또 <그림 IV-1>과 같이 끓는점 차를 이용한 분리 설명에서 물과 에탄올의 가열 곡선 그래프와 입자 표상을 함께 제시하여 물과 에탄올의 가열 곡선 그래프와 입자 표상을 함께 제시하여 각 온도 구간에서 존재하는 물과 에탄올 입자 상태를 나타내고 있었다.



| 그림 VI-20 | 물과 에탄올 혼합물의 가열 곡선과 입자 모형

<그림 IV-1> 본문 영역에서 보조적 활용의 예(출처: 천재 교육 과학 2, 217)

화학 교과의 개념을 체계적으로 이해하기 위해서는 거시적 수준의 개념만이 아니라 미시적 수준 등 다양한 위계에서 이해하고 해석하는 능력이 요구된다(윤회정, 이윤하, 2014; Ainsworth, 2008). 이 때 입자 표상은 비가시적인 입자를 가시적으로 보여주어 과학 개념을 입자적 측면과 올바르게 연계하는데 효과적인 방법 중 하나이다(Han & Roth, 2006). 성취기준에서 미시적 측면을 명시적으로 강조하지 않는 단원의 경우 탐구 및 평가 영역이 아니더라도 D 교과서와 같이 본문 영역에 입자 표상을 보조적으로 활용하여 학생이 다양한 현상을 입자적 관점에서 이해할 수 있도록 도움을 줄 수 있을 것이다. 한편, 대부분의 물질 영역의 외적 표상 분석과 관련한 연구의 경우 중학교 1학년만을 분석하여 2, 3학년의 물질 영역에 제시된 표상과 관련한 정보를 얻기 어려웠으나 시각적 입자 표상의 분석을 통해 2학년에서의 시각적 입자 표상의 활용 방식에 대한 정보를 얻을 수 있었다. 물질의 입자성은 중학교 1학년에서의 입자의 운동 및 물질의 상태 등의 학습 이후 상위 학년에서 다양한 화학 반응을 설명함을 통해 지속적으로 연계되어 다양한 화학 개념을 이해하는 기반

이 된다(백중호 등, 2022). 그러므로 중학교 1학년뿐 아니라 이후 학년의 물질 영역의 외적 표상과 관련한 연구가 지속적으로 이루어질 필요가 있을 것이다.

4.2 시각적 입자 표상 활용의 활동 방식

시각적 입자 표상 활용의 활동 방식을 영역 및 교과서의 종류별로 분석한 결과는 <표 IV-2>와 같다. 전체 시각적 입자 표상 중 직접적 활용으로 사용되는 표상은 총 128개로 A 교과서 26개, B 교과서에서 39개, C 교과서에서 26개 그리고 D 교과서 37개가 제시되었다.

<표 IV-2> 시각적 입자 표상 활용의 활동 방식

교과서	본문			탐구			평가		
	해석 하기	완성 하기	생성 하기	해석 하기	완성 하기	생성 하기	해석 하기	완성 하기	생성 하기
A	4 (66.7)	2 (33.3)	0 (0.0)	2 (22.2)	4 (44.4)	3 (33.3)	11 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
B	3 (60.0)	2 (40.0)	0 (0.0)	11(50 .0)	9 (41.0)	2 (9.0)	10 (83.3)	1 (8.3)	1 (8.3)
C	9 (100.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	3 (27.2)	7 (63.6)	1 (9.1)	6 (75.0)	2 (25.0)	0 (0.0)
D	5 (83.3)	1 (16.7)	0 (0.0)	9 (64.3)	4 (28.6)	1 (7.1)	11 (64.7)	5 (29.4)	1 (5.9)
계	21 (80.8)	5 (19.2)	0 (0.0)	25 (44.6)	24 (42.9)	7 (12.5)	38 (79.2)	8 (16.7)	2 (4.1)
	26(100.0)			56(100.0)			48(100.0)		

(개(%))

본문 영역의 경우 해석하기가 60.0~100.0%로, 완성하기가 0.0~40.0% 제시되었고 생성하기는 제시되지 않았다. 탐구 영역에서는 해석하기가 22.2~64.3%, 완성하기가 28.6~63.6%, 생성하기가 7.1~33.3% 나타났다. 평가 영역은 해석하기가 64.7~100.0%, 완성하기 0.0~29.4% 생성하기가 0.0~8.3%였다. 이러한 결과는 영역에 따라 학생에게 제공하는 시각적 입자 표상의 목적이 다른 것에 기인한 것으로 생각할 수 있다. 본문은

정보를 제공하는 것이 주요한 목적이므로 표상 속에 표현된 정보를 학생이 찾아내거나 정보를 설명하는 해석하기 방식이 높은 비율을 차지하고 있다. 반면 탐구 영역은 정보 제공 목적보다 효과적인 탐구의 수행을 유도하는 것이 더 중요하므로 완성하기와 생성하기 등의 비율이 상대적으로 높아진다. 평가 영역은 학습한 과학 개념을 복습하고 얼마나 이해했는지 점검하는 것을 목적으로 하여 표상에 시각화된 과학 개념을 설명하는 해석하기가 높은 비율을 차지하고 있다. 하지만 평가 영역은 과학 개념 이해뿐 아니라 해당 단원을 통해 습득한 표상 활용 능력, 탐구 기능과 같은 역량도 함께 평가할 수 있도록 구성되어야 한다. 분석 결과, 평가 영역에서 주로 해석하기가 나타난 것은 과학 개념 이해나, 표상 속 정보를 해석하는 특정한 역량만을 평가하고 있기에 나타난 결과로 볼 수 있으며 이로 인해 시각적 입자 표상이 문제 해결을 위한 정보 제공이라는 제한적인 목적으로 활용되고 있다. 선행 연구에서도 교과서 속 평가 문항이 다양한 과학과 핵심 역량을 함양하기에 부족하며 제한된 역량만을 평가하고 있음을 보고하고 있다(고은아, 최애란, 2019; 윤도운, 최애란, 2019). 그러므로 다양한 탐구 기능과 핵심 역량을 평가할 수 있도록 평가 문항이 구성되어 입자 표상이 여러 목적과 역할로 활용될 수 있는 다양한 활동 방식이 학생에게 제공될 필요가 있다. 예를 들어 모형의 활용 및 개발과 관련한 탐구 기능을 평가하는 평가 문항의 경우 학생의 탐구 수행과 과학 개념을 그림을 통해 표현하도록 돕는 목적으로 입자 표상을 활용할 수 있으며 이는 과학 개념을 시각화하는 완성하기 및 생성하기 활동 방식을 통해 이루어질 수 있다. 그러므로 평가 영역에서 다양한 역량을 평가할 수 있도록 평가 문항을 구성하여 시각적 입자 표상이 다양한 목적으로 활용되어 이를 통해 다양한 표상 활용 방식을 학생이 경험할 수 있도록 할 필요가 있다.

4.3 시각적 입자 표상 활용에서 요구하는 활동 수준

시각적 입자 표상의 직접적 활용에서 요구하는 활동 수준을 분석한 결과를 <표 IV-3>에 제시하였다. 본문 영역에서는 찾기가 33.3~83.3%, 유추하기가 22.2~66.7% 나타났다. 탐구 영역에서는 찾기가 0.0~18.2%, 유추하기가 81.8~100.0%였고, 평가 영역에서는 찾기가 0.0~13.0%, 유추하기가 87.0~100.0%였다. 즉 본문 영역에서는 시각적 입자 표상의 명시적인 정보를 처리하는 찾기 활동을 주로 요구하고 있었고 탐구나 평가 영역에서는 시각적 입자 표상의 정보를 바탕으로 개념, 원리 등을 이끌어내는 유추하기 활동을 주로 요구하고 있었다. 가령 D 교과서에서는 <그림 IV-2>과 같이 1학년 ‘기체의 성질’ 단원 속 보일 법칙을 설명하는 본문 영역에 찾기 활동을 제시하여 학생이 피스톤을 누르기 전과 후의 기체 입자 모형에서 변하는 것과 변하지 않는 것을 찾도록 요구하였다.

<표 IV-3> 시각적 입자 표상 활용에서 요구하는 활동 수준

교과서	본문		탐구		평가	
	찾기	유추하기	찾기	유추하기	찾기	유추하기
A	2(33.3)	4(66.7)	0(0.0)	9(100.0)	0(0.0)	11(100.0)
B	3(60.0)	2(40.0)	4(18.2)	18(81.8)	1(8.3)	11(91.7)
C	7(77.8)	2(22.2)	0(0.0)	11(100.0)	1(13.0)	7(87.0)
D	5(83.3)	1(16.7)	0(0.0)	14(100.0)	1(5.9)	16(94.1)
계	17(65.3)	9(34.6)	4(7.1)	52(92.9)	3(6.3)	45(93.7)
	26(100.0)		56(100.0)		48(100.0)	

(개(%))



<그림 IV-2> 본문 영역에서 찾기 활동의 예(출처: 천재 교육 과학 1, 151)

원자나 이온 표상에서 학생들의 정보 이해는 제한적이고(백종호 등, 2022; 윤혜경, 방담이, 2018; 윤희정, 이윤하, 2014), 연소 반응을 나타낸 분자 표상의 해석 과정에서도 어려움을 보이는 것으로 보고되었다(노태희 외, 2009). 학생들은 입자 개념을 시각화하는 도구가 아니라 암기해야 하는 개념으로 시각적 입자 표상을 인식하기도 한다(신남수 등, 2014). 이 연구에서 본문 영역의 찾기 활동이 유추하기 활동과 비교해 그 비율이 높았지만 시각적 입자 표상의 직접적 활용 전체에서 차지하는 비율은 높지 않았다. 이러한 결과는 학생들이 시각적 입자 표상에 제시된 정보를 찾는 방법에 대하여 충분히 연습하지 못한 상황에서 표상의 정보를 해석하여 개념, 원리 및 법칙을 도출하거나 다른 상황에 적용해야 함을 의미하므로 학생의 표상을 통한 입자 개념 학습을 어렵게 만드는 요인이 될 수 있다. 선행 연구에서도 교과서를 비롯한 다양한 교수학습 자료에서 활용되는 시각적 입자 표상은 학생이 쉽게 해석할 것이라는 가정하에

별도의 지원이 제공되지 않음을 지적하고 있다(백중호 등, 2022; 신남수 등, 2014; 윤희정, 방담이, 2018). 따라서 본문에서 시각적 입자 표상의 찾기 활동을 충분히 제공하여 학생들이 기초적인 표상 활용 능력을 함양할 수 있도록 도울 필요성이 있다.

V. 결론 및 제언

이 연구에서는 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 과학 교과서 물질 영역에 제시된 시각적 입자 표상의 활용 실태를 교과서의 영역 및 교과서 종류별로 분석하였다. 분석 결과, 시각적 입자 표상은 본문 영역에 가장 많이 제시되었으며 평가 및 탐구 영역에 비슷한 빈도로 제시되었다. 활용 방식의 경우, 탐구 및 평가 영역에서는 주로 직접적 활용 방식이 나타난 반면, 본문 영역에서는 보조적 활용 방식이 주로 나타났다. 그러나 본문 영역 속 일부 표상은 직접적 활용 방식을 통해 학생의 표상 활용에 도움을 주고 있었다. 활동 방식 또한 영역별로 다르게 나타났는데 본문 및 평가 영역에서는 해석하기가 주를 이루었지만, 탐구 영역에서는 해석하기와 완성하기가 비슷한 빈도로 제시되어 본문과 평가 영역에 비해 다양한 방식으로 제시되고 있었다. 요구하는 활동 수준은 탐구 및 평가 영역에서는 유추하기 활동이 대부분을 차지하였다. 본문 영역에서는 찾기 활동이 더 높은 비율로 제시되었으나 직접적 활용 방식 입자 표상 수와 비교해 그 비율이 낮게 나타났다.

위의 연구 결과를 바탕으로 시각적 입자 표상의 활용과 관련한 시사점을 논의하였다. 본문 영역의 시각적 입자 표상은 직접적 활용보다 주로 언어적 설명을 보조하는 보조적 활용 방식으로 제시되고 있었다. 이는 본문에 제시된 시각적 입자 표상을 학생 스스로 입자 표상과 설명을 연계해 해석해야 한다는 것을 의미한다. 그러나 이러한 과정은 학생에게 쉽지 않으며 오히려 대응 및 연계 오류로 인해 올바르지 않은 개념을 형성하기도 한다(강훈식 등, 2008). 따라서 과학 교사는 언어적 설명과 본문 속 시각적 입자 표상을 연계하여 과학 개념을 안내할 필요가 있다. 과학 개념이 표상에 어떻게 시각적으로 표현되어 있는지 설명하고, 언어적 정보를 시각적 정보에 대응해 명시적으로 안내하여 학생이 시각적 입자 표상을 올바르게 해석할 수 있도록 도울 필요가 있다.

일부 본문 영역의 시각적 입자 표상은 직접적 활용 방식으로 제시되고 있었는데 이는 학생이 시각적 입자 표상에 묘사된 부분 중 집중해야 할 부분을 안내하고, 본문에서 설명한 내용을 입자 표상을 통해 확인하도록 하는 중요한 역할을 담당하고 있었다. 특히 본문 영역에 제시된 찾기 활동은 탐구 및 평가 영역에서의 유추하기 활동을 수행하는데 필요한 기초적인 표상 활용 방식을 익히는 기회를 제공하고 있었다. 하지만 찾기 활동의 빈도는 전체 교과서 속 직접적으로 활용되는 시각적 입자 표상의 수에 비해 그 빈도가 매우 적게 나타났다. 이러한 결과는 교과서에서 학생이 시각적 입자 표상을 해석하는 방법이나 명시적인 정보를 찾는 기초적인 표상 활용 방법을 연습할 기회를 충분히 제공해주지 못한다고 볼 수 있다. 그러므로 교과서에서 본문 영역의 찾기 활동을 보다 많이 제시하여 학생이 시각적 입자 표상을 활용하는 방법을 차근차근 익힐 수 있도록 도와야 할 것이다.

탐구 영역에서 해석하기뿐 아니라 완성하기와 생성하기와 같은 다양한 활동 방식이 제시되었으나 평가 영역에서는 해석하기만 주로 제시되었다. 이는 평가 문항이 다양한 과학과 핵심역량을 반영하지 못한 채 과학 개념 이해와 표상 속 정보 해석과 같은 특정 역량만을 평가하여 표상 또한 정보 제공이라는 제한된 역할로 활용되어 나타난 결과로 볼 수 있다. 다양한 핵심역량을 반영하지 못한 평가 문항은 학습 과정에서 익힌 다양한 탐구 기능과 표상 활용 능력 평가를 제한하여 역량의 함양 여부와 후속 학습 계획을 어렵게 만드는 요인이 될 수 있다. 또 시각적 입자 표상이 가진 다양한 목적을 활용하지 못한 채 제한된 방식의 활동으로 이어질 가능성이 있다. 2015 개정 교육과정에서도 과학과 핵심역량 함양을 위해 교육 목표, 내용, 교수·학습 및 평가가 일관성 있게 이루어져야 함을 명시하고 있다(MOE, 2015). 따라서 교과서에서 본문 및 탐구 영역에서 수행했던 다양한 핵심역량을 평가 문항에 반영하여 교수학습과 평가가 긴밀히 연결되고, 입자 표상이 다양한 목적으로 활용될 수 있도록 할 필요성이 있다. 이는 학생이 표상을 활용한 다양한 활동 방식 경험하

도록 도와 다양한 탐구 기능 및 핵심역량의 함양뿐 아니라 표상 활용 능력 증진으로 이어질 수 있을 것이다.

이 연구에서는 중학교 교과서 물질 영역에 나타난 시각적 입자 표상의 활용 실태를 분석하였으므로 향후 연구에서는 고등학교 과학 및 화학 교과에서의 활용 실태를 조사하여 특징과 연계성을 분석할 필요가 있다. 또한 실제 교육 현장에서 과학 교사가 교과서를 바탕으로 한 수업에서 시각적 입자 표상을 어떠한 방식으로 활용하고, 표상을 바탕으로 학생에게 제공하는 활동이나 그 수준이 어떠한지 알아본다면 시각적 입자 표상을 활용한 효과적인 교수학습 방안을 제안하는 데에 의미 있는 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 강훈식, 김보경, 노태희 (2005). 물질의 입자적 성질에 대한 다중 표상 학습에서 외적 표상들 간의 연계와 통합을 촉진시키는 방안으로서의 그리기와 쓰기. 한국과학교육학회지, 25(4), 533 - 540.
- 강훈식, 김유정, 노태희 (2007). 제7차 중학교 1학년 과학 교과서의 물질 단원에서 외적 표상들의 활용 실태 분석. 한국과학교육학회지, 27(3), 190-200.
- 강훈식, 신석진, 노태희 (2008). 다중 표상을 활용한 보일과 샤를의 법칙 개념 학습에서 유발되는 학생들의 연계 오류의 원인 탐색. 대한화학학회지, 52(5), 550-560.
- 강훈식, 윤지현, 이대형 (2008). 제7차 초등학교 3-6학년 과학 교과서에 제시된 외적 표상들의 활용 실태 분석. 초등과학교육, 27(2), 158-169.
- 고경휘 (2004). 중학생들의 인지발달수준과 과학교과서 생물분야의 수준과의 관계연구. 성균관대학교 교육대학원, 석사학위논문.
- 교육부. (2015). 과학과 교육과정. 교육부 고시 제2015-74호.
- 권이영, 유형빈, 정은영 (2008). 중학교 과학 교과서의 삽화 분석 -‘소화와 순환’ 단원을 중심으로-. 한국생물교육학회지, 39(4), 517-528.
- 김노아, 장진아, 송진웅 (2018). 서책형교과서와 디지털교과서에 제시된 외적 표상의 특징 비교: 2009 및 2015 개정 교육과정의 중학교 ‘힘’ 관련 단원을 중심으로. 현장과학교육, 12(3), 309-330.
- 김창민, 노태희, 전경문, 차정호 (1998). 물질의 입자성과 문제 해결 전략을 강조한 컴퓨터 보조 수업이 고등학생들의 화학 학습에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 18(3), 337-345.
- 김형진, 신명경, 권경필, 이규호 (2014). 초등 과학 교과서에 실린 시각 자료의 종류, 역할 그리고 사회-기호학적 특징 분석. 과학교육연구지, 38(3), 641 - 656.
- 김혜린, 신기덕, 노태희, 김민환 (2022). 2015 개정 교육과정에 따른 초등

- 학교 과학과 디지털교과서의 물질 영역에 나타난 외적 표상의 양식과 제시 방법, 상호작용성 분석. 초등과학교육, 41(2), 418-431.
- 남정희, 이동원, 남영호 (2007). 고등학생들의 글쓰기에서 나타난 다중 표상의 내재성에 미치는 다중 표상 수업의 효과. 대한화학회지, 56(4), 500-508.
- 노태희, 윤미숙, 강훈식, 한재영 (2007). 중학교 3학년 과학 교과서에서 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 기호학적 분석. 대한화학회지, 51(5), 423-432.
- 박재원, 백성혜 (2004). 초등학교 과학 수업에 적용한 입자 모델의 컴퓨터 애니메이션 교수자료의 학습 효과. 초등과학교육, 23(2), 116-122.
- 백중호, 이재봉, 최원호 (2022). 중학생들의 ‘물질의 구성’ 영역 학업성취 특성 분석 : 국가수준 학업성취도 평가 결과를 중심으로. 대한화학회지, 66(2), 136 - 149.
- 송나윤, 홍주연, 노태희 (2020). 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 디지털교과서의 물질 단원에서 나타난 외적 표상의 활용 실태 분석. 대한화학회지, 64(6), 416-428.
- 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.
- 우규환, 노태희, 임희준 (1995). 화학양론과 기체 상태에 대한 중고등학생의 개념 이해도 비교. 한국과학교육학회지, 15(4), 437-451.
- 유승아, 구인선, 김봉곤, 강대호 (1999). 기체의 성질에 대한 중·고등 학생들의 오개념에 관한 연구. 대한화학회지, 43(5), 564-577.
- 윤도운, 최애란 (2019). 2015 개정 과학과 교육과정에 제시된 중학교 1학년 성취기준과 과학 1 교과서에 포함된 활동과 평가 문항 분석: 과학과 핵심역량 중심으로. 대한화학회지, 63(3), 196-208.
- 윤희정 (2020). 2015 개정 교육과정에 따른 7학년 과학교과서 물질 영역에 제시된 외적 표상의 분석. 한국과학교육학회지, 40(1), 61-75.

- 윤희정, 방담이 (2018). 원자와 이온 생성 과정의 외적표상 자료에 대한 중학생들의 이해도 탐색. 현장과학교육, 12(2), 164 - 177.
- 윤희정, 우애자 (2007). 고등학생과 대학생의 기체의 성질에 관한 오개념 비교. 교과교육학연구, 11(2), 567 - 582.
- 윤희정, 이윤하 (2014). 중학생들의 전해질과 이온에 관련된 입자 개념 표현의 일관성 분석. 대한화학회지, 58(6), 580-589.
- 이기영 (2009). 중학교 과학 교과서에 사용된 시각자료의 유형, 기능 및 구조 분석: 제7차 교육과정 지구과학 내용을 중심으로. 한국지구과학회지, 30(7), 897-908.
- 이재원, 박가영, 노태희 (2020). 물질의 입자성 개념에서 증강현실을 활용한 다중 표상 학습 전략의 개발과 적용. 한국과학교육학회지, 40(4), 375 - 383.
- 이재원, 이병진, 노태희 (2018). 물질의 특성에 대한 중학생의 거시적 개념과 미시적 개념의 비교. 대한화학회지, 62(3), 243 - 252.
- 정희선, 한인식, 여성희 (2010). 중학생의 과학 글쓰기 활동이 과학 성취도와 과학 태도에 미치는 효과. 생물교육, 38(3), 407-422.
- 조광희, 조현국, 윤혜경 (2015). 초중고 과학 교과서의 전자기 단원에 제시된 시각적 표상의 유형. 새물리, 65(4), 343-357.
- 조인영, 강영진 (2010). 고체와 액체의 밀도에 대한 고등학생들의 개념 조사. 대한화학회지, 54(6), 809 - 817.
- 최민지, 최애란 (2016). 2009 개정 교육과정에 따른 중학교 과학교과서 화학 단원에 포함된 활동 분석: 8가지 과학 실천을 중심으로. 대한화학회지, 60(6), 436-451.
- 최용남, 김창민, 노태희, 차정호 (1998). 중학교 과학 수업에서 입자 수준의 애니메이션을 이용한 컴퓨터 보조 수업의 효과. 한국과학교육학회지, 18(2), 161-171.
- 한재영, 이지영, 광진하, 노태희 (2006). 물질의 입자 개념 학습에서 그림 그리기와 그림 분석하기의 효과: 시각적 학습양식에 따른 비교. 한국과학교육학회지, 26(1), 9-15.

- Adadan, E. (2013). Using multiple representations to promote grade 11 students' scientific understanding of the particle theory of matter. *Research in Science Education*, 43(3), 1079-1105.
- Adadan, E., Irving, K. E., & Trundle, K. C. (2009). Impacts of multi representational instruction on high school students' conceptual understandings of the particulate nature of matter. *International Journal of Science Education*, 31(13), 1743-1775.
- Adbo, K., & Taber, K. S. (2009). Learners' mental models of the particle nature of matter: A study of 16 year old Swedish science students. *International Journal of Science Education*, 31(6), 757-786.
- Ainsworth, S. (2008). The educational value of multiple-representations when learning complex scientific concepts. In *Visualization: Theory and practice in science education* (pp. 191-208). Springer, Dordrecht.
- Akaygun, S., & Jones, L. L. (2013). Dynamic visualizations: Tools for understanding the particulate nature of matter. *Concepts of matter in science education*, 281-300.
- 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.
- Bowen, C. W. (1998). Item design considerations for computer-based testing of student learning in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 75(9), 1172.
- Bridle, C. A., & Yeziarski, E. J. (2012). Evidence for the effectiveness of inquiry-based, particulate-level instruction on conceptions of the particulate nature of matter. *Journal of Chemical Education*, 89(2), 192-198.

- Brooks M. (2009). Drawing, visualisation and young children's exploration of "Big Ideas". *International Journal of Science Education*, 31(3), 319 - 341.
- Bunce, D., Gabel, D., Herron, J. D., & Jones, L. (1994). Report of the task force on chemical education research of the American Chemical Society Division of Chemical Education. *Journal of Chemical Education*, 71(10), 850.
- Cheng, M. M., & Gilbert, J. K. (2015). Students' visualization of diagrams representing the human circulatory system: The use of spatial isomorphism and representational conventions. *International Journal of Science Education*, 37(1), 136-161.
- Copolo, C. E., & Hounshell, P. B. (1995). Using three-dimensional models to teach molecular structures in high school chemistry. *Journal of science education and technology*, 4(4), 295-305.
- Dai, A. (2017). Learning from children's drawings of nature. *In Drawing for science education* (pp. 73-86). Brill.
- Edens, K. M., & Potter, E. (2003). Using descriptive drawings as a conceptual change strategy in elementary science. *School science and mathematics*, 103(3), 135-144.
- Eisner, E. W. (1979). *The educational imagination: On the design and evaluation of school programs*. New York: Macmillan.
- Gabel, D. L. (1993). Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 193-194.
- Gabel, D. L., Samuel, K. V., & Hunn, D. (1987). Understanding the particulate nature of matter. *Journal of chemical Education*, 64(8), 695.
- Gilbert, J. K. (2010, April). The role of visual representations in the learning and teaching of science: An introduction. *In*

- Asia-Pacific Forum on Science Learning & Teaching* (Vol. 11, No. 1).
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. F. (2009). Introduction: Macro, submicro and symbolic representations and the relationship between them: Key models in chemical education. *In Multiple representations in chemical education* (pp. 1-8). Springer, Dordrecht.
- Haidar, A. H., & Abraham, M. 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(10), 919-938.
- Han, J., & Roth, W. M. (2006). Chemical inscriptions in Korean textbooks: Semiotics of macro and microworld. *Science Education*, 90(2), 173-201.
- Horton, C. (2007). Student alternative conceptions in chemistry. *California Journal of Science Education*, 7(2), 18-38.
- Kosslyn, S. M. (1994). Elements of graph design. WH Freeman.
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representationl competence. *In Visualization in science education* (pp. 121-145). Springer, Dordrecht.
- Latour, B. (1987). Science in action: How to follow scientists and engineers through society. Harvard university press.
- Leivas Pozzer, L., & Roth, W. M. (2003). Prevalence, function, and structure of photographs in high school biology textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(10), 1089-1114.
- Lopez, V., & Pinto, R. (2017). Identifying secondary-school students' difficulties when reading visual representations displayed in physics simulations. *International Journal of Science Education*, 39(10), 1353-1380.
- Mayer, R. E. (2001). Multimedia learning. New York, NY: Cambridge

University Press.

- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: Using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 13(2), 125–139.
- Merritt, J., & Krajcik, J. (2013). Learning progression developed to support students in building a particle model of matter. *In Concepts of matter in science education* (pp. 11–45). Springer, Dordrecht.
- Noh, T., & 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.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1981). Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross-age study. *Science Education*, 65(2), 187–96.
- Nyachwaya, J. M., Mohamed, A. R., Roehrig, G. H., Wood, N. B., Kern, A. L., & Schneider, J. L. (2011). The development of an open-ended drawing tool: an alternative diagnostic tool for assessing students' understanding of the particulate nature of matter. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(2), 121–132.
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford University Press.
- Papageorgiou, G., Amariotakis, V., & Spiliotopoulou, V. (2019). Developing a taxonomy for visual representation characteristics of submicroscopic particles in chemistry textbooks. *Science Education International*, 30(3), 181 - 193.
- Pereira, M. P., & Pestana, M. E. M. (1991). Pupils' representations of models of water. *International Journal of Science Education*,

- 13(3), 313–319.
- Pierce, C. S. (1986). Logic as semiotics: The theory of sign, dalam Robert E. semiotic: An introductory reader. London: Hutchinson.
- Postigo, Y., & López-Manjón, A. (2019). Images in biology: are instructional criteria used in textbook image design?. *International Journal of Science Education*, 41(2), 210–229.
- Rappoport, L. T., & Ashkenazi, G. (2008). Connecting levels of representation: Emergent versus submergent perspective. *International Journal of Science Education*, 30(12), 1585–1603.
- Raven, S. (2015). Assessing secondary science students' knowledge of molecule movement, concentration gradients, and equilibrium through multiple contexts. *Research in Science & Technological Education*, 33(3), 269–303.
- Sanger, M. J. (2000). Using particulate drawings to determine and improve students' conceptions of pure substances and mixtures. *Journal of Chemical Education*, 77(6), 762.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and instruction*, 13(2), 227–237.
- Small, M. Y., & Morton, M. E. (1983). Research in college science teaching: Spatial visualization training improves performance in organic chemistry. *Journal of College Science Teaching*, 13(1), 41–43.
- Taber, K. S. (2001). Building the structural concepts of chemistry: some considerations from educational research. *Chemistry education research and practice*, 2(2), 123–158.
- Tang, H., & Abraham, M. R. (2016). Effect of computer simulations at the particulate and macroscopic levels on students' understanding of the particulate nature of matter. *Journal of*

- Chemical Education*, 93(1), 31–38.
- Taskin, V., & Bernholt, S. (2014). Students' understanding of chemical formulae: A review of empirical research. *International Journal of Science Education*, 36(1), 157–185.
- Treagust, D. F., Chandrasegaran, A. L., Crowley, J., Yung, B. H., Cheong, I. P. A., & Othman, J. (2010). Evaluating students' understanding of kinetic particle theory concepts relating to states of matter, changes of state and diffusion: A cross-national study. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(1), 141–164.
- Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353–1368.
- 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.
- Wu, H. K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7), 821–842.
- Wu, H. K., & Shah, P. (2004). Exploring visuospatial thinking in chemistry learning. *Science education*, 88(3), 465–492.

Abstract

Analyzing Visual Representations of Particles in Middle School Science Textbooks : Focused on Matter Units under the 2015 Revised National Curriculum

Yousun Jeon

Department of Science Education, Major in Chemistry

The Graduate School

Seoul National University

This study analyzed the use of visual representations of particle presented in the material unit of middle school science textbooks under the 2015 revised national curriculum. The type of use, the activity type, and the required level of activity were analyzed by dividing them into the main text, inquiry, and evaluation areas. Visual representations of particle were presented with the highest frequency in the main text area and similar frequencies in the evaluation and

inquiry areas. Auxiliary use type was mainly shown in the main text area, and direct use was mainly shown in the evaluation and inquiry areas. Although few visual particle representations appeared in the 'Characteristics of Materials' section, some textbooks explained this concept in connection with the microscopic aspect through representations of particle. In the case of the activity type, The interpretation type was presented as the highest ratio in the main text and evaluation areas, but various activity types were presented in the inquiry area. In the case of the required activity level, finding activities were mainly shown in the main text area, while inferring activities were mainly shown in the inquiry and evaluation areas. Based on the results, educational implications for the presentation and use of visual representations of particle were suggested.

keywords: visual representation of particle, science textbook, external representation, particulate nature of matter, 2015 revised national curriculum

Student Number: 2021-29672