



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학석사 학위논문

2015 개정 교육과정에 따른  
디지털교과서에 제시된 외적  
표상의 활용 실태 분석  
: 중학교 1학년 물질 단원을 중심으로

2020년 8월

서울대학교 대학원  
과학교육과 화학전공  
홍 주 연



2015 개정 교육과정에 따른  
디지털교과서에 제시된 외적  
표상의 활용 실태 분석

: 중학교 1학년 물질 단원을 중심으로  
지도교수 노 태 희

이 논문을 교육학석사학위논문으로 제출함  
2020년 7월

서울대학교 대학원  
과학교육과 화학전공  
홍 주 연

홍주연의 석사 학위논문을 인준함  
2020년 7월

위 원 장 홍 훈 기 (인)  
부위원장 노 태 희 (인)  
위 원 정 대 홍 (인)



## 국문초록

이 연구는 2015 개정 교육과정에 따른 5종의 중학교 1학년 과학과 디지털교과서의 물질 단원에 제시된 외적 표상의 활용 실태를 외적 표상의 수준, 양식, 제시 방법, 상호작용성 측면에서 분석하였다. 외적 표상의 수준은 거시적 수준의 표상이 주로 제시되었고, 입자적 설명은 거시적 수준과 미시적 수준의 표상이 함께 제시되었다. 외적 표상의 양식은 시각언어 표상을 기본으로 하여 시각비언어 표상이 함께 제시되었고, 청각언어 표상이나 청각비언어 표상은 거의 제시되지 않았다. 시각언어 표상과 청각언어 표상은 대부분 형식적인 형태로 제시되었고 시각비언어 표상은 운동성이 포함되지 않은 정화상이 가장 많이 제시되었다. 외적 표상의 제시 방법은 세 가지 측면에서 분석하였다. 첫째, 주로 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시되었고, 청각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우는 나타나지 않았다. 청각언어, 시각언어, 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우, 일부는 청각언어 표상의 정보가 시각언어 표상에서 중복적으로 제시되었다. 둘째, 학습 내용과 관계없는 청각비언어 표상이 다른 외적 표상들과 함께 제시되었다. 셋째, 시각언어 표상과 시각비언어 표상을 다른 페이지에 배치하는 형태는 거의 나타나지 않았고, 청각언어 표상과 시각비언어 표상은 항상 동시에 제시되었다. 외적 표상의 상호작용성에서 설명 영역은 조작 수준의 상호작용성이, 활동 영역은 피드백 수준의 상호작용성이 주로 제시되었고, 두 영역 모두 적응과 소통 수준의 상호작용성은 거의 나타나지 않았다.

**주요어 :** 디지털교과서, 외적 표상, 다중 표상 학습, 2015 개정 교육과정

**학 번 :** 2018-27504

# 목 차

제 1 장 서론 .....	1
제 1 절 연구의 필요성 .....	1
제 2 절 연구 문제 .....	3
제 3 절 연구의 제한점 .....	3
제 4 절 용어의 정의 .....	4
제 2 장 이론적 배경 .....	5
제 1 절 다중 표상 학습 및 이와 관련된 인지 이론 ...	5
1. 다중 표상 학습 .....	5
2. 다중 표상 학습과 관련된 인지 이론의 고찰 .....	8
3. 다중 표상 학습에서 효과적인 외적 표상 제공 원리 ...	17
제 2 절 화학에서의 다중 표상 학습 .....	24
제 3 장 연구 방법 .....	31
제 1 절 분석 대상 .....	31
제 2 절 분석 기준 .....	31
제 3 절 분석 방법 .....	35
제 4 장 결과 및 논의 .....	36
제 1 절 외적 표상의 수준 .....	36
제 2 절 외적 표상의 양식 .....	37
제 3 절 외적 표상의 제시 방법 .....	40
1. 언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우 ·	40
2. 관계없는 외적 표상 .....	42

3. 근접성 .....	42
제 4 절 외적 표상의 상호작용성 .....	44
제 5 장 결론 및 제언 .....	46
참고문헌 .....	49
Abstract .....	57



## 표 목 차

[표 3-1] 외적 표상 분석 기준 .....	32
[표 4-1] 출판사별 외적 표상의 수준 .....	36
[표 4-2] 출판사별 외적 표상의 양식 .....	37
[표 4-3] 출판사별 외적 표상의 형태 .....	38
[표 4-4] 출판사별 외적 표상의 제시 방법 .....	40
[표 4-5] 출판사별 외적 표상의 근접성 .....	43
[표 4-6] 출판사별 외적 표상의 상호작용성 .....	44

## 그 립 목 차

[그림 2-1] 일반적인 외적 표상 .....	5
[그림 2-2] 다중 표상의 기능 .....	6
[그림 2-3] 정보 처리 과정 .....	12
[그림 2-4] 이중 부호화 과정 .....	13
[그림 2-5] 인지적 부담을 결정하는 요인 .....	14
[그림 2-6] 다중 표상 학습에 대한 인지 이론 .....	16

# 제 1 장 서론

## 제 1 절 연구의 필요성

외적 표상은 개념이나 현상을 직접 설명하는 글, 내레이션 등의 언어적 정보와 구체적으로 형상화한 그림, 동영상, 모형, 그래프 등의 시각적 정보를 의미한다(van Someren *et al.*, 1998). 외적 표상은 학생들에게 개념이나 현상에 대한 친근함을 제공하고 학생들의 과학적 사고 능력과 과학적 실행 능력을 증진시키는 역할을 한다(Ainsworth, 2006; Tsui & Treagust, 2013). 이때 다양한 외적 표상을 함께 제시하는 학습을 다중 표상 학습이라 한다. 외적 표상을 단독으로 제시하는 것보다 다양한 외적 표상을 함께 제시하는 것이 학생들이 학습 과제를 이해하도록 하는데 더욱 효과적인 것으로 알려져 있으며(Berthold & Renkl, 2009; van Someren *et al.*, 1998), 학생들은 각 외적 표상으로부터 서로 다른 정보를 얻음으로써 외적 표상에 대한 잘못된 이해를 방지하고 해당 지식을 심층적으로 이해할 수 있다(Ainsworth, 1999).

이에 언어적 정보와 시각적 정보의 적절한 제시 방법을 탐색하는 등 효과적인 다중 표상 학습을 모색하는 연구가 진행되었다. 학생들은 글로만 제시된 설명을 접했을 때보다 글과 그림이 함께 제시된 설명을 접했을 때 현상을 잘 이해하는 경향이 있었다(Mayer, 2001; Mayer & Moreno, 2002). 반면, 학습과 직접적으로 관련이 없는 정보를 여러 외적 표상들과 함께 제공하면 학생들의 주의가 분산되고(Mayer & Moreno, 1998; Seufert, 2003), 여러 외적 표상을 시간 간격을 두고 제공하면 먼저 제공한 정보를 유지하지 못하고 망각하여 학습이 방해되기도 하였다(Mayer & Anderson, 1992). 이처럼 구체적인 고려 없이 다중 표상 학습이 이루어질 경우 학습의 효과가 제한적으로 나타날 수 있으므로 외적 표상을 적절한 형태로 제시하여 효과적인 다중 표상 학습이 이루어지도록

록 할 필요가 있다.

학생들이 교수학습 과정에서 다양한 외적 표상을 접하는 일차적인 자료는 교과서이다. 교과서에 나타난 외적 표상들은 제시 방법이나 활용 방식에 따라 개념 형성에 도움을 줄 수 있으며, 반대로 학습의 방해 요인으로 작용할 수도 있다(강훈식 등 2008). 이에 국내에서는 서책형교과서에 제시된 외적 표상의 실태를 조사하는 연구가 일부 이루어지기도 하였으나(권이영 등, 2011; 김수정, 한재영, 2007; 김혜진 등, 2009; 노태희 등, 2007; 오민기, 정은영, 2019; 조광희 등, 2015), 주로 시각적 정보에 집중된 경향이 있었다. 다중 표상 학습의 관점에서 서책형교과서에 제시된 외적 표상의 실태를 분석한 연구로는 제7차 중학교 1학년 물질 단원을 분석한 강훈식 등(2007)과 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 물질 단원을 분석한 윤회정(2020)의 연구가 있다.

2009 개정 교육과정부터 본격적으로 개발된 디지털교과서는 서책형교과서를 기반으로 하여 다양한 멀티미디어 자료가 추가 및 변형되어 구성된 교과서로서, 미래의 교수학습 환경을 위한 유용한 도구로 기대된다. 이에 김노아 등(2018)은 서책형교과서와 디지털교과서의 물리 영역에 제시된 외적 표상의 특징을 탐색하였다. 그러나 5종의 디지털교과서 중 단 2종의 디지털교과서만을 분석하였고, 서책형교과서를 분석하는데 활용된 방법을 대부분 그대로 적용하여 청각적 정보의 활용이나 표상의 조작성을 분석하는 등 서책형교과서와 차별되는 디지털교과서의 특징에 대한 시사점을 제공하는 데 한계가 있었다.

한편, 물질의 입자성은 화학 개념을 설명하는 데 필요한 기초 개념으로 화학교육과정에서 중요하게 다루어진다(노태희 등, 2001; Harrison & Treagust, 2003; Merritt & Krajcik, 2013; Singer *et al.*, 2003). 하지만 학생들은 직관적이고 경험적 사고를 하는 경향이 있어 직접 관찰하기 어려운 추상적인 입자 개념을 이해하는 데 어려움을 겪는다(Singer *et al.*, 2003). 애니메이션과 같은 멀티미디어 자료는 학생들이 입자의 역동적인 과정을 이해하는 데 도움을 줄 수 있으므로(Falvo, 2008; Kozma & Russell, 2005), 이를 활용한 학습은 개념에 대한 심층적인 이해를 촉진

할 수 있을 것이다. 따라서 디지털교과서의 물질 영역에 제시된 외적 표상에 대한 논의는 물질의 입자성 학습을 위한 교과서의 효과적인 구성과 개선 방안을 탐색하는 데 유용한 정보를 제공할 것으로 기대된다.

이에 이 연구에서는 2015 개정 교육과정에서 물질의 입자성 개념이 최초로 도입되는 중학교 1학년을 대상으로 과학과 디지털교과서의 물질 단원에서 물질의 입자성을 설명하기 위해 제시된 외적 표상들의 활용 실태를 분석하였다.

## 제 2 절 연구 문제

이 연구에서는 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 과학과 디지털교과서의 화학 단원에서 물질의 입자성을 가르치기 위해 제시된 외적 표상들의 활용 실태를 분석하였다. 이 연구에서의 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 과학과 디지털교과서의 화학 단원에서 물질의 입자성을 가르치기 위해 제시된 외적 표상들의 형태 및 제시 방법을 분석한다.

## 제 3 절 연구의 제한점

이 연구는 다음과 같은 제한점을 가진다. 본 연구의 분석 대상은 중학교 1학년 과학과 디지털교과서의 화학 단원에 대해서만 연구하고 분석틀을 개발하였다. 따라서 목표 개념의 내용에 따라 분석 방법과 분석틀이 상이할 수 있으므로, 다른 과학 교과나 단위까지 일반화하여 해석하는 것에는 한계가 있다.

또한, 본 연구에서는 다중 표상 학습 관련 이론을 이용하여 분석틀을 개발하고, 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 과학과 디지털교과서의 화학 단원에 제시된 외적 표상을 분석하였다. 이는 교과서에 제시

된 외적 표상을 분석하는 것이므로, 실제로 학습자들이 외적표상 자료를 해석하는 과정이나 순서와 다를 가능성이 있다.

## 제 4 절 용어의 정의

이 연구에서 사용된 주요 용어는 다음과 같이 정의하였다.

### 1. 외적 표상(external representation)

특정 현상이나 개념 등을 설명하기 위해 제공되는 언어, 공식, 그림, 애니메이션, 표, 그래프, 다이어그램, 시범실험 등과 같은 정보를 의미한다. 문제 진술 및 학습 진행을 위해 제공된 정보는 특정 현상이나 개념을 직접적으로 설명하지 않으므로 외적 표상에 포함되지 않는다.

### 2. 다중 표상 학습(learning with multiple representations)

선행 연구에서는 2개 이상의 외적 표상들을 제공하는 학습을 다중 표상 학습이라 정의하고 있으며, 이때, 외적 표상들을 제공하는 순서는 상관없다(Ainsworth, 1999; Mayer, 2003; Veronikas & Shaughnessy, 2005). 이에 본 논문에서도 2개 이상의 외적 표상들을 동시에 또는 시간적 간격을 두고 제공하는 학습을 다중 표상 학습이라 정의한다.

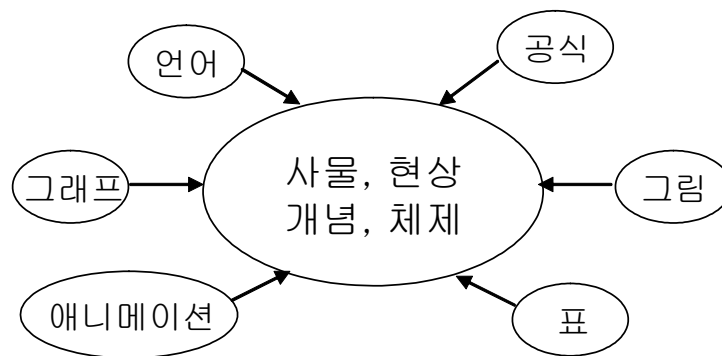
## 제 2 장 이론적 배경

### 제 1 절 다중 표상 학습 및 이와 관련된 인지 이론

#### 1. 다중 표상 학습

##### 1) 다중 표상 학습의 정의

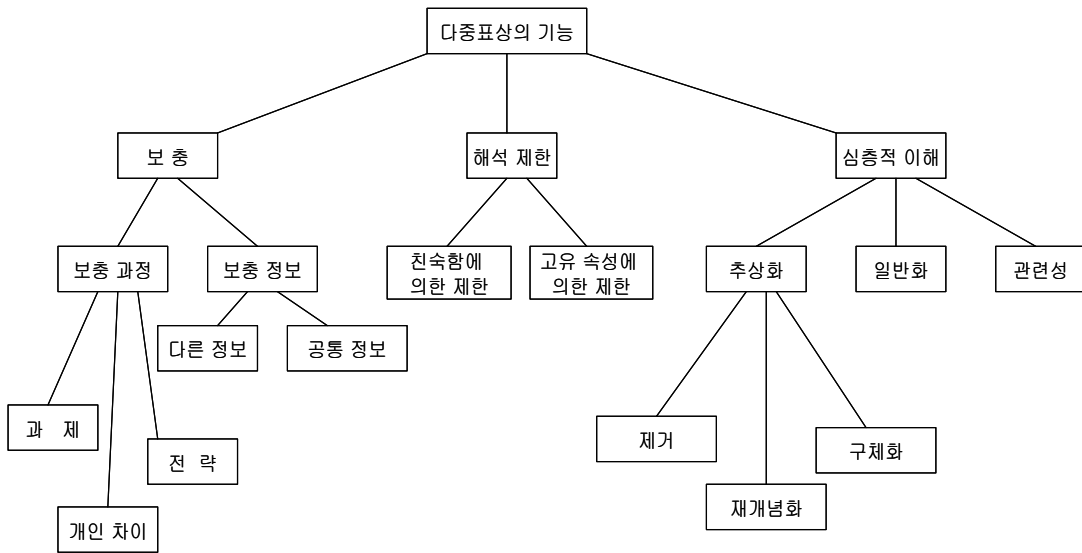
교사는 학생들에게 사물이나 현상 또는 개념이나 체계를 설명하기 위해 글, 공식, 그림, 애니메이션, 표, 그래프, 다이어그램, 실험 등과 같은 다양한 외적 표상들을 사용한다. 그리고 대개의 경우 하나의 외적 표상만 제공하는 것보다 여러 외적 표상들을 함께 제공하는 것이 학생들이 학습 과제를 이해하게 하는데 더 효과적이다(van Someren *et al.*, 1998). 이에 최근에는 특정 개념이나 현상에 대한 학생들의 이해를 돕기 위해서는 학생들에게 그 개념이나 현상에 대한 정보를 포함하고 있는 여러 외적 표상들을 함께 제공해야 한다고 주장되고 있다. 이처럼 여러 외적 표상들을 함께 제공하는 학습을 ‘다중 표상 학습’이라고 한다.



[그림 2-1] 일반적인 외적 표상

## 2) 다중 표상의 기능

일부 연구자들은 다중 표상의 기능에 대해 언급하였다. Ainsworth(1999)은 다중 표상이 보충, 해석 제한, 심층적 이해라는 세 가지 측면의 기능을 가지고 있다고 하였다. 보충의 기능은 각 외적 표상들이 서로 다른 정보를 제공하고 인지 과정을 유도하므로 다중 표상을 활용함으로써 각 외적 표상을 단독으로 사용했을 때의 제한점을 보완해 줄 수 있다는 것이다. 해석 제한의 기능은 특정 외적 표상에 대한 잘못된 해석을 방지하기 위해 친숙한 외적 표상을 사용하거나 다른 외적 표상의 고유 속성을 이용하도록 함으로써 추상적인 개념에 대한 이해를 도울 수 있다는 것이다. 심층적 이해의 기능은 다중 표상의 사용을 통해 복잡한 지식을 새로운 방법으로 생각해보고 더 효과적으로 적용할 수 있도록 함으로써 그 지식을 심층적으로 이해할 수 있게 해준다는 것이다.



[그림 2-2] 다중 표상의 기능(Ainsworth, 1999)

또한, de Jong 등(1998)은 다중 표상을 학습에 활용해야 하는 이유를 다음과 같이 세 가지로 설명하였다. 첫째, 특정 정보는 특정한 외적 표상

방법에 의해 가장 잘 표현될 수 있으므로 학생들이 다양한 정보를 포함하고 있는 학습 자료를 효과적으로 이해하도록 하기 위해서는 여러 외적 표상들을 동시에 제공하는 것이 필요하다. 한 예로, 어떤 개념에 대한 언어적 정보는 서술적 표상(propositional representation)을 제공하므로 학생들이 특정 개념에 대해 가지고 있는 초기 정신 모형을 조절할 수 있는 여지를 준다. 정화상은 특정 개념의 정적인 속성에 대한 더 많은 심상(mental image)을 전달하므로 초기 정신 모형으로 인한 잘못된 해석을 방지한다. 애니메이션과 동영상 정보는 특정 개념의 역동성에 대한 정보를 포함하므로 학생들이 동적 정신 모형을 형성하도록 해준다.

둘째, 다중 표상을 학습에 활용함으로써 지식을 보다 융통성 있게 할 수 있다. 인지 융통성 이론(cognitive flexibility theory; Spiro & Jehng, 1990)에 의하면 학생들이 주어진 과제를 성공적으로 해결하기 위해서는 다양한 외적 표상들을 사용해야 하고, 과제를 해결하는데 가장 적합한 외적 표상들을 선택하는 능력이 있어야 하며, 다양한 외적 표상들을 성공적으로 조화시킬 수 있어야 한다. 즉, 학생들이 새로운 문제 상황을 해결하기 위해서는 자신의 지식을 창조적으로 재구성할 수 있는 능력을 개발해야 한다. 따라서 학습 환경은 사전 지식의 적용보다는 특정 문제 상황에서 요구하는 다양한 지식 구조를 적절하게 수집하고 활용하는 능력을 기를 수 있도록 조성되어야 한다. 그리고 학생들이 여러 외적 표상들 사이의 차이점을 탐색할 수 있도록 하기 위해 지식의 다양한 측면이 여러 외적 표상들로 표현되어야 한다.

셋째, 외적 표상들의 제공 순서가 학습 과정을 촉진할 수 있다. 예를 들어, 공식보다는 그 바탕에 있는 개념이 강조되는 정성적 모델(qualitative model)을 제공한 후 공식과 같은 정량적 모델(quantitative model)을 제공하는 것이 그 반대의 경우보다 일반적으로 효과적이나, 정량적 모델이 복잡할 경우에는 이 순서로 제공하는 것이 효과적이지 않을 수 있다. 이와 같은 다중 표상의 기능으로 인해 최근에는 여러 학문 분야에서 다중 표상 학습의 필요성이 부각되고 있으며, 실제로도 많이 활용되고 있는 추세이다(Seufert, 2003; van Someren *et al.*, 1998).



## 2. 다중 표상 학습과 관련된 인지 이론의 고찰

### 1) 다중지능 이론

Gardner(1983, 1993)는 인간의 지적 행동에 중요한 영향을 주는 요소가 언어적 지능과 논리-수학적 지능이라고 보는 기존의 관점을 비판하면서 이 지능뿐만 아니라 심리적 상태나 사회적 측면 등도 함께 고려하는 다중지능(multiple intelligence) 이론을 제안하였다. 그리고 여덟 가지 준거, 즉 ① 특정 능력은 뇌의 특정 부위와 관련되어야 한다, ② 특정 능력에는 최고와 최저의 발달 수준이 있어야 한다, ③ 특정 능력은 각자의 정보 처리 기제가 있어야 한다, ④ 특정 능력은 그 능력만이 요구되는 특정한 과제가 있어야 한다, ⑤ 특정 능력은 독립적인 하나의 지능으로서 다른 지능과 구별되어야 한다, ⑥ 특정 능력은 누구나 겪는 발달 과정이 있어야 한다, ⑦ 특정 능력은 진화적인 특성을 가지고 있어야 한다, ⑧ 특정 능력은 관련 상징체계를 가지고 있어야 한다는 준거를 바탕으로 인간의 지적 활동을 서로 독립적인 여덟 가지 분야로 나누고 각 분야에 해당하는 여덟 가지의 지능을 제시하였다.

첫째, 언어적 지능(linguistic intelligence)은 음운, 어문, 의미 등의 복합적인 요소로 구성되어 있는 말이나 글과 같은 여러 상징체계를 빠르게 배우고 효과적으로 사용하는 능력을 의미하며, 주로 뇌의 좌측두엽, 좌전두엽에 의해 통제받는다. 이 지능을 활용하는 교수-학습 방법에는 토의하기, 설명하기, 이야기를 쓰거나 말하기, 발표하기, 시 또는 일기 쓰기, 어휘 학습하기 등이 포함된다.

둘째, 논리-수학적 지능(logical-mathematical intelligence)은 숫자나 규칙, 명제 등의 상징체계를 효과적으로 사용하는 능력과 추론을 잘하는 능력을 의미하며, 이 지능에는 논리-수학적 기억력, 논리-수학적 창의성, 탐구 능력과 산수 능력, 추상적 사고 능력 등이 포함된다. 일반적으로 숫자 관계나 개념을 이해하는 수능력은 우반구에서, 수학의 부호를 읽고 만드는 능력은 좌반구에서 통제한다고 하지만, 논리-수학적 지능은 많은

수의 신경 기관에서 통제한다. 이 지능을 활용하는 교수-학습 방법에는 숫자 계산하기, 정보들을 분류하고 범주화하기, 측정하기, 결론 도출하기, 비교·대조하기, 흐름도 작성하기 등이 포함된다.

셋째, 공간적 지능(spatial intelligence)은 도형, 그림, 지도, 입체 설계 등의 공간적인 상징체계를 이해하고 효과적으로 사용·창조하는 능력을 의미하며, 이 지능에는 공간적 기억력, 공간적 창의성, 시각 능력, 시각적 기억력, 시각적 상상력 등이 조합되어 있다. 추상적인 것을 구체화하는 시각화 능력이나 자신을 특정 공간상에 적절하게 위치시키는 능력 등도 이 지능에 포함된다. 공간적 지능은 주로 우반구의 후두엽 부분이 관장하나 좌반구 후두엽의 손상도 공간적 문제를 해결하는데 장애가 될 수 있다. 이 지능을 활용하는 교수-학습 방법에는 학습 내용을 그림, 그래프, 다이어그램 또는 심상으로 그려보기, 사물이나 생각을 시각적 이미지로 나타내기, 마인드 맵 작성하기, 개념도 작성하기, 지도 사용하기 등이 포함된다.

넷째, 신체-운동감각적 지능(bodily-kinesthetic intelligence)은 몸 전체를 사용해서 생각과 느낌을 표현하거나 손을 사용하여 사물을 만들어 내고 변형시키는 능력을 의미하며, 자극에 대한 감수성, 손재주, 힘, 유연함, 촉각적 능력 등의 신체적 기술과 관련이 있다. 대뇌피질, 시신경, 기초 신경절, 소뇌가 이 지능을 통제하며, 이 지능을 활용하는 교수-학습 방법에는 실험하기, 모형 만들기, 신체 동작으로 표현하기, 역할놀이, 컴퓨터 사용하기 등이 포함된다.

다섯째, 대인간 지능(interpersonal intelligence)은 다른 사람의 기분, 의도, 동기, 감정 등을 지각하고 분별하며, 대인 관계에서 발생하는 문제를 해결하는 능력을 의미한다. 이 지능에는 각 개인들의 차이점, 얼굴 표정, 목소리, 몸짓에 관한 민감성과 다른 사람의 기분, 감정, 의도를 알아낼 수 있는 단서들을 구분하는 능력, 그리고 그 단서들에 효과적으로 반응하는 능력이 포함된다. 대인간 지능과 관련된 뇌 영역은 전두엽과 측두엽, 변연계로 알려져 있으며, 이 지능을 활용하는 교수-학습 방법에는 소집단 학습이나 협동 학습의 수행과 발표하기, 협동 프로젝트 수행하기,

동료에게 설명 요청하기 등이 있다.

여섯째, 개인내 지능(intrapersonal intelligence)은 자기 자신을 객관적이고 심층적으로 이해하고 자신과 관련된 문제들을 해결하는 능력을 의미하며, 자기 내면의 기분, 의도, 동기, 욕구 등에 대한 이해 능력, 자기 통제와 관리 능력을 유지하는 의지와 능력 등이 이에 포함된다. 전두엽, 두정엽, 변연계가 이 지능과 밀접한 관련이 있으며, 이 지능을 활용하는 교수-학습 방법에는 새로운 정보를 학습하고 사용하는 목적 설정하기, 자신의 사고와 학습에 대해 반성하기, 학습 경험을 스스로 결정할 수 있는 기회 제공하기 등이 포함된다.

일곱째, 음악적 지능(musical intelligence)은 리듬, 소리, 가락 등의 음악적 상징체계를 지각, 변별, 변형, 표현하는 능력을 의미하며, 음악적 기억력, 음악적 창의성, 음악적 청음 등이 이 지능의 요소들이다. 이 지능은 공간적 지능, 과학 및 수학적 사고와 관련성이 있는 것으로 알려지고 있으며, 우반구의 영향을 받는다. 이 지능을 활용하는 교수-학습 방법에는 학습 내용과 관련된 노래하기, 음악과 관련된 과학적 실험하기, 리듬을 이용하여 기억하기, 노래, 랩, 음악 이야기 듣기, 배경 음악을 통한 학습 정보의 효과적인 전달 및 기억에 도움을 주는 초기억 음악(super memory music) 등이 포함된다.

여덟째, 자연주의적 지능(naturalist intelligence)은 식물, 광물, 동물 등의 자연물 또는 건물, 컴퓨터 등의 문화적 산물이나 인공물을 분류하고 인식하는 능력을 의미하며, 좌측 두정엽에서 이 지능을 통제한다. 이 지능을 활용하는 교수-학습 방법에는 수업 자료나 내용에서 차이점이나 공통점, 특징을 발견하기, 새로운 학습 내용을 적용하여 자연 현상 이해하기, 주변에서 패턴 탐색하기 등이 포함된다.

이외에도 Gardner는 최근 다중지능 이론에 인간의 존재 이유, 삶과 죽음의 문제, 희로애락, 인간의 본성, 가치 등과 같이 철학적인, 어떤 의미에서는 상당히 종교적인 사고를 할 수 있는 능력인 실존주의적 지능(existentialist intelligence)을 추가하였다. 이 지능은 뇌에 관련된 부위가 없을 뿐 아니라 아동기에는 이 지능이 거의 나타나지 않기 때문에

Gardner는 이 지능을 다른 8가지 지능과 달리 반쪽 지능으로 간주하였다.

다중지능 이론은 학습은 본질적으로 뇌기능에 의해 이루어지므로 동일한 교사의 지도 하에 동일한 정보를 제공받음에도 학생들은 개인마다 자신의 사전 경험이나 지식, 지적 발달 정도 등 다양한 변인에 따라 고유한 방식으로 정보를 수용하고 처리한다는 신경생리학과 구성주의적 입장에서 이해될 수 있다. 즉, 다중지능 이론은 모든 학생은 최소한 하나의 우수한 지능을 갖고 있으며, 이 지능을 활용할 수 있는 학습 환경을 조성하면 학생들의 학습을 촉진할 수 있다는 교육 철학과 믿음을 갖고 있다(Gardner, 1999). 학생들마다 우수한 지능이 다를 수 있으므로, 학생 개개인의 우수한 지능에 맞는 학습 자료와 활동을 제공하는 것이 바람직하다는 것이다.

이런 점에서 볼 때, 다중지능 이론은 2개 이상의 외적 표상들을 제공하는 다중 표상 학습의 효과와도 관련이 있다. 즉, 하나의 외적 표상만을 제공하는 수업에서는 그 외적 표상을 처리하는데 요구되는 능력이 부족하여 성공하지 못하는 학생들이 다중 표상 학습에서는 다양한 외적 표상들 중에서 자신이 효과적으로 처리할 수 있는 외적 표상들을 선택·처리함으로써 학습 내용을 잘 이해할 수 있을 것이다.

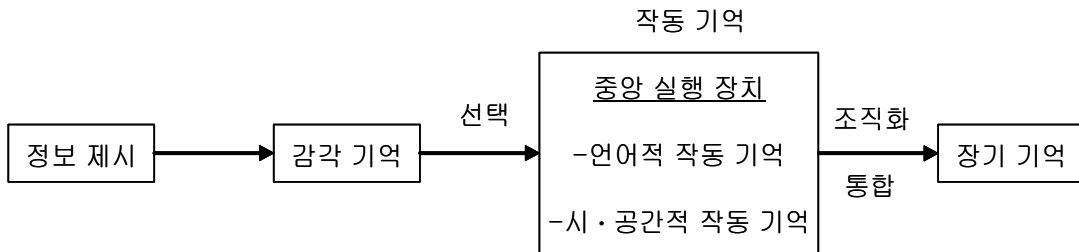
## 2) 이중 부호화 이론

정보 처리 이론에 의하면 학생들의 기억은 환경으로부터 다양한 자극을 주의집중과 재인식을 통해 받아들이는 '감각 기억(sensory memory)', 환경으로부터 선택되었거나 장기 기억으로부터 인출된 정보를 처리하는 '작동 기억(working memory)', 정보를 유의미한 형태로 부호화(encoding)하여 저장하는 '장기 기억(long term memory)'으로 구성된다.

작동 기억은 감각 기억으로 들어온 정보를 처리하기 위해 매순간 사용하는 기억이다. 학생들은 자신의 인지 활동에는 모두 작동 기억을 사용한다. 또한, 작동 기억만이 학생들이 통제할 수 있는 기억이며, 내용

(content)이나 기능(function)과 같은 다른 모든 것들은 작동 기억에 들어올 때까지 감춰져 있게 된다. 반면, 장기 기억은 지식과 기술의 저장고이며, 현재는 사용하지 않으나 정보를 이해하기 위해 필요한 기억에서의 모든 것을 포함한다. 대부분의 인지 과학자들은 장기 기억의 저장 용량이 무한하고, 학생들이 배운 모든 것을 영구적으로 저장한다고 믿고 있다. 학생들은 장기 기억을 직접적으로 인지하지 못하며, 인식 가능한 작동 기억을 통해 장기 기억의 구성 요소와 기능을 인지할 수 있다.

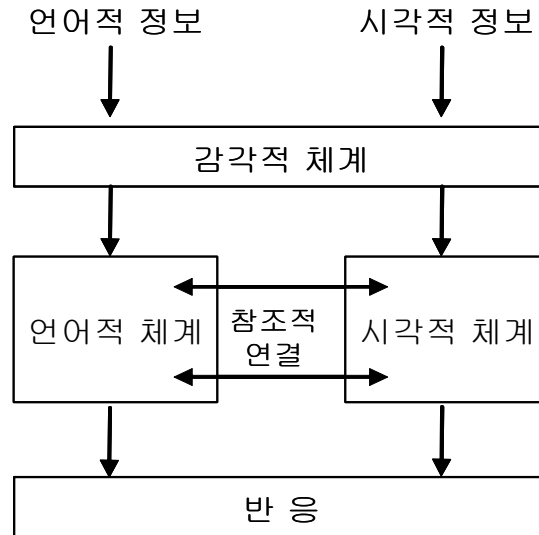
Baddeley(1986)는 정보가 학생들의 기억 체계에서 처리되는 과정을 도식화하였다. 제공된 정보는 우선 학생들의 감각 기억에 의해 받아들여지고, 선택된 정보들은 작동 기억으로 옮겨지게 된다. 작동 기억은 중앙 실행 장치에 의해 조정되는 언어적 작동 기억과 시·공간적 작동 기억으로 구성되어 있으며, 작동 기억으로 옮겨진 여러 정보들은 조직화·통합되어 최종적으로 장기 기억으로 전이된다.



[그림 2-3] 정보 처리 과정(Baddeley, 1986)

작동 기억 속에 저장되는 정보의 형태에 대해서는 이견이 존재하나 일반적으로 인정되는 이론 중 하나로 '이중 부호화 이론(dual coding theory; Paivio, 1986)'을 들 수 있다. 이 이론에 의하면 학생들의 작동 기억은 '시각적 체계(visual system)'와 '언어적 체계(verbal system)'로 구성되어 있는데, 두 체계에 통합된 정보, 즉 이중으로 부호화된(dually coded) 정보가 더 잘 기억된다. 이 이론에 따르면, 학생들의 감각 기관을 통해 받아들여진 언어적 정보와 시각적 정보는 각각 언어적 체계와 시각

적 체계에 의해 조직화된다. 그리고 조직화된 정보들이 서로 참조적 연결(referential connection)을 하여 반응으로 산출된다..



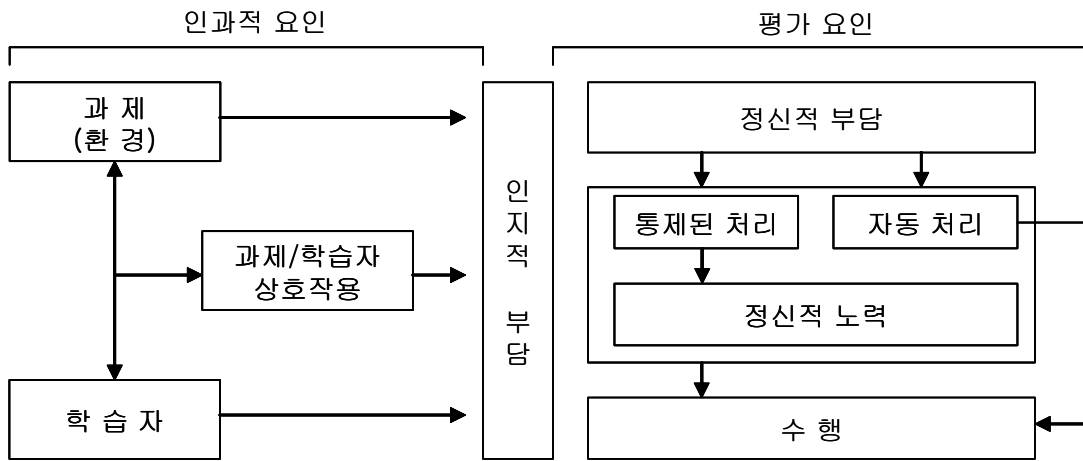
[그림 2-4] 이중 부호화 과정  
(Paivio, 1986)

### 3) 인지적 부담 이론

인간의 작동 기억은 약 7개 항목 또는 요소만을 저장할 수 있으나 입력된 정보를 조직화하고 통합하는 데에도 작동 기억이 사용되므로, 실제로는 한번에 2~4개 정도의 요소만을 처리할 수 있다. 또한, 반복 학습을 하지 않으면 인간은 모든 정보들을 단지 몇 초 동안만 다룰 수 있고 20 초 정도 후에는 잊어버리게 된다(Baddeley, 1998; van Merriënboer & Sweller, 2005). 따라서 작동 기억 내에서 처리할 수 있는 양보다 많은 양의 정보가 학생들에게 제공되면, 학생들의 작동 기억 용량에 인지적 부담(cognitive load)이 생기게 되어 학습 효과가 떨어지게 된다. 이런 인지적 부담 현상을 Kalyuga 등(1998)은 '과잉 효과(redundancy effect)'라고 하였다.

Paas와 van Merriënboer(1993)는 인과적 요인(causal factors)과 평가 요인(assessment factors)이 인지적 부담에 영향을 준다고 하였다. 인과

적 요인은 학생들의 특성(인지적 능력 등), 과제(과제 복잡성 등), 환경(소음 등), 그리고 이들 간의 상호작용이 될 수 있다. 평가 요인은 인지적 부담의 3가지 측정 가능한 차원(dimensions), 즉, 정신적 부담(mental load), 정신적 노력(mental effort), 수행(performance)을 포함한다. 정신적 부담은 과제나 환경적 요구에 의해 외적으로 부과되는 인지적 부담의 일부이다. 정신적 노력은 실제로 과제에 할당된 인지적 용량을 의미한다. 수행은 정신적 부담, 정신적 노력, 앞서 말한 인과적 요소들이 반영된 결과이다.



[그림 2-5] 인지적 부담을 결정하는 요인  
(Paas & van Merriënboer, 1993)

인지적 부담은 학습 자료의 본질적인 특성에 의한 '본질적 인지적 부담(intrinsic cognitive load)', 그 자료가 제공되는 방법에 의한 '외부적 인지적 부담(extraneous cognitive load)', 장기 기억으로의 스키마 구성 및 저장을 위해 요구되는 '관련 인지적 부담(germane cognitive load)'으로 구분될 수 있다. 그리고 본질적 인지적 부담은 다른 상황이 관여되지 않는 한 교수 설계에 의해 변하지 않으나 외부적 인지적 부담과 관련 인지적 부담은 교수 설계에 의해 감소될 수 있다(Sweller, 1994). 또한, 전체 인지적 부담의 양이 정해져 있다면, 외부적 인지적 부담을 감소시키

고 관련 인지적 부담을 증가시키는 교수 설계가 바람직하다(van Merriënboer, *et al.*, 2002). 그러나 아직 두 인지적 부담을 구별 지을 수 있게 해주는 실험적 증거나 기술은 없으며, 단지 전체 인지적 부담이 무엇이고, 이것이 어떻게 영향을 받는지만을 결정할 수 있다(Kirschner, 2002; van Merriënboer *et al.*, 2002).

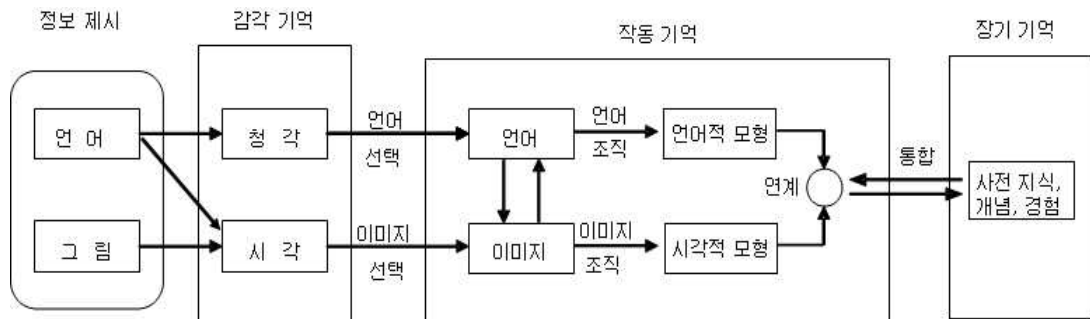
최근에는 기존의 인지적 부담 이론에서는 학습 과정 동안에 일어나는 조정 활동이 간과되었다는 점을 지적하면서, 인지적 부담 이론에서 조정 활동의 중요성을 강조하는 연구자들이 늘어나고 있다(Valcke, 2002; van Merriënboer *et al.*, 2002; van Merriënboer & Sweller, 2005). Valcke(2002)는 정보를 처리하는 인지 과정, 즉 감각 기관을 통해 들어온 정보를 작동 기억으로 선택하고 조직화하는 과정, 장기 기억과 작동 기억으로 자유롭게 스키마를 저장하고 수정하는 과정, 결과물을 조직화하는 과정을 조절하고 통제하는 활동이 그 인지 과정에 영향을 준다고 주장하였다. 그리고 조절, 통제 활동을 수행하는 과정에서 생기는 인지적 부담을 ‘메타인지적 부담(meta-cognitive load)’이라고 함으로써 기존 인지적 부담 이론을 확장하였다. 이처럼 학생들은 스키마를 구성하고 저장하는 활동뿐만 아니라 이 활동을 조정하는데 인지적 노력을 들이므로, 학생들이 자신의 정보 처리 과정과 전략에 대해 반성적으로 사고하도록 하는 학습 환경을 조성해줄 필요가 있다. 한 예로, van Merriënboer 등(2002)은 일련의 실험 연구를 통해 학생들이 문제 유형을 결정하도록 함으로써 메타인지적 부담과 정신적 노력을 유발하는 학습 과정을 더 잘 조정할 수 있다고 하였다.

#### 4) 다중 표상 학습 이론

Mayer(2001, 2003)는 이중 부호화 가정(dual channel assumption), 제한된 인지 용량 가정(limited capacity assumption), 적극적인 학습 가정(active learning assumption)을 토대로 ‘멀티미디어를 활용하는 다중 표상 학습에 대한 인지 이론(cognitive theory of multimedia learning)’을



제안하였다. 이중 부호화 가정은 학생들이 언어적 정보와 시각적 정보를 처리하기 위한 분리된 체계를 가지고 있다는 것이다. 즉, 그림이나 애니메이션 등의 시각적 정보는 시각적 채널에서 처리되고, 말이나 글 등의 언어적 정보는 언어적 채널에서 처리된다. 제한된 인지 용량 가정은 각 정보 처리 채널에서 처리할 수 있는 정보의 양이 제한되어 있다는 것이다. 예를 들어, 학생들은 한번에 단지 약 해설 한 문장과 애니메이션 10초 정도를 내적으로 활성화시킬 수 있다. 적극적인 학습 가정은 학생들이 자신의 인지 활동을 조절함으로써 지식을 능동적으로 구성한다는 구성주의에 기초한 것이다. 이 가정에 의하면 유의미한 학습이 일어나기 위해서는 학생들이 언어적 정보와 시각적 정보에 집중하고, 이 정보들을 내적 언어적/시각적 표상으로 조직화하고, 이 내적 표상들 간 또는 이 내적 표상들과 사전 지식, 개념, 경험 등을 통합하는 과정과 같은 적극적인 인지 처리 과정에 참여해야만 한다는 가정이다.



[그림 2-6] 멀티미디어를 활용하는  
다중 표상 학습에 대한 인지 이론(Mayer, 2003)

이 이론에 의하면, 눈과 귀를 통해 받아들인 언어적 정보와 시각적 정보는 학생들의 청각 기억과 시각 기억에 입력된다. 그리고 학생들은 입력된 정보를 작동 기억 내에서 처리하기 위해 언어적 정보의 일부를 선택하여 ‘언어적 표상’으로 전환하고 시각적 정보의 일부를 선택하여 ‘시각적 표상’으로 전환한다. 이때, 시각적 정보의 일부는 언어적 표상으로, 언어적 정보의 일부는 시각적 표상으로 전환되기도 한다. 이런 과정을

‘선택(selecting)’ 과정이라고 하며, 선택 과정을 통해 형성된 언어적 표상과 시각적 표상은 각각 ‘언어적 모형(verbal model)’과 ‘시각적 모형(pictorial model)’을 형성하는 ‘조직화(organizing)’ 과정과 언어적 모형과 시각적 모형을 장기 기억 내의 사전 지식, 개념, 경험과 연결하는 ‘통합(integrating)’ 과정을 거친다. 사전 지식, 개념, 경험은 선택, 조직화 과정에 영향을 미치기도 한다. 또한, 선택, 조직화, 통합의 과정들은 반드시 순차적으로 일어나는 것이 아니라 반복적으로 일어나며, 학습 결과는 앞으로의 사용을 위해 장기 기억 속에 저장된다. 즉, 다중 표상 학습 과정에서는 이중의 정보 조직화와 전이가 이루어지고 나중에 서로 연계되고 사전 지식, 개념, 경험과 통합되는 정보 처리 과정을 거치게 된다.

이 이론에 기초하여 Mayer와 Moreno(2002)는 학생들이 다양한 외적 표상들을 선택할 수 있는 기회를 가지는 환경과 같이 학생들이 학습 환경을 통제할 수 있는 환경에서 학습이 보다 효과적일 수 있다고 하였다. 또한, 학습 환경이 다중 표상과 전형적인 구성주의 이론에 기초할 때 학습이 효과적이라고 강조하였다.

### 3. 다중 표상 학습에서 효과적인 외적 표상 제공 원리의 탐색

#### 1) 다중 표상 활용 원리

정보를 전달할 때 가장 기본이 되는 기호 체계는 글이나 내레이션과 같은 언어이다. Mayer(2001)는 다중 표상 학습에 대한 가장 기본 원리로 외적 표상을 제시할 때 언어적 정보만 제시하는 것보다 이에 상응하는 그림이나 애니메이션과 같은 시각비언어 정보를 함께 제시하는 것이 학습에 더 효과적이라는 ‘다중 표상 활용 원리’를 제시하였다.

‘다중 표상 활용 원리’는 인지 이론으로 설명될 수 있다(Moreno & Mayer, 2002). 외적 표상을 언어적 정보로만 제공했을 때, 학생들은 언어 처리 경로를 통한 언어적 내적 표상을 주로 만들고 시각적 내적 표상은 잘 형성되지 않는다. 이에 따라 학습 내용을 다른 지식과 연결하기

어렵고 피상적인 학습에 머무르게 된다. 반면, 언어적 정보와 이를 설명하는 그래픽을 같이 제시했을 때, 학생들은 언어 처리 경로와 시각 처리 경로를 모두 사용하므로 언어적 내적 표상과 시각적 내적 표상을 적극적으로 연계하고 통합하여 유의미한 학습을 이룰 수 있다.

이를 뒷받침하는 증거로서 많은 비교 연구에서 언어적 정보로만 제시된 내용을 학습한 학생들보다 그림이나 애니메이션과 같은 그래픽이 함께 제시된 내용을 학습한 학생들이 높은 학업 수행능력을 보였다. 자전 거펄프의 작동 원리에 대해 글만 제시한 경우와 글과 그림을 함께 제시한 경우를 비교했을 때, 글과 그림을 함께 제시받은 학생들이 문제 해결 전이 검사에서 더 향상된 결과를 보였다(Mayer, 1989; Mayer & Gallini, 1990). 또한, 정수의 사칙 연산을 설명하기 위해 글만 제시한 경우와 글과 애니메이션을 함께 제시한 경우를 비교했을 때, 애니메이션이 함께 제시되었을 때의 학업 성취도가 더 높았다(Moreno & Mayer, 1999). 마찬가지로 자동차 브레이크의 작동 원리에 대해 내레이션만 제공한 경우와 내레이션과 애니메이션을 함께 제공한 경우를 비교했을 때, 애니메이션이 함께 제시된 경우가 학습에 더 효과적이었다(Mayer & Anderson, 1991; Mayer & Anderson, 1992).

## 2) 다중 양식 원리

'다중 양식 원리'에 따르면 언어적 정보와 이를 설명하는 시각비언어 정보를 함께 제시할 때, 언어적 정보를 글과 같은 시각 양식보다 내레이션과 같은 청각 양식으로 제시하는 것이 학습에 효과적이다(Mayer, 2001).

인지 이론에 따르면 작동 기억 내 각 정보 처리 경로의 처리 용량은 한정적이다. 따라서 시각비언어 정보를 시각 양식의 언어적 정보와 함께 제시했을 때, 작동 기억 내 시각 처리 경로에서 두 가지 정보를 모두 처리하는 데 인지적 부담이 높아지게 된다. 이때 언어적 정보를 시각 양식 대신 청각 양식으로 제시하면 각 정보를 청각 처리 경로와 시각 처리 경

로로 분산하여 인지적 부담을 줄일 수 있다.

Moreno와 Mayer(1999)는 번개 형성 단계를 묘사한 애니메이션을 제시할 때 언어적 정보를 글로 제시한 경우와 내레이션으로 제시한 경우의 효과를 비교하였다. 그 결과, 동일한 학습 내용에 대해서 애니메이션과 글을 제시받은 학생들보다 애니메이션과 내레이션을 제시받은 학생들이 문제 해결 전이 검사에서 더 높은 성취도를 나타냈다.

단, 다중 양식 원리는 모든 상황에 적용되는 것은 아니다(Clark & Mayer, 2008). 우선 언어적 정보와 시각비언어 정보, 즉 언어와 그래픽을 동시에 제시하는 상황에서만 적용 가능하며, 청각 양식의 외적 표상을 제시할 수 있는 기술적 환경이 필요하다. 또한, 언어적 정보의 양이 매우 많거나 복잡할 때 학습자의 기억을 돕기 위해서 주요 용어, 공식 등의 시각언어 표상이 지속적으로 남아 있을 수 있다.

### 3) 중복 회피 원리

'중복 회피 원리'는 그래픽과 내레이션을 함께 제시할 때 내레이션에 제시된 언어적 정보를 글로 중복적으로 제시하는 것을 피하라는 원리이다.(Mayer, 2001). 이는 다중 양식 원리와 그 이유가 같은데, 글과 그래픽을 동시에 처리해야 하는 시각 처리 경로의 인지 부담이 높아지기 때문이다. 이러한 시각 처리 경로의 과부하는 그래픽에 제시된 정보를 내적 표상으로 조직하고 다른 언어적 정보와 유의미하게 연계하는 데 방해가 될 수 있다.

### 4) 근접성 원리

또한, 언어적 정보와 시각적 정보를 함께 제공할 경우에도 공간적, 시간적 요소를 고려하여 제공함으로써 학습 효과를 더욱 증진시킬 수 있다. 이에 언어적 정보와 시각적 정보를 함께 제공할 때 고려해야 할 중요한 원리로, 공간적 근접성 원리와 시간적 동시성 원리에 대해 설명하

고자 한다.

‘공간적 근접성 원리(spatial contiguity principle)’는 다중 표상 학습에서 언어적 정보와 시각적 정보가 공간적으로 서로 가까이 제공될 때 효과적인 학습이 일어난다는 것으로, 이 원리는 다중 표상 학습에 대한 인지 이론으로 설명될 수 있다(Mayer, 2003; Veronikas & Shaughnessy, 2005). 즉, 언어적 정보와 시각적 정보가 서로 가까이 제공될 때 학생들은 관련이 있는 정보를 찾는 탐색 과정을 별로 거치지 않고 정보를 쉽게 처리할 수 있다. 또한, 두 정보들을 보다 쉽게 작동 기억 내에 유지함으로써 언어적 모형과 시각적 모형을 보다 쉽게 통합할 수 있다.

Mayer 등(1995)은 번개 발생 원리에 대한 글과 그림을 같은 쪽에 제공하는 경우와 다른 쪽에 제공하는 경우의 효과를 비교하였다. 그 결과, 다른 쪽보다 같은 쪽에 제공한 집단의 학생들이 문제 해결 전이 검사에서 더 높은 점수를 나타냈다. Moreno와 Mayer(1999)의 연구에서도 글과 애니메이션을 함께 제공할 때, 글을 애니메이션이 진행되고 있는 부분의 가까이에 제공한 경우가 애니메이션의 진행부와 멀리 떨어져 있는 화면의 하단부에 제공한 경우보다 학습에 더 효과적이었다. Mayer(1999)는 그림 안에 글을 삽입하여 제공한 경우와 그림 밖에 글을 분리하여 제공한 경우의 효과를 비교하였는데, 그림 안에 글을 삽입하여 제공한 경우가 문제 해결 전이 능력의 향상에 더 효과적이었다.

‘시간적 동시성 원리(temporal contiguity principle)’는 다중 표상 학습에서 언어적 정보와 시각적 정보가 시간적 간격을 두고 연속적으로 제공되는 것보다 두 정보를 동시에 제공하는 것이 이 정보들 간의 연계와 통합을 더 쉽게 해준다는 것이다(Mayer & Moreno, 2002; Veronikas & Shaughnessy, 2005). 학생들이 작동 기억 내에서 정보를 기억하고 유지할 수 있는 정보의 양은 제한되어 있다. 따라서 정보들이 동시에 제공되지 않고 시간 간격을 두고 제공되면 학생들은 먼저 제공된 정보를 작동 기억 내에 오랫동안 유지하지 못하게 된다. 즉, 언어적 정보가 먼저 제공된 후에 시각적 정보가 제공되면 학생들은 시각적 정보가 제공될 때까지 언어적 정보를 모두 기억하지 못하고 일부를 망각하게 되어, 결국 학습

효과가 감소하게 된다.

시간적 동시성 원리를 조사한 선행 연구들(오선아, 2002; Mayer & Anderson, 1991, 1992; Mayer & Moreno, 1998; Mayer & Sims, 1994)에 의하면, 글이나 해설에 상응하는 그림이나 애니메이션을 동시에 제공한 경우가 순차적으로 제공한 경우보다 학습에 더 효과적인 것으로 나타났다. 예를 들어, Mayer와 Anderson(1992), Mayer와 Sims(1994)는 자전거 펌프의 작동 원리 또는 신체 순환계에 대한 애니메이션과 해설을 동시에 제공하는 프로그램(concurrent program)과 순차적으로 제공하는 프로그램(successive program)의 효과를 비교하였다. 그 결과, 애니메이션과 해설을 동시에 제공하는 프로그램이 순차적으로 제공하는 프로그램보다 문제 해결 전이 능력을 향상시키는데 더 효과적이었다. 언어적 정보를 글로, 시각적 정보를 그림으로 제공하는 경우에도 결과는 유사하였다(Mayer & Anderson, 1991; Mayer & Moreno, 1998).

## 5) 일관성 원리

다중 표상 학습에서 흥미롭지만 학습과 직접적으로 관련이 없는 정보들(seductive details or extraneous materials)이 추가로 제공되면 학생들은 주의가 산만해지거나 학습과 관련된 정보보다 오히려 그 정보들에 더 집중하게 된다. 또한, 학생들은 언어적 정보와 시각적 정보들을 인과적인 관계로 조직화하는데 방해를 받거나 입력된 언어적 정보와 시각적 정보들을 동화시키기에 부적합한 스키마를 구성하기도 한다. 이처럼 관련이 없는 언어적 정보나 시각적 정보들을 여러 외적 표상들과 함께 제공하는 것은 학생들의 인지 처리 과정을 방해하여 학습 효과를 감소시킬 수 있는데, 이를 ‘일관성 원리(coherence principle; Mayer, 2003; Veronikas & Shaughnessy, 2005)’라 한다.

Harp와 Mayer(1997, 1998)는 번개의 생성 원리에 대한 일련의 실험 연구를 통해 일관성의 원리를 확인하였다. 학생들은 번개가 생성되는 단계를 서술하는 글과 설명문(caption)이 있는 그림을 보면서 번개가 어떻

게 생성되는지를 배웠다. 이때, 한 집단에는 운동선수가 운동장에서 번개를 맞고 쓰러지는 현상을 설명, 묘사하는 글이나 그림과 같이 흥미롭지만 학습과 직접적인 관련이 없는 정보들이 추가로 제공되었고, 다른 집단에는 이런 정보들이 제공되지 않았다. 두 집단 학생들의 문제 해결 전이 능력을 비교한 결과, 관련이 없는 정보들이 제공되지 않은 집단의 학생들이 제공된 집단의 학생들보다 훨씬 더 창의적인 문제 해결을 하는 것으로 나타났다.

Mayer 등(2001)은 시각적 정보를 그림 대신 애니메이션으로, 언어적 정보를 글 대신 해설로 제공할 경우 일관성의 원리가 나타나는지 조사하였다. 그 결과, 비록 그 효과 차이(effect size)는 작아졌지만 여전히 흥미롭지만 관련이 없는 정보들을 제공하지 않을 경우의 학습 효과가 더 큰 것으로 나타났다.

## 6) 개인화 원리

‘개인화 원리(personalization principle)’는 언어적 정보가 형식적인 형태(formal style)보다 담화체(conversational style)로 제공될 때 학생들이 제공된 언어적 정보를 좀더 능동적이고 심층적으로 처리한다는 것을 의미한다(Mayer, 2003; Veronikas & Shaughnessy, 2005). 개인화 원리는 다중 표상 학습 이론으로 설명될 수 있다. 학생들은 다른 사람이 말하는 것을 들을 때 그 말을 이해하기 위해 노력하는 것과 같이 사람 대 사람의 대화를 통해 제공되는 정보를 좀더 능동적으로 처리하는 경향이 있다. 즉, 개인화된 언어적 정보를 제공받은 학생들은 그 정보를 이해하기 위해 인지 과정, 특히 조직화 과정과 통합 과정에 능동적으로 참여함으로써 보다 심층적인 학습을 하게 된다(Mayer, 2003; Mayer *et al.*, 2004; Moreno & Mayer, 2004).

Moreno와 Mayer(2000)는 대학생들을 대상으로 실시한 여러 연구들을 통해 개인화 원리를 조사하였다. 학생들은 번개가 생성되는 단계를 묘사하는 애니메이션을 140초 동안 보면서 이와 관련된 해설을 들었다. 이때,

N 집단에는 교과서 등에서 주로 사용되는 3인칭 독백 형태의 형식적인 언어적 정보가 제공되었다. 반면, P 집단에는 형식적인 언어적 정보 중 일부가 1인칭 또는 2인칭으로 바뀌어 제공되거나(예: 구름→여러분의 구름), ‘여러분이 본대로 머리를 하늘로 기울어보세요’ 등과 같이 일부 담화체 문장이 추가로 제공되었다. 그러나 두 집단의 내용에는 차이가 없었다. 두 집단의 문제 해결 전이 검사 점수를 비교한 결과, P 집단의 점수가 N 집단의 점수보다 통계적으로 유의미한 차이로 높았다. 언어적 정보를 해설 대신 화면에 글로 제공했을 경우에도 결과는 유사하였다.

Mayer 등(2004)은 Moreno와 Mayer(2000)의 연구에서 제공한 개인화된 언어적 정보에 다소 많은 조작이 포함되어 있음을 지적하면서, 좀더 간단한 조작으로도 개인화 원리가 나타나는지 조사하였다. 학생들은 60초 동안 신체 순환계가 어떻게 작동하는지를 설명하는 애니메이션을 보면서 개인화된 형태(P 집단) 또는 비개인화된 형태(NP 집단)의 해설을 들었다. 이때, 비개인화된 형태의 해설은 3인칭 또는 무인칭의 형식적인 형태로, 개인화된 형태의 해설은 형식적인 형태의 해설에 포함된 100개의 단어 중 12개 단어 앞에 ‘당신의’란 단어가 추가(예: 폐→당신의 폐)된 담화체 형태로 구성되었다. 분석 결과, 3개의 실험에서 P 집단의 학생들이 NP 집단의 학생들보다 문제 해결 전이 검사 점수가 통계적으로 유의미한 차이로 높았다.



## 제 2 절 화학에서의 다중 표상 학습

### 1. 물질의 입자성의 중요성

대부분의 화학 개념은 감각적/거시적 수준, 입자적/미시적 수준, 상징적 수준에서의 이해를 필요로 한다(Treagust *et al.*, 2003). 특히 물질의 입자성과 같은 입자적/미시적 수준은 근대 이론 화학의 필수 요소로서, 대부분의 화학 개념을 설명하는데 필요한 추상적인 구인(construct)이다. 즉, 물질의 입자성에 대한 이해는 거시적인 자연 현상에 대한 올바른 해석을 가능하게 해주며, 이를 통해 생활 속에서 발생하는 실질적인 문제를 해결할 수 있게 해준다. 그러나 많은 학생들이 눈으로 관찰할 수 있는 직관적인 사고에 의존하는 경향이 있어 눈으로 관찰할 수 없는 물질의 입자성을 이해하는데 어려움을 겪고 있으며, 이로 인해 여러 가지 화학 개념에 대해 다양한 오개념을 가지고 있다고 보고되었다(Bunce & Gabel, 2002; Singer *et al.*, 2003).

Novick과 Nussbaum(1981)은 그림과 설명으로 구성된 TAP(Test About Particles in a Gas) 검사지를 개발한 후, 초, 중, 고, 대학생을 대상으로 기체 입자의 분포, 운동성, 입자들 사이의 공간, 가열과 냉각에 따른 입자 운동에 대한 이해를 조사하였다. 그 결과, 초등학교부터 도입되는 물질의 입자성에 대해 올바른 개념을 가진 학생의 비율이 학년이 올라감에 따라 전반적으로 증가하기는 하지만, 고등학교 이상에서도 60%가 넘는 학생들이 여전히 입자들 사이의 공간과 상호작용을 이해하는데 어려움을 겪는 것으로 나타났다.

Haidar과 Abraham(1991)은 11, 12학년 학생 183명을 대상으로 용해, 확산, 분출, 물질의 상태 등의 개념에 대한 이해 정도를 조사하였다. 검사 도구로는 일상적 상황에서 제공된 적용 형태의 문제와 분자와 같은 화학적 관점에서 제공된 이론 형태의 문제들로 구성된 “Physical Changes Concepts Test”를 이용하였다. 분석 결과, 40% 이상의 학생들이 물질의 입자성에 대해 오개념을 가지고 있었으며, 적용 형태의 문제

에 비해 이론 형태의 문제에서 물질의 입자성을 더 자주 사용하였다. 즉, 학생들은 일상적 상황에서 질문하면 주로 거시적 관점에서 설명하는 반면, 화학적 관점에서 질문하면 주로 미시적 관점에서 설명하였으며, 이로 인해 오개념의 양상과 분포도 두 문제 유형에 따라 다르게 나타났다.

노태희 등(1995)은 중학교 여학생 134명, 고등학교 여학생 128명을 대상으로 화학양론, 기체 법칙, 확산 개념에 대한 이해 정도를 조사하였다. 객관식 개념 검사 결과, 화학양론에서는 고등학생이 옳은 개념을 더 많이 가지고 있는 반면, 기체 법칙과 확산에서는 중학생이 옳은 개념을 더 많이 가지고 있었다. 주관식 개념 검사 결과, 화학양론에서는 고등학생들이 중학생들보다 훨씬 이해를 잘하나 기체 법칙과 확산에서는 이해 정도의 차이가 유의미하지 않거나 중학생이 더 잘 이해하는 것으로 나타났다.

유승아 등(1999)은 중학교 3학년 100명, 고등학교 2학년 150명을 대상으로 물질의 상태 변화, 분자의 운동, 기체 법칙 등 기체의 성질과 관련된 학생들의 오개념의 유형을 조사하였다. 그 결과, 학생들은 기체의 성질에 대해 다양한 오개념을 가지고 있었으며, 주 오개념은 (1) '기체 분자들끼리 부딪혀 에너지를 방출한다', '기체 분자들 사이에 공기가 채워져 압력이 나타난다', '압력이 작용하는 방향은 중력 방향과 관련이 있다', (2) 온도에 따른 부피 변화에서 '분자가 열을 받으면 분자의 크기가 커져 부피가 증가한다', '분자수가 증가해 분자들의 운동이 활발하다', (3) '지상에서 높이 올라감에 따라 압력이 낮아지는 것은 온도가 낮아지기 때문이다', '기체 분자의 압력은 기체 분자의 충돌수에 반비례한다', (4) '분자의 크기가 다르므로 같은 부피에 존재하는 분자수가 다르다' 등으로 나타났다.

## 2. 물질의 입자성을 강조하기 위한 다중 표상 학습

화학 개념 학습에서는 분자 수준의 화학을 강조하기 위해 언어적 정보와 함께 분자 수준의 그림을 칠판에 그리거나 TP, 패도 등과 같은 정

화상(Gabel, 1993; Noh & Scharmann, 1997) 또는 컴퓨터 애니메이션(노태희 등, 1998; Williamson & Abraham, 1995; Zeider & McIntosh, 1989) 등과 같은 동화상을 제공하거나, 분자 모형(Copolo & Hounshell, 1995; Small & Morton, 1983), 둥근 자석(Gabel, 1993) 등을 학생들이 직접 관찰하거나 손으로 조작하게 하는 교수 방법들이 제안되었다.

Small과 Morton(1983)은 New England 대학의 유기 화학 수강생 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 이 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 집단에 비해 처치 집단 학생들의 점수가 통계적으로 유의미한 차이로 높았다.

Gabel(1993)은 고등학생 66명을 대상으로 TP나 둥근 자석, 미시적, 거시적, 상징적 수준에서의 이해를 요구하는 활동지를 사용하여 물질의 입자성을 강조하는 수업의 효과를 조사하였다. 6년 경력의 교사가 1년 동안 처치 집단(n=20, n=23)과 통제 집단(n=23)의 수업을 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. 기체, 액체, 고체 및 화학 반응 단원 학습을 위해 통제 집단과 처치 집단에서는 모두 글이나 말, 그림, 다이어그램, 실험 활동 등의 외적 표상들이 제공되었다. 그러나 통제 집단(n=48)과 달리 처치 집단 1(n=41)에서는 전체 강의식

수업 시간에 애니메이션이, 처치 집단 2(n=35)에서는 전체 강의식 수업 시간 및 개별 컴퓨터 활동 시간에 애니메이션이 추가로 제공되었다. 분석 결과, 통제 집단보다 두 처치 집단의 개념 검사 점수가 통계적으로 유의미한 차이로 높았다. 그러나 선다형 수리 문제로 구성된 기말시험 점수 및 화학 수업에 대한 태도 검사 점수에서는 집단 간 점수 차이가 통계적으로 유의미하지 않았다.

Copolo와 Hounshell(1995)은 유기화학 구조에 대한 학습에서 2차원 분자 구조 모형과 3차원 분자 구조 모형의 활용 효과를 비교하였다. 그 결과, 3차원 컴퓨터 모형과 공막대 모형(ball-and-stick model)을 사용하는 학생들이 이성질체 구별에 대한 3차원 과제 검사에서 더 높은 점수를 받았으나, 유사한 2차원 과제 검사에서는 더 낮은 점수를 받았다.

Russell과 Kozma(1997)는 실험 동영상, 분자 수준 애니메이션, 화학식, 그래프 또는 다이어그램을 함께 보여줌으로써 미시적, 거시적, 상징적 수준의 화학을 강조하는 컴퓨터 프로그램(4M:CHEM)을 개발하였다. 그리고 그 효과를 295명의 대학생으로 조사하였다. 화학 평형과 관련된 사전 검사와 사후 검사를 과학적 개념과 오개념의 측면에서 채점한 결과, 두 검사 점수 사이에 통계적으로 유의미한 차이가 있었다. 즉, 사전 검사에 비해 사후 검사에서 과학적 개념을 진술한 학생 수가 더 많았고, 오개념을 드러낸 학생 수는 더 적었다.

Sanger(2000)는 대학생 127명을 대상으로 실제 화합물 및 이에 대한 거시적 수준과 미시적 수준의 외적 표상을 연결하여 보여주는 컴퓨터 애니메이션을 함께 제공함으로써 물질의 입자성을 강조하는 수업의 효과를 조사하였다. 분자 수준의 그림 분류하기 문제들을 사용하여 개념 이해 정도를 비교한 결과, 대부분의 문제에서 처치 집단 학생들의 정답률이 전통적인 수업을 받은 통제 집단 학생들의 정답률보다 통계적으로 유의미한 차이로 높았다. 개념별로 보면, 물질의 상태 개념(고체, 액체, 기체)에서는 처치 집단 학생들의 정답률이 97%, 통제 집단 학생들의 정답률이 88%였다. 물질의 물리적 조성 개념(순물질, 균일 혼합물, 불균일 혼합물)에서는 처치 집단 학생들의 80%, 통제 집단 학생들의 46%가, 물질

의 화학적 조성 개념(원소와 화합물)에서는 처치 집단 학생들의 84%, 통제 집단 학생들의 69%가 올바르게 응답한 것으로 나타났다.

Wu 등(2001)은 고등학생 71명을 대상으로 echem이라는 컴퓨터 프로그램이 학생들의 화학적 외적 표상들에 대한 이해를 도울 수 있는지 조사하였다. echem은 학생들에게 분자 모형을 세우도록 하고 다양한 외적 표상들을 함께 보여주는 프로그램이다. eChem을 사용하여 전자쌍 반발 원리(VSEPR), 공유 결합, 분자의 극성, 명명법(IUPAC)에 대해 6주 동안 수업을 진행한 결과, 사전 검사에 비해 사후 검사에서 화학적 외적 표상들에 대한 학생들의 이해 정도가 향상되었다. 녹음/녹화 및 면담 프로토콜, 활동지, 필드노트 등을 분석한 결과에서는 학생들이 eChem을 통해 보다 잘 내적 모형과 이미지를 구축하고 다양한 외적 표상들을 연계하였으며, eChem을 통해 학습하는 동안 토론에 열심히 참여한 학생들은 외적 표상들의 시각적 측면과 개념적 측면을 잘 연계하는 것으로 나타났다. 결과적으로 학생들은 eChem을 통해 화학적 외적 표상 및 개념들을 보다 심층적으로 이해할 수 있었다. 그러나 학생들은 특정 외적 표상을 선호하여 모든 외적 표상들을 번갈아 사용하지 않는 경향이 있었다.

국내에서는 Noh와 Scharmann(1997)이 고등학교 남학생 202명을 대상으로 분자 수준의 그림을 패도로 제공하는 수업의 효과를 학생들의 개념 이해 및 문제 해결력 향상 측면에서 조사하였다. 화학양론, 기체, 액체, 고체, 용액 단원에 대해 13주 동안 수업을 진행한 결과, 통제 집단에 비해 처치 집단 학생들의 화학 개념 이해도 점수가 통계적으로 유의미한 차이로 높았으며, 그 점수 차이는 확산과 용해 개념에서 가장 큰 것으로 나타났다. 그러나 선다형 검사로 측정한 화학 문제 해결력 검사에서는 집단 간에 통계적으로 유의미한 점수 차이가 없었다.

노태희 등(1998)은 중학교 여학생 84명을 대상으로 분자 수준의 애니메이션을 이용한 컴퓨터 보조 수업의 효과를 조사하였다. 분자의 운동 단원에 대해 5차시 동안 수업을 진행한 결과, 처치 집단의 학생들(n=42)이 분자의 운동에 대한 오개념을 적게 나타내었으나, 개념 이해도 검사 점수에서는 처치 집단과 통제 집단(n=42) 간에 유의미한 차이가 없었다.

컴퓨터 보조 수업이 과학 수업에 대한 태도와 동기에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 수업에 대한 인식 검사에서는 학생들이 컴퓨터 보조 수업에 대해 전반적으로 긍정적으로 인식하였으나, 일부 학생들은 어수선한 수업 분위기를 지적하였고, 화면에 제공된 내용이 어려웠다고 응답한 학생도 있었다.

노태희 등(1999)은 고등학교 여학생 102명을 대상으로 분자 수준의 애니메이션과 활동지를 이용한 컴퓨터 보조 수업의 효과를 조사하였다. 용해 단원에 대해 3차시 동안 수업을 진행한 결과, 통제 집단(n=50)보다 처치 집단(n=52)의 학업 성취도와 개념 이해도 검사 점수가 통계적으로 유의미한 차이로 높았다. 학습 동기 검사에서는 관련성 범주를 제외한 모든 하위 범주에서 통제 집단보다 처치 집단 학생들의 점수가 통계적으로 유의미한 차이로 높았다.

박재원과 백성혜(2004)는 초등학생 182명을 대상으로 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 학생들(n=89)이 그렇지 않은 통제 집단의 학생들(n=93)보다 입자 수준에서의 개념 이해 정도를 측정하는 검사에서 통계적으로 유의미한 차이로 높은 점수를 받았다.

## 제 3 장 연구 방법

### 제 1 절 분석 대상

이 연구에서는 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 과학 디지털 교과서 5종의 물질 단원인 ‘기체의 성질’, ‘물질의 상태 변화’ 단원을 분석하였다. 각 단원에서 특정 현상이나 개념을 설명하는 설명 영역과 개념과 관련된 탐구 활동 및 목표 개념을 새로운 상황에 적용시키는 평가에 해당하는 활동 영역에서 나타나는 외적 표상을 분석하였다. 이때 도입부, 실험 과정에 대한 설명, 평가 영역에서 단순한 복습 활동은 현상이나 개념을 직접적으로 설명하거나 이를 적용하는 외적 표상이 아니므로 분석 대상에서 제외하였다. 디지털교과서는 동아출판, 미래엔, 비상교육, 와이비엠, 천재교과서에서 출판되었으며 임의로 A-E로 표기하였다.

### 제 2 절 분석 기준

다중 표상 학습과 관련된 선행연구를 18, 29, 32, 33 바탕으로 예비 분석틀을 구성하였다. 이를 기준으로 5종의 디지털교과서 중 1종을 무작위로 추출하여 예비 분석하고, 분석 항목과 세부 분석 기준을 수정·보완하였다. 이후 다음과 같이 외적 표상의 수준, 형태, 제시 방법, 상호작용성에 대한 구체적인 분석 기준을 확정하였다.

[표 3-1] 외적 표상 분석 기준

대분류	중분류	소분류	항목
수준	거시적		
	미시적		
	상징적		
	거시적 & 미시적		
	미시적 & 상징적		
	거시적 & 상징적		
	거시적 & 미시적		
	거시적 & 미시적 & 상징적		
양식	시각언어	형식적	
		개인적	
		형식적 & 개인적	
	청각언어	형식적	
		개인적	
		형식적 & 개인적	
	시각비언어	정화상	운동성 포함 운동성 비포함
		동화상	운동성 포함 운동성 비포함
		정화상 & 동화상	둘 다 운동성 포함 동화상만 운동성 포함 정화상만 운동성 포함 둘 다 운동성 비포함
		청각비언어	
제시 방법	언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우	시각언어 & 시각비언어	
		청각언어 & 시각비언어	
		시각언어 & 청각언어 & 시각비언어	
		시각언어와 청각언어 표상의 중복 여부	
	관계없는 외적 표상의 포함 여부		
근접성	공간적 근접성		삽입 근처 마우스 오버 다음 페이지
		시간적 근접성	동시에 제시됨 간격을 두고 제시됨
상호작용성	상호작용 없음		
	피드백 수준		
	조작 수준		
	적응 수준		
	소통 수준		



## 1. 외적 표상의 수준

외적 표상의 수준을 현상을 나타내는 ‘거시적’ 수준, 물질의 입자성이나 입자의 운동을 나타내는 ‘미시적’ 수준, 표, 식, 그래프 등의 ‘상징적’ 수준으로 분류하였다(강훈식 등, 2007; Treagust *et al.*, 2003). 이때 각각의 외적 표상에 서로 다른 수준의 외적 표상이 동시에 제시된 경우 해당하는 수준을 모두 포함하는 항목으로 ‘거시적 & 미시적’ 수준, ‘미시적 & 상징적’ 수준, ‘거시적 & 상징적’ 수준, ‘거시적 & 미시적 & 상징적’ 수준을 분석 기준에 추가하였다.

## 2. 외적 표상의 양식

외적 표상의 양식을 문자나 글과 같은 ‘시각언어’, 그림이나 애니메이션과 같은 ‘시각비언어’, 내레이션과 같은 ‘청각언어’, 효과음이나 배경음과 같은 ‘청각비언어’로 분류하였다(Clark & Mayer, 2008). 이때 시각언어 표상과 청각언어 표상은 개인화 원리에 따라 각각 무인칭이나 3인칭의 ‘형식적’, 담화체나 2인칭의 ‘개인화’, 두 형태가 함께 나타난 ‘형식적 & 개인화’로 세분하였다(Clark & Mayer, 2008). 시각비언어 표상은 이중 부호화 이론에 따라 ‘정화상’, ‘동화상’, ‘정화상 & 동화상’으로 분류하였으며, 각각 입자의 운동성 제시 여부에 따라 세분하였다(강훈식 등, 2007). 이때 ‘정화상 & 동화상’의 경우 정화상과 동화상 모두 입자의 운동성이 제시되지 않은 경우를 분석 기준에 추가하였다.

## 3. 외적 표상의 제시 방법

외적 표상의 제시 방법은 다중 표상 학습에 대한 인지 이론과 관련 원리를 바탕으로 언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우, 관계없는 외적 표상의 포함 여부, 근접성 측면에서 세분하여 분석하였다(Clark & Mayer, 2008). 첫째, 다중 표상 활용 원리와 다중 양식 원리를

적용하여 언어적 정보의 효과적인 제시 방법을 논의하고자 언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우 ‘시각언어 & 시각비언어’, ‘청각언어 & 시각비언어’, ‘시각언어 & 청각언어 & 시각비언어’로 분류하였다. 이때 중복 회피 원리에 따른 ‘시각언어와 청각언어 표상의 중복 여부’를 분석틀에 포함하였다. 둘째, 일관성 원리에 따른 관계없는 외적 표상의 포함 여부를 분석하였다. 마지막으로 근접성에서 시각언어 표상과 시각비언어 표상의 공간적 근접성은 표상이 서로 내에 제시된 ‘삽입’, 위·아래·좌·우에 제시된 ‘근처’, 커서를 근접시키거나 클릭했을 때 팝업 형태로 제시되는 ‘마우스 오버’, 서로 다른 페이지에 제시된 ‘다른 페이지’로 세분하였다. 청각언어 표상과 시각비언어 표상의 시간적 근접성은 두 표상에서 나타내는 정보가 ‘동시에 제시됨’과 ‘간격을 두고 제시됨’으로 세분하였다.

#### 4. 외적 표상의 상호작용성

외적 표상의 상호작용성은 학습자의 행동에 대한 반응의 가변성과 선행 행동에 대한 의존성 여부에 따라 ‘피드백’ 수준, ‘조작’ 수준, ‘적용’ 수준, ‘소통’ 수준으로 구분하였다(Kalyuga, 2007). 피드백 수준의 상호작용성은 학습자가 선택할 수 있는 행동이 유일하고 이에 대해 고정적인 반응을 제시하는 것으로, 준비된 정답이나 힌트를 제공하는 경우가 해당한다. 조작 수준의 상호작용성은 미리 설정된 반응 내에서 학습자가 나타내하고자 하는 반응을 선택하여 제시할 수 있도록 하는 것이다. 이는 사진을 클릭하여 넘기거나 영상의 재생 위치를 바꾸는 조작이나 시뮬레이션에서 학습자가 준비된 변수 값을 선택하여 제시된 표상의 형태를 바꾸는 것과 같은 조작으로 나타난다. 적용 수준의 상호작용성은 조작 수준에서 나아가 학습자의 선행 행동에 따라 다른 반응을 제시하는 것으로, 학습자의 응답에 따라 다른 학습 경로를 제공한다. 소통 수준의 상호작용성은 학습자가 스스로 다양한 선택을 할 수 있으며 학습 시스템은 학습자의 선행 행동에 따라 다른 반응을 나타낸다. 예를 들어, 학습자가 표에

자율적으로 변수 값을 입력하면 그에 따른 그래프가 산출되는 경우가 이에 해당한다. 이때 상호작용성이 전혀 나타나지 않는 경우에 대한 ‘상호작용 없음’ 항목을 추가하였다.

### 제 3 절 분석 방법

하나의 같은 개념이나 현상을 설명하는 ‘설명 영역’과 일관된 활동을 수행하는 ‘활동 영역’을 하나의 분석 단위로 정하고, 해당 영역에 포함된 모든 외적 표상을 분석하였다. 이때 하나의 분석 단위에 여러 항목이 동시에 나타난 경우 각각의 항목을 모두 코딩하였다. 예를 들어, 외적 표상의 양식에 대해 하나의 분석 단위에 시각언어 표상과 시각비언어표상이 함께 제시된 경우 시각언어와 시각비언어 양식 각각 제시된 것으로 코딩하였다.

연구자 2인이 분석 대상 디지털교과서 중 1종의 한 단원을 임의로 선정하여 분석틀에 따라 분석한 후 분석자 간의 일치도를 구하는 과정을 반복하였다. 분석자 간의 일치도가 97% 이상에 도달한 후, 연구자 1인이 5종의 디지털교과서를 모두 분석하였다. 연구 전반에 걸쳐 과학교육 전문가 2인, 현직 과학 교사 4인, 과학교육 전공 대학원생 5인으로 구성된 세미나를 통해 타당성을 검토받고 결과 분석 및 해석을 보완하였다. 분석 결과는 각 분석 범주에 해당하는 분석 단위 수에 대한 항목별 백분율(%)을 출판사별로 제시하였다. 이때, 제시 방법 중 근접성과 상호작용성은 설명 영역과 활동 영역에서의 특징이 다르게 나타남에 따라 이를 구분하여 제시하였다.

출판사별 분석 단위의 개수는 교과서 A 98개(설명 영역 47개, 활동 영역 51개), 교과서 B 101개(설명 영역 42개, 활동 영역 59개), 교과서 C 107개(설명 영역 47개, 활동 영역 60개), 교과서 D 140개(설명 영역 45개, 활동 영역 95개), 교과서 E 163개(설명 영역 63개, 활동 영역 100개)이다.

## 제 4 장 결과 및 논의

### 제 1 절 외적 표상의 수준

출판사별 분석 단위에 대한 외적 표상의 수준의 비율을 [표 4-1]에 제시하였다. 디지털교과서에 제시된 외적 표상의 수준은 거시적 수준 50.0%, 거시적 & 미시적 수준 37.4%, 거시적 & 상징적 수준 9.6%, 거시적 & 미시적 & 상징적 수준 2.7%, 미시적 수준 0.2% 순으로 많이 나타났다. 상징적 수준과 미시적 & 상징적 수준은 모든 교과서에서 나타나지 않았다. 거시적 수준이 단독으로 제시된 표상 및 거시적 수준과 다른 수준이 함께 제시된 표상을 종합했을 때 그 비율은 99.8%로 교과서에 제시된 개념 설명이나 활동은 대부분 거시적 수준의 외적 표상을 포함하여 제시되었다. 미시적 수준과 상징적 수준의 경우, 단독으로 제시된 경우는 거의 나타나지 않았으며 대부분 거시적 수준과 함께 제시되었다.

[표 4-1] 외적 표상의 수준

분류	출판사별 디지털교과서					평균
	A	B	C	D	E	
거시적	44.9	52.5	55.1	46.4	50.9	50.0
미시적	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.2
상징적	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
거시적 & 미시적	34.7	41.6	34.6	40.7	35.6	37.4
미시적 & 상징적	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
거시적 & 상징적	15.3	5.0	6.5	11.4	9.8	9.6
거시적 & 미시적 & 상징적	5.1	1.0	3.7	1.4	2.5	2.7

중학교 1학년 화학 단원은 증발, 확산, 압력과 온도에 따른 부피 변화, 상태 변화와 같은 현상을 입자적 관점으로 이해하는 것을 목표로 하고

있다(MOE, 2015). 분석 결과, 입자적 설명을 위한 외적 표상을 제시할 때는 미시적 수준의 외적 표상만을 제시하기보다 거시적 수준과 미시적 수준의 외적 표상을 함께 제시하여 학생들이 현상이나 개념을 두 수준에서 이해할 수 있도록 하였다. 서로 다른 수준의 외적 표상 간 연계가 오 개념 형성을 완화하였다는 연구 결과로부터 미루어보았을 때(Tasker & Dalton, 2006), 여러 수준이 함께 제시된 외적 표상은 물질의 입자성에 대한 개념 이해에 도움을 줄 수 있을 것이다.

## 제 2 절 외적 표상의 양식

출판사별 분석 단위에 대한 외적 표상의 양식의 비율을 [표 4-2]에 제시하였다. 평균적으로 시각언어 표상은 분석 단위의 99.3%, 시각비언어 표상은 69.1%, 청각언어 표상은 6.9%, 청각비언어 표상은 9.4%에 제시되었다. 즉, 디지털교과서에서 외적 표상이 제시될 때 시각언어 양식을 기본으로 하여 주로 시각비언어 양식이 함께 활용되었고, 멀티미디어 환경의 특징 중 하나인 청각언어나 청각비언어 양식은 거의 활용되지 않았다.

[표 4-2] 외적 표상의 양식

분류	출판사별 디지털교과서					평균
	A	B	C	D	E	
시각언어	100.0	100.0	100.0	97.1	100.0	99.3
시각비언어	69.4	66.3	76.6	67.9	66.9	69.1
청각언어	2.0	0.0	6.5	10.7	11.0	6.9
청각비언어	10.2	9.9	12.1	6.4	9.2	9.4

시각언어 표상, 청각언어 표상, 시각비언어 표상을 세부적으로 분석하기 위해 각 양식의 외적 표상이 제시된 분석 단위에 대한 구체적인 형태의 비율을 [표 4-3]에 출판사별로 제시하였다.

[표 4-3] 외적 표상의 형태

분류	소분류	항목	출판사별 디지털교과서					평균
			A	B	C	D	E	
시각 언어	형식적		99.0	98.0	93.5	99.3	94.5	96.7
	개인적		0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.2
	형식적 & 개인적		1.0	2.0	5.6	0.7	5.5	3.1
청각 언어	형식적		100.0	-	85.7	100.0	61.1	81.0
	개인적		0.0	-	14.3	0.0	38.9	19.0
	형식적 & 개인적		0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0
시각 비언어	정화상	운동성 포함	14.7	10.4	17.1	17.9	11.9	14.5
		운동성 비포함	54.4	73.1	56.1	64.2	72.5	64.6
	동화상	운동성 포함	4.4	4.5	1.2	2.1	3.7	3.1
		운동성 비포함	11.8	3.0	7.3	3.2	5.5	5.9
	& 동화상	둘 다 운동성 포함	8.8	7.5	8.5	10.5	3.7	7.6
		정화상만 운동성 포함	2.9	1.5	2.4	0.0	2.8	1.9
		정화상만 운동성 포함	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		둘 다 운동성 비포함	2.9	0.0	7.3	2.1	0.0	2.4

평균적으로 시각언어 표상이 형식적인 형태로 제시된 경우는 96.7%, 개인화된 형태로 제시된 경우는 0.2%, 형식적인 형태와 개인화된 형태가 함께 제시된 경우는 3.1%로, 시각언어 표상은 대부분 형식적인 형태로 제시되었다. 청각언어 표상의 경우 평균적으로 81.0%가 형식적인 형태로 제시되었으며, 19.0%는 개인화된 형태로 제시되었다. 분석한 청각언어 표상의 빈도가 낮아 해석에 한계가 있으나 청각언어 표상 또한 형식적인 형태가 더 많았다. 언어적 정보가 개인화된 형태로 제시된 표상은 과학자 또는 학생이 핵심 내용을 담화체로 설명하거나 입자를 의인화하여 입자 운동을 설명하는 방식으로 나타났으나 이러한 경우는 매우 드물었다. 개인화된 형태의 언어적 정보는 정보에 대한 학생들의 흥미를 증가시키고 학생들이 정보를 보다 능동적으로 처리하도록 유도하여 심층적인 학습을 가능하게 한다(Mayer *et al.*, 2004; Moreno & Mayer, 2004). 특히 시각언어 표상은 외적 표상의 양식에 관한 결과에서 논의한 바와 같이 교과서에서 외적 표상을 제시할 때 가장 기본이 되는 양식이므로, 주요

개념을 설명할 때 시각언어 표상을 보다 개인화된 형태로 제시할 필요가 있다. 청각언어 표상 또한 그 활용 빈도를 높이기 위한 방안을 모색할 때 개인화 원리에 따른 효율적인 제시 방법을 고려할 필요가 있다.

시각비언어 표상은 대부분 정화상(운동성 포함 14.5%, 운동성 비포함 64.6%)으로 제시되었으며, 특히 운동성이 포함되지 않은 정화상이 높은 비율로 나타났다. 동화상으로 제시된 외적 표상(운동성 포함 3.1%, 운동성 비포함 5.9%)과 정화상과 동화상이 함께 제시된 외적 표상(둘 다 운동성 포함 7.6%, 동화상만 운동성 포함 1.9%, 정화상만 운동성 포함 0.0%, 둘 다 운동성 비포함 2.4%)의 비율은 낮았다. 입자의 운동성 포함 여부에 따라 시각비언어 표상의 형태를 종합해보면, 운동성이 포함된 경우는 27.1%, 포함되지 않은 경우는 72.9%로, 교과서에 제시된 시각비언어 표상은 운동성을 포함하지 않고 제시하는 경우가 더 많았다.

물체의 움직임은 연속적인 장면으로 보여주는 동화상은 정화상보다 더 구체적이고 정확한 정보를 제시할 수 있어 움직임과 관련된 개념 이해에 효과적이다(강훈식, 2006). 즉, 입자의 배치에 관한 정보만을 제시하는 운동성이 포함되지 않은 정화상보다는 입자의 운동 방향과 운동 속도 등에 대한 정보를 순간적인 장면으로 제시하는 운동성이 포함된 정화상이, 그보다는 이를 연속적인 장면으로 제시하는 운동성이 포함된 동화상이 입자의 운동에 대한 더 구체적인 정보를 제공할 수 있다. 학생들은 눈으로 관찰 가능한 직관적 사고에 의존하는 경향이 있으며, 이에 따라 추상적 개념인 물질의 입자성을 이해하는 데 많은 어려움을 겪는다(Singer *et al.*, 2003). 따라서 학생들이 입자의 운동을 쉽게 상상하고 이해할 수 있도록 정화상과 동화상 모두에서 입자의 운동성이 포함된 외적 표상의 비율을 높일 필요가 있다. 또한, 디지털교과서는 애니메이션과 같은 동적인 멀티미디어 자료를 활용할 수 있는 환경을 갖추고 있으므로, 동화상 형태를 보다 적극적으로 활용하여 입자의 운동성에 대한 정보를 구체적으로 제시하는 것이 필요하다.

### 제 3 절 외적 표상의 제시 방법

#### 1. 언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우

시각언어와 청각언어의 언어적 표상이 시각비언어 표상과 동시에 제시된 세 가지 경우의 출판사별 분석 단위에 대한 비율을 [표 4-4]에 제시하였다. 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우가 평균적으로 61.4%로 가장 많이 제시되었고, 청각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우는 나타나지 않았다. 시각언어 표상, 청각언어 표상, 시각비언어 표상이 모두 함께 제시된 비율은 6.9%로 나타났다. 즉, 언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우는 총 68.3%를 차지하였다.

[표 4-4] 언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우

분류	출판사별 디지털교과서					평균
	A	B	C	D	E	
시각언어 & 시각비언어	65.3	66.3	70.1	54.3	55.8	61.4
청각언어 & 시각비언어	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
시각언어 & 청각언어 & 시각비언어	2.0	0.0	6.5	10.7	11.0	6.9

다중 표상 학습 이론 중 다중 표상 활용 원리에 따르면, 외적 표상을 제시할 때 시각언어나 청각언어 양식의 언어적 정보만 제시하는 것보다 언어적 정보와 시각비언어적 정보를 함께 제시하는 것이 개념 이해에 효과적이다(Mayer, 2003; Veronikas & Shaughnessy, 2005). 제 7차 중학교 1학년 과학 교과서의 물질 단위에 나타난 외적 표상을 분석한 선행 연구에서 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 비율이 47.5%인 결과와 비교했을 때(강훈식 등, 2007), 2015 개정 디지털교과서에서 다중 표상 학습 이론에 따른 다중 표상 활용 원리가 보다 잘 적용되었다고 볼 수 있다.



디지털교과서에서 언어적 정보는 시각언어와 청각언어의 두 가지 양식의 외적 표상으로 제시된다. 다중 표상 학습 이론 중 다중양식 원리에 따르면, 언어적 정보와 시각비언어적 정보를 함께 제시할 때 언어적 정보를 청각언어 양식으로 제시하는 것이 시각언어 양식으로 제시할 때보다 시각 정보 처리 과정의 인지 부담을 줄이고 심층적인 학습을 이룰 수 있다(Clark & Mayer, 2008). 그러나 5종의 디지털교과서에서 모두 청각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우는 없었으며, 이에 시각언어 표상까지 함께 제시된 비율 또한 낮았다. 특히, 교과서 B의 경우 영상이나 애니메이션 자료에서 청각언어 표상을 전혀 활용하지 않고 언어적 정보를 모두 시각언어 표상으로 제시하여 시각 정보 처리 과정에 과부하를 유발하였다. 따라서 디지털교과서의 멀티미디어 자료를 개발할 때 청각언어 표상을 보다 적극적으로 활용하여 언어적 정보를 제시할 필요가 있다.

한편, 출판사별 분석 단위에 대한 시각언어 표상과 청각언어 표상의 언어적 정보가 중복된 비율을 조사한 결과, 청각언어 표상이 전혀 나타나지 않은 교과서 B를 제외하고, 평균적으로 4.7%(교과서 A, 2.0%; 교과서 C, 0.9%; 교과서 D, 6.4%; 교과서 E, 7.4%)로 나타났다. 중복 회피 원리에 따르면, 이처럼 청각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시되었을 때 청각언어 표상에 제시된 언어적 정보를 시각언어 표상으로 중복해서 제시할 경우 학습자의 시각 정보 처리 과정에 과부하를 일으킬 수 있으므로 유의할 필요가 있다.

청각언어 표상과 시각비언어 표상을 함께 제시할 때 시각언어 표상의 활용이 항상 지양되어야 하는 것은 아니다. 청각언어표상으로부터 제공되는 언어적 정보의 양이 많을 때는 학습자의 정보 처리 능력을 고려하여 시각언어와 청각언어 양식의 언어적 정보를 함께 제시하는 것이 효과적일 수 있다(Moreno & Mayer, 2002). 예를 들어, 교과서 C는 언어적 정보가 많은 영상에서 청각언어 표상을 기본적으로 활용하고 핵심적인 개념만 요약하여 시각언어 표상으로 함께 제시하였다. 따라서 필요한 경우에는 모든 언어적 정보를 중복적으로 제시하기보다는 교과서 C처럼

선택적으로 자막을 볼 수 있도록 하거나 일부 정보를 요약하여 시각언어 표상으로 제시하는 등의 방안을 모색할 필요가 있다.

## 2. 관계없는 외적 표상

출판사별 분석 단위에 대한 관계없는 외적 표상의 포함 비율을 조사한 결과, 평균적으로 분석 단위의 9.4%(교과서 A, 10.2%; 교과서 B, 9.9%; 교과서 C, 12.1%; 교과서D, 6.4%; 교과서 E, 9.2%)에서 학습 내용과 무관한 외적 표상이 제시되었으며, 이는 모두 청각비언어 양식의 외적 표상이었다. 배경음이나 효과음과 같은 청각비언어 양식의 외적 표상은 학생들의 흥미를 자극하기 위한 장치로 사용된다. 예를 들어, 5종의 디지털교과서 모두 애니메이션 자료에서 그림과 내레이션 또는 그림과 글을 통해 개념을 설명하는 동시에 배경음을 제시하는 경우가 나타났다. 그러나 이처럼 학습 내용과 무관한 흥미 요소가 학습 내용과 함께 제시될 경우 오히려 학습자의 주의를 분산시켜 학습을 방해할 수 있으며 심층적인 학습을 촉진하지 못한다(Dewey, 1913; Moreno & Mayer, 2000). 특히, 청각언어와 청각비언어 양식의 외적 표상이 함께 제시될 경우 두 가지 청각적 정보를 처리하기 위한 학습자의 인지 부담이 높아지게 된다(Clark & Mayer, 2008). 따라서 학습 내용과 관계없는 청각비언어 양식의 외적 표상은 학생들이 학습 내용을 설명하는 다른 외적 표상에 충분한 주의를 기울이는 것을 방해할 수 있으므로 지양할 필요가 있다.

## 3. 외적 표상의 근접성

출판사별 설명 영역과 활동 영역에서 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 나타난 분석 단위에 대한 외적 표상의 공간적 근접성의 비율을 [표 4-5]에 제시하였다. 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 다른 페이지에 제시된 경우는 설명 영역은 나타나지 않았으며 활동 영역은 1.7%의 매우 낮은 비율로 나타났다. 청각언어 표상과 시각비언어 표상은

항상 동시에 제시되었다. 따라서 5종의 디지털교과서 모두 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 공간적으로 가까이 제시되고, 청각언어 표상과 시각비언어 표상이 시간상으로 동시에 제시될 때 효과적인 다중 표상 학습이 일어날 수 있다는 공간적·시간적 근접성 원리에 적합한 형태로 제시되었다.

[표 4-5] 외적 표상의 근접성

분류	출판사별 디지털교과서										평균	
	A		B		C		D		E			
	설명	활동	설명	활동	설명	활동	설명	활동	설명	활동	설명	활동
삽입	45.9	6.5	54.5	29.4	50.0	4.5	36.1	5.5	52.8	15.1	47.8	11.8
근처	97.3	87.1	100.0	61.8	94.7	90.9	100.0	58.2	97.2	80.8	97.8	75.5
마우스 오버	32.4	61.3	30.3	61.8	31.6	77.3	38.9	83.6	27.8	75.3	32.2	73.8
다음 페이지	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	3.6	0.0	1.4	0.0	1.7

각 영역의 특징을 세부적으로 보면, 설명 영역의 경우 평균적으로 근처 97.8%, 삽입 47.8%, 마우스 오버 32.2%, 다른 페이지 0.0% 순으로 나타났다. 즉, 설명 영역에서는 서로 다른 양식의 외적 표상이 대부분 근처에 배치되었고, 삽입하여 배치하거나 마우스 오버로 배치하는 형태가 부수적으로 활용되었다. 활동 영역의 경우 평균적으로 근처 75.5%, 마우스 오버 73.8%, 삽입 11.8%, 다른 페이지 1.7% 순으로 나타나 외적 표상이 주로 근처 또는 마우스 오버로 배치되었다. 이때, 디지털교과서는 서책형 교과서에는 나타나지 않은 마우스 오버라는 새로운 근접성이 나타났다. 설명 영역은 주어진 자료를 확대하여 새 창에서 크게 나타내거나 추가적인 자료를 제시하기 위해 마우스 오버가 활용되었고, 활동 영역의 대부분에서는 활동에 대한 모범 답안이나 평가에 대한 해설을 제시하기 위해 마우스 오버가 활용되었다. 이처럼 외적 표상을 마우스 오버로 배치하는 방식은 한정된 공간에 많은 정보를 제시할 때 표상 간에 공간적 분리를 야기하지 않고 통합하여 제시할 수 있으므로 디지털교과서의 특징을 잘 활용한 긍정적인 결과라고 해석된다.

## 제 4 절 외적 표상의 상호작용성

출판사별 설명 영역과 활동 영역의 분석 단위에 대한 외적 표상의 상호작용성의 비율을 [표 4-6]에 제시하였다. 설명 영역은 평균적으로 분석 단위의 48.0%에서 어떤 상호작용성도 나타나지 않았다. 상호작용성이 나타난 경우 조작 수준 52.8%, 피드백 수준 16.0% 순으로 나타났고 적응 수준과 소통 수준의 상호작용성은 제시되지 않았다. 이때 조작 수준의 상호작용성은 주로 표상을 클릭하여 나타나게 하거나 변환하는 조작과 개념 설명을 위한 애니메이션의 재생 여부를 조절하는 방식으로 나타났고, 피드백 수준의 상호작용성은 간단한 질문에 대한 예시답안을 제시하는 방식으로 나타났다. 활동 영역은 상호작용성이 나타나지 않은 경우는 없었으며 피드백 수준이 91.3%로 대부분 영역에서 활동에 대한 예시답안을 피드백으로 제시하였다. 조작 수준은 15.0%로 주로 애니메이션의 재생 여부를 조절하는 방식이었다. 적응 수준의 상호작용성은 제시되지 않았으며, 소통 수준의 상호작용성은 1.1% 제시되었다.

[표 4-6] 외적 표상의 상호작용성

분류	출판사별 디지털교과서										평균	
	A		B		C		D		E			
	설명	활동	설명	활동	설명	활동	설명	활동	설명	활동	설명	활동
상호작용 없음	42.6	0.0	61.9	0.0	31.9	0.0	46.7	0.0	55.6	0.0	48.0	0.0
피드백 수준	25.5	82.4	23.8	89.8	25.5	98.3	6.7	93.7	3.2	90.0	16.0	91.3
조작 수준	53.2	21.6	33.3	10.2	74.5	16.7	48.8	8.4	52.4	20.0	52.8	15.0
적응 수준	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
소통 수준	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	1.1

설명 영역과 활동 영역에 나타난 피드백은 대부분 주어진 질문이나 활동에 대해 관련된 개념에 근거하여 설명하는 예시답안을 제시하였다. 숙련되지 않은 학습자에게는 단순히 답이나 정·오 여부만 제시하는 것보다 개념과 원리를 기반으로 설명하는 피드백이 학습에 효율적이다

(Moreno & Mayer, 2007). 이는 학습자가 자신에게 부족한 부분을 인식하고 학습 내용을 심층적으로 이해하여 불필요한 시행착오가 반복되는 것을 방지할 수 있기 때문이다. 또한, 5종의 디지털교과서는 모두 영상이나 애니메이션을 제시할 때 재생 여부나 재생 위치를 조작할 수 있도록 하였는데, 이러한 조작 수준의 상호작용성은 학습자가 많은 양의 정보를 자신이 수용 가능한 작은 단위로 나누어 처리하도록 하여 학습에 도움을 줄 수 있다(Kalyuga, 2007; Moreno & Mayer, 2007). 디지털교과서에 나타난 이상의 상호작용성은 학습자의 학습을 지원하여 새로운 지식을 능동적으로 학습하도록 적절한 환경을 조성하는 긍정적인 결과라고 할 수 있다.

한편, 설명 영역과 활동 영역 모두 적응 수준과 소통 수준의 상호작용성은 거의 나타나지 않았다. 높은 수준의 상호작용성은 학습자가 자신의 선택에 대한 반응을 예상하고 설명하여 스스로 인지 과정에 대해 효과적으로 평가할 수 있도록 한다(Atkinson & Renkl, 2007). 학습자의 수준이 낮을 때 많은 선택 과정을 거치는 경우 인지적 부담을 유발할 수 있으므로(Kalyuga, 2007), 학습자의 수준에 적합한 조작성이 구성된 적응 수준과 소통 수준의 상호작용성 비중을 높인다면 학생의 능동적인 참여가 확대된 다중 표상 학습을 설계하는 데 도움이 될 것이다.

## 제 5 장 결론 및 제언

이 연구에서는 다중 표상 학습에 대한 인지 이론과 관련 원리를 바탕으로 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 과학과 디지털교과서의 물질 단원에 제시된 외적 표상의 활용 실태를 분석하였다. 연구 결과, 외적 표상의 수준은 거시적 수준의 외적 표상이 중점적으로 제시되었고, 입자적 설명을 위한 외적 표상을 제시할 때는 거시적 수준과 미시적 수준의 외적 표상이 함께 활용되었다.

외적 표상의 양식은 시각언어 표상을 기본으로 하여 시각비언어 표상이 함께 활용되었고, 청각언어 표상이나 청각비언어 표상은 거의 활용되지 않았다. 언어적 표상과 시각비언어 표상을 세부적으로 분석한 결과, 시각언어 표상과 청각언어 표상은 대부분 형식적인 형태로 제시되었다. 시각비언어 표상은 주로 정화상으로 제시되었고, 특히 운동성이 포함되지 않은 정화상이 많이 나타났다.

외적 표상의 제시 방법은 크게 세 가지 측면에서 분석하였다. 첫째, 언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 나타난 경우를 조사했을 때 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우가 가장 많았으며, 청각언어와 시각비언어 표상만이 함께 제시된 경우는 나타나지 않았다. 청각언어, 시각언어, 시각비언어 세 가지 양식의 표상이 함께 제시된 경우, 시각언어 표상이 청각언어 표상과 같은 정보를 중복적으로 제시하기도 하였다. 둘째, 관계없는 외적 표상을 조사한 결과, 모든 교과서에서 학습내용과 무관한 청각비언어 표상을 학습과 관련이 있는 다른 외적 표상들과 함께 제시하는 경우가 나타났다. 셋째, 근접성의 경우 설명 영역에서는 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 대부분 근처에 배치되고 부수적으로 삽입과 마우스 오버의 형태가 활용되었고, 활동 영역에서는 근처와 마우스 오버의 형태가 주로 활용되었다. 두 영역 모두 외적 표상을 다른 페이지에 배치하는 형태는 거의 나타나지 않았다. 청각언어 표상과 시각

비언어 표상은 항상 동시에 제시되었다.

마지막으로 외적 표상의 상호작용성을 분석한 결과, 질문이나 활동에 대한 예시 답안을 설명하는 피드백 수준의 상호작용성과 표상을 클릭하여 변환하거나 애니메이션의 재생 여부를 조절하는 조작 수준의 상호작용성이 나타났다. 적응 수준과 소통 수준의 상호작용성은 거의 나타나지 않았다.

이상의 연구 결과를 바탕으로 디지털교과서의 집필 방향에 대한 시사점을 다음과 같이 제안하였다. 다양한 멀티미디어 자료를 활용할 수 있는 디지털교과서의 환경적 특성에도 시각언어와 시각비언어 양식의 외적 표상만이 주로 제시되었으므로 여러 가지 양식의 외적 표상을 유연하게 활용하여 다중 표상 학습을 구성할 필요가 있다. 특히 언어적 정보와 시각비언어 표상을 함께 제시할 때 시각언어 표상 대신 청각언어 표상을 활용한다면 학생들의 인지 부담을 줄일 수 있을 것이다. 이때 학생들에게 지나치게 많은 양의 정보를 제공하지 않는지 주의할 필요가 있다. 예를 들어, 관계없는 외적 표상을 제시하거나 시각언어 표상, 청각언어 표상, 시각비언어 표상이 함께 제시될 때 언어적 정보를 중복해서 제시하는 것은 오히려 학생들에게 인지 부담을 유발할 수 있다.

또한, 외적 표상의 구체적인 형태에 대한 개선이 필요하다. 시각언어 표상과 청각언어 표상의 언어적 정보는 지나치게 형식적인 형태로 제시된 경향이 있으므로 학생들의 능동적 학습을 위해 개인화된 형태의 비중을 높일 필요가 있다. 시각비언어 표상은 입자의 운동성을 함께 나타내고 애니메이션과 같은 동화상 형태의 표상을 활용한다면 학생들이 입자의 운동성 개념에 친근함을 느끼고 이를 더 쉽게 상상하도록 하는 데 도움을 줄 수 있을 것이다.

한편, 디지털교과서는 피드백이나 조작 수준의 상호작용성을 통해 새로운 지식을 능동적으로 구축할 수 있는 학습 환경을 지원하였으나 높은 수준의 상호작용성은 거의 나타나지 않았다. 이러한 결과는 디지털교과서 집필 과정에서 고려하지 못했던 상호작용성 측면에서의 새로운 관점을 보여준다는 점에서 의미가 있다. 높은 수준의 상호작용성은 학생들이

자신의 인지 과정을 스스로 평가하도록 하므로, 학생들의 수준을 고려하여 적절한 조작성을 가진 상호작용성을 제시한다면 외적 표상과의 상호작용을 통한 학습의 효과를 높일 수 있을 것이다. 따라서 향후 디지털교과서를 집필할 때는 학생들의 수준을 고려한 다양한수준의 상호작용성을 개발하여 학습 시스템을 구축할 필요가 있다.

이 연구에서는 중학교 1학년 디지털교과서의 물질 단원에서 나타난 외적 표상의 실태를 분석하였으므로, 향후 연구에서는 학년별, 단원별, 과목별 디지털교과서에 제시된 외적 표상의 실태를 분석할 필요가 있다. 또한, 디지털교과서에 제시된 외적 표상을 활용한 학습의 효과를 조사한다면 디지털교과서의 외적 표상을 개선을 위한 새로운 시사점을 제공할 수 있을 것이다.



## 참 고 문 헌

- 강훈식(2006). 중학교 화학 수업에서 외적 표상의 유형 변환을 촉진하는 그리기와 쓰기의 효과 및 활용 방안. 서울대학교 박사학위논문.
- 강훈식, 김유정, 노태희(2007). 제7차 중학교 1학년 과학 교과서의 물질 단원에서 외적 표상들의 활용 실태 분석. 한국과학교육학회지, 27(3), 190-200.
- 강훈식, 윤지현, 이대형(2008). 제7차 초등학교 3~6학년 과학 교과서에 제시된 외적 표상들의 활용 실태 분석. 초등과학교육, 27(2), 158-169.
- 권이영, 유형빈, 정은영(2011). 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.
- 김수정, 한재영(2007). 고등학교 1학년 과학 교과서에 사용된 시각자료 분석. 과학교육논총, 20(1), 1-11.
- 김혜진, 손연아, 민병미(2009). 고등학교 생물 I 교과서에 포함된 시각 자료 분석들의 개발과 적용. 한국생물교육학회지, 37(3), 390-402.
- 노태희, 서인호, 차정호, 김창민, 강석진 (2001). 분자 구조에 대한 고등학교 생들의 개념 이해도와 인지 변인의 관계. 한국과학교육학회지, 21(3), 497-505.
- 노태희, 임희준, 우규환(1995). 화학양론과 기체 상태에 대한 중·고등학생의 개념 이해도 비교. 한국과학교육학회지, 15(4), 437-451.
- 노태희, 윤미숙, 강훈식, 한재영(2007). 중학교 3학년 과학 교과서에서 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 기호학적 분석. 대한화학회지, 51(5), 423-432.
- 노태희, 차정호, 김창민(1999). 고등학교 화학 수업에서 입자 수준의 애니메이션과 활동지를 이용한 컴퓨터 보조 수업의 효과. 한국과학교육학회지, 19(1), 128-136.

- 노태희, 차정호, 김창민, 최용남(1998). 중학교 과학 수업에서 입자 수준의 애니메이션을 이용한 컴퓨터 보조 수업의 효과. 한국과학교육학회지, 18(2), 161-172.
- 박재원, 백성혜(2004). 초등학교 과학 수업에 적용한 입자 모델의 컴퓨터 애니메이션 교수자료의 학습 효과. 초등과학교육, 23(2), 116-122.
- 오민기, 정은영(2019). 중학교 과학 교과서 '자극과 반응' 단원의 삽화 분석. 교육과학연구, 21(1), 179-200.
- 오선아(2002). 멀티미디어 보조학습에서 시각정보와 청각정보의 분산제시와 통합제시가 작동기억 부하에 미치는 효과. 전남대학교 박사학위논문.
- 유승아, 구인선, 김봉곤, 강대호(1999). 기체의 성질에 대한 중, 고등학생들의 오개념에 관한 연구. 대한화학회지, 43(5), 564-577.
- 윤희정(2020). 2015 개정 교육과정에 따른 7학년 과학교과서 물질 영역에 제시된 외적 표상의 분석. 한국과학교육학회지, 40(1), 61-75.
- 조광희, 조현국, 윤혜경(2015). 초중고 과학 교과서의 전자기 단원에 제시된 시각적 표상의 유형. 새물리, 65(4), 343-357.
- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33(2-3), 131-152.
- Atkinson, R. K., & Renkl, A. (2007). Interactive example-based learning environments: Using interactive elements to encourage effective processing of worked examples. *Educational Psychology Review*, 19(3), 375-386.
- Baddeley, A. (1986). *Working memory*. Oxford, UK: Clarendon Press.
- Baddeley, A. (1998). *Human memory*. Boston, MA: Allyn and Bacon.
- Bunce, D. M., & Gabel, D. L. (2002). Differential effects on the achievement of males and females of teaching the particulate nature of chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(19), 911-927.
- Copolo, C. F., & 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.
- de Jong, T., Ainsworth, S., Dobson, M., van der Hulst, A., Levonen, J., Reimann, P., Sime, J-A., van Someren, M. W., Spada, H., & Swaak, J. (1998). Acquiring knowledge in science and mathematics: The use of multiple representations in technology-base learning environments. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen, & T. de Jong (Eds.), *Learning with Multiple Representations* (pp. 9–40). Oxford, UK: Elsevier.
- Dewey, J. (1913). *Interest and effort in education*. Cambridge, MA: Houghton Mifflin.
- Domagk, S., Schwartz, R. N., & Plass, J. L. (2010). Interactivity in multimedia learning: An integrated model. *Computers in Human Behavior*, 26(5), 1024–1033.
- Gabel, D. L. (1993). Use of the particle nature of matter in developing conceptual understanding. *Journal of Chemical Education*, 70(3), 193–194.
- Gardner, H. (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York, NY: Basic Books.
- Gardner, H. (1993). *Multiple intelligences: The theory in practice*. New York, NY: Basic Books.
- Gardner, H. (1999). Multiple approaches to understanding. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional design theories and models* (Vol. 2, pp. 69–89). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- 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.
- Harp, S. F., & Mayer, R. E. (1997). The role of interest in learning

- from scientific text and illustrations: On the distinction between emotional interest and cognitive interest. *Journal of Educational Psychology*, 89(1), 92-102.
- Harp, S. F., & Mayer, R. E. (1998). How seductive details do their damage: A theory of cognitive interest in science learning. *Journal of Educational Psychology*, 90(3), 414-434.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2003). The particulate nature of matter: Challenges in understanding the submicroscopic world. In J. K. Gilbert, O. DeJong, R. Justi, D. F. Treagust & J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 189-212). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Press.
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (1999). Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 13(4), 351-371.
- Kirschner, P. A. (2002). Cognitive load theory: Implications of cognitive load theory on the design of learning. *Learning and Instruction*, 12(1), 1-10.
- Mayer, R. E. (1999). Multimedia aids to problem-solving transfer. *International Journal of Educational Research*, 31(7), 611-623.
- 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.
- Mayer, R. E., & Anderson, R. B. (1991). Animated needs narrations: An experimental test of a dual-coding hypothesis. *Journal of Educational Psychology*, 83(4), 484-490.
- Mayer, R. E., & Anderson, R. B. (1992). The instructive animation:

- Helping students build connections between words and pictures in multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 84(4), 444-452.
- Mayer, R. E., Fennell, S., Farmer, L., & Campbell, J. (2004). A personalization effect in multimedia learning: Students learn better when words are in conversational style rather than formal style. *Journal of Educational Psychology*, 96(2), 389-395.
- Mayer, R. E., & Gallini, J. (1990). When is an illustration worth ten thousand words? *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 715-726.
- Mayer, R. E., Heiser, J., & Lonn, S. (2001). Cognitive constraints on multimedia learning: When presenting more material results in less understanding. *Journal of Educational Psychology*, 93(1), 187-198.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (1998). A split-attention effect in multimedia learning: Evidence for dual processing systems in working memory. *Journal of Educational Psychology*, 90(2), 312-320.
- Mayer, R. E., & Moreno, R. (2002). Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, 12(1), 107-119.
- Mayer, R. E., & Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 86(3), 389-401.
- Mayer, R. E., Steinhoff, K., Bower, G., & Mars, R. (1995). A generative theory of textbook design: Using annotated illustrations to foster meaningful learning of science text. *Educational Technology Research and Development*, 43(1), 31-43.
- Merritt, J., & Krajcik, J. (2013). Learning progression developed to

- support students in building a particle model of matter. In G. Tsaparlis & H. Sevian (Eds.), *Concepts of matter in science education* (pp. 11–45). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Ministry of Education (MOE). (2015) Revised national curriculum. 2015. Ministry of Education, Science and Technology. Notice No. 2015-74.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91(2), 358–368.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2000). Engaging students in active learning: The case for personalized multimedia messages. *Journal of Educational Psychology*, 92(4), 724–733.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2004). Personalized messages that promote science learning in virtual environments. *Journal of Educational Psychology*, 96(1), 165–173.
- Moreno, R., & Mayer, R. E. (2007). Interactive multimodal learning environments. *Educational Psychology Review*, 19(3), 309–326.
- 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), 187–196.
- Paas, F. G. W. C., & van Merriënboer, J. J. G. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors*, 35(4), 737–743.
- Paivio, A. (1986). *Mental representation: A dual coding approach*. New York, NY: Oxford University Press.

- Russell, J. W., & Kozma, R. B. (1997). Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts. *Journal of Chemical Education*, 74(3), 330-334.
- Sanger, M. J. (2000). Using particulate drawings to determine and improve students' conceptions of pure substances and mixtures. *Journal of Chemical Education*, 77(6), 762-766.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13(2), 227-237.
- Singer, J. E., Wu, H.-K., & Tal, R. (2003). Students' understanding of the particulate nature of matter. *School Science and Mathematics*, 103(1), 28-44.
- Small, M. Y., & Morton, M. E. (1983). Spatial visualization training improves performance in organic chemistry. *Journal of College Science Teaching*, 13(1), 41-43.
- Spiro, R. J., & Jehng, J.-C. (1990). Cognitive flexibility and hypertext: Theory and technology for the nonlinear and multi-dimensional traversal of complex subject matter. In D. Nix, & R. J. Spiro (Eds.), *Cognition, education and multi-media: Exploring ideas in high technology* (pp. 163-205). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(5), 295-312.
- Tasker, R., & Dalton, R. (2006). Research into practice: Visualisation of the molecular world using animations. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 141-159.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. L. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11),

- 1353-1368.
- Valcke, M. (2002). Cognitive load: Updating the theory? *Learning and Instruction*, 12(1), 147-154.
- van Merriënboer, J. J. G., Schuurman, J. G., De Croock, M. B. M., & Paas, F. G. W. C. (2002). Redirecting learners' attention during training: Effects on cognitive load, transfer test performance and training efficiency. *Learning and Instruction*, 12(1), 11-37.
- van Merriënboer, J. J. G., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177.
- van Someren, M. W., Reimann, P., Boshuizen, H. P. A. & de Jong, T. (1998). *Learning with Multiple Representations*. Oxford, UK: Elsevier.
- Veronikas, S., & Shaughnessy, M. F. (2005). An interview with Richard Mayer. *Educational Psychology Review*, 17(2), 179-189.
- 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.
- Zeider, D. L., & McIntosh, W. J. (1989). The effectiveness of laser disc generated models on conceptual shifts in college students. *Proceedings of the 62th Annual NARST Conference*. San Francisco, CA. (ERIC Documentation Reproduction Service No. ED 305271)



## Abstract

# An analysis of the use of external representations of science digital textbooks developed under the 2015 revised national curriculum

Hong Juyeon

Department of Science Education, Major in Chemistry

The Graduate School

Seoul National University

This study analyzed the uses of external representations presented in the matter units of the 7th-grade science digital textbooks developed under the 2015 revised national curriculum. The level, form, presentation, and interactivity of external representations presented in 5 types of digital textbooks were analyzed. As for the level, the macroscopic level of representations was mainly presented. The macroscopic level and microscopic level of representations were presented together in the particle description. As for the form,

visual-verbal representations were presented across the board, and visual-nonverbal representations were usually presented together. Very few audial-verbal and audial-nonverbal representations were presented. Visual-verbal and audial-verbal representations were mostly presented in formal form, and visual-nonverbal representations were mostly presented in illustration without movement. The presentation of representations was analyzed in three aspects. First, visual-verbal and visual-nonverbal representations were mainly presented together and none of audial-verbal and visual-nonverbal representations were presented together. When the representations of the audial-verbal, visual-nonverbal, and visual-verbal were presented together, some of the information presented in audial-verbal representations was repeatedly presented in the visual-verbal representations. Second, audial-nonverbal representations not related to learning content were presented along with other representations. Third, there were few cases of arranging visual-verbal and visual-nonverbal representations on the next pages. Audial-verbal and visual-nonverbal representations were always presented synchronized. As for the interactivity, the manipulation level was mainly presented in the main area, and the feedback level was mainly presented in the activity area. The adaptation level and the communication level of interactivity were presented very few. Based on the results, the implications for the direction of constructing digital textbooks were discussed.

**keywords : digital textbook, external representation, multimedia learning, 2015 revised national curriculum**

***Student Number : 2018-27504***