

2015 개정 교육과정에 따른 초등학교 과학과 디지털교과서의 물질 영역에 나타난 외적 표상의 양식과 제시 방법, 상호작용성 분석

김혜린 · 신기덕 · 노태희 · 김민환[†]

Analyzing the Form, Presentation, and Interactivity of External Representations in the Matter Units of Elementary Science Digital Textbooks Developed Under the 2015 Revised National Curriculum

Kim, Haerheen · Shin, Kidoug · Noh, Taehee · Kim, Minhwan[†]

국문 초록

이 연구에서는 2015 개정 교육과정에 따른 초등학교 과학 디지털교과서의 물질 영역에 제시된 외적 표상의 양식과 제시 방법, 상호작용성을 분석하였다. 선행연구의 분석틀을 본 연구의 맥락에 맞게 수정·보완하여 사용하였으며, 3~6학년 디지털 과학교과서에서 물질 영역을 다루는 단원을 ‘본문’과 ‘탐구’로 구분하여 분석하였다. 분석 결과, 외적 표상의 양식은 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 가장 많이 제시되었으며, 청각비언어 표상은 본문에만 높은 빈도로 제시되고 청각언어 표상은 본문과 탐구 전체에서 낮은 빈도로 제시되었다. 제시 방법 측면에서 언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 나타난 경우에는 대부분 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시되었다. 시각언어 표상, 청각언어 표상, 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우 중 일부에서 시각언어 표상과 청각언어 표상의 정보가 중복적으로 제시되었다. 그리고 내용과 관계없는 청각비언어 표상이 다른 외적 표상들과 함께 제시되었으며, 그 빈도는 특히 본문에서 높았다. 근접성 측면에서 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 다른 페이지에 배치되는 경우는 없었고, 청각언어 표상을 시각비언어 표상과 다른 시점에 제시하는 경우도 없었다. 상호작용성 측면에서는 설명적 피드백과 낮은 수준의 조작이 주로 나타났다. 이상의 결과를 바탕으로 다중 표상 학습의 관점에서 디지털교과서를 개선하기 위한 방안을 논의하였다.

주제어: 초등학교 과학교과서, 디지털교과서, 외적 표상, 다중 표상 학습, 2015 개정 교육과정

ABSTRACT

In this study, we analyzed the form, presentation, and interactivity of external representations presented in the matter units of elementary school science digital textbooks developed under the 2015 Revised National Curriculum. The analytic framework of the previous study was modified and supplemented. The matter units in the 3rd-6th grade science digital textbooks were analyzed by dividing them into “body texts” and “inquiries” area. The results revealed that visual-verbal and visual-nonverbal representations were presented the most. Conversely, audial-nonverbal representations were presented at a high frequency only in the body texts, and audial-verbal representations were presented at a low frequency in both the body texts and the inquiries. Regarding the presentation, when verbal and visual-nonverbal representations appeared together, visual-verbal and visual-nonverbal representations were primarily presented together. In some cases where visual-verbal, audial-verbal, and visual-nonverbal representations were presented together, information on visual-verbal and audial-verbal representations was presented redundantly. Audial-nonverbal representations unrelated to contents were presented along with other external representations, and the frequency was particularly high in the body texts.

Regarding the contiguity, no visual-verbal and visual-nonverbal representations were presented on different pages, and no auidial-verbal representations were presented asynchronously with visual-nonverbal representations. Regarding the interactivity, explanatory feedback and low-level manipulations were mainly presented. Based on the results, implications to improve digital textbooks are discussed from the perspective of multiple representation-based learning.

Key words: elementary science textbook, digital textbook, external representation, multimedia learning, 2015 Revised National Curriculum

I. 서 론

과학교과서에서는 글이나 그림, 사진 등의 다양한 표상을 이용하여 과학 개념이나 과학적 현상을 설명한다. 이때 개인의 정신 모형을 의미하는 내적 표상과 달리 시각 혹은 청각적으로 표현되는 정보를 통틀어 외적 표상이라고 한다(van Someren *et al.*, 1998). 외적 표상에는 글과 같이 언어적 정보를 시각적으로 표현하는 표상뿐만 아니라 이미지나 애니메이션처럼 비언어적 정보를 시각적으로 표현하는 표상, 내레이션과 같이 언어적인 정보를 청각적으로 표현하는 표상, 효과음과 같이 비언어적인 정보를 청각적으로 표현하는 표상 등 다양한 표상이 있다. 이렇게 서로 다른 외적 표상을 함께 제시하는 다중 표상 학습은 각각의 외적 표상이 서로 다른 정보와 인지 과정을 제공함으로써 학생들이 주어진 학습 내용을 효과적으로 이해할 수 있도록 돕기 때문에 다양한 교육적 효과를 갖는다(Ainsworth, 1999; Berthold & Renkl, 2009). 예를 들어 학습 내용을 글로만 제시하는 것보다는 이미지와 애니메이션과 같은 비언어적인 시각 정보와 학습 내용과 관련된 학생들의 대화 녹음과 같은 청각적 언어 정보를 다양하게 제시함으로써 학생들의 인지부담을 줄이고, 흥미와 이해를 도울 수 있다.

그러나 단순히 여러 외적 표상을 함께 제시하는 것만으로는 다중 표상 학습이 갖는 효과가 충분히 나타나지 않거나 오히려 학생들에게 여러 표상을 처리하도록 요구함으로써 어려움과 혼란을 가져오는 등 학습을 방해할 우려도 있다(Kozma, 2003; van Someren *et al.*, 1998). 특히 과학을 학습하는 학생들은 여러 표상을 활용하는 능력뿐 아니라 표상 자체를 이해하는 데에도 어려움을 겪는 것으로 알려져 있다(Kozma, 2003; Seufert, 2003; Treagust *et al.*, 2003; Wu *et al.*, 2013). 이에 과학 분야, 특히 화학 분야에서는 다중 표상의 의미를 시각적 표상에 집중하여 시각적 표상의 수준을 거시적, 미시적, 상징

적의 세 가지 수준으로 나누고, 효과적인 학습을 위해 세 가지 수준의 시각적 표상을 제시하는 방법과 관련된 연구가 이루어졌다(Gilbert & Treagust, 2009; Gkitzia *et al.*, 2011; Han & Roth, 2006; Russell *et al.*, 1997; Treagust *et al.*, 2003).

한편, 우리나라에서는 2007년 ‘디지털교과서 상용화 방안’을 발표하고 2009 개정 교육과정부터 디지털교과서를 개발하고 도입하여 왔다. 디지털교과서는 기존 서책형교과서에 제시된 교과 내용에 더하여 멀티미디어 자료와 평가 문항 등의 다양한 학습자료와 학습 지원 기능이 포함된 전자저작물 형태의 학습자료로, 학생 활동 중심의 수업과 학생 맞춤형 학습을 목표로 한다(교육부와 한국교육학술정보원, 2018). 디지털교과서는 서책형교과서보다 다양하고 풍부한 삽화를 추가로 제공할 수 있을 뿐만 아니라 서책형교과서에서는 구현이 불가능한 애니메이션, 내레이션 등의 시청각적 정보를 제공할 수 있다는 장점도 있다. 즉, 멀티미디어 학습 도구로서의 디지털교과서가 갖는 역할에 주목하여 디지털교과서가 다양한 시청각적 표상 중 어떤 외적 표상을 활용하고 있는지 분석할 필요가 있다.

디지털교과서가 다양한 외적 표상을 어떻게 제시하고 있는지 외적 표상의 제시 방법도 분석할 필요가 있다. 디지털교과서는 다중 표상 학습의 관점에서 서책형교과서에 비해 더욱 효과적인 교수학습 자료가 될 수 있으나 동시에 다양한 외적 표상을 활용하므로 더욱 주의 깊은 외적 표상의 선택과 제시가 필요하기 때문이다. 예를 들어, 언어 정보를 이미지나 애니메이션과 함께 제시할 때, 글로 쓴 설명 형태의 시각적 언어 정보보다는 내레이션 등의 청각적 언어 정보를 함께 제시하는 것이 더욱 효과적인 다중 표상 학습을 이끌어낼 수 있다(Clark & Mayer, 2008). 그러므로 청각적 표상을 활용할 수 있는 디지털교과서는 언어 정보를 이미지나 애니메이션과 함께 제시할 때 내레이션을 적극적으로 활용할 필요가 있다. 또한 학생들이 디지털교과서

의 학습 시스템과 상호작용할 수 있다는 점은 디지털교과서가 목표로 하는 개인별 맞춤형 학습과 학생 중심의 수업을 지원하는 기능으로서 서책형교과서와 구별되는 또 다른 특징 중 하나이다. 이러한 상호작용 환경은 일반적으로 정보를 제공하는 학습 환경보다 학생들의 적극적인 참여와 자기 주도적인 학습을 촉진할 수 있다(Kalyuga, 2007; Wang *et al.*, 2020). 따라서 디지털교과서에 제시된 외적 표상의 상호작용성 또한 분석할 필요가 있다.

지금까지 우리나라의 과학교과서에서 나타난 외적 표상을 분석한 연구는 주로 전통적인 서책형교과서를 중심으로 이루어졌다. 예컨대 외적 표상의 종류와 기능, 구조, 용도 등을 분류한 연구가 있었으며(김형진 등, 2014; 김혜진 등, 2009; 오지연 등, 2017; 이기영, 2009), 외적 표상의 위치나 기능, 추상성 정도를 분석한 연구도 있었다(강훈식 등, 2007; 강훈식 등, 2008; 권이영 등, 2011; 오민기와정은영, 2019; 조광희 등, 2015). 디지털교과서의 외적 표상을 분석한 연구는 최근에 일부 이루어졌는데 모두 중학교 디지털교과서를 분석하였고, 초등학교 디지털교과서를 외적 표상 측면에서 분석한 연구는 거의 없었다. 김노아 등(2018)은 중학교 ‘힘’ 관련 단원을 중심으로 서책형교과서와 디지털교과서의 외적 표상을 종류와 기능 등의 측면에서 분석하고 비교하였다. 그러나 서책형교과서와의 비교를 목적으로 한 만큼 청각적 표상 등 디지털교과서의 특징을 분석하지 못하였다. 송나운 등(2020)은 청각적 표상과 상호작용성 등 디지털교과서의 특징을 포함하여 중학교 1학년 디지털교과서의 물질 단원에 제시된 외적 표상을 수준과 양식, 제시 방법 등의 측면에서 분석하였다. 분석 결과 청각적 표상의 비율이 낮았고, 높은 수준의 상호작용은 거의 나타나지 않았다.

초등학교 교과서의 경우 중학교 교육과정에서 등장하는 입자성과 같은 미시적 개념을 다루지 않으므로 외적 표상의 양상이 다르게 나타날 가능성이 있으며, 인지 발달 수준이 상대적으로 낮은 초등학생은 중·고등학교 학생보다 교과서에 제시된 외적 표상에 더 많은 영향을 받을 수 있다(강훈식 등, 2008). 따라서 디지털교과서의 특징을 고려하여 초등학교 디지털교과서의 외적 표상을 분석하는 연구가 필요한 상황이다. 이에 이 연구에서는 과학의 네 가지 영역 중 물질 영역을 중심으로 2015 개

정 교육과정에 따른 초등학교 3~6학년 과학 디지털교과서에 제시된 외적 표상을 외적 표상의 양식, 제시 방법, 상호작용성의 측면에서 분석하였다.

II. 연구 방법

1. 분석 대상

이 연구에서는 2015 개정 교육과정 초등학교 3~6학년 과학 디지털교과서 중 물질 영역에 해당하는 단원을 분석하였다. 분석 대상으로 삼은 단원을 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Objects and the Number of Analysis Units for each Grade of Digital Textbook

학년	학기	단원명
3학년	1학기	물질의 성질
	2학기	물질의 상태
4학년	1학기	혼합물의 분리
	2학기	물의 상태 변화
5학년	1학기	용해와 용액
	2학기	산과 염기
6학년	1학기	여러 가지 기체
	2학기	연소와 소화

2. 분석틀

다중 표상 학습에 관한 선행연구(강훈식 등, 2007; Kalyuga, 2007; Mayer, 2003)를 바탕으로 중학교 1학년 디지털교과서에 나타난 외적 표상을 분석한 송나운 등(2020)의 분석틀을 참고하여 예비 분석틀을 설정하였다. 이를 바탕으로 두 명의 연구자가 반복적인 논의를 거쳐 초등학교 과학 디지털교과서에 맞는 최종 분석틀을 확정하였다. 초등학교 디지털교과서에 나타난 외적 표상을 양식, 제시 방법, 상호작용성의 범주에서 분석하였다. 송나운 등(2020)은 외적 표상의 수준과 양식, 제시 방법, 상호작용성을 분석하였다. 그러나 초등학교 디지털교과서의 경우 과학 교과에서 물질의 입자성을 다루지 않아 미시적 표상이나 상징적 표상이 나타나지 않으므로 외적 표상의 수준은 분석하지 않았다.

1) 외적 표상의 양식

Clark & Mayer(2008)가 제시한 외적 표상의 양식

기준에 따라 디지털교과서에 나타난 외적 표상의 양식(form)을 분석하였다(Table 2). 글과 같은 텍스트 형태의 ‘시각언어’, 이미지나 애니메이션과 같은 ‘시각비언어’, 내레이션이나 대화 내용과 같은 ‘청각언어’, 배경음, 환경음, 효과음과 같은 ‘청각비언어’로 분류하였다. 이때, 언어적 표상의 경우, 형식적인 형태보다 대화체와 같은 개인적인 형태로 제시될 때 학생들의 정보 처리에 더욱 효과적이라는 개인화 원리(personalization principle; Mayer, 2003)에 따라 무인칭 또는 3인칭의 ‘형식적’, 대화 형태나 2인칭의 ‘개인적’, 그리고 두 형태가 함께 나타난 ‘형식적 & 개인적’으로 분류하였다. 한편, 이중 부호화 이론(dual coding theory; Paivio, 1986)에 따르면 학습자의 작업 기억에서 청각/언어 처리 경로와 시각/그림 처리 경로의 두 경로로 정보를 처리할 때 학습자는 이를 더 잘 기억할 수 있으므로, 단일 양식으로 정보를 제시하는 것보다 언어 정보와 시각 정보를 함께 제공하는 것이 학습에 효과적이다. 그런데 애니메이션과 같은 동화상은 이미지와 같은 정화상보다 정보를 더 정확하고 구체적으로 묘사할 수 있어 이중 부호화될 가능성이 크므로 더욱 효과적인 다중 표상 학습을 이끌어낼 수 있다(이수경, 1998; Ardak & Akaygun, 2005; Williamson & Abraham, 1995). 이에 따라 시각비언어 표상을 이미지 형태의 ‘정화상’, 동영상 또는 애니메이션 형태의 ‘동화상’, 그리고 두 형태가 함께 나타난 ‘정화상 & 동화상’으로 분류하였다.

2) 외적 표상의 제시 방법

외적 표상의 제시 방법은 다중 표상 학습과 관련된 인지 이론(Clark & Mayer, 2008)을 바탕으로 언어적 표상이 시각비언어 표상과 함께 제시되었을 때를 다양한 측면에서 분석함으로써 언어 정보의 효과적인 제시 방법을 논의하였다. 상세한 분석 기준은 Table 3과 같다.

다중 양식 원리(modality principle; Clark & Mayer, 2008)에 따르면 언어적 표상과 이를 뒷받침하는 시각비언어 표상을 함께 제시할 때, 언어적 표상을 시각언어 표상보다 청각언어 표상으로 제시하는 것이 더 효과적이다. 그러므로 디지털교과서에서 언어적 표상과 시각비언어 표상이 같이 제시된 경우를 언어적 표상의 양식에 따라 ‘시각언어 & 시각비언어’, ‘청각언어 & 시각비언어’, ‘시각언어 & 청각언어 & 시각비언어’로 분류하였다. 이때, 중복 회피 원리(redundancy principle; Clark & Mayer, 2008)를 고려하여 시각비언어 표상과 이를 설명하는 언어적 표상을 함께 제시할 때 내레이션으로 제시한 정보를 글로 중복 제시하지 않는 것이 바람직하다. 이에 따라 ‘시각언어 & 청각언어 & 시각비언어’의 경우 시각언어와 청각언어 표상의 정보가 중복되어 제시되었는지를 추가적으로 분석하였다.

일관성 원리(coherence principle; Mayer, 2003; Veronikas & Shaughnessy, 2005)에 의하면, 다중 표상 학습에서 학습과 직접적으로 관련이 없는 정보

Table 2. Analytic Framework for the Form of External Representations

양식	의미
시각언어	글과 같이 시각적으로 언어를 표현한 양식
형식적	시각적인 언어 정보를 무인칭 또는 3인칭으로 제시하는 형태
개인적	시각적인 언어 정보를 대화 형태 또는 2인칭으로 제시하는 형태
형식적 & 개인적	시각적인 언어 정보를 형식적 형태와 개인적 형태로 함께 제시하는 형태
청각언어	동영상의 내레이션이나 음성 해설, 대화 음성과 같이 청각적으로 언어를 표현한 양식
형식적	청각적인 언어 정보를 무인칭 또는 3인칭으로 제시하는 형태
개인적	청각적인 언어 정보를 대화 형태 또는 2인칭으로 제시하는 형태
형식적 & 개인적	청각적인 언어 정보를 형식적 형태와 개인적 형태로 함께 제시하는 형태
시각비언어	사진, 그림과 같은 이미지 또는 동영상, 애니메이션과 같이 언어가 아닌 정보를 시각적으로 표현한 양식
정화상	언어가 아닌 정보를 사진, 그림과 같은 이미지로 제시하는 형태
동화상	언어가 아닌 정보를 동영상 또는 애니메이션으로 제시하는 형태
정화상 & 동화상	언어가 아닌 정보를 정화상과 동화상으로 함께 제시하는 형태
청각비언어	배경음, 환경음, 효과음과 같이 언어가 아닌 정보를 청각적으로 표현한 양식

Table 3. Analytic Framework for the Presentation of External Representations

제시 방법		의미
언어 & 시각비언어	시각언어 & 시각비언어	하나의 분석 단위 안에 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시됨
	청각언어 & 시각비언어	하나의 분석 단위 안에 청각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시됨
	시각언어 & 청각언어 & 시각비언어	하나의 분석 단위 안에 시각언어, 청각언어, 시각비언어 표상이 함께 제시됨
관계없는 표상		학습 내용과 직접적으로 관계가 없는 외적 표상
근접성	삽입	시각언어 표상과 시각비언어 표상이 서로 내재됨
	근처	시각언어 표상과 시각비언어 표상이 나란히 제시됨
	마우스 오버	마우스 커서를 가까이 하였거나 클릭하였을 때 팝업으로 시각적 표상이 제시됨
	다른 페이지	시각언어 표상과 시각비언어 표상이 서로 다른 페이지에 제시됨
	동시	청각언어 표상과 시각비언어 표상이 동시에 제시됨
시간적 근접성	비동시	청각언어 표상과 시각비언어 표상이 시간 간격을 두고 제시됨

가 추가로 제공될 경우 학생들의 주의를 산만해지거나 불필요한 정보에 집중될 수 있다. 특히, 학습 동영상 등에 함께 제공되는 배경음이나 환경음은 학생들에게 과도한 인지 부담을 줄 수 있으므로 사용하지 않는 것이 바람직하다. 이에 따라 분석 단위에 학습 내용과 관계없는 외적 표상이 포함되었는지 분석하였다.

공간적 근접성 원리(spatial contiguity principle; Mayer, 2003; Veronikas & Shaughnessy, 2005)를 고려할 때, 학습자의 불필요한 인지 부담을 최소화하기 위하여 시각언어 표상은 이를 설명하는 시각비언어 표상과 인접하게 배치하는 것이 바람직하다. 또한 시간적 근접성 원리(temporal contiguity principle; Mayer & Moreno, 2002; Veronikas & Shaughnessy, 2005)에 따라, 언어적 정보와 이를 설명하는 시각적 정보가 동시에 제공되는 것이 그렇지 않은 경우보다 정보들 사이의 연계와 통합을 촉진하는 데 유리하다. 이러한 근접성 원리에 따라 언어적 표상과 시각비언어 표상의 공간적 근접성과 시간적 근접성을 분석하였다. 공간적 근접성의 경우 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 서로 내재되어 있는 ‘삽입’, 상하 좌우에 나란히 제시된 ‘근처’, 마우스 커서를 가까이 하거나 클릭하였을 때 팝업으로 제시되는 ‘마우스 오버’, 서로 다른 페이지에 제시된 ‘다른 페이지’의 4가지로 세분화하여서 분석하였다. 시간적 근접성의 경우 멀티미디어 학습 맥락에서 내레이션과 애니메이션을 동시/연속적으로 제시하였을 때 이 두 가지 표상을 동시에 제시하는 것이 효과적이라는 연구 결과(Mayer & Moreno, 2002)를 바탕으로 청각언어 표상과 시각비언어 표상이 동시에 제시되었는지 또는

시간적 간격을 두고 제시되었는지 분석하였다.

3) 외적 표상의 상호작용성

외적 표상의 상호작용성은 이리닝에서의 상호작용적 환경에 대한 연구(Kalyuga, 2007)를 바탕으로 ‘피드백’, ‘조작’, ‘적응’, ‘소통’ 수준으로 나누어 분석하였다(Table 4). 또한, 본 연구에서는 송나윤 등(2020)에서 분석한 상호작용성 중 높은 빈도로 등장했던 피드백과 조작의 수준을 각각 2개 수준으로 세분하여 분석하였다. 피드백 수준의 경우 피드백의 내용에 따라 ‘교정적 피드백’과 ‘설명적 피드백’으로 세분하였으며, 조작 수준의 경우 수준에 따라 ‘낮은 수준의 조작’과 ‘높은 수준의 조작’으로 나누어 분류하였다(Kalyuga, 2007). 피드백 수준의 상호작용성은 학습자가 한 가지 행동만 선택할 수 있으며 그에 대해 고정된 반응을 제공하는 경우를 말한다. 예를 들어, 평가 문제의 정답이나 해설을 제시해주는 경우가 이에 해당한다. 이때 단순히 문항의 정오만을 표현하는 경우는 교정적 피드백으로, 정오와 함께 개념이나 원리를 제시했다면 설명적 피드백으로 구분하였다. 조작 수준의 상호작용성은 학습자가 정해진 반응 중에서 원하는 반응을 선택할 수 있도록 하는 것으로, 학습자가 사진을 클릭하거나 시뮬레이션의 형태를 바꾸는 등의 경우가 조작 수준의 상호작용성에 해당한다. 이때 클릭하여 사진을 넘기거나 영상의 다른 부분을 재생하는 등의 수준은 낮은 수준의 조작으로, 학습자가 반응을 선택하여 시뮬레이션의 형태를 바꿀 수 있다면 높은 수준의 조작으로 구분하였다. 적응 수준의 상호작용성은 학습자의 응답에 따라 서로 다른 학습

Table 4. Analytic Framework for the Interactivity of External Representations

상호작용성	의미
상호작용 없음	상호작용성이 전혀 나타나지 않음
피드백	학습자가 한 가지 행동만을 선택할 수 있으며 이에 대한 고정적 반응을 제공함
교정적	문항의 정오만을 표현하는 피드백
설명적	문항의 정오와 함께 개념이나 원리를 제시하는 피드백
조작	학습자가 정해진 반응 중에서 원하는 반응을 선택할 수 있도록 함
낮은 수준	클릭으로 사진을 넘기거나 영상의 다른 부분을 재생하는 수준의 조작
높은 수준	학습자가 반응을 선택하여 시뮬레이션의 형태를 바꿀 수 있는 조작
적용	학습자의 응답에 따라 서로 다른 학습 경로를 제공함
소통	학습자가 다양한 선택을 하고, 학습자의 선택에 따라 서로 다른 반응을 제공함

경로를 제공하는 것을 말한다. 소통 수준의 상호작용성은 학습자가 다양한 선택을 하고, 학습자의 선택에 따라 서로 다른 반응을 제공하는 것을 의미한다. 또한 상호작용성이 전혀 나타나지 않는 경우를 의미하는 ‘상호작용 없음’ 항목을 추가하였다.

3. 분석 방법

각 단원에서 특정 개념이나 현상에 대한 설명 및 평가에 해당하는 부분을 ‘본문’, 개념과 관련된 탐구활동에 해당하는 부분을 ‘탐구’로 구분하여 분석하였다. 이때 본문의 경우 하나의 같은 개념이나 같은 현상을 설명하는 영역을, 탐구의 경우 일관된 탐구활동을 수행하는 영역을 하나의 분석 단위로 설정하였다. 그리고 하나의 분석 단위에 제시된 모든 외적 표상을 항목별로 코딩하여 분석에 활용하였다. 예를 들어, 하나의 분석 단위에 시각언어 표상과 청각언어 표상이 함께 제시된 경우 외적 표상의 양식 측면에서 시각언어 표상과 청각언어 표상이 각각 제시된 것으로 코딩하였다. 도입부와 실험 과정에 대한 단순 서술 및 용어 정리는 개념이나 설명을 직접적으로 설명하는 외적 표상이 아니므로 분석하지 않았다. 분석 대상으로 삼은 각 학년의 본문과 탐구에서 나타난 분석 단위의 수와 백분율을 Table 5에 제시하였다.

최종 분석틀을 이용하여 분석 대상 중 한 단원을 임의로 선정하고 각자 분석하여 그 결과를 비교하였다. 연구자 간 일치도를 95% 이상 확보한 후 한 명의 연구자가 나머지 교과서를 분석하였다. 과학 교육 전문가 3인, 현직 과학교사 3인, 과학교육 전공 대학원생 4인으로 구성된 세미나를 여러 번 실

Table 5. Objects and the Number of Analysis Units for each Grade of Digital Textbook

학년	분석 단위(%)		계
	본문	탐구	
3학년	80 (76.2)	25 (23.8)	105 (100.0)
4학년	77 (68.8)	35 (31.2)	112 (100.0)
5학년	60 (60.0)	40 (40.0)	100 (100.0)
6학년	66 (62.9)	39 (37.1)	105 (100.0)
계	283 (67.1)	139 (32.9)	422 (100.0)

시하여 분석 결과와 결과 해석의 타당성을 검토받았다.

분석 결과는 각 항목의 빈도와 백분율(%)을 본문과 탐구에 대해 별도로 제시하였다. 이때 백분율은 각 분석 범주에 해당하는 전체 분석 단위의 수에서 각 항목이 차지하는 비율을 제시하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 외적 표상의 양식

디지털교과서에 나타난 외적 표상 양식의 빈도와 백분율을 Table 6에 제시하였다.

시각언어 표상은 네 가지 외적 표상의 양식 중 가장 높은 빈도로 제시되었다. 본문에서는 283개의 모든 단위에서 시각언어 표상이 사용되었다. 이는 본문에서 특정 개념이나 현상에 대한 설명이 글로 제시되었기 때문이다. 탐구에서도 전체 139개 단위 중 125개(89.9%)의 단위에서 시각언어 표상이 사용되어 대부분의 단위에서 시각언어 표상이 사용되었는데, 개념이나 현상에 대한 설명이나 탐구활동

Table 6. The Frequencies and Percentages of Form of each External Representations

양식	빈도(%)		
	본문(283)	탐구(139)	계(422)
시각언어	283 (100.0)	132 (94.9)	415 (98.3)
형식적	276 (97.5)	125 (89.9)	401 (95.0)
개인화	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
형식적 & 개인화	7 (2.5)	7 (5.0)	14 (3.3)
청각언어	19 (6.7)	40 (28.8)	59 (14.0)
형식적	15 (5.3)	32 (23.0)	47 (11.1)
개인화	4 (1.4)	8 (5.8)	12 (2.8)
형식적 & 개인화	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
시각비언어	174 (61.8)	96 (69.1)	270 (64.0)
정화상	137 (48.4)	33 (23.7)	170 (40.3)
동화상	23 (8.1)	47 (33.8)	70 (16.6)
정화상 & 동화상	14 (4.9)	16 (11.5)	30 (7.1)
청각비언어	190 (67.1)	16 (11.5)	206 (48.8)

의 원리 등을 글로 제시한 것이 이러한 사례에 해당하였다. 또한 디지털교과서에 제시된 모든 시각언어 표상은 형식적인 형태를 포함하여 제시되었다. 대부분의 시각언어 표상은 형식적인 형태가 단독으로 제시되었는데, 본문에서 7개(2.5%), 탐구에서 7개(5.0%)의 단위에서는 개인화된 형태가 형식적인 형태와 함께 나타났다. 예를 들어, 4학년 1학기 ‘혼합물의 분리’ 단원의 탐구 영역인 ‘혼합물의 분리를 이용하여 재생 종이 만들기’ 활동 중 ‘함께 생각하기’에서는 글상자를 통해 형식적인 언어로 재생 종이를 만들 때 생각해야 할 점들을 제시한 뒤, 이와 함께 네 명의 학생들이 재생 종이를 어떻게 만들지 대화하는 장면을 말풍선과 함께 제시하였다.

청각언어 표상은 본문의 경우 19개(6.7%), 탐구의 경우 40개(28.8%)개의 단위에서 나타나, 네 가지 외적 표상의 양식 중 가장 낮은 빈도를 차지했다. 청각언어 표상은 본문보다 탐구에서 더 높은 비율로 나타났는데, 일부 탐구 단위에서 시각언어로 설명을 제시하는 대신 내레이션으로 설명을 제시하는 경우가 있었기 때문이다. 예를 들어 4학년 1학기 ‘혼합물의 분리’ 단원의 탐구 영역에서는 영상에 내레이션을 삽입하여 설명이 만들어지는 과정을 설명하였다. 본문의 경우 19개 단위 중 15개 단위가, 탐구의 경우 40개 단위 중 32개 단위가 형식

적인 형태로, 청각언어 표상의 많은 수가 형식적인 형태로 제시되었으며 개인화된 형태는 적게 나타났다. 청각언어 표상의 경우, 형식적인 형태와 개인화된 형태가 함께 나타난 경우는 없었다.

시각언어 표상과 청각언어 표상 모두에서 개인화된 형태는 매우 적게 나타났다. 개인화된 형태의 언어적 정보는 정보 처리 과정을 정교화하고 조직화함으로써 정보에 대한 학생들의 흥미를 유발하고 심층적인 이해를 돕는다(Mayer, 2003). 특히, 초등학교 학생들은 과학 용어에 친숙하지 않고 언어적 능력이 부족하므로 개인화된 형태의 언어적 정보는 더욱 효과적일 수 있다. 따라서 향후 디지털교과서에서는 개인화된 형태의 언어적 정보를 더욱 적극적으로 활용할 필요가 있다.

시각비언어 표상은 네 가지 외적 표상의 양식 중 두 번째로 높은 빈도로 나타났다. 본문 283개 단위 중 174개(61.8%), 탐구 139개 단위 중 96개(69.1%)의 단위에서 시각비언어 표상이 나타났다. 시각비언어 표상은 본문과 탐구에서 유사한 비율로 사용되었으나, 정화상과 동화상이 사용되는 비율은 본문과 탐구에서 다르게 나타났다. 본문에서는 151개 단위에서 정화상이, 37개 단위에서 동화상이 나타나, 본문에서 사용된 시각비언어 표상은 정화상이 많았다. 반면에 탐구에서는 49개 단위에서 정화상이, 63개 단위에서 동화상이 나타나 동화상이 많이 사용되었다. 즉, 본문에서는 언어적 표상으로 제시된 설명을 보조하는 역할의 이미지나 사진이 많이 사용되어 정화상이 높은 비율로 나타났는데, 탐구에서는 동영상으로 보조하여 설명하는 경우가 많았다. 예를 들어, 5학년 1학기 ‘용해와 용액’ 단원의 본문에서는 용액의 진하기를 색깔이나 맛과 같은 겉보기 성질을 이용하여 비교할 수 있다는 설명을 제시하면서, 학생이 흰 종이를 용액이 담긴 비커에 대고 색을 비교하는 사진을 제시하였다. 또한, 5학년 1학기 ‘용해와 용액’ 단원의 탐구활동에서는 각 설탕을 용해한 용액에 방울토마토를 넣고 관찰하는 탐구활동을 제시하고, 관련된 원리를 설명하는 동영상을 제시하였다.

청각비언어 표상은 본문의 경우 190개(67.1%) 단위에서 나타났다. 반면 탐구에서는 16개(11.5%) 단위에서만 나타나 탐구보다 본문에서 매우 높은 빈도로 사용되었음을 알 수 있다. 이는 본문 중 단원 마무리 영역에서 효과음의 형태로 시각비언어 표

상을 사용하는 경우가 많았기 때문이다. 예를 들어, 5학년 2학기 ‘산과 염기’ 단원의 단원 마무리에서는 물질의 액성을 맞추는 문제를 제시하고, 학생들이 답을 입력한 뒤 ‘확인하기’ 버튼을 누르면 답의 정오에 따라 서로 다른 효과음이 재생되도록 하였다.

중등 디지털교과서의 물질 영역을 분석한 송나윤 등(2020)의 연구에서는 청각언어 표상이 6.9%, 청각비언어 표상이 9.4%로 청각적 표상의 비율이 낮았다. 그러나 초등 디지털교과서에서는 청각언어와 청각비언어 표상 모두 이보다 높은 비율로 나타났다. 청각적 표상은 전통적인 서책형교과서와 차별화되는 디지털교과서의 이점 중 하나이므로 초등 디지털교과서에서 청각적 표상이 더욱 높은 빈도로 활용된 것은 고무적인 결과라고 할 수 있다. 그러나 청각언어 표상은 본문에서의 빈도가 여전히 높지 않았고, 청각비언어 표상은 효과음이 대부분을 차지하는 등 일부 표상이 단조롭게 활용되는 경우도 있었으므로, 이에 대한 개선이 필요할 것이다.

2. 외적 표상의 제시 방법

1) 언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 나타난 경우

언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 빈도를 Table 7에 정리하였다.

언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우 중에서는 시각언어 표상이 시각비언어 표상과 함께 제시된 경우가 가장 많았다. 본문의 전체 283개 단위 중 154개(54.4%) 단위와 탐구의 전체 139개 단위 중 53개(38.1%) 단위에서 함께 제시되었다. 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시되는 경우는 주로 현상을 그림으로 제시하고 이에 대한 용어나 부연 설명을 글로 제시하는 경우로, 예를 들어 5학년 1학기 ‘용해와 용액’ 단원의 본문

에서는 소금과 물, 그리고 소금물의 사진을 제시하고 각 사진의 하단에 용질, 용매, 용액을 글로 표시하였다.

청각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우는 본문에서는 없었으며, 탐구에서는 11개(7.9%) 단위에서 나타났다. 시각언어 표상과 청각언어 표상, 시각비언어 표상이 모두 함께 제시된 경우는 본문의 19개(6.7%) 단위에서, 탐구의 29개(20.9%) 단위에서 나타났다. 이와 같이 본문보다 탐구에서 청각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 쓰이는 경우가 많았다. 예를 들어, 5학년 2학기 ‘산과 염기’ 단원의 탐구활동에서는 도입부에서 학생들이 다양한 용액을 분류하는 대화를 나누는 동영상을 제시하여 청각언어 표상과 시각비언어 표상을 함께 제시하였다. 이때, 학생들이 대화하는 책상 위에 놓인 화학물질에 대한 설명을 삽입하여 시각언어 표상을 함께 제시하였다.

다중 양식 원리에 따르면 언어적 표상과 시각비언어 표상을 함께 제시할 때 청각언어 양식으로 언어적 표상을 제시하는 것이 시각언어 양식으로 제시하는 것보다 정보 처리 과정에서의 인지 부담을 감소하고 학습을 도울 수 있다(Clark & Mayer, 2008). 그러나 본문에서는 청각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 비율이 특히 낮았다. 본문은 개념에 대한 설명을 많이 제시하므로 학생들의 인지 부담이 높다고 할 수 있으므로, 시각비언어 표상을 제시할 때 청각언어 표상을 더 적극적으로 활용한다면 학생들의 인지 부담을 덜 수 있을 것이다.

시각언어 표상과 청각언어 표상, 그리고 시각비언어 표상이 모두 함께 제시되었을 때 시각언어 표상의 언어적 정보와 청각언어 표상의 언어적 정보가 중복으로 제시된 경우는 본문의 19개 단위 중 3개(15.8%) 단위에서, 그리고 탐구의 29개 단위 중 10개(34.5%) 단위에서 나타났다. 언어적 정보가 중복되어 나타날 때는 주로 내레이션이나 대화 음성

Table 7. The Frequencies and Percentages of Verbal & Visual-nonverbal Representations

언어 & 시각비언어	빈도(%)		
	본문(283)	탐구(139)	계(422)
시각언어 & 시각비언어	154 (54.4)	53 (38.1)	207 (49.1)
청각언어 & 시각비언어	0 (0.0)	11 (7.9)	11 (2.6)
시각언어 & 청각언어 & 시각비언어	19 (6.7)	29 (20.9)	48 (11.4)

이 재생될 때 동시에 같은 내용이 말풍선으로 제시되는 형태였다. 예를 들어, 4학년 2학기 ‘물의 상태 변화’ 단원의 탐구 활동에서는 물의 상태 변화를 이용하여 가슴기를 만드는 것에 관한 학생들의 대화 음성을 삽입하였는데, 음성이 재생됨과 동시에 말풍선을 통해 학생들의 대화가 글로 제시되었다. 이와 같이 청각언어 표상과 시각비언어 표상을 함께 제시할 때 청각언어 표상으로 제시한 언어적 정보를 시각언어 표상으로 중복하여 제시하면 학습자의 시각 정보 처리 과정에 부담을 줄 수 있으므로 활용에 유의할 필요가 있다(Clark & Mayer, 2008).

2) 관계없는 표상

학습 내용과 관계없는 표상을 분석한 결과, 본문 전체 283개 단위 중 190개(67.1%) 단위에서, 그리고 탐구 전체 139개 단위 중 16개(11.5%) 단위에서 내용과 관계없는 표상이 나타났다. 관계없는 표상은 모두 효과음이나 배경음 등의 청각비언어 표상이었다. 그리고 본 연구에서 나타난 청각비언어 표상은 모두 학습 내용과 관계없는 표상에 해당했다. 관계없는 표상은 탐구보다 본문에서 높은 비율로 나타났는데, 이는 소단원 마지막 부분의 평가 문제에서 학생들이 문제를 풀고 정답을 확인할 때, 정오 여부에 따라 서로 다른 효과음을 재생하는 등 효과음을 다수 사용하였기 때문이다. 예를 들어 4학년 2학기 ‘물의 상태 변화’ 단원의 마무리 퀴즈에서는 학생들에게 5지선다 문제를 제시하고, 학생들이 정답을 선택할 때와 오답을 선택하였을 때 서로 다른 효과음을 재생하였다. 탐구에서도 관계없는 표상이 일부 나타났는데, 예를 들어 6학년 2학기 ‘연소와 소화’ 단원의 탐구활동에서는 화재 관련 대처와 관련된 동영상상을 제시하였는데, 이때 학습 상황과 관련이 없는 배경음을 사용하였다. 이러한 효과음과 배경음은 학생들의 관심을 끌 수 있지만, 주의를 분산하여 학습자의 학습을 방해할 수도 있으므로 활용에 유의할 필요가 있다(Clark & Mayer, 2008). 또한 본 연구에서 분석 대상으로 삼은 물질 영역에서 나타난 청각비언어 표상은 모두 관계없는 표상에 해당하였으므로 이를 내용과 관련되게 활용할 수 있도록 개선할 필요도 있을 것이다. 예를 들어, 4학년 ‘물의 상태 변화’ 단원에서 물이 수증기로 상태 변화하는 내용을 다룰 때 물의 끓는

소리를 청각비언어 표상으로 함께 제시할 수 있다. 청각적 표상을 활용할 수 있다는 점은 디지털교과서의 특징이라고 할 수 있으므로, 이처럼 청각비언어 표상을 내용과 관련되게 활용한다면 디지털교과서의 장점을 살려 학생들의 학습을 더욱 효과적으로 도울 수 있을 것이다.

3) 외적 표상의 근접성

시각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 단위는 본문과 탐구에서 각각 174개, 82개였다. 이 단위의 공간적 근접성을 분석한 결과는 Table 8과 같다.

시각언어 표상과 시각비언어 표상은 주로 근처에 배치되는 형태로 제시되었다. 본문 174개 단위 전체에서 시각언어와 시각비언어 표상이 근처에 배치되는 형태로 나타났으며, 탐구 82개 단위 중 70개(85.4%) 단위에서도 이와 같은 형태가 나타났다. 예를 들어 5학년 1학기 ‘용해와 용액’ 단원의 본문에서는 용해와 관련된 용어를 설명하고 바로 아래에 용어를 설명하는 예시인 소금, 물, 그리고 소금물 사진을 배치하였다. 또한, 두 가지 표상 중 하나의 표상 안에 다른 표상을 삽입하는 형태는 본문과 탐구에서 각각 46개(26.4%) 단위, 38개(46.3%) 단위에서 나타나 다음으로 높은 빈도를 차지하였다. 예를 들어 3학년 2학기 ‘물질의 상태’ 단원의 본문에서는 동영상의 플라스틱 병과 주사기가 나오는 장면에서 ‘플라스틱병’, ‘주사기’를 제시하여, 동화상 안에 언어적 정보를 삽입하였다. 마우스 오버의 형태는 18개(10.3%) 단위, 12개(14.6%) 단위에서 나타났다. 마우스 오버는 주로 사진이나 특정 아이콘을 클릭할 때 교과서에 제시된 이미지가 확대되거나, 추가적인 설명이나 다른 이미지가 나타나는 형태로 활용되었다. 예를 들어, 6학년 1학기 ‘여러 가지 기체’ 단원에서는 땅과 하늘의 비행기에서 일어나

Table 8. Frequencies and Percentages of Spatial Contiguity of External Representations

공간적 근접성	빈도(%)		
	본문(174)	탐구(82)	계(256)
삽입	46 (26.4)	38 (46.3)	84 (32.8)
근처	174 (100.0)	70 (85.4)	244 (95.3)
마우스 오버	18 (10.3)	12 (14.6)	30 (11.7)
다른 페이지	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)

는 과자 봉지의 부피 변화를 사진으로 제시하였는데, 사진 옆의 손가락 아이콘을 클릭함에 따라 서로 다른 사진으로 전환할 수 있도록 하였다. 이와 같이 외적 표상을 마우스 오버로 제시하는 것은 한정된 화면에 다양한 정보를 효과적이고 통합적으로 제시할 수 있으므로 서책형교과서와 구별되는 디지털교과서의 특징을 긍정적으로 활용한 결과라고 볼 수 있다(송나윤 등, 2020). 그러나 마우스 오버를 통해 제시되는 정보는 조작에 따라 일시적으로 나타나므로, 학습자가 한 번에 여러 정보를 접하거나 마우스 오버로 나타난 정보를 바탕으로 다른 활동을 진행하는 상황에서는 적절하지 않을 수 있다(Clark & Mayer, 2008). 따라서 마우스 오버로 제시되는 정보의 형태를 세분하고 각각의 장단점을 조사하는 연구를 통해 구체적인 논의가 이루어질 필요가 있다. 마지막으로 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 서로 다른 페이지에 제시되는 경우는 본문과 탐구 모두에서 없었다.

한편, 청각언어 표상과 시각비언어 표상은 본문의 19개 단위, 탐구의 40개 단위에서 함께 나타났다. 이 단위의 시간적 근접성을 분석한 결과, 본문과 탐구의 모든 단위에서 청각언어 표상과 시각비언어 표상이 동시에 제시되었다. 따라서 디지털교과서에 제시된 모든 외적 표상들은 공간적·시간적 근접성 원리(Mayer, 2003; Mayer & Moreno, 2002; Veronikas & Shaughnessy, 2005)에 부합하는 형태로 제시되었다.

3. 외적 표상의 상호작용성

외적 표상의 상호작용성의 빈도와 비율을 Table 9에 나타내었다.

본문 총 283개 단위 중 59개(20.8%) 단위, 그리고 탐구 총 139개 단위 중 64개(46.0%) 단위에서 외적 표상의 상호작용이 나타나지 않았다. 상호작용이 나타나지 않은 경우는 분석 단위에 시각언어 표상 외에 다른 외적 표상이 제시되지 않은 경우가 많았다. 예를 들어, 개념이나 현상에 대한 설명이 그림이나 내레이션 없이 글 형태로만 제시된 경우, 별다른 상호작용이 없는 경우가 대부분이었다.

한편, 피드백 상호작용 중 학생들의 답변에 대한 설명 없이 정오 여부만을 제시하는 교정적 피드백의 경우 본문에서 단 2개(0.7%) 단위에서만 나타났으며, 탐구에서는 나타나지 않았다. 예를 들어 4학

Table 9. Frequencies and Percentages of Interactivity of External Representations

상호작용성	빈도(%)			
	본문(283)	탐구(139)	계(422)	
상호작용 없음	59 (20.8)	64 (46.0)	123 (29.1)	
피드백	교정적	2 (0.7)	0 (0.0)	2 (0.5)
	설명적	182 (64.3)	4 (2.9)	186 (44.1)
조작	낮은 수준	51 (18.0)	69 (49.6)	120 (28.4)
	높은 수준	1 (0.4)	8 (5.8)	9 (2.1)
적용	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	
소통	0 (0.0)	1 (0.7)	1 (0.2)	

년 2학기 본문에서는 학생들에게 상태 변화와 관련된 예시 사진을 5개 제시하고 같은 현상끼리 분류하도록 한 뒤, 올바르게 분류할 수 없는 영역에 분류하면 특별한 설명 없이 그림이 튀겨 나오는 애니메이션과 효과음이 나타나도록 하였다. 설명적 피드백은 본문에서 182(64.3%)개 단위, 탐구에서 4개(2.9%) 단위에서 나타났다. 즉, 질문이나 활동에서 학생들의 답변에 대해 관련된 개념을 바탕으로 설명하는 설명적 피드백은 대부분이 본문에서 나타났는데, 예를 들어 소단원이 끝날 때 제시되는 마무리 문제에서 학생들이 문제를 풀고 정답을 확인하면, 정답과 함께 해설이 제시되는 형태로 활용되었다. 과학 개념에 숙련되지 않은 학생들에게는 질문의 답 또는 정오 여부만을 제시하는 것보다는 관련 과학 원리를 바탕으로 설명을 제시함으로써 학생들이 부족한 부분을 인식하고 심층적으로 이해할 수 있도록 하는 것이 학습에 더욱 효과적이라고 할 수 있다(Kalyuga, 2007). 따라서 설명적 피드백이 대부분은 차지한 결과는 고무적이라고 할 수 있으나 교정적 피드백 또한 설명적 피드백으로 수정할 필요가 있을 것이다. 예컨대 앞서 제시한 교정적 피드백의 예시와 같이 학생의 응답에 대해 설명 없이 애니메이션과 효과음만 제시되는 경우, 오답과 관련된 해설을 추가하여 제시함으로써 설명적 피드백으로 수정할 수 있다.

조작 상호작용 중 낮은 수준의 조작은 본문에서 51개(18.0%) 단위, 탐구에서 69개(49.6%) 단위에서 나타났다. 낮은 수준의 조작은 본문보다 탐구에서 높은 비율로 나타났는데, 주로 동영상의 재생바를 조작할 수 있도록 제공하는 형태로 많이 나타났다. 예를 들어 3학년 1학기 ‘물질의 성질’ 단위의 탐구

활동에서는 서로 다른 물질로 만들어진 다양한 컵에 대한 동영상과 제시하고, 학생들이 각 영상에서 재생바를 조작하여 영상을 자유롭게 재생하거나 멈추고, 원하는 장면으로 이동할 수 있도록 하였다. 이 외에도 사진을 끌어 이동시키거나, 스크롤을 움직이는 형태의 낮은 수준의 조작 또한 제시되었다. 이러한 조작은 학습자에게 주어진 정보를 자신이 다룰 수 있는 작은 단위로 나누어 처리하도록 함으로써 학습을 도울 수 있다. 한편, 학생들이 선택하는 다양한 행동에 따라 결과값이 다르게 제시되는 높은 수준의 조작은 본문에서 1개(0.4%) 단위, 탐구에서는 8개(5.8%) 단위에서 나타났다. 예를 들어 5학년 2학기 ‘산과 염기’ 단원의 탐구 영역 중 보충 활동에서는 가상의 비커에 담긴 100mL 염산 용액에 수산화나트륨 용액을 10mL씩 스포이트로 떨어트리면서 지시약의 색 변화를 확인하는 활동을 제시하였다. 이때, 학습자가 스포이트를 클릭함에 따라 지시약의 색이 점차적으로 변화하였다. 디지털 교과서에 나타난 이와 같은 조작 상호작용은 학습자가 능동적으로 학습할 수 있는 환경을 조성한 고무적인 결과라고 할 수 있다.

한편, 적응 수준의 상호작용은 본문과 탐구에서 모두 나타나지 않았으며, 소통 수준의 상호작용은 탐구에서만 1개(0.7%) 단위에서 나타났다. 5학년 1학기 ‘용해와 용액’ 단원의 탐구 영역 중 보충 활동에서는 온도에 따라 백반이 녹는 양이 어떻게 달라지는지 확인하는 가상 실험 활동을 제시하였다. 이 활동에서 학습자는 가상의 비커에 자유롭게 백반을 녹이고, 이와 동시에 물의 온도를 자유롭게 조절하며 실험을 한 뒤 가상의 측정기를 통해 물에 녹은 백반의 양과 녹지 않은 백반의 양을 확인하고 기록할 수 있다. 이와 같은 높은 수준의 상호작용은 학생들이 자신의 선택에 대한 반응을 예측하고 설명하여 자신의 인지 과정을 효과적으로 반성할 수 있도록 한다. 그러나 학습자의 수준이 낮은 경우, 학습자에게 다양한 선택지를 제시하는 상호작용성은 오히려 학습자에게 인지 부담을 유발할 수 있으므로(Kalyuga, 2007), 초등학교 각 학년의 수준에 적합한 상호작용성을 다양하게 제시할 필요가 있다. 예를 들어, 저학년의 경우에는 적응이나 소통 수준의 상호작용성보다는 높은 조작 수준의 상호작용이 더욱 효과적인 학습으로 이어질 수 있다(Kalyuga, 2007). 이와 같이 디지털 교과서에서 학생

들의 수준을 고려하여 상호작용성을 활용한다면, 학생들의 능동적 참여와 효과적인 다중 표상 학습 환경을 제공하는 데 도움이 될 것이다. 따라서 각 학년의 학습자의 수준에 맞는 적절한 상호작용성에 대한 구체적인 연구가 이루어질 필요가 있으며, 이를 향후 디지털 교과서 개발에 반영할 필요가 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 2015 개정 초등학교 과학과 디지털 교과서의 물질 영역에서 나타난 외적 표상을 양식, 제시 방법, 상호작용성 측면에서 분석하였다. 연구 결과, 외적 표상의 양식은 시각언어 표상이 가장 높은 빈도로 나타났으며, 시각비언어 표상 또한 높은 빈도로 나타났다. 청각비언어 표상은 본문에서 높은 빈도로 나타났지만 탐구에서는 적게 나타났으며, 청각언어는 본문과 탐구 모두에서 낮은 빈도로 나타났다. 또 언어적 표상은 시각언어 표상과 청각언어 표상 모두 대부분 형식적인 형태로 제시되었다. 시각비언어 표상의 경우, 본문에서는 주로 정화상의 형태로 제시되었으나 탐구에서는 동화상의 형태가 더 높은 빈도로 제시되었다. 외적 표상의 제시 방법 측면에서는 언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 나타날 때 시각언어 표상이 시각비언어 표상과 함께 제시된 경우가 많았으며, 청각언어 표상이 시각비언어 표상과 함께 제시된 경우는 적었다. 관계없는 표상은 탐구보다 본문에서 높은 빈도로 제시되었으며, 모두 청각비언어 표상이었다. 근접성의 측면에서 시각언어 표상과 시각비언어 표상은 높은 빈도로 근처에 배치되었으며, 삽입하는 형태나 마우스 오버의 형태도 일부 나타났다. 서로 다른 페이지에 제시되는 경우는 없었다. 청각언어 표상과 시각비언어 표상은 모두 동시에 제시되었다. 마지막으로 상호작용성의 측면에서는 피드백과 조작이 자주 나타났는데 피드백은 설명적 피드백이, 조작은 낮은 수준의 조작이 대부분이었다. 적응과 소통 수준의 상호작용은 거의 나타나지 않았다.

디지털 교과서는 2009 개정 교육과정부터 본격적으로 개발 및 적용되기 시작하여 현행 교육과정까지 이어지고 있다. 디지털 교과서는 전통적인 서책형 교과서보다 더욱 풍부한 시청각적 정보를 제공할 수 있으므로 멀티미디어 학습의 관점에서 더욱

유용한 학습 도구가 될 수 있다. 이에 본 연구에서는 서책형교과서에서는 구현하기 어려운 애니메이션, 내레이션 등을 포함해 시청각적 표상을 분석하였고, 학습자와 디지털교과서의 상호작용성도 분석하였다. 그리고 서책형교과서와 디지털교과서의 비교에 집중한 일부 연구들과 달리 디지털교과서가 다중 표상 학습의 관점에서 바람직한 멀티미디어 학습 환경을 제공하는지 또한 분석하였다. 그 결과 긍정적으로 해석할 수 있는 결과도 있었으나 개선이 필요해 보이는 부분도 적지 않았다. 스마트 기기의 보급과 비대면 수업의 확대 등으로 디지털교과서의 활용이 앞으로 더욱 늘어날 것이므로, 다중 표상 학습의 관점에서 디지털교과서를 개선하기 위한 노력이 필요하다. 본 연구의 결과를 바탕으로 이를 위한 시사점을 제안하면 다음과 같다.

우선 청각적 표상과 관련된 전반적인 개선이 필요하다. 청각적 표상은 전통적인 서책형교과서와 차별화되는 디지털교과서의 가장 큰 특징이라고 할 수 있으나 청각적 표상을 분석한 결과의 대부분이 긍정적이지 않았기 때문이다. 가장 먼저 디지털교과서 전반에서 청각적 표상의 사용 빈도가 높지 않았으므로 청각적 표상의 사용을 확대할 필요가 있다. 특히 청각비언어 표상이 청각적 표상의 대부분을 차지하고 청각언어 표상은 그 빈도가 매우 낮았으므로 청각언어 표상을 중심으로 활용 빈도를 높일 수 있다. 또 청각비언어 표상의 대부분을 차지한 것은 본문 영역에서 문제풀이 활동에 따른 효과음으로 관계없는 표상에 해당했으므로 내용과 관계없는 효과음이나 배경음의 사용을 지양하고 본문뿐 아니라 탐구 영역에서 청각비언어 표상을 내용과 관련되게 활용할 수 있도록 개선할 필요도 있을 것이다.

디지털교과서에서도 중요한 역할을 수행하는 언어적 표상을 학생들의 인지적 부담을 줄일 수 있는 방향으로 활용하기 위한 노력도 필요하다. 언어적 표상은 시각언어 표상과 청각언어 표상 모두 주로 형식적인 형태로 활용되었으므로 개인적인 형태의 언어적 표상을 적극적으로 활용함으로써 과학 용어에 친숙하지 않고 언어적 능력이 부족한 학생들의 부담을 줄일 필요가 있다. 개인적인 형태의 언어적 표상의 구체적 예시로는 2009 개정 교육과정에서 개발된 교과서의 일부 단원에서 도입하였던 스토리텔링 기법도 생각해 볼 수 있을 것이다. 또

한 언어적 표상을 시각비언어 표상과 함께 제시할 때에도 청각언어를 활용한 인지적 부담의 경감은 부족했으므로 정보 처리 과정에서의 인지적 부담을 줄이기 위해 시각언어 표상보다는 청각언어 표상을 더욱 적극적으로 활용할 필요가 있다. 이때 청각언어 표상으로 제시된 언어적 정보와 중복되는 시각언어 표상을 제시한 경우가 일부 있었는데 이는 학생들의 시각 정보 처리 과정에서 과부하를 일으킬 수 있으므로 이에 대한 주의도 필요할 것이다.

또 다중 표상 학습과 관련된 연구만으로는 디지털교과서의 외적 표상을 심층적으로 분석하고 논의하기 어려운 부분도 있었으므로 디지털교과서와 관련된 연구가 필요하고 이러한 연구를 바탕으로 디지털교과서를 분석하고 개발할 필요가 있다. 예를 들어 마우스 오버로 외적 표상을 제시하는 것은 제한된 공간에서 많은 정보를 제시할 수 있다는 점에서는 효과적이나 제시되는 정보가 일시적으로만 나타나고 여러 정보가 동시에 제시된다는 점에서 오히려 학습에 부정적으로 작용할 우려도 있다. 따라서 마우스 오버로 제시되는 여러 외적 표상의 유형을 더욱 구체적으로 분석함으로써 마우스 오버로 제시하기에 적절한 외적 표상의 형태와 양 등을 조사하는 연구가 필요하다. 또한 적응이나 소통과 같은 높은 수준의 상호작용은 인지 발달 수준이 높지 않은 학생들의 학습에는 효과적이지 않을 수 있으므로, 정보 처리 능력, 정신 용량 등 학생의 다양한 인지적 특성과 수준에 따라 디지털교과서의 상호작용성이 갖는 효과를 조사하는 연구가 이루어질 필요가 있으며 이를 바탕으로 디지털교과서를 개발할 필요가 있다.

마지막으로 이 연구에서는 디지털교과서의 물질 영역에 제시된 외적 표상을 분석하였다. 그러나 외적 표상의 양식, 제시 방법, 상호작용성 등은 과학 교과 영역에 따라 그 성격이 달라질 수 있다. 예를 들어 물질 영역에서는 내용과 관련 없는 효과음이 청각비언어 표상의 대부분을 차지하였으나 운동과 에너지 영역인 ‘소리의 성질’ 단원에서는 내용과 관련된 청각비언어 표상이 다수 등장할 가능성이 있다. 따라서 운동과 에너지, 생명, 지구와 우주 영역의 외적 표상을 분석하고 각 단원의 분석 결과를 교과 영역에 따라 비교하는 연구도 필요할 것이다.

참고문헌

- 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.
- 교육부, 한국교육학술정보원(2018). 초등학교 교사를 위한 디지털교과서 활용 가이드. 대구광역시: 한국교육학술정보원.
- 권이영, 유형빈, 정은영(2011). 중학교 과학 교과서의 삽화 분석. *생물교육*, 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.
- 김형진, 이규호, 신명경, 권경필(2014). 초등 과학 교과서에 실린 시각 자료의 종류, 역할 그리고 사회-기호학적 특징 분석. *과학교육연구지*, 38(3), 641-656.
- 김혜진, 손연아, 민병미(2009). 고등학교 생물1 교과서에 포함된 시각 자료 분석틀의 개발과 적용. *생물교육*, 37(3), 390-402.
- 송나윤, 홍주연, 노태희(2020). 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 디지털교과서의 물질 단원에서 나타난 외적 표상의 활용 실태 분석. *대한화학회지*, 64(6), 416-428.
- 오민기, 정은영(2019). 중학교 과학 교과서 ‘자극과 반응’ 단원의 삽화 분석. *교육과정연구*, 21(1), 179-200.
- 오지연, 박지선, 박일우(2017). 2009 개정 교육과정 초등 과학 교과서에 실린 시각자료의 종류, 역할, 그리고 사회-기호학적 특징 분석. *한국초등교육*, 28(2), 19-30.
- 이기영(2009). 중학교 과학 교과서에 사용된 시각자료의 유형, 기능 및 구조 분석: 제7차 교육과정 지구과학 내용을 중심으로. *한국지구과학회지*, 30(7), 897-908.
- 이수경(1998). 애니메이션과 인지양식이 과학적 이해와 파지에 미치는 영향. *교육공학연구*, 14(2), 69-102.
- 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.
- Ardak, D., & Akaygun, S. (2005). Using static and dynamic visuals to represent chemical change at molecular level. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1269-1298.
- Berthold, K., & Renkl, A. (2009). Instructional aids to support a conceptual understanding of multiple representations. *Journal of Educational Psychology*, 101(1), 70-87.
- Clark, R. C., & Mayer, R. E. (2008). *E-Learning and the science of instruction* (2nd ed.). San Francisco, CA: Pfeiffer.
- Gilbert, J. K. (2009). Multiple representations in chemical education (Vol. 4, pp. 1-8). D. F. Treagust (Ed.). Dordrecht: Springer.
- Gkitzia, V., Salta, K., & Tzougraki, C. (2011). Development and application of suitable criteria for the evaluation of chemical representations in school textbooks. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(1), 5-14.
- Han, J., & Roth, W. M. (2006). Chemical inscriptions in Korean textbooks: Semiotics of macro- and microworld. *Science Education*, 90(2), 173-201.
- Kalyuga, S. (2007). Enhancing instructional efficiency of interactive e-learning environments: A cognitive load perspective. *Educational Psychology Review*, 19(3), 387-399.
- Kozma, R. (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction*, 13(2), 205-226.
- 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., & Moreno, R. (2002). Aids to computer-based multimedia learning. *Learning and Instruction*, 12(1), 107-119.
- Paivio, A. (1986). *Mental representation: A dual coding approach*. New York, NY: Oxford University Press.
- Russell, J. W., Kozma, R. B., Jones, T., Wykoff, J., Marx, N., & Davis, J. (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.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherence formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13(2), 227-237.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- van Someren, M. W., Reimann, P., Boshuizen, H. P. A., de

- Jong, T., & Reimann, P. (1998). Introduction. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen & T. de Jong (Eds.), *Learning with multiple representations* (pp. 1-5). Oxford, UK: Pergamon.
- Veronikas, S., & Shaughnessy, M. F. (2005). An interview with Richard Mayer. *Educational psychology review*, 17(2), 179-189.
- Wang, C., Fang, T., & Gu, Y. (2020). Learning performance and behavioral patterns of online collaborative learning: Impact of cognitive load and affordances of different multimedia. *Computers & Education*, 143, 103683.
- 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., Lin, Y. F., & Hsu, Y. S. (2013). Effects of representation sequences and spatial ability on students' scientific understandings about the mechanism of breathing. *Instructional Science*, 41(3), 555-573.

김혜린, 서울대학교 대학원 학생(Kim, Haerheon; Graduate student, Seoul National University).

신기덕, 서울대학교 대학원 학생(Shin, Kidoug; Graduate student, Seoul National University).

노태희, 서울대학교 교수(Noh, Taehee; Professor, Seoul National University).

† 김민환, 서울대학교 강사(Kim, Minhwan; Instructor, Seoul National University).