Journal of the Korean Chemical Society
2020, *Vol. 64, No. 6*
Printed in the Republic of Korea
https://doi.org/10.5012/jkcs.2020.64.6.416

2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 디지털교과서의 물질 단원에서 나타난 외적 표상의 활용 실태 분석

송나윤 · 홍주연 · 노태희*
서울대학교 화학교육과
(접수 2020. 7. 10; 게재확정 2020. 9. 8)

An Analysis of the Uses of External Representations in Matter Units of 7^{th}-Grade Science Digital Textbooks Developed Under the 2015 Revised National Curriculum

Nayoon Song, Juyeon Hong, and Taehee Noh*
*Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 08826, Korea. *E-mail: nohth@snu.ac.kr*
(Received July 10, 2020; Accepted September 8, 2020)

요 약. 이 연구는 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 과학과 디지털교과서의 물질 단원에 제시된 외적 표상의 활용 실태를 분석하였다. 5종의 디지털교과서에 제시된 외적 표상의 수준, 양식, 제시 방법, 상호작용성을 분석하였다. 외적 표상의 수준은 거시적 수준의 외적 표상이 주로 제시되었고, 입자적 설명은 거시적 수준과 미시적 수준의 외적 표상이 함께 제시되었다. 외적 표상의 양식은 주로 시각언어와 시각비언어 표상으로 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. 이상의 결과를 바탕으로 디지털교과서 집필 방향에 대한 시사점을 논의하였다.

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

ABSTRACT. This study analyzed the uses of external representations presented in the matter units of the 7^{th}-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 and visual-nonverbal representations were usually presented across the board. 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.

Key words: Digital textbook, External representation, 2015 revised national curriculum, Multimedia learning

서 론

외적 표상은 개념이나 현상을 직접 설명하는 글, 내레이션 등의 언어적 정보와 구체적으로 형상화한 그림, 동영상, 모형, 그래프 등의 시각적 정보를 의미한다.[1] 외적 표상은 학생들에게 개념이나 현상에 대한 친근함을 제공하고 학생들의 과학적 사고 능력과 과학적 실행 능력을 증진시키는 역할을 한다.[2,3] 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 하는 데 더욱 효과적인 것으로 알려져 있으며,[1,4] 학생들은 각 외적 표상으로부터 서로 다른 정보를 얻음으로써 외적 표상에 대한 잘못된 이해를 방지하고 해당 지식을 심층적으로 이해할 수 있다.[5]

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.[6,7] 또한, 글보다는 내레이션을 활용하여 애니메이션에 언어적 정보를 제공했을 때 학습에 보다 효과적인 것으로 나타났다.[8] 반면, 학습과 직접적으로 관련이 없는 정보를 여러 외적 표상들과 함께 제공하면 오히려 학습이 방해되었다.[9,10] 예를 들어, 글과 함께 학습 내용과 관련 없는 배경음을 청각적 정보로 함께 제시하는 것은 학생들의 주의를 분산시켜 학습 속도를 저하시켰다.[11] 여러 외적 표상을 시간 간격을 두고 제공하면 먼저 제공한 정보를 유지하지 못하고 망각하여 학습이 방해되기도 하였다.[12] 이처럼 구체적인 고려 없이 다중 표상 학습이 이루어질 경우 학습의 효과가 제한적으로 나타날 수 있다. 따라서 시각적 정보, 청각적 정보 등 다양한 형태의 외적 표상을 주의하여 적절히 활용함으로써 다중 표상 학습이 이루어지도록 할 필요가 있다.

이때 학생들은 동영상을 통해 일방적으로 정보를 제공하는 학습 환경에서보다 버튼을 통해 학습 시스템과 상호작용하도록 설계된 학습 환경에서 학습에 보다 적극적으로 참여하였다.[13] 상호작용성이 있는 학습 환경은 학생들이 자신의 수준에 따라 새로운 지식을 능동적으로 구성할 수 있도록 한다.[14] 따라서 보다 효과적인 다중 표상 학습을 위해서는 상호작용성이 함께 고려될 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.[15] 이에 국내에서는 서책형교과서에 제시된 외적 표상의 실태를 조사하는 연구가 일부 이루어지기도 하였으나,[16–20] 주로 시각적 정보에 집중된 경향이 있었다. 다중 표상 학습의 관점에서 서책형교과서에 제시된 외적 표상의 실태를 분석한 연구로는 제7차 중학교 1학년 물질 단원을 분석한 Kang *et al*.과[21] 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 물질 단원을 분석한 Yoon의 연구가 있다.[22]

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 Kim *et al*.은 서책형교과서와 디지털교과서의 물리 영역에 제시된 외적 표상의 특징을 탐색하였다.[23] 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 화학 교육과정에서 중요하게 다루어진다.[24–27] 하지만 학생들은 직관적이고 경험적 사고를 하는 경향이 있어 직접 관찰하기 어려운 추상적인 입자 개념을 이해하는 데 어려움을 겪는다.[27,28] 이러한 어려움을 돕기 위해 입자 개념을 설명하기 위한 모형이 자주 활용되며,[29] 애니메이션과 같은 멀티미디어 자료는 학생들이 입자의 역동적인 과정을 이해하는 데 도움을 줄 수 있다.[30,31] 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 교육과정에 따른 중학교 1학년 과학과 디지털교과서의 물질 단원에서 물질의 입자성을 설명하기 위해 제시된 외적 표상들의 활용 실태를 분석하였다.

이론적 배경

Mayer의 다중 표상 학습에 대한 인지 이론에 따르면,[6,32] 언어(verbal) 또는 그림(pictorial or nonverbal)으로 표상된 정보는 학습자의 시각과 청각 기억으로 수용되며, 학습자가 정보를 선택(selecting)하고 이를 작동 기억 내에서 조직화(organizing)하여 사전 지식과 통합(integrating)하는 과정을 거쳐 장기 기억으로 저장된다. 이는 다음 세 가지 가정을 바탕으로 한다. 첫째, 이중 부호화 가정(dual channel assumption)에 따르면, 작동 기억에서 정보를 청각/언어 처리 경로(audial/verbal channel)와 시각/그림 처리 경로(visual/pictorial channel)의 두 경로를 통해 처리하면 정보가 이중

부호화되어 학습자가 정보를 잘 기억할 수 있다. 둘째, 제한된 인지 용량 가정(limited capacity assumption)으로, 학습자가 제공된 정보를 두 처리 경로를 통해 처리하는 능력은 제한적이며 작동 기억에서 처리할 수 있는 양보다 많은 양의 정보가 학습자에게 제공되면 인지적 부담으로 인해 학습 효과가 떨어진다. 셋째, 적극적인 학습 가정(active learning assumption)으로, 학습자는 장기 기억 내의 사전 지식과 새롭게 제공된 정보를 능동적으로 처리함으로써 일관된 지식 구조를 구성한다.

Clark & Mayer는 다중 표상 학습에 대한 인지 이론을 바탕으로 다양한 외적 표상들을 효과적으로 제시하는 방법과 관련한 여러 원리들을 제안했다.[33] 언어 처리 경로와 그림 처리 경로로 구성된 학습자의 인지 구조를 고려하여 언어적 정보와 그림 정보를 함께 제시하는 것이 학습에 효과적이라는 '다중 표상 활용 원리(multimedia principle)', 청각과 시각의 두 가지 양식으로 구성된 학습자의 정보 처리 경로를 고려하여 시각적 정보와 청각적 정보를 함께 제시하는 것이 학습에 효과적이라는 '다중양식 원리(multimodal principle)'가 있다. 지나치게 많은 표상은 학습에 방해가 되기도 하는데, 그림과 이를 설명하는 언어적 정보를 제시할 때 내레이션을 글로 중복하여 제시하면 두 가지 시각적 정보로 인해 시각 처리 경로에 과부하가 발생하므로 이를 지양해야 한다는 '중복 회피 원리(redundancy principle)'와 학습 내용과 직접적인 관련이 없는 정보(seductive information)가 다른 외적 표상들과 함께 제시되면 학습자의 주의를 산만하게 하고 학습자가 오히려 그 정보에 집중하게 함으로써 학습자의 인지 처리 과정을 방해한다는 '일관성 원리(coherence principle)'가 있다. 이외에도 언어적 정보가 3인칭이나 무인칭의 형식적 형태보다 2인칭이나 담화체의 개인화 형태로 제시될 때 학습자가 해당 정보를 이해하기 위한 인지 과정에 좀 더 능동적이고 심층적으로 참여한다는 '개인화 원리(personalization principle)'가 있다. 또한, 언어적 정보와 시각적 정보가 공간적으로 가까이 배치될수록 학습에 효과적이라는 '공간적 근접성 원리(spatial contiguity principle)'와 언어적 정보와 시각적 정보를 동시에 제시하는 것이 시간 간격을 두고 제시하는 것보다 학습에 효과적이라는 '시간적 동시성 원리(temporal contiguity principle)'가 있다.

디지털 체제의 학습 시스템이 기존의 학습과 차별되는 특징 중 하나는 학습자가 학습 시스템으로부터 일방적으로 정보를 제공받는 것이 아니라 학습 시스템과 상호작용함으로써 보다 구성주의적인 학습을 할 수 있다는 점이다. 다중 표상 학습의 맥락에서 상호작용성이란 학습자와 다중 표상 학습 시스템 사이의 상호 활동을 의미하며, 학습자의 반응과 시스템의 반응은 상호의존적이다.[34,35] 상호작용성이 있는 학습 환경의 설계는 학습자의 인지 활동을 방해할 수 있는 불필요한 작동 기억의 부담을 줄이고 학습에 필수적인 인지 처리 과정을 강화함으로써 학습자가 새로운 지식을 능동적으로 구축하고 활용하도록 할 수 있다.[14] Kalyuga는 학습 시스템 반응의 가변성(flexibility)과 학습자의 선행 행동에 대한 의존성(dependence on learner's previous activities)을 기준으로 상호작용성의 유형을 다음과 같이 네 가지 수준으로 구분하였다.[14] 시스템의 반응이 하나의 반응으로 미리 결정되어 있고 학습자의 선행 행동과 무관한 경우, 학습자의 정해진 선택에 따라 일련의 설정된 반응이 나타나지만 학습자의 선행 행동과 무관한 경우, 학습자의 정해진 선택에 따른 일련의 설정된 반응이 학습자의 선행 행동에 따라 다르게 나타나는 경우, 학습자의 자유로운 선택과 함께 학습자의 선행 행동에 따라 역동적으로 반응하는 경우이다.

연구 방법

분석 대상

이 연구에서는 물질의 입자성 개념이 최초로 도입되어 이를 중점적으로 다루는 단원을 분석 대상으로 선정하였다. 이에 2015 개정 교육과정에 따른 중학교 1학년 과학 디지털교과서 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. 디지털 교과서는 동아출판, 미래엔, 비상교육, 와이비엠, 천재교과서에서 출판되었으며 임의로 A-E로 표기하였다.

분석 기준

다중 표상 학습과 관련된 선행연구를[14,21,29,33] 바탕으로 예비 분석틀을 구성하였다. 이를 기준으로 5종의 디지털 교과서 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(*Table* 1).

외적 표상의 수준. 외적 표상의 수준(level)을 현상을 나타내는 '거시적(macroscopic)' 수준, 물질의 입자성이나 입자의 운동을 나타내는 '미시적(submicroscopic)' 수준, 표, 식, 그래프 등의 '상징적(symbolic)' 수준으로 분류하였다.[21,29] 이때 각각의 외적 표상에 서로 다른 수준의 외적 표상이

***Table* 1.** Analytic framework for the external representations

Supercategory	Category	Subcategory	Item
Level	Macroscopic		
	Submicroscopic		
	Symbolic		
	Macroscopic & submicroscopic		
	Submicroscopic & symbolic		
	Macroscopic & symbolic		
	Macroscopic & submicroscopic & symbolic		
Form	Visual-verbal	Formal	
		Personal	
		Formal & personal	
	Audial-verbal	Formal	
		Personal	
		Formal & personal	
	Visual-nonverbal	Illustration	With movement
			Without movement
		Animation	With movement
			Without movement
		Illustration & animation	Both with movement
			Only animation with movement
			Only illustration with movement
			Both without movement
	Audial-nonverbal		
Presentation	Verbal & visual-nonverbal	Visual-verbal & visual-nonverbal	
		Audial-verbal & visual-nonverbal	
		Visual-verbal & audial-verbal & visual-nonverbal	
		Redundant information	
	Seductive information		
	Contiguity	Spatial contiguity	Insertion
			Near
			Mouse over
			Next page
		Temporal contiguity	Synchronized
			Not synchronized
Interactivity	No interaction		
	Feedback level		
	Manipulation level		
	Adaptation level		
	Communication level		

동시에 제시된 경우 해당하는 수준을 모두 포함하는 항목으로 '거시적 & 미시적' 수준, '미시적 & 상징적' 수준, '거시적 & 상징적' 수준, '거시적 & 미시적 & 상징적' 수준을 분석 기준에 추가하였다. 예를 들어, 거시적 수준과 미시적 수준의 외적 표상이 함께 제시된 경우 '거시적 & 미시적' 수준으로 분류하였다.

외적 표상의 양식. 외적 표상의 양식(form)을 문자나 글과 같은 '시각언어(visual-verbal)', 그림이나 애니메이션과 같은 '시각비언어(visual-nonverbal)', 내레이션과 같은 '청각언어(audial-verbal)', 효과음이나 배경음과 같은 '청각비언어(audial-nonverbal)'로 분류하였다.[33] 이때 시각언어 표상과 청각언어 표상은 개인화 원리에 따라 각각 무인칭이나 3인칭의 '형식적(formal)', 담화체나 2인칭의 '개인화(personal)', 두 형태가 함께 나타난 '형식적 & 개인화'로

세분하였다.[33] 시각비언어 표상은 이중 부호화 이론에 따라 ‘정화상(illustration)’, ‘동화상(animation)’, ‘정화상 & 동화상’으로 분류하였으며, 각각 입자의 운동성 제시 여부에 따라 세분하였다.[21] 이때 ‘정화상 & 동화상’의 경우 정화상과 동화상 모두 입자의 운동성이 제시되지 않은 경우를 분석 기준에 추가하였다.

외적 표상의 제시 방법. 외적 표상의 제시 방법(presentation)은 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.[33] 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(redundant information)’를 분석틀에 포함하였다. 둘째, 일관성 원리에 따른 관계없는 외적 표상의 포함 여부(seductive information)를 분석하였다. 마지막으로 근접성(contiguity)에서 시각언어 표상과 시각비언어 표상의 공간적 근접성(spatial contiguity)은 표상이 서로 내에 제시된 ‘삽입(insertion)’, 위·아래·좌·우에 제시된 ‘근처(near)’, 커서를 근접시키거나 클릭했을 때 팝업 형태로 제시되는 ‘마우스 오버(mouse over)’, 서로 다른 페이지에 제시된 ‘다른 페이지(next page)’로 세분하였다. 청각언어 표상과 시각비언어 표상의 시간적 근접성(temporal contiguity)은 두 표상에서 나타내는 정보가 ‘동시에 제시됨(synchronized)’과 ‘시간적 간격을 두고 제시됨(not synchronized)’으로 세분하였다.

외적 표상의 상호작용성. 외적 표상의 상호작용성(interactivity)은 학습자의 행동에 대한 반응의 가변성과 선행 행동에 대한 의존성 여부에 따라 ‘피드백(feedback)’ 수준, ‘조작(manipulation)’ 수준, ‘적응(adaptation)’ 수준, ‘소통(communication)’ 수준으로 구분하였다.[14] 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 나타내고자 하는 반응을 선택하여 제시할 수 있도록 하는 것이다. 이는 사진을 클릭하여 넘기거나 영상의 재생 위치를 바꾸는 조작이나 시뮬레이션에서 학습자가 준비된 변수값을 선택하여 제시된 표상의 형태를 바꾸는 것과 같은 조작으로 나타난다. 적응 수준의 상호작용성은 조작 수준에서 나아가 학습자의 선행 행동에 따라 다른 반응을 제시하는 것으로, 학습자의 응답에 따라 다른 학습 경로를

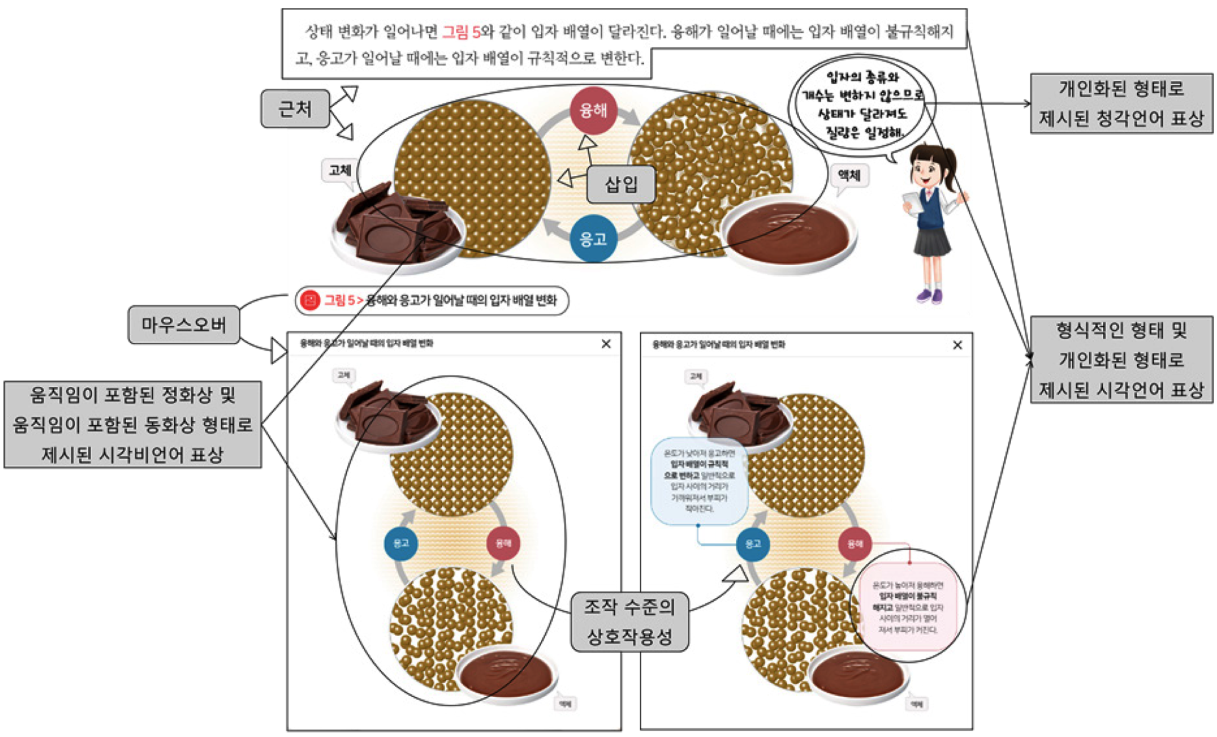

***Figure* 1.** A sample for the uses of multiple external representations (from Middle School Science published by Chunjae Education Inc., p 179).

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(no interaction)' 항목을 추가하였다.

예를 들어, *Fig.* 1의 경우, 시각언어, 청각언어, 시각비언어 표상이 모두 나타났으므로, '외적 표상의 양식'은 '시각언어', '청각언어', '시각비언어'에 각각 해당된다. 이때 형식적인 형태의 글과 '입자의 종류와 개수는 변하지 않으므로 상태가 달라져도 질량은 일정해.'와 같은 개인화된 형태의 글이 함께 나타나므로, 시각언어 표상의 형태는 '형식적 & 개인화'에 해당된다. 그림에 나타나지는 않지만 학생의 말은 글뿐만 아니라 내레이션으로도 함께 나타나므로, 청각언어 표상의 형태는 '개인화'에 해당된다. 또한, '그림 5'에서는 입자의 운동을 표현한 정화상과 입자를 직접 움직이는 형태로 제시한 동화상이 모두 나타나므로, 시각비언어 표상은 입자의 운동성이 포함된 '정화상 & 동화상'에 해당된다. '외적 표상의 제시 방법' 중 언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 경우는 '시각언어 & 청각언어 & 시각비언어'에 해당되며, 말풍선 설명에서 시각언어 표상과 청각언어 표상이 제시하는 언어적 정보가 동일하게 나타나므로 '시각언어와 청각언어 표상의 중복적 제시'에 해당된다. 근접성의 경우 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 삽입 및 근처의 형태로 배치되었으며, '그림 5 용해와 응고가 일어날 때의 입자 변화'를 클릭하면 마우스 오버로 새로운 표상이 나타나므로, '삽입', '근처', '마우스 오버'에 각각 해당된다. 마지막으로 표상을 클릭하여 표상의 모습을 변형시키는 조작이 나타나므로, 외적 표상의 상호작용성은 '조작' 수준의 상호작용성에 해당된다. 또 다른 예시인 *Fig.* 2의 경우, '예시 답안'을 클릭하면 팝업 창으로 활동에 대한 준비된 정답을 제시하므로, '외적 표상의 제시 방법' 중 근접성은 '마우스 오버', '외적 표상의 상호작용성'은 '피드백' 수준의 상호작용성에 해당된다.

분석 방법

하나의 같은 개념이나 현상을 설명하는 '설명(main) 영역'과 일관된 활동을 수행하는 '활동(activity) 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 시

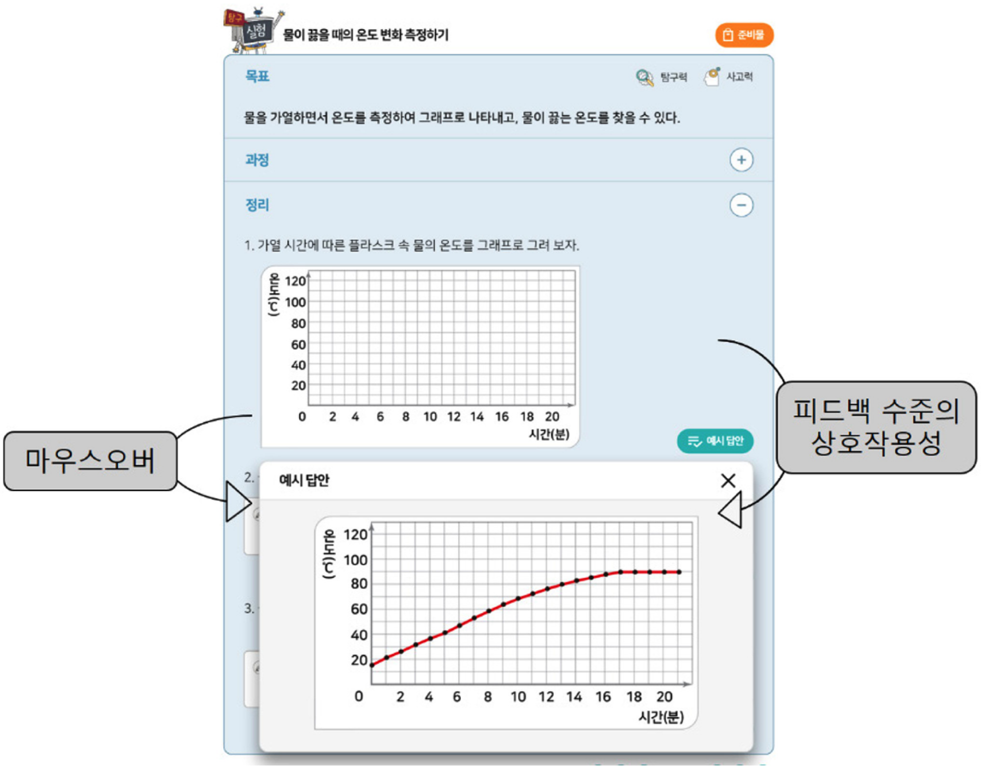

***Figure* 2.** A sample for the uses of multiple external representations (from Middle School Science published by Chunjae Education Inc., p 188).

각언어 표상과 시각비언어 표상이 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 분석자간의 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 제시하였으며, 분석 범주에 해당하는 분석 단위 수는 출판사별로 괄호 안에 표마다 각각 제시하였다. 분석 방법에서 제시한 예시와 같이 외적 표상의 양식, 제시 방법 중 근접성, 상호작용성은 하나의 분석 단위에 서로 다른 항목이 동시에 나타날 수 있음에 따라 각 항목에 해당하는 비율의 총합이 100%를 초과하였으며, 제시 방법 중 언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 나타난 경우는 전체 분석 단위의 개수 중 외적 표상이 함께 나타난 비율을 제시함에 따라 비율의 총합이 100% 미만으로 나타났다. 제시 방법 중 근접성과 상호작용성은 설명 영역과 활동 영역에서의 특징이 다르게 나타남에 따라 이를 구분하여 제시하였다.

연구 결과 및 논의

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.

외적 표상의 수준

출판사별 분석 단위에 대한 외적 표상의 수준의 비율을 *Table* 2에 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. 학생들이 화학 개념에 대한 미시적 수준과 상징적 수준의 표상을 이해하는 데 어려움을 겪으므로,[36,37] 직관적으로 이해 가능한 거시적 수준의 표상과 함께 제시함으로써 이러한 어려움을 완화하고자 노력한 것으로 보인다.

중학교 1학년 화학 단원은 증발, 확산, 압력과 온도에 따른 부피 변화, 상태 변화와 같은 현상을 입자적 관점으로 이해하는 것을 목표로 하고 있다.[38] 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

***Table* 2.** Percentage of level of external representations

Category	Type of digital textbooks (%)					Average(%)
	A(98)	B(101)	C(107)	D(140)	E(163)	
Macroscopic	44.9	52.5	55.1	46.4	50.9	50.0
Submicroscopic	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.2
Symbolic	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Macroscopic & Submicroscopic	34.7	41.6	34.6	40.7	35.6	37.4
Submicroscopic & Symbolic	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Macroscopic & Symbolic	15.3	5.0	6.5	11.4	9.8	9.6
Macroscopic & Submicroscopic & Symbolic	5.1	1.0	3.7	1.4	2.5	2.7

***Table* 3.** Percentage of form of external representations

Category	Type of digital textbooks (%)					Average(%)
	A(98)	B(101)	C(107)	D(140)	E(163)	
Visual-verbal	100.0	100.0	100.0	97.1	100.0	99.3
Visual-nonverbal	69.4	66.3	76.6	67.9	66.9	69.1
Audial-verbal	2.0	0.0	6.5	10.7	11.0	6.9
Audial-nonverbal	10.2	9.9	12.1	6.4	9.2	9.4

수준에서 이해할 수 있도록 하였다. 서로 다른 수준의 외적 표상 간 연계가 오개념 형성을 완화하였다는 연구 결과로부터 미루어보았을 때,[39] 여러 수준이 함께 제시된 외적 표상은 물질의 입자성에 대한 개념 이해에 도움을 줄 수 있을 것이다.

외적 표상의 양식

출판사별 분석 단위에 대한 외적 표상의 양식의 비율을 *Table* 3에 제시하였다. 평균적으로 시각언어 표상은 분석 단위의 99.3%, 시각비언어 표상은 69.1%, 청각언어 표상은 6.9%, 청각비언어 표상은 9.4%에 제시되었다. 즉, 디지털 교과서에서 외적 표상이 제시될 때 시각언어 양식과 시각비언어 양식이 주로 활용되었는데, 그 중에서도 외적 표상의 기본 양식으로 시각언어 양식이 활용되었다. 멀티미디어 환경의 특징 중 하나인 청각언어나 청각비언어 양식은 거의 활용되지 않았다.

시각언어 표상, 청각언어 표상, 시각비언어 표상을 세부적으로 분석하기 위해 각 양식의 외적 표상이 제시된 분석 단위에 대한 구체적인 형태의 비율을 *Table* 4에 출판사별로 제시하였다. 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. 형식적인 형태와 개인화된 형태가 함께 제시된 경우는 모든 교과서에서 나타나지 않았다. 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.[40,41] 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 움직임을 연속적인 장면으로 보여주는 동화상은

***Table* 4.** Percentage of form of each external representations

Category	Subcategory	Item	Type of digital textbooks (%)					Average (%)
			A(98)	B(101)	C(107)	D(136)	E(163)	
Visual-verbal	Formal		99.0	98.0	93.5	99.3	94.5	96.7
	Personal		0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.2
	Formal & Personal		1.0	2.0	5.6	0.7	5.5	3.1
			A(2)	B(0)	C(7)	D(15)	E(18)	
Audial-verbal	Formal		100.0	-	85.7	100.0	61.1	81.0
	Personal		0.0	-	14.3	0.0	38.9	19.0
	Formal & Personal		0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0
			A(68)	B(67)	C(82)	D(95)	E(109)	
Visual -nonverbal	Illustration	With movement	14.7	10.4	17.1	17.9	11.9	14.5
		Without movement	54.4	73.1	56.1	64.2	72.5	64.6
	Animation	With movement	4.4	4.5	1.2	2.1	3.7	3.1
		Without movement	11.8	3.0	7.3	3.2	5.5	5.9
	Illustration & animation	Both with movement	8.8	7.5	8.5	10.5	3.7	7.6
		Only animation with movement	2.9	1.5	2.4	0.0	2.8	1.9
		Only illustration with movement	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		Both without movement	2.9	0.0	7.3	2.1	0.0	2.4

정화상보다 더 구체적이고 정확한 정보를 제시할 수 있어 움직임과 관련된 개념 이해에 효과적이다.[42] 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.[27] 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.

외적 표상의 제시 방법

언어적 표상과 시각비언어 표상이 함께 나타난 경우. 시각언어와 청각언어의 언어적 표상이 시각비언어 표상과 동시에 제시된 세 가지 경우의 출판사별 분석 단위에 대한 비율을 *Table* 5에 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.

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.[32,43] 제 7차 중학교 1학년 과학 교과서의 물질 단원에 나타난 외적 표상을 분석한 선행 연구에서 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 제시된 비율이 47.5%인 결과와 비교했을 때,[21] 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.[33] 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. 청각언어 표상으로부터 제공되는 언어적 정보의 양이 많을 때는 학습자의 정보 처리 능력을 고려하여 시각언어와 청각언어 양식의 언어적 정보를 함께 제시하는 것이 효과적일 수 있다.[44]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

***Table* 5.** Percentage of verbal and visual-nonverbal form of external representations

Category	Type of digital textbooks (%)					Average (%)
	A(98)	B(101)	C(107)	D(140)	E(163)	
Visual-verbal & visual-nonverbal	65.3	66.3	70.1	54.3	55.8	61.4
Audial-verbal & visual-nonverbal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Visual-verbal & audial-verbal & visual-nonverbal	2.0	0.0	6.5	10.7	11.0	6.9

제시하는 등의 방안을 모색할 필요가 있다.

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%; 교과서 D, 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.[45,46] 특히, 청각언어와 청각비언어 양식의 외적 표상이 함께 제시될 경우 두 가지 청각적 정보를 처리하기 위한 학습자의 인지 부담이 높아지게 된다.[33] 이러한 맥락에서 학습 내용과 관계없는 청각비언어 양식의 외적 표상은 학생들이 학습 내용을 설명하는 다른 외적 표상에 충분한 주의를 기울이는 것을 방해할 수 있으므로 지양할 필요가 있다.

외적 표상의 근접성. 출판사별 설명 영역과 활동 영역에서 시각언어 표상과 시각비언어 표상이 함께 나타난 분석 단위에 대한 외적 표상의 공간적 근접성의 비율을 *Table* 6에 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.

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 서책형교과서에는 나타나지 않은 마우스 오버라는 새로운 근접성이 나타났다. 설명 영역은 주어진 자료를 확대하여 새 창에서 크게 나타내거나 추가적인 자료를 제시하기 위해 마우스 오버가 활용되었다. 예를 들어, 학생들이 입자의 운동을 이해할 수 있도록 입자의 운동에 대한 애니메이션을 마우스 오버로 배치하였다. 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.

***Table* 6.** Percentage of spatial contiguity of external representations

Category	Type of digital textbooks (%)										Average (%)	
	A		B		C		D		E			
	main (37)	activity (31)	main (33)	activity (34)	main (38)	activity (44)	main (36)	activity (55)	main (36)	activity (73)	main	activity
Insertion	45.9	6.5	54.5	29.4	50.0	4.5	36.1	5.5	52.8	15.1	47.8	11.8
Near	97.3	87.1	100.0	61.8	94.7	90.9	100.0	58.2	97.2	80.8	97.8	75.5
Mouse over	32.4	61.3	30.3	61.8	31.6	77.3	38.9	83.6	27.8	75.3	32.2	73.8
Next page	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	3.6	0.0	1.4	0.0	1.7

***Table* 7.** Percentage of interactivity of external representations

Category	Type of digital textbooks (%)										Average (%)	
	A		B		C		D		E			
	main (47)	activity (51)	main (42)	activity (59)	main (47)	activity (60)	main (45)	activity (95)	main (63)	activity (100)	main	activity
No interaction	42.6	0.0	61.9	0.0	31.9	0.0	46.7	0.0	55.6	0.0	48.0	0.0
Feedback	25.5	82.4	23.8	89.8	25.5	98.3	6.7	93.7	3.2	90.0	16.0	91.3
Manipulation	53.2	21.6	33.3	10.2	74.5	16.7	48.8	8.4	52.4	20.0	52.8	15.0
Adaptation	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Communication	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	1.1

외적 표상의 상호작용성

출판사별 설명 영역과 활동 영역의 분석 단위에 대한 외적 표상의 상호작용성의 비율을 *Table* 7에 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 나타났다. 예를 들어, 거시적 수준의 표상을 클릭하면 입자의 운동을 나타낸 미시적 수준의 표상이 나타날 수 있도록 하였다. 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 예시 답안을 피드백으로 제시하였다. 조작 수준은 15.0%로 주로 애니메이션의 재생 여부를 조절하는 방식이었다. 적응 수준의 상호작용성은 제시되지 않았으며, 소통 수준의 상호작용성은 1.1% 제시되었다.

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.[35] 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.[14,35] 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.[47] 학습자의 수준이 낮을 때 많은 선택 과정을 거치는 경우 인지적 부담을 유발할 수 있으므로,[14] 학습자의 수준에 적합한 조작성이 구성된 적응 수준과 소통 수준의 상호작용성 비중을 높인다면 학생의 능동적인 참여가 확대된 다중 표상 학습을 설계하는 데 도움이 될 것이다.

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 주로 시각언어와 시각비언어 표상으로 제시되었고, 청각언어 표상이나 청각비언어 표상은 거의 제시되지 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 학습 내용과 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 시각비언어 표상은 항상 동시에 제시되었다. 마지막으로 외적 표상의 상호작용성을 분석한 결과, 질문이나 활동에 대한 예시답안을 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 시

각언어 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 다양한 수준의 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.

Acknowledgments. Publication cost of this paper was supported by the Korean Chemical Society.

REFERENCES

1. Van Someren, M. W.; Reimann, P.; Boshuizen, H.; De Jong, T. *Learning with Multiple Representations*; Pergamon: Oxford, UK, 1998.
2. Ainsworth, S. *Learning and Instruction* **2006**, *16*, 183.
3. Tsui, C.-Y.; Treagust, D. F. In *Multiple Representations in Biological Education*; Treagust, D. F., Tsui, C.-Y., Eds.; Springer: Dordrecht, NL, 2013; p 3.
4. Berthold, K.; Renkl, A. *Journal of Educational Psychology* **2009**, *101*, 70.
5. Ainsworth, S. *Computer & Education* **1999**, *33*, 131.
6. Mayer, R. E. *Multimedia learning*; Cambridge University Press: New York, NY, 2001.
7. Mayer, R. E.; Moreno, R. *Learning and Instruction* **2002**, *12*, 107.
8. Moreno, R.; Mayer, R. E. *Journal of Educational Psychology* **1999**, *91*, 358.
9. Mayer, R. E.; Moreno, R. *Journal of Educational Psychology* **1998**, *90*, 312.
10. Seufert, T. *Learning and Instruction* **2003**, *13*, 227.
11. Rau, P. L. P.; Zheng, J.; Wei, Y. *Computer & Education* **2020**, *144*,103699.
12. Mayer, R. E.; Anderson, R. B. *Journal of Educational Psychology* **1992**, *84*, 444.
13. Wang, C.; Fang, T.; Gu, Y. *Computer & Education* **2020**, *143*, 103683.
14. Kalyuga, S. *Educational Psychology Review* **2007**, *19*, 387.
15. Kang, H.; Yoon, J.; Lee, D. *Journal of Korean Elementary Science Education* **2008**, *27*, 158.
16. Kwon, Y.-Y.; Yoo, H. B.; Jeong, E.-Y. *The Korean Journal of Biology Education* **2011**, *39*, 517.
17. Kim, H.-J.; Son, Y.-A.; Min, B.-M. *The Korean Journal of Biology Education* **2009**, *37*, 390.
18. Noh, T.; Yoon, M.; Kang, H.; Han, J. *Journal of the Korean Chemical Society* **2007**, *51*, 423.
19. Oh, M.-K.; Jeong, E. *Journal of Educational Research Institute* **2019**, *21*, 179.
20. Jo, K.; Jho, H.; Yoon, H.-G. *New Physics: Sae Mulli* **2015**, *65*, 343.
21. Kang, H.; Kim, Y.; Noh, T. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2007**, *27*, 190.
22. Yoon, H. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2020**, *40*, 61.
23. Kim, N.; Chang, J.; Song, J. *School Science Journal* **2018**, *12*, 309.
24. Noh, T.; Seo, I.; Cha, J.; Kim, C.; Kang, S. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2001**, *21*, 497.
25. Merritt, J.; Krajcik, J. In *Concepts of Matter in Science Education*; Tsaparlis, G., Sevian, H., Eds.; Springer: Dordrecht, NL, 2013; p 11.
26. Harrison, A. G.; Treagust, D. F. In *Chemical Education: Towards Research-based Practice*; Gilbert, J. K., De Jong, O., Justi, R., Treagust, D. F., Van Driel, J. H., Eds.; Kluwer Academic Press: Dordrecht, NL, 2003; p 189.
27. Singer, J. E.; Tal, R.; Wu, H. K. *School Science and Mathematics* **2003**, *103*, 28.
28. Lin, H. S.; Cheng, H. J.; Lawrenz, F. *Journal of Chemical Education* **2000**, *77*, 235.
29. Treagust, D.; Chittleborough, G.; Mamiala, T. *International Journal of Science Education* **2003**, *25*, 1353.

30. Falvo, D. *International Journal of Technology in Teaching and Learning* **2008**, *4*, 68.
31. Kozma, R.; Russell, J. In *Visualization in Science Education*; Gilbert, J. K., Ed.; Springer: Dordrecht, NL, 2005; p 121.
32. Mayer, R. E. *Learning and Instruction* **2003**, *13*, 125.
33. Clark, R. C.; Mayer, R. E. *E-learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning*; Jossey-Bass: San Francisco, CA, 2008.
34. Domagk, S.; Schwartz, R. N.; Plass, J. L. *Computers in Human Behavior* **2010**, *26*, 1024.
35. Moreno, R.; Mayer, R. E. *Educational Psychology Review* **2007**, *19*, 309.
36. Griffiths, A. K.; Preston, K. R. *Journal of Research in Science Teaching* **1992**, *29*, 611.
37. Nakhleh, M. B. *Journal of Chemical Education* **1992**, *69*, 191.
38. Ministry of Education. *Science Curriculum*; Ministry of Education: Sejong, 2015.
39. Tasker, R.; Dalton, R. *Chemistry Education Research and Practice* **2006**, *7*, 141.
40. Mayer, R. E.; Fennell, S.; Farmer, L.; Campbell, J. *Journal of Educational Psychology* **2004**, *96*, 389.
41. Moreno, R.; Mayer, R. E. *Journal of Educational Psychology* **2004**, *96*, 165.
42. Kang, H. *The Effects and Uses of Drawing and Writing to Promote Transformation of External Representation in Middle School Chemistry Instruction*; Doctoral dissertation, Seoul National University, Seoul, 2006.
43. Veronikas, S.; Shaughnessy, M. F. *Educational Psychology Review* **2005**, *17*, 179.
44. Moreno, R.; Mayer R. E. *Journal of Educational Psychology* **2002**, *94*, 156.
45. Dewey, J. *Interest and Effort in Education*; Houghton Mifflin: Cambridge, MA, 1913.
46. Moreno, R.; Mayer, R. E. *Journal of Educational Psychology* **2000**, *92*, 117.
47. Atkinson, R. K.; Renkl, A. *Educational Psychology Review* **2007**, *19*, 375.