

중학교 3학년 과학 교과서에서 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 기호학적 분석

노태희[†] · 윤미숙[‡] · 강훈식[#] · 한재영^{*}

[†]서울대학교 화학교육과

[‡]문성중학교

[#]춘천교육대학교 과학교육과

충북대학교 과학교육학부

(2007. 3. 15 접수)

Semiotic Analysis of the Inscriptions Representing Concept of Atom and Molecule in the 9th Grade Science Textbooks

Taehee Noh[†], Misuk Yoon[‡], Hunsik Kang[#], and Jaeyoung Han^{*}

[†]Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 151-748, Korea

[‡]Munsung middle school, Seoul 153-013, Korea

[#]Department of Science Education, Chuncheon National University of Education, Chuncheon 200-703, Korea

School of Science Education, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

(Received March 15, 2007)

요 약. 이 연구에서는 제7차 중학교 3학년 과학 교과서에서 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 유형을 조사하고, 그 해석 과정을 기호학적 관점에서 분석했다. 원자 및 분자 개념은 구 도식, 일상생활의 사물, 공과 막대기, STM 그래픽 등으로 다양하게 표현되고 있었다. 모형의 조작 가능성 여부를 기준으로 원자 및 분자 개념을 이미지로 표상한 시각자료와 사물을 이용하여 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료를 구분했다. 이 시각자료들을 해석하기 위해 필요한 과정을 구조화 과정과 번역 과정을 포함하는 기호학적 모델을 이용하여 체계적으로 분석했다. 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료를 해석하는 것은 여러 단계의 해석 작업을 필요로 하는 복잡한 과정이었다. 이에 대한 교육적 함의를 논의했다.

주제어: 시각자료, 원자, 분자, 과학 교과서, 기호학

ABSTRACT. In this study we investigated the types of inscriptions representing the concept of atom and molecule in the 9th grade science textbooks developed under the 7th National Curriculum, and analyzed the processes of interpreting those inscriptions on the view of semiotics. The concept of atom and molecule was represented in various ways such as circular diagram, matters of everyday life, ball-and-stick, and STM graphic, etc. We identified two kinds of inscriptions on the basis of the possibilities of handling models: the inscriptions that represent concept of atom and molecule by image; the inscriptions that represent concept of atom and molecule by using specific matters. We analyzed the processes of interpreting inscriptions systematically with a semiotic model that includes 'structuring processes' and 'translating processes'. The interpretation of inscriptions representing concept of atom and molecule was a complex process requiring many steps of interpreting works. Educational implications of these findings are discussed.

Keywords: Inscription, Atom, Molecule, Science Textbook, Semiotics

서 론

과학 수업에서 교과서는 구체적인 학습 내용을 제시하고 과학 수업의 지침이 되는 중요한 역할을 한다. 과학 교과서에는 학습자의 과학 개념 이해를 돕고 학습 동기를 유발하기 위해 다양한 시각자료 (inscription)가 광범위하게 활용되고 있으며, 여러 연구자들이 시각자료에 관심을 기울이고 있다.¹⁻⁹ 특히 화학 영역에서는 물질의 입자성이라는 기본적인 필수적인 개념의¹⁰⁻¹¹ 이해를 향상시키기 위해, 학습자에게 익숙한 일상생활의 거시적 현상을 나타낸 시각자료와 새롭고 익숙하지 않은 미시적 수준의 입자 개념을 나타낸 시각자료가 함께 활용되고 있다.^{3,9}

특히, 제7차 교육과정의 중학교 과학 교과서에서는 물질을 구성하는 가장 기본적인 단위로 원자 개념을 제시하고, 물질의 특성을 나타내는 기본 단위로 분자 개념을 설명하고 있으며, 눈으로 인식할 수 없는 입자 개념을 설명하기 위한 도구로써 다양한 모형 활용하고 있다.^{12,13} 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료에는 원자 및 분자 개념에 대한 과학자 집단의 표현 방식 및 교과서 집필자의 의도가 함축되어 있는 기호들이 빈번하게 사용되고 있다. 하지만 학습자가 거시 세계를 표상한 시각자료로부터 미시적 수준의 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료로 사고를 전환하거나 각각을 해석하여 연결하는 일은 결코 쉬운 작업이 아니다.³ 예를 들어, 학습자는 집필자의 의도와는 달리 자신의 사전 지식과 경험에 따라 그 기호들을 다르게 해석할 수 있으며, 학습자마다 기호를 통해 의미를 구성하는 과정도 다를 수 있다.³ 또한 시각자료를 해석하기 위해서는 시각자료와 함께 제시되는 글을 연결하여 이해하는 작업도 필요한데, 이 작업을 성공적으로 수행하는 것도 쉽지 않다.³ 따라서 학습자가 화학적 시각자료를 통해 성공적으로 개념을 이해하도록 유도하는 방안을 모색할 필요가 있으며, 이를 위한 탐색 연구로 우선 화학적 시각자료를 해석하기 위해 필요한 과정들을 체계적으로 분석할 필요가 있다.

기호학은 기호의 본질과 구성 요소를 분석하고, 사회적 맥락에서 기호의 해석 작용을 연구하는 학문이다.^{14,15} 기호학 중 널리 이용되는 퍼스(Pierce)의 기호학은 표상체인 기호(sign)와 해석 내용에 해당하는 해석체(interpretant), 탐구의 목표인 대상(object)을 포함

하는 삼원 체계로 구성되며, 세 가지 구성 요소들의 관계에서 의미를 구성하는 기호작용(semiosis)을 강조하는 것이 특징이다.^{14,15} 아무리 단순한 기호라도 사회적 맥락에 의해 그 의미가 형성되고 학습자의 경험에 따라 다르게 해석되므로, 기호의 의미를 구성하는 과정은 자연적으로 터득되는 것이 아니라 학습되는 것이다.^{16,17} 교과서에 제시된 시각자료와 글은 모두 기호에 해당하므로, 학습자가 이를 해석하기 위해 필요한 구체적인 과정도 기호학에 기초하여 분석할 수 있다.^{3,3,18} 따라서 원자 및 분자 개념을 설명하기 위해 사용된 시각자료의 특징과 시각자료를 해석하기 위해 필요한 과정을 기호학적 관점에 기초하여 심층적으로 분석함으로써, 교과서의 집필 및 교육 현장의 교수-학습에 적용할 수 있는 시사점을 도출할 수 있을 것이다.

이에 이 연구에서는 제7차 과학 교육과정에서 원자와 분자 개념이 본격적으로 도입되는 중학교 3학년 과학 교과서의 화학 단원을 대상으로 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 유형을 조사했다. 또한, 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료 중 높은 비율로 제시된 대표적인 시각자료와 새로운 유형의 특징적인 시각자료를 선정하여, 학습자가 교과서 집필자들이 의도한 대로 시각자료를 해석하기 위해 필요한 과정을 기호학적 관점에서 심층적으로 분석했다.

연구 내용 및 방법

분석 대상

제7차 중학교 3학년 과학 9종의 교과서의 '물질의 구성' 단원과 '물질 변화에서의 규칙성' 단원에서 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료를 분석했다. 본 연구에서 시각자료로 규정한 것은 교과서에 제시된 정보 중 글로만 구성된 본문 이외에 시각적 형태로 제시된 정보이다.^{3,9} 하지만 시각자료를 해석하는데 필요한 과정을 분석하기 위해, 시각자료 내에 삽입된 글이나 지시어를 통해 시각자료를 설명하는 글도 분석 대상에 포함했다. 반면에, 아이콘과 같이 교과서 디자인의 구성 요소로 동일하게 반복되는 것은 분석 대상에서 제외했다.

중학교 과학 교육과정에서는 원자를 물질 구성의 가장 기본적인 단위로 설명하고 있으며,^{12,13} 분자를 '원자들의 결합'이라는 관점에서, 화학 반응과 물질

의 변화를 ‘원자들의 재배열’이라는 관점에 기초하여 화학 개념을 설명하며 시각자료를 제시하고 있다.¹⁹ 즉, 문자 모형으로 명시된 시각자료는 원자 모형의 조합으로 표현되어 있으므로, 원자 개념을 표상한 시각자료와 함께 분자 개념을 표상한 시각자료를 분석 대상에 포함시켰다.

분석을 개발

퍼스의 기호학 이론을 바탕으로,^{14,15,17} 과학 교과에 제시된 시각자료를 기호학적 관점에 기초하여 분석한 선행연구에서 사용한 시각자료에 대한 분석틀을^{2,3} 본 연구의 분석 대상 시각자료의 특성에 맞게 수정하여 예비 분석틀을 개발했다. 연구자 중 중학교 과학 교사 1인을 포함한 2인이 예비 분석틀에 따라 9종 교과서에 있는 시각자료들의 약 25% 정도를 분석하고 분석자간 일치도가 95% 이상 일치할 때까지 예비 분석틀을 수정하는 과정을 반복하여 초기 분석틀을 구성했다. 이후, 총 10인 이상의 과학교육 전문가, 중학교 과학 교사, 과학교육 전공 대학원생들이 연구 회의를 하면서 초기 분석틀을 수정보완하여 최종 분석틀을 확정했다(Fig. 1).

Fig. 1은 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료를 해석하기 위해 필요한 학습 과정을 기호학에 기초하여 모델로 나타낸 것이다. 이 기호학적 모델은 기호학의 세 가지 구성 요소인 기호, 해석체, 복표로 이루어지며,^{14,15,17} 가장 아래쪽부터 위쪽으로 갈수록 순

서대로 의미하는 바는 교과서에 인쇄된 기호, 그 기호의 내용을 구체적으로 파악한 해석체, 도달하고자 하는 목표 개념을 나타낸다.

Fig. 1에서 바닥의 타원은 교과서에 인쇄된 기호를 나타내며, 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료와 시각자료를 설명하는 글로 구성된다. 여기서 원자 모형의 조작 가능성 여부를 기준으로 크게 두 가지로 시각자료를 구분했다. 첫 번째는 구 도식 원자 모형, 컴퓨터나 주사 터널링 현미경 등을 이용한 그래픽 등과 같이 추상적인 원자 개념을 구체적인 형태의 이미지로 시각화한 것으로, 단지 학습자에게 보여주는 것을 목적으로 하는 시각자료이다. 두 번째는 공과 막대기, 볼트와 너트, 스티로폼 구와 이쑤시개 등과 같이 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 사물을 이용하여 원자에 대응하는 구성물을 나타낸 것으로, 원자 모형에 해당하는 사물을 직접 조작하는 활동(handson activity)을 포함한 시각자료이다.

위의 기호학적 모델에서 시각자료의 해석 과정은 점선과 실선으로 표시했다. 점선으로 표현한 것은 구조화 과정(structuring process: st)으로,² 학습자가 시각자료의 내용이나 시각자료를 설명한 글의 내용을 파악하여 해석체를 구성하는 과정을 의미한다. 즉, 구조화 과정이란 기호의 표현 방식과 표현 내용을 파악하는 것이다. 구조화1(st1) 과정은 원자 및 분자 개념을 이미지로 표상한 시각자료를 보고 표현된 기호가 나타내는 의미를 파악하는 과정이며, 구조화2(st2)

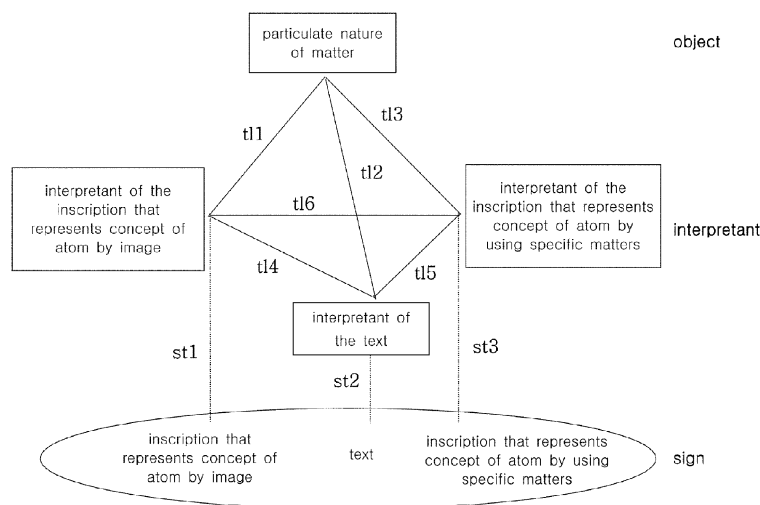


Fig. 1. The semiotic model of the processes of interpreting the inscriptions representing concept of atom.

과정은 시각자료와 관련된 글을 읽고 글의 의미를 파악하는 과정이다. 구조화3(st3) 과정은 학습자가 사물을 이용하여 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료를 보고 표현된 기호의 의미를 파악하는 과정이다.

기호학적 모델에서 실선으로 표현한 것은 시각자료의 표현을 파악한 것을 토대로 시각자료를 통해 나타내고자 하는 목표 개념을 심층적으로 이해하는 과정으로써 번역 과정(translating process: tl)이라고 명명하였으며,² 학습 목표를 설명하려는 집필자의 의도와 목표 개념을 학습자의 수준에서 이해하는 과정을 의미한다. 번역 과정은 해석체와 목표 개념을 대응하는 작업을 통해 목표 개념에 도달하거나(tl1~tl3), 시각자료의 해석체와 시각자료에 대한 글의 해석체를 서로 대응하여 목표 개념을 다른 표현 방식으로 이해하는 과정이다(tl4~tl6).² 번역1(tl1), 번역2(tl2), 번역3(tl3) 과정은 시각자료나 시각자료에 대한 글을 통해 구성된 원자의 특정 측면에 대한 해석체를 바탕으로 물질의 입자성이라는 목표 개념을 이해하는 과정이다. 예를 들어, 번역1 과정은 원자 개념을 이미지로 표상한 시각자료의 해석체에서 원자들의 종류나 크기와 같은 원자의 특성에 대한 목표 개념을 이해하는 과정이다. 번역4(tl4), 번역5(tl5), 번역6(tl6) 과정은 각 시각자료와 시각자료에 대한 글의 해석체들을 대응하여 목표 개념을 통합적으로 이해하는 과정이다. 예를, 번역6 과정은 원자 및 분자 개념을 이미지로 표상한 시각자료와 사물을 이용하여 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 해석체를 연결하는 과정이다.

연구 방법

원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 유형과 빈도를 분석하였다. 이 과정은 중학교 과학 교사 1인을 포함한 연구자 2인이 분석한 후 분석자간 일치도를 구하여, 일치도가 95% 이상에 도달하도록 하였다. 각 유형에 대한 대표적인 시각자료를 선정 후, 학습자가 시각자료를 해석하기 위해 필요한 과정을 기호학적 모델에 따라 각 유형별로 구체적으로 분석했다. 연구의 타당도와 신뢰도를 높이기 위해 분석이 애매한 경우에는 분석자간 논의를 거쳐 분석했고, 모든 연구자들이 동의한 사항에 한하여 분석 결과를 해석하고 결론을 도출했다.

연구 결과에 제시한 주장들은 연구자들이 시각자

료와 기호학적 모델, 분석 결과, 선행연구 등을 종합적으로 고려하고 반복적으로 검토하여 작성한 것이다. 그리고 과학교육 전문가, 중학교 과학 교사, 과학교육 전공 대학원생을 포함하여 10인 이상으로 구성된 연구진 회의에서 수차례에 걸쳐 논의하면서 분석 결과 및 주장, 결론을 수정보완하여 향상된 주관성 수준을 높이고자 하였다. 또한 분석 및 검토 과정을 녹음녹화하고 반성적으로 사고한 내용도 기록해 두어 감사 경로를 구성하였다. 이렇게 하여 질적 연구의 질과 신용성을 높이도록 노력하였다.²⁹

연구 결과 및 논의

원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 유형 분석

화학 단원에 제시된 시각자료 중에서 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료는 486개로, 원자 개념을 표상한 시각자료에 나타난 원자 및 분자 모형의 표현 방식을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 구 도식 원자 모형(55.1%)이 모든 교과서에서 가장 많이 사용되고 있었으며, 볼트와 너트, 스티로폼 구와 이쑤시개 등과 같은 일상생활의 사물을 이용한 모형(19.8%)과 공-막대기 모형(13.2%)도 대부분의 과학 교과서에서 비중 있게 사용되는 대표적인 모형이었다. 한편, STM 그래픽 원자 모형의 활용 비율(3.7%)은 낮지만 제7차 과학 교과서에서 새롭게 도입된 원자 모형으로, 최신 과학 기술의 산물인 주사 터널링 현미경을 이용하여 원자를 형상화하는데 사용되고 있었다. 그 외에도 의인화(3.5%), 종이 끼우기(2.3%), 컴퓨터 그래픽(0.8%), 역할놀이(0.6%) 등의 여러 가지 원자 및 분자 모형이 낮은 빈도이지만 교과서에 따라 다양하게 활용되고 있었다.

원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 해석 과정에 대한 기호학적 분석

학습자가 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료를 교과서 집필자가 의도한 대로 해석하기 위해 필요한 구체적인 해석 과정을 분석할 수 있으며, 기호학적 모델을 이용하여 분석해 봄으로써 학습자가 시각자료를 학습하는 과정을 체계적으로 예측하여 파악할 수 있을 것이다.² 따라서 원자 개념을 표상하기 위해 사용되는 대표적인 시각자료인 구 도식 원자 모형, 일상생활의 사물을 이용한 원자 모형, 공-막대기 원

Table 1. Frequencies and percentages of the atomic and molecular model types in the inscriptions representing the concept of atom and molecule

Types of model	Frequencies in each textbook ¹										Total	%
	A	B	C	D	E	F	G	H	I			
Circular diagram	45	22	28	31	22	29	39	15	37	268	55.1	
Matters of everyday life	8	6	20	11	10	9	7	14	11	96	19.8	
Ball-and-stick	-	15	3	6	7	4	14	14	1	64	13.2	
STM graphic	4	-	3	1	2	5	3	-	-	18	3.7	
Person-like shape	7	4	1	-	1	-	2	2	-	17	3.5	
Paper handling	-	-	5	-	-	-	2	4	-	11	2.3	
Computer graphic	-	1	-	1	-	-	2	-	-	4	0.8	
Macroscopic activity	1	-	2	-	-	-	-	-	-	3	0.6	
Miscellaneous	1	-	2	-	-	-	1	1	-	5	1.0	
Total	66	48	64	50	42	47	70	50	48	486	100	

¹The name of each textbook publisher is replaced by the alphabet to insure the anonymity of the textbooks.

*STM: scanning tunneling microscope

자 모형과 새로운 유형의 시각자료인 STM 그래픽을 해석하기 위해 필요한 과정을 기호학적 모델을 사용하여 심층적으로 분석했다. 기호학적 모델(Fig. 1)에 의거하여, 원자 및 분자 개념을 이미지로 표상한 시각자료와 사물을 이용하여 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료로 나누어 이에 대한 기호학적 분석 결과를 제시했다.

원자 및 분자 개념을 이미지로 표상한 시각자료의 해석 과정

주장 1: 시각자료를 해석하는 과정은 구조화 과정과 번역 과정이 여러 번 필요하므로 이에 대한 안내자로서 교사의 역할이 중요하다.

구 도식 원자 모형은 원자 개념에 대한 학습에서 전통적으로 사용되어 온 방식이다. Fig. 2가 그 대표적인 예이며, 거시적 현상을 나타낸 사진, 원자와 분자를 표상한 입자 모형, 시각자료를 설명하는 캡션과 본문으로 구성되어 있다.

왼쪽과 오른쪽 시각자료의 해석 과정은 유사하므로, 왼쪽 시각자료의 해석 과정에 대해서만 기술하면 다음과 같다. 학습자는 우선 같은 물질을 거시적 관점에서 나타낸 사진과 미시적 관점에서 표현한 입자 모형이 한 시각자료 안에 겹쳐서 표현되었음을 이해하는 과정(구조화 1)을 거쳐야 한다. 물질의 이름이 쓰여진 글을 읽고(구조화 2) 각각의 불질을 나타내는 입자 모형이 무엇인지 구분하여 인식하는 과정(구조화 1)을 거쳐야 한다. 또한, 산소 입자와 마그네

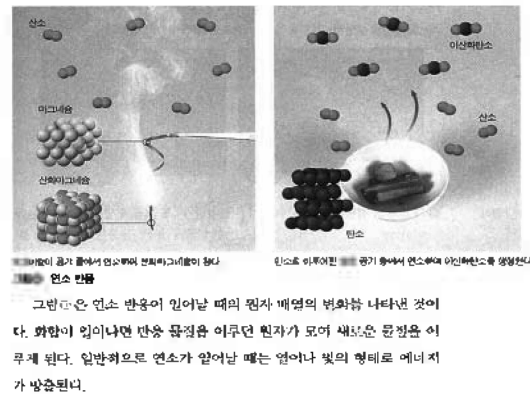


Fig. 2. A typical inscription representing atoms and molecules by STM graphic (from Middle School Science 3 published by Jihaksa, p 103, p 173).

슘 입자의 색을 인식하고¹⁾ 두 가지 원자 모형을 구별함으로써(구조화 1), 산화마그네슘이 산소와 마그네슘이 결합한 물질이라는 것을 이해하는 과정(번역 1)이 필요하다. 이 과정에서 동일한 원자 모형은 동일한 색으로 표현되었음을 인식하는 과정(구조화1)과 원자 모형의 색은 불질의 색과 무관하게 임의적이며 관습적으로 사용되는 것임을 아는 과정(번역1)을 거쳐야 한다. 또한, 산소 분자 모형에서는 동일한 빨간색 원자 모형 두 개가 붙어있고 산화마그네슘 입자 모형에서는 회색 마그네슘 원자 모형과 빨간색 산

¹⁾학술지가 흑백으로 인쇄되므로, 이 논문에서 기술하는 각종 색 짙은 인용된 과학 교과서를 따른다.

소 원자 모형이 한 개씩 교대로 위치하고 있는 것을 인식해야 한다(구조화1). 이로부터 산소 분자와 산소 원자의 입자 모형을 구별하는 과정(번역1)도 거쳐야 한다.

이외에도 마그네슘과 산화마그네슘의 입자 모형은 실제 현상을 나타낸 사진에서 불질의 일부를 확대하여 미시적 관점으로 표현하기 위해 지시선을 사용했음을 인식해야 한다(구조화1). 반면, 공기 중의 산소를 나타낸 입자 모형에서는 지시선이 없는데(구조화1), 이는 산소 분자 모형에 대응하는 산소 기체가 넓은 공간에 퍼져 있고 우리 눈에 보이지 않기 때문임을 인식하는 과정(번역1)도 거쳐야 한다. 그리고 시각자료 아래의 간략한 캡션을 읽고(구조화2), 그 내용과 시각자료의 입자 모형을 대응하는 과정(번역4) 및 마그네슘이 연소하여 산화마그네슘이 되는 것을 인식하는 과정(번역1)을 거쳐야 한다. 또한, 화학 반응이 진행되어 원자들이 재배열되는 과정을 위에서 아래 방향으로 나타내었음을 이해하는 과정(번역1)도 필요하다. 이 때, 캡션과 시각자료를 비교하여 연결하지 않으면(번역4) 시각자료에서 연소 불꽃이나 연기의 방향이 지시선을 위로 이끌어 산화마그네슘이 분해되어 마그네슘과 산소로 나누어지는 것과 같이 의미를 다르게 파악할 수 있다. 즉, 시각자료의 해석 과정에서 시각자료와 글을 제대로 연결하지 못하면(번역4) 시각자료의 의미를 집필자의 의도대로 파악하는 과정(번역1)에서 어려움을 겪을 수 있다.

시각자료의 원자 모형 표현 방식에 익숙한 전문가들은 여러 단계의 해석 과정들을 순조롭게 진행할 수 있다. 하지만 원자 모형 표현 방식에 익숙하지 않은 학습자의 입장에서 시각자료를 해석하기 위해 필요한 과정을 신중적으로 분석한 결과, 그 과정은 여러 번의 구조화 과정과 번역 과정으로 세분화하여 파악할 수 있었다. 즉, 학습자가 시각자료를 집필자의 의도대로 이해하여 목표 개념에 도달하는 과정이 결코 단순하지 않음을 알 수 있다. 따라서 시각자료 해석에서 여러 단계의 과정이 필요하기 때문에 학습자 스스로 복잡한 과정을 수행하기 어려울 수 있으므로 이에 대해 교사가 안내자의 역할을 수행하는 것이 필요하다.

주장 2 : 원자 모형은 실제(reality)의 복사물이 아니라 과학 지식을 기반으로 한 사회적 구성물임을 강조해야 한다.

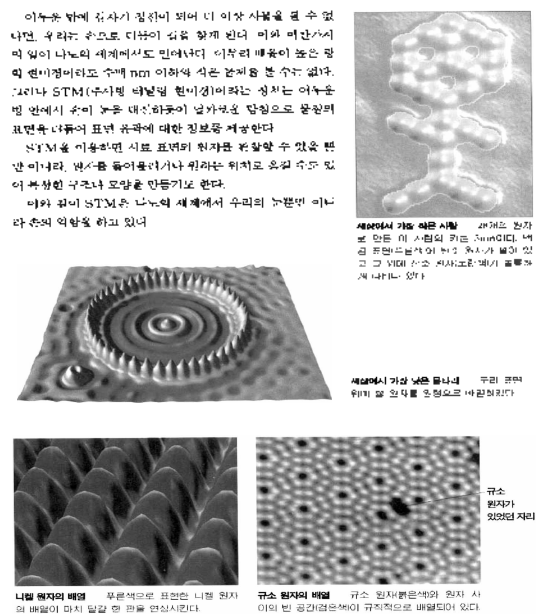


Fig. 2. A typical inscription representing atoms and molecules by circular diagram (from Middle School Science 3 published by Blackbox, p 173).

STM 그래픽은 주로 원자 모형에 대해 소개하는 부분 중간이나 단원의 끝부분에 읽을거리로 소개되고 있으며, Fig. 3이 그 예이다.

원자에 대한 학습자의 관점이 제시된 선행연구에 따르면, 학습자들은 원자 모형의 색과 물질의 덩어리의 색이 동일하다고 생각하는 경향이 있는데,¹¹ STM 그래픽에서 표상한 독특한 모양과 다채로운 색으로 표현된 원자 모형의 피상적 특징으로 인해 원자의 모양이나 색에 대한 오개념을 생성하거나 강화할 가능성이 있는 것으로 파악된다. 하지만 STM 그래픽에 나타난 개별 원자의 모양은 주사 터널링 현미경을 이용하여 측정된 데이터를 이미지로 표상한 것이므로 거시 세계에서 관찰한 물질의 모양과는 무관하다(구조화1). 따라서 미시적 수준의 원자 모양을 거시적 관점에서 논할 수 없음을 이해하는 과정이 필요하다(번역1). 또한, STM 그래픽에 표현된 원자의 색은 임의적이며(구조화1), 물질의 겉보기 색과는 무관하다는 점(번역1)을 인식하는 과정이 필요하다. 이를 통해 원자 모형의 피상적 특징에 대한 오개념이 STM 그래픽으로 인해 강화되는 것을 예방할 수 있을 것이다.

한편, 원자 개념을 학습할 때 '원자들은 실제로 존재하는가?'라는 질문을 던질 수 있을 것이며, 대부분의 교사들이 원자가 실재한다는 전제 하에 원자 모형을 가르치는 것으로 간주된다.¹⁹ 이러한 경향은 STM 그래픽을 접함으로써 더욱 증가될 수 있을 것이다. 하지만 원자 모형은 사회적 구성물로서 존재하는 것이므로 실재를 반영할 수도 있고 그렇지 않을 수도 있으므로,¹⁹ STM 그래픽은 실제의 복사물이 아니라는 점(구조화 1)을 강조함으로써 원자 모형이 사회적 산물임을 인식하는 과정(번역 1)이 필요하다.

사물을 이용하여 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 해석 과정

주장 3: 사물을 이용하여 원자 개념을 표상한 시각자료의 활용에서는 원자 모형의 임의성을 강조하여, 사물의 모든 속성이 원자 개념에 대응하는 것이 아님을 인식하도록 해야 한다.

사물을 이용하여 원자 개념을 표상한 시각자료는 학습자에게 일상생활의 사물을 이용하여 원자 모형을 구체적으로 조작하는 경험을 제공함으로써, 추상적인 원자 개념의 이해를 촉진하려는 교육적 의도를 지니고 있다.^{21,23,24} Fig. 4는 스티로폼 구와 이쑤시개, 클립, 집게, 볼트와 너트 등의 일상적인 사물을 이용하여 원자와 분자 개념을 비유적으로 나타낸 원자 모형의 대표적인 예이다.

이 활동에서는 시각자료에 제시된 개개의 사물이 원자를 비유적으로 표현하였음을 이해하는 과정과

사물들의 결합으로 원하는 물질의 분자 모형을 표현할 수 있음을 인식하는 과정이 필요하다(구조화 3). 또한, 수소나 산소 등의 원자를 제시된 사물 중 각각 어떤 것으로 표현할 것인지는 정해져 있지 않으므로 학습자가 적합한 사물을 선택해야 한다. 여러 종류의 원자 모형을 제시함으로써 선택한 사물에 따라 목표 개념의 서로 다른 특성을 부각할 수 있음을 인식해야 한다(번역 3). 예로, 볼트와 너트를 이용하면 구형 원자들의 성분비를 알 수 있지만 원자간 결합각을 알 수 없고, 스티로폼 구와 이쑤시개를 이용하면 원자간 결합각과 물질의 입체 구조를 알 수 있다(번역 3).

스티로폼 구의 모양이나 색, 볼트와 너트의 연결 방식과 같은 사물의 피상적 특징은 원자 개념과는 무관하다는 점을 인식하는 과정(번역 3)도 필요하다. 즉, 원자는 그 실재 여부도 불확실하고²⁰ 특정 기기의 도움 없이는 추측도 불가능하므로, 사물을 이용한 원자 모형은 원자의 모습과 성질을 그대로 본 뜬 것이 아니라 조작이 가능한 사물을 이용하여 임의로 나타낸 것임을 인식해야 한다(번역 3). 따라서 교사들은 사물의 속성이 반드시 원자 개념과 대응되거나 형태적 유사성을 지니는 것은 아니라는 점을 학습자에게 강조함으로써 사물을 통해 비유적으로 원자 개념을 설명하는 것에 대한 한계성에 대해 논의해야 할 것이다.

주장 4: 같은 교과서 내의 시각자료에서 공과 막대기를 이용하여 동일한 물질을 제시할 때, 표현 방식의 일관성을 유지해야 한다.


당구/실험	원자 모형과 화합물
<p>준비물 원자 모형 조립 세트, 여러 가지 색깔의 스티로폼 구와 이쑤시개, 여러 가지 색깔의 클립, 볼트와 너트 등</p> <p>과정 매 각 조별로 원자 모형으로 결합할 것을 준비하자. 주변의 다른 모형도 가능하다.</p> <p>14수소 원자 두 개와 산소 원자 한 개가 결합하면 물이 생성된다. 이것을 준비한 모형을 이용하여 나타내 보자.</p> <p>16구리 원자 한 개와 산소 원자 한 개가 결합하면 산화구리(II)가 생성된다. 이것을 준비한 모형을 이용하여 나타내 보자.</p> <p>생리</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 주어진 변화를 토의하여 원자 모형으로 나타내자. ◎ 만들어진 모형이 동원의 원자설에 어긋나지 않는지 비교해 보고, 서로의 의견을 발표하자. ● 원자 모형을 이용해 화합물을 나타내면 무엇을 알 수 있는가? 	

Fig. 4. A typical inscription representing atoms by using the matters of everyday life (from Middle School Science 3 published by Blackbox, p 107).

공과 막대기를 이용하여 물질의 입자 모형을 표현한 시각자료(Fig. 5)는 화학 반응 전후의 물질의 변화 과정을 원자의 배열 상태 변화라는 입자적 관점에서 가시적으로 확인할 수 있는 효과적인 도구이다. Fig. 5의 의미를 파악하기 위해서는 공과 막대기가 각각 원자와 결합 상태를 의미함을 이해하는 과정(구조화 3)이 필수적이다. 또한, 원자들의 결합 상태를 실제로는 볼 수 없다는 점을 인식하는 과정(번역 3)도 필요하다. 계곡과 물질의 화학식을 읽고(구조화 2) 시각자료에서 각 원자 모형이 의미하는 것을 파악하여(구조화 3) 글과 대응하는 과정(번역 5)도 거쳐야 한다.

Fig. 5에서는 '연소'를 표현한 시각자료에서 산소

어떠 가지 물질의 변화에서 모두 일정 성분비 법칙이 성립되까?
다음은 물질의 변화를 화학 반응식과 모형으로 나타낸 것이다.

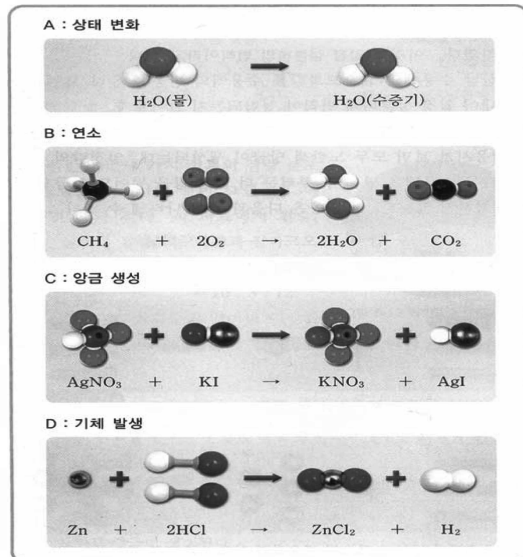


Fig. 5. A typical inscription representing atoms and molecules by using ball-and-stick (from Middle School Science 3 published by Kyohaksa, p 182).

원자를 나타낸 빨간색 공과 ‘기체 발생’을 표현한 시각자료에서 아연(Zn)을 나타낸 금색 공의 모양은 외관상 일부가 잘려져 있거나 구멍이 있는 고리 모양으로 보인다. 또한, 대체로 하얀색 공이 수소 원자를 나타내는 것과 달리, ‘앙금 생성’을 표현한 시각자료에서는 하얀색 공이 은(Ag)을 나타낸다. 그리고 전체적으로 메탄(CH₄)과 염화수소(HCl)에서만 공이 막대기로 연결되어 있고 다른 물질에서는 공이 직접 연결되어 있다. 이처럼 교과서의 시각자료에서 공의 모양과 색 및 결합의 표현 방식(구조화 3)에서 일관성이 없다면, 학습자가 원자 모형을 이해하고 조작할 때 혼동을 유발할 수 있다. 즉, 교과서에 제시된 시각자료의 표현적 오류는 학습자의 시각자료 해석을 방해함으로써 복표 개념의 이해를 어렵게 할 수 있다. 따라서 공과 막대기 모형이 본래의 의도에 맞게 효과적으로 이용되기 위해서는 교과서 집필자들은 자기 교과서의 시각자료 표현에서 공과 막대기를 이용한 원자 모형을 세시할 때, 같은 교과서 내에서는 표현의 일관성을 유지하도록 해야 할 것이다.

Fig. 6. A typical inscription representing atoms by using both circular diagram and the matter of everyday life within a page (from Middle School Science 3 published by Kumsung, p 110).

원자 개념을 이미지로 표상한 시각자료와 사물을 이용하여 표상한 시각자료가 함께 제시된 경우의 해석 과정

주장 5: 두 가지 유형의 시각자료를 함께 제시할 때, 두 가지 유형의 시각자료를 대응하는 해석 과정에 대한 적절한 지도가 필요하다.

과학 교과서에서는 Fig. 6과 같이 원자 및 분자 개념을 이미지로 표상한 시각자료와 사물을 이용하여 표상한 시각자료가 같은 페이지 내에 또는 다른 페이지에서 함께 사용되는 경우가 많다. 이는 한 가지 유형의 원자 모형보다 두 가지 유형의 원자 모형을 접하게 하여 학습자가 각 원자 모형의 해석체 중에서 공유되는 속성만을 인식하도록 함으로써 원자 개념에 대한 이해를 향상시키려는 교수의 의도를 포함하고 있다.

하지만 학습자는 각 유형의 원자 모형을 해석하는 과정뿐만 아니라 두 가지 유형의 원자 모형의 해석체를 서로 대응하는 과정(변역6)을 추가적으로 수행해야 한다. 그리고 이 과정에서는 두 원자 모형의 해석체간 공유 요소와 비공유 요소를 구별하는 과정이 필요하다. 만일 학습자가 이런 대응 과정을 제대로 수행하지 못하면, 사물을 이용하여 원자 모형을 조작하는 활동은 교수 의도와 달리 목표 개념에 연결되지 못하고 단지 무의미한 놀이에 불과하게 될 수도 있다. 따라서 교사들은 학습자가 각 원자 모형의 해석체들을 올바르게 대응하여 이해하도록 지도해야

할 것이다. 이를 위해, 학습자가 원자 개념을 이미지로 표상한 원자 모형과 사물을 이용하여 원자 개념을 표상한 원자 모형을 올바르게 연결하고 있는지 확인하여 피드백을 제공해야 할 것이다.

결론 및 제언

이 연구에서는 제7차 중학교 3학년 과학 교과서의 화학 단원을 대상으로 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 유형을 분석하고, 학습자가 집필자의 의도대로 시각자료를 해석하기 위해 필요한 과정을 기호학적 모델을 이용하여 체계적으로 예측하고 분석했다. 연구 결과, 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 표현 방식은 구 도식 모형, 일상생활의 사물을 이용한 모형, 공과 막대기 모형, STM 그래픽 등 다양했다.

원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료의 해석 과정에 대한 학습자가 시각자료를 해석하기 위해 필요한 과정을 예측하고 심층적으로 분석한 결과, 다음과 같은 시사점을 얻을 수 있었다. 첫째, 학습자가 원자 개념을 표상한 시각자료를 올바르게 해석하기 위해 필요한 여러 번의 구조화 과정 및 번역 과정을 스스로 수행하기 어려울 수 있으므로, 교사는 시각자료의 해석 과정에 대해 구체적으로 안내할 필요가 있다. 둘째, 원자 모형은 실재의 복사물이 아니라 과학 지식에 기초한 사회적 산물이라는 점과 원자 모형의 임의성을 강조함으로써 원자 모형의 피상적인 특징으로 인해 학습자에게 강화될 수 있는 오개념을 완화해야 한다. 셋째, 사물을 이용하여 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료에서는 비유적 설명의 한계성을 인식하도록 지도해야 할 것이다. 넷째, 한 교과서 내의 시각자료에 원자 개념을 표상하기 위해 사용된 원자 모형의 표현 방식의 일관성을 유지함으로써 학습자에게 혼동을 줄 수 있는 시각자료의 표현적 오류에 주의해야 한다. 마지막으로 다양한 유형의 원자 모형을 제시하면 각 유형의 원자 모형을 대응하는 과정이 부가되므로, 대응 과정을 효과적으로 지도하여 여러 유형의 시각자료를 제시하는 방법의 장점을 부각시켜야 한다. 이러한 시사점을 고려하여 교과서 집필자는 차기 교과서를 집필하고, 교사들은 실제 수업을 진행함으로써 원자 개념에 대한 학습자의 이해를 향상시키도록 노력해야 할 것이다.

이 연구를 통해 학습자가 화학적 시각자료를 해석하기 위해 필요한 과정을 체계적으로 예측하고 파악할 수 있었으므로, 이 연구 결과를 물질의 입자성 개념의 이해를 촉진하는 방안을 마련하기 위한 기초 자료로 활용할 수 있을 것이다. 그러나 이 연구에서는 화학적 시각자료를 해석하기 위해 필요한 과정을 체계적으로 파악하기 위하여 연구자가 학습자의 관점에서 고찰했으므로, 이 연구 결과와 학습자의 실제 해석 과정은 일치하는 부분도 있고 다른 부분도 있을 것이다. 즉, 학습자가 시각자료를 통해 구성한 원자 개념에 대한 해석체(learner's atom)와 교육과정에서 의도한 원자 개념(curriculum atom)이 일치하지 않을 수도 있다.¹⁹ 따라서 학습자가 실제로 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료를 해석한 내용과 그 해석 과정에 대해 추가적인 연구가 이루어져야 할 것이다. 그리고 이 연구에서 개발한 시각자료의 해석 과정에 대한 기호학적 모델을 후속 연구에서 유용하게 활용할 수 있을 것이다. 예를 들어, 학습자가 실제 시각자료를 해석하는 과정 및 이 과정에서 겪는 어려움을 면담이나 수업 관찰 등의 방법으로 심층적으로 조사할 때, 기호학적 모델을 활용하여 체계적으로 분석할 수 있다. 이를 통해 학습자의 사고 과정에 처방적인 교수-학습 방법의 개발과 수업 개선에 실질적인 도움을 줄 수 있을 것이다. 또한, 이 연구는 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료에 한정되어 있으므로, 다양한 과학 개념에 대한 시각자료를 해석하기 위해 필요한 과정을 분석하는 연구도 진행할 필요가 있다.

한 개의 시각자료를 해석하기 위해 학습자는 시각자료의 표현 방법이나 표현 내용을 파악하는 구조화 과정과 목표 개념을 이해하고 학습자의 수준에서 재구성하는 번역 과정을 여러 번 거쳐야 하는 것으로 분석되었다. 이 연구는 기호학적 모델을 활용하여 이러한 학습 과정을 분석함으로써, 학습 결과나 효과에 주로 주목하는 연구 뿐 아니라 학습자의 구체적인 학습 과정에 관심을 기울이는 연구도 진행될 필요성을 환기하는 차원에서 의의를 가진다.

“이 논문은 2006년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2006-000-10675-0).”

인용문헌

1. Lemke, J. In *Reading science*; Martin, J. R.; Veal, R., Eds.; Routledge: London, U. K., 1998; p 87.
2. Han, J.; Roth, W.-M. *Science Education* **2006**, *90*, 173.
3. Roth, W.-M.; Pozzer-Ardenghi, L.; Han, J. *Critical graphicacy*; Springer: Netherlands, 2005.
4. Pozzer, L. L.; Roth, W.-M. *Journal of Research in Science Teaching* **2003**, *40*, 1089.
5. Roth, W. M.; Bowen, G. M.; McGinn, M. K. *Journal of Research in Science Teaching* **1999**, *36*, 977.
6. Bowen, G. M.; Roth, W.-M. *Research in Science Education* **2002**, *32*, 303.
7. Roth, W.-M.; McGinn, M. K. *Review of Educational Research* **1998**, *68*, 33.
8. Roth, W.-M.; Tobin, K.; Shaw, K. *International Journal of Science Education* **1997**, *19*, 1075.
9. Treagust, D. F.; Chittleborough, G.; Mamiala, T. L. *International Journal of Science Education* **2003**, *25*, 1353.
10. Gabel, D. L.; Samuel, K. V.; Hunn, D. *Journal of Chemical Education* **1987**, *64*, 695.
11. de Vos, W.; Verdonk, A. H. *Journal of Research in Science Teaching* **1996**, *33*, 657.
12. 교육부 *중학교 교육과정 해설(III)*; 대한 교과서 주식회사: 서울, 1998.
13. 교육부 *과학과 교육과정*; 대한 교과서 주식회사: 서울, 1997.
14. 전경갑; 오창호 *문화적 인간인간적 문화*, 푸른 사상사: 서울, 2004.
15. 김경용 *기호학이란 무엇인가*, 민음사: 서울, 2005.
16. Eco, U. *Semiotics and the philosophy of language*; Indiana University Press: Bloomington, U.S.A., 1984.
17. 박수희 *교육용 게임의 기호학적 분석*, 한국교원대학교 석사학위 논문, 2005.
18. Bastide, F. In *Representation in scientific practice*; Lynch, M.; Woolgar, S., Eds.; MIT Press: Cambridge, U.S.A., 1990; p 187.
19. Taber, K. S. *Foundations of Chemistry* **2003**, *5*, 43.
20. Guba, E.; Lincoln, Y. *Fourth generation evaluation*; Beverly Hills, 1989.
21. 고숙영 *학생들의 학습 접근방식과 개념의 이해도와의 관계성 연구*, 서울대학교 석사학위 논문, 1994.
22. 진회자; 박광서; 김동진; 김경미; 박국태 *대한화학회지* **2004**, *48*, 77.