원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료에 대한 중학생들의 이해 및 해석 과정

노태희[†] · 윤미숙[‡] · 한재영^{*}

충북대학교 화학교육과

[†]서울대학교 화학교육과

[‡]문성중학교

(2009. 2. 18 접수)

Students' Comprehension and Interpretation Process of Inscriptions Representing the Concept of Atom and Molecule

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

Department of Chemistry Education, Chungbuk National University, Chungbuk 361-763, Korea

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

[‡]Munsung Middle School, Seoul 153-013, Korea

(Received February 18, 2009)

요 약. 이 연구에서는 중학교 3학년 학생들의 면담을 통해 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료에 대한 이해와 해석 과정을 조사하였다. 학생들과의 면담 및 결과 분석에 기호학적 모델을 사용하였다. 연구결과, 시각자료의 이해와 관련된 구조화 과정은 잘 수행하는 편이며, 목표 개념에 도달하는 번역 과정 및 시각자료간의 대응에 해당하는 번역 과정은 대체로 어려워하였다. 시각자료와 글을 연결하는 번역 과정은 학생에 따라 성공 여부가 달랐다. 한편, 면담에 참여한 모든 학생들이 시각자료를 해석하는 과정은 유사하게 나타났다. 이에 대한 교육적 함의를 논의하였다.

주제어: 원자, 분자, 시각자료, 해석 과정, 기호학

ABSTRACT. In this study, the 9th grade students were interviewed to explore their comprehension and interpretation processes of inscriptions representing the concept of atom and molecule. We used a semiotic model for the interview and the analysis of result. The research result revealed that the students performed structuring processes of interpreting inscriptions successfully, but they had a difficulty with translating processes for attaining the target concept or for connecting an inscription with another inscription. Translating processes of connecting inscription with text showed a different result according to achievement level of each student. On the other hand, all the interviewees showed similar sequences in the processes of interpreting inscriptions. Educational implications of these findings were discussed.

Keywords: Atom, Molecule, Inscription, Interpretation process, Semiotics

서 론

화학은 다양한 시각자료를 이용하는 시각적인 과학이며, 과학 개념의 이해를 돕기 위해 그래프, 표, 다이어그램과 같은 시각자료가 빈번하

게 활용된다.¹⁻³ 시각자료는 화학 개념을 시각적으로 표상함으로써 언어적 표상인 글의 내용을 설명하거나 보완하는 기능을 한다.^{1,5} 또한 시각자료는 화학 개념의 구조나 화학 반응의 과정 등을 한눈에 나타낼 수 있으므로, 언어적 표상만으

로는 설명하기 힘든 내용을 효과적으로 표현할 수 있다.^{1,6} 화학에서는 특히 물질을 구성하는 입자에 대한 개념을 구성하는 것이 중요하다.^{1,7-9} 이에 추상적이고 미시적인 입자 개념^{7,10}이 처음으로 도입되는 중학교 과학 교과서에는 원자 및 분자 개념의 이해를 돕기 위해 많은 시각자료들이 제시되어 있다.¹¹⁻¹³

과학 교과서에 제시된 원자 및 분자 개념은 중학생들의 인지 발달 수준을 고려하여 실제 화학자들이 사용하는 개념에 비해 좀 더 간단하게 표현되었다.¹⁰ 하지만 학생들이 원자 및 분자 등 물질의 입자를 표현한 시각자료를 해석하는 작업은 쉬운 일이 아니다.¹³ 원자 모형이나 분자 모형이 포함된 시각자료에는 과학자 집단의 표현 방식이나 화학 영역에서 빈번하게 사용되는 기호, 집필자의 의도 등이 함축되어 있으므로,¹³ 거시 세계에서 학생들이 경험하는 내용과 원자 및 분자 모형을 이용한 설명 사이에는 여전히 일정 정도 거리감이 존재한다.^{1,9} 원자 모형에 사용된 기호에 익숙하지 않은 학습자는 자신의 선행 경험과 사전 지식에 따라 그 기호의 의미를 집필자의 의도와 다르게 형성할 수 있으며,¹ 결과적으로 화학 개념의 이해 수준이 낮아질 수 있다. 즉 과학에서 사용되는 기호의 의미를 구성하는 작업은 자연적으로 터득되는 것이 아니라, 과학자의 사회에서 통용되는 기호의 의미를 배워야 하는 과정이다.^{14,15} 이처럼 과학적 기호가 지닌 의미의 중요성에 따라 최근 교육 연구에서는 기호의 본질과 그 구성 요소를 분석하고 기호의 해석 작용을 연구하는 기호학¹⁵에 근거한 연구들이 활발하게 이뤄지고 있다.^{1,3-5,13-15,17-21}

시각자료에 대한 선행연구에서 학생들이 화학 개념에 도달하기 위해 시각자료를 학습하는 과정은 단순하지 않으며,^{1,13} 시각자료와 글을 의미 있게 연결하는 작업도 쉽지 않다고 주장한다.^{1,3,19,21} 또한, 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료를 통해 학생들이 스스로 구성한 화학 개념은 교과서의 집필자나 교사가 의도한 목표 개념과 일치하지 않을 수도 있다.¹⁰ 그러나 이들 선행 연구들은 교과서에 제시된 시각자료를 기호학적으로 분석한 것이며, 학생들의 시각자료 이해 내용을 직접 조사하지 않았다는 한계를 가진다. 따라서 학생들이 교과서의 시각자료를 교육과정의 의도대로 해석하는지의 여부를 알기 위한

연구가 필요하다. 이와 같이 학생들이 시각자료를 해석하는 과정을 조사하여 학생들이 어려움을 겪는 해석 과정을 파악함으로써, 화학 개념을 성공적으로 이해하도록 유도할 수 있는 효과적인 시각자료 제시 방안을 탐색하고 물질의 입자성에 대한 교수·학습에 적용할 수 있는 실제적인 시사점을 얻을 수 있을 것이다.

이에 이 연구에서는 면담을 사용하여 학생들이 시각자료를 통해 구성한 원자 및 분자 개념의 내용을 조사하고, 학생들이 시각자료를 해석하는 과정 및 이 과정에서 학생들이 겪는 어려움을 분석했다.

연구 방법

연구 대상 및 면담 시기

원자 및 분자 개념을 학습한 중학교 3학년 학생 12명을 대상으로 면담을 실시했다. 면담에 참여한 학생들은 서울 소재의 중학교에 재학하고 있으며, 3학년 종합 성적 총점을 기준으로 상, 중, 하로 나누어 무선 표집했다. 면담 동의서를 제출하고 자신의 생각을 언어로 잘 표현하는 학생을 연구 대상으로 선정했다(Table 1).

면담 학생 선정 과정에서 중상위권 학생들은 면담에 비교적 우호적인 태도를 보였으나, 하위권 학생들은 과학 내용에 대해 면담을 하는 상황 자체를 싫어하여 대체로 면담에 동의하지 않았다. 따라서 하위권 학생들이 자발적으로 면담에 참여하도록 하는 과정에서 어려움이 있었다. 또한, 중학생들의 성적 분포에서 상위권에서는 여학생의 비율이 높고, 하위권에서는 남학생의 비율이 높은 점을 고려하여 Table 1과 같이 최대변량표집의 방법으로 면담 대상을 선정했다.

Table 1. Background information of the participants

Achievement level	Number of students		Total
	Boy	Girl	
High (0~30%)	2	3	5
Middle (30~70%)	2	2	4
Low (70~100%)	2	1	3
Total	6	6	12

면담에 사용한 시각자료는 선행연구에서 조사된 것으로, 중학교 3학년 과학 교과서에 제시된 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료 중 활용 빈도가 높은 시각자료 및 새로운 유형의 시각자료 등이다.¹³ 즉, 구 도식 원자 모형, 일상생활의 사물을 이용한 원자 모형, 공과 막대기 모형, STM(Scanning Tunneling Microscope: 주사터널링현미경) 그래픽 원자 모형, 두 가지 모형이 혼합된 경우 등의 5가지 시각자료를 과학 교과서에 제시된 형태 그대로, 시각자료 뿐 아니라 교과서에 제시된 글과 함께 면담에 이용했다.

면담 시기는 원자 및 분자 개념을 학습한 후 3개월의 기간이 지난 후이므로 단기 기억에 의한 효과가 아닌 장기 기억에 과지된 원자 및 분자 개념을 조사할 수 있었다.

연구 절차

우선 연구자의 면담 기술을 훈련하기 위해 연구 대상과 유사한 대상 6명을 선정하여 예비 면담을 실시했다. 사전에 선행연구¹³의 분석 결과를 바탕으로 예비 면담 질문 목록을 작성했으며, 예비 면담하는 과정을 녹음·녹화했다. 예비 면담 내용을 전사한 후 분석한 자료를 과학교육 전문가, 중학교 과학 교사를 포함한 모든 연구자들이 논의하는 과정을 통해 본 연구의 면담 질문지의 내용 및 면담 과정을 수정·보완했다.

본 연구의 면담 질문지를 개발한 후 2인의 과학 교육 전문가와 3인의 중학교 과학 교사가 타당도를 검토했다. 면담 질문은 시각자료에 대한 해석체, 시각자료와 목표 개념의 연결 등과 같이 항목별로 구분하였고, ‘이 그림을 보고 이해하고 해석한 내용을 말해 줄래?’, ‘이 그림을 보고 원자에 대해 무엇을 알게 됐니?’, ‘처음에 뭘 봤어?’, ‘머릿속에 뭐가 떠올랐어?’, ‘그 다음엔 어떤 생각을 했어?’ 등과 같이 시각자료에 대한 학생들의 이해도와 해석 과정을 알아보기 위한 질문으로 구성했다. 면담 질문지의 예를 부록에 제시했다.

실제 면담은 예비 면담을 실시했던 연구자 1인이 실시했다. 면담자는 학생과 상호 신뢰의 관계를 형성했으며, 질문의 내용을 미리 숙지한 후에 대화 형식으로 면담을 진행하였다. 학생들이

본인의 생각을 제약 없이 말하고, 그렇게 말한 이유를 자세히 설명하도록 하는 ‘반구조화된 면담’의 방법을 사용했다.²² 면담 질문지는 체크리스트로 사용함으로써 생략된 항목이 없도록 했으며, 각 학생들의 반응에 따라 심층적인 질문을 추가로 하기도 했다. 또한, 면담 과정에서 앞서 제시된 시각자료의 내용이 학생의 응답에 미치는 영향을 최소화하기 위해 학생별로 시각자료를 제시하는 순서를 다르게 함으로써 연구의 타당도를 높이도록 했다. 즉, 각 시각자료에 번호를 매긴 후 1 → 2 → 3 → 4 → 5, 3 → 1 → 5 → 4 → 2, ..., 5 → 4 → 3 → 2 → 1과 같이 학생마다 시각자료의 제시 순서를 다르게 조합했다.

면담 소요 시간은 학생에 따라 1인당 총 45분에서 60분 정도였으며, 학생 1인당 평균 50분 정도 소요됐다. 면담 시간은 주로 방과 후에, 면담 장소는 과학실이나 도서실 등 조용한 공간에서 실시했다. 면담자는 면담 과정을 모두 녹음·녹화했으며, 면담 과정에서 나타나는 학생의 특이한 행동, 표정 및 연구 외적인 현상 등을 관찰 노트에 작성했다.

면담이 모두 끝난 후 녹음·녹화 자료 및 관찰 노트를 바탕으로 프로토콜을 작성하여 그 내용을 점검했다. 프로토콜은 학생의 말을 기본으로 기록했고, 학생의 행동이나 표정 등을 ()안에, 직접 말로 표현하지는 않았으나 맥락상 포함될 표현이나 이후 면담 과정에서 나타난 부가적인 내용을 []안에 나타내는 방법으로 작성했다.

분석 방법

선행연구¹³에 제시된 기호학적 분석틀(Fig. 1)에 의거하여 학생들과의 면담 내용을 분석했다. Fig. 1에서 타원에 놓인 것은 교과서에 인쇄된 기호(sign)이며, 그 구성 요소는 글(T), 원자 및 분자 개념을 이미지로 표상한 시각자료(II)와 사물을 이용하여 표상한 시각자료(IM)이다.¹³ 피라미드의 밑면 꼭짓점에 있는 것은 기호의 의미를 파악한 해석체(interpretant)에 해당하며, 피라미드의 정점(P.N.M)에 놓인 것은 목표 개념(object)이다. 즉, Fig. 1의 분석틀은 시각자료의 해석 과정을 체계화하기 위해 기호, 그에 대한 해석체, 목표 개념이라는 세 가지 구성 요소로 분석하여 기호

Fig. 1. The semiotic model of the processes of interpreting the chemical inscriptions representing concept of atom and molecule. (LI=Inscription Representing by Image, T=Text, LM=Inscription Representing by Matters, LII=Interpretant of the Inscription Representing by Image, LT=Interpretant of the Text, LLM=Interpretant of the Inscription Representing by Matters, P.N.M=Particulate Nature of Matter)

의 해석 작용을 연구하는 기호학적 분석 방법론을 도입함으로써, 시각자료의 해석 과정을 요소별, 단계별로 세분화하여 분석한 것이다. 시각자료를 해석하는 각각의 과정은 점선으로 표시된 구조화 과정(structuring process: st)과 실선으로 표시된 번역 과정(translation process: tl)으로 구성되었다.¹ 구조화 과정(st1~st3)은 시각자료나 글 자체의 내용을 파악하는 과정으로, 기호에 해당하는 시각자료나 글에 대한 해석체를 구성하는 과정이다. 번역 과정은 구조화 과정에서 구성한 해석체 간의 의미를 연결하거나(tl1~tl3), 해석체를 목표 개념에 대응함으로써 목표 개념에 도달하는 과정(tl4~tl6)을 의미한다.¹⁾

면담 질문의 항목별로 학생들의 응답을 정리한 후 Fig. 1을 이용하여 시각자료의 해석 과정을 분석했다. 면담 내용 분석은 과학교육 전문가, 중학교 과학 교사를 포함한 3인의 연구자가 했으며, 연구의 타당도와 신뢰도를 높이기 위해 분

석이 애매한 경우에는 분석자간 논의를 거쳐 분석했고, 모든 연구자들이 동의한 사항에 한하여 분석 결과를 해석하고 결론을 도출했다.

연구 결과 및 논의 내용은 연구자들이 시각자료와 기호학적 분석틀, 분석 결과, 선행연구 등을 종합적으로 고려하고 반복적으로 검토하여 작성한 것이다. 이후 과학교육 전문가, 과학교사, 과학교육 전공 대학원생을 포함하여 총 10인이상으로 구성된 연구진 회의를 함으로써 분석 결과 및 주장, 결론을 수정·보완하여 주관성 수준²³을 높이고자 했다. 또한 질적 연구의 질과 신용성을 높이기 위해서 분석 및 검토 과정을 녹음·녹화하고 반성적으로 사고한 내용도 기록해 두어 감사 경로를 구성했다.²³

연구 결과 및 논의

기호학적 분석틀에 의거하여 각각의 시각자료 유형에 따른 시각자료의 해석 과정과 시각자료의 해석 순서에 대해 특징적인 내용을 기술·논의한다.

구 도식 원자 모형 시각자료의 해석 과정

원자 및 분자 개념을 구 도식 원자 모형으로 표상한 시각자료(Fig. 2, Fig. 3)에 대한 학생들의 해석 과정을 기호학적 모델로 나타낸 결과는 Fig. 4와 같다. 기호학적 모델에서 굵은 실선은 학생들이 대부분 잘 수행하는 해석 과정을 나타낸 것이며, 굵은 점선은 과반수의 학생들이 어려워하는 해석 과정을 의미한다. 또한 가는 점선은 Fig. 1의 기호학적 모델에서 빠져있는 해석 과정을 의미한다.

Fig. 2의 왼쪽 시각자료의 내용을 파악하는 구조화1 과정(st1)에서 면담자 12명 중 11명의 학생들이 마그네슘과 산화마그네슘의 원 도식 모형과 실제 현상을 나타낸 사진을 연결하는 지시선으로 인해 원 도식 모형이 무엇을 의미하는지 바로 파악할 수 있었다고 응답했다. 즉, 지시선은 거시적 현상과 미시적 입자 모형을 유의미하게 연계함으로써 구조화1 과정의 성공적인 수행을 촉진했다고 볼 수 있다.

Fig. 2의 오른쪽 시각자료의 내용을 파악하는

1) 모형에 제시된 각각의 과정은 동시에 일어날 수 있다. 즉, tl1&2와 같은 과정이 일어난다는 것을 생각할 수 있는데, 이 경우 tl1과 tl2가 각각 동시에 수행되는 것이므로, 선행연구에 기초하여 구분하여 분석하였다.

마그네슘이 공기 중에서 연소하여 산화마그네슘이 된다. 탄소로 이루어진 숯은 공기중에서 연소하여 이산화탄소를 생성한다.

Fig. 2. A typical inscription representing atoms and molecules by circular diagram.

구조화1 과정(st1)에서는 10명의 학생들이 검은 색 원자 모형과 숯 사진이 같은 물질을 나타낸 것이라고 인식했지만, 2명(하2)은 원자 모형과 사진에서 모양이나 색과 같은 피상적 특징과 사전 경험에 의존하여 아래와 같이 모형과 사진을 다른 물질로 인식하는 모습을 보였다.

- 관람자 (탄소 원자 모형) 그릇 안에 있는 거랑 다르다 그렸는데 왜 다른 거 같아?
 학생6(BL2) 석칼브터가 다른 거 같구요. (숯은 빨갈게 타고 있지만, 탄소 원자 모형은 검은색) 이걸 (숯 사진) 네트란 것도 있고 이 건 (탄소 원자 모형) 동그랴고...

위의 면담 내용처럼 시각자료의 내용을 파악하는 구조화 과정에서, 일부 학생들은 물질을 입자적으로 표현한 원자 모형을 잘 이해하지 못하고 거시 세계에서 눈에 보이는 모습대로 생각하는 경향을 보였다.^{9,10} 따라서 Fig. 2의 왼쪽 시각자료처럼 입자 모형과 거시적 현상을 지시선으로 연결한다면, 입자 모형과 거시적 현상을 보다 수월하게 연계함으로써 학생들이 구조화 과정을 더욱 성공적으로 수행하도록 도울 수 있을 것이다.¹

학생들이 시각자료의 의미를 파악한 해석체를 토대로 목표 개념을 이해하는 번역1 과정(t1)을 조사한 결과, Fig. 2의 시각자료에 대해 8명(상2, 중3, 하3)의 학생들은 아래와 같이 시각자

Fig. 3. The another inscription representing atoms and molecules by circular diagram.

료가 마그네슘과 숯이 산소와 결합하는 연소 과정을 나타냄을 이해하는 데 어려움을 보였다.

- 면담자 이 첫 번째 그림이 뭘 나타내는 거 같아?
 학생10(GM) 연소하잖아요, 이거 빠그 다 날아간다는 거 아니에요? 산소가? 마그네슘은 남아있고.
 면담자 그러면 두 번째 그림은 뭘 나타내는 걸까?
 학생10(GM) (큰소리로) 아 게 뭐예요?? 숯이예요? 아~ 탄소! 탄소 아니예요? 아, 탄소를 가열하면, 산소가 나오고 이산화탄소랑 산소랑 붙는다는 거 아니예요?

학생들은 시각자료가 전달하고자 하는 의미를 이해하지 못하고, 물질이 산소와 결합하는 과정인 연소에 대해 산소가 빠져나가는 것이라 응답하기도 하였다. 이는 학생들이 '타면 무엇인가 빠져나가거나 공기 중으로 날아간다'는 생각에 기초하여 시각자료를 해석하는 것으로 추측된다.^{12,24}

Fig. 3의 시각자료에서 원자와 분자를 인식하고 구별하는 번역1 과정(t1)에서는 9명(상3, 중4, 하2)의 학생들이 원자의 개념을 한 가지 원소로 구성된 순물질의 개념과 혼동했으며 분자의 개념을 두 가지 이상의 원소가 결합한 화합물의 개념과 혼동하는 모습을 보이면서 원자와 분자 개념을 정확하게 구분하지 못했다.

- 면담자 [시각자료에 나타난 것은] 각각 원자와 분자야?

2) 면담 학생의 성별(Boy, Girl)과 학업 성취도(High, Middle, Low)를 괄호 안에 약어로 표시하였다 (예, BL은 학업성취도 상위 남학생임).

Fig. 4. The semiotic model showing the interpreting processes of the inscription in Fig 2 and Fig 3.

학생3(GH): 여기 왼쪽에는 원자, 오른쪽에는 분자, 면담자 와 그렇지 생각하?

학생3(GH): 여기 오른쪽(물 분자)에 있는 거는 지금 산소랑 수소랑 결합했기 때문에 분자가 되고 왼쪽(산소 분자, 수소 분자)에 있는 건 순물질, 순수하게 자기들끼리, 있는 거니까... (원자어)

학생들이 원자와 원소, 분자와 화합물의 개념을 혼동하는 것은 과학 교과서에 원자와 원소 개념 설명이 혼재되어 있고, 분자를 단순히 원자들의 조합이 아닌 물질의 특성을 가진 가장 작은 입자로 정의하는 아보가드로의 관점이 상대적으로 덜 강조된 것에 기인할 수 있다.^{25,26} 따라서 교사는 이러한 점을 고려하여 학생들에게 시각자료에 표현된 원자 및 분자 개념에 대한 설명을 자세히 제공할 필요가 있다.

STM 그래픽 시각자료의 해석 과정

STM 그래픽을 이용하여 원자 및 분자 개념을 이미지로 표상한 시각자료(Fig. 5)를 학생들이 해석하는 과정을 Fig. 6의 기호학적 모델로 나타냈다. STM 그래픽에 대한 해석 과정에서는 구조화 과정 및 번역 과정을 모두 어려워하는 경향이 나타났다.

시각자료의 내용을 파악하는 구조화1 과정(st1)에서 7명(상3, 중1, 하3)의 학생들이 시각자료에 나타난 원자의 모습은 STM 현미경으로 직접 본 모양이라고 대답했다.

어두운 밑에 갑자기 빛깔이 되어 더 이상 사물을 볼 수 없다면, 우리는 손으로 더듬어 길을 찾게 된다. 이와 마찬가지로 빛의 나노의 세계에서도 일어났다. 아무리 배속이 높은 광학 현미경이라도 수 nm 이하의 작은 물체를 볼 수는 없다. 그러나 STM(주사현미경) 현미경이라는 장치는 어두운 방 안에서 손이 눈을 대신하듯이 날카로운 탐침으로 물질의 표면을 더듬어 표면 윤곽에 대한 정보를 제공한다.

STM을 이용하면 서로 표면의 원자를 관찰할 수 있을 뿐만 아니라, 원자를 끌어올리거나 원자의 위치로 움직일 수도 있고 특정한 구조나 모양을 만들기도 한다.

여와 같은 STM은 나노의 세계에서 우리의 눈뿐만 아니라 손의 역할을 하고 있다.

세상에서 가장 작은 사람 28개의 원자로 만들 0 나노의 크기 5nm이긴, 벽을 모험(복합)하여 탄소 원자가 물과 위와 같은 산소 원자(노란색)가 물결처럼 그려져 있다.

4-상에서 가장 낮은 물리적 구의 표면 위에 잘 원자를 분포시켜 배열되어 있다.

나일 원자의 배열 무언개요로 표현한 나일 원자의 배열이 마치 달과 한 면을 연상시킨다.

구소 원자의 배열 구소 원자(노란색)와 원자 사이의 빈 공간(검은색)이 규칙적으로 배열되어 있다.

Fig. 5. The example of inscription visualizing atoms by using STM graphic.

Fig. 6. The semiotic model showing the interpreting processes of the inscription in Fig 5.

면담자 이 사진들을 어떻게 만들었는지 알겠니?

학생2(GH): 그냥 현미경으로요 볼 수 없는 작은 물체인데, 그 주사형 터널링 현미경으로 본 물체...

면담자 봤다는 거는 어떻게 본거야?
 학생2(GH) 현미경을 좋고, 이 시각자료를 가르키
 며, 0 헬거 [직접] 봐서... 본 모습.

이러한 응답은 해당 교과서의 설명에 ‘STM을 이용하면 시료 표면의 원자를 관찰할 수 있을 뿐 아니라’, ‘이와 같이 STM은 나노의 세계에서 우리의 눈뿐만 아니라 손의 역할을 하고 있다.’라고 제시된 표현으로부터 기인할 가능성이 있다.⁹ 따라서 교과서에 STM 그래픽을 제시할 경우, 그 원자의 모양은 미시적 수준의 데이터를 컴퓨터로 영상화한 이미지임을 보다 명확히 설명함으로써, STM 현미경으로 ‘본다’라는 표현이 육안으로 거시 세계의 물질을 보는 것과 다르다는 전제와 원자의 색이 임의적이라는 내용을 이해하기 쉽게 안내해야 할 것이다.^{9,13}

STM 그래픽을 본 후 원자에 대해 알게 된 점을 질문하여 번역1 과정(t1)을 조사한 결과, 6명(상3, 중2, 하1)의 학생들이 아래와 같이 원자의 모양과 색에 대한 생각이 변했거나 혼동된다고 응답했다.

학생3(GL) 두 처음엔, [원자가] 0 런 모양을 갖
 그 있진 않잖나라고 생각했거든은. 저
 기 두 저런 그론에서 두 등그란거나 아
 예 없거든가 그냥 그랬는데, 이런 걸로
 0 헬게 브니까요... 이게 자기 모양이
 따로 있구나라는 생각이 들었어요.

학생4(GH) 아까까진으 려지, [원자는] 색깔이 없
 을 줄 알았었는데요. 이제 브니까 확
 더하면 색깔이 있을 것 같아요. 물체
 과다.

이처럼 학생들은 STM 그래픽에 구현된 원자의 독특한 모양과 색으로 인해 원자가 물질의 덩어리와 같이 특정 모양과 색을 띠고 있다는 오개념⁹을 형성할 수 있음을 주의해야 한다. 따라서 원자는 모양과 색을 논할 수 없을 정도로 작은 크기의 물질 입자임을 환기하는 것이 필요하다.⁹ 또한, 교과서 집필자 및 교사는 STM 그래픽에 제시된 원자의 모습이 과학 지식을 바탕으로 재현한 사회적 구성물임을 명시적으로 설명함으로써 학생들이 번역1 과정을 잘 수행하도록 지도해야 할 것이다.

일상생활의 사물을 이용한 시각자료의 해석 과정

일상생활의 사물을 이용한 원자 모형이 포함된 시각자료(Fig. 7)를 학생들이 해석하는 과정을 Fig. 8과 같이 나타냈다.

시각자료에 제시된 사물이 무엇을 나타내는가에 대한 질문을 하여 구조화3 과정(st3)에 대해 조사한 결과, 대부분의 학생들(11명)은 Fig. 7의 사물이 원자 모형의 비유적 표현이라는 것을 잘 이해함으로써 구조화3 과정(st3)을 비교적 잘 수행하는 모습을 보였다.

학생6(BL) 그리거나 그려면 좀... 색깔도 다 칠하
 그 그려야 되니까... [플랜터서] 이런
 걸로 하면 쉽게 으함으로... 0 헬게...
 께서 나타나는 거... [편하니까]

학생7(GM) 아~ 글로만 봐서는 생각하기 어려운
 데 원자로 나타날으로써 이해하기 더
 수 있을 것 같아요.

학생9(GH) 원자가 너무 작아서 볼 수 없으니까,
 0 헬로 [코환으로] 나타내는 거죠...

학생들에게 Fig. 7에 제시된 ‘수소 원자 두 개와 산소 원자 한 개가 결합하면 물이 생성된다.’ 이것을 준비한 모형을 이용하여 나타내 보자’라는 글을 읽도록 한 후 물의 생성 과정을 표현하는 데 적합한 사물을 선택하고 결합 방식과 그 이유를 설명하도록 하여 화학반응의 과정에 대해 이해하는 번역2 과정과 번역3 과정(t2, t3)에 대해 조사했다. 그 결과 6명(상2, 중1, 하3)이 아래

Fig. 7. The example of inscription representing atoms and molecules by using the matters of everyday life.

Fig. 12. The semiotic model for interpreting processes of the inscription in Fig 11.

각자료간의 공통점과 차이점을 잘 파악하며 번역6 과정을 쉽게 수행하거나, 처음엔 두 가지 시각자료를 잘 대응하지 못했지만 반복해서 살펴보았을 때 두 가지 유형의 시각자료를 연계하는 것에 성공함으로써 다양한 관점에서 깊이 있게 이해하는데 도움이 된다고 응답했다.

- 면담자: 온자여 더해서 0 허할 때 여러 가지로 나타낸 게 도움이 되니? 아니면 한 가지 방식으로만 하는 게 더 나을 것 같어?
- 학생 1(B.M): 0 하하기 위해서 여러 가지를 해서 공통점 찾는 게 더 나을 것 같아요.
- 면담자: 여러 가지 방식으로 나타내는 게 어떤 공통점이 있는 것 같어?
- 학생 1(B.M): 음... 제일 그런 거는(공통적인 것은) 뭐지? 어... 바열 상태가 바뀌거나 달라 다르게 다시 나타나고 그런 건 없는 것 같아요.
- 면담자: 그럼 이런 방식을 간여는 어떤 차이점이 있는 것 같아?
- 학생 1(B.M): 어... [0 미지로 표상한 것은] 직접적으로 나타나거나 [사물을 0 동한 것은] 빗대어 나타냈는데요.

반면에 번역6 과정(tl6)에서 어려움을 겪은 8명(상2, 중3, 하3)의 학생들은 두 가지 유형의 시각자료를 대응하기보다는 여러 가지 유형의 시각자료 중에서 이해가 잘 되는 시각자료만을 선택하여 보거나, 여러 가지 유형의 원자 모형으로

나타낸 것이 목표 개념을 이해하는데 오히려 혼란스럽다고 대답했다.

학생 3(G.L): 어떻게 보면 약간 혼란스럽고요, 어떻게 보면 야가(원 드식) 쉽게 0 하가 될 때가 있어요, 이 런 그런 같은 거는(원 드식) 아! 그렇구나, 저렇구나! [그러다가] 결합을 하고 뭐 화학식을 만든 다음에 그러면 머리에서 혼란이 일어나요.

학생 10(G.M): 만약에요, 이 거(원드식) 뭐 어떻게 되는데, 이거라고 했잖아요, 그러면 저것(일상 생활의 사물)도 뭐 어떻게 되는데 이 거라고 했으면요, 둘이 똑같다고 말했으련요, 이 거 어떻게 똑같은지 허잘려거든요, 그러가지고요, 드움이 안 돼요.

중상위권 학생들은 대체로 여러 가지 원자 모형 표현에서 공유 속성들을 잘 분별하고 대응함으로써 목표 개념을 깊이 있게 이해할 수 있었다. 그러나 하위권 학생들은 원자 모형의 형태와 표현 방식과 같은 비공유 특징에 주목하여 두 시각자료간 연계 과정의 수행을 실패함으로써 다른 방식의 원자 모형이 같은 내용을 표현한다는 것을 파악하지 못하고 오히려 목표 개념의 이해에서 혼동을 겪는 경향이 있다.¹² 따라서 교사는 학생들의 인지적 수준에 따라 더 쉽게 이해할 수 있는 유형의 원자 모형을 파악하여 원자 개념에 대한 이해를 높여줄 필요가 있다. 또한, 다양한 원자 모형을 표현한 시각자료를 활용할 때에는 원자 모형과 원자간의 공유 속성과 비공유 속성을 구별하여 강조할 필요가 있다.

시각자료의 해석 순서

선행연구에서는 학생에 따라 시각자료와 글 중에서 먼저 보는 것이 다를 것이므로 시각자료 해석의 순서가 일정하지 않을 것으로 예측했다.^{1,13} 그러나 면담 결과, 학생들은 Fig. 13에 제시된 순서대로 시각자료를 읽으며 해석하는 것을 알 수 있었다. 즉, 학생들은 시각자료를 먼저 보고 읽으며, 글을 읽은 후 시각자료와 글을 연결하고, 다른 시각자료와 비교를 하면서 목표 개념에 도달하는 경향이 있다.

Fig. 13. The processes of interpreting the chemical inscriptions.

면담에 응한 12명의 학생들은 모두 원자 개념을 표상한 4가지 유형의 시각자료와 관련 내용에 관한 글이 교과서에 동시에 제시되었을 때, 시각자료를 먼저 본 후에 교과서 본문의 글을 읽고 그 후 시각자료와 글을 연결하여 목표 개념을 이해하는 경향을 보였다.

면담자 그림 이렇게 자료들을 보면서 원자를 버울 때 어떤 과정을 거쳐 게 되?

학생 12(BH) 그림을 먼저 보고요, 그거에 관련된 글을 읽어 보고, 그거에 관련된 걸(시각자료와 설명한 글을 함께) 찾아보고 그걸 이해하는 거...

이 결과는 12명의 학생들을 면담한 결과이므로 일반화하기는 어렵지만, 표집 대상을 임의로 선정했으며, 성취도를 고르게 하여 표집한 후 심층 면담한 결과이므로 시사점을 찾을 수 있다. 학생들은 시각자료를 가장 먼저 보고 주의를 집중시키므로 시각자료의 적절한 사용은 흥미와 학습 동기와 같은 정의적 측면에서 일차적인 효과를 기대할 수 있을 것이며, 학생들이 글만 제시된 경우 과학 개념을 이해하는 데 어려움을 겪으므로 인지적 측면에서 개념의 이해도를 증가시키기 위한 방안으로 시각자료의 중요성이 더욱 부각된다.

결론 및 제언

이 연구에서는 면담을 통해 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료에 대한 학생들의 이해 및 해석 과정을 기호학적 관점에서 조사했다. 분석 결과 학생들은 시각자료의 의미를 파악하는 구조

화 과정은 성공적으로 수행하는 편이지만, 목표 개념에 도달하거나 시각자료 간 대응에 해당하는 번역 과정에서는 대체로 어려움을 겪는 경향을 나타냈다. 또한, 교과서의 내용을 파악할 때 학생들이 시각자료를 먼저 보고 글과 연결하여 이해하는 경향이 있었다. 따라서 과학 개념의 이해에 도달하기 위해 시각자료와 글을 연결하는 번역 과정이 필수적이며, 글만 제시된 경우 과학 개념을 이해하는 데 어려움을 겪는 것으로 조사되어 시각자료의 중요성을 확인할 수 있었다.

이 연구에서 분석한 학생들의 시각자료 해석 과정 중 구조화 과정은 원자 및 분자 개념의 학습에서 시각자료에 제시된 표현 방법을 알고 그 의미를 파악하는 과정으로써 목표 개념의 이해를 위한 출발점이 된다. 따라서 학생들이 구조화 과정을 제대로 수행하지 못하면 목표 개념에 도달하는 것이 어렵다는 것을 고려하여, 교사는 구조화 과정을 지도할 때 질문을 통해 해석 과정을 확인하고 즉각적인 피드백을 제공할 필요가 있다.

학생들은 원자 및 분자 개념을 이미지로 표상한 시각자료에 대한 해석체를 토대로 목표 개념을 이해하는 번역1 과정에서 원자 개념과 원소의 개념을 혼동하고, 분자 개념과 화합물의 개념을 혼동함으로써 원자와 분자 개념을 정확하게 인식하고 구별하는 작업을 어려워했다. 또한 이 과정에서 학생들은 시각자료에 제시된 원자 모형을 원자의 실재하는 모습이라고 파악하거나, 원자 모형의 피상적 특징으로 인해 오개념을 생성할 수 있다. 이러한 오개념을 예방하기 위한 방안으로 원자나 분자를 표현하는 입자 모형이 원자나 분자의 실재하는 모습의 재현이 아니라

사고 활동을 촉진하기 위한 도구로서의 정신 모형(mental model)이라는 것을 강조하고,⁶ 원자 모형 및 분자 모형의 특징과 제한점을 교과서에 명시적으로 기술하는 것을 제안할 수 있다.

한편, 사물을 이용하여 원자 및 분자 개념을 표상한 시각자료에 대한 해석책을 토대로 목표 개념을 이해하는 번역3 과정에서 학생들은 화학 반응이 일어나는 과정에서 반응 물질의 원자 모형과 생성 물질의 원자 모형을 서로 다르게 표현함으로써 화학 반응을 원자의 재배열의 관점에서 이해하고 표현하는 것에 어려움을 겪었다. 따라서 화학 반응이란 원자가 생성되거나 소멸되는 것이 아니라 물질을 구성하는 원자가 재배열하는 것이라는 개념^{11,12}을 다양한 화학 반응에 실제로 적용할 수 있도록 여러 가지 예시를 통해 충분히 설명할 필요가 있다.

서로 다른 유형의 시각자료를 대응하는 번역6 과정에서는 시각자료간의 공유 속성을 사용하여 목표 개념에 대해 폭넓은 이해를 도모하기보다는 원자 모형 간의 비공유 속성으로 인해 교과서 저자의 의도와는 다른 방향으로 이해하거나 혼동을 경험하는 경우도 있었다. 다른 유형의 시각자료를 대응하는 과정이 성공적으로 이뤄지기 위해서는 학생들이 시각자료를 구성하는 요소인 기호의 의미와 기능에 대해 이해하도록²⁷ 교사가 안내자 역할을 충실히 해야 할 것이다.

이 연구에서는 기호학적 분석틀을 이용하여 학생들의 시각자료 해석 과정을 구분함으로써 해석 과정의 단계에 따라 학생들의 이해 내용을 체계적으로 분석했다. 이를 통해 원자 및 분자 개념에 대한 학생들의 학습 결과 뿐 아니라 구체적인 학습 과정에도 관심을 기울임으로써 학생들이 어려움을 겪는 해석 과정과 개념의 내용을 알아볼 수 있었으며, 학생들의 사고 과정에 적합한 교수-학습 방안을 탐색할 수 있다는 점에 본 연구의 의의가 있다. 또한, 기호학적 분석틀을 활용한 연구 방법은 교육 현장에서 학생들이 교육과정의 의도에 맞게 시각자료를 해석하는지 알아보기 위해 해석 과정을 단계별로 점검할 때도 이용할 수도 있을 것이다.

“이 논문은 2006년도 정부(교육과학기술부)의

재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2006-000-10675-0).”

인 용 문 헌

1. Han, J.; Roth, W. M. *Science Education* **2006**, *90*, 173.
2. Wu, H. K.; Shah, P. *Science Education* **2004**, *88*, 465.
3. Bowen G. M.; Roth, W. M. *Research in Science Education* **2002**, *32*, 303.
4. Roth, W. M.; McGinn, M. K. *Review of Educational Research* **1998**, *68*, 33.
5. Roth, W. M.; Bowen, G. M.; McGinn, M. K. *Journal of Research in Science Teaching* **1999**, *36*, 977.
6. Gilbert, J. K. *Visualization in science education*, Springer: Dordrecht, Netherlands, 2005.
7. Gabel, D. L.; Samuel, K. V.; Hunn, D. *Journal of Chemical Education* **1987**, *64*, 695.
8. de Vos, W.; Verdonk, A. H. *Journal of Research in Science Teaching* **1996**, *33*, 657.
9. Harrison, A. G.; Treagust, D. F. In *Chemical Education: Towards Research-based Practice*; Gilbert, J. K., Ed.; Springer: Dordrecht, Netherlands, 2002; p 189.
10. Taber, K. S. *Foundations of Chemistry* **2003**, *5*, 43.
11. 교육부 과학과 교육과정, 대한 교과서 주식회사: 서울, 한국, 1997.
12. 교육부 중학교 교육과정 해설(III): 대한 교과서 주식회사: 서울, 한국, 1998.
13. 노태희, 윤미숙, 강훈식, 한재영 *대한화학회지* **2007**, *51*, 423.
14. Eco, U. *Semiotics and the philosophy of language*; Indiana University Press: Bloomington, U. S. A., 1984.
15. 박수희 *교육용 게임의 기호학적 분석: 퍼스의 기호학을 중심으로*, 한국교원대학교 석사학위논문, 2005.
16. 김경용 *기호학이란 무엇인가: 기호의 우리, 우리의 기호*; 민음사: 서울, 한국, 2005.
17. Lemke, J. In *Reading science: Critical and functional perspectives on discourses of science*; Martin, J. R., Veal, R., Eds.; Routledge: London, U. K., 1998.
18. Bastide, F. In *Representation in scientific practice*; Lynch, M., Woolgar, S., Eds.; MIT Press: Cambridge, U. S. A., 1990.
19. Pozzer, L. L.; Roth, W. M. *Science Education* **2005**, *89*, 219.
20. Roth, W. M.; Pozzer-Ardenghi, L.; Han, J. *Critical graphicacy: Understanding visual representation practice in school science*. Springer: Dordrecht, Netherlands, 2005.
21. 한재영 *초등과학교육* **2006**, *25*, 244.

22. 이용숙, 김영천 *교육에서의 질적 연구: 방법과 적용*, 교육과학사, 서울, 한국, 1998.
 23. Guba, E.; Lincoln, Y. *Fourth generation evaluation*, Sage: Beverly Hills, U. S. A., 1989.
 24. 한문정 *연소와 녹스는 현상에 대한 학생들의 개념 조사*, 서울대학교 석사학위논문, 1990.
 25. 백성혜, 류오현, 김동욱 *박국태 대한화학회지* **2001**, 45, 357.
 26. 류오현, 백성혜, 김동욱 *대한화학회지* **2004**, 48, 53.
 27. Ainsworth, S. *Learning and instruction* **2006**, 16, 183.
-