

중학교 과학2 교과서에 서술된 이온 결합 화합물과 분자 내용이 요구하는 인지 수준 분석(제II보)

강순희* · 방담이† · 김선정
이화여자대학교 과학교육과
†가톨릭대학교 ELP 학부대학
(접수 2012. 7. 12; 게재확정 2012. 9. 16)

Analysis of the Level of Cognitive Demands about Concepts of Ionic Compounds and Molecule on Science 2 Textbooks in Junior High School (II)

Soonhee Kang*, Dami Bang†, and Sun-Jung Kim

Department of Science Education, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea.

*E-mail: shkang@ewha.ac.kr

†Department of ELP, Catholic University of Korea, Bucheon 420-743, Korea

(Received July 12, 2012; Accepted September 16, 2012)

요 약. 이 연구에서는 중학교 ‘과학2’ 교과서에 서술되어 있는 ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’에 대한 내용이 요구하는 인지 요구도를 분석하였다. 우리나라는 2007년 개정 교육과정에 의하여 처음으로 ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’ 내용들을 중학교에서 다루게 되었다. 분석에 활용한 6종 과학 교과서에 서술된 내용이 어떠한 인지 수준을 요구하는 지를 알아내는 분석틀은 영국에서 개발된 Curriculum Analysis Taxonomy의 3종류 분석틀을 사용하였다. 이 3종류 분석틀에 의하여 분석한 ‘과학2’ 교과서에 서술된 내용이 요구하는 인지 수준들은 다음과 같았다. 첫째, ‘순물질과 혼합물’에 대해서 대부분의 교과서가 대부분 분류 포섭이나 분류 위계를 하고 있어서 후기 구체적 조작 수준이다. 그러나 모든 교과서가 혼합물 속에 들어 있는 각각의 순물질들이 본래의 성질을 잃지 않고 그 성질이 보존된다는 것을 알게 하고 있기 때문에 초기 형식적 조작 수준이다. 둘째, ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’에 대해서 교과서 모두 초기 형식적 조작 수준으로 판정되었다. 그 자체의 규칙을 따르는 가상의 계로부터 연역적인 비교를 통하여 실체를 간접적으로 해석할 수 있는 형식적 모델을 사용한다거나 또는 원자가 구조를 가진다는 것을 설명하기 때문에 형식적 조작 수준이다. 셋째, ‘이온 결합’, ‘이온 결합 화합물’, ‘화학식’, ‘공유 결합’, ‘공유 결합 화합물’, ‘분자식’ 등의 용어들을 사용하는 ‘과학2’ 교과서가 많이 있었다. 이러한 용어들은 중학교 ‘과학3’에서도 그리고 고등학교 ‘과학’에서도 사용되지 않고 있으며 고등학교 ‘화학I’과 ‘화학II’에 가서야 사용되는 용어들이다.

주제어: 순물질, 혼합물, 이온 결합 화합물, 분자, 화합물

ABSTRACT. The purpose of this study is to analyze the cognitive demands level of the description about ‘pure substance and mixture compound’, ‘ionic compound’, ‘molecule’ on the ‘science2’ textbooks by the 2007 revised curriculum. The three types of Curriculum Analysis Taxonomy have been used to analyze the cognitive demands level of those contents on the 6 kinds of ‘science2’ textbooks. The first, the cognitive demand level about ‘pure substance and mixture compound’ on many textbooks is a late concrete operational stage because of class inclusion and hierarchical classification. And the descriptions as ‘pure substance is conserved even when mixed with other pure substance’ is a early formal operational stage. The second, the cognitive demand level about ‘ionic compound’ and ‘molecule’ is a early formal operational stage, because of “Formal modeling is the indirect interpretation of reality by deductive comparison from a postulated system with its own rules” and “Atoms have a structure”. The third, the terms as ‘ionic bonding’, ‘ionic compound’, ‘chemical formula’, ‘covalent bonding’, ‘covalent compound’, and ‘molecular formula’ have been used on many ‘science2’ textbooks. Those terms would be used later on ‘chemistry I’ and ‘chemistry II’ in senior high school but not even ‘science3’ and ‘science’.

Key words: Pure substance, Mixture compound, Ionic compound, Molecule, Compound

서 론

물리나 생물 내용은 개념별로 각각 충분히 깊이가 있으며 나중에 통합되는 단계를 거치기 때문에 개념별로 더러 가르치는 순서가 바뀌어도 된다. 반면에 화학 내용은 단계별 위계가 분명하기 때문에 위계상 선택 가능한 학습 순서가 존재하게 된다.¹ 따라서 화학은 위계적으로 연결된 이전의 개념을 잘 이해하지 않고서는 이후의 새로운 개념을 학습하는 데는 많은 어려움이 발생한다. 그래서 화학은 물리나 생물에 비해서 학습 초기 단계에서부터 문턱이 상당히 높은 과학 과목이 될 수밖에 없다고 한다.²

그래서 눈으로 볼 수도 없는 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’ 개념이 그 깊이로 볼 때, 추상적이고 형식적 개념임에도 불구하고 학습 순서 때문에 2007 개정 교육과정에 의하여 우리나라 중학교 2학년 화학 내용의 맨 앞에 실려 있다. ‘원소’와 ‘주기율표’를 앞서서 일찍 도입하는 이유는 그 다음 단원인 ‘우리 주위의 화합물’에서 화합물의 형성 과정과 이름으로만 알던 화합물을 원소 기호로 표현하기 위함이다.^{3,4} 이러한 학습 순서는 영국 그리고 미국의 경우에도 고등학교가 아닌 중학교 과학 교과서⁵⁻¹³에서 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’, ‘이온 결합 화합물’, ‘분자’ 내용들을 다루고 있다.

인지론적 입장에서 교과서에 서술되어 있는 과학 교과 내용들이 어떠한 인지 요구도를 요구하는지를 분석한 ‘주기율표’에 대한 우리나라 교과서 서술을 연구한 논문¹에 의하면 다음과 같다. 과학2에 서술되어 있는 ‘주기율표’ 관련 내용들은 다양한 종류의 원소들을 원소 기호를 이용하여 특정 기준에 따라 몇 가지 그룹으로 분류될 수 있음을 이해해야 하고, 실체를 범주화하는데 있어서 여러 기준으로 분류해야 하는 내용으로 후기 구체적 조작 수준이었다.² ‘주기율표’를 여러 족들의 집합임을 알고 이원 분류표로 이해해야 하는 내용은 초기 형식적 조작 수준이었다. ‘원자’ 구조와 연결 짓는 복합적 분류 체계로 주기율표를 표현하는 후기 형식적 수준도 있었다. ‘원소’에 대한 우리나라 교과서 서술이 더 이상 간단한 물질로 분리될 수 없는 순물질임을 이해하는 내용으로 대부분 후기 형식적 조작 수준이었다.² 그러나 ‘원소’는 한 가지 종류의 원자만으로 이루어진 물질이라고 서술된 내용으로 초기 형식적 조작 수준도 있었다. ‘원자’에 대한 교과서 서술이 원자가 구조를 가진다는 것 그리고 원자가 같은 종류도 있고 다른 종류도 있다는 서술은 초기 형식적 수준이었다.² 이러한 연구²에 의하면 ‘주기율표’와 관련 개념들은 그 내용을 학습하는 중학교 2학년 학생들 중 많은 구체적 조작 수준 학생들은 어려워할 것이라고 한다.

이 연구에서는 앞의 ‘주기율표’ 연구와 같은 인지론적

입장에서 중학교 과학2 교과서에 서술되어 있는 ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’ 내용이 요구하는 인지 수준이 어떠한지를 분석하고자 한다. 교육 과정 해설서⁴에 의하면 전자가 개입되어 화합물이 형성됨을 다루고 그리고 원소 기호를 이용하여 화합물은 편리하게 나타낼 수 있도록 까지만 서술하도록 하는 목표를 세우고 있다. ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’를 전자의 이동이나 공유에 의하여 형성됨을 알기 위해서 선행되어야 하는 개념이 바로 ‘원자’의 구성 중 전자에 대한 이해이다. 눈으로 볼 수도 없는 ‘원자’ 개념이 추상적이고 형식적 개념임을 감안하면 ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’ 내용은 형식적 수준을 요구할 것이라고 가정할 수 있겠다. 만약에 학생들이 과학을 어려워하는 이유들 중 하나가 학습하는 과학 내용이 요구하는 인지 수준이 학생들의 인지 수준과 부합이 되지 않았기 때문이라는 연구들이 많이 있다.^{2,14-22} 이와 같이 피아제를 포함한 발달 심리학을 토대로 하는 인지론적 학습론을 지지하는 학자들은 학습 효과의 극대화를 위해서 ‘어떤 수준의 학생에게 어떤 수준의 개념을 가르칠 것인가’가 중요하다고 여기고 있다. 이들은 학습과 학생의 인지 발달의 본성에 주된 관심을 갖고 연구한다. 따라서 이 연구에서 분석해 낸 ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’ 내용이 요구하는 인지 요구도들은 교사들이 교수 전략을 세울 때 어떠한 내용이 학생들이 어려워 할 것인지를 먼저 파악할 수가 있어서 교수 전략 작성에 기본적으로면서 실질적인 도움이 될 것이다. 이 연구 결과로 얻어진 자료들은 중학교 과학 교사가 교수 전략을 세울 때에 ‘어떻게 서술되어 있는 어떤 내용들이 대상 학생들의 인지 수준과 비교해 볼 때 부합이 되는지 아니면 부합되지 않는지’를 알게 해 주는 자료이기 때문이다.

우리나라 중학교 2학년 학생들의 인지 수준이 다양한 분포를 보여주고 있는 연구들에 의한 자료들을 모아 다음의 Table 1에 실었다. 우리나라 중학교 2학년이며 14세 인데도 아직도 구체적 조작 수준인 학생들의 분포는 학생들의 분포가 조사 대상을 100%로 할 때에 적은 경우 25.2%²³ 나타나고 있다고 보고되기도 하였고, 많게는 68.1%¹⁶ 비율로 높게 나타나고 있다고 보고되고 있다. 그리고 형식적 조작 수준에 도달해 있는 우리나라 중학교 2학년은 적은 경우는 3.0%²⁹라는 연구도 있었고 많은 경우는 31.4%²⁴라는 연구도 있었다. Table 1에 있는 영국의 경우¹는 전국 규모로서 구체적 수준과 형식적 수준이 각각 20.0%와 5.0%로 조사되었다. 그러나 대부분의 우리나라 학생들의 인지 수준 분포들은 전국 규모가 아니기 때문에 지역에 따라 매우 다양한 분포를 보여 주고 있는 것이다. 이러한 현상은 지역에 따라 학생들의 분포가 매우 다양함을 보여 주고 있는 것이다. Table 1을 보면 우리나라 중학교 2

Table 1. Distribution of cognitive levels of 8th students in junior high school

Study	Cognitive Levels(%)		
	Concrete	Transition	Formal
Shayer & Adey ¹	20.0	75.0	5.0
Kim ²³	25.2	56.6	18.2
Ji ²⁴	28.9	39.7	31.4
Cheon ²⁵	33.4	43.2	23.4
Kang, Park, Woo & Hur ¹⁸	44.2	47.1	8.7
Woo, Lee, & Min ²⁶	47.0	44.0	9.0
Park ²⁷	50.0	39.9	11.0
Yoo ²⁸	53.4	33.1	13.6
Choi, Lee, & Choi ²⁹	64.0	33.0	3.0
Choi & Hur ¹⁶	68.1	28.5	3.4

학년 학생들의 경우 많은 학생들이 최고 68.1%가 구체적 조작 수준이라는 연구 결과들을 볼 때에 우리나라의 ‘과학2’ 교과서의 내용 중 형식적 조작 수준으로 서술되어져 있는 내용들을 학습하게 되는 경우에 있어서, 학생들은 어려워 할 것이라고 예측할 수가 있다. 다시 말하면, 교수하려는 ‘공유 결합’과 ‘이온 결합’ 내용 중에서도 어떻게 서술되어 있는 내용이 형식적 조작 수준을 요구 있는가를 아는 것은 교사의 교수 전략 작성에 좋은 자료가 될 것이다. 이 Table 1 외에도 1980년부터 2000년 까지 우리나라 중학생들의 논리적 사고 능력에 대한 메타 분석을 보여주는 연구^{21,22}에서 우리나라 중등학생들의 학년별 또는 학교 급별 인지 수준 분석 분포들을 알 수 있다.

연구 방법

연구 대상 교과서

이 연구에서는 현행 2007년 개정 과학과 교육과정에 의해 현재 사용되고 있는 중학교 2학년 과학 교과서 10종 중 학교 현장에서 사용 빈도가 높은 5종의 교과서(A교과서³⁰, C교과서³², D교과서³³, E교과서³⁴, F교과서³⁵)와 사용 빈도가 높지는 않으나 사고력에 중점을 두고 서술된 교과서인 1종(B교과서³¹)을 선정하였다. 그리고, 각 교과서에 있는 화학 영역 중에서 ‘순물질과 혼합물’, ‘이온 결합 화합물’, ‘분자’ 내용에 대한 인지 요구도 수준을 분석하였다. 이 논문에서는 편의상 출판사에 따른 교과서를 구분하기 위하여 A교과서³⁰, B교과서³¹, C교과서³², D교과서³³, E교과서³⁴, F교과서³⁵로 표시하여 사용하였다.

연구자 구성

이 연구의 참여자는 총 3인으로 과학 교과 내용의 인지 요구도 수준을 분석하는 연구에 경험이 있는 교과 교육 전문가들이다. 내용 인지 요구도 수준의 판정에 대한 객

관성을 높이기 위하여 연구자 3명 전원이 독립적으로 각자 판정을 한 후에 판정의 결과가 모두 일치한 경우 또는 일치 하지 않는 경우 모두에 있어서 함께 토의하여 결과를 단일화하는 과정을 거치도록 하여 판정의 내용 타당도를 높였다. 이들은 한 학기 수업을 통해 세 가지 분류들을 사용하는 방법을 충분히 경험하였으며 또한 과학2 교과서에서 8학년 화학 관련 영역의 내용과 주요 개념을 추출하는 데에도 앞에서 제시한 과정을 거쳤다.

연구 대상 분류들

이 연구에 사용된 세 종류 분류들¹은 참고 문헌^{20,21}에 자세하게 번역되어 있다. 이 분류들은 각 하위 요소마다 전조작기(1), 초기 구체적 조작기(2A), 후기 구체적 조작기(2B), 초기 형식적 조작기(3A), 후기 형식적 조작기(3B) 수준으로 세분화되어 있다. 한 실례로 아래에 실려 있는 ‘C.5 화합물, 화학식과 화학 반응’을 보면 분류들^{20,21}이 어떻게 구성되어 있는지를 잘 알 수 있다. 아래에서 소개된 세 종류의 분류들을 복수로 다양하게 사용하면 대부분의 교과 내용이 요구하는 인지 요구도를 알아낼 수 있다.

첫 번째, <분류들1>은 ‘아동과 주위 환경과의 상호작용에서의 심리학적 특성에 대한 인지 요구도’가 어떠한 인지 수준인지를 분석할 수 있다. 이 <분석들1>에는 다음의 6개의 하위 요소로 구성되어 있다. 이 연구에 사용된 하위 요소들은 총 6개 중에서 분류들1.1, 분류들1.2, 분류들1.4, 분류들1.5, 분류들1.6 이다.

- 분류들1.1 흥미와 관찰방식
- 분류들1.2 사건에 대한 추론
- 분류들1.3 관계
- 분류들1.4 모델의 사용
- 분류들1.5 범주화
- 분류들1.6 기술적인 문장에 대한 해석의 깊이

두 번째, <분류들2>는 ‘과학적 사고 논리 유형 인지 요구도’가 어떠한 인지 수준인지를 분석할 수 있다. 이 <분석들2>에는 다음의 총 9개의 하위 요소로 구성되어 있다. 이 연구에 사용된 하위 요소는 분류들2.4와 분류들2.9이다.

- 분류들2.1 보존 논리
- 분류들2.2 비례 논리
- 분류들2.3 계의 평형
- 분류들2.4 수리적 조작
- 분류들2.5 변인 통제
- 분류들2.6 변인 배제
- 분류들2.7 확률적 사고 논리
- 분류들2.8 상관 논리
- 분류들2.9 측정 기술

세 번째, <분류들3>은 ‘화학 교과 내용 인지 요구도’가

어떠한 인지 수준인지를 분석할 수 있다. 이 <분석틀3>에는 다음의 총 10개 화학 내용으로 구성되어 있다. 이 연구에 사용된 하위 요소는 분류틀C.4와 분류틀C.5이다.

- 분류틀C.1 용해
- 분류틀C.2 상태 변화
- 분류틀C.3 반응 속도
- 분류틀C.4 원소, 원자설
- 분류틀C.5 화합물, 화학식, 화학반응
- 분류틀C.6 산과 염기
- 분류틀C.7 산화, 환원
- 분류틀C.8 화학 평형
- 분류틀C.9 화학물질, 에너지
- 분류틀C.10 유기화학

위의 세 가지 분류틀을 개발한 연구진¹들은 피아제의 심리학에 대한 특별한 지식이 없는 과학 교사들이 과학 교과 내용의 인지 요구도를 쉽게 분석할 수 있게 하기 위하여 위와 같이 세 가지 <분류틀1>, <분류틀2>, <분류틀3>을 개발하였다. 이 때에 <분류틀1>과 <분류틀2>를 사용하여 구체적인 10개의 화학 내용에 대한 <분류틀3>이 개발되었다. 이 연구진들은 위의 <분류틀3>에서 보여지는 10개의 화학 내용에 대해서만 인지 수준 내용을 개발하였다. 그러나 화학 내용에는 위의 10가지 이외에도 더 많은 내용들을 포함하고 있다. 따라서 화학 내용의 인지 요구도를 분석하고자 할 때 위의 10가지 내용에 대해서는 <분류틀3>을 활용할 수 있으나, 그 외의 화학 내용에 대한 인지 수준의 요구도를 알고자 할 때에는 <분류틀1>과 <분류틀2>의 내용을 활용하여 분석할 수 있다.

이 연구에서는 <분류틀3>에서 제시한 10개의 화학 내용 이외의 내용들을 많이 포함하고 있기 때문에 <분류틀1>과 <분류틀2>의 활용도가 많게 나타났다. 이 연구에서 활용한 분류틀의 하위 요소는 <분석틀1>에서는 5개의 하위 요소를, <분석틀2>에서는 2개 하위 요소를, 그리고 <분석틀3>에서는 2개의 하위 요소를 사용하였다. 즉, 교과서에 서술된 내용들의 인지 요구도를 평가 하는데 있어서 이 세 가지 분류틀 중에서 아동과 주위 환경과의 상

호작용에서의 심리학적 특성에 대한 인지 요구도가 어떠한 인지 수준인지를 분석할 수 있는 <분석틀1>의 활용도가 높았다. <분석틀2>나 <분석틀3>은 그 해당 하위 요소들이 과학적이고 논리적인 구체적 요소들임에 비해서 <분석틀1>은 일반적이고 포괄적인 하위 범주들을 포함하고 있어서 교과서에 서술된 내용을 평가하는데 있어서 그 활용도가 높게 나타났다. 다시 말하면 과학 교과서의 서술 내용을 분석 할 때에도 <분석틀2>인 논리적인 측면이나 <분석틀3>인 과학 내용적 측면 이외의 일반적 측면인 <분석틀1>의 활용도가 더 많았다는 것이다. 이러한 <분석틀1>의 활용도가 더 많은 현상은 ‘주기율표’ 관련 내용 분석 결과¹에서도 나타났다.

각 분류틀들의 하위 요소가 어떻게 구성되어 있는지를 알 수 있는 예로 아래 Fig. 1에 과학 내용 분석틀인 <분류틀3> 중 ‘C.5 화합물, 화학식, 화학 반응’을 보여주고 있다. 여기에는 구체적 조작 수준(2A), 후기 구체적 조작 수준(2B), 초기 형식적 조작 수준(3A), 후기 형식적 조작 수준(2A)으로 판정할 수 있는 준거^{1,20,21}들이 들어 있다.

연구 결과 및 논의

이 연구에서는 교과 내용에 대한 인지 요구도를 두 가지 측면으로 분석하였다. 맨 먼저 ‘2007년 개정 과학과 교육과정’에 서술되어 있는 ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’에 대한 목표들을 분석^{3,4}하였다. 두번째로 6종 ‘과학2’ 교과서³⁰⁻³⁵에 서술되어 있는 ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’ 그리고 이와 관련된 ‘순물질과 혼합물’도 분석하였다. 다시 말하면 과학과 교육 과정에 서술된 목표도 분석하였고 그리고 교과서 서술 내용도 분석하였다. 특히 교과서에 서술된 내용이 요구하는 인지 수준을 판정하는데 있어서 교과서 내용 전체에 있어서 그 중 높은 인지 요구도 수준의 내용을 알아내는데 주력 하였다. 왜냐하면 그 중 높은 인지 수준을 요구하는 서술 내용이 바로 해당 내용들을 학생들이 이해하는데 있어서 속도 결정 단계가 되기 때문이다. 따라서 다음의 연구 결과들 중에는 여러 수준의 인지 요구도가 있

주제	2A	2B	3A	3B
	초기 구체적 조작기	후기 구체적 조작기	초기 형식적 조작기	후기 형식적 조작기
C.5 화합물, 화학식, 화학반응	그냥 생각나는 대로 이름을 사용한다. 화학명에 아무런 내용을 부여 못하고 따라서 화학식을 쓰지 못한다.	일반적인 법칙을 알지 못하나 기억한 화학 반응은 알므로 기억을 돕는 수단으로 화합물의 조성을 사용한다. 예를 들면 물은 수소와 산소로 되어 있으므로 수소와 산소로 분해될 수 있다고 설명한다. 수화된 황산구리에 열을 가하는 경우와 같은 가역 반응을 표현하기 위하여 발로된 화학식을 사용한다. 그러나 이름에 사용된 ‘구리’라는 말은 단지 label로만 사용된 것이고, 따라서 발로된 화학식은 사실을 기술하는 것에 불과하다.	치환 반응에서 원소의 보존을 다루고 처음으로 화학반응에 대한 모델을 설명한다. 많은 연습을 통해서 완결된 화학 반응식을 사용할 수 있다. 화학 반응과 화학 반응식과의 관계를 설명한다. 그러나 특정 조건에 대한 연습이 있는 경우를 제외하고는 화학 반응식을 정량적인 계산을 위해 사용하지 못한다. 화학적인 변환을 설명하기 위하여 원자설이나 원자 구조에 관한 간단한 모델을 사용하기도 한다.	화학기호를 다양하게 사용한다. 화학 반응식에 대한 Nuffield식 접근을 할 수 있다. 즉 실험을 통하여 실험 측정 결과에 가장 부합되는 완결된 반응식을 만들 수 있다. 학생들이 몰 개념을 완전히 이해하기 때문에 문제 해결을 위하여 몰, 몰 농도, 부피, 질량 등을 자유자재로 계산할 수 있다. 평형은 반응물과 생성물 사이의 동적인 과정임을 설명한다.

Fig. 1. Curriculum Analysis Taxonomy of Compounds, Reactions and Their Chemical Representation^{1,20,21}

으나 그 중 이해의 속도 결정 단계가 될 높은 인지 요구도 수준 내용에 대하여 중점적으로 논의하였다.

과학과 교육 과정 목표 인지 요구도 분석

2007 개정 과학과 교육과정^{3,4}에 서술되어 있는 ‘순물질과 혼합물’, ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’에 대한 목표는 아래와 같이 세 가지 교수 목표(1, 2, 3)로 서술되어 있다. 각각의 목표가 요구하는 인지 요구도를 초기 구체적 조작 수준(2A), 후기 구체적 조작 수준(2B), 초기 형식적 조작 수준(3A), 후기 형식적 조작 수준(3B)으로 판정 하였다. 아래의 판정 근거에 서술되어 있는 내용들은 해당 분석틀^{20,21}에 서술되어 있는 내용 그대로이다.

목표1. 순물질과 혼합물을 구분하고 그 차이를 설명할 수 있다.

(판정근거)

- 분류틀1.5 - 판정 2B; 분류 포섭이나 위계적 분류를 한다.
- 분류틀C.4 - 판정 2B; 원소란 더 이상 간단한 물질로 분리될 수 없는 순물질 등 순물질 개념을 안다.

목표2. 화합물은 원자 간 전자의 공유나 이동에 의해 형성됨을 이해한다.

(판정 근거)

- 분류틀1.4 - 판정 3A; 그 자체 규칙을 따르는 가상의 계로부터 연역적인 비교를 통하여 실체를 간접적으로 해석할 수 있는 형식적 모델을 사용한다.
- 분류틀C.4 - 판정 3A; 원자가 구조를 가진다.
- 분류틀C.5 - 판정 3A; 원자 구조에 관한 간단한 모델을 사용한다.

목표3. 화합물은 이온이나 분자로 구성되어 있음을 안다.

(판정근거)

- 분류틀1.4 - 판정 3A; 그 자체의 규칙을 따르는 가상의 계로부터 연역적인 비교를 통하여 실체를 간접적으로 해석할 수 있는 형식적 모델을 사용한다.
- 분류틀C.4 - 판정 3A; 원자가 구조를 가진다는 것과 원자는 같은 종류도 있고 다른 종류도 있다는 것을 설명한다.
- 분류틀C.5 - 판정 3A; 원자 구조에 관한 간단한 모델을 사용한다.

목표4. 화합물은 원소 기호로 나타낼 수 있다.

(판정근거)

- 분류틀C.5 - 판정 2B; 기억을 돕는 수단으로 화합물의 조성을 사용한다. 이름에 사용된 ‘구리’라는 말은 단지 라벨로만 사용하고 나타난 화학식은 사실을 기술하는 것에 불과하다.

목표5. 일상생활에서 사용되는 화합물을 예시할 수 있다.

(판정근거)

·분류틀C.5 - 판정 2B; 기억을 돕는 수단으로 화합물의 조성을 사용한다. 이름에 사용된 ‘구리’라는 말은 단지 라벨로만 사용하고 나타난 화학식은 사실을 기술하는 것에 불과하다.

위 분석 결과에 의하면 중학교 2학년이 배우는 ‘과학2’에 대한 교육 과정에 서술된 ‘순물질과 혼합물’에 대한 목표1은 분류틀1.5와 분류틀C.4에 의하여 2B인 후기 구체적 조작 수준이다. “화합물은 원자 간 전자의 공유나 이동에 의해 형성됨을 이해한다.”라는 목표2는 분류틀1.4, 분류틀C.4, 분류틀C.5에 의하여 모두 3A로 판정되었다. “화합물은 이온이나 분자로 구성되어 있음을 안다.”라는 목표3도 분류틀1.4, 분류틀C.4, 분류틀C.5에 의하여 모두 3A 초기 형식적 조작 수준으로 판정되었다. 목표4와 목표5 모두 분류틀C.5에 의하여 후기 구체적 조작 수준을 요구하고 있다고 판정되었다. 위 분석 결과에서 볼 수 있듯이 같은 서술 내용을 판정할 때에 한 가지 측면으로만 판정할 수도 있고 그리고 한 가지 이상의 여러 측면으로도 판정할 수도 있다.

‘순물질과 혼합물’ 내용 인지 요구도 분석

세 가지 분류틀^{20,21}을 사용하여 ‘과학2’ 교과서에 서술되어 있는 ‘순물질과 혼합물’ 내용이 요구하는 인지 요구도를 분석하였다. 분석 대상인 6종 ‘과학2’ 교과서에 서술한 ‘순물질과 혼합물’ 내용에 대한 인지 요구도를 분석한 것을 한 군데에 모아 놓은 자료는 부록1과 같다. 아래의 6종 교과서에 서술된 내용의 인지 요구도를 분석해 낸 자료에는 앞의 목표 분석과 같이 판정 근거에 대한 내용을 모두 제시하지 않았고 판정 근거로 사용한 인지 수준 분류틀(1.5-판정2B)만을 맨 오른쪽 칸에 제시하였다. 구체적인 판정 내용이 필요한 경우에는 세 가지 분류틀^{20,21}에 들어 있는 참고 문헌에서 해당 내용을 볼 수 있다. 앞의 교과과정 목표1인 ‘순물질과 혼합물’에 대하여 분류틀1.5와 분류틀C.4 두 측면에 의하여 모두 구체적 조작 수준 2B로 판정된다.

그러나 실제로 6종 교과서 모두에서 혼합물은 순물질이 섞여 있으며 동시에 순물질 ‘본래의 성질을 잃지 않고 보존 된다’는 분류틀2.1(보존 논리)에 의하여 초기 형식적 조작 수준(3A)로 높게 서술되어 있었다(부록1). 즉 순물질이 섞여 있더라도 각각의 성질은 보존된다는 것을 이해하는 것은 구체적 조작 수준의 중학생들에게는 어려운 개념이다.

교과서A는 철과 산소와의 반응을 제시하면서 화합물의 성질을 설명하고 있었고, 교과서C는 순물질과 화합물을 가열하면서 순물질과 화합물의 성질을 비교하면서 설명하고 있었다(부록1). 이 두 경우 화학적인 변환을 설명하

는 수준은 분류틀2.1에 의해서도 그리고 분류틀C.5에 의해서 모두 초기 형식적 조작 수준(3A)를 요구하는 내용이였다. 원소의 보존을 다루면서 화학 반응을 설명하는 수준도 초기 형식적 조작 수준(3A)이다. 이러한 서술도 구체적 조작 수준의 중학생들에게는 어려운 개념이 된다(부록1).

교과 과정 목표 측면으로는 ‘순물질과 혼합물’ 내용이 분류 포섭이나 분류 위계를 하고 있어서 후기 구체적 조작 수준이나, 실제 교과서에 표현된 서술은 혼합물에서 각각 순물질들이 본래의 성질을 잃지 않고 그 성질이 보존된다는 것을 알게 하기 때문에 초기 형식적 조작 수준임을 알 수 있었다. 형식적 조작 수준 중학교 2학년 학생들은 ‘순물질과 혼합물’ 서술 내용을 이해하기가 어렵지 않으나, 구체적 조작 수준의 중학교 2학년 학생들의 경우에는 이해하기가 어려울 수도 있다.

‘이온 결합 화합물’ 내용 인지 요구도 분석

세 가지 분류틀^{20,21}을 사용하여 ‘과학2’ 교과서에 서술되어 있는 ‘이온 결합 화합물’ 내용이 요구하는 인지 요구도를 분석하였다. 분석 대상인 6종 ‘과학2’ 교과서에 서술한 ‘이온 결합 화합물’ 내용에 대한 인지 요구도를 분석한 것을 한 군데에 모아 놓은 자료는 부록2와 같다. 앞의 교과과정 목표2, 목표3, 목표4, 목표5 모두에 이온 결합 화합물에 대한 목표들이 있다. 교과과정^{3,4}에 의하면 전자의 이동에 의해 이온이 형성되고 전자가 개입되어 화합물이 형성됨을 다루도록 제시되어 있다.

두 가지 이상의 원소로 구성된 물질들 중에서 전자의 이동에 의해 이온이 형성됨을 이해하게 하기 위하여 교과서 6종 모두 실체를 간접적으로 해석할 수 있는 형식적 모델들을 다양하게 사용(부록2)하고 있기 때문에 3A 초기 형식적 수준(분류틀1.4)이다(교과과정 목표2). 그리고 B교과서를 제외한 5종 교과서에 양이온과 음이온 사이에 전기적 인력으로 형성되는 결합(교과과정 목표3)이 ‘이온 결합’이며(부록2) 이러한 결합에 의한 화합물은 ‘이온 결합 화합물’이라는 용어도 모두 사용하고 있었다. 교과과정 목표2와 목표3에 의하면 용어까지는 소개하지 않아도 충분히 전자의 이동에 의해 이온이 형성됨을 이해하게 할 수 있다. 이러한 이온 결합 내용은 화학적인 변환을 설명하기 위하여 원자 구조에 관한 간단한 모델을 사용하는 것으로 역시 분류틀C.5에 의해 3A 초기 형식적 조작 수준이다. 따라서 전자의 이동 모델이나 이온 결합 모형은 구체적 조작 수준의 중학생들에게는 이해하기가 어려운 형식적 수준 내용이다.

‘화학식’이란 용어를 사용하면서 화합물을 소개하는 교과서는 A교과서, C교과서, D교과서, E교과서였다. B교과

과서는 ‘양이온과 음이온이 결합한 화합물을 원소 기호로 나타내기’ 그리고 F교과서는 ‘이온 결합 화합물을 원소 기호로 표현하기’라고 하여 ‘화학식’ 용어를 사용하지 않으면서 원소 구성비를 설명하고 있었다(교과과정 목표4). 표현된 화학식이 사실을 기술하는 것이라는 수준은 분석틀C.5에 의하여 후기 구체적 조작 수준인 2B이다. 여기서 ‘화학식’이라는 용어를 사용하면 나중에 공유 결합 내용에서 ‘분자식’이라는 용어를 사용해야 하며 이 두 용어의 유사점과 차이점도 가르쳐야 할 것이다. 중학교 2학년 학생들에게 ‘화학식’이나 ‘분자식’이라는 용어는 모르고 있어도 앞으로 배울 화학 내용에 크게 영향을 미치지 않는 용어이다. 실제로 중학교 2학년 학생들에게는 이 두 용어를 사용하지 않아도 단순하게 원소 구성비를 설명할 수도 있기 때문이다.

같은 관점에서 중학교 수준에서 ‘이온 결합’이나 ‘이온 결합 화합물’이라는 용어도 반드시 소개되어야 하는지는 재고해 볼 필요가 있다. ‘화학식’, ‘이온 결합’, ‘이온 결합 화합물’과 같은 용어들은 중학교 ‘과학3’에서도 그리고 고등학교 ‘과학’에서도 사용되지 않으며 고등학교 ‘화학 I’과 ‘화학 II’에 들어서야 사용되는 용어들이다. 다시 말하면 ‘과학2’의 화학 내용도 눈에 보이지 않는 원자 수준이기 때문에 다른 과학 과목에 비해서 어려워하고 있는 중학생들에게 아직 그다지 필요하지 않은 화학 용어들을 많이 소개하는 것은 바람직하지 않다.

교과 과정 목표 측면과 교과서 서술 측면 모두에서 ‘이온 결합’ 관련 ‘과학2’ 교과서 내용들은 “그 자체의 규칙을 따르는 가상의 계로부터 연역적인 비교를 통하여 실체를 간접적으로 해석할 수 있는 형식적 모델을 사용한다” 또는 “원자가 구조를 가진다는 것을 설명한다”라는 관점 모두에서 초기 형식적 조작 수준으로 판정되었다. 형식적 조작 수준의 중학교 2학년 학생들에게는 ‘이온 결합’ 내용을 이해하기가 어렵지 않으나, 구체적 조작 수준의 중학교 2학년 학생들이 ‘이온 결합’ 내용을 이해하기에는 어려울 수 있다고 말할 수 있다.

‘분자’ 내용 인지 요구도 분석

분석 대상인 6종 ‘과학2’ 교과서에 서술한 ‘분자’ 내용에 대한 인지 요구도를 분석한 자료는 부록3과 같다. 앞의 교과과정 목표2, 목표3, 목표4, 목표5 모두에 분자에 대한 목표들이 있다. 교과과정^{3,4}에 의하면 전자의 공유에 의해 화합물이 형성된다는 사실을 이해하는데 목표를 두고 있다.

앞의 교과과정 목표2를 보면 두 가지 이상의 원소로 이루어져 있는 물질 중에서 전자들을 서로 공유한 상태로 결합하게 됨을 이해하도록 되어 있다. 부록3의 서술 내용 분석 결과를 보면 교과서 6종 모두 실체를 간접적으로 해

석할 수 있는 형식적 모델들인 원자 모형들을 다양하게 사용하여 공유 결합 모형을 설명하고 있기 때문에 3A 초기 형식적 수준(분류틀1.4)이다. 비금속 원소의 원자들은 원자들끼리 가까워지면 전자들을 주거나 받지 못하고 전자들을 서로 공유한 상태로 결합하여 만들어진 물질을 ‘분자’(분류틀1.4에 의해 판정3A) 수준으로 부록3과 같이 6종 교과서 모두에 서술되어 있다. 또한 B교과서와 D교과서를 제외한 네 교과서에서 ‘분자’ 용어와 함께 ‘공유 결합 화합물’ 용어도 같이 사용하고 있다. 보이지도 않는 전자들을 공유한다는 내용 즉 실체를 간접적으로 해석해야 하는 형식적 모형(분류틀1.4에 의해 판정3A)를 구체적 조작 수준의 중학생들에게는 이해하기가 어려운 수준의 내용이다.

‘분자식’이란 용어를 사용하면서 원소 구성비를 설명하거나 활동하게 하는 교과서는 C교과서, D교과서, E교과서였다(부록3). A교과서는 ‘분자의 화학식’, B교과서는 ‘분자를 원소 기호로 나타내기’ 그리고 F교과서는 ‘공유 결합 물질을 원소 기호로 표현하기’라고 하여 ‘분자식’ 용어를 사용하지 않으면서 원소 구성비를 설명하거나 활동으로 제시하고 있었다(교과과정 목표4). 표현된 화학식이 사실을 기술하는 것이라는 수준은 분석틀C.5에 의하여 후기 구체적 조작 수준인 2B이기 때문에 구체적 조작 수준의 학생들이 이해 가능한 내용이다(부록3). 그러나 공유 결합에서 ‘분자식’ 그리고 이온 결합에서 ‘화학식’과 같은 과학 용어를 중학교 수준에서 소개함으로써 학생들로 하여금 많은 용어들 때문에 화학을 더 어려워 할 수도 있을 것이다. 그리고 ‘공유 결합에 의한 화합물’ 이라고 사용하는 것은 옳으나, ‘공유 결합 화합물’이라는 용어는 ‘분자’ 또는 ‘공유 결합 물질’ 용어로 바꾸어 사용되어야 한다.

과학과 교육 과정 해설서^{3,4}를 자세히 들여다보면, 앞에서 제시한 여러 가지 새로운 용어들을 사용하면 안 된다는 서술은 없기 때문인지 여러 교과서 저자들이 중학교 2학년 학생들에게는 생소한 여러 가지 용어들을 너무 많이 사용하고 있다. 그러나 교육과정 해설서^{3,4}에는 “화합물은 원자들이 단순하게 결합하는 것이 아니라 전자의 공유나 이동으로 이루어진다는 사실을 이해하는 것이 중요하다”라고 서술되어 있는 것으로 볼 때에 ‘이온 결합’, ‘이온 결합 화합물’, ‘화학식’, ‘공유 결합’, ‘분자식’ 등의 용어들은 사용되지 않는 것이 여러 면으로 바람직하다고 사료된다. ‘과학2’의 화학 내용 자체도 눈에 보이지 않는 원자 수준이기 때문에 다른 과학 과목에 비해서 어려워하고 있는 중학생들에게 아직 그다지 필요하지 않은 화학 용어들을 많이 소개하는 것은 바람직하지 않다. 더 나아가서 ‘이온 결합’, ‘이온 결합 화합물’, ‘공유 결합’, ‘화학식’, ‘분자식’ 등의 용어들은 중학교 ‘과학3’에서도 그

리고 고등학교 ‘과학’에서도 사용되지 않으며 고등학교 ‘화학I’과 ‘화학II’에 들어서야 사용되는 용어들이다.

결론 및 제언

중학교 학생들이 어렵다고 하는 2007 개정 교육과정에서 사용되고 있는 ‘과학2’ 교과서 중에서 ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’ 교과 내용의 인지 요구도 수준이 어떠한 수준인지를 분석해 내었다. 해당 교과서에 서술되어 있는 내용들을 CAT의 세 가지 분류틀인 분류틀1, 분류틀2, 분류틀3을 근거로 인지 요구도 수준을 판정했다. 교과서 내용이 요구하는 인지수준은 초기 구체적 조작 수준(2A), 후기 구체적 조작 수준(2B), 초기 형식적 조작 수준(3A), 후기 형식적 조작 수준(3B)로 세분화되어 있다. 교과서의 인지 요구도 수준 분석은 분석 과정을 자세히 제시하여 누구나 교과 내용 분류틀의 사용 방법을 알 수 있게 하였고, 분석 결과는 각 내용별로 판정 근거를 상세히 서술하여 쉽게 이해할 수 있도록 정리하였다. 전반적으로 교과서의 인지 요구도 수준은 출판사별로 대동소이 하였으나 그 중에서도 상당히 형식적 수준으로 어렵게 서술되어 있는 교과서들이 더러 있었다.

이 연구에 의하여 얻어진 ‘과학2’ 교과서에 서술되어 있는 ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’ 내용이 요구하는 인지 요구도를 분석한 부록1, 부록2, 부록3의 결과들과 이 결과들은 종합하여 얻어진 결론을 보면 다음과 같다.

첫째, 2007 개정 과학과 교육과정에 서술되어 있는 중학교 2학년이 배우는 ‘과학2’에 대한 교육 과정에 서술된 ‘순물질과 혼합물’에 대한 목표는 후기 구체적 조작 수준이고, ‘이온 결합’과 ‘공유 결합’에 대한 목표는 모두 초기 형식적 조작 수준으로 나타났다. 그러나 6종의 ‘과학2’ 교과서 내용을 분석한 다음의 결과를 보면, 교과서에 서술된 ‘순물질과 혼합물’은 ‘2007 개정 과학과 교육 과정의 목표’보다 더 높은 인지 수준을 요구하고 있었다. 그리고 ‘이온 결합’과 ‘공유 결합’ 내용들은 ‘2007 개정 과학과 교육 과정의 목표’와 모두 초기 형식적 조작 수준으로 나타났다.

둘째, ‘순물질과 혼합물’ 서술 내용은 공통적으로 분류 포섭이나 분류 위계를 하고 있어서 후기 구체적 조작 수준이다. 그러나 혼합물 속에 들어 있는 각각의 순물질들이 본래의 성질을 잃지 않고 그 성질이 보존된다는 것을 알게 하고 있기 때문에 이 내용은 초기 형식적 조작 수준으로 서술되어 있다. 이 내용은 형식적 조작 수준 중학교 2학년 학생들의 경우 ‘순물질과 혼합물’ 서술 내용을 이해하기가 어렵지 않으나, 구체적 조작 수준의 중학교 2학년 학생들의 경우에는 이해하기가 어려울 수도 있다.

셋째, ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’ 내용은 공통적으로 그 자체의 규칙을 따르는 가상의 계로부터 연역적인 비교를 통하여 실체를 간접적으로 해석할 수 있는 형식적 모델들을 다양하게 사용하고 있기 때문에 초기 형식적 수준이다. 화학적인 변환을 설명하기 위하여 원자 구조에 관한 간단한 모델을 사용하고 있으므로 또한 초기 형식적 조작 수준이다. 따라서 전자의 이동 모형은 구체적 조작 수준의 중학생들에게는 이해하기가 어려운 형식적 수준 내용이다. 효율적인 이해 증진을 위해서는 교과서에서 제시하는 내용 이외에 적절하고 친숙한 구체적 모델이나 눈으로 볼 수 있는 시청각 자료들을 더 많이 보여주는 활동으로 구성해야 보다 나은 학습 효과를 기대할 수 있을 것이다. 한 교과서는 철과 산소와의 반응을 제시하면서 화합물의 성질을 설명하고 있었으며, 이 경우 화학적인 변환을 설명하는 수준이므로 초기 형식적 조작 수준이다. 이러한 서술도 구체적 조작 수준의 중학생들에게는 어려운 개념이 될 수 있을 것이다.

넷째, ‘화학식’, ‘이온 결합’, ‘이온 결합 화합물’, ‘분자식’, ‘공유 결합’, ‘공유 결합 화합물’ 등의 용어들을 사용하는 교과서가 많이 있었다. 이러한 용어들은 중학교 ‘과학3’에서도 그리고 고등학교 ‘과학’에서도 사용되지 않으며 고등학교 ‘화학I’과 ‘화학II’에 들어서야 사용되는 용어들이다. 그리고 과학과 교육과정에서도 이러한 용어를 사용하지 않으면서 중학교 2학년 학생들로 하여금 화합물이란 원자들이 단순하게 결합하는 것이 아니라 전자의 공유나 이동으로 이루어진다는 사실을 이해하게 하라고 제시하고 있다. 다시 말하면 ‘과학2’의 화학 내용도 눈에 보이지 않는 원자 수준이기 때문에 다른 과학 과목에 비해서 어려워하고 있는 중학생들에게 아직 그다지 필요하지 않은 화학 용어들을 이렇게 많이 소개하는 것은 바람직하지 않다는 결론을 내릴 수 있었다.

이 연구에서 분석한 ‘순물질과 혼합물’, ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’ 내용들을 모아는 결과물인 부록1, 부록2, 부록3의 자료는 서술 내용에 따라서 다양한 인지 수준들을 요구하는 것으로 나타났다. 이 부록1, 부록2, 부록3을 보면 어떠한 서술 내용은 초기 또는 후기 구체적 조작 수준이고, 어떠한 서술 내용은 초기 형식적 조작 수준인지를 바로 알 수가 있다. 이러한 연구 결과로부터 얻어진 이 연구의 결론들은 다음과 같다.

‘순물질과 혼합물’은 교과 과정 목표는 후기 구체적 조작 수준이나, 교과서 서술 내용은 후기 구체적 조작 수준도 있고 초기 형식적 조작 수준도 있다는 결과로부터 몇몇 초기 형식적 조작 수준의 ‘순물질과 혼합물’ 내용은 중학교 2학년 학생들 중에서 구체적 사고를 하는 학생들에게는 어려운 학습 내용이라고 할 수 있다.

‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’는 교과 과정 목표뿐만 아니라 교과서 서술 내용도 모두 형식적 조작 수준이라는 연구 결과를 얻어 냈다. 이로 부터 중학교 2학년 학생들 중에서 구체적 사고를 하는 학생들에게는 형식적 조작 수준을 요구하는 ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’ 내용을 학습하는데 있어서 어려움을 겪을 것이라고 할 수 있다. 결론적으로 이러한 ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’ 내용은 단계별 위계 때문에 학습 순서에 있어서 어쩔 수 없이 중학교 2학년 학생들이 배워야 하나, 우리나라 중학교 2학년 학생들 중에서 아직도 형식적 사고를 하지 못하는 학생들에게는 이해의 문턱이 높은 내용이라고 할 수 있겠다.

이 연구의 결론을 토대로 다음과 같은 제언들을 하고자 한다.

맨 먼저 이 연구의 결과들을 어떻게 활용할 수 있는지를 구체적으로 살펴보겠다. 학생들의 인지 수준과 학습 내용 요구 수준이 일치하는 경우에 학생들의 내용 이해도는 높다고 한다. 또한 형식적 조작 수준의 과학 내용을 구체적 수준 학생들에게 그대로 가르치면 그 학생들의 이해도가 낮다고 한다. 그렇다고 해서 학생들의 인지 수준과 학습 내용 요구 수준이 일치하게 가르쳐야 한다는 의미는 아니다. 엄밀히 말하면 과학 개념들은 개념 자체가 요구하는 최고의 인지 요구도가 각각 존재 한다. 이러한 문제를 해결하는 방법 중 하나로 어려운 학습 내용 수준을 보다 낮게 보여 줄 수 있는 여러 실례들을 많이 보게 하면 학생들은 이해의 물꼬가 트인다는 가정이다.

어려운 형식적 조작 수준의 과학 내용을 그대로 가르치는 것 보다는 대상 학생들이 구체적 수준이라면 해당 개념 또는 용어에 대한 교과서의 설명을 학생들의 인지 수준에 맞도록 설명하여야 할 것이다. 예를 들어 가르칠 내용이 형식적 수준이나 교사는 구체적 조작 수준 아이들에게 부합되도록 가르치고 싶은 경우, 형식적 조작에 해당하는 내용을 비유 가능한 구체적 수준의 실례들을 예로 들면서 설명할 수 있다. 더 나아가서 그러한 구체적 수준의 실례를 한번만 또는 한 맥락으로만 할 것이 아니라, 다양한 측면으로 또는 다양한 맥락으로 여러 번 경험하게 할 수만 있다면 어려운 형식적 수준의 내용들에 대한 이해를 보다 더 높여 줄 것이다.

교사들은 인지 수준 검사지를 이용하여 그들이 가르치는 학생들의 인지 수준 분포를 조사하여 파악하는 것이 좋으며, 교사 나름대로 학생들의 인지 수준과 학습 내용의 인지 요구도의 부합 여부를 고려한 수업 방안을 구상하고 수업 전략 수준을 결정하면 보다 이해도가 증진되는 효과적인 수업이 진행될 수 있을 것이다. 이때에 이 연구에서 얻어진 ‘순물질과 혼합물’, ‘이온 결합 화합물’과 ‘분자’에 대한 인지 요구도 수준들을 그대로 활용하면 된다. 이 연구처럼 인

지론적 관점에서 연구하여 얻어진 결과들인 부록1, 부록2, 부록3에 들어 있는 교과서 서술 내용에 대한 인지 요구도를 알아낸 자료들은 현장 교사들에게 어떤 개념들이 학생들에게 많이 어려운가를 알 수 있게 해주기 때문에 교사의 교수 전략 구상에 도움을 줄 수 있다. 다시 말하면 교과 내용의 인지 요구도와 학생의 인지 수준의 부합을 고려한 교수 전략을 개발 또는 재구성하는 과정에서 본 연구의 결과들을 실제로 활용할 수 있을 것이다.

Acknowledgments. 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2012R1A1A2A10000454).

REFERENCES

- Shayer, M.; Adey, P. *Towards a Science of Science Teaching*; Heinemann Educational Books Ltd.: Oxford, London, U. K., 1981, 1983, 1987(twice), 1989; pp 11, 69-103, 91, and 92-97.
- Kang, S.; Bang, D.; Kim, S. J. *J. Korean Chem. Soc.* **2012**, *56*(4), 518-529.
- Ministry of Education, Science and Technology, 2007-79, *Science Curriculum*. Daehan Textbook Publishing: Seoul, Korea, 2007.
- Ministry of Education, Science and Technology, 2007-79, *Junior Highschool Curriculum Commentary*. Daehan Textbook Publishing: Seoul, Korea, 2007.
- Nuffield Science 13-16*; Beta Schofield, Ed.; Longman: Harlow, U. K., 1981.
- Frank, D. V.; Little, J. G.; Miller, S. *Chemical Interactions*; Pearson Education Inc.: New Jersey, U. S. A., 2009; pp 12-21.
- Wysession, M.; Frank, D.; Yancopoulos, S. *Physical Science: Concepts in Action*; Pearson Education Inc.: New Jersey, U.S.A., 2009; pp 98-155.
- Hsu, T. *Foundations of Physical Science*; CPO Science: MA, U.S.A., 2005; pp 309-324.
- Hsu, T. *Physics A First Course*; CPO Science: NH, U.S.A., 2005; pp 217-237.
- Borgford, C.; Champagne, A.; Cuevas, M.; Dumas, L.; Lamb, W. G.; Vonderbrink, S. A. *Physical Science*; Holt, Rinehart and Wingston: Texas, U.S.A., 2007; pp 334-359.
- Hewitt, P. G.; Lyons, S.; Suchocki, J.; Yeh, J. *Conceptual Integrated Science*; Pearson Education Inc.: San Francisco, U.S.A., 2007; pp 167-189 and 228-240.
- Dobson, K.; Holman, J.; Roberts, M. *Physical Science*; Holt, Rinehart and Winston: Texas, U.S.A., 2008; pp 110-173.
- Trefil, J.; Calvo, R. A.; Cutler, M. S. *Physical Science*; McDougal Littell, a division of Houghton Mifflin Company: IL, U.S.A., 2006; pp 134-165.
- Ireland, A. J. *The Feasibility of Matching the Piagetian Stages of Cognitive Development of Children, to the Intellectual Demand Within a Science Curriculum, as an Aid to Curriculum Development*; M. Sc.: York, U.K., 1980.
- Shayer, M.; Kchemann, D. E.; Wylam, H. *Br. J. Educ. Psychol.* **1976**, *46*, 164.
- Choi, B.; Hur, M. *J. Korea Assoc. Sci. Edu.* **1987**, *7*(1), 19.
- Park, J.; Kang, S.; Kim, S.; Kim, S.; Kim, I.; Lee, J. *Chemical Education* **1993**, *20*(4), 285.
- Kang, S.; Park, J.; Woo, A.; Hur, E. *Chemical Education* **1996**, *23*(4), 267.
- Kang, S.; Park, J.; Jeong, J. *J. Korean Chem. Soc.* **1999**, *43*(5), 578.
- Kang, S.; Park, J. Y. *Chemical Education* **1993**, *20*(1), 42.
- Kang, S. *Cognitive Development of Students and Curriculum Demand of Science Contents in Science Teaching Strategy*; Ewha Womans University, Research Institute of Curriculum Instruction, Ed.; Education Series; Seromoonh-wasa Press: Seoul, 2002; pp 25, 27-32, 34-38 and 40-48.
- Kim, Y.; Kim, S. J. *J. Korea Assoc. Sci. Edu.* **2009**, *29*(4), 437.
- Kim, Y. A Study of Comparison between the Cognitive Development Levels of Middle School Students in Grade 2 and the Cognitive Demands required for Understanding Chemistry Contents in Their Science Text Books of the 6th Curriculum. Master's Thesis, Ewha Womans University, Seoul, 1997.
- Ji, H. The relation between logical thinking ability and science process skills of 8th grade students. Master's Thesis, Ewha Womans University, Seoul, 1995.
- Cheon, H. A Comparative Analysis of Cognitive Development Levels of 8th Grade Students and Cognitive Demands Level of the Chemistry Contents in Middle School Science 2 Textbooks by the 7th National Education Curriculum. Master's Thesis, Ewha Womans University, Seoul, 2009.
- Woo, J.; Lee, H.; Min, J. *J. Korea Assoc. Sci. Edu.* **1995**, *15*(4), 379.
- Park, M. A Study on the Comparison of the Cognitive level of Middle School Students and the Contents of their Science Textbook. Master's Thesis, Ewha Womans University, Seoul, 1994.
- Yoo, G. *Physics Edu.* **1988**, *6*(2), 159.
- Choi, Y.; Lee, W.; Choi, B. *J. Korea Assoc. Sci. Edu.* **1985**, *5*(1), 1.
- Park, H.; et al. *Middle school science 2*; Kyohak Press: Seoul, Korea, 2011; pp 52-91.
- Kim, S.; et al. *Middle school science 2*; Doobae Nkkim Press: Seoul, Korea, 2011; pp 128-187.
- Kim, C.; et al. *Middle school science 2*; Doosandong Press Seoul, Korea, 2011; pp 42-85.
- Lee, J.; et al. *Middle school science 2*; Visang Education Press: Seoul, Korea, 2011; pp 55-102.
- Lee, G.; et al. *Middle school science 2*; EduJoongang Press: Seoul, Korea, 2011; pp 100-113.
- Lee, M.; et al. *Middle school science 2*; ChunjaeEdu Press: Seoul, Korea, 2011; pp 42-87.

부록1. '과학2'의 '순물질과 혼합물' 내용 인지 요구도 수준 분석

교과서	교과서 서술 내용	인지수준분류요소 -내용요구인지수준
A	· 두 가지 이상의 순수한 물질이 본래의 성질을 잃지 않고 섞여있는 물질을 혼합물이라 하고, 한 가지 물질로만 된 것은 순물질이라 한다.	1.5-2B C.4-2B 2.1-3A
	· 성분물질이 고르게 섞여 있는 혼합물을 균일 혼합물, 고르게 섞여있지 않는 혼합물을 불균일 혼합물이라 한다.	1.5-2B 1.4-2B
	[탐구] 사인펜의 잉크가 순물질인지 혼합물인지 확인하기 ⇒ 여러 종류의 색의 띠가 나타나는 것으로 보아 혼합물이다.	1.1-2B C.4-2B
	[탐구] 가열솥을 가열하기 전과 후의 성질 비교 ⇒ 철을 가열하면 공기 중의 산소와 반응하여 철의 성질과는 다른 물질인 산화철이 생성됨. ⇒ 두 가지 이상의 성분으로 이루어진 순물질을 화합물이라 한다.	1.6-2B 1.5-2B 2.1-3A C.5-2A
B	[탐구] 물과 소금물의 끓는점을 비교하여 그래프로 나타내기 ⇒ 순물질은 끓는점이 일정하지만 혼합물은 끓는점이 일정하지 않고, 성분물질이 섞인 비율에 따라 끓는점이 달라진다.	2.9-2B 2.5-2B 1.5-2B
	· 두 종류 이상의 물질이 섞여 있는 것을 혼합물, 한 종류의 물질로만 이루어진 것을 순물질이라 한다.	1.4-2B C.4-2B 1.5-2B
C	· 우리 주위의 물질 분류하기 자연적으로 존재하는 혼합물을 분리하여 순물질을 얻어 낸다.	1.5-2B 2.1-3A
	· 한가지의 종류의 물질로만 이루어진 물질을 순물질이라 하고, 두 가지 이상의 순물질이 본래의 성질을 잃지 않고 섞여있는 것을 혼합물이라 한다.	1.5-2B C.4-2B 2.1-3A
	[탐구] 순물질인 산화은을 가열하여 변화 관찰하기 ⇒ 혼합물은 성질이 보존되고 산화은을 가열하면 화합물이 되어 성질이 달라진다.	1.1-2B C.5-2B 2.1-3A
	· 두 가지 이상의 원소들이 일정한 비율로 결합하여 이루어진 물질을 화합물이라 한다.	1.6-2A C.5-2A
D	· 순물질과 혼합물로 분류할 수 있고, 순물질은 다시 홑원소 물질(원소)과 화합물로 나눌 수 있다.	1.4-2B C.4-2B 1.5-2B
	[탐구] 사인펜의 잉크는 혼합물인가? 순물질인가?	1.1-2B 1.5-2B
	· 다른 물질이 섞여져 있지 않고 한 가지 물질로 이루어진 것을 순물질이라 하고, 두 가지 이상의 순물질이 섞여있는 것을 혼합물이라 한다.	1.5-2B C.4-2B
	· 성분물질이 고르게 섞여있는 것은 균일 혼합물이고, 고르지 않게 섞여있는 것은 불균일 혼합물이다.	1.5-2B 1.4-2B
E	[탐구] 탐구활동을 통해 혼합물과 화합물의 차이점 확인하기 ⇒ 화합물은 성분물질이 반응하여 생성된 새로운 물질이므로 성분물질과는 성질이 전혀 다르다.	C.5-3A 2.1-3A 1.5-2B
	· 한 가지 물질로 이루어진 순수한 물질을 순물질이라 하고, 두 가지 이상의 순물질이 섞여 있는 물질을 혼합물이라 한다. 혼합물에서는 순물질의 성질이 그대로 유지된다.	C.4-2B 1.5-2B 2.1-3A
	· 혼합물 중에서 물질들이 고르게 섞여 있는 혼합물을 균일 혼합물, 그렇지 않는 혼합물을 불균일 혼합물이라 한다.	1.5-2B 1.4-2B
	[탐구] 물과 소금물을 가열할 때의 온도변화를 측정하여 차이점 확인하기 ⇒ 순물질은 끓는점, 어는점이 일정하지만, 혼합물은 일정하지 않다.	2.9-2B 1.5-2B C.5-3A
F	· 한 가지 원소로 이루어진 순물질을 홑원소 물질이라 하고, 두 가지 이상 원소로 이루어진 순물질을 화합물이라 한다.	C.4-2B 1.5-2B 1.4-2B
	· 한 종류의 물질로 이루어진 것을 순물질, 여러 가지 순물질이 섞여 있는 것을 혼합물이라 한다. 자연 상태에 존재하는 혼합물로부터 금속들을 분리하여 사용한다.	1.5-2B C.4-2B 2.1-3A
	· 성분물질이 고르게 섞여 있는 것을 균일 혼합물, 고르게 섞여있지 않는 것을 불균일 혼합물이라 한다.	1.5-2B 1.4-2B
	[탐구] 소금물을 가열하여 끓는점 관찰하기 ⇒ 순물질은 끓는점이 일정하고, 혼합물은 100℃보다 높은 온도에서 끓고 온도가 계속 높아진다.	2.9-2B 1.2-2B 1.5-2B
F	· 한 가지 원소로 이루어진 물질을 홑원소 물질, 두 가지 이상의 원소로 이루어진 물질을 화합물이라 한다.	1.5-2B C.4-2B
	[탐구] 철과 황의 혼합물과 화합물의 성질 비교하기 ⇒ 화합물인 황화철은 자석에 달라 붙지 않는다.	C.5-3A 2.1-3A 1.2-2B
	[탐구] 혼합물과 화합물의 차이점을 모형으로 알아보기 ⇒ 황화철모형과 혼합물 모형은 다른 물질이다.	C.5-2B 2.1-3A 1.4-2B

부록2. ‘과학2’의 ‘이온 결합 화합물’ 내용 인지 요구도 수준 분석

교과서	교과서 서술 내용	인지수준분류요소 -내용요구인지수준
	· 양이온과 음이온 사이에 전기적 인력으로 형성되는 결합을 이온 결합이라 하고, 이온 결합으로 이루어진 물질을 이온 결합 화합물이라 한다.(이온의 크기 고려함)	1.4-3A C.5-3A 1.6-2B
A	[탐구] 이온 결합 모형 만들기 ⇒ 이온 결합 화합물을 형성할 때 전기적으로 중성이 되기 위한 비율로 결합해야 한다.	1.4-2B 1.4-3A C.5-2B 1.1-2B 2.2-2B
	· 이온 결합 화합물을 화학식으로 나타내고 양이온과 음이온이 어떤 비율로 결합하는지 알 수 있다.	1.4-3A C.5-2B 2.2-2B
B	· 양이온과 음이온의 사이에는 서로 끌어당기는 힘이 생겨서 결합한다. · 양이온과 음이온이 결합한 화합물을 원소기호로 나타내기	1.6-2B 1.4-3A C.5-2B
C	· (+)전하를 띠는 이온과 (-)전하를 띠는 이온사이에 정전기적 인력이 작용하여 형성된 결합을 이온 결합이라 한다. (크기를 고려하고, 인력으로 설명) · 이온 결합 화합물은 (+)전하를 띠는 양이온과 (-)전하를 띠는 음이온으로 이루어지지만 항상 전기적으로 중성이다. 원자가 결합하여 화합물을 이루는 원리를 설명할 수 있다.	1.4-3A 1.6-3A 1.2-2B C.5-3A 1.6-2B 1.5-2B
	[탐구] 이온 결합 모형 만들기 ⇒ 양이온과 음이온의 총 전하량이 같도록 항상 일정한 비율로 결합한다.	1.4-3A C.5-2B 1.2-2B 2.2-2B
	· 화학식이란 원소 기호와 숫자를 이용하여 물질을 나타낸 것을 말한다.	C.5-2B 1.4-2B
D	· 양이온과 음이온은 두 이온사이에 서로 끌어당기는 힘이 작용하여 결합이 형성되는데 이러한 결합을 이온 결합이라 하고 이온 결합을 통해 화합물을 생성한다. 탐구.....이온 결합 화합물의 생성..... · 이온 결합으로 생성된 화합물을 화학식으로 나타낼 수 있고, 각 이온의 결합 비율을 알 수 있다.	1.4-3A 1.6-2B C.5-2B C.5-2B 1.4-2B 2.2-2B
E	[탐구] 전자 이동으로 생성되는 화합물을 모형으로 이해하기 ⇒ 양이온과 음이온 사이에 이루어진 결합을 이온 결합이라 하고, 화합물이 전기적으로 중성이 되는 개수 비로 결합한다. 이온 결합 화합물의 화학식 나타내기 [탐구]염화나트륨 결정 만들기 ⇒ 염화나트륨 수용액에서 결정이 생성되는 것 확인하고, 이온결합이 형성되는 원리 설명하기	1.4-3A C.5-2B 2.2-2B C.5-3A 1.4-2B
	· 이온으로 구성된 화합물을 기호로 표시한다.	C.5-2B 2.2-2B
F	· 양이온과 음이온의 전기적인 인력으로 이루어진 화학 결합을 이온 결합이라 한다. 이온 결합 화합물의 형성. [탐구] 모형을 사용해서 이온 결합 화합물을 모형으로 나타내기. 이온 결합 화합물을 원소기호로 나타내기. ⇒ 다양한 종류의 이온 결합이 만들어지는 원리 알기	C.5-3A 1.4-2B 1.6-2B 1.4-2B C.5-2B

부록3. '과학2'의 '분자' 내용 인지 요구도 수준 분석

교과서	교과서 서술 내용	인지수준분류요소 -내용요구인지수준
A	[탐구] 공유 결합 모형 만들기 ⇒ 비금속 원소 사이에는 전자쌍을 서로 공유하여 결합을 이루는데 이러한 결합을 공유 결합이라 하고, 공유 결합으로 이루어진 화합물을 공유 결합 화합물이라 한다.	1.4-3A 1.1-2B C.5-3A
	[탐구] 분자 모형 만들기 ⇒ 분자를 이루는 원자의 수가 같아도 원자의 종류가 다르면 원자의 공간 배열이 달라져 모양이 달라진다.	C.5-2B 1.1-2B 1.2-2B 1.4-2B 1.6-2B
B	· 전자를 얻으려는 성질이 비슷한 비금속 원소의 원자들끼리는 전자들을 서로 공유한 상태로 결합하고, 이렇게 서로 전자를 공유하여 결합하여 만들어진 물질을 분자라 한다.	1.4-3A 1.6-2B C.5-3A
	· 서로 전자를 공유하여 결합한 분자를 원소기호로 나타내기	C.5-2B
C	[탐구] 모형으로 분자 나타내기 ⇒ 분자모형으로 화합물을 만들고 분자의 형성 이해하기	1.4-2B 1.1-2B
	· 원자들이 서로 전자를 공유함으로써 이루어지는 결합을 공유 결합이라 한다. 염화 수소 분자는 수소 원자와 염소 원자가 서로 전자를 공유하여 이루어진 공유 결합 화합물이다. 비금속 원자들이 전자를 공유하여 분자를 이룰 경우에도.....	1.4-3A 1.6-2B 1.2-2B C.5-3A
D	[탐구] 공유 결합 모형 만들기 ⇒ 원자들이 전자를 공유하여 결합하는 과정 설명하기	1.4-3A
	· 분자식이란 분자를 이루는 원자의 종류와 개수를 나타낸 화학식이다.	C.5-2B 1.4-2B
E	[탐구] 모형으로 분자의 모양 알아보기 ⇒ 분자 모형을 이루는 원자들의 공간 배열 관찰하기	1.4-3A 1.1-2B
	· 비금속 원자들은 전자를 서로 공유하여 결합을 형성하는데 이러한 결합을 공유 결합이라 한다. 2개 이상의 원자들이 전자를 공유하여 생성된 입자를 분자라고 한다.	1.4-3A 1.6-2B C.5-3A
F	· 2개 이상의 원자들이 전자를 공유하여 생성된 입자를 분자라 하고, 기호를 사용하여 분자식으로 나타낼 수 있다. 여러 가지 분자를 분자식으로 나타내 보자.	C.5-2B 1.4-2B
	[탐구] 분자 모형을 사용해서 화합물을 나타내고 공간 배열을 알아본다. ⇒ 분자의 종류에 따라 원자의 종류, 수, 배열 상태 등이 달라진다.	1.4-3A 1.1-3A
E	· 두 원자가 전자쌍을 공유함으로써 형성되는 결합을 공유 결합이라 한다.	1.4-3A C.5-3A
	[탐구] 분자 모형 세트를 사용하여 공유 결합 화합물이 형성되는 과정 이해하기 ⇒ 같은 종류의 원자가 공유 결합해도 결합한 원자의 개수가 다르면 서로 다른 분자가 생성된다.	1.4-2B C.5-3A
F	· 분자로 구성된 화합물을 기호로 표시한다.	C.5-2B
	· 두 원자가 서로 같은 수의 전자를 내놓아 서로 공유하여 화학 결합이 이루어지는 것을 공유 결합이라 한다.	1.1-2B 1.4-3A 1.6-2B C.5-3A
	[탐구] 스티로폼 공을 사용해서 공유 결합 물질을 모형으로 나타내기 ⇒ 공유 결합 물질의 분자 형태를 원소기호로 표현하기	1.4-2B C.5-2B