

중학교 과학2 교과서에 서술된 원소, 주기율표, 원자 내용이 요구하는 인지 수준 분석(제1보)

강순희* · 방담이† · 김선정

이화여자대학교 과학교육과

†가톨릭대학교 ELP 학부대학

(접수 2012. 6. 24; 게재확정 2012. 7. 12)

Analysis of the Level of Cognitive Demands about Concepts of Elements, the Periodic Table, and Atoms on Science 2 Textbooks in Junior High School (I)

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 June 24, 2012; Accepted July 12, 2012)

요약. 이 연구에서는 중학교 ‘과학2’ 교과서에 서술되어 있는 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’에 대한 내용이 요구하는 인지 요구도를 분석하였다. 우리나라는 2007년 개정 교육과정에 의하여 처음으로 주기율표 및 그와 관련 내용들을 중학교에서 다루게 되어 있다. 분석에 활용한 6종 과학 교과서에 서술된 내용이 어떠한 인지 수준을 요구하는 지를 알아내는 분석틀은 영국에서 개발된 CAT(Curriculum Analysis Taxonomy)의 3종류 분석틀을 사용하였다. 이 3종류 분석틀에 의하여 분석한 ‘과학2’ 교과서에 서술된 내용이 요구하는 인지 수준들은 다음과 같았다. ‘원소’에 대한 교과서 서술이 더 이상 간단한 물질로 분리될 수 없는 순물질임을 이해하는 내용으로 후기 형식적 조작 수준이었다. 그러나 ‘원소’는 한 가지 종류의 원자만으로 이루어진 물질이라고 서술된 초기 형식적 조작 수준도 있었다. ‘주기율표’에 대한 교과서 서술이 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. ‘주기율표’를 여러 족들의 집합임을 알고 이원 분류표로 이해해야 하는 내용으로 초기 형식적 조작 수준이었다. ‘원자’ 구조와 연결 짓는 복합적 분류 체계로 주기율표를 표현하는 후기 형식적 수준도 있었다. ‘원자’에 대한 교과서 서술이 원자가 구조를 가진다는 것 그리고 원자가 같은 종류도 있고 다른 종류도 있다는 서술은 초기 형식적 수준이었다.

주제어: 주기율표, 원소, 원자, CAT 분석틀

ABSTRACT. The purpose of this study is to analyze the cognitive demands level of the description about ‘element’, ‘periodic table’, and ‘atom’ on the ‘science 2’ textbooks by the 2007 revised curriculum. The three types of CAT (Curriculum Analysis Taxonomy) have been used to analyze the cognitive demands level of those contents on the 6 kinds of ‘science 2’ textbooks. The cognitive demands level about ‘elements’ on many textbooks is a late concrete operational stage, because the descriptions of ‘element’ are pure substances or no more split into anything simpler substances. That cognitive demands level about one textbook is a early formal operational stage, because the descriptions ‘element’ are a substance of one kind of atom. The cognitive demands level of ‘periodic table’ on many textbooks is a late concrete operational stage, because the descriptions about ‘periodic table’ are the hierarchical classification for the categorizing reality. And the cognitive demands level of ‘periodic table’ is a early formal operational stage, because the descriptions about ‘periodic table’ are a collection of ‘families’ or two-way gradation of elements. That cognitive demands level about one textbook is a late formal operational stage, because the descriptions of ‘periodic table’ are a complex classificatory structure linking atomic structure. The cognitive demands level about ‘atom’ is a early formal operational stage because of the descriptions as “atoms have structure, some atoms are the same, or others are different”.

Key words: Periodic table, Element, Atom, CAT

서 론

중·고등학교의 많은 학생들이 교과서에 실려 있는 과학 내용들을 이해하기가 어려워서 학습하는데 어려움을 겪

고 있다. 과학 교사들이 과학 내용을 열심히 가르쳐도 학생들의 이해 정도는 상당히 낮다고 한다. 이러한 문제에 대한 해결 방안들로는 여러 가지 교수 요인 또는 학습 요인들이 많으며 또한 이 이 요인들이 복합적으로 나타나기

도 한다. 그 중에서도 몇몇 학습 인지론적 심리학자들¹⁻²⁴은 학습 효과의 극대화를 위해서 ‘어떤 수준의 학생에게 어떤 수준의 개념을 가르칠 것인가’가 중요하다고 여기고 있다. 피아제를 포함한 발달 심리학을 토대로 하는 인지론적 학습론을 지지하는 학자들은 학습과 학생의 인지 발달의 본성에 주된 관심을 갖고 연구한다. 학습자의 인지 발달 수준과 그들이 배우는 과학 교과 내용을 이해하는데 필요한 인지 요구 수준의 불일치가 그 중 한 요인이라고 여기고 있다.⁷⁻⁹ 더 나아가서 이들은 과학 학습을 통하여 학생들의 인지 발달 수준도 가속화 된다고 여기고 있으며 이에 대한 연구들로 외국은 물론 국내에서도 많이 있다.¹⁰⁻²⁴ 학습자의 인지 발달 수준과 그들이 배우는 과학 교과 내용을 이해하는데 필요한 인지 요구도의 불일치에 대한 이러한 연구들은 학습자인 학생 그리고 교사인 교사 모두에게 도움이 된다.

영국에서도 우리나라와 마찬가지로 대부분의 학생들이 수학과 과학을 상당히 어려워하고 있었기 때문에, 1974년부터 5년간 SSRC(Social Science Research Council)에 의하여 Chelsea College의 과학 교육 센터에 만들어진 초중등학교 수학과 과학 개념에 관한 CSMS(Concepts in Secondary Mathematics and Science Programme) 프로그램⁷을 개발하였다. 이 프로그램에는 초중등학교 과학 교육에 실질적으로 도움이 되는 많은 교수 자료들이 들어 있으며, 영국에서는 지금까지도 이 자료들을 활용하는 연구¹⁰⁻²¹들을 계속적으로 진행하고 있다. 학생들이 수학이나 과학을 어려워하는 이유에 대해서 그들의 연구 가설은 학생들의 인지 수준과 학습 내용이 요구하는 인지 요구도가 일치되지 않기 때문일 거라고 설정하였다. 이 CSMS 프로그램에서 개발한 교수 자료에는 초중등학교용 물리, 화학, 그리고 생물 교과 내용이 요구하는 인지 수준을 분석할 수 있는 3종류의 분석틀(Curriculum Analysis Taxonomy)⁷들이 있으며, 이 3종류 분석틀들은 이미 번역되어 소개되었다.^{25,26} 이 분석틀들을 사용하여 과학 내용을 판정한 인지 요구도는 학생의 인지 수준에 따른 성취도를 예측 가능케 한다.

물리의 경우 개념 별로 충분히 깊이가 있으며 나중에 통합되는 단계를 거치기 때문에 개념 별로 가르치는 순서가 바뀌어도 된다. 그러나 화학의 경우 단계 별 위계가 분명하기 때문에 위계상 선택 가능한 학습 순서가 존재하게 된다.⁷ 화학은 위계적으로 연결된 이전의 개념을 잘 이해하지 않고서는 이후의 새로운 개념을 학습하는 데는 많은 어려움이 발생한다.⁷ 그렇기 때문에 눈으로 볼 수도 없는 ‘원자’ 개념이 그 깊이로 볼 때, 추상적이고 형식적 개념임에도 불구하고 학습 순서 때문에 중학교 2학년에 도입하고 있다. 학습 순서에서 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’를 이른 앞부분에서 가르치고 있는 실례를 보면 다음과

같다. 영국의 Nuffield O Level Chemistry²⁹에서도 중등학교 1단계 수준인 13-14세에 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’를 교수하도록 구성되어 있다. 그리고 최근의 미국 중학교 1학년 또는 2학년에서 사용하는 ‘Physical Science’ 교과서에서도 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’를 다루고 있다.³⁰⁻³⁷ 그래서 화학은 물리나 생물에 비해서 학습 초기 단계에서부터 다른 과학 과목에 비해 문턱이 상당히 높은 과학 과목이 될 수밖에 없었기 때문에 많은 중등학교 학생들이 화학을 학습 초기부터 어렵게 느낀다고 한다.⁷

따라서 우리나라에서도 ‘주기율표’ 관련 개념을 제7차 교육과정에 의하여 중학교 2학년 과학 교과서에서 처음으로 도입하게 되었다.²⁷ 중학교 2학년이 배우는 ‘과학2’의 ‘물질의 구성’ 단원에서 ‘원소’는 과학사적인 접근으로 더 이상 나뉘지 않는 순수한 물질임을 이해하도록 하고 있다. ‘주기율표’를 도입하는 이유는 다음 단원인 ‘우리 주위의 화합물’에서 화합물의 형성 과정과 이름으로만 알던 화합물을 원소 기호로 표현하기 위함이다.²⁸ 그리고 ‘원자’는 눈으로 볼 수가 없는 추상적인 개념이므로 설명을 위한 모형을 사용하여 원자의 구성 입자인 원자핵과 전자를 나타내어 학생들을 이해시키는데 목적을 두고 있다.^{27,28} 이전의 제7차 교육과정에서도 ‘원소’를 다루고 있는 것이나 중학교에서는 혼합물을 분리하는 과정으로 부터 순물질인 ‘원소’를 설명하는 수준이었다.

중등학교 학생들이 과학을 어려워하는 이유들 중 하나가 과학 교과 내용이 요구하는 인지 수준 정도가 해당 학생들의 인지 수준에 비하여 높기 때문이라는 것이다. 따라서 우리나라 중학교 2학년 학생들이 배우는 ‘과학2’ 교과서에서 처음으로 도입한 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’ 내용에 대한 서술들이 어떠한 인지 수준을 요구하도록 서술되어 있는지를 분석할 필요가 있다고 본다. 이 연구에서 분석해 낸 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’ 내용이 요구하는 인지 요구도들은 교사는 교수 전략을 세울 때에 그리고 학생은 해당 내용을 학습할 때에 실질적인 도움이 될 것이다.

연구 방법

연구 대상 교과서

이 연구에서는 현행 2007년 개정 교육과정에 의해 현재 사용되고 있는 중학교 2학년 과학 교과서 10종 중 6종을 임의로 선정하여 각 교과서에 있는 화학 영역 중에서 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’ 내용에 대한 인지 요구도 수준을 분석하였다. 이 논문에서는 편의상 출판사에 따른 교과서를 구분하기 위하여 A교과서,³⁸ B교과서,³⁹ C교과서,⁴⁰ D교과서,⁴¹ E교과서,⁴² F교과서⁴³로 표시하여 사용하였다.

연구 대상 분류틀

이 연구의 참여자는 총 3인으로 과학 교과 내용의 인지 요구도 수준을 분석하는 연구에 경험이 있는 교과 교육 전문가이다. 내용 인지 요구도 수준의 판정에 대한 객관성을 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 분류틀을 사용하는 방법을 충분히 경험하였으며 또한 ‘과학2’ 교과서에서 8학년 화학 관련 영역의 내용과 주요 개념을 추출하는 데에도 앞에서 제시한 과정을 거쳤다.

이 연구에 사용된 세 종류 분류틀⁷은 참고 문헌^{25,26}에 자세하게 번역되어 있다. 이 분류틀은 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 아래 Fig. 1에 실려 있는 ‘C.4 원소와 원자설’을 보면 분류틀^{25,26}이 어떻게 구성되어 있는지를 잘 알 수 있다. 아래에서 소개된 세 종류의 분류틀을 복수로 다양하게 사용하면 대부분의 교과 내용이 요구하는 인지 요구도를 알아낼 수 있다.

첫 번째, <분류틀1>은 ‘아동과 주위 환경과의 상호작용에서의 심리학적 특성에 대한 인지 요구도’로 어떠한 인지 수준인지를 분석할 수 있다. 이 <분석틀1>에는 다음의 6개의 하위 요소로 구성되어 있다. 이 연구에 사용된 하위 요소들은 총 6개 중에서 분류틀1.1, 분류틀1.2, 분류틀1.4, 분류틀1.5, 분류틀1.6 이다.

- 분류틀1.1 흥미와 관찰방식
- 분류틀1.2 사건에 대한 추론
- 분류틀1.3 관계

- 분류틀1.4 모델의 사용
 - 분류틀1.5 범주화
 - 분류틀1.6 기술적인 문장에 대한 해석의 깊이
- 두 번째, <분류틀2>는 ‘과학적 사고 논리 유형 인지 요구도’로 어떠한 인지 수준인지를 분석할 수 있다. 이 <분석틀2>에는 다음의 총 9개의 하위 요소로 구성되어 있다. 이 연구에 사용된 하위 요소는 분류틀2.4 이다.

- 분류틀2.1 보존 논리
- 분류틀2.2 비례 논리
- 분류틀2.3 계의 평형
- 분류틀2.4 수리적 조작
- 분류틀2.5 변인 통제
- 분류틀2.6 변인 배제
- 분류틀2.7 확률적 사고 논리
- 분류틀2.8 상관 논리
- 분류틀2.9 측정 기술

세 번째, <분류틀3>은 ‘화학 교과 내용 인지 요구도’로 어떠한 인지 수준인지를 분석할 수 있다. 이 <분석틀3>에는 다음의 총 10개 화학 내용으로 구성되어 있다. 이 연구에 사용된 하위 요소는 분류틀C.4 이다.

- 분류틀C.1 용해
- 분류틀C.2 상태 변화
- 분류틀C.3 반응 속도
- 분류틀C.4 원소와 원자설
- 분류틀C.5 화합물 화학반응과 화학반응식
- 분류틀C.6 산과 염기
- 분류틀C.7 산화와 환원
- 분류틀C.8 화학 평형
- 분류틀C.9 화학물질과 에너지
- 분류틀C.10 유기화학

주제	2A (초기 구체적 조작수준)	2B (후기 구체적 조작수준)	3A (초기 형식적 조작수준)	3B (후기 형식적 조작수준)
분류틀C.4 원소와 원자설	가장 간단한 정제 절차를 분석적이 아닌 신비한 것으로 생각한다. ‘원소’의 진정한 의미는 설명하지 못한다.	‘순물질’ 개념과 정제 방법을 설명한다. ‘원소’란 더 이상 간단한 물질로 분리될 수 없는 순물질임을 지도하에 원소의 성질을 정리하고, 원소들을 축으로 분류할 수 있다.	원자가 구조를 가진다는 것과 원자는 같은 종류도 있고 다른 종류도 있다는 것을 설명한다. 원소는 한 가지 종류의 원자만으로 이루어진 물질임을 설명한다. 빨간 구슬만으로 이루어진 것은 원소의 간단한 모델이 될 수 있다는 것을 설명한다. 순도도 비슷한 방식으로 설명한다. 어느 정도까지 순수한 것을 얻을 수 있는지는 설명하지 못하지만 100% 순수한 것을 얻을 수 없다는 것을 보인다. 주기율표는 여러 족들의 집합임을 설명한다.: 주기율표를 간단한 이원 분류표로 이해한다.	순도의 측정, 순도의 한계를 설명한다. 실험적 증거와 다양한 원자 모델 사이의 연관성을 인식한다. 지방산 분자의 크기를 측정하기 위한 기름방울 실험을 이해한다. 원소와 화합물들의 성질을 서로 연결 짓고 또한 원자 구조와 연결 짓는 복합적 분류 체계로서의 주기율표로 설명한다. 아보가드로 가설에 내재된 이치를 알고, 그것을 기체 반응의 부피비에 적용할 수 있다.

Fig. 1. Curriculum Analysis Taxonomy of Elements and Particle Theory (C.4).

각 분류틀들이 어떻게 구성되어 있는 지에 대한 한 예로 Fig. 1의 <분류틀3>에 C.4 원소와 원자설에 대하여 초기 구체적 조작 수준(2A), 후기 구체적 조작 수준(2B), 초기 형식적 조작 수준(3A), 후기 형식적 조작 수준(2A)으로 판정할 수 있는 준거들이 들어 있다. 이 네 가지 수준에 대한 준거들 속에는 ‘원소’에 대한 내용도 있고, ‘주기율표’에 대한 내용도 있으며 ‘원자’ 구조에 대한 내용도 들어 있다.

연구 결과 및 논의

이 연구에서는 교과 내용에 대한 인지 요구도를 두 가지 측면으로 분석하였다. 가장 먼저 ‘2007년 개정 교육과정’에 서술되어 있는 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’에 대한 목표들을 분석²²하였다. 이어서 6종 ‘과학2’ 교과서⁴⁴⁻⁴⁶에 서술되어 있는 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’ 내용을 차례로 분석하였다. 즉, 교과 과정에 서술된 목표와 교과서 서술 내용을 분석하였다. 특히 교과서에 서술된 내용이 요구하는 인지 수준을 판정할 때, 교과서 내용 전체에 있어서 가장 높은 인지 요구도 수준의 내용을 알아내는데 주력하였다. 왜냐하면 그 중 높은 인지 수준을 요구하는 서술 내용이 바로 해당 내용들을 학생들이 이해하는 데 있어서 속도 결정 단계가 되기 때문이다. 따라서 다음의 연구 결과들 중에는 여러 수준의 인지 요구도가 있으나 그 중 이해의 속도 결정 단계가 될 높은 인지 요구도 수준 내용에 대하여 중점적으로 논의하였다.

교육 과정 목표 인지 요구도 분석

2007 개정 과학과 교육과정^{27,28}에 서술되어 있는 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’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 판정하였다. 아래의 판정 근거에 서술되어 있는 내용들은 해당 분석틀^{27,28}에 서술되어 있는 내용 그대로이다.

목표1. 원소 개념이 형성되는 과정을 과학사적인 관점에서 이해한다.

(판정 근거)

· 분류틀1.6 - 판정 2B; 일관성 있는 해석을 하나 한 측면만 해석한다.

목표2. 여러 가지 원소를 원소 기호로 나타낼 수 있으며, 주기율표에 나타나 있는 원소를 금속과 비금속 등으로 구분할 수 있다.

(판정 근거)

· 분류틀1.1 - 판정 2B; 관찰된 현상을 규명하기 위해 서열화와 분류를 도구로 사용하고 그 적용 예를 설명한다.

· 분류틀C.4 - 판정 2B; 교사의 지도하에 원소의 성질을 정리하고 원소들을 족으로 분류할 수 있다.

목표3. 모형을 사용하여 원자를 구성하는 원자핵과 전자를 나타낼 수 있다.

(판정 근거)

· 분류틀1.4 - 판정 3A; 그 자체의 규칙을 따르는 가상의 계로부터 연역적인 비교를 통하여 실체를 간접적으로 해석할 수 있는 모델을 사용한다.

· 분류틀C.4 - 판정 3A; 원자가 구조를 가진다는 것과 원자는 같은 종류도 있고 다른 종류도 있다는 것을 설명한다.

위 분석 결과에 의하면 중학교 2학년이 배우는 ‘과학2’에 대한 교육 과정에 서술된 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’에 대한 목표1은 분류틀1.6에 의하여 2B인 후기 구체적 조작 수준이다. 목표2는 분류틀1.1에 의해서도 2B인 후기 구체적 조작 수준이고, 분류틀C.4에 의해서도 2B로 나타났다. 목표3은 분류틀1.4와 분류틀C.4에서 모두 3A인 초기 형식적 조작 수준으로 분석되었다. 원자를 눈으로 볼 수 있는 구체적인 모형(모델)을 사용하여 설명하고 있으나 형식적 조작 수준(초기)임을 알 수 있었다. 위 분석 결과에서 볼 수 있듯이 같은 서술 내용을 판정할 때에 한 가지 측면으로만 판정할 수도 있고 여러 측면으로도 판정할 수도 있다.

‘원소’ 내용 인지 요구도 분석

세 가지 분류틀^{27,28}을 사용하여 ‘과학2’ 교과서에 서술되어 있는 ‘원소’ 내용이 요구하는 인지 요구도를 분석하였다. 분석 대상인 6종 ‘과학2’ 교과서에 서술한 ‘원소’, 내용에 대한 인지 요구도를 분석한 것을 한 군데에 모아 놓은 자료는 부록1과 같다. 6종 교과서에 서술된 내용의 인지 요구도를 분석해 낸 부록1 자료에는 앞의 목표 분석과 같이 판정 근거에 대한 내용을 모두 제시 하지 않았고 판정 근거로 사용한 인지 수준 분류틀(1.6-판정2B)만을 맨 오른쪽 칸에 제시 하였다. 구체적인 판정 내용을 알고자 하는 경우에는 세 가지 분류틀^{27,28}이 들어 있는 참고 문헌에서 해당 내용을 볼 수 있다.

앞의 6종류 교과서³⁸⁻⁴³ 각각에 대하여 서술되어 있는 ‘원소’에 대한 내용을 세 가지 분석틀을 사용하여 알아낸 인지 요구도를 보면, ‘원소’에 대한 내용이 요구하는 인지 요구도는 6종류의 교과서에서 공통적으로 2A와 2B로 과학사적 관점에서 원소를 설명하고 있었다. 그러나 6종 교과서³⁸⁻⁴³ 모두 선스펙트럼을 사용하면서 원소를 구분하는 실험들을 포함하고 있었다. 물리 내용 인지 요구도 분석틀⁷에 의하면 빛에 대한 선스펙트럼(P.12-판정3A)은 형식

적 조작 수준(3A)이다. 교사들은 선스펙트럼에서 나타나 는 실험을 중학교 2학년 학생들이 이해하기에 어려운 개념임을 고려하여야 할 것이다. 교과서C⁴⁰의 경우는 원소 개념을 설명할 때에 여러 군데에서 원자 개념을 도입하고 있기 때문에 앞에 제시한 분류틀C.4에서 3A인 형식적 조작 수준(초기)로 인지 요구도가 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다.

중학교 2학년 학생들의 인지 수준 분포를 알아보기 위하여 지난 몇 년 동안에 연구 되어진 여러 연구들^{7,22,47-54}로부터 얻어진 학생들의 인지 수준을 Table 1에 모아서 나타내었다. 이 Table 1의 자료들 중에서 영국⁷의 자료는 전국 규모이나 우리나라 연구에 의한 자료들^{22,47-54}은 전국 규모의 자료들은 아니다. 그러나 우리나라 중학교 2학년 학생들의 인지 수준의 분포를 대략적으로 이해하는 자료로는 활용할 수 있다. 이 Table 1의 자료를 보면, 우리나라 중학교 2학년 학생들의 인지 수준 분포가 학교 별로 다양함을 알 수 있다. 형식적 조작 수준에 도달해 있는 중학교 2학년 학생들의 분포가 적게는 3.0%⁴⁷이고 많게는 31.4%⁵¹이고, 대부분이 과도기 이하이다. 아직도 구체적 조작 수준인 학생들의 분포가 적게는 우리나라의 경우는 25.2%⁵³이고 많게는 68.1%²²임을 알 수 있다.

“원소는 한 가지 종류의 원자로 이루어진 물질이며 원자는 물질을 구성하는 기본 단위 입자이다.” 또는 “물은 수소와 산소로 분해되고 수소와 산소는 더 이상 분해되지 않는 ‘원자’로 구성됨을 알 수 있다”라는 이러한 서술 내용⁴⁰은 고등학교 화학 교과서에 서술되어 있는 수준이며 이러한 서술 내용을 이해하려면 형식적 조작 수준(초기)이어야 한다. 따라서 이 수준에 도달하지 못한 구체적 조작 수준의 중학교 학생들에게는 이러한 개념들이 인지 수준 일치가 안 되어서 이해하기가 어려운 개념⁷이 되는 것이다. 가르치려는 ‘원소’ 내용을 형식적 조작 수준으로 설명하면 구체적 조작 수준 학생들의 이해도는

그리 높지 않을 것이고, 학생들은 그러한 ‘원소’ 개념을 어려워하는 것이라고 예측할 수 있게 된다. 다음의 Table 1에 있는 중학교 2학년 학생들의 인지 수준 분포를 보면서 학생들의 인지 수준과 교과서에 서술되어 있는 인지 요구도가 어느 정도 일치하는지 아니면 일치하지 않는지를 예측할 수가 있다. 결국 두 수준이 일치하지 않는 경우 학생들의 이해도는 떨어지게 되고, 그러한 학생들은 해당 내용을 어려워 할 것이라고 예측해 볼 수 있다.

‘주기율표’ 내용 인지 요구도 분석

부록 2의 자료들을 보면 앞의 6종류 교과서³⁸⁻⁴³ 각각에 대하여 서술되어 있는 ‘주기율표’에 대한 내용을 세 가지 분석틀을 사용하여 알아낸 인지 요구도는 6종류의 교과서에서 공통적으로 판정2A, 판정2B, 판정3A가 혼용되어 나타나고 있음을 알 수 있었다. 또한 6종 교과서 모두 형식적 조작 수준(3A)을 포함하고 있음을 알 수 있었다. 주기율표가 어떻게 형성되었는지를 설명하는 과정은 교사의 지도하에 원소의 성질을 정리하고 원소들을 족으로 분류하는 구체적 조작 활동(판정2B)들로 이루어져 있었다. 그러나 결국 형성된 주기율표를 이해하는 수준은 간단한 이원 분류표로 이해해야 하는 초기 형식적 조작 수준(판정3A)을 요구하고 있다. 즉, 족이나 주기라는 용어를 사용하면서 ‘비슷한 성질을 가지고 있는 집합’이라고 설명하기 때문에 분류틀C.4에 의하여 형식적 조작 수준(3A)이다. 그리고 B교과서³⁹는 전자수나 양성자수와 연결 짓는 복합적 분류 체계로 주기율표를 설명하고 있어서 분류틀C.4에 의하여 후기 형식적 조작 수준(3B)으로 분석되어 6종 교과서에서 가장 높은 인지 요구도로 나타났다. 모든 교과서가 ‘주기율’의 족과 주기가 형성됨을 알게 하기 위하여 구체적인 자료들을 동원하고 설명하고 있으나, 결국 구체적 자료들을 가지고 일반화해야 하는 과정이기 때문에 분류틀2.4에 의하여 초기 형식적 수준(3A)로 나타났다. ‘주기율표’에 대한 내용에 사용된 분류틀들은 분류틀1.1, 분류틀1.2, 분류틀1.4, 분류틀1.5, 분류틀1.6, 분류틀2.4 그리고 분류틀C.4를 사용하는 것으로 나타났으며 초기와 후기 구체적 수준들로 서술되어 있었다. 우리나라 ‘과학2’ 교과서에 나타난 ‘주기율표’에 대한 서술은 두가지 측면인 분류틀 2.4 또는 분류틀 C.4로 볼 때, 형식적 조작 수준(3A 또는 3B)으로 나타나는 것으로 보아 상당수의 중학생들이 이해하기가 어려운 내용이라고 생각하여야 한다.

미국의 중학교 과학 교과서 중에서 화학 내용은 대부분 ‘Physical Science’에 들어 있으나 때로는 그와 유사한 다른 제목을 쓰기도 한다. 최근의 미국 교과서³⁰⁻³⁷에서도 모

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

Study	Cognitive Levels (%)		
	Concrete	Transition	Formal
Shayer & Adey ⁷	20.0	75.0	5.0
Choi & Hur ²²	68.1	28.5	3.4
Choi, Lee, & Choi ⁴⁷	64.0	33.0	3.0
Yoo ⁴⁸	53.4	33.1	13.6
Park ⁴⁹	50.0	39.9	11.0
Woo, Lee, & Min ⁵⁰	47.0	44.0	9.0
Ji ⁵¹	28.9	39.7	31.4
Kang, Park, & Woo ⁵²	44.2	47.1	8.7
Kim ⁵³	25.2	56.6	18.2
Cheon ⁵⁴	33.4	43.2	23.4

두 원소를 다루고 있었다. 그런데 미국 과학 교과서³⁰⁻³⁷에서는 ‘원소’를 소개하기 전에 ‘원자’를 먼저 다루고 있었다. 즉, 원자, 원자설, 원자핵, 전자, 동위원소를 학습한 후에, 원소들에 대한 설명과 함께 주기율표를 학습하게 되어 있다. 그리고 주기율표가 만들어지기까지의 과학사적 접근, 그리고 주기성을 이해시키기 위한 구체적인 비슷한 비유들을 활용하면서 주기율표를 설명하고 있었다. 그리고 현대 주기율표를 그대로 소개하고 있었으며, 족이나 주기에 따른 경향성도 대부분 다루고 있었다. 다시 말하면, 우리나라 ‘과학2’ 교과서보다 주기율표에 대한 내용 수준이 훨씬 깊게 설명을 하고 있었다. 그 외에도 조사한 미국 중학교 과학 교과서에서 원소와 주기율표를 다루지 않은 책은 찾아 볼 수가 없었다. 우리나라의 경우 원소와 주기율표를 처음으로 2007 개정 교육과정에 의하여 다루게 된 것은 세계적인 경향을 보더라도 같은 방향이라고 볼 수 있다.

‘원자’ 내용 인지 요구도 분석

아래의 부록 3의 자료들을 보면 앞의 6종류 교과서³⁸⁻⁴³ 각각에 대하여 서술되어 있는 ‘원자’에 대한 내용을 세 가지 분석틀을 사용하여 알아낸 인지 요구도는 6종류의 교과서에서 공통적으로 판정2A, 판정2B, 판정3A가 혼용되어 나타나고 있음을 알 수 있었다. 또한 6종 교과서 모두 형식적 조작 수준(3A)를 포함하고 있었다. 그 이유는 원자가 구조를 가진다는 것과 원자는 같은 종류도 있고 다른 종류도 있다는 것을 설명하면 분류틀C.4에 의하여 형식적 조작 수준(3A)이기 때문이다. 그리고 눈에 보이지 않는 원자를 간접적으로 해석하는 모형을 사용하여 설명해도 분류틀C.4에 의하여 형식적 조작 수준(3A)이기 때문이다. 그리고 보이지 않는 양성자 수에 따라 그 원자의 원자 번호가 정해진다는 구체적 일반화도 분류틀 2.4에 의하여 초기 형식적 조작 수준(3A)이다. 따라서 이 내용을 가르치는 교사들은 모형을 사용한다고 하여 구체적 조작 수준이라고 여겨서는 안 될 것이고, 학생들의 이해도 증진을 위하여 비슷하거나 또 다른 구체적인 활동들을 연습 문제를 풀 때에서도 더 많이 경험하게 해야 할 것이다. 이 외에 ‘주기율표’에 대한 내용에 사용된 분류틀들은 분류틀1.1, 분류틀1.4, 분류틀1.5, 분류틀1.6, 분류틀2.4, 분류틀C.4를 사용하는 것으로 나타났으며 초기와 후기 구체적 수준들로 서술되어 있었다. 이와 같은 현상은 외국 교과서³⁰⁻³⁷에서도 모두 비슷하게 서술되어 있는 것으로 나타났으며, 미국 과학 교과서에서 다루는 일부 내용은 우리나라 교과서의 서술 내용 보다 훨씬 더 깊은 수준까지 서술하고 있었다.

결론 및 제언

이 연구에서는 학생들이 과학을 어려워하는 이유 중의 하나로 과학 교과 내용이 요구하는 인지 수준이 학생들의 인지 수준에 비하여 높기 때문일 수도 있다는 가정 하에 교사에게 도움이 될 자료들을 만들고자 하였다. 따라서 중학교 학생들이 어렵다고 하는 2007 개정 교육과정에서 사용되고 있는 ‘과학2’ 교과서 중에서 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’의 교과 내용의 인지 요구도 수준이 어떠한 수준인지를 분석하였다. 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 내용 별로 판정 근거를 상세히 서술하여 쉽게 이해할 수 있도록 정리하였다. 전반적으로 교과서의 인지 요구도 수준은 출판사 별로 대동소이 하였으나 그 중에서도 상당히 형식적 수준으로 어렵게 서술되어 있는 교과서들이 있었다.

이 연구에 의하여 얻어진 ‘과학2’ 과학 교과서에 서술되어 있는 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’ 내용이 요구하는 인지 요구도를 분석한 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 ‘원소’에 대한 목표는 후기 구체적 조작 수준이었고, ‘주기율표’에 대한 목표는 후기 구체적 조작 수준이었고, ‘원자’에 대한 목표는 초기 형식적 조작 수준으로 분석되었다. 그러나 6종의 ‘과학2’ 교과서 내용을 분석한 다음의 결과를 보면, 교과서에 서술된 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’ 내용들이 ‘2007 개정 교육 과정의 목표’보다 모두 더 높은 인지 수준을 요구하고 있었다.

둘째, ‘원소’에 대해서 대부분의 교과서가 대부분 과학사적 관점에서 후기 구체적 조작 수준으로 서술되어 있었다. 그러나 6종 교과서 모두 초기 형식적 조작 수준 개념인 선스펙트럼을 활용하여 원소를 구분하는 실험들을 포함하고 있었다. 교사들은 선스펙트럼 자체가 중학교 2학년 학생들이 이해하기에 어려운 초기 형식적 조작 수준의 개념임을 고려하여야 할 것이다. 한 교과서는 원소 개념을 설명할 때에 여러 군데에서 원자 개념을 도입하고 있어서 초기 형식적 조작 수준으로 인지 요구도가 높게 나타나고 있었다.

학습의 접근은 과학사적으로 시작하였으나 결국 쉽게 인식할 수 없는 ‘원소’를 학습하려면 형식적 조작 수준을 요구하는 것으로 보아 학생들의 인지 수준 분포를 볼 때 구체적 조작 수준이 많은 중학교 2학년 학생들에게는 어려운 내용이 될 것이라고 결론을 내릴 수 있다.

셋째, ‘주기율표’에 대해서 교과서 모두 초기 형식적 조작 수준으로 판정되었다. ‘주기율표’는 다양한 종류의 원소들을 원소 기호를 이용하여 특정 기준에 따라 몇 가지 그룹으로 분류될 수 있음을 인식해야 하기 때문에 분류를 할 수 있어야 하고, ‘주기율표’가 여러 족들의 집합임과 동시에 간단한 이원 분류표로 이해할 수 있어야 한다. 그러므로 현장 교사들은 ‘주기율표’의 주기성에 대해 설명할 때 실생활에서 주기성을 찾음으로써 학생들이 ‘주기율표’의 개념을 쉽게 학습할 수 있도록 하는 활동들을 많이 해야 한다. 한 교과서는 원자 구조와 연결 짓는 복합적 분류 체계로 ‘주기율표’를 설명하고 있어서 후기 형식적 조작 수준으로 높게 서술되어 있었다.

형식적 조작 수준을 요구하는 ‘주기율표’ 내용은 학생들의 인지 수준 분포를 볼 때 구체적 조작 수준이 많은 중학교 2학년 학생들에게는 어려운 내용이 될 것이라고 결론을 내릴 수 있다.

넷째, ‘원자’ 개념은 교과서 모두 내용이 요구하는 인지 수준이 초기 형식적 조작 수준으로 판정되었다. ‘원자’는 너무 작아서 눈으로 볼 수 없을 뿐만 아니라 직접적으로 ‘원자’의 성질을 설명하기는 매우 어렵다. 그렇기 때문에 눈에 보이지 않는 ‘원자’를 간접적으로 해석하는 모형을 많이 활용해야 한다. 효율적인 과학 교육을 위해서는 구체적인 접근 방식을 통한 교과 내용의 재구성이 반드시 필요하다. 적절하고 친숙한 예를 들어주거나 구체적 모델이나 시청각 자료를 통해 학습자의 인지 수준에 맞도록 교과 내용을 재구성한다면 보다 높은 학습 효과를 기대할 수 있을 것이다.

형식적 조작 수준을 요구하는 ‘원자’ 내용은 학생들의 인지 수준 분포를 볼 때 구체적 조작 수준이 많은 중학교 2학년 학생들에게는 어려운 내용이 될 것이라고 결론을 내릴 수 있다.

결론적으로 이러한 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’는 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. 먼저 이 연구의 결과들을 어떻게 활용할 수 있는지를 구체적으로 살펴보고자 한다. 학생들의 인지 수준과 학습 내용 요구 수준이 일치하는 경우에 학생들의 내용 이해

도는 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 존재한다. 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.

다시 말하면 어려운 형식적 조작 수준의 과학 내용을 그대로 가르치는 것 보다는 대상 학생들이 구체적 수준이라면 가르칠 내용을 비유 가능한 구체적 수준의 실례들을 먼저 학습하게 하는 것이다. 그리고 난 한 후에 이어서 형식적 조작 수준의 해당 과학 내용을 설명하면 그나마 보다 나은 이해를 한다는 가정이다. 더 나아가서 그러한 구체적 수준의 실례를 다양한 측면으로 또는 보다 여러 번 경험하게 하면 어려운 형식적 수준의 내용들에 대한 이해를 높여 줄 것이다. 그렇기 때문에 과학 교사들은 과학 관련 구체적 조작 가능한 주변의 실례들을 많이 알아야 하고 그리고 활용해야 하는 것이다. 이런 관점에서 과학 교사들은 되도록 많은 구체적인 교수 자료들을 가지고 있으면 좋은 것이다.

다른 과목에 비해서 과학 과목은 구체적 수준의 자료들을 직접 손으로 경험하는 실험에 활용할 수도 있고 아니면 교실 수업에서 어려운 내용을 가르치기 전 단계에 활용할 수도 있을 것이다. 또한 인지 수준에 비해 과학 교과 내용 요구 수준이 높은 형식적 조작 수준의 ‘원자’나 ‘주기율표’ 내용을 구체적 조작 수준 학생들이 이해하게 하는 방법으로 형식적 조작 수준 개념을 학습한 후 다양하게 그리고 반복적으로 구체적 조작 수준의 실례들을 응용하고 적용해 보는 연습 문제들을 풀면서 경험하게 하는 방법도 있을 수 있다. 따라서 교사는 자신이 가르칠 교과 내용 수준을 미리 파악하고, 학생들의 인지 수준을 파악한 후 학생들이 이해할 수 있도록 수업 전략을 끊임없이 연구하고 개발해야 한다.

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. 이 때, 이 연구에서 얻어진 ‘원소’, ‘주기율표’, ‘원자’에 대한 인지 요구도 수준들을 그대로 활용하면 된다. 이 연구에서 얻어진 결과들은 현장 교사들에게 어떤 개념들이 학생들에게 많이 어려운가를 알 수 있게 해주었기 때문에 교사가 만

드는 교수 전략을 구상하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것이다. 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 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2012R1A1A2A10000454).

REFERENCES

1. Lawson, A. E.; Renner, J. W. *Journal of Research in Science Teaching* **1975**, 12(4), 347.
2. Ingle, R. B.; Shayer, M. *Education in Chemistry* **1971**, 8(5), 182.
3. Shayer, M. *Sch. Sci. Rev.* **1972**, 186(54), 26.
4. Shayer, M.; Kchemann, D. E.; Wylam, H. *Br. J. Educ. Psychol.* **1976**, 46, 164.
5. Shayer, M.; Wylam, H.; *Br. J. Educ. Psychol.* **1978**, 48, 62.
6. Shayer, M.; *Studies in Science Education, Leeds.* **1978**, 5, 115.
7. 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, 92-97.
8. 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.
9. Shayer, M.; Kchemann, D. E.; Wylam, H. *Br. J. Educ. Psychol.* **1976**, 46, 164.
10. Adey, P. *International Journal of Science Education* **1988**, 10(2), 121.
11. Adey, P.; Shayer, M.; Yates, C. *Thinking science: The curriculum materials of the Cognitive Acceleration Through Science Education(CASE) project Teacher's guide*; Mcmillan Education Ltd.: London, U.K., 1989.
12. Adey, P.; Shayer, M. *Journal of Research in Science Teaching* **1990**, 27(3), 267.
13. Shayer, M.; Adey, P. *Journal of Research in Science Teaching* **1992**, 29(1), 81-92.
14. Adey, P.; Shyer, M. *Journal of Research in Science Teaching* **1992**, 29(10), 1101.
15. Shayer, M.; Adey, P. S. *Journal of Research in Science Teaching* **1993**, 30(4), 351.
16. Adey, P.; Shayer, M. *Cognition and Instruction* **1993**, 11(1), 1.
17. Adey, P. *Research in Science Education* **1995**, 25(1), 101.
18. Iqbal, H. M.; Shayer, M. *Journal of Research in Science Teaching* **2000**, 37(3), 259.
19. Adey, P. *Research in Science Education* **2005**, 35, 3.
20. Adey, P.; Shayer, M.; Yates, C. *Thinking science : The curriculum materials of the Cognitive Acceleration Through Science Education(CASE) project Teacher's guide*, 3rd ed.; Thomas Nelson and Sons Ltd.: London, U.K., 2001.
21. Choi, B., et al. *Thinking science (Trans.)*, 3rd ed.; Free-academi: Seoul, 2011.
22. Choi, B.; Hur, M. *J. Kor. Assoc. Res. Sci. Educ.* **1987**, 7(1), 19.
23. Choi, B.; Choi, M.; Nam, J.; Lee, S. *J. Kor. Assoc. Res. Sci. Educ.* **2002**, 22(3), 422.
24. Choi, B.; Han, H.; Kang, S.; Lee, S.; Kang, S.; Park, J.; Nam, J. *J. Kor. Assoc. Res. Sci. Educ.* **2002**, 22(4), 837.
25. Kang, S. H.; Park, J. Y. *Chemical Education* **1993**, 20(1), 42.
26. Kang, S. H. *Cognitive Development of Students and Curriculum Demand of Science Contents in Science Teaching Strategy*. Ewha Womans University, Research Institute of Curriculum Instruction, Education Series, Seromoonhwa, Press: Seoul, 2002; pp 25, 27-32, 34-38, 40-48.
27. Ministry of Education, Science and Technology, 2007-79, *Science Curriculum*. Daehan Textbook Publishing: Seoul, Korea, 2007.
28. Ministry of Education, Science and Technology, 2007-79, *Junior Highschool Curriculum Commentary*, Daehan Textbook Publishing: Seoul, Korea, 2007.
29. Nuffield Science 13-16 Harlow, Essex: Longman, U.K., 1981.
30. Frank, D. V.; Little, J. G.; Miller, S. *Chemical Interactions*; Pearson Education Inc.: New Jersey, U.S.A., 2009; p 12-21.
31. Wyssession, M.; Frank, D.; Yancopoulos, S. *Physical Science: Concepts in Action*; Pearson Education Inc.: New Jersey, U.S.A., 2009; pp 98-155.
32. Hsu, T. *Foundations of Physical Science*; CPO Science: MA, U.S.A., 2005; pp 309-324.
33. Hsu, T. *Physics A First Course*; CPO Science: NH, U.S.A., 2005; pp 217-237.
34. 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.
35. Hewitt, P. G.; Lyons, S.; Suchocki, J.; Yeh, J. *Conceptual Integrated Science*; Pearson Education Inc.: San Francisco, U.S.A., 2007; pp 167-189, 228-240.
36. Dobson, K.; Holman, J.; Roberts, M. *Physical Science*; Holt, Rinehart and Winston: Texas, U.S.A., 2008; pp 110-173.
37. 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.
38. Park, H.; et al. *Middle school science 2*; Kyohak Press: Seoul, Korea, 2011; pp 52-91.
39. Kim, S.; et al. *Middle school science 2*; Doobae Nkkim Press: Seoul, Korea, 2011; pp 128-187.
40. Kim, C.; et al. *Middle school science 2*; Doosandong Press: Seoul, Korea, 2011; pp 42-85.
41. Lee, J.; et al. *Middle school science 2*; Visang Education

- Press: Seoul, Korea, 2011; pp 55-102.
42. Lee, G.; et al. *Middle school science 2*; EduJoongang Press: Seoul, Korea, 2011; pp 100-113.
 43. Lee, M.; et al. *Middle school science 2*; ChunjaeEdu Press: Seoul, Korea, 2011; pp 42-87.
 44. Park, J.; Kang, S.; Kim, S.; Kim, S.; Kim, I.; Lee, J. *Chemical Education* **1993**, 20(4), 285.
 45. Kang, S.; Park, J.; Woo, A.; Hur, E. *Chemical Education* **1996**, 23(4), 267.
 46. Kang, S.; Park, J.; Jeong, J. *J. Korean Chem. Soc.* **1999**, 43(5), 578.
 47. Choi, Y.; Lee, W.; Choi, B. *J. Kor. Assoc. Res. Sci. Edu.* **1985**, 5(1), 1.
 48. Yoo, G. *Physics Education* **1988**, 6(2), 159.
 49. 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.
 50. Woo, J.; Lee, H.; Min, J. *J. Kor. Assoc. Res. Sci. Edu.* **1995**, 15(4), 379.
 51. Ji, H. The relation between logical thinking ability and science process skills of 8th grade students. Master's Thesis, Ewha Womans University, Seoul, 1995.
 52. Kang, S.; Park, J.; Woo, A.; Huh, E. *Chemical Education* **1996**, 23(4), 267.
 53. 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.
 54. 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.
-

부록 1. ‘과학2’의 ‘원소’ 내용 인지 요구도 수준 분석

교과서	분석 대상이 된 과학2 교과서 서술 내용	인지수준 분류틀-판정
A	· 물질의 구성에 대한 설명 ⇒ 물과 에탄올 섞었을 때의 부피변화 ⇒ 연속설과 불연속설 설명	1.6-판정2B 1.4-판정2B C.4-판정2A
	[탐구] 물의 분해와 합성 · 더 이상 다른 물질로 분해되지 않는 한 가지 성분으로 된 물질을 원소라 하고, 물질을 구성하는 기본 성분이다.	C.4-판정2B 1.1-판정2B C.5-판정2B
	[탐구] 여러 가지 물질을 불꽃반응실험을 통해 색 관찰하기 ⇒ 물질을 겔볼꽃 속에 넣고 가열하면 그 물질에 포함된 원소에 따라 고유한 불꽃색을 나타냄.	1.1-판정2B 1.5-판정2A
	[탐구] 선스펙트럼으로 원소 알아내기 ⇒ 선스펙트럼에 나타나는 선의 위치와 색깔은 원소의 종류에 따라 다르게 나타남.	1.1-판정2B 1.5-판정2A P.12-판정3A
	· 물질의 변천과정에 대해 연대표 형식으로 설명한다. · 원소는 다양한 물질 가운데 가장 기본이 되는 물질이다.	1.6-판정2B C.4-판정2A
	각각의 물질을 구성하는 원소를 원소기호로 나타내기 [탐구] 불꽃색으로 여러 가지 원소 알아내기 ⇒ 물질을 겔볼꽃에 넣으면 물질 속에 포함된 원소에 따라 독특한 불꽃색 나타남. 선스펙트럼으로 원소 알아내기	1.1-판정2B 1.5-판정2A P.12-판정3A
B	우리 몸을 구성하는 원소들의 종류 알아보기 물질에 대한 생각이 어떻게 변해왔는지 설명 원소는 같은 종류의 원자를 통틀어서 부르는 말. 원소는 한 가지 종류의 원자로 이루어진 물질이며 원자는 물질을 구성하는 기본단위 입자이다. 흑연은 탄소 원자 한 종류로 이루어진 물질이므로 원소다.	1.1-판정2B 1.6-판정2B C.4-판정3A
	[탐구] 물 분해 실험하기 ⇒ 물은 수소와 산소로 분해되고 수소와 산소는 더 이상 분해되지 않는 원자로 구성됨을 알 수 있다.	1.5-판정2A 1.1-판정2B C.4-판정3A C.5-판정2B
	[탐구] 원소 분류카드를 통해 원소기호, 성질 익히기 ⇒ 원소성질에 따라 분류하기 원소를 구별하는 방법은? 원소들은 독특한 불꽃색과 선스펙트럼을 나타내는 이유는 원소의 전자 배치가 다르기 때문이다.	1.1-판정2B 1.5-판정2A C.4-판정3A P.12-판정3A
	물질을 이루는 기본성분에 대해 설명한다. (연대표형식으로 설명) [탐구] 물의 성분 확인 더 이상 다른 물질로 분해되지 않으면서 물질을 이루는 기본성분을 원소라 한다.	1.6-판정2B 1.1-판정2B C.4-판정2B
	[탐구] 불꽃반응을 통해 물질 속에 포함된 금속원소 확인하기 ⇒ 금속원소는 그 원소를 포함한 물질을 겔볼꽃에 넣으면 특정한 불꽃색을 나타내는데 이를 불꽃반응이라 한다.	1.1-판정2B 1.5-판정2A
	[탐구] 불꽃반응에서 불꽃을 간이분광기로 관찰하여 스펙트럼 관찰하기 ⇒ 원소에 따라 스펙트럼에서 선이 나타나는 위치와 색깔이 다르므로 원소들을 구별할 수 있다.	P.12-판정3A 1.1-판정2B 1.5-판정2A
C	물질을 이루는 기본성분에 대한 생각의 변환 과정을 설명한다. [자료해석] 물의 분해와 합성실험 더 이상 분해되지 않는 물질을 이루는 기본성분을 원소라 한다. 원소를 종류에 따라 기호로 나타낼 수 있다.	1.6-판정2B 1.6-판정2B C.4-판정2B 1.1-판정2B
	몇 가지 금속 원소들은 특정한 불꽃색을 나타내므로 이것을 이용하여 물질 속에 포함되어 있는 금속원소의 종류를 알아낼 수 있다.	1.5-판정2B 1.6-판정2B 1.1-판정2B
	선스펙트럼은 원소의 종류에 따라 선의 색깔, 위치, 굵기가 다르므로 원소의 중요한 특성이 된다.	1.5-판정2B 1.6-판정2B 1.1-2판정B P.12-판정3A
	물질관의 변천에 대해 설명한다. 원소는 더 이상 분해할 수 없는 물질의 성분이다. 원소 기호가 어떻게 변해왔는지 알고 원소기호 나타낼 수 있다.	1.6-판정2B C.4-판정2B 1.1-판정2B
	불꽃 반응과 선스펙트럼 [탐구] 불꽃색으로 원소 구별하기 ⇒ 불꽃 반응색을 관찰하면 물질 속에 포함된 금속 원소를 확인할 수 있다.	P.12-판정3A 1.1-판정2B 1.5-판정2A

부록 2. '과학2'의 '주기율표' 내용 인지 요구도 수준 분석

교과서	내용의 인지 요구도 수준 세부적 판정근거	인지수준 분류틀판정
	· 주기율표는 주기율을 기준으로 원소를 왼쪽에서 오른쪽으로 늘어놓다가 성질이 비슷한 원소가 나타나면 도중에 줄을 바꾸어 같은 세로 줄에 오도록 배열한 것이다.	C.4-판정3A 1.5-판정2B
A	[탐구] 탐구활동을 통해 원소를 금속과 비금속으로 분류하기 ⇒ 금속원소는 수은을 제외하고 상온에서 고체로 존재하며 광택을 내고 열과 전기전도성이 좋다. 비금속 원소는 대부분 열과 전기를 잘 통하지 않는다. (주기율표로 설명)	1.1-판정2B 1.5-판정2B 2.4-판정3A C.4-판정3A
	· 우리 주위에서 주기성 찾기	1.2-판정2B
	[탐구] 원소카드를 이용하여 원소들의 주기성 찾기 ⇒ 원소들의 성질에 따라 분류하고 주기성 찾기	1.5-판정2B C.4-판정2B
	· 일정한 간격으로 성질이 비슷한 원소가 반복되는 규칙에 따라 원소를 배열한 표를 원소의 주기율표라 한다.	1.5-판정2B C.4-판정3A
	· 주기율표에 나타난 원소들은 그 성질에 따라 금속, 비금속으로 구분된다.	1.5-판정2B
B	· 원자핵 속에 있는 양성자수와 중성자 수를 보여주는 모형의 주기율표를 설명 ⇒ 양성자 수에 따라 그 원자의 원자 번호가 정해진다.	1.4-판정2B 2.4-판정3A C.4-판정3A C.4-판정3B
	· 원자핵 주위의 전자수를 보여주는 모형의 주기율표를 설명 ⇒ 원자 속에는 양성자와 같은 개수의 전자들이 있다.	1.4-판정2B 2.4-판정3A C.4-판정3A C.4-판정3B
	[탐구] 원소카드를 사용하여 규칙성에 맞게 배열하기 ⇒ 가로줄과 세로줄에서 찾을 수 있는 규칙성 알아보기	1.5-판정2B 1.1-판정2B 1.2-판정2B C.4-판정3A
C	· 주기율표는 원자번호 순서대로 왼쪽에서 오른쪽으로 나열하다가 줄을 바꾸어 성질이 비슷한 원소들이 같은 세로줄에 오도록 배열한 것이다.	1.5-판정2B 2.4-판정3A C.4-판정3A
	[탐구] 여러 가지 원소들을 관찰하여 금속과 비금속으로 분류하기 ⇒ 금속과 비금속의 특징 비교하고 주기율표의 위치 찾기	1.5-판정2B C.4-판정3A
	· 주기율표는 원소기호를 사용하여 원소들을 원자번호순서로 나열하고 일정한 규칙에 따라 원소들을 배치하여 분류하고 있다. (같은 족끼리 성질이 비슷함을 설명)	C.4-판정3A 2.4-판정3A 1.5-판정2B 1.1-판정2B
D	[탐구] 금속의 공통적인 성질 확인하기 ⇒ 금속원소는 전기가 잘 통하고 망치로 때릴 때 부서지지 않고 모양만 변한다. 비금속 원소는 전기가 잘 통하지 않고 힘을 받으면 쉽게 부서진다. (주기율표로 설명)	1.1-판정2B 1.5-판정2B C.4-판정3A
	· 주기율표는 원자를 번호순서대로 배열하여 물리적, 화학적 성질이 비슷한 원소들이 같은 세로줄에 위치하도록 한 원소의 분류표이다.	1.1-판정2B 1.5-판정2B 2.4-판정3A C.4-판정3A
E	· 금속은 전기전도성이 있고 열전도성이 크며 힘을 가했을 때 잘 펴진다. 비금속은 금속의 특성을 지니지 않는 원소이다. (주기율표로 설명)	1.1-판정2B 1.5-판정2B C.4-판정3A 1.6-판정2B
	· 여러 가지 원소를 성질이 비슷한 것끼리 정렬하여 표로 만든 것을 주기율표라 한다.	2.4-판정3A C.4-판정3A
F	· 금속은 열과 전기가 잘 통하고 전성과 열성이 있다. 비금속은 금속과 같은 성질이 아니다. (주기율표로 설명)	C.4-판정3A 1.5-판정2B 1.2-판정2A 1.1-판정2B

부록 3. ‘과학2’의 ‘원자’ 내용 인지 요구도 수준 분석

교과서	내용의 인지 요구도 수준 세부적 판정근거	사용된 분류틀-판정
A	· 돌턴의 원자설에 따르면 모든 물질은 원자라는 아주 작은 입자로 이루어졌다. (다른 종류의 원자가 있음을 설명)	C.4-판정3A 1.4-판정2B
	· 원자는 중심에(+전하를 띠는 원자핵이 있고 그 주위에 (-)전하를 띤 전자가 움직이는 모형으로 나타낸다. 그리고 모든 원자는 원자핵이 띠는 (+)전하의 총질량과 전자가 띠는 (-)전하의 총량이 같아 전기적으로 중성을 나타낸다.	1.4-판정2B C.4-판정3A 1.6-판정2B
B	· 원자는 (+)전하를 띤 원자핵과 그 주위에 (-)전하를 띤 매우 빠르게 움직이는 전자로 이루어져 있다.	C.4-판정3A
	· 원자핵 속에 있는 양성자수와 중성자 수를 보여주는 모형의 주기율표를 설명 ⇒ 양성자 수에 따라 그 원자의 원자 번호가 정해진다.	C.4-판정3A 1.4-판정2B 2.4-판정3A
	· 원자핵 주위의 전자수를 보여주는 모형의 주기율표를 설명 ⇒ 원자 속에는 양성자와 같은 개수의 전자들이 있다.	C.4-판정3A 1.4-판정2B 2.4-판정3A
C	· 돌턴의 원자설을 블록에 비유하여 설명	1.4-판정2B 1.6-판정2B
	[탐구] 물 분해 실험하기 ⇒ 물은 수소와 산소로 분해되고 수소와 산소는 더 이상 분해되지 않는 원자로 구성됨을 알 수 있다.	1.5-판정2A 1.1-판정2B C.4-판정3A C.5-판정2B
	· 원자는 (+)전하를 띤 원자핵과 원자핵 주위를 운동하는 (-)전하를 띤 전자로 이루어져 있고, 원자핵은 (+)전하를 띤 양성자와 전하를 띠지 않는 중성자로 이루어져 있다.	C.4-판정3A 1.1-판정2B 1.4-판정3A
	[탐구] 모형을 통해 원자의 전자 표현하기 ⇒ ‘원자번호=양성자수=전자수’ 와 같은 관계 성립	1.4-판정2B 1.1-판정2B 2.4-판정3A
	· 돌턴의 원자설에 따르면 모든 물질은 더 이상 쪼개지지 않은 입자, 즉, 원자로 이루어져 있다.	1.6-판정2A 1.4-판정2B
D	· 원자는 물질을 이루는 기본 입자이며, (+)전하를 띤 원자핵과 (-)전하를 띤 전자로 이루어져 있다.	C.4-판정3A
	· 원자의 중심에는 원자핵이 있고 전자는 원자핵 주위를 돌고 있다. 그리고 한 원자 안에서 원자핵의 (+)전하수와 (-)전하의 수가 같아 전기적으로 중성이다.	C.4-판정3A 1.6-판정2B 1.4-판정2B 2.4-판정3A
	[탐구] 원자 모형 나타내기	C.4-판정3A 1.4-판정2B
E	· 물질을 이루는 기본입자에 대한 생각의 변환과정을 그림으로 설명한다.	1.1-판정2B 1.4-판정2B
	· 원자는 중심에 (+)전하를 띤 원자핵이 있고 (-)전하를 띤 전자들이 핵 주위를 빠르게 움직인다. 그리고 (+) 전하와 (-)전하의 양이 같아서 전기적 중성이다. (그림으로 동작 설명)	C.4-판정3A 1.4-판정3A 1.6-판정2B 2.4-판정3A
F	· 원자는 원자핵과 전자로 이루어져 있으며 전자는 원자핵 주위를 돌며 전기적으로 중성이다.	C.4-판정3A 1.1-판정2B 2.4-판정3A
	[탐구] 원자를 모형으로 나타내기 ⇒ 원자를 이루는 입자 나타내기	1.4-판정2B 1.1-판정2B