

중학교 과학 교과서에서 요구하는 수학 관련 과학 개념의 수준 및 학생들의 인지 수준 분석: 2015 개정 교육 과정의 화학과 생물을 중심으로

양희선 · 조향래 · 강성주*

한국교원대학교

Analysis of the Level of Mathematical Concepts in Middle School Science Textbooks and Students' Cognitive Levels: Focused on Chemistry and Biology of the 2015 Revised Curriculum

Heesun Yang · Hyang-rae Cho · Seong-Joo Kang*

Korea National University of Education

Abstract: This study aimed to analyze students' cognitive levels and the cognitive demands of mathematical concepts related to science to understand why students struggle to comprehend scientific concepts and tend to avoid learning them. Initially, the mathematics and science curricula of the 2015 revised curriculum were examined to extract learning elements related to mathematics within middle school science content. The Curriculum Analysis Taxonomy (CAT) was then employed to analyze the cognitive levels required by the learning content. In the domain of chemistry, among a total of 20 learning elements related to mathematics, 12 required an understanding at the level of initial formal manipulation (3A), while 3 necessitated comprehension at the level of later formal manipulation (3B). It was noted that cognitive logic types such as proportional reasoning, mathematical manipulation, and measurement skills were prominently employed in elements corresponding to both 3A and 3B. As for biology, out of 7 learning elements related to mathematics, 3 required an understanding at the level of initial formal manipulation (3A), and 2 necessitated comprehension at the level of later formal manipulation (3B). Elements corresponding to both 3A and 3B in biology predominantly involved correlational logic, indicating a somewhat different cognitive challenge compared to the domain of chemistry. Considering that the average percentage of middle school students capable of formal thinking, as analyzed through the GALT short form, was 12.1% for the first year, 16.6% for the second year, and 29.3% for the third year, it can be concluded that the cognitive demands of mathematics-related chemistry and biology learning content are relatively high compared to students' cognitive levels.

keywords: chemistry and biology concepts in middle school science textbooks, mathematics-integrated science content, students' cognitive levels

I. 서론

과학 분야에서 수학은 자연의 법칙을 설명하는 도구로서 주요한 역할을 하며, 과학의 발전에 큰 기여를 했다. 예를 들어, 아인슈타인(Einstein)의 일반 상대성 이론과 중력 이론은 리만(Riemann)의 기하학 이론과 케일리(Cayley)의 불변 이론으로 표현되었다. 또한, 하이젠베르크의 행렬 역학은 케일리가 발표한 행렬이 없었다면 불가능했을 것이다(Bell, 1931). 이처럼 과학과 수학은 서로 높은 연계성을 띄는 학문이며, 과학을

학습하는 과정에서 수학 개념에 대한 이해가 부족하면 학습에 어려움을 겪을 수 있다.

과학 교과와 수학 교과의 관련성을 확인하는 연구들이 수 차례 진행되었다. 예를 들어, Kang & Lee (2020)의 연구에서는 중학교 과학 교과의 많은 내용이 수학 교과와 관련이 있음을 확인하였다. 또한, Shin, Choi, & Kim (2020)의 연구에서는 과학고 학생들을 대상으로 수학 및 과학 성취도 간의 상관관계 연구를 통해 수학-과학(5개 교과) 교과 성취도 사이에는 통계적으로 유의미($p < 0.1$)한 상관관계가 있음을 밝혔다.

* 교신저자: 강성주 (sjkang@knue.ac.kr)

** 이 논문은 한국교원대학교 2023학년도 연구년 교수 학술지원비 지원을 받아 수행한 연구의 결과임.

*** 2024년 2월 13일 접수, 2024년 4월 1일 수정원고 접수, 2024년 4월 22일 채택

<http://dx.doi.org/10.21796/jse.2024.48.1.15>

대다수의 교사들은 과학 교과와 수학 교과의 깊은 연관이 있다고 인식하고 있으며, 과학 학습에서 학생들이 아직 관련 수학 내용을 배우지 않았거나 수학 학습의 부진으로 인하여 학습에 어려움을 겪고 있다고 밝혔다(Choi *et al.*, 2020; Yook, 1997). 또한, 많은 학생은 수학 교과와 과학 교과의 서로 관련이 있다는 점을 인식하고 있지만, 과학과 관련된 수학을 학습할 때보다 수학과 관련된 과학 내용을 학습할 때 더욱 어려움을 느끼고 있다고 언급하였다(Kim, 2009). 즉, 수학과 연계된 과학 내용을 이해하는 것은 어려운 일이며, 학생들은 특히 이러한 내용을 이해하는 데 어려움을 겪고 있었다.

이렇듯 교사와 학생 모두 과학 교과와 수학 교과의 깊은 관련성이 있다는 사실을 인식하고 있으며 수적으로 인해 과학 내용을 가르치거나 배우는 데 어려움을 겪고 있음을 알 수 있었다. 이에 Seo *et al.* (2008)은 학생들을 대상으로 한 설문 조사를 통해 수학의 학습보다 과학의 학습이 먼저 다뤄지는 경우, 학생들이 과학을 어려워하며 다른 학습 내용에 비해 학습 이해도가 떨어지는 것을 밝히는 등 주로 그동안의 연구들은 수학과 연계된 과학 학습이 어려운 이유를 과학 개념을 이해하는 데 필요한 수학 개념이 교육 과정 편성 상 미리 학습되지 않았기 때문이라고 설명하였다. 하지만 학교 현장에서 실제 학생들을 지도할 때, 수학 시간에 학습한 내용임에도 불구하고 수학과 관련된 과학 개념의 이해를 특별히 더 어려워하고 학습을 기피 하는 것을 경험하였다(Shin *et al.*, 2020; Choi *et al.*, 2020). 따라서 학생들이 수학과 연계된 과학 내용의 학습을 어려워하는 이유를 다른 관점에서 접근할 필요가 있다.

과학 학습에서 수학이 어려운 이유를 설명하기 위해서는 학생들의 인지 수준을 고려해야 할 필요가 있다. 수학과 관련된 과학 개념이 이해되기 위해서는 높은 인지 수준을 요구할 수 있기 때문이다(Kim, 2009). 하지만 학생들은 종종 이러한 높은 수준의 이해를 갖추지 못하고 있다. 즉, 수학과 연계된 과학 학습을 어려워하는 원인에는 관련 수학 개념 이해가 부족하거나 낮은 수학 자기 효능감으로 인한 심리적 위축 등 (Kwon, 2021) 다양한 원인이 있을 수 있으나 과학 교과 내용이 요구하는 인지 수준이 학생들의 인지 수준에 비교하여 높기 때문일 수도 있다(Ahn, 1990; Choi & Heo, 1987). Prihastuti & Widodo (2019)에 따르면 교사들의 대부분은 낮은 인지 수준의 문항을 높은 인지 수준을 나타내는 것으로 잘 못 추정하는 경향이 있어 학생들의 고차원 사고 능력의 발달을 위한 문항의 개발을 위해서는 교사들이 정확한 인지 수준을 측정할 수 있는 기술이 필요하다고 주장하였다. 이러한 인식을 바탕으로 지금까지 중학교 혹

은 고등학교 과학 교과서 분석을 통해 화학 분야(Kang, Bang, & Kim, 2012; Kim *et al.*, 2009; Moon & Choi, 1987; Park *et al.*, 1997; Park, Park, & Kang, 2013; Song *et al.*, 2005) 및 생물 분야(Ko, 2003; Kwon, 2009; Lee, 2010)에서 요구하는 인지 수준에 관한 연구는 다수 있었으나, 수학과 연계된 과학 내용 이해에 필요한 인지 수준을 분석한 연구는 없었다. 때문에, 학생들의 인지 수준과 수학과 연계된 과학 내용의 이해에 대한 연구가 필요한데, 이전의 연구들은 주로 학생들의 수학 개념 부족으로 과학 학습을 어렵게 인식하는 것으로 이해되었다.

수학은 일반적으로 논리적 사고와 문제 해결 능력을 향상시키는 데에 도움을 준다. 이러한 이유로 수학은 과학적 실험 설계, 데이터 분석, 그리고 원리의 이해에 필수적이다. 특히 화학과 생물학에서는 종종 복잡한 데이터를 다루게 된다. 특히, 중학교 화학에서는 반응 방정식을 이해하고 양쪽의 균형을 맞추는 과정이나 농도의 계산에서 수학적 능력이 요구된다. 또한, 생물에서는 유전학, 진화 등의 주제를 탐구할 때 수학적 모델링과 통계적 분석이 필요할 것이다. 따라서 중학교 과학 영역 중 화학과 생물 분야에서 수학의 영향력을 정밀하게 살펴볼 필요가 있는 것이다.

지금까지의 선행 연구를 정리하자면, 우선 과학과 수학 사이의 높은 상관성을 확인할 수 있었다. 특히, 과학 개념을 이해하는 데 필요한 수학 개념이 학습과정에서 부족하거나 충분히 강조되지 않은 것이 과학 학습의 어려움에 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 과학 학습의 어려움은 학생들이 수학과 관련된 과학 개념을 이해하는 데 있어서 높은 인지 수준을 요구하기 때문인 것으로 추정할 수 있었다. 이에 본 연구는 중학교 과학 교과서에서 화학과 생물 개념을 중심으로 수학과 연계된 내용을 분석하여 학생들의 인지 수준과 교과서 내용의 적합성을 살펴보고자 한다. 따라서 본 연구에서는 중학교 과학 교과서의 화학과 생물 내용에서 수학과 연계성을 분석하여, 학생들이 해당 내용을 이해하는 데 어려움을 겪을 수 있는 이유를 파악하고자 한다.

이에 본 연구에서는 2015 개정 교육과정을 기반으로 중학교 과학 교과서에서 수학과 연계된 과학 내용의 인지 수준을 분석하였다. 이를 통해 학생들이 해당 내용을 이해하는 데 어려움을 겪을 수 있는 부분을 파악하고, 교과 내용을 적절히 조정하여 학생들의 학습 효과를 높이는 데 기여하고자 한다. 이를 위하여 영국의 CSMS (Concept in Secondary Mathematics and Science, 이하 CSMS) 프로그램에서 개발한 교과 분류틀 CAT (Curriculum Analysis Taxonomy, 이하 CAT)을 이용하여(Shayer & Adey, 1981), 중학교 과학 내용 중 수학과 연계된 부분을 인지 수준을

분석해 보고 학생들의 인지 수준에 맞추어 교과 내용이 적절한지, 학생들이 학습 시 어려움을 느낄 수 있는 부분은 어떤 내용인지 살펴보고자 하였다.

II. 연구 방법

2015 개정 교육과정이 적용된 과학 교과서(미래엔) 1, 2, 3을 대상으로 수학 관련 학습 요소들의 인지 수준을 분석하였다. 과학 교과서(미래엔)의 경우 단원별로 창의적으로 생각 열기, 필수 학습 내용, 직업 탐험하기, 창의 융합 과학 핵심 역량 기르기, 대단원 마무리 순서로 구성되어 있다. 이 중 창의적으로 생각 열기, 직업 탐험하기, 창의 융합 과학 핵심 역량 기르기 부분은 제외하고 필수 학습 내용이 설명된 부분과 해보기, 탐구 활동, 스스로 확인하기, 대단원 마무리를 대상으로 분석을 진행하였다. 연구 절차에 대한 구체적 내용은 Figure 1과 같다.

첫째, 중학생을 대상으로 한 GALT 검사지를 활용하여 측정된 인지 수준 데이터를 다양한 연구 자료에서 참고하였다. 1985년부터 1997년 중반까지 한국교육학회지, 화학교육, 한국생물교육학회지 3종의 국내 학회지와 여러 연구 논문에서 중·고등학교 학생들을 대상으로 GALT 원본 또는 축소본을 이용하여 측정된 인지 수준 분포 연구를 참고하여 지금까지 연구를 통해 밝혀진 중학생들의 평균적인 인지 수준을 알아보았다. 분석 과정에서 Kang (1998)의 연구 결과를 토대로 중학생 대상으로 GALT 검사지에 따라 측정된 인지 수준 데이터를 재가공하여 정리하였으며, 특히, Kim & Kim (2009)의 중학생들의 논리적 사고 능력을 메타 분석한 방법도 함께 참고하였다. 분석자료를 종합하여 여러 연구에서 GALT 검사지로 측정된 7, 8, 9학년들의 구체적, 전환기, 형식적 조작 단계에 속하는 학생들의 인지 수준 비율을 최솟값과 최대값 범위로 나타내고, 인지 수준 비율을 평균값으로 정리하였다. 이를 통해 구체적, 전환기, 형식적 조작 단계에 속하는 학생들의 비율의 대략적인 분포를 알아보고, 중학교 학생들의 평균적인 인지 수준이 어느 정도 인지 파악해 보고자 하였다.

둘째, 과학과 교육과정에서 제시된 학습 요소들을 먼저 학년별로 추출하고 과학 교과서(미래엔) 1, 2, 3을 통해 각 학습 요소의 서술을 확인하였다. 학습 요소 중 2015 중학교 수학 교육 내용을 구성하고 있는 5가지 영역인 ‘수와 연산’, ‘문자와 식’, ‘함수’, ‘기하’, ‘확률과 통계’의 개념을 중심으로 과학 교과서의 화학 및 생물 서술 내용을 검토하여 수학 영역과 관련 있는 학습 요소들을 표로 정리하여 인지 수준을 분석할 대상을 선정하였다(Table 1). 분석 대상으로

추출된 수학 요소에 대한 타당도를 확보하기 위하여 중학교 수학 교사 2인의 자문을 받았으며, 과학 수업과 관련된 수학 학습 요소의 경우, 그 학습 요소를 포괄하고 있는 수학 영역으로 분석 결과에 표기하였다.

셋째, 앞서 추출된 수학 관련 화학 및 생물 학습 요소들이 요구하는 인지 수준을 CSMS Project에서 개발한 CAT (Shayer and Adey, 1981)을 이용하여 분석하였다. 교육과정 분석틀인 CAT은 분류틀 1, 2, 3으로 구성되어 있다. 분류틀 1(Taxonomy 1)은 아동과 주위 환경과의 상호작용에서 나타나는 아동 사고의 심리적 특성을 설명하며 학생의 정신 활동을 둔 것으로 인지 수준을 전조작기(1단계)부터 형식적 조작기(3B단계)까지 5단계로 분류하였다. 분류틀 2(Taxonomy 2)는 다양한 유형의 과학 활동에 요구되는 특정한 지적 요소 또는 스키마(schema)에 초점을 두었고, CSMS 연구팀에서는 구체적으로 과학적 사고에서 나타나는 논리 유형을 9개의 도식으로 제안하여 과학교사나 학생이 교수-학습 전략을 세우고, 과학을 학습하는데 도움이 되도록 하였다. 때문에 9개 범주는 논리와 사고의 기본 형태이며 과학자들이 인식하고 있는 과학적 사고의 정제와 같다. 분류틀 3은 학생들이 학습해야 하는 과학 개념에 대한 인지 요구도를 주제(topic)별로 정리한 것으로 앞서 제시한 분류틀 1과 분류틀 2를 활용하여 화학 및 생물에서의 주요 개념 10가지에 대한 인지 요구도를 아동의 인지 수준별로 나타낸 것이다. 분류틀 2와 3은 인지 수준을 구체적 조작기(2A)부터 형식적 조작기(3B)까지 4단계로 분류하였다. 분류틀 1과 2는 Kang (2002)가 변안하여 타당도를 인정받은 분석틀을 사용하였고, 분류틀 3의 경우, 화학 영역은 Kang (2002)의 분류틀을 사용하고

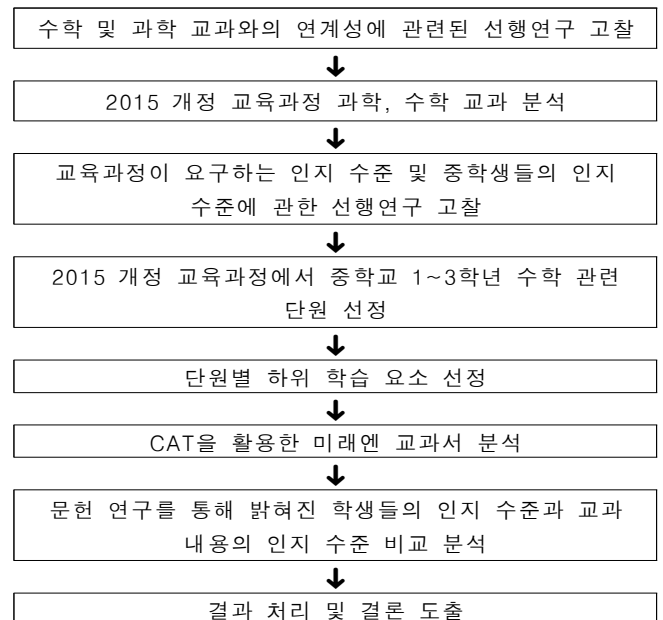


Figure 1. The research procedure

Table 1. Middle school mathematics curriculum by grade in the revised 2015 education curriculum.

학년	영역	학습 요소
7학년 (중1)	수와 연산	소인수분해, 최대 공약수, 최소 공배수, 정수, 유리수, 정수와 유리수의 사칙연산
	문자와 식	문자의 사용과 식의 값, 일차식과 그 계산, 방정식과 그 해, 일차방정식의 풀이
	함수	순서쌍과 좌표, 그래프, 정비례, 반비례
	기하	점, 선, 면, 각, 위치 관계, 평행선의 성질, 삼각형의 작도, 삼각형의 합동조건
	확률과 통계	줄기와 잎 그림, 도수분포표와 히스토그램, 상대도수와 그 그래프, 통계 자료를 처리하는 공학적 도구를 알고 공학적 도구를 그래프로 나타내고 해석하기
8학년 (중2)	수와 연산	유리수와 소수 표현, 순환소수의 분수 표현, 지수법칙, 단항식과 다항식의 사칙연산
	문자와 식	부등식의 해와 그 성질, 일차부등식, 미지수가 2개인 연립일차방정식, 연립일차방정식의 풀이
	함수	함수, 일차함수와 그 그래프, 일차함수의 그래프 활용, 일차함수와 일차방정식, 연립일차방정식의 해와 그래프
	기하	닮은 도형, 삼각형의 닮음 조건, 평행선 사이의 선분의 길이의 비, 삼각형의 무게중심, 피타고라스의 정리
	확률과 통계	사건과 경우의 수, 확률과 그 기본 성질, 확률의 계산
9학년 (중3)	수와 연산	제곱근, 근호를 포함한 식의 사칙연산
	문자와 식	다항식의 곱셈과 곱셈 공식, 인수분해, 이차방정식과 그 해, 인수분해를 이용한 이차방정식, 근의 공식
	함수	이차함수, 이차함수 $y = ax^2$, $y = a(x-p)^2 + q$ 및 $y = ax^2 + bx + c$ 의 그래프
	기하	삼각비와 그 값, 삼각비를 활용한 길이 및 넓이 구하기, 원의 현과 접선, 원주각의 성질, 원의 접선과 현이 이루는 각
	확률과 통계	대푯값, 산포도, 산점도와 상관관계

생물 영역에서는 Kwon (2009)와 Lee (2010)가 생물 교과 내용을 분석 시 활용하여 그 타당도를 검증받는 번안본을 활용하였다. Figure 2에 제시된 분류들은 학생들이 학습해야 하는 과학 개념에 대한 인지 요구도를 분석하기 위해 사용되었다. 이 분류들을 통해 화학과 생물 교과서에서 어떤 수준의 수학적 이해가 필요한지를 명확하게 파악할 수 있었다. 예를 들어, 화학에서는 반응 방정식을 해석하고 계산하는 과정에서 수학적 지식이 요구되며, 생물에서는 유전학적 모델링과 통계적 분석에 대한 이해가 필요하다는 사실을 Table1와 함께 사용하면서 분명하게 확인할 수 있었다. 사용한 분류들은 Figure 2와 같다.

분석 시 제시한 분류들 1~3을 모두 활용하여 각 학습 요소가 요구하는 인지 수준을 분석하였는데 3가지 분류들에 의해 한 학습 요소가 다양한 인지 수준을 요구하는 것으로 분석되는 경우는 가장 높은 인지 수준으로 최종 판정하였다. 분류들에 따른 분석방법의 타당도와 신뢰도를 확보하기 위해 과학 교육 전문가 1인과 과학 교육 박사 과정 1인, 석사 과정 3인의 전문가 자문을 받아 구성하였다. 전문가들에게 3가지 분류들을 순차적으로 제공하여, 해당 분류 기준이 연구 문맥에 적용 가능하고 내용을 명확히 포착하는지를

비판적으로 검토하였다. 분류 결과에 대한 1인의 전문가라도 동의하지 못하는 경우, 이에 대하여 전문가들의 논의 합의를 통해 최종적으로 검증하였다. 이러한 인지 수준과 학년별 학습 내용과의 관계 적합성을 반복하여 검증하면서 연구 목적에 맞는 분류 결과를 보장하고자 하였다.

넷째, 최종 판정을 기준으로 학생들의 인지 수준을 고려했을 때 어렵다고 판단되는 형식적 조작기(3A 및 3B 단계)에 속하는 개념들만 따로 분류하여 교과서 서술 내용, 판정 근거, 학생의 인지 수준을 고려한 적절한 학년 또는 현 교육과정에서 적절한 교육 방법을 인지 수준을 근거로 정리하였다.

다섯째, 분석된 3A와 3B에 해당하는 개념들이 사용하는 수학적 기술을 중점적으로 분석하기 위해 비례, 수리적 조작, 확률, 상관 등 수학적 개념이 많이 포함된 분류들 2를 중심으로 학습 요소들을 재정리하였다.

마지막으로, 학생들이 학습에 어려움을 느낄 수 있다고 생각되는 3A와 3B에 해당하는 화학 및 생물 학습 요소들을 배우는 학년, 인지 수준, 필요한 논리 유형, 관련 수학 개념을 표로 정리하여 각 학습 요소와 중학교 수학 영역과의 관련성을 인지적 측면에서 종합적으로 확인할 수 있도록 하였다.

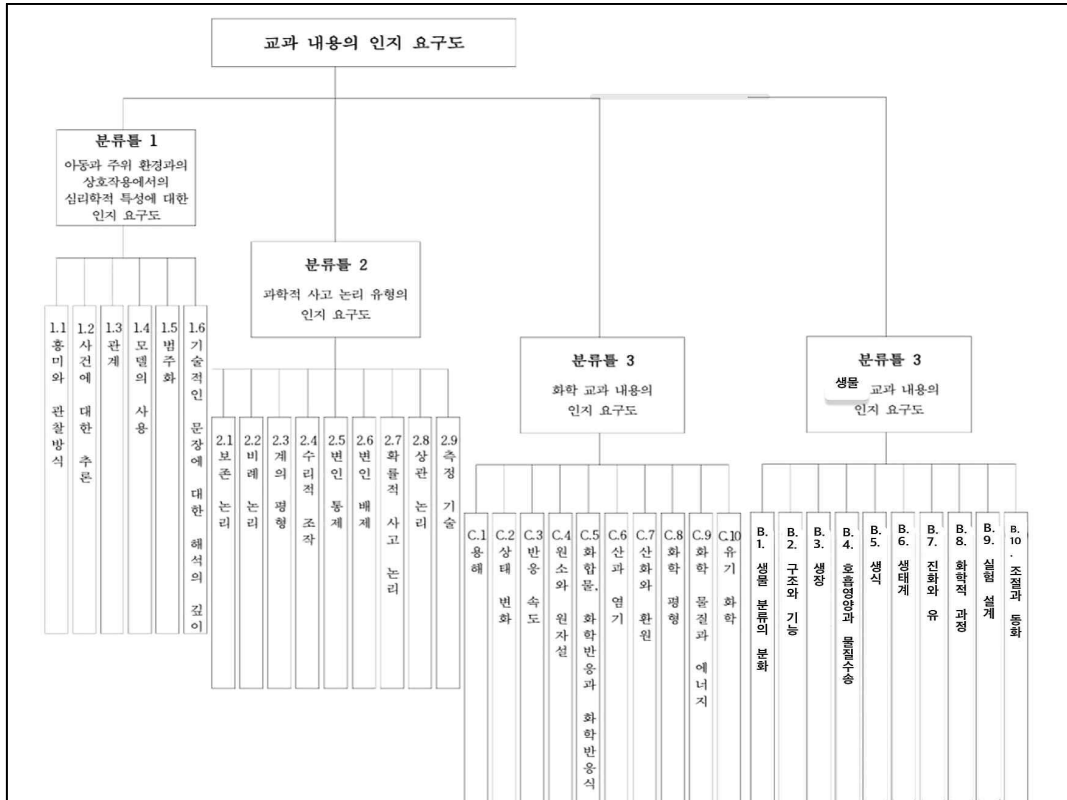


Figure 2. Classification framework for cognitive require of scientific content

III. 연구 결과

1. 중학교 학생들의 인지 수준에 관한 문헌 조사

연구 논문(Kang *et al.*, 1998)에서 중.고등학교 학생들을 대상으로 GALT를 사용하여 측정된 인지 수준 자료를 재구성한 결과는 Table 2과 같다.

GALT 완본과 축소본의 인지 수준 결과가 차이가 나므로, 본 연구에서는 축소본을 기준으로 분석하였다. GALT 검사의 인지 수준 단계는 구체적 조작기는 2A 단계로 전환기는 2B 또는 3A 단계로, 형식적 조작기는 3B 단계로 CAT 분류틀의 인지 수준 분류와 대응된다.

1학년의 경우 구체적 조작기(2A), 전환기(2B/3A), 형식적 조작기(3B)에 속하는 학생 비율이 평균적으로

각각 45.9%, 36.0%, 12.1%를 나타냈다. 최소 45.9% 즉, 1학년의 절반에 가까운 학생은 구체적 조작기에 해당하며 2B 단계와 3A 단계가 혼재된 전환기 학생들의 비율까지 고려해 본다면 학급에서 최대 약 80% 정도의 학생이 구체적 조작 단계일 것이라고 예상할 수 있다. 따라서 3A 및 3B와 같은 형식적 조작 단계에 속하는 개념의 경우 많은 학생들의 인지 수준과 불일치될 가능성이 높으므로 1학년 교육 과정으로 편성하는 것을 지양하는 것이 옳다고 판단된다.

2학년의 경우 구체적 조작기(2A), 전환기(2B/3A), 형식적 조작기(3B)에 속하는 학생 비율이 평균적으로 각각 40.9%, 42.5%, 16.6%로 나타났다. 1학년에 비해 구체적 조작기에 속하는 학생 비율은 감소하고, 형식적 조작 단계에 속하는 학생 비율은 증가하였으나 그 폭이 크지 않으므로 1학년과 마찬가지로 여전히

Table 2. The distribution of cognitive levels among middle school students measured by GALT

학년	GALT version	최저 ~ 최고 인지 수준 범위(평균) (%)		
		구체적	전환기	형식적
7학년 (중1)	완본	60.6 ~ 85.3 (70.2)	13.7 ~ 36.5 (27.6)	0.0 ~ 3.8 (2.3)
	축소본	33.3 ~ 60.0 (45.9)	30.0 ~ 44.4 (36.0)	9.3 ~ 31.0 (12.1)
8학년 (중2)	완본	44.2 ~ 68.1 (58.8)	28.5 ~ 47.1 (36.2)	3.0 ~ 8.7 (5.0)
	축소본	25.2 ~ 53.4 (40.9)	33.1 ~ 56.6 (42.5)	9.0 ~ 31.4 (16.6)
9학년 (중3)	완본	31.1 ~ 55.5 (31.7)	37.1 ~ 52.3 (46.8)	7.4 ~ 17.7 (13.7)
	축소본	21.0 ~ 37.5 (27.5)	38.0 ~ 48.4 (43.2)	23.3 ~ 34.5 (29.3)

구체적 조작 단계에 속하는 학생 비율이 형식적 조작 단계에 속하는 학생 비율보다 더 높다고 할 수 있다. 그러나 2B와 3A 단계가 혼재되어 있는 전환기 학생 비율이 42.5%로 1학년 때보다 증가하였으므로 3A 단계의 인지 수준에 해당하는 학습 개념의 경우 학생들에게 도전적 학습 과제로 제시하는 것을 고려해 볼만 하다고 판단 된다. 하지만 여전히 완전히 형식적 조작 단계의 사고가 가능한 학생의 비율은 16.6%로 학급에서 일부의 학생들만이 형식적 조작 단계를 소화할 수 있으므로 3B 단계에 해당하는 개념의 경우는 교육 과정상 편성을 지양하는 것이 옳다고 생각한다.

3학년의 경우 구체적 조작기(2A), 전환기(2B/3A), 형식적 조작기(3B)에 속하는 학생 비율이 평균적으로 각각 27.5%, 43.2%, 29.3%를 나타냈다. 3학년의 경우 형식적 조작 단계에 속하는 학생 비율과 전환기 단계에 속하는 학생 비율까지 고려한다면 2학년에 비해 더 높은 비율의 학생들이 3A 단계의 내용을 학습할 준비가 되어있으므로 교육 과정에서 초기 형식적 조작 단계에 속하는 개념 편성을 고려해 볼만 하다. 하지만 중학교 3학년이 되어도 형식적 조작기에 완전히 도달한 학생들의 평균 비율이 29.3% 정도밖에 되지 않으므로 3B의 개념은 여전히 중학교 3학년 70% 이상의 학생들의 인지 수준과 불일치가 발생할 가능성이 크다. 따라서 3B에 해당하는 개념의 경우 구체적 혹은 초기 형식적 조작 수준의 인지 수준으로 하향 조정하여 설명이 불가능한 경우 성숙에 의해 형식적 조작 단계의 학생 비율이 더 높아질 가능성이 높은 중학교 3학년 2학기 과정으로 학습 순서를 미루거나 혹은 고등학교 교육 과정으로 편성하는 것이 인지

수준 측면에서는 타당하다고 보인다.

정리하면 중학교 학년이 증가할수록 점차 구체적 조작기에 속하는 학생 비율은 감소하고 형식적 조작기에 속하는 학생 비율이 증가하는 경향을 보이며 이를 통해 학생들이 구체적 조작기에서 점차 형식적 조작기로 인지 수준이 발달하고 있음을 알 수 있다. 하지만 중학교 3학년이 되어도 완전히 형식적 조작 수준에 도달한 학생이 29.3% 정도밖에 되지 않으므로 중학교 전 학년에서 3A 이상의 형식적 조작 수준을 나타내는 개념의 경우 많은 비율의 학생들이 그 개념을 이해하는 데 인지적으로 어려움을 겪을 가능성이 크다. 따라서 학습 요소 중 3A 및 3B 단계에 해당하는 학습 요소들을 중심으로 CAT을 활용한 분석을 통해 학생들이 학습에 어려움을 겪는 원인을 인지적 측면에서 살펴보고 현 교육 과정에서 인지 수준을 고려한 적절한 교육 방법 또는 학년을 제안하고자 한다.

2. 수학 개념이 필요한 중학교 과학 개념과 서술 내용의 인지 요구 수준 분석

CAT의 분류 체계(Shayer & Adey, 1981)에는 분류틀 1(Taxonomy 1)과 분류틀 2(Taxonomy 2)와 더불어 화학(Chemistry), 생물학(biology)에서 아동들이 학습해야 하는 과학 개념에 대한 인지 요구도를 주제(topic)별로 정리한 분류틀 3(Taxonomy 3)이 있다. 따라서 교과서 분석의 편의성을 위해 수학과 연관된 과학 학습 요소를 화학, 생물 영역으로 분류하여 다음과 같이 정리하였다.

Table 3. Mathematics integration in middle school chemistry curriculum

학년	대단원명	학습 요소	관련 수학 영역
1	기체의 성질	기체의 압력과 부피 관계	함수
		기체의 온도와 부피 관계	함수
	물질의 상태변화	상태변화	함수
	물질의 구성	원자	수와 연산, 함수
		원소기호	수와 연산, 함수
이온		수와 연산	
이온식		수와 연산, 문자와 식, 함수	
2	물질의 특성	순물질, 혼합물	함수
		끓는점	함수
		녹는점	함수
		밀도	수와 연산, 문자와 식
		용해도	함수
		증류	함수
		재결정	함수, 수와 연산
열과 우리 생활	열평형	함수	
	비열	수와 연산, 문자와 식, 함수	
	화학 반응식	수와 연산, 문자와 식	
3	화학 반응의 규칙과 에너지 변화	질량 보존 법칙	수와 연산
		일정 성분비 법칙	수와 연산, 확률과 통계, 함수
		기체 반응 법칙	수와 연산

1) 화학 영역

Shayer & Adey (1981)에 따르면 화학은 역사적인 실천과 심리학적 요구가 모두 잘 정립된 계층 구조를 나타내는 특징이 있다. 따라서 화학 교육에서는 서로

다른 수준의 화학 '게임'이 진행되는데, 이러한 수준 간의 차이로 인해 교수자들이 화학 수업의 확장에 있어 직면하는 고유한 어려움이 있다고 설명했다. 이러한 화학 교과 고유의 특성과 더불어 수학 관련 화학 개념을 학습 시 학생들이 인지적 측면에서 어떤 어려

Table 4. Analysis of solubility in the middle school chemistry curriculum for second graders.

학습 요소 및 영역	용해도
교과서 서술 내용	<p>어떤 온도에서 용매 100 g에 최대 녹을 수 있는 용질의 질량(g)을 그 물질의 용해도라고 한다. 용해도 곡선을 통해 대부분의 고체는 온도가 높을수록 용해도가 커지는 것을 알 수 있으며, 용액의 온도가 낮아지면 용해도 차이만큼 용질이 석출된다. 기체는 온도가 높을수록 압력이 낮을수록 용해도가 작아진다.</p> <p>(고체의 용해도)</p> <p>물질의 종류에 따라 같은 양의 물에 녹는 양이 다름을 알아본다.</p> <p>물 10 mL에 질산 칼륨의 양을 다르게 하여 모두 녹인 후 냉각하여 석출되기 시작할 때 물의 온도를 측정하여 그래프로 나타낸다. 이를 통해 물에 녹는 질산 칼륨의 양은 물의 온도에 따라 어떻게 변하는지 설명해본다.</p> <p>(기체의 용해도)</p> <p>탄산음료를 넣은 컵이 80 °C와 찬물 중에서 거품이 더 많이 나오는 쪽을 찾아보고 그 이유를 기체의 용해도와 관련 짓는다.</p>
대단원 마무리	<p>온도와 압력이 다른 6가지의 탄산음료들의 용해도를 비교할 수 있다(Kim et al., 2020a, p. 232).</p> <div data-bbox="587 963 1232 1187" style="text-align: center;"> </div>
판정 근거	<p>1.1-2B : 실험 결과를 구조화하기 위한 구체적 모델을 필요로 한다. 분류들을 알려줘야 하고, 적용된 예를 보여줘야 한다. -이것이 올라가면 저것은 내려간다(온도가 올라가면 고체의 용해도는 대체로 증가한다).</p> <p>1.2-2B : 연상적인 상관관계를 부분적으로 정량화하기 위해 관계를 서열화 할 수 있다(온도가 높을수록 물에 녹는 질산 칼륨의 양도 증가한다).</p> <p>1.3-3A : 두 개의 독립 변수 사이의 보상 관계를 사용한다(기체의 용해도는 압력과 온도에 모두 관련 있음을 안다).</p> <p>1.6-2B : 묘사된 상황에 대하여 원인(온도가 올라가면)과 결과(기체의 용해도는 감소)를 기술하는데 그친다.</p> <p>2.2-3A : 간단한 정수의 비를 이해할 수 있다(물 10 mL에서 각 물질의 용해도 계산).</p> <p>2.4-3A : $?-7=7-3$을 양변에 같은 수를 더하거나 빼는 일련의 계산으로 풀 수 있다(석출되는 질산 칼륨의 양 계산하기).</p> <p>2.5-3B : 탄산 음료의 압력과 온도가 다른 시험관 6개를 비교하여 기체의 용해도가 큰 시험관과 기체의 용해도가 작은 시험관을 찾는 등 실험들로 각 변인의 유무를 경제적으로 선택할 수 있다.</p> <p>2.9-3A : 고차식 그래프(고체의 용해도 곡선) 관계를 해석하고 문제 해결을 위해 연산을 사용한다.</p> <p>분류틀 3</p> <p>C.1-2B : 용해의 과정이 가역적임을 설명한다.</p>
현 교육과정에서 적절한 교육 방법 제안	<p>고체의 용해도를 이해하기 위해서는 3A의 인지 수준이 필요하지만, 대단원 마무리에 제시된 문제를 해결하기 위해서는 압력과 온도라는 두 변인이 모두 변화된 6개의 시험관에서 기체의 용해도를 비교하기 위해 변인들의 영향을 경제적으로 선택할 수 있어야 하므로 3B의 인지 수준이 필요하다. 형식적 조작기에 도달한 일부 학생들의 경우 이 문제를 무리 없이 풀 수 있겠지만 구체적 조작기의 학생들에게는 인지적 불일치로 인해 해결이 어려울 수 있다. 따라서 온도를 통제하고 압력(고무마개 유무)을 변화시킨 시험관을 비교한 실험과 압력(고무마개 유무)을 통제하고 온도를 변화시킨 비슷한 두 실험 결과를 먼저 비교하도록 하는 문제를 먼저 제시한다면 3A 수준의 변인 통제 및 배제를 사용하므로 좀 더 낮은 단계의 인지 수준으로 접근이 가능할 것이다.</p>

음을 겪을 수 있는지 분석하고자 먼저 수학과 연관된 화학 학습 요소들을 추출하였다. 화학 교과와 수학 교과의 연관성은 2015 중학교 수학 교육 내용을 구성하고 있는 5가지 영역인 ‘수와 연산’, ‘문자와 식’, ‘함수’, ‘기하’, ‘확률과 통계’의 개념 사용 유무를 통해 판단하였으며 추출된 수학 관련 화학학습 요소들을 학년별, 단원별로 정리하면 Table 3과 같다.

Table 3에 나타난 수학과 관련된 20개의 화학 학습 요소들을 분류틀 1, 2, 3을 활용하여 학습에 필요한 인지 수준을 분석하였으며 이 중 중학교 2학년 용해도의 분석 결과를 예로 제시하면 Table 4과 같다.

용해도의 경우, 단원 마무리의 문제가 3B 수준이고, 기체의 용해도 개념 이해에는 그보다 낮은 3A 인지 수준이 요구되므로 개념 이해보다는 대단원 문제를 해결하는 과정에서 학생들이 더욱 어려움을 겪을 가능성이 크다. 따라서 대단원 마무리의 문제를 형식적 조작 학생들이 해결할 수 있는 변별 문제로 활용하거나 온도와 압력이라는 두 변인 중 하나의 변인을 통제하고 온도(또는 압력)와 기체의 용해도를 해석하는 문제로 제시한다면 좀 더 낮은 인지 수준을 나타내는 문항으로 만들어 활용할 수 있다. 이러한 방식으로 수학과 연관성이 높은 화학 영역의 20개의 학습 요소들이 요구하는 인지 수준을 분석하였으며, 최종 판정 결과를 인지 수준별로 Table 5와 같이 정리하였다.

분석 결과를 종합하면 1학년의 경우 기체의 압력과 부피 관계, 기체의 온도와 부피 관계, 상태변화의 개념이 초기 형식적 조작 단계(3A)에 해당하는 것으로 분석되었다. 하지만 중학교 1학년의 경우, 형식적 조작기에 도달하는 학생들의 평균이 12.1%에 미치는 것으로 보아, 입자 운동 모형을 통해 현상을 설명하는 형식적 모델의 사용은 적절하지 않는 학습 요소들이

라고 할 수 있다. 2학년의 경우 초기 형식적 조작기(3A) 수준에 해당하는 원자, 원소 기호, 증류, 재결정, 열평형뿐만 아니라 밀도, 용해도, 비열과 같은 후기 형식적 조작 수준(3B)의 학습 요소도 존재하는 것으로 분석되었다. 눈에 보이지 않는 입자의 세계를 모형으로 표현한 원자, 원소 기호의 경우 실험 수행, 구체물을 통해 제작된 모형 활동 등 2B 수준의 활동을 병행하고 고차식의 그래프 해석이 필요한 증류, 재결정, 열평형의 경우는 그래프 해석에 필요한 측정 기술을 2B 수준에서 수행할 수 있도록 학생들에게 도움을 준다면 인지 수준에 맞춘 수업을 진행할 수 있을 것이다. 이는 59.1%가 3A 인지 수준에 도달하는 중학교 2학년에게 후기 형식적 조작(3B)수준으로 판정된 밀도, 용해도, 비열의 학습 요소는 형식적 조작기에 도달한 일부 학생들만이 완전히 이해할 수 있는 수준이다. 밀도와 비열의 경우 개념을 이해하기 위해 3B 인지 수준이 필요하므로 학생들이 학습에 어려움을 겪을 가능성이 크다. 특히 비열의 경우 질량, 열량, 온도 변화라는 3개의 변인이 관련된 개념이므로 형식적 조작기에 도달한 학생의 비율이 좀 더 많아지는 3학년 과정으로 편성을 변경하는 것이 옳다고 판단되었다. 3학년의 경우, 화학 반응식, 질량 보존의 법칙, 일정 성분비 법칙, 기체 반응 법칙의 개념이 초기 형식적 조작기(3A) 수준에 해당하는 것으로 분석되었다. 해당 내용은 모두 화학 변환 및 화학 반응과 화학 반응식과의 관계와 연관되어 있으므로 분류틀 C.5에 의해 초기 형식적 조작(3A) 수준으로 판정되었다. 또한 단순한 덧셈 수준의 수리적 계산을 요구하는 질량 보존 법칙을 제외하면 2:16은 1:8과 같다는 정도의 비례 논리를 사용할 수 있어야 하므로 수리적으로도 3A의 인지 수준이 필요하다고 할 수 있다. 따라서 3학년

Table 5. Cognitive levels required by learning elements in middle school chemistry

학년	학습 요소들이 요구하는 인지 수준			
	2A	2B	3A	3B
1			기체의 압력과 부피 관계 기체의 온도와 부피 관계 상태 변화	
2		순물질, 혼합물 끓는점 녹는점 이온 이온식	원자 원소 기호 증류 재결정 열평형	밀도 용해도 비열
3			화학 반응식 질량 보존의 법칙 일정 성분비 법칙 기체 반응 법칙	

수학 관련 화학 학습 요소들을 지도할 때는 실물을 활용한 구체적 모형을 사용하여 학생들의 이해를 돕고 수리적 조작을 충분히 연습할 수 있도록 기회를 제공하는 등 적절한 교수 학습 전략을 사용한다면 GALT 축소본을 기준으로 전환기 및 형식적 조작기에 도달한 70%가 넘는 학생들이 충분히 학습할 수 있는 수준이라 판단되었다.

2) 생물 영역

Shayer & Adey (1981)에 따르면 생물학의 실험 설계 방법은 설명하기 쉽고 지적 요구가 정교하지만 개념은 거의 모든 인지 수준에서 어느 정도 실현될 수 있어서 CAT과 같은 교육과정 분석 방법을 적용하기가 어렵다고 하였다. 즉 낮은 수준, 중간 수준, 높은 수준의 서로 다른 주제 사이에 복잡한 상호관계 웹이 있다는 뜻이며 학생들의 연령과 능력에 따라 실행 가능한 교육 순서를 자연스럽게 정할 수 있는 특성이 있다고 하였다. 이러한 생물 교과 고유의 특성을 반영하여 수학 관련 생물 개념을 학습 시 학생들이 인지적 측면에서 어떤 어려움을 겪을 수 있는지 분석하고자, 수학과 연관된 생물학습 요소들을 추출하였다. 생물의 경우 화학 영역에 비해 수학과 관련된 학습 요소들의 수가 적은 편이었으며 추출된 수학 관련 생물 학습 요소들을 학년별, 단원별로 정리하면 Table 6과 같다.

Table 6에 나타난 수학과 관련된 7개의 생물 학습 요소들을 분류틀 1, 2, 3을 활용하여 학습에 필요한 인지 수준을 분석하였으며 이 중 중학교 3학년 멘델의 유전 법칙의 분석 결과를 예로 제시하면 Table 7과 같다.

멘델의 유전법칙(독립의 법칙)의 경우, 중학교 3학년 학생들의 인지 수준을 고려할 때, 본문의 내용은 3B 수준의 상관 논리가 필요하다. 중학교 3학년 학생들 중 형식적 조작기에 도달한 비율은 29.3%로, 초기 형식적 조작 수준(3A)의 학습은 70% 이상의 학생들

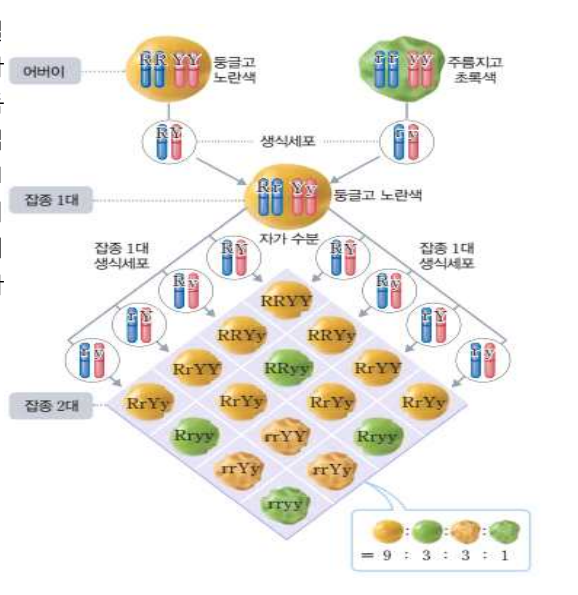
에게는 학습 가능한 주제로 간주될 수 있다. 그러나 이후의 학습 단계인 후기 형식적 조작 수준(3B)의 개념은 학생들의 인지 수준과 큰 차이를 보일 가능성이 있다. 이에 교사는 Piaget의 학습 원리 중 '한계'를 활용하여 아동이 이해할 준비가 될 때까지 어떤 주제에 대해 가르치는 것을 미루고, 3학년 과정 중 더 나중에 배울 수 있도록 내용을 재구성하여 가르치는 것이 효과적일 것이다. 이러한 분석 과정으로 수학과 연관성이 높은 생물 영역의 7개의 학습 요소들이 요구하는 인지 수준을 탐색하고 그 의미를 도출하였다. 최종 판정 내용에 대한 인지 수준별로 정리한 결과를 Table 8에서 확인 할 수 있다.

2학년에서 광합성에 영향을 미치는 요인과 물의 이동과 증산 작용 부분이 초기 형식적 조작기(3A)에 속하는 것으로 분석되었다. 중학교 2학년의 수학과 연계된 생물 학습 요소들은 변인 간의 관계를 포함한 해석이 필요하므로 측정 기술 면에서 초기 형식적 수준(3A)의 인지 구조가 요구되었다. 3학년의 경우 체세포 분열과 분리의 법칙은 초기 형식적 조작(3A)수준으로 독립의 법칙, 사람의 유전 형질 및 가계도 조사 방법은 후기 형식적 조작(3B) 수준을 나타내는 것으로 분석되었다. 다행히 교과서에는 이를 보완할 수 있는 구체적 수준의 서술과 삽화가 동반되고 있으므로 교과서의 구성을 적절히 활용한다면 학생들의 인지 수준에 맞는 수업을 진행할 수 있을 것이다. 예를 들어 교과서에서는 500원 동전을 활용한 활동을 통해 상황을 설명하며, 이는 3A 수준의 상관 논리를 요구하지만 학생들에게 보다 친숙한 물체로 이해를 돕는다. 또한, 멘델의 유전 원리를 이해하기 위해 흰색과 검은색 바둑알을 사용하여 대립 유전자를 비유하는 활동이 제시되었다. 이는 분류틀 2.7에 따라 2B 수준의 확률적 사고가 요구되므로 분리의 법칙을 구체적으로 이해하는데 도움이 될 것이다. 하지만 상관 논리의 이해 또한 높은 인지적 수준을 요구하므로, 학생들이 이해할 준비가 될 때까지 해당 주제를 미루고 나중에 다시 가르치는 전략을 활용하는 것이 효과적일 것이다.

Table 6. Mathematics integration in middle school biology curriculum

학년	대단원명	학습 요소	관련 수학 영역
2	식물과 에너지	광합성에 영향을 미치는 요인	함수
		물의 이동과 증산 작용	함수
		식물의 호흡과 광합성의 관계	벤다이어그램
3	생식과 유전	체세포 분열	기하, 수와 연산
		멘델의 유전 법칙(분리의 법칙)	확률과 통계
		멘델의 유전 법칙(독립의 법칙)	확률과 통계
		사람의 유전 형질	확률과 통계
		가계도 조사 방법	확률과 통계

Table 7. Analysis of Mendel's law of genetics (law of independent assortment) in middle school G9 biology domain

학습 요소 및 영역	멘델의 유전 법칙(독립의 법칙)	
교과서 서술 내용	<p>두 가지 이상의 형질이 함께 유전될 때, 한 형질을 나타내는 대립유전자 쌍은 다른 형질을 나타내는 대립유전자 쌍에 의해 영향을 받지 않고 독립적으로 분리되어 유전되는데, 이를 독립의 법칙이라고 한다. 순종의 완두를 교배하여 잡종 1대를 얻은 다음, 자가 수분하여 얻은 잡종 2대의 유전자형과 표현형을 나타낸 것을 보고 표현형의 분리비가 9:3:3:1로 나타나는 이유를 알아본다 (Kim <i>et al.</i>, 2020b, p. 197).</p>	
판정 근거	<p>분류틀 2.8-3B : 어떤 짝짓기에 반대되는 짝짓기도 똑같이 중요함을 깨닫는다. 등골면서 황색 완두. 주름지면서 초록색 완두인 경우를 짝짓고 반대의 경우(등골면서 초록색, 주름지면서 황색)와 비교함.</p> <p>분류틀 3 B.7-3A : 동시에 작용하는 원인-결과 또는 다원인-다결과 조차도 받아들인다. 하지만 연속되는 과정으로 통합되지는 않고 일련의 작은 단계의 과정으로만 본다.</p>	
현 교육과정에서 적절한 교육 방법 제안	<p>두 가지 이상의 대립 형질에 의해 나타날 수 있는 모든 경우의 수를 교과서에서 시각화하여 표현하여 학생들의 이해를 돕고자 했다. 하지만 상관 논리 자체가 높은 인지적 수준을 요구하므로 아동이 이해할 준비가 될 때까지 어떤 주제에 대해 가르치는 것을 미루는 전략을 사용하여(Piaget의 학습 원리 중 '한계') 3학년 과정 중 더 나중 에 배울 수 있도록 교사가 재구성하여 가르치는 것이 효과적일 수 있다.</p>	

종합하자면, 화학 영역에서는 총 20개의 학습 요소 중 2B에 해당하는 5개를 제외하고 15개의 학습 요소가 3A 또는 3B의 인지 수준을 요구하므로 수학과 관련된 화학학습 요소의 75%가 형식적 조작 단계에 해당한다고 할 수 있다. 앞서 GALT 축소본을 통해 중학교 3학년에서 평균적으로 29.3%만이 완전히 형식적 조작 단계에 도달했음을 고려해볼 때 중학교 전반에서 수학과 관련된 화학학습 요소들을 학습 시 학생들이 인지적인 측면에서 어려움을 겪을 가능성이 높다. 그리고 생물 영역의 경우 물리, 화학, 지구 과학과 비교하여 수학과 관련된 학습 요소의 수가 적은

편이었다. 총 7개의 수학 관련 학습 요소 중 4개가 3학년에 배치되어 있었으며 이 중 2개는 3B 수준의 상관 논리가 필요하므로 형식적 조작기에 도달하지 못한 학생들이 이해하기 어려운 개념이다. 따라서 최대한 많은 학생들이 형식적 조작수준에 도달할 때까지 가르치는 것을 미루는 전략을 사용하도록 3학년 과정 중 가장 나중에 배울 수 있도록 교육과정을 재구성하거나 중학교 교육과정에서는 제외하고 고등학교 교육과정에서 학습할 수 있도록 교육과정 편성을 변경하는 것도 하나의 방법이 될 수 있다.

Table 8. Cognitive levels required by learning elements in middle school science biology

학년	학습 요소들이 요구하는 인지 수준			
	2A	2B	3A	3B
2	식물의 호흡과 광합성의 관계		광합성에 영향을 미치는 요인 물의 이동과 증산 작용	
3		체세포 분열	분리의 법칙	독립의 법칙 사람의 유전형질 및 가계도 조사 방법

3. 과학적 사고에 필요한 논리 유형별 학습 요소 정리

지금까지 분석된 수학과 관련된 과학 학습 내용들이 요구하는 인지 수준을 수학적 기술과 가장 관련 깊은 분류틀 2의 과학 학습에 요구되는 논리 유형을 중심을 정리해 보았다. 앞서 연구 방법에서 언급했던 바와 같이, 본 연구에서 사용한 논리 유형은 CSMS 연구팀에서 과학적 사고에서 구체적으로 나타나는 논리 유형 9가지를 기반으로 하였다. 이는 학생들의 인지 발달을 촉진할 수 있는 요소로서 과학 교사나 학생들이 교수-학습 전략을 세우고 과학을 학습하는 데 도움이 되는 보존 논리, 비례 논리 수리적 조작, 변인 통제, 변인 배제, 상관 논리, 측정 기술을 포함한다 (Shayer & Adey, 1981). 과학적 사고를 요구하는 논리 유형을 기준으로 형식적 조작기에 해당하는 3A 및 3B에 해당하는 개념들만 따로 정리하면 Table 9과 같다. 분류틀 1 또는 3에 의해 3A 또는 3B로 분류된

학습 요소의 경우는 따로 분류하여 정리하였다.

화학 분야의 경우 3A 이상의 인지 수준에 속하는 수학과 연계된 학습 요소들이 함수로 주어지는 비례 관계를 이용하거나(분류틀 2.2), 비례관계를 $W_1H_1 = W_2H_2$ 와 같은 식을 통해 계산할 수 있거나(분류틀 2.4), 고차식의 그래프를 해석하고 연산을 통해 문제를 해결할 수 있는 과학적 사고 유형(분류틀 2.9)이 많이 필요하다는 공통점이 있기에 이와 관련된 수학 내용 측면에서 학생들이 인지적 어려움을 겪을 것이라고 예상할 수 있다. 반면 생물 분야에서는 수학과 관련된 학습 요소 중 일부가 개념 이해를 위해 3A 이상의 상관 논리가 필요한 경우가 있어 학생들이 학습에 어려움을 겪을 수 있다. 결국, 같은 단계(3A)일지라도 논리적 사고의 방식 측면에서 학생들이 학습에 어려움을 겪을 수 있는 원인이 화학과 차별화되는 부분이 있었다. 화학의 학습 요소 중 일부는 2B 이하의 비교적 간단한 수학적 조작이 필요하나 서술 방식이나 모델 사용 등 개념적인 측면에서 3A의 인지 수준

Table 9. The learning elements by logical types required for scientific thinking

논리유형	영역	화학	생물
2.1 보존논리		증류(2학년, 3A) 재결정(2학년, 3A)	
2.2 비례논리		기체의 압력과 부피 관계(1학년, 3A) 원자(2학년, 3A) 화학 반응식(3학년, 3A) 일정 성분비 법칙(3학년, 3A) 기체 반응 법칙(3학년, 3A)	
2.4 수리적 조작		기체의 압력과 부피 관계(1학년, 3A) 비열(2학년, 3B)	
2.5 변인 통제		용해도(2학년, 3B)	
2.6 변인 배제			
2.8 상관 논리			분리의 법칙(3학년, 3A) 독립의 법칙(3학년, 3B) 사람의 유전형질 및 가계도 조사 방법(3학년, 3B)
2.9 측정기술		증류(2학년, 3A) 재결정(2학년, 3A) 열평형(2학년, 3A) 일정 성분비 법칙(3학년, 3A)	광합성에 영향을 미치는 요인(2학년, 3A) 물의 이동과 증산 작용(2학년, 3A)
분류틀 1		기체의 온도와 부피 관계(1학년, 3A) 원소 기호(2학년, 3A) 상태 변화(2학년, 3A) 밀도(2학년, 3B) 질량 보존 법칙(3학년, 3A)	
분류틀 3		질량 보존 법칙(3학년, 3A)	

을 나타내는 경우도 있었다. 따라서, 교사들은 각 과학 분야에서 학생들이 과학 학습에 필요한 논리를 이해하는 데 차이가 있을 수 있다는 사실을 받아들여야 한다. 즉, 교사들은 학생들이 특정 학습 요소를 이해하는 데 어려움을 겪는 이유가 다양한 인지적 측면에 기인할 수 있다는 점을 염두에 두고 교육을 계획하고 실행해야 할 것이다.

4. 형식적 조작 단계의 학습 요소 종합 정리

지금까지 분석된 형식적 조작 단계인 3A 및 3B 인지 수준을 나타내는 학습 요소들을 학년별, 영역별, 과학적 사고-논리 유형, 관련 수학 영역으로 다시 분류하여 Table 10과 Table 11에 종합 정리하였다. 과학적 사고에 필요한 논리 유형(이하, 과학적 사고-논리 유형)은 분류틀 2의 논리 유형을 기준으로 정리하였고, 분류틀 2에 의해 3A 또는 3B로 분류되지 않은 요소들은 해당하는 분류틀의 숫자(1-분류틀 1에 의해 분류, 3-분류틀 3에 의해 분류)로 표기하였다.

Table 10에 제시된 바와 같이, 화학과 관련성이 높은 수학 영역은 함수, 수와 연산, 문자와 식, 확률과 통계 순으로 함수가 가장 화학 학습에 많이 활용되는

것을 알 수 있다. 수학 관련 화학 내용에서 3A 및 3B 단계를 학습하는데 사용되는 과학적 사고 논리 유형은 비례 논리가 가장 많았고 측정 기술이 두 번째로 많았다. 따라서 화학학습 시 3A 인지 수준에 해당하는 함수로 주어지는 비례관계를 이해하거나 고차식의 그래프 관계를 해석하고 문제 해결을 위해 연산을 사용하는 부분에서 학생들은 인지적으로 어려움을 겪을 수 있음을 알 수 있다.

Table 11에 제시된 바와 같이, 생물과 관련성이 높은 수학 영역은 확률과 통계, 함수순으로 확률과 통계가 가장 생물학습에 많이 활용되는 것을 알 수 있다. 수학 관련 생물 내용에서 3A 및 3B 단계를 학습하는데 사용되는 과학적 사고-논리 유형은 상관 논리가 가장 많았고 측정 기술이 두 번째로 많았다. 상관논리와 확률 통계는 데이터를 해석하고 추론하는데 사용되기 때문에 올바른 추론과 해석을 위해서는 상당한 수준의 추리력과 논리력이 필요하다. 따라서 생물 학습 시 3A 인지 수준에 해당하는 확률 통계와 상관논리를 통해 생물학적 데이터를 해석하는 과정에서 추상적인 수학 개념과 실제 생물학적 상황 사이의 연결에 어려움을 느낄 수 있다.

Table 10. Summary of chemistry domain

학년	학습 요소	인지 수준	과학적 사고-논리 유형	관련 수학 영역
1	기체의 압력과 부피 관계	3A	비례 논리, 수리적 조작	함수
	기체의 온도와 부피 관계	3A	1	함수
	상태변화	3A	1	함수
2	원자	3A	비례 논리	수와 연산, 함수
	원소기호	3A	1	수와 연산, 함수
	밀도	3B	1	수와 연산, 문자와 식
	용해도	3B	변인 통계	함수
	증류	3A	보존 논리, 측정 기술	함수
	재결정	3A	보존 논리, 측정 기술	함수, 수와 연산
	열평형	3A	측정 기술	함수
	비열	3B	수리적 조작	수와 연산, 문자와 식, 함수
3	화학 반응식	3A	비례 논리	수와 연산, 문자와 식
	질량 보존 법칙	3A	1, 3	수와 연산
	일정 성분비 법칙	3A	비례 논리, 측정 기술	수와 연산, 확률과 통계, 함수
	기체 반응 법칙	3A	비례 논리	수와 연산

Table 11. Summary of biology domain

학년	학습 요소	인지 수준	과학적 사고-논리 유형	관련 수학 영역
2	광합성에 영향을 미치는 요인	3A	측정 기술	함수
	물의 이동과 증산 작용	3A	측정 기술	함수
3	멘델의 유전 법칙(분리의 법칙)	3A	상관 논리	확률과 통계
	멘델의 유전 법칙(독립의 법칙)	3B	상관 논리	확률과 통계
	사람의 유전 형질 및 가계도 조사 방법	3B	상관 논리	확률과 통계

Table 10와 Table 11에서 볼 수 있듯 화학 영역에서는 수학과 연계된 학습 요소가 생물에 비해 많은 것을 볼 수 있으며 화학과 생물을 포괄하는 과학 교과 내용 중 가장 관련 깊은 수학 영역으로는 그래프를 그리고 해석하여 문제를 해결하는 ‘함수’임을 알 수 있다. 수학에서는 궁극적으로 함수 개념의 도입을 목적으로 좌표평면으로 이루어진 정형화된 형태의 그래프가 제시되고 있는 반면에 과학에서는 자연 현상을 표현하기 위하여 다양한 유형의 그래프가 제시되고 있으며, 시각적 형태의 변이가 이루어진 그래프들을 많이 볼 수 있다(Choi & Lee, 2023). 또한 과학에서는 그래프 해석과 추론 활동이 높은 비중을 차지하는 반면, 수학과에서는 그래프 구성과 해석 활동이 높은 비중을 차지하고 있다(Choi & Lee, 2023). 따라서 수학과 과학에서 다루는 그래프의 유형과 목적이 다르다는 점을 염두에 두고 수학에서 배운 함수 개념이 과학에 잘 전이되도록 수업을 계획하고 진행할 필요가 있다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 2015 개정 교육과정 과학 교육 내용 중 수학과 연계된 부분의 이해에 필요한 인지 수준을 분석하고 이를 문헌 연구를 통해 연구된 중학교 학생들의 평균적인 인지 수준에 비추어 각각의 학습 요소가 학생들의 인지 수준에 맞추어 잘 구성되어 있는지 분석하고자 하였다. 중학교 수학 및 과학교육 과정을 분석하여 수학과 연계된 화학 및 생물 학습 요소를 추출하였고, CSMS 프로그램에서 개발한 분석틀 CAT을 통해 과학 교과서의 서술 내용을 분석하여 학습에 필요한 인지 수준을 분석함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

우선, 화학의 경우 수학과 관련된 총 20개의 학습 요소 중 12개가 초기 형식적 조작 수준(3A)의 이해가, 3개가 후기 형식적 조작 수준(3B)의 이해가 필요하였다. 3A 및 3B에 해당하는 학습 요소들을 수학적 기술과 가장 관련 깊은 분류틀 2의 과학적 사고에 필요한 논리 유형을 중심으로 다시 분류해 보면 공통적으로 함수로 주어지는 비례관계를 이용하거나(분류틀 2.2), 비례관계를 $W_1H_1 = W_2H_2$ 와 같은 식을 통해 계산할 수 있거나(분류틀 2.4), 고차식의 그래프를 해석하고 연산을 통해 문제를 해결할 수 있는(분류틀 2.9) 인지 수준을 요구하는 경우가 많았다. 이는 모두 초기 형식적 조작 수준(3A)에 해당하므로 학생들이 학습 시 이러한 과학적 논리 유형을 사용하는 부분에서 인지적으로 어려움을 겪을 가능성이 크다. 또한 2학년의 밀도, 용

해도, 비열의 경우 후기 형식적 조작 수준(3B)의 수리적 조작과 측정 기술 등이 필요하므로 평균적인 학생들의 인지 수준과 가장 불일치가 심한 학습 요소로 판정되었다. 따라서 3학년으로 단원을 옮기거나 교과서 서술 수준을 좀 더 구체적 수준으로 낮추어 2학년 학생들의 이해를 돕는 등 교육 과정상의 조절이 필요해 보인다.

둘째, 생물 영역의 경우 다른 과학 영역과 비교하여 수학과 연계된 학습 요소의 수가 적은 편이었다. 생물의 경우 고차식의 그래프를 해석하거나 변인 간의 관계를 해석하는 초기 형식적 조작 수준(3A)의 측정 기술이 필요한 점은 다른 영역과 비슷하였으나 다른 영역에 비해 상관 논리가 필요한 학습 요소들이 다수 있었다. 상관 논리를 사용하는 예로 3학년의 독립의 법칙, 사람의 유전 형질 및 가계도 조사 방법의 경우가 있었는데 이는 형식적 조작 수준(3B)의 상관 논리가 필요하므로 생물 학습 요소 중 학생들이 이해하는데 가장 어려움을 겪을 것으로 예상된다. 따라서 이를 가르칠 때 교사들은 학생들의 이해를 돕기 위해 후기 구체적 조작 수준(2B)의 모델을 적극적으로 활용하는 등 교육과정의 재구성이 필요하다고 판단된다.

종합적으로 볼 때, 수학과 관련된 화학 및 생물 학습 요소들은 75%가 초기 형식적 조작 수준(3A) 이상의 인지 수준을 요구하므로 문헌 조사를 통해 밝혀진 학생들의 인지 수준에 비추어 볼 때 다소 이해하기 어렵다고 판단 된다. 하지만 Shayer & Adey (1981)에 따르면 학생의 인지 능력과 학습 내용 간의 불일치가 발생했을 때 학생들이 과목 전문가가 가르치기를 원하는 가장 정교한 수준에서 그 의미를 파악할 준비가 되지 않았다고 하여 대대적으로 교육과정을 버리는 것은 옳지 않은 전략이라고 하였다. 따라서 학습에 필요한 적합한 대체 목표를 찾거나 주제별로 목표를 분류하여 학생들이 주제에 의미를 부여할 수 있는 다양한 수준의 설명으로 이어지게 유도하는 등 다양한 교수 학습 전략을 사용하거나 불일치되는 교육 과정에만 초점을 맞추지 말고 학생들의 인지 수준을 높일 수 있는 인지 가속 전략(Cognitive acceleration)을 사용하는 것도 한 방법이라고 주장하였다.

끝으로 본 연구 결과를 통해 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, 중학교 과학 교과에서 수학과 연계된 학습 내용이 요구하는 인지 수준과 학생들의 인지 수준 사이의 불일치가 존재하므로 학생들의 인지 수준에 맞도록 학습 요소를 이동하거나 삭제하는 등 교육과정을 재구성할 필요가 있다. 또한 교실 환경에서는 구체적 조작기와 형식적 조작기 및 과도기에 해당하는 학생들이 혼재되어 있으므로 주제별로 다양한 목표를 제시하여 학생들의 인지 수준에 맞는 다양한 교육으로

이어질 수 있도록 교육과정을 구성하는 것이 좋다고 생각된다.

둘째, 현재는 과학에서 화학, 생물의 단원들이 학년별로 고르게 배치되어 있으나 수학과 연계된 학습 요소들이 요구하는 인지 수준에 맞추어 초기 형식적 조작 수준(3A) 및 후기 형식적 조작 수준(3B)에 해당하는 학습 요소들은 최소 2학년 2학기 이후에 배울 수 있도록 조정하는 것도 한 방법이라고 생각된다. 과학이라는 같은 범주에 들어가지만 화학, 생물은 세부적으로 그 학습 내용의 위계성의 유무 등 영역별 특성 차이가 분명히 존재한다. 따라서 기계적으로 두 가지의 학습 영역을 학년별로 고르게 배치하기보다는 중학교 3년 동안 두 영역을 고르게 배치하되, 1학년 때에는 구체적 조작기에 충분히 해결할 수 있는 학습 요소들을 많이 배치하고 학년이 올라갈수록 형식적 조작기가 되어야 해결할 수 있는 학습 요소들의 배치를 늘려간다면 학생들의 학습 효과가 극대화될 것이다.

셋째, 본 연구에서는 미래엔 교과서 1종류만으로 인지 수준을 분석하였기 때문에 이 연구 결과를 전체 중학교 과학 과정의 결과로 일반화하기에는 무리가 있다. 따라서 더욱 일반화된 결론을 도출하기 위해서는 다른 출판사에서 출판된 중학교 과학 교과서의 서술 내용의 인지 요구도 분석을 통해 이 연구와 비교 및 통합이 필요할 것이다.

넷째, 본 연구에서는 수학과 연계된 화학과 생물 학습 요소들만 인지 수준을 분석하였으나, 물리나 지구 과학 부분까지 종합하여 결론을 도출할 필요가 있다. 또한, 수학과 연계되지 않은 내용에서도 전체 과학 학습 요소들이 요구하는 인지 수준의 분석도 필요하다고 생각된다. 수학과 연계된 학습 요소들이 학생들의 인지 수준에 비해 높은 인지 수준의 이해를 요구하는 것은 사실이지만 수학과 연계되지 않은 학습 요소들에 비해 특별히 높은 인지 수준을 요구하는 것인지 비교 분석해 볼 수 있기 때문이다.

국 문 요 약

본 연구는 학생들이 과학 개념을 이해하는 데 어려움을 겪고 학습을 회피하는 이유를 파악하기 위해 학생들의 인지 수준과 수학과 관련된 과학 개념이 요구하는 인지 수준을 분석했다. 먼저, 2015 개정 교육 과정의 수학 및 과학 교육 과정을 분석하여 중학교 과학 내용 중 수학과 연계된 부분의 학습 요소를 추출했으며, CAT (Curriculum Analysis Taxonomy)을 이용하여 학습 내용에서 요구되는 인지 수준을 분석했다. 화학의 경우, 수학과 관련된 총 20개의 학습 요소 중 12개가 초기 형식적 조작

수준(3A)의 이해가 필요하며, 3개가 후기 형식적 조작 수준(3B)의 이해가 필요했다. 3A와 3B에 해당하는 학습 요소들에는 비례 논리, 수리적 조작, 측정 기술에 관련된 사고 논리 유형이 많이 사용되는 것을 확인했다. 생물의 경우, 수학과 관련된 총 7개의 학습 요소 중 3개가 초기 형식적 조작 수준(3A)의 이해가 필요하며, 2개가 후기 형식적 조작 수준(3B)의 이해가 필요했다. 3A와 3B에 해당하는 생물 요소들은 상관 논리에 해당하는 학습 요소가 많이 포함되어 있어 학생들이 어려움을 겪을 수 있는 인지적 원인이 화학 영역과는 다소 차이가 있었다. 이는 GALT 축소본을 통해 분석된 형식적 사고가 가능한 중학교 학생의 평균 비율이 1학년의 경우 12.1%, 2학년의 경우 16.6%, 3학년의 경우 29.3%임을 고려할 때, 학생들의 인지 수준에 비추어 수학과 연계된 화학 및 생물 학습 내용에서 요구하는 인지 수준이 더 높다고 할 수 있다.

주제어: 중학교 과학 교과서의 화학 및 생물 개념, 수학과 연계 과학 내용, 학생들의 인지 수준

References

- Ahn, S. (1990). The Developmental Level of Logical Thinking of Middle School Students in Seoul -Comparison with the Contents of Middle School Science Textbooks based on Piaget's Intellectual Types-. *Ewha Education Review*, 1, 207-227.
- Bell, E.T. (1931). *The Queen of Science*. Seoul: 1010.
- Choi, B., & Heo, M. (1987). Analysis of Middle School Students' Cognitive Levels and Science Curriculum Contents. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 7(1), 19-32.
- Choi, K., Seo, K., Hand, B., & Hwang, J. (2020). Use of Intellectual Resources between Mathematics and Science: An Empirical Study on Theoretical Models. *Mathematics Education*, 59(4), 405-420.
- Go, K. (2003). *A Study on the Relationship between Middle School Students' Cognitive Development Levels and the Level of Science Content in Biology Field in Science Textbooks* (Unpublished Master's dissertation). Kyungpook Sungkyunkwan

- University Graduate School of Education. Seoul. Korea.
- Kang, D., & Lee, B. (2020). Analysis of Mathematical Content Presented in Middle School Science Textbooks. *New Physics*, 7(1), 39-49.
- Kang, S., Bang, D., & Kim, S. (2012). Analysis of Cognitive Levels Required for Ion Bonded Compounds and Molecular Contents Described in Middle School Science 2 Textbooks (II). *Journal of the Korean Chemical Society*, 56(6), 739-750.
- Kang, S. (2002). *Cognitive Level of Students and Cognitive Demands of Curriculum Content in Science Teaching Strategies* (Unpublished Master's dissertation). Ewha Womans University College of Education. Seoul. Korea.
- Kang, S., Roh, J., & Park, J. (1998). A Survey Study on the GALT Full and Abbreviated Versions Used in Science Education Research. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 399-413.
- Kim, S., Park, S., Jung, M., Ryu, S., Kang, S., & Park, K. (2009). Comparative Analysis of Content Levels in High School Chemistry II Textbooks according to Cognitive Levels of High School 1st Grade Students and Teachers' Perceptions. *The Journal of Teacher Education*, 25(4), 152-167.
- Kim, S. G., Jo, Y. C., Choi, M. W., Kang, H. S., Jang, C. H., Kim, H. K., ... Ryu, M. I. (2020a). *Middle School Science 2*. Seoul: Mirae-N
- Kim, S. G., Jo, Y. C., Choi, M. W., Kang, H. S., Jang, C. H., Kim, H. K., ... Ryu, M. I. (2020b). *Middle School Science 3*. Seoul: Mirae-N
- Kim, Y. M., & Kim, S. H. (2009). A Meta-analysis on the Logical Thinking Ability of Korean Middle-School Students-Meta-analysis of the researches between 1980 and 2000. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 29(4), 437-449.
- Kwon, J. (2009). *An Analysis of the Cognitive Levels Required by the Biological Curriculum and the Relationship with the Cognitive Development Levels of Middle and High School Students according to the 7th Curriculum* (Unpublished Master's dissertation). Sungkyunkwan University Graduate School of Education. Seoul. Korea.
- Kwon, Y. (2021). *A Qualitative Case Study on the Learning Difficulties of Middle School Science Learning among Students with Low Mathematical Self-efficacy* (Master's Thesis). Ajou University Graduate School of Education.
- Lee, K. (2010). *A Study on the Correlation Analysis of Middle and High School Biology Textbooks Using Piaget's Cognitive Development Theory- Focusing on the 7th Curriculum* (Unpublished Master's dissertation). Kyung Hee University Graduate School of Education. Seoul. Korea.
- Moon, H., & Choi, B. (1987). A Study on the Relationship between High School Students' Intellectual Development Levels and the Manipulation Levels Required by Chemistry Contents. *Chemistry Education*, 14(2), 116-127.
- Park, J., Park, Y., & Kang, S. (2013). Analysis of Cognitive Levels Required for State Changes and Molecular Motion Contents in 'Science 1' Middle School Textbooks (III). *Journal of the Korean Chemical Society*, 57(5), 640-655.
- Park, J., Kang, S., Woo, A., & Heo, E. (1997). A Study on Teaching Methods Considering the Level of Scientific Thinking Ability Required by Middle School Chemistry Concepts and Students' Cognitive Levels. *Chemistry Education*, 23(4), 267-278.
- Park, J., Kang, S., & Heo, M. (1997). Middle School Students' Cognitive Levels and Science Curriculum Analysis. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 7(1), 19-32.
- Prihastuti, I., & Widodo, A. (2019). Teachers' Understanding about Cognitive Level on Science Test Items. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157.

- Seo, B., Kim, H., Kim, J., Kim, H., & Chae, J. (2008). Analysis of the Trend of Mathematics Understanding Affecting Science Learning and the Linkage of Curriculum. *Journal of the Korean School Mathematics Society*, 11(4), 677-694.
- Shayer, M., & Adey, P. (1981). *Towards a science of science teaching: Cognitive development and curriculum demand*. London, England: Heinemann.
- Shin, D., Choi, H., & Kim, B. (2020). A Study on the Perception of Chemistry Curriculum among Science High School Students: An Analysis of Factors Affecting Mathematics and Science Achievement. *Journal of the Korean Chemical Society*, 64(2), 119-129.
- Song, S., Park, G., Kim, D., Kim, E., & Park, K. (2005). Comparative Analysis of Content Levels in High School Chemistry II Textbooks according to Cognitive Levels of High School 3rd Grade Students. *Journal of the Korean Chemical Society*, 49(1), 96-104.
- Yook, S. (1997). *A Study on the Correlation between Middle School Science and Mathematics Curricula* (Unpublished Master's dissertation). Ewha Womans University College of Education. Seoul.

저 자 정 보

- 양 희 선 (한국교원대학교 강사)
- 조 향 래 (한국교원대학교 대학원생)
- 강 성 주 (한국교원대학교 교수)