

## 모델링을 통한 과학영재 학생들의 메타모델링 지식 발달 단계 분석

김성기<sup>1</sup>, 김정은<sup>2</sup>, 박세희<sup>3</sup>, 백성혜<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>광주과학고등학교, <sup>2</sup>대선초등학교, <sup>3</sup>경기과학고등학교, <sup>4</sup>한국교원대학교

### Analysis of Progression Levels for Meta-modeling Knowledge of Science Gifted Students through Modeling

Sung Ki Kim<sup>1</sup>, Jung Eun Kim<sup>2</sup>, Se-Hee Park<sup>3</sup>, Seoung-Hye Paik<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Gwangju Science Academy for the Gifted, <sup>2</sup>Daeseon Elementary School,

<sup>3</sup>Gyeonggi Science High School for the Gifted, <sup>4</sup>Korea National University of Education

ARTICLE INFO

ABSTRACT

#### Article history:

Received 28 January 2019

Received in revised form

4 March 2019

25 March 2019

Accepted 26 March 2019

#### Keywords:

progression level, meta-modeling knowledge, model, modeling, the gifted education

This study aims to explore meta-modeling knowledge of gifted students through the modeling. To do this, five gifted students were asked to do modeling related to candle burning, and all the processes of modeling were observed and then individual interviews were conducted. As a result of the study, two students were classified as first level and three students were classified as second level. The students of the first level did not have any model generation or model-based prediction activities, and observation was the most meaningful activity. On the other hand, the students of the second level performed all four modeling processes. However, the generation of the model and the prediction using the model were relatively strong. The data they gained from the experiments was perceived as just confirming the absolute model. No student was found in Level 3 or Level 4. The results of this study show that gifted students remain at the progression level of recognizing the model as an objective reality, and in order to cultivate a true scientist, it is necessary to educate the gifted students to recognize the subjectivity of the model.

## 1. 서론

미국에서 2013년에 발표된 차세대 과학교육 표준(NGSS)에서는 과학교육을 위한 3가지 차원을 제시하였다. 3가지 차원 중에서 눈여겨 볼만한 것이 바로 실천(practice)이다(NRC, 2013). 실천의 하위 요소로 ‘질문하고 문제 규명하기’, ‘모델 개발하고 사용하기’, ‘탐구계획하고 수행하기’, ‘자료 분석하고 해석하기’, ‘수학 및 전산적 사고 이용하기’, ‘설명 구성하고 문제 해결 고안하기’, ‘증거 입각하여 논의하기’, ‘정보를 얻고 평가하며 소통하기’를 제시하였으며, 이를 통해 학생들이 스스로 과학 지식을 형성할 수 있는 능력을 강조하고 있다(Jeon & Choi, 2016). 이러한 실천은 기존 과학교육에서 강조한 탐구(inquiry)에 학생의 지식 형성 능력을 보다 강조한 것으로 과학지식을 단순히 수동적 받아들이기보다 학생 스스로 이를 생성하고 평가하고 수정할 수 있는 점을 강조한다. 이러한 측면에서 최근 모델(model)을 강조한 교육이 대두되고 있으며, 이에 2015 개정 과학과 교육과정에도 모델을 활용한 교육을 강조하고 있다(Cho et al, 2017; Kim et al., 2018). 모델은 물체, 현상, 과정, 생각, 시스템의 표상으로 정의되기도 하고(Oh & Oh, 2011), 자연의 예측을 위한 도구로 정의되기도 한다(Schwarz. & White, 2005; Somerville & Hassol, 2011). Cho et al.(2017)은 과학자들과 과학교육 연구자들이 모델을 표상으로 설명하는 것은 분명하지만 과학자들이 단순히 자연 현상이나 주장, 개념을 표상하기 위해 모델을 사용하는 것이 아니라 탐구 과정의 한 부분으로 사용한다고 이야기한다.

Kousathana et al.(2005)은 모델에 대한 교육에 대해 단순히 과학 모델에 대한 정보만을 제공하기 보다는 그러한 모델이 어떻게 만들어지고 구조화되는지에 대한 정보의 획득 역시 중요함을 강조하고 있다. 이러한 의미에서 과학 모델에 대한 교육은 과학 모델이 갖는 본성을 강조한 교육으로 이어지고 있다(Justi & Gilbert, 2002; Lederman, 2007; Mislevy et al., 2017; Morrison & Morgan, 1999; Schwarz et al., 2009). 모델의 본성을 학습할 수 있는 방법으로 최근 모델링이 큰 관심을 받고 있다(Park et al., 2016).

어떠한 자연 현상에 물음을 갖고 이 현상에 대해 자신이 알고 있는 지식을 이용하여 자신만의 모델을 생성한 후, 모델의 검증과정을 거치면서 자신의 모델을 평가하여 개선된 모델을 다시 구성하는 일련의 활동을 모델링이라고 한다. 이러한 모델링을 통해 학생들은 능동적으로 과학 지식을 형성하게 된다. Clement(2000)와 Rea-Ramirez et al. (2008)은 GEM(Generation, Evaluation, Modification) 모형으로 구체적인 모델링 방법을 제시하기도 하였다. GEM 모형과 같이 모델의 평가 기회를 통해 모델마다 다양한 전제조건이 존재하므로, 절대적인 과학 모델이 존재하지 않는다는 과학 모델의 본성을 학습하게 된다.

Schwarz(2002)에 따르면 메타모델링 지식은 모델과 모델링에 대해 인식하는 것을 포함하여 어떻게 모델이 사용되고, 왜 사용되는지에 대한 이해와 함께 모델의 강점과 약점을 아는 것이라고 하였다. 또한 메타모델링 지식은 과학이 어떻게 작동하고 어떻게 만들어지는지에 대한 지식의 본성이며(Schwarz et al., 2009), 과학 모델의 개발뿐만 아니라 모델의 본성에 대한 명확한 이론적 지식을 포함한다(Schwarz

\* 교신저자 : 백성혜 (shpaik@knue.ac.kr)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2019.39.3.457>

& White, 2005). 메타모델링 지식에 대한 연구를 수행한 Cho et al. (2017)는 모델과 모델링을 키워드로 하여 SSCI 학회지, 한국 논문, 보고서 서적 등 231편을 분석한 결과 메타모델링 지식의 구성요소로 ‘모델의 본성, 모델의 다양성, 모델의 목적, 모델링, 모델의 평가 및 수정’의 다섯 가지를 추출하였다.

교육과정 설계, 평가, 개발을 할 때 ‘학습발달과정(Learning Progressions)’이 유용한 자료로 활용된다(Corcoran et al., 2009; Alonzo & Gotwals, 2012). 학습발달과정(Learning Progressions)이란 학생의 이해와 수행 능력이 오랜 기간에 걸쳐 정교해지는 발달적 과정(Corcoran et al., 2009; Duncan et al., 2009)을 나타내는데, 모든 학생들이 반드시 모든 경로를 거치는 것은 아니지만 개념의 최종 지점까지 도달하기 위해 학생이 대략적으로 거치는 경로에 대한 정보를 제공한다(Stevens et al., 2010). 학습발달과정의 단계가 규명되면 학생들의 학습발달단계를 판단하여 적절한 수준의 교육을 제공할 수 있다.

최근 우리나라 과학영재학생들을 대상으로 과학 메타모델링 지식 발달 단계를 밝힌 논문이 발표되었다. Kim et al.(2019)는 총 6개의 서답형 문항을 이용하여 과학 메타모델링 지식의 발달 단계를 총 4개 단계로 구분하고 있다. 4개의 단계는 크게 과학 모델이 변하지 않는 객관성에 초점을 둔 1, 2단계와 과학모델이 과학자의 주관에 의해 생성되기 때문에 필요에 따라 생성하거나 폐기될 수 있다고 생각하는 3, 4단계로 나누어진다. 구체적으로 메타모델링 지식 발달 1단계는 시각적 표상을 과학 모델로 본 것으로 관찰된 자연 현상 그 자체가 과학 모델로 간주되는 경우이다. 2단계는 모델을 객관적인 설명체계로 인식하는 것이고, 3단계는 탐구의 도구로서 모델을 인식한 경우이며, 마지막 4단계는 모델마다 서로 다른 전제 조건을 갖고 있기 때문에 모든 자연 현상을 설명할 수 없으며 그렇기 때문에 다양한 모델이 존재함을 인식한 경우이다. 이 연구에서 과학영재학생들의 과학 메타모델링 발달 단계는 2단계에서 3단계로 넘어가는 수준에 머물러 있음을 보여준다.

Kim et al.(2019)의 연구는 학생이 작성한 서술형 답변을 이용하여 학생들의 메타 모델링 지식 발달 단계를 판정하였다. 서술형 답변은 작성할 때 학생이 갖는 모델에 대한 신념을 솔직히 드러내기보다는 자신의 신념은 아니지만, 교사나 책을 통해 모델은 이래야 한다는 식의 가짜 신념을 보일 수 있다는 한계를 갖는다. 실제로 3가지 산, 염기 모델을 대한 이해를 알아보기 위해 수행한 연구(Kim et al., 2019)에서, 서답형 문항에 답을 작성할 때 자신의 신념을 그대로 드러내기 보다는 교과서의 언어를 그대로 차용하여 쓴 경우가 많았다. 하지만 산, 염기 모델을 이용한 실제 수행 활동에서는 자신이 이해한 모델의 신념이 잘 드러났다. 따라서 영재학생들이 실제 실험을 수행하면서 요구하는 모델링에서 드러나는 메타모델링 지식 발달 단계를 고찰할 필요가 있으며, 모델링에서 드러난 학생들의 메타모델링 지식 발달 단계를 통해 보다 실제적인 학생의 수준을 진단할 수 있다. 이러한 연구결과는 영재교육과정에 모델링을 도입할 때 활용될 수 있다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구대상

본 연구는 전국의 8개 영재학교 중 수도권에 위치한 K 과학고등학교

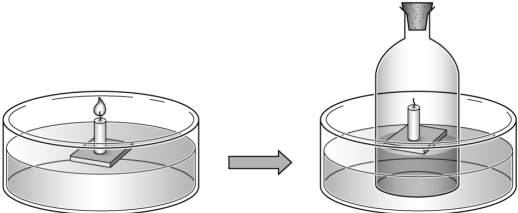
교에 재학 중인 학생 중 연구의 취지에 동의한 자발적 참여자 5명을 대상으로 진행하였다. 8개의 영재학교를 대상으로 학업역량 측면에서 직접 비교할만한 표준화된 자료는 없으나 입시 경쟁률이나 대학교 합격자 현황에서 다른 영재학교에 비해 상대적으로 매우 우위에 있어 이 학교에 재학 중인 학생들은 영재학교 중에서도 상위권의 학생들이 입학하는 학교라 할 수 있다. 또한, 연구자가 의도하지는 않았으나 자발적 연구 참여자 5명의 과학영재 학생들의 성취도는 K 과학고등학교에서 상위권에 속하였다.

### 2. 연구절차 및 자료수집

학생들의 모델링 활동에 대한 구체적 연구절차와 절차별 자료수집 방법은 Table 1과 같다. 이 연구에서의 모델링 활동은 Giere(2006)의 과학 모델에 기초하여 진행하였다(Figure 1). Giere(2006)의 과학 모델은 자연 현상을 설명하기 위해 생성된 모델을 검증하기 위해 실험이 설계되며, 실험을 수행하기 이전에 자신의 모델에 기반하여 실험 결과를 예측하게 된다. 이후 실험과 관찰을 통해 얻은 자료와 예측 간의 비교 활동이 진행되며, 이를 통해 모델을 평가하여 수정하는 절차를 진행하게 된다. 학생들이 모델링을 진행하기 전 오리엔테이션 시간에 이러한 일련의 절차를 소개하였다. 이후 학생들에게 모델링을 위한 문제 상황을 영상으로 제시하였다. 이 연구에서는 학생들의 메타모델링 지식 발달 단계를 알아보기 위해 너무 복잡하지 않으면서도 현상에 대해 다양한 모델을 수립할 수 있도록 양초 연소와 관련된 문제 상황을 제시하였다. 많은 학생들은 이 현상을 설명하는데 다양한 대안개념을 갖고 있어서, 이 현상을 제대로 설명하지 못하고 있다. 이로 인해 예비교사 교육에서 개념변화 모형의 예시로 자주 등장하며, 실제로 2010학년도 화학 교원임용시험 6번 문항으로 출제되기도 하였다.

학생들은 제시된 영상을 본 후, 수면이 상승한 현상에 대한 모델링을 진행하였다. 이때 모델링은 오리엔테이션에 소개된 Giere(2006)의 과학 모델에 기초하여 진행하도록 학생들에게 안내하였다. 그래서 먼저 자연 현상을 관찰하고 이를 설명하는 모델을 생성하도록 하였으며, 모델을 검증하기 위한 실험을 설계하고 실험 수행 전에 결과를 예측해 보도록 하였다. 이후 실험을 통해 얻은 자료와 자신의 예측을 비교함으로써 생성된 모델을 평가하고 수정하도록 하였다. 학생들에게 이러한 절차로 모델링을 하도록 안내하였으나, 학생 중에서는 수행한 절차가 이와 다르게 진행되는 때도 있었다. 이 경우 연구자가 적극적으로 개입하여 절차를 준수하도록 지시하기보다는 학생의 자연스러운 모델링을 관찰하기 위해서 개입하지 않았다. 5명의 학생이 동시에 실험을 진행할 경우 서로의 생각을 엿볼 수 있어 모델링에 영향을 줄 수 있으며, 5명의 학생을 동시에 연구자가 관찰하기에는 어려움이 있어 5명 학생의 모델링은 독립된 시간에 진행되었다. 모델링의 전 과정에 대해 연구자는 관찰 노트를 기록하였으며, 학생에게는 탐구 노트를 진행한 순서대로 상세히 작성하도록 하였다. 이후, 모든 학생에 대해 1:1 면담이 진행되었다. 면담은 학생의 모델링에 관한 내용으로 진행되었으며, 학생마다 다른 모델링이 진행되었기 때문에 그에 기반하여 달리 질문하였다. 면담 말미에 모든 학생에게 자신의 모델을 검증하기 위한 추가 모델링을 권유하였으며, 추가 모델링을 결정한 학생의 경우 1차 모델링과 동일하게 탐구 노트와 관찰 노트를 작성한 후 추가 면담이 진행되었다.

Table 1. The research procedure

절차	내용	자료수집
1. 오리엔테이션	Giere(2006)의 과학 모델 소개 -문제 상황과 관련된 영상 제시	-
2. 문제 상황 제시	 -문제 상황: 유리종을 덮으면 왜 수면은 상승할까?	-
3. 모델링	-Giere(2006)의 과학 모델에 기초한 모델링 -제시된 문제 상황에 대한 모델 생성 → 자신의 모델을 검증하기 위한 실험 설계 → 자신이 설계한 실험 결과를 자신의 모델을 이용하여 예측하기 → 실험 수행 → 실험을 통해 얻은 자료와 자신의 예측 비교하기	-탐구 노트/관찰 노트
4. 면담	-학생의 모델링 내용에 기반한 질문 제시	-전사 자료
5. 2차 모델링	3의 모델링과 동일한 과정 진행	-탐구 노트/관찰 노트
6. 2차 면담	-학생의 2차 모델링 내용에 기반한 질문 제시	-전사 자료

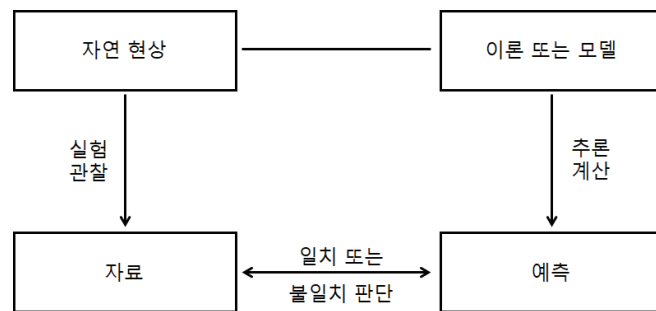


Figure 1. Scientific model of Giere(Giere et al., 2006)

모델을 통한 예측과 실험으로 얻은 자료가 일치하지 않았을 때 자신이 만든 모델의 전제 조건을 점검하거나 모델을 다시 만드는 경우 모델을 주관적으로 바라보는 것으로 판단하고, 3단계와 4단계를 구별하기 위해 면담을 진행하였다. 반대로 모델을 통한 예측과 실험으로 얻은 자료가 일치하여 모델링이 빨리 종료된 학생의 경우에는 실험 설계 및 모델에 대한 추가 질문을 통해 3, 4단계를 판정하고자 하였다. 이처럼 면담은 학생의 메타모델링 지식 발달 단계를 더욱 명확히 하는데 주목적이 있었다. 따라서 면담 중 모델의 전제 조건과 관련하여 ‘실험을 수행하는 데 이를 반영하는 실험을 설계했는지’ 등과 같은 질문을 통해 4단계의 메타모델링 지식 발달 단계가 모두 판정될 수 있도록 하였다.

### 3. 자료 분석

본 연구의 모델링을 통한 영재학생들의 메타모델링 지식 발달 단계에 대한 분석 틀은 한국의 영재학생들을 대상으로 과학 메타모델링 지식 발달 단계를 규명한 Kim, Kim, & Paik(2019)의 연구결과를 활용하였다(Table 2). 본 연구의 목적은 학생의 모델링에서 보여준 메타모델링 지식 발달 단계의 분석에 있다. 따라서 학생이 수행한 모델링에 대해 과학적으로 옳은지 그른지에 대한 판단을 하지 않았으며, 자신의

모델을 검증하는 실험에서도 실험 설계와 같은 탐구능력에 초점을 두지 않았다. 따라서 모델링 전 과정 중 학생의 메타모델링 지식 발달 단계를 볼 수 있는 측면에 국한되어 분석이 진행되었다. 이로 인해 연구에서 주로 분석된 장면은 자신의 모델 예측과 실험으로부터 얻어진 자료를 비교하는 학생의 활동이다. 하지만 학생에 따라 이 부분에 대한 분석이 무의미한 경우에는 다른 장면에 초점을 두어 분석된 경우도 있었다. 학생이 기록한 탐구 노트와 연구자의 관찰 노트, 면담 자료가 분석에 활용되었으며, 이를 통해 학생별 메타모델링 지식 발달 단계를 판정하였다. 과학교육전문가 1인과 현직교사 3인이 학생별로 3개의 질적 자료를 전반적으로 검토하여 개별적으로 메타모델링 지식 발달 단계를 판정하고 이에 대한 근거를 기록하였다. 이후 4인이 모여 판정한 단계에 대한 일치도를 점검하였으며 불일치한 사례의 경우 4인이 해당 학생의 모델링 전 과정을 함께 분석하는 논의과정을 거쳐 최종 단계를 판정하였다.

학생별 메타모델링 지식 발달 단계가 판정된 후, 동일한 단계 학생들의 특징을 알아보기 위해 Giere(2006) 과학 모델을 토대로 학생들의 모델링 강도에 따라 3개 단계(수행하지 않음, 약한 수행, 강한 수행)로 나누었다. 이후 동일한 단계에 해당하는 학생들의 유사한 특징을 추출하였다.

Table 2. Progression levels of science meta-modeling knowledge(Kim, Kim, &amp; Paik, 2019)

단계	메타모델링 지식
4단계	-모델의 잠정성 -다양한 관점 주관성 -모델의 전체 조건 인식
3단계	-탐구의 도구 -과학자의 생각이 맞는지 확인해 주는 것
2단계	-설명의 도구 -객관적 지식 혹은 이론 객관성
1단계	-자연을 그대로 묘사한 것 -자연현상 그 자체

### III. 연구 결과 및 논의

#### 1. 1단계: '관찰 자체가 과학 모델이다'

관찰 자체가 과학 모델로 분류된 1단계에 속한 학생은 B와 E이었다. 먼저 학생 B의 모델링을 살펴보면 Table 3과 같다. 학생 B는 제시된 현상을 설명하는 자신의 모델을 생성하지 않았다. 학생 B의 모델링을 보면 Giere(2006)의 과학 모델에서 실험을 통한 관찰 과정이 매우 핵심으로 작용하였으며, 나머지 활동은 거의 수행되지 않았다. 실험을 통한 관찰에 학생 B에게 중요한 것은 '다양한 관찰'이었다. 학생 B는 연구자가 보여준 상황을 그대로 재현해 보았다. 그러면서 그 과정에서 최대한 다양한 관찰을 하려고 하였고, 이를 모두 탐구 노트에 꼼꼼히 기록하는 모습을 보였다. 크게는 양초가 타는 모습과 양초를 비커로 덮는 과정을 나누어서 기록하였다. 학생 B는 비커로 덮기 전 양초에 액체 파라핀의 양이 일정하게 유지 되지만 양초의 크기가 줄어들며 따라 기화되는 파라핀이 늘어난다는 생각을 했으며, 비커로 덮었을

때 비커 안 수면에 떠있는 파라핀 고체 조각을 관찰하고 나서 이 고체 파라핀이 기화되며 온도가 낮아져 승화된 것으로 추측하였다. 이에 비추어 결론으로 연소 후 기체 파라핀이 고체로 상태변화하고 기체의 부피가 줄어들기 때문에 그만큼 수면이 올라간다고 결론을 내렸다. 이후 학생 B는 파라핀의 상태변화로 인해 수면이 올라간다는 모델을 생성하였다. 이처럼 학생 B는 전형적으로 과학 모델이라는 것을 자연을 가시화하거나 표상한 축소판으로 인식한 것으로 관찰된 자연 자체를 모델로 인식한 경우에 해당한다.

학생 E의 모델링 내용은 Table 4와 같다. 학생 E는 학생 B와 달리 제시된 영상을 보고 연소 과정에서 소모된 산소의 부피만큼 수면이 상승한다는 자신의 모델을 생성하였다. 특이한 점은 학생 E는 Giere (2006)의 과학 모델에서 실험을 통한 관찰 과정에서 자신이 수립한 모델을 검증한 실험을 수행하지 않았으며, 학생 B와 같이 제시된 현상을 재현해 보는 활동을 수행하였다. 그 때문에 학생 E는 모델을 통한 예측 활동과 모델에 대한 검증 활동이 모델링 과정에서 수행되지 않았다. 모델을 생성한 학생 E에게도 모델링에서 가장 중요한 것은 학생 B와 동일하게 '관찰'이었다. 학생 E는 관찰에서 수면이 상승할 때 비커 내부가 흐릿한 후 비커 벽면에 물방울이 맺힌 관찰 사실을 이용하여 양초 연소과정에서 생성된 수증기가 온도가 낮아짐에 따라 액체로 상태 변화하여 수면이 상승한다는 새로운 모델을 생성하였다. 이러한 모델링을 통해 학생 E가 초기에 세운 모델은 탐구 노트에 기록하는 칸을 채우기 위해 기록한 것이지, 학생 E가 현상을 설명하기 위해 생성한 진정한 의미에 학생 E의 모델은 아니었다. 즉, 모델의 생성과정은 겉으로 보기에 수행은 되었으나 이 과정은 무의미하게 진행되었기 때문에 학생 B의 빈칸과 큰 차이가 없었으며, 학생 E도 결국 관찰된 사실에 비추어 모델을 생성하는 활동을 진행한 것이다.

학생 B와 E의 모델링을 요약하면 Figure 2와 같다. 이 둘의 공통점은 모델링에서 자연현상을 통해 모델을 생성하는 과정(Figure 2의 ①)

Table 3. The modeling of student B

모델링	수행 내용
①모델의 생성	수행하지 않음(탐구노트에 자신의 모델을 쓰는 칸을 빈칸으로 둠).
②실험설계	1) 비커로 양초를 덮기 전 양초가 타는 과정을 관찰한다. 2) 비커로 양초를 덮을 때 일어나는 과정을 상세히 관찰한다.
③예측	수행하지 않음.
④실험 자료	1) 비커로 양초를 덮기 전 -양초가 타고 있으면서 양초 아래에 액체상태의 파라핀이 관찰되었으며, 일부는 기체로 상태변화 하였다. 심지가 많이 탈수록 양초의 크기가 줄어들었으나 일정한 파라핀 액체 양을 유지하고 있기 때문에 기화된 파라핀의 양이 많아진다. 2) 비커로 양초를 덮는 과정 -비커로 양초를 덮은 후 과정은 2가지로 나누어 관찰되었다. 먼저 불꽃이 사라지는 짧은 시간이 있었다. 이때 비커 안의 물이 약간 올라갔으며, 불꽃이 점점 약해져갔다. 또한 비커 안은 흐릿하게 되었다. 이후 양초의 불꽃이 사라졌으며, 이때 비커 안의 물이 가파르게 올라갔다. 수면 위에 고체 파라핀 조각 일부가 떠 있다.
⑤자료와 예측의 비교	수행하지 않음.

Table 4. The modeling of student E

모델링	수행 내용
①모델의 생성	양초가 연소될 때 산소가 소모되므로, 소모된 산소의 양 때문에 수면이 상승한다.
②실험 설계	불꽃이 사라질 때, 비커 내부의 과정을 자세히 관찰한다.
③예측	수행하지 않음.
④실험 자료	관찰 결과 불꽃이 사라지자마자, 비커 내부는 흐릿해지기 시작했으며 벽면에 물방울이 생성되었다.
⑤자료와 예측의 비교	수행하지 않음.

이 이루어지지 않았으며, 그렇기 때문에 모델에 의한 예측 활동(Figure 2의 ③)과 자료와 모델의 예측을 비교하는 활동(Figure 2의 ④)이 전혀 진행되지 않았다. 이들에게는 관찰이 핵심과정(Figure 2의 ②)이었으며, 이들은 모두 서로 다른 관찰 사실을 토대로 모델을 생성(Figure 2의 ⑤)하는 모습을 보였다. 연구자는 관찰 사실에 비추어 만들어진 모델을 어떻게 검증하는지 확인하고자, 2차 모델링을 권유하였으며 2명 모두 이를 수락하여 진행하였다. 흥미롭게도 이 둘 모두 1차 모델링을 통해 만든 모델을 검증하는 활동을 진행하기 보다는 1차 모델링과 똑같이 양초 연소 실험과정을 재차 진행하고 관찰하였으며, 이때 또 다른 관찰 사실에 초점을 두어 새로운 모델을 생성하였다. 이들에게 생성된 모델을 이용한 예측과 이로 인한 검증활동은 중요하지 않았다. 이들이 왜 수많은 다양한 관찰에 초점을 두는 활동에 의미를 두는지를 분석한 결과 중학교 영재교육원에서 창의성을 강조하면서 정량적 평가지표로 최대한 다양한 관찰을 작성하도록 하고, 이를 높은 탐구 능력으로 평가하는 형태를 확인할 수 있었다. 과학에서 관찰은 매우 중요한 탐구 요소임은 부정할 수 없다. 그럼에도 불구하고 관찰로만 국한된 탐구 활동은 학생들의 탐구역량을 기를 수 없다. 더욱 문제인 것은 이런 관찰로만 국한된 탐구가 학생들의 메타모델링 지식 발달을 매우 저해시키는 모습을 보인다는 것이다. 결국 영재교육에서 메타모델링 지식 발달 단계를 높이기 위해서는 자신이 만든 모델 중심의 탐구 활동인 모델링 교육이 중요하며, 이를 위해서는 모델을 생성하고 이를 검증하고 평가하는 과정을 강조하는 교육이 필요하다.

2. 2단계: 과학 모델은 객관적인 설명도구이다

과학 모델을 객관적 설명 도구로 인식한 2단계에 속한 학생은 A, C, D 3명이었다. 먼저 학생 A의 모델링을 살펴보면 Table 5와 같다. 학생 A는 제시된 현상을 설명하기 위해 샤를의 법칙을 이용하였으며, 공기의 온도 차에 따른 부피 변화로 이 현상을 설명하는 모델을 생성하였다. 이를 검증하기 위해 온도가 다른 메스실린더로 양초를 덮었으며, 온도가 낮은 메스실린더의 실험이 온도 차가 더 크므로 수면이 더 많이 상승할 것이라는 예측을 하였다. 하지만 실험을 통해 자신의 예측과 정반대의 자료를 얻었다. 예측과 실험 결과를 비교하는 과정에서 학생 A는 다음과 같이 모델이 틀릴 수도 있다는 생각과 실험에서 모델을 검증하는 변인 통제에 문제가 있을 수도 있다는 생각을 모두 하였다.

학생 A: 모델을 입증하려고 했는데 오히려 반대 결과가 나왔어요. 아저면 온도 차와 수면 차가 비례가 아니라 반비례의 관계일 수도

있고, 또는 실험에서 온도를 제외한 다른 조건들을 일치시키지 못한 이유일 수도 있다고 생각해요. 근데 저의 실험은 후자를 하지 못한 것 같아요.

하지만 최종적으로 학생 A는 자신의 모델이 틀리지 않고, 실험과정에서 변인 통제에 문제가 있다는 결론을 내리며 자신의 모델을 견고히 지켜냈다. 학생 A에게 변인 통제의 문제를 지적한 부분을 보완하는 2차 모델링을 권장하였으나 다음과 같이 이유를 들며 이를 거부하였다.

면담자 : 네가 설정한 모델의 예측과 실험 결과가 정반대로 나왔네.  
 학생 A : 네.  
 면담자 : 모델에 문제가 있는 걸까?  
 학생 A : 아니요. 모델은 맞는 것 같은데요. 실험을 좀 잘못된 것 같아요.  
 면담자 : 다시 실험을 설계해서 제대로 실험을 그럼 다시 해볼래?  
 학생 A : 아니요. 시간이 없었어요. 꼭 실험을 하지 않아도 될 것 같아요.

실제로 학생 A에게 2차 모델링 할 시간이 없는 것은 아니었고 주어진 시간은 충분하였다. 따라서 학생 A가 말한 시간이 없다는 것의 의미는 자신의 생성한 모델이 확고하게 참이기 때문에 이를 검증할 필요가 없다는 생각의 표현으로 보인다. 이러한 모습에서 모델을 어떠한 현상을 설명하는 체계로 인식은 하나, 자신이 알고 있는 지식에 의해 생성된 모델을 절대적인 ‘참’으로 인식한 모습에서 객관적 설명체계인 2단계로 판정하였다.

학생 C의 모델링 내용은 Table 6과 같다. 학생 C는 소모된 산소로 인해 수면이 상승한다고 모델을 생성하였으며, 양초개수가 많을수록 수면의 상승이 더 크다는 예측을 하였다. 이후 이를 검증하기 위해 연소하는 양초의 개수를 달리하여 수면의 상승한 정도를 비교하였다. 실험결과 자신의 예측과 일치한 결과를 얻었다. 이로 인해 자신의 모델이 옳다는 생각을 하게 되었으며, 연구자는 모델의 검증과정이 타당한지를 질문하면서 모델링 과정을 되짚어보도록 하였다.

면담자 : 근데, 양초가 2개 일 때와 1개 일 때의 다른 조건은 동일할까?  
 학생 C : 다른 조건 뭐요?  
 면담자 : 부피에 변화에 영향을 줄 수 있는 것들은 통제해야지. 양초가 2개 탈 때와 1개 탈 때 뭐가 다르지?  
 학생 C : 촛불 크기, 온도요. 근데 초가 한 개일 때와 두 개일 때 온도는 통제하지 못했어요.  
 면담자 : 그럼 이대로 결론을 내도 될까?  
 학생 C : ...

학생 C는 면담을 통해 자신이 수행한 실험에서 변인 통제가 제대로

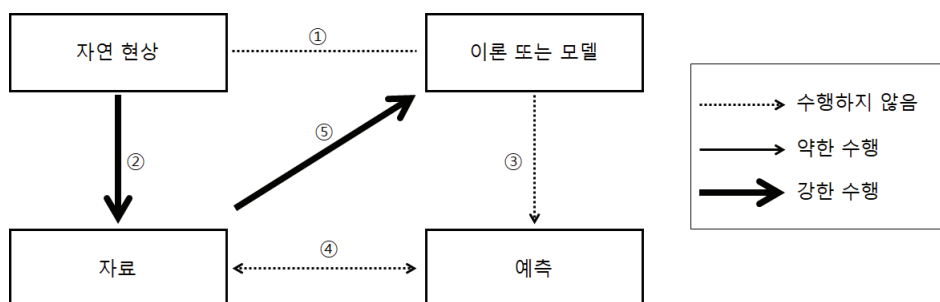


Figure 2. The characteristic of level 1 students' modeling

Table 5. The modeling of student A

모델링	수행 내용
①모델의 생성	양초 연소 전후의 온도 낮아짐에 따라 사물의 법칙에 따라 공기의 부피 줄어들어 수면이 상승하게 된다.
②실험 설계	양초를 덮는 메스실린더의 온도를 다르게 하여 이를 검증한다. 즉, 하나는 실온의 메스실린더로 양초를 덮고, 다른 하나는 얼음으로 온도를 낮춘 메스실린더로 양초를 덮은 후 이 둘의 수면을 비교한다.
③예측	얼음으로 온도를 낮춘 메스실린더가 온도 차가 더 크기 때문에 실온의 메스실린더로 덮은 것보다 수면이 더 상승할 것이다.
④실험 자료	실온에서 메스실린더의 수면의 높이는 2.42cm이었으나 온도가 낮아지자 수면의 높이는 1.42cm가 되었다.
⑤자료와 예측의 비교	예측과 달리, 실온의 메스실린더로 덮을 때가 수면이 더 상승하였다.

Table 6. The modeling of student C

모델링	수행 내용
①모델의 생성	양초가 연소되면서 산소가 소모되기 때문에 사라진 산소 기체의 부피만큼 연소 후 메스실린더의 수면이 증가하게 된다.
②실험 설계	소모되는 산소의 양을 달리하기 위해 양초의 수를 달리하여 실험한다. 양초의 개수에 따른 수면의 변화를 비교하기 위해 양초 연소 후 상승한 수면의 부피를 측정한다.
③예측	양초의 개수가 많을수록 상승한 수면이 높아질 것이다.
④실험 자료	양초가 1개일 때 메스실린더 내 물의 부피는 25.5mL이었고, 양초가 2개일 때 메스실린더 내 물의 부피는 50mL이었다. 양초의 개수가 많을수록 수면의 높이 상승이 더 컸다.
⑤자료와 예측의 비교	예측과 실제 실험 결과가 일치하였다.

Table 7. The modeling of student D

모델링	수행 내용
①모델의 생성	양초가 연소한 후 메스실린더의 수면이 상승한 이유는 연소 전후의 온도가 줄어들어 공기의 부피가 줄어들기 때문이다.
②실험 설계	2개의 양초를 준비하여 이 둘 모두 연소시킨다. 메스실린더 하나는 얼음으로 충분히 온도를 낮추고, 다른 하나는 실온으로 둔다. 이후 온도가 다른 메스실린더로 덮어 수면의 높이 변화를 비교한다.
③예측	온도차가 클수록 수면의 상승이 크기 때문에, 얼음으로 온도를 낮춘 메스실린더로 덮을 때 수면이 더 상승할 것이다.
④실험 자료	얼음을 사용하지 않았을 때 수면의 높이 변화는 약 5.5cm와 4.8cm이었으며, 얼음을 이용하였을 때 수면의 높이 변화는 약 2.7cm와 3.1cm이었다.
⑤자료와 예측의 비교	예측과 동일한 결과를 얻었기 때문에 모델이 타당하다.

이루어지지 않음을 인정하였다. 하지만 그렇다고 하여 자신이 생성한 모델이 입증되지 않았다고 판단하기보다는 이번 실험에서 통제하지 못한 변인의 효과는 미미하다고 생각하였다. 실험에서 관찰되지 않은 자신의 지식을 이용하여 이를 설명하였지만, 학생 C는 이것 또한 관찰한 것으로 오인하기도 하였다.

면담자 : 초가 두 개면 온도도 올라갈 건데, 온도효과는 고려하지 안 해도 될까?

학생 C : 여기서 보면요(화학반응식을 지칭함) 양초가 연소할 때 물수가 줄어들잖아요.

면담자 : 그럼 반응식에서 생성된 수증기는?

학생 C : 그렇게 온도가 높지 않으니까 수증기는 금방 물로 되구요, PV=nRT에서 물수가 감소하니까, 부피가 줄어들잖아요.

면담자 : 그럼 결론은 이 식으로 나온 거네? 실험이 아니고.

학생 C : 실험으로 증명한 거잖아요.

학생 C는 2차 모델링에 대한 권유를 수락하여 진행하였지만 앞에서 언급한 변인통제를 보완한 실험을 진행하기보다는 동일한 실험을 반복한 뒤 상승한 수면의 높이를 평균값으로 처리하여 비교하였다. 이러한 모델링 과정은 모델이란 객관적으로 참인 이론이나 지식을 설명하는 것으로 보는 학생 C의 메타모델링 지식 단계를 드러냈다.

학생 E의 모델링은 Table 7과 같다. 학생 E는 학생 A와 동일하게 연소전후 공기의 온도 변화가 수면 상승의 원인이라고 생각하였으며, 실험도 동일한 방법으로 진행하였다. 하지만 학생 D는 A와 정반대의 실험 결과를 얻었으며, 이는 자신의 모델을 이용한 예측과 일치한 결과이었다. 학생 D는 자신이 생성한 모델과 일치한 결과가 나왔기 때문에 자신의 모델이 입증되었다고 생각하였으며, 이에 따라 추가적인 실험을 제안받았을 때 추가적인 실험은 필요 없음을 이야기하였다. 학생 D와의 면담에서 자신의 모델은 확고한 참이기 때문에 절대적인 것으로 인식하는 그의 생각을 확인할 수 있었다.

면담자 : 이번 실험에서 변인 통제나 실험 설계는 타당하게 진행하였어?

학생 D : 네, 최대한 할 수 있는 만큼.

면담자 : 나중에 실험해도 이것과 같은 결과가 나올까?

학생 D : 아마 그럴걸요, 물이 올라가는 높이는 조금 달라질 수 있는데요.

면담자 : 다시 한 번 해볼까?

학생 D : 왜요?

면담자 : 한번 실험으로 이게 진짜 맞는 건지 어떻게 알아?

학생 D : 결과는 똑같이 나올 것 같아요. 그리고 이것이 틀릴 수가 없어요.

학생 A, C, D의 모델링을 요약하면 Figure 3과 같다. 이 3명의 학생들은 1단계로 판정된 학생과 달리 안내된 Giere(2006)의 과학 모델의

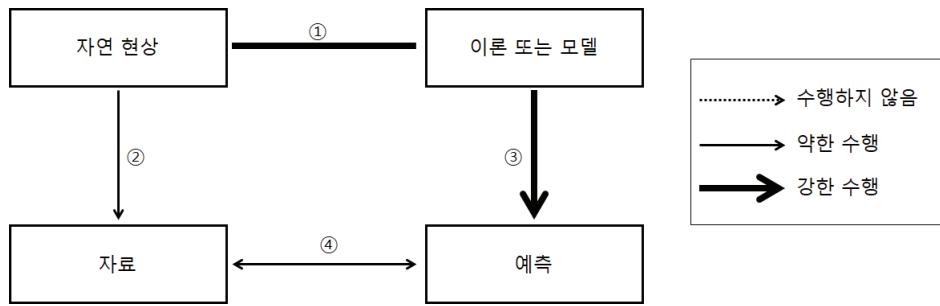


Figure 3. The characteristic of level 2 students' modeling

과정을 모두 진행하였다. 다만, 자신이 생성한 모델을 이용한 예측과 실험을 통해 얻은 자료의 비교 활동을 통해 상대적으로 강한 수행과 약한 수행으로 구분할 수 있었다. 이들은 Figure 3의 ②과 ④ 과정을 수행은 하였으나 모델을 평가하거나 검증하는데 큰 의미를 부여하지 않았기 때문에 약한 수행으로 분류하였고, Figure 3의 ①과 ③ 과정에 보다 큰 의미를 부여하였기 때문에 강한 수행으로 분류하였다. 이들은 자신이 알고 있는 지식에 의해 생성된 모델이 틀릴 수 있다는 사고를 갖고 있지 않았다. 이와 같은 모델링 모습은 학생들이 실험에 대한 인식을 알아본 선행연구의 결과와 유사한 모습이다(Carey et al., 1998; Kim & Song, 2003; Lederman, 1992). 이러한 모습은 지금까지 학교에서 수행하는 과학탐구 실험의 전형적인 모델에 대한 학습을 강조한 확인실험의 모습이다. 즉, 이들은 그동안 정해진 과학 모델을 확인하는 차원에서 과학실험을 수행하였고, 그렇기 때문에 이들은 실험에서 얼마나 예측한 값(소위 참값)에 가까운 결과를 도출하느냐가 관심의 대상이었다. 따라서 모델의 검증은 목적에서 배제된 것이다. 이러한 탐구 활동의 형태는 그들의 메타모델링 지식에 영향을 주었을 것이고, 실제로도 모델을 객관적 실체로 인식하는 모습을 보였다. 창의적이고 보다 탐구적인 학생들의 사고를 도모하기 위해서는 자신이 생성한 모델에 대한 검증과 이를 통해 보다 개선되거나 새로운 모델을 생성할 수 있는 과학 탐구가 진행되어야 할 것이다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 모델링을 통해 과학 영재학생들이 실제 장면에서 보인 과학 메타모델링 지식 발달 단계를 분석하였다. 연구에 참여한 5명의 학생 중 2명은 관찰이 과학 모델이라는 1단계로 분류되었으며, 나머지 3명은 과학 모델을 객관적 설명도구로 인식하는 2단계로 분류되었다. 3, 4단계에 속한 학생은 발견되지 않았다. 1단계에 속한 학생들은 모델을 생성하고 이를 이용한 예측 활동이 진행되지 않았으며, 관찰을 통해 모델을 생성하기만 하였다. 그리고 이렇게 생성된 모델은 평가의 대상 또한 아니었다. 반대로 2단계에 속한 학생들은 모델의 생성, 모델을 이용한 예측, 실험 수행 및 관찰, 예측과 자료의 비교를 모두 수행하였다. 다만 2단계의 학생들은 지식을 통한 모델 생성과 이를 이용한 예측이 모델링의 주요한 핵심으로 작용하였으며, 실험을 통한 모델의 평가는 중요하지 않았다. 이러한 연구결과는 서답형으로 과학 영재학생들의 과학 메타모델링 지식 발달 단계를 알아본 Kim, Kim, & Paik(2019)의 연구 결과에 비해 더 낮게 나온 것이다. 이는 앞에서 언급한 서답형 조사가 보인 한계로 본 연구가 실제 장면에서 이를 조사할 필요성을 제기한 이유를 여실히 보여준다고 할 수 있다.

영재학생들이 1, 2단계에 머물러 있는 이유는 그들에게 제공된 교육이 과학 모델을 진정으로 학습할 수 있는 기회를 제공하지 못했기 때문이다. 영재학교는 일반학교와 달리 공교육 정상화법을 따르지 않고 영재교육진흥법을 따른다. 그만큼 영재교육을 위해 학교에 많은 교육과정 자율성을 주었다. 하지만 현재 영재학교에서 운영되는 교육 과정을 보면 이러한 자율성이 진정한 영재교육을 위해 진행되었는지 점검할 필요가 있다. 영재학교에서 진행되는 교육과정을 살펴보면 영재교육의 주요한 두 축은 심화학습과 속진학습이다. 그런데 이러한 두 축은 지식의 습득에 초점을 둔 것이 진정한 과학자를 양성하기 위한 내용은 빠져있다. 이러한 문제를 대표적으로 보여주는 것이 바로 모든 영재학교에서 진행하고 있는 AP 과정이다. AP 과정은 대학교육 과정을 선이수하는 등 보다 많은 지식을 빠르게 전수하는데 초점을 두고 있다. AP 교육과정은 대학의 강좌의 선이수를 목표로 하기 때문에 표준화된 내용을 제공하고 있다. 그래서 AP 실험관련 강좌 자료를 살펴보면 어떤 시료를 구체적으로 몇 g을 사용하여 실험할지를 상세하게 제시한, 마치 요리책 같은 실험을 제공하고 있다. 학습할 전형적인 모델을 실험을 통해 확인하는 2단계에 해당하는 교육을 실시하고 있는 것이다. 이러한 교육을 받은 학생들은 모델의 주관성을 인식하는 3단계 이상으로 향상될 수 없을 것이다. 영재교육에 대한 방향이 심화와 속진을 벗어난 창의성 중심의 교육이 시행될 필요가 있으며, 그 창의성 교육의 단서로 메타모델링 지식 발달 단계에 근거한 모델링을 제공할 필요가 있다.

이 연구는 학생들의 메타모델링 지식 발달 단계 판정에 초점을 두었기 때문에 학생들이 생성한 과학 모델을 검증하기 위해 실시한 실험 설계 능력은 연구결과에 논의하지는 않았다. 5명의 모델 검증을 위한 실험 설계 내용을 자세히 들여다보면 5명의 학생들 모두 실험 설계를 제대로 수행하고 있지 않았다. 수십 년간 과학교육에서 탐구 활동을 강조하였음에도 과학 영재학생들조차도 제대로 된 실험 설계를 수행하지 못한 점은 현재 과학교육의 문제점을 여실히 보여준다. 학생들이 이러한 실험 설계를 제대로 수행하지 못한 것은 그들이 실제로 이러한 실험 설계를 해본 경험이 없었기 때문이다. 앞에서 언급한 요리책같이 안내된 실험에 익숙한 학생들은 자신의 모델을 검증하는 실험 설계에 대한 고민의 경험이 없다. 실험 설계는 결국 모델에 대한 이해가 선행되어야 한다. 즉, 모델은 모든 자연 현상을 설명하지 않기 때문에 제한된 조건에서만 핵심 알고리즘이 작동하는 속성이 있다. 이것이 바로 모델이 갖는 전제 조건이다. 이러한 조건을 살피면서 실험 설계를 수행하기 위해서는 결국 모델에 대한 이해가 선행되어야 한다.

본 연구는 5명의 과학영재학생들을 대상으로 한 가지 현상에 대한 모델링을 진행하였기에 다른 실험 주제를 다루는 모델링의 경우에는

본 연구에서 분석한 메타모델링 발달 단계와 다를 수 있다. 보다 다양한 실험 주제를 통해 과학영재학생들의 메타모델링 발달 단계를 각각적으로 분석하는 후속 연구가 요구된다.

## 국문요약

이 연구에서는 모델링을 통해 드러난 학생의 과학 메타모델링 지식 발달 단계를 탐구하는데 목적이 있다. 이를 위해 5명의 영재학생들에게 양초연소와 관련된 모델링을 요구하였으며, 모델링의 모든 과정은 관찰되어지고 이후 개별 면담이 진행되었다. 연구결과, 2명의 학생이 1단계로 분류되었으며, 3명의 학생은 2단계로 분류되었다. 1단계 학생들은 모델의 생성, 모델을 이용한 예측 활동이 전혀 수행되지 않았으며, 그들에게는 관찰이 가장 의미가 있는 활동이었으며 이러한 관찰을 통해 모델을 생성하였다. 반면, 2단계의 학생들은 모델의 생성, 모델을 이용한 예측, 실험 수행 및 관찰, 예측과 자료의 비교를 모두 수행하였다. 하지만 모델의 생성과 이를 이용한 예측에서 상대적으로 강한 수행을 보였다. 그들은 실험에서 얻는 자료를 절대적인 모델을 확인하는 용도로만 인식하였다. 3, 4단계에 해당하는 학생은 관찰되지 않았다. 이러한 연구결과는 현재 영재학생들이 모델을 객관적 실체로 인식하는 단계에 머물러 있으며, 이들을 진정한 과학자로 양성하기 위해서는 영재학생들이 모델의 주관성을 인식할 수 있도록 돕는 교육이 필요함을 보여준다.

**주제어** : 메타모델링 지식 발달 단계, 모델링, 영재교육

## References

- Alonzo, A. C., & Gotwals, A. W. (2012). *Learning progressions in science: Current challenges and future directions*. Springer Science & Business Media. Rotterdam: The Netherlands.
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E., & Unger, C. (1989). 'An experiment is when you try it and see if it works': a study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11(5), 514-529.
- Cho, E. J., Kim C. J., & Choe, S. U. (2017). An investigation into the secondary science teachers' perception on scientific models and modeling. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(5), 859-877.
- Cho, H. S., Nam, J. H., & Oh, P. S. (2017). A review of model and modeling in science education: Focus on the metamodeling knowledge. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(2), 239-252.
- Clement, J. J. (2000). Model-based learning as a key research area of science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Corcoran, T., Mosher, F. A., & Rogat, A. (2009). *Learning progressions in science: An evidence-based approach to reform*. Philadelphia, PA: Consortium for Policy Research in Education.
- Duncan, R. G., Rogat, A. D., & Yarden, A. (2009). A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th-10th grades. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(6), 655-674.
- Giere, R. N., Bickle, J., & Mauldin, R. (2006). *Understanding scientific reasoning*. Thomson/Wadsworth.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Jeon, Y., & Choi, A. R. (2016). Analysis of inquiry activities in high school chemistry II textbooks based on the 2009 revised science curriculum: Focus on 8 science practices. *Journal of Korea Chemical Society*, 60(1), 59-68.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modeling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Kim, H. K., & Song, J. W. (2003). Middle school students' ideas about the purposes of laboratory work. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 23(3), 254-264.
- Kim, S. K., Choi, H., Park, C. Y., & Park, S. H. (2019). The chemistry teachers' perceptions and interpretations about three acid-base models. *Journal of Korea Chemical Society*, 63(1), 56-63.
- Kim, S. K., Kim, J. E., & Paik, S. H. (2019). Exploring progression levels for science metamodeling knowledge of the science gifted. *Journal of Korea Chemical Society*, 63(2), 102-110.
- Kim, S. K., Park, C. Y., Choi, H., & Paik, S. H. (2018). Evaluation of stated models for the floating and sinking phenomena in the chemical domain. *Journal of the Korean Chemical Society*, 62(3), 226-234.
- Kousathana, M., Demerouti, M., & Tsaparlis, G. (2005). Instructional misconceptions in acid-base equilibria: An analysis from a history and philosophy of science perspective. *Science & Education*, 14(2), 173-193.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of research in science teaching*, 29(4), 331-359.
- Lederman, N. G. (2007). *Nature of science: Past, present, and future*. Handbook of research on science education, 2, 831-879
- Mislevy, R. J., Haertel, G., Riconscente, M., Rutstein, D. W., & Ziker, C. (2017). Evidence-centered assessment design. In *Assessing Model-Based Reasoning using Evidence-Centered Design* (pp. 19-24). Springer, Cham.
- Morrison, M., & Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. In M. Morrison & M. S. Morgan (Eds.), *Models as mediators* (pp.10-37). Cambridge: Cambridge University Press.
- National Research Council(2013). *The Next Generation Science Standards*. National Academy Press: Washington, DC.
- Oh, P. S., & Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130.
- Park, H. K., Cho, J. R., Kim, C. J., Kim, H. B., Yoo, J. H., Jang S. H., & Choe, S. U. (2016). The change in modeling ability of science-gifted students through the co-construction of scientific model. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(1), 15-28.
- Rea-Ramirez, M. A., Clement, J., & Nunez-Oviedo, M. C. (2008). An instructional model derived from model construction and criticism theory. In *Model based learning and instruction in science* (pp. 23-43). The Netherlands: Springer Netherlands.
- Schwarz, C. V. (2002). Is there a connection? The role of meta-modeling knowledge in learning with models. In P. Bell, R. Stevens, & T. Satwicz (Eds.), *Keeping learning complex: The proceedings of the fifth international conference of the learning sciences (ICLS)*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Schwarz, C. V., & White B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Somerville, R. C., & Hassol, S. J. (2011). The science of climate change. *Physics Today*, 64(10), 48.
- Stevens, S. Y., Delgado, C., & Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 687-715.

## 저자 정보

김성기(광주과학고등학교 교사)

김정은(대선초등학교 교사)

박세희(경기과학고등학교 교사)

백성혜(한국교원대학교 교수)