

과학영재 학생들의 과학 메타모델링 지식 발달 단계 탐구

김성기 · 김정은[†] · 백성혜^{‡,*}

광주과학고등학교

[†]대선초등학교

[‡]한국교원대학교 화학교육과

(접수 2018. 10. 4; 게재확정 2018. 12. 16)

Exploring Progression Levels for Science Metamodeling Knowledge of the Science Gifted

Sungki Kim, Jung-Eun Kim[†], and Seung-Hey Paik^{‡,*}

Gwangju Science Academy For the Gifted, Gwangju 61005, Korea.

[†]Daeseon Elementary School, Suwon 16694, Korea.

[‡]Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Chungju 28173, Korea.

*E-mail: shpaik@knu.ac.kr

(Received October 4, 2018; Accepted December 16, 2018)

요약. 본 연구에서는 G 과학고등학교의 영재학생 97명을 대상으로 설문지를 통해 과학 메타모델링 지식의 발달 단계를 탐구하였다. Rasch 모델 분석 결과 Person reliability는 0.71, Item reliability는 0.96로서 과학 메타모델링 지식의 발달 단계가 적합함을 확인하였다. 학생들의 과학 메타모델링 지식의 발달 단계는 4단계로 분류되었으며, 크게 모델을 객관적인 것으로 보는 1, 2단계와 모델을 주관적인 것으로 인지하는 3, 4단계로 나뉘었다. 1단계는 모델을 하나의 현상을 그대로 시각적으로 표상한 것으로 보는 관점이고, 2단계는 모델이란 객관적인 지식이나 이론에 해당하는 것으로서 설명을 위한 도구라고 생각하는 단계이다. 3단계는 모델을 과학자의 탐구 도구로서 바라보며, 4단계는 모델이란 잠정적인 것이며 한 가지 현상에 여러 개의 모델이 공존할 수 있다고 보는 단계이다. 본 연구에서 도출한 과학영재 학생들의 과학 메타모델링 지식의 발달 단계는 영재학생들을 대상으로 과학 모델 및 모델링에 대한 교육과정을 구성할 때 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

주제어: 과학영재학교, 과학 메타모델링 지식, 발달 단계

ABSTRACT. The purpose of this study was to explore the progression levels of science metamodeling knowledge through using questionnaires for 97 students of the gifted in G science academy. As a result of the Rasch model analysis, it was confirmed that the progression levels of the scientific metamodeling knowledge is suitable for the person reliability of 0.71 and the item reliability of 0.96. The progression levels of students' science metamodeling knowledge were classified into 4 stages. First and second levels were considered model to be objective and the third and fourth stages were perceived as subjective. The first level is to view the model as a visual representation of a phenomenon as it is, and the second level is to think that the model corresponds to objective knowledge or theory and is a tool for explanation. The Third level looks at the model as a scientist's exploration tool and fourth level is to think that the model is provisional one and multiple models can coexist in one phenomenon. The progression levels of science metamodeling knowledge of science high school students derived from this study is expected to be used as a reference when constructing a curriculum for science modeling and modeling for gifted students.

Key words: Science high school, Science metamodeling knowledge, Progression level

서론

미국 과학교육 표준(National Science Educational Standards)과 차세대 과학 표준(Next Generation Science Standards)에서 모델에 대한 교육을 강조하고 있으며,^{1,2} 우리나라 과학교육의 2015 개정 교육과정에서도 모델이 강조되어 있다. 그러나 모델에 대한 학생과 교사의 인식 부족이 이를 과학수업

에 제대로 적용하는 데 걸림돌이 되고 있다.^{3,4} Kousathana 등⁵은 모델에 대한 교육은 단순히 모델이 제공하는 정보뿐만 아니라 모델이 어떻게 구조화되었고, 왜 그렇게 구성이 되었는지에 대한 내용도 교육에 포함되어야 함을 강조하였다. 조혜숙 등⁶ 역시 과학수업에서 모델과 모델링의 성공적인 사용을 위해서는 학생과 교사 모두 모델과 모델링의 지식에 대한 명확한 이해가 선행되어야 한다고 이야

기하였다.

Schwarz & White⁷는 모델링에 대한 지식을 메타모델링 지식이라고 부르며, 모델링의 지식에 대한 직접적인 교육이 필요함을 강조하였다. 많은 학자들 역시 모델 작성 및 수정에 참여한 학생들이 모델의 본성이나 모델링 과정을 이해한다고 담보할 수 없으므로 모델의 본성에 대한 정확한 이론들을 개발할 수 있도록 하는 메타모델링 단계(metamodeling level)를 모델링 교육과정에 추가하여 모델링 지식에 대한 직접적인 교육을 해야 한다고 이야기 하였다.⁸⁻¹⁴

학습발달과정(Learning Progressions)이란 과학 개념에 대한 학생의 이해와 과학적 탐구 수행 능력이 오랜 기간에 걸쳐 정교해지는 발달적 과정을 나타낸다.^{15,16} 반드시 모든 학생들이 이러한 경로를 통해 과학적 개념을 획득한 것은 아니나 학생이 최종 지점까지 도달하기 위해서 대략적으로 어떠한 경로를 거쳐야 하는지에 대한 정보를 제공하기 때문에 교수학습의 전략이나 교육과정을 개발할 때 유용한 자료로 활용될 수 있다.¹⁷ 때문에 미국을 비롯한 많은 나라에서 학문의 핵심개념을 중심으로 한 학습발달과정 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 이 결과를 적용하여 교육과정을 개발하고 있다.¹⁸ 따라서 현재 과학교육에서 학생들의 학습 발달 과정을 바탕으로 교육과정 설계, 평가 개발 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^{15,19}

이처럼 메타모델링에 대한 지식 역시 과학교육의 교육 과정에 반영되기 위해서는 학생들의 메타모델링에 대한 지식 발달 단계(Progression Levels)의 연구가 선행되어야 한다. 외국의 경우 Grosslight 등,⁹ Schwarz 등,²⁰ Crawford & Culiin²¹ 등이 과학 메타모델링 지식 단계를 제시하였다. 하지만 우리나라의 경우 이러한 메타모델링에 대한 연구는 주로 모델에 대한 인식을 조사하는 연구²²⁻²⁵에 머물러 있으며, 메타모델링에 대한 체계적 교육과정을 구성하는데 제공하는 정보가 현재 미흡한 수준이다. 때문에 우리나라 학생들을 대상으로 한 과학 메타모델링 지식의 발달 단계에 대한 연구가 필요하다.

이 연구에서 과학 영재들을 대상으로 과학 메타모델링 지식 발달 단계를 알아본 이유는 2가지 이다. 첫째, 자신의 인지 과정에 대해 아는 메타인지가 어려운 것처럼 모델 자체 및 모델링 과정에 대해 아는 메타모델링 지식을 체득하는 것은 쉽지 않은 일이다. 따라서 일반 학생들을 대상으로 할 경우에는 대부분 특정한 낮은 단계에 몰려 있어 발달 단계의 경로를 탐색하는데 적절하지 않다. 반면 일반 학생들에 비해 과학영재학교 학생들은 상대적으로 열린 탐구 활동의 기회를 충분히 제공받기 때문에 과학 모델 및 모델링을 체험할 가능성이 높으며, 따라서 일반 학생들에 비해 보다 다양한 발달 경로를 확인하는 것이 가능하다고 판단되었다. 둘째, 과학의 본성에 해당하는

새로운 과학이론이나 모델을 만드는 것에 대한 교육은 과학적 소양을 기르는 교육과정과 달리 과학자를 양성하는 심화과정의 과학교육에 적합한 내용이다. 따라서 이 연구는 과학영재 학생을 대상으로 하는 것이 적절하다고 판단하였다. 물론 충분히 과학을 배운 학생들 중에 일부는 비록 영재학생이 아니라고 하더라도 과학에 대한 메타모델링의 지식을 배울 수 있지만 이는 필수 조건은 아니다. 그러나 미래의 과학자가 될 과학영재 학생들은 메타 모델링 지식을 획득하지 않으면 다른 과학자들이 만든 모델에 응용 수준의 역량만 기르는 과학자로 양성될 수 있다. 따라서 창의적인 역량을 갖춘 뛰어난 과학자를 길러내기 위해서는 메타모델링에 대한 지식이 필수적으로 요구되어진다. 지금까지 우리나라의 과학영재교육은 심화학습과 속진학습을 병행하고 있지만, 기본적으로는 현재 패러다임으로 선택되어진 한 가지 모델에 대한 깊이 있는 지식의 이해와 응용력만을 요구하고 있다. 이러한 지식 중심으로 쏠리는 현재 영재교육의 문제점을 누구나 인식하지만, 그럼에도 불구하고 새로운 대안이 없기 때문에 영재 교육에 큰 변화가 이루어지지 못하고 있다. 이 연구에서 제안하는 과학영재학생들의 메타모델링 지식에 대한 탐색은 지식 중심의 영재교육에 새로운 대안을 제시할 수 있을 것이다.

연구 방법

연구 대상

설문대상은 전국의 8개의 과학영재학교 중 1개 학교를 편의표집(convenience sampling)하였다. 영재학교는 그 특성상 학부모의 관심이 매우 크고 자녀의 공부시간에 각별한 신경을 쓴다. 그렇기에 학교의 각종 행사로 자녀의 공부시간을 침해 받는 경우 이와 관련한 학부모 민원이 많은 편이다. 약 30-40분이 소요되는 본 연구의 개방형 설문지 작성시간을 고려했을 때, 해당 설문지를 무선 표집(random sampling)된 학교에 투입하는데 무리가 있다고 판단하였다. 따라서 학교장이 본 연구의 취지를 이해하며 연구자와 영재학생들 간의 래포(rapport)가 형성된 한 개 영재학교를 편의표집 하여 설문조사 학교로 선정하였다.

선정된 G영재학교 학생 중 1학년의 경우 과학영재학교에 입학한지 얼마 되지 않아 영재학교에서 제공되는 다양한 교육활동을 아직 경험하지 않은 상태이기에 메타모델링에 대한 지식이 일반학생과 크게 다르지 않을 것으로 판단되었다. 덧붙여 3학년의 경우 대한민국의 고등학교 특성상 입시를 앞두고 있기 때문에 설문조사와 같은 협조를 구하기 어려웠다. 따라서 본 연구는 G영재학교 2학년을 대상으로 설문을 조사하기로 하였다. 설문을 조사하기 전 연구에 대한 취지를 설명한 후 연구 참여 동의서를 받았

Table 1. The characteristics of participants

Demographic variable	Category	Frequency (%)
Sex	Male	73(75.3%)
	Female	24(24.7%)
Region	Metropolis	75(77.3%)
	Medium-sized city	14(14.4%)
	Countryside	8(8.3%)

으며, G영재학교 2학년 97명이 설문조사에 참여의사를 표시하였다.

영재학교의 특성상 수학과 과학에 대한 관심이 많은 학생이 모인 집단으로 Table 1에 보듯이 남학생이 여학생보다 상대적으로 더 많았다. 뿐만 아니라 영재학교는 전국 단위로 학생을 모집하기 때문에 다양한 지역의 학생들로 구성되었다. 이러한 2가지 특성은 나머지 영재학교에서도 동일하게 적용되기 때문에 비록 본 연구에서 1개의 영재학교를 대상으로 연구를 하였으나, 이러한 연구 결과를 다른 영재학교에 일반화하는데 큰 무리는 없을 것으로 판단되었다.

설문 문항 개발

과학 메타모델링 지식 발달 단계를 알아보기 위한 설문 조사지를 만들기 위하여 선행 연구들에서 제시하는 메타모델링 지식의 요소를 알아볼 필요가 있었다. 조혜숙 등⁶은 7개의 SSCI 학회지와 한국 논문, 보고서, 서적 등에서 모델과 모델링을 키워드로 하여 검색한 231편을 분석하였다. 그 결과 연구자마다 과학 메타모델링 지식의 구성요소를 보는 관점에 약간의 차이가 있었으나 크게 ‘모델의 본성, 모델의 다양성, 모델의 목적, 모델링 과정, 모델의 평가 및 수정’의 다섯 가지로 과학 메타모델링 지식의 구성요소를 추출하였다.

본 연구에서는 과학영재학교 학생들의 과학 메타모델링 지식 발달 단계를 알아보기 위하여 Crawford & Cullin^{21,26}의 연구에서 사용된 질문 중 6개를 차용하고, 조혜숙 등⁶이 제시한 과학 메타모델링 지식의 5가지 구성요소 중 Crawford

& Cullin^{21,26}의 연구에서 언급하지 않은 모델의 본성과 관련된 질문 1개를 추가하여 Table 2와 같이 총 7개 문항의 개방형(open-ended) 설문지 개발하였다. 7개 문항은 모델의 본성, 모델의 목적, 모델링 과정, 모델의 변화성, 모델의 다양성, 모델의 평가와 개선을 묻는 것으로 6개의 메타모델링 지식의 요소로 구성되어 있다. 메타모델링 요소에 대한 각 문항이 1개 문항을 되어 있으나, 모델링에 대한 요소는 2개 문항으로 나누어져 있다. 모델링의 과정을 묻는 3, 4번 문항에서 3번 문항은 모델의 생성 시점과 생성 시 고려할 점인 반면, 다른 하나(4번 문항)는 모델을 만들 때 모델이 표현하고자 하는 실제 자연과 얼마나 가까워야 하는가를 묻는 것이다. 3번 문항은 모델이 모든 자연 현상을 설명하는 것이 아니라 특정 환경에서의 어떠한 현상을 설명하는 모델의 전제조건에 대한 질문으로서 4번 문항과 다소 묻는 성격이 상이하다. 연구자는 이 두 가지 모두 모델링 과정에서 매우 의미가 있는 질문이므로 이를 구분하여 묻는 것이 중요하다고 판단하였다. 때문에 모델링 과정 경우 2개의 문항으로 분리하여 제시하였다.

자료 분석

‘과학 메타모델링 지식’에 대한 과학영재 학생들의 설문 조사 결과는 질적 자료의 일반적인 분석법²⁷에 따라 유목화(categorizing), 코딩(coding), 심화 코딩의 절차에 따라 분석되었다. 연구자가 설문 답변의 패턴을 탐색하여 1차로 유목화한 후에 코딩하였고, 과학교육 전문가 2인과 함께 유목화와 코딩의 타당성을 검토하였다. 그 결과를 바탕으로 다시 유목을 정교화하여 재코딩을 거친 후 타당성을 검토하였으며, 이러한 과정은 새로운 유목이 발견되지 않을 때까지 7회에 걸쳐 반복되었다. 이후에 Rasch 모델을 이용하여 Person reliability, Item reliability, MNSQ와 ZSTD의 Infit와 Outfit값을 이용하여 과학영재 학생들의 과학 메타모델링 지식의 발달 단계를 정교화하였다. 또한 이러한 단계 판정에 대한 학생의 내적합치도를 평가하기 위해 SPSS를 이용하여 Cronbach의 α 를 구하였다.

Table 2. The metamodelling components and questionnaire contents by items

Item no.	Component of metamodelling knowledge	Content
1	Nature of model	What is a scientific model?
2	Purpose of model	What is the purpose of the scientific model?
3	Process of modelling	When building a scientific model, what must be considered?
4		How close is the model to the real nature?
5	Variability of model	Does a scientist change or change a model? Write your answer and why.
6	Diversity of model	Can scientists construct more than one model for the same phenomenon? Write your answer and why.
7	Evaluating and modifying the model	The scientist goes through the process of evaluating the model. What is the criteria for the evaluation?

Table 3. Progression levels of science metamodeling knowledge

Level	Metamodeling knowledge in science
4	-Tentativeness of the model
	-Various perspectives
	-Recognizing the limitations of the model
3	-Inquiry tool
	-Working as intended by the modeler
2	-Tools for explanation
	-Objective knowledge, theory
	-Relationship with existing models
1	-Thumbnail of nature
	-Representing the phenomenon as it is

연구 결과 및 논의

과학 메타모델링 지식 단계와 단계의 적합도

메타모델링에 대한 기존의 문헌과 본 연구에서 학생들의 응답을 유목화하고 코딩한 결과를 토대로 과학영재 학생들의 과학 메타모델링 지식에 대한 가설적 단계를 수립하였다(Table 3).

1, 2단계는 모델이란 객관적이라는 생각에서 벗어나지 못하는 단계이고, 3, 4단계는 모델이란 주관적이라는 생각을 갖고 있는 단계이다. Level 1은 하나의 현상을 그대로 시각적으로 표상한 것을 모델이라고 보는데, Grosslight 등⁹과 Schwarz 등²⁰ 역시 이를 모델 인식의 가장 낮은 1단계로 보았다. Level 2는 모델이란 객관적인 지식이나 이론에 해당하는 것으로서 설명을 위한 도구라고 생각하는 단계이다. Crawford & Cullin²¹과 Schwarz 등²⁰ 역시 모델을 설명하기 위한 것으로 여기는 것을 2단계로 분류하였다. Level 3은 모델이란 탐구의 도구로서 모델러의 예측대로 작동하는지 확인하기 위한 것이라고 생각하는 단계이다. Crawford & Cullin²¹의 3단계에 해당하는 ‘모델러의 의도대로 작동하지 않을 때 모델이 변화한다’와 Schwarz 등²⁰의 3단계에 해당하는 ‘현상과 관련 있는 더 많은 측면을 설명하고 예측하기 위해 여러 가지 모델을 구성하고 사용한다’는 생각이 Level 3에 해당한다. Crawford & Cullin²¹은 ‘연구 도구, 가설 수립 및 검증을 통해 목표에 대한 새로운 정보 획득’을 그들의 최종 단계인 4단계로 분류하였지만, 본 연구에서는 이를

과학자들의 탐구 과정에 속하는 것으로 보고 3단계로 분류하였다. Level 4는 모델이란 잠정적인 것으로 언제든지 변할 수 있고, 한 가지 현상을 다양한 관점으로 설명할 수 있기에 한 가지 현상을 설명하는 다양한 모델들이 공존할 수 있다고 생각하는 단계이다. Crawford & Cullin²¹ 역시 ‘모델의 잠정성’을 4단계로 분류하였다.

이렇게 수립된 가설적 단계에 대한 적합도를 Rasch 모형을 이용하여 알아보았다. Rasch 모형 분석에서 보통 Person reliability는 0.7이하일 때 부적합하고, Item reliability는 0.9 이상이면 적합하다고 본다. 본 연구에서 수립한 과학 메타모델링 지식에 대한 가설적 발달 단계로 과학영재 학생들의 응답을 채점한 결과 Person reliability는 0.71, Item reliability는 0.96로서 적합하다는 결과가 나왔다. 모형 적합도를 나타내는 통계치(fit statistic)인 평균 차승 잔차(mean square residual: MNSQ)는 Rasch 모델에 적용가능성을 나타내는 지수로서, 관찰된 점수와 모형에 의해 예측되는 점수 차를 말한다. 적합도 지수는 내적합 지수(information-weighted fit statistics: infit)와 외적합 지수(outlier sensitive fit: outfit)로 나누어 나타내며, 적합도 지수의 값이 1에 비해 지나치게 크다면 분석한 자료가 Rasch 모델의 기대에서 크게 벗어남을 의미하고, 지수의 값이 1에 비해 지나치게 작다면 분석한 자료가 Rasch 모델의 기대에 비정상적으로 일치함을 의미한다. 일반적으로 Rasch 모델에서 MNSQ는 0.8~1.3의 범위에 들어갈 때 모형이 적합한 것으로 판단한다. ZSTD (표준화된 적합지수)는 MNSQ 통계치를 평균 0, 변량 1로 표준화한 것으로 ZSTD의 값이 -2.0~2.0 사이에 있으면 적합하다고 판단한다. 본 연구에서 MNSQ와 ZSTD의 Infit와 Outfit 값이 모두 양호하였으며, 이를 통해 본 연구에서 설정한 단계가 타당함을 확인할 수 있었다.

Rasch 모델의 주요 장점 중 하나는 학생들의 능력과 문제의 난이도를 같은 규모에서 추정치를 제공한다는 것이다.²⁸ Wright map을 통해 이를 한눈에 비교할 수 있는데, 이를 Fig. 1에 제시하였다.

Wright map의 가운데의 세로축에 표시된 숫자(-5~4)는 학생들의 과학 메타모델링 지식의 수준과 각 문항의 난이도를 표현한 logit 값을 보여준다. 세로축의 왼쪽에는 각

Table 4. The result of Rasch analysis

Item No.	Measure	Infit MNSQ	Outfit MNSQ	Infit ZSTD	Outfit ZSTD
1	0.04	0.89	0.84	-0.68	-0.89
2	0.37	1.09	1.10	0.7	0.72
3	0.13	1.01	1.01	0.09	0.09
4	0.21	0.91	0.96	-0.54	-0.15
5	1.51	1.02	0.98	0.22	-0.08
6	-1.96	1.27	1.11	1.71	0.59
7	-0.31	0.82	0.83	-1.19	-1.02

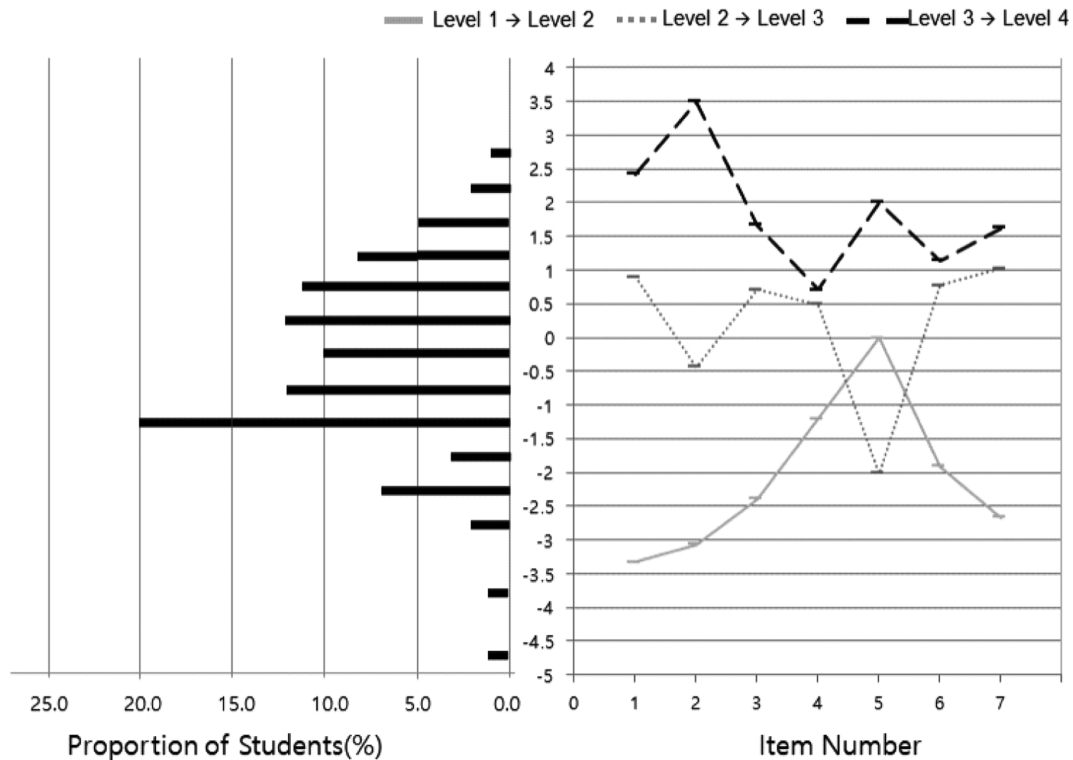


Figure 1. Wright map of science metamodeling knowledge.

logit 값에 해당하는 수준의 학생 비율을 %단위의 막대그래프로 표시하였다. 세로축의 오른쪽에는 Rasch 모델 분석 결과의 Thurston 임계값에 따라 각 문항에 해당하는 logit 값을 나타내었다. Thurston 임계값은 피험자들이 특정 선택지를 선택하거나 해당 점수를 받을 확률이 50%가 될 때의 능력에 대한 logit 값을 나타내므로 각 단계에 대한 난이도를 의미한다.

모델의 변화성을 묻는 5번 문항의 경우 Wright map에서 logit 값과 단계간의 역전이 나타났다. 이는 모델이 불변하다고 판단하는 1단계에 해당하는 학생이 0명으로 나와 상대적으로 높은 단계의 학생의 빈도가 더 많았고, 이로 인해 Rasch 모형에서 오히려 1단계를 받기 어려운 것으로 나왔기 때문이다. 따라서 이 문항은 과학영재 학생들의 발달단계를 측정하는데 적합하지는 않다고 판단하였다. 따라서 이후 문항에 관한 논의에서도 이 문항을 제외하고 논의하였다.

과학 메타모델링 지식(정의 목적, 설계와 구성, 변화성, 다양성, 평가)의 각 단계를 보여주는 Wright map은 문항들의 난이도 범위가 학생들의 능력 수준 범위를 포함하고 있으며, 앞서 설명한 문항 5를 제외하고 Level 1에서 Level 4에 이르기까지 단계가 올라 갈수록 어렵다는 것 역시 보여주고 있다.

이와 더불어 본 연구에서 수립된 단계를 토대로 채점된 학생들의 응답에 대한 내적일치도인 Crobach의 α 는 .718로 양호하였다. 이로써 본 연구에서 수립한 가설적 단계가 타당하다고 판단하였다.

과학영재 학생들의 과학 메타모델링 지식 단계 분석

5번 문항을 제외한 나머지 6개 문항에 대해 과학영재 학생들의 응답을 4단계로 채점하였을 때의 분포를 Table 5에 나타내었다.

모델의 본성을 묻는 1번 문항의 경우 67명(69%)의 학생이 모델을 객관적인 설명도구로 인식하는 1, 2단계로 답변하였으며, 2단계로 답한 학생이 가장 많았다(59명, 60.8%). 약 30%정도의 학생만이 모델의 주관성을 인식하였다. 모델의 목적을 묻는 2번 문항의 경우 1번 문항의 분포와 동일하게 2단계의 학생이 가장 많았으나 상대적으로 모델의 주관성 인식의 초기 단계인 3단계 학생의 비율이 40.2%로 분석된 6개 문항 중에서 가장 많은 응답비율을 보였다. 모델링 과정에 대한 3번과 4번 문항은 유사한 분포를 보였으나 모델과 자연의 일치를 직접 묻는 4번 문항에서 1단계에 해당하는 학생의 비율이 더 큰 것으로 보아 과학영재학생들 역시 모델이 자연이 되어야 한다는 초기적 인식 단계의 모습을 보인 것으로 분석된다.

Table 5. The distribution of responses by items

Item no.	Level	Frequency (%)	Item No.	Level	Frequency (%)
1	4	7 (7.2%)	4	4	16 (16.5%)
	3	22 (22.7%)		3	15 (15.5%)
	2	59 (60.8%)		2	31 (32.0%)
	1	8 (8.2%)		1	29 (29.9%)
	null	1 (1.0%)		null	6 (6.2%)
2	4	4 (4.1%)	6	4	42 (43.3%)
	3	39 (40.2%)		3	23 (23.7%)
	2	43 (44.3%)		2	23 (23.7%)
	1	11 (11.3%)		1	4 (4.1%)
	null	0 (0%)		null	5 (5.2%)
3	4	10 (10.3%)	7	4	12 (12.4%)
	3	19 (19.6%)		3	18 (18.6%)
	2	45 (46.4%)		2	45 (46.4%)
	1	14 (14.4%)		1	9 (9.3%)
	null	9 (9.3%)		null	13 (13.4%)

6번 문항만이 흥미롭게도 4단계의 학생이 가장 많았다. 6번 문항은 모델의 다양성에 대한 것으로 학생들이 이 문항에 응답할 때에는 지금까지 배웠던 다양한 모델(예를 들어, 다양한 산 염기 모델)을 예를 들면서 충분히 다양한 모델이 존재할 수 있다고 판단하였다. 다른 영역의 메타모델링 발달 수준에 비해 모델의 다양성 영역의 메타모델링 수준이 높게 나온 것은 학생들이 다양한 모델을 다룰 때 모델을 주관적인 것으로 인식할 수 있다는 가능성을 보여준다. 이는 모델을 객관적인 실체로 인식하는 학생들의 메타모델링 수준을 높이기 위해 의미 있는 시사점을 제공해 주는 것이다. 즉, 과학영재학생들을 대상으로 메타모델링에 대한 교육과정을 구성할 때 모델의 다양성이 있는 소재를 활용할 필요가 있다.

7번 문항은 다른 문항과 유사하게 2단계가 가장 많았으나 흥미롭게도 모델의 평가와 수정에 대한 문항으로 무응답의 비율이 10%가 넘는 유일한 문항이었다. 이러한 무응답은 다른 메타모델링 요소에 비해 학생들이 모델의 평가와 수정에 대해 상대적으로 학습할 기회가 적었기 때문에 개념을 배워 답을 하지 못한 것으로 추정된다. 따라서 영재학생들이 기존의 과학 모델을 학습할 때 기존의 모델을 평가하고 이에 대한 새로운 모델 제안이나 기존 모델의 수정을 논의하는 활동이 필요한 것으로 판단된다.

6번 문항을 제외한 나머지 모든 문항에서 대부분의 영재학생들은 2단계의 메타모델링에 대한 지식을 갖고 있었다. 즉, 대부분의 과학 영재 학생들은 모델이란 자연 현상을 설명하기 위해 제안된 것으로 이러한 모델은 객관적인 것으로 인식하고 있었다. 이러한 영재학생들의 모델에 대한 인식은 영재교육의 현주소를 여실히 보여준다고 할

수 있다.

1990년대 말, 과학고등학교가 설립 취지를 살리는 본연의 기능을 하지 못한다는 비판을 받으면서 2003년 한국과학영재학교를 시작으로 현재 8개의 과학영재학교가 개교하였다. 기존의 과학고등학교와 다르게 과학영재학교는 영재교육진흥법의 적용을 받기 때문에 보다 탄력적으로 교육과정을 운영 할 수 있다. 제한된 교육과정으로는 미래 사회 과학자를 양성하는 교육을 수행하는 데 어려움을 갖기 때문에 이러한 탄력적 운영을 보장한 것이다. 더불어 과학영재학교에는 막대한 예산이 투입되고 있다. 하지만 이러한 탄력적 운영과 예산의 투입에도 불구하고 현재의 과학영재학교 역시 입시를 가장 중요한 것으로 여기며 이에 초점이 맞춰져 있기 때문에 학생들의 창의적인 역량을 기르기 보다는 기존의 다른 학교보다 더 많은 지식을 주입하고 있는 실정이다.

과학자는 기존의 과학 모델을 많이 알기도 하지만, 그 모델을 기반으로 하여 자신만의 모델을 만들고 새롭게 세상을 바라본다. 때문에 기존의 과학 모델을 절대적으로 숭배하며, 기존 모델들을 학습하도록 교육하는 영재교육은 문제가 있다. 본 연구 결과에서도 대부분의 학생들이 과학 모델을 절대적으로 인식한다는 것을 확인할 수 있었다. 새로운 과학모델을 만들기 위해 선행되어야 할 것은 모델은 절대적인 것이 아니므로 새로운 모델을 만들 수 있다는 인식이다. 하지만 이러한 비율은 높지 않았다. 학생들이 과학 모델의 절대성에 압도되지 않고, 기존의 모델을 변화 가능한 것이라는 관점에서 학습할 수 있는 교육과정이나 프로그램이 필요할 것이다.

결론 및 제언

과학 수업에서 모델과 모델링을 성공적으로 사용하기 위해 필요한 과학 메타모델링 지식의 발달 단계를 설문조사를 통해 G과학교등학교 2학년 97명의 영재학생들을 대상으로 탐구해보았다. 메타모델링 지식의 발달 단계는 최종 4단계로 도출되었다. 과학 메타모델링 지식의 발달 단계는 크게 모델을 객관적인 것으로 보는 1, 2단계와 모델을 주관적인 것으로 인지하는 3, 4단계로 나뉘었다. 1단계는 모델을 하나의 현상을 그대로 시각적으로 표상한 것으로 보는 관점이고, 2단계는 모델이란 객관적인 지식이나 이론에 해당하는 것으로서 설명을 위한 도구라고 생각하는 단계이다. 3단계는 모델을 과학자의 탐구 도구로서 바라보며, 4단계는 모델이란 잠정적인 것이고 한 가지 현상에 여러 개의 모델이 공존할 수 있다고 본다. 이렇게 설정한 가설적 메타모델링에 대한 단계는 person reliability, item reliability, MNSQ, Cronbach의 α 를 통해 적합한 것으로 판정되었다.

문항별 학생들의 응답을 통해 현재 과학영재 학생들은 대부분이 2단계에 머물러 있음을 알 수 있었다. 과학영재들조차도 과학 모델을 객관적인 실체로 인식하고 있는 것이다. 2단계에서 3단계로 넘어가는 단계는 1단계에서 2단계로 혹은 3단계에서 4단계로 넘어가는 것과는 그 의미가 다르다. 모델을 객관적으로 바라보는 패러다임(1, 2단계)에서 모델을 주관적인 것으로 바라보는 패러다임(3, 4단계)으로의 변화를 의미하게 때문이다. 과학영재 학생들 대부분이 2단계에서 멈춰있음을 확인함으로써 모델의 객관성을 심화하는 수준으로만 교육이 진행되는 과학영재교육의 현 실태를 확인할 수 있었다.

이 연구결과로부터 메타모델링에 대한 지식이 일반 학생보다 더 높을 것으로 기대된 영재학생 조차도 모델에 대한 인식이 객관적 단계에 머물고 있다는 점은 과학교육에 대한 많은 시사점을 보여준다. 현재 과학교등학교의 교육과정은 영재학생들의 특성에 맞게 일반학교에 비해 많은 자율권을 주고 있다. 하지만 이러한 자율권이 실제 미래 과학자를 양성하는 역량에 초점을 두기 보다는 더 많은 지식을 더 빨리 전수하는데 초점을 두고 있다. 그렇기 때문에 과학영재 학생들조차도 메타 모델링에 대한 발달 단계가 낮은 결과를 보인 것이다. 현재 영재교육은 모든 이를 위한 영재교육을 표방하며 영재교육의 혜택을 받는 수혜자 대상의 확대에 큰 힘을 쏟고 있다. 많은 이들이 교육 혜택의 대상자가 된다는 것은 좋은 일이지만, 일반 학생을 대상으로 한 교육과 차별화된 영재교육의 정체성을 위해 앞으로 영재학생들의 메타모델링에 대한 지식을 발달시키는 교육과정의 구성이 매우 필요하다. 특히 본 연구 결

과를 토대로, 과학영재 교육의 방향을 이미 정립된 지식의 전수에서 벗어나, 지식의 생성 능력의 향상에 초점을 둘 필요가 있으며, 이때 지식의 생성 역량에 대한 교육은 본 연구에서 제시한 4단계의 메타모델링 단계를 활용하여 구성할 수 있을 것이다.

본 연구에서 밝힌 결과에 따르면, 영재 학생들의 응답 분포가 주로 2단계에 머물러 있었으나, 유일하게 6번 응답의 경우에는 3, 4단계에 해당하는 학생들이 50%를 넘었다. 이 문항은 모델의 다양성에 대한 학생들의 인식을 알아본 것으로, 많은 학생들이 거의 모든 자연 현상에는 예외가 있으며 둘 이상의 모델을 구성할 수 있다고 생각하거나 동일한 현상에 대해 사람마다 관심이 다르므로 다른 모델의 형성이 가능하다는 생각을 하였다. 따라서 이러한 모델에 대한 인식 영역에서 학생들에게 가장 문턱이 낮은 이 부분을 출발점으로 메타모델링의 지식수준을 높이는 방안으로 교육과정을 구성하는 것을 제안하고자 한다. 영재 학생들은 모델의 다양성과 관련한 질문에서 여러 모델이 왜 존재하는지를 고민하게 되었고 이에 따라서 모델의 다양한 측면을 고민한다는 점에 착안하여, 하나의 현상이 여러 모델로 설명되고 있는 소재를 활용한다면 현재 단일 모델로만 설명되고 있는 영재 교육보다 메타모델링 프로그램의 교육적 효과가 클 것이다.

현재 초, 중등 과학교과서에서 제시된 과학 모델들은 다양한 모델의 일부로 제시되기 보다는 가장 설명력이 넓은 한 가지 모델로 일반화하여 제시하기 때문에 절대 불변의 진리로 서술되는 경향이 있다. 이는 과학자가 되지 않은 대부분의 학생들에게 일반적인 상식 수준에서 과학을 이해하도록 하는데 도움을 줄 수 있다. 그러나 상식에도 항상 예외가 있듯이, 과학 모델은 과학자가 만들어낸 하나의 주관적 인공물이므로 자연현상을 설명하는 모델의 한계와 본성을 가르치는 것은 과학 영재들에게는 매우 중요하다. 따라서 과학 영재 교육과정에서는 일반 학생들과 경쟁하는 대학 입시를 강조하면서 이루어지는 지식의 속진 교육을 벗어나 모델의 주관성을 인식시키는 교육과정으로의 변화를 위해 노력을 기울여야 한다.

본 연구의 메타모델링 지식에 대한 발달단계는 과학교등학교 2학년에 재학 중인 영재학생들을 대상으로 진행되었다. 하지만 국가에서 시행하고 있는 과학영재에 대한 사업은 초등학교와 중학교의 영재학급, 영재교육원 등과 같이 다양하게 진행되고 있다. 따라서 초등학교부터 이루어지는 과학영재교육에 본 연구의 메타모델링 지식 발달을 토대로 한 교육과정의 효과에 대한 연구가 이루어진다면, 현재 국가가 운영하고 있는 영재교육이 영재 학생들의 과학자로서의 역량을 신장시키는데 더욱 효과적인 방향으로 성장할 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgments. Publication cost of this paper was supported by the Korean Chemical Society.

REFERENCES

1. National Research Council. *National Science Education Standards*; National Academy Press: Washington, D.C., 1996.
2. National Research Council. *The Next Generation Science Standards*; National Academy Press: Washington, D.C., 2013.
3. Jang, E. K.; Ko, W.; Kang, S. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **2012**, *32*, 1.
4. Treagust, D. F.; Chittelborough, G. D.; Mamiala, T. L. *Int. J. Sci. Educ.* **2002**, *24*, 357.
5. Kousathana, M.; Demerouti, M.; Tsaparlis, G. *Sci. Educ.* **2005**, *14*, 173.
6. Cho, H. S.; Nam, J. H.; Oh, P. S. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **2017**, *37*, 239.
7. Schwarz, C. V.; White B. Y. *Cogn. Instr.* **2005**, *23*, 165.
8. Carey, S.; Smith, C. *Educ. Psychol.* **1993**, *28*, 235.
9. Grosslight, L.; Unger, C.; Jay, E.; Smith, C. L. *J. Res. Sci. Teach.* **1991**, *28*, 799.
10. Schwarz, C. Developing Students' Understanding of Scientific Modeling. Unpublished doctoral dissertation. University of California, Berkeley, 1998.
11. Schwarz, C.; White, B. Fostering Middle School Students' Understanding of Scientific Modeling. Paper presented at the annual meeting of American Educational Research Association, San Diego, CA, 1998.
12. Smith, C.; Snir, J.; Grosslight, L. *Cogn. Instr.* **1992**, *9*, 221.
13. Wiser, M.; Kipman, D.; Halkiadakis, L. *Can Models Foster Conceptual Change? The Case of Heat and Temperature*; Educational Technology Center: Cambridge, MA, 1988.
14. White, B.; Schwarz, C. Alternative approaches to using modeling and simulation tools for teaching science. In *Modeling and Simulation in Science and Mathematics Education*; Feurzeig, W., Roberts, N., Eds.; Springer Science Business Media: New York, 1999; pp 256-296.
15. Corcoran, T.; Mosher, F. A.; Rogat, A. *Learning Progressions in Science: An Evidence-based Approach to Reform*; Consortium for Policy Research in Education: Philadelphia, PA, 2009.
16. Duncan, R. G.; Rogat, A. D.; Yarden, A. *J. Res. Sci. Teach.* **2009**, *46*, 655.
17. Stevens, S.; Delgado, C.; Krajcik, J. S. *J. Res. Sci. Teach.* **2010**, *47*, 687.
18. Paik, S. H.; Song, G. R.; Kim, S. K.; Ha, M. S. *EURASIA J. Math. Sci. Tech. Ed.* **2017**, *13*, 4965.
19. Alonzo, A. C.; Gotwals, A. W. *Learning Progressions in Science: Current Challenges and Future Directions*; Science Publishers: Rotterdam, 2012; pp 373-390.
20. Schwarz, C. V.; Reiser, B. J.; Davis, E. A.; Kenyon, L.; Achér, A.; Fortus, D.; Krajcik, J. *J. Res. Sci. Teach.* **2009**, *46*, 632.
21. Crawford, B. A.; Cullin, M. J. *Research and the Quality of Science Education*; Springer Netherlands: The Netherlands, 2005.
22. Cha, J. H.; Kim, Y. H.; Noh, T. H. *J. Korean Chem. Soc.* **2004**, *48*, 638.
23. Ha, J. H.; Lee, W. J.; Kang, S. J. *J. Gifted/Talented Educ.* **2009**, *19*, 184.
24. Park, S. K. *J. Kor. Earth Sci. Soc.* **2009**, *30*, 111.
25. Kang, N. H. *J. Kor. Ass. Sci. Educ.* **2017**, *37*, 143.
26. Crawford, B. A.; Cullin, M. J. *Int. J. Sci. Educ.* **2004**, *26*, 1379.
27. Kim, Y. C. *Qualitative Research Methodology*; Moonumsa: Seoul, 2006.
28. Bond, T. G.; Fox, C. M. *Applying the Rasch Model: Fundamental Measurement in the Human Sciences*; Psychology Press: 2013; pp 29-48.

<부록> 과학 메타모델링 지식 발달단계 설문지 및 단계별 응답 예시

문항 번호	요소	문항	단계	단계별 응답 예시
1	모델의 본성	과학 모델이란 무엇이라고 생각하십니까?	4	자연 현상을 쉽게 이해하기 위해서 인간에 의해 만들어진 인공적 도구이다.
			3	현상이나 실험 결과를 설명하고 예측하기 위해 만들어진 형태이다.
			2	-다양한 현상을 설명하는 도구 -현상에 대한 인과 관계가 과학적 분석에 의해 정의되며, 이때 받아들여지는 인과관계는 틀리지 않은 절대 참이다.
			1	과학적 사실을 가시화하기 위해 만들어진다.
2	모델의 목적	과학 모델의 목적은 무엇이라고 생각하십니까?	4	제안된 과학모델의 가정을 충족한 자연 현상을 설명하기 위함.
			3	모델을 도입하여 자연 현상을 예측하기 위한 가이드라인 역할 수행
			2	가장 합리적인 방법으로 자연 현상을 설명하기 위해 만들어짐.
			1	가시적으로 보이고 쉽게 이해하기 위해 만들어짐.
3	모델링 과정	과학 모델은 언제 만들게 되며, 만들 때 무엇을 고려해야 하나요?	4	모델을 만들 때 염두에 두어야 할 것이 있다고 생각하지 않는다. 지금까지 많은 모델들이 무너졌으나 그 모델도 그 당시에는 터무니없다고 생각되어지지 않았다. 자연현상의 예측과 별개로 그 모델이 갖는 전제조건이나 알고리즘과 같은 구조가 논리적이기만 하면 된다.
			3	과학 모델이 갖는 가정과 가설이 실험 결과를 잘 표현하는 것이 중요하다.
			2	-과학 모델은 현상이나 사실을 잘 설명한지 고려한다. -과학 모델을 만들 때는 진실인 과학적 사실을 포함해야 한다.
			1	자연 현상을 가시적으로 이해하기 위해 만들며, 자연 현상과 잘 일치하는지를 고려해야 한다.
4	모델링 과정	과학 모델은 실제 자연과 얼마나 가까워야 할까요?	4	자연을 따라 할 필요가 없다. 모델이 특정 조건 하에서 만 논리적으로 작동하면 문제가 되지 않는다.
			3	모델로서 자연 현상을 예측하면 충분하다.
			2	나는 모델의 목적이 자연 현상에 대한 기술이라고 생각하기 때문에 모델이 실제 자연 현상과 매우 가깝다고 생각한다.
			1	모델은 자연 현상과 일치해야하며 불일치가 없어야합니다.
6	모델의 다양성	같은 현상에 대해 하나 이상의 모델을 구성할 수 있을까요? 답변을 쓰고, 왜 그렇게 생각하 는지 자세히 작성해보세요.	4	그렇다. 동일한 현상에 대해서 사람마다 관심을 가지고 집중하는 것이 다르므로 다른 모델을 만들 수 있다.
			3	그렇다. 거의 모든 현상에는 예외가 있으므로 둘 이상의 모델을 구성할 수 있다.
			2	그렇다. 왜냐하면 다양한 표현으로 현상을 기술할 수 있기 때문이다.
			1	불가능하다. 같은 현상에 대해 오직 하나의 과학 모델만이 존재할 수 있으며, 여러 모델이 있는 경우 그 모델들의 내부 구조는 동일 할 것입니다.
7	모델의 평가와 개선	과학자들은 모델의 평가 과정을 경험합니다. 이때 평가는 어떠한 기준이어야 할까요?	4	모델이 기존의 이론이나 상식의 기준에 근거한 것으로 보이거나 반드시 그렇지 않아도 된다. 다만, 모델이 갖는 전제조건 내에서 그 모델이 갖는 핵심 알고리즘에 논리적 모순을 갖지 않아야 한다.
			3	모델이 실험에서 관찰되는 현상을 얼마나 가깝게 예측하는가?
			2	-객관적인 형태로 모든 사람들이 이해할 수 있는가? -보편적으로 받아들여지는 이론과 일치한가?
			1	-실제 현상이 얼마나 포함되어 있는가? -시각적으로 쉽게 이해할 수 있는가?