

모델링 실천을 통한 과학 영재학생들의 메타모델링 지식 구성요소별 인식수준 분석

김기향 · 백성혜^{†,*}

세종과학예술영재학교

[†]한국교육대학교 화학교육과

(접수 2022. 6. 22; 게재확정 2022. 12. 20)

Analysis of the Cognitive Level of Meta-modeling Knowledge Components of Science Gifted Students Through Modeling Practice

Kihyang Kim and Seung-Hey Paik^{†,*}

Sejong Academy of Science and Arts, Sejong 30099, Korea.

[†]Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Cheongju 28173, Korea.

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

(Received June 22, 2022; Accepted December 20, 2022)

요 약. 본 연구는 화학교과 내용 맥락 하에서 모델링 실천을 통해 드러난 메타모델링 지식 구성요소별 인식수준을 진단함으로써 메타모델링 지식과 통합된 모델링 실천 프로그램 구성을 위한 기초자료를 얻고자 하였다. A 과학 영재학교 2학년 재학생 16명을 대상으로 화학 교사가 변칙현상이 포함된 탐구기반 모델링을 진행하였으며, 모델의 가변성, 모델의 다중성, 모델링 과정 등 메타모델링 지식 구성요소별 인식수준을 분석하기 위하여 학생이 기록한 탐구노트와 연구자가 기록한 관찰노트를 분석에 활용하였다. 인식수준은 0단계부터 3단계까지 분류하였다. 분석 결과, 메타모델링 지식의 구성요소 중 모델링 과정에 대한 인식수준이 가장 높았으며 모델의 다중성 다음으로 모델의 가변성에 대한 인식수준이 가장 낮은 것으로 나타났다. 모델 가변성에 대한 낮은 인식수준의 원인은 학생들이 개념모델을 객관적 사실로 인식하는 것과 관련이 깊고, 모델 다중성에 대한 낮은 인식수준의 원인은 주어진 현상에 대해 오직 하나의 올바른 모델이 존재한다는 신념과 관련이 있다. 학생들은 개념모델을 화학기호와 같은 상징적 모델을 이용하여 정교화하였으나 모델링 전 과정에 영향을 주는 자료해석의 중요성에 대한 인식이 부족하였다. 모델의 본성을 명시적으로 안내할 수 있는 사전활동의 도입하고, 자료해석의 중요성을 구체적 예시를 통해 안내할 필요가 있다. 다른 관점에서 제안된 모델의 수용 가능성을 고려하고 검증하는 훈련이 모델링 실천 프로그램을 통해 이루어져야 한다.

주제어: 메타모델링 지식, 변칙현상, 모델의 가변성, 모델의 다중성, 모델링 과정, 모델링 실천

ABSTRACT. The purpose of this study is to obtain basic data for constructing a modeling practice program integrated with meta-modeling knowledge by analyzing the cognition level for each meta-modeling knowledge components through modeling practice in the context of the chemistry discipline content. A chemistry teacher conducted inquiry-based modeling practice including anomalous phenomena for 16 students in the second year of a science gifted school, and in order to analyze the cognition level for each of the three meta-modeling knowledge components such as model variability, model multiplicity, and modeling process, the inquiry notes recorded by the students and observation note recorded by the researcher were used for analysis. The recognition level was classified from 0 to 3 levels. As a result of the analysis, it was found that the cognition level of the modeling process was the highest and the cognition level of the multiplicity of the model was the lowest. The cause of the low cognitive level of model variability is closely related to students' perception of conceptual models as objective facts. The cause of the low cognitive level of model multiplicity has to do with the belief that there can only be one correct model for a given phenomenon. Students elaborated conceptual models using symbolic models such as chemical symbols, but lacked recognition of the importance of data interpretation affecting the entire modeling process. It is necessary to introduce preliminary activities that can explicitly guide the nature of the model, and guide the importance of data interpretation through specific examples. Training to consider and verify the acceptability of the proposed model from a different point of view than mine should be done through a modeling practice program.

Key words: Meta-modeling knowledge, Anomalies, Model variability, Model multiplicity, Modeling process, Modeling practice

서 론

모델은 자연계에서 일어나는 현상을 설명하기 위해 현상을 추상화하고 단순화하여 나타낸 표상이고, 모델링은 모델을 구성하고 평가 및 수정을 통해 정교화 시키는 일련의 과정이다.¹⁻⁵ 모델과 모델링은 과학의 주요 산출물이며 교수전략 중 하나인 동시에 학습 내용으로 과학교육의 중요한 연구대상이다.^{4,6-11} 초창기 연구에서 모델과 모델링은 개념학습을 위한 도구로 사용되었으나, 최근 과학교육 목표가 과학의 본성 이해를 통한 과학적 소양 함양으로 확대됨에 따라 학습 도구를 넘어서 학습 대상으로 인식되고 있다.¹² 이에 따라 모델과 모델링에 대한 인식수준 진단과 모델링 실천(modeling practice)을 통한 과학적 탐구의 실천적 지식 습득에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.^{4,7,13-15}

모델과 모델링에 대한 지식인 메타모델링 지식(meta-modeling knowledge)은 학생들이 모델링 실천에 생산적으로 참여할 수 있도록 도와주는 필수 요소로, 메타모델링 지식과 모델링 실천은 상호 순환적 의존성을 갖는다. Gobert & Discenna¹⁶는 학생들이 모델에 대해 더 정교한 인식을 가질수록 만들어 낸 모델로부터 더 나은 추론 능력을 보임을 확인하였으며, Kim, Kim & Paik¹⁷은 학생들의 메타모델링 지식의 인식수준과 모델링 실천과의 관계 탐구를 통해 모델링 실천 역량이 메타모델링 지식 인식수준을 능가할 수 없음을 보여주었다. Park 등¹⁴의 연구 결과는 모델과 모델링에 관한 인식 변화와 모델링 실천 사이에 밀접한 관련이 있음을 보여주었다. Baek¹⁸은 모델링 실천 경험이 많아질수록, 모델과 모델에 대한 인식이 세련된 방향으로 발전함을 언급하였다. 이와 같은 상호 순환적 의존성은 모델링 실천을 통해 메타모델링 지식에 대한 인식이 개선될 수 있음을 보여준다. 그러나 단순히 모델을 생성하고 수정하는 활동만으로 모델에 대한 이해가 증진되지 않기 때문에 메타모델링 지식과 통합된 모델링 실천 프로그램의 적용이 필요하다.¹⁹⁻²¹

Yoon²¹은 모델과 모델링을 교수학습 전략으로 도입하여 자기(magnetic)모델에 대한 모델링 과정을 통해 모델의 본성과 목적에 대한 이해증진 연구를 진행하였다. 모델의 생성, 모델의 평가 및 수정, 모델의 적용으로 구성된 모델링 활동에 메타모델링 지식을 명시적으로 안내함으로써 메타모델링 지식과 통합된 모델링 실천 프로그램의 효과적인 실시 방법에 대한 시사점을 제공하였다.

한편 메타모델링 지식과 통합된 모델링 실천은 과학적 현상을 다루므로 내용 특이성을 갖는다. 내용 특이성은 학습에 결정적인 영향을 끼치므로²² 특정한 과학 현상이나 개념에 대한 다양한 모델링 실천 프로그램의 개발이 필요

하다. 최근 Cho & Nam¹⁹은 과학교육에서 모델과 모델링 관련 국내 과학교육 연구 동향을 분석하고 다양한 내용 영역이나 개념과 관련된 프로그램 개발과 수업전략 개발을 통한 적용 효과 연구의 필요성을 주장하였다.

메타모델링 지식의 인식수준 향상을 위한 교수학습 전략이나 프로그램 개발은 학습 대상의 인식수준 진단을 바탕으로 개발되어야 한다. 이에 여러 연구자가 메타모델링 지식의 구성요소를 정의하고, 인식수준을 진단하기 위해 다양한 평가도구를 개발하였다.^{4,11,23-25} Grosslight 등²³은 ‘모델의 종류’, ‘모델의 목적’, ‘모델의 설계와 구성’, ‘모델의 가변성’, ‘모델의 다양성’ 등 다섯 가지 측면에서 메타모델링 지식에 관한 인식을 조사하였으며 이를 토대로 메타모델링 인식수준을 3단계로 분류하였다. Crawford & Cullin²⁴은 ‘모델의 목적’, ‘모델의 설계와 구성’, ‘모델의 가변성’, ‘모델의 다양성’, ‘모델의 검증’ 등 다섯 가지 측면에 대해 ‘제한적 수준’, ‘과학자 이전의 수준’, ‘과학자로 진입하는 수준’, ‘과학자다운 수준’으로 인식수준을 4단계로 나누었다. 최근 Lazenby 등²⁵은 메타모델링 지식에 대한 사전연구를^{4,23-27} 바탕으로 메타모델링 지식의 구성요소를 모델의 가변성, 모델의 다양성, 모델의 평가, 모델링 과정으로 제시하고, 각 구성요소에 대한 화학 전공 학생들의 생각을 질적으로 평가할 수 있는 4단계 지표를 구성하였다. Lazenby 등²⁵의 평가도구는 메타모델링 지식의 구성요소별 진단이 가능하여 연구대상이 해당하는 인식수준을 갖게 된 원인을 고찰하고 개선을 목적으로 한 프로그램과 교수전략 개발에 기초자료를 얻는데 활용 가치가 높다.

메타모델링 지식의 인식수준을 진단하는 일반적인 방법은 설문지를 이용한 조사방법이다. 이 방법은 모델과 모델링에 관해 질문하고 이에 대한 연구대상의 답변을 바탕으로 인식수준을 추론하는 것이다.^{13,23} 그러나 최근 설문지에 응답하는 방식이 가질 수 있는 한계가 보고되며 이를 보완하기 위해 여러 방법이 시도되고 있다.^{10,17,28,29} Kang¹⁰은 모델에 대해 일상적으로 의식하지 않은 탈맥락적 상황에서 질문지를 통한 설문방식은 응답자의 인식을 적절히 진단하기 어려운 한계가 있음을 지적하고 사례를 통한 인식조사 방식을 사용하였다. Kim 등²⁹은 연구 참여자가 모델에 대한 설문 문항에 답을 작성할 때보다 실제 모델링을 실천하면서 자신이 이해한 모델의 신념을 잘 드러내는 것을 보고하였다. 따라서 맥락적 상황에서 모델링 실천을 통해 메타모델링 지식의 인식수준을 진단할 필요가 있다.

Kim 등^{17,28}의 선행연구에서는 탐구기반 모델링을 통해 메타모델링 지식 인식수준을 진단하였으나, 모델에 대한 학습자의 관점을 객관성과 주관성에 주안점을 두어 진단한 것으로 메타모델링 지식의 구성요소별 진단이 어려워

모델링 실천 프로그램 개발을 위한 기초자료를 얻는 데 한계가 있다. 본 연구에서는 연구대상이 학습하고 있는 교과와 관련된 내용 맥락 하에서 모델링 실천을 통해 드러난 메타모델링 지식의 인식수준을 요소별로 진단함으로써 메타모델링 지식과 통합된 모델링 실천 프로그램 구성을 위한 기초자료를 얻고자 한다.

연구방법

연구대상

모델의 본질과 목적을 고려하는 능력은 과학적 소양의 중요한 구성요소로 모든 학생에게 중요하지만³⁰⁻³² 과학자가 되기 위해 준비하는 학생에게 필수적이다.³³ 그러나 최근 우리나라 과학 영재학생을 대상으로 메타모델링 지식 인식 수준을 진단한 결과 연구대상 대부분이 과학모델을 객관적인 실체로 인식하는 단계에 머물러 있으며 모델과 모델링에 대한 이해가 부족한 것으로 나타났다.^{28,34} 이에 영재학생을 대상으로 한 모델링 실천 프로그램의 개발이 필요하며, 이를 위한 기초자료를 얻기 위해 과학 영재학생을 연구대상으로 선정하였다.

연구는 A 과학 영재학교 2학년 재학생 중 연구의 취지에 동의한 참여자를 대상으로 진행하였다. 연구 참여 대상은 총 16명으로 10명의 남학생과 6명의 여학생으로 구성되었다. 실험결과에 대한 자료해석과 모델 제안 과정 중 논의에 제한이 없도록 일반화학 입문 수준의 교과를 이수한 2학년 학생들을 대상으로 하였다. 연구 참여자의 인권을 보호하기 위해 학생의 이름 대신 알파벳을 사용하였다. 4인 1모둠으로 모델링 실천에 참여하였으며, 모둠 편성은 무작위로 하였다. 연구에 참여한 학생들은 문제해결을 위한 프로그램에 참여한 것으로 안내를 받았으며 연구의 구체적 목적은 연구를 마친 이후에 안내받았다. 탐구기반 모델링 실천은 영재학교에 재직 중인 화학 담당교사에 의해 이루어졌다.

연구 절차

개념모델을 통한 예상과 실험을 통해 관찰한 현상 사이에 차이가 있을 때 학생들은 증거와 설명의 조정 활동을 수행

하며 새로운 모델을 제안할 기회를 갖는다.^{33,35} 이에 교과서 실험 중 예상과 다른 현상이 관찰되는 탐구실험을 모델링 실천의 소재로 선정하였다. 2015 개정 교육과정 통합과학 교과서에는 탄산 칼슘, 마그네슘, 리트머스 지시약 등을 이용하여 주변의 산(아세트산, 염산)과 염기(탄산수소 나트륨, 수산화 나트륨)를 구별하는 탐구실험이 포함되어 있다. 푸른색 리트머스 지시약을 붉은색으로 변화시키는 산성 용액은 마그네슘과 반응하여 수소 기체를 생성하고 탄산 칼슘과 반응하여 이산화 탄소 기체를 생성한다. 한편 붉은색 리트머스 지시약을 푸른색으로 변화시키는 염기성 용액은 마그네슘과 탄산 칼슘에 반응하지 않는다. 이러한 공통적인 성질을 이용해 주변의 물질을 산과 염기로 분류할 수 있다. 그러나 실제 탐구실험을 수행해보면 지시약을 통해 염기성으로 확인된 탄산수소 나트륨 수용액이 마그네슘과 반응하는 것을 관찰할 수 있다(Table 1). 따라서 마그네슘과 염기성 용액의 반응은 개념모델 ‘산은 마그네슘과 반응한다.’, ‘염기는 마그네슘과 반응하지 않는다.’의 변칙현상에 해당한다. 이에 탄산수소 나트륨 수용액과 마그네슘의 반응을 탐구기반 모델링 실천의 주제로 선정하였다. 조사, 토의, 실험 등 다양한 탐구기반 활동이 가능하지만 본 연구에서 탐구기반 활동은 탐구실험 수행을 기반으로 한 활동을 의미한다.

모델링 실천은 2019년 4월 첫째 주부터 셋째 주까지 3주간 3회 진행하였다. 첫 번째 주에는 문제와 해결방법이 모두 주어진 구조화된 교과서 탐구실험을 수행하면서 변칙현상을 발견하고, 모델링 실천의 주제를 설정하였으며, 둘째 주와 셋째 주에는 변칙현상을 해결하기 위한 방안을 스스로 설계하는 반구조화된 탐구실험을 수행하였다. 연구자는 학생들에게 교과서 탐구실험을 실행하기 전에 실험결과를 예측하도록 지도하였으며, 탐구실험 수행 이후 예상과 다른 변칙현상을 학생들과 공유하고 공통의 문제 해결 주제로 설정하도록 지도하였다.

학생들은 교과서 탐구실험을 통해 얻는 자료를 기반으로 개념모델을 평가하고 변칙현상을 설명하기 위해 개인모델을 제안하였다. 이후 모둠토의를 통해 모둠의 합의된 모델을 도출하였다. 모둠으로 실험을 설계하고 수행하였으며 실험결과를 근거로 모둠의 합의된 모델에 대한 평가

Table 1. Results of textbook experiments

Solution	Change of Litmus color	Mg(s)	CaCO ₃ (s)
CH ₃ COOH(aq)	blue to red	gas generation	gas generation
HCl(aq)	blue to red	gas generation	gas generation
NaHCO ₃ (aq)	red to blue	gas generation*	-
NaOH(aq)	red to blue	-	-

*Different result than expected

및 토의를 수행하였다. 활동에 대한 결론은 개별적으로 정리하도록 지도하였다. 학생들에게 수행과정을 탐구노트에 작성하도록 안내하였으며 연구자는 활동의 전 과정을 관찰노트에 기록하였다. 모델링 실천 이후 학생들의 탐구노트 및 활동과정에 대한 연구자의 관찰노트를 근거로 메타모델링 지식의 구성요소별 인식수준을 학생별로 진단하였다. 프로그램의 개발에 필요한 기초자료 수집을 위해 동일 인식수준에 해당하는 최소 인원 2명씩을 선정하여 1:1 면담을 진행한 후 전사였다(Fig. 1).

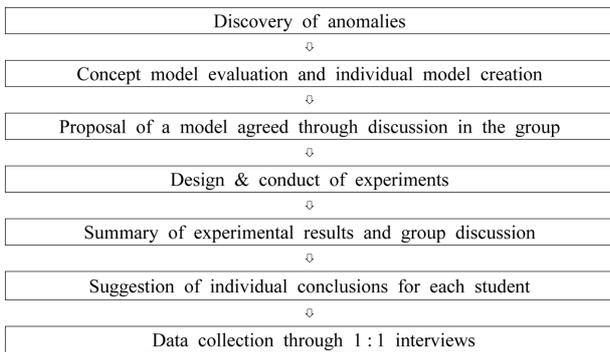


Figure 1. Research procedure.

자료 수집 및 분석. 연구대상이 지닌 메타모델링 지식의 구성요소별 인식수준을 진단하기 위해 Lazenby 등²⁵의 연구결과를 사용하였다. 해당 분석틀은 모델의 가변성, 모델의 다중성, 모델의 평가, 모델링 과정에 대한 학생들의 인식론적 지식을 질적으로 평가할 수 있는 4단계 지표로 구성되어 있다. Table 2는 모델의 평가를 제외한 모델의 가변성, 모델의 다중성, 모델링 과정에 대한 4단계 지표이다.

본 연구에서 연구자는 증거와 설명의 조정 활동을 촉진하고 모델 제안기회를 제공하기 위해 개념모델에 의한 예상과 다른 결과가 관찰되는 변칙현상을 모델링 실천의 주제로 선정하였다. 변칙현상을 학생들이 스스로 발견할 때, 개념모델의 평가와 함께 개인모델의 제안이 이루어질 수 있으며, 모델링 실천의 참여동기를 부여한다고 판단하여 모델의 평가 인식수준 3단계에 해당하는 활동을 사전에 안내하였다. 사전 안내에 의한 영향으로 학생들은 모두의 합의된 모델의 검증을 위한 탐구실험 중에도 제안한 모델을 바탕으로 결과를 예측하고 실험결과와 비교를 통해 모델을 평가하였다. 즉, 모델의 평가 인식수준 3단계에 해당하는 활동을 모델링 실천 전반에 수행하였기에 모델의 평가는 분석에서 제외하였다.

본 연구에서는 모델링에서 드러난 메타모델링 지식의

Table 2. Meta-modeling knowledge analysis framework²⁵

Level	Model changeability	Model multiplicity	Process of modeling	Cross-construct theme
3	Student response indicates that iterative change of models is part of typical research activity; responses in this category recognize the role of the modeler's interpretation of data as the agent of model change	Student response indicates that multiple models may be the result of different interpretations of or explanations for the same data; includes responses which discuss complementary models or models created for different purposes	Student response indicates that models are developed based on scientists' interpretations of or explanations for data or experimental results; includes responses which discuss analyzing and finding patterns or trends in data.	Student response indicates that interpretation of data is an important aspect of modeling; recognition of the role of the scientist/modeler
2	Student response indicates that a model may be changed if new data or information about the target phenomenon are discovered; responses in this category do not discuss interpretation of data but rather discuss the data itself as the agent of model change	Student response indicates that multiple models are the result of focusing on different aspects of the target phenomenon or applying different methods to study the phenomenon	Student response indicates that models are developed based on research and experimentation but do not discuss interpretation of empirical data	Student response indicates that data is important in modeling. They are aware of the role of data in modeling, but focus on data, not modelers.
1	Student response indicates that a model may be changed if there is something wrong with them; response ultimately converges on the idea that there exists one correct model	Student response indicates that multiple models may exist due to differences in modelers; responses in this category attribute differences in models to differences in learning modalities, educational	Student response indicates that models are developed by scaling or copying the target phenomena to create a visual representation	Student response indicates that scientific models are visual representations that are useful for teaching and learning about scientific phenomena
0	Student response indicates that models cannot or should not be changed	Student response indicates that multiple models may exist, but only one correct model may exist for a given phenomenon	Student response indicates that models are developed through trial-and-error, educated guessing, or following a standard set of procedures such as "The Scientific Method	Student response indicates most naïve ideas that present fundamentally erroneous concepts about the nature of scientific inquiry.

구성요소별 인식수준에 대한 분석으로 모델링 전 과정 중 학생의 메타모델링 지식의 인식수준을 볼 수 있는 측면에 국한하여 분석을 진행하였다. 학생이 기록한 탐구노트와 연구자가 기록한 관찰노트를 분석에 활용하였으며 모델링 실천 중 특이사항이 관찰되는 경우 관찰노트에 기록 후 면담을 통해 확인하는 과정을 거쳐 자료를 수집하였다. 연구자료를 분석하기 위하여 화학교육 전문가 2인과 화학 교사사이면서 박사과정 재학 중인 연구자 2인이 질적 자료를 전반적으로 검토하여 개별적으로 메타모델링 지식의 인식수준을 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.

연구 결과와 논의

과학 영재학생을 대상으로 메타모델링 구성요소별 인식수준을 분석한 결과, 모델링 과정에 대한 인식수준이 가장 높았으며 모델의 다중성에 대한 인식수준이 가장 낮은 것으로 나타났다. 특히 모델의 다중성은 인식수준 0단계와 3단계만 존재하고, 연구대상자 대부분(87.50%)이 인식수준 0단계에 해당하는 것으로 분석되었다. 모델의 가변성은 60%에 가까운 연구대상자가 0단계로 분류되어 모델의 다중성 다음으로 인식수준이 낮았다. 반면 모델링 과정에 대한 인식수준은 모두 2단계 이상으로 분석되었다(Table 3).

Fig. 2는 각 학생에 대해 메타모델링 구성요소별 인식수준을 진단한 결과이다. 파란색 선에 해당하는 학생 A, D, F, H, I, J, K, M, N은 모델의 가변성과 모델의 다중성에 대한 인식수준이 0단계로 진단되었으나 모델링 과정의 경우 2또는 3단계로 분류되었다. 이때 해당 학생들을 표현하는 파란색 선은 학생 B, C를 나타내는 주황색 선, 그리고 학생 E, G, L을 나타내는 회색 선과 중첩되면서 파란색이 표현되지 않았다.

주황색 선에 해당하는 학생 B와 C의 경우 모델의 가변성과 모델링 과정에 대한 인식수준은 3단계로 진단되었으나, 모델의 다중성은 0단계로 분류되었다. 회색 선에 해당하는 학생 E, G, L의 경우 모델의 가변성과 모델링 과정에 대한 인식수준이 2단계였으나 모델의 다중성에 대한 인식수준은 0단계로 진단되었다. 유일하게 노란색 선에 해당하는 학생 O와 P만이 모델의 가변성, 모델의 다중성, 모델링 과정에 대한 인식수준이 모두 3단계로 진단되었다.

모델의 가변성. 모델의 가변성에 대한 학생들의 인식수준 진단은 개념모델에 대한 평가와 학생들이 제안한 개인모델을 근거로 하였다. 개념모델의 평가를 바탕으로 한 개인모델의 유형은 크게 두 가지로 분류된다. 첫 번째는 관찰한 현상을 변칙현상으로 수용하지 않고 개념모델을 그대로 유지하는 경우이고(유형 1), 두 번째는 관찰한 현상을 변칙현상으로 수용하여 개인모델을 제안하는 경우이다(유형 2). 유형 2는 자료해석 없이 가시적 현상 자체만으로 개인모델을 제안한 경우(유형 2-1)와 탐구실험 결과에 대한 자료해석을 바탕으로 개인모델을 제안한 경우

Table 3. Frequency(percentage) of cognitive level of meta-modeling knowledge components of science gifted students

Level	Model changeability	Model multiplicity	Process of modeling
3	4(25.00)	2(12.50)	4(25.00)
2	3(18.75)	0(0.00)	12(75.00)
1	0(0.00)	0(0.00)	0(0.00)
0	9(56.25)	14(87.50)	0(0.00)

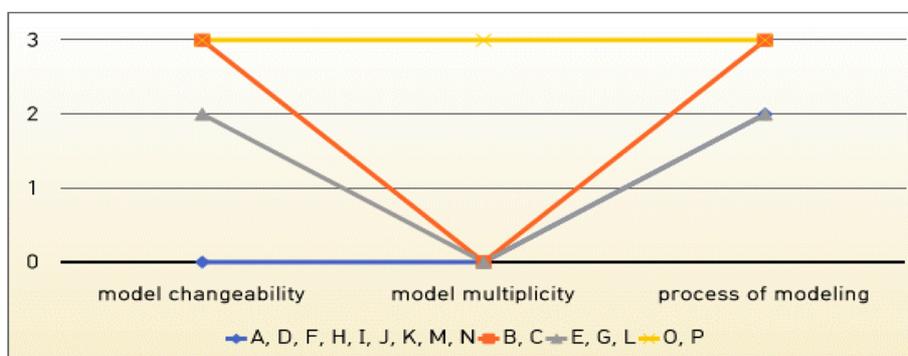


Figure 2. Cognitive level in meta-modeling knowledge components of science gifted students.

(유형 2-2)로 분류된다. 유형 1의 예로는 “양쪽성을 지닌 탄산수소 나트륨은 산으로 작용하여 마그네슘과 반응한다.”가 있고, 유형 2-1의 예로는 “마그네슘의 촉매작용으로 탄산수소 나트륨이 분해되어 이산화 탄소를 생성한다.”가 있다. 마지막으로 유형 2-2의 예로는 “물이 마그네슘과 반응하여 수소 기체를 생성한다.”가 있다.

개념모델의 평가와 학생들이 제안한 개인모델을 통해 확인한 학생들의 반응은 선개념을 반증하는 증거에 대한 학생들의 반응을 알아본 선행연구 결과와 유사하다.³⁴ 선개념을 반증하는 증거에 대한 학생들의 반응 특성 중 하나는 핵심 원리를 유지하면서 관련된 다른 보조이론을 수정 보완하는 것이고, 나머지 하나는 선개념을 폐기하고 새로운 개념을 도입하는 것이다. 유형 1의 모델은 탐구실험을 통해 관찰한 현상을 변칙현상으로 수용하지 않고 보조이론을 수정 보완하는 것에 해당하며, 유형 2-1과 유형 2-2의 모델은 변칙현상을 수용하여 새로운 모델을 제안한 경우로 자신의 선개념을 폐기하고 새로운 개념을 도입하는 것에 해당한다.

교과서에서 확인하고자 했던 ‘산은 마그네슘과 반응한다.’ 또는 ‘염기는 마그네슘과 반응하지 않는다.’와 같은 모델은 산을 마그네슘과 반응하는 물질로, 염기를 마그네슘과 반응하지 않는 물질로 개념화하고 있다. 유형 1의 모델을 제안한 학생들은 마그네슘과 반응하는 탄산수소 나트륨을 산으로 설명하기 위해 양쪽성 물질이라는 보조개념을 도입하였다. 유형 1은 객관적인 지식체계의 수용을 중시하는 전통적인 교육의 영향으로 교과서에서 제시한 개념모델을 객관적인 실체로 인식하고, 외부권위에 의해 평가된 모델을 무비판적으로 수용한 결과로 해석된다. 이러한 학생들의 반응은 메타모델링 지식 0단계의 인식수준에 해당한다. 16명 중 9명(56.2%)의 학생이 유형 1의 모델을 제안하였으며 이에 해당하는 학생은 A, D, F, H, I, J, K, M, N이다. 다음은 학생 A가 관찰한 현상에 대해 제안한 설명이다.

학생 A: HCO_3^- 는 양쪽성 물질이므로 산으로 작용하여 마그네슘과 반응한다.

다음은 유형 1의 모델을 제안한 학생 A와의 면담내용이다.

연구자: 탄산수소 나트륨이 산으로 작용한 거야?

학생 A: 네, 마그네슘과 반응해서 수소 기체를 내는 건 산이니깐... 가끔 설명되지 않은 현상은 좀 더 상위 개념으로 설명이 가능할 때가 있지않아요. 이 단계에선 배우진 않지만, 나중에 양쪽성 물질인 걸 배우잖아요.

연구자: 마그네슘이 다른 물질과 반응한 건 아닐까?

학생 A: 탄산수소 나트륨과 물 밖에 없는데..... 물은 용매고.....

유형 1의 모델을 제안한 학생 A와 면담을 진행한 결과, 산을 마그네슘과 반응하는 물질로 개념화하고 있었으며 자료해석 보다는 탐구실험을 통해 검증하려고 한 개념모델을 이용하여 현상을 설명하려고 하였다. 또한 용매인 물의 반응 가능성을 고려하지 않는 등 교과서에서 제시한 조건 내에서만 사고하는 것을 확인할 수 있었다.

교과서 탐구실험을 통해 탄산수소 나트륨은 염산, 아세트산과 달리 염기성으로 확인되었으나 세 물질은 모두 마그네슘과 반응하여 기체를 생성하였다. 염산, 아세트산, 탄산수소 이온은 마그네슘으로부터 전자를 받아 환원될 수 있는 수소를 포함하고 있다. 마그네슘과 반응하는 물질들이 지니는 공통점이나 반응의 패턴을 찾는 자료해석은 모델을 구성하기 전에 반드시 선행되어야 한다. 유형 2-1의 모델을 제안한 학생들은 개념모델을 폐기하고 개인모델을 제안하였으나, 탐구실험 결과에 대한 해석이나 충분한 검토 없이 가시적 현상만으로 모델을 생성한 경우로, 과학개념과 부합하지 않는 구조식을 포함한 모델을 제안하였다. 이에 해당하는 학생 3명(18.8%)은 E, G, L이었으며, 모델의 가변성 인식수준은 2단계로 분석되었다. 해당 사례는 다음과 같다.

학생 G: NaOH와 Mg는 반응하지 않음, 그러므로 염기성인 NaHCO_3 도 Mg와 직접 반응하지 않는다. Na-H-O-C-O 는 Na^+ , OH^- , CO_2 로 나뉠 수 있으며 Mg가 촉매로 작용하였다.

학생 G 또한 교과서 개념모델의 영향으로 염기를 마그네슘과 반응하지 않는 물질로 인식하고 있으나 해당 개념으로 현상을 설명할 수 없다고 판단하여 새로운 모델을 제안하였다. 다음은 유형 2-1의 모델을 제안한 학생 G와의 면담내용이다.

연구자: 탄산수소 나트륨 수용액과 마그네슘이 반응하면 이산화 탄소 기체가 발생한다고 생각했구나?

학생 G: 탄산수소 나트륨에 탄산이 포함되어 있어서 탄산가스가 발생할 거라고 생각했어요.

연구자: 마그네슘이 촉매로 작용한다고 생각한 근거가 있니?

학생 G: 수산화 나트륨이 마그네슘과 반응하지 않기 때문에 당연히 탄산수소 나트륨도 반응하지 않았겠죠. 탄산수소 나트륨은 열분해로 이산화 탄소를 발생시키잖아요. 탄산수소 나트륨은 열을 가해주어야 분해되는데 상온에서 반응한다는 걸 보면 촉매가 필요하다고 생각했어요.

유형 2-1의 모델을 제안한 학생들은 새로운 사실이 발견되면 모델이 변경됨을 인식하고 있으나, 새롭게 제안한 모델의 근거는 염기성 용액과 마그네슘 반응 결과 기체가 생성되었다는 현상 자체를 바탕으로 한 것이다.

유형 2-2의 모델은 마그네슘과 산의 반응을 산화환원 반응으로 해석하고 이를 바탕으로 변칙현상을 설명한 모델이다. 해당 유형의 개인모델을 제안한 학생들은 용매인 물을 산화제로 설정하여 현상을 설명하였다. 이와 같은 활동은 모델러의 해석적 관점이 반영된 것으로 모델의 가변성 인식수준 3단계에 속한다. 이에 해당하는 학생들은 4명(25%)으로 B, C, O, P였으며, 해당 사례는 다음과 같다.

학생 B: 마그네슘은 물과 반응하여 수소 기체를 발생시킨다.

다음은 학생 B와의 면담내용이다.

연구자: 마그네슘이 물과 반응한 거니? 물은 산이 아닌데?

학생 B: 꼭 산일 필요는 없지 않나요? 마그네슘의 전자를 받을 수 있으면 되니까 ...

모델의 가변성을 진단한 결과 연구에 참여한 60%이상의 학생이 교과서의 개념모델을 객관적 사실로 인식하고 개념모델에 의한 예측에 맞추어 관찰 현상을 해석하거나 보조개념을 도입함으로써 개념모델을 유지하였다. 이와 같은 학생들의 태도는 선행연구에서도 보고된 바 있다.^{14,28,36} 교과서에 제시된 탐구실험은 학습한 개념모델을 검증하는 형태로 주어지는 경우가 일반적이기 때문에 새로운 사실의 발견을 통해 개념모델을 폐기하고 새로운 모델을 제안할 기회를 제공하지 않는다. 탐구실험을 지도하는 교사 또한 새로운 사실의 발견을 독려하지 않으며 심지어 개념학습에 방해가 된다는 이유로 기피하는 경향이 있다. 이는 객관적 사실로서 과학지식에 대한 학생들의 인식을 강화하는 역할을 한다. 교과서에 제시된 대부분의 과학지식은 자연계에서 일어나는 현상을 설명하기 위해 현상을 추상화하고 단순화하여 나타낸 표상, 즉 모델이다. 학생들이 과학지식을 모델로서 인식할 수 있도록 선개념으로 설명할 수 없는 현상이 포함된 주제를 탐구기반 모델링 실천의 소재로 선정할 필요가 있다. 또한 과학 탐구에서 실험은 이론을 검증하는 역할과 함께 새로운 사실의 발견을 통해 이론 등장상을 촉진하는 역할을 하기도 한다.³⁷ 그러나 학교 탐구실험을 통해 실험의 두 가지 역할을 균형 있게 지도하기 어려운 상황이다. 새로운 현상을 발견하고 이를 바탕으로 새로운 모델을 제안하는 기회는 탐구실험의 역할에 대한 제한적 이해를 지닌 학생들에게 제공되어야 한다. 이에

메타모델링 지식과 통합된 모델링 실천 프로그램에서는 새로운 사실의 발견과 이론의 제안기회를 제공할 수 있는 변칙현상을 모델링 실천 주제로 선정하고, 탐구실험의 두 가지 역할과 과학 지식의 본성을 모델링 실천 전에 명시적으로 안내할 필요가 있다.

모델의 다중성

모델의 다중성에 대한 학생들의 인식수준 진단은 모델링 과정 중 다른 모델의 수용 가능성에 대한 의사결정에 근거하였다. 실험에 참여한 연구대상자 대부분은(87.5%) 현상을 설명할 수 있는 다른 모델의 존재 가능성을 고려하지 않고 제안한 모델을 확정하거나(11명, 68.75%) 제안한 모델을 폐기한 후 다른 모델을 수용하였다(3명, 18.75%). 학생 A의 경우, “탄산수소 이온이 양쪽성 물질로 작용하여 마그네슘과 반응한다.”라는 모델을 근거로 탄산수소 이온이 산으로 작용하는 것을 확인하기 위해 수산화 나트륨과 탄산수소 나트륨의 혼합비율을 달리한 후 용액의 pH변화를 확인하는 실험과 함께 발생한 기체의 가연성을 확인하는 실험을 설계하였다. 실험 결과, 생성된 기체는 가연성을 보였으며, 탄산수소 나트륨 수용액의 비율이 감소할수록 용액의 pH가 증가하였다. 학생 A는 실험결과를 근거로 탄산수소 나트륨이 산으로 작용한다는 개인모델을 확정하였다. 다음은 학생 A와의 면담내용이다.

연구자: 마그네슘이 다른 물질과 반응한 건 아닐까?

학생 A: 탄산수소 나트륨과 물 밖에 없는데……. 물은 용매고…….

연구자: 물이 반응해서 수소 기체를 생성한 건 아닐까?

학생 A: 반응하지 않기 때문에 물이 용매로 사용되지 않나요?

학생 L의 경우, “마그네슘의 촉매작용으로 탄산수소 나트륨이 분해되어 이산화 탄소를 생성한다.”라는 모델을 근거로 실험을 설계하였다. 학생 L은 촉매로 작용한 마그네슘의 질량이 보존될 것이라고 예상하고 반응 전과 후 마그네슘의 질량을 측정하였다. 또한 반응으로 생성된 이산화 탄소가 석회수를 뿌얹게 만들 것이라는 예측으로 생성된 기체를 석회수에 통과 시켰다. 실험결과 마그네슘의 질량은 감소하였으며 석회수의 변화는 관찰되지 않았다. 이에 학생 L은 모두의 합의된 모델을 폐기한 후 같은 모두의 학생 F가 제안했던 개인모델, ‘양쪽성 물질인 탄산수소 나트륨이 마그네슘과 반응해 수소 기체를 생성한다.’로 수정하였다. 학생 F 또한 자신이 생성한 개인모델이 모두의 모델로 채택되지 않았으나 실험결과를 바탕으로 모두의 합의된 모델을 자신이 제안했던 개인모델로 수정하였다. 다음은 학생 L과 F의 면담내용이다.

학생 L

연구자: 새롭게 제안한 모델을 실험할 필요는 없을까?

학생 L: 기체가 이산화 탄소가 아니면 수소 기체가 분명해요.

연구자: 물이 반응해서 수소 기체를 생성한 건 아닐까?

학생 L: 물은 산도 아니고……. 원래 탄산수소 나트륨이 양 쪽성 물질이니까 마그네슘과 반응한 것 같아요.

학생 F

연구자: 처음에 제안했던 모델로 수정했네?

학생 F: 대부분 애들이 마그네슘이 촉매로 작용한다고 해서 그걸로 결정했었거든요. 근데 실험결과를 보니까 제가 한 게 맞는 것 같아요.

연구자: 수정된 모델을 검증할 필요는 없을까?

학생 F: 음……. 이때 했던 실험결과로도 충분히 확인되는 거 같은데요.

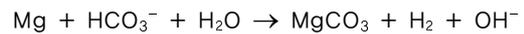
학생 A와 L, F는 다른 모델의 시험을 위한 추가적인 탐구의 필요성과 다른 모델의 존재 가능성을 고려하지 않았으며 자신의 실험결과를 바탕으로 결론을 확정하였다. 이와 같은 학생들의 활동은 주어진 현상에 대해 오직 하나의 올바른 모델이 존재한다는 인식을 드러낸 것으로 모델의 다중성에 대한 인식수준 0단계에 해당한다.

한편 16명 중 2명(12.5%)의 학생 O, P만이 모델의 다중성 인식수준 3단계로 분류되었다. 학생 B, C, O, P는 변칙 현상을 설명하기 위해 마그네슘과 물의 산화환원 반응 모델을 제안한 학생들이다. 학생 B, C는 탄산수소 나트륨과 마그네슘의 반응으로 생성된 기체의 가연성을 확인하고 용액의 pH가 증가한 실험 결과를 바탕으로 마그네슘과 물의 반응으로 수소 기체가 발생하였다는 모델을 결론으로 확정하였다. 학생 B, C 또한 주어진 현상에 대해 오직 하나의 올바른 모델이 존재한다는 인식을 드러낸 것으로 모델의 다중성에 대한 인식수준 0단계로 분류하였다. 한편 학생 O, P는 관찰한 현상이 물과 마그네슘의 반응뿐 아니라 탄산수소 이온과 마그네슘의 반응으로도 설명할 수 있다고 제안하고, 최종 결론을 도출하기 전에 추가 탐구 실험을 요청하였다. 학생 O, P는 증류수, 염화 나트륨 수용액, 탄산수소 나트륨 수용액에 마그네슘을 반응시킨 후 발생한 기체의 종류를 확인하고 기체의 발생 속도를 비교하였다. 발생한 기체가 수소 기체임을 확인하였으며 기체의 발생 속도는 탄산수소 나트륨 수용액, 염화 나트륨 수용액, 증류수 순임을 확인하였다.

학생 O의 경우 마그네슘이 탄산수소 나트륨 수용액과 반응하여 수소 기체를 생성한 것은 용매인 물, 용질인 탄산수소 이온과 반응한 결과라고 결론지었다. 학생 P의 경우 마그네슘과 용매, 용질의 산화환원 반응으로 변칙현상을

설명한 것에 그치지 않고, 마그네슘이 수산화 나트륨 수용액에 존재하는 물과 반응하지 않은 이유를 다음과 같이 설명하였다.

학생 P: 마그네슘은 물, 탄산수소 이온과 반응하여 수소 기체를 발생시킨다.



마그네슘과 물의 반응은 전해질 없이는 반응이 어려워 순수 물에서는 반응이 매우 느리게 일어나 눈에 보이지 않을 것이다. 그러나 염화 나트륨이나 탄산수소 나트륨과 같은 전해질이 추가되면 반응 속도가 빨라져 눈에 보이게 된다. 그러나 수산화 나트륨과 같은 강염기는 전해질 역할을 해주긴 하지만 수산화 이온의 농도가 진하여 르샤틀리에의 원리에 의해 역반응이 우세하여 Mg의 산화가 잘 일어나지 않게 된 경우라고 볼 수 있다.

다음은 학생 P와의 면담내용이다.

연구자: 다른 친구들과 다르게 수산화 나트륨 수용액에 존재하는 물이 마그네슘과 반응하지 않는지 이유를 설명하고 있구나.

학생 P: 네, 물이랑 탄산수소 이온이 마그네슘이랑 반응한 걸로 생각했는데 수산화 나트륨 수용액에도 물이 있는데 반응하지 않는 이유를 설명할 수 없더라구요. 그래서 결론이 틀렸나도 고민해 봤는데 자세히 보니까 생성물에 수산화 이온이 생성되는 공통점이 보이고 평형개념으로 이해가 됐어요. 물의 표준환원전위가 용액의 농도에 영향을 받았던 것이 떠올라 확신하게 됐어요.

학생 P의 활동은 현상을 설명할 수 있는 여러 모델이 공존할 수 있다는 것을 모델링 실천을 통해 확인한 것이며, 더 나아가 실제 세계 시스템을 설명하기 위해 다양한 관점에서 모델이 존재해야 한다는 것을³⁸ 보여주는 모델링 실천에 해당한다.

모델의 다중성 진단을 위해 학생들의 활동을 분석한 결과 연구대상자 대부분은 자신의 생각을 지지하는 증거를 얻은 경우, 추가적인 확증 증거를 요구하거나 현상을 설명할 수 있는 다른 모델의 존재 가능성을 의심하지 않았다. 이와 같은 학생들의 태도는 과학자들이 여러 가지 모델을 동시에 시험하거나 다양한 확증 증거를 요구하는 것과 구별된다. 학습한 개념모델을 확증하는 한 가지 증거만으로 학습한 모델을 수용하는 학교 과학탐구 경험과 관련이 깊다. 또한 교과서에서 모델의 다중성과 가변성을 명시적으로 가르치는 내용에는 원자 모델, 산과 염기, 산화와 환원 등이 있

으나 누적적 포함관계로 설명하거나 여러 역사적 모델의 혼합을 통해 혼성모델을 제시함으로써 과거의 모델은 틀렸고 현재 모델이 정답인 것처럼 제시한다. 이와 같은 상황에서 진정한 의미에서 모델의 다중성을 학생들이 인식하기 어렵다.³⁹⁻⁴⁰ 모델의 제안과 검증단계에서 여러 가지 모델을 동시에 시험하거나 다양한 확증 증거를 통해 모델을 검증하는 과학자들의 실제 탐구방식을 소개할 필요가 있다. 또한 관점의 변화와 새로운 해석을 통해 다양한 역사적 모델이 제안되었고, 지금까지도 각 모델은 제한 조건 하에서 현상을 설명하는 모델로서 유효하다는 것을 명시적으로 안내할 필요가 있다. 또한 관점이 다른 모델의 수용 가능성을 고려하고 검증하는 훈련이 모델링 실천 프로그램을 통해 이루어져야 한다.

모델링 과정

모델링은 실험과 연구를 바탕으로 모델을 구성하고 평가 및 수정을 통해 정교화하는 일련의 과정이다. 모델링 실천에 참여한 학생들은 절차적 과정에 큰 차이를 보이지 않았으나 모델의 정교화 정도에 차이를 보였다. 이에 모델링 과정에 대한 인식수준은 자료해석을 통한 모델의 정교화를 기준으로 진단하였다.

‘산은 마그네슘과 반응한다.’ 또는 ‘염기성은 마그네슘과 반응하지 않는다.’와 같은 개념모델은 실험을 통해 관찰할 수 있는 현상 자체를 문장으로 묘사한 것이다. 학생 A, D, F, H, I, J, K, M, N은 개념모델을 그대로 유지하였으나 양쪽성 물질 개념을 도입하고 화학기호와 같은 상징적 모델을 이용해 개념모델을 뒷받침하는 화학 반응식을 기술하는 등 개념모델을 정교화하였다. A를 포함한 9명의 학생은 모델링 과정에 대한 인식수준 2단계에 해당한다. 다음은 학생 A의 사례이다.

학생 A

개인모델과 모둠의 합의된 모델:

HCO_3^- 는 양쪽성 물질이므로 산으로 작용하여 마그네슘과 반응한다.

결론: 탄산수소 나트륨 용액과 마그네슘의 반응은 양쪽성인

HCO_3^- 이 산으로 작용한 결과이다.



학생 E, G, L 또한 단순히 실험결과를 시각적으로 묘사하는 수준에 그치지 않고 원인을 설명하기 위해 화학 반응식을 포함한 모델을 제안하는 등 학생 A의 8명과 유사한 수준의 정교화를 수행한 것으로 판단하여 인식 수준 2단계로 진단하였다. 다음은 학생 L의 사례이다.

학생 L

개인모델과 모둠의 합의된 모델:

Mg의 촉매작용으로 NaHCO_3 가 분해되어 이산화 탄소를 생성한다.

결론: 탄산수소 이온은 양쪽성 물질이다.

탄산수소 이온이 산으로 작용하여 마그네슘과 반응한 것이다.



학생 B, C, O, P의 경우 마그네슘이 반응하여 수소 기체를 생성하는 것을 산화환원 반응으로 해석하고 용액 속에 존재하는 물 또는 탄산수소 이온을 산화제로 설정하여 개인 모델을 제안하고 최종 결론에 반영하였다. 다음은 학생 P의 사례이다.

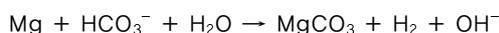
학생 P

개인모델 및 모둠의 합의된 모델:

마그네슘은 물과 반응하여 수소 기체를 발생시킨다.

결론: 탄산수소 나트륨 용액은 염기성이다.

마그네슘은 물, 탄산수소 이온과 반응하여 수소 기체를 발생시킨다.



마그네슘과 반응 여부는 산성 용액과 염기성 용액을 구별하는 기준으로 적합하지 않다.

산성 물질과 염기성 물질은 산과 염기의 반응을 이용하여 구별하는 것이 일반적이다. 약한 염기성 물질인 탄산 칼슘은 산과 반응하여 이산화 탄소를 생성하므로 산성 물질을 구별하는데 이용된다. 자체가 약한 산이나 염기성 물질인 지시약은 산과 염기의 반응으로 평형을 이동시켜 용액의 색 변화로 액성을 구별한다. 한편 마그네슘은 산염기 반응이 아닌 산화환원 반응을 통해 수소 기체를 생성함으로써 산성물질을 구별한다. 학생 P는 산이 아니라도 물 또는 탄산수소 이온과 같이 산화제로 작용할 수 있는 물질은 마그네슘과 반응하여 수소 기체를 생성할 수 있다는 해석을 바탕으로 모델을 정교화했다. 학생 B, C, O, P이 수행한 활동은 자료해석을 기반으로 모델을 수정하고 정교화한 것으로 모델링 과정 인식수준 3단계에 해당한다.

메타모델링 지식의 다른 구성요소와 다르게 모델링 과정에 대한 인식수준은 모두 2단계 이상으로 분류되었다. 이와 같은 결과의 원인 중 하나는 교과 특성과 관련이 있다. 모델링 과정 중 학생들은 화학식을 언급하거나 화학 반응식을 제시하는 등 기호와 같은 상징적 모델을 이용하였다. 이는 화학 수업 중 개념 이해를 위해 사용하는 의사

소통 수단으로써 기호와 상징 모델의 사용이 친숙하기 때문이다. 모델링 과정에 대한 인식수준이 높게 나온 또 다른 이유는 모델링 실천 자체가 모델링 과정에 대한 인식수준에 영향을 준 것으로 해석된다. 학생들은 관찰한 변칙현상을 바탕으로 개념모델을 평가하고 이를 설명하기 위해 새로운 모델을 제안하는 등 실험을 바탕으로 모델링 과정을 수행했다. 이는 가시화를 위해 대상 현상을 소형으로 복제하는 모델링 과정 인식수준 1단계 이상의 활동에 해당한다. 모델링 과정에 대한 인식수준은 절차적 과정의 안내와 수행을 통해 향상될 수 있음을 의미한다. 교과서의 탐구실험은 학습한 개념모델을 확인하는 효과적인 학습 도구로 이용되고 있으나 실제 과학자들이 수행하는 모델링 기회는 제한적으로 제공되고 있다. 그러므로 학생들의 메타모델링 지식 인식수준을 향상시키기 위해 모델과 모델링에 대한 인식론적 지식을 명시적으로 가르치는 방법과 함께 모델링 실천에 참여할 수 있는 기회를 제공하는 것이 바람직하다.

모델링 과정에 대한 인식수준이 전반적으로 높지만 자료해석을 바탕으로 모델을 정교화하여 3단계로 진단된 학생은 4명(25%) 뿐이다. 자료해석은 모델을 제안하거나 이를 검증하기 위한 실험설계 과정에 근거가 되며 결과적으로 모델의 정교화 수준에 영향을 미친다. 그러므로 모델링 과정에 대한 인식수준 향상을 위해 자료해석의 중요성을 구체적 예시와 함께 모델링 실천에서 강조할 필요가 있다.

결론 및 제언

Schwarz 등³²은 과학에서 모델을 이용하는 두 가지 방법을 제시하였다. 첫 번째 방법은 이전에 확립한 모델을 사용하는 것(thinking with models)이고, 두 번째 방법은 모델의 목적과 모델의 구성 방법에 대해 추론하는 것(thinking about models)이다. 학습한 모델을 적용하는 능력만큼이나 모델의 본질과 목적을 이해하고 이를 바탕으로 모델을 구성하는 역량은 중요하므로 과학교육에서 모델을 이용하는 두 가지 방법은 균형 있게 다뤄져야 한다. 그러나 학교 현장에서는 여전히 특정 모델의 학습과 적용이 주를 이루며 모델에 대해 생각하는 활동은 제한적으로 이루어지고 있다.

최근 우리나라 과학 영재학생들을 대상으로 메타모델링 지식 인식수준을 진단한 결과 연구대상자 대부분이 모델과 모델링에 대한 이해가 부족한 것으로 나타났다.^{28,34} 현재 영재학교에서는 자율연구와 같은 교과 등을 통해 깊이 있는 연구를 할 수 있도록 여건을 조성하고 있으나, 관찰한 현상이 왜 일어나고 어떻게 일어났는지를 설명하고 무엇을 모델에 포함하고 무엇을 배제할 것인지 고민하는 지적 활동 기회는 제한적으로 제공되고 있다. 모델을 생성하고 수정하는 활동과 함께 모델에 대한 이해를 촉진하기 위해 메

타모델링 지식과 통합된 모델링 실천 프로그램의 개발과 적용이 필요하다.

본 연구에서는 프로그램 개발의 기초자료를 얻기 위해 과학 영재학생들을 대상으로 모델링 실천 중 드러난 메타모델링 지식의 인식수준을 분석하였다. 그 결과 메타모델링 지식의 구성요소 중 모델링 과정에 대한 인식수준이 가장 높았으며 모델의 다중성에 대한 인식수준이 가장 낮은 것으로 나타났다. 특히 모델의 다중성은 인식수준 0단계와 3단계만 존재하고 연구대상자 대부분은 0단계로 진단되었다. 모델의 가변성도 과반수 학생의 인식수준이 0단계에 속하는 것으로 분석되었다.

모델의 가변성을 진단한 결과 60%이상의 연구대상자가 교과서의 개념모델을 객관적 사실로 인식하고 개념모델에 의한 예측에 맞추어 관찰 현상을 해석하거나 보조개념을 도입함으로써 개념모델을 유지하였다. 선개념으로 설명할 수 없는 변칙현상은 개념모델을 평가하고 새로운 모델을 제안하는 기회를 제공한다. 또한 이론의 검증과 함께 이론 등장을 촉진하는 실험의 두 가지 역할을 안내할 수 있으므로 탐구기반 모델링 실천의 소재로 유효하다. 그러나 교과서의 개념모델을 객관적 사실로 인식하고 있는 연구대상자는 관찰한 현상을 변칙현상으로 수용하지 않는 경향을 보였다. 그러므로 과학지식을 객관적 사실이 아닌 모델로서 인식할 수 있도록 모델링 실천을 시작하기 전에 과학 지식의 본성을 명시적으로 안내할 필요가 있다. 모델링 과정을 통해 모델의 본성과 목적에 대한 이해증진을 확인한 연구에서 Yoon²⁸은 ‘미스터리 튜브’를 이용해 모델의 본성을 안내하였다. 밀폐된 튜브의 측면에 있는 네 개의 구멍으로 네 개의 끈이 나와 있고 네 개의 끈을 당겨 보며 튜브 속 끈의 구조를 설명하는 활동이다. 튜브를 열 수 없으므로 튜브 속 끈의 실제 구조와 제안된 모델을 비교할 수 없다. 모델링 실천의 사전활동으로 미스터리 튜브를 활용하여 객관적 사실과는 구별되는 모델의 특성을 설명할 수 있을 것이다.

모델의 다중성 진단을 위해 학생들의 활동을 분석한 결과 연구대상자 대부분은 자신의 생각을 지지하는 증거를 얻는 경우, 추가적인 확증 증거를 요구하거나 현상을 설명할 수 있는 다른 모델의 존재 가능성을 의심하지 않았다. 이와 같은 학생들의 태도는 주어진 현상에 대해 오직 하나의 올바른 모델이 존재한다는 인식을 드러낸 것으로, 과학자들이 여러 가지 모델을 동시에 시험하거나 다양한 확증 증거를 요구하는 것과 구별된다. 학습한 개념모델을 확증하는 한 가지 증거만으로 학습한 모델을 수용하는 학교 과학탐구와 다양한 역사적 모델을 누적적 포함관계로 기술하는 교과서 설명방식과 관련이 깊다. 모델의 제안과 검증단계에서 여러 가지 모델을 동시에 시험하거나 다양한 확증 증거를 통해 모델을 검증하는 과학자들의 실제

탐구방식을 소개할 필요가 있다. 또한 관점의 변화와 새로운 해석을 통해 다양한 역사적 모델이 제안되었고, 지금까지도 각 모델은 제한조건 하에서 현상을 설명하는 모델로서 유효하다는 것을 명시적으로 안내할 필요가 있다.²¹ 또한 관점이 다른 모델의 수용 가능성을 고려하고 검증하는 훈련이 모델링 실천 프로그램을 통해 이루어져야 한다.

모델링은 실험과 연구를 바탕으로 모델을 구성하고 평가 및 수정을 통해 정교화하는 일련의 과정이다. 모델링 과정에 참여한 학생들은 절차적 과정에 큰 차이를 보이지 않았다. 모델링 실천을 통해 각 단계를 안내와 함께 수행할 경우, 모델링 과정에 대한 이해는 일정 수준까지는 향상될 수 있음을 의미한다. 모델링 과정에 대한 인식수준이 전반적으로 높게 진단되었지만 자료해석을 바탕으로 모델을 정교화하여 3단계로 분류된 학생은 4명(25%) 뿐이었다. 자료해석은 모델을 제안하거나 이를 검증하기 위한 실험설계 과정에 근거가 되며 결과적으로 모델의 정교화 수준에 영향을 미친다. 주어진 자료를 충분히 검토하고 과학지식을 바탕으로 재료를 해석하여 새로운 모델을 제안하고 검증할 수 있도록 자료해석의 중요성을 구체적인 예시를 통해 안내할 필요가 있다.

본 연구에서는 연구대상이 학습하고 있는 교과와 관련된 내용 맥락 하에서 모델링 실천을 통해 드러난 학생의 메타모델링 지식 인식수준을 진단하였다. 측정이 측정 대상과 상호작용을 통해 결과에 영향을 줄 수 있는 것과 같이 모델링 실천을 통한 메타모델링 지식 인식수준 진단 또한 결과에 영향을 미칠 수 있다. 변칙현상에 대한 설명 기회를 제공하는 것이 모델의 가변성에 대한 인식에 영향을 줄 수 있으며, 현상을 설명하기 위해 제안된 다양한 모델이 모델의 다중성에 대한 통찰 기회를 제공할 수 있다. 그러나 이러한 측정의 영향에도 불구하고 모델의 가변성, 다중성과 같은 모델의 본성에 대한 인식수준은 낮게 진단되었다. 이는 단순히 모델을 생성하고 수정하는 활동만으로 모델에 대한 이해가 증진되지 않는다는 것을 보여주는 결과이다. 메타모델링 지식을 모델링 실천의 각 단계에 안내하며 명시적으로 지도할 때 프로그램의 적용 효과를 높일 수 있을 것이다.

Acknowledgments. 본 연구는 첫 저자의 박사학위 논문의 일부를 재구성하여 작성하였음. 이 논문은 2022년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2022S1A5C2A04092614/2022R1A2C2005683).

REFERENCES

- Chamizo, J. A. *Science and Education* **2013**, 22, 1613.
- Clement, J. J. *International Journal of Science Education* **2000**, 22, 1041.
- Gobert, J. D.; Buckley, B. C. *International Journal of Science Education* **2000**, 22, 891.
- Justi, R.; Gilbert, J. K. *International Journal of Science Education* **2002**, 24, 369.
- Morrison, M.; Morgan, M. S. *Models as mediators*; Cambridge University Press: Cambridge, 1999.
- Oh, P. S. *Journal of The Korean Association For Science Education* **2016**, 36, 551.
- Windschitl, M.; Thompson, J.; Braaten, M. *Science Education* **2008**, 92, 941.
- Cho, E. J.; Kim C. J.; Choe, S. U. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2017**, 37, 859.
- Cho, H. S.; Nam, J. H.; Oh, P. S. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2017**, 37, 239.
- Kang, N. H. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2017**, 37, 143.
- Kim, S.; Kim, J. E.; Paik, S. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2019**, 63, 102.
- Lehrer, R.; Schauble, L. *Journal of Applied Developmental Psychology* **2000**, 21, 39.
- Justi, R.; Gilbert, J. *International Journal of Science Education* **2003**, 25, 1369.
- Park, H. K.; Choi, J. R.; Kim, C. J.; Kim, H. B.; Yoo, J.; Jang, S.; Choe, S. U. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2016**, 36, 15.
- Van Driel, J. H.; Verloop, N. *International Journal of Science Education* **2003**, 24, 1255.
- Gobert, J.; Discenna, J. *The Relationship Between Students' Epistemologies and Model-Based Reasoning*; ERIC ED 409164: 1997.
- Kim, J. E.; Kim, S.; Paik, S. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2020**, 64, 111.
- Baek, H. *Tracing Fifth-Grade Students' Epistemologies in Modeling through Their Participation in a Model-Based Curriculum Unit*; ERIC ED 553389: 2913.
- Cho, H. S.; Nam, J. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2017**, 37, 539.
- 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, April.
- Yoon, H. G. *Journal of Korean Elementary Science Education* **2011**, 30, 353.
- Tabak, I.; Reiser, B. J. *Pragmatics and Cognition* **2008**, 16, 307.
- Grosslight, L.; Unger, C.; Jay, E.; Smith, C. *Journal of Research in Science Teaching* **1991**, 28, 799.
- Crawford, B. A.; Cullin, M. J. *Dynamic Assessments of Preservice Teachers' Knowledge of Models and Modelling*. In *Research and the quality of science education: The Netherlands*; Springer Netherlands, 2005.
- Schwarz, C. V.; Reiser, B. J.; Davis, E. A.; Kenyon, L.; Acher, A.; Fortus, D.; Shwartz, Y.; Hug, B.; Krajcik, J. *Journal of Research in Science Teaching* **2009**, 46, 632.

26. Lazenby, K.; Stricker, A.; Brandriet, A.; Rupp, C. A.; Mauger-Sonnek, K.; Becker, N. M. *Journal of Research in Science Teaching* **2020**, *57*, 794.
 27. Schwarz, C. V.; White B. Y. *Cognition and Instruction* **2005**, *23*, 165.
 28. Kim, S. K.; Kim, J. E.; Park, S. H.; Paik, S. H. *Journal of The Korean Association For Science Education* **2019**, *39*, 457.
 29. Kim S. K.; Choi, H.; Park, C. Y.; Paik, S. H. *Journal of Korea Chemical Society* **2019**, *63*, 56.
 30. Berland, L. K.; Schwarz, C. V.; Krist, C.; Kenyon, L.; Lo, A. S.; Reiser, B. J. *Journal of Research in Science Teaching* **2016**, *53*, 1082.
 31. Greene, J. A.; Yu, S. B. *Policy Insights From the Behavioral and Brain Sciences* **2015**, *3*, 45.
 32. Schwarz, C. V.; Passmore, C.; Reiser, B. J. *Helping Students Make Sense of the World Using Next Generation Science and Engineering Practices*; National Science Teachers' Association Press: Arlington, VA, 2016.
 33. Grandy, R.; Duschl, R. A. *Science & Education*. **2017**, *16*, 141.
 34. Park, J. W.; Kim, I. G.; Lee, M.; Kim, M. H. *Journal of Korea Chemical Society* **1998**, *18*, 283.
 35. Lee, S.; Lee, G.; Choi, C.; Shin, M. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2012**, *32*, 201.
 36. Lederman, N. G. *Journal of Research in Science Teaching* **1992**, *29*, 331.
 37. Lee, S. W. *Philosophy* **2002**, *72*, 273.
 38. Oh, P. S.; Oh, S. *International Journal of Science Education* **2011**, *33*, 1109.
 39. Paik, S. H. *Journal of Chemical Education* **2015**, *92*, 1484.
 40. Kim, K.; Paik, S. H. *Journal of Korea Chemical Society* **2017**, *61*, 204.
-