



모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험에서 학생들의 모델링에 대한 인지과정 탐색

이동원¹, 조혜숙², 남정희^{2*}
¹경남대학교, ²부산대학교

Investigating the Cognitive Process of a Student's Modeling on a Modeling-Emphasized Argument-Based General Chemistry Experiment

Dongwon Lee¹, Hey Sook Cho², Jeonghee Nam^{2*}
¹Kyungnam University, ²Pusan National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 24 March 2015

Received in revised form

22 April 2015

Accepted 27 April 2015

Keywords:

cognitive process,
model, modeling,
argument-based general
chemistry experiment

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the cognitive process of student's modeling on a modeling-emphasized argument-based general chemistry experiment. The participants were twenty-one freshman students. Six topics were carried out during the first semester and semi-structured interview was implemented at the end of the semester. Semi-structured interview questions were used to elicit elements of effective model, modeling strategies, difficulties that students have experienced during modeling, and resolving the difficulties that students have experienced during modeling. All student interview data were collected and transcribed. The results of this study are summarized as follows: (1) Elements of effective model were considered to be visual expression, persuasive explanation, and rhetorical structure. (2) Modeling strategies included arranging important keywords or writing the outline, and during the modeling process, students used various data, suggested data after reconstructing, suggested definitions and explanations of core concepts, used meta-cognition, and considering rhetorical structure. (3) Difficulties students have experienced during modeling could be categorized as lack of modeling strategy and understanding. (4) Resolving difficulties students have experienced during modeling could be categorized as modeling strategy and understanding. Students learn the strategy by feedback, modeling experience, evaluation of experimental report, models which they constructed previously and references, and the understanding of contents were achieved through arguments which occurred during classes and during the process of writing the experimental reports. These results suggest that when using modeling in teaching and learning, the argument-based learning strategy can be effective in enhancing students' modeling by helping them to understand meta-modeling with scientific concepts.

1. 서론

과학은 근본적으로 사회적인 특성을 가지며 과학 지식은 사회적 맥락에서 협동을 통해 발전한다. 따라서 과학자들은 동료들과 더 긴밀하게 협력해야 하며(NRC, 2011), 이 과정에서 의사소통은 과학자들이 새로운 지식을 생성하는데 중요한 역할을 한다.

의사소통이란 화자가 특정 상황에 대한 자신의 생각이나 의도를 적절히 표현하고 청자는 이를 바탕으로 자신에게 필요한 정보를 획득하는 과정을 의미한다(Lee, 1994). 의사소통에 참여하는 사람은 서로 다른 양의 정보를 가지고 있으며, 이는 개인이 가지고 있는 정보량의 불균형을 유발한다(Kim, 1982). 의사소통에서 이루어지는 의미 교환은 이러한 불균형을 해소할 수 있게 한다(Kim, 1982). 따라서 이러한 의사소통의 역할은 과학에서 이루어지는 지식 구성의 과정에서 매우 중요하다.

모델은 의사소통을 위한 도구로 사용될 수 있으며(Gilbert & Ireton, 2003), 모델링 활동은 논의 활동과 서로 깊은 관련이 있다(Passmore & Svoboda, 2012). 모델은 학생들 사이의 활발한 논의를 이끌어 내는데 도움이 될 수 있으며, 모델에 대한 논의는 학생들의 모델을 정교화

하는데 도움이 될 수 있다(Passmore & Svoboda, 2012). 학습자는 의사소통과정에서 다른 사람을 설득하고 그들로부터 지지를 얻기 위해 자신의 생각을 모델로 구현하며 정교화 하는 과정을 거친다. 이 과정에서 현상에 대한 이해가 더 깊어질 수 있다(Schwarz *et al.*, 2009).

모델은 관심 있는 대상의 중요한 특성을 나타내기 위해 대상을 단순화시킨 표현이다(Gobert & Buckley, 2000). 학습자는 모델을 사용하여 관심 있는 대상이나 현상에 대해 설명이나 예측을 할 수 있으며(Ha, Lee, & Kang, 2009; Khan, 2007), 보이지 않은 대상에 대해 시각적인 표현이나 개념에 대한 구조를 제시함으로써 실제와 이론을 연결할 수 있다(Chamizo, 2013; Boulter & Buckley, 2000).

모델링은 과학적인 모델을 구성하는 과정이며, 현상에 대한 정신 모델을 외적으로 표현하는 것으로 부터 시작된다. 정신 모델은 개인이 현상에 대해 가지고 있는 생각의 구조를 의미하며, 사고과정에서 수정될 수 있다. 정신 모델은 이를 검증하기 위한 실험을 설계하고 수행하는 과정을 통해 표현된 모델로 구체화 된다(Justi & Gilbert, 2002a). 정신 모델을 표현된 모델로 구현하는 과정에서 기존에 자신이 가지고 있는 모델은 끊임없이 새로운 상황을 통해 검증받고 수정되는 과정을

* 교신저자 : 남정희 (jhn@pusan.ac.kr)

** 본 논문은 이동원의 2015년도 박사 학위논문에서 발췌 정리하였음.
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2015.35.2.0313>

거친다(Justi & Gilbert, 2002a). 과학적 개념은 모델을 구성하는 필수적인 요소 중 하나지만, 개념의 나열을 모델이라고 할 수는 없다(Cho, 2014). 모델은 관찰, 비교, 추론, 예상을 통해 자연 현상에 대한 경향성을 파악하고, 이를 과학적인 개념을 사용하여 자신의 생각을 정리한 뒤, 검증과정에서 이루어지는 수정을 통해 최종적으로 재구성된 설명 체계라 볼 수 있다(Ha, Lee, & Kang, 2009).

과학교육에서 학생들은 모델을 통해 과학의 본성을 습득할 수 있다. 학생들은 모델로 구현된 과학의 핵심 내용을 학습하고, 모델을 만들고 수정하는 과정에서 실제로 과학이 어떻게 진행되는지에 대해 이해할 수 있다. 또한 과학적 탐구의 전체 과정에서 모델이 어떠한 역할을 하는지에 대한 인식을 통해 과학에 대한 개념을 정립할 수 있다(Hodson, 1993).

모델링 과정에서 과학자들은 모델을 사용하여 서로의 의견을 교환하며(Schwarz *et al.*, 2009), 모델은 의사소통의 중심이 되는 대상을 설명한다. 모델을 사용하기 위해서는 대상에 대한 이해가 선행되어야 하고, 새롭게 구성된 모델은 대상의 중요한 특징과 관계가 부각되어야 한다. 따라서 모델을 사용하여 의사소통할 경우, 모델을 구성하여 제시하는 사람과 이를 전달받는 사람 모두가 대상에 대한 더 깊은 이해에 도움을 받을 수 있다(Gilbert & Ireton, 2003). 이러한 의사소통 과정에서 증거와 이론에 관련된 논의는 필수적이다.

논의는 모델의 생성과 표현, 목적에 따른 모델의 정당화, 모델로부터 발생한 새로운 검증 가능한 의문의 생성, 모델의 평가 및 검증 등 모델링 과정 전체에서 나타난다(Mendonca & Justi, 2013; NRC, 2011). 논의는 모델의 검증과 평가에서도 중요한 역할을 수행하며(Mendonca & Justi, 2013), 학생들이 모델을 이용하여 논의에 참여할 때, 자신의 설명을 정교화하는 과정에서 과학에 대해 더 깊이 이해할 수 있다(Khan, 2007; Mendonca & Justi, 2013; Schwarz *et al.*, 2009).

언어행위는 기호 체계와 규칙 체계를 사용하여 적절한 표현을 생산하는 단계와 구성된 표현을 사용하여 특정의 목적을 수행하는 단계로 이루어진다(Lee, 1994). 모델링 과정도 이와 유사하게 적절한 모델을 만들고 이를 사용하여 목적을 수행하는 단계를 거치며, 효과적인 모델링을 위해 모델을 구성하는 사람은 자신의 생각을 표현하는 방법에 대해 학습할 필요가 있고, 모델을 이해해야 하는 입장에 있는 사람들은 표상들로 구성된 모델을 이해하기 위해 다중표상에 대한 이해가 필요하다(Cho, 2014).

논의 기반 일반화학실험은 탐구적 과학 글쓰기(Science Writing Heuristic, SWH)에 기반을 두고 있으며, 탐구적 과학 글쓰기 활동은 학생들의 글쓰기 능력, 논의 능력, 과학 개념, 다중표상, 반성적 사고 등에 긍정적인 영향을 미친다고 보고되었다(Nam *et al.*, 2011; Nam, Lee, & Cho, 2011; Sung, Hwang, & Nam, 2012; Sung, & Nam, 2013; Jang, Nam, & Choi, 2012). 논의 기반 일반화학실험은 학생들을 논의에 참여시킴으로써 문제 상황이나 관찰 결과에 대한 자신의 생각을 표현하고 수정하도록 돕는다(Nam *et al.*, 2011; Nam, Lee, & Cho, 2011). 이러한 과정이 학생들로 하여금 자신만의 설명체계를 만들 수 있도록 돕는다는 점에서 학생들은 논의 기반 일반화학실험을 통해서 모델링 과정을 수행한다고 볼 수 있다.

학생이 제시하는 모델은 학생들의 개념 이해 수준 및 표현 능력과 연관이 있다. 대상에 대한 학습자의 이해의 변화에 따라 모델은 변화하고(Schwarz *et al.*, 2009), 인지구조의 변화를 글, 도표, 수식으로 압축

된 형태로 표현하는 과정을 통해 모델의 구성과정에서 일어났던 학습자의 인지과정이 드러난다(Lehrer & Schauble, 2000). 일반화학 프로그램의 진행에 따른 학생들의 모델링 변화와 모델링이 변화하는 과정을 추적한다면 모델링 과정에서 나타나는 학생들의 인지과정을 탐색할 수 있을 것이다.

과학교육에서 모델링을 효과적으로 적용하기 위해서는 교사와 학생 모두 모델의 본성에 대한 이해가 필요하며(Oh & Oh, 2011), 이를 위해서는 모델링에 대한 체계적인 적용과 훈련이 필요하다(Lehrer & Schauble, 2000). 특히 교사의 모델링을 효과적으로 적용하기 위한 전략과 모델링의 본성에 대한 학생들의 인식에 대한 이해는 모델링의 효과적인 적용을 위해 필수적이다(Harrison & Treagust, 2000; Justi & Gilbert, 2002b).

모델링과 관련한 최근의 연구에서 과학적 글쓰기를 바탕으로 논의에 기반하는 모델링 전략을 개발하고 이를 중학교 학생들을 대상으로 적용하여 모델링 능력의 변화를 알아보는 연구가 있었다(Cho, & Nam, 2014; Cho, Nam, & Lee, 2014). 이 연구에서는 중학교 학생들에게 논의를 모델링의 주요 전략으로 사용하였을 때 효과가 있다는 점을 밝혔으나 모델링에 참여하는 과정에서 학생들에게 일어나는 변화가 어떠한 과정을 통해 나타나는지와 왜 이러한 변화가 나타났는지에 대한 이유는 명확히 드러나지 않았다. 모델링에서의 변화 과정과 변화의 이유에 대한 탐색은 이후의 모델링 전략의 수립과 적용에 있어서 도움이 될 수 있는 유용한 결과를 가져올 수 있다.

모델링에서 나타난 변화의 이유를 알아보기 위한 학생들의 인지과정에 대한 탐색을 위해서는 자신의 생각을 되돌아보는 능력인 메타인지적 사고가 필요하다. 그러나 메타인지적 사고는 학습자가 형식적 조작기에 이를 때 나타나며(Inhelder & Piaget, 1958; Vygotsky, 1986), 구체적 조작기에 해당하는 학습자들은 메타인지에 크게 변화가 나타나지 않는다(Nam *et al.*, 2008; Kwak, 2005). 중고등학생들 중 형식적 조작기에 이르지 못하고 구체적 조작기에 머물러 있는 학생의 비율이 높고(Nam *et al.*, 2008; Choi *et al.*, 2002), 대학생이나 성인에 이르러 절반 정도가 형식적 조작 능력을 가지고 있다는 연구결과(Shim, 1995)로부터 볼 때, 모델링 과정에 대한 탐색을 위해서는 연구대상을 메타인지적 사고가 가능한 대상으로 확대할 필요가 있다. 이러한 이유로 중고등학생이 아닌 대학생들을 대상으로 연구를 진행하였다.

따라서 이 연구에서는 모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험 활동에서 나타나는 학생들의 모델링 변화와 변화 과정 및 모델링에서 나타나는 학생들의 인지과정에 대한 탐색을 통해 논의에 바탕을 둔 교수 전략이 모델링에 어떠한 영향을 미치는지와 변화의 이유를 알아보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

이 연구는 부산 소재 대학교에서 일반화학실험을 수강하는 학생들을 대상으로 수행하였다. 연구 대상으로는 화학교육과 1학년 21명을 선정하였다. 한 모둠은 3~4명으로 이루어져 있으며 모둠의 구성원은 화학개념검사, 화학Ⅱ 이수 여부, 성별을 고려하였다.

연구에 참여하는 학생들은 프로그램 투입 전 화학개념검사를 수행

하였고 각 모듈의 화학개념검사 결과의 평균이 가장 비슷하게 되도록 구성원을 배치하였다. 이 과정에서 추가로 화학Ⅱ 이수 여부와 성별을 고려하였다. 화학Ⅱ 이수 여부의 경우, 화학Ⅱ에서 다루는 내용과 일반 화학실험에서 다루는 주제가 수준은 다르지만 겹치는 경우가 나타나기 때문에 모듈원의 구성 요소로 고려하였다. 연구 대상 중 화학Ⅱ를 이수한 학생의 수는 전체 21명중 3분의 1에 해당하는 7명이었으며, 이들이 각 모듈에 최소 1명 이상 포함되도록 하였다. 전체 모듈의 수가 6개이기 때문에 한 모듈만 화학Ⅱ를 이수한 학생이 2명 포함되었다. 또한 모듈별로 최대한 비슷한 조건을 만들기 위해 성비를 맞추고자 하였다. 21명의 학생 중 남자는 7명, 여자는 14명이었다. 남학생의 수가 상대적으로 적기 때문에 이들이 각 모듈에 최소 1명 이상 포함되도록 하였다. 결과적으로 6개 모듈 중 5개 모듈에 남학생이 1명씩 포함되고, 나머지 한 모듈에만 2명의 남학생이 포함되었다.

이 연구의 연구자가 직접 학생들을 대상으로 모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험을 적용하였다. 연구자는 탐구적 과학 글쓰기 전략과 관련한 연구에 참여한 경험이 있으며, 6년간 대학교 1학년을 대상으로 탐구적 과학 글쓰기 전략을 적용하여 일반화학실험을 가르쳤다.

2. 모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험 개발

모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험은 Keys *et al.*(1999)이 개발한 탐구적 과학 글쓰기(Science Writing Heuristic, SWH) 전략에 기반을 두고 있다. 탐구적 과학 글쓰기는 구성주의 학습이론을 바탕으로 논의와 글쓰기를 이용한 탐구를 통해 과학적 소양을 함양시키는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 학생들은 제시된 문제 상황에서 스스로 해결할 문제를 찾고 사용 가능한 실험 기구나 시약을 고려하여 실험 설계를 하며, 실험 결과에 대해 논의하고 반성하는 단계를 수행한다. 탐구적 과학 글쓰기는 개방적인 실험 형태를 가지며, 학생들은 실험의 전반적인 과정에 걸쳐 단계에 대한 명시적인 안내를 받기보다는 논의를 통해 스스로 결정을 내려야 한다.

모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험은 피드백, 의문 만들기, 실험 설계, 관찰 및 결과, 주장과 증거, 읽기, 반성, 모델링의 총 여덟 단계로 구성되며, 기존의 탐구적 과학 글쓰기에서 다른 학생들이 구성한 모델을 비교하는 피드백 단계와 활동에 포함된 핵심개념에 대한 최종적인 모델을 구성하는 모델링 단계를 추가하여 모델링의 측면을 강조하였다(Table 1).

Table 1. Modeling emphasized argument-based general chemistry experiment

단계	활동
1. 피드백	이전 활동에서 구성한 모델 비교 및 평가 나의 의문
2. 의문 만들기	모듈의 의문(모듈원 간 논의) 전체의 의문 결정
3. 실험 설계	실험 설계 및 수행
4. 관찰 및 결과	결과 관찰 및 해석 나의 주장과 증거
5. 주장과 증거	모듈의 주장과 증거(모듈원 간 논의) 모듈별 주장과 증거를 바탕으로 한 전체 논의
6. 읽기	읽기자료와 내 생각을 비교
7. 반성	개인별 반성 글쓰기 작성
8. 모델링	핵심 개념에 대해 자신의 언어로 다른 사람에게 설명

모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험 활동의 첫 단계는 피드백이다. 피드백 단계에서 학생들은 다른 학생들이 이전 활동에서 구성한 모델을 보고 이에 대해 서로 평가하고 장단점에 대해 논의하면서 자신이 구성한 모델과 비교한다. 이를 통해 새로운 모델링 전략이나 요소들을 학습할 수 있다.

두 번째 단계는 의문 만들기이다. 의문 만들기에서 먼저 학생들은 제시된 문제 상황과 주어진 실험 도구를 고려하여 활동 시간에 해결할 의문을 개별로 작성한다. 문제 상황을 파악하고 이를 바탕으로 자신의 의문을 생성하는 과정에서 학습자는 자연스럽게 상황에 대해 자신이 알고 있는 내용을 떠올리게 되며 이는 제시된 상황에 대한 학습자의 초기 모델이라고 볼 수 있다. 자신의 의문을 작성한 뒤 모듈원간의 논의를 통해 모듈의 의문을 정하고 각 모듈의 의견이 모두 정해지면 모듈별로 작성한 의문을 학생들이 모두 볼 수 있는 곳에 부착하고 논의를 통해 학생 전체의 의문을 정한다. 학생들이 논의를 진행해 본 경험이 적기 때문에 첫 번째와 두 번째 활동에서는 연구자가 전체의 의문을 정하기 위한 논의를 진행하였고, 활동이 진행됨에 따라 학생들이 직접 전체 논의를 진행하도록 하였다. 전체의 의문은 기본적으로 하나를 정하지만 최종적으로 결정된 전체의 의문이 아니라 하더라도 제시된 의문이 타당성이 있다고 생각되면 자율적으로 해당 의문에 대해서 실험을 수행하고 이후 전체 논의 단계에서 실험 결과를 공유하였다.

세 번째 단계는 실험 설계이다. 실험 설계 단계에서 학생들은 전체의 의문을 해결할 수 있는 실험을 직접 설계한다. 기본적으로 주어진 실험 도구를 이용하여 실험을 설계하지만 주어진 도구가 아니라 하더라도 학생의 요청이 있고 주어진 실험실 상황에서 충분히 공급이 가능한 경우에는 사용하도록 하였다.

네 번째 단계는 관찰 및 결과이다. 이 단계에서 학생들은 수행한 실험의 결과를 관찰하고 기록한다. 이 과정에서 관찰 결과를 표나 그래프 등의 다른 형태로 변환하기도 한다.

다섯 번째 단계는 주장과 증거이다. 주장과 증거 단계는 의문 만들기와 마찬가지로 먼저 개별로 주장과 증거를 작성하고 이를 바탕으로 모듈원간의 논의를 통해 모듈의 주장과 증거를 결정하며 이들을 취합하여 전체 논의를 진행한다. 주장과 증거에 대한 전체 논의에서도 처음 두 개의 활동만 연구자가 주도적으로 진행하고 이후의 활동에서는 학생이 전체 논의를 진행하고 연구자는 진행하는 학생을 보조하는 형태로 진행하였다.

여섯 번째 단계는 읽기이다. 읽기 단계에서 학생들은 자신의 주장을 참고 자료에서 찾은 전문적인 지식을 통해 뒷받침할 수 있다. 이 과정에서 자신의 모델을 구성하는데 필요한 과학적인 개념을 추가로 습득할 수 있다. 전체 논의에서 이루어지는 논의가 학생들의 내적인 모델 구성을 도울 수 있지만 학생들은 아직 해당 내용에 대해서 비전문가이기 때문에 논의 결과가 항상 과학적인 개념과 일치하지는 않는다. 따라서 문헌에서 추가로 찾은 내용과 논의내용과의 비교를 통해 자신이 부족한 부분을 보완할 수 있다.

일곱 번째 단계는 반성이다. 반성 단계에서 학생들은 활동에 참여하기 전과 후에 자신의 생각이 어떻게 바뀌었는지에 대해 글쓰기를 수행한다. 이를 통해 자신이 처음에 문제 상황에 대해서 가지고 있던 내적 모델이 어떻게 변화해 왔는지 자신이 참여했던 활동을 되돌아보는 과정을 통해 인지할 수 있다.

여덟 번째 단계는 모델링이다. 학생들은 활동의 마지막인 모델링 단계에서 해당 시간에서 다루었던 주제를 설명하기 위한 자신의 최종 모델을 구성하며, 이를 위해 수행한 주제에 대한 핵심개념을 설명하는 모델을 작성한다. 실제 학생들은 강조한 논의 기반 일반화확실험의 전체 과정에 참여함으로써 모델링을 수행한다. 학생들은 의문 만들기를 하는 과정에서 제시된 현상에 대해 자신이 알고 있는 내용을 확인하게 되고 이와 관련하여 문제 상황을 설명하기 위한 의문을 만든다. 학생들이 초기에 가지고 있던 생각은 모둠이나 전체의 의문을 정하기 위한 논의 과정이나 실험 설계, 전체 논의, 읽기, 반성단계를 거치면서 다른 사람의 의견이나 실험 결과 등 다양한 요인들에 끊임없이 도전받게 되며 수정된다. 따라서 모델링을 강조한 논의 기반 일반화확실험에서 모델링 단계라는 명칭은 해당 단계에서만 모델링이 일어난다는 의미가 아니라 실험을 진행하는 과정에서 변화된 학생들의 생각을 최종적으로 정리하여 모델로 표현하는 단계임을 강조하기 위한 표현이다.

모델링을 강조한 논의 기반 일반화확실험에 적용할 활동의 주제를 선정하기 위한 첫 단계로 기존에 일반화확실험에서 다루던 주제에서 단순히 학생들의 수공적 기능 숙달에 초점을 맞추거나 단편적인 개념을 다루는 주제를 제외하였다. 두 번째 단계로는 실험으로 다루어야 할 만큼 중요하고 의미 있는 내용을 포함하는 주제인지, 주제에 대해 학생들이 적절한 의문을 생성할 수 있는지, 학생 수준에서 자신들의 의문을 해결하기 위한 실험을 설계할 수 있는지 등을 고려하였다. 최종적으로 엔탈피 변화량 측정, 산염기 적정, 평형상수, 용해도곱 상수, 전기분해와 도금, 역적정의 여섯 개 주제를 선정하였다. 개발된 활동은 과학교육 전문가 1명, 과학교육 박사 1명, 석사과정 1명에게 타당도를 검증 받았다.

3. 모델링을 강조한 논의 기반 일반화확실험 적용

모델링을 강조한 논의 기반 일반화확실험은 2014년 3월부터 6월까지 1학기 동안 평균적으로 이주일 간격으로 적용되었으며 한 활동당 평균 3시간이 소요되었다. 학생들은 모둠별로 세 명 또는 네 명씩 짝을 지어 활동에 참여하였다.

모델링을 강조한 논의 기반 일반화확실험 적용과정에서 학생들은 실험수행과 함께 개별로 활동에 대한 실험 보고서를 작성하였다. 실험 보고서에는 활동의 여덟 단계 중 피드백을 제외한 의문 만들기, 실험 설계, 관찰 및 결과, 주장과 증거의 네 단계는 활동 과정에서 수행하고 읽기, 반성, 모델링의 세 단계는 활동이 끝나고 과제로 수행하여 최종 실험 보고서를 다음 활동 전까지 제출하였다. 최종 실험 보고서는 활동의 첫 단계에서 수행하는 피드백에 자료로 제시할 모델링 사례들을 추출하는데 사용되었다.

4. 학생 인터뷰 문항 개발

학생들이 모델을 구성하는 과정에서 어떠한 인지과정을 거치는지 탐색하기 위해 모델링을 강조한 논의 기반 일반화확실험의 여섯 개 활동을 끝낸 후 모델링에 대한 인터뷰를 실시하였다.

모델링을 수행하는 동안 나타나는 인지과정에서 학생들은 효과적인 모델을 구성하기 위한 의사 결정 과정을 거치며, 이는 학습자의 문제 해결 전략이나 지적 발달 단계 등을 반영할 수 있다(Park, 2012).

모델링 과정에서 학생들이 사용하는 전략은 학습자가 가지고 있는 메타모델링 지식과 연관이 있다. 메타모델링 지식이란 모델링에 자체에 대한 지식을 의미 하며, 모델의 본성, 모델의 목적, 모델의 역할, 모델을 평가하기 위한 기준 등에 대한 지식을 포함한다(Bamberger & Davis, 2013; Schwarz & White, 2005).

메타모델링 지식에 대한 이해 정도와 모델링 수준은 서로 연관이 있으며(Schwarz & White, 2005), 메타모델링 지식과 관련하여 학생들이 가지고 있는 모델의 본성과 목적에 대한 인식은 이들이 모델을 구성할 때 고려하는 모델의 요소와 모델을 구성할 때 사용하는 전략을 통해 드러날 수 있다. 따라서 학생들이 사용하는 모델의 요소와 모델링 전략에 대한 탐색을 통해 학생들이 모델링을 수행하는 과정에서 나타나는 인지과정을 알아보려 하였다.

또한 모델링 초기에 학생들은 충분한 메타모델링 지식을 가지고 있지 않기 때문에 어려움을 느끼며, 모델링을 수행하는 과정에서 학생들은 모델링 실행에 관한 인식론적 지식의 정교화를 통해 이러한 어려움을 해소할 수 있다(Maia & Justi, 2009; Saari & Viiri, 2003). 따라서 학생들이 모델링 수행 과정에서 겪는 어려움과 해소 과정에 대한 탐색을 통해 모델링에서 나타난 변화의 이유를 탐색하고자 하였다.

따라서 인터뷰의 내용은 효과적인 모델의 요소, 모델링 전략, 모델링 수행 상 어려움, 모델링 수행 상 어려움 해소 전략에 대한 네 가지 주제로 구성되며, 각 주제는 주제에 대한 내용을 알아보기 위한 문항으로 구성하였다. 실제 학생들에게는 효과적인 모델의 요소를 알아보기 위해 모델링을 수행할 때 효과적이라고 생각하는 방법, 모델링을 수행할 때 실제로 사용한 방법, 이해가 잘되는 모델의 요소 등을 질문하였다. 또한 모델링 전략을 알아보기 위해서 어떠한 과정을 통해 모델링을 수행하는지, 모델링 수행 상의 어려움을 알아보기 위해서 모델을 구성할 때 어떤 부분에서 어려움을 겪는지, 마지막으로 모델링 수행 상의 어려움을 어떻게 해소하였는지에 대해서는 모델링을 잘 하기 위해서는 어떠한 교육이 필요한 지에 대해 질문하였다.

인터뷰 문항의 개발은 연구자가 학생들이 모델링을 수행하는 과정에서 고려하는 요소들에 대한 문항의 초안을 먼저 작성하고 과학교육 전문가 1명, 과학교육 박사 1명, 석사과정 1명과 협의의 통해 타당도를 검증받았다.

5. 자료 수집 및 분석

학생 인터뷰는 연구를 수행한 연구자와 학생이 일대일로 만나서 반구조화 된 형태로 진행되었다. 인터뷰에 소요된 시간은 개인당 약 30분 정도였으며 모든 인터뷰 내용은 녹음 후 전사하였다. 연구자는 인터뷰 전사본에 기록된 문항에 대한 응답을 반복해서 읽는 과정을 통해 공통적으로 나타나는 내용을 유형별로 범주화하여 요소를 추출하였다. 또한 각 요소들의 비중에 대한 상대적인 비교를 위해 요소별 빈도수를 측정하고 각 요소를 잘 드러낼 수 있는 사례를 선정하였다. 범주화된 내용은 실제 인터뷰 사례와 함께 과학교육 전문가 1명에게 타당성을 검증받고 이를 바탕으로 추출된 요소를 수정 및 보완하였다. 최종적으로 범주화된 내용을 바탕으로 인터뷰 전사본 전체를 다시 검토하여 큰 범주에 해당하는 하위요소와 이에 대한 빈도수를 결정된 뒤 사례를 선정하였다. 이후 해당 요소와 사례를 바탕으로 이들이 모델링에서 가지는 의미를 분석하고, 분석 결과를 과학교육 전문가 1명에

게 타당성을 검증받았다.

III. 연구 결과

연구 결과는 인터뷰에서 다루었던 효과적인 모델의 요소, 모델링 전략, 모델링 수행 상의 어려움, 모델링 수행 상의 어려움의 해소 전략의 4가지 영역에 대한 응답을 범주화 된 요소와 복수응답으로 측정된 요소별 빈도를 함께 제시한 뒤, 각 요소에 해당하는 사례를 첨부하였다.

1. 효과적인 모델의 요소

효과적인 모델의 요소에 대한 학생들의 응답은 크게 시각적인 표현의 사용, 설득력 있는 설명, 수사학적 구조의 세 가지 범주로 구분하였다. 각 범주는 내용에 따라 하위 범주로 세분화되며, 하위 범주는 그에 해당하는 요소들을 포함한다.

시각적인 표현의 사용에 해당하는 요소들은 그림, 색이나 밑줄을 통한 키워드 강조, 식, 표, 그래프, 기호 등이 있다. 설득력 있는 설명은 추가 설명의 제공과 연관성, 두 개의 하위 범주로 나뉜다. 추가 설명의 제공에 해당하는 요소에는 표상에 대한 설명, 예시 제공, 개념에 대한 설명, 과정에 대한 설명, 실험 결과에 대한 설명이 있고, 연관성에 포함되는 요소에는 실험과 연관, 선행지식과 연관, 개념과 연관, 경험과 연관 등이 있다.

수사학적 구조는 독자의 수준 고려, 구조화, 독자에게 필요한 내용의 세 가지 하위 범주를 가진다. 독자의 수준 고려는 가상의 독자 설정, 시인성 고려, 설명하는 형태의 문체, 쉬운 용어로 치환, 사용한 용어에 대한 해설의 요소를 포함하고, 구조화는 글 전체의 구성을 고려를 하위 요소로 가진다. 독자에게 필요한 내용은 하위 요소로 자신이 새로 학습한 내용과 특이점이나 유의할 점을 포함한다(Table 2). 다음은 요소별

Table 2. Elements of effective model

요소	하위 요소	빈도*
시각적인 표현의 사용	그림	18
	색, 밑줄(키워드 강조)	10
	식	8
	표	6
	그래프 기호	5 1
설득력 있는 설명	표상에 대한 설명	8
	예시 제공	8
	추가 설명의 제공	
	개념에 대한 설명	6
	과정에 대한 설명	6
	실험 결과에 대한 설명	1
연관성	실험과 연관	12
	선행지식과 연관	3
	개념과 연관	1
	경험과 연관	1
수사학적 구조	가상의 독자 설정	10
	독자의 수준 고려	
	시인성 고려	5
	설명하는 형태의 문체	3
	쉬운 용어로 치환	3
	사용한 용어에 대한 해설	2
구조화	글 전체의 구성 고려	4
독자에게 필요한 내용	자신이 새로 학습한 내용	2
	특이점, 유의점	1

* 복수응답

사례와 이에 대한 설명이다.

가. 시각적인 표현의 사용

시각적인 표현 사용의 하위 요소는 그림, 색이나 밑줄의 사용, 강조, 식, 표, 그래프, 기호가 있다. 응답빈도는 그림 18회, 색이나 밑줄 10회, 식 8회, 표 6회, 그래프 5회, 기호 1회 순이었다(Table 2).

그림을 사용하는 이유에 대해 학생들은 글에 비해 가독성이 좋고, 설명하고자 하는 상황을 효과적으로 전달할 수 있기 때문이라고 응답하였다. 그림을 사용하는 또 다른 이유로는 그림을 사용하여 모델을 구성할 때 그림과 관련된 내용이 잘 떠오르기 때문이라 응답하였다(사례 1). 그림과 같은 시각적인 표현의 사용은 모델을 이해해야 하는 사람 뿐만 아니라 모델을 구성하는 사람에게도 도움을 줄 수 있다. 시각적인 표현은 전체 내용의 구조를 글에 비해 직관적으로 제공할 수 있다. 이는 시각적인 표현을 사용하려는 사람이 자신이 경험한 내용이나 알고 있던 지식을 더 쉽게 떠올릴 수 있도록 하고 전체적인 내용의 파악을 도와 모델에서 부족한 부분을 쉽게 확인할 수 있도록 한다.

<사례 1> 그림 사용 이유 - 모델 구성에 도움

S19 : 그림을 그리면 실험을 할 때 **그림을 그리면 자기 실험할 때 딱 떠오른다**고 해야 되나? 자기 생각도 있지만 좀 더 이뻐 이것도 있었지 하면서 아 이뻐 괄호가 좀 남아있었지 그림 그리면서 하면서 떠오를 때도 있고...

한 학생은 다른 사람의 모델을 이해할 때 시각적인 표현이 특별하거나 관찰한 사물을 도식화 하여 제시한 경우 기억이 잘 된다고 응답하였다(사례 2). 시각적 요소의 사용은 단순히 단어를 제시할 때 보다 상대방에게 더욱 직관적이고 풍부한 정보를 제공하기 때문에 제시된 단어를 이해하는데 필요한 노력을 줄여줄 수 있다. 특히 맥락을 고려한 표상의 사용은 모델의 내용과 모델을 이해하는 사람의 인지구조와의 접점을 추가로 제공할 줄 수 있다.

<사례 2> 시각적 표현의 사용 - 표현의 독창성, 맥락의 고려

S14 : 어... 그림이 더 인식하기 쉬우니까. 그리고 저희가 계속 그 모양을 **봤잖아요. 철이랑 구리라는 글자를 본 게 아니라. 이렇게 생긴 걸 봤으니까.** 본 게 있어서 계속 그게 바로 딱 떠오르는 것 같아요.

색이나 밑줄을 사용하는 이유는 표시한 내용을 다른 부분과 차별화할 수 있기 때문이라 응답하였다. 그러나 몇몇 학생들은 지나치게 많은 수의 색을 사용하거나 밑줄을 지나치게 사용할 경우에는 무엇이 중요한 내용인지 확인하기가 어렵기 때문에 모델의 이해를 방해한다고 응답하였다(사례 3). 색이나 밑줄의 과도한 사용은 모델을 구성하는 내용의 위계가 정립되어 있지 않다는 의미를 포함하며, 불필요한 정보를 필요 이상으로 제공하여 모델을 산만하게 만든다. 때문에 색이나 밑줄 등으로 중요한 부분을 표시하였다고 하더라도 독자가 실제로 모델에서 중요한 부분을 파악하기 위해서는 추가적인 노력이 필요하게 된다.

<사례 3> 다양한 색 사용이 가지는 제한점

S17 : S19는 이렇게 많이 줄 그어놓고.. **그게 색깔이 많을수록 이것도 중요하고**

저것도 중요하고 이렇게 여기저기 되어 있으니... 알아보기 힘드니까 저는 여러 가지 색깔 쓰는 건 별로 안 좋은 것 같아요.

나. 설득력 있는 설명

설득력 있는 설명은 크게 추가 설명의 제공과 연관성의 두 개 범주로 나뉜다. 추가 설명에 해당하는 하위 요소의 응답 빈도는 표상에 대한 설명 8회, 예시 제공 8회, 개념에 대한 설명 6회, 과정에 대한 설명 6회, 실험 결과에 대한 설명 1회 순이었다. 연관성에 해당하는 하위 요소의 응답빈도는 실험과 연관 12회, 선행지식과 연관 3회, 개념과 연관 1회, 경험과 연관 1회 순이었다(Table 2).

다음 사례에서 학생은 그림 하나가 여러 내용을 포함하고 있을 경우에 효과적이라고 응답하였다(사례 4). 위와 같은 학생들의 응답으로부터 볼 때, 학생들은 표상에 대한 설명의 제공뿐만 아니라 통합성을 고려한다. 시각적 표현을 사용할 때 단순히 표상에 대한 설명을 제시하는 것만으로는 충분하지 않으며 표상과 표상에 대한 설명을 통합적으로 제시할 경우에 내용의 전달에 있어서 더 효과적일 수 있다.

<사례 4> 시각적 표현의 사용 - 표상의 통합성

S21 : 그냥 그림만으로 끝낼 수 있는 설명이잖아요. 뒤에 다른 말을 붙일 필요 없이.

T : 그림 저건 다른 그림하고 뭐가 다른 거지?

S21 : 음. 말하고자 하는 게 딱 보이잖아요. 다른 그림은 그림을 그려놓고 설명을 쉽게 하기 위한 수단인데 저거는 저거 자체가 설명이잖아요. 저거 하나로 설명이 끝나는 거죠.

다음의 사례에서는 중간과정을 생략할 경우 상대방이 전체적인 내용을 파악하기가 힘들다는 점을 언급하였다(사례 5). 사례에서 응답한 학생은 자신이 알고 있는 내용과 상대방이 알고 있는 내용의 정도는 다르다는 점을 인지하고 있으며 이를 극복하기 위한 방법으로 과정에 대한 설명이 필요하고 생각하였다. 위와 같은 학생들의 응답으로부터 볼 때, 과정에 대한 설명은 상대방의 수준을 고려하여 모델을 이해하는 흐름을 제공하기 때문에 효과적이다.

<사례 5> 과정에 대한 설명

S8 : 그러니까 내가 어느 정도 알고 있으면 거의 중간과정을 생략을 하고 말하잖아요. 듣는 사람이 이걸 모르면 전체적인 내용을 다 이해를 못 하잖아요. 그래서 하나하나 자세하게 쓰는 게...

다. 수사학적 구조

수사학적 구조는 독자의 수준 고려, 구조화, 독자에게 필요한 내용의 세 개 범주로 나뉜다. 독자의 수준 고려에 해당하는 하위 요소의 응답 빈도는 가상의 독자 설정 10회, 시인성 고려 5회, 설명하는 형태의 문제 3회, 쉬운 용어로 치환 3회, 사용한 용어에 대한 해설 2회 순이었다. 구조화에서는 글 전체의 구성 고려 4회의 응답 빈도가 나타났으며, 수사학적 구조의 마지막 하위 범주인 독자에게 필요한 내용에서는 자신이 새로 학습한 내용 2회, 특이점이나 유의점 1회의 응답 빈도가 나타났(Table 2).

수사학적 구조에서는 모델을 읽는 독자를 고려해야 한다는 응답이 가장 많았다. 독자의 설정이 중요한 이유에 대해 설정한 독자의 수준이 모델링에서 제시하는 내용의 폭과 깊이를 결정하는 데 영향을 주기 때문이라 응답하였다. 인터뷰에 참여한 학생들은 모델링에서 주로 고등학생이나 대학생을 독자를 설정하였다고 응답하였으며, 독자를 선정할 때는 모델을 이해하기 위한 최소한의 선행지식이 있는지를 고려한다고 응답하였다(사례 6).

<사례 6> 수사학적 구조 - 가상의 독자 선정 시 고려 사항 - 선행지식, 독자 설정이 모델링에 미치는 영향

S12 : 그냥 고등학교 1학년에게 이야기를 해준다고 생각을 하거나 아니면 화학1을 듣고 있는 학생한테 설명해 준다 생각하고... 고등학교 1학년이면 걱정이 뭔지도 설명해줘야 될 것 같고...

T : 만약에 고등학교 1학년 대신에 중학생이나 초등학생이면 어떻게 되는 거야?

S12 : 어... 이런 거에 대해 설명하는 거 자체를 망설일 것 같아요.

2. 모델링 전략

학생들은 모델링을 수행하는 과정에서 자신만의 전략을 사용하며 이는 시간에 따라 변화한다. 따라서 학생들의 응답을 모델링 전략에 먼저 연구에 참여한 시간에 따라 연구 참여 초기와 연구 참여 후기로 나누고 연구 참여 후기는 모델링 수행 전 전략과 모델링 수행 중 전략의 두 부분으로 분류하였다.

연구 참여 초기에는 참고자료를 발췌하여 옮겨 적는 방법을 사용한다는 응답이 13회 나타났다. 연구 참여 후반에 학생들은 자신만의 전략을 구체화시켜 사용하게 된다. 모델링 수행 전에는 모델링을 원활히 수행하기 위해 나름의 준비과정을 거치며 이를 위해 실험 보고서를 작성하는 과정에서 중요한 키워드 등을 미리 정리해 둔다는 응답이 7회, 개요를 따로 작성한다는 응답이 3회로 나타났다. 실제 모델링 수행 과정에서는 다양한 자료를 사용한다는 응답이 15회로 가장 많았고, 자료를 재구성하여 제시한다는 응답이 13회, 핵심개념에 대한 정의와 설명을 제시한다는 응답이 12회, 수사학적 구조를 고려한다는 응답이 12회, 메타인지를 통해 자신이 어떻게 학습하였는지를 되돌아 보고 이를 반영하여 글을 작성한다는 응답이 2회로 나타났다(Table 3). 다음은 요소별 사례와 이에 대한 설명이다.

연구 참여 초기에는 모델을 구성하기 위해 단순히 참고 자료의 내용을 옮겨 적는 방법을 사용하였다고 응답했다. 연구 참여 후기에 학생들은 모델을 구성하기 전 내용을 정리하기 위해 개요를 따로 작성하거나

Table 3. Modeling strategies

시기	요소	빈도*	
초기	참고자료 단순 발췌	13	
모델링 수행 전	키워드 정리	7	
	개요 작성	3	
후기	다양한 자료의 사용	15	
	자료의 재구성	13	
	모델링 수행 과정	핵심개념의 정의와 설명의 제시	12
	수사학적 구조 고려	12	
	메타인지	2	

* 복수응답

실험 보고서를 작성하는 과정에서 모델링에 중요한 요소들을 머릿속에서 정리한다. 정리된 내용은 이후 구성할 모델의 뼈대가 되기 때문에 구조적인 측면에서 모델의 완성도에 영향을 준다. 사용한 자료의 측면에서 나타난 모델링 전략에서의 가장 큰 변화는 모델을 구성할 때 사용한 자료의 다양화이다. 다양한 출처의 자료를 사용하게 된 가장 큰 이유는 모델링에 있어서 실제적인 맥락의 제공을 중요하게 고려하고(사례 7), 다른 출처에서 찾은 자료들이 서로의 부족한 점을 보완해 줄 수 있기 때문이라고 응답하였다(사례 8).

〈사례 7〉 실제 맥락의 제공

S5 : 저는 그냥 (초기 보고서들 가리키면서) 이렇게 설명되어있는 것보다는 아까 제가 말한 것처럼 (후기 보고서들 가리키면서) 이렇게 **실험 한 거 진짜 있는 걸로 끌어와서 하는 게 더 이해하기 쉽다고 생각해요.**

〈사례 8〉 부족한 점의 보완

S10 : 한 주제를 가지고 다른 사람, 많은 사람들이 정의를 하잖아요? 한 책만 파는 게 아니라 **여러 가지 자료를 보고 작성할 때가 더 잘 되는 것 같아요.** 이쪽에 없는 게 저쪽에 있을 수도 있고, 이쪽에서 이해가 안됐는데 다른 자료의 도움을 받아서 이해가 될 수도 있고, 그런 경우가 많더라구요.

학생들은 모델의 구성에서 주로 서론, 본문, 결론의 구조를 사용하며, 서론에서는 설명하고자 하는 핵심 개념에 대한 정의나, 흥미를 유발할 수 있는 소재의 제공을 언급하고, 본문에서 핵심 개념에 대한 자세한 설명을 다른 내용와의 연관을 통해 설명하고, 결론에서 설명한 내용에 대한 요약에 제시한다고 응답하였다(사례 9).

〈사례 9〉 수사학적 구조 고려

S2 : 적을 때는 이제 또 **흐름을 생각해서** 그니까 바로 본문부터 말하지 않고 **서론, 본문, 결론** 이렇게 있으면 서론부터 쓰고 이런 것 같은 경우에는 우선 전기분해란 무엇일까요? 이렇게 질문을 던진단 말이에요? 그럼 누가 대답을 하겠죠? 그럼 이제 제 나름대로 그냥 제가 선생님이 된 것처럼... 그런 식으로 그럼 오늘은 여기에 대해서 한번 배워볼게요. 이런 식으로... 본문에서는 이제 그 이번 실험에 제일 중요한 부분. 그리고 이 개념에서 제일 중요한 부분. 결론에는 그냥 막 마무리라든지 요약이라든지 그래서 '따라서 이런거예요' 라고 하고 끝마치기.

다음의 사례에서 학생은 모델링에서 개념이 확장되는 순서를 자신이 이해한 방식 바탕으로 전개하였다고 응답하였다. 이러한 방법을 사용한 이유에 대해서는 자신이 실제로 이해한 방법에 기반을 둔 설명이 다른 사람이 이해하기에 더 효과적이기 때문이라 응답하였다(사례 10). 자신이 겪었던 인지구조의 변화를 모델링에 적용하기 위해서는 활동과정에서 자신이 내용을 이해하기 위해 어떠한 사고과정을 거쳤는지를 알고 있어야 하며 이 과정은 메타인지와 관련이 있다. 자신이 어떤 부분에서 변화가 일어났는지에 대해 알기 위해서는 초기에 자신이 무엇을 알고 있었는지 그리고 나중에 무엇을 알게 되었는지에 대한 파악이 필요하며 이는 모델의 내용을 모르는 가상의 독자의 수준을 설정하는 데에도 영향을 줄 수 있다.

〈사례 10〉 자신이 이해한 방법의 적용

S21 : 저희 마지막에 토론하잖아요. 토론해서 결과랑 함께 이야기하는 그 순서 있잖아요. 그 순서대로 싹 적는 것 같아요. 아 그러니까 점점 확장을 해 나가잖아요. 개념가지고. 그 순서대로 썼었어요.

T : 이런 방식은 왜 사용한 것 같아?

S21 : 제가 그렇게 **실험을 이해한 방식이** 그러니까 **보고서 쓸 때도 그 방식으로** 쓴 거 같아요.

3. 모델링 수행과정상의 어려움

모델링 과정에서 겪는 어려움에 대한 학생들의 응답은 모델링 전략의 부재, 이해 부족의 두 가지 범주로 나눌 수 있다.

모델링 전략의 부재와 관련하여 연구 초기에 대부분의 학생들은 자신의 모델링 전략을 가지고 있지 않았다고 응답하였다. 모델링 전략 부재의 하위 요소에 대한 응답횟수를 살펴보면 다중표상 사용에 대한 어려움이 응답횟수 8회로 가장 많았고, 수사적 구조와 내용 재구성이 각각 6회, 관련 자료 수집의 어려움이 5회, 모델링 수행 시 폭과 깊이 설정에 대한 어려움이 2회 나타났다(Table 4).

이해 부족 측면은 크게 핵심 개념에 대한 이해 부족과 실험 내용에 대한 이해의 두 요소로 구분되고, 학생들의 응답은 이중 핵심 개념에 대한 이해 부족이 15회, 실험 내용 이해에 대한 어려움은 2회로 나타났다. 다음은 요소별 사례와 이에 대한 설명이다.

많은 학생들이 모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험 초기에 모델을 어떻게 구성해야하는지에 대한 방법을 잘 몰라 어려움을 느꼈다고 응답하였다(사례 11). 학생들은 각자의 모델링 전략을 가지고 모델을 구성하며 초기 활동에서는 모델링에 있어서 어느 방법이 더 효과적인지에 대한 경험이나 인식이 부족하기 때문에 혼란을 느끼기도 한다.

〈사례 11〉 모델링 전략의 부재에서 발생하는 어려움

S17 : **어떻게 쓰면 더 잘될까를 생각하는 것도 어려워요.** 다른 아이들을 보면 작성 방법이 다 달라요. 이게 좋은 것 같긴 한데 제가 쓰기에는 좀 어려운데... 그래서 어려운거 같아요. 어떻게 써야 될지 정해져 있지 않으니까.

학생들은 자료를 표로 변환하는데 어려움을 느끼거나(사례 12), 책에 있는 내용과 실험에서 다른 내용을 연결하여 설명하는데 어려움을 느낀다고 응답하였다(사례 13). 두 사례 모두에서 학생들은 효과적인 모델의 요소나 전략에 대한 필요성은 인지하고 있으나 이를 구현하는 과정에서 어려움을 겪는 것으로 보인다.

Table 4. Difficulties students experienced during modeling

요소	하위 요소	빈도*
모델링 전략 부재	다중표상 사용	8
	내용 재구성	6
	수사적 구조	6
	관련 자료 수집	5
	모델링의 폭과 깊이의 설정	2
이해 부족	핵심 개념에 대한 이해 부족	15
	실험 내용 이해	2

* 복수응답

〈사례 12〉 다중표상 사용에서 어려움

S7 : 표로 딱히 뭔가 표로 그리려는 내용이 앞에 애들 보면 표로 그린 애들도 있었던 것 같아요. 그런데 정리가 안 된다고 해야 되나? 전 알겠는데 표로 딱 정리하기가 힘들어 가지고... **변환하기가 힘들어서 잘못했던 거** 같아요.

〈사례 13〉 내용 재구성에서 어려움

S1 : 책을 보면 역적정의 정의가 '시료 내 측정 성분보다 많은 양의 표준용액을 가하여...' 막 이런 식이면요. 실험을 했으면 막 시료 내 측정성분이 우리 **실험**에서는 뭐 계산제였고 뭐 많은 양의 표준용액이었고 HCI이었고... 막 이렇게 그게 바로 **매치**가 되니까요 그럼 그 개념을 이해하는데 훨씬 와 닿으니까...

T : 구체적인 사항을 제시하는 것이 상대방이 받아들이기에 더 낫다... 그러니까 연결하는 게 중요하지만 그게 어렵다?

S1 : 네

어려운 내용에 대해 모델링을 할 경우에 어느 정도까지 기술해야 할지 정하지 못해 모델이 통합되지 않고 산만해지기 쉽고(사례 14), 자신이 알고 있는 내용의 경우에도 독자를 정하지 않은 경우 내용을 어디까지 제시해야 하는지에 대한 기준을 정하는데 어려움이 있다고 응답하였다(사례 15). 이처럼 모델링의 폭과 깊이의 설정에서 어려움을 느끼는 이유는 개념에 대한 이해가 부족한 경우와 독자를 명확하게 설정하지 않은 경우로 나눌 수 있다. 개념에 대한 이해가 부족한 경우에는 참고자료가 많다고 하더라도 전체 구조에 대한 이해가 부족하기 때문에 실제로 모델에서 다루는 핵심개념과 연관된 개념의 서술 범위를 정하는데 어려움을 느낀다. 독자를 명확하게 설정하지 않은 경우에는 독자가 가지고 있는 선행개념이나 필요한 정보가 명확하지 않기 때문에 모델에서 진술하는 내용의 경계가 모호해 진다.

〈사례 14〉 개념에 대한 이해 부족으로 인한 모델링의 폭과 깊이 설정의 어려움

S19 : 그나마 자기가 아는 거면 이정도 기준에서 끝내면 되겠다. 딱 끊을 수 있는데 **너무 모르면** 쓸건 많긴 많은데 한계가 없으니까 **끝이 없으니까 좀 산만**해져요.

〈사례 15〉 독자 미설정으로 인한 모델링의 폭과 깊이 설정의 어려움

S12 : 그러니까 저는 그냥 **알고 있는데** 그걸 말로 풀어서 설명을 해야 되니까, 그런 부분이 좀 잘 안 되는 거 같아요. 이런 거 까지 설명을 해야 되나 싶은 거도 있고... **설명을 어디까지 해야 할지 잘 모르겠고...**

개념이나 실험 내용에 대한 이해가 부족하면 내용간의 관계를 찾거나 재구성하는데 어려움을 느끼지만, 반대로 자신이 모델링을 할 내용에 대해 자신이 잘 이해하고 있다고 생각하는 경우에는 구성적인 측면에 더 신경을 쓸 수 있다고 응답하는 경우도 있었다(사례 16).

〈사례 16〉 개념의 이해가 모델링에 미치는 긍정적인 영향

S9 : 만약에 아는 개념이라면, 이거를 진짜 다른 사람에게 어떻게 해야 납득을 시킬지 생각을...

T : 그럼 그게 혹시 그런 만약에 잘 아는 개념이면, 여분의 힘을 뭔가 정리를

한다든지 이런 데 쓰는 건가?

S9 : 네. 그러니까 개념이 어려우면 제가 알아가는 과정이 좀 힘들고 한데, **개념을 알면 어떻게 풀어 쓰는지만 생각하면 되니까...**

4. 모델링 수행과정상의 어려움의 해소

모델링 수행과정에서 겪는 어려움의 해소에 대한 학생들의 응답은 모델링 전략의 부재와 내용 이해 부족으로 나타나는 어려움을 해소하기 위해 어떻게 모델링 전략을 습득하고 내용을 이해하는지로 구분된다.

모델링 전략의 습득 요소에서 학생들은 피드백 단계에서 모델링 전략을 습득한다는 응답이 12회로 가장 많았다. 피드백 단계에서는 매 차시 활동 전 다른 학생들이 작성한 모델들을 가지고 논의하는 시간을 가진다. 그리고 모델링 경험이 쌓임에 따라 자연스럽게 습득했다는 응답이 5회, 실험 보고서에 대한 평가를 보고 다른 학생들과의 비교를 통해 모델링 전략을 습득한다는 응답이 4회, 자신이 이전에 작성한 모델을 통해 전략을 습득한다는 응답이 1회, 다른 동료들이나 자신이 작성한 사례에서 모델링 전략을 습득하는 것이 아니라 다른 참고문헌을 통해 전략을 습득한다는 응답이 1회 나타났다(Table 5).

내용에 대한 이해는 크게 논의 과정과 실험 보고서 작성 과정에서 많이 나타난다고 응답하였다. 논의 과정의 하위 요소에 대한 응답빈도는 전체 논의 12회, 실험설계 2회, 의문 만들기 1회로 나타났고, 실험 보고서 작성과정이 내용에 대한 이해에 도움이 되었다는 응답은 5회 있었다. 다음은 요소별 사례와 그에 대한 설명이다.

많은 학생들이 다른 학생들이 작성한 모델을 보고 장단점을 평가하는 피드백 단계가 모델링 전략을 습득하는데 도움이 되었다고 응답하였으며, 다른 학생의 모델을 보는 것이 자극이 된다고 응답한 학생도 있었다(사례 17). 피드백 단계에서 학생들은 모델에 대한 평가를 교사에게 일방적으로만 전달받는 것이 아니라 서로 의견교환을 통해 다른 학생들이 작성한 모델을 서로 평가하고 비교한다. 이러한 논의 과정은 모델링과 관련하여 혼자서 생각하지 못한 부분에 대한 정보를 제공할 수 있다는 점에서 의미가 있다. 피드백 단계에서 진행되는 논의를 통해 학생들은 자신들의 모델을 되돌아보고 새로운 전략을 습득할 수 있으며, 이와 함께 더 높은 수준의 모델을 구성하겠다는 동기를 부여 받기도 한다.

〈사례 17〉 피드백 단계를 통한 어려움의 해소

S10 : 스캔 떠서 **다른 애들 꺼 보여주면서 비교하는 게 확실히 괜찮은 것**

Table 5. Resolving difficulties students experienced during modeling

요소	하위 요소	빈도*
모델링 전략의 습득	피드백	12
	모델링 경험	5
	평가	4
	자신 모델 반성	1
	참고 문헌 탐색	1
내용에 대한 이해	전체 논의	12
	논의 과정	실험설계 2 의문 만들기 1
	실험 보고서 작성	5

* 복수응답

같아요. 그리고 처음에는 (보고서를) 진짜 짧게 적었잖아요. 애들 쓰는 거 보면 진짜 이렇게 줄줄 줄 길게 썼구나. 아 이러면 안 되겠구나... 자극이 되죠.

그러나 피드백 단계에서 모델링에 대한 과도한 안내는 작성방법을 획일화 시킬 수 있다고 응답하였다(사례 18). 피드백 단계에서 교사가 일반적으로 모델링 전략에 대한 정보를 전달할 경우 학생들은 교사의 말을 비판 없이 받아들이는 경우가 많으며 이는 모델링 전략의 획일화로 나타날 수 있다. 따라서 학습자 스스로 자신의 모델에 대한 반성할 기회를 제공하는 것이 중요하며 모델과 관련하여 반성한 내용을 구체화시켜서 표현하는 기회를 주는 것이 필요하다.

〈사례 18〉 모델링 전략의 효과적인 안내방법

S21 : 그런데 이거는 계속 써야 아는 거지, 따로 이렇게 해줄게 없는 것 같아요. **이렇게 해 줘버리면 그 방식대로만 쓸 거 같아요.** '꼭 이렇게 쓰라는 건 아닌데...' 이러면서 얘기해줘도 그냥 그 방식대로 쓰게 되는 것 같아요. **이건 잘한 거야. 이거는 좀 노력을 해야 된다. 그 정도만 줘야지...**

내용에 대한 이해와 관련하여 실험과정이 개념의 이해에 도움이 된다고 응답한 경우, 그 이유를 논의에 참여하는 과정에서 다른 학생의 의견을 듣고 자신의 생각을 되돌아 볼 수 있는 기회를 얻을 수 있기 때문이라고 하였다(사례 19). 또한 학생들은 자신이 가지고 있는 능력을 적극적으로 활용하여 논의에 참여한다고 응답하였다(사례 20). 논의과정에서 자신의 생각이 바뀌게 된 경우도 있었으며 이전에 자신이 가지고 있던 생각에 대한 믿음이 강함만큼 논의를 통한 생각의 변화로 인한 충격을 강하게 받는다고 하였다(사례 21).

〈사례 19〉 논의를 통한 어려운 개념의 이해

S8 : 애들하고 이렇게 이야기하면서 개념 찾아가는 거 있잖아요? 실험 방법이 나... 그니까 개념이 잘 생각이 안 나는데 애들이 이렇게 툭툭 던지는 말을 조합하다보면 '아 그게 이거였지.'하고 **내 생각을 떠올릴 수 있는 기회도 되는 거 같고 내가 아예 몰랐던 개념을 알게 되는 그런 것도 있었고 좀 좋은 거 같아요.**

〈사례 20〉 논의가 학생들에게 영향을 주는 이유 - 참여 유도

S8 : 그런데 이 수업방식은 수업도 생각해야 되고 머리를 쓰면서 내 기억을 떠올리고 예전에 공부한 걸 떠올리고 그걸 또 말하고 애들이 말한 걸 다시 이해하고 이러니까 **머리를 진짜 많이 쓰잖아요. 그리고 다방면으로 쓰잖아요.** 눈 귀 머리 다 쓰잖아요... 그게 좀 머리 아픈 이유인거 같아요.

〈사례 21〉 논의 과정에서 일어나는 생각의 변화

S15 : 말 그대로 **제가 알고 있는 지식이 바뀌었어요.** 저도 그러니까 어느 정도 이거는 나도 당연히 알고 있는 거 아닐까 했는데, 그걸 실험 결론 주장을 해서 토론하다가 내가 이거는 확실하다고 생각하고 있던 지식이 틀렸던 거를 바로 잡게 된 거니까. 그때가 제일 충격이었어요.

동료가 논의를 진행할 경우 시간은 많이 걸리지만 교사가 논의를 진행할 때보다 이해가 더 잘 된다는 응답이 있었다(사례 22). 학생들은

교사와 같은 전문가가 논의를 진행할 때 보다 동료가 논의를 진행할 때 자신의 의견을 피력함에 있어서 더 편안함을 느끼기 때문에 학생이 전체 논의에서 진행자의 역할을 맡는 것은 논의의 활성화에도 도움이 될 수 있다. 또한 교사가 논의 내용을 정리하여 제공할 경우 학생이 스스로 내용을 재구성하는 과정을 누락시킬 수 있기 때문에 오히려 결론적으로 내용을 잘 이해하지 못하는 경우가 있다.

〈사례 22〉 논의에서 학생 주도의 중요성

S10 : 저, 그 조교님이 진행하면 빠리는 되는데.. 뭔가 하나하나 하는 게 안 된다고 해야 하나? 그냥 이렇게 나가잖아요. 근데 우리 **동기들이 하면** 느린 느린데, 그래도 하나하나 하나까.. 그래도 **내용에 대해서 이해할 시간이 있고...** 조교님이 하면 깔끔하게 되긴 한데, 가만히 있다가 다 놓쳐버려요.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서 학생들은 여섯 개 활동을 모두 끝내고 진행된 인터뷰에서 모델링을 수행하는 과정에서 나타났던 인지과정과 관련하여 다양한 응답을 제시하였다. 모델링 수행과정에서 나타났던 인지과정은 메타모델링 지식과 연관이 있다. 메타모델링 지식은 모델링과 관련된 지식을 의미하며, 세부적으로는 모델의 본성과 목적 및 역할에 관한 학생들의 지식을 나타낸다(Bamberger & Davis, 2011; Schwarz & White, 2005).

효과적인 모델이 가져야 할 요소 측면에서 학생들이 응답한 요소와 그 이유를 종합하여 생각해 볼 때 효과적인 모델은 모델의 이해와 구성의 두 가지 측면에서 이야기 할 수 있다.

모델의 이해 측면은 자신이 구성한 모델을 얼마나 상대방이 잘 이해할 수 있는지를 말하며 모델의 구성 측면은 자신의 정신 모델을 얼마나 정확하게 그리고 수월하게 표현할 수 있는가에 초점이 맞춰져 있다. 이 두 가지 측면은 모델의 의사소통적인 측면과 연관이 있으며(Lehrer & Schuab, 2003, 2006), 학생들은 모델의 목적이 단순히 대상의 복제를 구현하는 것이 아니라 모델의 본성 측면에서 모델을 통한 의사소통이라는 점을 이해하고 있다고 할 수 있다.

모델링 전략의 변화에 있어서 가장 큰 영향을 미친 요인은 자신의 인지구조 변화 과정에 대한 반성이다. 모델을 구성하는 횟수가 증가함에 따라 학생들은 자신이 새로운 지식을 습득하는 과정이 다른 사람에게도 효과적이라고 생각하게 되었다. 따라서 자신이 어떻게 새로운 지식을 습득하였는지 또는 다른 사람이 어떠한 방법을 사용하였을 때 자신에게 효과적이었는지에 대한 반성을 바탕으로 새로운 모델링 전략을 사용하게 되었다. 새로운 내용을 인식하는 방법은 개인마다 차이가 있기 때문에 사용하는 모델링 전략도 다양하게 나타나게 된다.

학생들은 모델링 수행과정에서 모델링 전략과 내용에 대한 이해 부족으로 어려움을 겪었다고 응답하였다. 모델링 전략과 관련하여 표현 방법이나 내용을 맥락에 맞게 어떻게 재구성하는지 등에 대한 지식이 부족함을 느끼며, 이는 학생들의 '메타모델링 지식'이 충분하지 않다는 것을 의미한다. 내용에 대한 이해 부족은 사전지식의 부족이나 활동 자체의 난이도, 예상을 벗어난 실험 결과 등 다양한 원인으로 발생한다.

학생들이 모델링에서 겪는 어려움은 독립적이지 않으며 한 부분에서 겪는 어려움들은 다른 부분에도 영향을 미친다.

모델링 수행과정에서 나타나는 어려움은 다양한 측면을 가지고 이를 해소하는 방법 또한 다양하다. 그러나 공통적으로 설명할 수 있는 부분은 학생들이 모델링과 관련하여 취약한 부분을 극복하기 위해 논의와 반성을 사용한다는 점이다. 논의와 반성은 따로 일어나는 것이 아니며, 상호보완적인 관계를 가진다. 이 과정에서 모델은 학생과 학생, 교사와 학생 사이의 의사소통을 돕는 매개체의 역할을 할 수 있다 (Gilbert & Ireton, 2003; Schwarz, 2009).

따라서 학생들은 모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험에 참여하는 과정에서 논의와 반성을 통해 모델의 본성과 관련한 메타모델링 지식의 기반이 되는 효과적인 모델을 구성하기 위한 요소와 전략을 이해한다고 볼 수 있다. 또한 모델과 모델링에 대한 이해는 모델링 과정에서 겪었던 어려움에 대한 해소뿐만 아니라 과학 지식의 이해 측면에서도 도움을 주었다고 본다.

모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험은 전통적인 형태의 실험과는 다른 형태를 가지며, 학생들은 새로운 실험 방식과 실험 보고서 양식에 익숙하지 않기 때문에, 프로그램을 적용하기 전 새로운 수업의 단계와 실험 보고서 작성 방법에 대한 안내가 필요하다. 또한 많은 학생들은 활동의 각 단계에 대한 연결성을 찾지 못하고 이들을 분절되어 있는 형태로 인식한다. 따라서 안내 과정에서 각 단계가 어떻게 연결되어 있는지와 중요성에 대한 소개는 학생들이 이 수업의 의도를 이해하는데 도움이 될 수 있다.

전체 논의를 위해 모둠에서 합의된 모델을 제시할 때, 단순히 모델만 제시하는 것이 아니라 모델링 과정에서 새롭게 떠오르는 의문점들을 함께 명시하도록 안내하는 것이 효과적일 수 있다. 의문점을 제시하는 과정에서 학생들은 자신의 사고과정을 되돌아 볼 수 있을 뿐만 아니라 자신에게 명확하지 않은 부분을 분명하게 인지할 수 있게 된다. 학생들은 모델링 과정에서 서로 유사하거나 독창적인 의문을 모두 가질 수 있다. 모둠 간의 유사한 의문은 모델링의 실제적인 맥락에서 학생들이 공통적으로 어떠한 부분에서 어려움을 겪는지를 드러내기 때문에 의미가 있고, 독창적인 의문은 다른 구성원들이 생각하지 못한 부분에 대해서 생각해 볼 수 있는 기회를 제공해줄 수 있다는 점에서 의미가 있다. 학생들이 다른 모둠이 구성한 모델을 확인하고 이해할 수 있는 시간이 충분히 제공되는 상황에서 이러한 의문들은 모델과 관련한 논의를 풍부하게 하여 결론적으로 모델을 정교화 하는데 도움을 줄 수 있다.

국문요약

이 연구는 모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험 활동에서 나타나는 학생들의 모델링 변화와 변화 과정 및 모델링에서 나타나는 학생들의 인지과정에 대한 탐색을 통해 논의에 바탕을 둔 교수 전략이 모델링에 어떠한 영향을 미치는지와 변화의 이유를 알아보는 것을 목적으로 하였다.

이를 위해 일반화학을 수강하는 사범대학 화학교육과 1학년 학생 21명을 대상으로 모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험 여섯 개 활동을 1학기 동안 적용하였고, 학생들의 모델링에서 나타나는 인지과정을 탐색하기 위해 학생 인터뷰 자료를 수집하였다.

모델링 수행에서 나타나는 인지과정의 분석 결과, 효과적인 모델의 요소에 대해 학생들은 시각적 표현, 설득력 있는 설명의 제공, 수사학

적 구조의 측면에서 응답하였다. 모델링 과정에서 사용한 전략에 대해서 학생들은 모델링 수행 전과 수행과정의 두 가지 측면에서 응답하였다. 모델링 수행 전에는 실험 보고서를 작성하는 과정에서 중요한 키워드 등을 미리 정리해 두거나 개요를 따로 작성하고 실제 모델링 수행 과정에서는 다양한 자료를 이용, 자료를 재구성하여 제시, 핵심개념에 대한 정의와 설명을 제시, 수사학적 구조를 고려, 메타인지를 이용하는 전략을 사용하였다. 모델링 과정에서 겪는 어려움에 대한 학생들의 응답은 모델링 전략의 부재, 이해 부족의 두 가지 범주로 나눌 수 있었으며, 이러한 어려움의 해소에 대한 학생들의 응답은 모델링 전략의 부재와 내용 이해 부족으로 나타나는 어려움을 해소하기 위해 어떻게 모델링 전략을 습득하고 내용을 이해하는지로 구분되었다. 학생들은 피드백 단계, 모델링 경험, 실험 보고서에 대한 평가, 자신이 이전에 작성한 모델, 참고문헌을 통해 전략을 습득하며, 내용에 대한 이해는 수업 단계에서 나타나는 논의 과정과 실험 보고서 작성 과정을 통해 이루어졌다.

이러한 결과로부터 모델링을 교수학습에 이용할 때 논의에 기반을 둔 학습전략이 정신 모델을 검증하고 수정하여 표현된 모델로 구현하는 과정에 도움을 주고 과학 개념과 더불어 메타모델링 지식의 이해를 도와 학생들의 모델링 발달에 영향을 줌을 보여 주었다.

주제어 : 모델, 모델링, 모델링을 강조한 논의 기반 일반화학실험

References

- Bamberger, Y. M., & Davis, E. A. (2013). Middle-school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. *International Journal of Science Education*, 35(2), 213-238.
- Boulter, C. J., & Buckley C. B. (2000). Constructing a Typology of Models for Science Education. In J. K. Gilbert & B. C. Boulter (Eds.), *Developing models in Science Education*, (pp. 41-57). Boston: Kluwer Academic Publisher.
- Chamizo, J. A. (2013). A new definition of models and modeling in chemistry' teaching. *Science & Education*, 22(7), 1613-1632
- Cho, H., & Nam, J. (2014). The Impact of the Argument-based Modeling Strategy using Scientific Writing implemented in Middle School Science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(6), 583-592.
- Cho, H., Nam, J., & Lee, D. (2014). The Development of Argument-based Modeling Strategy Using Scientific Writing. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(5), 479-490.
- Cho, H. (2014). Development and effect of argument-based modeling strategy as teaching method in middle school students. Doctoral dissertation, Pusan National University.
- Choi, B., Choi, M., Nam, J., & Lee, S. (2002). Effects of the Intervention of Thinking Science Program on Cognitive Development of the 7th Grade Student. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 22(3), 422-431.
- Gilbert, S. W., & Ireton, S. W. (2003). *Understanding models in earth and space science*. Arlington, VA: NSTA Press.
- Gobert, J. D., & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Ha, J., Lee, H., & Kang, S. (2009). Perception of Science High School Students on Modeling Activity. *Journal of Gifted/Talented Education*, 19(1), 187-205.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science

- models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking from childhood to adolescence*. New York: Basic Books.
- Jang, K., Nam, J., & Choi A. (2012). The Effects of Argument-Based Inquiry Using the Science Writing Heuristic (SWH) Approach on Argument Structure in Students' Writing. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(7), 1099-1108.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002a). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002b). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1273-1292.
- Keys, C. W., Hand, B., Prain, V., & Collins, S. (1999). Using the science writing heuristic as a tool for learning from laboratory investigation in secondary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(10), 1065-1084.
- Khan, S. (2007). Model-based inquiries in chemistry. *Science Education*, 91(6), 877-905.
- Kim, J. (1982). *Korean pragmatics*. Hyungseul Publication Co.
- Kwak, K. (2005). The effects of teaching and learning strategy using argumentation on cognitive development and science learning in middle school science. Master's thesis, Pusan National University.
- Lee, S. (1994). Communication and the contents of Korean language education. *Korean language education research*, 4(1), 67-83.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2000b). Developing model-based reasoning in mathematics and science. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 21(1), 39-48.
- Lehrer, R., & Schuabale, L. (2003). Origins and evaluation of model-based reasoning in mathematics and science. In R. Lesh & H. M. Doerr (Eds.), *Beyond constructivism: Models and modelling perspectives on mathematics problem solving, learning, and teaching* (pp. 59-70). Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lehrer, R., & Schuabale, L. (2006). Cultivating model-based reasoning in science education. In R. K. Sawyer (Ed.), *Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 371-387). West Nyack, NY, USA: Cambridge University Press.
- Maia, P. F., & Justi, R. (2009). Learning of chemical equilibrium through modelling-based teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5), 603-630.
- Mendonça, P. C. C., & Justi, R. (2013). The relationships between modelling and argumentation from the perspective of the model of modelling diagram. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2407-2434.
- Nam, J., Koh, M., Park, D., Bak, D., Lim, J., Lee, D., & Choi, A. (2011). The Effects of Argumentation-based General Chemistry Laboratory on Preservice Science Teachers' Understanding of Chemistry Concepts and Writing. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 31(8), 1077-1091.
- Nam, J., Kwak, K., Jang, K., & Hand, B. (2008). The Implementation of Argumentation Using Science Writing Heuristic (SWH) in Middle School Science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 28(8), 922-936.
- Nam, J., Lee, D., & Cho, H. (2011). The Impact of Argumentation-based General Chemistry Laboratory Programs on Multimodal Representation and Embeddedness in University Students' Science Writing. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 31(6), 931-941.
- National Research Council (2011). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- 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, Y. (2012). The Factors Affecting the Cognitive Processes of Writing. *Research on Writing*, 16, 231-257.
- Passmore, C. M., & Svoboda, J. (2012). Exploring opportunities for argumentation in modelling classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1535-1554.
- Saari, H., & Viiri, J. (2003). A research-based teaching sequence for teaching the concept of modelling to seventh-grade students. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1333-1352.
- Schwarz, C. V. (2009). Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modeling-centered scientific inquiry. *Science Education*, 93(4), 720-744.
- Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modelling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for science modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Shim, W. (1995). Conceptions of Intelligence and Their Implications for Education. *The Journal of Elementary Education*, 9, 33-48.
- Sung, H., & Nam, J. (2013). The Impact of Reading Framework as a Reading Strategy on Writing for Reflection of Middle School Students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(2), 249-265.
- Sung, H., Hwang, S., & Nam, J. (2012). Examining the Relation Between Students' Reflective Thinking and the Reading Framework in the Science Writing Heuristic (SWH) Approach. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(1), 146-159.
- Vygotsky, L. (1986). *Thought and language*. Cambridge, MA: MIT press.