

논의 기반 일반화학 실험과정에서 예비과학교사들의 모델링 능력 변화과정 분석

강여은 · 남정희* · 조혜숙

부산대학교 화학교육과

(접수 2016. 4. 14; 게재확정 2016. 6. 2)

Analysis of Changes in Preservice Science Teachers' Modeling Ability in Argument-based General Chemistry Laboratory Investigations

Yeo Eun Kang, Jeonghee Nam*, and Hey Sook Cho

Department of Chemistry Education, Pusan National University, Busan 46241, Korea.

*E-mail: jhnam@pusan.ac.kr

(Received April 14, 2016; Accepted June 2, 2016)

요 약. 이 연구는 논의 기반 일반화학 실험과정에서 나타나는 예비과학교사들의 모델링 능력 및 이의 변화과정을 알아보는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 일반화학을 수강하는 사범대학 1학년 학생 21명을 대상으로 6개 주제에 대한 논의 기반 일반화학 실험 수업을 진행하였으며, 예비과학교사의 모델링 능력을 알아보기 위해 논의 기반 일반화학 실험에서 작성하는 보고서의 모델링 단계를 분석하였다. 그 결과 모델의 요소에 대한 이해를 바탕으로 자신만의 모델링 전략을 가지고 있는 학생이 제시하는 모델의 수준이 높게 나타났으며, 논의 기반 일반화학 실험활동이 거듭되면서 모델링 능력이 향상되는 것으로 나타났다.

주제어: 논의 기반 일반화학실험, 모델, 모델링

ABSTRACT. This study aimed to examine preservice science teachers' modeling ability and how it has changed in argument-based chemistry laboratory investigations. The participants for this study were twenty-one freshman students from teachers' college and they carried out six topics of argument-based chemistry laboratory investigation. Students' written modeling samples were collected and analyzed to investigate preservice science teacher's modeling ability and changes in it. The results of this study showed that preservice science teacher's modeling ability has improved and progressed through argument-based chemistry laboratory investigations.

Key words: Argument-based general chemistry laboratory investigation, Model, Modeling

서 론

과학학습에서 의사소통 능력의 중요성은 점점 더 강조되고 있다. 자연현상에 대한 과학적 의미를 이해하고 이에 대해 다른 사람과 의미를 교환하는 데 있어서 자연현상에 대한 이해를 바탕으로 자신의 생각이나 의도를 전달하기 위한 적절한 의사소통 능력이 뒷받침 되어야 한다. 의사소통이란 탈 맥락적인 상황에서 적절한 문장을 만들고 이해할 수 있는 능력을 말하며, 화자가 특정 상황에서 자신의 의도를 적절하게 표현하는 것을 의미한다.¹ 효과적인 의사소통이 이루어지려면 화자는 특정 상황에서 자신의 의도와 생각을 정확히 표현하고 청자는 이를 바탕으로 필요한 지식과 정보를 획득하는 과정이¹ 있어야 한다. 따라서 의사소통에 참여하는 사람들 간에 발생하게 되는 정보량의 불균형의² 해소를 위해서는 의사소

통에서 이루어지는 의미 교환이 중요하다. 여기서 모델이 의사소통의 의미 교환을 위한 도구로 사용될 수 있다.³ 이러한 의사소통과정을 통해 다른 사람을 설득하고 그들로부터 지지를 얻기 위해 자신의 생각을 모델로 구현하고 정교화 하는 과정을 겪으면서 현상에 대한 이해가 더 깊어진다.⁴

자연현상이나 과학적인 아이디어를 표상하는 방법의 하나로 사용될 수 있는 모델은 경험적인 내용을 과학의 추상적인 이론과 연결하는 중요한 매개체로써, 대상의 상태 또는 성질을 기술하고, 현상이 나타나게 되는 원인을 설명하고, 앞으로 발생 가능한 사건에 대한 예측을 하는데 사용된다.⁵ 따라서 모델은 관심 있는 대상의 중요한 특성을 나타내기 위해 대상을 단순화 시킨 표현이라고⁶ 할 수 있다. 자연 현상의 중요한 성질을 이해하기 위한 단순한 표상으로써의 모델은 정신모델과 물질모델로 구분 지을

수 있다.^{6,7} 정신모델이 내적 표상으로써 과학적 현상의 이해를 위한 수단으로 작용한다면,⁸⁻¹⁰ 물질모델은 외적 표상으로써 다른 사람과 의사소통하기 위해¹¹ 만들어진 표현된 모델(expressed model) 또는 개념 모델(conceptual model)이다.¹² 이러한 모델을 사용하여 관심 있는 대상이나 현상에 대해 설명이나 예측을 할 수 있으며,^{13,14} 보이지 않는 대상에 대해 시각적인 표현이나 개념에 대한 구조를 제시함으로써 실제와 이론을 연결하여 표현하는 것이 가능하다.^{7,15}

다른 사람과의 의사소통을 위해 과학개념에 대한 설명 체계로서 모델을 이용하고 정교화 하는 과정을 모델링이라고 한다. 모델링 활동은 모델을 생성하고 수정하는 과정을 통해 과학 지식 발전에 기여하는 핵심적인 실행이 된다.^{12,16} 이러한 모델링 활동은 논의 활동과 서로 깊은 관련이 있다.¹⁷ 모델링 활동은 학생들 사이의 활발한 논의를 이끌어내고, 모델에 대한 논의를 통해 학생들의 모델을 정교화 하는데 도움이 된다.¹⁷ 학생들이 모델링 활동을 직접 실행해 보는 것은 모델링과 모델을 생성하는 것에 관한 인식론적 지식의 발전을 촉진 할 수 있다는 것에 의의가 있다.^{18,19} 이러한 인식론적 지식을 메타 모델링 지식이라 하며,²⁰ 메타 모델링 지식은 모델을 생성하는 데 있어 모델의 역할에 대해 학생들이 가지고 있는 지식과 관련이 있다.

논의 기반 일반화학 실험과정의 모델링 활동에서는 논의가 모델의 검증과 평가에서 중요한 역할을 수행하게 된다.²⁰ 게다가 모델을 이용하여 논의에 참여함으로써 자신의 설명을 정교화 하는 과정에서 과학에 대해 더 깊이 이해할 수 있다.^{4,14,21} 따라서 논의는 모델의 생성과 표현, 목적에 따른 모델의 정당화, 모델로부터 발생한 새로운 검증 가능한 의문의 생성, 모델의 평가 및 검증 등 모델링 과정 전체에서 나타난다.^{12,21} 이 과정에서 학생이 제시하는 모델은 학생들의 개념 이해 수준 및 표현 능력과 연관이 있다. 또한 대상에 대한 학습자의 이해의 변화에 따라 모델은 변화하고,⁴ 개념에 대한 이해를 글, 도표, 수식으로 압축된 형태의 모델로 표현하는 과정을 통해 모델의 구성과정에서 일어났던 학습자의 인지과정이 드러난다.²²

2015 개정 교육과정에서 제시하는 과학과 교육목표는 자연 현상과 사물에 대하여 흥미와 호기심을 가지고, 과학의 핵심 개념에 대한 이해와 탐구 능력의 함양을 통하여, 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결하기 위한 과학적 소양을 기르는 것이라고 밝히고 있다.²³ 이보다 앞선 2009 개정 교육과정에서도 과학교육의 목표를 과학적 소양을 기르기 위해 과학의 기본 개념을 이해하고 과학 탐구 능력과 과학적 태도를 함양하는 것이라고 제시하고 있다.²⁴ 이러한 과학교육의 목표는 학생들에게 자

연 현상을 직접 관찰하거나 수업 시간에 배운 이론에 대한 과학적 설명을 가능하게 하고 과학 실습과 토론에 참여하는 기회를 제공하므로 중요하다.²⁵⁻²⁷ 모델링은 과학적 소양의 중심적인 부분이고,⁴ 모델링에 대한 지식은 과학의 본성을 이해하는 하나의 방법이²⁸ 되기 때문에 이를 통해 과학적 소양의 함양이라는 과학교육의 목표를 이룰 수 있다.

과학에서 일반적으로 사용되고 있는 모델은 과학자들이 공식을 만들고 가설을 테스트해 볼 수 있도록 하는 수단이 되며, 학생들은 모델링 활동을 통해 정신 모델과 같은 개인적 모델의 형성과 상호작용을 목적으로 하는 표현된 모델, 그리고 합의 모델에 이르는 과학자의 모델 발전 과정을 경험할 수 있는 기회를 가지게 된다.²⁹ 이러한 과정은 탐구와 인식론적 이해를 구성하는 데 도움이 되며, 현상에 대한 과학지식을 구성하고 내용을 통합하는 데 도움이 된다.^{6,30-32} 따라서 앞으로 과학교사가 될 예비교사들이 이러한 모델의 중요성을 알고 실제 학습에서 모델링을 사용하는 능력을 향상시키는 것은 실제 과학교수에서 중요한 능력이 될 것이라고 본다.

최근 과학교육 분야에서 모델 및 모델링에 대한 연구가 많이 이루어지고 있는데 예비교사를 대상으로 한 연구는 매우 드물며, 대부분의 연구가 중등학생을 대상으로 이루어졌다.^{33,34} 대학생을 대상으로 이루어진 연구는 초등예비교사를 대상으로 모델에 대한 인식을 조사한 연구와³⁵ 모델링을 강조한 논의 기반 일반화학 실험 수업의 프로그램을 개발하고 적용하여 예비교사들의 모델링에 대한 인지과정을 알아보는 연구이다.³⁶ 이 연구에서는 모델링을 강조한 논의 기반 일반화학 실험 활동을 통해 모델링 요소와 모델링 전략의 측면에 대한 인지과정의 변화가 있다는 것을 확인하였으나 모델링 능력의 형성 정도 및 변화과정에 대한 탐색은 이루어지지 못하였다. 이 연구에서는 논의 기반 일반화학 실험에서 나타나는 예비과학교사들의 모델링 능력의 변화 및 변화과정을 알아보고, 이를 통해 예비과학교사들의 모델링 능력 변화에 영향을 미치는 요인을 탐색하고자 하였다.

연구 방법

연구 대상 및 참여자

이 연구는 광역시 소재 대학교에서 일반화학 실험을 수강하는 화학교육과 1학년 21명(남학생 10명, 여학생 11명)을 대상으로 2015년 3월부터 12월까지 1년 간 적용하였다. 일반화학 실험 수업을 위한 모둠을 구성하기 위해 화학 개념검사를 실시하였고, 화학 II 과목의 이수 여부와 남녀 비율을 고려하여 3-4명의 구성원으로 이루어진 총 6개의

모듬을 구성하였다.

화학개념검사는 Harvard 대학교에서 12가지 화학 내용 기준을 토대로 제작한 화학 오개념 검사지³⁷와 Purdue 대학교의 화학 오개념 검사지의 일부를 발췌하여 허은아³⁸가 번안한 총 42문항으로 이루어진 검사지를 사용하였다. 화학 II 과목의 경우 다루는 내용과 일반화학 실험에서 다루는 주제의 수준은 다르지만 중복되는 내용도 포함이 되어있기 때문에 각 모듬에 화학 II 이수자가 한명 이상 포함되도록 하였다. 일반화학 실험을 수강하는 총 21명의 학생들 중 6명이 화학 II 과목을 이수하였기 때문에 6개의 모듬에 화학 II 이수자가 한명씩 포함되었다. 또한 남녀 비율을 고려하여 한 모듬에 남학생과 여학생이 골고루 구성되도록 하였다.

논의 기반 일반화학 실험을 진행한 연구자는 자연과학 대학에서 화학을 전공하고 교육대학원 화학교육전공 석사과정에 재학 중으로, 이 연구의 진행에 앞서 1년 동안 일반화학 실험 조교를 담당하였고, 논의 기반 탐구실험에 대한 연수를 이수하였으며, 1년 동안 논의 기반 일반화학 실험 수업을 진행한 경험이 있다.

논의 기반 일반화학 실험 수업의 개발

논의 기반 일반화학 실험은 Keys 등³⁹이 개발한 탐구적 과학 글쓰기(Science Writing Heuristic, SWH) 전략에 기반을 두고 있다. 구성주의 학습이론을 바탕으로 학생들이 자신의 지식을 적용하고 더 깊이 있는 이해를 할 수 있도록 유도하기 위해서는 과학 탐구와 과정을 경험하여 과학적 소양을 가질 수 있도록 하는 것이 중요하다. 논의 기반 일반화학 실험 수업에서 학생들은 제시된 문제 상황을 보고 생기는 의문점을 스스로 해결하기 위해서 사용 가능한 실험 기구와 시약을 선택할 수 있는 기회를 가지게 된다. 이러한 탐구의 과정을 거쳐 실험설계를 마치게 되면 실험 수행 후 그 결과에 대해 논의하고 반성하는 시간을 가진다. 학생들은 개방적인 실험 수업 단계의 논의활동을

통해 다른 사람들을 설득하고, 또한 의사소통하는 수단으로 모델을 제시할 필요성을 가지게 되며 스스로 결정을 내리는 기회를 얻게 된다.³⁹

논의 기반 일반화학 실험은 의문 만들기, 실험 설계, 관찰 및 결과, 주장과 증거, 읽기, 반성, 모델링의 총 7 단계로 구성되었다. 이는 기존의 탐구적 과학 글쓰기 전략에 핵심개념에 대한 최종적인 모델을 구성하여 다른 사람에게 설명하는 글을 작성하는 모델링 단계를 추가한 것이다(Table 1). 이 단계에서 학생들은 자신만의 언어를 사용함과 동시에 모델을 제시할 필요성을 가지게 된다.

논의 기반 일반화학 실험의 첫 단계는 의문 만들기이다. 의문 만들기에서 학생들은 제시된 문제 상황을 파악하고 이를 바탕으로 자신의 의문을 생성하는 과정에서 자연스럽게 자신이 알고 있는 내용과 제시된 상황을 연결하게 되며, 이는 문제 상황에 대한 학습자의 초기 모델로 볼 수 있다. 자신의 의문을 작성한 뒤 구성원과의 논의를 통해 모듬의 의문을 정하고 각 모듬의 의견이 모두 정해지면 모듬별로 작성한 의문을 학생들이 모두 볼 수 있는 곳에 부착하고 논의를 통해 전체의 의문을 정한다. 학생들이 논의를 진행해 본 경험이 적기 때문에 연구자가 전체 의문을 정하기 위한 논의를 진행하였고, 활동이 진행됨에 따라 학생들이 직접 전체 논의를 진행하도록 하였다.

두 번째 단계는 실험 설계이다. 실험 설계 단계에서 학생들은 전체의 의문을 해결할 수 있는 실험을 각 모듬별로 직접 설계한다. 기본적으로 주어진 실험 도구를 사용하여 실험을 설계하지만 주어진 도구가 아니라 하더라도 학생의 요청이 있을 경우, 실험실 상황에서 충분히 공급이 가능한 경우에는 추가로 실험도구를 제공해 주었다.

세 번째 단계는 관찰 및 결과이다. 이 단계에서는 수행한 실험의 결과를 관찰하고 개별적으로 실험결과를 기록한다.

네 번째 단계는 주장과 증거이다. 주장과 증거 단계는 의문 만들기와 마찬가지로 먼저 개별로 주장과 증거를

Table 1. Steps of argument-based general chemistry experiment

Step	Activities
Beginning ideas	Create my questions
	Create our group's questions
	Create class' questions
Experimental design	Design and implement experiment
Observation and results	Record result and interpretate observations
Claim and evidence	My claim and evidence
	Group's claim and evidence
	Full discussion on the basis of group's argument and evidence
Reading	Investigate reading material and compare with my thought
Reflection	Create reflection writing
Modeling	Describe with own language the core concept of the experiment

작성하고, 이를 바탕으로 구성원간의 논의를 통해 모둠의 주장과 증거를 결정하며 이들을 취합하여 전체 논의를 진행한다. 학생들이 각 모둠의 주장과 증거를 볼 수 있도록 게시한 뒤 논의를 진행하였다. 또한 학생들이 주도적으로 논의를 진행할 수 있도록 연구자는 최소한의 개입만 하였다.

다섯 번째 단계는 읽기이다. 읽기 단계에서 학생들은 자신의 주장을 참고 자료에서 찾은 전문적인 지식을 통해 뒷받침할 수 있다. 이 때, 자신의 모델을 구성하기 위해 필요한 과학적인 개념을 추가로 습득하게 된다. 학생들의 내적인 모델 구성에 논의가 도움을 줄 수 있지만 과학적 개념과 일치하지 않는 결과가 나타날 수도 있기 때문에 문헌에서 추가로 찾은 내용과의 비교를 통해 자신의 부족한 부분을 보완할 수 있다.

여섯 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.

일곱 번째 단계는 모델링이다. 모델링 단계에서 학생들은 관찰한 실험결과와 핵심 과학개념을 연결하여 설명하는 글을 작성하게 되며, 이때 자신만의 모델을 구성하여 제시하게 된다. 학생들이 자신만의 언어를 사용하여 모델링을 하도록 하였으며, 이 과정에서 핵심 과학개념의 설명을 위한 도구로써 모델을 사용하는지의 여부와 학생이 제시하는 모델의 수준을 알아볼 수 있다. 모델링 단계를 통해 학생들은 자신만의 모델을 만들어서 설명할 필요성을 느끼게 되고, 효과적인 모델링에 대한 고민을 하게 된다.

논의 기반 일반화학 실험 주제 선정 및 적용

1년 동안 실시한 일반화학 실험은 1학기에 9개, 2학기에 11개의 주제로 총 20개의 주제로 구성이 되었으며, 2015년 3월부터 12월까지 1년 동안 매주 수업을 진행하였고, 수업 시간은 2시간이 소요되었다. 총 20개의 주제 중 논의 기반 일반화학 실험에 적합한 6개의 주제를 선정하였다(Table 2). 이 외의 일반화학 실험은 실험목표와 방법, 이론 등이 주어지는 전통적인 실험의 형태로 진행되었다.

논의 기반 일반화학 실험 주제를 선정하기 위해 기존 일반화학 실험에서 다루던 주제 중 단순히 학생들의 실험 수행에만 초점을 맞추거나 단편적인 개념을 다루는 주제는 제외하였다. 그 다음 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

Table 2. Topics of argument-based general chemistry experiment

Topic	
1st semester	2nd semester
Acid-base titration	Oxidation-reduction titration
Chemical equilibrium constant	Chemical kinetics
Solubility product	Chemical cell & Sequence of electrochemistry

있을지 등을 고려하였다. 최종적으로 산-염기 적정, 화학 평형상수, 용해도곱상수, 산화-환원적정, 화학반응속도, 화학전지와 전기화학적 서열의 6개 주제를 선정하였고, 선정된 6개의 주제에 대해 논의 기반 일반화학 실험 활동을 개발하였다. 활동의 개발을 위해 과학교육 박사 1명, 박사과정 2명, 석사과정 1명이 참여하였고, 개발된 활동은 과학교육 전문가 1명, 과학교육 박사 1명, 석사과정 1명에게 타당도를 검증 받았다.

자료 분석

학생들의 모델링 능력을 알아보기 위해서 논의 기반 일반화학 실험 수업 후 작성하는 결과보고서의 모델링 단계를 분석하였다. 모델링 능력의 분석을 위해 Bamberger와 Davis⁴⁰의 연구에서 사용한 모델링 분석틀을 참고하여 설명, 비교, 추상, 표식의 4개 영역으로 이루어진 분석틀을 개발하였다. 각 영역의 모델링 능력은 0수준에서 3수준에 이르는 4개의 수행 수준으로 구성되었다(Table 3).

Table 3에서 설명영역은 제시한 모델이 관찰된 현상에 대해 어떻게 그리고 왜 일어났는지 설명하는 것으로, 나타난 모델과 기록된 설명을 연관지어봄으로써 모델이 현상에 대한 원인을 보여주는 인과성을 포함하는지, 혹은 이를 어떻게 설명하는지의 정도를 반영한다. 모델을 전혀 제시하지 못하는 경우에는 0수준, 과정 혹은 전체적인 변화를 보여주지 못하는 정적 모델을 제시하는 경우에는 1수준, 변화과정을 보여주고 있지만 인과성이 없는 모델을 제시하는 경우에는 2수준을 부여하였다. 가장 높은 수준인 3수준은 관찰된 현상이 어떠한 과정을 거쳐서 변화하게 되는지 그 변화과정을 상세히 제시하는 모델로 이는 과학 현상을 설명하는 학생의 높은 이해수준을 반영한다.

비교영역은 과학개념 또는 관찰된 현상을 설명하기 위해 실험적 상황과 경험적 상황 두 상황을 어느 정도까지 모델에 포함시키는가를 분석하는 것으로, 학생들이 현상을 이해하는 정도를 반영한다. 모델을 전혀 제시하지 못하는 경우에는 0수준, 관찰된 현상을 설명하기 위해 다른 경험적 비교 상황이 없는 모델을 제시하는 경우에는 1수준, 실험적 상황과 경험적 상황의 두 가지 상황을 보여주고 있지만 하나의 현상에 대해서만 설명을 하는 모델을 제시하는 경우에는 2수준을 부여하였다. 가장 높은 수준인

Table 3. Level of modeling performances

Elements	Level	0	1	2	3
Explanation	No model	Model that describe what happened during the passage of time with no process described	Model that describes what happened through the process that caused the results, with no expressed difference	Model that describes what happened through the process, but also includes causality; the reason for the results	
Comparativeness	No model	Non-comparative model	Implicitly comparative model that describes only one situation	Explicit comparative model that describes what happens in the two situations	
Abstraction	No model	Only visible elements	Visible and invisible elements	Visible and invisible elements with relative scale	
Labelling	No model	No labels or key	Partial labelling and keying	Labelling and keying of all the elements of the models	

3수준은 관찰된 과학현상을 설명하기 위해 경험적인 비교모델을 생성하여 두 가지 상황에 대한 현상을 설명하는 모델을 제시하는 것으로 학생의 과학 개념의 이해수준을 반영한다.

추상영역은 모델이 눈에 보이지 않는 요소를 어느 정도 포함하고 있는지를 알아보는 것으로, 감각으로 접근할 수 없는 특징의 서술 여부를 분석한다. 자신이 제시하는 모델이 상대방이 얼마나 이해할 수 있는지 반영하기 때문에 모델의 본성 측면에서 볼 때, 모델을 통한 의사소통이라는 측면에서 학생들의 메타모델링 지식을 반영한다. 모델을 전혀 제시하지 못하는 경우에는 0수준, 우리가 감각적으로 접근할 수 있는 특징만을 서술하는 모델은 제시하는 경우에는 1수준, 감각적으로 접근할 수 없는 특징을 서술하는 모델을 제시하고 있지만 크기나 양적 비교가 없는 단순 제시를 하는 경우에는 2수준을 부여하였다. 가장 높은 수준인 3수준은 과학적 현상을 설명하기 위해 상대적인 크기나 양을 비교하는 모델을 제시하는 경우에 부여하였다.

표식영역은 모델이 과학 개념과 표식을 포함하는지를 분석한다. 표식영역은 자신이 제시하는 모델을 다른 사람들과 의사소통하는 것을 돕는 도구로써 사용한다는 점에서 학생의 메타모델링 지식을 반영한다. 모델을 전혀 제시하지 못하는 경우에는 0수준, 자신이 제시하는 모델이 다른 사람의 이해를 돕기 위한 장치가 전혀 없는 경우에는 1수준, 부분적으로만 모델의 이해를 돕기 위한 표식이 있는 경우에는 2수준을 부여하였다. 가장 높은 수준인 3수준은 자신의 아이디어를 다른 사람에게 완벽히 전달할 수 있는 도구로써 모델을 제시하는 경우에 부여하였다.

추상영역과 표식영역은 학생이 자신이 제시하는 모델을 다른 사람과의 의사소통을 하는 도구로 사용하며, 상대방이 얼마나 이해할 수 있는지를 고려하여 모델의 이해도를 높이기 위해 감각적으로 확인할 수 없는 요소까지 설명하는 것이므로 메타모델링 지식을 반영한다. 이 연구에서는 이러한 메타모델링 지식수준을 알아보기 위해 모델링 분석

항목 중 추상영역과 표식영역을 메타모델링으로 범주화하여 분석하였다.

분석은 과학교육 전문가 1명, 과학교육 박사과정 2명, 과학교육 석사과정 1명 총 4인의 분석자에 의해 이루어졌으며, 분석 과정 중에 발생하는 의문점에 대하여 지속적인 협의 과정을 통하여 분석틀이 수정 보완되었다. 학생들이 제시하는 모델의 수준을 분석하기 위해 4인의 분석자가 일차적으로 무작위로 선정한 5명의 결과보고서의 모델링 단계를 각자 분석하고 비교하는 과정을 통하여 일치도가 90%에 이를 때까지 분석의 신뢰도를 높였다.

연구 결과

모델링 능력 분석 결과

Table 3에서 제시한 바와 같이 모델링 능력을 분석하기 위한 항목은 설명, 비교, 추상, 표식의 4가지 항목으로 구분하였고, 각 영역에 대해 0-3수준으로 분석하였다. 논의 기반 일반화학 실험은 6개 주제의 모델링 단계에서 학생들이 제시한 모델의 수준을 분석한 결과이다(Table 4).

첫 번째 주제인 산-염기 적정 실험의 모델링 단계 분석 결과, 설명영역, 비교영역, 추상영역, 표식영역의 네 영역에서 대부분의 학생이 모델을 제시하지 못하는 0수준에 해당하였으며(17명), 가장 높은 수준인 3수준에 해당하는 학생은 한명도 없었다. 추상영역에서는 2수준에 해당하는 학생도 없었으며, 비교영역에서 2수준에 해당하는 학생은 3명이었다. 따라서 네 영역 모두 대부분의 학생들이 0수준인 것으로 나타났다.

두 번째 주제인 화학평형상수 실험의 모델링 단계 분석에서는 네 영역에서 가장 높은 수준인 3수준에 해당하는 학생들이 나타났다. 설명영역에서 5명, 비교영역에서 2명, 추상영역 1명, 표식영역에서 2명 나타났다. 이에 비해 0수준 학생들이 이전 실험에서보다 줄어들어 설명, 비교, 추상, 표식영역 모두에서 11명으로 나타났으며, 각 영역

Table 4. Level of modeling ability of four elements in argument-based general chemistry experiments

	Topic 1				Topic 2				Topic 3				Topic 4				Topic 5				Topic 6			
	Acid-base titration				Chemical equilibrium constant				Solubility product				Oxidation-reduction titration				Chemical kinetics				Chemical cell & sequence of electrochemistry			
Lcv.	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
Ex.	17	1	2	0	11	3	2	5	6	4	5	6	3	7	7	2	1	9	4	5	0	11	6	3
Co.	17	0	3	0	11	3	5	2	6	5	6	4	3	13	1	2	1	3	10	5	0	8	9	3
Ab.	17	3	0	0	11	7	2	1	6	5	4	6	3	5	8	3	1	11	2	5	0	11	6	3
La.	17	1	2	0	11	3	5	2	6	0	7	8	3	1	12	3	1	6	8	4	0	2	14	4

Ex. - Explanation, Co. - Comparativeness, Ab. - Abstraction, La. - Labelling

에서 1수준과 2수준에 해당하는 학생도 일부 증가하였다.

세 번째 주제인 용해도곱상수 실험에서는 네 영역에서 모두 3수준 학생들이 증가하여 4명에서 8명에 이르렀다. 0수준에 해당하는 학생은 네 영역 모두 6명으로 이 전 실험에 비해 크게 감소했으며, 2수준에 해당하는 학생들이 각 영역에서 증가하였다.

네 번째 주제인 산화-환원정직 실험에서는 네 개의 각 영역에서 0수준에 해당하는 학생 3명씩 나타났다. 이 전 실험과 비교할 때 가장 높은 수준인 3수준 학생의 수는 각 영역에서 줄어 들었고, 2수준 학생의 수가 증가하였다. 비교영역에서는 1수준 학생의 수가 13명으로 다른 영역에 비해 월등하게 높은 것으로 나타났다.

다섯 번째 주제인 화학반응속도 실험의 모델링 분석결과, 설명, 비교, 추상, 표식 네 영역에서 0수준을 받은 학생은 각각 1명이었으며, 표식영역을 제외한 세 영역 모두 가장 높은 3수준을 받은 학생은 5명이었다. 비교영역을 제외하고 설명, 추상, 표식영역에서 1수준 학생이 8명에서 11명

으로 나타나 가장 높은 비율을 보였다.

논의 기반 일반화학실험의 마지막 주제인 화학전지와 전지화학적 서열 실험에서는, 네 영역 모두 0수준 학생이 한명도 없었으며, 표식영역을 제외한 세 영역에서 1수준 학생이 8명에서 11명으로 가장 많았다. 표식영역에서는 2수준 학생이 14명으로 가장 많았다.

전체 학생들의 모델링 능력을 알아보기 위해서 4개의 모델링 분석항목의 각 수준에 대해 0수준은 0점, 1수준은 1점, 2수준은 2점, 3수준은 3점으로 점수화하여, 각각의 항목에 대한 개별 학생의 점수를 합산하여 분석하였다. 다음은 전체 모델링 능력을 점수로 나타낸 결과이다(Table 5).

모델링 능력을 점수화한 결과, 첫 번째 주제의 모델링 능력 점수는 20점, 두 번째 주제는 74점, 세 번째 주제는 130점, 네 번째 주제에서는 124점, 다섯 번째 주제는 148점, 여섯 번째 주제는 148점으로 나타났다(Fig. 1).

1회기에 실시된 3개 주제 중 첫 번째와 두 번째 주제에서는 대부분의 학생이 모델을 제시하지 않고 관찰된 현

Table 5. Modeling ability scores in argument-based general chemistry experiments

Total score	Topic 1	Topic 2	Topic 3	Topic 4	Topic 5	Topic 6
	Acid-base titration	Chemical equilibrium constant	Solubility product	Oxidation-reduction titration	Chemical kinetics	Chemical cell & sequence of electrochemistry
	20	74	130	124	148	148

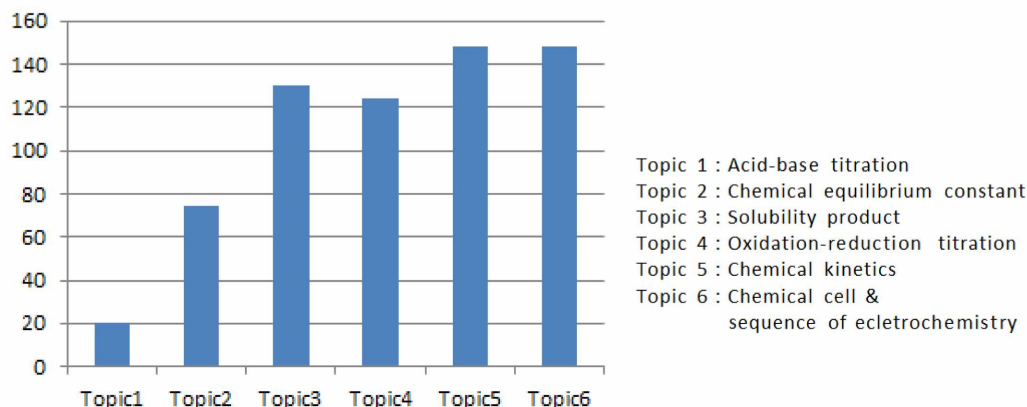


Figure 1. Modeling ability in argument-based general chemistry experiments.

상을 설명하는 글을 작성하여 0수준을 받았기 때문에 모델링 점수가 나머지 주제들의 모델링 점수에 비해 낮은 점수를 받았다. 하지만 첫 번째 주제에서 세 번째 주제로 갈수록 학생들의 모델링 능력이 뚜렷이 증가하는 경향성을 나타내고 있다. 이는 학생들이 논의 기반 일반화학 실험의 모델링 단계에서 자신만의 모델을 제시하여 다른 사람에게 설명하는 글을 작성하는 것이 익숙해졌으며, 생성한 모델이 설명영역, 비교영역, 추상영역, 표시영역에서 높은 수준에 도달하였다는 것을 의미한다.

2학기에 실시된 3개 주제에 대한 모델링 능력 점수를 분석한 결과, 1학기에 형성된 모델링 능력이 꾸준히 유지하고 있는 경향성을 나타내고 있는데, 네 번째 주제인 산화환원에서는 대부분의 학생들이 어려워하는 주제의 개

념을 다루고 있기 때문에 다른 두 개의 주제보다 낮은 점수를 받은 것으로 생각된다.

다음은 1학기 동안 적용한 3개의 주제에 대한 모델링 요소별 모델링 능력의 변화를 나타낸 그림이다(Fig. 2).

Fig. 2에서 보듯이 주제 1에서 주제 3으로 갈수록 모델링의 각 영역 별로 0수준에 해당하는 학생의 수가 감소하고 1수준, 2수준, 3수준에 해당하는 학생의 수는 점차 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 이는 모델링을 경험함에 따라 학생들이 관찰된 과학적 현상의 핵심개념을 설명하는 글을 작성할 때 모델을 제시할 수 있게 되었고, 제시하는 모델의 수준이 높아졌다는 것을 반영한다.

다음은 2학기 동안 적용한 3개의 주제에 대한 모델링 능력의 변화를 나타낸 그림이다(Fig. 3).

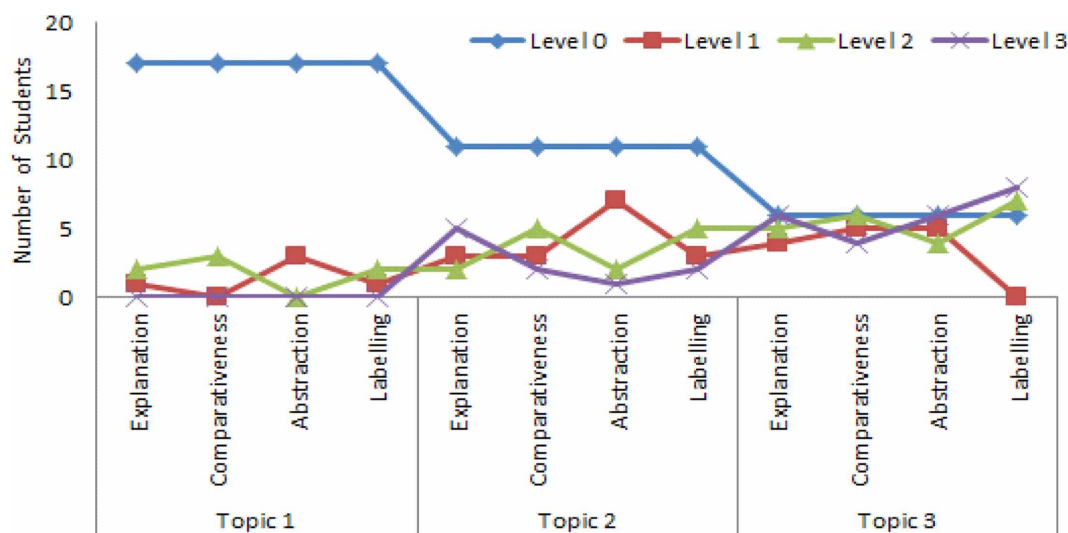


Figure 2. Changes in modeling ability level during the first semester.

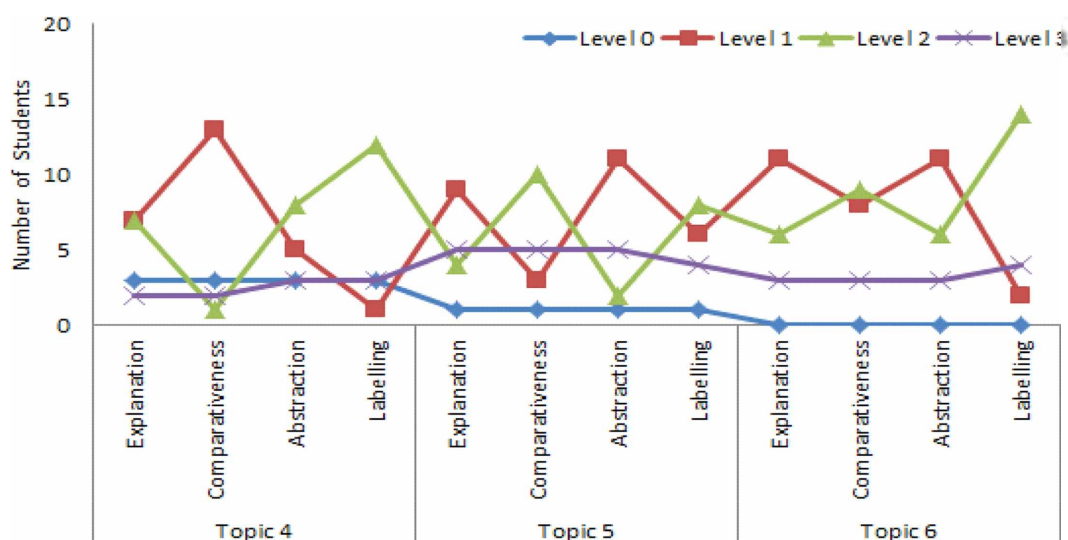


Figure 3. Changes in modeling ability level during the second semester.

분석 결과, 0수준에 해당하는 학생은 1학기에 비해 급격히 감소하였으며, 특히 주제 6에서 0수준에 해당하는 학생은 한명도 없었다. 또한 1수준, 2수준에 해당하는 학생의 수가 꾸준히 유지되고 있으며, 가장 높은 3수준에 해당하는 학생의 수에서도 논의 기반 일반화학 실험의 주제와 상관없이 그 숫자가 유지되고 있는데, 이것은 이미 형성된 모델링 능력이 내면화되었다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

메타모델링 수준 분석 결과

모델링 단계에서 학생들이 제시하는 모델이 독자의 이해력을 고려한 것인지를 메타모델링 수준을 분석하여 알아볼 수 있다. 따라서 학생들이 다른 사람을 설득하는 글을 작성할 때, 모델을 얼마나 이해하고 활용하는지 알아볼 수 있는 메타모델링 영역에 해당하는 추상영역과 표식영역의 두 가지 요소를 이용하여 메타모델링 수준을 분석하였다(Table 6).

‘추상영역’은 눈에 보이지 않는 요소 및 감각으로 접근할 수 없는 특징을 서술하는지 여부를 알 수 있다. 자신이 제시하는 모델을 상대방이 얼마나 이해할 수 있는지 반영하기 때문에 모델의 본성 측면에서 볼 때, 모델을 통한 의사소통이라는 측면에서 학생들의 메타모델링 지식을 반영한다. 메타모델링의 또 다른 요소에 해당하는 ‘표식영역’은 모델이 과학 개념과 표식을 포함하는지를 분석한다. 자신이 제시하는 모델을 다른 사람들과 의사소통하는 것을 돕는 도구로써 사용한다는 점에서 학생의 메타모델링 지식을 반영한다.

논의 기반 일반화학 실험의 첫 번째 주제인 산-염기적정 실험의 메타모델링 수준 분석에서, 추상영역 및 표식영역에서 가장 높은 수준인 3수준의 학생은 한명도 없었으며, 두 영역 모두 0수준 학생이 17명으로 대부분을 차지했다.

두 번째 주제인 화학평형상수 실험에서의 메타모델링 수준 분석 결과, 추상 및 표식 두 영역에서 0수준학생이 줄어 각각 11명으로 나타났으며, 1수준과 2수준 학생이 첫번째 실험에 비하여 증가하였다.

세 번째 주제인 용해도곱상수 실험의 모델링 단계에서는 ‘추상영역’에서 0수준을 받은 학생이 6명으로 감소했으며, 가장 높은 3수준을 받은 학생이 6명이었다. ‘표식영역’에

서는 0수준 및 1수준 학생은 한명도 없었고, 가장 높은 3수준에 해당하는 학생이 8명이었다.

네 번째 주제인 산화-환원적정 실험에서는, 두 영역 모두 2수준과 3수준 학생의 수가 증가하였다.

다섯 번째 주제인 화학반응속도 실험에서는, 추상영역과 표식영역 모두 3수준 학생의 수가 이 전 실험에 비해 증가했고, 오히려 2수준 학생보다 1수준 학생 수가 많은 것으로 나타났다.

논의 기반 일반화학실험의 마지막 주제인 화학전지와 전기화학적 서열 실험의 메타모델링 수준 분석 결과, ‘추상영역’과 ‘표식영역’에서 가장 낮은 수준인 0수준에 해당하는 학생은 한명도 없었다. 두 영역 모두 2수준 학생의 수가 이전 실험에 비해 증가했다.

다음은 메타모델링 수준 분석 결과를 나타낸 그림이다 (Fig. 4). 첫 번째 주제에 대한 메타모델링 수준 분석결과, 대부분의 학생이 0수준에 해당하였다. 두 번째 주제에서 세 번째 주제로 갈수록 0수준을 받은 학생의 수가 급격히 감소하는데, 이는 학생들이 메타모델링 지식을 갖추게 되었다는 것을 의미한다. 네 번째 주제에서는 2수준에 해당하는 학생이 증가하고, 다섯 번째 주제에서는 가장 높은 수준인 3수준에 해당하는 학생이 가장 많은 것으로 나타났다. 여섯 번째 주제에서는 0수준에 해당하는 학생은 한명도 없었고, 1수준과 2수준, 가장 높은 수준인 3수준으로 갈수록 해당하는 학생 수가 많아졌다.

메타모델링 수준 분석결과를 종합하면, 모델링 단계 초기에 학생들은 자신이 제시하는 모델이 다른 사람을 설득하기 위한 도구로써 사용될 수 있다고 생각하기보다는 자신이 경험한 과학적 현상을 설명하는 도구로 생각하고 있다는 것을 알 수 있다. 하지만 논의 기반 일반화학 실험의 모델링 단계를 통해 자신만의 모델을 생성하여 설명하는 글을 작성하면서 모델을 제시하는 것이 다른 사람에게 자신이 관찰한 자연현상을 이해시키는 것을 쉽게 만든다는 것을 알게 되고, 이 후 부터는 이러한 모델 제시 능력이 계속 유지된다는 것을 알 수 있다.

예비과학교사들은 1학기에 수행된 3개의 논의 기반 일반화학 실험을 수행하면서 메타모델링 영역에 해당하는 추상영역 및 표식영역에서 향상을 보였다. 이러한 메타모델링 지식의 향상은 모델링 능력이 향상되는 결과를 낳

Table 6. Meta-modelling level of two meta-modelling elements

	Topic 1				Topic 2				Topic 3				Topic 4				Topic 5				Topic 6			
	Acid-base titration				Chemical equilibrium constant				Solubility product				Oxidation-reduction titration				Chemical kinetics				Chemical cell & sequence of electrochemistry			
Lev.	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
Ab.	17	3	0	0	11	7	2	1	6	5	4	6	3	5	8	3	1	11	2	5	0	11	6	3
La.	17	1	2	0	11	3	5	2	6	0	7	8	3	1	12	3	1	6	8	4	0	2	14	4

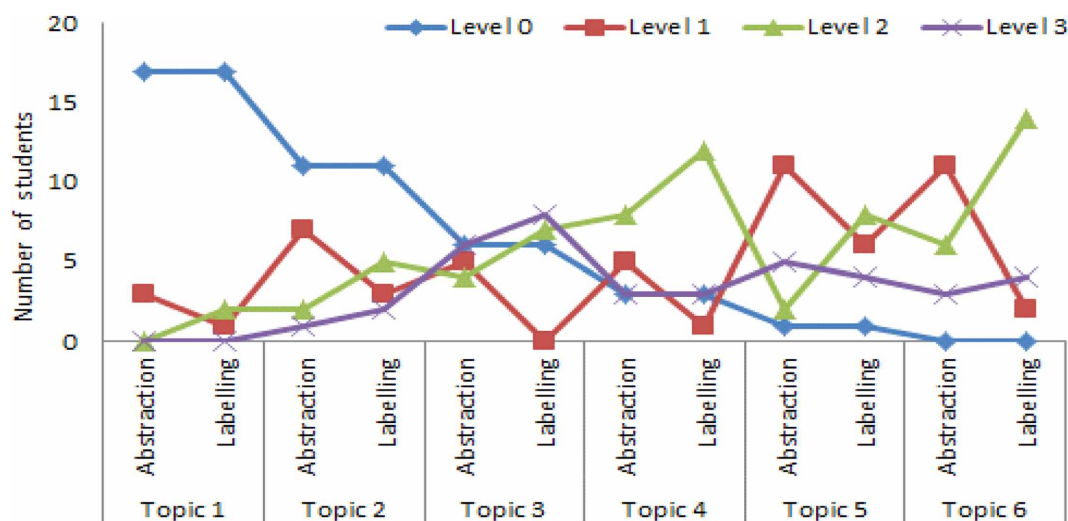


Figure 4. Changes in meta-modeling level.

았다고 볼 수 있다. 예비과학교사들은 논의 기반 일반화학 실험을 통해 논의를 수행하고, 자신만의 모델을 생성하여 설명하는 글을 작성하면서 모델을 제시하는 것이 다른 사람에게 자신이 관찰한 자연현상을 이해시키는 것을 쉽게 만든다는 것을 알게 되고, 이로부터 모델을 생성하는 것에 관한 인식론적 지식을 발전시키게 되었다고 볼 수 있다.

결론

이 연구는 논의 기반 일반화학 실험과정에서 나타나는 예비과학교사들의 모델링 능력 및 이의 변화과정을 알아보는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해 실험 후 작성하는 결과보고서의 모델링 단계에서 예비과학교사들이 제시하는 모델의 수준을 분석하여 모델링 능력을 알아보았다. 얻어진 연구 결과로부터 이끌어낸 결론은 다음과 같다.

첫째, 논의 기반 일반화학 실험을 경험하면서 예비과학교사들의 모델링 능력이 향상된 것으로 나타났다. 6개 주제의 논의 기반 일반화학 실험이 진행되면서 예비과학교사들의 모델링 능력 점수는 증가하였다. 6개 주제의 논의 기반 일반화학 실험을 수행하면서 초반에는 설명, 비교, 추리, 표식의 네 영역 모두에서 0수준의 학생이 대부분인 것으로 나타나 모델링 능력이 거의 형성되지 않은 것으로 나타났다. 그러나 논의 기반 일반화학 실험의 횟수가 거듭되면서 네 영역 모두에서 0수준의 학생 수는 감소하고 2수준과 3수준의 학생 수가 증가하였다.

설명영역과 비교영역에서의 모델링 능력의 향상은 예비과학교사들이 제시하는 모델이 과학개념 또는 현상을 설명하기 위해 실험을 통해 관찰된 과학 현상과 경험적

상황을 연결하여 설명하고 있다는 것을 의미한다. 이러한 설명에서 학생들은 모델의 요소를 고려하여 과학 현상이 일어나는 원인에 대해 실험적 상황과 경험적 상황의 두 가지 상황을 비교하여 설명하게 되는데, 이는 학생이 관찰된 과학현상을 잘 이해하고 있다는 것을 보여주는 것이다.

추상영역은 모델이 거시적 수준이나 미시적 수준에서 각각적으로 표현하기 어려운 특징들을 표현하고 있는지를 알아보고자 하는 모델링의 요소로 이를 통해 예비과학교사들의 메타모델링 지식수준을 알 수 있다.¹⁰ 표시영역은 예비과학교사들이 제시하는 모델을 의사소통의 차원에서 사용하는 것으로, 자신이 제시한 모델이 모델 창안자의 생각을 어떻게 반영하는지 또는 생성한 모델을 다른 사람들이 어떻게 잘 이해하는지를 고려한다는 점에서 메타모델링 지식을 반영한다. 논의 기반 일반화학 실험과정에서 학생들이 자신만의 모델을 생성하여 각각적으로 접근이 가능하지 않는 부분까지 설명하려고 하고, 다른 사람을 이해시키기 위한 표현방식을 사용하려는 시도를 하는 것에서 예비과학교사들의 메타모델링 지식수준이 높아졌음을 알 수 있다.

둘째, 논의 기반 일반화학 실험을 수행하면서 예비과학교사들의 메타모델링 지식이 향상되었고, 이러한 메타모델링 지식의 향상은 모델링 능력의 향상을 가져왔으며 동시에 이를 유지시켰다.

메타모델링 수준이 높다는 것은 과학의 본성을 이해하고, 개발한 모델을 의사소통을 위한 수단으로 적절하게 사용할 수 있다는 것을 의미하며, 높은 수준의 모델을 제시할 수 있는 학생은 모델과 모델의 역할에 관한 지식, 과학적 모델의 본성과 목적에 대한 지식을 갖추고 있다고

볼 수 있다. 연구에서와 같이 지속적인 모델링 경험을 통해 메타모델링 지식이 형성되면 이러한 지식을 바탕으로 모델을 제시하는 능력이 향상되고 이러한 능력은 이후에도 유지되는 것으로 나타났다.

이 연구에서는 논의 기반 일반화학 실험을 통해 예비과학교사들의 모델링 능력이 향상되며 이러한 향상은 메타 모델링 지식과 연관이 있음을 알 수 있었다. 추후 연구에서는 이러한 연구를 바탕으로 학생들이 모델링을 경험하면서 모델링에 대한 인식의 변화과정을 알아봄으로써 이러한 인식변화가 모델링 능력에 어떻게 영향을 미치며 이들이 메타모델링 지식과는 어떤 연관이 있는지 알아 볼 필요가 있다고 본다.

REFERENCES

1. Lee, S. *Korean Language Education Research* **1994**, 4, 67.
2. Kim, J. *Korean pragmatics*; Hyungseul Publication: Seoul, 1982.
3. Gilbert, S. W.; Ireton, S. W. In *Understanding models in earth and space science*; NSTA Press: Arlington, 2003.
4. 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.
5. Gilbert, J. K.; Boulter, C. J.; Rutherford, M. *International Journal of Science Education* **1998**, 20, 83.
6. Gobert, J. D.; Buckley, B. C. *International Journal of Science Education* **2000**, 22, 891.
7. Chamizo, J. A. *Science & Education* **2013**, 22, 1613.
8. Greca, I. M.; Moreira, M. A. *Science Education* **2002**, 85, 106.
9. Buckley, B. C. *International Journal of Science Education* **2000**, 22, 895.
10. Johnson-Laird, P. N. *Mental Models*; Cambridge University Press: Cambridge, 1983.
11. Gilbert, J. K.; Boulter, C. J.; Rutherford, M. In *Developing Models in Science Education*; Gilbert, J. K., Boulter, C., Eds.; Kluwer Academic Publisher: Dordrecht, 2000; p 193.
12. National Research Council [NRC]. *National science education standards*; National Academic Press: Washington, D.C., 2011.
13. Ha, J.; Lee, H.; Kang, S. *Journal of Gifted/Talented Education* **2009**, 19, 187.
14. Khan, S. *Science Education* **2007**, 91, 877.
15. Boulter, C. J.; Buckley, B. C. In *Developing Models in Science Education*; Gilbert, J. K., Boulter, C., Eds.; Kluwer Academic Publisher: Dordrecht, 2000; p 41.
16. Justi, R.; Gilbert, J. K. *International Journal of Science Education* **2002**, 24, 369.
17. Passmore, C. M.; Svoboda, J. *International Journal of Science Education* **2012**, 34, 1535.

18. Maia, P. F.; Justi, R. *International Journal of Science Education* **2009**, 31, 603.
19. Saari, H.; Viiri, J. *International Journal of Science Education* **2003**, 25, 1333.
20. Schwarz, C. V.; White, B. Y. *Cognition and Instruction* **2005**, 23, 165.
21. Mendonça, P. C.; Justi, R. *International Journal of Science Education* **2013**, 35, 2407.
22. Lehrer, R.; Schauble, L. In *Advances in Instructional Psychology*; Lawrence Erlbaum Associates: New Jersey, 2000; p 101.
23. Ministry of Education. 2015 Revised National Curriculum. MOE, Notice No. 2015-74, 2015.
24. Ministry of Education. 2009 Revised National Curriculum. MOE, Notice No. 2011-2361, 2012.
25. American Association for the Advancement of Science (AAAS). *Benchmarks for Science Literacy*; Oxford University Press: New York, 1993.
26. National Research Council [NRC]. *National Science Education Standards*; National Academic Press: Washington, D.C., 2007.
27. Osborne, J.; Dillon, J. *Science Education in Europe*; The Nuffield Foundation: London, 2008.
28. Lederman, N. G. In *Hand Book of Research on Science Education*; Lawrence Erlbaum Associates: New Jersey, 2007; p 831.
29. Zhang, B.; Liu, X.; Krajcik, J. S. *Science Education* **2006**, 90, 579.
30. Clement, J. *International Journal of Science Education* **2000**, 22, 1041.
31. Penner, D. E. *Review of Research in Education* **2001**, 25, 1.
32. Spitulnik, M. W.; Krajcik, J.; Soloway, E. In *Modeling and Simulation in Science and Mathematics Education*, Wallace, F., Nancy R., Eds.; Springer: New York, 1999; p 70.
33. Cho, H.; Nam, J.; Lee, D. *Journal of The Korean Association For Science Education* **2014**, 34, 479.
34. Cho, H.; Nam, J. *Journal of The Korean Association For Science Education* **2014**, 34, 583.
35. Oh, P.; Oh, S. *International Journal of Science Education* **2011**, 33, 1109.
36. Lee, D.; Nam, J.; Cho, H. *Journal of The Korean Association For Science Education* **2015**, 35, 313.
37. National Research Council [NRC]. *National Science Education Standards*; National Academic Press: Washington, D.C., 2000.
38. Heo, E. The Impact of General Chemistry Laboratory using Reading frame-based Science Writing Heuristic Approach on College Students' Reflective Thinking. Ph.D. Thesis, Pusan National University, Busan, Korea, 2011.
39. Keys, C. W.; Hand, B.; Prian, V.; Collins, S. *Journal of Research in Science Teaching* **1999**, 36, 1065.
40. Bamberger, Y. M.; Davis, E. A. *International Journal of Science Education* **2013**, 35, 213.