



과학교육에서 모델과 모델링 관련 국내 과학 교육 연구 동향 분석

조혜숙, 남정희*
부산대학교

Analysis of Trends of Model and Modeling-Related Research in Science Education in Korea

Hye Sook Cho, Jeonghee Nam*
Pusan National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 May 2017

Received in revised form

2 July 2017

26 July 2017

Accepted 27 July 2017

Keywords:

model, modeling, metamodeling
knowledge, literature review,
research trend

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the trends of model and modeling-related research in science education from 1989 to 2016 in Korea. Eighty-five (85) models and modeling-related journal articles were extracted from the KCI-listed journals and analyzed according to the criteria such as participants, research fields, research design, methods, data collection and elements of metamodeling knowledge. According to research participants, three out of four (3/4) were studied for students and the rest were for teachers. More than half of the studies for students were conducted with middle and high school students. The research fields of models and modeling-related researches in science education were comprised of earth science, chemistry, biology science, physics and science course. With regards to research design, the highest type is qualitative research and followed by hybrid research and quantitative research. According to research methods, the most numerous researches that were analyzed was the effectiveness of program, which was a developed model and modeling-related research. The analysis from the elements of the metamodeling knowledge showed most of model and modeling-related research utilized for the change of scientific concept or understanding.

1. 서론

모델은 관찰한 과학적 현상을 설명하기 위해서 현상을 추상화하고 간략화하여 나타낸 표상으로(Chamizo, 2013; Gobert & Buckley, 2000; Morrison & Morgan, 1999; National Research Council, 2012), 그 정의에는 표상적 관점과 설명적 관점 모두를 포함하고 있다. 미국의 차세대를 위한 과학교육 표준(Next Generation Science Standards, NGSS)에서는 과학교육의 중요한 목표로 학생들이 스스로 증거에 바탕을 둔 모델을 만드는 능력을 기르는 것을 강조하고 있으며, 모델은 현상과 과학 이론을 연결할 수 있는 과학적 설명 방법 중 하나라고 제안하고 있다(NGSS Lead States, 2013).

모델은 학생들이 관찰한 자연이나 물리적 현상에 대해 세운 자신의 정신 모델을 다양한 표상의 표현 모델로 나타내는 것으로(Windschitl, Thompson & Braaten, 2008), 학습자는 자신이 만든 모델을 다른 사람과의 의사소통을 통해 평가하고 수정하는 일련의 과정을 통해서 스스로 과학적 지식을 만들고 재구성한다(Gilbert, Boulter & Rutherford, 1998; Jonassen, Strobel & Gottdenker 2005; Koponen, 2007). 모델을 구성하고 더 나아가 평가 및 반성을 통해 정교화시키는 일련의 과정을 모델링이라고 하며(Clement, 2000; Justi & Gilbert, 2002), 이러한 모델링을 통해 학생들은 관찰한 자연 현상을 설명과 예측하기 위한 개념적 변화를 촉진할 수 있다(Kim *et al.*, 2013; Mandinach & Cline, 1993). 모델과 모델링은 과학교육에서 과학적 탐구와 과학적 소양의

핵심적인 부분이며(Schwarz *et al.*, 2009), 과학적 의사소통이 이루어지는 문제해결 과정의 하나이다(Watson, Swain, & McRobbie, 2004). 우리나라의 과학교육에서도 모델의 중요성을 반영하여, 2007 개정과 2009 개정 교육과정에서는 학생의 이해를 돕거나 흥미를 유발하기 위한 목적으로 모델을 사용할 수 있다고 제안하였다. 특히 2015 개정 교육과정에서는 모델의 사용에 대한 설명과 함께 모델이 실제 자연 현상 사이에 차이가 있음을 이해하는 모델의 본성까지 강조한다(Ministry of Education, 2015).

2015 개정 교육과정에서 제시하는 과학과 교육목표는 모든 학생이 과학의 개념을 이해하고 과학적 탐구 능력과 태도를 함양하여 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결할 수 있는 과학적 소양을 기르는 것이며, 이 목표에서 중요한 과학적 탐구 능력은 과학적 문제 해결을 위해 실험, 토론 등의 방법으로 증거를 수집, 해석, 평가하여 새로운 과학적 지식을 생성할 수 있는 능력을 의미한다(Ministry of Education, 2015). 이러한 과학적 탐구 능력을 함양시키기 위한 방법으로 제안되고 있는 교수학습 방법이 모델 및 모델링을 강조한 교수 학습이며, 과학교실에서 성공적으로 모델 및 모델링을 사용하기 위해서는 교수 학습의 주체인 학생과 교사가 이에 대한 지식인 메타모델링 지식을 갖추어야 한다(Schwarz, 2002).

메타모델링은 모델의 발달 과정인 모델링에서 ‘보다 이후의’ 또는 ‘보다 높은’ 것을 의미하고(Chick, Karis, & Kernahan, 2009), 메타모델링 지식은 과학적 모델의 발달과정에서 가장 결정적인 메타인지적

* 교신저자 : 남정희 (jhn@pusan.ac.kr)
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2017.37.4.539>

지식을 의미한다(Fuhrmann, Salehi, & Blikstein, 2013; Schwarz, 2002; Schwarz *et al.*, 2009; Schwarz & White, 2005). 이 메타모델링 지식은 과학을 이해하기 위하여(Lederman, 2007) 학생과 교사 모두에게 가장 필요한 지식이다(Krell, Reinisch, & Krüger, 2014). 학생들에게 필요한 메타모델링 지식은 모델의 본성, 유용성, 모델의 목적, 모델의 평가, 모델링 과정에 대한 이해와 함께 모델의 이점과 제한점을 아는 것이다(Schwarz, 2002; Schwarz *et al.*, 2009). 교사들이 모델링 실습에서 갖추어야 할 지식에는 메타모델링 지식에 대한 이해를 포함하여 학생들이 모델을 사용한 추론에서 이러한 이해가 어떻게 사용되는지에 대해 아는 것과 학생들에게 모델링 실습에 대해 안내하고 동기화하는 것이 포함된다(Schwarz, 2002; Schwarz *et al.*, 2009).

그러나 모델 및 모델링에 대한 대부분의 연구는 과학적 모델의 특성이나 인식 파악에 집중되어 있고, 모델을 만드는 과정인 모델링에 대한 연구는 상대적으로 부족하며(Jang, Ko, & Kang, 2012), 학생과 교사들이 가진 메타모델링 지식도 부족한 실정이다(Treagust, Chittleborough, & Mamiala, 2002). 대부분의 학생들은 모델을 과학적 현상에 대한 복제품으로 여기거나(Grosslight *et al.*, 1991), 모델링 과정에서 자신의 생각을 나타내는 것을 어려워한다(Sins, Savelsbergh, & van Joolingen, 2005). 과학교사들은 과학적 모델에 대해 제대로 인식하지 못하거나 표상적 측면만을 고려하여 모델을 ‘개념 가시화’의 도구로 인식하고 있다(Kang, 2017). 또한 과학 탐구 과정에서 모델에 관한 학생들의 생각과 능력에 대해 알지 못하여 실제 교수활동에 적극적으로 반영하고 있지 못하고, 모델링 활동을 지도하는 방법을 적용하지 못한다(Justi & Gilbert, 2002; van Driel & Verloop, 1999, 2002). 또한 예비 교사들을 대상으로 모델에 대한 인식 조사를 실시한 결과, 과학수업에서 모델은 학생들 스스로 구성하는 것이 아니라 교사-중심적 관점에서 모델을 사용하는 것이라고 여기고 있다(An & Kim, 2011; Oh, 2009). 과학수업에서 교사와 학생들이 메타모델링 지식을 갖추는 것은 모델과 모델링에 대한 이해를 향상시킨다는 국내·외 선행연구의 결과(Bogiages, 2014; Ha, Lee & Kang, 2009; Jang, Ko, & Kang, 2012; Kim *et al.*, 2013; Yoon, 2011)에서 볼 수 있듯이, 과학교육에서 모델과 모델링을 적용하기 위해서 교사와 학생들은 모두 모델을 만들고 평가와 수정을 통한 모델을 개발을 실천하는 모델링 과정에 앞서 메타모델링 지식에 대한 이해가 선행되어야 한다(Cho, Nam, & Oh, 2017).

이 연구에서는 국내에서 진행되어 온 모델 및 모델링 관련 연구의 동향을 살펴보고자 하였다. 이를 위해 국내 학술지에 발표된 과학교육 분야의 모델 및 모델링 관련 연구를 연구 대상, 연구 분야 및 연구

설계, 연구 방법 및 자료 수집, 메타모델링 지식 측면에서 분석하였다. 이러한 분석을 통하여 국내에서 이루어진 모델 및 모델링 연구의 대상 및 과학 분야의 연구영역, 연구방법 등에 대해 앞으로 더 연구가 이루어져야 하는 분야를 알 수 있을 것이다. 또한 메타모델링 지식에서 모델과 모델링 관련 연구가 메타모델링 지식을 반영하고 있는지와 어느 요소를 중심으로 이루어졌는지 분석해보므로써 국내의 메타모델링 지식에 대한 연구의 현황을 파악하고, 앞으로 어느 연구가 더 필요한 지 제언할 수 있을 것이다. 이 연구에서는 이러한 점들을 고려하여 지금까지 국내에서 발표된 과학교육 연구 문헌 중에서 모델과 모델링과 관련된 연구의 동향을 분석하여 앞으로 과학교육 연구에서 모델과 모델링교육의 방향에 대한 시사점을 얻고자 한다. 이를 위한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 연구 대상에 따른 모델과 모델링 관련 과학교육 연구의 동향은 어떠한가?

둘째, 연구 분야 및 연구 설계에 따른 모델과 모델링 관련 과학교육 연구의 동향은 어떠한가?

셋째, 연구 방법 및 자료 수집에 따른 모델과 모델링 관련 과학교육 연구의 동향은 어떠한가?

넷째, 메타모델링 지식에 따른 모델과 모델링 관련 과학교육 연구의 동향과 주제별 특성은 어떠한가?

II. 연구 방법

1. 연구 대상

과학교육에서 모델과 모델링 관련 연구의 경향을 파악하기 위하여 관련 연구를 수집하여 분석하는 문헌 조사 및 내용 분석의 방법을 사용하였다. 분석 대상 논문의 선정은 본 연구에서 가장 중요한 과정이기 때문에 선정 기준에 대한 협의와 재검토를 통해 분석 데이터의 신뢰도를 높이고자 하였다. 이 연구의 대상 논문 검색은 학술검색 데이터베이스인 학술논문검색사이트(www.riss.kr)를 통해 이루어졌다. 검색 키워드는 모형, 모델, 모델링, 메타모델링, 메타모델링 지식, model, modeling, metamodeling, metamodeling knowledge로 하였다. 이 연구의 대상 논문 선정 기준은 다음과 같다. (1) 국내 KCI등재지인 학술지에 게재된 모델 및 모델링 관련 연구 논문, (2) 초·중·고등학교생·대학생과 예비 교사 및 현직 교사를 대상으로 한 연구논문, (3) 과학 교육에서 모델 및 모델링 관련 문헌과 내용 분석을 포함하여 인식조사, 프로그램 개발 또는 적용하여 효과를 분석한 연구이다. 이

Table 1. Number of research articles on model and modeling in science published in representative journals

Journal	Publisher	Number(%)
한국과학교육학회지	한국과학교육학회	41 (48.2)
생물교육	한국생물교육학회	11 (12.9)
초등과학교육	한국초등교육학회	11 (12.9)
대한화학회지	대한화학회	10 (11.8)
한국지구과학회지	한국지구과학회	8 (9.4)
영재교육연구	한국영재학회	3 (3.6)
한국현장교육학회지	한국현장교육학회	1 (1.2)
계		85 (100.0)

중에서 연구 대상 논문 제외 기준은 다음과 같다. (1) 학술대회의 발표 논문에 실린 것, (2) 논문의 제목에 모델, 모형이 포함되어 있어도 수업 또는 학습 모형과 같이 관련 연구가 아닌 경우(예: 순환학습 모형 적용, 창의성 계발 모형, 발견수업 모형), (3) 적용 대상 과목이 과학이 아닌 다른 과목을 대상으로 하는 연구(예: 수학, 사회, 체육에서의 모델 및 모델링 프로그램 개발 또는 적용)이다.

이러한 절차에 의해 선정된 연구 대상은 1989년부터 2016년까지 발표된 85편의 연구논문이다(Table 1). 이들 논문은 학술논문검색사이트(www.riss.kr) 및 학회별 홈페이지를 이종으로 검색하여 누락된 권호가 없도록 재확인 하였고, 연구 대상 논문 선정 기준에 포함된 논문이 게재된 학술지는 모두 포함시켰다. 모델 및 모델링과 관련하여 가장 많은 논문이 게재되고 있는 학술지는 41건(48.2%)이 분석된 한국과학교육학회지이고, 그 다음은 11건(12.9%)인 생물교육과 초등과학교육, 10건(11.8%)이 게재된 대한화학회지, 8건(9.4%)인 한국지구과학회지, 3건(3.6%)인 영재교육연구, 1건(1.2%)인 한국현장교육학회지이다.

2. 분석 준거 선정

연구 대상으로 선정된 논문들의 분석 준거는 과학교육연구 동향 분석에 관한 여러 선행 연구(Kwon & Ahn, 2012; Lee & Hong, 2013; Lee, Park, & Jeon, 2007; Shin & Choi, 2014)를 참고하여 연구 대상, 연구 분야 및 연구 설계, 연구 방법 및 자료 수집, 메타모델링 지식 구성요소의 크게 네 가지 측면에서 분석되었다. 세부 분석 준거는 연속적 비교(constant comparisons)에 의하여 도출되었고, 그 준거에 따라 내용 분석(content analysis)을 하였다. 선정된 연구 대상 중 20편을 무작위로 선정하여 분석 기준에 따라 예비 연구를 실시한 결과를 바탕으로 분석 기준을 수정·보완하여 본 연구를 실시하였다. 연구의 신뢰도를 높이기 위하여 연구자인 과학교육 박사과 과학교육 전문가가 분류 범주를 정교화·구체화하였으며 관찰자간 신뢰도(90.0%)를 검증하였다.

연구 대상으로 선정된 논문들의 연구 대상 경향을 분석하기 위한 세부 준거는 크게 학생과 교사로 분류하고(Shin & Choi, 2014), 세부적으로 초등학생, 중학생, 고등학생, 대학생과 예비 교사, 현직 교사로 다시 구분하였다. 이 중 문헌 연구의 경우 내용을 확인하여 프로그램의 개발이나 교과서, 교육과정의 분석인 경우 내용을 확인하여 학교급별 연구 대상에 포함하였다. 연구 대상을 분류할 때도 하나의 논문에서 2개 이상의 연구 대상을 분석한 경우 중복으로 포함시켰다.

연구 분야는 모델 및 모델링 관련 연구 활동이 활발한 분야를 파악

하기 위한 것으로 물리, 화학, 생명과학, 지구과학, 과학으로 나누어 분석하였다(Lee & Hong, 2013; Lee, Park, & Jeon, 2007). 초·중학교 학생들을 대상으로 과학 전 분야를 다루거나 고등학교와 대학교 학생들을 대상으로 과학의 4개 분야 중 3개 이상을 함께 다룬 경우에는 과학으로 구분하였다. 또한 교과서 및 영재 프로그램의 분석 연구에서 과학 전반에 대해서 다룬 경우에도 과학으로 구분하였다. 과학의 4개 분야 중 한 분야만을 다룬 경우 각 영역으로 분류하고 중복되는 경우에는 복수로 인정하여 분석하였다. 연구 설계는 Chung와 Shin(2016)의 연구 방법 분류에 기준하여 양적연구, 질적 연구, 혼합연구로 나누어 분석하였다. 혼합 연구는 양적 연구 방법과 질적 연구 방법을 동시에 사용한 연구가 포함된다.

연구 방법은 Kang(2010)의 연구 방법 분류법을 참고하여 이론 고찰 및 내용 분석, 인식조사, 프로그램 개발, 프로그램 적용 및 효과 분석으로 나누어 분석하였다. 자료 수집은 Chung & Shin (2016)의 자료 수집 분류를 수정 및 적용하여 인터뷰(면담), 설문지, 담화분석, 비디오촬영, 연구자의 관찰, 문헌수집, 수업활동에서 이루어지는 관련 과제, 기타로 나누어 분석하였다. 연구 방법을 분류할 때도 하나의 논문에서 프로그램 개발과 함께 프로그램을 적용하여 분석한 경우 중복으로 포함시켰고, 자료 수집을 분류할 때도 하나의 논문에서 2개 이상의 연구 대상을 분석한 경우 중복으로 포함시켰다.

선정된 연구 논문들의 메타모델링 지식의 구성요소에 대한 세부 분석 준거는 선행연구(Cho, Nam, & Oh, 2017)를 통해 이론적 근거를 마련하였다. 메타모델링 지식은 과학교육에서 과학에 대한 이해를 위한 필수 요소이기 때문에 학생과 교사는 메타모델링 지식에 대한 이해가 선행되어야 하며, 이를 통해 학생들은 모델에 대한 이해와 사용 목적을 알고 교사는 노력자로서 학생들을 도와주고 참여를 이끌 수 있다(Henze, van Driel, & Verloop, 2007). 메타모델링 지식의 구성요소는 Table 2에서 보는 바와 같이 모델의 본성, 모델의 다양성, 모델의 목적, 모델링 과정, 모델의 평가 및 수정으로 나눌 수 있다(Cho, Nam, & Oh, 2017). 모델의 평가 및 수정은 모델링 과정에서 함께 이루어질 수 있으므로, 모델링 전 과정 안에 평가 및 수정이 포함되었는지 여부로 구분하여 분석하였고, 하나의 논문에서 여러 가지 메타모델링 지식의 부분으로 분석한 경우 중복으로 포함시켰다.

위의 절차를 거쳐 과학교육에서 모델 및 모델링 관련 연구의 동향 분석을 위한 분류 기준인 연구 대상, 연구 분야 및 연구 설계, 연구 방법 및 자료 수집, 메타모델링 지식의 구성요소 별 최종 분석 준거를 마련하였다(Table 3).

Table 2. Elements of metamodeling knowledge

	Element	Definition
모델에 대한 지식	모델의 본성	모델이 무엇을 나타낸 것인지와 모델이 어떻게 표현되었는지에 대한 것이다.
	모델의 다양성	모델은 대상의 특별한 측면만을 나타내며, 관찰할 같은 자연 현상에 대해서 여러 설명 방법과 다양한 표현 방식이 존재한다.
	모델의 목적	모델은 자연 현상을 설명하거나 예측하기 위해 구체적인 자연 현상과 추상적인 과학적 이론을 연결시키기 위해 가시적으로 표현한다. 학생들은 모델을 통한 의사소통으로 현상과 이론을 이해하고, 사고를 공유 또는 재구성하거나 다른 사람과 공유한다.
모델링에 대한 지식	모델링 과정	과학 학습을 위한 실천 방법인 모델링 과정에 대한 이해를 통해 학생들은 모델의 대상과 모델을 정확하게 안다.
	모델의 평가 및 수정	모델의 평가는 논의과정을 통해 자신의 모델의 장점 및 약점에 대한 분석과 비평을 통해 자신의 생각을 공유하고 다른 사람들에게 현상의 행동을 설명하는 것이고, 모델의 수정은 주어진 상황을 보다 잘 묘사하고 설명하기 위해 자신의 설명을 바꾸는 것이다

Table 3. Analytic Framework

영역	내용								
연구 주제	모델, 모델링, 메타모델링, 모델링 지식, 메타모델링 지식								
연구 내용	대표 키워드 추출을 통한 연구 내용 특성 분석								
기본 자료	KCI 등재 학회	1. 출판 연도		2. 연구자		3. 학술지명(발행처)			
		1989년부터 2016년 12월							
연구 대상	1. 학생				2. 교사				
	1) 초등학생	2) 중학생	3) 고등학생	4) 대학생	5) 예비 교사	6) 현직 교사			
연구 분야	1. 물리	2. 화학	3. 생물	4. 지구과학	5. 과학				
연구 설계	1. 양적	2. 질적	3. 혼합						
연구 방법	1. 이론고찰/내용 분석		2. 인식조사	3. 프로그램 개발		4. 프로그램 적용 및 효과분석			
자료 수집	1. 인터뷰(면담)	2. 설문지	3. 담화분석	4. 비디오촬영	5. 연구자 관찰	6. 문헌수집	7. 수업활동 관련 과제	8. 기타	
메타모델링 지식적 측면	1. 모델의 본성	2. 모델의 다양성	3. 모델의 목적	4. 모델링 과정(평가 및 수정과정 유무)					

III. 연구 결과

1. 연도별 분석 결과

KCI 등재 학술지에 게재된 과학교육 연구 논문 중 모델 및 모델링과 관련 있는 연구 논문들은 1989년도부터 검색되었다. 2004년부터 증가하기 시작하여 2011년까지 한자리 수로 발표되던 모델과 모델링 관련 과학교육 연구들은 2012년과 2016년에 증가하여 두 자리 수의 연구들이 발표되었다(Table 4). 이와 같이 국내 과학교육 연구에서는 1989년에 모델과 관련된 연구가 시작되었지만 이는 컴퓨터 보조학습용 소프트웨어를 이용한 모델을 제안하는 수준에 머물렀다(Lee *et al.*, 1989). 이 논문으로부터 시작하여 전체 연구의 경향을 살펴보면, 1989년에서 1998년은 실험 모델의 제작 및 개발과 이 모델의 이용하는 데 그치고 있다(Chae, 1998; Cho, 1995; Cho & Lee, 1994). 1999년부터 2008년까지는 실험 모델을 이용하여 학생들의 설명으로 나타난 학생들의 정신모델을 분석(Lee, 1999)한 것을 시작으로 정신모델에 대한 연구(Kang, Kwak & Noh, 2006; Lee, 2006, 2008; Oh & Kim, 2006; Park & Lee, 2004, 2008)가 많이 이루어졌다. 2009년부터 2016년까지는 과학 교육에서 사용되는 모델에 관한 예비 초등 교사들의 인식에 대한 연구(Oh, 2009)를 시작으로 하여 학생을 대상으로 한

인식 조사 연구(Ha, Lee, & Kang, 2009; Jang, Ko, & Kang, 2012)가 있었고, 교사를 대상으로 한 인식 조사 연구(An & Kim, 2011; Kim, Joung, & Jang, 2013; Partosa, 2012)가 있었다.

2. 연구 대상 분석 결과

모델과 모델링 관련 과학교육 연구 논문 85편중에서 초, 중, 고, 대학생을 포함한 학생을 대상으로 한 연구가 전체의 72.8%이고 예비 교사를 포함하는 교사를 대상으로 한 연구의 비율은 27.2%였다(Table 5). 특히 각 학교 급별로 학생을 구분하여 살펴볼 경우 중·고의 비율이 59.1%로, 과학교육에서 모델과 모델링과 관련된 연구들이 중·고등학생들에게 집중되는 경향이 있으며, 대학생을 대상으로 한 연구는 2014년 이후에는 나타나지 않았다. 대학생은 과학적 지식을 갖추고 있고 자신의 생각을 언어로 표현함으로써 자신의 사고과정을 진술하는 모델 및 모델링 활동을 활용할 수 있는 능력을 갖추고 있기 때문에(Jang, Ko, & Kang, 2012), 대학생을 대상으로 한 연구가 지속적으로 이루어질 필요가 있다. 또한 예비 교사와 현직 교사를 대상으로 한 연구는 비교적 꾸준하게 나타나고 있지만, 학생을 대상으로 한 연구에 비해 그 정도가 미흡하다. 교사는 과학교육에서 모델과 모델링 기반 탐구에 대한 실습을 통해 모델과 모델링 교수-학습 방법

Table 4. Number of research articles on model and modeling published in the journal each year

Year	Number(%)	Year	Number(%)
1989	1 (1.2)	2007	6 (7.0)
1994	1 (1.2)	2008	6 (7.0)
1995	1 (1.2)	2009	7 (8.2)
1998	1 (1.2)	2010	1 (1.2)
1999	1 (1.2)	2011	4 (4.7)
2000	1 (1.2)	2012	10 (11.8)
2002	2 (2.3)	2013	5 (5.9)
2003	1 (1.2)	2014	5 (5.9)
2004	5 (5.9)	2015	6 (7.0)
2005	4 (4.7)	2016	12 (14.1)
2006	5 (5.9)		
계		85 (100.0)	

Table 5. Analysis about the research participants in the model and modeling-related researches in science education

	89	94	95	98	99	00	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	합계(%)
학생	초등학생				1				1								1	2			2	7(8.0)
	중등학생					1			2	1	2		1	2	1	1	6		4	2	6	29(33.0)
	고등학생		1	1			1	1	1	2	2	4	3	2			1			3	1	23(26.1)
	대학생	1										1					2	1				5(5.7)
교사	예비 교사					1			1		1		2	1		3		1	1	1	2	14(15.9)
	현직 교사				1		1		1			1		2			1	1			2	10(11.3)
계	1	1	1	1	2	1	2	1	6	3	5	6	6	7	1	4	11	5	5	6	13	88(100.0)

을 설계 할 수 있고(Justi & Gilbert, 2002; van Driel & Verloop, 1999), 모델 및 모델링에 대한 교사를 대상으로 하는 교육의 기회가 제공되어야 한다. 따라서 과학교육에서 모델 및 모델링에 대한 연구 대상의 경향성에 대한 분석을 통해 향후 모델 및 모델링에 대한 연구 대상 선정의 방향성을 제시할 수 있다.

3. 연구 분야 및 연구 설계 분석 결과

모델 및 모델링과 관련된 과학교육 논문의 연구 분야에서 과학 및 물리, 화학, 생명과학, 지구과학 분야로 나누어 분석하였다. 분야별 논문 수와 비율은 지구과학 25건(29.4%), 화학 24건(28.2%), 생명과학 17건(20.0%), 물리 11건(13.0%), 과학 8건(9.4%) 순으로 논문이 발표되었다(Table 6).

연구 분야별로 구체적인 연구 경향을 살펴보면 다음과 같다.

지구과학 분야에서는 특정한 개념을 대상으로 한 모델에 대한 연구가 많았다. 계절변화와 그 원인에 대한 연구, 달과 태양을 포함한 천체와 관련한 연구가 많았으며, 그 다음으로 학생들의 정신 모델에 관련된 연구와 과학 영재 학생들을 대상으로 한 논문이 있었다. 계절 변화나 그 원인과 관련된 모델 연구가 7건(28.0%) 게재되었는데, 계절 변화는 누구나 일상적으로 경험하는 자연 현상이지만, 직접적으로 조작할 수 없고 발생하는 인과적인 과정을 쉽게 이해하기 어렵고, 오개념을 많이 가질 수 있기 때문이다(Kim, Yang, & Lim, 2013; Yoo & Oh, 2016). 또한 이에 대해 학생들과 초등 예비 교사들을 대상으로 모델을 적용하여 이들의 개념 변화를 분석한 연구가 많았다(Chae, 1998; Chae & Ha, 2002; Chae & Lim, 2011; Kim, Yang, & Lim, 2013; Oh & Kim, 2016; Yoo & Oh, 2016). 천체는 우리에게 친숙하고 호기심을 주지만, 그 운동은 매우 복잡하고 직접 관측하기 어려워서 학생들의 이해를 높이기 위해서 모델의 활용이 필요하기 때문에 이러한 점을 고려한 달의 위상 관련 모델에 대한 연구(Chae, 2008, Yu

et al., 2012a)와 태양계 관련 모델에 대한 연구(Chae, 2004; Kim et al., 2008)가 있었다. 또한 학생들이 자연 현상이나 사건에 대해 예측하고 설명하는 과정을 볼 수 있는 정신 모델과 관련된 연구(Jeong, 2007; Kim, Lee, & Lee, 2016; Lee, 2006, 2008; Park, 2009, 2011, 2015)들이 있었다. 또한 과학 영재 학생들을 대상으로 하여 모델링 능력 변화를 분석한 연구(Park et al., 2016)와 모델을 이용한 사회적 구성 수업과 관련하여 과학 영재 학생들의 상호작용 역할 분석한 연구(Yu et al., 2012b)가 있었다.

화학은 거시적, 미시적, 상징적 수준에서의 종합적인 이해가 필요한데(Yoon & Lee, 2014), 중등학교 이상에서 다루어지는 많은 화학 개념들은 눈에 보이지 않아서 직접 관찰하거나 지각할 수 없는 추상적인 개념이다(Osborne & Cosgrove, 1983). 이러한 추상성으로 인해 학생들은 오개념이 발생할 가능성이 많기 때문에(Treagust, Chittellborough, & Mamiala, 2003), 학생들의 이해를 위해 모델 및 모델링을 적용하려는 시도가 있었다. 화학에서 이루어진 전체 연구 중 11건(45.8%)이 물질의 입자인 원자 모델과 분자 모델에 대한 연구이다(An & Kim, 2011; An, Shin & Kim, 2012; Chue, Tan, & Kim, 2007). 또한 원자나 전자배치에 대한 이해를 바탕으로 한 이온과 전기 도금(Jang, Ko, & Kang, 2012; Kim et al., 2012) 그리고 기체의 확산 등의 분자운동(Cho & Lee, 1994; Ha, Lee, & Kang, 2009)과 상태변화와 에너지에 관한 연구(Kim et al., 2012)가 4건(16.7%), 화학반응과 관련된 연구(Lee et al., 1989; Paik et al., 2010; Park et al., 2014; Shim et al., 2015)가 4건(16.7%) 이루어졌다. 특히 원자 모델은 시간에 따라 모델이 변화한 과정을 포함하기 때문에 과학의 본성에서의 잠정성, 주관성과 관련성이 깊으며, 모델 사용의 중요성이 크다고 볼 수 있다(An & Kim, 2011). 그 다음으로 모델 및 모델링 활동에 대한 인식 조사 연구가 많았다. 과학고 학생들을 대상으로 한 인식 조사 연구(Ha, Lee, & Kang, 2009)와 대학생들을 대상으로 한 인식 조사 연구(Jang, Ko, & Kang, 2012)가 있었고, 초등 예비 교사를 대상으로

Table 6. Analysis about the research fields in the model and modeling-related researches in science education

	89	94	95	98	99	00	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	합계(%)
물리					1					1			2	1		1	1	1	2	1		11(13.0)
화학	1	1				1		1	2	2	1	1		1	1	1	3	1	1	3	3	24(28.2)
생명과학			1				1				1	2		3			5	1	1	1	1	17(20.0)
지구과학				1			1		1		2	3	3	1		2	2	2		1	6	25(29.4)
과학									2	2			1	1							2	8(9.4)
계	1	1	1	1	1	1	2	1	5	4	5	6	6	7	1	4	10	5	5	7	11	85(100.0)

Table 7. Analysis about the research design in the model and modeling-related researches in science education

	89	94	95	98	99	00	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	합계(%)	
양적		1	1	1	1	1	2		4	3	2	1	1	1		1	2				2	24(28.2)	
질적	1								1	1	2	1	4	4		2	5	3	2	3	3		32(37.7)
혼합								1			1	4	1	2	1	1	3	2	3	3	7		29(34.1)
계	1	1	1	1	1	1	2	1	5	4	5	6	6	7	1	4	10	5	5	6	12		85(100.0)

한 연구(Kim, Joung, & Jang, 2013)와 예비과학교사를 대상으로 한 연구(An & Kim, 2011)가 있었다. 또한 모델의 사회적 구성과정에서 소집단 활동을 분석한 연구(Park et al., 2014; Shim et al., 2015; Yang et al., 2016)가 있었다. 대학생의 경우 모델에 대한 경험이 제한적이어서 화학에서 사용되는 모델의 추상적인 이해를 어려워한다는 선행연구에 근거하여(Ingham & Gilbert, 1991), 모델을 구성하고 평가하고 수정하는 과정을 의미하는 모델링에서 대학생인 예비 교사들의 모델링에 대한 인지과정을 분석한 연구(Lee, Cho, & Nam, 2015), 1년 동안 예비 교사들의 논의기반 모델링 수업을 진행하여 이들의 모델링 능력 변화를 설명, 비교, 추상, 표식의 4개 영역으로 분석한 연구(Kang, Nam, & Cho, 2016)가 있었다.

생명과학 분야에서는 특정 과학 개념에 대한 모델에 관한 연구가 11건(64.7%)이었다. 이 중에서 가장 많은 것은 혈액 순환 개념과 관련한 연구이며, 혈액 순환을 그림 등의 시각적 모델을 활용하여 제시한 연구가 4건 있었다(Kim & Kim, 2007a, b; Lee et al., 2012; Kang et al., 2012). 혈액은 심장이나 혈관과 같은 기관 수준에서 모세혈관 같은 미세한 수준까지 이르는 복잡한 상호 작용이 이루어지는 순환계로 추상적이고 역동적인 물질 교환 기작 과정이 포함되어 있기 때문에 모델이 필요하다고 밝히고 있다(Kim & Kim, 2007a). 그 외 나머지 7건은 확산과 삼투에 관한 실험 모델(Cho, 1995), 염색체 모델(Kim et al., 2002), 초파리 유전 실험 모델(Chang & Kim, 2014), 세포 분열 모델(Lee & Kim, 2015), 눈에 관한 비유 모델(Hwang, Han, & Kim, 2016)에 관한 연구가 이에 해당한다. 그 다음으로는 중등 과학 교과서의 생명 영역에서 제시된 과학적 모델들의 유형 분석 연구(Kim & Kim, 2009), 모델을 활용한 생물 수업연구에서 경력 교사의 수업 전문성 발달에 영향을 미치는 요인을 알아보기 위한 인식조사 연구(Kang & Kim, 2009b), 경력교사의 수업 전문성에 대한 효과분석 연구(Kang & Kim, 2009a), 고등학교 모델 탐구 학습을 위한 홈페이지 개발을 통한 효과 분석 (Kim, Moon, & Son, 2006), 모델 및 모델링이 생물을 전공하는 대학생의 비판적 사고력에 미치는 인식 조사 연구(Partosa, 2012), 생물 모델 과정에서 지식과 창의성의 관계 분석 연구(Cho & Kim, 2012)가 있다.

물리 분야에서는 사고 모델을 포함한 정신 모델 관련 연구(Lee, 1999; Lee, 2015; Lee & Kim, 2008; Park et al., 2006; Park & Lee, 2008)가 5건(45.5%) 진행되었다. 물리에서는 힘과 운동에 대한 기본적인 이해와 가상적인 힘에 대한 개념적 지식과 고차원적 사고능력과 같은 과정적 지식이 필요하다는 이유로 이를 이용하여 정신모델로 학생들의 변화를 살펴보고자 하였다(Park & Kim, 2008). 그 외 모델 수정 활동이 개념 학습 성취도에 미치는 효과 분석(Kim, Kim, & Kim, 2009), 초등 예비 교사의 과학적 모델에 대한 이해의 변화 분석(Yoon, 2011), 소집단 논의 과정에서 추론의 생성 수준과 설명적 모델 생성

관계의 분석(Ko & Yang, 2013), 예비 초등 교사들의 과학 모델 평가의 기준 선정(Oh & Lee, 2014), 원자 모델인 보어 모델에 대한 문헌 연구(Kim, 2015), 초등학생들을 대상으로 모델의 다중표상적 관점을 위해 그리기의 그래픽 요소를 강조한 인포그래픽 수업이 과학적 모델 사용 활성화에 미치는 효과 분석(Jung & Kim, 2016)이 있었다.

과학에서는 학생들의 개념 변화 연구(Park & Lee, 2004), 과학적 모델에 대한 중·고등학생들의 인식 분석(Cha, Kim, & Noh, 2004), 예비 초등 교사들의 인식 분석(Oh, 2009)이 있었다. 또한 과학 영재 프로그램에서의 과학적 모델 분석(Shin, Chun, & Choe, 2005)과 고등학교 학생들의 모델 구성 활동이 과학의 본성에 미치는 영향 분석(Cho, Kim, & Hong, 2008), 중학교 학생들을 대상으로 하여 소그룹 활동의 논의기반 모델링 전략의 개발과 이 전략의 적용 후 효과 분석(Cho, Nam, & Lee, 2014; Cho & Nam 2014) 등이 있었다.

모델 및 모델링 관련 연구의 연구 설계 경향을 살펴 본 결과는 Table 7에 나타난 바와 같이 질적 연구가 32건(37.7%)으로 가장 많았고, 그 다음으로는 혼합 연구 29건(34.1%), 양적 연구 24건(28.2%) 순으로 나타났다. 질적 연구는 모델 활동을 통한 정신 모델의 변화를 분석한 연구(Kim, Lee, & Lee, 2016; Kim, Yang, & Lim, 2013; Lee, 2015; Lee & Kim, 2008; Oh & Kim, 2016; Park, 2009; Park et al., 2006; Park & Lee, 2004)가 많았고, 양적 연구에는 모델 및 모델링 활동 적용 전후의 효과를 분석한 연구(Chae, 1998; Chae & Ha, 2002; Cho, 1995; Cho & Lee, 1994; Jung & Kim, 2016; Kim, 2000; Kim et al., 2002; Lim, 2005; Park & Paik, 2004; Shin & Woo, 2016)가 많았으며, 그 다음으로 인식 조사 연구(An & Kim, 2011; Oh, 2009)가 있었다. 많은 연구에서 실험, 문헌 고찰, 조사 연구를 통한 연구 결과의 양적 통계 처리와 함께 면담 등의 질적 연구 방법을 함께 사용하는 경우가 많았기 때문에 혼합 연구 방식을 사용한 비율이 높게 나타났다. 2004년 이후에 질적 연구가 매년 비교적 지속적으로 연구되고 있으며, 2006년 이후에 혼합 연구 설계방법이 지속적으로 사용되고 있다.

4. 연구 방법 및 자료 수집 분석 결과

모델과 모델링과 관련된 과학교육 연구 논문의 연구 방법은 이론고찰 및 내용 분석, 인식조사, 프로그램 개발, 적용 및 효과분석으로 분류하여 분석하였다. 모델 및 모델링 관련 프로그램이나 전략을 적용하여 그 효과를 분석한 논문이 54건(43.6%)으로 가장 많았으며, 모델과 모델링에 관한 프로그램 개발 연구가 42건(33.9%), 모델과 모델링에 관한 교사와 학생들의 인식 조사 연구가 20건(16.1%), 모델과 모델링에 관한 이론적 고찰 및 내용에 대한 분석을 다룬 연구가 8건(6.4%)이었다(Table 8).

Table 8. Analysis about the research methods in the model and modeling-related researches in science education

	89	94	95	98	99	00	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	합계(%)	
이론고찰 및 내용 분석								1	1	2		1		1			1			1		8(6.4)	
인식조사					1			1	1	1	1	3	2	3		1	2	1			3	20(16.1)	
프로그램 개발	1	1	1	1			2		2	1	2	2	2	2	1	3	3	4	4	4	4	6	42(33.9)
적용 및 효과분석		1	1	1		1	2		3	1	4	2	3	3	1	3	7	4	4	5	8	54(43.6)	
계	1	2	2	2	1	1	4	2	7	5	7	8	7	9	2	7	13	9	8	10	17	124(100.0)	

모델 및 모델링에 대한 이론적 고찰 및 내용 분석 연구에서는 교과서에서 제시된 과학적 모델에 대한 유형 분석(Kim *et al.*, 2012; Kim & Kim, 2009; Oh, Jon, & Woo, 2007)과 교과서의 특징 개념에 대한 비교 분석(Kim, 2003; Kim, 2015)이 있었으며, 영재 프로그램에서 사용되는 과학적 모델에 대한 분석이 있었다(Shin, Chun, & Choe, 2005).

모델 및 모델링에 대한 인식조사 연구는 교사를 대상으로 한 연구(An & Kim, 2011; Kim, Joung, & Jang, 2013; ; Lee, 2008; Seung, Lee & Yeo, 2016)와 학생을 대상으로 한 연구(Cha, Kim, & Noh, 2004; Park, 2009)가 있었다. 과학과 과학교육에서 사용되는 모델에 관한 예비 초등 교사들의 인식을 조사하여 분석한 결과, 모델을 물리적 실재를 나타내는 것으로 인식하고 있으나, 추상적인 아이디어나 가설을 나타내는 것이라는 인식은 적었다는 결과가 나왔다(Oh, 2009). 초·중등학교 현직 교사들을 대상으로 모델 및 모델링에 대한 연수를 실시한 후에 현직 교사의 모델과 모델링에 대한 인식을 조사한 결과, 교사들은 모델을 가시화나 표상화의 도구로서 인식하고, 연수 인원의 절반 정도만 모델의 사용이 과학탐구 과정에서 핵심적인 역할을 한다고 인식하는 한계를 보였으나 연수 후 확장된 모델 및 모델링 개념을 가지게 되었다(Kang, 2017). 이러한 결과를 바탕으로 모델을 활용한 효과적인 과학 수업을 위해서는 과학적 모델에 관한 교사들의 인식 수준을 높이는 것이 선행되어야 한다. 또한 중·고등 학생들을 대상으로 과학에서 모델에 대한 이해를 알아보는 5점 리커트 척도의 설문조사를 통해 분석한 결과, 학생들은 모델이 다중표상으로 나타난 설명방법이라는 것을 이해하였으며, 과학 수업에서 모델의 역할, 의미, 제한점에 대한 설명의 필요성을 제안하였다(Cha, Kim, & Noh, 2004).

모델 및 모델링에 관한 프로그램 개발 연구는 프로그램 전략 개발(Cho, Nam, & Lee, 2014; Lee, Nam, & Cho, 2015), 모델 및 모델링을 위한 컴퓨터 애니메이션 교수자료 개발(Park & Paik, 2004), 홈페이지 개발(Kim, Moon, & Son, 2006), 실험모델 제안(Chae, 1998; Chae & Ha, 2002; Jin *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2002), 교수학습 지도안 개발(Han & Kim, 2013) 연구로 구분되었다. 대부분의 경우 프로그램 개발 후에 적용 및 효과분석 연구가 같이 이루어졌으나 프로그램 제안에서 끝나거나(Kim *et al.*, 2008; Kim, Joung, & Jang, 2013; Lee *et al.*, 1989), 기존에 개발된 프로그램을 적용하거나 실험모델을 탐구 활동의 일환으로 적용하고 그 효과를 분석한 연구(Chae, 2004; Cho, Kim, & Hong, 2008; Ko & Yang, 2013; Yu *et al.*, 2012a)가 있다.

모델 및 모델링 관련 연구의 자료 수집은 Table 9에서 보듯이 연구

대상에 대한 면담이 32건(17.9%), 설문지 31건(17.3%), 검사지 31건(17.3%), 수업활동에서 이루어지는 과제나 보고서 22건(12.3%), 소그룹 활동의 담화 녹음 및 전사 자료 21건(11.7%), 수업에서 전체 학급이나 소그룹에 대한 비디오 촬영 17건(9.5%), 연구자의 관찰 11건(6.2%), 중간 또는 기말고사의 학업성취도나 교사수업 자료 등을 포함한 기타 자료 7건(3.9%), 교과서 및 교사지도서의 문헌 7건(3.9%)의 순서로 나타났다.

면담은 대부분 설문지, 검사지, 소그룹 활동의 담화 녹음 및 전사 자료와 함께 수집되어 분석되는데, 면담만 이루어진 연구에는 지구과학 개념에 대한 예비 교사들의 이해를 정신 모델을 통해 살펴본 연구(Lee, 2008), 현직 교사의 사고 과정에서 나타나는 모델의 역할을 분석한 연구(Oh, 2016), 예비 교사를 대상으로 모델링을 강조한 논의 기반 수업에서 이들의 인지 과정을 분석한 연구(Lee, Cho, & Nam, 2015)가 있었다.

설문지는 모델링 과정에서 과학개념 이해의 조사(Chae, 2004; Kim, 2003), 과학적 태도의 조사(Cho, 1995) 등을 알아보기 위해 사용되기도 하였다. 또한 모델에 대한 학생들의 견해를 조사하기 위해 SUMS(Students' Understanding of Models in Science)의 5점 리커트 척도 설문지를 활용하여 모델의 다양성, 모델의 실재성, 설명 도구로서의 모델, 모델의 유용성, 모델의 변화가능성의 5가지 범주에 대해서 조사하였다(Cha, Kim, & Noh, 2004). 학생들의 모델과 모델에 관한 인식의 변화를 살펴보기 위해 VOMMS(My View of Models and Modeling in Science) 설문지를 이용한 연구(Park *et al.*, 2006)와 예비 과학교사들의 과학의 본성에 대한 인식을 원자모델에 대한 지식을 사용한 설문지를 분석한 연구(An & Kim, 2011)가 있었다. 모델을 글과 그림으로 표현하게 한 설문지를 통해 모델의 사용 능력을 알아본 연구(Kim, Joung, & Jang, 2013; Kim, Lee, & Lee, 2016; Yoon, 2011)가 있었다.

또한 검사지를 활용하여 자료를 수집한 연구는 주로 개념 검사지가 많이 사용되었다(Chang & Kim, 2014; Cho, 1995; Cho & Lee, 1994; Cho & Nam, 2014; Jin *et al.*, 2004; Kang, Nam & Cho, 2016; Kim *et al.*, 2002; Kim & Kim 2007; Kim, Kim, & Kim, 2009; Lee, 2015; Lee & Kim, 2008; Lee & Shin, 2015; Park & Lee, 2008; Park & Paik, 2004). 그 외에는 흥미 검사지(Kang, Kwack, & Noh, 2006; Kim, Moon, & Sun, 2006), 창의성 검사지(Cho & Kim, 2012), 학습양식 검사지(Park, 2011) 등을 이용하였다.

수업활동에서 이루어지는 과제나 보고서의 경우 설명과 함께 그림을 그리는 과제를 통해 자료 수집을 한 연구(Kim & Kim 2007;

Table 9. Analysis about the data collection in the model and modeling-related researches in science education

	89	94	95	98	99	00	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	합계(%)
면담											3	5	3	5		1	5	3		1	6	32(17.9)
설문지			1	1		2		1	2	2			2	2		2	5	1	1		9	31(17.3)
검사		1	1		1		1		2	1	5	3	2	2		1	2		3	3	3	31(17.3)
수업활동 (과제, 보고서)									1		1	2		2	1	3	5		2	2	3	22(12.3)
소그룹 담화 녹음											1			1			6	3	3	3	4	21(11.7)
비디오 촬영												2		2		1	4	2	3	1	2	17(9.5)
연구자 관찰														2		2	2	3	1		1	11(6.2)
문헌 (교과서, 지도서)								1	1	1		1		1			1			1		7(3.9)
기타										1				1			1	2	1		1	7(3.9)
계	0	1	2	1	1	2	1	2	6	5	10	13	7	18	1	10	31	14	14	11	29	179(100.0)

Lee, 2015; Park, 2009)와 서술형 및 실습 형태의 과제 수행을 통해 자료 수집을 한 연구(Lee, 2006)가 있었다. 또한 수업활동 중에 보고서를 통한 자료 수집은 모델링 능력 검사를 위해 다중표상을 포함한 자신만의 설명을 보고서로 수집한 연구(Cho & Nam, 2014)와 설명과 그림을 수집한 연구(Cho & Kim, 2012; Park, 2015)와 학습자의 그림을 수집한 연구(Kang, Nam, & Cho, 2016; Park, 2011)가 있었다.

5. 메타모델링 지식의 요소 분석 결과

모델과 모델링 관련 연구를 메타모델링 지식의 요소의 측면에서 살펴본 결과, 모델의 목적에 대해서 분석한 연구가 73건(57.5%)으로 가장 많았고, 그 다음으로 모델링 과정을 다룬 연구 22건(17.3%), 모델의 다양성을 다룬 연구 17건(13.4%), 모델의 본성을 다룬 연구 15건(11.8%) 순이었다(Table 10).

모델 및 모델링에 대한 메타모델링 지식의 요소에서 모델의 목적은 관찰한 자연 현상에 대한 설명 또는 예측을 위해 자신이 가진 개념과 현상을 연결지어 표현하여 다른 사람과 의사소통하는 것을 의미한다. 모델의 목적에 대한 연구는 모델과 모델링을 수업의 한 부분으로 적용하여 과학지식을 포함한 개념의 변화를 보거나, 단편적으로 실험 모델이나 분자 모델 등에 대한 학생들과 교사들의 모델의 목적에 대한 인식을 조사하거나, 소그룹 활동에 이를 단편적으로 이용하여 담화 양상, 규범 제정 등을 분석한 연구가 포함된다. 이 중 가장 많은 것은 모델과 모델링의 목적 중 하나인 개념 변화에 초점을 맞춘 연구로 37건(50.7%)이었다. 교사와 학생이 모델과 모델링의 목적에 대해 인식하는 정도를 설문지를 이용하여 조사한 연구나 교과서에 모델의 목적이 드러난 정도에 대해 분석한 연구도 8건(11.0%) 나타났다(An & Kim, 2011; Cha, Kim, & Noh, 2004; Han & Kim, 2013; Lee et al., 2005; Oh, 2009). 모델과 모델링을 소그룹 활동의 일환으로 이용하여 논의 과정의 담화 양상을 분석하거나 규범 제정 등에 대해 연구한 논문이 8건(11.0%)이었다. 이러한 논문들은 모델과 모델링을 학습의 목적으로 사용하기 보다는 소그룹 활동의 한 수단으로 이용하는 데 그치고 있다. 이에 반해 모델과 모델링을 교수학습 전략으로 도입하여 모델링 과정을 통해 모델의 목적과 역할을 이해하도록 하고 학생들의 모델링 능력이나 수준을 평가하는 연구는 Yoon (2011)의

연구로 시작되었다. 이 연구는 예비 초등 교사를 대상으로 하여 과학적 모델 중심 탐구 활동이라는 모델에 대한 평가 및 수정을 포함한 모델링 과정을 통해 모델의 본성과 모델의 목적에 대한 이해의 변화를 분석하였다(Yoon, 2011). 이후, 대학생들을 대상으로 모델링 탐구 실험을 적용하여 과학자의 사고 과정을 경험하고 모델의 본성과 목적에 대한 이해를 바탕으로 한 학생들의 모델링 사고 유형을 분석한 연구(Jang, Ko, & Kang, 2012)와 중학생들을 대상으로 논의-기반 모델링 전략을 통해 모델링 과정을 거치면서 명시적인 모델링을 통해 학생들의 모델링 수준을 알아본 연구(Cho & Nam, 2014), 대학생들의 일반화학실험 수업에서 모델링 과정을 적용한 연구(Lee, Nam, & Cho, 2015), 집단내의 협업을 통한 과학적인 개념과 자신들의 아이디어에 대한 설명인 정신모델로 나타의 공유에 대한 연구(Lee, 2015), 중학생들을 대상으로 과학적 모델의 사회적 구성 수업 적용 후 모델링 능력 검사를 통한 모델링 능력의 변화에 대한 연구(Park et al., 2016) 등이 이루어졌다.

메타모델링 지식 요소의 모델링 과정에 대해 많은 연구자들은 기본적으로 모델을 만들고, 평가하고, 수정하여 적용하는 GEM 과정(Generation-Evaluation-Modification)으로 제시하였다(Clement, Rea-Ramírez, & Mímez-Oviedo, 2008; Gobert et al., 2011). 이와 같이 모델링의 과정에는 모델을 만드는 과정뿐만 아니라 이에 대한 평가와 수정의 과정이 매우 중요하다. 이 연구에서 분석한 모델링 과정에 대한 22건의 연구 중 14건(63.6%)은 학생들에게 의사소통 과정을 통해 자신의 모델을 평가하고 수정하면서 재구성하고 자신의 설명을 바꾸는 것을 포함하고 있었다. 그러나 8건(36.4%)의 연구는 평가 및 수정의 과정이 포함되지 않은 연구로 모델을 이용한 소집단 활동의 특징을 다룬 연구(Shim et al., 2015; Yang et al., 2016)나 실험 모델의 제안(Cho, 1995; Lee et al., 1989)과 표현 모델의 제안(Han & Kim, 2013)에 한정된 연구들이었다.

메타모델링 지식의 요소 중 모델의 다양성은 같은 현상에 대해 다양한 표현 방법이 있다는 것을 이해하는 것이다. 이에 대한 연구는 교과서와 프로그램을 다중 표상적 측면에서 분류한 연구(Cha, Kim, & Noh, 2004; Kim et al., 2012; Oh, Jon, & Woo, 2007)가 있고, 모델과 모델링의 적용 후 다중 표상적 측면에서의 인식 변화를 분석한 연구(Ha, Lee, & Kang, 2009; Oh, 2009)와 중학생들이 보일 법칙과 샤를 법칙에서 나타나는 물질의 입자성에서 그리기라는 다중표상

Table 10. Analysis about the elements of metamodeling knowledge in the model and modeling-related researches in science education

		89	94	95	98	99	00	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	합계 (%)
모델의 본성										2	0		1		3		2	3				4	15 (11.8)
모델의 다양성										2	1		2		3		1	1		2	2	3	17 (13.4)
모델의 목적			1	1	1	1	1	2	1	4	3	5	4	5	7	1	4	8	5	4	5	10	73 (57.5)
모델링 과정	평가	x	1		1							1	0	1				2			1	1	8 (6.3)
	수정포함	o										1	2				1	1		4	1	4	14 (11.0)
계			1	1	2	1	1	2	1	8	4	7	9	6	13	1	8	13	7	10	9	22	127 (100.0)

의 적용에서 나타나는 학생들의 정신모델을 분석한 연구(Kang, Kwack, & Noh, 2006)와 초등학교 학생들의 먹이 그물에 대해 그림 등의 표현 모델로 나타내는 연구(Han & Kim, 2013) 등이 있었다. 또한 고등학생들이 세포 분열이라는 과학적 지식에 대해 개념 이해 수준과 모델링 수행 수준을 표상하는 능력으로 구분한 연구(Lee & Kim, 2015)와 중학생을 대상으로 하여 모델과 모델링에 대한 교수학습 전략의 개발에서 다중 표상적 측면을 포함하고 적용 후 효과를 본 연구(Cho & Nam, 2014; Cho, Nam, & Lee, 2014)가 있었다.

모델의 본성에 대해 다룬 논문은 크게 모델 및 모델링의 본성에 대한 교사와 학생들의 인식조사와 관련된 논문과 모델과 모델링을 통해 개념, 모델링 능력, 수업 전문성에서의 본성의 변화를 포함한 효과를 분석한 논문으로 구분 할 수 있다. 학생들의 모델의 본성에 대한 인식변화를 살펴본 논문은 중·고등학생들을 대상으로 한 연구(Cha, Kim, & Noh, 2004), 과학고 학생들을 대상으로 한 연구(Ha, Lee, & Kang, 2009), 대학생들을 대상으로 한 연구(Jang, Ko, & Kang, 2012; Partosa, 2012), 고등학생과 대학생 모두를 대상으로 한 연구(An, Shin, & Kim, 2012)가 있다. 교사를 대상으로 한 연구는 예비 교사를 대상으로 한 연구(An & Kim, 2011; Oh, 2009)가 있었다. 모델과 모델링을 적용한 효과를 분석한 논문은 학생을 대상으로 한 논문(Kim, Choe, & Kim, 2016; Oh, 2007)과 영재학생을 대상으로 한 논문(Park *et al.*, 2016)이 있고 예비 교사를 대상으로 한 논문(Kang, Nam, & Cho, 2016; Yoon, 2011)과 현직 교사를 대상으로 한 논문(Kang & Kim, 2009a; Kang & Kim, 2009b)이 있다. 메타모델링 지식은 과학에 대한 이해를 위해 필수적인 요소인데, 국내의 모델 및 모델링 관련 연구들은 메타모델링 지식의 요소 측면, 즉 모델의 본성, 모델의 다양성, 모델의 목적, 모델링 과정 측면에서 살펴본 결과, 이들 중 일부 요소만 다룬 논문이 대부분이었다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 모델 및 모델링 관련 연구 논문의 연구 대상 경향, 연구 분야 및 연구 설계 경향, 연구 방법 및 자료 수집 경향, 메타모델링 지식에 따른 경향을 분석하였다. 이러한 분석을 통해 초등학교, 중학교, 고등학교, 대학생과 예비 교사, 현직 교사의 연구 대상별로 진행된 연구의 경향이 어떠한지, 과학의 어떤 분야에서 모델 및 모델링

연구가 많이 진행되고 있으며, 앞으로 어떤 분야의 연구가 더 필요한지 알 수 있을 것이다. 또한 연구 설계 및 연구 방법과 이를 위한 자료 수집이 어떻게 이루어졌는지, 그리고 메타모델링 지식의 요소에 대한 분석을 통해서 앞으로 어느 연구가 더 필요한지 제안할 수 있을 것이다. 이러한 연구 목적에 따라 학술검색 데이터베이스를 이용하여 검색된 1989년에서 2016년까지 27년간 모델 및 모델링 관련 연구 총 85편을 대상으로 분석한 연구의 결론 및 후속 연구에 대한 제언은 다음과 같다.

모델 및 모델링 관련 연구는 학생을 대상으로 한 연구가 전체의 약 3/4정도이고, 예비 교사를 포함하여 교사를 대상으로 한 연구는 1/4정도였다. 특히 학생을 대상으로 한 연구 중에 절반 이상은 중·고등학생을 대상으로 하여 특정 대상에 연구가 집중되는 경향이 있다. 모델 및 모델링 활동을 통해 관찰한 자연 현상을 설명하거나 예측하도록 하여 학생들의 개념 변화를 촉진할 수 있으며, 이는 과학 교육에서 과학적 탐구 및 과학적 소양을 함양시키기 위한 핵심 활동이 될 수 있고, 또한 이러한 과정에서 과학적 의사소통이 이루어진다(Kim *et al.*, 2013; Mandinach & Cline, 1993; Schwarz *et al.*, 2009; Watson, Swain, & McRobbie, 2004). 과학 교사는 수업에서 모델 및 모델링에 대한 이해를 통해 학생들의 모델링 활동을 이끌어야 한다. 그러나 과학 교사 대상 연구에서 교사들은 과학적 모델이 과학적 본성이 아니라고 여기고(Justi & Gilbert, 2002), 모델링 활동을 지도하는 방법에 대해서 제대로 모르거나 모델과 모델에 관한 학생들의 생각과 능력에 대해 잘 모르기 때문에 실제 교수활동에 모델 및 모델링 활동을 적극적으로 반영하고 있지 못하고 있다(van Driel & Verloop, 1999, 2002)고 보고하고 있다. 초·중등학교 현직 교사들을 대상으로 모델 및 모델링에 대한 연수를 실시하고 이들의 모델과 모델링에 대한 인식을 조사한 결과, 교사들이 모델을 활용한 수업 적용 계획을 세운다는 결과(Kang, 2017)로부터 모델과 모델링을 학교 과학수업에 적극적으로 적용하기 위해서는 이에 대한 교사를 대상으로 한 연구가 필요하다고 본다.

모델과 모델링과 관련된 과학교육 연구의 분야에서 물리, 화학, 생명과학, 지구과학 및 과학 분야별 연구 중에서 절반 이상이 지구과학과 화학에서 이루어졌다. 과학교육에서 학생들이 모델과 모델링을 쉽게 인식하고 여러 교과에서 사용할 수 있는 능력을 키울 수 있도록 특정 교과의 분야가 아니라 다양한 연구 분야에서 연구가 진행되어야

할 것이다.

모델 및 모델링 관련 연구의 연구 설계 경향을 살펴 본 결과는 질적 연구가 가장 많았고, 그 다음으로는 혼합 연구, 양적 연구 순으로 나타났으며, 이들의 차이는 크지 않았다. 혼합 연구는 모델과 모델링에 대한 실험, 문헌 고찰, 조사 연구의 여러 논문들에서 연구 결과의 양적 통계 처리와 함께 면담 등의 질적 연구 방법을 함께 사용하는 혼합 연구 방식을 사용하였다.

모델과 모델링과 관련된 과학교육 연구 논문의 연구 방법 별 논문 수를 분석한 결과, 선행연구 등에서 이미 개발된 모델 및 모델링 관련 프로그램이나 전략을 적용하여 그 효과를 분석한 논문이 가장 많았으며, 모델과 모델링에 관한 프로그램을 개발한 연구, 모델과 모델링에 관한 교사와 학생들의 인식 조사 연구, 모델과 모델링에 관한 이론적 고찰 및 내용에 대한 분석을 다룬 연구 순으로 이루어졌다. 이렇듯 모델 및 모델링에 대한 연구 방법은 대부분 선행연구 등에서 개발된 모델 및 모델링 관련 프로그램을 적용하는 연구들이다. 그러나 메타 모델링 지식과 통합된 모델링 실습은 과학적 현상을 다루는 것이기 때문에 특정한 과학적 현상과 관련한 특정한 내용 영역을 다루게 되고, 이러한 내용 특이성은 학습에 결정적인 영향을 미치게 된다(Tabak & Reiser, 2008). 따라서 학생들의 학습을 위해서는 특정한 과학 현상이나 개념에 대한 모델과 모델링을 적용한 수업전략을 개발하고 이를 실제 수업에 적용하여 효과를 알아보는 연구가 이루어져야 한다고 본다.

모델 및 모델링 관련 연구의 자료 수집은 연구 대상에 대한 면담, 설문지, 검사지, 수업활동에서 이루어지는 과제나 보고서, 소그룹 활동의 담화 녹음 및 전사 자료, 수업의 전 학급이나 소그룹에 대한 비디오 촬영, 연구자의 관찰, 중간 또는 기말고사의 학업성취도나 교시수업 자료 등을 포함한 기타 자료, 교과서 및 교사지도서의 문헌의 순서로 나타났다. 과학교육에서 모델과 모델링의 적용은 교수학습 전략으로 이용되어야 하기 때문에 수업활동에서 이루어지는 과제나 보고서 등을 활용한 결과 분석을 통하여 학생들의 가진 모델링 능력을 분석한 연구가 더 많이 이루어져야 할 것이다.

모델과 모델링 관련 연구를 메타모델링 지식의 요소의 측면에서 살펴본 결과, 메타모델링 지식은 과학교육에서 과학에 대한 이해를 위한 필수 요소인데(Henze, van Driel, & Verloop, 2007), 이들 중 일부 요소만 다룬 논문이 대부분이었다. 메타모델링 지식의 요소 중 가장 많은 연구가 진행된 모델의 목적에 대한 연구는 대부분 모델과 모델링을 교수학습 전략으로 도입하여 모델링 과정을 통해 모델의 목적과 역할을 이해하도록 하기 보다는 소그룹 활동의 한 수단으로 이용하는데 그치고 있다. 이렇듯 모델의 목적을 모델과 모델링을 과학의 본성을 키울 수 있는 과학의 과정으로 인식하지 못하고 수단으로 활용하여 단순히 과학 개념이나 이해의 변화 정도를 알아보는 데 사용되고 있다. 이는 모델 및 모델링 관련 연구에서 이제까지 이루어진 대부분의 연구가 메타모델링 지식을 수업의 전략적 측면에서 고려하기 보다는 학생들의 메타모델링 지식을 모델과 모델링을 평가하기 위한 요소로 이용하거나(Zhang, et al., 2006), 메타모델링 지식의 구성요소 중 일부만을 언급하고 있다는 선행 연구와 일치한다(Gobert et al., 2011; Grünkorn et al., 2014; Justi & Gilbert, 2002; Krell, Reinisch, & Krüger, 2014; Schwarz, 2002; Treagust, Chittellborough, & Mamiala, 2002). 메타모델링 지식은 학생과 교사 모두에게 가장

부족한 개념임에도 불구하고 대부분의 연구에서 이렇게 메타모델링 지식의 일부만을 다루고 있으므로(Krell, Reinisch, & Krüger, 2014) 과학 학습을 위한 메타모델링 지식에 대해서 알고 경험할 수 있는 기회를 학생과 교사에게 제공해야 한다(Cho, Nam, & Oh, 2017). 특히 학생들은 모델의 목적에 대해서 인식하기 어려운데, 이를 돕기 위해서는 모델링 활동을 통해 모델의 역할과 기능에 대해 이해하고 이를 과학학습에 활용하는 능력을 키워야 한다. 그러나 대부분의 연구에서 모델링의 교수학습 방법이 개념 변화만을 위해 활용하는데 그치고 있다. 학생들은 모델과 모델링 활동을 통해 관찰한 자연 현상에 대한 자신의 설명을 다른 사람과 의사소통하면서 자신의 사고를 재구성하는 기회로 사용할 수 있어야 한다. 메타모델링 지식은 과학적 모델 및 모델링에 대한 교수학습을 위한 모델링 활동에서 학생들이 과학을 이해하고(Lederman, 2007) 적극적인 참여를 위한 필수요소이다(Schwarz et al., 2009). 또한 교사는 메타모델링 지식에 대한 이해에 근거하여 학생들이 모델링 활동에서 가지는 아이디어를 이해하고 활동을 도와줄 수 있게 된다. 실제 국내·외 선행연구에서도 메타모델링 지식이 학생과 교사 모두의 모델과 모델링에 대한 이해를 향상시킨다는 결과가 있고(Bogiages, 2014; Ha, Lee & Kang, 2009; Jang, Ko, & Kang, 2012; Yoon, 2011), 특히 교사의 교육학적 내용 지식의 요소이기 때문에 교육과정 자료에 통합되어야 한다고 제안되었다(Davis et al., 2008). 이러한 점에서 모델과 모델링 활동을 위해서는 메타모델링 지식과 그 구성요소인 모델의 본성, 모델의 다양성, 모델의 목적, 모델링 과정, 모델의 평가 및 수정에 대한 이해가 수반되어야 한다. 이를 통해 과학교육에서 과학적 탐구와 학생 중심의 학습을 위한 교수학습 방법의 하나로 모델과 모델링 활동을 제대로 적용할 수 있게 될 것이다. 따라서 과학수업에서 학생들의 모델 및 모델링에 대한 이해 및 수업 전략으로써의 활용 측면 연구와 과학교사의 모델 및 모델링에 대한 이해를 돕기 위한 방법, 교수학습 프로그램의 개발 및 적용에 대한 연구들이 실질적으로 다양하게 이루어져야 한다고 본다.

국문요약

이 연구에서는 국내에서 진행되어 온 모델 및 모델링 관련 연구의 동향을 살펴보기 위한 것이다. 이를 위해 1989년부터 2016년 까지 국내 학술지에 발표된 과학교육 분야의 모델과 모델링 관련 연구 문헌들을 85편을 추출하였다. 이를 연구 대상, 연구 분야 및 연구 설계, 연구 방법 및 자료 수집, 메타모델링 지식 측면에서 분석하였다. 연구 대상 분석에서 중·고등학생을 대상으로 한 연구에 비해 대학생을 대상으로 한 연구가 적었으며, 학생 전체와 비교하여 교사를 대상으로 한 연구는 적었다. 이로부터 교사에 대한 연구가 필요하다고 제안할 수 있다. 연구 분야의 경향을 분석한 결과, 물리, 화학, 생명과학, 지구과학 및 과학 분야별 연구 중에서 절반이상이 지구과학과 화학에서 이루어졌다. 과학교육에서 학생들이 모델과 모델링을 쉽게 인식하고 여러 교과에서 사용할 수 있는 능력을 키울 수 있도록 특정 교과의 분야가 아니라 다양한 분야에서 연구가 진행되어야 할 것이다. 연구 설계 경향을 분석한 결과는 질적 연구가 많았으며, 그 다음으로 혼합 연구, 양적 연구 순으로 나타났다. 연구 방법을 분석한 결과, 선행연구 등에서 이미 개발된 모델 및 모델링 관련 프로그램이나 전략을 적용

하여 그 효과를 분석한 논문이 가장 높았다. 과학교육에서 성공적인 모델링 실습을 위해서는 특정한 과학 현상이나 개념에 대한 모델과 모델링을 적용한 수업전략을 개발하고 이를 실제 수업에 적용하여 효과를 알아보는 연구가 이루어져야 한다고 본다. 메타모델링 지식의 요소의 측면에서 살펴본 결과, 메타모델링 지식의 요소의 측면에서 살펴본 결과, 모델의 목적에 대해서 분석한 연구가 가장 많았고, 그 다음으로는 모델링 과정을 다룬 연구, 모델의 다양성을 다룬 연구, 모델의 본성을 다룬 연구 순이었다. 학생과 교사 모두의 모델 및 모델링에 대한 이해의 향상을 위해서는 메타모델링 지식과 그 구성요소인 모델의 본성, 모델의 다양성, 모델의 목적, 모델링 과정, 모델의 평가 및 수정에 대한 이해가 수반되어야 한다. 따라서 과학수업에서 학생들의 모델 및 모델링에 대한 이해 및 수업 전략으로써의 활용 측면 연구와 과학교사의 모델 및 모델링에 대한 이해를 돕기 위한 방법, 교수학습 프로그램의 개발 및 적용에 대한 연구들이 실질적으로 다양하게 이루어져야 한다고 본다.

주제어 : 모델, 모델링, 메타모델링 지식, 문헌 분석, 연구 경향

References

- An, Y. L., & Kim, H. J. (2011). Recognition of the nature of science by preservice science teachers on the basis of the atomic model. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 31(4), 539-556.
- An, Y. L., Shin, H. S., & Kim, H. J. (2012). Development of views on science questionnaire on the basis of experienced scientific knowledge, atomic model. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(3), 428-445.
- Bogiages, C. (2014). The development of a performance progression for science teachers' implementation of model-based teaching. University of South Carolina - Columbia. (Doctoral dissertation).
- Cha, J. H., Kim, Y. H., & Noh, T. H. (2004). Middle and high school students' views on the scientific model. *Journal of the Korean Chemical Society*, 48(6), 638-644.
- Chae, D. H. (1998). Preservice students concepts change on change in seasons through new models. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 17(1), 23-32.
- Chae, D. H. (2004). The changes of preservice and inservice elementary school teachers' concepts of the solar system based upon their exposure to the earth motion centric solar system model. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 24(5), 886-901.
- Chae, D. H. (2008). The development and application of the new model of moon phases. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 27(4), 385-398.
- Chae, D. H., & Ha, J. H. (2002). The change of preservice teachers' concepts on the solar systems through new models. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 21(1), 43-59.
- Chae, D. H., & Lim, S. M. (2011). The analysis of conception changes of pre-service elementary teachers for 'causes of season change' with disproof-experiment model. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 30(4), 524-534.
- Chamizo, J. A. (2013). A new definition of models and modeling in chemistry' teaching. *Science and Education*, 22(7), 1613-1632.
- Chang, J. E., & Kim, H. B. (2014). Exploring science-gifted middle school students' explanatory models for interpreting data from drosophila breeding experiments. *Biology education*, 42(2), 219-235.
- Chick, N. L., Karis, T., & Kernahan, C. (2009). Learning from their own learning: How metacognitive and meta-affective reflections enhance learning in race-related courses. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 3(1), 16.
- Cho, J. I., & Lee, H. U. (1994). A study on the effect of molecular movement model based instruction on high school students' conceptions of diffusion and osmosis. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 14(3), 293-303.
- Cho, H. S., & Nam, J. H. (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*, 3(6)3, 583-592.
- Cho, H. S., Nam, J. H., & Lee, D. W. (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. S., Nam, J. H., & Oh, P. S. (2017). A review of model and modeling in science education: focus on the metamodeling knowledge. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(2), 239-252.
- Cho, H. W., & Kim, Y. S. (2012). Correlation between the biological knowledge and the creativity in biological modeling. *Biology education*, 40(1), 61-70.
- Cho, J. I. (1995). The use of models and their effect on scientific understanding of diffusion and osmosis, and on scientific attitude. *Biology education*, 23(1), 1-8.
- Cho, J. I., & Lee, H. U. (1994). A study on the effect of molecular movement model based instruction on high school students' conceptions of diffusion and osmosis. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 14(3), 293-303.
- Cho, J. I., Kim, J. H., & Hong, H. H. (2008). Effects of model construction and pattern identification activities on views on the nature of science in the context of science 10 inquiry unit. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 28(8), 955-963.
- Chue, S., Tan, D., & Kim, C. (2007). First year undergraduate students' difficulties with ball-and-stick molecular models. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 27(6), 477-487.
- Chung, S. I., & Shin, D. H. (2016). Trends of assessment research in science education. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(4), 563-579.
- Clement, J. J. (2000). Model-based learning as a key research area of science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Clement, J. J., Rea-Ramírez, M. A., & Mímez-Oviedo, M. C. (2008). An instructional model derived from model construction and criticism theory. In J. J. Clement, M. A. Rea-Ramírez, & Mary Anne (Eds.) (pp. 23-43). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic.
- Davis, E. A., Kenyon, L., Hug, B., Nelson, M., Beyer, C., Schwarz, C., & Reiser, B. J. (2008). MoDeLS: designing supports for teachers using scientific modeling. Paper presented at the Association for Science Teacher Education, St. Louis, MO, January 10, 2008.
- Fuhrmann, T., Salehi, S., & Blikstein, P. (2013, June). In Proceedings of the 12th International Conference on Interaction Design and Children (pp. 483-486). ACM.
- Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses?. *International Journal of Science Education*, 20(1), 83-97.
- 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.
- Gobert, J. D., O'Dwyer, L., Horvitz, P., Buckley, B., Levy, S., & Wilensky, U. (2011). Examining the relationship between students' understanding of the nature of models and conceptual learning in biology, physics, and chemistry. *International Journal of Science Education*, 33(5), 653-684.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Grünkorn, J., Hansch, J., Upmeier, A., & Kruger, D. (2014). Assessing students' understandings of biological models and their use in science to evaluate a theoretical framework. *International Journal of Science Education*, 36(10), 1651-1684.
- Ha, J. H., Lee, H. J., & Kang, S. J. (2009). Perception of science high school students on modeling activity. *Journal of Gifted & Talented Education*, 19(1), 184-202.
- Han, M. H., & Kim, H. B. (2013). The role of teacher's question prompt in elementary students' food web modeling. *Biology education*, 41(2), 296-309.
- Henze, I., Van Driel, J., & Verloop, N. (2007). The change of science teachers' personal knowledge about teaching models and modelling in the context of science education reform. *International Journal of Science Education*, 29(15), 1819-1846.
- Hwang, Y. S., Han, M. H., & Kim, H. B. (2016). Exploring middle school students' system thinking revealed in small group activity using analogical eye models. *Biology education*, 44(4), 749-762.
- Ingham, A. M., & Gilbert, J. K. (1991). The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Science Education*, 13(2), 193-202.
- Ingham, A. I. and Gilbert, J. K. (1991) The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal*

- of *Science Education*, 13(2), 203-215.
- Jang, E. K., Ko, W., & Kang, S. J. (2012). The analysis of university student's modeling patterns and perceptions through modeling experiments. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(1), 1-14.
- Jeong, K. S., (2007). Investigation of high school students' mental models about the earth's interior. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 28(6), 643-652.
- Jin, H. J., Park, K. S., Kim, D. J., Kim, K. M., & Park, K. T. (2004). Analysis of the effects of teaching method using ball-and-stick models in the middle school. *Journal of the Korean Chemical Society*, 48(1), 77-84.
- Jung, J. K., & Kim, Y. M. (2016). Effect of infographic instruction to promote elementary students' use of scientific model. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(2), 279-293.
- Jonassen, D., Strobel, J., & Gottdenker, J. (2005). Model building for conceptual change. *Interactive Learning Environments*, 13(1-2), 15-37.
- Justi, R., & Gilbert, J. K. (2002). Modeling, teachers' views on the nature of modeling, and implications for the education of modelers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Kang, E. H., Kim, C. J., Choe, S. U., Yoo, J. H., Park, H. J., Lee, S. Y., & Kim, H. B. (2012). Small group interaction and norms in the process of constructing a model for blood flow in the heart. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(2), 372-397.
- Kang, H. J., & Kim, H. B. (2009a). Experienced teachers' teaching professionalism of using instructional models in biology class. *Biology education*, 37(1), 1-20.
- Kang, H. J., & Kim, H. B. (2009b). The factors affecting experienced teachers' teaching professionalism development: focused on biology classes using instructional models. *Biology education*, 37(1), 21-37.
- Kang, H. S., Kwack, J. H., & Noh, T. H. (2006). The influence of time to draw students' mental models and students' field dependence-independence in drawing in relation to learning with multiple representations. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 26(2), 191-199.
- Kang, K. H. (2010). The trend and the issues of domestic studies in relation to science teaching-learning methods. *Journal of Science Education*, 32(1), 22-32.
- Kang, N. H. (2017). Korean teachers' conceptions of models and modeling in science and science teaching. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(1), 143-154.
- Kang, Y. E., Nam, J. H., & Cho, H. S. (2016). Analysis of changes in preservice science teachers' modeling ability in argument-based general chemistry laboratory investigations. *Journal of the Korean Chemical Society*, 60(4), 276-285.
- Kim, A. J., Park, H. J., Kim, C. J., Kim, H. B., Yoo, J. H., & Choe, S. U. (2012). Analysis of scientific models in science textbooks for the 7th grade. *Journal of the Korean Chemical Society*, 56(3), 363-370.
- Kim, C. K. (2003). Analyses on the degree of learning achievement by students and on differences of explaining in high school chemistry-II textbooks for the atomic models and electron configurations. *Journal of the Korean Chemical Society*, 47(3), 273-282.
- Kim, D. R., Moon, D. H., & Son, Y. A. (2006). The effect of the internet homepage developed and applied for model inquiry learning in high school biology textbook. *Biology education*, 34(1), 81-93.
- Kim, D. W. (2000). A study on the effect on the new teaching strategy facilitating reflective thinking in the learning of the particulate nature of matter. *Journal of the Korean Chemical Society*, 44(6), 600-610.
- Kim, E. J., Lee, H. D., & Lee, H. Y. (2016). An Analysis of preservice earth science teachers' mental models about coriolis force concept. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(3), 423-434.
- Kim, E. J., Lee, H. Y., Yoon, I. H., & Kang, C. D. (2008). The development of high school instructional program for increasing creative thinking abilities: focused on building a scale model of the solar system. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 29(3), 290-304.
- Kim, H. B., Lee, S. J., Kim, H. R., Lee, S. K., Kang, K. M., & Kim, S. H. (2002). The effect of a teaching with chromosome model on the understanding of genetics. *Biology education*, 30(3), 282-288.
- Kim, H. J. (2015). A comparative study of the bohr atomic model and the spectrum of atomic hydrogen in chemistry curriculum and physics curriculum. *The Korean Society for School Science*, 9(2), 94-100.
- Kim, H. J., Joung, Y. J., Jang, M. D. (2013). Elementary pre-service teachers' conceptions on 'the freezing point depression' and a proposal of explanatory models. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 32(2), 206-224.
- Kim, J. K., Kim, W. S., & Kim, Y. M. (2009). Effects of science conceptual model completion activity and science conceptual model modifying activity on middle-school students' achievement in science conceptual learning. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 29(1), 1-9.
- Kim, J. Y., Choe, S. U., & Kim, C. J. (2016). The effects of cogenerative dialogues on scientific model understanding and modeling of middle school students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(4), 243-268.
- Kim, M. Y., & Kim, H. B. (2007a). Analysis of high school students' conceptual change in model-based instruction for blood circulation. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 27(5), 379-393.
- Kim, M. Y., & Kim, H. B. (2007b). A multidimensional analysis of conceptual change for blood circulation in model-based instruction. *Biology education*, 35(3), 407-424.
- Kim, M. Y., & Kim, H. B. (2009). Analysis of the types of scientific models in the life domain of science textbooks. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 29(4), 423-436.
- Kim, S. J., Maeng, S. H., Cha, H. J., Kim, C. J., & Choe, S. U. (2013). The contents of practical knowledge realized in two science teachers' classes on social construction of scientific models. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(4), 807-825.
- Kim, S. M., Yang, I. H., & Lim, S. M. (2013). Analysis of changes in elementary students' mental models about the causes of the seasonal change. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(5), 893-910.
- Ko, M. S., & Yang, I. H. (2013). Analysis on the relationship between the construct level of analogical reasoning and the construction of explanatory model observed in small group discussions on scientific problem solving. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(2), 522-537.
- Koponen, I. (2007). Models and modelling in physics education: a critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science and Education*, 16(7-8), 751-773.
- Krell, M., Reinisch, B., & Krüger, D. (2014). Analyzing students' understanding of models and modeling referring to the disciplines biology, chemistry, and physics. *Research in Science Education*, 45(3), 367-393.
- Kwon, N. J., & Ahn, J. H. (2012). The analysis on domestic research trends for convergence and integrated science education. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(2), 265-278.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: Past, present and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831-879). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lee, A. R. & Hong, Y. S. (2013). An analysis on the recent research trend in Korean elementary science education. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 32(3), 260-268.
- Lee, D. W., Cho, H. S., & Nam, J. H. (2015). Investigating the cognitive process of a student's modeling on a modeling-emphasized argument-based general chemistry experiment. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(2), 313-323.
- Lee, G. H., Shin, J. H., Park, J. Y., Song, S. H., Kim, Y. S., & Bao, L. (2005). An integrated theoretical structure of mental models: toward understanding how students form their ideas about science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 25(6), 698-709.
- Lee, J. W. (2015). Analysis of the refinement of shared mental model in science-gifted students' collaborative problem solving process. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(6), 1049-1062.
- Lee, K. J., Lee, K. H., Lee, J. C., & Kim, J. H. (1989). A study on the improvement of science education with experimental model and its programming (I). *Journal of the Korean Association for Science Education*, 9(2), 13-27.
- Lee, K. Y. (2006). Investigation of mental models about tide for scientifically talented middle school students by analyzing facet of conceptual types by context. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 27(1), 6-14.
- Lee, K. Y. (2008). Pre-service teachers' understanding on earth science concept needed for and integrated approach: exploring mental models about eclipse phenomena by analyzing phenomenological primitives and facets. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 29(4), 352-362.
- Lee, M. J. (1999). Children's mental models of the free-fall of objects. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 19(3), 389-399.
- Lee, S. H., Park, J. S., & Jeon, M. K. (2007). Analyzing the research works published in the field of Korean science education in relation to theory of J. Piaget, D. P. Bruner, or J. S. Ausbel. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 27(5), 447-455.
- Lee, S. Y., Kim, C. J., Choe, S. U., Yoo, J. H., Park, H. J., Kang, E. H., & Kim, H. B. (2012). Exploring the patterns of group model

- development about blood flow in the heart and reasoning process by small group interaction. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(5), 805-822.
- Lee, S. Y. & Kim, M. Y. (2015). Exploring levels of high school students' conceptual understanding and modeling performance regarding cell division. *Biology education*, 43(3), 261-275.
- Lee, Y. M., & Kim, S. W. (2008). Reasoning models in physics learning of scientifically gifted students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 28(8), 796-813.
- Lim, H. J. (2005). High school students' understanding of the atomic model and orbitals. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 25(2), 297-306.
- Mandinach, E., & Cline, H. (1993). Systems, science and schools. *System Dynamics Review*, 9(2), 195-206.
- Ministry of Education. (2015). 2015 revised curriculum-Science. Seoul: Ministry of Education.
- Morrison, M., & Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. In M. Morrison & M. S. Morgan (Eds.), *Models as mediators* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.
- National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education: practices, cross-cutting concepts, and core ideas. committee on a conceptual Framework for new K-12 science education standards. Washington DC: National Academy Press.
- NGSS Lead States. (2013). Next generation science standards: For states, by states. Washington, DC: National Academies Press.
- Oh, J. Y., & Kim, Y. S. (2006). Preservice elementary teacher mental models about astronomical phenomena: seasons and moon phases. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 26(1), 68-87.
- Oh, P. S. (2007). With a focus on lessons in the domains of atmospheric and oceanic earth sciences: analysis of the manners of using scientific models in secondary earth science classrooms. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 27(7), 645-662.
- Oh, P. S. (2009). Preservice elementary teachers' perceptions on models used in science and science education. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 28(4), 450-466.
- Oh, P. S. (2016). Roles of models in abductive reasoning: a schematization through theoretical and empirical studies. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(4), 551-561.
- Oh, P. S., & Lee, J. S. (2014). Criteria for evaluating scientific models used by pre-service elementary teachers. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 34(2), 135-146.
- Oh, P. S., Jon, W. S., & Yoo, J. M. (2007). Analysis of scientific models in the earth domain of the 10th grade science textbooks. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 28(4), 393-404.
- Osborne, R. J., & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of research in Science Teaching*, 20(9), 825-838.
- Paik, S. H., Kim, H. S., Han, Y. H., & Kim, S. H. (2010). A comparison of instruction effectiveness between the experiment of precipitation and the experiment with ball and stick model related to 'law of definite proportions'. *Journal of the Korean Chemical Society*, 54(3), 338-349.
- Park S. K. (2015). Analysis on the argumentation pattern and level of students mental models in modeling-based learning about geologic structures. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(5), 919-929.
- Park, H. J., Kim, H. Y., Jang, S. H., Shim, Y. S., Kim, C. J., Kim, H. B., Yoo, J. H., Choe, S. U., & Park, K. M. (2014). Characteristics of social interaction in scientific modeling instruction on combustion in middle school. *Journal of the Korean Chemical Society*, 58(4), 393-405.
- Park, H. K., Choi, J. R., Kim, C. J., Kim, H. B., Yoo, J. H., Jang, S. H., & Choe, S. U. (2016). The change in modeling ability of science-gifted students through the c-construction of scientific model. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(1), 15-28.
- Park, J. W., & Paik, S. H. (2004). The learning effect of teaching materials using computer animation of particulate model in elementary school science classes. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 23(2), 116-122.
- Park, J. Y., & Lee, G. H. (2004). Understanding students' conceptions in the research on conceptual change in science: from misconception to mental model. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 24(3), 621-637.
- Park, J. Y., & Lee, G. H. (2008). Focusing on learning circular motion of high school students: the effect of 4M learning cycle teaching model based on the integrated mental model theory. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 28(5), 409-423.
- Park, J. Y., Lee, G. H., Shin, J. H., & Sang, H. S. (2006). Analyzing High school student's conceptual change on circular motion based on mental model theory: what changed and unchanged after science class. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 26(4), 475-491.
- Park, S. K. (2009). An analysis of high school students' mental models on the plate boundaries. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 30(1), 111-126.
- Park, S. K. (2011). An analysis of the mental models of middle school students with different learning style on plate tectonics. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 31(5), 734-744.
- Partosa, J. D. (2012). Models and modeling behavior: a look at the critical thinking skills of biology majors. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(8), 1281-1294.
- Schwarz, C. V. (2002). Is there a connection? The role of meta-modeling knowledge in learning with models. In P. Bell, R. Stevens, & T. Satwicz (Eds.), *Keeping learning complex: The Proceedings of the Fifth International Conference of the Learning Sciences (ICLS)*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Schwarz, C. V., & White B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Seung, M. S., Lee, G. H., & Yeo, S. I. (2016). Elementary teachers' conceptions on the inquiry activity about 'make a fossil model'-focusing the 6th, 7th, 2007 revised, 2009 revised elementary science textbook. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 35(2), 229-242.
- Shim, Y. S., Kim, C. J., Choe, S. U., Kim, H. B., Yoo, J. H., Park, H. J., Kim, H. Y., Park, K. M., & Jang, S. H. (2015). Exploring small group features of the social-construction process of scientific model in a combustion class. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(2), 217-229.
- Shin, H. Y., & Woo, A. J. (2016). An analysis of concept description and model and student understanding about ionic compound in textbooks developed under the 2009 revised national curriculum. *Journal of the Korean Chemical Society*, 60(5), 362-373.
- Shin, M. Y., Chun, M. R., & Choe, S. U. (2005). The analysis of the educational objectives, scientific models and cognitive processes in scientific inquiry of the SNU scientifically gifted student program. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 26(5), 387-395.
- Shin, J. W., & Choi, A. R. (2014). Trends in research studies on scientific argument and writing in Korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(2), 107-122.
- Sins, P. H. M., Savelsbergh, E. R., & van Joolingen, W. R. (2005). The difficult process of scientific modelling: An analysis of novices' reasoning during computer-based modelling. *International Journal of Science Education*, 27(14), 1695-1721.
- Tabak, I., & Reiser, B. J. (2008). Software-realized inquiry support for cultivating a disciplinary stance. *Pragmatics and Cognition*, 16(2), 307-355.
- Treagust, D. F., Chittleborough, G. D., & Mamiala, T. L. (2002). Students' understanding of the role of scientific models in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(4), 357-368.
- Treagust, D., Chittleborough, G., & Mamiala, T. (2003). The role of submicroscopic and symbolic representations in chemical explanations. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1353-1368.
- van Driel, J. H., & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modeling in science. *International Journal of Science Education*, 21(11), 1141-1153.
- van Driel, J. H., & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modeling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-1272.
- Windschitl M., Thompson J., & Braaten M., (2008). Beyond the scientific method: Model-Based Inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.
- Watson, J. R., Swain, J. R. L., & McRobbie, C. (2004). Students' discussion in practical scientific inquires. *International Journal of Science Education*, 26, 25-45.
- Yang, C. H., Kim, S. Y., Jo, M. J., & Noh, T. H. (2016). The characteristics of group and classroom discussions in the scientific modeling of the particulate model of matter. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(3), 361-369.
- Yoon, H. J., & Lee, Y. H. (2014). Analysis of Coherence in Middle School Students' Representation of Particulate Concepts. *Journal of the Korean Chemical Society*, 58(6), 580-589.
- Yu, H. W., Cha, H. J., Kim, M. S., Ham, D. C., Kim, H. B., Yoo, J. H.,

- Kim, C. J., & Choe, S. U. (2012a). Relation between the personal and social factors and the interacting role of science gifted students in social co-construction of scientific model class. *Journal of Gifted & Talented Education*, 22(2), 265-290.
- Yu, H. W., Ham, D. C., Cha, H. J., Kim, M. S., Kim, H. B., Yoo, J. H., Park, H. J., Kim, C. J., & Choe, S. U. (2012b). Model creation and model developing process of science gifted students in scientific model constructing class for phase change of the moon. *Journal of Gifted & Talented Education*, 22(2), 291-315.
- Yoo, Y. J., & Oh, P. S. (2016). Effects of modeling-based science inquiry instruction on elementary students' learning in the unit of seasonal changes. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 35(2), 265-276.
- Yoon, H. G. (2011). Pre-service elementary teachers' inquiry on a model of magnetism and changes in their views of scientific models. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 30(3), 353-366.
- Zhang, B., Wong, L. H., Chew, L. C., Jacobson, M. J., & Looi, C. (2006). Using computer-based modelling for primary science learning and assessment, Paper presented at the 32nd Annual Conference of the International Association of Educational Assessment (IAEA) on "Assessment in an Era of Rapid Change: Innovations and Best Practices", Singapore, 21-26 May 2006.