

# 초등과학 모델링 수업의 구성과 속성 및 교사 역량 요인에 대한 질적 메타 분석

김현주 · 임채성 · 이기영<sup>†</sup>

## Composition and Attributes of Modeling Instructions and Factors of Teacher Competence in Elementary Science Classes: A Qualitative Meta-Analysis

Kim, Hyun-Ju · Lim, Chae-Seong · Lee, Ki-Young<sup>†</sup>

### 국문 초록

본 연구는 초등교육 현장에서 이루어진 모델링 수업 사례와 모델링 수업에 관한 초등교사의 인식이 나타난 연구를 통해 초등과학 모델링 수업의 구성과 속성 및 교사의 역량 요인을 탐색하고자 하였다. 이를 위해 모델링 수업 사례와 초등교사의 인식이 드러난 질적 연구물을 종합적으로 분석하는 질적 메타분석을 수행하였다. 분석 결과, 초등과학 모델링 수업의 구성은 모델을 생성하고 평가한 뒤 수정하는 과정을 거치며, 이러한 과정은 소집단 상호작용 안에서 이루어짐을 알 수 있었다. 초등과학 모델링 수업의 속성은 모델링 수업에 영향을 미치는 요인과 모델링 수업에 참여하는 학생에게 요구되는 역량 요인으로 나뉠 수 있는데, 모델링 수업에 영향을 미치는 요인에는 ‘소집단 상호작용’과 ‘수업 시간’이 도출되었다. 모델링 수업에 참여하는 학생들에게 요구되는 역량 요인으로는 ‘과학 지식’, ‘메타모델링 지식’, ‘감정 조절 능력’이 도출되었다. 초등과학 모델링 수업에 필요한 교사의 역량 요인은 교사가 알아야 할 지식, 갖추어야 할 기능, 태도 측면에서 분석되었다. 분석 결과, 교사는 ‘메타모델링 지식’, ‘모델링 평가 지식’을 알고 있어야 하며, ‘학생에 대한 감정적 지원’ 능력을 갖추고, ‘모델링의 가치에 대해 인식’하는 것이 필요함을 알 수 있었다. 이러한 분석 결과를 바탕으로 본 연구에서는 효과적인 모델링 수업을 위한 교육적 방법에 대해 논의하였다.

**주제어:** 모델링, 과학 모델링 수업, 모델링 교수법, 교사 역량

### ABSTRACT

This study explored the composition and attributes of modeling instructions and factors of teacher competence in elementary science classes. The study also examined educational research papers regarding modeling instruction cases in elementary schools and elementary teachers' perceptions of modeling instructions using qualitative meta-analysis, which can integrate findings from qualitative research. This investigation led to creating a small group to compose modeling instructions. Furthermore, the modeling approach was demonstrated to go through the process of generating, evaluating, and modifying the model. The attributes of modeling instructions can be divided into factors that affect modeling instructions and competence factors necessary for students participating in modeling instructions. The factors affecting modeling instructions included “small group interactions” and “time limitation in classes.” The competence factors necessary for students participating in modeling instructions included “scientific knowledge,” “meta-modeling knowledge,” and the “ability to control emotions.” The teacher

이 논문은 2022년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2022 S1A5A2A01038760)

2023.06.15(접수), 2023.07.10(1심통과), 2023.07.27(최종통과)

E-mail: leeky@kangwon.ac.kr(이기영)

competence factors in modeling instructions regarding knowledge, function, and attitude were explored. The teacher competence factors in elementary modeling instructions included “meta-modeling knowledge,” “knowledge of modeling assessment,” “emotional support for students,” and the “awareness of modeling value.” Accordingly, this study offered some recommendations for effective modeling instructions.

**Key words:** modeling, scientific modeling classes, modeling instruction, teacher competence

## I. 서 론

과학은 자연현상을 다양한 방법으로 연구함으로써 이론을 구성하고 그 현상을 설명하는 활동이다(National Research Council [NRC], 1996). 연구자들은 학교에서 학생들도 실제 과학자들이 ‘과학’하는 것처럼 탐구 과정을 경험해야 함을 주장하고 있다(강남화와 이은미, 2013; Stroupe, 2015). 과학교육의 목표 중 하나는 학생이 과학자처럼 인식론적 실행(epistemic practice)에 참여하여 스스로 지식을 구성해나가는 것이며(Duschl, 2008), 지식 생성 능력을 지속적으로 향상시켜나가는 것이 과학교육의 주요 목표가 될 수 있다(양일호 등, 2006).

과학교육의 목표를 달성하기 위한 방법의 일환으로, 학생이 과학자처럼 스스로 지식을 생성하면서 인식론적 실행을 경험할 수 있는 모델링 수업이 제안되었다(Clement, 2008; Johnson & Stewart, 2002; Justi & Gilbert, 2002; Kawasaki *et al.*, 2004; Schwarz *et al.*, 2009; Windschitl *et al.*, 2008). 모델(model)은 실생활에서 다양한 의미를 갖지만, 과학에서 모델이란, 현상을 추상화하고 간략화한 표상(Harrison & Treagust, 2000; Ingham & Gilbert, 1991) 또는 어떤 현상을 설명하기 위한 설명체계(NRC, 2012)로 정의될 수 있다. 모델링은 모델을 만드는 과정을 뜻하는데(Harrison & Treagust, 2000), 단순히 모델을 생성하는 것뿐만 아니라 모델을 뒷받침하는 증거를 찾아 평가하며, 수정하는 일련의 과정에 참여하는 것을 말한다(석윤수와 윤혜경, 2022).

모델링 수업은 학생들이 모델을 평가하고 수정하는 과정에 참여할 수 있으므로 과학자들의 탐구 활동과 근접한 것을 경험하게 한다는 장점이 있다(Justi & Gilbert, 2002). 모델링 평가 단계에서 모델이 얼마나 설득력이 있으며 과학적으로 타당한지 검증되는데(Böttcher & Meisert, 2011), 이 과정에서 학생들은 스스로 생성한 지식을 정당화한다는 점에서 이전의 지식 생성을 위한 다른 학습 방법과는 차별

점이 있다(Halloun, 2006; Koponen, 2007). Mittelstraß (2005)은 모델링의 연구적 기능과 설명적 기능에 주목하였는데, 학생들은 모델을 통해 현상에 대한 깊이 있는 탐구를 하거나 이미 알려진 사실을 설명하기 위해 모델을 활용할 수 있으므로(Gilbert & Justi, 2016; Giere *et al.*, 2006; Gouvea & Passmore, 2017; Passmore *et al.*, 2014), 모델링은 과학 탐구의 핵심 도구이자 자원이 될 수 있다.

모델의 과학적 중요성에 대한 인식으로 독일(KMK, 2005)과 미국(NRC, 2012; NGSS Lead States, 2013) 교육과정에서는 과학 수업에서 모델의 활용에 대해 강조했다. 우리나라에서도 최근 2022 개정 과학과 교육과정에서 초등학교는 ‘모형 활용하기’, ‘모형으로 설명하기’, 중학교는 ‘모형을 만들어 현상을 설명하거나 예측하기’를 내용 체계 속 기능으로 명시하여 모델의 활용을 강조했지만(교육부, 2022), 구체적인 활용 방법이나 모델링 능력 신장 방안에 대한 연구는 부족한 실정이다(조혜숙 등, 2017). 또한 우리나라 초등과학 교육과정에 제시된 모델을 활용한 수업으로는 자연현상을 추상화한 표상으로서의 모델을 만들거나, 이미 있는 모델을 사용하여 자연현상을 설명하는 것들이 제시되고 있다. 그러나 과학의 본질이 모델을 생성하고 평가하며, 수정한 뒤 사용해 나가는 것에 있다는 것을 고려했을 때(Johnson & Stewart, 2002), 현재 초등과학 수업에서 모델을 활용하는 방식은 매우 소극적이라고 볼 수 있다.

미국에서는 초등학교 고학년도 모델을 만들어 자연현상을 표상하는 것에서 더 나아가 모델을 통해 현상을 설명하고 예측할 수 있을 것으로 보고, 초등학생부터 적극적인 모델링 탐구에 참여할 것을 강조하고 있다(NGSS Lead States, 2013). 그러나 현재 국내에서 이루어지는 모델링과 관련된 과학교육 연구들은 중·고등학생에게 집중되는 경향이 있으며, 초등학생을 대상으로 한 연구는 현저히 적은 편이다(조혜숙과 남정희, 2017). 초등학생을 대상으로 한 모델링 수업 관련 연구가 적은 이유는 궁극적으로 모델링 수업이 학교 현장에서 잘 활용되지 않기 때

문이다(오필석, 2009). 학교 수업에서 모델링 수업이 빈번하게 적용되지 못하는 까닭은 모델링 활동을 하기에 초등학생의 인지 수준이 아직 낮다고 생각하는 교사의 인식 때문일 수도 있으며(강남화, 2017), 모델이 과학의 본성과 거리가 멀다고 생각하는 교사의 인식 때문일 수도 있고(Justi & Gilbert, 2002), 교사가 모델링 활동을 지도하는 방법을 몰라서일 수도 있다(van Driel & Verloop, 1999; 2002). 그러나 모델링에 대한 교사의 지식은 모델링 수업에 핵심적인 역할을 하기 때문에(Fulmer & Liang, 2013; Justi & van Driel, 2005) 교사가 모델 및 모델링에 대해 알고, 모델링 활동 지도 방법을 아는 것 또한 매우 중요하다.

선행연구(강남화, 2017)에서 초등 및 중등교사를 대상으로 모델 및 모델링에 대한 교사의 인식을 알아본 결과, 교사들이 모델의 지식 생성 측면보다는 현상을 나타내는 표상적 측면에 치중하여 모델을 인식하고 있음을 알 수 있었으며 수업 적용에 관해서도 과학 수업에서 모델링 활동을 적용하는 것에 대해 제한된 인식을 갖는 교사가 많은 것으로 나타났다. 하지만 모델 및 모델링에 대한 교사 연수 실시 후 교사들은 모델에 대한 확장된 개념을 갖게 되었으며 이에 따라 수업 적용에 대해서도 세련된 수업 적용 계획으로 확장된 인식을 보였다. 이처럼 효과적인 모델링 수업을 위해서는 모델 및 모델링에 관한 교사의 이해가 선행되어야 할 것이며 다양한 모델링 수업 사례를 통해 현장에서의 모델링 수업 적용 방안에 대한 이론적이고 실천적인 함의가 제시되어야 할 것이다.

현재 초등학교에서 과학 모델링 수업 사례를 나타낸 질적 연구는 주제 특수적 관점에 따라 수업 주제에 국한하여 모델링 수업의 함의를 이끌어냈거나(예: 석윤수와 윤혜경, 2022) 모델링 수업에 참여한 학생 또는 교사의 인식에 초점을 두어 연구 결과를 해석하였다(예: 한문현과 김희백, 2017). 모두 모델링 수업에 관련된 의미 있는 연구 결과이지만, 모델링 수업에 대한 교사의 포괄적인 이해를 돕기에는 부족함이 있다. 따라서 모델링 수업에 대한 폭넓은 이해와 현장 적용을 위해서는 지금까지 축적되어 온 초등과학 모델링 수업 사례 연구물에 대한 종합적인 분석이 필요함을 알 수 있다. 본 연구에서는 질적 메타분석을 통해 초등과학 모델링 수업 사례가 포함된 연구물에서 초등과학 모델링 수업이 어

떻게 구성되며, 모델링 수업의 속성과 모델링 수업에 필요한 교사의 역량 요인을 탐색하여 명료화하고자 하였다.

질적 메타분석은 특정 주제를 다루는 여러 질적 연구물의 결과를 분석하여 확장적인 해석과 새로운 이론을 생성하고, 개별 질적 연구물의 연구 결과물을 종합적으로 설명할 수 있는 모형을 개발하는 것을 목표로 한다(Walsh & Downe, 2004). 본 연구에서는 초등학생을 대상으로 모델링 수업 사례가 나타난 여러 질적 연구물의 결과를 통합적으로 분석함으로써 초등과학 모델링 수업의 구성과 속성, 교사의 역량 요인을 탐색하고 이를 종합적으로 설명할 수 있는 모형을 개발함으로써 초등과학 모델링 수업에 대한 심층적인 이해를 구하고자 하였다. 이를 통해 초등과학 모델링 수업이 활발하게 활용되기 위한 실제적인 방법과 과학 교사 교육에 대한 시사점을 도출하고자 하였다.

이 연구의 연구 문제는 다음과 같다.

- 첫째, 질적 연구물에서 초등과학 모델링 수업은 어떻게 구성되었는가?
- 둘째, 초등과학 모델링 수업의 속성은 무엇인가?
- 셋째, 초등과학 모델링 수업에 필요한 과학 교사의 역량은 무엇인가?

## II. 연구 방법

### 1. 연구 절차

본 연구는 초등과학 모델링 수업 사례에 대한 질적 연구물을 종합적으로 분석함으로써 초등과학 모델링 수업의 구성과 속성, 초등과학 모델링 수업에서 요구되는 교사의 역량 요인을 탐색하는 데 목적이 있다. 이를 위해 연구자가 선택한 연구 방법은 질적 메타분석으로, 질적 메타분석은 여러 연구물을 단순히 종합하는 문헌 연구에서 나아가서 새로운 재해석을 시도하는 접근방식(Walsh & Downe, 2004)으로 개별 연구물의 결과를 아우르는 통합적인 개념 또는 상위 메타포(metaphor) 생성에 초점을 둔다(나장함, 2008). 나장함(2008)은 선행연구(Noblit & Harem, 1988; Walsh & Downe, 2004)를 토대로 질적 메타분석의 실행 단계를 8단계로 제시하였다. 8단계는 다음과 같다: ① 연구 주제 및 연구 문제 설정, ② 관련 연구물 검색, ③ 포함과 배제 준거 설정, ④ 포함

된 연구물에 대한 질적 평가, ⑤ 개별 연구 내 분석, ⑥ 개별 연구 관련 개념 사례 간 분석 틀 마련, ⑦ 개별 연구 관련 개념 사례 간 비교·분석, ⑧ 전체 연구 결과 종합 및 해석. 이러한 단계를 따라 연구자는 연구 주제를 정하고 연구 주제와 관련된 연구물들을 검색하여 모았다. 이후 포함과 배제 준거를 설정하고 질적 평가하여 분석할 연구물들을 선별하였다. 다음 선별된 연구물을 대상으로 개별 연구 내 분석을 실행하였는데, 개별 연구물을 반복적으로 읽으면서 연구 결과에 드러난 모델링 수업의 구성과 속성, 교사의 역량 요인을 찾아냈다. 다음으로는 여러 연구물에서 드러난 모델링 수업의 구성, 속성 및 교사 역량 요인을 사례 간 비교·분석을 통해 상위 메타포를 생성했다. 생성된 상위 메타포의 타당성을 검토하여 최종 상위 메타포를 생성하였고, 전체 연구 결과를 종합하고 해석함으로써 본 연구의 결론 및 논의사항을 도출하였다. 본 연구의 질차는 간략하게 나타내면 Fig. 1과 같다.

## 2. 분석 대상

연구자는 분석 대상을 선정하기 위해 학술지 통합 검색 사이트(www.riss.re.kr)에 연구재단 등재지(KCI) 이상의 국내 학술논문을 대상으로 연구 주제인 ‘모델링 수업’, ‘과학 모델링’, ‘초등 모델링’, ‘과학 모형 구성’ 등의 키워드로 연구물을 검색하여 연구물이 과학교육에서 모델링 수업에 대한 시사점이 있는지 연구물의 초록을 읽어보았다. 1차 검색 결과 43편의 논문을 추출하였다.

그 중에서 과학교육에서 모델링에 관한 국내 연구 동향을 분석한 문헌 연구 2편은 본 연구의 초점

과는 벗어나 분석 대상에서는 제외하였다. 또한 본 연구는 초등과학 수업에서 모델링 적용에 대한 함의를 이끌어내는 것을 목적으로 하므로 중고등학생 또는 대학생과 중고등학교 교사를 대상으로 모델링 수업을 적용한 결과를 나타내는 연구물은 분석 대상에서 제외하였다. 그러나 과학교육에서 모델링 수업이 효과적으로 이루어지기 위해서는 수업을 진행하는 교사의 인식이 중요하기 때문에(오피석, 2009) 모델링 수업에 대한 초등교사의 인식을 알아보는 연구는 분석에 포함하였다. 연구자는 초등학생을 대상으로 과학 모델링 수업을 적용한 연구 및 모델링에 관한 초등 예비교사와 초등교사의 인식에 초점을 둔 연구물 14편을 추출하였다.

연구자는 과학 모델링 수업에 관한 연구 중 수업 분석 과정에서 특정 요소에 초점을 둔 연구물(예: 분산인지, 추론, 교사 질문 단서) 3편을 분석 대상에서 제외함으로써 모델링을 적용한 수업에서 보다 일반적인 함의를 이끌어내고자 했다. 추출된 11편의 연구물들은 모두 정성적 연구 방법을 사용한 연구물로서 질적 메타분석을 통해 연구물들에서 나타나는 모델링 수업의 속성을 분석할 수 있을 것으로 판단하여 11편의 연구물을 분석 대상으로 선정하였다.

그러나 질적 메타분석을 위해 적절한 분석 대상 문헌 수는 6~10편으로 제한되며, 각 문헌들은 충분한 정보를 담고 있어야 한다(Major & Savin-Baden, 2010). 즉, 연구 맥락이나 방법을 불충분하게 설명하는 연구(상당한 시사점을 제공하는 연구지만)는 질적 평가 후 배제될 수 있는 것이다(나장함, 2008). 연구자는 연구물 중 초등과학 수업에서 모델링 과정 또는 수업 결과가 자세하게 기술되어 있거나, 초등 예비교사와 초등교사의 모델링에 관한 인식이 사례

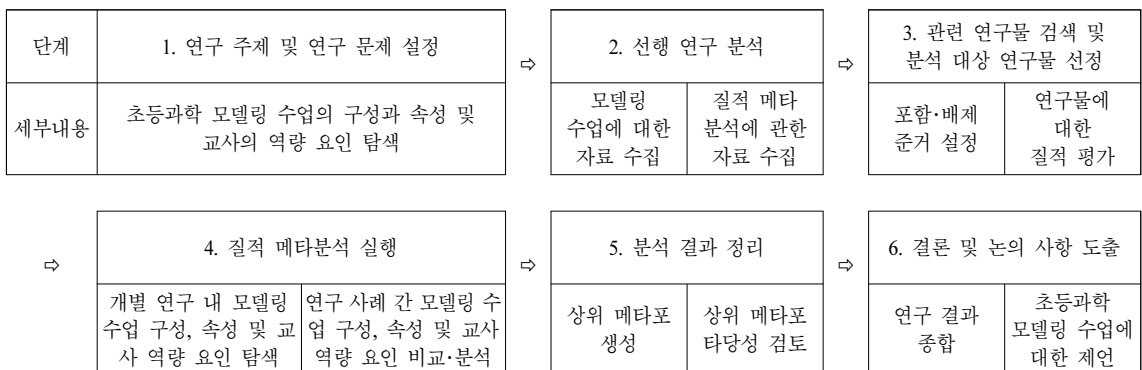


Fig. 1. Research procedure

를 통해 풍부하게 제시된 연구물 10편을 최종 분석 연구물로 선정하였다. 연구의 분석 대상 선정을 위한 기준과 절차는 Fig. 2와 같으며, 분석 대상으로 선정된 연구물의 기본 정보는 Table 1과 같다.

### 3. 질적 메타분석 실행

본 연구에서 분석 대상 연구물에 대한 분석은 크게 세 가지 측면에서 이루어졌다. 질적 연구물에서 나타난 초등과학 모델링 수업의 구성, 모델링 수업의 속성, 수업에 필요한 과학 교사의 역량 요인을 중심으로 분석하였다. 먼저, 모델링 수업의 구성에 대한 분석은 초등 교육 현장에서 모델링이 적용된 학습 주제(분야), 수업 내용, 모델링이 어떤 방식으로 이루어졌는지를 중심으로 분석하였다. 모델링 수업의 속성은 모델링 수업에 영향을 주는 요인과 모델링 수업에 참여하는 학생에게 요구되는 역량 요인을 중심으로 모델링 수업의 속성을 포착하고자 하였다. 모델링 수업에서 필요한 교사 역량 요인에 대한 분석은 교사가 모델링 수업을 위해 갖추고 있어야 하는 지식, 기능, 태도 측면에서 포착하고자 하였다.

모델링 수업의 구성과 속성, 수업에 필요한 교사 역량 요인은 세 명의 연구진이 연구물 분석을 통해 상위 메타포를 생성하고 그 타당성을 검토함으로써 최종 상위 메타포를 생성하여 도출하였다. 상위 메타포를 생성하기 위해 연구진은 분석 대상 연구물을 반복적으로 읽으며 연구 결과에 대한 설명과 해석에서 제시하고 있는 모델링 수업의 구성과 속성,

수업에 필요한 과학 교사의 역량 요인을 따로 메모한 뒤 이를 범주화하는 작업을 반복했다. 각자 범주화한 결과에 대한 교차 검토를 통해 합의 과정을 거친 뒤 상위 메타포를 생성하였는데, 생성된 상위 메타포를 기준으로 연구진은 다시 연구물을 읽음으로써 상위 메타포의 타당성에 대해 검토했다. 이러한 귀납적인 과정으로 최종 상위 메타포를 생성했다.

## III. 연구 결과 및 논의

10편의 연구물을 대상으로 질적 메타분석을 실시한 결과 초등과학 모델링 수업의 구성, 모델링 수업의 속성, 모델링 수업에 필요한 과학 교사의 역량 요인이 확인되었다. 연구 결과는 이에 따라 3개의 절로 나누어 기술하고자 한다.

### 1. 초등과학 모델링 수업의 구성

초등학생을 대상으로 학교 과학 시간에 모델링 수업을 진행한 질적 연구물을 대상으로 학습 주제(분야), 수업 내용, 모델링 방식을 정리한 결과는 Table 2와 같다. 질적 메타분석 대상인 10개의 연구물 중 오필석(2009)과 윤혜경(2011)의 연구는 모델링 수업에 관한 교사의 인식을 다룬 논문으로, 초등학생을 대상으로 과학 모델링 수업을 진행한 사례가 아니므로 본 분석에서는 제외하였다.

위 8개의 연구물을 분석한 결과, 모델링을 적용한 학습 주제로 ‘우리 몸의 구조와 기능’과 ‘계절의 변

1차 - 검색	<p style="text-align: center;"><b>관련 연구물 검색</b></p> <p>학술지 통합 검색 사이트(RISS)를 통한 검색 기준: 연구재단 등재지(KCI) 이상의 국내학술논문 대상 키워드: 모델링 수업, 과학 모델링, 초등 모델링, 과학 모형 구성 등</p>	43편 검색
2차 - 선별	<p style="text-align: center;"><b>포함과 배제 준거 설정 후 선별</b></p> <p>제외 기준 1: 문헌 연구 제외 제외 기준 2: 중고등학생 또는 대학생과 중고등학교 교사 대상 연구 제외 포함 기준 1: 초등학생을 대상으로 과학 모델링 수업을 적용한 연구 및 모델링에 관한 초등 예비 교사와 초등교사의 인식에 초점을 둔 연구물</p>	14편 선별
3차 - 선정	<p style="text-align: center;"><b>선별된 연구물에 대한 질적 평가 후 최종 분석 대상 선정</b></p> <p>1. 과학 모델링 수업 분석 과정에서 특정 요소에 초점을 둔 연구물 3편 제외 2. 연구 맥락 및 방법을 불충분하게 설명하는 연구 1편 제외</p>	10편 선정

Fig. 2. Criteria and procedures for selecting papers for analysis

Table 1. The basic information of selected papers

저자 (연도)	제목	연구 목적 및 연구 문제	연구 대상	분석 방법
박신희, 최승언, 김찬중 (2020)	테라포밍에 대한 과학적 모델링 수업에서 소그룹 상호작용 중 발견되는 초등학생의 창의성	모델링 과정에서 나타나는 소그룹 상호 작용과 발견되는 창의성에 대한 탐색	4학년 학생 24명	1) 소그룹 상호작용 분석: 상황적 맥락 분석 후 모델링의 단계적 맥락에 따른 분석 2) 창의성 분석: 의미 있는 63개의 담화 구별 후 창의적 능력별 분류
석윤수, 윤혜경 (2022)	초등학생의 계절 변화 원인에 관한 지구본 활용 모델링 분석	계절 변화 원인에 관해 초등학생이 모델을 구성하고 사용하는 모델링 수준을 분석하고 모델링 과정에서 초등학생이 겪은 어려움을 분석	6학년 학생 17명	모델링 수준 분석들을 개발하여 분석, 학생들의 모델링 과정을 반복적으로 검토하여 모델링 방해 요소 추출
엄장희, 김희백 (2021)	초등학교의 협력적 과학 모델링 수업에서 나타난 리더의 행위주체성 탐색	과학 모델링 수업에서 초등학생의 행위 주체성 발현 모습과 그 맥락을 탐색	5학년 학생 22명	초점 집단 1곳을 선정하고 리더의 행위주체적 행동을 귀납적으로 분석하여 3가지 측면의 범주 개발. 리더의 행위 주체성 변화에 따라 소집단 모델링의 참여 형태 변화 양상 분석
유연준, 오피석 (2016)	초등학생들의 계절의 변화 단원의 학습에서 모델링 중심 과학 탐구 수업의 효과	‘계절의 변화’ 단원의 수업을 모델링 교수법을 중심으로 재구성하여 진행하고, 그 효과를 개념적 영역과 정의적 영역에서 조사함	6학년 2개 학급 (한 학급당 학생 29명)	1) 개념적 영역 분석: 개념 성취도 검사 결과 t-test 진행 및 개념적 자원의 활성화 관점에서 질적으로 분석 2) 정의적 영역 분석: 학생이 느낀 인식적 감정 분류
임성은, 최승언, 박창미, 김찬중 (2020)	명시적-반성적 접근을 활용한 모델링 수업이 초등학생들의 메타모델링 지식에 미치는 영향 탐색	메타모델링 지식에 대한 명시적-반성적 접근을 기반으로 한 모델링 수업이 초등학생의 메타모델링 지식에 어떤 영향을 주는지 탐색	4학년 2개 학급 (한 학급당 학생 17명)	실험 집단은 메타모델링 지식 학습 후 모델링 수업 진행, 비교집단은 모델링 수업만 진행한 뒤 두 집단의 메타모델링 지식 설문 결과와 면담 내용을 종합하여 유목화-코딩-심화 코딩 절차에 따라 분석
한문현, 김희백 (2017)	모형 구성 과정에서 나타나는 초등학생의 인지, 감정적 반박-인식적 감정을 중심으로-	모형을 구성하는 과정에서 나타나는 초등학생의 반박 유형 및 맥락과 반박에 영향을 미치는 인지와 인식적 감정 탐색	5학년 학생 25명	매 수업마다 작성된 감정일지를 귀납적으로 검토하여 초점 집단 2곳 선정 후 소집단에서 벌어진 반박과 감정 사건 확인 및 인터뷰 수행을 통해 정성적으로 분석
한문현, 김희백 (2018)	모형 구성 참여 양상에서 나타나는 내성적인 초등학생의 인식적 감정 구성	내성적인 성향의 초등학생이 모형 구성 과정에서 구성한 감정과 제한적 참여를 하게 된 까닭 및 적극적 참여를 하게 된 까닭 탐색	5학년 학생 25명	초점 집단 1곳 선정 후 특정 학생의 제한적 참여, 적극적 참여 양상을 인식적 감정과 맥락의 측면에서 정성적으로 분석
엄장희, 김희백 (2020)	과학 모델링 수업에서 나타난 초등 교사의 수업 실행 변화 -모델링 pck를 중심으로-	초등 과학 수업에서 두 교사의 수업 실행 변화를 모델링 PCK로 해석하고 두 교사의 실행 차이를 불러온 모델링 PCK 구성요소 분석	5학년 담임 교사 2명과 해당 학급의 학생들	수업 실행 영상을 통해 교사의 수업 실행 특징을 시간 배분, 피드백 양, 피드백 내용 측면에서 분석, 수업 실행과 교사 인터뷰를 통해 교사의 모델링 PCK 분석
오피석 (2009)	과학과 과학교육에서 사용되는 모델에 관한 예비 초등교사들의 인식	과학과 과학교육에서 사용되는 모델에 관한 예비 초등교사들의 인식을 조사, 분석	교육대학교 학생 61명	연구자가 개발한 질문지에 연구 대상이 응답한 결과를 세그멘팅-코딩-심화코딩의 절차를 따라 분석
윤혜경 (2011)	초등 예비교사의 자기 모델 탐구 과정과 과학적 모델에 대한 이해 변화	초등 예비교사들의 자기 현상에 대한 모델 중심 탐구 활동 과정에서 예비교사가 겪은 어려움과 모델에 대한 이해 발전 탐색	교육대학교 학생 133명	수업 비디오와 예비교사들의 사전-사후 설문 결과, 연구자의 성찰일지를 교차분석하며 주요한 이슈 포착

Table 2. The construction of modeling instruction in individual cases

연번	저자 (연도)	학습 주제 (분야)	수업 내용	모델링 방식
1	박신희, 최승연, 김찬중 (2020)	지구와 달 (지구과학)	1~3차시: 모델과 모델링 및 수업 주제(테라포밍)에 대한 이해 4~6차시: 지구와 달 특성 비교를 통해 지구에 생물이 살 수 있는 까닭에 대한 소집단 모델 구성 7~9차시: 달기지 테라포밍 개인-소집단-학급 합의 모델 구성	모델 기반 학습(MBL)의 유형 중 ‘새로운 모델 구성 학습 과정’을 따라, GEM Cycle(모델의 생성, 모델의 평가, 모델의 수정) (Clement, 1989)을 기반으로 수업 구성
2	석윤수, 윤혜경 (2022).	계절의 변화 (지구과학)	1차시: 계절이 변화하면 달라지는 것들을 떠올려 보고 월별 기온변화 그래프와 낮의 길이 그래프를 통해 계절 변화에 따른 현상 파악, 계절 변화를 설명하는 핵심 개념(태양의 남중고도, 낮의 길이 변화)에 대해 알아 보고 시뮬레이션 프로그램 활용하여 탐색 2차시: 소집단별로 계절 변화의 원인을 나타내는 가설 설정 후 지구본과 전구를 활용하여 모델 구성 후 사용하기	1) 현상 탐색하기: 탐구하려는 현상 확인 및 현상과 관련된 실증적 데이터 수집 2) 과학 개념, 시뮬레이션 탐색하기: 관련 과학 개념 확인 및 관련 시뮬레이션 탐색 3) 모델 구성 및 평가하기: 가설 세우기 및 모델 구성, 모델이 데이터와 일관되는지 확인 및 평가 4) 수정된 모델 사용하기: 관련 과학 개념과 연결되는지 검증 및 모델을 사용하여 현상을 설명 및 예측
3	엄장희, 김희백 (2021)	우리 몸의 구조와 기능 (생명)	뼈와 근육, 소화기관, 순환기관 등을 내용으로 총 7차시로 이루어졌으며 학습 내용마다 3단계로 나누어 진행 1단계: 소집단에서 기관의 모습 및 작용에 대한 초기 모델 구성, 태블릿을 활용하여 기관의 모습 및 작용에 대해 탐색한 후 소집단 후기 모델 구성 2단계: 소집단별로 후기 모델을 발표하고 피드백을 주고받음으로써 모델 개선에 대한 아이디어를 얻음 3단계: 모델 개선에 대한 아이디어를 바탕으로 모델 수정 및 발전	1) 모델 생성 단계: 소집단 모델 구성 및 태블릿을 활용한 탐색 2) 모델 평가 단계: 소집단 모델 공유 및 모델 개선을 위한 아이디어 공유 3) 모델 수정 단계: 소집단 모델 개선 및 초기 모델과 비교하기, GEM Cycle이 순환적으로 이루어지도록 함
4	유연준, 오필석 (2016)	계절의 변화 (지구과학)	1차시: 낮과 밤이 생기는 까닭을 그림 모델로 표현한 뒤 지구본과 스텐드를 조작하여 낮과 밤이 생기는 까닭 탐색 ... 6차시: 모듈별로 구면상에서 남중고도를 측정하는 방법 토론한 뒤 모델로 표현, 모듈별로 모델 중 가장 좋은 것을 평가하여 합의 ... 7~9차시: 모듈별로 계절 변화의 원인에 대한 토론 후 그림 모델이나 물질 모델로 표현, 계절 변화의 원인에 관한 모듈별 모델을 테스트할 수 있는 실험 설계 후 수행, 모듈별 실험 결과를 발표하고 학급 합의 모델 구성 ...	Campbell <i>et al.</i> (2013)의 5가지 모델링 교수법 중 4가지 교수법(탐색적 모델링, 표현적 모델링, 실험적 모델링, 평가적 모델링)이 매 차시에 하나 또는 그 이상 적용될 수 있도록 계절의 변화 단원을 전체적으로 재구성
5	임성은, 최승연, 박창미, 김찬중 (2020)	구멍이 있는 현무암과 구멍이 없는 현무암이 생성되는 까닭은 무엇일까? (지구과학)	1차시: 모델과 모델링의 본성에 대한 이해 (실험 집단만 학습) 2~3차시: 구멍이 있는 현무암과 구멍이 없는 현무암의 생성과정 개인 모델 구성-평가-수정 후 소집단 모델 구성하기 4~5차시: 소집단 모델 평가-수정 후 모델 적용하기	4차시 분량의 모델링 수업은 Clement(1989)의 GEM cycle을 기반으로 하되 모델링 수행의 4가지 주요 요소 중 ‘사회적 상호작용’을 추가하여 (Fortus <i>et al.</i> , 2006) ‘개인 모델 구성-평가-수정하기, 조 모델 구성-평가-수정-적용하기’ 7가지 단계로 구성
6	한문현, 김희백 (2017)	우리 몸의 구조와 기능 (생명)	1~2차시: ‘호흡 운동 모형’의 구조 표현 3~4차시: ‘호흡 운동 모형’의 기능을 구성 5~6차시: ‘호흡 운동 모형’의 원리(기작)를 설명	S(structure)는 호흡 기관의 구조로써 코, 기관, 기관지, 폐, 횡격막 등을 표상 F(function)는 호흡 운동의 기능으로써 ‘들숨과 날숨 때 공기가 폐의 안과 밖으로 이동함’을 구성

6	한문현, 김희백 (2017)	우리 몸의 구조와 기능 (생명)	모든 차시는 소집단 활동으로 이루어져 모형 평가와 수정을 이끌고 모형 발달을 촉진하는 반박에 초점을 둠	M(mechanism)은 호흡 운동의 기작 설명 모델을 구성 S-B-F framework(Hmelo-Silver <i>et al.</i> , 2015; Liu & Hmelo-Silver, 2009, 2010)가 수정된 S-F-M 틀 사용
7	한문현, 김희백. (2018)	우리 몸의 구조와 기능 (생명)	1~2차시: 호흡기관 등을 말, 글, 그림으로 표상하고 표상한 기관들이 호흡 운동 모형에 포함되어야 하는지 검토 3~4차시: 호흡기관을 통해 공기가 이동하는 호흡운동의 기능을 구성한 뒤 들숨과 날숨 때 공기가 어떤 호흡 기관을 거쳐서 이동하는지 소집단 검토 5~6차시: 선지식과 주사기 비유 모형 조작에 기반하여 호흡 운동의 원리 설명 및 소집단에서의 비판적 검토	S-B-F framework(Hmelo-Silver <i>et al.</i> , 2015; Liu & Hmelo-Silver, 2009, 2010)가 수정된 S-F-M 틀 사용 학생들이 모형 생성, 평가, 수정을 순환적으로 실행할 수 있도록 호흡 운동 구조, 기능, 기작을 구성해 나가는 것을 각각 두 부분으로 나누어 모형 평가, 수정이 활발히 일어나도록 하여 정교화된 모형을 구성할 수 있도록 설계
8	엄장희, 김희백 (2020)	우리 몸의 구조와 기능 (생명)	1~2차시: ‘손에 아령을 잡고 들어 올릴 때, 팔이 어떻게 움직이는지 뼈와 근육을 포함하여 글과 그림으로 표현해봅시다.’라는 질문에 대해 개인 초기 모델 생성. 스마트 기기를 통한 팔 내부의 근육과 뼈 관찰 및 팔 근육의 이완과 수축 표상하는 비유 모형(빨대, 비닐봉지 이용) 관찰을 통해 소집단의 공동 모델 구성. 소집단 공동 모델을 발표하고, 교사나 다른 학생들로부터 받은 피드백을 통해 모델 수정	Rea-Ramirez <i>et al.</i> (2008)의 GEM cycle에 기반을 두고 설계 1) 모델 생성 단계(Generation)에서는 해당 차시에서 다룰 주제를 소개하며, 학생들의 선지식으로 개인별 초기 모델을 구성 2) 모델 평가 단계(Evaluation)에서 교사나 다른 학생들의 질문 및 의견을 듣고 모델 개선에 대한 아이디어를 얻음 3) 모델 수정 단계(Modification)로서, 그동안 얻은 정보를 바탕으로 모델을 개선하여 더욱 정교화하고 세련되게 다듬음

화’가 두드러졌다. 선행연구(조혜숙과 남정희, 2017)에서 모델 및 모델링과 관련된 과학교육 논문을 연구 분야에 따라 분류한 결과, 지구과학, 화학, 생명과학, 물리, 과학 순으로 많이 발표되었다. 본 연구에서는 초등과학 수업에 한해서 모델링을 적용한 학습 주제를 분류하였지만, 지구과학과 생물이 모두 4개로 동일하게 많았으며 물리와 화학 분야에서는 초등학교를 대상으로 모델링 교수법을 적용한 연구물을 찾기 어려웠다. 분석 대상 연구물 중 임성은 등(2020)은 4학년 학생에게 과학 수업에서 접하였던 과학적 모델에 대해 물었을 때, ‘동물의 한 살이 과정, 물에 의한 지표 변화 모형, 지층 모형, 식물의 한 살이, 지진 모형실험’ 등과 같이 답하여 역시 물리와 화학 분야에서 과학적 모델을 경험하지 못했다고 인식함을 알 수 있었다. 이는 각 분야에 따른 특수성 때문으로, 화학 분야의 경우 중등학교 이상에서 다루어지는 화학 개념들은 대부분 눈에 보이지 않는 원자나 분자에 관한 것으로 추상적인 특성을 갖는다(Osborne & Cosgrove, 1983). 물리 분야도 마찬가지로 물리 수업에서 모델을 사용하는 까닭 중 하나가 가상적인 힘에 대한 추상적 개념과 고차원적인 사고 능력이 필요하기 때문이다(박지연과 이경호, 2008). 이러한 추상성에 따라 중고등학교 이상에서 모델

사용의 중요성은 크지만(Treagust *et al.*, 2003), 초등학교 수준에서 배우는 화학 및 물리 개념들은 추상성이 덜하므로 상대적으로 모델을 활용한 수업이나 모델링 수업을 적극적으로 활용하지 않음을 짐작할 수 있다.

또한 수업 내용을 분석한 결과를 보면 학습 주제가 달라 차시의 흐름이나 중심이 되는 활동이 다를지라도 모든 수업에서 소집단을 구성하여 모델링 활동을 수행하였다. 이는 모형 구성은 소집단 구성원들이 공동으로 참여하는 사회적 과정(Forbes *et al.*, 2015)이기 때문이다. 과학 수업에서 모형 구성 과정은 학생 홀로 마음속에 모형을 구성하는 것이 아닌 소집단 구성원들이 공동으로 모형을 평가하고 수정해 나가는 과정(Clement, 2008)이므로 모델링 수업은 개인 활동으로 이루어지기보다는 소집단을 이루어 협동하여 활동을 수행하게 되는 것이다.

마지막으로 각 수업 사례에서 모델링이 어떤 방식으로 이루어졌는지 메타분석한 결과, 모든 수업에서 모델을 생성하는 것뿐만 아니라 평가와 수정까지 모두 강조하여 모델링을 수행하였다. 이는 학생들이 모델을 평가하고 수정하는 과정에서 인식론적 실행을 경험할 수 있기 때문이다(Johnson & Stewart, 2002; Justi & Gilbert, 2002). 또한 과학의 본성이 참



정적이듯이 모델 또한 잠정적이므로 학생이 초기에 생성한 모델을 평가하고 수정해 나감으로써 자연스럽게 이전보다 더 나은 모델을 생성하게 되는데(Shen & Confrey, 2007), 이 과정에서 학생은 과학 탐구의 본질을 경험할 수 있다(Giere et al., 2006; Schwarz et al., 2009).

요약하면, 질적 연구물을 대상으로 모델링 수업이 어떻게 구성되는지 분석한 결과, 모든 연구물 속 수업 사례에서 소집단을 구성하여 모델링을 수행했으며 모델링 방식 또한 생성-평가-수정 과정을 거치는 공통점이 돋보였다.

## 2. 초등과학 모델링 수업의 속성

분석 대상 연구물은 모두 질적 연구물로, 각 연구물에 나타난 초등과학 모델링 수업 사례와 각 연구자의 설명 및 해석 속에서 모델링 수업의 속성을 발

견하였다. 분석 과정에서 초등학생을 대상으로 모델링 수업을 진행하지 않은 연구(오피셀, 2009; 윤혜경, 2011)와 초등학생을 대상으로 모델링 수업이 이루어졌으나, 연구 결과가 교사의 변화에 초점을 둔 연구(엄장희와 김희백, 2020)에서는 모델링 수업의 속성을 발견하기 어려우므로 분석 대상에서 제외하였다. 분석 결과, 모델링 수업의 속성은 모델링 수업에 영향을 주는 요인과 모델링 수업에 참여하는 학생에게 요구되는 역량 요인으로 구분되었다. 개별 연구물에서 발견한 모델링 수업의 속성은 Table 3과 같다.

생성된 상위 메타포, 즉 초등과학 모델링 수업의 속성은 두 측면으로 나뉜다. 모델링 수업에 영향을 주는 요인에는 ‘소집단 상호작용’과 ‘수업 시간’이 있으며, 모델링 수업에 참여하는 학생에게 요구되는 역량 요인에는 ‘과학 지식과 ‘메타모델링 지식’, ‘감정 조절 능력’이 있다. Table 4는 초등과학 모델링

Table 3. The attributes of modeling instruction

상위 메타포	
초등과학 모델링 수업의 속성	모델링 수업에 영향을 주는 요인
	모델링 수업에 참여하는 학생에게 요구되는 역량 요인
	소집단 상호작용
	수업 시간
	과학 지식
	메타모델링 지식
	감정 조절 능력

Table 4. The attributes of modeling instruction in individual cases

연번	저자 (연도)	속성	연구 사례
1	박신희, 최승연, 김찬중 (2020)	과학 지식	답화는 그룹이 매우 작은 물방울로 이루어져 있다는 S23의 기존 지식을 바탕으로 새로운 방법을 생각해냈음을 보여준다. (p. 614)
		소집단 상호작용	아직 어린 학생들인 까닭에 그룹 모델 형성 과정에서 무조건 자기 개인 모델의 좋은 점을 피력하고, 이를 반영하고자 노력하는 모습이 다소 보이기도 하였다. 하지만 몇몇의 학생들은 좀 더 나은 모델의 형성을 위해 창의적 능력을 사용하였으며, 그 결과 그룹원들이 대체로 합의할 수 있는 그룹 모델이 형성되었다. (p. 616)
		메타모델링 지식	소집단 A는 이미 알고 있는 것을 보여주는 수단으로써 지구본 모델을 구성하였지만, 현상을 설명하고 예측하며 사고를 돕는 수단으로 모델을 사용하지는 않았다. (p. 679)
2	석윤수, 윤혜경 (2022).	과학 지식	계절 변화를 설명하기 위한 실증적 증거로서 지구 위 사람의 그림자를 관찰하려는 시도가 있었지만, 그림자의 길이를 관찰한 대로 말하거나 기록하지 않았으며, 과학 개념의 부족으로 수집한 증거와 현상을 논리적으로 연결 짓지 못했다. (p. 680)
		소집단 상호작용	소집단 D는 모델링 과정에서 모두가 적극적으로 자신의 의견을 발표하고 토의하며 모델 평가 및 수정이 활발하게 일어났다. 이를 통해 여러 대안 모델에서 강점은 수용하고 약점은 보완하며 모델을 구성하였고, 주어진 시간 내에 모델에서 수집한 증거를 바탕으로 계절 변화를 설명하려 노력했다. (p. 683)
		수업 시간	제한된 수업 시간으로 인해 학생들이 자발적으로 모델을 사용하는 상황은 본 연구 자료로 수집할 수 없었고, Schwarz et al.(2009)의 연구에서도 4수준에 도달한 학생은 매우 드물었으므로 3차원 모델링 수준은 최고 3수준으로 규정하였다. (p. 677)

3	임장희, 김희백 (2021)	소집단 상호 작용	A는 모든 구성원들의 참여를 이끌어내기 위해 다양한 측면에서 도움을 제공하며 자신의 권력을 재분배하려고 시도하였으며, 이를 통해 행위주체적 모습을 드러냈다. 그 결과, 부분적인 재분배가 일어나며 소집단의 참여 형태가 변화하였고, 모든 구성원들이 논의 과정에 참여하는 협력적 모델링이 일어나게 되었다. (p. 346)
		수업 시간	리더는 시간이 많이 있었다면 더 잘할 수 있었을 것이라 말했고, 시간이 부족할 때는 과제의 빠른 완성을 위해 학생들을 평가하고, 답을 수렴하려는 모습을 보였다. 초등학생이 이해하기에 어려운 배설을 주제로 할 때나, 모든 내용을 종합하는 정리 차시의 경우 학생들의 시간이 다소 부족했고, 인터뷰에서도 드러나듯이 리더는 질문을 통해 모든 학생들의 의견을 이끌어내려면 시간 안에 끝낼 수가 없다고 판단했다. (p. 354)
3	임장희, 김희백 (2021)	과학 지식	본 연구는 모델링 수업에서 학생들의 활발한 추론을 기대하였으나, 실제 수업에서는 초점 소집단에서 리더를 제외한 학생들의 내용 지식이 부족하여 모델링을 활용한 추론보다는 현상에 대한 그들의 이해를 표상하며 모델을 생성하는 것에 대부분의 시간이 소요되었다. (p. 357)
		수업 시간	모델링 중심 탐구 수업에 대해 학생들이 부정적으로 표현한 인식적 감정 중에는 ‘시간이 부족하다.’는 느낌이 가장 큰 비율을 차지하였다(48.3%). (p. 273)
4	유연준, 오필석 (2016)	소집단 상호 작용	모델링 중심 탐구 수업의 좋은 점에 대하여 “애들 의견을 들어보면서 비교해 보니 내가 무엇을 잘했나 못했나를 판단하여 알아서” 좋았다고 표현 (p. 273)
		메타모델링 지식	다음과 같은 어려움 때문에 모델링 수업에 대해 부정적인 인식적 감정을 느꼈음을 솔직하게 말해 주었다. “모델을 어떻게 활용하는지 모르면 설명을 자신 있게 할 수 없었다. 질문, 특히 모르는 질문을 하면 대답하는데 어려웠다.” (p. 273)
		감정 조절 능력	“만약 이해가 안 되면 지루해진다.”, “잘 하는 한 사람만 실험에 집중하는 경우가 있다.” 이러한 부정적인 인식적 감정을 달리 해석하면, 학생들은 그것을 통해 ‘이해가 되면 지루하지 않다.’, ‘나도 실험에 참여하고 싶다.’는 메시지를 전달하고 있는 것으로도 볼 수 있다. (p. 274)
5	임성은, 최승연, 박창미, 김찬중 (2020)	메타모델링 지식	과학적 모델이 교과서에서 모델이라는 용어로 사용되지 않기 때문에 학생들이 모델을 모델로서 이해하지 못했을 것으로 판단하며, 학생들이 모델과 모델링의 본성을 이해하기 위해서는 ‘모델’에 대한 기초적인 개념이해가 선행될 필요성을 보여준다. (p. 131)
		소집단 상호 작용	학생들은 모델링 수업을 통해 과학은 혼자서 하는 것이 아니라 사회적 상호작용을 하며 함께 하는 것을 경험한 후 모델의 목적이 다른 사람의 모델을 이해하거나 나의 모델을 전달하는 의사소통의 목적을 위한 것임을 이해하게 됨을 보였다. (p. 133)
		메타모델링 지식	통제반 학생들은 모델이 무엇인지 제대로 이해하지 못하는 상태에서 모델링 수업에 참여하였기 때문에 모델링 과정 중 모델을 수정하는 단계를 직접 경험하더라도 그 과정에서 모델의 가변성 의미를 제대로 이해하지 못했을 것으로 판단한다. 이러한 결과는 명시적·반성적 접근 방법을 기반으로 한 모델링 수업의 필요성을 보여준다. (p. 136)
6	한문현, 김희백 (2017)	수업 시간	초등학생의 경우 자신들의 의견, 생각을 표상으로 나타내고 말로 표현하는 것에 있어서 충분한 시간이 필요하다는 현장 교사들의 의견에 따라 학생들이 시간에 쫓겨 서둘러 호흡 운동 모형 구성을 마무리하지 않도록 6차시의 수업으로 호흡 운동 모형 구성 수업이 설계되었다. (p. 158)
		소집단 상호 작용	사후 인터뷰에서도 학생들은 6차시 마지막에 이르러서 ‘즐거움’이라는 인식적 감정을 경험하기 전까지는 상대방의 설명, 정교화형 반박이 마음에 들지 않아 유발된 부정적 감정을 드러냈을 뿐만 아니라, 연속적인 반박 직면으로 부정적 제재를 받은 것 같이 경험하게 부정적 감정까지도 언급하였다. (p. 161)
		감정 조절 능력	탐구 과정에서 정교화형 반박을 수용하는 데 있어 필요한 학생의 감정 조절은 모형을 정교화, 발달시키는 데 있어 핵심이 될 수 있음을 제안한다. (p. 165)
7	한문현, 김희백 (2018)	과학 지식	학생들이 모형 평가 단계에서 참여하기 위해서는 초기 모형에서 개선되어야 할 점, 과학적으로 타당하지 않은 점들을 제안하거나 반박의 형태로 드러내는 것이 필요하다. (p. 180)
		감정 조절 능력	연약이는 까칠이의 ‘아이디어가 싫음’을 느껴 까칠이의 설명에 반박을 하고 싶었지만, 한편으로 자신의 반박에 의해 까칠이의 감정이 상할 수 있음을 걱정했다고 하였다. (p. 182)
		소집단 상호 작용	모형 수정 단계에서 학생은 상대방에게 반박을 당하는 과정에서 기분이 상해 제한적 참여를 할 수도 있었지만(e.g., 한문현과 김희백, 2017, pp. 162-163), ‘추론이 잘못되었음을 느낌’이라는 인식적 감정을 구성하면서 상대방의 모형 수정을 받아들일 수 있었다. (p. 184)

수업의 속성이 개별 연구물에서 나타난 부분을 나타낸 것이다.

Table 4를 토대로, 각 연구물에서 나타난 모델링 수업의 속성을 정리한 결과는 Table 5와 같다. 이는

모델링 수업의 속성 중 어떤 속성이 많이 나타났는지 알아봄으로써 주요한 속성을 추론할 수 있기 때문이다.

분석 결과, 모든 연구물의 수업 사례에서 모델링

Table 5. The summary of modeling instruction revealed in the papers

저자(연도)	속성	모델링 수업에 영향을 주는 요인		모델링 수업에 참여하는 학생에게 요구되는 역량 요인		
	소집단 상호작용	수업 시간	과학 지식	메타모델링 지식	감정 조절 능력	
박신희, 최승언, 김찬중(2020)	○		○			
석운수, 윤혜경(2022)	○	○	○	○		
엄장희, 김희백(2021)	○	○	○			
유연준, 오필석(2016)	○	○		○	○	
임성은, 최승언, 박창미, 김찬중(2020)	○			○		
한문현, 김희백(2017)	○	○			○	
한문현, 김희백(2018)	○		○		○	

수업은 소집단의 상호작용에 영향을 받는 것으로 나타났다. 이는 선행연구(이신영 등, 2012)에서 소집단 내에서 비판적 검토와 같은 상호작용 양상에 따라 모델의 질이 달라진 것과 상통하는 결과이다. 모든 수업 사례에서 소집단을 구성하여 모델링 과정을 수행한 만큼 소집단 내 상호작용은 모델 생성, 평가 및 수정의 모든 과정에 많은 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다. 분석 대상 연구 중 석운수와 윤혜경(2022)의 계절의 변화 원인에 대한 모델링 수업 사례에서도 특정 소집단에 속한 학생들이 활발한 토의를 통해 증거에 기반한 모델 평가 및 수정에 적극적으로 임하였으며 이에 따라 높은 수준의 모델을 구성했다. 또한 한문현과 김희백(2018)의 호흡운동 모델링 수업 사례에서도 학생이 소집단 내 다른 학생에게 자신의 의견을 반박당하는 과정에서 기분이 상해 소극적으로 참여할 수도 있었지만, 이내 자신의 감정을 조절하고 모델 수정 과정에 적극적으로 참여하였음이 드러났다. 박신희 등(2020)은 소집단 상호작용에 적극적으로 참여하는 학생이 많을수록 초기 모델을 위한 아이디어가 다양해지고 최종적으로 생성되는 모델도 정교하다고 하였다. 이렇듯 초등과학 모델링 수업에서는 모델의 생성, 평가, 수정 과정에 소집단 내에서의 상호작용이 모델의 발달에 기여한다(유희원 등, 2012). 이는 소집단 활동은 학생을 지식 형성 주체로 만들어 줄 뿐만 아니라, 상호작용 참여가 학습에 긍정적인 영향을 미친다는 선행연구 결과와 상통하는 것이다(Nastasi & Clement, 1991). 소집단 상호작용이 활발할수록 모델에 대한 다양한 아이디어가 생성되고 공유될 수 있으며, 자신의 아이디어를 정당화함으로써 스스로 타당성을 판별할 수 있다. 또한 모델의 평가 및 수정 과정에서 활발한 의사소통을 통해 과학적으로 타당

하지 않거나 적합하지 않은 모델의 형태를 가려내는 활동을 거침으로써 최종적으로 수준 높은 모델을 구성할 수 있는 것이다.

또한 분석 대상 연구물 중 4개의 연구물을 통해 충분한 수업 시간은 모델링 수업의 필요 조건임을 알 수 있었다. 이는 모델링 수업이 모델의 생성, 평가, 수정 과정을 거치기 때문인데, 이러한 과정을 모두 수행하기 위해서는 충분한 수업 시간이 확보되어야 한다. 선행연구(조은진 등, 2017)에서도 중등교사가 모델링 수업을 진행할 의사가 없는 까닭으로 가장 많은 비율을 차지한 것이 ‘시간이 부족해서’였다. 학생 또한 모델링 수업에 많은 시간을 필요로 했는데, 분석 대상 연구물 중 유연준과 오필석(2016)의 연구에서 모델링 수업에 참여한 학생 중 모델링 수업의 좋지 않은 점에 대해 질문한 결과 ‘시간이 부족하다.’는 응답이 가장 많은 비율을 차지하였으며, 엄장희와 김희백(2021)의 연구에서도 ‘시간이 더 많이 주어졌다면 더 잘할 수 있었을 것이다.’라고 응답한 학생 인터뷰 사례가 있었다. 모델링 수업이 충분한 시간을 필요로 하는 까닭은 모델링 수업의 속성 중 소집단 상호작용에 영향을 받기 때문인데, 학생들은 자신들의 의견을 공유하는 과정에서 많은 시간을 소모하기 때문이다. 엄장희와 김희백(2021)의 연구에서 모델링 과정 중 시간이 부족한 나머지 소집단 내 아이디어를 평등한 위치에서 공유하지 않고, 과학 개념이 상대적으로 많은 인식적 권위자인 리더 학생이 다른 학생들의 아이디어를 일방적으로 평가하고 답을 수렴하여 모델을 구성하는 사례를 볼 수 있다.

효과적인 모델링 수업을 위해서는 수업에 참여하는 학생에게도 요구되는 역량 요인이 있다. 첫 번째로 분석 대상 연구물 중 4개의 연구물에서 초등학생

이 수업에 필요한 과학 지식을 갖고 있어야 함을 나타냈다. 모델 평가 단계에서 학생들은 모델이 과학적으로 타당한지 확인하는 과정을 거쳤는데, 과학 지식이 부족한 학생들로 구성된 소집단은 과학적으로 타당한 모델을 생성하는 데 어려움을 겪었기 때문이다. 엄장희와 김희백(2021)의 연구 사례에서도 과학 지식이 풍부한 학생이 인식적 권위자가 되어 내용 지식이 부족한 학생들에게 권위적인 태도를 보였으며 내용 지식이 부족한 학생들 또한 모델을 평가하고 수정하는 것보다는 모델 생성에 집중할 수밖에 없었다. 모델링 수업은 학생이 과학 지식을 능동적으로 구성할 수 있다는 점에서 과학교육의 목적을 달성한다고 볼 수 있지만(Ford, 2008), 모델링 과정에서 학생들은 자신들의 지식을 기반으로 모델을 생성하고 평가하므로 모델 구성에 필요한 과학 지식을 어느 정도 이해해야 함을 알 수 있다.

두 번째로 모델링 수업에 참여하는 학생은 과학 지식뿐만 아니라 메타모델링 지식 또한 갖고 있어야 하는데, 메타모델링 지식이란 모델의 본성과 모델의 목적, 모델의 평가를 위한 기준, 모델링 과정에 대한 지식(Schwarz *et al.*, 2009)이다. 모델 생성-평가-수정의 모델링 과정에 대한 지식은 과학 지식 생성의 과정을 이해하는 것과 비슷하며, 이는 모델의 본성과 목적과도 직결되어 모델링 수업에 학생이 적극적으로 참여하게 만드는 요인이 되기도 한다(Abd-El-Khalick *et al.*, 2004). 분석 대상 연구물(*i.e.* 석윤수와 윤혜경, 2022; 유연준과 오필석, 2016)에서도 메타모델링 지식을 명시적으로 학습하지 않고 모델링 수업에 참여한 학생들은 부정적 인식적 감정을 겪거나 구성한 모델을 제대로 활용하지 못하였다. 학생이 모델을 제대로 활용하지 못하는 현상은 선행연구(Baek *et al.*, 2011)에서도 모델링 수업의 목적이나 모델의 본성에 대해 논의하지 않은 채 모델링 수업을 진행했을 때 학생들이 모델과 모델링과 관련된 지식과 능력을 다른 상황에 적용하는 것에 어려움을 느낀 것과 상통하는 결과이다. 그러나 임성은 등(2020)의 연구에서처럼 학생들이 모델링에 대해 명확히 이해하고 모델을 구성한다면 학생들은 사회적 상호작용에 적극적으로 참여하고, 모델이 충족해야 할 기준을 생각함으로써 모델을 구성할 수 있을 것이다.

마지막으로 모델링은 소집단 상호작용을 통해 생성되는데, 이 과정에서 학생은 소집단 내에서 긍정적인 상호작용과 부정적인 상호작용을 모두 경험하

므로 감정 조절 능력을 갖추어야 한다. 유연준과 오필석(2021)의 연구 사례에서도 학습에 참여한 학생들을 대상으로 모델링 수업의 좋은 점과 좋지 않은 점을 설문하여 모델링 수업에서 학생이 느낀 감정을 간접적으로 알 수 있었는데, 학생들은 모델링 과정에서 긍정적인 인식적 감정과 부정적인 인식적 감정을 모두 느꼈음을 알 수 있었다. 모델링 수업에 참여한 학생은 모델링이 지속적인 의사소통 과정을 수반한다는 것을 이해하지 못하여 상호작용 활동에 어려움을 겪을 수 있으며(Gilbert & Justi, 2016), 의사소통 과정에서 느끼는 부정적 감정으로 인해 참여에 어려움을 겪을 수도 있다. 분석 대상 연구물 중 한문현과 김희백(2017) 연구 사례에서도 모델링 과정에서 자신의 의견에 반박하는 친구에 의해 부정적인 감정을 느꼈지만, 모델 구성 과정에서 의사소통은 필연적이며 상대방의 반박을 반복적으로 직면할 수밖에 없음을 깨달으면서 자신의 감정을 조절하고 모델 구성에 집중하였다는 학생 인터뷰 사례가 있었다. 학생이 학습 중 느끼는 감정은 수업 참여에 있어 중요한 요인으로 작용할 수 있는데(Milne & Otieno, 2007), 위 사례에서처럼 부정적 감정을 조절하는 과정을 경험함으로써 활동 속에서 느끼는 감정들을 익숙하게 여기고 조절하는 능력을 키우는 것 또한 교육의 일부가 될 수 있다.

요약하면, 모델링 수업은 소집단 상호작용에 영향을 받으며, 모델링 수업에서 충분한 상호작용을 바탕으로 모델 생성-평가-수정의 과정을 거치려면 충분한 수업 시간이 뒷받침되어야 함을 알 수 있다. 또한 성공적인 모델링 수업을 위해서는 학생들이 모델구성에 필요한 과학 지식과 메타모델링 지식을 알고 있어야 한다. 마지막으로 소집단 상호작용 과정에서 다양한 감정을 느끼는 학생들은 자신의 감정을 조절할 수 있는 능력 또한 갖추어야 한다.

### 3. 초등과학 모델링 수업에 필요한 과학 교사의 역량 요인

초등과학 모델링 수업에 필요한 과학 교사의 역량 요인은 교사가 알아야 할 지식, 갖추어야 할 기능과 태도를 중심으로 분석하였다. 다음은 초등과학 모델링 수업에 필요한 과학 교사의 역량 요인을 분석 대상 연구물의 초등과학 모델링 수업 사례와 각 연구자의 설명 및 해석 속에서 발견한 결과이다. 개별 연구물에서 발견한 초등과학 모델링 수업에 필요한

과학 교사의 역량 요인은 Table 6과 같다.

생성된 상위 메타포, 즉 초등과학 모델링 수업에 필요한 과학 교사의 역량 요인은 다음과 같다: 과학 교사는 ‘메타모델링 지식’과 ‘모델링 평가에 대한 지식’을 알고 있어야 하며, ‘학생에 대한 감정적 지원’에 능숙하고 ‘모델링 가치에 대한 인식’을 가져야 한다. Table 7은 초등과학 모델링 수업에 필요한 과학 교사의 역량 요인이 개별 연구물에서 나타난 부분을 나타낸 것이다.

Table 7을 토대로, 각 연구물에서 나타난 모델링 수업에 필요한 교사의 역량 요인을 정리한 결과는 Table 8과 같다. 이는 모델링 수업의 속성 분석과 마찬가지로 어떤 역량 요인이 많이 나타났는지 알아봄으로써 주요한 역량 요인을 추론하기 위함이다.

분석 결과, 분석 대상 연구물 중 5개의 연구 사례에서 모델링 수업을 수행하는 교사가 메타모델링 지식을 이해해야 함이 강조되었다. 교사가 과학 수업에서 모델을 구성하는 수업을 진행하기 위해서는 당연히도 교사는 모델이 생성되는 과정과 모델의 본성에 대해 알아야 한다. 만약 교사가 모델에 대한 이해가 선행되지 않은 상태로 모델링 수업을 진행한다면, 선행연구(Justi & Gilbert, 2002)에서처럼 모델링 수업에 대한 교사의 이해 부족으로 인해 모델링을 생성하거나 모델을 활용하는 식의 활동이 이루어지지 않고 교사가 학생들에게 모델을 전달하고 학생은 모델을 암기하는 식으로 표면적으로만 모델이 활용된 수업을 실행하는 상황이 생길 수 있다. 또한 모델에 대한 교사의 이해 수준에 따라 학생이 모델의 본성을 이해하는 정도와 모델의 활용 수준이 달라지기 때문에(Khan, 2007), 교사가 효과적인 과학 모델링 수업을 진행하기 위해서는 모델과 모델링에 대한 이해가 선행되어야 한다(Erduran & Duschl, 2004).

다음으로 과학 교사가 알고 있어야 하는 지식은 모델링 평가에 대한 지식이다. 이는 4개의 연구 사례를 통해 도출된 결과로, 초등과학 수업에서 모델을 활용하는 일이 실제적인 효과를 거두기 위해서는

모델링 과정에서 학생들은 교사로부터 적절한 피드백을 받아야 한다. 3개의 연구 사례(i.e. 석운수와 윤혜경, 2022; 유연준과 오필석, 2016; 한문현과 김희백, 2012)를 통해 학생 모델링 산출물이 정성적으로 평가되고 평가의 기준이 다양함을 알 수 있었는데, 이는 모델을 평가하는 상황에 따라 그 기준이 다양해질 수 있기 때문이다(Böttcher & Meisert, 2011). 다양한 평가 방법과 기준을 아는 것은 교사 전문성을 나타내는 구인인 교과교육학 지식(pedagogical content knowledge; PCK)의 구성요소에 해당된다(Park & Chen, 2012). 이에 모델링 평가에 대한 지식을 갖는 것은 교사의 모델링 수업 전문성과도 연관성이 있다고 볼 수 있다. 또한 교사가 학생의 모델링 능력에 관해 잘 알지 못하면 과학 수업에 모델링을 적용하기 어렵기 때문에(Justi & Gilbert, 2002) 교사가 학생의 모델링 능력을 평가하여 이를 수업에 반영하는 것은 중요하다.

모델링 수업을 수행하는 교사가 갖춰야 할 역량 요인 중 기능에 해당하는 것은 ‘학생에 대한 감정적 지원’ 능력이다. 모델링 수업은 소집단 상호작용에 영향을 받으며 수업에 참여하는 학생들이 감정 조절의 과정을 겪는다. 이러한 과정에서 학생들은 부정적 감정을 경험하기 마련인데, 교사의 적절한 감정적 지원은 학생이 자신의 부정적 감정을 조절하고 모델링에 더 적극적으로 참여할 수 있게 하는 중요한 요인이 될 수 있다. 분석대상 연구물 중 유연준과 오필석(2016) 연구 사례에서 학생들은 모델링 수업에서 긍정적인 인식적 감정과 부정적인 인식적 감정을 모두 경험하므로 적절한 격려와 도움을 제공함으로써 감정을 긍정적인 방향으로 발전시키도록 돕는 것이 중요하다고 하였으며, 한문현과 김희백(2018)의 연구에서도 학생이 소집단 상호작용 과정에서 부정적 감정을 느낄 수 있음을 이해하고 자신의 감정을 조절하여 상호작용에 다시 적극적으로 참여할 수 있도록 교사가 지원해야 함을 주장하였다.

한편, 2개의 연구 사례에서는 모델링 수업에서 교

Table 6. The factors of teachers competence for modeling classes

	상위 메타포	
	지식	메타모델링 지식
초등과학 모델링 수업에 필요한 과학 교사의 역량 요인	기능	모델링 평가에 대한 지식
	태도	학생에 대한 감정적 지원
		모델링 가치에 대한 인식

Table 7. The factors of teachers competence for modeling classes in individual cases

연번	저자 (연도)	역량	연구 사례
1	박신희, 최승언, 김찬중 (2020)	메타모델링 지식	이후 모델링 기반 학습에서는 교사의 모델과 모델링에 대한 이해가 중요하므로(Campbell, Oh, & Neilson, 2012; Gilbert & Justi, 2016) 연구자가 직접 수업이 가능한 경기도 소재 초등학교의 4학년 1개 반을 선정하여 2017년 12월 과학 교과 정규 수업 시간에 모델링 기반 수업(9차시)을 진행하였다. (p. 613)
2	석윤수, 윤혜경 (2022)	모델링 평가에 대한 지식	초등학생들의 모델링을 돕기 위한 구체적인 교수 방법과 교사의 역할에 관한 연구가 필요하다. 특히, 학생들이 모델링 과정에서 경험적 증거를 활용함에도 불구하고 비과학적인 모델을 구성한 경우, 모델 평가를 통해 모델을 과학적으로 수정할 수 있도록 교사의 적절한 안내가 매우 중요하다. (p. 687)
3	임장희, 김희백 (2021)	학생에 대한 감정적 지원	교사와 전문가들이 교육과정을 설계하고 실행할 때 학생 행위주체성 발현을 지원하기 위해 인지적, 규범적, 감정적 측면을 고려할 수 있을 것이다. 감정적 측면에서는 서로의 모델 구성에서 칭찬할 점을 발표하도록 하는 등 구성원들이 인정받는 경험을 만들어줌으로써 참여로의 기회를 확대할 수 있을 것이다. (p. 356)
4	유연준, 오필석 (2016)	모델링 평가에 대한 지식	과학 탐구 수업의 개념적 영역의 효과를 알아보기 위해 개념성취도 검사와 질적인 기법을 사용하여 추가 분석을 실시하였다. 학생이 계절 변화의 원인으로 무엇을 언급하였는가에 따라 응답을 A~E로 나누고, 계절 변화가 일어나는 인과적인 과정을 얼마나 자세히 설명하였는가에 따라 0~2로 나눈 후, 개별 학생의 응답을 A0, A1, A2, B0, B1, ... 등으로 부호화(coding)하였다. (p. 268)
		학생에 대한 감정적 지원	따라서 교사가 교수법적으로 적절하게 개입하여 학생들을 격려하고, 그들에게 필요한 도움과 안내를 제공하여 학생들이 느끼는 인식적 감정이 긍정적인 방향으로 발휘되도록 하는 것이 중요하다는 것을 알 수 있다. (p. 274)
5	임성은, 최승언, 박창미, 김찬중 (2020)	메타모델링 지식	이는 초등학생들이 암시적 접근 방법으로 모델링을 수행하는 경험과 메타모델링 지식 요소에 대한 이해를 연결하는 데 어려움이 있음을 보여주며, 모델 기반 학습을 통해 모델과 모델의 본성에 대한 이해를 증가시키기 위해서는 적절한 교수 전략이 필요함을 시사한다. (p. 138)
6	한문현, 김희백 (2017)	학생에 대한 감정적 지원	학생에게 인지적 비평형에 의해 나타나는 부정적 인식적 감정은 자연스러운 것이며 이로 인해 오히려 모형 발달을 촉진하는 정교화형 반박으로 이어질 수 있음을 안내할 필요가 있다. (p. 166)
7	한문현, 김희백 (2018)	학생에 대한 감정적 지원	교사는 내성적인 초등학생이 모형 구성 과정에서 과거, 현재, 미래의 감정을 고려하여 참여하게 되는 감정의 부담을 이해하고 이를 도와주려 노력할 필요가 있다. (p. 184)
8	임장희, 김희백 (2020)	모델링 평가에 대한 지식	모델 평가 단계에서 여러 모델을 비교, 대조하게 하는 개념 지원 피드백을 사용한 것은 모델링 교수 전략 지식(KIS)의 발달에 해당하며, 교사 중심에서 학생 중심적 평가로 변화한 것은 모델링 평가 지식(KA)의 발달에 해당하는 것이다. (p. 559)
		메타모델링 지식	B교사는 이러한 모델링 단계에 대한 이해를 기반으로, 학생들의 탐구를 촉진시키기 위해 평가와 수정 단계를 진행한 결과, 수업 실행에서 학생들의 활발한 논의를 이끌어냈다고 사료된다. (p. 560)
9	오필석 (2009)	모델링의 가치 에 대한 인식	B교사가 평가 단계에서 실행의 변화를 보인 것에는 여러 가지 요인이 있을 수 있지만, 모델링 각 단계의 의미에 대한 교사의 가치 인식이 실행 변화에 중요한 영향을 주었다고 보았다. (p. 560)
		모델링 평가에 대한 지식	예비교사들은, 모델을 평가하는 구체적인 과정에 대해서는 잘 진술할 수 없었지만, 과학에서 경험적 혹은 이론적 테스트를 통하여 모델을 바꾸는 일이 가능하다는 것에 대해서는 어느 정도 인식하고 있음을 알 수 있다. (p. 462)
		모델링의 가치 에 대한 인식	과학 수업에서 모델의 활용에 관한 그들의 인식은 주로 모델 내용 지향적 관점이라고 할 수 있으며, 학생들이 적극적으로 모델을 창안해 보는 모델 제작 지향적 관점이나 학생들로 하여금 모델의 본성에 대해 생각해보게 하는 모델 사고 지향적 관점은 상대적으로 부족하다고 볼 수 있다. (p. 464)
메타모델링 지식	예비교사들은 하나의 대상에 대하여 복수의 모델이 존재할 수 있다고 생각하였으며, 모델의 다양성과 가변성에 대해서 대체로 잘 인식하고 있음을 알 수 있었다. 하지만 이들은 과학적 탐구 과정에서 모델이 활용되고 평가되는 과정을 자세하게 진술하지 못하였고, 모델의 구체적인 본성에 관해서 언급하는 경우도 드물었다. (p. 464)		
10	윤혜경 (2011)	메타모델링 지식	‘과학적 모델은 과학자가 구성한 것’이라는 생각을 가지고 있던 많은 예비교사들이 스스로 과학적 모델을 구성할 수 있음을 인식하고, 나아가 아동들도 이러한 활동을 할 수 있다는 것을 인식한 것으로 보인다. (p. 363)

**Table 8.** The summary of factors of teacher competence for modeling classes revealed in the papers

저자(연도)	역량	지식		기능	태도
		메타모델링 지식	모델링 평가에 대한 지식	학생에 대한 감정적 지원	모델링의 가치에 대한 인식
박신희, 최승언, 김찬중(2020)	○				
석윤수, 윤혜경(2022)			○		
엄장희, 김희백(2021)				○	
유연준, 오필석(2016)			○	○	
임성은, 최승언, 박창미, 김찬중(2020)	○				
한문현, 김희백(2017)				○	
한문현, 김희백(2018)				○	
엄장희, 김희백(2020)	○	○	○		○
오필석(2009)	○	○	○		○
윤혜경(2011)	○				

사가 모델링의 가치에 대해 인식하는 것이 중요함을 나타내었다. 이는 모델링 수업에 필요한 교사 역량 요인 중에서 가장 적은 횟수로 연구물에 드러났지만, 모델링 수업이 실시되는 데 있어 중요한 부분이다. 엄장희와 김희백(2020)의 연구에서 모델링 수업을 진행한 두 교사의 수업을 분석하였을 때, 모델링의 가치를 인식한 교사가 자신의 수업 실행을 더 나은 방향으로 변화시키며 발전해가는 모습을 보였다. 또 오필석(2009)의 연구에서도 모델에 관한 예비 초등교사들의 인식을 조사한 결과, 특정 현상을 쉽게 설명하기 위해 모델을 활용하는 교사 중심적 모델 활용 목적을 가진 예비교사가 많았으며 학생들이 스스로 모델을 생성하고 평가하는 인식적 실행을 경험하도록 모델을 활용하고자 하는 예비교사는 적었다. 이는 메타모델링 지식과도 연관이 있는데, 선행 연구(Windschitl & Thompson, 2006)에서 모델이 특정 현상을 정확하게 표상해야 한다고 생각하는 교사들은 학생이 스스로 모델링하는 것과 메타모델링 지식을 학습하는 것의 가치를 덜 인식하였다. 모델은 특정 현상을 단순하게 나타낸 표상이 되기도 하지만 (Harrison & Treagust, 2000), 특정 자연현상을 설명하기 위한 설명체계가 될 수도 있는데(Schwarz et al., 2012) 이러한 모델의 다목적성을 교사가 인지한다면 수업에서 모델을 현상을 나타내는 표상으로만 활용하지 않고 학생이 직접 모델을 개발하는 활동의 가치를 인식할 수 있을 것이다. 또한 모델을 개발하는 활동의 가치를 인식하는 교사는 모델링 수업을 효과적으로 수행할 수 있도록 자신의 수업 전문성을 개발할 것이기 때문에(엄장희와 김희백, 2020) 교사

가 모델링의 가치를 인식하는 것은 성공적인 모델링 수업의 핵심 요인이 될 수 있다.

요약하면, 초등과학 모델링 수업이 효과적으로 이루어지기 위해 교사에게 필요한 역량 요인을 질적 메타분석한 결과, 교사는 모델의 본성 및 모델링에 관한 지식인 메타모델링 지식을 갖고 있어야 한다. 또한 모델링 평가는 맥락에 따라 다양한 평가 기준을 갖기 때문에 교사는 모델링 평가에 대한 지식을 갖고 있어야 한다. 그리고 교사는 모델링에 참여하는 학생의 감정 조절을 돕기 위해 감정적 지원에 능숙해야 하며, 모델링의 가치에 대해 인식하고 있어야 한다.

#### 4. 전체 연구 결과에 대한 종합 및 해석

초등과학 모델링 수업 사례에서 나타난 모델링 수업의 구성을 기반으로 하여 수업의 속성 및 교사의 역량 요인을 그림으로 표현하면 Fig. 3과 같다.

초등과학 모델링 수업의 구성은 모델을 생성하고 평가한 뒤 수정하는 과정을 거치며 이러한 과정은 소집단 상호작용 안에서 이루어진다. 긍정적이고 활발한 소집단 상호작용은 모델링 과정을 통해 학생이 인식론적 실행을 경험할 수 있도록 도우며, 소집단 구성원과 함께 모델을 평가하고 수정하는 과정을 통해 정교하고 과학적으로 타당한 모델을 구성하도록 돕는다. 그러므로 소집단 상호작용은 모델링 수업 전 과정에 핵심적인 영향을 주는 요인으로 볼 수 있다.

이와 더불어 모델링 수업에 영향을 주는 요인으로 수업 시간과 같은 환경적 요인이 있다. 학교 현

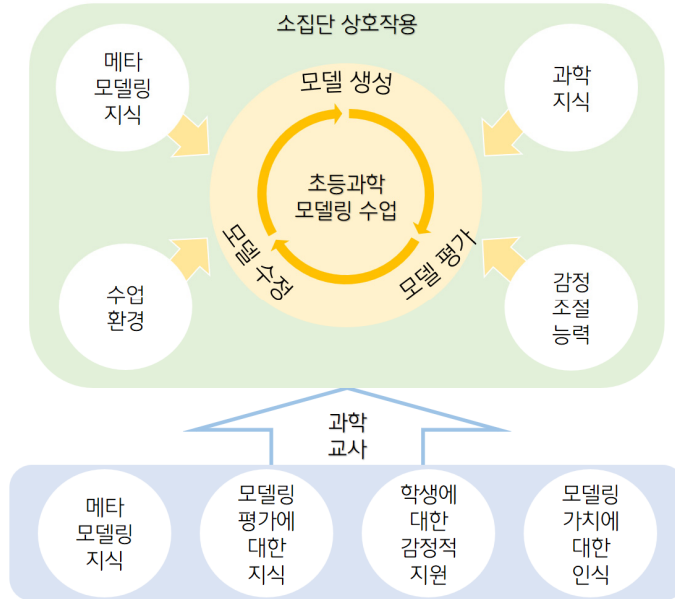


Fig. 3. Attributes of modeling instruction and factors of teacher competence in elementary science classes

장에서는 수업 시간의 부족으로 모델 평가와 수정 단계를 다른 활동에 비해 축약하여 수행하기도 하는데(엄장희와 김희백, 2020), 모델의 수정까지 이루어지려면 충분한 수업 시간이 확보되어야 한다. 이 밖에도 선행연구에서 밝힌 모델링 수업이 학교에서 실효적으로 활용되지 못하는 까닭에는 수업 시간의 제약뿐만 아니라 모델 구성은 인지 수준이 높은 학생들이 할 수 있다는 교사의 인식(강남화, 2017), 과학 학습은 증거를 기반으로 하여 지식을 구성하는 것이 아니라 교사가 제시하는 지식을 암기하는 것이라고 보는 학교 과학 문화(Berland & Reiser, 2009)와 같은 여러 환경적 요인이 있다.

한편, 모델링 수업에 참여하는 학생들은 모델을 생성하고 평가하는 단계에서 모델링에 필요한 과학 지식을 알고 있어야 과학적으로 타당한 모델을 구상할 수 있다. 또한 학생은 감정 조절의 과정을 모델링의 모든 과정에서 경험하게 되는데, 특히 비판적 의견을 활발히 주고받는 모델 평가 단계에서 가장 자주 경험하게 된다. 이 과정에서 학생은 비판적 의견이 자신에 대한 비난이 아닌, 더 좋은 모델을 만들기 위한 공동의 목적하에 자신의 의견에 대한 비판임을 인식하는 식의 감정 조절 능력을 갖추어야 비로소 더 적극적으로 모델링에 참여할 수 있다(한문현과 김희백, 2018; Jaber & Hammer, 2016).

또한 학생의 메타모델링 지식은 모델링 전 과정에 영향을 미치기 때문에 학생이 메타모델링 지식을 아는 것은 중요하다. 학생이 모델의 본성 및 목적, 그리고 모델링 과정에 대해 알고 있는 것은 모델링 활동의 필요 조건인데, 메타모델링 지식을 명시적으로 학습한 학생들은 모델과 모델링에 대해 폭넓게 이해하며 모델링 과정에서도 자신이 무엇을 하고 있는지 의식하며 수행한다(임성은 등, 2020). 학생들이 모델링 과정에 대해 명확히 인식한다면 수정된 모델이 다시 새로운 모델이 되는 모델링의 순환적 성격을 이해할 수 있다. 모델링이 순환적으로 이루어짐을 아는 것이 중요한 까닭은 모델링 학습의 궁극적인 목표를 이해하는 것과 같은데, 모델링 학습은 순환적인 모델링 과정을 통해 과학적 모델에 근접시키는 것을 목적으로 하기 때문이다(Clement, 1989).

초등과학 모델링 수업을 진행하는 교사의 역량은 모델링 수업이 효과적으로 이루어질 수 있게 하는 기반이 된다. 이에 모델링 수업에 필요한 교사의 역량 요인을 지식, 기능, 태도 측면으로 구분하여 분석한 결과, 교사가 알아야 할 지식에는 메타모델링 지식과 모델링 평가 지식이 있음을 알 수 있었다. 학생들에게 명시적으로 모델의 본성 및 모델링의 목적과 과정에 대해 논의하기 위해서는 교사 역시 메타모델링 지식을 갖고 있어야 하며, 메타모델링 지



식을 기반으로 하여 모델링을 평가할 수 있는 능력이 있어야 한다. 또한 어떤 모델을 평가하느냐에 따라 교사가 사용할 평가 기준도 달라지므로(하윤희 등, 2022) 모델을 평가하는 다양한 기준 및 방법에 대한 지식을 이해하는 것이 필요하다.

이와 더불어 교사는 학생에 대한 감정적 지원에 능숙하여 학생이 느끼는 다양한 감정을 통해 학생의 참여를 이끌 수 있어야 한다. 혹자는 교사가 학생이 부정적 감정을 느끼지 않도록 수업 환경을 조성하는 것이 더 효율적이라고 생각할 수 있지만, Jaber & Hammer(2016)는 학생이 수업에서 긍정적인 감정만을 느끼는 것보다, 다양한 감정을 경험함으로써 오히려 적극적으로 참여할 수 있다고 하였다.

마지막으로, 태도적인 측면에서 교사가 모델에 대해 얼마나 이해하고 그 가치를 인식하느냐에 따라 수업에서 모델을 활용하는 정도도 달라지므로(Khan, 2007) 교사가 모델링의 가치에 대해 인식하는 것 또한 매우 중요하다고 볼 수 있다.

#### IV. 결론 및 제언

이 연구는 초등과학 모델링 수업의 구성과 속성 그리고 교사의 역량 요인을 탐색하고자 기존의 연구 사례를 질적 메타분석하였다.

본 연구의 결과들을 종합해보면, 초등과학 모델링 수업은 소집단 내에서 모델의 생성-평가-수정 과정을 거치며 학생은 수업에 필요한 과학 지식과 메타모델링 지식을 갖고 있어야 하고, 소집단 상호작용 과정에서 감정 조절의 과정을 경험하므로 감정 조절 능력을 갖추어야 함을 알 수 있다. 또한 긍정적이고 활발한 소집단 상호작용, 충분한 수업 시간과 같은 수업 환경이 효과적인 모델링 수업이 이루어지도록 영향을 줌을 알 수 있다. 효과적인 초등과학 모델링 수업을 위해 교사는 메타모델링 지식, 모델링 평가에 대한 지식을 갖고 있어야 하며, 학생에 대한 감정적 지원에 능숙해야 하고, 모델링의 가치에 대해 인식해야 함을 결론지을 수 있다.

본 연구의 결론을 토대로 초등과학 모델링 수업과 관련하여 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, 메타모델링 지식은 모델링 수업을 구성하는 교사와 수업에 참여하는 학생에게 모두 필요한 지식이다. 그러나 본 연구에서 분석한 연구물 중 초등학생을 대상으로 메타모델링 지식에 대한 명시적

인 논의 후 모델을 생성했음을 언급한 수업 사례는 2개뿐이었다. 다른 수업 사례에서 모델링 과정을 통해 학생이 메타모델링 지식을 자연스럽게 학습하도록 유도했을 수도 있지만, 메타모델링 지식에 대한 이해가 선행되었을 때 학생의 모델링 수업 참여가 더 유의미했다는 연구 결과(임성은 등, 2020)를 고려할 필요가 있다. 이에 따라 효과적인 메타모델링 지식 학습을 위한 구체적인 교수학습 방법이 필요함을 알 수 있다. 또한 메타모델링 수업을 위해서는 메타모델링 지식에 대한 교사의 이해가 선행되어야 하므로 교사를 대상으로 한 모델 및 모델링에 관한 교사 연수 및 수업 자료의 개발이 필요하다.

둘째, 초등과학 수업에서 모델링을 적용한 수업이 활발하게 이루어지기 위해서는 무엇보다 교사의 인식 변화가 선행되어야 한다. 충분한 시간을 필요로 하는 모델링 수업이 정착되기 위해 수업 시간이 탄력적으로 운영될 수 있는 유연한 환경이 조성되어야 한다. 수업 환경의 변화도 필요하지만, 40분으로 정해진 초등 수업 시간과 같은 제약 조건은 교사의 인식 변화로도 어느 정도 극복할 수 있다. 이와 관련하여 현장에서 모델링 활동을 적용하는 것에 대해 우려를 표했던 교사들이 연수 후에 모델링 수업의 가치를 인식하여 수준을 조정하여서라도 모델링을 활용할 수 있다는 인식의 변화를 보인 사례가 있다(강남화, 2017). 또한 모델링 수업은 매 수업마다 모델을 생성하여 평가하고 수정하는 과정을 모두 거치지 않고 여건에 맞게 탄력적으로 운영할 수 있으므로(Khan, 2007), 모델링에 대한 교사의 확장된 인식은 모델링 단계와 수업의 수준을 유연하게 조정하도록 도움을 알 수 있다.

셋째, 모델링 수업 과정에서 교사가 학생이 경험하는 감정적 조절을 지원해주며, 다양한 평가 기준으로 학생의 모델링 수행 능력을 평가하기 위해서는 이와 관련된 연구 및 교사 연수가 필요하다. 현재까지 국내에서 초등교사의 과학 모델 평가 기준에 관한 연구는 예비 초등교사를 대상으로 한 오필석과 이정숙(2014)의 연구뿐으로, 중·고등교사를 대상으로 한 연구에 비해 부족한 실정이다. 모델링 수업 중 교사의 학생에 대한 감정적 지원에 관한 연구 또한 대부분의 연구가 모델링 수업에 참여하는 학생의 감정에 초점을 두고 있어 교사의 감정적 지원에 관한 부분은 적은 비중으로 다루어지고 있다. 이에 모델링 수업 과정에서 교사가 학생의 감정 조절을

돕기 위한 구체적인 방안 및 모델과 모델링 수행 능력을 평가할 수 있는 다양한 방법에 관한 연구가 진행되어야 한다. 이러한 연구가 누적된다면, 연구 결과를 토대로 모델링 수업을 위한 효과적인 교사 연수가 진행될 수 있을 것으로 사료된다.

한편, 본 연구는 초등과학 수업에 적용된 모델링 수업 사례에 한정하여 모델링 수업의 속성 및 교사의 역량 요인을 알아보았기 때문에 연구 결과를 전체 학교급을 대상으로 일반화할 수 없다는 한계가 있다. 이에 보다 넓은 시야로 전체 학교급 수업 사례를 통해 모델링 수업 속성을 규명한다면, 효과적인 모델링 수업 방안에 관한 본 연구와는 다른 시사점을 도출할 수 있을 것이다. 또한 모델링 수업에 필요한 교사의 역량 요인에는 본 연구에서 제시된 것보다도 다양할 것이다. 특히 본 연구에서 모델링 수업에 필요한 교사의 역량 요인 중 기능적 측면은 ‘학생에 대한 감정적 지원’으로 한 가지만 제시되었으나, 실제로는 성공적인 모델링 수업을 위해 교사가 갖춰야 할 기능이 훨씬 다양할 것으로 사료된다. 이에 본 연구의 사례를 통해 밝혀진 교사의 역량 요인을 중심으로 더 다양한 요인들이 후속 연구에서 탐색된다면, 모델링 수업을 위한 교사 교육을 주제로 통합적인 논의가 가능할 것이다.

## 참고문헌

강남화, 이은미(2013). 2009 개정 과학교육과정에 따른 고등학교 물리 교과서 탐구활동 분석. 한국과학교육학회지, 33(1), 132-143.

강남화(2017). 과학 탐구와 과학 교수학습에서의 모델과 모델링에 대한 교사들의 인식. 한국과학교육학회지, 37(1), 143-154.

교육부(2022). 과학과 교육과정. 교육부 고시 제2022-33호.

나장함(2008). 질적 메타분석에 대한 고찰. 교육과정연구, 26(4), 229-252.

박신희, 최승언, 김찬중(2020). 테라포밍에 대한 과학적 모델링 수업에서 소그룹 상호작용 중 발견되는 초등학생의 창의성. 한국과학교육학회지, 40(6), 611-620.

박지연, 이경호(2008). 통합적 정신모형 이론에 기반한 4M 순환학습 수업모형의 효과: 고등학생의 원운동 관련 기초 개념과 정신모형의 발달 측면에서. 한국과학교육학회지, 28(4), 302-315.

석운수, 윤혜경(2022). 초등학생의 계절 변화 원인에 관한 지구본 활용 모델링 분석. 초등과학교육, 41(4),

673-689.

양일호, 정진수, 권용주, 정진우, 허명, 오창호(2006). 과학자의 과학지식 생성 과정에 대한 심층 면담 연구. 한국과학교육학회지, 26(1), 88-98.

엄장희, 김희백(2020). 과학 모델링 수업에서 나타난 초등 교사의 수업 실행 변화: 모델링 pck를 중심으로. 한국과학교육학회지, 40(5), 543-563.

엄장희, 김희백(2021). 초등학교의 협력적 과학 모델링 수업에서 나타난 리더의 행위주체성 탐색. 한국과학교육학회지, 41(4), 339-358.

오필석, 이정숙(2014). 예비 초등 교사들의 과학 모델 평가 기준. 한국과학교육학회지, 34(2), 135-146.

오필석(2009). 과학과 과학 교육에서 사용되는 모델에 관한 예비 초등 교사들의 인식. 초등과학교육, 28(4), 450-466.

유연준, 오필석(2016). 초등학생들의 계절의 변화 단원의 학습에서 모델링 중심 과학 탐구 수업의 효과. 초등과학교육, 35(2), 265-276.

유희원, 함동철, 차현정, 김민석, 김희백, 유준희, 박현주, 김찬중, 최승언(2012). 달의 위상 변화에 대한 과학적 모형 구성 수업에서 나타나는 과학 영재들의 모형 생성 및 발달 과정. 영재교육연구, 22(2), 291-315.

윤혜경(2011). 초등 예비교사의 자기 모델 탐구 과정과 과학적 모델에 대한 이해 변화. 초등과학교육, 30(3), 353-366.

이신영, 김찬중, 최승언, 유준희, 박현주, 강은희, 김희백(2012). 소집단 상호작용에 따른 심장 내 혈액 흐름에 대한 소집단 모델 발달 유형과 추론 과정 탐색. 한국과학교육학회지, 32(5), 805-822.

임성은, 최승언, 박창미, 김찬중(2020). 명시적-반성적 접근을 활용한 모델링 수업이 초등학생들의 메타모델링 지식에 미치는 영향 탐색. 한국과학교육학회지, 40(2), 127-140.

조은진, 김찬중, 최승언(2017). 과학적 모델과 모델링에 대한 중등 과학 교사의 인식 탐색. 한국과학교육학회지, 37(5), 859-877.

조혜숙, 남정희, 오필석(2017). 과학교육에서 모델 및 모델링에 대한 고찰: 메타모델링 지식을 중심으로. 한국과학교육학회지, 37(2), 239-252.

조혜숙, 남정희(2017). 과학교육에서 모델과 모델링 관련 국내 과학 교육 연구 동향 분석. 한국과학교육학회지, 37(4), 539-552.

하윤희, 차현정, 신현정, 김찬중(2022). 예비 지구과학 교사들의 기후변화 모델 평가 기준 탐색. 한국지구과학회지, 43(1), 210-223.

한문현, 김희백(2012). ‘먹이 그물과 먹이 피라미드’ 모형 구성에서 나타난 초등학생의 추론 유형. 초등과학교육, 31(1), 71-83.

- 한문현, 김희백(2017). 모형 구성 과정에서 나타나는 초등학생의 인지, 감정적 반박: 인식적 감정을 중심으로. *한국과학교육학회지*, 37(1), 155-168.
- 한문현, 김희백(2018). 모형 구성 참여 양상에서 나타나는 내성적인 초등학생의 인식적 감정 구성. *한국과학교육학회지*, 38(2), 171-186.
- Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. I. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397-419.
- Baek, H., Schwarz, C., Chen, J., Hokayem, H., & Zhan, L. (2011). Engaging elementary students in scientific modeling: The MoDeLS fifth-grade approach and findings. *Models and modeling: Cognitive tools for scientific enquiry*, 195-218.
- Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93(1), 26-55.
- Böttcher, F., & Meisert, A. (2011). Argumentation in science education: A model-based framework. *Science & Education*, 20, 103-140.
- Campbell, T., Oh, P. S., & Neilson, D. (2012). Discursive Modes and Their Pedagogical Functions in Model-Based Inquiry (MBI) Classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(15), 2393-2419.
- Campbell, T., Oh, P. S., & Neilson, D. (2013). Reification of five types of modeling pedagogies with model-based inquiry (MBI) modules for high school science classrooms. In M. S. Khine & I. M. Saleh (Eds.), *Approaches and strategies in next generation science learning* (pp. 106-126). Hershey, PA: IGI Global.
- Carlson, J., Daehler, K. R., Alonzo, A. C., Barendsen, E., Berry, A., Borowski, A., ... & Wilson, C. D. (2019). The refined consensus model of pedagogical content knowledge in science education. *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers' Knowledge for Teaching Science*, 77-94.
- Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism. In *Handbook of creativity* (pp. 341-381). Springer.
- Clement, J. (2008). Creative model construction in scientists and students: The role of imagery, analogy, and mental simulation. Dordrecht: Springer Science & Business Media.
- Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268-291.
- Erduran, S., & Duschl, R. A. (2004). Interdisciplinary characterizations of models and the nature of chemical knowledge in the classroom. *Studies in Science Education*, 40(1), 105-138.
- Forbes, C. T., Zangori, L., & Schwarz, C. V. (2015). Empirical validation of integrated learning performances for hydrologic phenomena: 3rd grade students' model driven explanation construction. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(7), 895-921.
- Ford, M. J. (2008). Disciplinary authority and accountability in scientific practice and learning. *Science Education*, 92(3), 404-423.
- Fulmer, G. W., & Liang, L. L. (2013). Measuring model-based high school science instruction: Development and application of a student survey. *Journal of Science Education and Technology*, 22(1), 37-46.
- Giere, R. N., Bickle, J., & Mauldin, R. F. (2006). *Understanding scientific reasoning* (5th ed.). Belmont, CA: Thomson.
- Gilbert, J. K., & Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in science education*. Cham : Springer.
- Gouvea, J., & Passmore, C. (2017). Models of versus 'models for. *Science & Education*, 26(1-2), 49-63.
- Halloun, I. A. (2006). Fundamental Tenets of Modeling Theory. *Modeling Theory in Science Education*, 1-32.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84(3), 352-381.
- Hmelo-Silver, C. E., Liu, L., Gray, S., & Jordan, R. (2015). Using representational tools to learn about complex systems: A tale of two classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(1), 6-35.
- Ingham, A. I., & Gilbert, J. K. (1991). The use of analogue models by students of chemistry at higher education level. *International Journal of Science Education*, 13, 203-215.
- Jaber, L. Z., & Hammer, D. (2016). Learning to feel like a scientist. *Science Education*, 100(2), 189-220.
- Johnson, S. K., & Stewart, J. (2002). Revising and assessing explanatory models in a high school genetics class: A comparison of unsuccessful and successful performance. *Science Education*, 86(4), 463-480.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002). *Modelling, teachers'*

- views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R., & Van Driel, J. (2005). A case study of the development of a beginning chemistry teacher's knowledge about models and modelling. *Research in Science Education*, 35(2-3), 197-219.
- Kawasaki, K., Herrenkohl, L., & Yeary, S. A. (2004). Theory building and modeling in a sinking and floating unit: A case study of third and fourth grade students' developing epistemologies of science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1299-1324.
- Khan, S. (2007). Model-Based Inquiries in Chemistry. *Science Education*, 91(6), 877-905.
- KMK [Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der BRD]. (2005). Bildungsstandards im Fach (a) Biologie, (b) Chemie, (c) Physik für den Mittleren Schulabschluss [Educational standards in (a) biology, (b) chemistry, (c) physics for middle school graduation]. München/Neuwied, Germany: Wolters Kluwer.
- Koponen, I. T. (2007). Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science & Education*, 16(7-8), 751-773.
- Liu, L., & Hmelo-Silver, C. E. (2009). Promoting complex systems learning through the use of conceptual representations in hypermedia. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(9), 1023-1040.
- Liu, L., & Hmelo-Silver, C. E. (2010). Conceptual representation embodied in hypermedia: An approach to promoting knowledge co-construction. In M. S. Khine & I. M. Saleh (Eds.), *New Science of Learning* (pp. 341-356). NY: Springer.
- Major, C. H., & Savin-Baden, M. (2010). An introduction to qualitative research synthesis: Managing the information explosion in social science research. Routledge.
- Milne, C., & Otieno, T. (2007). Understanding engagement: Science demonstrations and emotional energy. *Science Education*, 91(4), 523-553.
- Mittelstraß, J. (2005). Anmerkungen zum Modellbegriff [Annotations of the Model Term]. Modelle des Denkens: Streitgespräch in der Wissenschaftlichen Sitzung der Versammlung der Berlin--Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften am 12. Dezember 2003, 65-67.
- Nastasi, B. K., & Clements, D. H. (1991). Research on cooperative learning: implications for practice. *School Psychology Review*, 20(1), 110-131.
- National Research Council. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy 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 (Ed.). (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: National Academies Press.
- Nobilt, G. W., & Hare, R. D. (1988). Meta-Ethnography: Synthesizing qualitative research: Practical issues. *Journal of Advanced Nursing*, 48(3), 271-278.
- 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.
- Park, S., & Chen, Y. C. (2012). Mapping out the integration of the components of pedagogical content knowledge (PCK): Examples from high school biology classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(7), 922-941.
- Passmore, C., Gouvea, J. S., & Giere, R. N. (2014). Models in science and in learning science: Focusing scientific practice on sense-making. In M. R. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 1171-1202). Dordrecht: Springer.
- Rea-Ramirez, M. A., Clement, J., & Núñez-Oviedo, M. C. (2008). An instructional model derived from model construction and criticism theory. In *Model based learning and instruction in science* (pp. 23-43). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Achér, A., Kenyon, L., & Fortus, D. (2012). Models: challenges in defining a learning progression for scientific modeling. In A. Alonzo & A. Gotwals (Eds.), *Learning progressions in science: current challenges and future directions* (pp. 101-137). Rotterdam, The Netherlands: Sense.
- 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.

- Shen, J., & Confrey, J. (2007). From conceptual change to transformative modeling: A case study of an elementary teacher in learning astronomy. *Science Education*, 91(6), 948-966.
- Stroupe, D. (2015). Describing “Science Practice” in learning settings. *Science Education*, 99(6), 1033-1040.
- 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.
- Walsh, D., & Downe, S. (2004). Meta-synthesis method for qualitative research: A literature review. *Journal of Advanced Nursing*, 50(2), 204-211.
- Windschitl, M., & Thompson, J. (2006). Transcending simple forms of school science investigation: The impact of preservice instruction on teachers’ understandings of model-based inquiry. *American Educational Research Journal*, 43(4), 783-835.
- 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.

---

김현주, 서울교육대학교 박사과정생(Hyun-Ju Kim; Ph.D. Student, Seoul National University of Education).

임채성, 서울교육대학교 교수(Chae-Seong Lim; Professor, Seoul National University of Education).

† 이기영, 강원대학교 교수(Ki-Young Lee; Professor, Kangwon National University).