

## 과학 모델링 수업에서 나타난 초등 교사의 수업 실행 변화 -모델링 PCK를 중심으로-

엄장희, 김희백\*  
서울대학교

### Changes in Teaching Practices of Elementary School Teachers in Scientific Modeling Classes: Focused on Modeling Pedagogical Content Knowledge (PCK)

Janghee Uhm, Heui-Baik Kim\*  
Seoul National University

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 4 August 2020

Received in revised form

25 August 2020

23 October 2020

Accepted 28 October 2020

##### Keywords:

Scientific Model, Scientific Modeling Classes, Pedagogical Content Knowledge(PCK), Modeling PCK, Teaching Practice

#### ABSTRACT

This study explores how the teaching practices of two teachers changed during scientific modeling classes. It also aims to understand these changes in terms of the teachers' modeling pedagogical content knowledge (PCK) development. The study participants were two elementary school teachers and their fifth-grade students. The teachers taught eight lessons of scientific modeling classes about the human body. The data analysis was conducted for lessons 1-2 and 7-8, which best showed the change in teaching practice. The two teachers' teaching practices were analyzed in terms of feedback frequency, feedback content, and the time allocated for each stage of model generation, evaluation, and modification. Teacher A led the evaluation and modification stages in a teacher-driven way throughout the classes. In terms of feedback, teacher A mainly used answer evaluation feedback in lesson 1-2; however, in lesson 7-8, the feedback content changed to thought-provoking feedback. Meanwhile, teacher B mostly led a teacher-driven model evaluation and modification in lesson 1-2; however, in lesson 7-8, she let her students lead the model evaluation and modification stages and helped them develop models through various feedbacks. The analysis shows that these teaching changes were related to the development of modeling PCK components. Furthermore, the two teachers' modeling PCK differed in teaching orientation, in understanding the modeling stages, and in recognizing the value of modeling, suggesting the importance of these in modeling teaching practice. This study can help improve the understanding of modeling classes by revealing the relationship between teaching practices and modeling PCK.

## 1. 서론

### 1. 과학적 모델과 모델 구성 과정

초·중등학교의 교육 목표를 달성하기 위해 교육과정의 공통적인 기준을 제시한 국가 과학 교육과정에 따르면, 과학은 개념을 이해하고 과학 탐구 능력과 태도를 함양하여, 개인 및 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결할 수 있는 과학적 소양을 기르기 위한 교과이다(Ministry of Education, 2015). 이에 따라, 2015 개정 과학 교육과정은 과학 과목에서 다양한 탐구 중심의 학습을 권장하며, 학생들이 이러한 탐구 경험을 통해 과학적 핵심 역량을 함양할 것을 명시하고 있다. 예로부터 과학교육에서 탐구는 중요한 목표로서 강조되어 왔는데, 학생들의 탐구 능력을 향상시키기 위한 방법으로 최근 과학적 모델을 활용한 교수 방법이 주목을 받고 있다(Bamberger & Davis, 2013; Baek, 2013; Schwarz *et al.*, 2009). 2009 개정 교육과정과 2015 개정 교육과정은 과학 현상에 대한 모델을 만드는 탐구 활동을 통해 학생들이 기본 개념을 이해하도록 하였고, 특히 2015 개정 교육과정

은 평가에서도 모형을 활용하여 학생이 이해한 바를 모델로 표현하게 하는 평가 방법을 제안하였다(Ministry of Education, 2009; Ministry of Education, 2015).

과학적 모델(scientific model)은 과학적 모형이라고도 하며, 이는 현상을 추상화하고 단순화한 표상(Harrison & Treagust, 2000; Ingham & Gilbert, 1991)이자, 어떠한 자연 현상을 설명하기 위해 구성된 설명체계 등으로 정의된다(National Research Council, 2012). 과학자들은 이러한 모델을 통해 현상을 나타내고 설명을 만들면서 자연에 대한 탐구를 해왔기 때문에, 모델은 탐구의 도구로서 매우 핵심적인 역할을 해왔다고 볼 수 있다. 미국의 차세대 과학 교육 표준(Next Generation Science Standards, NGSS)에서도 이러한 모델의 중요성을 반영하여, 과학교육의 목표로서 '증거에 바탕을 둔 모델 구성 능력 함양'을 제시한 바 있다(NGSS Lead States, 2013).

특히, 모델을 만들어 가는 과정을 모델링(modeling)이라고 하는데(Bamberger & Davis, 2013; Hestenes, 2006), 모델링은 과학 교수 학습에서 중요한 의미를 가진다. 보다 구체적으로, 모델링 활동이 과학 교수·학습에 도움 주는 측면을 크게 개념적, 인식적, 사회적 측면

\* 교신저자 : 김희백 (hbkim56@snu.ac.kr)

\*\* 이 논문은 2018년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018S1A5A2A01030929)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2020.40.5.543>

으로 나누어 본다면 다음과 같다.

첫째, 개념적 측면에서 학생들이 과학 지식을 이해하는 데 도움을 줄 수 있다. 모델링 활동은 학생들이 복잡하고 추상적인 자연 현상을 단순화된 형태로 표현하도록 하는 것으로, 학생들의 내적 사고를 표현하는 것을 도와 그들의 이해를 시각화하고 개념을 발달시키는 데 도움을 준다(Schwarz & White, 2005). 또한, 모델로 표현하기 위해 학생들은 자신의 인지구조 속에서 이해한 바를 종합적으로 재구성해야하므로(Kang, 1997; Davenport & Prusak, 1997), 현상과 경험, 이론을 보다 포괄적으로 이해할 수 있게 된다(Cho, Nam, & Oh, 2017).

둘째, 인식적(epistemic) 측면에서 과학적 실행에 직접적으로 참여하여 진정한 실행(authentic practice)을 경험(Hodson, 1998)하고 과학적 탐구 과정에 익숙해질 수 있다. 이를 통해, 과학의 잠정성, 과학적 방법의 다양성, 과학적 모델의 특성 등 과학의 본성에 대한 이해를 높일 수 있다(Lehrer & Schauble, 2006; Lederman, 2007).

셋째, 사회적 측면에서는 과학적 의사소통 능력을 증진시킬 수 있다. 과학자들이 모델링 과정에서 과학 공동체에서의 논의를 통해 이론을 검증받듯이, 모델링 과정은 필연적으로 학습 공동체의 평가 및 수정 과정을 수반한다. 따라서 모델링 수업에서 교사나 다른 학생과의 사회적 상호작용을 통해 협력적으로 모델을 구성하고, 자신과 동료의 모델을 평가하며, 이를 수정하기 위해 서로 논의하는 과정에서 의사소통 기능이 발달될 수 있다.

특히, 과학적 의사소통 능력은 2015 개정 교육과정에서 제시하는 핵심 역량의 하나로서 강조되는 것인데(Ministry of Education, 2015), 의사소통 능력의 발달은 다시 개념 이해 및 과학 본성에 대한 이해를 증진시키는 향진적 기능이 있다.

## 2. 모델 구성 과정과 GEM cycle

그렇다면, 과학 수업에서 모델링 과정은 어떤 단계로 이루어질까? 이에 대해 Clement(1989)는 GEM cycle을 통해 모델 구성 과정을 설명하였다. GEM은 각각 Generation(생성), Evaluation(평가), Modification(수정)의 앞 글자를 딴 것으로서, 학생들이 초기 모델을 생성하고, 타당성을 평가한 후, 이를 바탕으로 모델을 수정하는 과정을 말한다.

그는 ‘평가-수정’, 또는 ‘생성-평가-수정’의 단계가 반복되면서 모델이 점차 구체화되고 발전한다고 보았는데, 여러 차례의 반복을 통해 모델이 점차 발달한다는 맥락에서 GEM cycle이라는 용어를 사용하였다. 이러한 GEM cycle을 적용한 과학 모델링 수업에서, 학생들은 교사나 동료와의 상호작용을 통해 자신의 초기 모델을 과학적 모델에 근접하게 발달시킬 수 있으며, 이 과정에서 학습이 일어나게 된다(Clement & Steinberg, 2002; Justi, Gilbert, 2002). 모델 구성 과정을 연구한 또 다른 연구자들인 Rea-Ramirez *et al.*(2008)는 GEM cycle을 더욱 명료화하였는데, 모델 평가 단계에서 발견된 문제의 중요성에 따라 작은 문제일 경우 모델 수정 단계로 넘어가고, 중요한 문제인 경우 모델 생성 단계로 돌아가 GEM cycle이 반복된다고 하였다.

특히, Clement(1989), Rea-Ramirez *et al.*(2008)은 GEM cycle의 세 가지 단계 중 평가와 수정 과정을 통해 점차 모델이 진화할 수 있다고 보았기 때문에, 이 두 단계는 모델 발달에 있어 핵심적인 부분이다.

## 3. PCK 및 모델링 PCK

이러한 모델링 수업에서 교사의 역할은 매우 중요한데, 모델 구성에 대한 교사의 지식이 모델링 수업을 실행하는 데 있어 핵심적인 역할을 하기 때문이다(Fulmer & Liang, 2013; Justi & van Driel, 2005). 교사를 대상으로 한 연구에서, 교사의 전문성을 논할 때 대표적으로 사용되는 개념 중 하나로서 PCK(Pedagogical Content Knowledge)가 있다. 이것은 교수법적 내용 지식을 뜻하는 것으로, 이것을 처음 제시한 Shulman(1986)은 이를 교육(pedagogy)과 내용(content)의 특별한 화합물(amalgam)이라고 정의하였다. 즉, PCK는 학생들에게 교과 내용을 적절하게 조직하고 표현하여 가르치기 위한 교사의 지식을 의미한다(van Driel *et al.*, 1998). 교사가 과학 내용 지식을 잘 안다고 해서 PCK를 갖고 있다고 단정 지을 수 없으며, 내용을 교육적으로 잘 조직하여 학생들에게 어떻게 가르칠 것인가에 대한 지식이 있어야 하기에, 교육과 내용의 적절한 융합이 중요하다.

Shulman(1986)은 교사의 지식을 교과 내용 지식, 교육 과정 지식, PCK의 3가지로 범주화하였고, 그가 PCK의 개념을 제안한 이후, 많은 학자들에 의해 PCK의 구성요소가 제안되었다. Shulman(1986)이

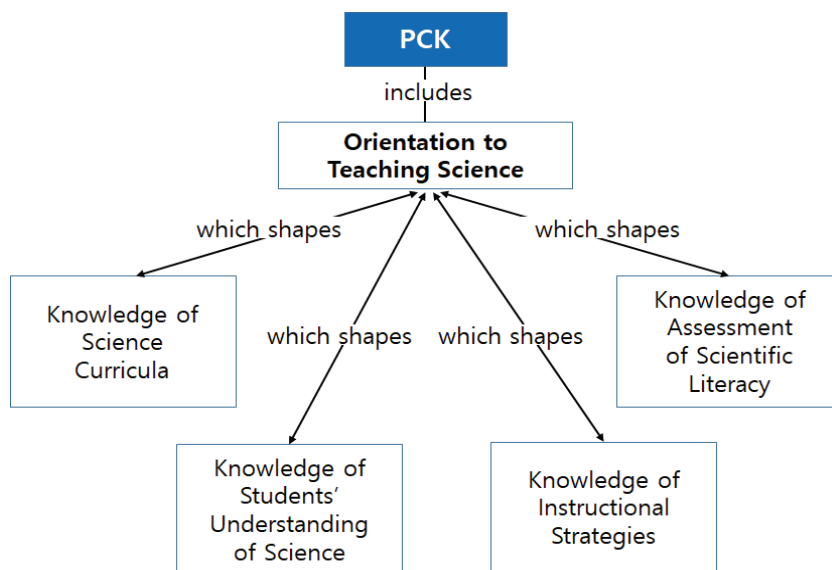


Figure 1. Components of PCK(Magnusson *et al.*, 1999)

범교과 차원에서 PCK를 정의하였다면, Magnusson *et al.*(1999)는 과학이라는 교과 특성에 적합한 형태로 PCK를 정교화하여 PCK의 5가지 구성요소를 제시하였다(Figure 1). 그들에 따르면, PCK의 구성요소로는 과학 교수 지향에 대한 지식, 과학 내용 및 교육과정에 대한 지식, 학습자의 이해에 대한 지식, 교수 전략에 대한 지식, 학습 평가에 대한 지식이 있다.

Figure 1에서 볼 수 있듯, 각 구성요소는 서로 밀접하게 연관되어 영향을 주고 받기 때문에 그림에서 화살표가 양방향으로 표시되어 있으며, 특히 이 중에서 과학 교수 지향은 PCK 모델의 가장 위에 위치하여 다른 PCK 구성요소에 많은 영향을 미치는 요소인 것으로 여겨진다(Anderson & Smith, 1987; Magnusson *et al.*; 1999). 여기서 해당 요소에 대한 이해를 높이기 위해 ‘과학 교수 지향’의 정의와 구조에 대해서 잠시 살펴보고자 한다. 교수 지향의 정의는 특정 학년에서 과학을 가르치는 목적 및 목표에 대한 지식과 신념(Magnusson *et al.*(1999), p. 97), 과학 교수와 학습에 관련된 생각과 행동의 일반적인 패턴(Anderson & Smith, 1987) 등 연구마다 다르게 사용되어 왔는데, Friedrichsen(2011) 등은 교수 지향에 대한 여러 연구들을 종합하여 교수 지향의 구조를 제안하였다. 그들은 교수 지향이 세 가지 요소로 구성되어 있다고 주장한다. 첫째, 과학의 본질에 대한 개념(예를 들면, 과학은 답이 정해져 있는가 혹은 잠정적인가), 둘째, 일반적인 과학 목표에 대한 개념(과학 학습의 목표에 대한 생각), 셋째, 교사 및 학습자의 역할에 대한 신념(수업에서 각 주체는 어떻게 가르치고 학습해야 하는가에 대한 생각)이다. 비록 PCK 구성요소의 종류나 이들 중 교수 지향의 우선적 위치에 대해서는 학자마다 의견이 다르지만, PCK의 구성요소들이 서로 밀접하게 연관되어 상호작용한다는 점은 공통된 것으로 보인다(Grossman, 1990; Magnusson *et al.*, 1999; Park & Oliver, 2008a, 2008b).

Nelson & Davis(2012)는 Magnusson *et al.*(1999)의 PCK 연구를 모델링 수업에 적용시켜, 모델링 수업에서의 PCK를 제안하였다. 그들은 PCK for scientific modeling이라는 의미로 이를 PCK-SM이라 칭하고, Magnusson *et al.*(1999)이 제시한 PCK 구성요소를 이용하여 모델링 PCK 구성요소를 제시하였다. 이를 요약하여 Table 1에 나타내었다.

교사의 PCK가 어떻게 발달하는가에 대해서는 여러 의견이 있었지

만, 이에 대해 연구한 학자들에 의하면 PCK는 실제 교실 수업을 통해 얻어지는 실천적이고 경험적인 지식(Grossman, 1990; Magnusson *et al.*, 1999; Gess-Newsome, 1999)이며, 교수 상황의 맥락 속에서 오랜 기간을 두고 서서히 발달하는 것(Gess-Newsome, 1999; Loughran *et al.*, 2004)으로 여겨진다. 같은 맥락에서, National Research Council (1996)는 교사의 PCK는 수업을 통해서 또는 교사, 학생 및 연구자와 소통하면서 발달할 수 있다고 제안하였다. 이러한 연구들은 PCK가 실행을 통해 발달한다고 주장하는데, 이렇게 발달한 PCK는 다시 수업 실행을 통해 드러나므로 수업 실행과 PCK는 변증법적인 관계를 가진다고 볼 수 있다.

한편, 모델링 수업 경험이 적은 교사가 실행을 통해 모델링 PCK를 점차 발달시켜갈 때, 교사의 실행 변화를 무엇으로 분석할 것인가에 대해서는 여러 가지 방법이 있을 수 있겠지만, 교사 피드백의 양과 질을 중심으로 변화를 살펴보는 것이 하나의 방법이 될 수 있다. 왜냐하면 수업은 교사와 학생의 상호작용으로 이루어지므로, 교사가 어떠한 피드백을 통해 학생들의 이해를 돕는지가 수업의 질을 판별하는 척도가 될 수 있기 때문이다. 뿐만 아니라, 모델링 수업 과정의 GEM cycle에서 각 단계별 시간 배분도 수업 실행의 변화를 살펴보는 중요한 기준이 될 수 있다. 이는 모델링 과정에 대한 교사의 이해와 관계가 있는 것으로, 교사가 수업에서 어떤 단계에 시간을 많이 사용했는지는 교사가 모델링 전체 과정에서 어떤 부분이 중요하다고 인식했는지를 반영하기 때문이다. 이러한 관점에 따라, 본 연구는 모델링 수업을 진행하는 동안 두 교사의 수업 실행 변화를 교사 피드백의 양과 질, 각 단계에서의 시간 배분 측면에서 분석하고, 이 변화와 교사의 모델링 PCK가 어떠한 연관이 있는지 이해하고자 하였다.

특히 본 연구가 모델링 수업에서도 교사에 주목한 이유는, 최근 국내에서 모델링에 대한 연구가 증가하고는 있으나 이는 주로 학생들을 대상으로 한 연구가 대부분으로서(Chang & Kim, 2014; Lee *et al.*, 2012; Kim & Kim 2007; Park, 2015; Ham, 2012) 모델링 수업을 실행한 교사에 대한 연구는 상대적으로 부족했기 때문이었다. 또한, 모델링 수업을 운영하기 위해서는 교사가 과학적 모델과 모델링 수업에 대한 이해 및 지식을 갖추는 것이 필수적인데(Kang, 2017), 많은 연구들에 따르면 모델에 대한 교사들의 지식과 인식이 제한적이며 (Danusso *et al.*, 2010; Gutierrez & Pinto, 2008), 학생들에게 모델링을

Table 1. Components of PCK for scientific modeling(Nelson & Davis, 2012)

관련 PCK 요소 (Magnusson <i>et al.</i> , 1999)	모델링 PCK 구성요소 (Nelson & Davis, 2012)	해당 PCK 구성요소의 의미 및 예시
과학 교수 지향	모델링을 사용하는 과학 수업에서의 교수 지향	교사가 과학 모델링 수업에서 지향하는 바에 대한 지식 및 신념 예) 교사 지향, 학습자 지향 등
과학 교육과정 지식	과학 교육과정에서 모델링에 대한 지식과 신념	과학 교육과정에 왜, 언제, 어떻게 모델링을 도입할 것인가에 대한 지식 및 신념 예) 교육과정에 모델링을 언제 도입하는 것이 적절한지, 과학 교육과정에 모델링을 어떻게 통합할지에 대한 지식
과학 교수 전략에 대한 지식	모델링 수업에서 사용될 수 있는 교수 전략에 대한 지식과 신념	과학 모델링 수업에서 사용할 수 있는 교수 전략에 대한 지식 및 신념 예) 학생들을 모델링 활동에 참여시키기 위한 전략, 해당 과학 수업에 모델링 활동을 도입하는 방법, 모델링에 대한 학생들의 메타 지식을 발달시키기 위한 방법 등
학습자의 이해에 대한 지식	모델링 수업에서 학생들의 이해에 대한 지식과 신념	모델과 모델링에 대한 학생들의 인식론에 대한 지식, 학생들의 과학 개념이나 모델링 이해 정도에 대한 지식 및 신념
과학 학습 평가에 대한 지식	모델링 수업에서 평가에 대한 지식과 신념	모델링을 어떤 방식으로 활용하여 학생들의 과학 지식 및 탐구 기능을 평가할 것인지에 대한 지식 및 신념

가르치는 방법에 대한 교사의 이해가 부족하다(Justi & Gilbert, 2002; van Driel & Verloop, 2002; Windschitl & Thompson, 2006)는 점이 지적된 바 있다. 이에, 모델링 수업을 도입하더라도 교사가 학생들의 모델 구성을 효과적으로 촉진하지 못하여(McNeill & Knight, 2013), 모델링 수업을 진행하고 발전시키는 데 많은 어려움이 있다. 따라서 모델링의 효과적인 도입을 위해서는, 모델링 수업을 실행하는 교사에 대한 연구를 통해 실질적인 모델링 수업 사례를 제공할 필요가 있다고 판단되었다.

더욱이, 국내에서 교사의 실제 모델링 수업 실행을 PCK와 연관 지은 사례 연구는 많지 않다. Suh(2016)의 연구에서 교사 연수 프로그램 전후 인터뷰와 설문지를 통해 교사의 모델링 PCK 발달을 조사하였으나, 이러한 지식의 발달이 실행에서도 나타나는지는 밝혀지지 않았다. 또한, 실제 모델링 수업 실행에서의 교사 PCK를 다루고 있는 연구도 있지만(Jo, 2016; Park *et al.*, 2010; Choi & Jang, 2010), 이는 모두 중등 교사를 대상으로 하였기 때문에 초등 교사의 모델링 수업에 대한 사례는 부족하였다.

따라서, 본 연구는 모델링 수업에 대한 지식과 경험이 없는 초등 교사를 대상으로 두 교사의 수업 실행 변화를 모델링 PCK로 해석하고자 하였으며, 어떠한 모델링 PCK 구성요소가 두 교사의 실행 차이를 가져왔는지 분석함으로써 효과적인 모델링 수업을 만들기 위한 방법을 제안하고자 하였다.

본 연구의 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 과학 모델링 수업의 초반과 후반에 두 초등 교사의 수업 실행은 어떻게 달라지는가?

둘째, 두 초등 교사의 수업 실행 변화는 모델링 PCK 구성요소와 어떠한 관련이 있는가?

## II. 연구 방법

### 1. 연구 참여자

본 연구의 참여자는 서울의 한 초등학교에 재직 중인 5학년 담임 교사 2명과 해당 학급의 학생들이었다. 연구에 참여한 두 교사는 같은 학교에 근무하여 학교 분위기, 교육과정 운영 방식, 학생들의 배경 등 수업을 둘러싼 교육적 환경이 유사하였다. 각 교사의 경력 및 과학 교수 경험에 대해 조사한 결과, A교사는 교육대학교에서 초등 교육을 전공한 3년차 교사로서, 3학년 과학을 1년간 지도한 경험 이외에는 과학을 가르쳐 본 적이 없었다. 또한 다른 참여 교사인 B교사는 초등 교육을 전공한 5년차 교사로 A교사보다 경력은 많았으나, 연구 이전에는 과학 전담교사가 과학을 도맡아 가르쳤기 때문에 본인은 과학을 지도해 본 경험이 없었다. 따라서, 두 교사는 해당 연구가 이루어진 해에 처음 5학년 과학 수업을 맡게 되어 과학 수업에 대한 경험이 많지 않았다. 연구 시작 전 인터뷰에서, 두 교사는 과학 과목의 교수법에 대해 관심이 많지 않았었다고 밝혔고, 과학 수업을 어떻게 하고 싶은지에 대한 구체적인 아이디어를 제시하지 못했다. 그러나 그들은 공통적으로 과학 수업에 대한 경험 부족과 이로 인한 어려움을 토로하며, 자신들의 과학 수업을 발전시키고자 하는 열의를 보였다. 특히 두 교사는 과학 모델링 수업에 대한 지식과 경험이 전혀 없었기 때문에, 수업 적용에 따른 교사의 PCK 변화를 보고자하는 연구의 목적과 부합하여 연구 참여자로 선정되었다.

연구 참여 교사를 2명으로 선정한 이유는 첫째, 교사 수업 실행 변화의 공통점과 차이점을 비교 및 대조하기 위해서는 2개 이상의 사례가 필요했고, 둘째, 만약 단일 사례로 진행될 경우 우연적 사건이 수업에 큰 영향을 미칠 수 있어 분석의 타당성이 떨어지므로, 하나 이상의 사례를 보고자 했기 때문이다. 수업을 촬영한 초등학교는 학생들의 학업 성취도가 높은 편이었고, 가정에서의 체험학습이나 과학 서적 독서로 인해 과학에 대한 지식이 많은 학생들은 다소 있었으나, 과학 과목에 대한 흥미를 가진 학생들은 많지 않았다. 과학적 모델 구성 과정에서 학생들이 상호작용을 통해 모델을 평가, 수정하면서 모델이 점차 발전한다고 보는 견해에 따라(Clement, 1989; Clement & Steinberg, 2002; Justi & Gilbert, 2002), 각 교사는 소집단 내에서 학생들 간의 논의가 활발하게 일어날 수 있도록 학생들의 성향과 수업 참여도, 과학에 대한 지식 및 흥미를 고려하여 4-5명으로 이루어진 7개의 소집단을 각각 구성하였다.

### 2. 과학 모델링 수업의 설계 및 수업 과정

수업 설계를 위해 모델링에 대한 선행 연구와 2009 개정 교육과정을 바탕으로 연구자가 과학 모델링 수업을 위한 지도안 및 활동지를 개발하였으며, 두 단계를 거쳐 투입될 자료를 검증하였다. 1차적으로, 과학 교육 전문가 1인과 함께 교육과정 적합성, 자료의 수준, 자료 제시 방법 등에 대해 검토하여 여러 차례 자료를 검증하였으며, 현직 교사이자 과학 교육 박사과정 대학원생 2인의 도움을 받아 자료를 보완하였다.

2차적으로, 수업 자료는 사전 회의에서 연구 참여자인 두 교사에게 소개되어 재검토되고 수정되었다. 완성도가 높은 수업을 위해 매차시마다 ‘사전 회의-수업 실행-교사 인터뷰’의 단계를 거쳤는데, 사전 회의는 교사들의 의견을 반영하기 위한 자리로서, 수업 전 연구자와 연구 참여자 교사 2인이 참여하여 수업 자료를 검토하고 각 학급의 실정에 맞게 자료를 수정하였다. 일련의 과정들을 통해 수정된 자료는 최종적으로 수업에 투입되었다. 수업 후에는 해당 수업에 대한 성찰과 차시 수업 향상의 목적으로 교사 인터뷰가 진행되었으며, 초기 수업 설계에서 보완할 점들은 차시 수업 설계에 반영되도록 하였다.

수업 적용은 초등학교 5학년 2학기 과학 ‘우리 몸의 구조와 기능’ 단원을 대상으로 하였으며, 4가지 주제(근골격, 소화, 순환, 호흡)에서 각 2차시씩 총 8차시의 수업이 설계되었다. 과학 모델링 수업의 특성상, 활발한 상호작용을 통해 모델을 생성, 평가 및 수정하는 충분한 시간이 필요하였기 때문에 각 주제의 수업은 2시간 연속 차시로 진행되었다.

수업 과정은 Rea-Ramirez *et al.*(2008)의 GEM cycle에 기반을 두고 설계되었다(Figure 2). 먼저, 모델 생성 단계(Generation)에서는 해당 차시에서 다룰 주제를 소개하며, 학생들의 선지식으로 개인별 초기 모델을 구성하게 하였다. 예를 들어, ‘아침에 먹은 빵이 우리 몸속에서 어떻게 될지 글이나 그림으로 설명해봅시다’ 또는 ‘숨을 들이마시고 내쉴 때, 공기가 어떻게 우리 몸으로 들어오고 나가는지 글이나 그림으로 설명해봅시다’라는 질문을 제시하여, 학생들의 이해를 표상하게 하는 것이다. 이는 학생들의 초기 모델(Initial Model)로서, 이것이 발달하기 위해서는 학생들이 교사나 다른 자원들로부터 정보를 얻는 과정이 필요하다. 이에 따라 탐색하기 활동을 실시하였으며, 이를 지원하기 위해 개인별로 스마트 기기가 주어졌다. 해당 단원의



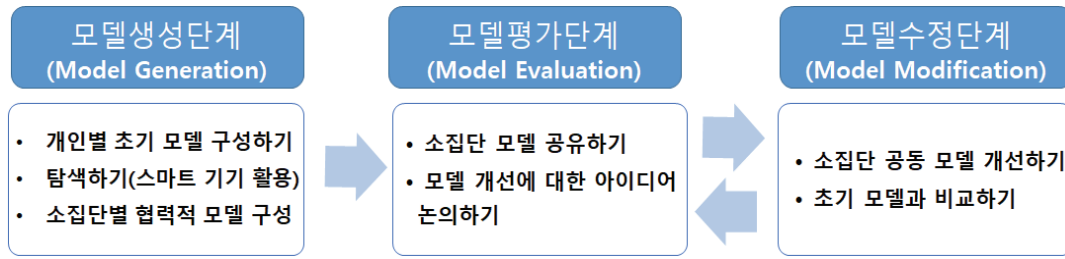


Figure 2. The process of a scientific modeling classes

주제인 ‘우리 몸’의 구조를 제대로 알기 위해서는 실제 모형이나 실물에 가까운 자료가 필요한데, 안타깝게도 학생들은 2D인 교과서로 관찰하도록 되어 있어 자유로운 탐색에 제한이 있었기 때문이다. 스마트 기기는 학생들이 스스로 정보를 찾아보고 모델 구성을 할 수 있도록 지식을 제공하는 역할을 했다. 구체적으로, 학생들은 3D 어플리케이션을 사용하여 몸 속 기관의 구조를 관찰하였으며, 기관의 부분들을 조작해 봄으로써 기관의 기능을 이해하였다(예: 음식물이 소화되도록 소화액을 분비시키기, 심장 박동을 빠르게 하여 영양소와 혈액의 이동 관찰하기 등). 이러한 관찰을 토대로, 소집단의 학생들이 논의하여 공동의 모델을 만들었다.

다음으로, 학생들이 만든 모델을 평가하고 공유하는 모델 평가 단계(Evaluation)가 이루어졌다. 이 단계를 통해 학생들은 교사나 다른 학생들의 질문 및 의견을 듣고 모델 개선에 대한 아이디어를 얻었다. 마지막은 모델 수정 단계(Modification)로서, 그동안 얻은 정보를 바탕으로 모델을 개선하여 더욱 정교화하고 세련되게 다듬는 과정이다. 이 단계에서는 수업을 시작할 때 학생들이 개인적으로 구성한 초기 모델과 최종 모델을 비교함으로써 모델이 어떻게 변화했는지 학생들이 인지할 수 있도록 하였다.

### 3. 자료 수집 및 분석

#### 가. 자료 수집

교사의 수업 실행과 실행에서 드러나는 교사의 모델링 PCK를 탐색하기 위해, 교사가 수업을 설계하여 실행 및 성찰하는 일련의 과정들이 모두 녹화, 녹음되고 전사되어 분석에 사용되었다. 구체적으로, 사전 회의와 두 교사의 과학 모델링 수업 실행 장면, 수업 후 교사 인터뷰를 촬영하였고 이에 대한 녹화, 녹음 파일 및 전사본이 분석의 주된 자료로 사용되었다. 또한, 교사와 학생의 상호작용을 포착하기 위해 소집단별로 수업을 촬영하고 학생들에 대해 인터뷰를 실시하였으며, 이것 역시 전사되어 분석의 보조 자료로 이용되었다. 이외에도 분석의 타당성을 높이기 위하여, 학생의 활동지와 결과물, 연구자의 현장 기록 노트, 사전 회의와 수업 설계 과정에서 기록된 교사의 필기 내용, 교사가 수업에서 추가적으로 사용한 교수 자료 등 다양한 자료들을 활용하여 삼각 검증이 이루어졌다.

#### 나. 자료 분석

본 연구는 과학 모델링 수업에서 교사의 수업 실행을 분석하고 그 변화를 모델링 PCK 발달의 측면에서 해석하고자 하였다. 해당 연구에서는 두 교사의 사례를 통해 교사의 모델링 수업 실행 변화에

대한 심층적인 이해를 얻고자 했기 때문에 질적 사례 연구 방법(Yin, 2009)을 사용하였다. 이를 위해 연구자는 총 8차시 동안의 모델링 수업에 대한 영상, 음성 파일 및 전사본을 반복하여 관찰하였다. 이 중에서, 두 교사의 수업 실행 변화를 가장 잘 보여주는 1-2차시와 7-8차시를 대상으로 자료를 분석하였다. 따라서, 본 연구는 8차시 중 1-2차시 근골격 수업을 수업 초반, 7-8차시 호흡 수업을 수업 후반으로 지정하고, 여기에서 드러나는 두 교사의 수업 실행 및 모델링 PCK 변화를 분석하였다.

지속적 비교 분석법(Strauss & Corbin, 1990)을 사용하여, 수집한 자료에서 드러난 교사의 수업 실행과 모델링 PCK를 범주화 및 코딩했으며 구체적인 분석 과정은 다음과 같다. 첫째, 수업 실행 영상을 바탕으로 수업 초반과 후반의 두 교사 수업 실행의 특징을 분석하였다. 둘째, 수업 실행과 교사 인터뷰를 통해 수업 초반과 후반 두 교사의 모델링 PCK를 각각 분석하였다. 마지막으로, 모델링 PCK 분석 결과를 바탕으로 두 교사의 수업 실행 변화를 모델링 PCK 구성요소의 발달과 연관지었다.

분석의 신뢰도 및 타당도를 높이기 위해, 제1저자가 우선적으로 모든 자료를 분석하여 코딩한 뒤, 결과 논의를 위한 여러 차례의 회의에서 과학 교육 분야의 전문가 1인(저자로 참여)과 생물교육 석사 및 박사과정 대학원생 4인의 검토를 거쳤다. 검토에 참여한 대학원생들은 모두 모델링 및 질적 연구 방법에 관한 강의를 수강하여 모델링과 질적 자료 분석에 대한 기본적인 이해를 가지고 있었으며, 저자로 참여하지 않은 입장에서 객관적인 의견을 제시할 수 있다는 점에서 자문에 적합하다고 판단되었다. 자료 분석은 3차례에 걸쳐 이루어졌으며, 매번 제1저자가 1차로 코딩한 이후에 6명의 검토자가 모여 코딩의 적합성을 검토하였다. 이 때, 의견이 일치하지 않을 때에는 합의가 될 때까지 지속적인 논의를 거쳤다.

#### 1) 교사의 수업 실행 분석

교사의 수업 실행을 분석하기 위해 먼저 수업을 크게 GEM cycle의 생성, 평가, 수정 단계로 나누었으며, 각 단계의 수업 실행을 시간 배분, 피드백의 양, 피드백의 내용 측면에서 분석하였다. 시간 배분은 교사가 전체 수업 시간 중 각 단계에 소요한 시간을 의미하며, 각 단계에서 사용한 시간의 비중을 %로 계산하여 표기하였다.

피드백의 양은 GEM cycle의 각 단계에서 교사가 피드백을 한 횟수로 나타내었다. 본 연구에서는 Lee(2008)의 정의에 따라 피드백을 ‘교수·학습 과정에서 교사가 학생에게 그들의 수행 결과에 대한 정보를 제공해주는 것’이라고 보고, 학생의 질문에 대한 교사의 답변은 물론, 학생이 질문하지는 않았지만 소집단의 모델 구성 과정에 도움을 주기 위한 목적으로 교사가 제공한 스캐폴딩이나 발문 또한 넓은

의미에서의 피드백에 포함시켰다. 기본적으로 교사가 1번 발화한 것을 피드백 1번으로 보았으나, 피드백이 여러 문장으로 이어질 때는 피드백을 제공하는 대상이나 피드백이 담고 있는 내용이 달라지는 경우를 기준으로 각각을 다른 피드백으로 분석하였다.

다음으로 피드백 내용의 경우, 수업 실행의 각 단계에서 교사의 피드백을 질적 분석하여 크게 ‘정답 평가 피드백(answer evaluation feedback)’과 ‘사고 유도 피드백(thought-provoking feedback)’으로 분류하여 코딩하였다. 이는 학생이 답변했을 때 교사가 이를 정답과 오답으로 평가하는 데 그치는지, 아니면 학생의 답변을 기반으로 학생들의 사고를 이끌어내는 피드백을 하는지에 따라 두 가지 범주로 구분한 것이다. 먼저, 정답 평가 피드백은 학생의 답변에 대해 교사가 맞고 틀림을 판단함으로써 학생들이 문제에 대해 생각할 수 있는 여지가 적은 피드백이다. 반면, 사고 유도 피드백은 학생들이 생각할 수 있도록 추가 질문을 하거나 스케폴딩을 제공함으로써 학생들의 사고를 진전시키고자 하는 피드백을 의미한다.

이 중 사고 유도 피드백은 다시 개념 지원, 절차적 지원, 메타인지적 피드백의 3가지 범주로 하위분류하였다(Table 2). 이는 Hill & Hannafin(2001)이 제시한 교사 스케폴딩의 범주(개념적, 절차적, 전략적, 메타 인지적)를 모델링 수업에 맞게 수정한 것이다. 분석에 사용된 하위 범주를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 개념 지원 피드백은 학생들의 과학 개념 이해를 돕기 위한 피드백이다. 예를 들면, 힌트나 단계적인 질문을 통해 학생들에게 개념에 대한 정보를 제공하는 피드백, ‘왜?’ 또는 ‘어떻게?’를 질문함으로써 학생들의 추론을 유도하는 피드백, 학생들의 답변에 대한 명료화를 요청하거나 보다 구체적인 답변을 요구하는 피드백 등이 이에 해당한다.

둘째, 절차적 지원 피드백은 문제를 해결하기 위한 절차를 안내하거나 문제 해결에 유용한 자원의 활용 방법을 안내해주는 피드백을 의미한다. 해당 수업에서 사용된 자원의 예로는 스마트 기기나 실물 모형을 들 수 있는데, 이러한 자원을 사용하여 잘 관찰할 수 있도록 도와주는 피드백이 이 범주에 포함된다. 또한, 모델 구성 절차가 원활히 진행될 수 있도록 모든 구성원이 참여하여 협력적으로 모델을 구성하게끔 격려하는 피드백 또한 여기에 속한다.

셋째, 메타 인지적 피드백은 학생들의 메타인지적 사고를 자극하는 피드백으로서, ‘내가 해야 하는 것은 무엇인가? 내가 그것을 어떻게 할 수 있을까? 이 활동의 목표는 무엇인가?’와 같은 질문(Cagiltay,

2006)을 통해 학생들이 자신이 하는 활동의 목표나 중요성, 방법 등에 대해 생각해보게 하는 피드백이다. 피드백 내용 분석에 사용된 틀은 Table 2와 같다.

2) 교사의 모델링 PCK 분석

교사의 수업 실행 변화가 어떤 모델링 PCK 구성요소의 발달과 관련이 있는지 살펴보기 위해, 교사 인터뷰 내용과 실제 수업 실행 장면을 함께 분석하였다. 교사 인터뷰에는 모델링 PCK의 5가지 요소들에 대한 질문과 함께, 과학적 모델 구성 수업을 진행하는 동안 자신의 수업에서 변화한 부분이 무엇이며, 그 이유는 무엇이라고 생각하는지에 대한 질문이 포함되었다. 이러한 질문들에 대한 교사의 답변을 전사하고 여기에서 드러난 교사의 PCK를 코딩하여 분석 틀에 따라 분류하였다.

분석을 위해 Nelson & Davis(2012)의 논문에서 제시된 5가지 모델링 PCK 구성요소를 사용하였다. 그러나 해당 논문에서는 각 PCK의 세부적인 내용 및 하위 요소에 대해서는 언급하지 않았기 때문에, 각 모델링 PCK 구성요소의 세부 내용을 정할 때는 수업 관찰 프로토콜인 RTOP(reformed teaching observation protocol, Piburn *et al.*, 2000)와 이를 한국 실정에 맞게 수정한 KTOP(Korean teaching observation protocol, Park *et al.*, 2014)을 토대로 재구성하였다(Table 3).

본 연구에서 사용된 모델링 PCK 구성요소 각각의 의미를 살펴보면 다음과 같다. 먼저, 모델링 교수 지향에 대한 지식이다. 이것은 과학 모델링 수업의 지향점 및 목표에 대한 교사의 지식과 신념이라 할 수 있는데, 본 연구에서는 인터뷰 내용과 수업 실행을 통해 파악한 교사의 교수 지향을 크게 강의 지향과 탐구 지향으로 분류하였다. 교사가 자신의 지식을 전달하는 것을 목표로 한 경우 ‘강의 지향’으로, 학생들이 모델링을 통해 스스로 지식을 탐구하도록 돕는 것을 목표로 한 경우 ‘탐구 지향’에 해당하는 것으로 범주화하였다.

다음은 모델링 교육과정 지식이다. Nelson & Davis(2012)의 제안에 따르면, 모델링 교육과정 지식은 ‘과학 교육과정에 언제, 어떻게, 왜 모델링을 도입하여야 하는지에 대한 지식’을 뜻한다(Henze, van Driel, & Verloop, 2007; Schwarz, 2009; Nelson & Davis, 2012). 그러나 이 정의의 범위가 다소 넓어, 본 연구에서는 이를 보다 구체화할 필요가 있었다. 모델링 교육과정 지식이 모델링을 ‘어떻게’ 도입하는지에 대한 지식을 포함한다는 측면에서, 모델링 교수 전략 지식과

Table 2. Code for contents of the feedback

피드백 내용의 종류	하위 범주	피드백의 내용
정답 평가 피드백 (answer evaluation feedback)	-	학생들의 답변을 즉각적으로 평가하여 정답이나 오답으로 구분함
사고 유도 피드백 (thought-provoking feedback)	개념 지원 피드백 (conceptual supporting feedback)	학생들의 과학 개념 이해를 돕기 위한 피드백 1) 개념에 대한 정보 제공 : 힌트, 단계적인 질문 사용 2) 학생들의 추론 유도 : ‘왜? 어떻게?’에 대한 질문 제시 3) 명료화 요청 : 학생들이 구체적으로 답변하도록 하거나, 특정 측면에 주의를 기울이게 함으로써 개념에 대해 다시 생각할 수 있는 기회를 부여함
	절차적 지원 피드백 (procedural supporting feedback)	모델 구성 과정을 지원함으로써 결과적으로 학생들의 이해를 돕고자하는 피드백 1) 자원의 활용 방법 안내 : 스마트 기기 및 실물 모형을 활용하는 방법 안내 2) 모델 구성 절차 지원 : 구성원들이 협력적으로 참여하여 공동 모델을 구성하도록 격려함
	메타 인지적 피드백 (meta-cognitive feedback)	학생들의 메타 인지적 사고를 자극하는 피드백 1) 활동의 목적이나 중요성에 대해 인식하도록 돕는 피드백 2) 활동의 방법이나 전략에 대해 생각하도록 돕는 피드백

중복되는 면이 있고, 그 정의가 본 연구 결과에서 나온 교사의 수업 실행 변화들을 포괄하지 못했기 때문이었다. 따라서, Justi & van Driel(2005)의 연구를 참고하여, 모델링 교육과정 지식을 구체화하였다. 이 연구는 교사의 모델 및 모델 구성에 대한 지식을 ‘모델링 내용 지식’과 ‘모델링 교육과정 지식’으로 구분하였는데, 모델의 목적이나 모델링 단계에 대한 지식은 ‘내용 지식’으로, 모델링을 교육과정에 도입하는 것과 관련된 지식은 ‘교육과정 지식’으로 정의하였다. 이를 참고하여, 본 연구에서는 모델링 교육과정 지식을 ‘모델 및 모델링에 대한 지식’과 ‘모델링 교육과정에 대한 지식’으로 분류하였다. 모델 및 모델링에 대한 지식에는 모델이나 모델링의 목적에 대한 이해, 모델링 단계에 대한 이해가 포함되고, 모델링 교육과정 지식에는 Nelson & Davis(2012)가 언급하였던 것처럼 교육과정에 모델링을 통합하는 것에 대한 지식과 함께, 과학 수업에서 모델링의 가치에 대한 인식을 포함하는 것으로 범주화하였다.

여기에서, 의미의 명료화를 위해 모델링 교수 지향(TO)과 모델링 교육과정의 가치 인식(KC4)의 차이점을 분명히 할 필요가 있다. 교수 지향은 교사가 수업에서 추구하는 가치를 반영하는 것이므로, 모델링 교육과정의 가치 인식과 의미가 혼동될 수 있기 때문이다. 하지만 둘은 분명하게 구분되는 개념이다. 본 연구에서 ‘모델링 교수 지향’이란 수업의 목표와 관련된 교사의 신념을 말하는 것으로, 교사가 어떤 수업이 바람직하다고 생각하는지에 대한 견해이며, ‘모델링의 가치 인식’은 모델링에 대한 이해를 바탕으로, 모델링이 해당 과학 수업에서 왜 중요한지, 학생에게 어떤 의미가 있는지 인식하는 것을 뜻한다. 모델링이라는 방법의 가치를 알기 위해서는, 모델링이나 해당 교육과정에 대한 이해가 있어야 하는 반면, 교수 지향은 태도 및 신념과 관련되어 있기에 모델링에 대한 이해가 필수적인 것은 아니다. 또한, 모델링의 중요성을 인식하였더라도, 이것을 강의 지향 수업의 방법으로 사용할지, 탐구 지향 수업 방법으로 사용할지는 교사마다 다를 수 있기 때문에, 둘은 다른 개념이라 할 수 있다.

다음으로, 모델링 교수 전략 지식은 모델링 수업에서 학생들의 학습을 지원하기 위해 어떠한 방법을 사용할 것인가에 대한 지식

(Nelson & Davis; 2012)으로, 모델링의 각 단계에서 사용할 교수 방법과 학생들의 모델링 참여 유도 방법, 또는 학생들의 메타모델링 지식을 강화하기 위한 방법적 지식을 포함한다. 그리고 모델링에서의 학생 이해에 대한 지식은, 모델링에서 다루는 과학 개념에 대한 학생들의 선지식과 이해 정도는 물론, 모델이나 모델링 활동을 학생들이 어떻게 인식하고 있는지에 대한 교사의 이해를 포함하는 개념이다. 마지막으로 모델링 평가 지식은 학생들의 모델링 산출물을 어떤 방법으로 평가할 것인지, 또한 모델링 활동을 통해 학습한 과학 개념을 어떻게 평가할 것인지에 대한 지식을 의미한다.

이러한 내용을 바탕으로, 두 교사가 수업 실행 및 교사 인터뷰에서 보인 변화가 어떤 모델링 PCK 구성요소와 관련 있는지를 분석하고, 두 교사의 모델링 PCK 발달이 수업 실행에서 어떻게 드러나게 되었는지 해석하였다.

### III. 연구 결과

두 교사는 ‘우리 몸의 구조와 기능’ 단원에서 총 8차시의 과학 모델링 수업을 진행하였으며, 그 중에서 본 연구는 1-2차시와 7-8차시를 분석 대상으로 하였다. 이것은 해당 차시에서 두 교사의 수업 실행 변화 및 모델링 PCK의 발달이 확인한 차이를 보이기 때문이다. 본 연구에서는 총 8차시의 수업 중 1-2차시의 근골격 차시를 ‘수업 초반’이라고 지칭하였다. 이 차시의 모델 생성 단계에서 학생들은 ‘손에 아령을 잡고 들어 올릴 때, 팔이 어떻게 움직이는지 뼈와 근육을 포함하여 글과 그림으로 표현해봅시다.’라는 질문에 대해 활동지에 자신들의 초기 모델을 그려 넣었다. 그 후, 스마트 기기를 통해 팔 내부의 근육과 뼈를 입체적으로 관찰하였고, 뼈에 붙어 있는 근육의 이완과 수축이 팔을 움직인다는 것을 보여주기 위한 비유 모형(빨대, 비닐봉지 이용) 관찰을 통해 소집단의 공동 모델을 구성하였다. 다음으로, 모델 평가 단계에서 소집단 공동 모델을 발표하고, 이 때 교사나 다른 학생들로부터 받은 피드백을 통해 모델 수정 단계에서 후기 모델을 수정하도록 하였다.

Table 3. Code for components of modeling PCK

모델링 PCK 구성요소	세부 요소	요약	코딩
1. 모델링 교수 지향	교사가 모델링 수업에서 지향하는 것	강의 지향 : 교사의 지식을 전달하는 것을 지향 탐구 지향 : 학생이 지식을 탐구하는 것을 지향	교수 지향 TO
2. 모델링 교육과정 지식	1) 모델 및 모델링에 대한 이해	모델 및 모델링의 목적에 대한 지식 모델링 수업 단계 및 과정(예: GEM cycle)에 대한 이해	모델 및 모델링의 목적 모델링 단계 이해 KC1 KC2
	2) 모델링 교육과정에 대한 이해	교육과정에 언제, 어떻게 모델링을 도입하는 것이 적절한지에 대한 지식 과학 수업에서 모델링의 가치 인식	모델링의 교육과정 도입에 대한 이해 모델링 가치 인식 KC3 KC4
3. 모델링 교수 전략 지식	1) 모델링의 각 단계를 어떤 방법으로 가르칠 것인지에 대한 지식		교수 방법 KIS1
	2) 학생들을 모델링에 참여시키는 방법		참여 유도 방법 KIS2
	3) 모델 및 모델링에 대한 메타지식 발달을 강화하는 방법		메타지식 강화 방법 KIS3
4. 모델링에서 학생들의 이해에 대한 지식	1) 학생들의 선지식에 대한 지식		학생 선지식 파악 KSU1
	2) 학생의 수업 이해 정도에 대한 지식		학생 이해도 파악 KSU2
	3) 모델링 수업에 대한 학생들의 인식에 대한 이해		학생 인식 파악 KSU3
5. 모델링 평가 지식	1) 학생들의 모델링 산출물을 평가하는 방법에 대한 지식		모델링 평가 KA1
	2) 학생들의 과학 개념을 어떻게 평가할지에 대한 지식		개념 평가 KA2

7-8차시의 호흡 차시는 ‘수업 후반’이라고 지칭하였다. 모델 생성 단계에서 학생들은 ‘숨을 들이마시고 내설 때, 공기는 어떻게 우리 몸으로 들어오고 나가는지 글이나 그림으로 설명해봅시다’라고 제시된 활동지의 인체 그림에 호흡 과정에 대한 자신의 생각을 그림으로 나타내거나 글로 표현하였다. 평가와 수정 단계는 앞에서 언급한 것과 동일했다. 수업 초반과 수업 후반 두 교사의 수업 실행 변화에 대해 시간 배분, 피드백의 양, 피드백의 내용 측면에서 분석한 결과는 다음과 같다.

1. A교사의 사례

가. 수업 실행

1) 시간 배분

수업 초반 A교사가 GEM의 각 단계에 사용한 시간은 Table 4와 같다. 수업 초반 A교사는 모델 생성 단계에서 대부분의 시간(92.5%)을 사용하였고, 모델 평가와 수정 단계에서는 각각 5%, 2.5%의 시간을 사용하였다. 수업을 설계할 당시에는 평가할 시간을 충분히 준 후, 이를 수정하여 초기 모델과 비교하고자 하였으나, 실제 수업에서는 학생들의 모델 생성에 대부분의 시간이 투입되면서 평가 단계와 수정 단계에서는 시간이 거의 할애되지 않았다.

특히, A교사는 교사 주도적인 GEM cycle 실행을 보였다. 모델의 평가가 교사에 의해서만 일어났기 때문인데, 학생들이 자신의 모델을 스스로 평가하거나 다른 학생들의 모델을 평가하기보다, 교사가 주체가 되어서 여러 소집단이 발표한 모델들에 대해 간단한 칭찬을 해주었다. 또한, 수정 단계에서는 학생들에게 짧은 시간을 주고 각자의 모델을 고쳐보도록 하여 피드백이 거의 없었으며, 이에 따라 수정 단계의 시간 비중이 매우 적게 나타났다.

반면, 수업 후반에는 모델 평가와 수정 단계에 사용된 시간 비중이 증가하였다. 교사 주도적인 평가가 이루어지기는 했지만, 모델 평가 단계에서 소집단 발표 후 모든 소집단 모델에 대해 상세한 피드백을 해줌으로써, 학생들에게 모델 수정에 도움이 되는 아이디어를 제공하고자 하였기 때문이다. 이러한 활동은 평가 시간의 증가로 이어졌다. 또한, 모델 수정 단계에서는 모델을 수정할 시간을 더 충분히 줌으로써 수업 초반보다 더 많은 시간이 투입되었다.

과학적 모델 구성 과정의 각 단계가 중요한 의미를 가지지만, Rea-Ramirez *et al.*(2008)에 따르면 초기 모델은 평가와 수정을 통해서 정교화되고 발전하여 모델의 진화(model evolution)가 일어나기 때문에, 모델의 평가와 수정 단계는 모델 구성 과정에서 매우 중요한 부분이다. 비록 학생들이 주체가 된 GEM cycle은 아니었으나, A교사

가 수업 초반에 비해 수업 후반에 평가와 수정 단계에 시간을 많이 사용하여 학생들의 모델에 상세한 피드백을 제공하고 수정할 기회를 준 것은 학생들의 모델 발달에 도움을 주었을 수 있다.

Table 4. Allocated time for each stage of GEM by teacher A (Teacher-driven GEM cycle)

	생성(%)	평가(%)	수정(%)
수업 초반(1-2차시)	92.5	5	2.5
수업 후반(7-8차시)	81	14	5

\*총 수업시간 : 80분

2) 피드백의 양과 내용

가) 모델 생성 단계

수업 초반에 사용한 피드백 양의 경우, A교사는 수업 초반에 모델 생성 단계에서 피드백을 총 36회 사용하였으며(Table 5), 수업이 교사의 설명 위주로 이루어졌기 때문에 피드백의 양이 적은 편이었다. 모델 생성 단계에서 소집단이 모델을 만들 때 교사는 소집단에 거의 들리지 않았고, 학생들이 잘 적고 있는지를 확인하며 활동지를 작성하도록 지시하였기 때문에 피드백이 거의 이루어지지 않았다.

또한, 피드백 내용 분석 결과, 모델 생성 단계의 피드백 총 36회 중 25회가 정답 평가 피드백으로 분류되어, 모델 생성 단계에서 정답 평가 피드백이 매우 우세하게 나타났다. 그 이유는, A교사가 학생들이 발표를 했을 때 이에 대해 옳고 그름을 평가하여 틀린 답변은 배제하고, 정답만을 칠판에 정리하며 수업을 진행했기 때문이다. 예를 들어, Table 6의 5행과 7행에서 학생들이 오답을 말했을 때 교사는 ‘잘못된 것 같다’라고 하며 다른 학생을 발표시켰고, 9행에서 학생들이 정답을 말했을 때 비로소 ‘맞죠?’라고 하면서 정답을 확인해주는 모습을 보였다. 이와 같이 정답을 찾아가는 모습이 수업 전반에 걸쳐 나타나면서, 정답 평가 피드백이 많이 나타났다.

반면, 수업 후반에는 피드백의 양과 내용에서 많은 변화가 있었다. 먼저, 모델 생성 단계의 피드백이 36회에서 57회로 크게 늘어났다. 이는 모델 생성 단계의 소집단 모델 구성 과정에서 교사가 직접 학생들의 결과물을 살펴보고 피드백을 주었고, 전체 활동에서도 학생들의 이해를 돕기 위해 질문을 단계적으로 여러 번에 나누어 함으로써 피드백의 양 증가에 영향을 미쳤기 때문이다.

주목할 점은, 생성 단계의 피드백 내용이 정답 평가 피드백에서 대부분 사고 유도 피드백으로 변화하였다는 것이다. 사고 유도 피드백 중에서도 A교사는 주로 개념 지원 피드백을 사용하였는데, 수업 초반과 달리 학생들이 잘못 대답하였을 때 바로 평가하기보다는, Table 7의 25행과 같이 명료화를 요청함으로써 학생들의 개념을 파악

Table 5. Teacher A's change in the frequency and content of feedback

	수업 초반(1, 2차시)			수업 후반(7, 8차시)				
	생성	평가	수정	생성	평가	수정		
총 피드백의 양	36	4	1	57	4	1		
피드백 내용	1. 정답 평가 피드백	25	4	1	5	3	1	
	2. 사고 유도 피드백	1) 개념 지원 피드백	5	-	-	42	1	-
		2) 절차적 지원 피드백	6	-	-	10	-	-
		3) 메타 인지적 피드백	-	-	-	-	-	-



Table 6. The feedback of teacher A in the model generation stage(answer evaluation feedback, lesson 1-2)

행	학생 발화	교사 발화	피드백의 내용 코딩
1		방금 너희들이 관찰한 부분을 같이 이야기를 해볼건데, 바람을 넣기 전에 길이는 어떠했는데 바람을 넣은 후에 길이는 어떠했는지. 누가 한 번 이야기해보자. 아람이?	
2	아람 바람을 넣기 전, 길이는 8cm, 두께는 7cm		
3		(교사가 칠판에 판서한다) 그럼 넣은 후까지 얘기해보자	
4	아람 바람 넣은 후는 길이 10cm.		
5		바람을 넣은 후에 더 길어졌어요? <b>선생님 생각에는 그거 잘못된 것 같아.</b>	정답 평가 피드백
6	(학생들의 응성거림)		
7		그니까. <b>잘못된 것 같아. 다시 한번..</b> (칠판의 내용을 모두 지운다) 다른 친구 말해보자. 승찬이.	정답 평가 피드백
8	승찬 바람 넣기 전에는 두께 5.5cm, 길이가 8.5cm, 넣은 후에는 두께 5cm, 길이 7cm.		
9		(칠판에 판서하며) <b>맞죠? 넣기 전보다 넣은 후가 더 길이가 짧아지는 거 맞아요? 두께는 더 두꺼워지는 거 맞아요?</b>	정답 평가 피드백

Table 7. The feedback of teacher A in the model generation stage(thought-provoking feedback, lesson 7-8)

행	학생 발화	교사 발화	피드백의 내용 코딩
21		(교사 - 전체 학생 활동 중)청소기를 보면, 다른 것을 빨아들이는 힘을 가지고 있잖아. 모터가 돌아가면서 공기를 빨아들이는건데, 근데 우리 몸은? 너희들 숨 쉴 때 힘을 크게 주니?	
22	학생 아니요		
23		아무 느낌 안들지? 숨쉬는 건 너무 자연스러운거야. 그런데 <b>어떻게 밖에 있는 공기가 우리 몸 속으로 들어가게 될까? 어떤 원리 때문에?</b>	사고 유도 피드백 (개념 지원)
24	유정 횡격막이 늘어나면 자연스럽게 공기가 빠져 나가면서 진공상태가 되는데..진공 상태는 공기를 빨아들이는 성질이 있기 때문에 코나 입으로 공기가 들어온다.		
25		<b>유정이가 뭔가 알고 있는 것 같긴 한데. 근데, 진공 상태라는 말이 뭐야?</b>	사고 유도 피드백 (개념 지원)
26	유정 공기가 없다		
27		공기가 없다고? 횡격막이 들이실 때(교사가 숨을 크게 들이쉬며) 횡격막이 늘어나면서 공기가 없어져요?	사고 유도 피드백 (개념 지원)
28	유정 완전히 없어지진 않아요.		
29	상현 압력 때문에.		
30		<b>오 압력. 어떤 압력?</b>	
...	...	...	
42		(교사가 소집단의 모델 구성 과정에 참여하며) 유정이가 한 번 얘기해보자. 들이실 때.	
43	유정 횡격막이 늘어나면서 폐 안에 자연스럽게 저기압이 되고 밖에서 안으로 산소와 공기가 들어온다.		
44		그렇지. 근데 <b>왜 저기압이 돼 애들이? 왜 저기압이야?</b>	사고 유도 피드백 (개념 지원)
45	민재 공간이 늘어나잖아요.		
46		<b>듣성듣성해지니까 고기압이 되는 거지? 그 다음에 숨을 내쉴 때는? 다른 친구가 한 번 얘기해보세요</b>	사고 유도 피드백 (개념 지원, 절차적 지원)
47	헤린 숨을 내쉴 때는 갈비뼈가 내려가고 몸 안이 고기압이 된다.		

하고, 이를 바탕으로 후속 피드백을 제공하고자 하였다. 또한, Table 7의 42, 44, 46행처럼, 소집단의 모델 구성 과정에 직접 개입하여 학생들의 이해를 돕기 위한 개념 지원 피드백을 많이 제공하면서, 이것이 사고 유도 피드백의 증가로 이어졌다.

### 나) 모델 평가 및 수정 단계

수업 초반에는 앞서 '1) 시간 배분'에서 제시했듯이 시간 사용에서 모델 평가, 수정 단계가 차지하는 비중이 매우 적었는데, 이것은 피드백 양 및 내용과도 관련이 있었다. 다음은 A교사의 수업 초반 모델 평가, 수정 단계에서 제시한 피드백이다.

A교사의 수업 초반 모델 평가  
(1모둠의 발표 후) 잘했어요.  
(2모둠의 발표 후) 이 모둠은 오늘 배운 내용을 간략하게 잘 정리했어.

A교사의 수업 초반 모델 수정  
잘했어요. 친구들 발표를 듣고 고칠 부분을 한 번 고쳐보세요.

모델 평가 단계에서 소집단의 발표가 끝난 후, 교사는 정답 평가 피드백을 사용하여 학생의 모델을 평가하여 한 문장으로 평가하는데 그쳐, 피드백 시간도 짧고 피드백이 계속해서 이어지지 않았다. 또한, 수정 단계에서는 소집단의 모델 발표를 들으면서 고칠 시간을 주었을 뿐 피드백이 1번 밖에 없었기 때문에, 할당된 시간이 짧을 수밖에 없었다.

한편, 수업 후반의 모델 평가 단계에서는, 피드백의 양이 수업 초반과 같았지만(4회) 피드백 내용에서 교사가 각 소집단의 모델에 대한 피드백을 상세하게 해주었기 때문에, 수업 후반의 모델 평가 시간 증가에 영향을 주었다. 다음은 호흡 차시 모델 평가 단계에서의 교사의 피드백 내용이다.

A교사의 수업 후반 모델 평가  
(1모둠의 발표) 잘 썼어요. 산소는 들이마시고 이산화탄소를 배출하는 것. 예전에 순환 수업을 했을 때 산소와 영양소가 혈액을 통해서 뱉어나간다고 했잖아요. 그렇게 해줄 수 있는 게(산소를 들이마실 수 있게 하는 것) 호흡이 되겠조.

(2모둠의 발표) 잘했어요. 여기 모둠은 기관 뿐 아니라 이산화탄소를 내보내는 것도 잘 표현했네요. 산소가 들어오는 것도 중요하지만 몸의 이산화탄소가 내릴 때 나가는 것도 호흡의 중요한 기능 중의 하나예요.

(3모둠의 발표) 잘했어. 그런데 이 모둠은 지금 중요한 게 하나 빠졌어. 뭐가 빠졌을까? 첫번째 시간에 우리 기관들에 대해 배웠잖아. 호흡 기관에 대한 내용이 빠져서 어디에서 어디로 들어갔는지 이런 것을 더 적으면 좋을 것 같아요.

(4모둠의 발표) 여긴 엄청나게 자세히 적었네. 다른 모둠은 그냥 '와!'만 하지 말고, 우리 모둠과 다른 설명이 뭐가 있는지 보세요.

A교사의 수업 후반 모델 수정  
다 잘했는데, 공부를 하면서 자기가 (초기 모델에서) 썼던 걸 보면

내가 너무 대충 썼나? 아니면 좀 내가 틀렸던 부분이 있나? 확인해보시고, 오늘 공부한 내용을 정리해보세요 거기다가. 다른 색깔 펜으로 써보세요. 추가하거나 수정한 부분들.

위와 같이, 수업 후반의 평가 단계에서 A교사는 이전 차시의 내용과 연관시키기(1모둠), 중요한 개념 상기시키기(2모둠), 모델에서 보충할 내용 제안하기(3모둠) 등 개념 지원 피드백을 통해 보다 상세한 피드백을 제공하였다. 특히, 2모둠에 대한 피드백에서는 교사가 2모둠의 모델과 다른 모둠의 차이점에 대해 언급하기도 했다. 다른 모둠은 모델을 그릴 때 호흡의 기능으로 산소를 들이쉬는 것만 표현했는데, 이 모둠은 이산화탄소가 나가는 것까지 표현을 했기 때문에, '여기 모둠은 이산화탄소를 내보내는 것도 표현했다'고 칭찬하면서, 호흡의 기능 중 이산화탄소를 내보내는 것도 있다는 점을 상기시켰다.

하지만, 평가 단계의 A교사 피드백은 대부분 교사가 주체가 된 정답 평가 피드백으로서, 교사가 모델 수정을 위한 정보를 제공했을 뿐, 학생들이 수정할 부분을 직접 제안하게 하는 등 학생들의 사고를 유도하는 피드백은 아니었다. 4모둠에 대한 피드백에서 교사는 학생들에게 자신 모둠과 다른 모둠 모형의 차이점을 생각하도록 하였는데, 이 경우만 사고 유도 피드백에 해당할 뿐 나머지는 정답 평가 피드백에 속했다.

결과적으로, A교사의 평가 단계의 실행에서 학생들의 모델에 대해 상세하게 평가하여 학생들이 모델을 수정할 수 있도록 정보를 제공한 것은 큰 발전이었으나, 모델 평가의 주체가 교사로 유지되었고 피드백이 대부분 정답 평가 피드백이었다는 점에서 학생들의 사고가 활성화될 기회는 적었다고 볼 수 있다. 한편, 모델 수정 단계에서는 초반과 마찬가지로 후반에도 피드백은 1회 밖에 나타나지 않았으며, 다만 모델을 수정할 시간이 더 주어졌기 때문에 교사의 상세한 피드백의 도움을 받아 학생들의 모델 발달에 영향을 주었을 가능성은 있다.

### 나. 모델링 PCK

다음은 A교사의 수업 실행에 대한 인터뷰를 분석하여, 이로부터 교사의 모델링 PCK 발달을 추론한 결과를 제시하고자 한다. 1-2차시와 7-8차시 수업 이후 인터뷰에서 두 교사에게 모델링 PCK의 5가지 구성요소와 관련된 질문을 하였고, 연구를 마친 후 최종 인터뷰에서 모델 및 모델링에 대한 생각의 변화, 수업 초반과 비교했을 때 후반의 수업 실행에서 변화한 부분과 그 이유에 대한 생각을 질문하였다. 이에 대한 분석을 토대로 수업 실행과 모델링 PCK를 연관지었다.

A교사의 수업 실행에서 가장 특징적인 변화는 첫째, 사고 유도 피드백이 증가한 것이며, 둘째, 평가와 수정 단계의 시간이 증가한 것이었다. 따라서, 이와 같은 2가지 특징을 중심으로 교사의 모델링 PCK 변화를 살펴보고자 한다.

#### 1) 모델 생성 단계에서 사고 유도 피드백의 증가

: 모델링 교육과정 지식(KC), 학생 이해 지식(KSU), 교수 전략 지식(KIS)의 발달

#### 가) 모델링 교육과정 지식(KC)

수업 초반과 후반의 교사 인터뷰를 분석한 결과, 수업 후반 A교사

의 PCK에서 모델 및 모델링의 목적(KC1)에 대한 이해가 크게 향상된 것으로 나타났다. Table 8에 나와 있듯, 수업 초반 교사는 모델에 대해 “정해져 있는 개념에 도달하는 것”이라고 하였고, 모델링에 대해서는 “과학은 다 그렇진 않지만 답이 정해진 것이 많기 때문에, 그것들을 정확하게 인지시켜 주기 위해서 모델링을 쓰는 것 같다”고 언급하였다. 즉, 모델링은 학생들이 정답을 찾아가는 과정이며, 교사의 역할은 오개념을 수정해서 과학적 개념을 정확히 알려주는 것이라고 생각한 것이다.

그러나 수업 후반 인터뷰에서 A교사는 모델을 통해 “학생들이 과학적 개념을 더 잘 이해하고, 그것을 다른 사람에게 설명해주면서 의사소통 기능을 기를 수 있다”, 모델링은 “학생들이 이해한 것을 종합적으로 설명으로 구성하게 해야 한다”고 답하며 모델 및 모델링에 대한 이해를 나타내었다. 또한, 모델링에서 교사의 역할을 “보조해주는 사람”, 학생의 역할을 “참여자”라고 하며, 모델링 수업에 대한 보다 높은 이해를 보였다.

또한, 수업 실행의 모델 생성 단계에서 초반에는 학생의 답변을 평가하는 정답 평가 피드백을 사용하다가 후반에 학생들의 이해를 촉진하는 사고 유도 피드백을 사용한 것도, 이러한 모델링의 목적에 대한 이해 향상이 바탕이 된 것이라 판단된다. 이러한 모델 및 모델링에 대한 이해는 모델링 교육과정 지식(KC)에 해당하며, 그 중에서도 A교사는 수업 초반에 비해 모델 및 모델링의 목적(KC1)에 대한 지식 발달을 보였다고 해석하였다.

**나) 교수 전략 지식(KIS)과 학생 이해 지식(KSU)**

이러한 KC1의 향상은 수업 실행에서도 드러나, 피드백 증가에 영향을 준 것으로 분석된다. 수업 초반, A교사에게 학생의 모델링을 지원하는 방법에 대해 물었을 때, A교사는 수업 중에는 개별 학생의 이해에 대해 구체적으로 피드백하기가 어려우므로, 수업이 끝나고 나서 개념을 점검할 것이라고 하였고 실제 수업 실행에서도 이러한 모습을 보였다. 다음은 교사 인터뷰 내용이다.

(수업 초반 교사 인터뷰 내용)

연구자: 학생들이 모델링을 할 때 교사가 어떻게 도와줄 수 있을까요?  
 A교사: 귀간순시할 때 학생들이 잘못된 것을 하나 하나 봐주면 좋겠지만, 구체적인 내용을 다 봐주긴 불가능해서, 시간마다 해주긴 어렵고, (수업이 다 끝나고) 활동지를 받았을 때, 왜 이런식으로 적었는지 물어보고, 표현이 잘못된 건지 개념이 잘못 정립된 건지 물어보고, 만약 개념이 잘못되었다면 다시 얘기해줄 것 같아요(KIS).

그러나, 수업 후반에는 수업 중에도 피드백이 활발하게 일어났다. 최종 인터뷰에서 교사에게 모델링 수업 동안 변화한 점에 대해 질문했을 때, 교사는 가장 먼저 피드백의 증가를 들며, 수업 중 귀간순시(책상 사이를 돌아다니며 학생들의 학습을 관찰하는 것)를 통해 학생들에게 구체적인 피드백을 했다고 답했다. 즉, 교사는 수업 초반에 비해 후반에 자신의 피드백이 증가했다는 것을 인식하고 있었으며, 이것의 이유에 대해 인터뷰에서 언급하였다.

(수업 후반 교사 인터뷰 내용)

연구자: 선생님의 수업 방법에서 변했다고 생각하는 부분이 있으신가요?  
 A교사: 전략이 변했다고 한 게 뭐가 생각이 났냐면, 예전에 귀간 순시를 해도 사실 그렇게 자세히 보지 않았거든요. 그냥 지나다니면서 잘 쓰고 있네. 이 정도로만.  
 근데 귀간순시하면서 애들이 뭐라고 썼는지 좀 자세히 보게 된 것 같아요(KSU). 그래서 이번에도 피드백을 할 때도 수정할 때 애들이 쓴 걸 보고, 그래서 라원이가 잘못쓴 것도 제가 발견을 했고(KSU), 7모둠인가 5모둠에서도 잘못 썼었거든요(KSU). 그래서 다시 그 질문을 했던 것 같아요(KIS). 들이실 때 공간이 넓어졌냐 좁아졌냐. 그 질문을 하면서 좀 수정할 수 있도록 했던 것 같아요(KIS). (...중략...)  
 그리고 애들한테 질문을 많이 해서 좀 단계적으로 쪼개서 하나씩 하나씩(KIS). 그렇게 하려고 노력했던 것 같아요.

연구자: 귀간 순시할 때 학생들을 더 자세히 보게 된 이유가 무엇인가요?

A교사: 어, 이 친구들이 제 설명을 잘 이해했는지도 궁금하고, 모델링을 해야하니까 단계적으로 이해가 되었는지 확인을 해야 하잖아요(KC1). 모델링은 그 날 배운 걸 전체적으로 통합해서 나오는 거니까(KC1). 그래서 부분별로 잘 이해하고 있나 궁금했던 것 같아요.

교사 인터뷰에서 위의 답변을 보면, 교사는 ‘모델링은 배운 것을 통합해서 나오는 것이기 때문에 학생들이 단계적으로 이해했는지 파악해야 한다’고 하였고, 이것은 A교사의 모델링 수업에 대한 이해이자 모델링 교육과정 지식(KC)의 발달을 보여주는 것이다. 교사는 이러한 모델링 교육과정 지식(KC)이 발달하면서, 자신이 모델링에서 중요하다고 여긴 ‘학생들의 이해’를 점검하기 위해 피드백을 많이 하게 되었으며(피드백의 양 증가, 교수 전략 지식(KIS)의 변화), 이때 학생들의 오개념을 발견하고, 학생들에 대한 이해 지식(KSU)이 향상된 것으로 드러났다. 교사 인터뷰 답변에서도 알 수 있듯이, 피드백을 해본 결과 교사의 기대보다 학생들의 이해가 부족하다는 것을 인지했기 때문이었다.

Table 8. Interviews representing the development of teacher A's knowledge of modeling curriculum(KC)

인터뷰 질문	수업 초반 교사의 답변	수업 후반 교사의 답변
모델의 목적	과학과에서는 정해져 있는 개념에 도달하는 것이 모델이 아닐까요?	과학적 개념을 더 잘 이해하기 위해서요 ... (중략)... 그리고 과학에서 모델을 만드는 게 다른 사람한테 설명해주는데, 의사소통 기능도 하나의 신장해야 하는 능력이니깐, 다른 친구들한테 설명도 할 수 있고, 그런 것도 중요할 것 같은데.
모델링의 목적	과학이라는 것이 오개념이 굉장히 많은 것 같아요. 이런 오개념들을 좀 깨주고, 과학은.. 다 그렇진 않지만 답이 정해진 게 많잖아요. 그러니까 그런 것들을 좀 정확하게 인지시켜주기 위해서 모델링을 쓰는 것 같아요.	교사는 학생을 보조해주는 정도가 아니라 사실은 뒤에서 받을 엄청 구르고 있어야 하는 그런 노력이 필요한 것 같아요. 모델링은 애들이 이해한 것을 종합적으로 설명으로 구성하게 해야 하나니까.. (중략)... 학생들은 그냥 듣는 이들이라고 생각을 했다가 지금은 같이 수업을 만들어가는 참여자 형태로 좀 바뀐 것 같아요.

따라서 A교사는 수업 실행에서 학생들에게 사고 유도 피드백을 사용하여 학생들의 이해를 돕고자 했고, 그 중에서도 개념 지원 피드백에 해당하는 단계적인 질문을 많이 사용함으로써 모델을 수정할 수 있도록 했다. A교사의 답변에서 “질문을 단계적으로 쪼개어서”했다는 것은 사고 유도 피드백을 의미하며, 이는 곧 교수 전략의 변화(KIS)를 보여준다. 이처럼 A교사의 사고 유도 피드백의 증가는 모델링 교육과정 지식(KC), 학생 이해 지식(KSU) 및 교수 전략 지식(KIS)의 발달과 관련 있는 것으로 분석되었다.

## 2) 모델 평가, 수정 시간의 증가: 교수 전략 지식(KIS), 평가 지식의 발달(KA)

다음으로, 모델 평가 및 수정 시간의 증가에 대한 분석이다. A교사는 수업 초반에는 모델링 각 단계의 중요성에 대해 전혀 언급하지 않았지만, 인터뷰에 따르면 수업 후반 모델링 수업에서 평가와 수정 단계의 중요성을 인식한 것으로 나타났다. 이와 관련된 인터뷰 내용은 다음과 같다.

(수업 후반 교사 인터뷰 내용)

연구자: 다음 시간에 수업을 하신다면, 어떤 부분을 보완하고 싶으신가요?  
A교사: 모델링 수업에서는 특히 많은 사람들의 생각을 들어보고, 거기 자기 생각을 비춰보는 게 필요하기 때문에 그런 시간을 좀 더 줘야 할 것 같아요. 다른 모듈 발표 들으면서 수정하고 하는 게 이해에 도움 되는 것 같아요.

위와 같이, 교사는 모델링에서 여러 학생들 사이의 논의를 통한 반성과 수정의 필요성을 인지하였으며, 이것은 모델 평가와 수정 단계에서 이루어지는 활동이다. 인터뷰에서 “그런 시간을 좀 더 줘야 할 것 같다”라는 말로 유추해볼 때, 수업 후반 A교사의 모델 평가 및 수정 시간이 증가된 것은 해당 단계의 필요성 인식에 따른 의도적인 실행 변화였다고 판단된다.

이러한 실행 변화는 모델링 PCK에서 2가지 요소와 관련될 수 있을 것이다. 먼저, 평가와 수정 시간에 시간 비중을 늘리는 것은 모델링에서 어떤 부분을 강조해서 가르칠 것인가를 뜻하는 것으로, 이는 모델링을 활용한 교수 전략 지식(KIS)의 발달에 해당된다. 또한, 모델 평가가 교사에 의해서만 이루어지긴 했으나 수업 초반에는 매우 간단한 피드백에 그치다가, 후반부에는 다른 모듈과의 차이점이나 다른 개념과 연관 지을 수 있도록 자세한 피드백을 제공한 것은 평가 지식의 발달(KA)로도 볼 수 있다. 따라서, A교사의 이러한 모델링 PCK의 발달이 수업 실행에서 평가, 수정 시간의 증가 및 평가 단계의 피드백 구체화로 드러난 것으로 사료된다.

## 3) 수업 실행 발전의 한계: 모델링 교수 지향(TO)과 교육과정 지식(KC)과 연관

A교사는 과학 모델링 수업을 실행하는 동안, 학생들의 오개념을 파악하여 피드백의 양을 더욱 늘리고, 평가와 수정 시간을 늘려 학생들에게 상세한 피드백을 제공했을 뿐 아니라 피드백의 내용 측면에서 생성 단계의 사고 유도 피드백을 늘리는 등의 발전을 보였다. 하지만,

평가와 수정 단계에서는 교사 주도적 수업이 계속되어 모델의 발달을 교사가 이끌어가는 측면이 강하게 나타나면서 한계를 보였는데, 이 이유를 모델링 PCK의 교수 지향(TO) 및 교육과정 지식(KC)과 관련하여 분석하였다.

### 가) 교수 지향(TO)

앞서 언급하였듯이, 모델링 수업에서 교사와 학생의 역할에 대한 이해 또는 과학을 가르칠 때 교사가 가장 중요하게 다루는 목적 및 목표에 대한 교사의 신념을 교수 지향이라고 한다(Magnusson *et al.*, 1999). 교사의 신념은 개인의 일대기, 경험, 지식 등을 바탕으로 발달되는 것으로(Nespor, 1987; Bryan, 2012), 교사의 행동과 결정에 영향을 주는 매우 중요한 요소이다(Wallace, 2014; Bryan, 2012; Pajares, 1992; Nespor, 1987). 따라서, 교사가 기존 방식과 다른 새로운 방식을 도입하여 수업을 실행할 때, 교사의 신념은 교육과정 혁신을 위한 교사의 실행을 지원할 수도 있고, 방해할 수도 있다(Bryan, 2012; Wallace, 2014). 또한, 교사 개인의 해석적 프레임 워크가 변화의 근본적인 원리와 일치할 때 혁신이 더 쉽게 일어난다는 연구들이 있어왔다(Wallace & Priestley, 2011; März & Keltchermans, 2013; Melville, 2008).

그러나 A교사의 수업과 인터뷰를 분석한 결과, 모델링 프로그램의 목적과 A교사의 교수 지향이 다소 상충되는 측면이 있었다. 본 연구의 모델링은 학생들에게 탐구 경험을 제공하는 것이 목적이었기 때문에, 교사가 지식을 전달하기보다 학생들이 스스로 과학 지식을 구성할 수 있도록 하는 것이 핵심이었다. 그러나, Table 8에서도 볼 수 있듯 수업 초반 A교사는 모델링의 목적에 대해 학생의 오개념을 없애고 정확한 개념을 인지시켜주는 것이라고 답하여 교사 주도적 강의 지향적 모습을 보였다. 또한, 아래에 제시된 수업 후반 인터뷰에서도 A교사는 완전히 학생 중심으로 하는 수업 방식에 대한 우려를 나타냈으며, 수업 실행의 생성 단계에서는 학생들의 이해를 추구하며 사고 유도 피드백 등을 사용하였지만, 평가 및 수정 단계에서는 교사가 안내하면서 결과적으로 개념을 정확하게 알려주는 것을 중시하는 모습을 보였다.

(수업 후반 교사 인터뷰 내용)

과학 수업에서 지향하는 것이요? 안내된 탐구처럼. 예전에는 사실 완전 학생 중심적이고 학생 주도의 활동이 되어야 한다고 생각했는데, 그렇게 하면서 애들이 물론 의미 있는 것도 있지만, 과학이라는 과목 자체가 어떤 개념이 정해져 있는데 그걸 아이들 주도라면 하는 것은 좀 무리가 있는 것 같았어요.

점점 강의식 수업을 지양하려고 하지만.. 그래도 어느 정도는 개념 정립을 도와주어야 한다고 생각해서... 교사가 어느 정도 이끌어가고, 학생들이 발견해보고, 그걸 듣고 다시 수정해준다거나. 개념을 정확하게 알려주는 것이 맞다고는 생각을 하는데(중략)

교사의 역할에 대해서는 “탐구를 안내하면서도 강의를 하는 사람”이라고 말하며, “그래서 활동을 나누어 활동 1에서 한 걸 짚고 넘어가고, 또 2에서 배운 것을 짚고 넘어가고 그 다음에 마지막에 마무리를 한 것 같아요.”라고 응답하였다. 이것을 보았을 때, A교사는 학생들의 ‘탐구’보다는 학생들에게 정해진 개념을 ‘전달’하는 것에 더 중점을 둔 것으로 보인다. 앞에서 언급했듯이, 학생들을 “참여자”, 자신을

“보조해 주는 사람”으로 인식하며 생성 단계에서 학생들이 지식을 발견할 기회를 주기도 했지만, 결과적으로 마지막에는 정답을 수렴하여 학생들에게 개념을 ‘정확하게’ 알려주려고 하였기 때문이다. 교사의 교수 지향을 크게 강의 교수 지향과 탐구 교수 지향으로 나눈다면, 이것은 교사 중심적 강의 교수 지향에 가깝다.

이러한 관점에서 보면, A교사가 수업의 발전을 보인 것은 사실이나, 이것은 결과적으로 학생들을 올바른 과학적 개념으로 이끄는 데 목적이 있었던 것으로 판단된다. 이러한 이유 때문에, 생성 단계에서 사고 유도 피드백을 사용하여 학생들의 사고를 자극하였지만, 수업 말미의 평가와 수정단계에서는 교사가 그 모델을 평가하고 수정에 대한 힌트를 줌으로써 학생들에게 정확한 개념을 인지시키려고 했을 수 있다. 결과적으로 교사가 강의식 교수 지향에 맞게 모델링 수업을 적용하였기 때문에, 평가와 수정 단계에서 수업을 더욱 발전시키는 데 한계가 있었던 것으로 사료된다.

#### 나) 교육과정 지식(KC): 모델링 단계에 대한 이해(KC2)

A교사의 교사 주도적 수업 실행을 설명할 수 있는 또 다른 요인은 모델링 단계, 즉 GEM 과정에 대한 이해의 차이이다. 앞서, 모델링 수업의 목적과 A교사의 교수 지향이 일치하지 않기도 했지만, A교사가 모델링 단계 및 의미에 대해 잘 이해하고 있었다면, 수업을 다르게 적용하여 더 많은 변화를 이끌어냈을 수도 있을 것이다.

Clement(1989)의 GEM cycle가 의도한 바에 따르면, 모델을 발달시켜야 하는 주체는 학생이며, 교사는 학생들이 모델을 발달시킬 수 있도록 질문과 스캐폴딩을 통해서 자신의 모델의 장단점에 대해 생각해 보도록 공간을 제공해야 한다. 그러나 A교사는 모델링의 단계가 학생들의 추론에 의해 진행될 수 있도록 하기보다는, 학생들에게 개념을 잘 이해시켜 하나의 모델을 완성하는 것을 수업 목표로 삼는 경향이 있었다. 다음은 A교사의 인터뷰 내용이다.

아무래도 애들이 모델을 구성하는 것이 그게 목표가 되다 보니까. 사실 제가 이렇게 금방 설명하면 한 차시도 안 걸려서 끝날 내용이 두 차시를 해도 사실... 버겁잖아요. 그래서 시간과 노력이 좀 많이 필요한 수업인 것 같아요.

A교사는 교사 주도적으로 평가와 수정 단계를 이끌어 갔는데, 이것은 교사가 학생들의 모델 발달 과정보다는 그 결과로 완성되는 과학적 모델의 정확성에 초점을 두었기 때문으로 보인다. 교사의 모델 및 모델링에 대한 지식은 모델링 수업에서 학생들이 생산적으로 참여하도록 촉진하는 데 중요한 역할을 하기 때문에, 교사가 조력자로서 학생들을 도와주고 참여를 이끌기 위해서는 모델링에 대한 명확한 이해가 선행되어야 한다(Cho, Nam, & Oh, 2017). A교사가 모델링 교육과정 지식 중 일부인 모델 및 모델링 목적에 대한 지식(KC1)이 향상된 측면이 있으나, 모델링 단계에 대한 이해(KC2)의 정도가 교사의 수업 발전에 한계로 작용한 것으로 보인다.

#### 다) 교육과정 지식(KC): 모델링의 가치 인식(KC4)

교사의 모델링 수업에 대한 가치 인식도 교사의 수업 실행에 영향을 줄 수 있다. 모델링에 대한 가치 평가는 교사가 수업을 진행하는 방식이나, 수업을 변화 및 개선하고자 하는 의지에 영향을 주어 수업 실행이 달라지기도 하기 때문이다. 교사의 가치 인식은 세 가지 측면

을 통해 유추하였는데 첫째, 수업이나 인터뷰에서 모델링의 가치에 대해 여러 차례 언급했는가, 둘째, 다음 수업에서도 적용해 볼 의지가 있는가, 셋째, 가치 인식을 바탕으로 실제 수업 개선을 위해 노력하였는가이다.

A교사의 경우 모델링을 통해 개념을 오래 기억하고 정확하게 알 수 있다고 응답하며 모델링 수업의 가치를 인정하기는 했으나, 수업 시간이나 인터뷰 시간에 이에 대해 추가적으로 언급한 적은 없어 모델링의 가치에 진정으로 공감하는지 확인하기 어려웠다. 그래서 교사에게 모델링 수업을 다른 수업에 적용해 볼 생각이 있는지 물어보았을 때는 다음과 같은 대답을 들었다.

네, 그럼요. 저는 하고 싶은데.. 저도 선생님(연구자)이 얼마나 준비하는지 알고 하나씩 쉽게 엄두는 안 날 것 같아요. 연구 수업 아니면 공개 수업... 그런 거 아니면 쉽지 않을 것 같아요.

A교사의 답변에서, 모델링을 적용하는 것에 대한 부담감을 느낄 수 있었다. 또한, 특별한 수업이 아닌 평상시 수업에서 사용하고 싶어 하지는 않았고 실제 수업 실행에서도 교사의 모델링의 가치 인식이 드러나는 발화가 없어, 모델링의 가치에 대해 크게 공감하고 있지는 않다고 판단하였다.

정리하면, A교사의 수업의 생성 단계에서 사고 유도 피드백의 증가, 평가 및 수정 시간 증가는 A교사의 모델링 교육과정 지식, 학생 이해 지식, 교수 전략 지식, 평가 지식 등의 발달을 보여준다. 그러나, 평가와 수정 단계에서 교사 주도의 수업이 계속된 것은 교사의 교수 지향이 모델링 수업의 지향점과 달랐고, 교육과정 지식에서 GEM 단계의 이해와 모델링 가치에 대한 인식이 크게 향상되지 못하였기 때문으로 사료된다.

## 2. B교사의 사례

### 가. 수업 실행

#### 1) 시간 배분

수업 초반 B교사는 Table 9와 같이 모델 생성 단계에서 80%, 평가 단계에 10%, 수정 단계에 10%의 시간을 사용하였다. B교사는 평가와 수정 단계를 합해 수업 시간의 총 20%를 사용하여, A교사가 사용한 시간(총 7.5%)에 비해 해당 단계에 많은 시간을 들었다.

B교사의 수업 초반 평가 단계에서는 교사 주도적 평가를 중심으로, 교사 주도적 평가와 학생 주도적 평가가 모두 이루어졌다. 교사 주도적인 평가 측면은 각 소집단이 발표하고 난 후, 교사가 주체가 되어 모든 소집단 모델에 대한 구체적인 피드백을 제공한 것이며, 학생 주도적인 평가 측면은 수업이 끝날 즈음 몇 명의 학생들에게 자신의 모델에서 달라진 점을 발표하게 한 것이다. 즉, 소집단 모델에 대한 평가는 교사 주도적으로 이루어졌고, 학생 자신의 전후 모델에서 달라진 점을 평가하는 것은 학생 주도적으로 진행되었다.

반면, 수업 후반의 모델 평가에서는 전적으로 학생 주도로 평가가 이루어져 학생들이 서로의 모델에 대해 평가하는 방식으로 진행되었다. 또한, 수업 후반에는 평가를 하면서 각자의 모델을 수정하도록



하여 평가와 수정 단계가 함께 일어났고, 학생들 간 모델 평가에서 발표와 질문, 응답이 계속 이어지면서 평가와 수정 시간에 사용한 시간(30%)도 수업 초반(20%)보다 증가하였다.

수업 후반 B교사의 수업은 GEM에서 학생들이 스스로 모델에 대해 평가하고, 반성하고 수정하게 함으로써 학생이 주체가 되어 모델을 발달시키게 했다는 데 의의가 있다.

Table 9. Allocated time for each stage of GEM by teacher B (Teacher-driven to student-driven GEM cycle)

	생성(%)	평가(%)	수정(%)
수업 초반(1-2차시) : 교사, 학생 주도	80	10	10
수업 후반(7-8차시) : 학생 주도	70	30(평가와 수정 단계가 함께 일어남)	

\*총 수업시간 : 80분

2) 피드백의 양과 내용

가) 수업 초반

피드백 양의 경우, B교사는 수업 초반에 모델 생성 단계에서 피드백을 총 43회 사용하였다(Table 10). 또한, 모델 평가 단계에서는 8회,

수정 단계에서는 개인별로 초기 모델을 고쳐보도록 하여 피드백이 1회에 그쳤다. 주목할 것은 피드백의 내용인데, B교사는 모델 생성 단계에서 A교사와 달리 정답 평가 피드백보다는 주로 사고 유도 피드백을 사용했다(43회 중 39회). 그리고 그 중에서도 개념 지원 피드백(23회)과 절차적 지원 피드백(16회)을 많이 사용하였다. 먼저, 개념 지원 피드백에서는 학생들의 이해를 구체적으로 표현하도록 명료화를 요청하는 피드백이 많았다. 예를 들어 Table 11의 3, 5, 7행을 보면, 교사는 전체 활동에서 ‘조금 더 구체적으로’, ‘팔에 좀 더 집중해볼까?’, ‘두께는 어떻게 될까?’ 등의 발문을 통해 학생들이 모델 구성에서 필요한 부분에 초점을 맞출 수 있도록 도움을 주었다. 또한, Table 11의 32행, 36행과 같이 소집단 모델 구성 활동에서는 절차적 지원 피드백을 활용하여, 학생들이 다 함께 참여하여 모델을 만들 수 있도록 협력적인 모델 구성을 촉진하는 모습이 나타났다.

나) 수업 후반

수업 후반의 B교사의 수업 실행은 많은 변화를 보였다. 먼저, 피드백의 양이 증가하였다. 모델 생성 단계에서는 초반 43회에서 후반 67회로, 평가와 수정 단계에서는 초반 9회(평가, 수정 단계의 피드백 횟수를 합친 것)에서 후반 27회로 증가한 것이다. B교사는 수업 후반 다른 소집단의 발표를 들으면서 모델 평가를 하는 동시에 자신의 소

Table 10. Teacher B's change in the frequency and content of feedback

	수업 초반(1, 2차시)			수업 후반(7, 8차시)	
	생성	평가	수정	생성	평가 및 수정
총 피드백의 양	43	8	1	67	27
피드백 내용	1. 정답 평가 피드백	4	-	2	-
	1) 개념 지원 피드백	23	8	41	23
	2. 사고 유도 피드백	16	-	23	2
	2) 절차적 지원 피드백	16	-	23	2
	3) 메타 인지적 피드백	-	-	1	4

Table 11. The feedback of teacher A in the model generation stage(thought-provoking feedback, lesson 1-2)

행	학생 발화	교사 발화	피드백의 내용 코딩
1		(교사 - 전체 학생 활동 중)무거운 것을 들어올릴 때, 팔이 어떻게 구부러지는지 한 번 설명해 볼 사람?	
2	다운 팔 근육을 요구한다.		
3		팔 근육을 요구한다...? <b>조금 더 구체적으로</b>	사고 유도 피드백 (개념 지원)
4	찬미 힘줄을 통해 들어올릴 수 있도록 한다.		
5		<b>팔에 혹시 좀 더 집중해볼까?</b>	사고 유도 피드백 (개념 지원)
6	태오 팔이 물체를 들어올렸을 때 말랑말랑했던 근육이 딱딱해진다.		
7		<b>딱딱해지면서.. 두께가 조금 어떻게 돼?</b> (팔을 직접 움직이면서) 한 번 느껴보세요.	사고 유도 피드백 (개념 지원)
...	...	...	
32		(1모듬의 모델 구성 활동 중) 같이 해. 찬미랑 다운이 봐봐. <b>여기에 이견 없어요? 다른 의견 없어요?</b>	사고 유도 피드백 (절차적 지원)
...	...	...	
36		(2모듬의 모델 구성 활동 중) 그러니까 수진이가 어떻게 그리면 좋을지 얘기를 해 줘. <b>혼자 그리는 게 아니라, 같이 그리는거야</b>	사고 유도 피드백 (절차적 지원)

집단 모델도 계속 수정하도록 하였기 때문에 평가와 수정 단계가 함께 일어났으며, 이에 따라 Table 10에서 평가와 수정 단계의 피드백을 함께 나타내었다.

다음으로, 피드백의 내용에서 B교사는 개념 지원 피드백, 절차적 지원 피드백뿐만 아니라, 메타 인지적 피드백도 함께 사용하였다. 특히, 모델 평가와 수정 단계에서 A교사에게는 없었던 특징적인 실행 3가지를 보였는데, 이에 대해 자세히 살펴보고자 한다.

첫째, B교사는 개념 지원 피드백을 사용하여 학생들이 여러 소집단 모델들을 비교하고 서로의 모델 간의 차이점을 발견하도록 하였다. Table 12의 2행을 보면 교사는 소집단 모델의 특징에 대해 질문했는데, 6행에서처럼 다른 소집단 모델과 비교했을 때 그 모델의 장점, 차이점, 보완할 점 등을 학생들이 직접 발견하게 하여 모델을 수정 및 발전시키는 데 도움이 되는 개념적 지원을 제공하였다. 뿐만 아니라, 학생의 개인 모델에 대해서도 수업 초반에 비해 어떤 것이 추가되었는지 질문함으로써 자신의 모델에 대해 스스로 평가하고 반성할 수 있게 하였다.

이것의 중요한 의미는 평가의 주체가 교사에서 학생으로 변화하였다는 것이다. 수업 초반의 모델 평가 단계에서 자신의 모델에 대해서는 학생이 평가하도록 했지만 소집단의 모델에 대해서는 교사만이 피드백을 제공하였는데, 수업 후반에는 학생들도 서로의 소집단 모델에 대해 피드백 할 수 있는 기회를 제공하여 평가의 주체가 다양화되었다. 이는 자연스럽게 피드백 증가로 이어져, 평가와 수정 시간의 증가에 영향을 미쳤다.

둘째, 절차적 지원 피드백을 통하여 소극적인 학생들을 포함한 소집단의 모든 학생들이 발표에 참여할 수 있도록 격려했다. 예를 들어, 558쪽의 Table 13에서 3모둠은 한 명(은호)이 주도적으로 모델을 발표하였는데, 그 소집단에는 목소리가 작고 자신감이 없는 학생들이 많았다. 그래서 교사는 모두가 발표할 수 있도록 은호의 모델 발표가 끝난 후 ‘호흡이 왜 일어날까?’에 대해 한 명씩 의견을 추가하도록 했으며, Table 13의 6행과 8행에서처럼 이것을 ‘보완한다’고 표현하였다. 모든 학생들 앞에서 소극적인 학생만 발표하도록 하면 부담을 느낄 수 있기 때문에, B교사는 학생들이 모두 참여하는 발표 방법을 사용하여 협력적인 모델 구성을 지원하였다.

셋째, 메타 인지적 피드백을 사용하여 학생들이 모델 평가와 수정 단계의 중요성을 인식할 수 있도록 했다. 메타 인지적 피드백의 사용은 수업 후반에만 나타난 것으로, B교사의 평가, 수정 단계의 수업 실행 발전을 잘 보여준다. 예를 들어, Table 13의 12행에서 교사는 학생들이 의견을 계속적으로 첨가함으로써 많은 발전을 이루었다고 칭찬하며 모델이 계속 나아질 수 있음을 암시하였다. 또한, 40행에서는 친구들의 의견, 즉 피드백을 통해서 점차 모델이 완전해지고 있다는 것을 강조하며 2모둠에게 모델 진화 과정을 설명하도록 했다. ‘진화’라는 것은 모델의 발전을 뜻하며, 교사는 이에 대해 인지하고 학생들에게 모델 평가와 수정의 중요성을 말하려고 한 것이다. 42행에서도 ‘친구들 설명을 듣고 뭘 더 추가한 거야?’ 라는 질문을 통해, 초기 모델이 학생들과의 상호작용을 통해 변화한 점을 물어봄으로써 학생들에게 하여금 협력적인 평가와 수정 단계가 중요하다는 것을 인식하게 하였다.

결과적으로, B교사는 수업 후반 이 3가지 피드백을 종합적으로 사용해서 학생들이 수업의 주체가 되어 평가를 하고, 서로의 의견을 바탕으로 수정하며, 발전한 점을 발견하여 발표하도록 하였다. 이를 통해, 교사는 학생들에게 자신들이 하고 있는 활동이 무엇이며, 모델링의 각 단계를 왜 하는지 생각해 보게 하여 학생들이 모델 구성 과정에서 인식적 실행을 할 수 있도록 도움을 주었다.

나. 모델링 PCK

B교사의 수업 실행에서 가장 특징적인 변화는 첫째, 메타 인지적 피드백의 사용, 둘째, 학생 주도적 모델 평가가 이루어졌다는 점이었다. 따라서, 이와 같은 2가지 특징을 중심으로 교사의 모델링 PCK 변화를 살펴보고자 한다.

1) 메타인지적 피드백의 사용: 모델링 교육과정 지식(KC), 학생 이해 지식(KSU), 교수 전략 지식(KIS)의 발달

수업 초반 B교사는 모델링 자체나 수업 전략에 대해 거의 언급하지 않았는데, 이것은 교사가 새로운 학습 방법을 도입하여 그것에 적응

Table 12. Teacher B's conceptual supporting feedback in the model evaluation and modification stage(lesson 7-8)

행	학생 발화	교사 발화	피드백의 내용 코딩
1	(1모둠, 2모둠의 발표)		
2		2모둠은 방금 1모둠과 비교했을 때 바로 딱 눈에 들어오는 게 하나 있어요 어떤 거?	사고 유도 피드백 (개념 지원)
3	학생들 황격막.		
4		황격막을 표현했다는 게 인상적이죠? 2모둠이 (손으로) 짚어가면서 설명을 좀 해주세요.	사고 유도 피드백 (개념 지원)
5	(2모둠의 발표)		
6		혹시 나는 (2모둠 모델에서) 이런 점이 좋았다. 우리 모둠이랑 비교해 봤을 때, 완벽하지만 보충했으면 좋겠다 하는 거 있어요? 조언?	사고 유도 피드백 (개념 지원)
7	찬율 폐가 여러 부분으로 나뉘어져 있다는 걸 표현했으면 좋겠어요.		
8	윤성 갈비뼈가 폐를 너무 가리지 않게 살짝 그리면 좋겠어요.		
9	예은 (동영상에서) 왼쪽 폐가 좀 더 작다고 했는데 그것도 추가해주면 좋겠어요.		

Table 13. Teacher B's procedural supporting and meta-cognitive feedback in the evaluation, modification stage(lesson 7-8)

행	학생 발화	교사 발화	피드백의 내용 코딩
1	(3모듬의 발표)		
2		혹시 밑에 있는 칸에 설명을 추가한 것이 있나요? <b>‘호흡은 왜 일어나는 걸까 ‘칸에?’</b>	
3	은호 딱히 추가한 것은 없어요.		
4		그럼 한 번 생각나는 대로 말해보세요. 즉흥적으로 물어볼게요. <b>호흡은 왜 하는 것 같아요? 동혁이부터 해보자.</b>	사고 유도 피드백 (개념 지원, 절차적 지원)
5	동혁 산소를 마시기 위해서		
6		산소 마시는 것. <b>2차로 보완(다른 학생을 가리키며)호흡 왜 하지?</b>	사고 유도 피드백 (개념 지원, 절차적 지원)
7	지민 산소가 있어야지 온 몸에 기관들이 일을 할 수 있어요.		
8		산소가 있어야지 온몸에 기관들이 일을 한다. <b>또 보완(다른 학생을 가리키며) 또? 은호</b>	사고 유도 피드백 (개념 지원, 절차적 지원)
9	은호 우리 몸 구석 구석으로 산소를 전달해주시기 위해서요.		
10		좋습니다. <b>들이마시는 건 그렇고, 내쉬는 건 왜 하는걸까?</b>	사고 유도 피드백 (개념 지원, 절차적 지원)
11	은호 우리 몸 속에서 이산화탄소를 내보내기 위해서.		
12		그래요. <b>지금 이 모듬이 계속 첨가하고 첨가하고 해서, 들이마시고 내쉬는 것까지 많은 발전을 이루었습니다. 박수!</b>	사고 유도 피드백 (절차적 지원, 메타 인지적)
...	...	...	
40		<b>지금 친구들 의견을 담아서 점점 완벽해지는 모듬이 있어요</b> 2모듬 것을 한번 보자. 2모듬은 변화 과정을 한 번 설명해보자. <b>진화 과정을 좀 설명. 어떤 변화가 있었는지 설명해볼까?</b>	사고 유도 피드백 (메타 인지적)
41	(2모듬의 발표)		
42		아. <b>처음에는(학생의 초기모델) 그냥 기관들을 그리는 정도였는데, 친구들 설명을 들으면서 쫓 더 추가한거야?</b>	사고 유도 피드백 (개념 지원, 메타 인지적)

하는 데 바빠서, 모델링에 대한 지식이 거의 발달하지 못한 상태였기 때문이라고 추측된다. 이에 따라 수업 실행에서도 모델을 구성하고 발표를 하는 데 초점이 맞추어졌다. 반면, 수업 후반에는 B교사가 메타 인지적 피드백을 사용하여 학생들의 모델링 활동을 격려하는 특징적인 실행이 드러나, 교수 전략의 변화를 보였다. 이러한 피드백을 사용한 이유에 대해 인터뷰를 분석한 결과, 교사는 자신이 인지한 모델링 수업의 필요성을 학생들에게 공유함으로써, 학생들도 이것을 깨달을 수 있도록 돕기 위함이었다고 답했다. 수업 후반 교사의 인터뷰 내용은 다음과 같다.

(수업 후반 교사 인터뷰 내용)

연구자: 모델링 수업에서 가장 중요한 것은 무엇이라고 생각하시나요?  
 B교사: 일단은 모델링이 왜 필요한지 애들한테... 너무 막 답보고 베끼거나 그런 게 아니라 이게 왜 필요한지를 같이 공유하면 좋을 것 같아요...(중략)... 보고 쓰는 애들도 있는데, 아이들이 이거 왜 하는지 이런 것을 좀 공감하면 좋겠어요.

이러한 이유 때문에, 교사는 수업 실행에서 수업 전후 모델이 변화한 점에 대해서 설명하도록 요청하고 그 변화에 대해 적극적으로 칭찬하는 등 학생들을 격려한 것으로 보인다. 사실 초등학교 학생들에게 계속해서 모델에 대해 반성하고 수정하게끔 하는 일은 노력이 많이 요하는 일이라 할 수 있다. 이를 학생들의 자발적인 의지 없이

이끌고 가는 것은 힘든 일이며, 교사의 인터뷰에서 “답보고 베끼거나”는 말이 나왔듯이, 실제 수업에서도 모델링은 답을 베끼는 활동이라는 인식을 가진 학생들도 있었기 때문에, 교사는 그런 학생들의 인식에 대한 이해를 바탕으로 메타인지적 피드백을 사용한 것이다. 이를 통해 학생들 자신이 계속 발전할 수 있고, 이 과정이 매우 중요하다는 것을 학생들에게 알려주고 싶었던 것이다.

결과적으로, B교사의 메타 인지적 피드백 사용은 모델링 PCK의 발달을 보여준다. 앞에서 언급한 모델링에 대한 가치 인식은 모델링 교육과정 지식(KC4)에 해당하며, B교사는 이에 대한 이해와 학생들의 모델링 수업에 대한 인식(KSU3)에 대한 이해를 기반으로, 모델링에 대한 학생들의 인식을 긍정적으로 변화시키고자 메타 인지적 피드백(KIS3) 등의 교수 전략을 사용한 것으로 분석된다.

2) 학생 주도적 모델 평가: 교수 전략 지식(KIS), 평가 지식의 발달(KA)

둘째, 평가 방법의 변화와 관련된 분석이다. 아래 인용문에서 볼 수 있듯, B교사가 수업 초반 인터뷰에서 평가와 수정 단계에 대해 ‘다른 학생들의 의견을 듣고 본인 것을 수정하는 과정’이라고 답했다면, 후반 인터뷰에서는 이 과정의 가치에 대해 언급하면서, 두 단계에서의 충분한 논의가 학생에게 도움이 된다고 답하였다. 교사의 인터

부 내용은 다음과 같다.

(수업 초반 교사 인터뷰 내용)

연구자: 모델링 수업에서 학생들의 평가와 수정을 도와줄 수 있는 방법은 무엇일까요?

B교사: 외우는거 보다는 계속 친구들 얘기를 들으면서 본인이 계속 추가하고 뺄 거 빼고. 그런 과정을 거치는 것이요.

(수업 후반 교사 인터뷰 내용)

연구자: 모델링 수업에서 가장 중요한 것은 무엇이라고 생각하시나요?

B교사: (앞서 558쪽에 제시된 수업 후반 교사 인터뷰 내용에 이어짐) 그리고 다른 친구들의 잘된 것을 충분히 같이 보고 이야기 나누는 그런 것들. 그래서 자기 것도 수정해보고, 이런 게 좋은 것 같더라고요.

내가 말하는 것도 있지만 다른 사람들 것을 들으니까 내가 부족한 걸 채울 수도 있고 남들이 부족한 걸 내가 채워줄 수도 있고. 그러면서 서로에게 도움이 된다고 얘기해주고 싶어요.

교사는 이러한 인식을 바탕으로, 평가와 수정 단계에서 학생들을 평가 주체로 하여 서로의 모델 간의 차이점에 대해 발표하고 질문하게 하였고, 각 모델의 장단점 등을 평가하도록 개념 지원 피드백을 제공한 것으로 보인다. 교사의 수업 실행을 모델링 PCK와 관련지어 본다면, 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. 따라서, 수업 후반부에 보인 평가 방법의 큰 변화는 B교사의 모델링 PCK 발달에서 기인한 것이라고 사료된다.

### 3) B교사의 수업 실행이 크게 발전할 수 있었던 원인: 모델링 교수 지향(TO)과 교육과정 지식(KC)

두 교사는 공통적으로 모델링 수업을 실행하는 동안 시간 배분, 피드백의 양과 내용 측면에서 변화를 보였으나, 수업을 이끌어가는 방식, 특히 모델 발달에서 핵심이라고 여겨지는 평가와 수정 단계를 이끌어가는 모습에서 차이를 보였다. A교사는 평가와 수정 단계를 교사가 주도하여 올바른 개념을 이해시키고자 하였고, B교사는 그 권한을 학생에게 이양하여 모델링 수업 전략(여러 가지 피드백의 사용 등)이나 평가 방법 측면에서 더 많은 발전을 보였다. 이렇게 두 교사의 수업 실행 변화의 정도가 차이를 보이고 B교사가 더욱 발전할 수 있었던 원인을 모델링 PCK와 연관지어 해석하였다.

#### 가) 교수 지향(TO)

본 연구는 학생들의 탐구를 지원하고자 모델링 수업을 계획하였으며, 연구가 추구하는 목적과 교수 지향이 일치하지 않았던 A교사(교사 주도적 강의 지향)와는 달리, B교사는 탐구 지향의 교사로서, 도입한 모델링 수업의 목적과 교수 지향이 일치한 것으로 분석되었다. 수업 초반과 후반 교사와의 인터뷰 내용은 다음과 같다.

(수업 초반 교사 인터뷰 내용)

연구자: 모델링 수업에 대한 소감이 어떠신가요?

B교사: 모델이라는 게 학생의 선지식을 표현하게 하는 것이고, 그리고 탐구하는 방법으로서 가설을 세워보고, 자신의 생각이 바뀐 것을 비교할 수 있어서 배움이 확실하게 와 닿는다고 생각해요.

특히 과학 같은 부분에서 본인이 직접 가설을 세워보는 거잖아요. 그런 경험은 의미 있는 것 같아요. 과학 교과를 가르치는 목적이 지식 이런 걸 가르치는 것보다는 탐구 이런 게 있잖아요? 그래서 과학의 학습 목표, 교과 목표와 잘 맞는게 아닐까.

(수업 후반 교사 인터뷰 내용)

연구자: 수업을 하는 동안 모델링에 대한 생각이 바뀐 것이 있으신가요?

B교사: 학생들에게 탐구할 기회를 주고 싶다는 생각이 들었어요. 그런데 탐구도 사실 너무 유치한 걸로 탐구하라고 하기엔 한계가 있거든요. 제가 말로해서 차라리 더 설명이 잘되는거면 굳이 다른거를 할 필요가 많이 없다고 생각하고 제가 말로 다 설명 못하는것들 있잖아요. 인체기관이라든지 우주라든지. 말이 설명하지 못하는 것들 그런 것들에 대해서...(중략)... 애들한테 스스로 탐구해보게 하는 그런 경험을 좀 해주고 싶다 이런 생각이 들었어요.

연구자: 모델링 수업의 장점은 무엇이라고 생각하시나요?

B교사: 아이들이 적극적으로 사고하게 하는 것이요. 그리고 얼마나 많이 배움이 일어났는지 본인이 스스로 느끼고 확인할 수 있다는 거. 그리고 그냥 과학적인 사고를 애들이 좀 할 수 있다는 거. 현상에 대해서 본인들이 나름대로 규명하는 거잖아요. 그게 과학적인 사고를 경험하게 하는데 도움이 되게 하지 않을까 생각합니다.

B교사의 답변으로부터, 이번 과학 모델링 수업에서 목표로 삼았던 것이 학습자 주도의 탐구였다는 것을 알 수 있었으며, 이에 따라 교사의 교수 지향을 탐구 교수 지향이라 해석하였다. 실제 수업에서도 B교사는 학생들이 능동적인 지식 구성을 할 수 있도록 생성 단계에서부터 개념 지원 피드백을 많이 사용하였으며, 평가와 수정 단계에서도 학습자들이 스스로 모델 간의 차이점에 대해 비교하고 이에 대해 반성할 수 있도록 돕는 모습을 보였다. 과학 모델링 수업의 목표에 대해 본 연구와 같은 지향점을 가지고 있었던 B교사는, 수업 속에서 학생들의 탐구를 지원하며 학생 중심적 수업을 만들어나가 노력한 결과, 수업 실행의 특징적인 발전을 이루었다고 판단된다.

#### 나) 교육과정 지식(KC): 모델링 단계에 대한 이해(KC2)

B교사는 모델링 각 단계를 통해 학생들이 스스로 탐구하는 것이라는 이해를 가지고 있었고, 이에 따라 모델 평가와 수정 단계에서 “혼자 보서는 다 못 보는 것들을 다 같이 보는 과정이 있으면 좋을 것 같다. 그래서 잘된 것들을 충분히 보고 같이 이야기 나누면서, 자기 것을 수정하면서 학생들이 배울 수 있다”고 언급하였다.

게다가, B교사는 모델링 단계에 대한 이해를 바탕으로 평가와 수정 단계를 어떻게 설계하면 좋을지에 대해 제안하였다. 수업 초반 교사는 모델링 수업 설계에 대한 내용을 언급하지 못했으나, 후반에 교육과정 지식이 증가함에 따라 각 단계의 의미에 맞게 자신만의 모델링 수업 방법을 생각해 낼 수 있었던 것이다. 교사의 인터뷰 내용은 다음과 같다.

(수업 후반 교사 인터뷰 내용)

연구자: 선생님이 모델링 수업을 설계하신다면 어떻게 하시고 싶으신가요?

B교사: 일단은 모둠 내에서 다 설명하게 하는거예요. 학생 1,2,3,4번이.

나는 내 모델은 이런거고. 내가 생각하기에 소화란 어떤 건 거 같아. 그래서 표현을 했어. 내가 중점적으로 한 건 어떤거야. 각자 설명을 해요. 본인들이 표현한거를. 그 다음에 이제 그걸 들으면서 친구들이 좀 질문을 하고 아니면 좀 더 보충했으면 좋겠는 걸 얘기를 하죠.

그리고 그 중에서 제일 괜찮은 걸 뽑는거예요. 하나를 뽑아서. 그거는 또 다같이 나와가지고 전체가 볼 수 있게 해서 학급에서 제일 잘된 걸 하나 뽑기도 하고. 그래서 만약에 모둠이 7개면 7개의 모델이 나올거 아니예요? 7개 모델을 가지고 애들이 또 전체한테 설명을 하는거예요. 모둠원들이 나와서. 그럼 전체 애들이 질문하고 피드백 하고 그런게 있겠죠? 전체 중에서 하나를 뽑고. 그래서 학급 전체가 하나를 완성하고 이런것도 괜찮을거 같아요...(중략)

이런 방법을 다른 과목에서도 써보는데. 이게 처음엔 자기가 한 거지만, 애들의 것을 추가하게 되면서 같이 한 것처럼 될 수 있거든요. 나중에는 공동 모델처럼. 그리고 이것도 누가 한 명이 한 게 아니라 이거는 우리 모둠에서 한 거다. 이렇게 잘 유도만 해주면 괜찮을거 같은데요.

B교사는 학생이 스스로 탐구하는 것을 돕기 위한 목적으로 GEM 단계를 활용하였으며, 평가와 수정 단계를 더 잘 활용하기 위한 방안으로서, 개인의 모델에 대해 평가하고 질문하면서 모둠의 대표 모델을 뽑고, 다시 모둠의 대표 모델들을 평가하여 학급의 전체 모델을 만들어 가는 방법을 제안했다. 이것은 Ham(2012)의 논문에서 제시한 ‘수정된 GEM cycle’의 과정과 동일하다. 수정된 GEM cycle은 개인 모델(초기 모델) 생성, 소집단 모델(중간 모델) 생성, 전체 모델(최종 모델) 생성, 최종 모델의 적용 및 확장 과정으로 이루어진다. 특히, 소집단 모델과 전체 모델을 뽑는 단계에서 B교사가 강조한 것은, 서로의 모델을 표현하고, 이에 대해 질문을 하고 피드백을 하는 과정이었다. B교사는 이러한 모델링 단계에 대한 이해를 기반으로, 학생들의 탐구를 촉진시키기 위해 평가와 수정 단계를 진행한 결과, 수업 실행에서 학생들의 활발한 논의를 이끌어냈다고 사료된다.

#### 다) 교육과정 지식(KC): 모델링의 가치 인식(KC4)

마지막으로, B교사는 모델링 활동의 가치에 대해 구체적으로 파악하고 있었고, 이것은 B교사의 수업 발전에 매우 핵심적인 것이었다고 판단된다. 그것의 증거로서 첫째, 수업이나 인터뷰에서 이에 대해 여러 차례 언급하였고, 둘째, 다음 수업에서도 적용해 볼 의지를 표현했으며, 셋째, 가치 인식을 바탕으로 수업 개선을 위해 노력하였다. 먼저, 교사가 모델링의 중요성에 대해 언급한 부분을 아래에 제시하였다. 이것은 B교사가 수업 초반 모델링의 중요성에 대해 언급한 부분에 비해 훨씬 구체적이다.

(수업 초반 교사 인터뷰 내용)

B교사: 처음에는 생소해서 아무 생각이 없었어요. 근데 모델링을 해보니 까 아이들이 직접 해보고 본인이 가진 선지식, 스마트 기기 활용해서 알게 된 지식, 이게 다 모델로 표현이 되니까 과학에서 필요한 방법인 것 같아요.

(수업 후반 교사 인터뷰 내용)

B교사: 이게 요즘에도 맨날 강조하는 게 배움 중심이 되어야한다는 걸 강조하잖아요. 근데 실제로 학교에서 현장에서 수업하다보면 진

도도 너무 많고 교과서도 채워야 할 거 같고. 그래서 효율적으로 빨리 할 수 있는 방법으로 하게 되는 경우가 많은데. 근데 이번 과학시간 만큼은 애들이 스스로 사고하고 탐구할 수 있었던 기회였고 이걸 본인이 한만큼 배워가는 거 같아요. 이거 진짜 학습자 중심의 그런 수업이 되었던 것 같고, 그냥 음. 우리가 얘기하는 방향인거 같아요. 이런 수업이.

교사는 이와 같이, 수업 후반에 모델링 수업의 중요성을 인식하고 있었으며, 아래의 인터뷰 내용을 보면 모델링 전체 과정뿐만 아니라 모델링에서 이루어지는 각 단계의 필요성에 대해서도 분명히 인지한 것으로 보인다. 다음은 모델 생성 단계와 모델 평가 단계의 의미에 대해 교사가 언급한 부분이다.

(모델 생성 단계의 의미)

일단 초기 모델을 구성하는 것은 의미가 있을 것 같아요. 그냥 그 현상에 대해 이대로 써보거나 그려보거나 하는 거. 이게 별거 아닌 거 같아도 되게 필요한 과정인 것 같아요. 본인이 알고 있는거를 내가 알고 있는게 이런거구나. 한번 표현해보는 게 굉장히 좋은 거 같은데, 그거를 한번 해보고 나서 화면이나 앱을 통해 알아보면 다른 게 좀 더 선명하게 드러나잖아요. 그래서 나중 모델을 구성할 때 그리고 새로운 것을 받아들일 때 더 잘 받아 들일거 같아서 이거는 되게 좋은 것 같아요.

(모델 평가 단계의 의미)

모델링하면서. 애들의 원래 가지고 있던 거랑 공부하고 나서 새롭게 하게 된 걸 비교하는 것도 되게 의미가 있다고 생각해요. 전 항상 애들이 처음 초기 모델이랑 나중 후기 모델이랑 차이가 많이 날 때가 되게 좋더라고요. 그리고 애들이 그걸 눈으로 확인했을 때. 이번에는 확 그게 되게 확인하게 다른 것들이 느껴져서 좋았어요.

위의 인용문은 교사의 모델링에 대한 이해를 보여주는 것이며, ‘(해당 활동이) -해서 좋았어요, -해서 의미가 있다고 생각해요’ 등 모델링에 대한 교사의 가치 판단이 나오는 부분이다. 교사는 명확한 근거를 제시하며, 모델 생성 단계에서 초기 모델을 그리는 것과, 평가 단계에서 초기와 후기 모델을 비교하는 활동의 중요성을 강조하였다.

따라서, 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. 이러한 인식 변화를 바탕으로, B교사는 모델 평가 단계에서 초기와 후기 모델 비교를 통해 학생들이 스스로 배운 점을 깨닫게 하고, 메타 인지적 피드백을 사용하여 평가와 수정이 모델 발달에 중요하다는 것을 강조하는 수업 실행을 하게 된 것으로 분석된다. 또한, B교사는 앞으로 다른 수업에서도 모델링을 적용할 의사가 있는지에 대한 질문에서 “있다”고 답하며, 이번 단원처럼 현상에 대해 설명하고 이해하는 차시에서 쓰면 좋을 것 같다는 긍정적인 답변을 하였다.

나아가, 이러한 가치 인식은 수업 방식 변화를 위한 노력과도 연결되었다. 교사가 모델링의 가치 인식을 바탕으로 수업의 발전 방향에 대해 많이 고민하고 수업 개발에 많은 노력을 들였다고 하였고 때문이다.

일단 선생님이 설명할 때, 처음에 회의할 때. 열심히 듣고. 그 때 흐름을 1차적으로 파악하려고 노력을 하고 수업 전날이든 전전날이든 PPT를



같이 놓고 봤어요. 흐름을 좀 많이 익혔고, 애들한테 도움이 될 발문 같은거도 미리 좀 적었던 거 같아요. 이런 것도 생각했었고. 자료를 언제 투입할 것인가 이런 거도 좀 생각하고. 지도서도 꼭 봤어요. 대충 애들이 여기서 어디까지 알아야 하는지. 정확한 건 뭔지. 이런 걸 다시 한 번 생각해봤어요.

이처럼, 모델링에 대한 가치 평가는 B교사가 수업을 변화 및 개선하고자 하는 의지에 영향을 주어, 그 결과로 수업 실행이 크게 발전했다고 판단된다. 결론적으로, 두 교사의 모델링 PCK에서 교사의 교수 지향과, 모델링 교육과정 지식에서 모델링 단계에 대한 이해 및 가치 인식 부분에서 차이가 있었으며, 이러한 차이가 교사의 수업 실행 발전의 정도에도 영향을 주었을 것이라 분석하였다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 초등학교의 모델 구성 수업에서 교사의 실행 변화를 모델링 PCK의 발달로 해석하고자 하였다. 따라서 두 교사를 대상으로 수업 실행 변화를 분석하고, 이러한 변화의 이면에 어떠한 PCK 구성요소들이 연관되어 있는지를 밝혔으며 이를 통해 두 교사의 수업 실행 차이를 설명하였다. 두 교사에게서 수업 실행의 변화는 (1) 모델이 발달할 수 있는 수정, 평가 시간 비중 증가 (2) 피드백의 양 증가 (3) 피드백의 내용 변화로 나타났다. A교사의 경우 교사 주도적 GEM 단계가 이루어졌다는 한계가 있으나, 모델 생성 단계에서 피드백의 내용이 정답 평가 피드백에서 사고 유도 피드백으로 변화하며 발전하였다. 또한, B교사의 경우 수업 초반에 교사 및 학생 주도로 GEM 단계를 이끌어 갔던 것에 비해 후반에는 전적으로 학생 주도적 GEM 단계를 사용하고, 특히 평가 단계에서 개념 지원, 절차 지원, 메타인지적 피드백을 포함한 다양한 피드백이 나타나며 학생들의 모델 발달 및 인식적 실행을 촉진하는 방향으로 수업의 발전이 나타났다.

수업 실행과 연관된 두 교사의 PCK 발달을 살펴본 결과, 교사들의 PCK에서 모델링 교육과정 지식(KC), 학생 이해 지식(KSU), 교수 전략 지식(KIS), 평가 지식(KA)의 향상이 나타났으며, 이것이 수업 실행의 발전을 가져온 것으로 판단된다. 다만, 두 교사의 수업 실행은 피드백이나 평가 방법 등에서 차이를 보였는데, 이러한 수업 실행 차이를 설명할 수 있는 요인을 탐색한 결과 두 교사는 모델링 프로그램의 목적과 교수 지향의 일치 여부, 모델링 단계에 대한 이해 정도, 모델링에 대한 가치 인식 정도의 차이를 보여 이것이 두 교사의 실행에 영향을 주었을 것이라 해석된다.

이 연구의 결과는 모델링 수업 전문성 개발에 대한 시사점을 제공할 수 있다. 첫째, 수업 실행에서 모델링 수업이 발전하기 위해서는 모델 발달에 핵심적인 역할을 하는 평가 및 수정 시간에 노력을 기울이는 것이 중요하다. 이 단계의 논의를 촉진시키기 위해서 이 단계의 비중을 늘리는 것은 물론이고, 이 단계를 통해 학생이 능동적으로 지식을 구성할 수 있도록 다양한 피드백을 통해서 학생들의 탐구를 지원하는 것이 필요하다.

둘째, 수업 실행의 발전을 위해서는 GEM cycle을 비롯하여 모델링에 대한 명확한 이해가 필요하다고 판단된다. 본 연구에서 두 교사 모두 평가와 수정 시간이 증가하기는 하였으나, 이 두 단계의 의미에 대한 이해 차이에 따라 수업을 이끌어가는 방식에 차이를 보였기 때문이다. 모델 및 모델링에 대한 이해를 메타모델링 지식이라고 하는

데(Schwarz, 2002), 이것은 모델링 실습에서 학생들이 생산적으로 참여하도록 돕는 데 핵심적인 역할을 하며(Schwarz et al., 2009), 교사가 모델과 모델링에 대해 가지는 개념에 따라 수업에서의 활용 가능성이 달라질 수 있다(Kang, 2017). 따라서, 성공적인 모델링 수업을 위해서는 과학 교육과정에서 모델링을 도입하는 목적과 각 단계의 의미에 대해 잘 이해하고 적용해야 하며, 모델링을 도입하고자 하는 교사와 교사 교육자들은 이를 유념할 필요가 있다.

셋째, 수업 실행의 변화를 위해서는 교사가 모델링의 가치에 대해 인식해야 한다. 연구 결과 교사가 진정으로 모델링의 가치에 대해 공감하고 이를 위해 노력한 것이 교사의 실행을 변화시키는 원동력이 되었기 때문이다. 본 연구에서는 교사의 가치 인식이 수업에서 학생들에게 공감을 얻고자 노력하거나, 다른 수업에 도입할 계획을 세우거나, 수업 자료를 개발하고 수업을 발전시키는 데 힘쓰는 것으로 나타났지만, 이 밖에도 다양한 변화를 가져올 수 있을 것이다. 따라서 모델링 수업을 발전시키고자 하는 교사라면 모델링의 중요성, 가치, 필요성에 대해 주목하는 것이 필요하며, 교사 교육자의 경우 교사의 공감을 이끌어낼 수 있는 자료 제시 방법 등에 대해서도 고민할 필요가 있다.

마지막으로, 과학 교육 연구자 및 교사 교육자들은 과학 교육과정에서 모델링을 도입하는 목적이 교사의 교수 지향과 일치하지 않을 수 있으며, 교사마다 자신의 신념에 맞게 수업을 다르게 적용한다는 사실을 인지할 필요가 있다. 따라서 연구자가 어떤 목적에 따라 프로그램 설계하였더라도 교사가 모델링을 적용하는 방법에는 차이가 있을 수 있다(Spillane, 2002; Supovitz, 2008). 하지만 교수 지향이 다를 경우에도 교사가 모델링의 가치에 대해 공감하고, 모델링에 대한 정확한 이해를 바탕으로 수업을 적용할 수 있도록 지원한다면 교사의 실행이 변화하고 발전할 수 있을 것이다.

본 연구는 모델링에 대한 지식과 경험이 없는 초등 교사를 대상으로 한 것으로, 2명의 교사에 대해서만 분석한 것이기 때문에 모든 교사들에 대해 일반화하기 어렵다. 또한, 교사의 PCK 발달은 매우 복잡한 과정을 통해 이루어지는 것이기 때문에, 교사들의 실행과 인터뷰만을 대상으로 이것을 분석하는 데 한계가 있을 것이다. 하지만 추후 연구에서 모델링 수업을 적용한 여러 교사들의 사례를 추가함으로써 모델링 수업 실행 변화의 다양한 형태를 탐색하고, 조금 더 장기적인 관점에서 교사를 추적 연구한다면, 교사의 PCK에 대한 이해와 모델링 수업 전문성을 향상시키는 데 기여할 수 있을 것이다. 본 연구는 초등 교사들의 과학 모델링 수업에서 나타나는 수업 실행의 변화를 모델링 PCK의 구성요소들을 중심으로 분석함으로써, 모델링 수업 개선 방안과 모델링 수업의 가치에 대한 이해 증진에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

#### 국문요약

본 연구는 초등학교에서 과학적 모델 구성 수업을 적용하는 동안, 두 교사의 수업 실행이 어떻게 변화하였는지 탐색하고, 이러한 변화를 교사의 모델링 PCK 발달 측면에서 이해하고자 하였다. 연구 참여자는 초등학교 5학년 2개 반 학생들과 이들을 가르치는 교사 2명이었고, 과학의 '우리 몸의 구조와 기능' 단원에서 4가지 주제로 총 8차시 동안 모델링 수업을 도입하였다. 자료 분석은 전체 수업 중 교사의

변화를 가장 잘 보여주는 수업 초반(1-2차시)과 수업 후반(7-8차시)을 대상으로 이루어졌으며, 두 교사의 수업 실행 변화 및 이와 연관된 모델링 PCK를 분석하였다. 수업 실행 변화는 GEM cycle의 모델 생성, 평가, 수정 단계에서 각 단계에 할애한 시간과, 피드백의 양 및 피드백의 내용 측면에서 분석되었다. 연구 결과, A교사는 수업 전반에 걸쳐 교사 주도적으로 평가와 수정 단계를 이끌었으며, 수업 초반에 비해 후반에 모델 평가 및 수정 단계에 사용한 시간이 증가하였다. 또한 피드백 측면에서 수업 초반에는 정답 평가 피드백을 사용하였으나, 수업 후반에는 사고 유도 피드백을 사용하는 것으로 피드백의 내용이 변화하였다. 한편, B교사는 수업 초반에는 거의 교사 주도적으로 모델을 평가하고 수정하였으나, 수업 후반에는 메타 인지적 피드백 등 다양한 종류의 피드백을 통해 학생 주도적으로 모델을 평가하고 수정하게 함으로써, 그들이 스스로 지식을 구성하고 모델을 발달시킬 수 있도록 도왔다. 인터뷰 결과, 두 교사의 수업 실행 변화는 여러 가지 모델링 PCK 구성요소의 발달이 바탕이 된 것으로 분석되었다. 또한, 두 교사의 수업 실행 변화 정도가 다르게 나타난 원인을 모델링 PCK에서 탐색한 결과, 두 교사는 모델링 PCK 중에서 교수 지향, 모델링 단계에 대한 이해, 모델링의 가치 인식 정도에서 차이를 보여, 모델링 수업 실행에서 이것의 중요성을 암시한다. 본 연구는 교사의 모델링 수업 실행 변화의 사례를 제공하고, 이와 관련된 모델링 PCK를 밝힘으로써 모델링 수업 개선 방법에 대한 이해 증진에 도움을 줄 수 있을 것이다.

**주제어 :** 과학적 모델, 과학 모델링 수업, PCK(교육학적 내용 지식), 모델링 PCK, 수업 실행

## References

- Anderson, C. W., & Smith, E. L. (1987). Teaching science. In V. Richardson-Koehler (Ed.), *Educators' handbook: A research perspective*(pp. 84 -111). New York: Longman.
- Baek, H. (2013). Tracing Fifth-Grade Students' Epistemologies in Modeling through Their Participation in a Model-Based Curriculum Unit. ProQuest LLC. 789 East Eisenhower Parkway, PO Box 1346, Ann Arbor, MI 48106.
- Bamberger, Y. M., & Davis, E. A. (2013). Middle-school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. *International Journal of Science Education*, 35(2), 213-238.
- Bryan, L. A. (2012). Research on Science Teacher Beliefs. In: Fraser B., Tobin K., McRobbie C. (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 477-495). Springer International Handbooks of Education, vol 24. Springer, Dordrecht.
- Cagiltay, K. (2006). Scaffolding strategies in electronic performance support systems: Types and challenges. *Innovations in Education and Teaching International*, 43(1), 93-103.
- 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.
- Cho, H. S., Nam, J., & Oh, P. S. (2017). A Review of Model and Modeling in Science Education: Focus on the Metamodeling Knowledge. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 37(2), 239-252.
- Clement, J. J. (1989). Learning via model construction and criticism. In G. Glover & R. Renning, C. Reynolds (Eds.), *Handbook of creativity: Assessment, theory and research* (pp. 341-381). New York: Plenum.
- Clement, J., & Steinberg, M. (2002). Step-wise evolution of models of electric circuits: A "learning-aloud" case study. *Journal of the Learning Sciences*, 11(4), 389-452.
- Danusso, L., Testa, I., & Vicentini, M. (2010). Improving prospective teachers' knowledge about scientific models and modelling: Design and evaluation of a teacher education intervention. *International Journal of Science Education*, 32(7), 871-905.
- Davenport, T. H., & Prusak, L. (1997). *Working knowledge: How organizations manage what they know*. Boston, MA: Harvard business school press.
- Friedrichsen, P., Driel, J. H. V., & Abell, S. K. (2011). Taking a closer look at science teaching orientations. *Science Education*, 95(2), 358-376.
- 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.
- Gess-Newsome, J. (1999). Secondary teachers' knowledge and beliefs about subject matter and their impact on instruction. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge*(pp. 51-94). Springer, Dordrecht.
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York: Teachers College Press.
- Gutierrez, R., & Pinto, R. (2008). Teachers' conceptions of scientific models II: Comparison between two groups with different backgrounds. Paper presented at the international GIREP conference: Modelling in physics and physics education, Amsterdam.
- Ham(2012). The process of students' model evolution through peer-centered interaction in model construction class of the astronomy domain. Unpublished masters dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Henze, I., van Driel, J. H., & Verloop, N. (2007). Science teachers' knowledge about teaching models and modelling in the context of a new syllabus on public understanding of science. *Research in Science Education*, 37(2), 99-122.
- Hestenes, D. (2006). Notes for a Modeling Theory of Science Cognition and Instruction. Paper presented at the GIREP Conference: Modeling and Physics and Physics Education, Amsterdam.
- Hill, J., & Hannafin, M. (2001). Teaching and Learning in Digital Environments: The Resurgence of Resource-Based Learning. *Educational Technology, Research and Development*, 49, 37-52.
- Hodson, D. (1998). Is this really what scientists do?: Seeking a more authentic science in and beyond the school laboratory. In J. Wellington(ed.) *Practical Work in School Science: Which Way Now?* London: Routledge.
- 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.
- Jang, H. S., & Choi, B. S. (2010). A Case Study on the Development of Science Teachers PCK through development of Content Representation(CoRe)-Focusing on 「Molecular Motion」for 7th grade class-. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 30(6), 870-885.
- Jo, A. R. (2016). Understandings of Pedagogical Content Knowledge on the Middle School Science Teacher's Teaching Practice in a 'Co-Construction of Scientific Models'. Unpublished masters dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Justi, R., & 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.
- Kang, I. (1995). A brief reflection on cognitive and social constructivism. *Korean Journal of Educational Technology*, 11(2), 3-20.
- 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.
- Kim, M. Y., & Kim, H. -B. (2007). Research Articles : A Multidimensional Analysis of Conceptual Change for Blood Circulation in Model-based Instruction. *Biology Education*, 35(3), 407-424.
- 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. 831-880). Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publisher.
- Lee, C. E., & Kim, H. -B. (2016). Understanding the Role of Wonderment Questions Related to Activation of Conceptual Resources in Scientific Model Construction: Focusing on Students' Epistemological Framing and Positional Framing. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 36(3), 471-483.
- Lee, M. R. (2008). Effects of types of presented concept map and feedback on science achievement and scientific attitude. Unpublished doctoral dissertation, Jeonbuk National University, Jeonju, Korea.

- Lee, S., Kim, C. -J., Choe, S. -U., Yoo, J., Park, H., Kang, E., 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 Research in Science Education*, 32(5), 805-822.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2006). Scientific thinking and science literacy: Supporting development in learning in contexts. In W. Damon, R. M. Lerner, K. A. Renninger, & I. E. Sigel (Eds.), *Handbook of child psychology*, (6th edition, Vol. 4). Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.
- Loughran, J., Muhall, P., & Berry, A. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370-391.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 95-132). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- März, V., & Keltchermans, G. (2013). Sense-making and structure in teachers' reception of educational reform. A case study on statistics in the mathematics curriculum. *Teaching and Teacher Education*, 29, 13-24.
- McNeill, K. L. & Knight, A. M. (2013). Teachers' pedagogical content knowledge of scientific argumentation: The impact of professional development on k-12 teachers. *Science Education*, 97(6), 936-972.
- Melville, W. (2008). Mandated curriculum change and a science department: A superficial language convergence? *Teaching and Teacher Education*, 24, 1185-1199.
- Min, H. J., Park, C. Y., & Paik, S. H. (2010). An Analysis of Beginning Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge through the Teaching Practice. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 30(4), 437-451.
- Ministry of Education (2009). *Science curriculum*. Seoul, Korea: Ministry of Education.
- Ministry of Education (2015). *Science curriculum*. Seoul, Korea: Ministry of Education.
- 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.
- National Research Council(Ed.). (1996). *National science education standards*. National Academy Press.
- Nelson, M. M., & Davis, E. A. (2012). Preservice elementary teachers' evaluations of elementary students' scientific models: An aspect of pedagogical content knowledge for scientific modeling. *International Journal of Science Education*, 34(12), 1931-1959.
- Nespor, J. (1987). The role of beliefs in the practice of teaching. *Journal of Curriculum Studies*, 19(4), 317-328.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: National Academies Press.
- Pajares, M. F. (1992). Teachers' beliefs and educational research: Cleaning up a messy construct. *Review of Educational Research*, 62(3), 307-332.
- Park, H. -K.(2015). *The change in modeling ability of science gifted students through model-based instruction*. Unpublished masters dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Park, J., Park, Y-S., Kim, Y., Park, J., & Jeong, J-S. (2014). The development of the Korean teaching observation protocol (KTOP) for improving science teaching and learning. *Journal of Baltic Science Education*, 13(2), 259-275.
- Park, S., & Oliver, J. S. (2008a). Revisiting the conceptualization of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. *Research in Science Education*, 38, 261-284.
- Park, S., & Oliver, J. S. (2008b). National board certification (NBC) as a catalyst for teachers' learning about teaching: The effects of the NBC process on candidate teachers' PCK development. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 812-834.
- Piburn, M., Sawada, D., Turley, J., Falconer, K., Benford, R., Bloom, I., & Judson, E. (2000). *Reformed teaching observation protocol (RTOP) reference manual*. Tempe, Arizona: Arizona Collaborative for Excellence in the Preparation of Teachers.
- 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. (2009). Developing preservice elementary teachers' knowledge and practices through modeling-centered scientific inquiry. *Science Education*, 93(4), 720-744.
- 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.
- Spillane, J. (2002). Local theories of teacher change: The pedagogy of district policies and programs. *The Teachers College Record*, 104(3), 377-420.
- Strauss, A. & Corbin, J. (1990). *Basics of Qualitative Research: Grounded Theory Procedures and Techniques*. Newbury Park, CA: Sage Publications.
- Suh, I. H. (2016). *Understandings of Pedagogical Content Knowledge on the Middle School Science Teacher's Teaching Practice in a 'Co-Construction of Scientific Models'*. Unpublished masters dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Supovitz, J. A. (2008). Implementation as iterative refraction. In J. A. Supovitz & E. H. Weinbaum (Eds.), *The implementation gap: Understanding reform in high schools* (pp. 151-172). New York: Teachers College Press.
- van Driel, J. H., & Verloop, N. (2003). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255-1272.
- van Driel, J. H., Verloop, N., & de Vos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 673-695.
- Wallace, C. S. (2014). An overview of science teacher beliefs. In C. M. Czerniak, R. Evans, J. Luft, & C. Pea (Eds.), *The role of science teachers' beliefs in international classrooms: From teacher actions to student learning*. Boston, MA: Sense Publishers.
- Wallace, C. S., & Priestley, M. R. (2011). Teacher beliefs and the mediation of curriculum innovation in Scotland: A socio-cultural perspective on professional development and change. *Journal of Curriculum Studies*, 37(2), 357-381.
- 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.
- Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods*. Thousands Oaks, CA: Sage.

## 저자정보

엄장희(서울대학교 학생)

김희백(서울대학교 교수)