Journal of the Korean Association for Science Education
Journal homepage: www.koreascience.org

개선된 합의 모델(RCM)의 지식 교환을 통한 초등교사의 모델링 pPCK 변화 탐색

김현주[1], 임채성[1], 이기영[2*]
[1]서울교육대학교, [2]강원대학교

Exploring the Changes in Elementary Teachers' Modeling pPCK for Science Modeling Instructions Through Knowledge Exchange of the Refined Consensus Model

Hyun-Ju Kim[1], Chae-Seong Lim[1], Ki-Young Lee[2*]
[1]Seoul National University of Education, [2]Kangwon National University

ARTICLE INFO

Article history:
Received 28 December 2023
Received in revised form
25 January 2024
Accepted 13 February 2024

Keywords:
PCK, modeling PCK, refined consensus model, knowledge exchange

ABSTRACT

The purpose of this study was to explore changes in elementary teachers' modeling pPCK (personal PCK) resulting from knowledge exchange within the realms of PCK described in the Refined Consensus Model (hereafter RCM). For this purpose, a professional learning community (hereafter PLC) was established for three elementary school teachers to facilitate knowledge exchange specifically focused on science modeling instructions. The study then analyzed the CoRe (content representations) written by the research participants twice to explore any changes in modeling pPCK (personal PCK). In addition, the discourse shared by the participants in the PLC and the data from the in-depth interviews were also analyzed using grounded theory research methods. The results of the study showed that there was no significant change in knowledge of the science curriculum in elementary teachers' modeling pPCK, but there were changes in orientations toward teaching science, knowledge of students' understanding in science, knowledge of instructional strategies and representations, and knowledge of assessment of science learning. Furthermore, the analysis of PLC discourse and in-depth interviews showed that modeling instructions reflection (ePCK; enacted PCK) and educational research-based modeling cPCK (collective PCK) influenced these changes in teachers' modeling pPCK. Accordingly, this study suggests recommendations for pedagogical approaches aimed at improving teachers' modeling PCK.

Ⅰ. 서론

최근 과학 교육계에서는 학생들이 학교 과학 수업에서 인식론적 실행(epistemic practice)에 참여하여 지식 구성의 주체가 되는 것의 중요성을 강조하고 있다(Duschl, 2008; Miller *et al.*, 2018; NRC, 2012). 이에 따라 미국의 과학 교육 기준인 NGSS에서는 학생이 과학자가 실제 과학 지식을 생성하는 과정과 비슷한 활동을 실천(practice)할 수 있도록 8가지 활동을 제시하였다(NGSS Lead States, 2013). 우리나라 2022 개정 교육과정에서도 학생이 인식론적 실행의 주체가 되는 것을 중요 목표로 삼고, NGSS에서 제시한 8가지 실천을 내용 체계 속 기능으로 명시하였다(MOE, 2022).

8가지 실천 중 과학적 모델링은 모델을 생성하고 평가하며, 수정하는 일련의 과정에 참여하는 것으로(Suk & Yoon, 2022), 학생들은 모델링을 통해 과학자들의 탐구 활동과 근접한 것을 경험할 수 있다(Justi & Gilbert, 2002). 여기서 과학적 모델이란 현상을 추상화하고 간략화한 표상(Harrison & Treagust, 2000; Ingham & Gilbert, 1991) 또는 어떤 현상을 설명하기 위한 설명 체계(NRC, 2012)로 정의되는데, 과학 수업에서 학생들은 관찰한 현상을 설명하기 위해 머릿속에서 구상한 정신 모델을 다양한 표상의 표현 모델로 나타내어 동료 또는 교사와 함께 과학적으로 타당한지 평가하고 이를 수정하여 재구성한다(Gilbert *et al.*, 1998; Koponen, 2007; Windschitl *et al.*, 2008). 이에 따라 NGSS(2013)에서는 모델이 현상과 과학 이론을 연결한다고 보고 모델을 활용하여 자연 현상을 묘사하거나, 예측하는 등의 다양한 활동을 제시한다(Schwarz *et al.*, 2009). 그러나 현재 우리나라 초등과학 교육과정에 모델을 활용한 수업으로 제시된 것들은 이미 있는 모델을 활용하여 자연 현상을 설명하거나 자연 현상을 묘사하는 모델을 만드는 수업이다. 이는 과학의 본질이 모델을 생성, 평가하고 수정하는 모델링 과정에 있으며(Johnson & Stewart, 2002), 학생들이 이러한 인식론적 실행에 참여해야 함을 고려한다면 현재 초등과학 교육과정이 모델을 활용하는 방식은 소극적이라고 볼 수 있다.

이때 교육과정에 대한 이해를 바탕으로 효과적인 과학 학습을 위해 학습 내용을 재구성하는 교사의 수업 전문성과 모델링 수업에서 학생이 인식론적 실행에 적극적으로 참여할 수 있도록 자율성을 제공하면서도 시기적절하게 개입하는 교사의 역할이 강조된다(Halloun, 2007). 실제로 모델링 및 모델링 수업에 관한 교사의 지식은 모델링 수업에 핵심적인 역할을 하며(Fulmer & Liang, 2013; Justi & van Driel, 2005), 교사의 수업 실행 능력은 효과적인 모델링 수업을 위한 가장 중요한 요인으로 꼽힌다(Acher *et al.*, 2007; Akerson *et al.*, 2009; Stylianidou *et al.*, 2005). 이에 Nelson과 Davis(2012)는 과학 모델링 수업을 수행하는 교사에게 필요한 지식으로 모델링 PCK(PCK

* 교신저자 : 이기영 (leeky@kangwon.ac.kr)
이 논문은 2022년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 인문사회분야 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2022S1A5A2A01038760)
http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2024.44.1.105

for scientific modeling)를 제시했다.

교사의 수업 전문성을 논할 때 대표적으로 사용되는 개념 중 하나가 PCK(Pedagogical Content Knowledge; 교과 교육학 지식)이다. Shulman(1987)은 PCK를 '특정 학생들에게 특정 내용을 효과적으로 가르치는 데 필요한 전문적인 지식'으로 정의하고, 이를 교사 지식의 7가지 하위 요소(내용 지식, 교육학적 지식, 교육과정 지식, 학생에 대한 지식, 맥락에 대한 지식, 교육의 목적과 가치에 대한 지식, 교과 교육학 지식) 중 가장 핵심적인 요소로 보았다. PCK는 교과 내용 지식과 교육학적 지식이 통합적 또는 총체적으로 화합된 것(amalgam)으로(Kind, 2017), 교사가 자신이 아는 교과 내용을 있는 그대로 학생에게 전달하기만 한다면 효과적인 학습은 이루어지지 않으므로 교사가 자신의 교과 내용 지식과 교육학적 지식을 얼마나 잘 화합하여 활용하느냐에 따라 수업의 성공과 교과의 본질 실현 여부가 결정된다(Deng, 2007).

이처럼 PCK는 화합물의 성격을 띠므로 그 구성요소를 세분화하기 어렵지만, 많은 연구자들이 PCK의 구성요소를 밝힘으로써 그 본질을 규명하고자 하였다(Abell, 2007; Gess-Newsome, 1999; Grossman, 1990; Magnusson *et al.*, 1999; Park & Chen, 2012; Park & Oliver, 2008a, 2008b; Rosenkränzer *et al.*, 2017; Roth *et al.*, 2011). PCK 구성 요소에 관한 선행 연구를 살펴보면, 대부분의 과학교육 연구자들은 Magnusson *et al.*(1999)의 모델을 기반으로 하여 PCK를 개념화하였는데 학자들에 따라 비슷한 개념에 대해 다른 용어를 쓰는 정도의 차이가 있을 뿐, 본질적으로는 공통된 부분이 많았다(Chan & Hume, 2019). Magnusson *et al.*(1999)은 PCK의 교과 특수성에 따라 과학 특수적 PCK 모델을 제안했는데, 과학 교육과정 지식, 학생의 과학 이해에 대한 지식, 과학 수업 전략 지식, 과학 평가 지식, 과학 교수 지향 총 5가지 구성요소로 PCK를 나타냈다. 이 모델은 PCK를 분석하는 데 유용한 틀임이 입증되어 많은 연구자들에 의해 활용되고 있다(Chan & Hume, 2019).

그러나 과학교육에 PCK라는 개념이 도입된 후, PCK의 구성요소 뿐만 아니라 그 특성과 구조를 둘러싼 다양한 견해가 양산되어 기존 PCK 연구 결과를 통한 후속 연구나 과학 교사 교육과 관련된 연구 및 정책의 진전에 어려움이 있었다(Settlage, 2013). 이에 PCK를 둘러싼 견해차를 다루기 위해 2012년(1차)과 2015년(2차)에 전 세계의 과학 PCK 연구자들이 모여 두 차례의 정상회의(summit)를 통해 PCK의 개념을 명료화하였다. 1차 PCK 정상회의를 통해 연구자들은 합의 모델(Consensus Model; 이하 CM)을 개발하여 PCK의 구성요소와 특성, 구조를 설명하였다(Gess-Newsome, 2015). 그러나 CM이 PCK에 대한 세부 정보를 한정적으로 제공하며 PCK 구성요소를 과소 지정했다는 비판이 제기되면서, PCK의 구성요소와 그 복잡한 구조에 대한 연구자 간 재합의를 위해 2차 PCK 정상회의를 열어 개선된 합의 모델(Refined Consensus Model; 이하 RCM)을 개발하였다(Carlson *et al.*, 2019).

RCM의 주요 특징은 PCK를 집단적 PCK(collective PCK; cPCK), 개인적 PCK(personal PCK; pPCK), 실행된 PCK(enacted PCK; ePCK)의 세 영역으로 구분하였다는 것이다(Figure 1). cPCK는 여러 과학 교육자와 전문가의 지식 기반으로, 과학교육을 위해 명확하게 표현되고 공유되어 공적인 성격을 띤다. 이러한 공적 지식은 교육 연구 논문의 형태를 지닐 수 있는데, 2차 PCK 정상회의에 참여한 연구자들은 교사 또는

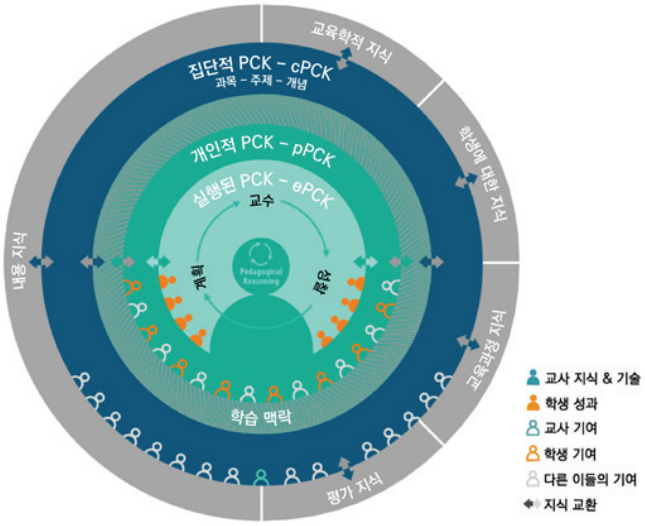

Figure 1. Representation of the Refined Consensus Model(RCM) of PCK(Carlson *et al.*, 2019)

연구자 집단에 의해 표현되고 공유된 지식(e.g., 협력적으로 개발된 CoRe)도 포함될 수 있다고 보았다. pPCK는 교사 개인의 교수 및 학습 경험을 포함하는 개별 교사가 가진 누적적이고 역동적인 지식이다. pPCK는 교사가 교수 활동에 활용할 수 있는 지식과 기술의 저장고 역할을 하며 이러한 지식들이 실제 수업에 활용되면 ePCK가 되는 것이다. ePCK는 개별 과학 교사가 특정 환경에서 특정 학생을 대상으로 특정한 개념에 관한 수업을 계획하고($ePCK_P$), 수행하고($ePCK_T$), 성찰($ePCK_R$)할 때 활용하는 지식이다. RCM의 중심에 위치한 수업 계획-수행-성찰에 이르는 교수적 사이클은 교수적 추론(pedagogical reasoning)이 각 교사와 모든 수업 순간에 대해 고유함을 의미한다.

RCM의 또 다른 특징은 각 영역 간의 양방향적 지식 교환(knowledge exchange)을 통해 교사가 소유한 cPCK, pPCK, ePCK가 서로 영향을 주고받음을 표현한 것이다. 이때 학습 맥락과 교사의 태도와 신념 등이 여과 또는 증폭의 역할(filter/amplifier)을 하는데, 예컨대 과학교육 연구 프로젝트에 참여한 개별 과학 교사는 집단에서 공유한 표준적인 지식(cPCK)을 자신의 지식 기반(pPCK)에 포함할 것인지, 포함했다면 해당 지식을 실제 수업 상황에서 활용(ePCK)할 것인지를 자신의 신념에 따라 조정할 수 있다. 또는 자신의 수업을 성찰한 결과($ePCK_R$)를 자신의 지식 기반에 포함하여(pPCK) 다음 수업에 적용할 것인지($ePCK_P$) 조정할 수 있다. 그러나 영역 간 지식 교환으로 PCK 발달 메커니즘을 설명한 RCM의 유용성은 국내에서 아직 경험적으로 검증되지 않았다.

이에 본 연구에서는 전문적 학습 공동체를 통하여 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환이 이루어지도록 촉진함으로써 RCM으로 설명된 PCK 발달 메커니즘이 실제 초등교사의 PCK 발달을 설명하는지 탐구하고자 하였다. 이를 위해 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환에 따른 초등교사의 모델링 pPCK 변화 양상을 탐색하고, RCM을 이론적 렌즈(lens)로 삼아 모델링 수업에 관한 PCK 영역 간 지식 교환이 초등교사의 모델링 pPCK에 구체적으로 어떤 영향을 미쳤는지 분석하였다.

이상의 내용을 토대로 하여 본 연구에서는 다음과 같은 두 가지 연구 문제를 설정하였다.

첫째, 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환으로 초등교사의 모델링 pPCK는 어떻게 변화하는가?

둘째, 초등교사의 모델링 pPCK 변화에 RCM의 영역 간 지식 교환이 어떻게 기여하였는가?

II. 연구 방법

1. 연구 설계 및 절차

본 연구에서는 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환으로 초등교사의 모델링 pPCK는 어떻게 변화하며, 지식 교환은 모델링 pPCK 변화에 어떠한 영향을 미치는가? 라는 포괄적 질문에 대한 설명을 위해 근거 이론에 기반을 둔 질적연구방법을 택하였다. 근거 이론은 참여자 집단의 과정, 행동, 상호작용에 대한 일반적인 설명(이론)을 창출하고자 하는 것으로(Creswell & Poth, 2016), 암묵적인 성격을 띠는 교사 지식과 전문성을 탐구하고 이를 설명하기 위한 도구로 활용할 수 있다(Kwak, 2022). 본 연구는 아직 경험적으로 검증되지 않은 RCM의 지식 교환이 교사의 pPCK에 어떤 영향을 주는지 알기 위해 전문적 학습 공동체(Professional Learning Communities; 이하 PLC)를 통한 지식 교환, CoRe(Content Representation) 작성, 심층 면담, 지속적 비교 분석 등을 이용해 공통적 경험을 탐색했으며, 이를 근거로 한 이론을 도출했다. 연구자는 Figure 2와 같은 연구 절차에 따라 연구를 수행하였다.

2. 연구참여자

본 연구의 참여자는 수도권에 위치한 초등학교에 재직 중인 교사 3인이었다. 교사 3인은 모두 목적 표집 방식으로 선정되었는데, 세 교사 모두 과학 수업 전문성을 신장하고자 하는 의지가 있었으며, 연구 참여 전 모델링 수업에 대한 지식과 경험이 부족하다고 생각하고 있었으므로 지식 교환을 통한 초등교사의 모델링 pPCK 변화를 보고자 하는 연구의 목적과 부합하여 연구참여자로 선정되었다. 연구참여자에 대한 인적 사항은 Table 1과 같다.

Table 1. Description of participants

ID	성별	경력	학력	맡은 학년
A교사	여	1년	학사	5
B교사	남	7년	석사	5
C교사	여	12년	석사	과학 교과 (5,6)

3. 자료 수집

본 연구에서 수집한 자료는 연구참여자가 두 차례 작성한 CoRe와 PLC에서 연구참여자가 나눈 담화 및 이들을 대상으로 한 일대일 심층 면담 자료이다.

가. CoRe

교사의 PCK는 암묵적이므로 명시적인 문서화가 어렵다는 특성이 있다(Loughran *et al.*, 2001). 이에 Loughran *et al.*(2004, 2006)은 교사의 PCK를 나타낼 수 있는 도구로서 CoRe를 개발하였다. 현재까지 CoRe는 과학 교사의 성찰을 자극하며 PCK를 포착하고 문서화하는데 유용한 교수적 도구로 알려져 있다(Hume & Berry, 2011; Kind, 2009; Loughran *et al.*, 2006; Nilsson & Loughran, 2012). 본 연구에서는 Loughran *et al.*(2004, 2006)이 개발한 CoRe를 번역하여 사용했다(Table 2).

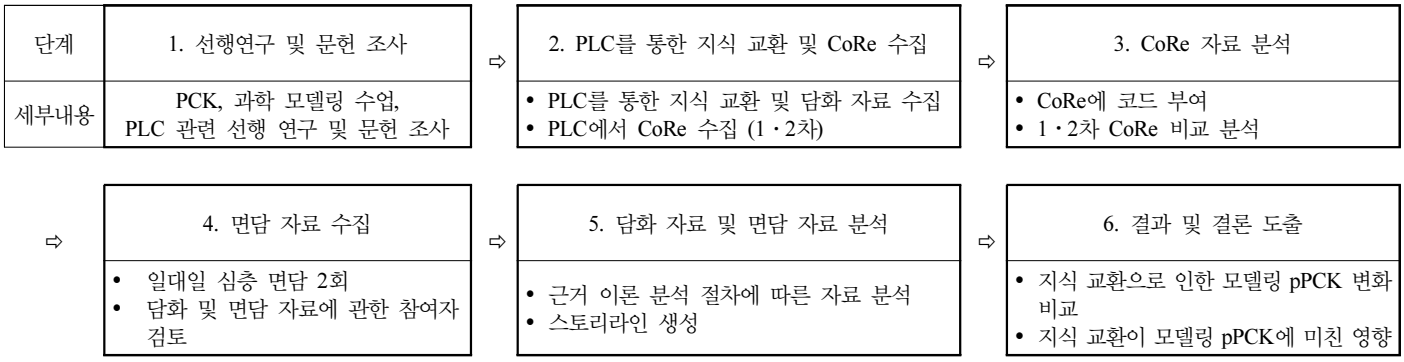

Figure 2. Research procedure

Table 2. CoRe(Content Representation) Template (Loughran *et al.*, 2004; 2006)

	주요 과학 아이디어/개념		
	Big Idea A	Big Idea B	…
1. 이 개념에 대해 학생들이 배워야 하는 것은 무엇인가요?			
2. 학생들이 이것을 아는 것은 왜 중요한가요?			
3. 이 개념에 대해 선생님이 알고 있는 것은 무엇인가요?			
4. 이 개념을 가르칠 때 어려운 점/한계점은 무엇인가요?			
5. 이 개념을 가르치는 것에 영향을 주는 학생들의 생각은 무엇인가요?			
6. 이 개념을 가르치는 것에 영향을 주는 다른 요인들은 무엇인가요?			
7. 사용할 교수 전략은 무엇인가요?			
8. 이 개념에 대한 학생의 이해나 혼동을 확인하는 특별한 방법은 무엇인가요?			

CoRe 작성은 학습 주제에 대해 교사가 학생들에게 가르치고자 하는 주요 개념인 빅 아이디어(big idea)를 나타내는 것으로 시작해서, 각 빅 아이디어에 대한 8개의 항목에 답하게 되어 있다. CoRe에 답하기 위해 교사는 특정 주제를 어떻게 가르쳐야 할지 성찰해야 하는데, 질문 항목은 교사가 의도한 학생의 학습 결과로 교사의 과학 교수 지향 및 교육과정 지식을 알아보기 위한 문항(4문항), 학생에 대한 지식(3문항), 수업 전략에 대한 지식(1문항), 평가 지식(1문항)을 알아보기 위한 문항으로 구성되어 있으며 이는 PCK의 구인으로 여겨지는 것들이다(Barendsen & Henze, 2019). 교사는 이러한 질문에 답함으로써 특정 학습 주제에 대한 자신의 PCK를 성찰하면서, 암묵적인 pPCK를 명시적인 pPCK로 변환한다(Alonzo *et al.*, 2019). 연구참여자들은 재구성할 단원인 5학년 2학기 1단원 '생물과 환경' 단원에 관한 CoRe를 PLC 모임 전과 프로토콜 #3 이후 총 두 차례 작성하였다. 연구진은 CoRe로 두 차례 문서화된 교사의 모델링 pPCK를 비교할 수 있었다.

나. PLC에서 연구참여자 간 담화

PCK 개발에 효과적인 맥락 중 하나인 PLC는 교사 간 대화와 공유를 통해 PCK 영역 간 지식 교환이 이루어지도록 한다(Carlson *et al.*, 2019; Dogan *et al.*, 2015). PLC는 기술적 합리주의(technical rationality) 패러다임에 기반한 하향식(top-down) 장학 형태의 교사 전문성 개발 방식의 대안으로, 반성적 교사 교육(reflective teacher education) 패러다임에 기반한 상향식(bottom-up) 접근법을 강조한다(Jeong *et al.*, 2023). 이에 따라 본 연구에서는 PLC를 통해 초등교사가 자신의 수업에 대해 성찰하고, 모델링 수업에 관한 표준적인 지식을 효과적으로 학습할 수 있도록 PLC 프로토콜을 개발하였다. 이는 Lee *et al.*(2022)이 개발하고 Jeong *et al.*(2023)이 적용한 과학 탐구 수업 전문성 신장을 위한 PLC 프로토콜 사례를 참고하여 수정한 것이다(Table 3).

연구진은 PLC에서 연구참여자가 나눈 담화를 통해 모델링 수업에 관한 지식 교환이 교사의 pPCK에 영향을 어떤 영향을 미쳤는지 알아보고자 하였다. 이를 위해 프로토콜 #1과 #2에서 연구참여자들은 그동안 모델링 수업의 의미와 의의에 대한 특별한 의식 없이 수행한 모델링 또는 모델 활용 수업 경험을 되돌아보았다. 자신이 수행한 수업을 성찰함으로써 $ePCK_R$과 pPCK 간 지식 교환이 이루어지도록 한 것이다. 프로토콜 #3에서 촉진자는 교육 연구 논문의 형태로 모델링 수업에 관해 공유된 지식인 교육 연구 기반 cPCK(educational research based cPCK)를 참여자들에게 공유하여, 실제 수업에서 모델링을 적용할 수 있는 실천적 지식을 생성하도록 도왔다. cPCK는 모델링 수업의 구성과 속성에 관한 표준적인 지식이 드러난 교육 연구(e.g., Campbell *et al.*, 2013; Kim *et al.*, 2023)를 정리한 것으로, 촉진자는 여러 연구자가 정의한 모델링의 의미와 실제 학교에서 모델링을 적용한 수업 방식과 결과를 제공하여 참여자들이 모델링에 대해 명료한 개념화를 이루도록 하였다.

프로토콜 #1~2는 온라인으로 운영하였으며 프로토콜 #1은 70분, 프로토콜 #2는 90분 소요되었다. 프로토콜 #3~4는 대면 워크숍으로 운영하였으며 프로토콜 #3은 70분, 프로토콜 #4는 120분 소요되었다.

다. 연구참여자와의 심층 면담

과학 모델링 수업에 관한 지식 교환이 연구참여자들에게 어떠한 영향을 미쳤는지 알아보기 위해 PLC가 끝나고 두 번에 걸쳐 일대일 심층 면담을 온라인으로 진행했다. Glasser & Strauss(1967)는 근거이론 연구자는 열린 질문으로 면담을 진행하여 이를 반복적으로 수정하며 실시할 수 있다고 보았다. 이에 본 연구에서도 PLC가 끝나고 한 달 뒤, PLC 모임이 연구참여자에게 미친 영향에 관한 열린 질문으로 1차 면담을 진행하고 전사하여 읽어본 후 새로운 질문을 구성하여 이로부터 한 달 뒤 2차 면담을 수행하였다. 심층 면담과 PLC 담화 자료는 연구참여자의 허락을 받고 녹화 및 녹취하였다.

4. 자료 분석

가. CoRe 비교 분석

연구진은 참여 교사가 두 차례 작성한 CoRe에 대해 교사의 PCK를 평가, 분석할 때 가장 일반적으로 사용되는 모델인 Magnusson *et al.*(1999)의 PCK 모델 중 5가지 PCK 구성 요소별로 어떠한 변화가 있었는지에 초점을 두고 분석하였다. CoRe의 분석을 위해 연구진은 일차적으로 CoRe 표의 각 셀 내에서 나타난 교사의 일관적 진술을 분석 단위로 하여 셀마다 PCK 구성요소 중 교사의 어떤 지식이 드러났는지 코드를 부여했다. 만약 교사가 하나의 셀에 학생이 겪을 어려움(KSU)과 이에 따른 수업 전략(KISR)을 작성했을 경우 셀 하나에 두 개의 코드가 부여되기도 하였다.

Table 3. Configuration of the PLC protocol for enhancing the teaching expertise of science modeling instruction

구분	제목	내용
프로토콜 #1	모델링 수업에 대한 생각 드러내기	• 내가 생각하는 모델링 수업이란? • 학교 과학 수업에서 왜 모델링을 해야 하는가? • 좋은 모델링 수업이란 무엇인가?
프로토콜 #2	모델링 수업 경험과 학생 결과물 공유하기	• 나의 과학 모델링 수업 또는 모델 활용 수업 사례 공유 • 성공적인 모델링 수업이란 무엇인가? • 수업 사례에서의 학생 결과물 발표 • 모델링 수업의 학생 결과물에서 우리는 무엇을 봐야 하는가?
프로토콜 #3	모델링 수업 지도 소양 쌓기	• 모델링 수업 이해하기 • 활동 사례에서 학생들의 배움 포착하기 • 모델링 수업 지도의 전략 탐색하기
프로토콜 #4	수업 계획 짜기	• 프로토콜 #1~3에서 수행한 활동을 토대로 모델링 수업 지도 역량을 발휘하여 수업 계획안 작성

코드 부여에는 연역적 방법과 귀납적 방법이 적용되었다. 각 코드 앞에는 PCK 구성요소와 그 하위 요소(e.g., KISR-R)가 할당되었는데, 이는 연역적 분석에 따른 것으로 Magnusson *et al.*(1999)의 PCK 모델에 기반한 것이다. 코드 뒷부분에는 귀납적 분석에 따라 "분석가가 구성한 유형(analyst-constructed typologies)"을 할당했는데(Marshall & Rossman, 2006)(e.g., EXM), 각 연구진이 개별적으로 코드를 부여한 뒤 분석 결과를 비교하며 논의하는 과정에서 적절한 코드로 수정하며 코드 부여를 확정 지었다.

Table 4는 본 연구에서 PCK 구성요소에 따라 연역적・귀납적으로 생성된 코드를 나타낸 것이다. 연구진은 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환을 통한 초등교사의 모델링 pPCK 변화 양상을 알아보기 위해 코딩된 CoRe를 지속적으로 비교(constant comparison)(Glaser & Strauss, 1967)하였다. 또한 코드 비교만으로 알 수 없는 초등교사의 pPCK 변화를 포착하기 위해 연구진은 각자 여백에 교사의 모델링 pPCK와 관련되어 변화된 부분에 밑줄치고, 해당 부분의 특징을 약술하는 형식으로 자료를 일차적으로 검토했다. 이후 연구자간 교차 검토를 통한 합의 과정을 거쳐 모델링 pPCK 변화를 분석하였다.

Table 4. Coding Key

PCK 구성요소	코드	정의
과학 교수 지향(OTS)		
과학 학습 목적에 대한 신념	(OTS-DSPS)	과학 탐구 능력 개발 (Developing science process skills)
	(OTS-FRC)	과학 개념과 관련된 이해 (Understanding further or related scientific concepts)
	(OTS-SUDP)	일상 현상의 과학적 이해 (Scientific understanding of daily phenomena)
	(OTS-STS)	과학-기술-사회와 관련된 이해 (STS)
	(OTS-PEL)	생태적 소양 함양 (Promoting ecological literacy)
과학 교육 과정 지식(KSC)	(KSC-CM)	교육과정 내용 (Curriculum materials)
	(KSC-VC)	수직적 교육과정 (Vertical curriculum)
	(KSC-HC)	수평적 교육과정 (Horizontal curriculum)
학생 이해에 대한 지식 (KSU)	(KSU-MC)	오개념 (Misconceptions)
	(KSU-PC)	사전지식 (Preconceptions)
	(KSU-LC)	학습에서 겪는 어려움 (Learning difficulties)
	(KSU-MI)	동기와 흥미 (Motivation and Interest)
	(KSU-ND)	필요 (Need)
과학 수업 전략에 대한 지식(KISR)		
주제 특수적 전략(표상)	(KISR-R-EXM)	예시 (Examples)
	(KISR-R-MOD)	모델 (Model)
	(KISR-R-IM)	그림 또는 영상 (Image)
	(KISR-R-ST)	이야기 또는 동화 (Story)
주제 특수적 전략(활동)	(KISR-A-DEMO)	설명 (Demonstration)
	(KISR-A-CLS)	분류 (Classification)
	(KISR-A-EXP)	실험 (Experiment)
	(KISR-A-RP)	역할극 (Role-play)
	(KISR-A-DRW)	그림 그리기 (Drawing)
	(KISR-A-WR)	글쓰기 (Writing)
	(KISR-A-MG)	모델 생성 (Model generation)
	(KISR-A-ME)	모델 평가 (Model evaluation)
	(KISR-A-MM)	모델 수정 (Model modification)
	(KISR-A-INV)	조사 (Investigation)
	(KISR-A-DS)	논의, 토의 (Discussion)
과학 학습 평가에 대한 지식(KAS)	(KAS-VE)	구두 설명 (Verbal explanation)
	(KAS-WE)	쓰기 설명 (Written explanation)
	(KAS-DRW)	그리기 (Drawing)
	(KAS-MOD)	모델 표현 (Model)
	(KAS-OE)	관찰 평가 (Observational Evaluation)
	(KAS-CLS)	분류하기 (Classification)

나. 담화 자료 및 면담 자료

PLC에서 연구참여자 간 담화 자료와 심층 면담 자료는 녹화 및 녹취된 내용을 전사하고 연구참여자들에게 초기 전사 자료의 정확성을 검토받았다. 연구참여자는 자신이 전달하고자 하는 의미가 전사 자료에 제대로 표현이 되었는지 확인하였는데, 이를 통해 연구의 기술적 타당도(descriptive validity)와 신뢰도를 제고하고자 하였다. 참여자 검토 후, 온라인 분석 도구 타게트(taguette)에 업로드하여 전사 자료를 분석하였다. 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환이 연구참여자의 모델링 pPCK에 어떤 영향을 주었는지 포착하기 위해 연구진은 근거 이론 방식의 분석 절차(Corbin & Strauss, 1990; Creswell & Poth, 2016)를 따랐다. 1차 코딩으로 연구진은 교사의 PCK가 드러난 부분에 밑줄치고, 해당 부분의 특징을 약술하는 형식으로 코드를 더해갔다(개방 코딩). 이후 2차 코딩에서는 PLC가 진행됨에 따라 교사의 PCK에 변화가 나타난 부분을 중심으로 하위 범주를 생성했다(축코딩). 연구자 간 교차 검토를 통한 합의 과정을 거친 결과 총 83개의 코드, 14개의 하위 범주가 생성되었다. Magnusson *et al.*(1999)의 PCK 모델과 RCM의 지식 교환을 이론적 렌즈로 하여 생성된 코드와 하위 범주를 별도로 분석하였는데, 이후 4개의 상위범주가 생성되었다. 3차 코딩인 선택 코딩에서는 생성된 하위 범주 간 관계성을 분석하고 교사 PCK 변화와 관련된 범주를 연결하는 스토리라인을 만들었다. 연구진은 분석자 간 일관성을 높이기 위해 분석 과정에서 교차 검토 후 의견에 불일치가 있을 경우 합의에 도달할 때까지 세미나를 실시하였다.

본 연구에서는 포착된 PCK에 대한 근거로 연구참여자의 발화를 일일이 덧붙일 수 없는 관계로 참여자들의 발화 중 연구 결과를 효과적으로 설명할 수 있는 부분들을 요약하여 결과 기술을 하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

이 장에서는 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환에 따른 초등교사의 모델링 pPCK 변화를 살펴보고, 초등교사의 모델링 pPCK 변화에 지식 교환이 어떠한 기여를 하였는지 심층적으로 고찰했다. 연구 결과 기술에는 연구참여자가 작성한 CoRe 일부와 담화 및 면담 자료가 포함되며, 이는 의미 전달의 명확성을 높이기 위해 일부 편집되었다.

1. 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환을 통한 초등교사의 모델링 pPCK 변화

이 절에서는 연구참여자가 두 차례 작성한 CoRe에서 포착한 모델링 pPCK 변화를 PCK 구성 요소별로 제시하고 논한다.

과학 교수 지향(Orientations toward Teaching Science; OTS) OTS는 Magnusson 등(1999)의 PCK 모델의 가장 위에 위치해 다른 구성요소에 영향을 미치는 요소로 여겨진다. Park과 Chen(2012)은 OTS가 3가지 하위 요소로 구성되어 있다고 보았는데, 그중 과학의 본성에 대한 신념과 수업에서의 의사결정은 CoRe를 통해 포착하기 어려운 요소이므로 과학 학습 목표에 대한 신념에 초점을 두고 분석하였다. 세 교사가 작성한 1차와 2차 CoRe를 비교하였을 때 과학 교수 지향 측면에서의 모델링 pPCK 변화는 A교사와 C교사에게서 두드러졌다.

코드 비교 결과, A교사는 1차 CoRe에서 교육과정에 한정한 주요 개념만을 포함하여 과학 학습 목표를 작성하였으나, 2차 CoRe에선 주요 개념뿐만 아니라 관련된 기능을 학습하는 것도 학습 목표에 포함하여 조금 더 포괄적인 관점을 갖게 되었으며 모델을 활용한 수업을 지향했다. 일례로 A교사는 생태계 평형이라는 개념에 대해 학생들이 학습하길 바라는 것으로 '생태 피라미드에 위협을 일으키는 인간 활동을 알고 친환경적 삶의 태도 가지기, 생태 피라미드가 복원되어 가는 과정을 이해(KSC-CM, OTS-PEL; CoRe#1)'라고 작성하였으나, 2차 CoRe에는 '인간이 자연에 미치는 영향과 자연이 회복하는 과정을 이해하고, 이를 통해 앞으로 나타날 변화를 예측하는 능력(KSC-CM, OTS-FRC, OTS-PEL; CoRe#2)'을 학습하길 바란다고 작성하였다. 생태계 평형을 이해하는 것을 목표로 하는 1차에 비해, 2차 CoRe에서는 학생이 생태계 평형에 관한 개념을 이해할 뿐만 아니라, 이를 활용하여 현상을 예측하는 것까지 학습하는 것을 목표로 한 것이다.

C교사 또한 학생이 교육과정의 주요 개념을 이해하는 것을 주된 목표로 삼았던 1차에 비해 2차에서는 학생이 능동적으로 배운 내용을 활용하여 모델을 구성하는 것을 학습의 주안점으로 두었다.

그러나 B교사의 경우 두 차례 작성된 CoRe를 OTS 측면에서 지속적으로 비교했을 때 두드러진 차이가 없었으며, 1차와 2차 CoRe 모두 교육과정에 한정하여 학습 목표를 작성하였다.

과학 교육과정 지식(Knowledge of Science Curriculum; KSC) KSC는 교육과정을 기반으로 한 교육 내용 및 자료에 대한 지식, 특정 주제를 교육하기 위한 수평적 교육과정 및 수직적 교육과정에 대한 교사의 지식으로 개념화되어있다(Magnusson *et al.*, 1999). 이에 본 연구에서는 '생물과 환경' 단원의 학습 내용과 자료에 관한 교사의 지식 및 수평·수직적 교육과정에 대한 지식에 중점을 두어 분석했다.

두 차례 작성된 CoRe의 코딩 결과를 지속적으로 비교했을 때, A교사와 C교사는 2차 CoRe에 해당 단원의 학습 내용과 활용할 수 있는 자료, 수평·수직적 교육과정에 대한 지식을 작성하였는데, 이는 1차 CoRe와 비슷한 내용이었다. Mulholland & Wallace(2005)가 교사의 경력이 증가할수록 교육과정 지식 또한 증가한다고 한 것처럼, 경력이 가장 많은 C교사는 1차 CoRe에서부터 해당 단원에 관한 교육과정 지식을 많이 나타내었다. A교사는 비교적 경력이 적지만, 최근 초등교원 임용시험을 위해 교육과정을 공부하였고, 시험에 합격한 지 얼마 안 되었으므로 해당 단원에 관한 교육과정 지식을 많이 나타내었다. 그에 반해 B교사는 해당 단원의 학습 내용에 대해 다른 단원에서 배워야 할 내용과 혼동하는 등 부족한 과학 교육과정 지식을 보였으며 이는 2차 CoRe에서도 달라지지 않았다.

Davis(2004)는 교사의 교육과정 지식이 광범위한 교육 경험을 통해 개발될 수 있다고 하였으나, PLC에서 교육과정을 검토하거나 이에 관해 토론하는 활동이 진행되지 않았으며 교사들이 방학 동안 PLC에 참여했으므로 공유된 지식을 교실 수업에서 적용할 기회가 없었다. 이러한 이유로 세 교사의 KSC에 변화가 나타나지 않았다고 판단된다. Park *et al.*(2018)의 연구에서처럼 PLC가 교육과정 성찰 및 검토에 중점을 두었다면 세 교사의 교육과정 지식에 변화가 있었을 것으로 추측된다.

학생 이해에 대한 지식(Knowledge of Students' Understanding in Science; KSU) 학생 이해에 대한 지식은 주요 개념과 관련된 학생의 사전지식과 오개념에 대한 지식 및 학생이 특정 내용을 학습하는 데 영향을 주는 학생의 능력과 태도에 관한 교사의 지식으로(Magnusson *et al.*, 1999), 두 차례 작성된 CoRe에 대해 지속적으로 비교하여 변화된 부분에 중점을 두어 분석하였다.

A교사와 C교사는 1차 CoRe에서 '생물과 환경' 단원의 학습 내용 중 예상되는 학생의 오개념 및 동기와 흥미에 대해 구체적으로 작성하고, 예상되는 어려움도 작성하였다. 2차 CoRe에도 마찬가지로 두 교사는 학생 이해에 대한 풍부한 지식을 나타내었으나, 모델링 수업에 관한 지식 교환을 통해 변화된 점은 모델링 수업과 같이 학생이 주도적으로 과학 지식을 구성하는 수업에 필요한 능력과 태도를 고찰한 것이었다. 예컨대 C교사는 먹이 그물이라는 개념을 가르칠 때 학생이 겪을 어려움으로 '실제 사진이나 영상을 보며 잔인하다고 생각하는 학생이 있을 수 있음(KSU-MI; CoRe#1)'과 같이 교육 자료를 시청하는 학생의 정의적 영역과 관련된 지식을 나타냈으나 2차에서는 '학생 간 매체 도구의 사용, 검색 기능 능력, 그림 시각화 능력의 차이(KSU-LC; CoRe#2)'와 같이 비교적 학생이 능동적으로 학습에 참여할 때 발휘해야 할 능력에 대한 이해를 나타냈다. 이는 C교사가 수업에서 모델링을 활용하고자 했기 때문인데, 해당 개념을 가르치기 위한 전략으로 '생물 요소 간 먹이 관계 조사학습(실제로 관찰하기 어렵고 위험할 수 있어 온라인 매체 등 활용하여 다양한 먹이 관계를 조사)→먹이 관계 확인하기(지식)→먹이 그물 관계 글, 그림으로 나타내기(모델링과 학생의 조사 활동을 통해 생성된 과학 지식 개념을 정리하고 시각화하는 경험)(KISR-A-INV, KISR-A-MG; CoRe#2)'와 같이 답한 것을 참고하면 생물 요소 간 먹이 관계 조사와 모델 생성 과정에 학생의 자료 조사 능력과 표현 능력이 영향을 미칠 것으로 예상했음을 알 수 있다. 즉 C교사의 KSU 변화에는 모델링 수업이 주된 변인으로 작용하였음을 알 수 있다.

A교사 또한 2차 CoRe에 먹이 그물, 생태계 평형 수업에서 영향을 주는 요인으로 '학급 전체/모둠으로 활동 운영을 하면, 적극적으로 참여하지 않는 일부 학생으로 인해 전체의 이해가 저해될 수 있음. 모델링을 시작하기에 앞서, 다양한 사례를 제시하고, 학생이 활동에 참여할 수 있을 만큼 충분한 이해가 되어 있는지 평가한다.(KSU-MI, KISR-R-EXM, KAS-OE; CoRe#2)'와 같이 작성하였다. 이를 통해 A교사는 해당 수업의 주요 개념을 충분히 이해하지 못한 학생들이 학생 간 상호작용이 활발한 모델링 수업에서 소극적으로 참여할 것을 우려하여 학생에게 다양한 사례를 제시하고, 학생의 이해를 평가하고자 했음을 알 수 있다. 이처럼 A교사와 C교사는 모델링 수업에 관한 지식 교환에 따라, 모델링 수업을 진행할 것으로 가정하고 수업에 참여하는 학생에게 필요한 능력 및 태도에 대한 달라진 이해를 보였다.

과학 수업 전략에 대한 지식(Knowledge of Instructional Strategies and Representations; KISR) KISR은 학생이 학습 목표를 성공적으로 달성하도록 돕는 교사의 수업 전략에 관한 지식으로, 어떤 자료를 제시할 것인지와 어떤 활동을 하도록 계획할 것인지 등을 포함한다(Magnusson *et al.*, 1999). 지식 교환으로 인한 과학 수업 전략에 대한 지식의 변화는 세 교사에게서 나타났는데, 이들 모두 2차 CoRe에 활용할 수업 전략으로 모델링 수업을 작성하였다는 것이다.

A교사는 생태계 평형을 가르치기 위한 전략으로 1차 CoRe에는 '1. 생태 피라미드 파괴 + 복원을 동화 형태로 접하기. 2. 개념 이해하기. 3. 스마트 패드 자료 조사로 유사한 사례 찾아 공유하기(KISR-R-ST, KISR-A-INV, KISR-A-DS; CoRe#1)'라고 작성하였다. 그런데 2차 CoRe에서는 '1. 교사와 함께 생태계 복원 스토리 이해. 2.(개별 모델링) 학생 스스로 생태계 평형 과정을 그림으로 표현. 3.(모둠 모델링) 토의를 통해 적절한 예측 모델을 하나 정하고, 영상/스톱모션으로 과정 표현(KISR-R-ST, KISR-A-MG, KISR-A-ME, KISR-A-MM;CoRe#2)'라고 작성하였다. A교사의 1차 CoRe에서 학생은 생태계 평형의 원리가 담긴 이야기를 접하고, 생태계 평형을 이해한 뒤 그와 관련된 구체적 사례를 조사하여 발표한다. 2차 CoRe에서는 학생이 교사를 통해 생태계 평형 원리가 담긴 이야기를 접하는 것은 동일하지만, 이후 개별적으로 생태계 평형에 관한 설명 모델을 생성하고 동료 학생들과의 토의를 통해 적절한 예측 모델을 생성한 뒤 이를 표현한다는 점에서 차이가 있다. 생태계 평형의 사례를 조사하고 이를 공유하는 식으로 동료와 상호작용하는 1차 CoRe에 비해, 2차 CoRe에 설계된 수업에서 학생은 자신이 이해한 과학적 개념을 모델로 나타내고 친구들과 이에 대해 토의한 뒤 공동의 모델을 구성한다. 이는 A교사의 KISR에 변화가 있었음을 나타내는데, PLC에서 공유된 cPCK 중 학생의 토의 토론 활동과 같은 상호작용은 모델이 생성 및 발달하는 데 중요한 역할을 한다(Yu *et al.*, 2012)는 지식을 자신의 pPCK에 포함하여 위와 같은 활동을 계획하였음을 알 수 있다.

B교사와 C교사 또한 2차 CoRe에 먹이 그물 및 생태계 평형을 가르치기 위한 교수 전략으로 모델링을 활용함으로써 학생들이 설명 모델을 생성하고 공유하도록 하였다. 즉, 세 교사는 Campbell *et al.*(2013)이 제안한 5가지 모델링 교수법 중 표현적 모델링(학생들이 새로운 모델을 만들거나, 기존의 모델을 통해 자신이 이해한 과학적 개념을 설명하는 것)을 적용하여 위와 같은 수업을 구상하였는데, 이는 모델링 수업에 관한 지식 교환 과정에서 공유된 cPCK이다. 정리하면, 교사들은 모델링 수업에 관한 지식 교환에 따라 과학 수업에서 학생 간 상호작용을 높이며, 학생이 자신의 과학적 이해를 표현하도록 하는 수업 전략을 pPCK에 포함하는 변화를 보였다.

과학 평가에 대한 지식(Knowledge of Assessment of Science Learning; KAS) KAS는 과학 학습 평가에 관한 관점과 평가 방법에 관한 교사의 지식으로 구성되어 있다(Magnusson *et al.*, 1999). 세 교사가 두 차례 작성한 CoRe를 비교하였을 때, 과학 학습 평가 관점에서 변화를 보인 것은 A교사와 C교사였다. 1차 CoRe에서 세 교사는 과학 수업에서 학생이 특정 개념을 정확하게 이해했는지 확인하기 위해 평가 도구를 활용했으나, 2차 CoRe에서 A교사와 C교사는 학생의 이해 확인과 더불어 피드백을 제공하기 위해 평가 도구를 활용하였다. 예컨대, A교사는 먹이 그물에 대한 수업에서 학생을 평가할 방법으로 '학생이 그린 그림 평가(KAS-DRW; CoRe#1)'라고 작성하였으나, 2차 CoRe에는 '개별 모델링 단계에서 학생이 그린 그림에 대해 개별 피드백하고, 이해 확인(KAS-DRW, KAS-VE; CoRe#2)'이라고 작성하여 학생이 구성한 모델을 통해 학생의 성취를 평가함과 동시에 피드백을 제공하고자 하였다.

과학 학습 평가 방법의 측면에선 세 교사 모두 변화를 보였다. 1차 CoRe에선 학생이 수동적으로 교사가 준비한 평가 도구에 답하는 식

의 지필(KAS-WE) 평가를 모두 활용했다면, 2차 CoRe에서는 학생이 모델을 생성하거나 자신이 이해한 과학 개념을 말 또는 그림으로 표현하게 하여 학습의 주체가 되도록 할 뿐만 아니라 학생이 구상한 설명으로 과학 개념을 잘 이해했는지 평가하고자 했다. C교사는 먹이 그물에 대한 수업에서 학생을 평가할 방법으로 '특정 개체가 사라졌을 때 나타나는 현상을 예측한 글 평가하기(KAS-WE; CoRe#1)'라고 작성하였으나, 2차 CoRe에는 '먹이 그물을 모델링하여 그린 그림으로 이해도를 확인하기(KAS-MOD; CoRe#2)'라고 작성하였다. B교사의 경우, 생물과 비생물을 분류하는 수업에서 1차에선 '분류하기(KAS-CLS; CoRe#1)'라고 작성하였으나, 2차 CoRe에는 '분류하고, 개념 표현하기(KAS-CLS; CoRe#2)'라고 작성하였다. 이를 통해 C교사와 B교사 모두 학생이 스스로 자신이 이해한 것을 표현하도록 하여 학습이 이루어지도록 함과 동시에 평가를 수행하고자 했음을 알 수 있다.

2. 초등교사의 모델링 pPCK 변화에 RCM 영역 간 지식 교환의 영향

가. 과학 교수 지향(OTS)

PLC 프로토콜 #1~2에서 연구참여자들은 그동안 모델링 수업의 의미와 의의에 대한 특별한 의식 없이 수행한 모델링 또는 모델 활용 수업 경험을 되돌아보았다. 연구참여자들은 이전 수업을 성찰하는 과정에서 학생이 과학자들의 탐구 과정을 경험해야 함을 언급하고 학생 스스로 모델을 생성하는 활동을 구성하지 않은 것에 대한 아쉬움을 드러냈다.

"과학 수업에서 학생이 관찰이나 실험, 모델링 같은 실제 과학자와 비슷하면서 간소화된 탐구 과정을 거쳐 과학 지식을 얻어야 할 것 같아요(C교사)" 교사의 말처럼, 모델을 기반으로 하는 수업에서 학생은 과학자들이 연구하는 방법과 유사하게 현상을 탐구하고 이해할 수 있으며(Khan, 2007), 모델링을 통해 학생은 지식을 구성할 수 있다(Schwarz & Gwekwerere, 2007). 모델링 수업의 주요 활동은 학생이 과학자처럼 모델을 직접 생성하는 것인데(Clement, 1989), 참여자들은 이전에 수행한 모델 활용 수업을 성찰한 프로토콜 #2에서 학생이 스스로 모델을 생성하는 활동을 구성하지 않은 것에 대한 아쉬움을 언급했다.

A교사는 해풍과 육풍이 부는 방향과 그 까닭을 알아보기 위해 모델을 활용한 수업 사례를 성찰하며 "제가 이 수업에서 아쉬웠던 점은, 수업 시간이 충분하지 않아 학생들이 차분하게 배운 내용을 그림으로 정리해서 이해할 수 있게 하는 시간이 부족했던 거예요. 올해도 이 수업을 다시 하게 될 텐데, 학생이 실험 후에 저기압과 고기압의 개념을 그림으로 정리하고 자기 언어로 한 명 한 명 설명할 수 있도록 수업 시간을 더 충분히 편성해서 운영하고 싶습니다."라고 하여, 학생이 이해한 과학 개념을 스스로 표현하고 설명하도록 하는 활동의 필요성을 언급했다. A교사는 PLC 이후 심층 면담에서 "수업 성찰할 때 다른 선생님께서 학생이 실험 결과를 모델로 정리한 사례를 공유하셔서, 그걸 보고 저렇게 정리하면 학습 효과가 높겠다는 생각이 들었어요. 그리고 좋은 수업 사례들을 보면서 나도 저렇게 해봐야지 하는 참고 자료를 얻을 수 있었어요."라고 하였다.

C교사는 대륙 빙하가 녹는 것과 물 위의 빙산이 녹았을 때를 나타내는 모형을 만들고 시간에 따라 달라지는 물의 높이를 비교하였는데, 실험 후 현상에 대한 원인을 학생이 설명 모델로 나타낸 수업을 소개하였다. 당시 C교사의 수업 사례에 대해 A교사는 "과학 수업에서 대부분의 학생들은 티비 화면에 있는 답을 그대로 적어 학습 내용을 정리하려고 하는데, 모델을 활용하면 학생들이 학습 내용을 제대로 이해하고 주체적으로 정리할 수 있을 것 같아요."라고 말했다. 이에 따라, A교사가 학생이 이해한 개념을 스스로 표현하는 활동의 필요성을 언급한 것은 동료 교사의 수업 사례에서 영향을 받았기 때문임을 추측할 수 있다. 이는 동료 교사와 함께 수업 성찰을 했을 때 혼자 성찰했을 때보다 그 효과가 증대된다는 선행 연구 결과(Park *et al.*, 2018)와 연관된다.

또한 A교사는 C교사의 수업 사례에 대해 "모델은 실제 현상을 표상하기 때문에, 학생이 실험 결과를 실제 자연 현상과 연결 지어 함께 개념을 정리하면 좋을 것 같아요. 그리고 더 나아가서 수업이 담고 있는 주제가 이 수업처럼 환경이나 사회적 문제와 관련된 것이라면 자신이 생성한 설명 모델을 활용하여 사회적 결과도 볼 수 있어야 할 것 같습니다."라고 하였다. 이러한 성찰과 더불어, 모델링 cPCK가 공유된 프로토콜 #3에서 모델이 현상을 예측하는 데 활용될 수 있음을 알게 된 A교사는 2차 CoRe에 생태계 평형 수업에서 인간이 자연에 미치는 영향과 자연이 회복하는 과정을 모델로 나타내고 구상한 모델을 활용하여 앞으로 일어날 변화를 예측하는 모델링 수업을 구성하였다. 이처럼 모델링 수업 성찰을 통한 $ePCK_R$ 및 cPCK와 pPCK 간의 지식 교환은 참여자들의 과학 학습 목표에 대한 신념에 영향을 주어 학생이 과학적 설명을 구성하는 것이 학습의 목적이 될 수 있음을 떠올리게 했으며, 교육과정에 한정된 주요 개념 학습을 학습 목표로 삼았던 이전에 비해 과학 학습 목표 선정에 좀 더 포괄적인 관점을 갖게 했다. 이는 참여자들이 1차에 비해 2차 CoRe에서 학생들이 배운 내용을 활용해서 모델을 구성하는 수업을 지향한 것과 과학 학습 목표를 포괄적으로 작성한 것과도 연결된다. Figure 3은 지식 교환에 따른 과학 교수 지향의 변화를 요약하여 도식화한 것이다.

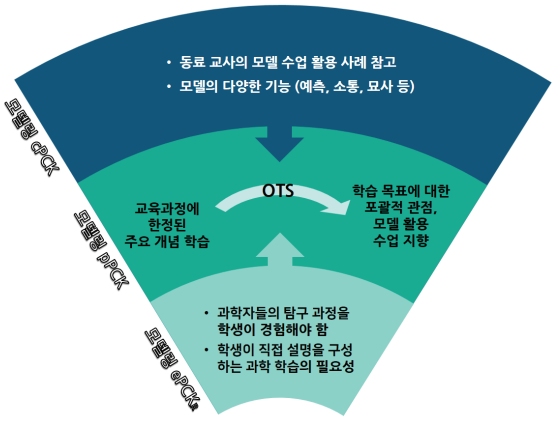

Figure 3. Illustration of the changes in OTS caused by knowledge exchange

나. 학생 이해에 대한 지식(KSU)

CoRe를 통해 알아본 연구참여자들의 학생 이해에 대한 지식은 PLC 전에는 주로 학생의 동기와 흥미, 수업에 영향을 미치는 오개념

에 초점이 맞춰져 있었다. 그러나 세 교사는 PLC 프로토콜 #3에서 모델링 수업에 대한 표준적인 지식 학습과 모델링 과정을 직접 체험한 후 모델링 수업에서 학생이 겪을 어려움을 언급하고 그에 따라 학생을 지원할 수 있는 다양한 방법을 떠올렸다.

A교사: 배운 내용을 제대로 이해했더라도 말이나 글로 설명하라고 하면 막막해할 것 같아요. 어려울 순 있지만, 개별적으로 비계를 제공해야 할 것 같아요.

B교사: 비계같이 그런 좀.. 참고할 수 있을 만한 예시가 있으면 좋을 것 같아요. 그리고 저는 모둠이 어떻게 구성되느냐가 되게 중요할 것 같아요. 과학지식이 없는 학생들끼리 모델을 구성하면 어려워할 것 같아요.

C교사: 저도 그래서 지식적인 부분을 먼저 수업해야 할 것 같고. 학생이 생성한 설명 모델을 통해 과학 지식이 바르게 형성되었는지 교사가 확인해야 할 것 같아요. 모델을 만들고 그냥 수업을 끝내버리면 오개념이 굳어질 수도 있을 것 같아서... 교사가 학생이 생성한 모델로 과학 지식을 확인하고 평가하는 단계가 있어야 할 것 같아요.

모델링 수업에서 교사의 역할은 매우 중요하다. 선행 연구(Halloun, 2007)에서도 학생이 모델을 생성할 때 교사는 학생의 개념을 끌어낼 수 있도록 적당한 비계를 제공하는 비계 제공자 역할을 해야 한다고 했는데, A교사가 이를 언급한 것이다. 또한 모델링 수업 체험 전, 연구진은 연구참여자들에게 대부분의 모델링 수업은 소집단을 구성하여 모델의 평가와 수정을 수행한다는 것을 공유했다. 이에 따라 B교사는 모델링 수업이 소집단으로 이루어진다는 점을 고려하여, 평소 과학 학습 성취도가 높은 학생과 낮은 학생이 고루 속하도록 모둠을 구성해야 모델을 잘 구성할 것이라며 교사가 효과적으로 소집단을 구성하는 것의 필요성을 언급했다. C교사는 학생이 구성한 설명 모델에 오개념이 있을 것을 우려하며, 이와 관련한 학생 지원 방법으로 교사가 학생이 구성한 모델을 평가하고 피드백을 제공해야 한다고 했다. 이는 Cho *et al.*(2017)의 연구에서 중등 과학 교사들을 대상으로 모델을 평가하는 기준에 대해 질문하였을 때, 많은 교사들이 모델을 통해 오개념이 생성되지는 않았는지 평가한다고 언급한 사실과 연관 지을 수 있다. 또한 과학 모델링 수업을 실행한 초등교사가 수업 실행 후반으로 갈수록 학생의 오개념을 파악하고 이에 대응하여 모델을 평가하는 시간을 늘려 학생들에게 상세한 피드백을 제공하고자 했다는 선행 연구(Uhm & Kim, 2020)의 결과와도 연관된다. 이처럼 모델링 수업

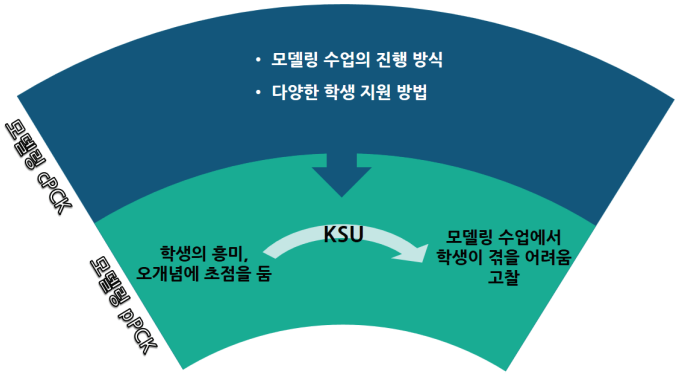

Figure 4. Illustration of the changes in KSU caused by knowledge exchange

에 대한 표준적인 지식 공유 및 학생의 입장에서 모델링 수업에 참여하는 경험은 연구참여자들로 하여금 모델링 수업과 같이 학생이 과학 지식을 구성하거나 설명해야 하는 수업에서 학생이 겪을 어려움과 그에 따른 교사의 역할을 고찰하도록 했음을 알 수 있다(Figure 4).

다. 과학 수업 전략에 대한 지식(KISR)

연구진은 연구참여자들에게 PLC 첫 모임에서 '내가 생각하는 모델링 수업이란?' 질문을 하였는데, 참여자들의 답변을 통해 모델에 대한 제한적 인식을 갖고 있음을 알 수 있었다. 세 교사는 모델링 수업이란 '모형을 만들고 실제 과학 현상을 단순화시킨 것을 다루는 수업(A교사), 미시적이어서 실습하기 어렵거나, 거시적이어서 체험하기 어려운 분야에 대해 모델을 사용하는 것(B교사), 복잡한 과학적 실험을 학생 수준에서 단순화해서 수업하는 것(C교사)'이라고 답하였다. 세 교사가 제시한 모델링 수업의 정의를 살펴보면, 모두 모델을 '현상을 단순화한 표상'으로 생각하고 있음을 알 수 있다. 이는 선행 연구(Oh, 2009)에서 상당수의 예비 초등교사가 모델을 구체적인 사물이나 현상을 표상하는 것으로 인식한다는 결과와 상통하는 것으로, 과학이나 과학교육에서 활용되는 모델이 어떤 대상을 복사한 것(copy or replica)으로 여겨짐을 나타낸다.

이후 프로토콜 #3에서 연구진은 모델의 의미 및 초등과학 모델링 수업의 속성에 관한 교육 연구를 기반으로 한 모델링 cPCK를 교사들에게 공유하여 교사의 pPCK와 지식 교환이 이루어지도록 촉진하였다. 이에 연구참여자들은 모델링 수업에 대한 이해를 바탕으로 모델링 수업의 장점에 공감하는 모습과 모델 및 모델링 수업에 대한 인식이 확장되었음을 나타내었다.

프로토콜 #3에서 모델링 수업의 속성에 대한 지식 공유가 이루어진 뒤, 모델링 수업의 이점에 대해 A교사는 "학생들이 배운 내용을 모델로 표현한다면 이미지로 기억에 남아서 좋을 것 같아요."라고 말했으며, C교사는 "모델을 생성하고 평가할 때 학생들은 자신이 아는 것을 최대한 활용하려고 할 테니까 그런 걸 끌어내서 수업하는 게 좋아요. 또 애들은 자신이 생각한 걸 막 얘기하고 그걸 또 교류하면서 공통의 모델을 만드니까 과학 개념을 내재화하는 데 효과적일 것 같아요."라고 말했다. 이는 두 교사가 모델링 수업의 목표가 학생 스스로 모델을 구성하고 그것을 검증함으로써 현상에 대한 설명을 구성하는 것임을 pPCK에 포함한 결과로, 구성주의적 학습관에 따라 학생이 자기 생각을 표현하도록 하고, 그것을 중심으로 수업을 진행하고자 함을 알 수 있다. 이에 따라 세 교사는 '생물과 환경' 단원의 수업을 계획하는 2차 CoRe에 사용할 교수 전략으로 모델링 활동을 작성하였다.

또한 B교사는 PLC 이후 진행된 심층 면담에서 "사실 PLC 전에는 모델링으로 수업 전체를 구성한다는 거는 한 번도 생각해 본 적이 없었거든요. 근데 모델이 꼭 태양계 행성을 본뜬 것과 같은 물리적인 형태가 아니어도 되고, 그 범위가 굉장히 넓다는 것을 PLC에서 알게 되었어요. 또 모델링으로 수업을 이끌어 나갈 수 있다는 것도 새롭게 알게 된 것 같아요." 라고 하였다. C교사 또한 PLC 활동 후 심층 면담에서 "PLC를 하지 않고 모델링 수업을 했으면 모델링에 대한 개념이 명확하지 않아서 수업하기가 어려웠을 것 같아요. 모델링에 대한 지식이 있어야 제대로 된 모델링 수업이 가능할 것 같다는 생각이 많이 들었고, 모델링 수업 방법이 많았잖아요. 그걸 참고해서 학습

내용에 맞게 적절한 방법을 활용할 수 있었어요.”라고 하여 교육 연구 기반 모델링 수업에 관한 cPCK 학습이 모델링 수업에 대한 이해를 높였으며, 모델링 수업을 실행하는 데에도 도움을 주었음을 알 수 있었다.

한편 연구참여자들은 프로토콜 #2에서 모델을 활용한 수업 사례를 성찰하며 모델의 본성을 교육하지 않은 것에 대해 언급하고, 다음 수업에서는 모델의 본성을 다루며 모델링 수업을 진행할 것이라고 했다. A교사는 기존 수업에 대해 성찰하며, “학생이 스스로 모델을 구성하는 과정에 참여하고, 만들어진 모형의 각 부분이 실제 자연의 어디에 대응하는지에 대한 정리까지 이루어진 수업”이 성공적으로 모델을 활용한 수업이라고 말했다. B교사는 두 교사와 함께 자신의 수업을 분석하다가, “생각해 보니 학생들에게 재료를 제시하고 그냥 모델을 만들어 보라고 했으니, 학생들은 이 활동을 단순 놀이처럼 느꼈을 것 같아요. 건물 모형을 이루는 재료와 구조들이 실제의 어떤 것에 대응되는지 명확하게 명시를 해주었다면 좋았을 것 같아요.”라고 하였다. C교사 또한 “모델은 현실을 축소하거나 간략하게 나타낸 것이기 때문에 현실과 다른 점이 있기 마련인데, 그 부분을 교사가 명확하게 정리해 주었더라면 좋았을 것 같아요.”라고 하였다.

메타모델링 지식은 모델의 본성과 목적, 모델의 이점과 제한점, 모델의 평가를 위한 기준, 모델링 과정에 대한 지식으로(Schwarz, 2002; Schwarz *et al.*, 2009), 과학 수업에서 메타모델링 지식을 갖춘 학생은 모델링 활동에 생산적으로 참여할 수 있다(Abd-El-Khalick *et al.*, 2004; Yoon, 2011). 메타모델링 지식 중에서도 모델의 본성에 관한 지식은 모델이 무엇을 나타내는지와 모델이 어떻게 표현되었는지를 이해하는 것으로(Cho *et al.*, 2017), 모델이 실제 자연 현상과 차이가 있음을 이해하는 것도 포함한다(Cho & Nam, 2017). 이는 2015 개정 교육과정에서도 강조한 것으로(MOE, 2015), 모델이 표상하는 것을 이해하는 것과 더불어 모델이 표상한 실제 현상과 모델 간에 어떠한 차이가 있는지 이해하는 것은 학생의 메타모델링 지식 중 모델의 본성에 관한 이해를 높이는 것이다. 정리하면, 교사들은 기존에 자신이 실행한 모델을 활용한 수업 사례에 대한 성찰을 통해서 학생이 모델의 본성을 학습하는 것이 중요하다는 실천 지식을 생성하였음을 알 수 있다. Figure 5는 지식 교환에 따른 과학 수업 전략에 대한 지식의 변화를 요약하여 도식화한 것이다.

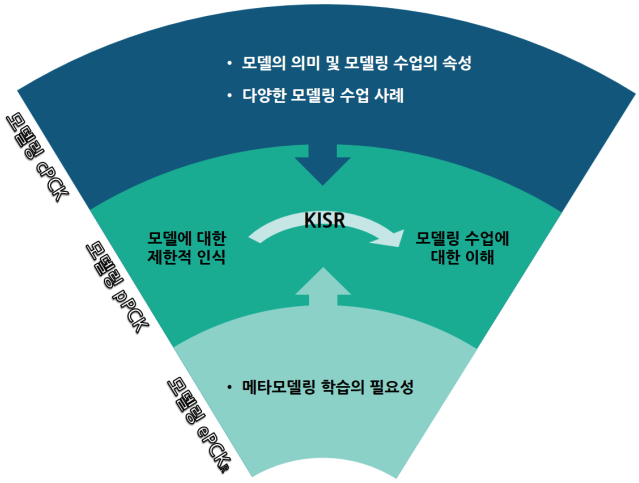

Figure 5. Illustration of the changes in KISR caused by knowledge exchange

라. 과학 평가에 대한 지식(KAS)

PLC 전 연구참여자들은 지필 평가를 주로 활용하고, 학생이 과학 지식을 정확하게 이해했는지 평가하고자 하는 평가 관점을 가졌었다. 그러나 모델링 수업에 관한 표준적인 지식인 cPCK와의 지식 교환은 참여자들의 과학 평가 방법 및 관점에 변화를 가져왔다. 연구진은 모델링 수업에서 학생이 생성한 모델을 통해 과학 학습 평가가 이루어질 수 있음을 공유하였고, C교사는 모델링 수업에서의 평가가 다음과 같이 이루어져야 한다고 주장했다. “저는 학생이 생성한 모델에서 학생이 과학적 지식을 바르게 생성했는지 확인할 것 같아요. 모델을 만들고 수업이 끝나면 소집단 내에서 오개념이 강렬한 기억으로 굳어져 버릴 것 같아서요. 그래서 교사가 학생의 모델을 보고 과학 지식을 확인하는 평가 단계가 있어야 할 것 같아요.”

또한 모델링 수업에서 학생을 평가 및 지원할 방법으로 A교사는 “학생이 설명 모델을 생성할 때 비계가 되는 지식들을 제공하고, 이런 내용들이 너희가 생성한 모델에 다 녹아있는지 확인해라. 이런 도움을 주는 것도 좋을 것 같아요.”라고 하였다. 이처럼 연구참여자들은 학생이 생성한 모델을 평가 도구로 활용하고, 모델을 통해 학생이 과학 지식을 바르게 설명하는지 확인하고자 하였다. 이는 2차 CoRe에서 학생이 과학 지식을 이해했는지 확인하기 위해 평가할 뿐만 아니라 학생에게 피드백을 제공하기 위해 모델을 평가 도구로 활용하고, 지필 평가보다는 학생이 말이나 그림으로 표현한 모델을 평가에 활용한 것과 연관된다. Figure 6은 지식 교환에 따른 과학 평가에 대한 지식의 변화를 요약하여 도식화한 것이다.

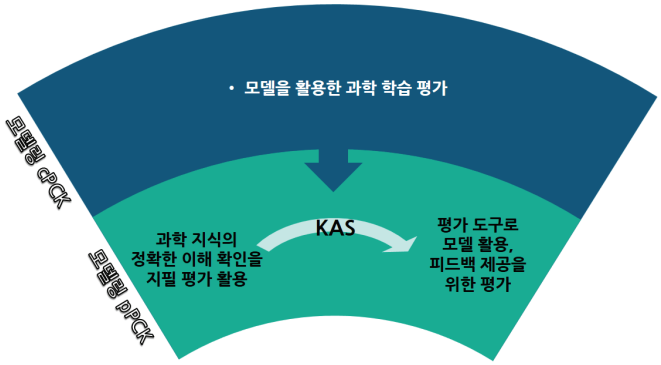

Figure 6. Illustration of the changes in KAS caused by knowledge exchange

Ⅳ. 결론 및 제언

본 연구는 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환을 통한 초등교사의 모델링 pPCK 변화를 비교하여 분석한 뒤, RCM이라는 이론적 렌즈로 초등교사의 모델링 pPCK 변화에 지식 교환이 구체적으로 어떤 기여를 했는지 근거 이론적 연구 방법을 이용하여 연구하였다.

본 연구의 결과를 요약하면, 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환에 따른 연구참여자의 pPCK 변화를 PCK 구성 요소별로 분석한 결과, 과학 교수 지향의 과학 학습 목표에 대한 신념에 있어 연구참여자들은 PLC를 통한 지식 교환에 따라 과학 학습 목표에 대해 포괄적인 관점을 갖게 되었으며, 모델을 활용하는 과학 수업을 지향하게 되었

다. 연구참여자들의 과학 교육과정 지식은 지식 교환으로 인한 변화가 나타나지 않았는데, 이는 본 연구에서 지식 교환을 촉진한 PLC의 초점이 교육과정 성찰 및 검토에 있지 않았기 때문으로 추측된다. 학생 이해에 대한 지식은 연구참여자들이 과학 모델링 수업에 대한 지식 교환에 따라 모델링과 같이 학생이 주도적으로 과학 지식을 구성하는 활동에 필요한 학생 능력 및 태도에 관해 달라진 이해를 보였다. 과학 수업 전략에 대한 지식에 있어서는 세 교사 모두 이전과는 달리 모델링 수업 전략을 활용하는 변화를 보였다. 과학 평가에 대한 지식은 평가 관점 측면에선 학생이 구성한 모델을 통해 교사가 학생의 성취를 평가하면서 피드백을 제공하고자 하는 변화를 보였으며, 평가 방법 측면에선 학생이 모델을 생성하거나 이해한 과학 개념을 말 또는 그림으로 표현하도록 하는 변화를 보였다.

이러한 결과를 통해 연구진은 연구참여자들의 모델링 pPCK가 효과적인 모델링 수업을 실행하기 위해 변화하였음을 알 수 있었으며, 모델링 pPCK 변화에 지식 교환이 구체적으로 어떤 기여를 하였는지 분석하였다. 연구참여자들의 모델링 pPCK 중 과학 교수 지향은 과학 학습 목표에 대해 포괄적으로 인식하고 모델을 활용하는 수업을 지향하는 변화를 보였는데, 이러한 변화는 PLC를 통한 동료 교사 수업 사례 참고 및 모델의 다양한 기능 학습으로 모델링 cPCK와 pPCK 간의 지식 교환과 모델 활용 수업 사례 성찰을 통한 ePCK와 pPCK 간의 지식 교환에 의한 것이었다. 학생 이해에 대한 지식은 선행연구를 통한 모델링 수업의 진행 방식 이해와 모델링 수업 체험을 통해 cPCK와 pPCK 간 지식 교환이 이루어졌으며, 이에 따라 연구참여자들은 모델링 수업에서 학생이 겪을 어려움에 대해 고찰하고 학생을 지원하는 다양한 방법을 고려하는 변화를 보였다. 과학 수업 전략에 대한 지식은 PLC 담화 자료 및 면담 자료를 분석한 결과, 연구참여자들이 PLC 전 모델에 대해 제한적 인식을 갖고 있었음을 알 수 있었다. 그러나 교육 연구 기반 모델링 cPCK와 pPCK 간의 지식 교환에 따라 연구참여자들은 모델의 의미 및 모델링 수업의 속성과 의의에 대해 이해하고, 모델링 수업의 가치를 인식하여 CoRe에 활용할 수업 전략으로 모델링을 포함했다. 또한 자신의 수업에 대해 성찰하며 수업에서 모델 활용 시 모델의 본성과 같은 메타모델링 지식을 교육해야 함을 나타냈다($ePCK_R$과 pPCK 간 지식 교환). 과학 평가에 대한 지식은 모델이 과학 학습 평가 방법으로 활용될 수 있다는 표준적인 지식을 학습함으로써 학생이 생성한 모델을 평가 도구로 활용하고, 피드백 제공을 위해 평가하고자 하는 변화를 보였다(cPCK와 pPCK 간 지식 교환).

연구 결과를 종합하면, 초등교사의 모델링 pPCK는 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환에 의해 변화하였으며 이러한 변화는 이전에 수행한 모델 활용 수업 사례에 대한 성찰($ePCK_R$) 및 과학 모델링 수업에 관한 표준적인 지식(cPCK)을 학습하는 PCK 영역 간 지식 교환에 의한 것임을 결론지을 수 있다.

이에 본 연구의 결론을 토대로 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, 교사의 과학 PCK 발달을 위해 PCK 영역 간 지식 교환을 촉진하는 프로그램 개발 연구가 필요하다. 수업에 대한 교사의 반성적 성찰은 수업 전문성을 신장하는 것으로 밝혀져 있으며, 이는 반성적 대화 형태로 동료 교사들과 함께 이루어졌을 때 그 효과가 증대된다(Park *et al.*, 2018). 또한 cPCK는 교사 및 교육 연구자 간 대화를 장려하며 공동체가 전문적 학습을 하기 위한 원동력이 될 수 있다(Carlson *et al.*, 2019). 이에 따라 개별 교사가 수업 실천에 활용할 수 있는 지식과 기술의 저장고 역할을 하는 pPCK 발달을 위해 ePCK 및 cPCK와의 양방향적 지식 교환을 촉진하는 프로그램이 개발된다면 교사의 반성적 실천을 자극하면서도 과학 교육을 위한 표준적인 지식을 효과적으로 학습할 수 있는 교사 연수가 진행될 것으로 기대한다.

둘째, 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환에 따른 연구참여자들의 모델링 pPCK 변화를 탐색한 결과, 지식 교환으로 인해 교사들의 과학 교수 지향, 과학 수업 전략에 대한 지식, 학생 이해에 대한 지식, 평가에 대한 지식에서는 변화가 있었으나, 과학 교육과정 지식에 있어서는 두드러진 변화가 관찰되지 않았다. 이는 모델링 PCK 개발에 있어 구성요소 간 편차가 있음을 의미하는데, 선행연구에서도 수업 전략에 대한 지식은 가장 쉽게 개발되는 요소이며, 교육과정에 대한 지식은 가장 개발되기 어려운 요소로 보고되었다(Henze *et al.*, 2008). 본 연구에서 진행된 PLC는 과학 모델링 수업에 초점을 두어 교육과정 지식 개발이 주된 목표는 아니었으나, 수업에서 학생의 어려움을 잘 이해하는 교사가 더 많은 표상을 제시하고 다양한 활동을 활용하는 것처럼 PCK 구성요소들은 상호 연결되어 있으며(Van Driel, 2014), 구성요소 간 강한 연결은 교사의 PCK 발달에 근본적인 영향을 끼친다(Krauss *et al.*, 2008). 이에 따라 교사의 PCK 구성요소 간 상호작용에 초점을 두고, 모델링 PCK 구성요소가 전반적으로 향상하는 방안을 탐색하는 추가 연구가 필요하다.

셋째, PCK 영역 간 지식 교환에 영향을 미치는 학습 맥락, 교사의 개인적 요인 등에 대한 추가적인 연구를 진행할 필요가 있다. 본 연구에서 모델링 수업에 관한 지식 교환에 따른 연구참여자 간 pPCK 변화 양상이 달랐는데, 이는 각 교사의 개인적 요인, 학습 맥락 등이 영역 간 지식 교환을 증폭 또는 여과하였음을 추측할 수 있다. 참여 교사 중 두 교사는 비교적 비슷한 변화 양상을 보인 것에 비해 한 교사의 모델링 pPCK는 미미한 변화를 보였는데, 어떤 요인이 PCK 영역 간 지식 교환을 증폭 또는 여과한 것인지 탐구할 가치가 있다고 사료된다. 교사의 PCK 발달에는 학습 맥락, 개인적 요인, PCK 영역 간 지식 교환을 중재하는 기존의 pPCK(Alonzo *et al.*, 2018) 등 다양한 요인이 영향을 미치는데, 이를 규명한다면 교사의 PCK 발달을 촉진할 수 있는 방안에 대한 시사점을 도출할 수 있을 것이다.

한편, 이 연구는 질적 연구로서 본 연구에 참여한 교사들이 우리나라 전체 교사를 대표하지 않으므로 편향의 위험성을 배제할 수 없다는 한계가 있다. 하지만 본 연구 결과를 기초자료로, 추후 더 많은 수의 교사를 통해 PCK 발달 메커니즘을 밝힌다면 본 연구보다 교사의 PCK 발달에 대한 다양한 시사점을 도출할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 4회만의 PLC 모임을 통해 연구참여자들의 모델링 PCK가 변화되었다고 보기는 어려울 수 있으나, 모임 전 교사들이 스스로 모델링 수업에 대한 지식과 경험이 부족하다고 생각하고 있었던 점과 프로토콜 #1에서 교사들이 모델과 모델링 수업에 대해 제한적인 인식을 나타냈다가 프로토콜이 진행됨에 따라 모델링 수업에 대한 확장적 인식을 나타낸 점을 감안하면 PLC를 통한 PCK 영역 간 지식 교환으로 교사들의 모델링 PCK에 변화가 있었다고 판단된다.

본 연구는 기능을 지식의 일부로 간주하는 Eraut(2000)의 정의에 따라, 연구참여자들의 교과 교육학 지식과 기능의 변화를 총체적으로 PCK 변화로 보아 분석하였다. 그러나 연구참여자들의 모델링 수업에

관한 지식 변화가 실제 교실 수업에 어떻게 반영되는지에 대한 후속 연구가 필요할 것이다. 마지막으로 본 연구는 RCM으로 설명된 PCK 발달 메커니즘을 이론적 렌즈로 삼아 연구 결과를 분석하고 이에 따라 초등교사의 모델링 PCK 발달 지원에 대한 시사점을 제공했다. 그러나 교사의 PCK 발달은 광범위한 요인이 개입된 복잡한 과정을 통해 이루어진다. 이에 본 연구에서 나아가 다양한 이론적 프레임워크를 통해 교사의 PCK 발달을 분석하고 PCK 발달 메커니즘을 규명한다면, 교사 교육에 대한 포괄적인 논의가 가능할 것으로 기대한다.

국문요약

본 연구는 개선된 합의 모델(RCM)의 세 가지 PCK 영역 간 지식 교환을 통해 초등교사의 모델링 pPCK(개인적 PCK)가 어떻게 변화되는지 탐색하였다. 이를 위해 초등교사 3인을 대상으로 한 전문적 학습 공동체(PLC)에서 과학 모델링 수업에 관한 지식 교환이 이루어지도록 촉진한 뒤, 연구참여자가 두 차례 작성한 CoRe(내용 표상)를 분석하여 모델링 pPCK 변화 양상을 탐색하였다. 또한 PLC에서 연구참여자들이 나눈 담화, 심층 면담 자료를 근거 이론적 연구 방법을 활용하여 분석하였다. 연구 결과, 지식 교환으로 인해 초등교사의 모델링 pPCK 중 교육과정 지식에 있어서는 두드러진 변화가 없었으나 과학 교수 지향, 학생 이해에 대한 지식, 과학 수업 전략 지식 및 과학 평가에 대한 지식에 변화가 있었다. 또한 PLC 담화 및 심층 면담 분석을 통해 교사들의 이러한 모델링 pPCK 변화에는 모델링 수업 사례 성찰(ePCK$_R$)과 교육 연구 기반 모델링 cPCK(집단적 PCK)가 영향을 미쳤음을 알 수 있었다. 연구 결과를 바탕으로 본 연구에서는 효과적인 교사의 모델링 PCK 개발을 위한 교육적 방법에 대해 논의하였다.

주제어 : PCK, 모델링 PCK, 개선된 합의 모델, 지식 교환

References

Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H. l. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. Science Education, 88(3), 397-419.

Abell, S. (2007). Research on science teacher knowledge. In S.K. Abell & N.G. Lederman (Eds.), Handbook of research on science education (pp. 1105-1149). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Acher, A., Arca, M., & Sanmarti, N. (2007). Modeling as a teaching learning process for understanding materials: A case study in primary education. Science Education, 91(3), 398-418.

Akerson, V. L., Townsend, J. S., Donnelly, L. A., Hanson, D. L., Tira, P., & White, O. (2009). Scientific modeling for inquiring teachers network (SMIT'N): The influence on elementary teachers' views of nature of science, inquiry, and modeling. Journal of Science Teacher Education, 20(1), 21-40.

Alonzo, A. C., Berry, A., & Nilsson, P. (2018). Capturing and representing the complexity of PCK in action. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Eds.), Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' professional knowledge. New York: Springer.

Alonzo, A. C., Berry, A., & Nilsson, P. (2019). Unpacking the complexity of science teachers' PCK in action: Enacted and personal PCK. Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science, 273-288.

Barendsen, E., & Henze, I. (2019). Relating teacher PCK and teacher practice using classroom observation. Research in Science Education, 49, 1141-1175.

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 cla ssrooms. In M. S. Khine & I. M. Sa leh (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.

Chan, K. K. H., & Hume, A. (2019). Towards a consensus model: Literature review of how science teachers' pedagogical content knowledge is investigated in empirical studies. Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science, 3-76.

Cho, E., Kim, C., & Choe, S. (2017). An investigation into the secondary science teachers' perception on scientific models and modeling. Journal of the Korean Association for Science Education, 37(5), 859-877.

Cho, H., & Nam, J. (2017). Analysis of trends of model and modeling-related research in science education in korea. Journal of the Korean Association for Science Education, 37(4), 539-552.

Cho, H., Nam, J., & Oh, P. (2017). A review of model and modeling in science education: Focus on the metamodeling knowledge. Journal of the Korean Association for Science Education, 37(2), 239-252.

Clement, J. J. (1989). Learning via model construction and criticism. In G. Glover & R. Ronning, C. Reynolds (Eds.), Handbook of creativity: Assessment, theory and research (pp. 341-381). New York: Plenum.

Corbin, J. M., & Strauss, A. (1990). Grounded theory research: Procedures, canons, and evaluative criteria. Qualitative Sociology, 13(1), 3-21.

Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2016). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches. Sage publications.

Davis, E. A. (2004). Knowledge integration in science teaching: analysing teachers' knowledge development. Research in Science Education, 34(1), 21-53.

Deng, Z. (2007). Transforming the subject matter: examining the intellectual roots of pedagogical content knowledge. Curriculum Inquiry, 37(3), 279-295.

Dogan, S., Pringle, R., & Mesa, J. (2015). The impacts of professional learning communities on science teachers' knowledge, practice and student learning: A review. Professional Development in Education.

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.

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). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. In J. Gess-Newsome & N. G. Lederman (Eds.), Examining pedagogical content knowledge: The construct and its implications for science education (pp. 3-20). Dordrecht: Kluwer Academic.

Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. In A. Berry, P. J. Friedrichsen, & J. Loughran (Eds.), Re-examining pedagogical content knowledge in science education (pp. 28-42). New York: Routledge.

Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses?. International Journal of Science Education, 20(1), 83-97.

Glaser, B. & Strauss, A. (1967). The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research, New York: Aldine de Gruyter.

Grossman, P. L. (1990). The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education. New York: Teachers College Press.

Halloun, I. A. (2007). Mediated modeling in science education. Science & Education, 16(7-8), 653-697.

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.

Henze, I., van Driel, J. H., & Verloop, N. (2008). Development of experienced science teachers' pedagogical content knowledge of models of the solar system and the universe. International Journal of Science Education, 30(10), 1321-1342.

Hume, A., & Berry, A. (2011). Constructing CoRes-a strategy for building PCK in pre-service science teacher education. Research in Science Education, 41(3), 341-355.

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.

Jeong, E., Kwak, Y., & Lee, K. (2023). A case study of school-level

professional learning community using protocol for science inquiry class. The Korean Society of Biology Education, 51(2), 220-235.
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.
Khan, S. (2007). Model-based inquiries in chemistry. Science Education, 91(6), 877-905.
Kim, H., Lim, C., & Lee, K. (2023). Composition and attributes of modeling instructions and factors of teacher competence in elementary science classes: A qualitative meta-analysis. Journal of Korean Elementary Science Education 42(3), 434-454.
Kind, V. (2009). Pedagogical content knowledge in science education: perspectives and potential for progress. Studies in science education, 45(2), 169-204.
Kind, V. (2017). Development of evidence-based, student-learning-oriented rubrics for pre-service science teachers' pedagogical content knowledge. International Journal of Science Education, 1-33.
Koponen, I. (2007). Models and modelling in physics education: a critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. Science and Education, 16(7-8), 751-773.
Krauss, S., Brunner, M., Kunter, M., Baumert, J., Blum, W., Neubrand, M., & Jordan, A. (2008). Pedagogical content knowledge and content knowledge of secondary mathematics teachers. Journal of educational psychology, 100(3), 716-725.
Kwak, Y. (2022). Teacher and qualitative research: Episteme and Phronesis. Paju: Kyoyookgwahaksa
Lee, K., Jeong, E., & Kwak, Y. (2022). Exploring the applicability of PLC protocol for enhancing science teachers' teaching expertise on inquiry class. Journal of the Korean Association for Science Education, 42(4), 439-448.
Loughran, J. J., Berry, A., & Mulhall, P. (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.
Loughran, J., Berry, A., & Mulhall, P. (2006). Understanding and developing science teachers' pedagogical content knowledge. Dordrecht: Sense Publishers.
Loughran, J., Gunstone, R., Berry, A., Milroy, P., & Mulhall, P. (2001). Documenting science teachers' pedagogical content knowledge through PaP-eRs. Reserch in Science Education, 31(2), 289-307.
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: The construct and its implications for science education (pp. 95−132). Dordrecht: Kluwer Academic.
Marshall, C., & Rossman, G. B. (2014). Designing qualitative research. Sage publications.
Miller, E., Manz, E., Russ, R., Stroupe, D., & Berland, L. (2018). Addressing the epistemic elephant in the room: Epistemic agency and the next generation science standards. Journal of Research in Science Teaching, 55(7), 1053-1075.
Ministry of Education(MOE). (2015). Science curriculum. notification No. 2015-74. Sejong: Ministry of Education.
Ministry of Education(MOE). (2022). Science curriculum. notification No. 2022-33. Sejong: Ministry of Education.
Mulholland, J., & Wallace, J. (2005). Growing the tree of teacher knowledge: Ten years of learning to teach elementary science. Journal of Research in Science Teaching, 42(7), 767-790.
National Research Council. (2012). A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas. Washington, DC: National Academies 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.
NGSS Lead States (Ed.). (2013). Next generation science standards: For states, by states. Washington, DC: National Academies Press.
Nilsson, P., & Loughran, J. (2012). Exploring the development of pre-service elementary teachers' pedagogical content knowledge. Journal of Science Teacher Education, 23(7), 699-721.
Oh, P. (2009). Preservice elementary teachers' perceptions on models used in science and science education. Journal of Korean Elementary Science Education, 28(4), 450-466.
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.
Park, S., & Oliver, J. S. (2008a). 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(7), 812-834.
Park, S., & Oliver, J. S. (2008b). Revisiting the conceptualisation of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a conceptual tool to understand teachers as professionals. Research in Science Education, 38(3), 261-284.
Park, Y., Kim, M., & Chang, J. (2018). A study on the development and applicability of the curriculum literacy protocol for the professional learning community. Journal of Education & Culture, 24(5), 31-56.
Rosenkranzer, F., Horsch, C., Schuler, S., & Riess, W. (2017). Student teachers' pedagogical content knowledge for teaching systems thinking: Effects of different interventions. International Journal of Science Education, 1-20.
Roth, K. J., Garnier, H. E., Chen, C., Lemmens, M., Schwille, K., & Wickler, N. I. Z. (2011). Videobased lesson analysis: Effective science PD for teacher and student learning. Journal of Research in Science Teaching, 48(2), 117-148.
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., & Gwekwerere, T. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework to support preservise K-8 science teaching. Science Education, 91(1), 158-186.
Settlage, J. (2013). On acknowledging PCK's shortcomings. Journal of Science Teacher Education, 24(1), 1-12.
Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. Harvard Educational Review, 57(1), 1-22.
Stylianidou, F., Boohan, R., & Ogborn, J. (2005). Science teachers' transformations of the use of computer modeling in the classroom: Using research to inform training. Science Education, 89(1), 56-70.
Suk, Y., & Yoon, H. (2022). Analysis of elementary students modeling using the globe on the cause of seasonal change. Journal of Korean Elementary Science Education, 41(4), 673-689.
Uhm, J., & Kim, H. (2020). Changes in teaching practices of elementary school teachers in scientific modeling classes: Focused on modeling pedagogical content knowledge (PCK). Journal of the Korean Association for Science Education, 40(5), 543-563.
Van Driel, J. H. (2014). Professional learning of science teachers. In C. Bruguiere, A. Tiberghien, & P. Clement (Eds.), Topics and trends in current science education (pp. 139-156). Dordrecht: Springer.
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.
Yoon, H. (2011). Pre-service elementary teachers' inquiry on a model of magnetism and changes in their views of scientific models. Journal of Korean Elementary Science Education, 30(3), 353-366.
Yu, H., Ham, D., Cha, H., Kim, M., Kim, H., Yoo, J., Park, H., Kim, C., & Choe, S. (2012). Model creation and model developing process of science gifted students in scientific model constructing class for phase change of the moon. Journal of Gifted/Talented Education, 22(2), 291-315.

저자정보

김현주(서울교육대학교 박사과정 학생)
임채성(서울교육대학교 교수)
이기영(강원대학교 교수)