



## 교사학습공동체 교사들의 과학 실천 기반 수업을 위한 PCK 구성

양정은<sup>1</sup>, 최애란<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>양천중학교, <sup>2</sup>이화여자대학교

### Pedagogical Content Knowledge for Science Practice-Based Instruction Developed by Science Teachers in a Teacher Learning Community

Jungeun Yang<sup>1</sup>, Aeran Choi<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Yangcheon Middle School, <sup>2</sup>Ewha Womans University

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 13 August 2020

Received in revised form

28 August 2020

19 October 2020

25 November 2020

Accepted 31 October 2020

##### Keywords:

pedagogical content knowledge,  
teacher learning community,  
science practice

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate middle school science teachers' pedagogical content knowledge for science practice-based instruction developed by five middle school science teachers in a teacher learning community. Science teachers in this study collaborated to examine lesson plans and reflect on teaching practice and collaboratively analyzed science curriculum, discussed video-recordings of teaching practice, and discussed to design detailed and elaborated lesson plans. Data collection consisted of pre and post questionnaire and interview, audio-recording of teacher discussion in a teacher learning community for one year, lesson plans, teacher written reflection, and video-recording of teaching practice. Data analysis reveals that science teachers developed pedagogical content knowledge for science practice-based instruction that consists of eleven sub-components of knowledge of science curriculum for science practice, knowledge of science practice-based instructional strategy, knowledge of students' science practice-based learning, and knowledge of science practice-based learning assessment. Science teachers in this study developed highly structured pedagogical content knowledge for science practice-based instruction.

## 1. 서론

과학 교육의 중요한 목표 중 하나는 학생들이 과학 탐구를 통해 과학 핵심 개념을 형성하는 것이다(Ministry of Education, 2015; NRC, 2012). 많은 과학교육학자들이 과학 탐구 수업에서 학생들이 과학적 설명을 제안하고 이를 평가하기 위해 증거를 기반으로 동료와 논의하는 것은 학생들의 추론 및 비판적 사고 능력과 과학 지식의 본성에 대한 이해 향상뿐 아니라 명료하고 깊이 있는 과학 개념 이해에 기여한다고 주장하고 있다(Alexopoulou & Driver, 1996; Keys *et al.*, 1999; Kuhn, 1993; Newton *et al.*, 1999; Osborne, 2014). 그러나 대부분의 학교 과학 수업에서 학생들은 교사의 강의를 듣거나 수동적인 실험 수행만 할 뿐 수집한 데이터의 의미를 파악하고 다른 학생들과 논의하며 과학 개념을 협력적으로 형성하는 활동은 거의 하지 않아 과학 탐구 활동이 주로 개념을 확인하는 수단으로 사용되고 있다고 보고되어 왔다(Driver *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2010; Newton *et al.*, 1999). 과학 탐구 수업에 대한 인식을 조사한 선행 연구들은 교사들이 단순 조작 활동, 완전 개방형 탐구로서의 발견 학습, 혹은 일련의 절차를 따라 하는 실험 수업을 과학 탐구 수업이라고 인식하고, 과학 탐구 수업이 사고력 향상에는 도움이 되지만 지식 학습에는 비효율적이라고 생각하는 경우가 많다고 보고하였다(Chinn & Malhotra, 2002; Driver *et al.*, 2000; Lee & Cho, 2012). 과학 탐구 수업에 관한 교사의

이러한 제한적 인식은 학교에서 과학 탐구 수업이 제대로 이루어지지 못하는 이유 중 하나로 지적되고 있다(Demir & Abell, 2010; Keys & Bryan, 2001; Osborne, 2014).

미국국가연구회(National Research Council, 2012)는 과학 탐구 수업에 대한 오해를 타파하고 과학 탐구는 기능뿐만 아니라 수행을 위한 지식이 필요하다는 것을 강조하기 위해서 차세대과학교육표준(Next Generation Science Standards)에 기존의 '과학 탐구(scientific inquiry)' 대신 '과학 실천(science practice)'이라는 용어를 도입하였다. 과학 실천은 탐구 문제 제기, 모델 구성과 사용, 탐구 계획 및 수행, 자료 분석 및 해석, 수학 및 컴퓨팅 사고 사용, 과학적 설명 구성, 증거 기반 논의, 정보 수집과 평가 및 의사소통의 8가지 활동으로 이루어져 있다. 그동안 현장에서 간과되어왔던 모델 구성과 사용, 수학 및 컴퓨팅 사고 사용, 증거 기반 논의, 정보 수집과 평가 및 의사소통을 포함하고 여러 과학 실천 간의 연관성을 강조하고 있다(NRC, 2012). NRC(2012)는 학생들이 여러 과학 실천들을 통합적으로 수행하면서 스스로 과학 개념을 형성할 때 과학자들이 어떻게 과학 지식을 구성하는지 알게 되고 진정한 의미의 과학 학습이 일어날 수 있다고 하였다.

과학 탐구 교수 학습 전략과 수업 자료를 교사들에게 제공한 후 수업 관찰 및 면담을 분석한 많은 연구에서 학생의 과학 탐구 수행에 교사의 역할이 결정적이지만 교사들은 학생의 과학 탐구를 효과적으

\* 교신저자 : 최애란 (achoi@ewha.ac.kr)

\*\* 본 논문은 양정은의 2018학년도 박사 학위논문에서 발췌 정리하였음.

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2020.40.5.565>

로 가이드 하는 데 어려움을 겪는다고 보고하였다(Beyer & Davis, 2008; McNeill & Knight, 2013; Pimentel & McNeill, 2013; Zangori *et al.*, 2013). McNeill & Knight(2013)은 교사들이 적절한 탐구 질문이나 논의를 포함하는 과학 수업 설계를 어려워하며, Pimentel & McNeill(2013)은 학생의 과학적 논의 참여를 유도하고 의사소통을 효과적으로 촉진하는 것을 교사들이 어려워한다고 보고하였다. 또한, Justi & Gilbert의 연이은 연구에서는 과학 및 과학 학습에서 모델의 가치와 역할에 대한 교사의 이해가 부족하고, 과학 수업에서 학생들이 모델을 구성하거나 사용하는 활동을 하는 경우가 거의 없다고 보고하였다(Justi & Gilbert, 2002a, 2002b). 또한, 모델의 구성 및 사용을 적용한 수업에서도 학생들이 모델을 만들면서 어떠한 개념을 형성하는지 교사들이 인지하지 못하고 효과적인 학습이 되도록 돕는 데 어려움을 겪는 경우가 있다고 보고되었다. Kang(2017)은 모델과 모델링에 관한 연수 프로그램에 참여한 대부분 교사가 모델을 과학 개념 표상의 도구로 여기지만 모델과 모델링이 새로운 지식 형성에 핵심적 역할을 한다는 것을 인식하는 교사는 절반 정도라고 보고하였다. Zangori *et al.*(2013)은 과학적 논의 기반 수업에서 학생들이 주장만 제시하였을 때 타당한 증거나 이유를 제시하도록 교사들이 지도하지 않았는데 이는 자료 분석 결과만으로는 주장을 뒷받침하지 못하며 적절한 이유를 사용하여 자료 분석 결과와 주장을 연결해야 한다는 것을 인식하지 못하기 때문이라고 하였다. 과학 실천 수업에 관한 교사 전문성 부족을 시사한 선행 연구들은 탐구 문제 형성, 모델 구성 및 사용, 과학적 논의 등 개별적 과학 실천에 초점을 두고 분석하여 보고해왔다(McNeill & Knight, 2013; Osborne *et al.*, 2013; Pimentel & McNeill, 2013; Zangori *et al.*, 2013). NRC(2012)는 각각의 과학 실천은 독립적이지만 서로 관련되어 있고 여러 과학 실천들을 결합하여 수행하면서 다양한 접근 방식을 사용하여 과학 지식의 형성 과정을 경험하는 것이 학생들의 과학 학습에 효과적이라고 설명하였다. 따라서 여러 과학 실천들을 통합적으로 수행하면서 과학 개념을 형성하도록 돕는 과학 실천 수업을 위해 교사가 어떠한 전문적 지식을 갖추어야 하는지 밝힌다면 과학 실천 수업의 효과적인 실행을 위하여 의미 있는 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

교사의 전문적 지식을 파악하기 위한 개념적 도구로 많은 연구자가 교과교육학적 지식(Pedagogical Content Knowledge, 이하 PCK)을 사용하고 있다(Magnusson *et al.*, 1999; Shulman, 1986). PCK는 다양한 수준과 맥락에 있는 학생들에게 특정한 교과 내용을 효율적으로 가르치기 위해 교사가 가지고 있는 실천적 지식으로 수업에 관한 교사의 전문성을 평가하는 중요한 기준이다. 과학교사의 PCK는 과학 교수 지향, 과학 교육과정에 관한 지식, 과학 교수 전략에 관한 지식, 학생의 과학 학습에 관한 지식, 과학 학습 평가에 관한 지식 등 몇 가지의 요소로 이루어져 있다고 합의되어 왔다(Magnusson *et al.*, 1999; Park & Oliver, 2008; Shulman, 1986; Tamir, 1988). Loughran *et al.*(2004)은 특정 주제에 대한 PCK를 파악하기 위한 도구로 CoRe(Content Representation)를 개발하고 이를 사용하여 입자 모형에 관한 교사의 PCK를 제시하였다. Van Driel *et al.*(1998)은 주제 특이적 PCK 연구 필요성을 주장하고 연수 프로그램에 참여한 과학교사 12명의 PCK를 분석하여 화학 평형에 관한 PCK를 밝혔다. 특정 주제의 과학 수업에 관한 교사의 전문적 지식이 무엇인지 구체적으로 보고한 여러 연구에서 PCK의 주제 특이적 특징이 밝혀져 왔다(Alonzo & Kim, 2016;

Park & Oliver, 2008). McNeill & Knight(2013)은 특정 과학 주제가 아닌 과학 탐구의 핵심적 영역으로 강조된 과학적 논의를 수업에 도입하기 위해 요구되는 교사의 PCK를 학생의 과학 학습에 관한 지식, 과학 교수 전략에 관한 지식 측면에서 밝힌 바 있다. 학생의 논의 이해에 관한 PCK로 교사들은 학생의 서면 논증에 포함된 논의의 구조적 요소에 관한 이해를 하고 있으나 학생 간 구두 논의에 관한 이해는 부족한 것으로 나타났다. 논의 교수 전략에 관한 PCK로 추론을 포함하는 과제 및 논의를 유발하는 적절한 탐구 질문 설계에 관한 교사들의 이해가 부족한 것으로 드러났다. McNeill & Knight(2013)의 연구는 과학적 논의 수업을 위해 교사에게 요구되는 전문적 지식이 있다는 것을 보여주며 이 지식이 무엇인지에 대한 실질적인 정보를 제공하였다. 이러한 관점에서 본 연구에서 과학 실천 수업에 관한 PCK를 요소별로 밝힌다면 교사가 과학 실천 수업을 위해 무엇을 알고 할 수 있어야 하는지에 관한 구체적인 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다(Park & Chen, 2012).

교사의 PCK는 교수 경험, 전문성 개발 기회 등을 통해 지속해서 변화할 수 있는 것으로 알려져 왔다(Magnusson *et al.*, 1999; Shulman, 1986). 교사의 전문적 지식과 역량을 강화하여 수업 개선을 도모하는 전문성 개발(Professional Development)은 주로 단기 워크숍이나 세미나 형태로 이루어져 왔다(Borko, 2004; Garet *et al.*, 2001). 이러한 전문성 개발 프로그램이 교사들의 요구 또는 수업에서 나타나는 실질적 문제에 효과적으로 대응하지 못하고 있다는 한계점이 지속해서 제기되는 가운데, 최근 교사학습공동체(Teacher Learning Community)가 전문성 개발을 위한 효과적인 대안으로 주목받고 있다(Hord, 1997; McLaughlin & Talbert, 2006). 교사학습공동체는 현장 교사들이 중심이 되어 교사 전문성 신장과 학생의 학습 개선을 위해 비판적 탐구와 협력적 실천을 지속하는 결속체로 전문학습공동체(Professional Learning Community), 전문가공동체(Professional Community), 실천공동체(Community of Practice) 등 다양한 모습으로 구현되고 있다(Seo, 2015). 교사들이 협력적 맥락에서 수업을 설계하고 실행한 뒤, 이에 대한 성찰을 반복하는 과정에 참여하는 것은 전문성 개발의 효율성을 높이는 것으로 보고되어왔다(Akerson *et al.*, 2007; Lin *et al.*, 2013; Louis *et al.*, 1996). Richmond & Manokore(2011)는 교사들이 탐구 수업을 설계하고 체계적이고 깊이 있는 성찰을 반복하는 과정이 교사들의 전문성 신장에 영향을 미쳤다고 하였다. 교사학습공동체에 관한 선행 연구들은 교사학습공동체 운영에서 드러나는 핵심 요인이나 수업의 실질적 변화를 분석하여 교사학습공동체의 실효성을 입증하였으며(Hord, 1997; McLaughlin & Talbert, 2006; Stoll *et al.*, 2006), 과학 탐구 수업을 위한 교사들의 전문성 신장을 위해 교사학습공동체가 효과적인 방법이 될 수 있음을 시사해 왔다.

교사학습공동체에 관한 선행 연구를 분석한 Vescio *et al.*(2008)에 따르면 과학 탐구 수업을 위한 교사 전문성에 대한 단편적 시사점을 제공할 뿐 교사학습공동체의 협력적 학습 맥락에서 구성된 교사의 과학 탐구 수업 관련 전문적 지식을 여러 가지 PCK 요소 측면에서 체계적으로 분석한 연구는 상대적으로 부족한 편이다. Richmond & Manokore(2011)은 과학 탐구 수업을 위한 전문학습공동체의 대화를 분석하여 교사들이 과학 탐구 교수 전략과 학생의 학습에 관해 어떠한 PCK를 협력적으로 구성하는지 보고하였다. 또한, McNeill & Knight(2013)은 과학적 논의에 관한 전문성 개발 프로그램에 참여한

교사들의 워크숍 토론 내용을 분석하여 교사들이 과학적 논의에 관해 구성한 PCK를 보고하였다. Richmond & Manokore(2011)와 McNeill & Knight(2013)의 연구는 교사의 PCK 요소 중 교수 전략에 대한 지식과 학생의 학습에 대한 지식 또는 과학 탐구에서 논증에 제한되어 있다는 한계점이 있으나, 교사들 간의 언어적 상호작용을 분석하여 공동체에서 어떠한 지식을 구성해 나가는지 밝혔다는 점에서 의의가 있다. Van Driel *et al.*(1998)도 워크숍과 5회의 토론 과정으로 구성된 연수 프로그램에 참여한 교사들의 대화를 분석하여 화학 평형에 관해 어떠한 PCK를 구성해 가는지 밝혔는데, 모든 연구 참여 교사들이 같은 PCK를 구성하는 것은 아니라고 주장하면서 각 교사가 구성한 PCK를 분석하고 이를 종합하여 화학 평형에 관한 PCK를 제안하였다. 사회적 구성주의에 따르면 구성원들의 사회적 상호작용 특히 언어적 상호작용을 통해 지식이 구성되고 협력적 맥락에서 구성된 지식은 개인의 내면화 과정으로 이어질 수 있다(Powell & Kalina, 2009; Von Glasersfeld, 1995; Vygotsky, 1962). Doise *et al.*(1975)이 주장한 바와 같이 사회적 상호작용이 존재하는 집단의 성과는 개인의 성과보다 우수하며, 집단의 성과는 내면화 과정을 거쳐 개인의 인지 발달로 이어져 사회적 상호작용이 없는 상황에서도 개인에 의해 다시 활성화될 수 있다. 이와 같은 관점에서 본 연구에서 탐색하는 과학 실천 수업 PCK는 교사들이 교사학습공동체에서 상호작용을 기반으로 한 협력적 탐구의 성과이며 지식(Powell & Kalina, 2009; Von Glasersfeld, 1995; Vygotsky, 1962)으로 볼 수 있으며, 이는 참여한 교사 개인의 내면화 과정으로 이어져 교사 개인의 PCK 발전으로 이어질 수 있을 것으로 사료된다.

이에 본 연구에서는 과학 실천 수업을 위한 교사학습공동체를 형성한 중학교 과학교사들이 1년간의 과학 실천 수업을 계획, 실행, 성찰을 반복하는 교사학습공동체 활동을 통해 과학 실천 수업에 관한 어떠한 PCK를 구성하였는지 알아보고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 참여자

본 연구에서는 중학교 과학교사로 재직하면서 과학교육학 박사학위 과정에서 연구 중인 본 연구 제1 저자가 동료 교사들과 동 대학원 재학 중인 현직 교사들에게 연구의 목적과 참여 방법을 소개하여 과학 실천 수업과 교사학습공동체 활동에 관심을 갖는 2명의 과학교사를 섭외하였다. 선정된 2명의 교사에게 추천받은 3명의 과학교사를 추가로 섭외하여 총 5명의 중학교 과학교사들이 본 연구에 참여하게 되었다. 연구 참여 교사 5명의 배경 정보는 Table 1과 같다. 연구 참여 교사의 교직경력(1년에서 10년 사이)으로 다양하고 민 교

사와 지 교사, 소 교사와 윤 교사는 각각 같은 학교에서 근무하고 있었다.

### 2. 교사학습공동체의 운영

교사학습공동체 모임은 2회의 워크숍을 포함하여 1년간 총 26회, 1회당 2~5시간 이루어졌으며 연구 참여자들이 날짜, 시간, 장소를 자율적으로 정하였다. 교사들은 워크숍에서 과학 탐구 수업의 핵심적 특징과 NRC(2012)에서 제시한 8가지 과학 실천을 배우고 이를 바탕으로 과학 실천 수업계획안을 개별적으로 작성한 후 교사학습공동체 모임에서 수업계획안을 함께 검토하였다. 교사들은 학생들이 과학 실천을 수행하면서 스스로 과학 개념을 형성하도록 수업계획안을 어떻게 수정하고 보완해야 하는지 토론하였다. 예를 들면, 교사가 과학 내용을 강의로 전달한 후 이를 확인하는 실험을 학생이 수행하는 기존의 과학 수업계획을 학생들의 자료 분석 및 해석과 증거 기반의 논의를 통해 스스로 핵심 개념을 구성하는 수업계획으로 수정하였다. 교사가 강의한 내용을 적용하여 연습 문제를 푸는 기존의 문제 풀이 중심 과학 수업을 학생들이 스스로 탐구 문제를 제기하고 모델을 사용하여 과학적 설명을 제시한 후 동료들과 논의하고 과학 서적과 교사가 제공하는 정보를 참고하여 올바른 과학 개념을 스스로 형성하도록 하는 과학 실천 수업으로 발전시켰다. 교사학습공동체 모임을 지속하면서 연구 참여 교사들은 수업 설계 전 교육과정 분석 토론하는 활동을 추가하고, 구글 드라이브에 과학 실천 수업 일기, 과학 실천 수업 녹화 영상 등을 업로드하여 공유하였다. 교사학습공동체 모임에서 교사들은 성공한 수업 경험뿐 아니라 실패 경험도 공유하면서 교수 목표, 효과적인 학습 증진 방법, 교사의 역할 등에 관해 성찰하는 시간을 가졌고 이를 다음 수업계획에 반영하였다. 또한, 과학 실천 수업 시 학생들의 다양한 반응, 돌발 상황 등의 문제에 효과적으로 대처하기 위하여 과학 실천 수업계획안을 시나리오 형식으로 함께 작성하는 등 세밀한 부분까지 점차 협력의 범위를 넓혀나갔다.

### 3. 자료 수집

#### 가. 사전 및 사후 설문과 면담 녹음

교사학습공동체 모임을 시작하기 전에 개방형 문항의 사전 설문과 면담을 통해 과학 탐구 및 과학 실천 수업에 관한 인식을 파악하였다. ‘과학 실천 수업’이라는 용어가 연구 참여 교사에게 생소하여 관련 경험을 진술하는 데 어려움이 있을 것으로 예상하여 ‘학생들이 탐구 문제를 제기하고 데이터의 의미를 파악하여 과학적 논의를 통해 스

Table 1. Background information of participant teachers

참여자	성별	전공	학력	근무 학교	담당학년	교직경력(년)
민 교사	여	생물	석사	A	중3	10
지 교사	여	화학	학사	A	중1	3
소 교사	여	물리	박사수료	B	중2	8
윤 교사	여	화학	학사	B	중2	1
정 교사	여	생물	학사	C	중2	1

스로 개념을 형성하는 데 초점을 두는 수업'이라고 설명해주었다. 교사학습공동체 참여 12개월 경과 후 사후 설문과 면담을 통해 과학 탐구 및 과학 실천 수업에 관한 인식, 과학 실천 수업 경험 및 과학 실천 수업에 관한 전문성 변화, 교사학습공동체의 기여도 등을 파악하였다. 설문은 '과학 실천이 어떠한 활동인지 설명해주시오', '선생님께서 했던 과학 실천 기반 수업 중에 기억에 남는 또는 성공적인 수업을 소개해 주시기 바랍니다.', '과학 실천 기반 수업을 위해 교사 학습공동체가 어떠한 점에서 도움이 되었다고 생각하십니까' 등 총 12문항으로 구성되었고, 연구 참여 교사가 각 설문 문항에 대한 응답을 충분히 서술할 수 있도록 설문지 한 페이지에 1~2 문항만 배치하였다. 연구 참여 교사의 이해를 돕기 위해 설문지 발송 전 연구의 목적과 필요성에 대하여 설명하고 연구에 관한 질의응답 시간을 충분히 가졌다. 연구 참여 교사의 요청에 따라 설문지는 전자 메일로 발신 및 수신하였고 충분한 시간을 가지고 답할 수 있도록 하였다. 수집된 설문지 응답 분량은 A4 편집용지 기준으로 사전 설문은 교사별 9쪽, 총 45쪽이고, 사후 설문은 교사별 8쪽, 총 40쪽이다. 설문 응답 내용의 의미를 명확히 파악하고 분석의 타당도와 신뢰도를 높이기 위해 설문 응답 내용에 기반하여 반 구조화된 문항으로 개별 면담을 시행하였다. 개별 면담은 설문 회신 일주일 내에 각 연구 참여 교사가 지정한 시간과 장소에 본 연구의 제1 저자가 방문하여 실시하였다. 교사별로 사전 면담은 30~60분, 사후 면담은 60~90분이 소요되었다.

#### 나. 교사학습공동체 논의 녹음 및 관찰 기록

본 연구에서는 협력적 교수 설계 및 성찰에서 드러나는 교사의 과학 실천 수업에 관한 전문적 지식을 파악하고자 모든 교사학습공동체 논의 내용을 녹음 및 전사하였다. 수집한 녹음 파일의 재생시간은 총 66시간 35분, 전사록 분량은 A4 편집용지 기준으로 총 895쪽이었다. 교사학습공동체 논의가 이루어진 맥락과 흐름을 파악하고자 본 연구의 제1 저자가 교사학습공동체 모임에 매번 참여하여 교사들의 논의 과정을 기록하였으며 총 관찰 기록 분량은 A4 편집용지 기준으로 202쪽이었다.

#### 다. 과학 실천 수업계획안 및 관련 수업 자료

본 연구에서는 수업계획안에 드러나는 과학 실천 수업에 관한 전문적 지식을 파악하기 위해 교사학습공동체 모임에서 논의된 과학 실천 수업계획안 및 관련 수업 자료를 수집하였다. 개당 A4 편집용지 기준으로 1~12쪽의 수업계획안이 총 73개 수집되었다.

#### 라. 과학 실천 수업 녹화 영상

본 연구에서는 과학 실천 수업에 관한 전문적 지식이 수업 실행에서 어떻게 드러나는지 파악하기 위해 연구 참여 교사가 구글 드라이브에 업로드한 과학 실천 수업 녹화 영상을 수집하였다. 연구 참여 교사가 카메라를 교실 전면 혹은 후면에 배치하고 교실의 전체적인 모습과 연구 참여 교사 자신의 교수 실행을 녹화하였고, 수집한 과학 실천 수업 녹화 영상은 총 86개로 개당 25~45분 분량이었다.

#### 마. 과학 실천 수업 일기

본 연구에서는 연구 참여 교사가 과학 실천 수업을 마친 후 자신의 수업에 대해 성찰하며 작성한 과학 실천 수업 일기를 수집하였다. 본 연구 참여 교사들이 모든 과학 실천 수업에 대해 수업 일기를 작성한 것은 아니며, 정해진 형식이나 분량 제한 없이 각자 자유롭게 작성하였다. 같은 내용의 수업에 대해 학급별로 수업 일기를 작성하기도 하였고, 여러 차시 진행한 수업에 대해 하나의 수업 일기를 작성하기도 하였다. 학생 활동 사진을 붙이고 교수 학습 과정을 상세하게 묘사하는 수업 일기를 작성하기도 하였고, 개당 1~10문장 분량으로 간단하게 수업 일기를 작성하기도 하였다. 수집한 과학 실천 수업 일기는 총 67개로 A4 편집용지 기준으로 71쪽 분량이었다.

#### 바. 과학 실천 수업 관찰 기록 및 수업 후 면담 녹음

본 연구에서는 각 연구 참여 교사의 학교에 학기당 1회, 연간 2회 방문하여 과학 실천 수업을 녹화 및 관찰하며 과학 실천 수업 내용, 교실 분위기, 과학 실천 교수 실행, 학생의 과학 실천 학습 결과를 기록하였다. 수업 관찰 후에는 교사가 실행한 과학 실천 수업에 관한 연구 참여 교사의 의도를 파악하고자 면담을 시행하였다. 연구 참여 교사가 과학 실천 수업을 적용하는 과정에서 겪는 어려움과 교사학습공동체를 통해 어떠한 도움을 받고 있는지도 질문하였다.

### 4. 자료 분석

본 연구의 자료 분석은 질적 내용 분석의 연역적 접근과 귀납적 접근 두 가지를 모두 적용하였다(Elo & Kyngäs, 2008; Patton, 2002). 선행 연구에서 제안된 PCK 요소의 이론적 틀에 기반하여 본 연구 자료를 연역적으로 분석하고, 다시 귀납적 분석을 통해 그 범주를 정교화하거나 수정하는 과정을 거쳐 자료를 코딩하였다. 이후 분석은 코드들을 더 큰 범주나 주제로 묶고, 연구 결과를 시각화하여 제시하는 질적 자료 분석의 일반적 절차에 따라 이루어졌다(Creswell, 2013; Miles & Huberman, 1994).

교사학습공동체에서 1년간 어떠한 활동이 이루어졌고 이를 통해 과학 실천 수업에 관한 어떠한 PCK를 구성하는지 알아보하고자 선행 연구에서 제안된 과학 교육과정에 관한 지식, 과학 교수 전략에 관한 지식, 학생의 과학 이해에 관한 지식, 과학 학습 평가에 관한 지식의 네 가지 PCK 요소를 참고하여 과학 실천 교육과정에 관한 지식, 과학 실천 교수 전략에 관한 지식, 학생의 과학 실천 학습에 관한 지식, 과학 실천 학습 평가에 관한 지식의 네 가지 범주를 연역적으로 구성하였다. 설문, 면담, 교사학습공동체 논의 전사 자료를 반복적으로 읽으면서 선행 연구의 PCK 및 PCK 요소의 정의에 근거하여 본 연구 교사의 PCK가 드러난다고 판단되는 부분을 추출하였다(Magnusson *et al.*, 1999; Park & Oliver, 2008; Shulman, 1986). 추출한 자료에서 드러나는 PCK가 연역적으로 형성한 네 가지 범주 중 어느 것에 포함되는지 분석 및 기술하였다(Aydin & Boz, 2013; Henze *et al.*, 2008; Park & Chen, 2012).

교사가 구성한 과학 실천 수업에 관한 PCK가 무엇인지 귀납적으로 분석하기 위해 심층 기술(thick description)을 적용하였다(Geertz,

1973). 심층 기술은 사례를 그 맥락, 의도, 의미와 함께 서술하는 해석적인 기술 방법으로 본 연구에서는 연구 참여 교사가 과학 실천 수업에 관련하여 무엇을 하고 있는지, 그 의도는 무엇인지, 이는 어떠한 지식을 드러내는 것인지 등에 대해 서술하였다. 심층 기술 내용의 신뢰성과 타당성을 높이기 위해 관련된 수업계획안 및 수업 자료, 수업 녹화 영상, 수업 일기 등 다양한 출처의 자료를 교차 분석한 결과를 함께 기술하였다. 기술한 내용을 검토하면서 자료 속에 함축된 의미에 적합한 주제나 용어를 드러내는 적절한 코드를 귀납적으로 생성하여 부여하였다. 연속적 비교 분석을 통해 생성한 코드들이 배타적으로 모든 자료 분석 결과를 포함하는지 확인하고 코드를 수정 및 명료화하였다. 교사학습공동체 활동을 1년 동안 한 본 연구의 교사들이 구성한 과학 실천 수업에 관한 PCK 요소 및 하위 요소는 Table 2에 제시된 바와 같다.

본 연구에서는 자료 분석의 타당성과 신뢰성을 높이고자 Lincoln & Guba(1985)가 제안한 장기 참여 및 지속적 관찰, 삼각검증법, 연구 참여 교사에게 의한 연구 결과 확인 방법을 사용하였다. 분석 결과를 과학 교육 전공 대학원생 2인과 함께 검토하고 과학교육전문가 1인과 지속적 논의한 후, 자료 분석 결과 중 일부를 연구 참여 교사별로 1~3회 면대면 혹은 전자 메일을 통해 전달 및 확인하여 자료 분석의 타당성과 신뢰성을 확보하였다.

### III. 연구 결과 및 논의

#### 1. 과학 실천 수업에 관한 과학 교육과정에 관한 지식

##### 가. 과학 실천 교육과정 자료에 관한 지식

교사학습공동체 활동을 통해 본 연구의 교사들은 과학 실천 수업을 위해 사용할 수 있는 교육과정 자료의 적절성 및 한계점과 오류를

판단하는 ‘과학 실천 교육과정 자료’에 관한 지식을 구성한 것으로 나타났다.

본 연구의 교사들은 학생 수준, 교육과정의 계열성, 교육과정 목표 등 여러 기준을 고려하면서 특정 교육과정 자료의 적절성을 논의하고 과학 실천 수업을 위한 교육과정 자료를 선정할 수 있는 지식을 구성하였다. 예를 들어, 교과서에 제시된 탄성력의 크기 측정 실험은 학생들이 아직 힘의 평형에 대하여 배우지 않아 탄성력이 물체의 변형된 길이에 비례한다는 개념을 여러 가지 과학 실천 수행을 통해 학습하기 어렵다고 판단하였다. 또한, 마찰력에 영향을 미치는 요인에 관한 탐구 활동은 학생들이 데이터를 분석하고 논의하는 과학 실천을 통해 마찰력에 영향을 미치는 요인에 관한 개념을 형성할 수 있는 활동이라고 판단하였다.

정 교사: 여기(교육과정 탐구 활동)에 탄성력의 크기 측정하기 실험이 나오는데

(중략)

지 교사: 중력과 탄성력이 평형이라는 것을 여기서 얘기를 안 했잖아요. 추의 개수에 늘어난 길이가 비례한다는 거에서 추의 무게는 아이들은 중력이라고만 생각하잖아요. 그 크기가 탄성력과 같다는 생각을 못 할 수 있잖아요. 그러니까 추의 개수만큼 탄성력이 생긴다고 생각 못 할 수도 있지 않아요?

(중략)

민 교사: 중력 방향을 탐구해서 알 수 있을까?

정 교사: 중력은 애들이 이미 초등학교 때 많이 배우니까...

지 교사: 이게 가능하다면 (마찰력) 이거든요... (나무 도막을) 가로로 놓고 하면...

(중략)

정 교사: 실제로 실험을 하면 접촉면의 크기에 따라 마찰력이 달라지죠?

민 교사: 달라지긴 해요. 데이터 주면 되죠

지 교사: 마찰력 이거 가능할 것 같아요

민 교사: 마찰력에 영향을 주는 요인

Table 2. PCK components and subcomponents for science practice-based instruction

PCK		과학 실천 수업에 관한 PCK		
요소	하위 요소	요소	하위 요소	설명
과학 교육과정	교육 과정 자료	과학 실천 교육과정	과학 실천 교육과정 자료	과학 실천 수업을 위한 교육과정 자료의 적절성 및 한계점과 오류를 판단하는 지식
	수평적 교육과정		핵심 개념 선정 및 교육과정 구조화	특정 주제의 핵심 개념을 선정하고, 핵심 개념 중심으로 수직적·수평적 교육과정을 구조화하는 지식
	수직적 교육과정		과학 실천 특이적 전략	과학 실천과 과학 실천 수업이 무엇이고 어떻게 이루어져야 하는지에 관한 지식. 또한, 이를 학생들이 이해하도록 돕는 전략에 관한 지식을 포함함
과학 교수 전략	과학 교과 특이적 전략	과학 실천 교수 전략	과학 실천 활동 선정 및 구조화 전략	특정 주제의 과학 실천 수업을 위한 적합한 활동을 선정하고, 선정된 과학 실천 활동을 구조화하는 지식
	주제 특이적 전략		과학 실천 학습 가이드 전략	특정 주제의 과학 실천 수업에서 학생들이 각 과학 실천을 수행할 수 있도록 가이드하는 지식
			과학 실천 선지식	과학 실천 수행을 위하여 학생들이 사전에 가지고 있어야 하는 지식이 무엇이고 얼마나 가지고 있는지에 관한 지식
학생의 과학 학습	학습을 위한 선지식	학생의 과학 실천 학습	과학 실천 수행 어려움	과학 실천 수행에서 학생들이 겪는 어려움에 관한 지식
	학습 동기		과학 실천 동기	과학 실천 학습에 대한 학생들의 흥미, 필요성 등 학습 동기에 관한 지식
	학생의 다양성		과학 실천 수행 다양성	학생들의 인지적 특성, 사회문화적 배경에 따른 과학 실천 수행 차이에 관한 지식
				과학 실천 학습 평가 내용
과학 학습 평가	평가 영역·내용	과학 실천 학습 평가	과학 실천 학습 평가 방법	과학 실천 학습을 평가할 수 있는 방법에 관한 지식
	평가 방법			

지 교사: 요인은 가능할 것 같아요. 재미있을 것 같아요. 이거는 애들이 (요인을) 다양하게 찾아서 논의하는 게 있으니까.  
(5월 29일 논의 전사록)

본 연구의 교사들은 교육과정 자료가 가진 한계점이나 오류를 구체적으로 판단하는 것으로 나타났다. 예를 들면 소 교사는 교과서의 학습 목표에 교육과정 문서에 제시된 핵심 개념이 누락되어 있다고 판단하였다.

소 교사: (교과서) 학습 목표가 내가 (마음에) 걸렸던 거는 그게 없잖아요. 체세포 분열이 뭔가에 대한 게 없어.  
(7월 23일 논의 전사록)

Bang & Choi(2016)는 예비 과학교사의 과학 탐구 수업계획 및 수행 과정을 분석한 연구에서 다양하고 방대한 과학 수업 자료 중 필요한 내용을 선별 및 체계적으로 조직하는 역량이 탐구 수업을 하는 교사에게 필수적이라고 주장하였다. 여러 선행 연구에서 교사의 교육과정 자료에 관한 지식을 과학 교수를 위하여 어떠한 교육과정 자료를 사용할 수 있고 국가 교육과정 자료의 내용과 순서가 어떻게 조직되어있는지에 관한 지식이라고 보고한 것과 다르게(Schneider & Plasman, 2011), 본 연구의 교사들이 단순히 자료의 종류를 파악하는 것뿐만 아니라 과학 실천 수업에 활용할 수 있는 적절한 자료를 선정하고 교육과정 자료에 어떠한 한계점이나 오류가 있는지 파악하는 지식을 구성한 것으로 나타난 것은 매우 고무적이다. 교사학습공동체에서 다양한 종류의 교육과정 자료 중에 과학 실천 수업을 위해 적절한 것을 선정하기 위하여 논의한 과정이 본 연구 교사들의 과학 실천 교육과정 자료에 관한 지식 구성에 기여한 것으로 사료된다.

나. 핵심 개념 선정 및 교육과정 구조화에 관한 지식

본 연구의 교사들은 특정 주제에서 학생들이 학습해야 하는 핵심 개념을 선정하고 수직적 혹은 수평적 교육과정을 유기적으로 구조화하는 ‘핵심 개념 선정 및 교육과정 구조화에 관한 지식’을 구성하였다(Loughran et al., 2004). 즉, 특정 주제에서 수평적으로 나열된 교육과정을 분석하여 학생들이 학습해야 하는 핵심 개념을 선정하고, 관련된 내용 간 논리적 관계, 유기적 계열성, 중요도 등을 고려하여 교육과정을 재구조화하는 지식을 구성한 것이다. 예를 들면, 본 연구의 교사들은 생식과 발생 단원의 세포 분열에 관한 성취 기준 ‘체세포 분열과 생식세포 분열의 특징을 염색체의 행동을 중심으로 비교한다.’를 분석하여 ‘체세포 분열의 단계별로 염색체가 형성, 배열, 이동, 분리되며 유전적으로 같은 세포가 형성된다.’가 핵심 개념이라고 합의하였다.

소 교사: 나는 이걸[염색체의 행동] 좀 구체적으로 서술하면 어떻게 생각이 드는데

민 교사: 그냥 이렇게 행동이라고 하지 말고요? 그러니까 염색체가 만들어지고, 유전 물질에서 염색체가 만들어지는 단계  
(중략)

민 교사: 유전 물질이 복제가 되서 각각이 이렇게 응축해서 염색체가 만들어지는 것, 염색체의 형성, 배열, 이동, 분리의 각 단계의 특징을 아이들이 이해해야 하는 것이 핵심 내용이라고  
(중략)

소 교사: 한 마디로 체세포 분열이라는 게 뭐냐 했을 때 얘기를 할 수 있어야 되는 거죠. 유전 물질이 복제돼서 두 개 체세포에 똑같이 나누어지는 거잖아. 그게 핵심 아이디어인거 같아요. 동일한 유전정보가.  
(7월 23일 논의 전사록)

또한, 이 핵심 개념을 학생들이 형성하려면 염색체와 유전 물질에 관한 정보가 선수 학습 내용이어야 한다고 논의하고 수업을 계획하였는데, 이는 핵심 개념을 중심으로 학습 내용이 계열성을 가지도록 수평적 교육과정을 구조화한 것으로 볼 수 있다.

소 교사: 세포가 있고 이 핵 속에 유전 물질들 이걸 설명해줘야 되는 거죠.

민 교사 네, 앞 시간에 그래서 이게 복제돼서 뭉쳐있다가 이렇게 나눠지고 염색분체가 생기는 거까지.  
(7월 23일 논의 전사록)

또 다른 예로 식물의 구조와 기능 단원에서 광합성과 관련하여 교사들은 ‘빛을 통해 영양분을 합성하며 광합성의 재료로 이산화탄소와 물이 사용되고 광합성 결과 산소가 생성된다’를 핵심 개념으로 선정하였다.

소 교사: 빛을 가지고 포도당, 녹말과 같은 영양분을 만든다, 어때? 광합성 자체를..

지 교사: 빛에너지를 이용하여 포도당이라는 건 영양분, 영양분을 만들어 낼 수 있음을 설명할 수 있다.  
(중략)

지 교사: 이걸 메인으로 전체 (반응)식이 나오도록 해서 광합성 전체 과정을 이해하는 것까지 하는 게 더 좋을 것 같아요.  
(7월 29일 논의 전사록)

핵심 개념을 선정한 후 소 교사와 지 교사는 교과서에 제시된 순서를 따르지 않고 핵심 개념을 중심으로 내용의 논리적 연계를 고려하여 여러 탐구 활동들(A~D)의 순서를 재구조화하였다.

지 교사: 이 두 가지 실험[A, B]으로는 이산화 탄소가 필요하구나라는 걸 알 수 있고, 그 다음에 여기[C]서는 빛에너지가 필요하구나, 그 다음에 (D에서는) 아 산소가 나오는구나 이것들을 알면 이 (광합성) 식이 나오잖아요.  
(중략)

소 교사: 어쨌든 광합성의 가장 핵심은 광이니까 애[C]를 먼저 하고 빛이 있어서 이제 포도당 만든다고 확인하고 그래야지 그 다음에 이걸[A] 해야 할 거 같아.  
(8월 8일 논의 전사록)

또한, 교과서에는 식물의 구조와 기능 이후에 광합성이 제시되어 있지만 본 연구의 교사들은 이 두 주제의 순서를 바꾸어 수업을 계획하였다. 즉, 광합성에 관해 학습한 후 광합성에서 생성된 물질의 이동과 뿌리, 잎, 줄기 등 식물의 구조와 기능을 연결하여 학습하도록 하였다. 이는 ‘빛을 통해 영양분을 합성하며, 광합성의 재료로 이산화탄소와 물이 사용되고 광합성 결과 산소가 생성된다.’는 핵심 개념을 중심으로 개념 체계를 형성하도록 단원 내용을 재구조화한 것이다.



지 교사: 광합성에서 물과 이산화 탄소에 빛에너지가 들어오면 포도당과 산소가 나온다는 걸 빅아이디어라고 했을 때 물은 그러면 어디서 와야 할까 이렇게 해서 거꾸로 가려고 했었거든요.

(중략)

자 교사: 물은 어디서 와야 할까? 뿌리에서 오고, 그 다음에 이산화 탄소와 산소는? 잎을 통해서 움직인다, 그 다음 포도당은? 줄기를 통해서 움직인다고 이끌어내서 뿌리 설명하고, 줄기, 그 다음에 잎을 설명하려고 했거든요.

(8월 8일 논의 전사록)

또 다른 예로 민 교사는 학생들의 궁금증을 유발하는 자료를 선정하고 핵심 개념 이해 및 과학 실천 수행을 위한 수업을 설계하려면 교사가 특정 과학 주제의 교육과정에 관한 구조화된 지식 체계를 가지고 있어야 한다고 주장하였다.

핵심 개념을 가르치기 위해서 그 주변의 배경이 될 수 있는 지식들, 여러 가지 작은 개념들, 또는 이보다 더 상위의 개념들, 하위의 개념들이 잘 짜여져 있어야 과학 실천을 잘 수 있는 것 같아요. (중략) 어떻게 해서 궁금하게 만들어야 하는지 또 그리고 나서 아이들이 궁금한 것을 어떻게 해결하는 방법으로 흘러갈 수 있도록 어디에다 길을 터 줄건지. 어느 쪽에 길을 터 줘야 아이들이 잘 사고가 흘러가서, 목표에 도달할 수 있을지. 그런 단계 단계.

(민 교사 2월 26일 사후 면담 전사록)

본 연구의 교사들은 논의한 과학 주제의 핵심 과학 개념에 관해 구조화된 지식 체계를 가지고 있는 것으로 드러났다. 본 연구의 교사들이 핵심 개념 선정 및 교육과정 구조화에 관한 지식을 구성한 것은 교사학습공동체에서 교사들이 협력적으로 과학 실천 수업을 설계하고 토론한 결과로 사료된다. 즉, 교육과정 내용 중 핵심 개념이 무엇인지 명확하게 파악하고, 과학 실천을 통해 형성할 핵심 개념에 관한 목표를 설정하고, 핵심 개념과 관련된 개념들을 파악하기 위한 교사 학습공동체 토의 활동이 교사들의 핵심 개념 선정 및 교육과정 구조화에 관한 지식 구성에 기반이 된 것으로 사료된다.

## 2. 과학 실천 교수 전략에 관한 지식

### 가. 과학 실천 특이적 전략에 관한 지식

본 연구의 교사들은 선행 연구에서 제시된 과학 교과 특이적 전략에 관한 지식(Magnusson *et al.*, 1999; Park, 2007)에 해당하는 ‘과학 실천 특이적 전략에 관한 지식’을 구성하였는데 이는 과학 실천과 과학 실천 수업이 무엇이고 어떻게 이루어져야 하는지에 관한 지식 그리고 학생들이 이를 이해하도록 돕는 전략에 관한 지식을 포함한다.

다음의 예는 지 교사가 8가지 과학 실천 중 과학적 설명과 증거 기반의 논의가 무엇이고 어떻게 이루어져야 하는지에 관한 지식과 학생들이 이를 이해하도록 돕는 전략에 관한 지식을 가지고 있음을 드러낸다. 지 교사는 수업 도입 부분에서 주장, 근거, 증거, 이유가 무엇인지 명시적으로 설명해줄 뿐 아니라, 학생들이 다양한 주장을 논의하고 합의하는 과정에서 주장을 뒷받침하는 타당하고 정확하며 충분한 근거를 제시하도록 가이드 하는 전략을 사용하였다.

지 교사: 주장이라고 하는 것은 질문에 대한 답이에요. 그 답이 나오기까지는 어떤 증거가 있어야 될 거 아니야. 이게 답인지에 대한 설명이 있어야 될 거 아니에요. (중략) 근거 안에는 증거와 이유가 들어있는데 증거는 나의 주장을 뒷받침해줄 수 있는 실험적 데이터구요, 이 실험적인 데이터가 나의 주장과 어떤 관계가 있는지 설명하는게 이유죠.

(지 교사 3월 31일 광물의 종류 수업 영상 전사록)

지 교사: 지난 시간에 관찰 결과에 따라서 광물의 이름을 주장해보고 그거에 대한 증거를 썼어요. 그치? 이제 조원들끼리 합의를 해서 주장과 그러니까 광물의 이름이 되겠죠. 광물의 이름과 그거의 증거를 한 번 적어볼까요. 자 그런데 1번 같은 경우에 나는 방해석이라고 했어. 근데 상대방은 석고라고 했어요. 그러면 두 개 의견의 합의점이 있어야 되지? (중략) 내가 써놓은 나의 증거를 가지고 상대방을 설득하는 거예요. 만약에 의견이 같다 그러면 나의 증거가 타당한지 조원의 증거가 타당한지를 비교해보시고 타당성 있는 것만 쓰시면 되요. 그리고 더 추가할 것이 있는지도 한 번 보시고. 여러분이 관찰한 것이 다섯 가지이기 때문에

학생 2: 다섯 가지여야 되요? 한 가지면 안되요?

지 교사: 다섯 가지면 더 좋죠. 한 가지보다는. 더 많을수록

(지 교사 4월 6일 광물의 종류 수업 영상 전사록)

지 교사: 우리는 어떤 주장에 대한 뒷받침으로 근거를 내세울 때는요 첫 번째, 여러분들 아까 상상에 맡겼던 거 말고, 실험 데이터를 근거로 하셔야 되구요, 두 번째로는 더 자세히 설명해줄 수 있으면 더 자세히 설명해주는게 훨씬 좋아요. 예를 들면 숫자로 구체적으로 설명해주는 게 훨씬 더 탄탄한 증거가 될 수 있어요. 자 그 다음에 세 번째로는 여러분들이 말한 것처럼 많은 증거 더 많은 근거가 있다면 제시해 주는 게 좋아요. 올바른 정확한 것으로 추가적으로 많아진다면 탄탄한 주장, 탄탄한 근거가 될 수 있겠죠.

(지 교사 7월 19일 여러 가지 운동 수업 영상 전사록)

본 연구의 교사들은 학생들에게 선택한 데이터가 어떻게 주장을 뒷받침하는 증거가 되는지 설명하도록 유도하고, 학생들이 주장, 증거, 이유의 차이를 명확히 구분하고 증거의 역할과 요건을 이해할 수 있도록 상세한 가이드를 제공할 수 있었다. 과학적 논의에 관한 여러 선행 연구는 교사들이 자료 분석과 증거 기반 설명 제시의 차이를 구분하지 못하거나 과학적 설명에서 증거의 역할과 조건에 대한 이해가 부족하다고 보고해왔다(Beyer & Davis, 2008; Sampson & Blanchard, 2012; Zangori *et al.*, 2013). Beyer & Davis(2008)와 Sampson & Blanchard(2012)에 따르면 과학교사들이 과학적 논의를 형성하거나 평가할 때 과학적 증거에 기반을 둔 추론보다는 기존에 알고 있는 지식에 근거하는 경우가 많았고, Zangori *et al.*(2013)에 따르면 교사가 학생들에게 주장에 대한 근거를 제시하기보다는 주장을 자세하게 설명하기를 요구한다고 보고하였다. 반면 본 연구의 교사들이 과학적 설명을 구성하는 주장, 증거, 이유가 각각 무엇인지, 증거는 어떠한 요건을 갖추어야 하는지, 그리고 주장과 증거의 관계 등에 관한 지식을 구성하였다는 것은 매우 고무적이다.

본 연구의 교사들은 탐구 문제 만들기, 실험 설계 및 수행 등의 과학 실천에 관해서도 ‘과학 실천 특이적 전략에 관한 지식’을 구성하였다. 예를 들면, 윤 교사는 교사학습공동체 논의에서 탐구 문제는

막연한 궁금증이 아니라 “수업 목표에서 알아내고 싶은 것”에 관한 내용이어야 하고, 탐구 문제를 해결함으로써 학생들이 목표한 과학 개념을 형성할 수 있는 내용으로 탐구 문제를 만들어야 한다는 지식을 가지고 있었다. 소 교사도 탐구 문제는 학생들이 직접 해결할 수 있는 내용으로 변인 사이의 관계를 탐구하는 등 구체적이고 명료한 것이어야 한다고 설명하였다.

Asking Question? 음... 궁금증을 갖는 것. 그런데 그 궁금증이 뜬구름 잡는 막연하고 허황된 것이 아니고 좀 구체적이고, 탐구 가능하고, 그러니까 진짜로 답을 알아낼 수 있는 그런 궁금증을 갖는 것? (중략) 문제에 변인들의 관계가 나와야 하고 그렇게 구체적으로 문제가 나와야 된다.  
(소 교사 2월 25일 사후 면담 전사록)

소 교사와 윤 교사는 탐구 문제가 무엇이고 어떠한 형태, 어떠한 수준으로 형성되어야 하는지 학생들에게 명시적으로 설명하여 질문 만들기가 무엇이고 어떻게 해야 하는지 학생들이 이해할 수 있도록 도왔다.

그 다음 시간에는 질문을 바꿔요. ‘오늘 너희가 무엇에 대해서 공부하고 싶은지 써보자.’로 질문을 바꿔요. 그렇게 해서 썼는데, 내가 원하는 탐구 문제가 제대로 안 나와요. 그 때도 잘. 그래서 ‘애들아 이제부터는 탐구 문제를 쓸 때는 뒤에를 의문형으로 만들어줘.’ (중략) ‘애들아 탐구 문제는 의문형으로 만들고, 의문사를 하나를 넣고, 무조건 한 문장으로 만들어봐’  
(윤 교사 2월 28일 사후 면담 전사록)

또한, 본 연구의 교사들은 1년간의 교사학습공동체 활동을 통해 과학 실천 수업이 무엇이고 어떻게 이루어져야 하는지에 관한 지식을 구성하였다. 사후 면담에서 소 교사는 8가지 과학 실천 중 일부를 적용한 수업을 할 수 있다고 하였고, 지 교사와 윤 교사도 무조건 모든 과학 실천을 적용하기보다는 목표한 과학 개념 형성이나 탐구 문제 해결에 어떠한 과학 실천이 가장 적절한지 판단하여 선택하고 할 수 있다고 설명하였다. 즉, 본 연구의 교사들은 목표한 개념을 학생 스스로 구성하게 하려고 8가지 과학 실천 중 적절한 것을 선택적으로 적용하여 과학 실천 수업을 할 수 있는 것으로 나타났다.

학생들이 이 (주제에 대한) 의미 구성을 하는데 있어서 필요한 활동인지 아닌지를 구별하는 게 맞는 것 같아요. 필요 없는데 굳이 넣어서 괜히 아이들이 헛갈리게 하고, 흐름을 방해한다면 그 활동은 굳이 넣지 않는 것이 좋은 것 같아요.  
(지 교사 2월 28일 사후 면담 전사록)

또한, 본 연구의 교사들은 과학 실천 수업은 목표한 과학 개념 형성을 위해 각 과학 실천이 유기적으로 연계되도록 설계해야 한다고 하였다. 윤 교사는 여러 과학 실천이 서로 유기적으로 연계되어 이루어지지 않으면 학생들의 과학 학습이 제대로 이루어지지 않는다고 설명하였다. 민 교사는 과학 실천 수업은 학생들이 8가지 과학 실천을 수행하여 목표하는 과학 개념 형성하도록 하는 수업이며, 목표하는 과학 개념 형성을 위해서는 개별적 과학 실천들이 논리적으로 연계되도록 설계해야 한다고 하였다.

과학 실천 수업은 우리가 그 여덟 가지 요소들을 가지고 짜잖아요. 여덟 가지 요소를 가지고 짜는 목표는 아이들이 탐구를 하게 만들기 위해서잖아요? 탐구를 하게 만든 이유는 아이들이 개념 형성을 하도록 하기 위해서였고. (중략) 아이들이 개념 형성이 이루어지도록 서로 논리적으로 연결되게 요소들의 논리적인 흐름을 짜요.  
(민 교사 2월 26일 사후 면담 전사록)

본 연구의 교사들은 과학 실천 수업에서는 각 과학 실천을 하는 학생들이 서로 논의를 통해 합의하는 과정이 중요하다고 하였다. 윤 교사는 각 과학 실천이 이루어지기 위해서는 학생들의 논의를 통한 합의가 필요하다고 주장하고, 질문 만들기, 과학적 설명 형성, 모델 제시 및 사용에서 어떠한 논의가 이루어지는지 설명하였다. 민 교사와 정 교사도 개별적 과학 실천은 모두 학생들이 서로 논의하며 답을 찾아가는 과정에 기반을 둔다고 하였다.

각각의 단계에서 논의가 필요하다는 것을 알게 된 것 같아요. 수업을 해보니까 논의 과정 없이 되는 것이 없더라고요. (중략) 학급의 탐구 문제를 정하려면 그것에 대해서 어느 정도 아이들의 합의가 있어야 할 거 아니에요. 그럼 그 합의를 이끌어내기 위해서 논의 과정이 필요해요. 탐구 문제에 대한 주장과 근거를 쓸 때도, 이 주장이 맞냐 저 주장이 맞냐 아이들끼리 이야기를 한단 말이에요? 그 과정에서 논의가 필요하구요. 그 다음에 모델링을 해요. 이 모델이 맞냐 저 모델이 맞냐.  
(윤 교사 2월 28일 사후 면담 전사록)

과학 탐구 수업이 문제 인식부터 결론 도출까지 일련의 고정된 절차를 단계적으로 수행하는 실험 수업 혹은 가설 검증 과정이라고 교사들이 인식한다는 선행 연구(Chinn & Malhotra, 2002; Demir & Abell, 2010; NRC, 2012)의 보고와는 대조적으로 본 연구의 교사들은 과학 실천 혹은 과학 탐구를 일련의 고정된 절차로 인식하지 않고 필요에 따라 적절한 것을 선택적으로 적용한다는 것과 일련의 과학 실천들을 수행하기만 하면 되는 것이 아니라 여러 과학 실천 간 유기적 연계성을 구축하는 것이 목표한 과학 개념 형성을 위해 중요하다는 지식을 가지고 있었다. 또한, 실험 수행, 자료 수집 등 조작 활동보다 과학 실천의 각 단계에서 이루어지는 학생 간 논의의 중요성에 관한 지식을 가지고 있었다.

#### 나. 과학 실천 활동 선정 및 구조화 전략에 관한 지식

본 연구의 교사들은 선행 연구에서 제시된 주제 특이적 전략에 관한 지식(Magnusson *et al.*, 1999; Park, 2007; Schulman, 1987)에 해당하는 ‘과학 실천 활동 선정 및 구조화 전략에 관한 지식’ 즉, 학습 주제의 특성을 고려한 과학 실천 수업을 위해 적합한 과학 실천 활동을 선정하고, 목표와 활동 간 논리적 연계를 정교하게 구축하여 선정된 과학 실천 활동을 구조화하는 지식을 구성한 것으로 나타났다.

민 교사와 소 교사는 운동하는 물체의 속력과 방향을 분석하여 운동 상태를 설명하는 학습 목표 달성을 위해 ‘과학적 설명 구성’ 실천을 선정하였고, 교사학습공동체에서 논의를 통해 ‘운동 상태는 어떠한가?’의 탐구 주제를 속력과 방향 각각에 대한 탐구 문제로 세분화하여 각 탐구 문제에 대한 과학적 설명을 주장, 증거, 이유로 서술하도록 과학 실천 활동을 구조화하였다.



민 교사: (목표가) 다중 섬광 사진을 이용해서 물체의 속력과 방향을 알아내는 거라면 굳이 표나 그래프를 그리지 않고 사진만 봐도 할 수 있을 것 같은데?

소 교사: 질문이 '운동 상태는 어떠한가?' 이게 약간. 그걸 주장, 근거로 하면. 주장, 그걸 왜 그렇게 생각하는지에 대해서..

(중략)

소 교사: 속력이랑 운동 방향에 대해서 수업을 하고 싶는데 그래프 그리기에 초점을 두신 건... (적절한) 논의 주제는 아닌 거죠. (중략) 그래프에 시간을 뺏기게 되겠고 그래서 그런 거죠.

(5월 29일 논의 전사록)

대기권의 층상 구조 수업에서 소 교사가 '탐구 문제 만들기' 실천을 선택한 후, 본 연구의 교사학습공동체 교사들은 목표한 핵심 개념에 관련된 궁금증과 호기심이 유발될 수 있도록 대기권에서 관찰되는 현상을 높이와 연결 지어 제시하고, 대기권에서 관찰되는 현상이 높이에 따라 달라진다는 것을 학생들이 인식할 수 있도록 특정 현상이 나타나는 높이를 추정하는 활동을 조직하여 높이에 따라 무엇이 달라지기 때문인지 궁금증을 갖도록 유도하였다. 즉, 본 연구의 교사들은 학생들에게 제시할 자료의 종류와 순서 및 과학 실천 등을 치밀하게 계획한 것이다.

민 교사: 말씀하신 것처럼 저도 날씨, 오로라, 유성, 하늘이 파랗다 이런 여러가지 현상들을 여기서 풀어가고

정 교사: 근데 높이에 따라 다른 특징이 나타나는 것까지는 제시를 해주어야 학생들이 알지 않을까요? 높이에 따라서 다른 현상이 일어난다는 걸 교사가 제시를 해야지 애들이 구체적으로 뭐가 다를까...

(중략)

소 교사: 처음에는 구름은 몇 키로에 생기고 (비행기는) 몇 키로에서 날아. 한 다음에 오로라는 몇 키로에서 생길까..? 이런 얘기가 다 보면 개는 왜 그 높이에서 생겨요? 이런 얘기 나올 것 같아.

(8월 1일 논의 전사록)

본 연구 교사들은 특정 주제의 과학 실천 수업을 위해 선정된 각 과학 실천에 포함되어야 하는 내용을 구체적으로 설정하여 과학 실천 활동을 좀 더 정교하게 구조화하는 '과학 실천 활동 선정 및 구조화 전략에 관한 지식'을 구성한 것으로 나타났다. 본 연구 교사들은 학생들이 과학 실천을 통해 핵심 개념을 형성하도록 하는 최적의 탐구 질문 내용을 설정할 수 있었는데 이러한 지식은 탐구 질문과 핵심 개념의 논리적 연계성을 세심하게 살펴서 단어와 어구 등을 지속해서 수정 및 재설정하는 교사학습공동체 논의에 기반을 두어 구성된 것으로 사료된다. 예를 들면 광합성 단원에서 식물은 빛에너지를 이용하여 영양분을 만들어 낼 수 있다는 핵심 개념(주장)을 학생들이 제시하도록 유도하기 위해 교사들은 처음에 제안된 '빛에너지가 필요할까?' 라는 탐구 문제를 논의를 거쳐 '식물이 영양분을 만들어내기 위해서는 무엇이 필요할까?'로 수정하였다.

지 교사: (결론은) '식물은 빛에너지를 이용하여 영양분을 만들어 낼 수 있다' 이거잖아요. 그럼 애들이 '빛에너지가 필요할까?'가 문제 제기여야 하잖아요. 그러면 여기에 '흙과 물 이외에 무엇이 있어야 할까?'가 문제 제기 아니에요?

소 교사: 문제 제기가... 빛이, 빛이 있어야, 빛이 영양분을 만드는 게...

'빛이 영양분을 만들까?'

지 교사: 애들이 '식물이 빛에너지를 이용하여 영양분을 만들어낼 수 있을까?' 아니, '식물이 영양분을 만들어내기 위해서는 빛에너지가 필요할까? 무엇이 필요할까?' 이게 되어 빛에너지라는 말이 나오죠.

(8월 8일 논의 전사록)

또한, 본 연구의 교사들은 탐구 문제에 대한 답으로 학생들이 어떠한 과학적 설명 즉, 주장과 증거 및 이유를 제시해야 하는지 정교하게 설정하였다. 예를 들면 지 교사는 학생들에게 빛의 유무에 따른 녹말 생성 여부를 아이오딘 반응을 통해 확인하는 실험 영상을 제시하였을 때, 주장을 뒷받침하는 증거와 이유로 관찰되는 아이오딘 반응 결과와 아이오딘 반응 결과의 의미를 포함해야 한다는 것을 수업계획안에 명시하였다. 즉, 지 교사는 실험 결과를 단순히 제시하는 것이 아니라 실험 결과가 주장을 어떻게 뒷받침하는지 증거와 이유를 포함하여 서술할 수 있었다.

주장: 식물이 양분(녹말)을 스스로 만들어 내기 위해서는 빛에너지가 필요하다.

근거: [증거] 아이오딘-아이오딘화 칼륨 용액을 떨어뜨렸을 때 나뭇잎의 빛을 받은 부분은 청람색으로 변했지만 빛을 받지 않은 부분은 색이 변하지 않고 원래 시약의 색이었다. [이유] 아이오딘-아이오딘화 칼륨 용액의 색이 붉은색에서 청람색으로 변했다는 것을 통해 녹말이 있음을 알 수 있다.

(지 교사 광합성에 필요한 요인 수업계획안)

본 연구의 교사들은 학생들이 제시하는 과학적 설명이 탐구 문제에 대한 답인 주장이어야 하고, 주장을 뒷받침하는 증거가 있어야 하고, 증거가 어떻게 주장을 뒷받침하는지 설명할 수 있어야 한다는 등 논리적 구조를 갖추어야 한다는 지식을 가지고 있었고, 선정 및 구조화된 과학 실천 활동에 맞게 교육과정 내용을 주장, 증거, 이유로 구분하여 논리적으로 연계하는 지식을 구성한 것으로 사료된다. Roehring & Luft(2004)는 과학 탐구 수업을 하기 위해서는 학습 내용을 선택하고, 탐구 활동으로 변환해야 하므로 교사에게 더 깊고 고도로 구조화된 교과 지식을 요구된다고 하였다. 본 연구의 교사들이 구성한 과학 실천 활동 선정 및 구조화 전략에 관한 지식이 학습 내용을 과학 실천 활동으로 변환하는 지식뿐만 아니라 선정된 과학 실천 활동들이 논리적으로 연계될 수 있도록 구조화하는 지식까지 포함하고 있다는 것은 매우 중요한 의미가 있다. 본 연구의 교사들은 교사학습공동체를 통해 협력적으로 설계한 과학 실천 수업계획안을 적용하면서 학생들의 학습 과정을 관찰하고 어떻게 수업을 개선할 것인지 토론하고 성찰하는 과정을 반복하였고, 이러한 성찰을 통해 학생의 수준에 비해 많은 수의 과학 실천을 적용하거나, 각 실천 간 논리적 연계가 부족하거나, 학생들의 논의가 잘 이루어지지 않을 때 과학 실천 수업이 잘 이루어지지 않는다는 것을 알게 되었다. 이에 교사들은 특정 주제를 위한 과학 실천 수업 설계 시 과학 실천 활동들이 적절하게 선정되었는지 교사학습공동체 논의를 통해 협력적으로 검토하고 선정된 과학 실천들이 서로 연계되는지 중점적으로 논의하면서 교사 혼자 설계했을 때 미처 발견하지 못했던 미진한 부분을 파악하여 치밀하게 과학 실천 활동 선정 및 구조화할 수 있었던 것으로 사료된다.

다. 과학 실천 가이드 전략에 관한 지식

본 연구의 교사들은 목표하는 과학 실천을 학생들이 수행하도록 어떠한 가이드를 제공해야 하는지 학생의 반응을 고려한 시나리오를 계획할 수 있을 뿐 아니라 실제 수업 현장에서 학생의 반응에 민감하게 대응하며 가이드 할 수 있는 지식 즉, 과학 실천 학습 가이드 전략에 관한 지식을 구성한 것으로 나타났다.

예를 들어, 본 연구 교사들은 체세포 분열 동영상 자료를 분석하여 체세포 분열과정을 몇 단계의 모형으로 표현하는 과학 실천 활동을 포함한 체세포 분열 수업을 계획하면서, 학생들이 체세포 분열과정을 관찰하여 특징을 포착하여 몇 개의 단계로 구분할 수 있도록 가이드 하기 위한 일련의 발문 및 예상 응답 시나리오를 조직할 수 있었다. 염색체들이 뭉쳐지고, 가운데로 모이고, 다시 나누어지는 단계별 특징을 학생들이 자료에서 찾아 설명할 수 있도록 장면의 차이나 변화를 묻는 발문을 설계하고 응답을 예상할 수 있었다.

지 교사: 선생님, 그러면 만약에 찾지 못하는 아이들한테는 어떻게 질문하실 거예요?

민 교사: 이거 어때요? ‘맨 첫 장면과 끝 장면의 차이가 뭐니?’, ‘애는 하나고 애는 두 개요.’ ‘애가 어떻게 해서 두 개가 됐을까?’ 그럼 ‘나뉘졌어요.’ ‘나뉘졌어요’라고 하겠죠?

(중략)

민 교사: ‘어떻게 하나가 둘이 됐을까?’ 뭐 ‘위, 아래로 나뉘졌어요’, ‘양쪽으로 끌려갔어요’라는 말이 나올 거예요. 그러면 ‘어디서 어디로 갔는데?’라고 물어보면 애들이 ‘가운데서 위 아래요’, ‘가운데서 양끝으로요’라고 하지 않을까?

지 교사: 너무 폐쇄적으로 질문하는 거 같아요. 어디서 어디라고 하면 답이

(중략)

민 교사: 어떤 과정이 있었니?

지 교사: 오, 그렇지. ‘어떤 과정으로 나누어졌니?’ 그러면 뭐 ‘끌려갔어요’ 아니면 ‘위에, 위아래로 나뉘졌어요’

(중략)

지 교사: 꼭 맞는 말만 대답할 건 아니잖아요. 그러니까 그 친구는 ‘여기서 직접 갔어요’라고 할 수도 있잖아요.

(7월 23일 논의 전사록)

본 연구의 교사들이 이러한 과학 실천 학습 가이드 전략에 관한 지식을 구성할 수 있었던 것은 교사학습공동체에서 특정 주제의 과학 실천 수업에서 선정 및 구조화한 각 과학 실천 활동을 학생들이 수행하도록 돕기 위해 학생들에게 어떠한 발문을 하고 학생들이 어떠한 응답을 할지에 관한 교사-학생 상호작용 시나리오를 함께 작성하였기 때문으로 보인다. 시나리오 작성을 위해 교사들은 학생들이 각 과학 실천을 수행하기 위하여 어떤 것을 알고 있어야 하는지, 학생 스스로 자신이 알고 있는 지식을 표현할 수 있도록 돕기 위해 교사가 어떠한 자료를 제시하고 어떻게 가이드를 해야 하는지 논의하였다. 학생들의 예상 반응이나 응답을 다양하게 예상하고, 의도에 맞게 발문을 고안 및 수정하고, 학생들의 응답과 함께 조직하여 교사-학생 상호작용 시나리오를 만들었다.

또한, 생물의 성장 단원에서 민 교사는 잘게 부순 쿠키와 부수지 않은 쿠키가 같은 시간 동안 흡수한 포도 주스의 양을 비교하는 실험

을 학생 스스로 설계할 수 있도록 가이드 하였다. 민 교사는 학생들이 막연하게 설명할 때에 자세한 설명을 요구하고, 어떠한 변인을 어떤 방법으로 측정할지 질문하고, 통제 변인을 고려하도록 하고, 다른 학생의 의견에 추가하거나 수정할 내용이 있는지 질문을 통해 가이드 함으로써 학생들 스스로 적절한 실험을 설계할 수 있도록 하였다.

학생 4: 쿠키가 얼마나 잘

학생 5: 주스가 잘 흡수되는지

민 교사: 쿠키가 얼마나 주스를 잘 흡수하는지를 보겠다는 거지. ‘얼마나 잘’을 조금 더 구체적으로? ‘잘’이라는 게 어떤 의미야?

학생 4: 많이

민 교사: 많이? 그럼 양이네. 그럼 양은? 양을 어떻게 비교해?

학생 5: 건져요. 그람 수를 재요

학생 3: 쿠키의 질량을 재고 담근 다음에 빼서 질량을 재요

(중략)

민 교사: 자 또, 여기 수정하거나 추가할 거? 없어요? 완벽해?

학생 7: 질문이요. 잘게 쪼개 걸 하나하나씩 넣을 꺼예요?

학생 8: 동시에 넣어야지.

학생 3: 너무 오래 두면 안돼요.

민 교사: 왜?

학생 3: 다 불어서 녹아요

민 교사: 그래서?

학생 3: 안 녹을 정도로?

(민 교사 7월 20일 생물의 성장 수업 영상 전사록)

실제 수업에서는 교사의 의도와 달리 목표한 학생들의 과학 실천이 이루어지지 않는 때도 있었다. 소 교사는 대기권의 층상 구조 수업의 ‘탐구 질문 만들기’ 활동에서 학생들이 대기권의 고도에 따라 온도, 공기 밀도 등이 어떻게 달라지는지에 관한 탐구 문제를 제기하도록 계획하였다. 소 교사가 설정한 탐구 문제는 ‘대기권의 높이에 따라 온도, 공기의 밀도, 기압은 어떻게 달라질까?’로 학생들이 이러한 질문을 제기할 수 있도록 상호작용 시나리오를 작성하고 수업을 실행하였으나, 실제 수업에서는 목표한 내용으로 학생들의 질문이 생성되지 않았다. 이에 소 교사는 후속 활동으로 계획되었던 시뮬레이션 프로그램 도입하여 학생들의 흥미를 유발하고 학생들이 직접 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 다양한 고도에 따른 여러 가지 데이터를 수집하도록 하여 ‘대기권의 높이에 따라 온도, 공기의 밀도, 기압은 어떻게 달라질까?’ (소 교사 8월 20일 대기권의 구조 수업 영상 전사록)라는 학생들의 질문을 성공적으로 끌어낼 수 있었다.

또 다른 예로 지 교사는 광물 수업 학급 논의에서 학생들이 제시한 의견을 바로 평가하지 않고 반박하거나 보충할 의견이 있는지 질문하여 학생들 간 상호작용을 유도하고, 서로 다른 증거 수집 방법 및 주장 등을 비교하고 논의하도록 발문으로 유도하였다.

지 교사: 자 더 추가할 내용이 있으신 분?

학생 4: 굳기가 약해요

지 교사: 굳기가 약해요라고 했어요. 이 의견에 반박이나 보충해줄 수 있는 사람?

학생 5: 굳기를 측정하려면 깨야 되요.

지 교사: 깨야 되요?

학생 6: 방해석하고 서로 부딪혀봐요

지 교사: 부딪혀봐요. 혹시 또 굳기 다르게 한 사람?

학생 7: 서로 굽었어요. 한쪽에 색깔이 남아요  
 지 교사: 서로 부딪혀봤을 때 잘 보일까 굽어봤을 때 잘 보일까? 서로 어떤 차이점이 있을까?  
 (중략)  
 지 교사: 같은 광물인데 2조랑 4조에서 관찰한 조흔색이 다르네요. 이걸 어떻게 된 거죠? 이걸 누구의 의견이라고 틀리다고 하거나 이걸 어떻게 해석할 수 있을까요?  
 학생 8: 선생님 그건 누가 틀렸다고 할 순 없죠  
 학생 9: 섞었나 봐요. 광물이  
 지 교사: 이럴 경우에는 어떻게 해야 될까?  
 학생 8: 둘 다 어떤 거를 틀렸다고 할 수는 없죠. 애는 이 근거에 의해서 주장이 나왔고, 이 근거에 의해서 주장이 나왔기 때문에 어떤 걸 틀렸다고 할 수 없어요.  
 (지 교사 4월 6일 광물의 종류 수업 영상 전사록)

스스로 수행할 수 있으려면 학생이 무엇을 알고 있어야 하는지 분석하여 다음 수업 계획 시 이를 반영하고 그 결과를 추적하였다. 이러한 과정을 통해 지 교사와 윤 교사는 한 학기를 거치며 학생들이 교사의 도움 없이도 주도적으로 증거 기반 논의를 할 수 있을 정도로 점차 성장하였다고 설명하였는데, 증거 기반 논의에 필요한 지식을 학생들이 점차 가지게 되었음을 파악한 것으로 사료된다.

지 교사: 아이들이 스스로 말을 하는 게 늘었어요. (중략) 이 수업을 제가 재밌게 했던 건 애들이 피드백을 계속하는 거예요. 서로 반박하고 추가하고 예상 못 한 애가 얘기하고 그 주장이나 근거가 추가되는 걸 보고 한 학기 동안 아무것도 안 하진 않았구나 싶었어요. 아이들이 컸구나, 익숙해졌구나.  
 (7월 22일 논의 전사록)

Cho & Back(2015)는 탐구 수업을 위해서는 실험 과정, 결과, 결론 도달에 이르기까지 정교하게 탐구의 판을 짜고 학생들이 잘못된 방향으로 갈 때 적절하게 개입하는 교사의 역할이 필수적이라고 주장하였다. 본 연구의 교사들은 과학 실천 수업을 수행하면서 질문 만들기, 실험 설계 및 수행, 자료 분석 및 해석, 과학적 설명 형성 등의 과학 실천이 적절하게 이루어질 수 있도록 치밀한 가이드를 계획하였다. 본 연구 교사들은 학생들의 탐구 방향이 잘못된 방향으로 갈 때 단순히 올바른 방향을 제시하는 개입이 아니라 학생들이 서로 의사소통하면서 다양한 의견에 관해 비판적인 검토를 할 수 있도록 가이드하였다는 점이 고무적이다.

사회자 학생이 '누구 발표해봐' 그걸 하는 거예요. 제 역할을 대신해서. (중략) 칠판에다가 아이들이 했던 말을 서기가 이렇게 써. 그러다가 (다른 학생이) '아 이거 아닌 것 같아. 이거 바꿔.' 그러면 (서기가) '이 단어 바꿀까?' 이렇게 X표를 쳐. '이거 뭘로 바꿀까?'(라고 사회자가 물어보면) '이거 바꿔줘'(라고 아이들이 대답해요) 그러니까 내가 없이 내가 했던 과정을 사회자와 서기가 해주면서 아이들이 그냥 잘 하더라구요.  
 (윤 교사 2월 28일 사후 면담 전사록)

본 연구 교사들이 구성한 '과학 실천 선지식에 관한 지식'은 선행 연구에서 밝힌 학생의 과학 학습 선지식에 관한 교사의 PCK와 다르게 특정 과학 개념 학습이 아닌 과학 실천을 수행하기 위해 사전에 갖추어야 할 지식에 관한 것이라는 점에서 의미가 있다(Magnusson *et al.*, 1999; Schneider & Plasman, 2011). 과학 실천 수업은 학생의 과학 실천 수행을 동력으로 한다는 점에서 설계된 과학 실천들을 학생들이 수행하지 못하면 목표한 과학 개념 형성에 이르기 어려우므로 교사들의 과학 실천 선지식에 관한 지식 구성은 매우 중요한 의미가 있다. 본 연구 교사들은 특정 과학 주제에 관한 과학 실천 수업을 철저하게 준비했어도 각 과학 실천에 관한 학생들의 이해가 부족한 경우 계획한 수업이 제대로 실행되지 않는다고 교사학습공동체에서 성찰하였다(0429 논의 전사록, 0907 논의 전사록, 윤 교사 사후 면담 전사록, 소 교사 위도에 따른 온도 차이 수업 일기). 이러한 과학 실천 수업 성공과 실패 경험에 대한 교사학습공동체 성찰 활동이 학생이 과학 실천을 하기 위해 어떠한 지식을 갖추고 있어야 하고 이러한 지식을 어느 정도로 갖추어 가는지 파악하는데 기여한 것으로 사료된다.

### 3. 학생의 과학 실천에 관한 지식

#### 가. 과학 실천 선지식에 관한 지식

본 연구 교사들이 구성한 과학 실천 선지식에 관한 지식은 학생들이 과학 실천을 하기 위해 사전에 가지고 있어야 할 지식이 무엇이고 학생들이 이러한 지식을 어느 정도로 가졌는지에 관한 지식이다(Magnusson *et al.*, 1999; Schneider & Plasman, 2011). 본 연구의 교사들은 학생들이 과학 실천을 하기 위해 탐구 문제, 주장, 근거 등이 무엇이고 이를 어떻게 형성하는지 사전에 이해하고 있어야 하지만 학년 초에는 이러한 지식을 거의 가지고 있지 않다는 것을 알게 되었다.

아이들은 탐구 문제가 뭘지 몰라요. 단어를. 그 개념이 없어요. (중략) '주장을 써보자' 하니까 주장이 뭘지 몰라. 근거가 뭘지 몰라. 아이들이 그 뜻을 잘 몰라요. 그래서 '주장은 이거에 대해서 네가 생각하는거야. 너의 생각을 쓰는 거고, 근거는 너의 생각을 뒷받침해주는 말이야.' 그런 데 아이들은 못 알아듣는 거죠.  
 (윤 교사 2월 28일 사후 면담 전사록)

교사학습공동체 활동 초반부에 본 연구 교사들은 과학 실천을 하기 위해 요구되는 학생들의 지식과 경험이 부족하다는 것을 제대로 예상하지 못하여 수업 계획 실행 중 여러 가지 문제에 직면하고 실패를 경험하였다. 본 연구의 교사들은 실패한 수업을 교사학습공동체에서 공유하고 학생들의 반응을 면밀하게 분석하여 실패의 원인을 정확하고 구체적으로 파악하는 데 주력하였다. 특정 과학 실천을 학생들이

#### 나. 과학 실천 수행 어려움에 관한 지식

본 연구의 교사들은 탐구 문제 형성, 주장을 뒷받침하는 증거와 이유 제시, 협력적인 논의 등 과학 실천에서 학생이 어려움을 느끼는 부분을 파악하고 있었다. 교사학습공동체에서 수업 영상 공유 및 논의, 과학 실천 수행 어려움에 관한 다양한 사례 경험 축적을 통해 학생들이 과학 실천 수행 과정 중 특히 어떠한 부분에 어려움을 겪는지 구체적인 지식을 구성할 수 있었던 것으로 사료된다. 소 교사와 윤 교사는 탐구 문제가 무엇이고 어떠한 형식으로 만드는 것인지 안 내한 뒤에도 학생들은 제시된 자료로부터 키워드만 찾아낼 뿐, 적절

한 탐구 주제를 찾아 완성된 의문문으로 정리하여 제시하는 것을 어려워하였다고 하였다.

탐구 문제를 만드는 것에는 학생들도 그렇고 교사인 나도 경험이 없어서 좀 어려웠던 것 같다. 단어들은 아이들의 입에서 나오지만 의문문의 형태로 완전한 문장이 나오지는 않는다.  
(소 교사 8월 28일 수업 일기)

그냥 '침의 작용', '침이 녹말을 분해한다' 이렇게만 말하는 거죠. 문제를 만들라고 하면  
(소 교사 2월 25일 사후 면담 전사록)

윤 교사: 탐구 문제가 안 나와서. 그냥 저희 반을 첫 시간을 했는데 탐구 문제를 잘 못 만들더라구요.

소 교사: 탐구 문제 원하신 게 뭐예요?

윤 교사: 습한 날 왜 빨래가 잘 마르지 않을까였는데...

소 교사: 그게 안 나왔어요?

(중략)

윤 교사: 애들이 감을 아예 못 잡았어요. 빨래만(말하고). 그래서 제가 탐구 문제를 알려줬어요. 두 번째 반에서는.

(9월 7일 논의 전사록)

본 연구 교사들은 학생들이 과학적 설명을 구성할 때 자신의 주장을 뒷받침하는 근거를 구성하기 어려워한다는 것을 알게 되었다. 학생들과의 상호작용을 통해 이는 추론 능력 부족보다는 과학적 설명에 필요한 요소나 요건에 관한 이해가 부족하기 때문임을 파악하였다. 정 교사는 학생들이 자신의 주장을 정당화하기 위해 과학적 자료를 사용하기보다는 개인적 경험이나 상상에 의존한다고 원자에 관한 수업을 성찰하였다. 지 교사와 소 교사도 제시된 자료 또는 데이터를 사용하여 근거를 제시해야 한다는 지속적 가이드에도 불구하고 학생들이 불완전한 자기 생각을 근거로 제시하는 양상은 크게 달라지지 않았다고 설명하였다. 또한, 소 교사는 학생들에게 개별적으로 피드백을 제공하는 과정에서 학생들이 근거를 말로 표현하는 것보다 글로 기술하는 것을 어려워한다는 것을 알게 되었다고 하였다.

요인들을 이렇게 몇 가지 주고, 그 요인들의 변화 그래프만 줬거든요. 그런데 아이들은 그래프에만 한정지어서 이야기를 하지 않는거예요. (중략) 아이들은 그래프만 보지 않고, 기존에 알고 있던 지식을 되게 중구난방으로 이야기를 하는 거예요. (중략) 아이들이 머리로 알고 있는데. 그러니까 물어보면 다 알고는 있어요. 그런데 이것을 글로 쓰는 것을 생각보다 너무 못하더라구요. 그 생각을. (중략) '고위도는 햇빛을 적게 받아서 춥다.' 이렇게만 쓰는데, 햇빛을 적게 받는다는 것을 어떻게 아냐고 (제가 질문)하면, '손전등의 면적은 넓어지고 밝기는 열어지는 거 같아요?'(라고 대답해요) 아이들이 그걸 안 쓰는 거죠. (중략) 주장만 하는 게 아니고 주장 할 때는 근거가 필요하다.

(소 교사 2월 25일 사후 면담 전사록)

지 교사: '이 자료만 근거해서 얘기를 해보자까지 얘기했거든요. (중략) 애들이 (광합성량이 제일 많은 곳은) H라고 얘기하고 '이산화탄소가 많으면 지구 온난화 생기잖아요.', '사람한테 이산화탄소 많으면 좋지 않잖아요.' 이런 걸 (근거로) 대는 거예요.

(9월 7일 논의 전사록)

Berland & McNeill(2010)은 학생들의 구두 논의가 논리적으로 정교한 구조를 갖춘 반면 서면 논증은 매우 단순하다는 것을 보고하고 이러한 간극을 두 가지로 설명하였다. 복잡한 논증적 사고를 글로 표현해내기에는 학생들의 글쓰기 능력이 충분하지 못할 수 있으며, 서면 논증을 작성할 때는 설득 대상이 명확하지 않아 충분한 근거로 주장을 뒷받침할 필요를 느끼지 못하기 때문이라는 것이다.

본 연구의 교사들은 학생들이 자신의 의견에 관해 다른 사람과 협력적으로 논의하는 것을 어려워한다는 것을 알게 되었다. 정 교사는 학생들에게 본인의 생각이 친구의 의견과 어떻게 다른지 비교하여 논의하라고 안내하였으나, 학생들은 친구가 제시한 아이디어에 쉽게 동의하고 이를 특별한 논의 없이 모두의 의견으로 발표한다고 하였다. 민 교사도 모두 논의를 하는 학생들에게 동료의 의견에 대해 어떻게 생각하는지 자기 생각을 말하도록 안내하였으나 학생들 간 의사소통은 거의 이루어지지 않았다고 하였다.

모둠 내에서 논의는 이루어지지 않았다. (중략) 한 명이 답하면 따르는 분위기였다. (중략) 논의에서 (동료의 의견에 대한) 재질문과 (제시된 의견에 대해 어떻게 생각하는지) 동료 의견 물기가 잘 이루어지지 않았다.

(민 교사 9월 1일 체세포 분열 수업 일기)

소 교사는 학급 논의에서 모둠별로 제안한 주장과 증거의 공통점과 차이점을 찾고, 다른 모둠의 과학적 설명에서 타당하거나 미흡한 것에 대하여 논의하라고 안내했으나 학생들은 단순 동의하거나 아무 의견도 제시하지 못하는 등 어려움을 겪는 모습을 보였다고 하였다.

소 교사: 앞에 여섯 조(의 발표 자료를) 붙였는데 시간 3분 줄 테니까 앞에서부터 쪽 읽어보시고, 너희가 할 거는 잘된 점 찾는 거야. 혹은 부족한 점. 잘된 점부터 찾아보고 없으면 부족한 점 찾는 거야.

(중략)

학생 1: (잘된 점이나 부족한 점을) 저희가 어떻게 알아요?

소 교사: 왜 몰라. 각 조에서 설명 쓴 걸 잘 읽어 보고..

(중략)

소 교사: 자 읽어 봤어? 자 00이, XX가 쓴 건데 자 봐봐. 잘한 거 같아? 잘된 점부터 찾아볼까? 잘된 점? 누가 얘기해볼까?

학생 2: 다 잘됐어요.

(소 교사 8월 27일 위도에 따른 온도 차이 수업 영상 전사록)

### 다. 과학 실천 동기에 관한 지식

본 연구의 교사들은 학생들의 과학 실천 학습에 대한 흥미, 필요성 등 학습 동기에 대한 지식인 '과학 실천 동기에 관한 지식'을 가지고 있는 것으로 나타났다(Schulman, 1987; Tamir, 1988). 본 연구 교사들은 학생들이 탐구 과제를 명확하게 인식하게 할 때, 과학 실천 학습 과정에 관해 이해하고 있을 때, 논의를 통한 학습의 중요성을 이해하고 있을 때 과학 실천 학습에 대한 흥미, 필요성 등의 학습 동기를 가진다고 설명하였다. 소 교사와 지 교사는 학생들이 스스로 탐구 문제를 형성하면서 호기심이 유발되고, 탐구 문제를 명확하게 인식하면 목적의식을 가지게 되고 흥미가 유발된다고 설명하였다.

아이들도 Asking Question을 하는 과정을 통해서 뭔가 수업의 목적성을 가지게 된 것 같고, 일반적으로 그냥 지식을, 선생님이 알려주는 것을 (학습)하는 게 아니고, 이것을 우리가 왜 알아야 하고, 그리고 몇몇 아이들은 실제로 궁금해하기도 하고 그러는 것이 보이니까.  
(소 교사 2월 25일 사후 면담 전사록)

내가 무엇을 하고 있는지를 알고, 내가 무엇을 해야겠다는 것을 알았을 때가 가장 흥미가 북돋아지는 것 같더라구요.  
(지 교사 2월 28일 사후 면담 전사록)

윤 교사는 학생들이 과학 실천을 통해 과학 지식을 학습하는 경험을 축적하면서 자발적으로 논의하고 협력적으로 합의하는 등 적극적으로 과학 실천을 수행하게 되었다고 하였다. 또한, 지 교사와 윤 교사는 학생들이 다른 사람과 적극적으로 의사소통을 하며 학습할 때 진정한 의미의 학습이 이루어진다는 내용의 영상 자료를 시청한 후 논의의 중요성과 효과에 대해 인식하고 과학 실천 수업에 대한 기대감이 높아지며 긍정적인 태도를 보이게 되었다고 설명하였다.

윤 교사: 저번에 알려주셨던 영상 있잖아요. '공부하는 인간'. (중략) 그거 보고 애들이 수업을 대하는 태도가 달라졌어요. 거기 중에 유태인이 공부하는 방법이 나오는데 그거 보고 수업에서 그 얘기를 하더라고요.  
(11월 7일 논의 전사록)

여러 선행 연구에서 학생들의 논의가 활발하게 이루어지기 위해서는 효과적인 학습 맥락을 구성하고, 논의에 참여하도록 학생들을 독려하고, 학생 간 상호작용이 허용 및 격려되는 분위기를 형성하는 것이 중요하다고 보고하였다(Berland & Hammer, 2012; Duschl & Osborne, 2002; NRC 2012). 본 연구의 교사들은 이러한 선행 연구에서 제안된 방법 이외에 학생들이 탐구 과제를 명확하게 인식하게 할 때, 과학 실천 중심 학습 과정에 관해 이해하고 있을 때, 논의를 통한 학습의 중요성을 이해하고 있을 때 과학 실천 학습에 대한 흥미, 필요성 등의 학습 동기를 갖게 된다는 과학 실천 동기에 관한 지식을 구성하였다는 점에서 의미가 있다.

#### 라. 학습자의 과학 실천 수행 다양성에 관한 지식

본 연구 교사들은 선행 연구에서 제시된 학습자의 다양성에 관한 지식(Schulman, 1997; Tamir, 1988)에 해당하는 '학습자의 과학 실천 수행 다양성에 관한 지식'을 구성한 것으로 나타났는데, 학생의 인지적 특성, 선행 학습 정도, 학업 성취도 차이에 따라 과학 실천 수행의 속도와 방식에 차이가 나타날 수 있다고 설명하였다. 예를 들어, 민 교사와 윤 교사는 학원 등에서 선행 학습으로 과학 지식을 암기한 학생들은 교사가 제시한 탐구 문제를 암기한 내용을 상기하여 해결하는 때도 있다고 하였다. 정 교사, 민 교사, 소 교사는 학업 성취도가 높은 학생들은 교사의 도움 없이도 과학 실천을 수행하여 탐구 문제를 해결하는 경우가 많고, 지 교사는 학업 성취도가 낮은 학생들은 학업 성취도가 높은 학생의 아이디어를 무비판적 수용하는 경향이 있다고 하였다.

보통 잘하는 애가 한 명 있으면 다 그 잘하는 애들의 의견을 따르는

경향이 너무 강해서  
(소 교사 12월 8일 수업 참관 및 면담 전사록)

공부 잘하는 아이들끼리 미리 답 다 해버리면 나머지 아이들은 베끼는 것 밖에는 안되니까.  
(정 교사 11월 13일 수업 참관 및 면담 전사록)

본 연구의 교사들은 인지적 특성의 차이에 따른 과학 실천 수행 다양성에 관한 지식뿐 아니라 사회적, 문화적 차이로 인한 수행 다양성에 관한 지식까지 구성하였다. 입시 위주의 교육 환경, 협력적으로 아이디어를 교류하는 교실 문화 등의 사회적, 문화적 차이에 따른 학생들의 과학 실천 수행 차이를 설명하였다. 예를 들어 윤 교사는 자신이 근무하는 학교에서는 여러 교과에서 토의 수업을 진행하고 있어 학생들이 자신의 의견을 표현하는 것에 부담감을 느끼지 않고 논의에 활발하게 참여한다고 설명하였다. 반면 지 교사는 강의식으로 전달받은 지식을 암기하고 정답을 맞히어 좋은 성적을 받는 것에 익숙한 학생들은 협력적인 논의 활동을 활발하게 하지 않는다고 설명하였다. 민 교사는 학생들이 과학 실천을 통해 스스로 과학적 설명을 형성한 후에도 정답을 맞췄는지에 초점을 두는 경향이 있다고 하였다. 소 교사도 학생들이 자신들이 만들어낸 탐구 문제, 주장, 근거의 타당성이나 적절성을 논리적으로 검토하고 설명하기보다는 교사가 원하는 정답인지에 더 몰두한다고 하였다.

우리 학교가 혁신 학교이기 때문에 과학뿐만 아니라 다른 과목에서 토의 수업을 많이 하는 학교예요. (중략) 아이들이 말하는 것에 대해서 크게 부담감을 느끼는 분위기가 아니었어요.  
(윤 교사 11월 13일 수업 참관 및 면담 전사록)

지 교사: 서로 경계하는 거죠. 그거를 혼자 지식이라고 생각하고 공유하지 않는 그게 익숙하지가 않은 거죠. 항상 왜냐하면 내가 잘하고 이런 건 나의 지식이고 내가 시험 봐서 내가 맞추는 거지라는 생각을 하는 거예요.  
(중략)

민 교사: 애들이 공통적으로 그래요. 맨날 다 끝나고 나면 주장, 근거가 답인데도 선생님 그래서 답이 뭐예요?  
(9월 12일 논의 전사록)

'이거 왜 이렇게 했어?' 한 마디만 해도 이거 틀렸나보다 이렇게 받아들이니까. 우리가 한 게 맞나 틀리나에 되게 집착하는 것 같아서. (중략) 이거 어떻게 한 거냐고 한 마디만 물어봐도 이거 왜 물어보지? 이거 좀 이상한가? 이렇게 받아들이더라고요.  
(정 교사 11월 13일 수업 참관 및 면담 전사록)

학생의 과학 학습에 관한 지식은 주로 교과 지식에 초점을 두고 학생들의 특정 과학 개념과 관련하여 어떠한 선 개념 및 오개념을 가지고 있으며 이것이 어떻게 발달하여 가는지, 어떠한 개념 학습을 특히 어려워하는지에 관한 측면에서만 다루어져 왔다(Magnusson *et al.*, 1999; Park, 2007; Schneider & Plasman, 2011). 이러한 관점에서 본 연구의 교사들이 과학 실천 선지식에 관한 지식, 과학 실천 수행 어려움에 관한 지식, 과학 실천 동기에 관한 지식, 인지적 혹은 사회문화적 배경에 따라 과학 실천 수행이 어떻게 다르게 나타날 수 있는지에 관한 구성한 지식은 중요한 의미가 있다. 이것은 본 연구 교사들이

설계한 과학 실천 수업이 각자의 과학 수업에서 의도한 대로 되지 않고 수업 설계할 때 미처 예상하지 못한 여러 가지 문제에 직면했던 경험을 교사학습공동체에서 공유하고 해결 방안을 협력적으로 논의하는 성찰 활동을 통해 구성된 것으로 사료된다.

#### 4. 과학 실천 학습 평가에 관한 지식

##### 가. 과학 실천 학습 평가 내용에 관한 지식

본 연구의 교사들은 과학 실천 학습의 평가 내용으로 과학 개념뿐 아니라 탐구 문제, 주장, 증거, 근거 등 학생들이 수행했던 일련의 과학 실천들을 포함하였고, 과학 실천을 독립적으로 평가하는 것이 아니라 학습한 과학 개념과 밀접하게 연계하여 평가할 수 있는 지식을 구성한 것으로 나타났다(Magnusson *et al.*, 1999; Tamir, 1988). 민 교사와 소 교사는 과학 실천 학습에서 평가해야 할 내용으로 학생들이 형성한 과학 개념 및 탐구 문제, 주장, 증거, 근거 등 학생들이 수행했던 일련의 과학 실천들을 포함하고, 과학 실천과 과학 개념을 밀접하게 연계하여 평가 내용으로 선정하였다. 예를 들어 민 교사는 수업 시간에 사용한 활동지를 재구성하여 전하량 보존 수업과 관련하여 제시된 자료로부터 전하량 보존에 관한 주장과 근거를 학생들이 제시하는지 수행 평가를 실시하였다. 또한, 전력 수업에 관해 학생들이 작성한 실험 설계가 적절한지, 수집한 데이터를 표나 그래프로 적절하게 변형했는지, 표와 그래프의 의미를 정확하게 해석하여 근거로 사용하는지 수행 평가를 실시하였다.

어떠한 상황에서 탐구 문제 만들기, 탐구 문제를 해결하기 위한 실험을 계획하기, 실험 결과를 근거로 들어 탐구 문제에 대한 주장하기  
(소 교사 2월 22일 사후 설문)

단순히 원가 지식을 외워서 보는 평가가 아니라, 어떤 과정을 평가하고 싶었던 거죠.  
(소 교사 2월 25일 사후 면담 전사록)

전하량 보존이라는 핵심 개념을 우리가 가르치고 그것을 평가하려고 하는 것이잖아요? 그럼 전하량 보존에 관해서 올바르게 이해하고, 그 주장을 제시했는가? (중략) 아이들이 작성한 보고서 거기에다 실험 설계를 할 때 아이들이 얼마나 탄탄하게 실험 설계를 했는가? (중략) 실험 결과를 가지고 자료 변환하는 것. 그래프로 그린다거나, 표를 제시한다던가 그런 것도 보게 되고, 그 표나 그래프를 보고서 알아낸 것. 결국, 그게 근거가 되는 거잖아요? 그런 근거들이 제대로 제시가 됐는가?  
(민 교사 2월 26일 사후 면담 전사록)

윤 교사는 지구 온난화 수업에서 사용했던 여러 가지 데이터를 제시하고 지구 온난화에 영향을 주는 요인을 선택하고 이유를 제시하는 문항을 출제하여 타당한 근거로 주장을 뒷받침하는지를 평가하였다.

얼마나 타당하게 주장을 하느냐. 글에서 Reasoning을 본 거죠. (중략) 자기 주장을 어쨌든 남에게 설득하려면, 남에게 어쨌든 설명을 할 수 있어야 하잖아요. 자기의 주장만 하면 안 되고, 주장에 대한 근거가 있어야 하잖아요. 그 근거를 적절하게 대는 것을 보고 싶었던 거죠.  
(윤 교사 2월 28일 사후 면담 전사록)

교사학습공동체에서 과학 실천 학습 평가에 대한 논의가 시작된 것은 6월 17일 모임이었으나 이에 관한 본격적인 논의와 실제 실행은 2학기에 이루어졌다. 교사학습공동체 9월 19일 모임에서 교사들은 과학 실천 학습에 관해 무엇을 어떻게 평가할 것인지 논의하였고 이를 반영한 평가 문항을 개발하여 10월 9일 모임에서 공유하였다. 이와 같은 교사학습공동체 활동은 교사들의 과학 실천 학습 평가에 관한 지식이 다른 PCK 요소에 비해 늦게 구성된다는 것을 시사한다. 이는 학생들이 수행했던 일련의 과학 실천을 포함한 과학 실천 중심 학습에 관한 평가를 계획하고 실행하기 위해서는 과학 실천 교육과정에 관한 지식, 과학 실천 교수 전략에 관한 지식, 학생의 과학 실천 학습에 관한 지식 등 여러 PCK 요소들이 종합적으로 활용되기 때문으로 사료된다. 예를 들어 평가 내용을 결정하기 위해서는 핵심 개념을 포함한 과학 교육과정에 관한 지식이 필요하며, 어떠한 과학 실천과 연계하여 평가할지 결정하려면 과학 실천 특이적 전략, 과학 실천 활동 선정 및 구조화에 관한 지식이 필요하다. 또한, 변별력 있는 평가를 하기 위해서는 과학 실천 선지식, 과학 실천 수행 다양성을 포함한 과학 실천 학습에 관한 지식이 요구된다.

##### 나. 과학 실천 학습 평가 방법에 관한 지식

본 연구의 교사들은 과학 실천 학습을 어떠한 방법으로 평가할 수 있는지에 관한 지식을 구성하였는데(Magnusson *et al.*, 1999; Tamir, 1988), 과학 실천 학습을 평가하기 위해 선다형 지필 평가, 서술형, 논술형, 실험 보고서 평가 등 다양한 방법을 사용할 수 있었다. 민 교사는 총괄 평가에서 지구가 둥글다거나 달의 공전주기와 자전주기가 같다는 주장을 뒷받침하는 증거를 여러 개의 제시된 자료 중에 선택하는 선다형 지필 평가 문항을 개발하여 적용하였다. 소 교사와 윤 교사는 총괄 평가에서 선다형 지필평가 문항과 함께 연관된 서술형 수행 평가 문항을 구성하여 과학적 설명의 형성, 실험 설계 및 수행, 증거 기반 논의 등 다양한 과학 실천 학습을 종합적으로 평가하였다. 학생들에게 실험 과정과 수집한 데이터를 제공한 후, 관련된 탐구 문제를 선택하고 주장과 근거를 서술하도록 하는 문항을 구성하기도 하였다.

민 교사: 지구가 둥글다, 달의 공전주기와 자전주기가 같다는 주장을 뒷받침하는 증거가 뭐냐 그렇게 해서 여러 개 주면 그중에서 주장을 뒷받침하는 증거 찾는 걸 냈었어요.  
(11월 7일 논의 전사록)

지필평가를 출제할 때 어떤 실험 과정을 보고 이에 대한 탐구 문제를 설정하라는 문제나, 이 탐구 문제에 대한 주장과 근거를 써 보라는 문제를 냈었는데 개념에 대한 충분한 이해 없이는 풀 수 없는 문제였습니다.  
(윤 교사 2월 25일 사후 설문)

탐구 문제를 만들고 계획하고, 결과 해석하고 그런 과정을 평가하고 싶었던 거고. (중략) 지필 평가에 수업했던 내용 중에 상황을 몇 개, 실험 과정을 주고 위 실험에 가장 적합한 탐구 문제는 무엇인가 이렇게 고르는 문제를 몇 번 냈었어요.  
(소 교사 2월 25일 사후 면담 전사록)

소 교사는 지구 온난화의 영향을 주는 요인에 관해 논술형 평가를



하였고, 윤 교사는 위치에너지에 관한 평가에서 탐구 문제를 해결하기에 적합한 실험 설계를 할 수 있는지 보고서 평가를 하고, 제시된 데이터를 사용하여 탐구 문제에 대한 적합한 과학적 설명을 제시할 수 있는지도 평가하였다고 하였다.

요인 하나 고르고, 그 요인을 왜 골랐는지. 지구 온난화의 영향을 주는 요인은 논술로 봤어요.

(소 교사 2월 25일 사후 면담 전사록)

수행 평가로 (실험) 계획하기랑 그거를 같이 했어요. 주장(과 근거 작성) 하기를. 위치에너지(에 관한 탐구 문제를 해결하는) 실험 계획(을 작성) 한 다음에 (견었어요). 시험지를 한 장을 더 줘요. 그래서 거기는 실험 과정과 실험 결과가 나와 있거든요. 그걸 해석하는 거 했었어요. (중략) 그러니까 실험 설계하고 나서. 견고 나서 한 장 더 주는. 실험 설계를 이렇게 해가지고 이렇게 실험했더니 이렇게 나왔다. 그래서 이걸 그러면 너희가 자료 해석하는 걸 해봐라.

(윤 교사 2월 28일 사후 면담 전사록)

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 다섯 명의 중학교 과학교사들이 일 년 동안 교사학습공동체에서 과학 실천 수업을 협력적으로 계획하고 성찰하며 과학 실천 수업에 관한 어떠한 PCK를 구성하였는지 분석하였다. 본 연구에서 밝힌 PCK 요소 및 하위 요소들은 교사학습공동체의 교사가 과학 실천 수업에 관해 어떠한 전문적 지식을 구성하였는지 구체적이고 심층적인 정보를 체계적으로 제공하였다는 점에서 의의가 있다. 본 연구에서 밝힌 과학 실천 수업에 관한 PCK는 교사학습공동체에 참여한 5명의 과학교사가 공동체의 맥락에서 협력적으로 구성한 것으로 모든 교사가 모든 PCK 요소 및 하위 요소를 같은 수준으로 구성하였다고 보기는 어렵다는 한계점이 있다.

본 연구의 교사들은 과학 실천 교육과정, 과학 실천 교수 전략, 학생의 과학 실천 학습, 과학 실천 학습 평가의 네 가지 PCK 요소에 포함된 총 11개 하위 요소의 PCK를 구성한 것으로 나타났다. 교사들의 과학 탐구 수업에 관한 선행 연구들은 탐구 수업을 위해 필요한 전문성을 주로 교수 전략과 학생의 어려움 파악 및 대응을 중심으로 보고해왔다(McNeill & Knight, 2013; Osborne *et al.*, 2013; Pimentel & McNeill, 2013; Zangori *et al.*, 2013). 반면 본 연구에서는 교사학습공동체를 통해 과학 실천 수업 전문성을 함양한 교사들의 교육과정에 관한 PCK를 밝힐 수 있었다는 점에 중요한 의미가 있다. 과학 실천 수업을 수행하는 교사들은 특정 주제의 교육과정에서 핵심 개념을 선정하는 지식, 핵심 개념을 중심으로 교육과정을 구조화하는 지식, 적절한 기준으로 교육과정 자료를 선정 및 구조화하는 지식을 가지고 있다는 것이 드러났는데, 이는 Roehring & Luft(2004)가 과학 탐구 수업을 하기 위해서는 교사에게 더 깊고 고도로 구조화된 교과 지식이 요구된다고 한 것과도 관련된다.

본 연구의 교사들은 과학 실천 교수 전략에 관한 지식으로 ‘과학 실천 특이적 전략에 관한 지식’, ‘과학 실천 활동 선정 및 구조화 전략에 관한 지식’, ‘과학 실천 학습 가이드 전략에 관한 지식’을 구성하였다. NRC(2012)에 따르면 8가지 과학 실천이 일련의 단계가 아니고 탐구 목적에 따라 선택적으로 사용될 수 있으며, 실험 수행, 자료 수집

등 일부 기능만 수행하는 것이 아니라 모델을 사용해 과학적 현상을 설명하고 증거를 기반으로 논의하고, 정보를 평가하며 의사소통하는 등 여러 실천이 연계된 종합적 활동을 수행해야 한다. 과학 탐구 수업이 문제 인식부터 결론 도출까지 일련의 고정된 절차를 수행하는 실험 수업 혹은 가설 검증 과정이라는 교사의 제한적 인식과 과학적 설명, 증거 기반의 논의, 모델링 등 과학 탐구 요소에 관한 이해의 부족은 과학 탐구 수업이 제대로 실행되지 못하는 대표적인 이유로 알려져 있다(Capps & Crawford, 2013; Demir & Abell, 2010; NRC, 2012). 본 연구의 교사들이 과학 탐구에 관한 제한적 인식에서 탈피하여 과학 실천이 무엇이고 어떻게 이루어져야 하는지에 관한 지식 즉, ‘과학 실천 특이적 전략’에 관한 지식을 구성한 것은 과학 실천을 포함한 수업을 계획하고 학생들의 과학 실천을 가이드하기 위한 필수적인 토대라는 측면에서 의미가 있다(Beyer & Davis, 2008; Pimentel & McNeill, 2013; Sampson & Blanchard, 2012; Zangori *et al.*, 2013). 또한, 본 연구의 교사들은 ‘과학 실천 특이적 전략’에 관한 지식으로 각 과학 실천이 무엇이고 어떻게 수행해야 하는지 학생들이 이해하도록 돕는 전략에 관한 지식도 구성하였다. 과학 탐구 수업의 중요성을 주장하는 여러 연구자가 효과적인 개념 학습을 위하여 과학자들이 과학 지식을 구성하는 과정 즉, 과학 탐구가 무엇이고 어떻게 수행하는 것인지에 관한 학생의 이해를 강조하였다는 점에서(Davis & Krajcik, 2005; NRC, 2012; Roehling & Luft, 2004; Simon *et al.*, 2006) 본 연구의 교사들이 이러한 과학 실천 특이적 전략에 관한 지식을 구성한 것은 중요한 의의가 있다.

과학 실천 활동은 학습 주제에 따라 다양하게 구성될 수 있으나 과학 교과서의 탐구 활동들은 주로 자료 분석 및 해석, 설명 구성에 집중되어 있다(Choi & Choi, 2016; Jeon & Choi, 2016; Kang & Lee, 2013). 본 연구의 교사들이 과학 실천 교수 전략에 관한 지식의 하위 요소로 구성한 ‘과학 실천 활동 선정 및 구조화 전략에 관한 지식’은 교과서 탐구 활동에 국한되지 않고 특정 주제 수업에 적합한 과학 실천들을 교사가 적극적으로 발굴하거나 구성하여 과학 실천 수업을 설계할 수 있는 지식이라는 점에서 의미가 있다. 선행 연구에서 제시된 주제 특이적 전략에 관한 지식은 특정 과학 개념 교수를 위해 사용할 수 있는 자료나 활동에 관한 지식으로, 각 활동이 가지는 설명력과 한계에 기인하는 자료나 활동 간 상호 보완적인 관계에 관한 지식을 포함한다(Magnusson *et al.*, 1999). 본 연구 교사들이 형성한 ‘과학 실천 활동 선정 및 구조화 전략에 관한 지식’은 선정한 과학 실천 활동을 구조화하는 지식까지 포함한다. NRC(2012)에서 여러 가지 과학 실천 활동은 탐구 문제 제기에서 해결에 이르는 과정까지 각기 고유한 역할을 하며 상호 간 논리적으로 긴밀하게 연계되어 있다고 설명하였다는 점에서 본 연구의 교사들이 구성한 여러 과학 실천 활동을 구조화하는 지식은 과학 실천 수업을 위해 필수적이며 매우 중요한 지식이라는 의미가 있다(NRC, 2012).

본 연구의 교사들이 목표하는 과학 실천을 학생들이 수행하도록 어떠한 가이드를 제공해야 하는지 학생의 반응을 고려한 시나리오를 작성한 과정은 학생의 반응에 기민하게 대응하며 가이드 할 수 있는 지식 즉, ‘과학 실천 학습 가이드 전략에 관한 지식’을 구성하는데 기여한 것으로 사료된다. 본 연구의 교사들은 수업 중에 먼저 예상하지 못한 학생의 반응이나 상황에도 효과적으로 대처할 수 있었고, 학생들이 의견을 바로 평가하는 대신 반박하거나 보충할 의견이 있는

지 질문하여 학생들 간 상호작용을 유도하고, 증거 수집 방법, 이유 등을 비교하고 논의하도록 유도하였다. Pimentel & McNeill(2013)이 논의의 중심 과학 수업에서 교사의 부적절한 피드백으로 학생들 간의 논의가 제한된다고 주장한 바와 같이 학생의 의견이나 응답에 대한 교사의 피드백은 학생들의 적극적 논의 활동과 과학 실천 수행에 중요한 영향을 미친다. 이러한 관점에서 본 연구의 교사들이 학생의 과학 실천 수행을 위한 치밀한 가이드 계획을 세우고 이를 실제 수업에서 적용하는 지식을 구성한 것은 중요한 의미가 있다.

본 연구에서 교사들은 학생의 과학 실천 학습에 관한 지식의 하위 요소로 과학 실천 수행의 전제 조건이 되는 지식, 어려움, 동기 등에 관한 지식을 구성하였다. 교사학습공동체 활동 초반부에 본 연구의 교사들은 학생들의 지식과 경험 부족을 예상치 못해 수업 실행 중 여러 가지 문제에 직면하고 많은 실패를 경험하였다. 학생들의 역량 부족으로 탐구 수업을 하지 않는다고 주장한 선행 연구의 교사들과 달리(Cho *et al.*, 2008; Driver *et al.*, 2000; Sampson & Blanchard, 2012), 본 연구의 교사들은 실패한 수업을 교사학습공동체에서 공유하고 학생들의 반응을 면밀하게 분석하여 실패의 원인을 정확하고 구체적으로 파악하는 데 주력하여 과학 실천 수행을 위해 학생들이 사전에 무엇을 알고 있어야 하고 무엇을 어려워하는지 파악하게 되었다는 점에서 의미가 있다(Louis *et al.*, 1996). 학생들이 겪는 어려움이나 선지식 부족을 교사가 명확하게 파악하지 못하면 적절한 피드백을 제공하기 어렵고, 교사의 부적절한 피드백은 학생 간 논의를 활성화하는 데 방해가 되기도 한다(McNeill & Knight, 2013; Pimentel & McNeill, 2013; Zangori *et al.*, 2013). 교사가 인식한 학생들이 겪는 어려움이나 문제점은 교수 설계에 반영되기 때문에 학생의 역량, 어려움을 파악하는 능력은 전체적인 PCK 발달에 중요하다(Park & Oliver, 2008). 이러한 관점에서 본 연구의 교사들이 구성한 학생들의 과학 실천 학습에 관한 지식은 학생들의 과학 실천 학습을 효과적으로 증진하기 위한 수업 설계 및 실행을 위해 필수적인 지식으로 사료된다.

본 연구의 교사들은 과학 실천 학습 평가에 관한 지식으로 ‘과학 실천 학습 평가 내용’, ‘과학 실천 학습 평가 방법’에 관한 지식을 구성하여 학생들이 과학 실천을 통해 목표한 과학 개념을 형성했는지 과학 실천과 과학 개념을 밀접하게 연계하여 평가할 수 있었다. NRC(2012)는 과학 탐구를 위해서는 기능뿐만 아니라 수행을 위한 지식이 필요하다는 것을 강조하기 위해서 과학 실천을 도입하였고, 과학 실천을 과학 개념과 동떨어져 가르치거나 평가하는 것에 대해 경계하였다. 이러한 맥락에서 본 연구의 교사들이 과학 실천을 과학 개념과 연계하여 평가하는 다양한 방법에 관한 지식을 구성한 것은 매우 중요한 의미가 있다(Magnusson *et al.*, 1999). 또한, 교수 전략과 학생의 어려움을 중심으로 보고해온 탐구 수업 전문성 관련 선행 연구와 달리(McNeill & Knight, 2013; Osborne *et al.*, 2013; Pimentel & McNeill, 2013; Zangori *et al.*, 2013) 본 연구에서 교사학습공동체 교사들이 과학 실천 학습 평가 지식을 구성하였다는 것은 중요한 의미가 있다.

본 연구의 교사들이 구성한 과학 실천 수업에 관한 PCK 요소 및 하위 요소들은 모두 학생들의 과학 실천을 통한 과학 개념 학습이라는 관점에서 일관성 있게 구조화되어 있다. 본 연구의 교사학습공동체 교사들은 과학 실천 수업을 위한 교육과정 자료와 과학 실천 활동

이 적절하게 선정되었는지, 그리고 어떻게 구조화될 수 있는지, 학생들의 과학 실천 수행에 어떠한 어려움이 있는지, 어떻게 가이드 할 수 있을지, 과학 실천 학습을 어떤 방법으로 평가할 수 있는지 등에 대하여 반복적으로 함께 성찰하는 과정을 통해 과학 실천 수업에 관한 PCK를 일관성 있게 구성할 수 있었던 것으로 사료된다. 이러한 관점에서 본 연구의 결과는 과학 실천 수업 전문성 함양을 위한 교사 학습공동체, 멘토링 등 교사 교육 프로그램에 포함될 활동의 내용과 방향성을 제시한다. 또한, 본 연구에서 밝힌 과학 실천 수업에 관한 PCK 요소 및 하위 요소 간의 상호작용을 탐색하는 후속 연구는 효과적인 과학 실천 수업을 위해 PCK 요소 및 하위 요소들이 어떻게 연계되어야 하는지에 관한 유용한 정보를 제공할 것으로 사료된다.

## 국문요약

본 연구에서는 과학 실천 수업을 위한 교사학습공동체를 형성한 5명의 중학교 과학 교사들이 1년간의 교사학습공동체 활동을 통해 과학 실천 수업에 관한 어떠한 PCK를 구성하였는지 분석하였다. 교사학습공동체에서 교사들은 협력적인 수업 설계, 수업 실행 공유 및 성찰을 반복하였다. 본 연구에서는 사전·사후 설문과 면담을 시행하고, 교사학습공동체 모임에 참여 관찰 및 녹음을 하고, 수업계획안, 과학 실천 수업 녹화 영상, 수업 일기 등의 자료를 수집하였다. PCK 이론적 틀에 기반하여 연역적으로 분석하고 다시 귀납적 분석을 통해 그 범주를 정교화하고 수정하여 본 연구의 교사들이 과학 실천 교육 과정, 과학 실천 교수 전략, 학생의 과학 실천 학습, 과학 실천 학습 평가의 네 가지 PCK 요소에 포함된 총 11개 하위 요소의 PCK를 구성한 것을 밝혔다. 본 연구의 교사들은 과학 실천 교육과정에 관한 지식으로 과학 실천 교육과정 자료에 관한 지식, 핵심 개념 선정 및 교육과정 구조화에 관한 지식을 구성하였고, 과학 실천 교수 전략에 관한 지식으로 과학 실천 특이적 전략, 과학 실천 활동 선정 및 구조화 전략, 과학 실천 학습 가이드 전략에 관한 지식을 구성하였다. 학생의 과학 실천 학습에 관한 지식으로 과학 실천 선지식, 과학 실천 수행 어려움, 과학 실천 동기, 과학 실천 수행 다양성에 관한 지식을 구성하였고, 과학 실천 학습 평가에 관한 지식으로 과학 실천 학습 평가 내용, 과학 실천 학습 평가 방법에 관한 지식을 구성하였다. 본 연구의 교사들이 구성한 과학 실천 수업 PCK는 학생들의 과학 실천을 통한 핵심 개념 학습을 위해 고도로 구조화된 지식으로 사료된다.

**주제어 :** 교과교육학적지식, 교사학습공동체, 과학 실천

## References

- Akerson, V. L., & Hanuscin, D. L. (2007). Teaching nature of science through inquiry: Results of a 3-year professional development program. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(5), 653-680.
- Alonzo, A. C., & Kim, J. (2016). Declarative and dynamic pedagogical content knowledge as elicited through two video-based interview methods. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1259-1286.
- Alexopoulou, E., & Driver, R. (1996). Small-group discussion in physics: Peer interaction modes in pairs and fours. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(10), 1099-1114.
- Aydin, S., & Boz, Y. (2013). The nature of integration among PCK components: A case study of two experienced chemistry teachers. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(4), 615-624.

- Bang, A., & Choi, A. (2016). Pre-service chemistry teachers' designing and implementing inquiry-based science instruction that emphasizes argumentation and writing: Focus on ways to overcome difficulties. *Journal of the Korean Chemical Society*, 60(5), 342-352.
- Berland, L. K., & Hammer, D. (2012). Framing for scientific argumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(1), 68-94.
- Berland, L. K., & McNeill, K. L. (2010). A learning progression for scientific argumentation: Understanding student work and designing supportive instructional contexts. *Science Education*, 94(5), 765-793.
- Beyer, C. J., & Davis, E. A. (2008). Fostering second graders' scientific explanations: A beginning elementary teacher's knowledge, beliefs, and practice. *The Journal of the Learning Sciences*, 17(3), 381-414.
- Borko, H. (2004). Professional development and teacher learning: Mapping the terrain. *Educational Researcher*, 33(8), 3-15.
- Capps, D. K., & Crawford, B. A. (2013). Inquiry-based instruction and teaching about nature of science: Are they happening? *Journal of Science Teacher Education*, 24(3), 497-526.
- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Cho, H., Han, I., Kim, H., & Yang, I. (2008). Analysis of elementary teachers' views on barriers in implementing inquiry-based instructions. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 28(8), 901-921.
- Cho, S., & Baek, J. (2015). A case study on the inquiry guidance experiences of pre-service science teachers: Resolving the dilemmas between cognition and practice of inquiry. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(4), 573-584.
- Choi, M., & Choi, A. (2016). Analysis of activities in chemistry chapters of middle school science textbooks for the 2009 revised science curriculum: Focus on 8 science practices. *Journal of the Korean Chemical Society*, 60(6), 436-451.
- Creswell, J. W. (2013). *Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches*. Los Angeles, CA: Sage Publications.
- Davis, E. A., & Krajcik, J. S. (2005). Designing educative curriculum materials to promote teacher learning. *Educational Researcher*, 34(3), 3-14.
- Demir, A., & Abell, S. K. (2010). Views of inquiry: Mismatches between views of science education faculty and students of an alternative certification program. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 716-741.
- Doise, W., Mugny, G., & Perret-Clermont, A-N. (1975). Social interaction and the development of cognitive operation. *European Journal of Social Psychology*, 5(3), 367-383.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-312.
- Duschl, R. A., & Osborne, J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse in science education. *Studies in Science Education*, 38(1), 39-72.
- Elo, S., & Kyngäs, H. (2008). The qualitative content analysis process. *Journal of advanced nursing*, 62(1), 107-115.
- Garet, M. S., Porter, A. C., Desimone, L., Birman, B. F., & Yoon, K. S. (2001). What makes professional development effective? Results from a national sample of teachers. *American Educational Research Journal*, 38(4), 915-945.
- Geertz, C. (1973). *Thick description: The interpretation of cultures*. New York: Basic Books.
- 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.
- Hord, S. M. (1997). *Professional learning communities: Communities of continuous inquiry and improvement*. Austin, Texas: Southwest Educational Development Laboratory.
- Jeon, Y., & Choi, A. (2016). Analysis of inquiry activities in high school chemistry II textbooks based on the 2009 revised science curriculum: Focus on 8 science practices. *Journal of the Korean Chemical Society*, 60(1), 59-68.
- Justi, R. S., & Gilbert, J. K. (2002a). 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. S., & Gilbert, J. K. (2002b). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1273-1292.
- Kang, N. (2017). Korean teachers' conceptions of models and modeling in science and science teaching. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(1), 143-154.
- Kang, N., & Lee, E. (2013). An analysis of inquiry activities in high school physics textbooks for the 2009 revised science curriculum. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(1), 132-143.
- Keys, C. W., & Bryan, L. A. (2001). Co-constructing inquiry-based science with teachers: Essential research for lasting reform. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 631-645.
- Keys, C. W., Hand, B., Prain, V., & Collins, S. (1999). Using the science writing heuristic as a tool for learning from laboratory investigations in secondary science. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(10), 1065-1084.
- Kuhn, D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77(3), 319-337.
- Lee, H. & Cho, H. (2012). An exploration of teaching method for scientific inquiry including scientific argumentation in school science. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 5(2), 175-188.
- Lee, S., Shin, M., Lee, G., Lee, S., & Kwon, N. (2010). Analyzing coherence of evidences and claims presented in elementary students' science writing for inquiry activities. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 29(4), 505-514.
- Lin, H. S., Hong, Z. R., Yang, K. K., & Lee, S. T. (2013). The impact of collaborative reflections on teachers' inquiry teaching. *International Journal of Science Education*, 35(18), 3095-3116.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Beverly Hills, CA: Sage.
- Loughran, J., Mulhall, 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.
- Louis, K. S., Marks, H. M., & Kruse, S. (1996). Teachers' professional community in restructuring schools. *American Educational Research Journal*, 33(4), 757-798.
- Magnusson, S., Krajcik, J., & Borko, H. (1999). Nature, sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching. In Gess-Newsome, J., & Lederman, N. G. (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 95-132). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- McLaughlin, M. W., & Talbert, J. E. (2006). *Building school-based teacher learning communities: Professional strategies to improve student achievement*. New York: Teachers College Press.
- 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.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Ministry of Education. (2015). *2015 revised curriculum-Science*. Seoul: Ministry of Education.
- National Research Council [NRC] (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- Newton, P., Driver, R., & Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21(5), 553-576.
- Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *Journal of Science Teacher Education*, 25(2), 177-196.
- Osborne, J., Simon, S., Christodoulou, A., Howell-Richardson, C., & Richardson, K. (2013). Learning to argue: A study of four schools and their attempt to develop the use of argumentation as a common instructional practice and its impact on students. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(3), 315-347.
- Park, S. H. (2007). Teacher efficacy as an affective affiliate of pedagogical content knowledge. *Journal of The Korean Association for Science Education*, 27(8), 743-754.
- 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. (2008). 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.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research and evaluation methods (3rd ed.)*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications
- Pimentel, D. S., & McNeill, K. L. (2013). Conducting talk in secondary science classrooms: Investigating instructional moves and teachers' beliefs. *Science Education*, 97(3), 367-394.
- Powell, K. C., & Kalina, C. J. (2009). Cognitive and social constructivism: Developing tools for an effective classroom. *Education*, 130(2),

- 241-250.
- Richmond, G., & Manokore, V. (2011). Identifying elements critical for functional and sustainable professional learning communities. *Science Education, 95*(3), 543-570.
- Roehrig, G. H., & Luft, J. A. (2004). Constraints experienced by beginning secondary science teachers in implementing scientific inquiry lessons. *International Journal of Science Education, 26*(1), 3-24.
- Sampson, V., & Blanchard, M. R. (2012). Science teachers and scientific argumentation: Trends in views and practice. *Journal of Research in Science Teaching, 49*(9), 1122-1148.
- Schneider, R. M., & Plasman, K. (2011). Science teacher learning progressions: A review of science teachers' pedagogical content knowledge development. *Review of Educational Research, 81*(4), 530-565.
- Seo, K. (2015). *Teacher learning communities*. Seoul: Hakjisa.
- Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher, 15*(2), 4-14.
- Shulman, L. S. (1987). Knowledge and teaching: Foundations of the new reform. *Harvard Educational Review, 57*(1), 1-23.
- Simon, S., Erduran, S., & Osborne, J. (2006). Learning to teach argumentation: Research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education, 28*(2-3), 235-260.
- Stoll, L., Bolam, R., McMahon, A., Wallace, M., & Thomas, S. (2006). Professional learning communities: A review of the literature. *Journal of Educational Change, 7*(4), 221-258.
- Tamir, P. (1988). Subject matter and related pedagogical knowledge in teacher education. *Teaching and Teacher Education, 4*(2), 99-110.
- 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.
- Vescio, V., Ross, D., & Adams, A. (2008). A review of research on the impact of professional learning communities on teaching practice and student learning. *Teaching and Teacher Education, 24*(1), 80-91.
- Von Glasersfeld, E. (1995). *Radical constructivism : A way of knowing and learning*. Washington, D.C.: Falmer Press.
- Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and language*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Zangori, L., Forbes, C. T., & Biggers, M. (2013). Fostering student sense making in elementary science learning environments: Elementary teachers' use of science curriculum materials to promote explanation construction. *Journal of Research in Science Teaching, 50*(8), 989-1017.

## 저자정보

양정은(양천중학교 교사)

최애란(이화여자대학교 교수)