

ORIGINAL ARTICLE

논증구조 수업설계 프로그램을 통한 예비 지구과학 교사의 과학논증 PCK 발달 모델 제안

박원미¹ · 광영순^{2*}

(¹성남여자고등학교 교사, ²한국교원대학교 조교수)

Suggestion of the Scientific Argumentation PCK Developmental Model for Preservice Earth Science Teachers through an Instructional Design Program Using Argumentation Structures

Won-Mi Park¹ · Youngsun Kwak^{2*}

(¹Seongnam Girls' High School, ²Korea National University of Education)

ABSTRACT

In this study, after applying the argument structure class design program for 20 preservice earth science teachers, we conducted individual in-depth interviews, analyzed the data, and derived a scientific argumentation PCK development model. The scientific argumentation PCK development model consists of three dimensions: Scientific argumentation PCK, PCK ecosystem, and reflective practice. Scientific argumentation PCK is demonstrated in the process of designing or executing classes using argumentation structures as an instructional reasoning tool. PCK ecosystem, consisting of the existing conventional PCK components, is a dimension surrounding the scientific argumentation PCK, and these two dimensions develop by interacting with each other. Reflective practice regulates each dimension and develops it in various ways by mediating the two dimensions of the scientific argumentation PCK and the PCK ecosystem. The conclusions drawn based on the results are as follows: First, preservice science teachers can demonstrate scientific argumentation PCK in the process of design and implementation of lessons using argumentation structures as a pedagogical reasoning tool. Second, it is necessary to develop the PCK for pedagogical reasoning tools such as scientific argumentation PCK in advance for the development of science teachers' PCK, since the scientific argumentation PCK can develop various components of the PCK ecosystem. Finally, it is necessary to use scientific argumentation PCK to support the preservice teacher's reflective practice, seeing that the scientific argumentation PCK promotes the development of PCK ecosystem components by inducing reflective practice.

Key words : scientific argumentation, PCK, pedagogical reasoning, reflective practice

I. 서론

교사의 수업 전문성은 주로 내용교수지식(pedagogical

content knowledge, 이하 PCK)의 맥락에서 논의된다. PCK에 관한 다양한 접근만큼이나 그 정의와 구성요소는 여러 견해가 존재한다. 그러나 교사가 다양한 수준

Received 29 March, 2022; Revised 20 April, 2022; Accepted 25 April, 2022

*Corresponding author: Youngsun Kwak, Korea National University of Education, 250, Taeseongtabyeon-ro, Gangnae-myeon, Heungdeok-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea, 28173

E-mail : kwak@knu.ac.kr

논문은 박원미의 2021년도 박사 학위논문의 내용을 발췌 정리하였음.

© The Korean Society of Earth Sciences Education. All rights reserved.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

의 학생들이 교과내용지식을 이해하고 유의미하게 통합하도록 하는데 필요한 복잡적이고 실천적 지식으로, 교사 전문성의 핵심이라는 점에는 이견이 없다. PCK는 교육과정, 교수방법이나 전략, 교수 상황, 평가 등 수업이라는 맥락에서 고려해야 할 다양한 조건과 학생을 배제하고는 발휘되기 어렵다. 교사가 PCK를 발휘한다는 것은 가르치려는 교과내용지식을 주어진 교수 맥락에서 학생이 이해할 수 있도록 적합한 학습자료로 변환하여 의미 있는 교수학습활동을 제공한다는 것이다. 이 과정에서 교사는 수업의 맥락에서 다양한 조건을 고려하면서 어떠한 목적이나 이유, 근거 등을 바탕으로 수업의 계획이나 실행을 결정하게 된다. 이와 같은 사고방식을 ‘교수적 추론(pedagogical reasoning)’이라고 한다(Carlson *et al.*, 2019; Roy & Bairagya, 2019). 즉, 교사는 수업을 계획·실행·반성하는 동안 교수적 추론을 통해 PCK를 발휘한다.

한편, 과학수업에서 이루어지는 과학지식에 관한 교사의 설명 혹은 탐구활동의 전개 등은 자료와 이유를 바탕으로 지식 주장을 전개하는 하나의 논증활동이라고 볼 수 있다. 논증이란 논거를 제시함으로써 주장을 정당화해 나가는 과정이다(Toulmin, 2003/2006). 과학 분야에서 논증은 과학의 독특한 논리 체계를 포함하는 의사소통 방식이며, 과학지식을 이해하고 전달하기 위한 일종의 언어 형식이라고 할 수 있다(신선경, 2009). 그러므로 논증은 학생들이 스스로 과학지식을 구성하고 내면화하는 데 꼭 필요한 요소이다(박원미와 곽영순, 2021; 신선경, 2009).

이러한 까닭에 최근 과학교육에서는 논증활동의 중요성에 주목하고 있으며, 국내에서도 ‘2015 개정 과학과 교육과정’이나 ‘미래세대를 위한 과학교육표준(Korean Science Education Standards, KSES)’ 등에 논증활동을 도입하였다(교육부, 2015; 송진웅 등, 2019). 또한 과학수업에 논증활동을 적용하는 다양한 연구들이 진행되고 있으며, 학생들이 활발한 과학 논증활동을 할 수 있도록 지원하기 위한 교사의 역할에 대해서도 활발히 논의하고 있다(위수민 등, 2014; 윤선미와 김희백, 2011; 이효녕과 조현준, 2012; 정주혜와 김희백, 2010; Chin & Osborne, 2010; McNeill & Knight, 2013; McNeill & Pimentel, 2010). 그러나 학생의 과학 논증활동 촉진 및 지원자로서 교사 역할의 중요성에도 불구하고 선행연구들에 따르면 많은 과학교사들이 교실 수

업에서 논증활동을 가르치는 데 어려움을 느끼며(Simon *et al.*, 2008), 논증에 대한 지식이 충분하지 않다고 여기고 있다(Beyer & Davis, 2008; Sampson & Blanchard, 2012). 이에 논증활동에 대한 교사들의 전문성을 발달시키기 위한 연구들도 진행되었다(Simon & Johnson, 2008; Crippen, 2012).

또한, 과학수업에서 성공적인 논증활동이 일어나기 위해서는 교사들이 논증활동에 관한 PCK가 필요하다는 연구들도 진행되었다. McNeill & Knight (2013)는 교사들이 논증활동을 과학수업에 적용하도록 돕기 위한 전문성 발달 연수를 통해 교사들의 PCK 발달을 탐색하고 과학 논증활동에 관한 PCK (PCK of scientific argumentation)를 제안하였다. 또한, 김선아 등(2015)은 과학 수업에서 학생들의 논증활동을 촉진하는 데 필요한 교사의 PCK를 논변특이적 PCK라고 정의하고, 과학수업에서 교사의 논증활동 실행과 교사-연구자 간 협력적 성찰을 통해 논변특이적 PCK의 발달을 포착하였다. 이들이 제안한 논변특이적 PCK는 논변의 본성에 대한 이해, 논변과제전략에 대한 이해, 학생에 대한 이해이다. McNeill *et al.* (2016)은 과학수업의 논증활동에 관한 교사의 PCK를 평가하는 방법을 개발하였다. 이들은 논증활동에 관한 PCK에 관한 개념 요소로 근거(evidence), 추론(reasoning), 학생 상호작용(student interactions), 대립되는 주장(competing claims)을 도출하고, 각 개념에 해당하는 평가 기준을 제시하기도 하였다.

한편, PCK의 구성요소를 설명하기 위해 Magnusson *et al.* (1999), Abell (2007), Park & Chen (2012)을 비롯한 많은 연구에서 PCK 구조 모델을 제시하였으며 PCK와 관련된 요소들의 간의 관계를 설명하고자 하였다. 그 후, 두 차례의 PCK 정상회의를 통해 ‘합의 PCK 모델(Consensus PCK Model, CM)’과 ‘개선된 합의 PCK 모델(Refined Consensus Model of PCK, RCM)’이 제안되었다(Carlson *et al.*, 2019). 개선된 합의 PCK 모델은 과학교사의 교수학습활동 실천과 학생의 학습 결과를 조절하는 복잡한 지식과 경험의 층위를 설명한다.

이처럼 지금까지 과학교육 연구에서 논증에 관한 PCK는 과학교사의 교수적 추론의 도구로써 논증을 활용하는 PCK (PCK using scientific argumentation)보다는 글쓰기나 토론 등 학생들의 과학 논증활동을 촉진하기 위한 PCK (PCK for scientific argumentation)를 중심으로 연구가 진행되었다. 또한, PCK에 관한 모델 연구도

과학교사의 PCK가 어떻게 발휘되고 발달할 수 있는가에 초점을 맞추어 설명하기보다는 PCK의 구성요소 또는 이와 관련된 요소들의 간의 복잡한 관계를 설명하기 위한 모델에 관한 연구가 주를 이루고 있다. 학생의 과학 논증활동뿐 아니라 과학교사의 교수활동에서도 논증은 중요한 요소임을 고려할 때, 교수적 추론의 도구로써 논증을 활용하는 PCK에 주목하고 이를 통해 과학교사의 PCK가 어떻게 발달하는지 설명하는 이론적인 모델을 도출할 필요가 있다.

이에 본 연구는 논증구조를 교수적 추론 도구로 활용하는 수업설계 프로그램을 예비 지구과학 교사에게 적용하고, 이들의 PCK를 탐색하여 도출한 PCK 발달에 관한 이론적 모델의 특징을 탐색하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 다음과 같은 연구 문제를 설정하였다.

첫째, 논증구조를 교수적 추론 도구로 활용하는 수업설계 프로그램을 경험한 예비 지구과학 교사들의 PCK 발달에 관한 이론적 모델의 특징은 무엇인가?

둘째, 예비 지구과학 교사들의 PCK 발달에 관한 이론적 모델을 이루는 각 차원의 발달 양태는 어떠한가?

II. 연구 방법

논증구조를 교수적 추론 도구로 활용하는 수업설계 프로그램을 경험한 예비 지구과학 교사의 PCK 발달 모델을 도출하기 위해 예비 지구과학 교사들을 대상으로 ‘논증구조 수업설계 프로그램’을 개발하고 적용하였다. 그리고 예비교사들을 대상으로 개별 심층 면담을 진행하고 자료를 분석하여 이들이 보여준 PCK 구성요소별 특징과 관계를 바탕으로 PCK 발달에 관한 이론적 모델을 도출하였으며, 모델을 이루는 각 차원의 특징과 발달 양태를 탐색하였다.

1. 연구 참여자

본 연구의 참여자는 K 대학교 지구과학교육과 3학년에 재학 중인 예비교사 20명이다. 연구 참여자들은 고등학교 지구과학 I, 지구과학 II 교육과정에 해당하는 학습내용으로 논증구조를 구성하고 교수학습지도안을 작성해야 하므로, 지구과학 내용지식과 수업설계에 관한 기초지식의 필요성을 고려하여 이들을 선정하

였다. 또한, 3학년 2학기는 예비교사들이 교생실습을 앞둔 시점으로, 본 연구를 통해 수업설계 과정을 경험한 후, 실습 학교에서 바로 적용해 볼 수 있는 시기이다. 따라서 3학년 예비교사들이 더 능동적으로 수업을 설계할 수 있는 동기가 부여된다는 점도 고려하였다.

2. 논증구조 수업설계 프로그램의 적용 및 자료의 수집과 분석

문헌 고찰을 통해 도출한 프로그램의 내용과 구성 원리를 바탕으로 예비 지구과학 교사들의 논증적 사고를 증진할 수 있는 논증구조 수업설계 프로그램을 개발하였다(Table 1). 이때 적용한 논증구조는 자료, 논거, 주장, 지지, 반박, 한정어 등 6가지 요소로 구성된 툴민의 논증구조¹⁾이다.

6주에 걸쳐 프로그램을 적용한 후, 연구 참여자를 대상으로 개별 심층 면담을 진행하였다. 인터뷰는 반구조적 인터뷰를 시행하였으며, 1회 면담은 약 50~90분 정도로 진행하였다. 1차 면담 질문은 예비 지구과학 교사들이 논증구조 수업설계 프로그램에 참여하면서 겪은 경험을 통해 PCK를 드러낼 수 있는 내용으로 구성하였다. 과학교육 전문가 1인, 현직교사 4인과 과학교육 전공 대학원생 2인으로 구성된 전문가 그룹에서 이를 검토하였고 수정·보완하여 1차 면담 질문을 완성하였다. 1차 면담에서는 준비한 질문을 모두 하였으며 이를 바탕으로 2차 면담을 효율적으로 진행하기 위한 추가 질문을 구성하였다. 1차 심층 면담 자료와 예비교사들이 작성한 결과물을 분석한 결과를 바탕으로 2차 면담에서는 논증 수준 및 PCK 측면에서 의미 있는 변화가 있는 참여자를 대상으로 추가 질문을 준비하였다. 면담이 끝난 후에는 면담에서 받은 전체적인 인상, 참여자의 태도와 특징 등을 면담 당일 메모하였고, 면담 당시의 상황에 대한 메모도 추가하였다. 이러한 메모는 전사 및 자료 분석 과정에서 참고자료로 활용하였다.

1) 툴민은 일상생활에서 실제로 일어나는 사고의 흐름과 맥락에 주목하여 논증의 설득적 효과를 높이고 형식논리학의 한계를 극복하기 위해, 주장(claim), 자료(data), 논거(warrant), 지지(backing), 한정어(qualifier), 반박(rebuttal), 여섯 가지 요소로 이루어진 일련의 논증구조를 제시하였다. 이를 통해, 논증의 영역은 다양하지만, 논증의 형식은 본질적으로 동일한 구조를 지닌다고 주장하였다(Toulmin, 2003/2006).

Table 1. Contents of Instructional Design Program Using Argumentation Structures

단계	회차	내용	구성 원리	활동 및 과제	
교과 교육학 기초지식 점검과 이해	1 회차	(지구)과학 탐구 방법 및 교수학습 모형과 수업전략에 대한 이해	학문적 접근	강의	논증적 글쓰기
		과학 탐구와 논증적 사고 이해	도제적 접근	실습	
논증의 개념 및 구조 이해와 활용	2 회차	논증의 개념 및 틀민의 논증구조 요소 이해	학문적 접근	강의	토의
		논증적 글쓰기 결과 분석	반성적 접근	토의	
틀민의 논증구조를 활용한 수업설계 방법 습득	3 회차	교육과정 문서의 구성요소와 교수학습지도안 작성법 이해	학문적 접근	강의	1차 교수학습지도안
		수업주제 선택 및 1차 교수학습지도안 작성	도제적 접근	실습	
	4 회차	교수학습지도안의 논증구조 분석 방법 습득	도제적 접근	강의	토의
		1차 교수학습지도안의 논증구조 분석	반성적 접근	토의	
	5 회차	논증구조 분석을 통한 교수학습지도안 작성 방법 습득	도제적 접근	강의	2차 교수학습지도안
논증구조를 활용한 교수학습지도안 작성		실습	실습		
논증구조 및 요소의 교수전략적 활용 이해	6 회차	논증구조를 활용한 교수학습지도안 분석 및 공유	반성적 접근	모둠별 토의	최종 교수학습지도안
		최종 교수학습지도안 수정	공동체적 접근	실습	

예비 지구과학 교사들의 PCK 발달을 설명하는 이론적 모델을 도출하기 위해, 질적 분석을 통해 개별 심층 면담 자료를 코딩하였으며, 핵심적인 범주를 중심으로 데이터 유사성 비교와 코딩 매트릭스 분석 및 데이터 네트워크 분석 등을 수행하였다. 그리고 범주 간 관련성을 바탕으로 범주의 차원을 설정하였으며, 차원에 따라 범주를 연결하거나 통합하였다. 심층 면담 자료 분석 도구로 Nvivo 12를 활용하였으며, 데이터 유사성은 Nvivo 12의 Cluster Analysis를 이용하여 Jaccard 계수²⁾를 비교하였다. 데이터 네트워크 분석에는 Gephi 0.9.2를 활용하였다. 자료 분석과 함께 선행연구 검토 및 비교를 지속적으로 진행하였으며 연구의 신뢰성을 확보하고자 과학교육 전문가 집단을 통한 타당도 검증과 삼각검증을 거쳤다. 또한, 연구자의 관점이나 역할이 자료 수집과 결과 해석에 영향을 미칠 수 있으므로 연구자의 편견이나 주관에 미치는 영향에 대해 미리 성찰하였으며, 개인적 배경과 경력을 포함한 연구자의 위치에 대해서 인지하고 동료 연구자와 참여자 검토 등의 과정을 거쳤다.

이와 같은 자료 분석 결과를 바탕으로 논증구조를

교수적 추론 도구로 활용하는 수업설계 프로그램을 경험한 예비 지구과학 교사들의 PCK 발달 모델을 고안하였다. 모델을 고안하기 위해 설정한 범주의 차원은 Strauss & Corbin (1990; 1998)이 제안한 패러다임 모형을 변형·적용하여, ‘중심현상’, ‘상호작용’, ‘결과현상’으로 범주의 차원을 설정하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

본 연구에서는 논증구조를 교수적 추론 도구로 활용하는 수업설계 프로그램을 예비 지구과학 교사에게 적용하고, 이들의 PCK를 탐색하여 PCK 발달에 관한 이론적 모델을 도출하였으며, 이를 ‘과학논증 PCK 발달 모델(Scientific Argumentation PCK Developmental Model)’이라고 정의하였다. 과학논증 PCK 발달 모델을 이루는 각 차원의 특징과 발달 양태를 탐색한 결과는 다음과 같다.

1. 과학논증 PCK 발달 모델의 세 가지 차원과 그 특징

심층 면담 분석 결과, 총 69개의 코드를 생성하였으며, 이로부터 ‘과학논증 PCK’(387), ‘과학 교과내용 지

2) Jaccard 계수(Jaccard's coefficient)는 두 데이터 집합의 교집합의 크기를 합집합의 크기로 나눈 것으로, 두 그룹에 속해 있는 아이템들의 합집합에 대한 교집합의 비율로 계산된다(Arnaboldi et al., 2015). Jaccard 계수가 0에 가까울수록 교집합이 없는 경우를 의미하며, 1에 가까울수록 서로 완전히 같은 경우를 의미한다.

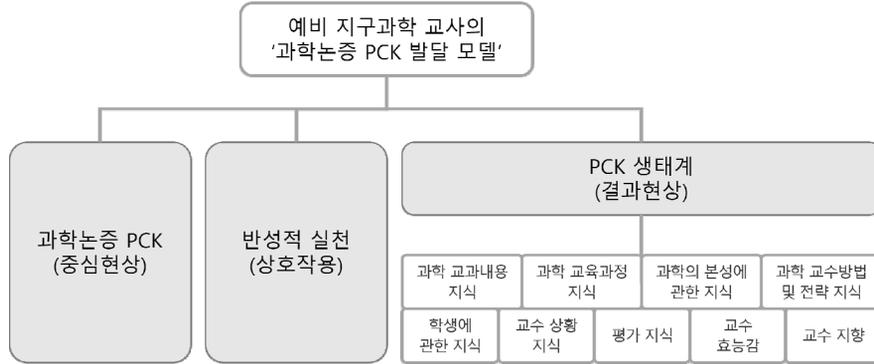


Fig. 1. An overview of the scientific argumentation PCK developmental model

식(115)', '반성적 실천'(64), '과학 교육과정 지식'(33), '과학의 본성에 관한 지식'(32), '과학 교수방법 및 전략 지식'(92), '학생에 관한 지식'(60), '교수 상황 지식'(23), '평가 지식'(7), '교수 효능감'(27), '교수 지향'(33), 11개의 범주를 생성하였다.³⁾ 11개의 범주를 분석하여 '중심현상', '상호작용', '결과현상'에 각각 해당하는 '과학논증 PCK', '반성적 실천', 'PCK 생태계'의 세 가지 차원으로 구분하였으며, 최종적으로 예비 지구과학 교사의 과학논증 PCK 발달에 관한 모델을 도출하였다(Fig. 1).

가. 과학논증 PCK: 중심현상

과학논증 PCK는 단일 범주로 구성된 차원으로, 11개의 범주 중 코딩 빈도수가 가장 높게 나타났으며, 본 연구에서 가장 특징적으로 나타난 PCK이다. 이는 다른 범주들을 통합적으로 설명하는 가장 핵심적인 범주에 해당하기 때문에 중심현상 차원에 해당한다. 본 연구에서는 과학논증 PCK를 '예비교사들이 논증구조를 교수적 추론 도구로 활용하여 수업을 설계하거나 실행하는 과정에서 논증요소 및 지식 주장의 정당화 과정을 고려하고 반영하는 등과 관련된 PCK'로 규정하였다.

또한 과학논증 PCK는 과학이라는 학문의 본성으로, 그리고 과학의 언어로서 논증구조를 이해하고 이것을 과학수업 설계에 적용하는 영역 특이적(domain-specific) PCK라고 할 수 있다(Veal & MaKinster, 1999). 이는 과학교사가 수업에서 지식에 관한 설명 혹은 탐구활동의 논리적인 전개 등을 통해 지식 주장을 펼칠 수 있는 역량이다. 본 연구에서 예비 지구과학 교사들은 수

업설계를 위해 교육과정 및 교과서의 내용을 분석하였으며, 논증구조에 맞추어 수업내용을 구성하였다. 그리고 이를 바탕으로 교수학습지도안을 작성하였다. 이 과정에서 예비교사들은 논증구조의 구성요소와 지식 주장의 정당화 과정을 고려하는 등 과학논증 PCK를 발휘하였다. 다음은 과학논증 PCK에 해당하는 심층면담 자료의 예시이다.

가장 크게 변한 것은 반박과 지지, 이런 게 추가된 건데요. 이런 걸 반영하지 않으면 수업이 끝났는데도 학생들의 궁금증이 그냥 남아있는 상태에서 수업이 끝날 수도 있겠다는 생각이 들더라고요, 그래서 반론/반박을 넣어서 수업을 좀 더 풍부하게 한다는 그런 느낌이에요. 그렇지 않으면, 학생들이 궁금해하는 부분을 짚어주지 못하니까요. (연구 참여자 T)

반박을 고려하면서 그런 것도 생각했던 것 같아요. 학생들이 이런 질문을 할 수도 있겠다는 것에 대해서 다시 한 번 고민했던 것 같아요. 학생들이 단순히 교과서만 읽는다면 이해가 안 되는 것이 무엇일지, 이런 것들을 유심히 봤던 것 같습니다. (연구 참여자 O)

논증구조 분석을 하면 설명의 단계를 더 차근차근 생각할 수 있는 것 같아요. 두서없이 설명하기보다는 좀 더 논리적이고 단계적으로 설명할 수 있는 것 같아요. 논증구조를 확인하면 뭔가 빠진 게 있나 빈 개념은 없나 체크할 수 있어서 좋았던 것 같아요. 그리고 좀 더 교육과정 분석도 하게 되어서 교과 이해도도 높아지는 것 같아요. (연구 참여자 D)

심층 면담 자료를 살펴보면, 과학논증 PCK는 자료 (D), 논거(W), 주장(C), 지지(B), 반박(R), 한정어(Q), 논

3) ()안의 숫자는 각 범주의 코딩 빈도수를 나타낸다.

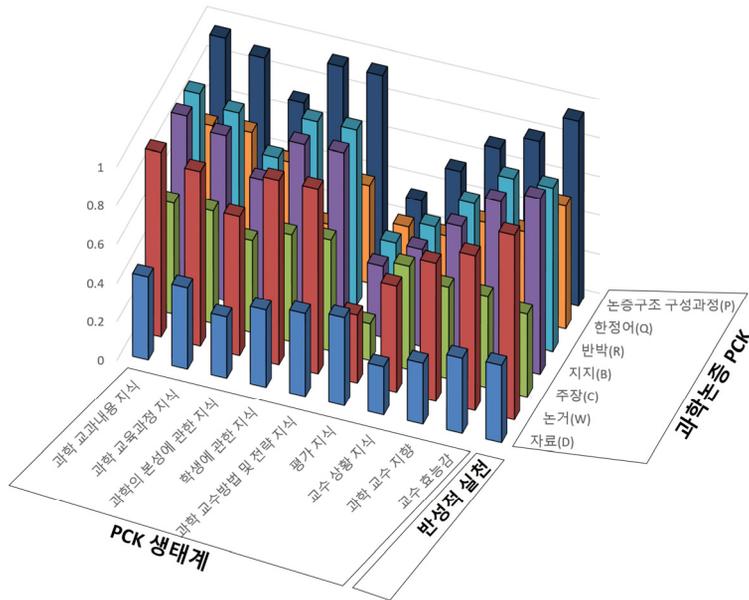


Fig. 2. Jaccard coefficient on the PCK ecosystem and reflective practice coded with the scientific argumentation PCK

증구조 구성과정(P) 등 논증구조를 활용해 수업을 설계하거나 실행하는 동안 과학교사가 고려하는 요소들로 구성되어 있음을 알 수 있다. 과학논증 PCK를 발휘하는 동안 예비교사들은 학생에 관한 지식, 교육과정 지식, 교수학습방법 및 전략 지식을 고려하였고 반성적 실천 과정에서도 과학논증 PCK를 활용하고 있었다.

Jaccard 계수 분석을 통해 데이터 유사성을 살펴본 결과, 과학논증 PCK 차원은 나머지 차원 및 구성요소들과의 높은 상관관계를 보이고 있었다. 특히 과학논증 PCK의 구성요소인 논증구조 구성과정(P), 논거(W), 지지(B), 반박(R), 한정어(Q) 등은 다른 두 차원인 PCK 생태계 및 반성적 실천과 데이터 유사성이 높게 나타났다. PCK 생태계 구성요소 중 과학 교과내용지식, 과학 교육과정 지식, 과학의 본성에 관한 지식, 학생에 관한 지식, 교수방법 및 전략 지식, 과학 교수 지향, 교수 효능감 등의 측면과 반성적 실천에서 0.63 ~ 0.95에 해당하는 높은 Jaccard 계수가 나타났다(Fig. 2).

중심현상 차원은 연구의 핵심적인 범주에 해당하고 다른 차원의 범주들을 통합적으로 설명하기 때문에 코딩 빈도수가 높을 뿐 아니라, 이처럼 다른 차원과의 연관성도 높게 나타난다.

한편, 과학논증 PCK는 수업 자체를 구성하기 위한 방법론적이고 구문론적인 성격을 띤다. 즉, 예비교사들이 주어진 교수 맥락에서 자신의 교과내용지식을 교

수학습활동으로 변환하는 데 사용한 교수적 추론의 방법에 관한 지식이다(Roy & Bairagya, 2019). 이는 PCK 실행에 관여하는 방법론적인 지식에 해당하므로 선행 연구들에서 제안한 논변특이적 PCK (김선아 등, 2015) 또는 과학 논증활동에 관한 PCK (McNeill & Knight, 2013)와 같은 학생들의 논증활동을 촉진하기 위한 PCK와는 구별된다.

나. PCK 생태계: 결과현상

PCK 생태계는 과학 교과내용지식, 과학 교육과정 지식, 과학의 본성에 관한 지식, 과학 교수방법 및 전략 지식, 학생에 관한 지식, 교수 상황 지식, 평가 지식, 과학 교수 지향, 교수 효능감 등 기존의 통상적인 PCK 구성요소들로 구성된다(Abell, 2007; Magnusson *et al.*, 1999; Park & Chen, 2012, Table 2). 이들을 본 연구에서는 과학논증 PCK를 둘러싸고 이와 상호작용하는 PCK 생태계로 지칭한다.

PCK 생태계의 구성요소에 해당하는 심층 면담 자료를 살펴보면, 모두 중심현상인 과학논증 PCK와 연관성을 보이면서 결과적으로 나타나는 현상을 설명하고 있음을 알 수 있다. 다시 말해 PCK 생태계는 본 연구에서 결과현상 차원에 해당한다.

중심현상인 과학논증 PCK와 PCK 생태계를 구성하

Table 2. Examples of interview data corresponding to PCK ecosystem components

PCK 생태계 구성요소	심층 면담 자료 예시
과학 교과내용지식	<ul style="list-style-type: none"> • 대부분 고등학교 때 배웠던 것들이라서 어느 정도 다 알고는 있는데 이걸 학생들한테 가르치려면 논거가 필요하잖아요, 왜 그런 현상이 나타나는지 원리 같은 것이요, 그런 걸 좀 더 자세히 알아야 하고, (...) 교과서에서는 대기대순환이 위도 30도와 60도에서 나뉘는, 3 세포 순환으로 간단하게 설명되어 있는데 그냥 그렇다고 설명할 수는 없잖아요. 그런데 그 이유가 왜 그런 것인지는 자세히 안 나와 있어요. 그래서 그걸 어떻게 설명하면 좋을지 다른 자료들을 찾아봤어요. (연구 참여자 P)
과학 교육과정 지식	<ul style="list-style-type: none"> • 논증구조를 적용해서 수업을 설계해 보니까 수업을 꾸릴 때 증점적으로 보아야 할 것이 무엇인지 더 깊게 생각하게 돼요. 논증구조 자체가 제가 생각을 하게 하는 것 같아요. 논증구조가 어떤 것을 수업에서 목표로 두고 수업을 구성하고 진행할 것인지 생각하게 하는 것 같아요. 그래서 저는 어떤 수업에서 한 주제에 대해서 학생들에게 반드시 전달해야 할 핵심 주장과 뒷받침할 내용을 정할 수 있게 해준 것 같아요. (연구 참여자 H)
과학의 본성에 관한 지식	<ul style="list-style-type: none"> • 반론이나 한정어를 고민하다 보니까요, 과학교사는 다양한 배경지식, 예를 들어, 최근에 나온 연구 결과라든지, 전 지구적인 모형 같은 부분은 또 더 연구 중이라고 하거든요, 그런 아주 최근에 발생했던 자연현상들에 대한 것들을 포함한 다양한 지식을 아주 많이 갖고 있어야 할 것 같아요. 과학은 언제든지 새로운 데이터가 나오면 바뀔 수 있으니까요. 그리고 다양하고 새로운 자료들이 주장을 다시 뒷받침할 수도 있으니까 그런 것에 항상 관심을 가지고 봐야겠다고 생각하게 됐어요. (연구 참여자 Q)
과학 교수방법 및 전략 지식	<ul style="list-style-type: none"> • 모둠활동, 토의 토론을 계획했어요. 학생들끼리 각자 생각했던 것들을 많이 이야기하면 자료에서 주장으로 가는 과정에 있어서 다양한 생각들을 자기들끼리 이야기 나눠보면 좋을 것 같았어요. 학생들이 자신들이 생각하는 논거를 표현해봤으면 좋겠다고 생각했던 것 같아요. 학생들이 물론 정답을 떠올릴 수는 없겠죠. 학생들이 논거를 떠올려서 이야기해 주면 좋고 그렇지 않으면 제가 또 다루어줘야 하겠지만요. 논증구조를 활용해보지 않았다면 토의나 토론 활동을 하라고 하지 않았을 것 같아요. 그냥 암흑물질이 뭔지 제가 다 설명하려고 했을 것 같거든요. (연구 참여자 J)
학생에 관한 지식	<ul style="list-style-type: none"> • 논거를 자세히 설명한다, 또는 풀어쓴다는 느낌으로 논거에서 생략된 부분들을 더 자세히 지지로 썼고 학생들의 이해를 도울 수 있는 그림과 같은 다른 형태의 자료를 고민했어요. (연구 참여자 G) • 반론이 학생이 가질 수 있는 오개념일 수 있는데 제가 학생의 관점에서는 좀 다르게 생각할 수 있겠다는 생각을 계속해 보니까 도움이 됐어요. (연구 참여자 D)
교수 상황 지식	<ul style="list-style-type: none"> • 제가 수업을 진행하다 보면 분명히 학생들이 ‘그런데 그건 왜 그런거요?’ 하는 질문을 할 거라는 생각을 했어요. 그런 비상 상황, 예상치 못한 상황이 닥치면 어떻게 해야 할지 걱정이 늘 있었어요. 그런데 질문들이 반박에 해당하는 내용이잖아요, 사실. 그리고 논증구조가 머릿속에 그려질 테니까 학생들이 어려워하는 부분이 있으면 좀 더 시간을 할애하고 대신 쉽게 받아들이는 것은 시간을 줄이기도 할 수 있죠. 그런데 논증구조를 따라 반박을 준비하다 보면 그런 예상치 못한 사태에 대처할 수 있어서 안심됩니다. (연구 참여자 E)
평가 지식	<ul style="list-style-type: none"> • 평가 부분에서 변화가 있는데요, 논증구조에 들어간 내용들이 어떤 논증구조 요소든지, 모두 주장을 위해서 말하는 내용이잖아요, 그래서 이 주장에 대해서 설명했던 것들을 평가에 넣어야겠다고 생각했어요. 그래서 학생들이 잘 이해했는지 알아보고자 했어요. (연구 참여자 G)
과학 교수 지향	<ul style="list-style-type: none"> • 저만 논증구조를 제 머릿속에 가지는 것이 아니라, 자료에서도 논거를 통해 주장으로 가는 과정을 학생들이 논증구조를 사용해서 배웠으면 좋겠다는 생각이 들어서 (...) 그래서 그 과정에 맞는 활동을 찾아서 넣게 됐어요. 그냥 시험을 보기 위한 지식을 가르치는 것이 아니라 논리적인 사고를 도출하고 반박하고 보강하는 과정들을 배우는 것, 그러니까 과학 지식만 가르치는 게 아니라 사고하는 능력을 기를 수 있도록 해보는 게 중요하다는 생각이 들었어요. 그런 사고력을 키웠으면 좋겠다고 생각했어요. (연구 참여자 N)
교수 효능감	<ul style="list-style-type: none"> • 수업지도안이 좀 더 나아진다는 생각이 들었어요. 그래서 물론 아직 부족하다고 생각하긴 하지만 수업을 구성하거나 설명할 때 자신감이 생겼어요. 전에는 ‘이런 내용을 넣었으면 좋겠다’하는 게 끝인데, 이제는 ‘어떤 논거를 넣어야겠다, 학생들이 단계를 밟아나갈 때 이걸 못하면 내가 해줘야 하니까 이때 내가 질문을 해야 할지, 탐구활동에서 내가 이런 역할을 해야겠다’하는 것들을 조금 더 알 수 있게 되었고요. (연구 참여자 D)

는 요소들이 어떤 관계를 갖는지 살펴보기 위해 코딩 매트릭스 분석과 데이터 네트워크 분석을 시행하였다. 교차코딩 빈도수는 과학 교과내용지식(98), 과학 교수 방법 및 전략 지식(84), 학생에 관한 지식(56), 과학 교수 지향(31), 과학의 본성에 관한 지식(30), 과학 교육과정

지식(27), 교수 상황 지식(18), 교수 효능감(15), 평가 지식(7) 순이다(Table 3).

특히, 과학 교과내용지식의 경우 과학논증 PCK와의 교차코딩 빈도수가 상대적으로 높게 나타났다. PCK 생태계 구성요소 중에서, 일반적으로 수업주제 특이적

Table 3. Results of coding matrices in the PCK ecosystem components and scientific argumentation PCK

PCK 생태계 구성요소	과학논증 PCK와의 교차코딩 빈도수							총 빈도수*
	D	W	C	B	R	Q	P	
과학 교과내용지식	6	26	7	31	21	7	29	98
과학 교육과정 지식	2	2	7	2	2	1	17	27
과학의 본성에 관한 지식	0	13	0	11	6	4	11	30
학생에 관한 지식	1	10	0	15	28	0	13	56
과학 교수방법 및 전략 지식	2	28	3	27	6	0	38	84
평가 지식	0	1	0	0	2	0	4	7
교수 상황 지식	0	5	0	4	2	0	12	18
과학 교수 지향	0	15	0	8	4	0	15	31
교수 효능감	0	0	0	1	2	0	15	15

D: 자료, W: 논거, C: 주장, B: 지지, R: 반박, Q: 한정어, P: 논증구조 구성과정,
 * 과학논증 PCK 구성요소 간 중복코딩을 제외한 빈도수 합계

PCK에 해당하는 구성요소는 과학 교수방법 및 전략 지식과 학생에 관한 지식이다(Gess-Newsome, 2015). 그런데 본 연구에서는 이 영역들에 비해서 과학 교과 내용지식 측면에서 상당히 강한 연관성을 나타내고 있다. 이러한 결과가 나타난 원인은 논증구조가 가지는 특성과 연구 참여자의 특성, 두 가지 측면에서 논의할 수 있다. 첫째, 논증구조를 교수적 추론의 도구로 사용함으로써 예비교사들은 자신이 가진 과학 교과내용지식을 효과적으로 점검하였기 때문이라고 볼 수 있다. 논증은 과학 언어의 구조적 요소로서 필수적인 역할을 한다(Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2000). 따라서 과학 교과 내용지식을 과학 언어의 구조인 논증구조에 맞추어 분석하다 보면 꼭 필요한 요소가 누락되거나 부족하지 않은지 점검할 수 있고 과학 교과내용지식을 보다 논리적으로 구성하고 정당화할 수 있다. 둘째, 본 연구의 참여자들이 수업 실천 경험이 거의 없는 예비교사이기 때문에 교과내용지식에 대한 점검을 특히 중요하게 생각했다고 볼 수 있다. 선행연구 결과에 따르면, 예비 과학교사들이 중등 과학 교과지도에 필요한 내용지식이 부족한 편이며(박철용 등, 2008), 수업 경험이 적은 초임 과학교사의 경우 과학교사의 권위가 풍부한 교과 내용지식에서 나온다고 생각하는 경향이 있다(곽영순, 2009). 본 연구에 참여한 예비교사들 역시 심층 면담에서 자신의 과학 교과내용지식의 부족함을 느꼈다고 하였으며, 과학교사는 정확하고 풍부한 교과내용지식을 가져야 한다고 말하였다. 즉, 연구에 참여한 예비교사들 역시 자신의 교과내용지식이 부족하다고 생각했기

때문에 논증구조를 활용한 수업설계를 경험하는 동안 자신의 지식을 더욱 집중적으로 점검하였을 것이고 그 결과 과학논증 PCK와 과학 교과내용지식의 연관성이 높게 나타난 것으로 볼 수 있다.

PCK 생태계의 구성요소들은 합의 PCK 모델(Gess-Newsome, 2015)을 구성하는 교사 전문성 영역들과도 대응된다. PCK 생태계를 이루는 각 구성요소 간 상호작용에 따라 PCK 생태계 내에서 교사의 전문적 지식 기반, 주제 특이적 전문 지식, 그리고 개인적 PCK/PCK&기술 등과 같이 세부 범주로 구분할 수도 있으나(Gess-Newsome, 2015), 본 연구에서는 기존 PCK 구성요소 간 상호작용이 초점이 아니라, 과학논증 PCK와 PCK 생태계의 상호작용이 중심이므로, PCK 생태계의 구성요소들을 세부 범주로 구분하지는 않았다. 또한, PCK 생태계의 구성요소는 모두 수업설계를 실행하는 과정에서 나타난 경험적, 실천적 지식에 해당한다는 점에 주목하여 모두 같은 층위에 두었다.

다. 반성적 실천: 상호작용

반성적 실천은 예비교사들이 논증구조 수업설계 프로그램에 참여하는 동안 직면하는 장애요인을 파악하고 해결하거나 약점을 보완하는 방법을 찾는 등 초인 지적 사고를 수행하고 이를 개선하고자 노력하는 것을 의미한다. 이렇게 실천 과정에 암묵적으로 내재 된 앎을 표면화하고 비판하고 재구성하며 다시 실천으로 구현하고 검증하는 것을 ‘반성적 실천’이라고 한다(서경혜, 2005, 2013; Schön, 1983). 반성적 실천을 통해 교사

는 스스로 자질을 개선해 갈 수 있다. 본 연구에서 예비교사들은 수업을 설계하는 활동에 논증구조를 활용하는 조건이 추가되면서 새로운 어려움에 직면하였다. 면담 결과 이러한 장애요인을 파악하고 해결하는 과정에서 예비교사들의 초인지적 사고가 더욱 촉진되었다는 점을 알 수 있었다. 다음은 반성적 실천에 해당하는 심층 면담 자료의 예시이다.

특히 내용지식에 대한 부분이 힘들었어요. 논증구조를 적용해서 수업을 설계하다 보니까 내가 너무 당연히 생각하는 부분을 설명을 못 하겠더라고요. 그 원인에 대해서. 내용지식의 부족을 많이 느껴서 심리적으로도 더 힘들었던 것 같아요. 그래서 그것을 많이 보충해 나가야겠다고 생각했어요. (연구 참여자 I)

제가 아직 공부가 부족한 부분이긴 한데 한정어를 넣을 때 그냥 단순히 '지층이 역전되지 않았다면'이라고 넣었어요. 그런데 또 학생 입장에서 지층의 역전에 대해서 이 수업의 전 차시에 이미 다룬 부분이라면 학생들이 쉽게 받아들일 텐데 만약 다음 차시에 다룬 내용이라면 이것을 추가로 더 시간을 할애해서 설명해야 하는 건 아닌지 생각이 들었어요. (연구 참여자 O)

처음에 논증구조를 생각하지 않고 수업 준비자료를 읽을 때는 그냥 그림 중심으로 설명을 하자 이런 생각을 많이 했었는데, 논증구조를 고려하다 보니까 내용이 논거 중심으로 설명해야 한다고 생각하게 됐어요.

논거가 없으면 논리적으로 이해할 수가 없잖아요, 그래서 자료보다는 논거에 더 집중하게 된 것 같아요. (연구 참여자 T)

심층 면담 자료를 살펴보면, 예비교사들은 반성적 실천을 통해 교과내용지식, 학생에 관한 지식, 교수 상황 지식 등의 부족과 보완의 필요성을 느끼기도 하고, 논증구조에 대한 이해도 깊어진 것을 알 수 있다. 즉, 반성적 실천은 중심현상인 과학논증 PCK와 PCK 생태계 양측을 다루거나 조절하는 데 쓰이는 전략의 성격을 띤다. 따라서 반성적 실천은 상호작용 차원에 해당한다.

반성적 실천은 단일 범주로 구성된 차원으로, 코딩 빈도수(64)는 과학논증 PCK(387)나 PCK 생태계(422)에 비하여 작게 나타났지만, 과학논증 PCK 및 PCK 생태계 구성요소들과의 데이터 유사성이 높게 나타났다. PCK 생태계 구성요소 중 과학 교과내용지식, 과학의 본성에 관한 지식, 학생에 관한 지식, 과학 교수방법 및 전략 지식, 과학 교수 지향, 교수 효능감 등은 Jaccard 계수가 0.63 ~ 0.95로 높게 나타났다. 또한, 과학논증 PCK의 구성요소인 논증구조 구성과정(P), 논거(W), 지지(B), 반박(R), 한정어(Q) 등도 0.66 ~ 0.95로 높은 연관성을 보였다(Fig. 3).

상호작용 차원인 반성적 실천은 양쪽 차원을 매개하고 조절하기 때문에 이처럼 과학논증 PCK, PCK 생

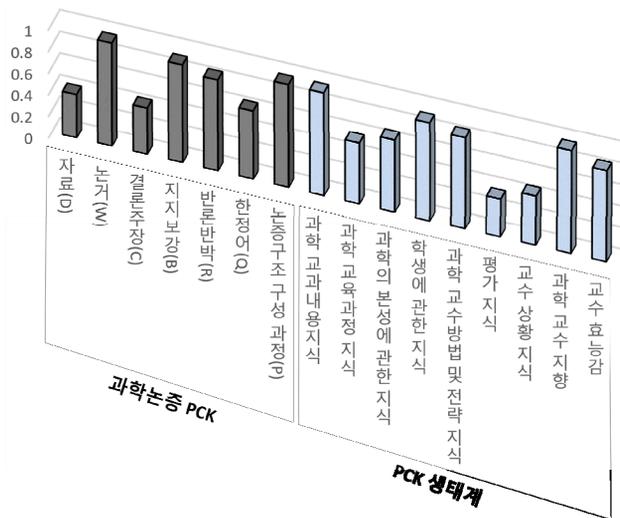


Fig. 3. Jaccard's coefficients on the components of scientific argumentation PCK and PCK ecosystem coded with reflective practice

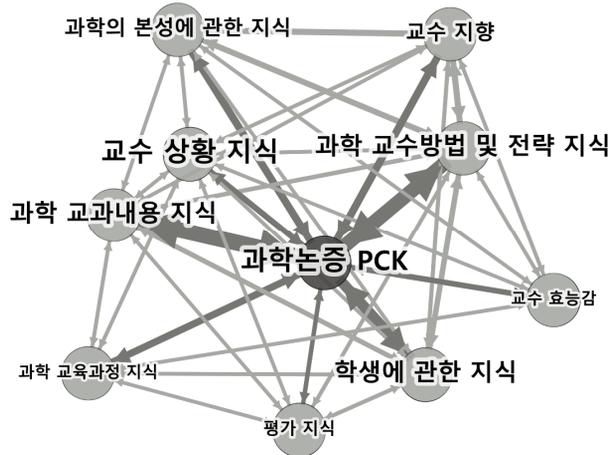


Fig. 4. Results of network analysis on the scientific argumentation PCK and PCK ecosystem components

태계 두 차원과의 연관성도 높게 나타난다.

PCK는 교사의 수업 경험과 성찰을 통해 성장하는 지식이므로, 반성적 실천이 PCK 생태계와 높은 상관 관계를 나타내는 것은 당연한 결과라고 볼 수 있다. 또한, 반성적 실천과 과학논증 PCK와의 높은 연관성은 예비 지구과학 교사들이 논증구조를 교수적 추론의 도구로 사용하여 자신이 설계한 수업을 점검하고 성찰하였음을 나타내는 것이기도 하다.

라. 데이터 네트워크 분석을 통한 과학논증 PCK 모델 도출

과학논증 PCK 발달 모델의 각 차원을 더 명료하게 드러내기 위해, 과학논증 PCK와 PCK 생태계의 데이터 네트워크를 분석하였다. 과학논증 PCK 발달 모델을 시각화하기 위해 과학논증 PCK와 PCK 생태계 간 연결성에 초점을 맞추어 데이터 네트워크 분석을 시행하였다. 데이터 네트워크 분석은 각 데이터 간 연결성을 바탕으로 상관관계를 보여준다. 분석 소프트웨어는 Gephi 0.9.2를 활용하였으며, 네트워크 노드(node)의 크기는 아이겐벡터 중심성(Eigenvector centrality)⁴⁾을 기반으로, 노드를 잇는 선(edge)의 굵기는 해당 노드에서

연결의 개수(degree)를 기반으로 나타내었다. 과학논증 PCK와 PCK 생태계의 데이터 네트워크 분석 결과는 Fig. 4와 같다.

과학논증 PCK와 PCK 생태계의 데이터 네트워크 특징을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 과학논증 PCK는 모든 PCK 생태계와 명확한 네트워크 연결을 보이며 중심에 위치한다. 둘째, 과학논증 PCK는 특히 과학 교과내용지식, 과학 교수방법 및 전략 지식, 학생에 관한 지식과 연결이 강하게 나타나고 있으며, 과학의 본성에 관한 지식, 과학 교육과정 지식, 과학 교수 지향과도 연결이 뚜렷하다. 셋째, 교수 상황 지식은 과학논증 PCK와의 연결 빈도는 상대적으로 낮으나 PCK 생태계의 구성요소들과 고루 연결되어 있어 중심부에 가까이 위치한다. 즉, 과학논증 PCK와의 직접적인 연결이 다소 약한 PCK 생태계 구성요소라도 다른 구성요소와의 연결을 통해 네트워크 중심성이 강해진다는 것이다. 이는 과학의 본성에 관한 지식과 과학 교수 지향도 마찬가지이다. 넷째, 과학 교수방법 및 전략 지식은 과학의 본성에 관한 지식, 과학 교수 지향, 학생에 관한 지식과 밀접한 연결성을 보인다. 이는 과학교사의 교수전략을 통한 교수 지향을 분석한 방은정과 백성혜(2012)의 연구 및 과학교사 PCK 요소의 특징과 관련성을 탐색한 김선경 등(2011)의 연구 결과와도 일치한다.

이상의 연구 결과를 바탕으로, 과학논증 PCK, PCK 생태계, 반성적 실천의 세 가지 차원을 도식화하여 모델을 도출하였다. Fig. 4를 과학논증 PCK 발달 모델의 세

4) 아이겐벡터 중심성(Eigenvector centrality)은 해당 개념 또는 범주에 연결된 노드의 수와 링크의 수를 모두 고려하는 계산 방법으로, 자신과 연결된 다른 노드들이 네트워크 내에서 얼마나 중요한지 파악하는 지표이다. 아이겐벡터 중심성이 높으면 연결 빈도가 낮아도 높은 영향력을 가지며, 반대로 연결 빈도는 높지만 아이겐벡터 중심성이 낮다면 네트워크 내의 실질적인 영향력은 미미하다고 볼 수 있다(곽기영, 2014).

가지 차원을 중심으로 시각화한 결과는 Fig. 5와 같다.

과학논증 PCK 발달 모델은 세 개의 동심원 영역, 그리고 동심원 중심과 가장자리 영역을 연결하는 9개의 화살표로 이루어진다. 동심원의 중앙에는 중심현상 차원인 과학논증 PCK가 위치하며, 가장 바깥쪽 동심원에는 결과현상 차원인 PCK 생태계가 위치한다. 그리고, 그 사이를 연결하는 동심원에는 상호작용 차원에 해당하는 반성적 실천이 위치한다. 화살표의 굵기는 과학논증 PCK와 PCK 생태계 구성요소 간 상대적인 상호작용 강도를 나타낸다. 이는 과학논증 PCK와 PCK 생태계 구성요소 간 코딩 매트릭스의 교차코딩 빈도수를 바탕으로 하였다(Table 3).

2. 과학논증 PCK 발달 모델에서 세 가지 차원의 발달 양태

본 연구를 통해 최종적으로 도출한 과학논증 PCK 발달 모델의 세 가지 차원의 발달 양태를 살펴보면 다음과 같다(Fig. 5 참조).

가. 과학논증 PCK

첫 번째 차원인 과학논증 PCK는 논증구조를 활용하여 수업을 설계하고 실행함으로써 발휘되는 교수적 추론의 과정이다. 논증구조를 활용한 논리적이고 타당한 과학수업을 설계해 나가는 동안 예비교사들의 과학

논증 PCK는 더욱 발달하게 된다. 이는 외국어로 대화를 많이 할수록 외국어 구사를 더 잘하게 되는 것과 같다. 예비교사들은 과학 교과내용지식이나 교육과정 내용의 논증구조를 분석하고 교수학습활동의 논리적 전개를 확인하는 과정에서, 논증요소의 의미와 역할을 제대로 이해했는지, 수업을 통해 주장을 정당화하고 있는지 점검하게 된다. 이처럼 과학논증 PCK는 논리적인 과학수업을 설계하거나 실행하는 동안 발휘되는 교수학적 추론으로, 수업설계 실행을 통해 더 발달하게 된다.

나. PCK 생태계

두 번째 차원은 PCK 생태계이다. PCK 생태계는 과학 교과내용지식, 과학 교육과정 지식, 과학의 본성에 관한 지식, 과학 교수방법 및 전략 지식, 학생에 관한 지식, 교수 상황 지식, 평가 지식, 과학 교수 지향, 교수 효능감 등으로 구성된다. 각 구성요소는 중심현상인 과학논증 PCK와 상호작용하면서 발달하며, 과학논증에 특화된 PCK의 특성을 드러내기도 한다. PCK 생태계를 구성하는 영역별 발달 양태를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 과학논증 PCK를 통해 과학 교과내용지식에 대한 이해가 깊어진다. 과학 교과내용지식 측면은 과학논증 PCK와의 상호작용이 가장 강하게 나타나는 영역에 해당한다. 교수학습과정안을 구성하기 위해 수업

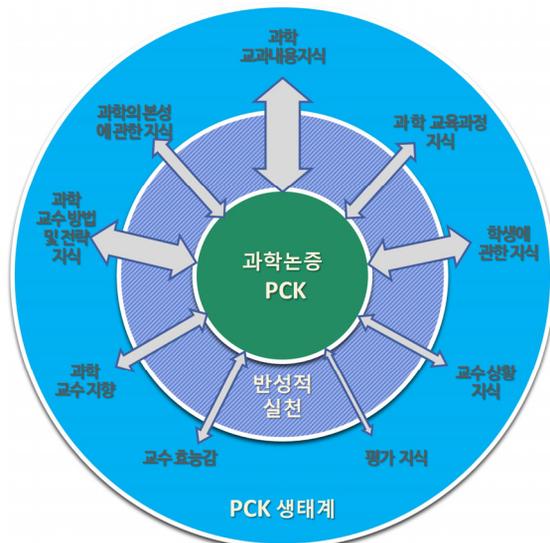


Fig. 5. Scientific argumentation PCK developmental model

내용을 논증구조에 따라 분석하고 과학지식을 정당화하는 과정에서 예비교사들은 자신의 교과내용지식의 부족을 깨닫는다. 그리고 이를 해결하기 위해 다양한 수업 준비자료를 탐색하는 등의 노력을 기울인다. 이 과정을 통해 예비교사들은 과학 교과내용지식 측면에서 교사 전문 지식 기반도 넓히게 된다.

둘째, 과학논증 PCK를 통해 과학 교육과정에 대한 이해가 깊어진다. 예비교사들은 논리적인 수업을 설계하기 교육과정 문서와 교과서 내용을 참고하며 수업내용의 논증구조를 분석할 수 있다. 이 과정에서 예비교사들은 과학 교육과정의 위계성과 계열성 등을 고려하게 된다.

셋째, 과학논증 PCK를 통해 과학의 본성에 대한 이해가 깊어진다. 논증구조를 통해 가르치고자 하는 수업내용을 구조화하는 동안 예비교사들은 자연스럽게 과학지식의 정당화 과정을 경험하게 된다. 이를 통해, 과학지식의 누적적인 변화와 잠정성, 그리고 과학 탐구의 과정과 같은 과학의 본성에 대해 고려하게 된다.

넷째, 과학논증 PCK를 통해 학생에 대한 이해가 깊어진다. 학생에 관한 지식 측면 역시 과학논증 PCK와의 상호작용이 강하게 나타나는 영역에 해당한다. 예비교사들은 특히 반박(R)을 고려할 때, 학생의 선지식과 오개념을 탐색하게 된다. 이 과정에서 학생들의 이해를 돕기 위한 논리적인 설명과 다양한 학습자료를 준비하기도 하는 등 학생에 대한 이해가 깊어지게 된다.

다섯째, 과학 교수방법 및 전략에 대한 이해가 깊어진다. 과학 교수방법 및 전략 지식 측면은 과학논증 PCK와의 상호작용이 매우 강하게 나타나는 영역에 해당한다. 예비교사들은 과학논증 PCK를 통해 수업내용의 논리적으로 전개하거나 더욱 효과적인 수업모형 및 전략을 선택할 수 있으며 보다 구체적인 교수학습활동을 계획할 수 있다. 한편, 과학지식의 형성에 있어 논증활동의 중요성을 인식하여 중등 학생들이 과학수업에서 논증과정을 경험하도록 하며 이를 위해 교수 상황이나 교수전략 등 다양한 측면을 통합적으로 고려하게 된다.

여섯째, 과학논증 PCK를 통해 교수 상황에 대한 이해가 깊어진다. 예컨대, 논증구조를 활용하여 수업을 설계하면 수업 분량이나 활동 시간을 배분할 수도 있다. 제한된 시간 동안 논리적인 완결성을 갖춘 수업을 진행하기 위해서 각각의 활동에 어느 정도의 시간이 필요할지 고려면서 수업내용의 분량이나 활동 시간을 조절한다. 그리고 다양한 반박(R)에 대비하기 위해 충

분한 논거(W)와 지지(B)를 확보함으로써 수업 중에 생길 수 있는 예기치 않은 상황을 미리 준비할 수 있다.

일곱째, 과학논증 PCK를 통해 평가에 대한 이해가 깊어진다. 평가 지식의 경우, 다른 PCK 생태계 구성요소와 비교하여 과학논증 PCK와의 상호작용은 크지 않은 편이다. 예비교사들은 형성평가의 평가 요소를 선정하기 위해 주요개념에 해당하는 논증요소를 고려할 수 있으며, 이를 통해 형성평가의 타당도를 높일 수 있다.

여덟째, 과학논증 PCK를 통해 긍정적인 과학 교수 지향을 형성하게 된다. 특히, 수업설계에 논증구조를 활용하는 경험을 통해 예비교사들이 논리적으로 허점이 없는 수업, 탐구중심의 수업 등을 지향한다. 그리고 논리적으로 수업을 설계하고 실행하기 위해 적합하고 풍부한 지식을 갖춘 교사, 탐구의 조력자로서 교사의 역할을 지향하게 될 것이다.

마지막으로, 과학논증 PCK를 통해 긍정적인 교수 효능감을 형성하게 된다. 수업설계와 관련된 방법론적 PCK를 터득한 예비교사는 수업에 대한 책임감과 수업설계에 대한 자신감 등 긍정적인 교수 효능감을 형성하기도 한다. 자신의 수업이 학생들의 과학 학습에 긍정적인 영향을 줄 수 있다는 믿음은 교사의 수업 실행에 큰 영향을 준다.

다. 반성적 실천

세 번째 차원인 반성적 실천은 과학논증 PCK에 의해 촉발된다. 논증구조와 정당화 과정을 활용하여 수업을 설계하는 과정에서 예비교사들은 과학논증 PCK를 통해 자신의 교과내용지식이 적합한지, 교수학습활동을 논리적으로 전개하고 있는지, 학생들의 선지식이나 오개념 및 그 해결방안을 마련하고 있는지, 수업 분량이나 활동 시간 배분, 활용한 형성평가는 타당한지 등을 자연스럽게 점검하고 보완하게 된다. 즉, 과학논증 PCK가 반성적 실천을 촉발하는 것이다. 이렇게 활성화된 반성적 실천은 다시 과학논증 PCK와 PCK 생태계를 매개하여 각각의 측면을 더욱 발달시킨다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 논증구조 수업설계 프로그램을 경험

한 예비 지구과학 교사들을 대상으로 한 심층 면담을 진행하고 자료를 분석하여, 과학논증 PCK 발달 모델을 도출하였다. 주요 연구결과를 살펴보면, 과학논증 PCK 발달 모델은 과학논증 PCK, PCK 생태계, 반성적 실천 등 세 가지 차원으로 구성된다. 과학논증 PCK는 논증구조를 교수적 추론 도구로 활용하여 수업을 설계하거나 실행하는 과정에서 발휘된다. PCK 생태계는 과학논증 PCK를 둘러싸고 상호작용하며 발달하는 차원으로, 기존의 통상적인 PCK 구성요소로 이루어진다. 반성적 실천은 과학논증 PCK와 PCK 생태계, 두 차원을 매개함으로써 각각의 차원을 조절하고 다양한 양태로 발달시킨다. 연구 결과를 토대로 결론 및 시사점을 제시하면 다음과 같다.

첫째, (예비) 과학교사들은 교수적 추론 도구로 논증구조를 활용하여 수업을 설계하거나 실행하는 과정에서 논증요소 및 지식 주장의 정당화 과정을 고려하고 반영하는 등과 관련된 과학논증 PCK를 발휘할 수 있다. 연구 결과에 따르면, 예비 지구과학 교사들은 수업을 설계하는 동안 논증요소 및 지식 주장의 정당화에 대해 고려하고 이를 교수·학습지도안에 반영하고자 하였으며, 본 연구에서는 이러한 PCK를 ‘과학논증 PCK’라고 정의하였다. 과학의 논리 체계인 논증구조를 수업설계에 활용하는 동안, 예비교사들은 학생들이 지식 주장을 받아들일 수 있도록 설득하기 위해 과학논증 PCK를 발휘하게 된다.

둘째, 과학논증 PCK를 통해 다양한 PCK 생태계 구성요소들이 발달할 수 있으므로, (예비) 과학교사의 PCK를 개발하기 위해서는 과학논증 PCK와 같은 교수적 추론을 위한 PCK 개발이 선행되어야 할 것이다. 기존 선행연구에 따르면, 많은 예비교사 또는 초임교사가 과학 교과내용지식, 과학과 교육과정, 과학 수업모형이나 교수학습 방법 및 전략 등에 관한 지식을 수업에 실제로 적용하는 데 어려움을 느낀다. 이는 교수적 추론의 미숙에서 기인한 것으로 보인다. 왜냐하면, 효과적인 수업을 위한 교수적 추론을 기반으로 PCK가 실행되기 때문이다. 그런데 본 연구를 통해 논증구조를 교수적 추론의 도구로 활용할 경우 과학논증 PCK 발달은 물론 PCK 생태계가 발달한다는 것을 확인하였다. 따라서, 교수적 추론으로 논증구조를 활용하는 과학논증 PCK를 개발한다면 (예비) 과학교사들의 다양한 PCK 생태계 구성요소 개발을 도울 수 있을 것이다.

셋째, 과학논증 PCK는 반성적 실천을 촉발하고 자극하여 PCK 생태계 구성요소의 발달을 촉진하므로, (예비) 과학교사의 반성적 실천을 활성화하는 전략으로 과학논증 PCK를 활용할 필요가 있다. 여러 선행연구에서 PCK는 반성적 실천을 통해 촉진된다는 점을 강조하였다. 그러므로 (예비) 과학교사의 PCK 개발을 위해서는 반성적 실천을 자극하고 활성화할 수 있는 다양한 전략이 필요하다. 본 연구의 결과에 따르면, 과학논증 PCK는 반성적 실천을 촉발하는 요인으로 나타났다. 반성적 실천은 다양한 측면의 PCK를 발달시킨다. 따라서 과학논증 PCK는 반성적 실천을 자극하는 전략으로 활용 가능하며, 이를 통해 (예비) 과학교사의 PCK를 개발할 수 있을 것이다.

본 연구의 결론을 바탕으로 후속 연구를 제안하면 다음과 같다.

우선, 논증구조를 활용한 과학수업의 설계가 실제 수업 실천에서 어떻게 구현되는지에 관한 추가 연구가 필요하다. 본 연구에서는 논증구조를 활용한 예비교사의 수업설계 과정에서 나타나는 PCK 발달을 살펴보았으므로, 논증구조를 활용하여 설계한 수업이 실제로 구현되는 과정을 추적하지는 못하였다. 따라서 향후 실제 교실 상황에서 논증구조를 활용한 과학수업 설계가 실천으로 어떻게 구현되고, 실제 수업에서 어떤 PCK가 발현되는지를 탐색할 필요가 있다.

다음으로, 후속 연구에서는 논증구조 외에도 모델링이나 비유 등과 같은 교수적 추론 도구를 적용하여 교사들의 PCK 발달 모델을 탐색할 필요가 있다. 본 연구에서는 과학논증 PCK, 즉 교수적 추론의 도구로 논증구조를 활용하는 PCK를 중심에 두고 예비교사들의 PCK 발달 모델을 도출하였다. 따라서 과학논증 PCK 이외에 다양한 교수적 추론 도구를 활용하여 과학교사의 PCK 발달 양태와 모델을 탐색하는 추가 연구가 필요하다.

국문요약

본 연구에서는 20명의 예비 지구과학 교사들을 대상으로 논증구조 수업설계 프로그램을 적용한 후, 심층 면담을 진행하고 자료를 분석하여 과학논증 PCK 발달 모델을 도출하였다. 과학논증 PCK 발달 모델은

과학논증 PCK, PCK 생태계, 반성적 실천 등 세 가지 차원으로 구성된다. 과학논증 PCK는 논증구조를 교수적 추론 도구로 활용하여 수업을 설계하거나 실행하는 과정에서 발휘된다. PCK 생태계는 과학논증 PCK를 둘러싸고 상호작용하며 발달하는 차원으로, 기존의 통상적인 PCK 구성요소로 이루어진다. 반성적 실천은 과학논증 PCK와 PCK 생태계, 두 차원을 매개함으로써 각각의 차원을 조절하고 다양한 양태로 발달시킨다. 연구 결과를 토대로 도출한 결론은 다음과 같다. 첫째, 예비 과학교사들은 교수적 추론 도구로 논증구조를 활용하여 수업을 설계하거나 실행하는 과정에서 과학논증 PCK를 발휘할 수 있다. 둘째, 과학논증 PCK를 통해 다양한 PCK 생태계 구성요소들을 개발할 수 있으므로, 과학교사의 PCK 개발을 위해 과학논증 PCK와 같은 교수적 추론 도구와 관련된 PCK 개발이 선행될 필요가 있다. 끝으로, 과학논증 PCK는 반성적 실천을 유발하여 PCK 생태계 구성요소의 발달을 촉진하므로, 예비 과학교사의 반성적 실천을 지원하기 위해 과학논증 PCK를 활용할 필요가 있다.

주제어: 과학논증, PCK, 교수적 추론, 반성적 실천

References

- 곽기영(2014). 소셜네트워크분석. 서울: 청람.
- 곽영순(2009). 교실 수업에서 초임 과학교사의 교과내용 지식이 내용교수지식에 주는 영향에 대한 연구. 한국과학교육학회지, 29(6), 611-625.
- 교육부(2015). 과학과 교육과정. 교육부 고시 제2015-74호 [별책 9], 세종: 교육부.
- 김선경, 민희정, 방은정, 백성혜(2011). 중학교 과학영재 담당교사의 PCK 요소의 특징과 관련성. 영재교육연구, 21(4), 801-828.
- 김선아, 이신영, 김희백(2015). 협력적 성찰과 과학 논변 수업 실행에서 드러난 교사의 논변특이적 PCK 탐색. 한국과학교육학회지, 35(6), 1019-1030.
- 박원미, 곽영순(2021). 예비 지구과학 교사의 교수학습지도안에 나타난 논증 수준 분석. 대한지구과학교육학회지, 14(2), 123-135.
- 박철용, 민희정, 백성혜(2008). 교육실습을 통한 예비과학 교사의 교수내용지식 분석. 한국과학교육학회지, 28(6), 641-648.
- 방은정, 백성혜(2012). 중학교 과학교사의 교수전략을 통한 교수지향 분석. Journal of the Korean Chemical Society, 56(2), 274-289.
- 서경혜(2005). 반성적 교사교육의 허와 실. 한국교원교육연구, 22(3), 307-332.
- 서경혜(2013). 교사 학습에 대한 공동체적 접근. 교육과학연구, 44(3), 161-191.
- 송진용, 강석진, 광영순, 김동건, 김수환, 나지연, 도종훈, 민병곤, 박성춘, 배성문, 손연아, 손정우, 오필석, 이준기, 이현정, 임혁, 정대홍, 정종훈, 김진희, 정용재(2019). 미래세대를 위한 '과학교육표준'의 주요 내용과 특징. 한국과학교육학회지, 39(3), 465-478.
- 신선경(2009). 과학의 언어: 이론 구성과 소통 기능을 중심으로. 사고와표현, 2(1), 35-60.
- 위수민, 윤지영, 임성만(2014). 지구과학 관련 사회적 문제(socio-scientific issue)와 관련된 논증적 글쓰기를 통해 알아본 예비교사들의 논증구조 발달 분석. 대한지구과학교육학회지, 7(1), 11-23.
- 윤선미, 김희백(2011). 소집단의 논변활동을 위한 과학 탐구 과제의 개발과 적용. 한국과학교육학회지, 31(5), 694-708.
- 이효녕, 조현준(2012). 학교 과학교육에서의 과학적 논증 활동을 위한 탐구학습 지도방법 탐색. 대한지구과학교육학회지, 5(2), 175-188.
- 임청환(2003). 초등교사의 과학 교과교육학 지식의 발달이 과학 교수 실재와 교수 효능감에 미치는 영향. 한국지구과학회지, 24(4), 258-272.
- 정주혜, 김희백(2010). 증거 기반 설명 활동이 고등학생들의 논변 수준과 진화 개념 변화에 미치는 영향. 생물교육(구 생물교육학회지), 38(1), 168-183.
- Abell, S. K. (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 Associates.
- Arnaboldi, V., Passarella, A., Conti, M., & Dunbar, R. I. (2015). Online social networks: Human cognitive constraints in Facebook and Twitter personal graphs. New York, NY: Elsevier.
- 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.
- 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. In A. Hume, R. Cooper, & A. Borowski (Eds.), *Repositioning pedagogical content knowledge in teachers' knowledge for teaching science* (pp. 77-94). Singapore: Springer.
- Chin, C., & Osborne, J. (2010). Student's questions and discursive interaction: Their impact on argumentation during collaborative group discussions in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(7), 883-908.
- Crippen, C. (2012). Enhancing authentic leadership-follower-ship: Strengthening school relationships. *Management in Education*, 26(4), 192-198.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. In J. Gess-Newsome, & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 3-17). Dordrecht: Kluwer.
- 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. Friedrichsen, & J. Loughran (Eds.), *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 28-42). London, UK: Routledge Press.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A., & Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.
- Magnusson, S., Krajcik, L., & Boroko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge. In J. Gess-Newsome, & N. G. Lederman (Eds.), *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 95-132). Dordrecht: Kluwer.
- 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.
- McNeill, K. L., & Pimentel, D. S. (2010). Scientific discourse in three urban classrooms: The role of the teacher in engaging high school students in argumentation. *Science Education*, 94(2), 203-229.
- McNeill, K. L., Gonzalez-Howard, M., Katsh-Singer, R., & Loper, S. (2016). Pedagogical content knowledge of argumentation: Using classroom contexts to assess high-quality PCK rather than pseudoargumentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(2), 261-290.
- 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.
- Roy, S., & Bairagya, S. (2019). Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge(PCK) of science from Shulman's notion to Refined Consensus Model(RCM): A journey. *Education India Journal: A Quarterly Refereed Journal of Dialogues on Education*, 8(2), 10-53.
- 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.
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. New York: Basic Books.
- Simon, S., & Johnson, S. (2008). Professional learning portfolios for argumentation in school science. *International Journal of Science Education*, 30(5), 669-688.
- Toulmin, S. E. (2006). *논변의 사용(The Uses of Argumentation)*. 고희범, 임건태 역, 서울: 고려대학교출판부. (원서출판 2003).
- Veal, W. R., & MaKinster, J. G. (1999). Pedagogical content knowledge taxonomies. *Educational Journal of Science Education*, 3(4), 1-14. Retrieved February 24, 2021 from <https://ejrsmc.icrsmc.com/article/view/7615/5382>