

과학 교사의 교과내용학지식과 교과교육학지식의 연관성 분석: 지구과학 교사의 대기압 수업 사례

이 기 영*
강원대학교

An Analysis of the Association between Subject Matter Knowledge and Pedagogical Content Knowledge for Science Teachers: The Case of Earth Science Teachers' Lesson on Atmospheric Pressure

Lee, Ki-Young*
Kangwon National University

Abstract: The purpose of this study was to investigate the association between subject matter knowledge (SMK) and pedagogical content knowledge (PCK) for science teachers. To this end, a total of 26 secondary Earth science teachers participated in this study and a concept diagnostic questionnaire and a lesson planning task of atmospheric pressure were devised to give an indication of participating teachers' SMK and PCK, respectively. The results of this study are summarized as follows: First, participating teachers showed a variety of SMK levels about atmospheric pressure. Second, teachers at high level of SMK focused on 'supplementary' and 'fundamental' curriculum contents for in-depth conceptual understanding, but teachers at low level of SMK, on the contrary, stressed 'applicative' curriculum contents. Third, teachers at high level of SMK grasped students' misconceptions and difficulties in learning atmospheric pressure far more concretely than teachers at low level of SMK. Lastly, teachers at high level of SMK showed a tendency to use learner-centered instructional strategy by utilizing students' prior knowledge, but teachers at low level of SMK were inclined toward teacher-directed concept explanation. Based on this study, some implications for effective science teacher preparation programs were also discussed.

Key words: teacher knowledge base, science teacher, subject matter knowledge, pedagogical content knowledge, atmospheric pressure

I. 서 론

교사의 지식(teacher knowledge)은 교사의 모든 교수 행동에 영향을 미치기 때문에 교사 연구에서 매우 중요한 부분이다(Connelly *et al.*, 1997). 교사의 지식 기반에 대한 본격적인 연구는 1980년대 후반부터 이루어지기 시작하였다. 1950년대 교사에 관한 연구는 주로 관찰 가능한 교사의 행동(teacher behavior)에 초점을 맞췄으나, 이러한 과정-결과(process-product) 패러다임이 비판을 받으면서 1970년대에는 교사의 생각(teacher thinking)으로 연구의 초점이 전환되었으며, 1980년대 이후부터는 교사 생각의 산물인 교사의 지식으로 교사 연구의 경

향이 바뀌게 되었다(Xiaoyan, 2007).

교사 지식 기반을 구성하는 요소에 대한 논의는 Lee Shulman에 의해 촉발되기 시작하였다. Shulman(1986b, 1987)은 교사가 학습해야 할 7가지 지식 기반 요소로 교과내용 지식(content), 일반교수학 지식(pedagogy), 교육과정 지식(curriculum), 교과교육학 지식(pedagogical content knowledge), 학습자에 대한 지식(learners and learning), 교육 상황에 대한 지식(context of schooling), 교육 목적과 가치에 대한 철학적 역사적 배경에 관한 지식(educational philosophies, goals, and objectives)을 제안하였다.

Grossman(1990)은 Shulman이 제안한 교사 지식 기반 요소들을 재조직하여 교과내용학 지식(subject

*교신저자: 이기영(leeky@kangwon.ac.kr)

**2013.08.28(접수), 2013.09.16(1심통과), 2013.10.09(최종통과)

***이 논문은 2012년도 강원대학교 기성회계 학술연구조성비로 연구하였음.

matter knowledge, SMK), 교과교육학 지식(pedagogical content knowledge, PCK), 일반교육학 지식(general pedagogical knowledge, PK), 교육상황 지식(knowledge of educational context, CK)의 4가지 교사 지식 기반 요소로 범주화하였으며, PCK를 중심으로 SMK, PK, CK가 서로 긴밀하게 상호작용하고 있음을 강조하였다.

Gess-Newsome(1999)은 Grossman(1990)의 제안을 토대로 교사 지식 기반을 통합적 모형(integrative model)과 변환적 모형(transformative model)으로 제시하였다. 통합적 모형에서 PCK는 자기 고유의 영역으로 실제로 존재하는 것이 아니며, 교수활동은 SMK, PK, CK를 통합하는 활동이다. 즉, 교실에서 교수활동이 이루어질 때 각 영역의 지식들은 효과적인 학습기회를 창출하기 위해 교사에 의해 통합된다. 반면, 변환적 모형에서 PCK는 SMK, PK, CK와 각각 분리될 때보다 훨씬 강력해진 새로운 형태의 지식으로 변환된다. 현대의 교사 양성 체계에서는 PCK가 명시적으로 존재하며 다른 지식들과 역동적으로 상호작용하는 변환적 모형이 선호된다(Nilsson, 2008). 이처럼 학자에 따라 교사 지식의 요소와 그 관계는 다르지만 효과적인 교수를 위해 교사 지식 요소들 간의 유기적 상호작용이 강조되고 있으며, 그 중심에는 PCK와 SMK가 있다.

PCK는 교육학적 지식(pedagogical knowledge)을 이용하여 내용 지식(content knowledge)을 표현하는 방법과 관련된 지식 또는 학생이 특별한 교과 내용 지식을 이해하도록 하기 위한 방법에 대한 지식으로, 명제적 지식이 실천적 지식으로 변환된 것으로 볼 수 있다(Carter, 1990). 과학 교사들은 학생들의 이해를 촉진하기 위해서 어떤 특정한 내용을 특정한 학생들에 어떻게 가르칠 것인가에 대한 지식인 PCK를 이용한다(Shulman, 1986b). 그러므로 PCK는 교사의 개인적이고 실천적이며, 상황 의존적인 지식으로 간주된다. PCK에는 과학 교수를 위한 지향(orientation), 과학 교육과정에 대한 지식, 과학에 대한 학생의 이해에 대한 지식, 과학 교수 전략에 대한 지식, 과학에서의 평가에 대한 지식이 포함된다(Magnusson *et al.*, 1999).

PCK는 과학 교사(science teacher)를 내용 전문가인 순수 과학자(scientist)와 구분되게 하는 가장 독특한 요소이며, 교사의 전문성을 나타내는 지표(index)

의 역할을 한다. 즉, 과학 교사들의 PCK는 다른 교과 교사들이 갖는 PCK와 구분되어야 하며, 과학자들이 갖는 지식과도 엄연히 다르다.

한편, SMK는 내용 지식을 의미하는 것으로 학문의 실체론적(substantive) 구조와 구문론적(syntactic) 구조를 포함하는 지식이다(Schwab, 1978; Grossman, 1990). 실체론적 지식은 특정 과학 내용 영역에서 개념(concepts), 원리(principles), 법칙(laws) 그리고 모형(models)을 의미하며, 구문론적 지식은 현재 과학자들에 의해 받아들여지는 새로운 지식의 정립 과정(ways), 패러다임(paradigm), 규준(norms), 합의(agreements)에 관한 지식을 의미한다.

SMK는 과학이라는 학문(discipline of science)으로서의 SMK와 과학 교과(school science subject)로서의 SMK로 다시 구분될 수 있다. Grossman *et al.*(1989)은 이 둘 간에 큰 차이가 없는 것으로 생각하고 학교 과학을 가르치는데 있어 중요한 것과 과학 학문에서 중요한 것은 같으며, 효과적인 교사는 학문으로서의 SMK를 학생들에게 잘 전달하는 교사라고 보았다. 하지만 Stengel(1992)은 이 둘을 서로 다른 것으로 보고 과학 교과로서의 SMK를 PCK의 진수(quintessence)라고 보았다. 또한 많은 연구들에서 과학 교사가 사용하는 SMK와 과학자가 사용하는 SMK는 엄연히 다르다는 것을 주장하여 왔다(Deng, 2001; Kwon, 1999; Leinhardt *et al.*, 1991; Lilia, 1997; Ma, 1991). 권재술(1999)은 과학 교사가 가져야 할 지식은 전공 과학자가 가져야 할 지식과는 성격이 다르며, 좁은 영역을 깊이 알기보다는 학문 전체에 걸쳐 넓은 지식을 갖는 것이 필요하다고 하였다. Lilia(1997)의 연구에 의하면, 말레이시아 중학교에서 물리 개념을 설명하는데 있어 물리학으로 학위를 받은 교사가 물리 비전공 과학 교사에 비해 특별히 더 나은 점이 없는 것으로 나타났다. 이것은 이 교사들이 물리학 전공을 이수하는 과정에서 중학교 학생들에게 적절한 형태로 개념을 설명하는 훈련을 거의 받지 못했기 때문으로 분석되었다. 이와 같은 연구 결과는 -제한적인 사례이긴 하지만- 학문으로서의 SMK만으로는 교실에서 효과적으로 수업하는데 한계가 있음을 의미하며, 교사에게는 교과로서의 SMK의 습득이 더 중요함을 시사한다.

이와 같은 연구 결과들은 이전에 Dewey(1897)가 학교 교육과정에서 교과를 조직하는 원리를 논리적 기준(logical basis)과 심리적 기준(psychological

basis)으로 구별한 것과 맥을 같이 한다. 논리적 기준에서의 조직이란 지식 내용의 형성 과정이나 역사와 관련 없이 현재 상태의 사실과 원리들을 배열하는 것을 의미하며, 심리적 기준에서의 조직이란 학생들의 경험에 가장 자연스럽게 효과적으로 동화(assimilation)시킬 수 있는 진술이나 선택을 의미한다. 그러므로 전자는 학문으로서의 SMK에 해당되며, 후자는 교과로서의 SMK에 해당된다. Dewey는 학교 교육과정에서 교과를 논리적 기준이 아닌 심리적 기준으로 조직해야 한다고 주장하였다.

SMK¹⁾는 수업 계획과 실행 전반에 걸쳐 영향을 미치는 것으로 인식되며, 효과적인 과학 교수와 과학 교사 교육을 위해 그 중요성이 강조되어 왔다(Gess-Newsome & Lederman, 1995; Lederman & Gess-Newsome, 1992; Rollnick *et al.*, 2008; Shulman, 1986a; Zeidler, 2002). 선행 연구 결과를 살펴보면, SMK가 부족한 과학 교사들은 활동이나 빠른 교수 해답을 찾으며, 학생들을 교과 학습에 참여시키기 전에 교실 관리를 필요로 하는 경향이 있으며(Lederman *et al.*, 1994), 개념적 이해(conceptual understanding)보다는 절차적 접근(procedural or algorithmic approach)을 선호하며, 개념과 수식간의 연계가 미흡한 것으로 나타났다(Rollnick *et al.*, 2008). 또한, SMK가 낮은 과학 교사는 낮은 인지 수준의 질문으로 수업 담화(discourse)를 이끌며, 학생들의 참여가 매우 낮은 것으로 나타났다(Carlsen, 1987).

우리나라에서도 최근 교사 교육에 대한 관심이 높아지면서 과학 교사의 수업 전문성을 파악하고 향상시키기 위해 PCK에 관한 연구(Cho & Ko, 2008; Kim *et al.*, 2011; Kwak, 2006, 2008; Lee, 2009; Lim, 2003; Min *et al.*, 2010; Park, 2003; Park *et al.*, 2008)가 많이 이루어지고 있다. 이들 연구에서 공통적으로 보고하고 있는 것이 PCK의 내용 또는

주제-특이성(content or topic-specificity)이다. 이와 같은 특이성은 PCK가 SMK와 밀접하게 연관되어 있음을 시사한다. 하지만 과학 교사 지식 기반을 근거로 한 SMK와 PCK의 연관성을 명시적으로 분석한 연구는 아직 없는 실정이다.

이에 이 연구에서는 지구과학 교사의 대기압 수업 사례를 대상으로 과학 교사의 SMK와 PCK의 연관성을 분석하고자 하였다. 이를 위해 다음과 같은 연구 문제를 구체적으로 설정하였다.

첫째, 대기압에 관한 과학 교사의 SMK 수준은 어떻게 나타나는가?

둘째, 대기압 수업에 관한 과학 교사의 PCK는 요소별로 어떻게 나타나는가?

셋째, 대기압에 관한 과학 교사의 SMK는 PCK 구성 요소들(교육과정 지식, 학생 이해 지식, 교수 전략 지식)과 어떤 연관성을 나타내는가?

II. 연구 방법 및 내용

1. 연구 대상

이 연구를 위해 서울, 경기, 강원 지역 소재의 중학교에 근무하는 경력 3~5년의 지구과학 전공 교사 26명이 참여하였다(Table 1). 이 연구의 주목적인 과학 교사의 SMK와 PCK의 연관성을 분석하기 위해서는 소수의 교사들을 대상으로 한 심층적인 분석보다는 최대한 많은 수의 교사들을 대상으로 한 경향성 파악이 필요하다고 판단하였다. 또한 두 가지 지식 이외의 다른 변인에 의한 영향을 통제할 필요가 있었다. 따라서 교사 경력 변인에 의한 영향을 통제하기 위하여 교사 간 경력 차이를 최소화 하였으며, 전공과 학교급 변인을 통제하기 위하여 동일(지구과학) 전공의 중학교 교사들을 참여 대상으로 선정하였다.

Table 1
Participants' information

	경력			근무지			계
	3년	4년	5년	서울	경기	강원	
남	1	9	1	3	6	2	11
여	5	8	2	5	8	2	15
계	6	17	3	8	14	4	26

1) 이후 등장하는 모든 SMK는 '교과로서의 SMK'를 의미함.

2. 검사 도구

1) SMK 검사 도구

이 연구에서 알아보고자 하는 SMK는 대기압 주제와 관련된 ‘학문으로서의 SMK’가 중학교 교육과정에 맞게 변환된(transformed) ‘교과로서의 SMK’로, 학생들에게 대기압을 가장 효과적 가르치기 위한 토대가 되는 과학 교사의 내용 지식으로 간주된다.

대기압에 관한 참여 교사의 SMK를 알아내기 위하여 대기압 개념 진단 검사지(concept diagnostic questionnaire)를 개발하였다. 이 검사지는 크게 대기압의 정의, 대기압의 크기 변화, 대기압의 작용 방향의 세 범주로 구분되며, 모두 서술형으로 구성되어 있다. 대기압의 정의에서는 학생들이 겪는 갈등 상황에 대한 교사의 해결책을 제시하도록 하여 좀 더 심화된 수준으로 개념을 파악하고자 하였으며, 대기압의 크기와 작용 방향을 수업의 크기와 작용 방향까지 비교하여 기술하도록 함으로써 SMK를 심층적으로 분석하고자 하였다.

검사지의 타당도 확보와 내용 검증을 위해 2명의 과학교육 전문가(물리, 화학 교육)와 수차례 협의 과정을 거쳤으며, 이 과정에서 대기압 관련 세 부분에 대한 정역학적 관점과 기체분자운동론 관점에서 검사 문항의 타당도에 대한 검증이 이루어졌다.

2) PCK 검사 도구

이 연구에서 알아보고자 하는 PCK는 대기압이라는 주제(topic)에 특이적인(specific) 것으로, 대기압 주제를 가르치는데 필요한 교사의 교육과정 지식, 학생 이해 지식, 교수 전략 지식으로 구성된다. 교육과정 지식은 대기압의 학습 계열과 범위, 학생 이해 지식은

대기압과 관련된 학생들의 오개념과 어려움, 그리고 교수 전략 지식은 대기압 주제를 효과적으로 가르치기 위해 교사들이 수업에서 사용하는 레퍼토리(repertoire)를 의미한다.

대기압에 관한 참여 교사의 PCK를 조사하기 위하여 중학교 학생을 대상으로 대기압을 주제로 한 수업 계획(lesson planning task)을 작성하도록 하였다. 이 방법은 새로운 단원에서 수업 준비 방법(lesson preparation method)의 일환으로 개발된 것으로, 참여 교사들은 주어진 과제를 1시간 안에 개인적으로 완성해야 하며 교재를 참고하는 것은 허용되지 않는다(Van der Valk & Broekman, 1999). 검사 도구의 형식은 Loughran *et al.*(2004)의 연구에서 사용한 CoRe(Content Representation)를 참고로 하여 이기영(2009)에 의해 고안된 주제-특이적(topic-specific) PCK 분석틀을 사용하였다(Fig 1). 이 분석틀은 크게 두 개의 차원(dimension)으로 구성된다. 가로축은 해당 교육과정과 관련된 차원으로 특정 학년(grade)의 특정 주제(topic)에 대한 핵심적 개념을 가르치는 순서대로 적도록 되어 있으며, 세로축은 수업과 관련된 차원으로 각각의 핵심 개념들에 대한 PCK가 구성 요소별로 서술되도록 구성되어 있다.

3. 자료 수집 및 분석

참여 교사의 SMK와 PCK에 대한 신뢰로운 자료를 효과적으로 수집하기 위해서는 참여 교사들을 동일 장소와 시간을 활용하여 동시에 검사 도구를 적용할 필요가 있었다. 따라서 동일한 목적으로 연수에 참여한 과학 교사들 중 지구과학을 전공한 3~5년 경력의

		가르쳐야할 핵심 개념				
교육과정	계열 (sequence)	개념 1	개념 2	개념 3	개념 4	...
	범위 (scope)					
학생 이해 (오개념 및 어려움)						
교수 전략						

Fig. 1 The framework used for analyzing topic-specific PCK of participating teachers

중학교 교사를 연수 담당자를 통해 미리 섭외하였으며, 연수 과정 중 특정 시간을 할애하여 두 검사 도구를 순차적으로 시행하였다. 또한, 검사 후 참여 교사들에 대한 개별 면담을 위해 이메일과 전화 번호 정보를 당사자 양해를 구해 수집하였다. 개별 면담은 각 참여 교사가 작성한 두 개의 검사지 내용을 토대로 한 구조화된 면담지를 활용하여 이루어졌다. 개별 면담은 면대면 인터뷰를 하는 것을 원칙으로 하였으며, 지리적 요인 등으로 인해 면대면 인터뷰가 어려울 경우에는 전화 통화와 이메일을 함께 이용하였다.

자료의 삼각측정(triangulation)을 위해서는 대기압에 관한 참여 교사의 수업 비디오를 촬영하여 분석하여야 하나, 현실적으로 26명의 참여 교사가 동일한 주제로 수업하는 장면을 촬영한다는 것 자체가 거의 불가능하며, 또한 다양한 외생 변인을 통제하기가 매우 어렵다고 판단하여 이 연구에서는 검사지와 이를 토대로 한 인터뷰만을 이용하여 자료를 수집하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 대기압에 관한 과학 교사 SMK 분석

대기압에 관한 참여 교사의 SMK를 분석하기 위하여 대기압 개념 진단 검사지 결과를 검토한 후 Lump와 Staver(1995)의 개념 평정 기준에 근거하여 Table 2와 같이 각 범주별로 5개의 등급(우수, 보통, 미흡, 틀림, 무응답)으로 구분하여 코딩하였다. ‘우수’는 완전한 이해, ‘보통’은 불완전한 이해, ‘미흡’은 결점(flawed)이 있는 불완전한 이해, ‘틀림’은 완전히 틀린 이해, ‘무응답’은 ‘잘 모르겠다’로 답하거나 응답을 하지 않은 경우를 뜻한다. 또한, 3개 범주를 합하여 정량적으로 SMK 수준을 구분하기 위해 각 등급을 4점, 3점, 2점, 1점, 0점으로 평정하여 환산 점수를 산출하였다. 환산 점수 산출에서 대기압의 크기 변화와 작용 방향 범주의 경우는 대기압 점수를 ‘보통’에서 ‘무응답’까지 3, 2, 1, 0점으로 우선적으로 평정하고, 여기에 수압 점수를 1, 0.7, 0.3, 0점으로 평정하여 조합함으로써 대기압 작용 원리 범주와 마찬가지로 최고 4점(우수)에서 최저 0점(무응답)까지 산출되도록 하였다.

Table 3은 26명 참여 교사의 대기압에 관한 SMK 분석 결과를 3개 범주별로 나타내고, 이를 점수로 환산하여 이를 근거로 SMK 수준을 구분한 것이다.

Table 2
Criteria for rating participants' SMK related to atmospheric pressure by category

범주	등급	우수(○○) 4점	보통(○) 3점	미흡(△) 2점	틀림(×) 1점
대기압의 작용 원리		대기압을 정역학적 평형 관점과 기체 분자 운동론적 관점을 모두 고려하여 옹계 설명한 경우	정역학적 평형 설명은 맞지만 기체 분자 운동론 설명이 정확하지 않은 경우	정역학적 관점으로 설명하나 틀린 부분이 있는 경우	두 가지 관점 중 그 어느 것으로도 설명하지 못하는 경우
대기압의 크기 변화		대기압의 크기 변화와 그 원인을 수압 크기 변화와 구분하여 잘 설명한 경우	대기압의 크기 변화와 그 원인은 잘 설명하지만 수압 크기 변화와 그 원인은 설명하지 못하는 경우	대기압의 크기 변화와 그 원인을 설명하지만 틀린 부분이 있는 경우	대기압의 크기 변화와 그 원인을 설명하지 못하는 경우
대기압의 작용 방향		대기압의 작용 방향과 그 원인을 수압 작용 방향과 구분하여 잘 설명한 경우	대기압의 작용 방향과 그 원인은 잘 설명하지만 수압 작용 방향과 그 원인은 설명하지 못하는 경우	대기압의 작용 방향과 그 원인을 설명하지만 틀린 부분이 있는 경우	대기압의 작용 방향과 그 원인을 설명하지 못하는 경우

1.1 한 학생이 대기압에 대한 이해에 혼란을 겪고 있다. 그 학생의 사고과정이 다음과 같다.

- ① 대기압은 “지구를 둘러싼 공기기둥의 무게가 누르는 압력”이라고 배움
- ② 학생은 지상위에 쌓인 공기기둥의 무게가 1기압을 만드는 것이라고 이해함
- ③ 달혀진 플라스크 안의 공기는 어떻게 1기압을 유지할 수 있는 것인가? 플라스크 안에 지구를 둘러싼 공기기둥 만큼의 공기의 양이 다 들어갈 수 있는 것은 아닐 것 같은데...

이 학생이 위의 상충된 상황을 벗어나고 대기압에 대해 잘 이해할 수 있도록 설명해보자.

Fig. 2 Problem context for the category of working principles of atmospheric pressure

기압 = 공기의 압력

압력 = $\frac{\text{힘}}{\text{면적}}$

힘 = 공기분자 부딪히는 정도

의심한 면적이 공기 부피가 ① 얼마나 많이 ② 얼마나 강하게
부딪히는 리가 중요

많은 양의 공기보다는 단면적이나 달아왔던가 중요함을 인식 시킬

시작... ← 이 면에 충돌하는 분자수학 세기가 중요

Fig. 3 Illustration of an 'excellent' rating teacher's answer (T26)

다. 이 등급의 교사들은 정역학적 평형 관점에서 대기압을 공기 기둥의 무게로 정의하였으나, 주어진 문제 상황을 기체 분자 운동론 관점과 연결하는데 어려움을 나타내었다. 이 교사들은 주어진 문제 상황을 '단위 면적' 이나 '공기 분자의 충돌' 과 같은 용어를 사용하지 않고 '단위 부피당 공기의 양 또는 분자수' 로만 설명하였으며, 이것에 대한 원인을 정역학적 평형과 연결짓지 못하였다. 12%(3명)의 참여 교사가 해당된 '미흡' 의 경우는 주어진 문제 상황을 단순히 '대기압 평형' 이라는 용어로 설명하였으나 그 원리에 대해서는 정확하게 설명하지 못하였다. 참여 교사 중 가장 많은 비율인 35%(9명)가 해당된 '틀림' 등급의 경우는 주어진 문제 상황을 제대로 설명하지 못하고 '기압이 사방에서 작용하기 때문' 또는 '추가적인 압력 작용이 없기 때문' 이라는 등의 동떨어진 응답을 하였다.

이와 같은 결과는 김중희 등(2004)의 연구 결과에 비해 논의될 필요가 있다. 이들의 연구에서는 정역학적 평형의 관점으로만 수업 받은 집단에 비해 정역학적 평형과 기체분자 운동론을 연결하여 수업 받은 집단의 성취도와 개념 변화가 유의미하게 더 높게 나타났다. 이것은 동일한 개념이라 할지라도 교사가 어떻게 가르치느냐에 따라 학생들의 이해가 달라지며, 교사의 수업 방식은 그 교사의 SMK 수준에 따라 달라질 수 있음을 시사한다. 다음은 이와 관련된 '미흡' 등급에 해당된 교사와의 인터뷰 내용의 일부분이다.

연구자: 주어진 문제 상황과 관련하여 대기압의 작용 원리에 대해 학생들에게 어떻게 설명하나요?
T21: 이런 문제 상황은 한번도 접해본 적이 없어요. 대학 때 이와 관련하여 수식으로 배운 것 같긴

한데... 저는 그냥 공기 기둥의 무게에 의한 것으로 설명해요. 교과서에도 그렇게 나와 있어요... 중학교 아이들에게 그렇게 복잡하게 설명할 필요는 없죠.

대기압의 크기 변화 범주에서는 우선, 고도에 따른 대기압의 변화 경향을 그래프로 나타내게 하고 변화의 원인을 설명하게 하였다. 그 다음에는 수압과의 차이를 설명할 수 있는지를 알아보기 위하여 깊이에 따른 수압 변화를 그래프로 나타내고 그 이유를 설명하도록 하였다. 마지막으로 대기압과 수압 변화 그래프의 차이와 그 원인을 설명하도록 하였다.

고도에 따른 대기압의 크기 변화에 대해 대다수의 참여 교사가 잘 설명하였지만, 이와 대비되는 깊이에 따른 수압 변화는 제대로 설명하지 못하였다. 대기압 크기 변화와 수압의 크기 변화를 모두 옳게 설명한 경우는 31%(8명)에 불과하였으며, 참여 교사 중 23%(6명)는 대기압과 수압의 크기 변화를 제대로 설명하지 못하는 것으로 나타났다. 또한, 대기압의 크기 변화는 옳게 설명하나 수압의 크기 변화를 제대로 설명하지 못하는 경우가 35%(9명)로 가장 많았는데, 이들은 수압 변화 그래프를 대기압과 같은 포물선 모양으로 그리거나 깊이에 따른 밀도 변화 또는 수온 변화로 크기 변화의 원인을 설명하였다. 특이하게 대기압의 크기 변화에 대한 설명은 '미흡' 하나 수압의 크기 변화에 대한 설명은 '보통'인 경우가 12%(3명) 있었다.

이와 같은 결과는 다수의 교사들이 압축성 유체와 비압축성 유체에서 높이 또는 깊이에 따른 압력 변화의 차이를 제대로 이해하고 있지 못하고 있음을 의미한다. 다시 말해, 지수함수적으로(exponential) 감소하는 대기압의 크기 변화와 그 원인에 대해서는 비교적 잘 이해하고 있지만, 선형적으로(linear) 증가하는 수압의 크기 변화와 연관지어 이해하는 데는 어려움을 겪는 것으로 분석된다. 다음은 이와 관련된 '틀림' 등급에 해당된 교사와의 인터뷰 내용의 일부본이다.

연구자: 수압 변화 그래프를 아래로 굽어지는 포물선 모양으로 그렸는데 이유를 설명해 주세요.

T19: 대기압의 높이에 따라 급격히 감소하듯이 수압도 마찬가지로 생각해요. 깊이 내려갈수록 해수의 밀도가 증가하고 염분도 증가하니깐 압력도 증가하겠죠. 하지만 일정 깊이 이상에서

는 윗 층에 비해 점점 그 변화가 작아지기 때문에 수압 변화도 작아지겠죠..

대기압의 작용 방향 범주에서는 스티로폼 컵과 공을 각각 가압장치에서 압력을 서서히 증가시킬 때와 바다 깊은 곳으로 가지고 내려갔을 때 변화를 그림으로 나타내고 그 이유를 설명하도록 하였다.

대기압 작용 방향과 수압의 작용 방향을 모두 옳게 설명한 경우는 42%(11명)로 나타났으며, 42%(11명)는 대기압과 수압의 작용 방향에 대해 제대로 설명하지 못하는 것으로 나타났다. 특히, 압력의 작용 방향에 대해 오개념을 가진 것으로 판단되는 T18 교사의 경우는 대기압과 수압 모두 특정 방향으로의 힘이 더 강하다고 생각하여 스티로폼 컵과 공이 부서지거나 찌그러지는 것으로 답하였다. 하지만, 크기 변화 범주에서와는 달리 작용 방향 범주에서는 대기압과 수압의 불일치가 적게 나타났다. 즉, 대기압의 작용 방향은 옳게 설명하나 수압의 작용 방향을 제대로 설명하지 못하는 경우는 15%(4명)에 불과 하였다. 이들은 대기압은 모든 방향에서 같은 크기로 작용한다고 설명하였으나, 수압의 경우는 위에서 아래로 누르는 힘이 더 크다고 생각하여 스티로폼 컵이나 공이 찌그러지거나 납작해지는 것으로 표현하였다. 한편, 대기압의 작용 방향에 대한 설명은 '미흡' 하나 수압의 크기 변화에 대한 설명은 '보통'인 경우는 나타나지 않았다.

위의 대기압에 관한 SMK 분석 결과를 종합해 보면, 동일 전공의 과학 교사라 하더라도 특정 주제에 관한 SMK 수준이 매우 다양함을 알 수 있다. 동일 범주에서 교사에 따라 SMK 수준의 차이가 매우 크게 나타났을 뿐만 아니라, 같은 교사라 하더라도 범주에 따라 서로 상이한 SMK 수준을 나타내었다. 이와 같은 결과를 초래한 원인은 매우 다양할 것으로 추정된다. 교사 양성 교육과정에서 교과내용학 이수 과목의 차이일 수도 있고, 개인적 교수 경험이나 교사 연수를 통한 전문성 개발 노력 등의 차이일 수도 있다. 하지만 이것을 특정 변인에 의한 것으로 판단하기 보다는 근본적인 SMK의 주제-특이성(topic-specificity)으로 해석하는 것이 적절할 것으로 사료된다.

한편, 대기압과 관련하여 학생들이 가지고 있는 것으로 보고되는 다양한 오개념들을 교사들 또한 가지고 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 학생 오개념의 출처가 교사일 수 있다는 기존 연구들의 주장

Table 4
The framework for analyzing participants' knowledge of curriculum related to atmospheric pressure

범주	내용	범위
보충적 (Supplementary)	1. 공기 2. 압력	1. 조성, 무게 2. 정의, 단위
기본적 (Fundamental)	대기압	정의, 표현, 작용방향, 측정, 변화, 실생활 예, 토리첼리 실험
적용적 (Applicative)	1. 고기압과 저기압 2. 기압 변화에 따른 물리량 변화 3. 단열변화	1. 정의, 종류, 생성과정, 풍향, 날씨, 공기의 이동, 등압선 2. 부피, 끓는점 3. 압축, 팽창

을 지지하는 것으로, 교사 수업 전문성 제고를 위해 SMK가 기초가 되어야 함을 시사한다.

2. 대기압 수업에 관한 과학 교사 PCK 분석

대기압 수업에 관한 참여 교사의 PCK를 알아보기 위해 교사들이 작성한 수업 계획을 교육과정, 학생 이해, 교수 전략의 3가지 요소로 나누어 분석하였다.

1) 교육과정 지식

Table 4는 참여 교사들의 교육과정 지식을 분석하기 위해 연구자에 의해 구안된 분석틀을 나타낸 것이다. 이 분석틀은 참여 교사의 수업 계획을 토대로 작성된 것으로, 3개 범주로 분류되며 각 유형은 다시 내용과 범위로 나누어진다.

2009 개정 중학교 과학과 교육과정에서는 대기압에 관한 내용이 다음과 같이 서술되어 있다.

기압의 정의, 크기, 단위 등의 개념을 알고, 기압의 변화로 바람이 부는 원리를 설명할 수 있다. 지표면에서의 기압의 크기와 단위를 알게 하고, 기압은 시간, 장소, 높이에 따라 다름을 이해시킨다. 그리고 바람은 지표면의 차등 가열로 인한 온도차에서 비롯된 기압 차이로 불게 됨을 이해하게 한다.

기본적 범주는 중학교 교육과정에서 제시하고 있는 대기압에 관한 기본적인 내용을 의미한다. 보충적 범주는 교육과정에 명시적으로 제시되어 있지 않지만 대기압 개념을 이해하기 위해 필요한 물리적 내용을

포함한다. 적용적 범주는 대기압과 직·간접적으로 연관되는 여러 대기현상에 관한 내용을 포함하는 경우이다.

Table 5는 위와 같은 분석틀에 의해 26명의 참여 교사의 교육과정 지식을 분석한 결과이다.

학습 계열(sequence)에 따라 유형을 분류한 결과 5개의 유형으로 나눌 수 있었다. 가장 많은 경우는 F→A 유형으로 전체 참여 교사의 54%(14명)가 여기에 해당하였다. 두 번째로 많은 비율을 차지한 경우는 S→F→A 유형으로 전체의 31%(8명)를 차지하였다. 나머지 S→F 유형과 F 유형은 각각 2명과 1명이었으며, 특이하게 A→F 유형이 1명 있었다. 그림 4는 S→F→A 유형으로 분류된 T16 교사의 대기압 수업계획이다. 이 수업계획에서 T16 교사는 압력의 정의와 같은 보충적 내용으로 시작하여 이를 대기압의 정의, 단위, 측정, 작용 방향, 크기 변화와 같은 기본적 내용과 연결시키고 있다. 또한 대기압의 기본적 내용을 적용하여 고기압과 저기압의 정의, 바람, 날씨를 가르치고 있다.

이와 같은 결과는 비슷한 경력, 동일한 전공과 학교급에 근무하는 과학 교사들이라 하더라도 교육과정에 관한 지식이 서로 다를 수 있음을 의미하며, 이것은 현직 교사의 경우가 예비 교사에 비해 계열의 유형이 보다 다양하게 나타난다는 이기영(2009)의 연구 결과와도 일치한다.

2) 학생 이해 및 교수 전략 지식²⁾

Table 6은 참여 교사들의 대기압에 관한 학생 이해(오개념 및 어려움) 및 교수 전략 지식에 대한 응답 내

2) 학생 이해 지식과 교수 전략 지식은 교육과정 지식과는 달리 SMK와 같은 3개의 범주로 분석이 가능하였으며, 범주별 두 지식간의 관련성을 쉽게 비교하기 위하여 하나의 표에 함께 나타내었다.

Table 5

Classification of participants' knowledge of curriculum related to atmospheric pressure

유형	학습 계열	참여 교사
S → F → A	• 공기(조성, 무게) → 압력과 기압(정의, 작용방향) → 고기압과 저기압(정의와 특징, 날씨)	T1
	• 압력(정의) → 기압(정의, 변화) → 대기압(정의, 변화) → 고기압과 저기압(정의, 공기의 이동)	T2
	• 대기(조성) → 토리첼리의 실험 → 고도에 따른 기압의 변화 → 고기압과 저기압(구분방법, 날씨)	T6
	• 압력(정의, 단위) → 기압(정의, 단위, 측정역사) → 기압의 방향(실험) → 바람과 등압선 → 고기압과 저기압(일기도 관련)	T7
	• 공기(질량, 조성) → 기압(크기) → 1기압의 크기 → 고기압과 저기압(바람)	T13
	• 압력(정의, 계산) → 기압의 정의 및 특징 → 높이별 기압변화 → 기압의 측정 → 저기압과 고기압(정의, 바람, 날씨)	T16
	• 공기의 밀도 → 대기압(측정) → 고기압과 저기압(정의, 바람) → 바람 → 기압에 따른 날씨변화	T24
	• 압력(정의, 단위, 방향) → 대기(조성, 분포) → 대기압(정의, 작용방향) → 고기압(정의) → 저기압(정의)	T25
F → A	• 기압(정의, 측정, 변화) → 고기압(종류, 생성과정, 풍향, 날씨) → 저기압(종류, 생성과정, 풍향, 날씨)	T3
	• 대기압(정의, 특징) → 기압(다양한 표현) → 고기압과 저기압(특징, 일기도 해석)	T4
	• 기압(정의, 실생활 예) → 저기압과 고기압(정의) → 기압에 따른 날씨 → 저기압의 종류(태풍, 온대성저기압)	T5
	• 대기압의 존재 → 기압에 따른 부피변화 → 기압에 따른 끓는점 변화 → 단열팽창/압축	T8
	• 기압의 정의 → 기압의 크기 → 고기압(정의, 일기도 찾기) → 저기압(정의, 일기도 찾기)	T12
	• 대기압(정의, 크기) → 고기압(형성과정, 날씨 변화) → 저기압(형성과정, 날씨 변화)	T14
	• 기압의 측정 → 고기압(정의) → 저기압(정의) → 바람(정의, 원인)	T15
	• 다양한 기압현상 → 기압의 생성과 특성 → 고기압과 저기압 → 공기의 흐름 → 기압에 따른 날씨변화	T17
	• 기압의 정의 → 대기압(실험) → 고기압과 저기압 → 기압과 일기	T18
	• 기압(정의) → 고기압(정의, 날씨, 바람) → 저기압(정의, 날씨, 바람) → 전선	T19
	• 대기압(고도에 따른 분포) → 저기압 → 고기압 → 일기도에서의 고기압과 저기압	T20
	• 기압(정의, 밀도) → 고기압과 저기압(정의, 바람, 날씨)	T21
	• 기압(정의) → 고기압과 저기압(정의, 바람, 날씨) → 해륙풍과 계절풍 → 열대저기압과 온대저기압	T22
	• 대기압(작용방향) → 바람 → 고기압과 저기압(날씨) → 단열팽창과 구름발생 → 기후변화	T23
S → F	• 공기(무게) → 압력(정의) → 대기압(정의) → 기압의 차이(지역별)	T9
	• 대기 → 압력(정의, 측정) → 기압의 정의 → 기압의 특징 → 기압의 측정 및 크기	T26
F	• 기압이란 → 기압의 작용 방향과 크기 → 기압의 차이(지역별)	T10
A → F	• 고기압과 저기압(차이, 바람) → 대기압(1기압, 변화)	T11

주제 관련 핵심 개념틀(core concepts) - 가르치는 순서대로

	상 령	기압의 정의 및 특징	높이별 기압변화	기압의 측정	저기압과 고기압
범위/수준 (목표 및 성취 기준 등)	<ul style="list-style-type: none"> 압력의 정의를 알지 못함 있다. 성질을 제한할 수 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> 기압의 정의를 알지 못함 있다 기압의 방향을 알지 못함 있다 기압의 방향을 설명할 수 없다 	<ul style="list-style-type: none"> 고도가 높아질 때의 기압변화를 설명할 수 없다. 고도에 따른 기압 변화 개념을 설명할 수 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> 기압 측정의 원리를 설명할 수 없다 필요한 측정 기구와 관련된 설명할 수 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> 저기압과 고기압의 정의를 알지 못함 있다. 저기압, 고기압에서의 공기 이동 방향을 설명할 수 없다 저기압, 고기압에서의 날씨를 구별해서 설명할 수 없다
학생 선개념 (오개념 및 어려움 등)	<ul style="list-style-type: none"> 정수면이 없어도 압력이 커진다. 	<ul style="list-style-type: none"> 기압은 여러 방향으로만 작용한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 고도가 높아지면 기압이 커진다. 	<ul style="list-style-type: none"> 측정 원리를 정확하게 설명할 수 없다 실용이 보다 간단하게 설명한다. 	<ul style="list-style-type: none"> 저기압, 고기압을 구별하는 원리를 설명할 수 없다 저기압, 고기압의 기온이 있다.
주제 특정적인 교수 전략	<ul style="list-style-type: none"> 실험 (힘의 크기, 정수면이 없어도 압력 측정 및 측정) 압력 측정 수를 있는 예 (공포화 차이) 	<ul style="list-style-type: none"> 경험을 바탕으로 설명한다 진공 상태 전에는 공기 이동 실험 (내부에 동전을 넣어 변화 관찰) 	<ul style="list-style-type: none"> 실제 경험 이용 동선이 하늘로 올라가면 커진다 성제로 올라가면 힘이 커진다 	<ul style="list-style-type: none"> 실험 - 동행상 이용 가압실험 열대성 상의 기상상황 설명 	<ul style="list-style-type: none"> 실험 (나사산사 추시기를 이용한 실험) 동행상 자료 이용 (고기압, 저기압 중심의 공기 이동)

Fig. 4 Illustration of a lesson plan classified as S→F→A type of learning sequence (T16)

Table 6

Analyzed results of participants' knowledge of students understanding and teaching strategy related to atmospheric pressure

범주	학생 이해(오개념 / 어려움)	교수 전략
대기압의 작용 원리	<ul style="list-style-type: none"> 대기압의 존재를 느끼지 못함(6) 대기는 무게가 없음(3) 대기는 빈 공간임(1) 대기압은 공기분자가 움직이지 않고 정지된 상태에서 눌러주는 힘(1) 	<ul style="list-style-type: none"> 해보기 활동(6) 설명(5): 경험 상기(3) 시청각자료 활용(2) 시범실험(1)
대기압의 크기 변화	<ul style="list-style-type: none"> 공기는 높이에 따라 균일하게 분포함(5) 고도가 높아지면 대기압이 감소하는 이유를 모름(2) 고도가 높아지면 대기압이 증가함(2) 대기압의 변화를 인식하지 못함(1) 고도가 높아지면 추위되므로 대기압이 감소함(1) 	<ul style="list-style-type: none"> 설명(7): 경험 상기(5) 시청각자료 활용(2) 토의활동(2) 사고실험(1)
대기압의 작용 방향	<ul style="list-style-type: none"> 대기압은 위에서 아래로 작용함(6) 대기압은 지구 중심 방향으로 작용함(1) 	<ul style="list-style-type: none"> 해보기 활동(5) 시범실험(2)

용 및 빈도수를 3개 범주로 구분하여 정리한 것이다 (한 사람이 여러 개의 응답을 한 경우가 있으므로 3개 범주 빈도수의 합이 전체 참여교사 인원수와 일치하지는 않음).

학생 이해에 대한 지식의 경우, 양적으로는 작용 원리 범주와 크기 변화 범주가 작용 방향에 비해 더 많

았으나, 질적으로는 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 작용 원리 범주에서는 참여 교사들이 표면적으로 네 종류의 학생 오개념 또는 어려움을 파악하고 있는 것으로 분류되었지만, '대기압은 공기분자가 움직이지 않고 정지된 상태에서 눌러주는 힘'이라는 응답 이외는 실질적으로 작용 원리와 직접적으로 관련된 오

개념이라고 볼 수 있는 것은 없었다. 크기 변화 범주에서는 세 종류의 오개념과 두 종류의 어려움을 파악하고 있는 것으로 분석되었다. 참여 교사들이 가장 많이 응답한 학생 오개념은 '높이에 따라 공기가 균일하게 분포한다.'는 것으로 이것은 높이에 따라 눌러주는 공기 기둥이 작아져 대기압이 감소하나 그 경향이 지수함수적이 아닌 선형적인 것으로 파악한다는 의미로, 작용 원리의 오개념과 연결되어 있다. 또한, 기온 변화를 대기압 감소의 원인으로 생각한다는 응답이 있었는데, 다음은 이와 관련된 T3 교사와의 면담 내용의 일부이다.

연구자: 학생들이 대기압 감소의 원인을 기온 감소로 생각한다는 것에 대해 좀 더 구체적으로 설명해주시겠습니까?

T3: 어떤 학생들은 그냥 높은 산에 올라갈 때 추워지니까 기압이 낮아진다고 생각해요. 많은 학생들이 이런 생각을 갖는 것은 아닌 것 같구요. 학업 수준이 낮은 아이들 중에서 이렇게 생각하는 경우가 있었어요. 왜 그렇게 생각하는지는 제가 조사를 해보지 않아서 잘 모르겠지만, 아마도 기온 변화에 따라 공기가 수축하고 팽창하는 것과 연관짓는 거 아닌가 싶어요.

작용 방향 범주에서는 '대기압은 연직 방향으로 작용한다.'가 주된 오개념인 것으로 응답이었는데, 이것은 작용 원리와 관련하여 일반적으로 많이 알려진 오개념 중 하나이다. 또한, 이와 유사하지만 '지구 중심 방향으로 작용한다.'는 응답이 있었는데, 응답 교사(T1)는 학생들이 대기압의 작용을 지구 중력과 관련지어 생각하기 때문인 것으로 설명하였다.

학생 이해 지식과 관련하여 위 3개 범주의 분석 결과를 종합해보면, 참여 교사들이 인지하고 있는 학생들의 오개념이 서로 연결되어 있으며 한 범주의 오개념이 다른 범주 오개념의 원천(source)으로 작용한다는 것을 알 수 있다. 즉, 작용 원리에 대한 오개념이 크기 변화와 작용 방향에 대한 오개념의 원천이 된다는 것이다.

한편, 교수 전략에 대한 지식의 경우, 대기압과 관련하여 5개 유형의 교수 전략을 사용하는 것으로 분류되었는데, 해보기활동(hands-on activity)과 토의 활동은 학생 중심의 교수 전략으로 분류되며, 설명, 시범실험, 사고실험은 교사 중심의 교수 전략으로 분

류된다. 또한, 범주의 특성에 따라 교수 전략 유형이 달라지는 것으로 나타났다. 작용 방향 범주와 같이 실 내에서 비교적 쉽게 관찰할 수 있는 것은 해보기활동을 주로 사용하며, 크기 변화가 같이 직접적인 관찰이 불가능한 범주의 경우는 학생의 경험을 상기시키거나 시청각 자료와 같은 보조 수단을 활용하여 교사가 설명하는 방식을 주로 사용하는 것으로 분석되었다. 작용 원리 범주의 경우는 해보기활동과 설명이 거의 비슷하게 사용되는 것으로 나타났는데, 이것은 범주의 특성 상 직접 관찰이 어려운 것이긴 하나 어떤 교사들은 장치나 간단한 실험을 수행하게 함으로써 학생들을 참여시키는 교수 전략을 사용하는 반면, 어떤 교사들은 교사 주도로 설명 위주의 교수 전략을 사용하는 것으로 분석되었다.

3. 대기압에 관한 SMK와 PCK의 연관성 분석

대기압에 관한 SMK 수준 및 PCK 요소별 분석 결과를 토대로 SMK 수준에 따라 PCK 각 요소가 어떻게 달라지는지 비교하였다.

1) 교육과정 지식과의 연관성

교육과정 지식 측면에서 SMK 수준과 PCK의 연관성을 분석하기 위해 Table 3과 5의 결과를 비교한 결과, Table 3에서 SMK 수준이 낮은 교사들(T15, T20, T22 등)은 Table 5에서 F→A 유형이 많이 나타났고, SMK 수준이 높은 교사들(T10, T26, T7, T16)은 S→F 유형이 우세한 것으로 나타났다. 즉, SMK 수준이 낮은 교사들이 보충적이나 기본적 범주보다는 적용적 범주의 학습 계열에 치중하는 경향을 보이는 반면, SMK 수준이 높은 교사들은 보충적 및 기본적 범주의 학습 계열에 집중하는 경향을 나타내었다. 이것은 가르치는 내용에 대해 깊이 있는 SMK를 가진 교사가 학생들의 개념적 이해(conceptual understanding) 위해 보다 많은 시간과 노력을 투여한다는 것을 의미하는 것으로, SMK 수준이 낮은 교사일수록 개념적 발달(conceptual development)보다는 해설 위주의 교수(expository teaching)와 절차(procedure)에 더 치중한다는 Harlen과 Qualter(2004)의 연구 결과와도 일맥상통한다고 볼 수 있다.

2) 학생 이해 및 교수 전략과의 연관성

Table 8

Low SMK level teachers' knowledge of students understanding and teaching strategy related to atmospheric pressure

참여 교사	학생 이해			교수 전략		
	작용 원리	크기 변화	작용 방향	작용 원리	크기 변화	작용 방향
T12	대기는 무체가 없다.			시범실험(풍선저울)		
T18	대기압은 위에서 아래로만 작용한다.			시범실험(깡통 찌그러뜨리기)		
T19	대기압은 지구상 어디에나 동일하다.			사고실험(산위에서 밥하기)		
T13	대기압을 느끼지 못한다.			해보기 활동(비닐장갑끼고물속에 넣어보기)		
T15	고도가 높아질수록 추워지므로 기압이 낮아진다.			설명(경험 상기): 산에 올라갈 때, 비행기 탈 때		
T22	기압의 변화를 인식하지 못함			설명(경험 상기): 높은 산을 자동차로 올라갈 때, 비행기 이륙할 때		
T20	대기압을 느끼지 못한다.			설명: 경험 상기, 비디오 자료 활용		

고 있죠. 근데 이것은 대기압을 움직이지 않는 공기 분자가 정지한 상태에서 누르는 힘이라고만 알고 있기 때문이에요. 누른다는 표현에 위에서 아래로라는 의미가 내포되어 있잖아요. 아마 교과서에도 그렇게 서술되어 있을걸요? 이것으로 높이에 따른 대기압의 크기 변화를 설명하는 데는 별 문제가 없지만, 작용 방향을 설명하려면 이게 쉽지 않죠. 대부분의 학생들에게 물리에서 배우는 압력과 유체에서의 압력을 구분하여 이해한다는 게 매우 어려운 일이지요..

한편, 대기압에 관한 교수 전략 지식의 경우는 참여 교사의 SMK 수준에 관계없이 학생 이해에 대한 지식과 직접적으로 연결되어 있는 것으로 분석되었다. 즉, 대부분의 교사들은 자신이 파악하고 있는 학생들의 오개념과 어려움을 해소시켜주기 위한 방향으로 교수 전략을 계획하는 것으로 나타났다. 하지만 SMK 수준

에 따라 교수 전략은 상당한 차이가 있었다. SMK 수준이 높은 교사들은 학생 참여적인 교수 전략을 주로 사용하는 경향을 나타내었다. 이들 교사들은 학생들이 직접 해보기 활동을 통해 오개념과의 갈등을 유도하거나, 토의 활동을 통해 자신의 생각을 드러내고 명료화하는 전략을 많이 사용하는 것으로 분석되었다. 이것은 이 교사들이 학생들이 겪는 어려움과 오개념을 잘 파악하고 있기 때문에 이를 교정하기 위한 목적인 것으로 판단된다. 반면, SMK 수준이 낮은 교사의 경우는 교사 주도적인 교수 전략을 사용하는 것으로 나타났다. 이들 교사들은 시범실험을 통해 현상을 직접 보여주거나 실생활 예나 시청각 자료를 활용하여 개념을 설명하는 것으로 분석되었다. 이와 같은 결과는 교사의 SMK 수준에 따라 교사가 계획하는 수업 활동(activities)이 달라진다는 Even(1993)의 주장에 부합된다. 다음은 교수 전략에 관련된 T18 교사와의 면담 내용의 일부이다.

연구자: 대기압에 관한 교수 전략에 대해 선생님께서 작성하신 내용을 좀 더 구체적으로 설명 해주시겠습니까?

T20: 많은 학생들이 기압을 느끼지 못합니다. 그러니까 기압이 존재한다는 것을 인식시켜줄 필요가 있습니다. 예를 들면, 높은 산에 올라갔을 때 밥이 설익어서 먹지 못했던 학생들의 경험을 상기시킵니다. 또, 비디오 자료를 이용하여 우리 몸의 내압이 지상 기압과 비슷하여 우리가 기압을 느끼지 못함을 설명합니다.

IV. 결론 및 제언

최근의 과학 교사 교육에서는 교사의 전문성 지식(teachers' professional knowledge)에 대한 관심이 커지고 있다. 이것은 과학 교사의 지식이 수업 계획과 실행에 지대한 영향을 미치기 때문이다. 본 연구에서는 현직 과학 교사들을 대상으로 교사 지식의 핵심 요소인 SMK와 PCK의 연관성을 알아보려 하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 대기압에 관한 과학 교사의 SMK 수준은 교사에 따라 다양하게 나타났으며, 세부 범주별로 서로 다른 것으로 분석되었다. 이것은 학생들의 오개념 원인이 지도교사일 수 있다는 기존의 연구들을 뒷받침하는 결과로 볼 수 있으며, 사범대학의 교사 양성 프로그램에 대한 비판적 검토가 필요함을 시사한다. 이 연구에서는 교수를 위한 SMK(SMK for teaching)를 측정하기 위한 검사에 초점을 맞추었기 때문에 학문을 위한 SMK(SMK for discipline)의 변환(transformation) 능력이 참여 교사의 SMK 수준을 결정하였다고 볼 수 있다. 즉, 교사양성과정에서 이수한 대기과학 내용을 중학교 교과에서의 대기압 개념을 효과적으로 이해시키기 위해 어떻게 변환시켰는가 하는 것이 그 교사의 SMK 수준이 된다는 의미이다. 대기압 관한 SMK 분석 결과에서 SMK 수준이 높은 교사는 대기압을 지구과학 분야에 한정하여 정역학적 평형으로만 이해하는 것이 아니라 화학 분야의 기체분자운동론의 관점과 통합하여 이해하고 있었다. 이것은 현행 사범대학 대기과학 교재에서 제시하고 있지 못한 부분으로 교사 양성 교육과정에 시사하는 바가 크다. 즉, 예비교사 단계에서 변환을 위한 훈련 과정이 현직교사의 SMK 수준을 결정하는 중요한

변수가 될 수 있다는 의미이다. 이런 측면에서 볼 때 과학 교사 양성 교육과정에서 교과내용학이나 교과교육학 과목에서 분야별 내용의 개념적 이해를 더 강조할 필요가 있을 것이며, 더 나아가 교과내용학과 교과교육학 과목을 통합하여 운영하는 방법도 적극적으로 검토될 필요가 있을 것이다.

둘째, 대기압에 관한 과학 교사의 SMK 수준에 따라 교육과정 지식이 다양한 유형으로 나타났다. SMK 수준이 높은 교사의 경우는 대기압 개념을 보다 심도 있게 이해시키기 위한 보충적 및 기본적 학습 내용에 집중하는 반면, SMK 수준이 낮은 교사의 경우는 기본적인 학습 내용보다는 기본적 내용이 활용되는 적용적 내용에 더 치중하는 경향을 나타내었다. 이것은 대기압의 정의 및 작용 원리, 작용 방향, 크기 변화와 같은 핵심 개념(core concept)에 대한 심층적 이해가 낮은 교사는 대기압에 대한 개념적 이해 보다 고기압과 저기압, 바람, 날씨 등의 현상에 대한 적용에 집중하고 있음을 의미하는 것으로, SMK가 부족한 교사가 개념적 이해보다는 절차적 접근을 선호한다는 기존의 연구들(Harlen and Qualter, 2004; Rollnick *et al.*, 2008)의 연구 결과와 같은 맥락으로 해석된다. 또한 이와 같은 결과는 교사의 SMK 수준에 따라 교육과정에 대한 해석과 구성이 달라질 수 있음을 의미한다. 우리나라의 경우 모든 학교에서 국가교육과정에 의거하여 개발되고 인정된 교과서를 사용하고 있기 때문에 개별 교사에 의한 교육과정 재해석이나 재구성 여지가 크지 않다. 그러므로 교과서에 짜여진 학습 계열과 범위를 따라 수업이 이루어지는 것이 일반적이다. 하지만 이 연구의 결과에서 나타나듯 모든 교사가 교육과정이나 교과서에 제시되는 학습 계열과 범위를 그대로 따르는 것은 아니며 교사의 능력에 따라 얼마든지 다르게 해석되고 재구성될 수 있음을 보여준다. 이 연구를 통해 이러한 교사의 능력 변수 중 하나가 해당 주제에 대한 '교과로서의 SMK' 수준이라는 것을 알 수 있었다.

셋째, 대기압에 관한 SMK 수준이 높은 교사들은 학생들이 대기압 관련 오개념과 학습하는데 겪는 어려움을 더 구체적으로 파악하고 있는 것으로 나타났다. 또한 이러한 오개념을 과학적 개념으로 변화시켜주기 위한 구성주의적 교수 전략을 사용하는 경향을 나타내었다. 반면, SMK 수준이 낮은 교사들은 학생들의 오개념에 대한 지식이 부족하며, 특정한 교수전

략을 사용하기보다는 교사 중심의 개념 설명에 치중하는 경향을 나타내었다.

이것은 우수한 교사는 그들의 내용 지식을 학생의 선지식과 학습 상태와 연결하여 변환하고 이를 교수 실행에 반영한다는 Shulman과 Quinlan(1996)의 주장에 부합되는 것이며, 교사가 학생의 기존 지식과 이해를 수업에 개입시키지 못하면 제시되는 새로운 개념을 학생들이 습득하기 어렵다(Bransford *et al.*, 1999)는 것을 재확인시켜준다. 특히 대기압의 경우는 작용 원리, 작용 방향, 크기 변화 측면에서 학생 오개념이 많은 주제로 알려져 있다. 그러므로 효과적인 교수 전략의 구안을 위해서는 세가지 측면에서 이러한 오개념과 그 원인, 오개념간의 관계 등을 상세하게 파악하는 것이 선행되어야 하며, 주제의 특성상 오개념들이 교사 설명보다는 학생 활동(경험) 위주의 개념 갈등 전략과 연결되는 것이 바람직할 것이다.

위와 같은 분석 결과들은 효과적인 교수 실행을 위해서는 단단한 내용 지식의 토대가 필수적이라는 기존 연구에서의 주장(Darling-Hammond, 1998; Kim *et al.*, 2010; Kwak, 2009)과 일치하는 것으로, 과학 교사의 SMK가 PCK와 긴밀하게 상호 연관되어 있음을 의미한다. 다시 말해, SMK와 PCK의 발달은 독립적으로 이루어지는 것이 아니라 두 지식 요소가 통합된 맥락에서 발달될 수 있으며, 학문으로서의 SMK가 효과적인 교수에 영향을 주긴 하지만 그 자체만으로는 충분하지 않으며 다른 종류의 교사 지식에 의한 중재(mediation)가 필요하다는 것이다. 그러므로 이러한 필요성은 현행과 같이 SMK 관련 과목과 PCK 관련 과목들이 유기적으로 연관되지 못하고 독립적으로 개설되고 운영되는 사범대학 과학 교사 양성 교육과정 개선에 반영되어야 한다. 즉, 질 높은 과학 교사 양성을 위해 교육 프로그램의 정합성(coherence) (Lee, 2013)을 높이기 위한 효과적인 형태로 변화되어야 할 것이다.

국문 요약

이 연구에서는 교사 지식 기반의 두 핵심 요소인 SMK와 PCK가 어떤 관련성이 있는지를 알아보고자 하였다. 이를 위해 26명의 중등 지구과학 교사를 대상으로, SMK 분석을 위해서 기압 개념에 대한 진단 검사를 실시하였으며, PCK 분석을 위해서 대기압 주제

에 대한 수업 계획을 작성하게 하고 이를 토대로 심층 면담을 실시하였다. 연구 결과, 대기압에 대한 교사들의 SMK 수준이 매우 다양한 것으로 나타났다. SMK 수준이 높은 교사의 경우는 대기압 개념을 보다 심도 있게 이해시키기 위하여 보충적 및 기본적 교육과정 내용에 집중하는 반면, SMK 수준이 낮은 교사의 경우는 기본적인 내용보다는 적용적 교육과정 내용에 더 치중하는 경향을 나타내었다. SMK 수준이 높은 교사는 대기압 관련 학생의 오개념 또는 어려움을 더 구체적으로 파악하고 있는 것으로 나타났다. 또한, SMK 수준이 높은 교사는 학생의 오개념을 도입하여 이를 과학적 개념으로 변화시키기 위한 학생 중심의 수업 전략을 사용하는 경향을 나타낸 반면, SMK 수준이 낮은 교사는 교사 중심의 개념 설명에 치중하는 경향을 나타내었다. 이러한 연구 결과를 토대로 효과적인 과학 교사 양성 프로그램을 위한 함의를 논의하였다.

주제어: 교사 지식 기반, 과학 교사, 교과내용학 지식, 교과교육학 지식, 대기압

참고 문헌

- Cho, H. H., & Ko, Y. J. (2008). Re-conceptualization of secondary science teacher's pedagogical content knowledge (PCK) and its application. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 28(6), 618-632.
- Kim, J. H., Kim, S. D., Bae, J. H., & Lee, Y. S. (2004). The effects of teaching methods on conceptual change of atmospheric pressure in middle school students. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 25(4), 214-221.
- Kim, K. S., Yoon, J. H., Park, J. A., & No, T. H. (2011). The components of pedagogical content knowledge considered by secondary science pre-service teachers in planning and implementing teaching demonstrations. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 31(1), 99-114.
- Kim, Y. M., Moon, J. S., Park, J. S., & Lim, G. S. (2010). Comparison of perception on science teacher preparation courses by beginner and experienced science teachers. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 30(8), 1002-1016.
- Kwak, Y. S. (2006). Definition of pedagogical content knowledge and ways of raising teaching professionalism as examined by secondary school science teachers. *Journal of the Korean Association for Research in*

- Science Education, 26(4), 527-536.
- Kwak, Y. S. (2009). Research on the effects of subject matter knowledge (SMK) on pedagogical content knowledge (PCK) of secondary beginning science teachers in classroom teaching. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 29(6), 611-625.
- Kwon, J. S. (1999). Improvement of science teacher education. *The Journal of Korean Teacher Education*, 16(1), 91-110.
- Lee, K. Y. (2013). Preservice and inservice science teachers' perception on the coherence and balance of their teacher preparation programs. *Journal of Science Education*, 37(1), 1-19.
- Lee, K. Y. (2009). An analysis of earth science teachers' topic-specific pedagogical content knowledge: a case of pre-service and in-service teachers. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 30(3), 330-343.
- Lim, C. H. (2003). Science teaching practice and science teaching efficacy beliefs by development of elementary school teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 24(4), 258-272.
- Min, H. J., Park, C. Y., & Baek, S. H. (2010). An analysis of beginning science teachers' pedagogical content knowledge through the teaching practice. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 30(4), 437-451.
- Park, C. Y., Min, H. J., Baek, S. H. (2008). An analysis of pre-service science teachers' pedagogical content knowledge through the student-teacher practice. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 28(6), 641-648.
- Park, S. H. (2003). Pedagogical content knowledge and predictor variables in science teaching of practicing elementary teachers. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 23(6), 671-683.
- Bransford, J., Brown, A., & Cocking, R. (1999). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. Washington, DC: National Academy press.
- Carlsen, W. S. (1987). Why do you ask? The effect of science teacher subject-matter knowledge on teacher questioning and classroom discourse. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, Washington, D.C.
- Carter, K. (1990). Teacher knowledge and learning to teach. In R. Houston et al. (Ed.) *Handbook of Research on Teacher Education*. New York: Macmillan.
- Connelly, F. M., Clandinin, D. J., & He, M. F. (1997). Teachers' personal practical knowledge on professional knowledge landscape. *Teaching and Teacher Education*, 13(7), 665-674.
- Darling-Hammond, L. (1998). Teacher learning that supports student learning. *Educational Leadership*, 55(5), 6-11.
- Deng, Z. (2001). The distinction between key ideas in teaching school physics and key ideas in the discipline of physics. *Science Education*, 85(3), 263-278.
- Dewey, J. (1897). The psychological aspect of the school curriculum. *Educational Review*, 13. 356-369.
- Even, R. (1993). Subject-matter knowledge and pedagogical content knowledge: Prospective secondary teachers and the function concept. *Journal for Research in Mathematics Education*, 24(2), 94-116.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. In Gess-Newsome, J. and Lederman, N. G. (eds.), *Examining pedagogical content knowledge*(pp. 3-17). Boston: Kluwer Academic Publisher.
- Gess-Newsome, J., & Lederman, N. G. (1995). Biology teachers' perceptions of subject matter structure and its relationship to classroom practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(3), 301-325.
- Grossman, P. L. (1990). *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York, Teachers College Press.
- Grossman, P. L., Wilson, S. M., & Shulman, L. S. (1989). Teachers of substance: Subject matter knowledge for teaching. In M. Reynolds(Ed.). *Knowledge base for the beginning teacher*(pp. 23-36). New York: Pergamon.
- Harlen, W. & Qualter, A. (2004) *The teaching of science in primary schools* (4th ed.). London: David Fulton Publishers.
- Lederman, N. G., & Gess-Newsome, J. (1992). Do subject matter knowledge, pedagogical knowledge, and pedagogical content knowledge constitute the ideal gas law of science teaching? *Journal of Science Teacher Education*, 3(1), 16-20.
- Lederman, N. G., Gess-Newsome, J., & Latz, M. S. (1994). The nature and development of preservice science teachers' conceptions of subject matter and pedagogy. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(2), 129-146.
- Leinhardt, G., Putnam, R., Stein, M., & Baxter, J. (1991). Where subject matter knowledge matters. In J. Brophy(Ed.), *Advances in research on teaching*(Vol. 2, pp. 87-113). Greenwich, CT: JAI Press.
- 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.
- Lump, A. T., & Staver, J. R. (1995). Peer collaboration and concept development: learning about photosynthesis.

- Journal of Research in Science Teaching, 32, 71-98.
- Ma, L. (1999). Knowing and teaching elementary mathematics. Mahwah, N. J: Lawrence Erlbaum & Associates.
- Magnusson, S., Krajcik, J. & Borko, H. (1999). Nature, Sources, and Development of PCK. In Gess-Newsome J. & Lederman N. G.(Eds.), Examining Pedagogical Content Knowledge. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 95-132.
- Nilsson, P. (2008). Teaching for understanding: The complex nature of pedagogical content knowledge in pre-service education. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1281-1299.
- Rollnick, M., Bennett, J., Rhemtula, M., Dharsey, N., & Ndlovu, T. (2008). The place of subject matter knowledge: A case study of South African teachers teaching the amount of substance and chemical equilibrium. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1365-1387.
- Schwab, J. (1978). Education and the structure of the discipline, in I. Estbury and N. J. Wilkof(Eds). *Science, curriculum and liberal education*. University of Chicago, Chicago, 229-272.
- Shulman, L. S. (1986a). Paradigms and research programs in the study of teaching: A contemporary perspective. In M.C. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching*, 3rd Ed. (pp. 3-36). New York: Macmillan.
- Shulman, L. S. (1986b). 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. *Havard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Shulman, L. S., & Quinlan K. M. (1996). The comparative psychology of school subjects. In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Eds.) *The Handbook of Educational Psychology* (pp. 399-422). NY: Macmillan.
- Sherin, M. G., & van Es, E. A. (2008). Effects of video club participation on teachers' professional vision. *Journal of Teacher Education*, 60(1), 20-37.
- Stengel, B. S. (1997). "Academic discipline" and "school subject": Contestable curricular concepts. *Journal of Curriculum Studies*, 29(5), 585-602.
- Van der Valk, A. E., & Broekman, H. (1999). The lesson preparation method: A way of investigating preservice teachers' pedagogical content knowledge. *European Journal of Teacher Education*, 22, 11-22.
- Xiaoyan, Z. (2007). Understanding PCK: Its background, components and models- A comprehensive review on PCK in the past two decades. *CELEA Journal*, 30(5). 73-83.
- Zeidler, D. L. (2002). Dancing with Maggots and Saints: Visions for subject matter knowledge, pedagogical knowledge, and pedagogical content knowledge in science teacher education reform. *Journal of Science Teacher Education*, 13(1), 27-42.