

과학 교과교육학 지식의 본질과 발달

임 청 환*

대구교육대학교 과학교육과, 705-715 대구광역시 남구 대명 2동 1797-6

Nature and Development of Pedagogical Content Knowledge in Science Teaching

Cheong-Hwan Lim*

Department of Science Education, Daegu National University of Education, Daegu 705-715, Korea

Abstract: The purpose of this study is to analyze and evaluate the nature, role and development of pedagogical content knowledge in science teaching. Two research questions were considered: 1) What are the nature and the components of the pedagogical content knowledge in science teaching? 2) What is the value of pedagogical content knowledge and are there any routes and paths to developing pedagogical content knowledge for science teachers? In order to answer these questions instead of analyzing empirical data, former research literatures are reviewed. The results indicate that science pedagogical content knowledge is a special amalgam of science content knowledge and science method knowledge in a special context of science teaching that is uniquely the province of teacher based on their own special form of professional understanding. As a part of one's own distinctive bodies of knowledge, science teachers' pedagogical content knowledge is an important basis for professional development and competent teachers. It is knowledge of how to teach specific content in specific contexts, also it depends on each teachers' distinctive knowledge structure. Pedagogical content knowledge for science teaching is composed of five components: orientations toward science teaching, knowledge and beliefs about science curriculum, knowledge and beliefs about students' understanding of specific topics, knowledge and beliefs about assessment for teaching science, knowledge and beliefs about instructional strategies for teaching science. The development of science pedagogical content knowledge does not start until teachers have acquired a deeply principled conceptual knowledge of content, also it is promoted by the constant use of subject matter knowledge in teaching situations.

Keywords: pedagogical content knowledge in science teaching, content knowledge, method knowledge, professional development, conceptual knowledge

요약: 본 연구의 목적은 과학 교과교육학 지식의 본질과 역할이 무엇이며 어떻게 발달하는가를 알아보는 데 있다. 구체적인 연구 문제는 첫째, 과학 교과교육학 지식의 본질과 구성 요소는 무엇인가? 둘째, 과학 교과교육학 지식의 가치와 교사의 과학 교과교육학 지식은 어떻게 발달하는가? 이다. 이를 해결하기 위해서 본 연구는 실증적이고 경험적인 데이터에 의한 문제해결보다는 문헌 연구를 통한 접근을 하였다. 연구 결과는 다음과 같다. 과학 교과교육학 지식의 본질은 첫째, 교사 개인이 특정한 과학 수업 상황 속에서 과학 교과를 가르치는데 사용하는 과학의 내용 지식과 과학 교수방법 지식의 합성체를 의미하는 것이다. 둘째, 교사 자신이 가지고 있는 교수를 위한 독특한 지식체로서 과학 교사 전문성의 요체가 되며, 자질 있는 과학 교사가 갖추어야 할 가장 핵심적이고 필수적인 사항이다. 셋째, 어떤 특수한 상황에서 특수한 내용을 어떻게 가르치느냐에 관한 지식으로서 이것은 각 교사마다 독특하게 구성된 지식 체계에 따라 달라진다. 과학 교과교육학 지식의 구성 요소는 과학 교수에 대한 지향, 과학 교육과정에 대한 지식과 신념, 특수한 과학 주제에 대한 학생들의 이해에 관한 지식과 신념, 과학에서 평가에 관한 지식과 신념, 과학 교수를 위한 수업전략에 관한 지식과 신념이다. 과학 교과교육학 지식의 발달은 교과 내용에 대한 개념적 지식이 충분히 형성되어야 하며, 이 내용 지식을 실제적인 교수 경험을 통하여 반복적으로 사용함으로써 발달한다.

주요어: 과학 교과교육학 지식, 내용 지식, 교수방법 지식, 전문성 개발, 개념적 지식

*E-mail: cheong@dnu.ac.kr

Tel: 82-53-620-1342

Fax: 82-53-620-1525

서론

최근에 제시된 미국의 NRC(National Research Council, 1996)의 NSES(National Science Education Standards)와 AAAS(American Association for the Advancement of Science, 1993)의 Benchmarks for Science Literacy와 같은 국가 수준의 과학 교육 표준과 준거에 관한 연구는 미국뿐만 아니라 다른 나라에도 초·중등 과학교육 개혁 운동의 시발점이 되었으며, 사실상 이 두 개의 연구물이 여러 나라의 과학 교육 개혁에도 상당한 영향을 주고 있다. 이들이 초·중등학교 과학교육이 추구해야 할 목표와 나아가야 할 방향을 제시하는 좋은 본보기가 되고 있기 때문이다. 더구나 NSES와 Benchmarks for Science Literacy는 K-12의 각 학년 각 분야별로 학생들이 성취해야 할 핵심적인 내용뿐만 아니라 그 내용에 관련된 교수 방법적인 문제들 즉, 과학 교과교육학 지식(pedagogical content knowledge in science)에 관련된 문제들을 국가 수준의 공식적인 문서에서 다루고 있다는 점에서 Shulman(1986, 1987)과 여러 연구자들(Carlsen, 1987; Grossman *et al.*, 1989; Gudmundsdottir, 1987a, 1987b; Marks, 1990)에 의해 제기된 교과교육학 지식(pedagogical content knowledge)이 자질 있는 교사가 갖추어야 할 가장 중요한 핵심적인 구인임을 확인해 주고 있다. NSES는 과학 교사의 전문성 개발 준거로서 과학 교육과정과 과학 교수 실체에 이용되는 지식 기반(knowledge base)을 최초로 다루고 있다. 또한 과학 교사 교육의 개혁을 위한 과학 교사 전문성 개발의 준거로서 과학 교과교육학 지식을 도입하고 있다. 이는 과학 교과교육학 지식이 교사 전문성 개발 준거의 하나로서 과학 교사 교육 개혁을 위한 중요한 요인임을 나타내 주고 있다.

교사가 어떤 교과 내용을 가르치기 위해서 학습을 계획하고 교수하는 것은 대단히 고차원적으로 복잡한 인지적 활동으로서 교사는 다양한 영역으로부터의 지식을 적용해야만 하는 활동이다(Resnick, 1987; Leinhardt & Greeno, 1986; Wilson *et al.*, 1988). 어떤 교과 내용에 대해서나 의미 있게 조직되고 잘 분화된 통합적인 지식을 가지고 있는 교사가 제한되고 분절된 지식을 가지고 있는 교사보다 수업을 계획하고 교수하는데 있어서, 학생들의 깊고 통합된 이해를 돕는데 훨씬 더 많은 능력을 가지고 있다는 것은 부

인할 수 없다. 효율적인 과학 교사는 어떤 특수한 상황과 맥락에서 다양한 학생들의 과학적 지식을 개발하고 과학적 탐구를 이해하는데 도움을 주는 가장 효율적인 교수 방법과 전략을 알고 있어야 한다.

전통적으로 과학교육 분야에서도 능력 있고 자질 있는 교사가 갖추어야 할 필수적인 요건으로써 교사의 교과 내용 지식(subject matter(content) knowledge)과 교육학 지식(pedagogical knowledge: 수업 전략과 운영에 대한 지식, 학생에 대한 이해 등과 같은 교과의 내용과는 직접적인 관계가 없는 일반적인 교육 방법적 측면의 지식을 의미하는 것으로 교수 방법 지식이라고도 함)이 특별히 강조되어 왔다(Ball & McDiarmid, 1990; Carlsen, 1987; Hashweh, 1987). 이는 교사의 교과 내용 지식과 일반 교육학 지식이 교사가 학생을 잘 이해하고 이를 바탕으로 훌륭한 과학 교수를 하는데 결정적인 영향을 주는 속성이라는데 그 근거를 두고 있다(Buchmann, 1982; Tobin & Garnett, 1988). 그러나 현대 과학 교육에서는 교사의 교과 내용 지식과 일반적인 교수 방법 지식(general knowledge of instructional methods) 즉, 교육학 지식 외에도 교과교육학 지식이 자질 있는 교사가 갖추어야 할 보다 중요한 요인으로 간주되고 있다. 따라서 과학교육에서 교사가 갖추어야 할 지식 기반 중에서도 과학 교과교육학 지식이 자질 있는 교사의 핵심적인 구인이 되었다.

과학교육에서 과학 교과교육학 지식의 역할은 교사들이 가지고 있는 과학 내용학적인 지식을 다양한 수준의 학생들에게 어떻게 이해 가능한 유의미한 것으로 질적인 전환을 시키느냐가 가장 중요하다. 즉, 교사가 그들의 내용학적인 지식을 적절한 교육학적인 기능을 통하여 학생들에게 전이시키느냐는 것이다. Lederman과 Latz(1995)는 과학 교사들이 내용학적인 지식은 잘 준비되어 있지만 그들이 가지고 있는 지식을 유의미한 수업으로 전이시키는 능력이 부족하다고 하였다. 마찬가지로 Magnusson과 Krajcik(1993)도 학생들에게 과학 개념을 가르치는데 교사들이 가장 적절한 방법을 선택하는 능력이 부족하다고 지적하고 있다. NSES에서도 과학 교과교육학 지식을 갖춘 자질 있는 교사는 그들이 가지고 있는 과학 내용학적 지식, 교육과정에 관한 지식, 교수 학습 환경에 관한 지식, 학생에 관한 지식을 통합하는 능력과 그것들에 관한 특별한 이해를 한다고 지적하고 있다(National Research Council, 1996).

과학 교과교육학 지식이 자질 있는 교사의 필수요건이 되고, 이것이 교사의 교수 실체에 중요한 영향을 주는 변인임에도 불구하고 국내에서는 과학 교과교육학 지식에 대한 개념 정의조차도 되어 있지 못한 실정이다. 더구나 과학 교과교육학 지식이 어떻게 발달하며 교사의 교수 실체에 어떤 영향을 주는가에 대한 연구는 지금까지 거의 이루어지지 않고 있다. 이와 같은 이유는 교사교육에서 자질 있는 교사가 갖추어야 할 핵심적인 지식 기반(knowledge bases)이 무엇이며 이 지식 기반 중에서도 가장 중요한 요소인 교과교육학 지식에 대한 인식 부족에 기인한다.

위와 같은 연구의 필요성에 비추어 본 연구의 목적은 과학 교과교육학 지식의 발달이 교사의 교수 실체와 효능감에 어떤 영향을 주는가에 대한 사전 연구로서, 과학 교과교육학 지식의 본질과 역할이 무엇이며 어떻게 발달하는가를 알아보는 데 있다.

위의 연구 목적을 달성하기 위한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 과학 교과교육학 지식의 본질과 구성 요소는 무엇인가?

둘째, 과학 교과교육학 지식의 가치와 교사의 과학 교과교육학 지식은 어떻게 발달하는가?

연구 방법 및 절차

본 연구의 방법은 과학 교과교육학 지식에 대하여 지금까지 여러 연구자들에 의해서 수행된 연구 결과를 분석·종합하고 정리하여 평가하는 것이다. 연구 문제를 해결하기 위한 연구 절차는 다음과 같다.

첫째, 과학 교과교육학 지식의 본질과 역할 및 구성 요소에 대한 문헌 연구를 수행하여 과학 교과교육학 지식에 대한 개념을 정의한다.

둘째, 과학 교과교육학 지식의 가치와 교사의 과학 교과교육학 지식의 발달이 어떻게 일어나는가를 알아본다.

연구 결과

과학 교과교육학 지식의 본질과 구성 요소

(1) 과학 교과교육학 지식의 본질

어느 교사가 과학 수업에서 달의 운동과 위상 변화에 대해서 가르친다고 가정해 보자. 이 때 교사는 무엇을 어떻게 해야 하는가?

어떤 과학적 개념을 학생들에게 학습시키기 위해서 교사는 무엇을 어떻게 하여야 하는가? 학생들의 학습을 돕기 위한 학습 기자재료에는 어떤 것들이 있는가? 학생들은 학습하려고 하는 것에 대해 기존에 이미 알고 있는 것이 무엇이며 그들은 무엇을 어려워 하는가? 교사는 어떻게 학생들이 학습한 것을 가장 타당하고 신뢰롭게 평가할 수 있는가? 이런 질문들이 대부분의 교사들에게 있어서 가장 흔한 것이고 또한 이런 것들이 교사가 교과 내용 전문가와 구분되는 결정적인 속성이다. 이와 같은 지식을 우리는 흔히 교사의 교과교육학 지식이라고 한다(Magnusson *et al.*, 1999).

교과교육학 지식(연구자에 따라서 교수 내용 지식 혹은 교육학적 내용 지식이라고 지칭하기도 하나 각 교과와 내용과 유리된 교육학적 지식과 내용 지식은 교사의 교수 실체에 있어서 의미가 없기 때문에 본 연구자는 교과교육학 지식이라고 지칭한다)은 Shulman이 1985년 American Educational Research Association의 연설에서 처음 사용한 용어로서, 그 후 유능한 교사의 자질에 대한 핵심적인 지식 기반 중의 가장 중요한 개념이 되었다.

교사 개인이 특정한 수업 상황 속에서 어떤 교과를 가르치는데 사용하는 교과 내용 지식과 교수 방법 지식의 합성체를 의미하는 교과교육학 지식은 연구자에 따라서는 약간씩 다른 용어를 사용하고 있다. 예를 들면 Content-specific pedagogy(Marks, 1990; Shulman & Sykes, 1986), Pedagogical content knowledge(Marks, 1990; Grossman, 1988; Shulman, 1987), Pedagogical content knowing(Cochran *et al.*, 1993), Subject-specific pedagogical knowledge(McDiarmid *et al.*, 1989), Subject matter specific pedagogical knowledge(Tamir, 1988), Content-specific cognitional knowledge(Peterson, 1988) 등이다. 그러나 이들의 교과교육학 지식에 대한 표현 방식은 다르지만 본질적인 의미는 교과 내용 지식과 그 교과 내용에 대한 교수 방법 지식의 합성체로 보는 것이 타당하다. 이렇게 다양한 다른 용어를 사용하는 것은 아마도 서로 다른 내용 분야에 대한 연구와 각각의 분야에서 교수를 어떻게 보느냐의 관점에 따라서 다른 것 같다(임청환, 1999). 교과교육학 지식은 특수한 교과 내용을 학생들이 이해하는데 어떻게 도움을 줄 것인가에 대한 교사의 이해이며 지식으로서 효율적인 과학 교수의 핵심 구인이다. 따라서 교사의 이런 영

역에 대한 지식의 이해와 교사의 교수 실행에 영향을 주는 교과교육학 지식의 이해는 과학 교수와 과학 교육의 개선을 증진하기 위해서 필수적인 것이다.

Shulman(1987)은 유능한 자질 있는 교사가 갖추어야 할 지식에 관한 연구 분야에서 가장 독특한 이론적 근거와 연구 방법을 제공하였다. 그는 교육 내용을 있는 그대로 가장 효과적으로 학생에게 전달(transmission)하는 방법을 중요시하는 응용 과학적 교수관과는 다른 교육 내용의 질적인 전환(transformation)을 추구하는 대안적 교수관을 제안하였다. 여기서 중요한 용어인 질적인 전환(transformation)은 Ball(1988)이 주장하는 표상(representation)이나 Dewey(1969)의 심리학적인 설명(psychologizing)과 유사한 용어(Marks, 1990)로서 각 교과나 맥락에 따라 교수 실제에서 나타나는 독특하고 특징적인 표상으로의 질적인 전환을 말한다. 교과교육학 지식은 여러 영역으로부터의 지식의 질적인 전환의 결과로서 나타나는 개념화(conceptualization: 여기서 지칭하는 conceptualization은 완전한 concept가 되기 전의 단계를 말함)이다(Wilson, Shulman, & Richert, 1988). 예를 들면 교수 상황과 맥락 그리고 교사에 따라 독특하게 다르겠지만 학생들에게 전기회로를 가르치려고 할 때, 교사가 가지고 있는 내용학적 지식이 적절한 비유와 예시, 유추 등을 통하여 내용 지식의 질적인 전환이 일어난다는 것이다. 전기회로에 대한 유명한 Hewitt(1993)의 교수 전략 즉 “water flow model”, “bicycle chain or train model”, “teeming model” 등은 질적인 전환을 하는데 좋은 예가 될 것이다. 물론 각각의 모델이 실제의 전기회로를 얼마나 잘 유추해 주느냐의 장단점은 유능하고 자질 있는 교사라면 잘 판단을 할 수 있어야 한다. Shulman(1987)은 이와 같은 대안적 교수관에 근거하여 새로운 교사 교육 개혁의 준거로서 유능한 자질 있는 교사가 반드시 갖추어야 할 지식의 범주를 7가지로 설정하였다. 즉, 그는 다음과 같은 7가지의 지식을 새로운 개혁을 위한 지식과 교수 중에서 교사가 갖추어야 할 최소한의 지식이라고 하였다.

이들은 교과내용 지식, 일반적인 교수방법 지식, 교육과정 지식, 교과교육학 지식, 학습자에 관한 지식, 교육적 상황에 관한 지식, 교육 목적과 가치에 대한 철학적 역사적 배경에 관한 지식이다. 이 중에서도 교과교육학 지식이 교수를 위한 독특한 지식체(distinctive bodies of knowledge)이기 때문에 특별한

관심을 가져야 한다고 하였다. 특히 그는 교과 내용 지식의 중요성을 간과하고, 일반적인 교수 방법 지식을 강조해 온 기존의 교사 교육체제를 비판하면서, 7가지 지식들 중에서 교과교육학 지식이 특정한 교수 상황에서 교과 내용 지식과 일반적인 교수방법 지식의 독특하고 특별한 합성체로 나타나는 교사 전문성의 요체가 되어야 한다고 역설하였다. 이와 같은 Shulman(1987)의 주장에 근거를 두고 각 교과교육학 분야와 과학교육학 분야에서도 1980년대 후반부터 과학 교과교육학 지식에 대한 연구가 상당히 이루어져서 이것이 과학 교과에서 자질 있는 과학 교사가 갖추어야 할 가장 핵심적이고 필수적인 요체가 되었다(임정환, 1999).

교사의 교과교육학 지식은 교사의 교수 능력을 평가하는 가장 중요한 기반이 된다. 특히 과학 교사의 경우에는 과학 내용 지식과 일반 교육학 지식과 학습자에 관한 지식을 통합하는데 꼭 필요한 것이 과학 교과교육학 지식이다(Gitomer & Burton, 1996).

Tuan(1996)은 과학 교사 교육의 목표는 교사 교육 프로그램 내에서 학생들의 과학 교과교육학 지식의 발달을 조장하는데 있으며 교수 실제에 교과교육학 지식이 이용될 수 있게 하는데 있다고 하였다. 따라서 과학 교과교육학 지식이 과학 교사의 전문성 개발을 제공해주는 것이다.

Van Driel *et al.*(1998)는 교과교육학 지식은 교과 내용 지식이나 일반적인 교수방법 지식과는 다른 것으로서 오히려 특정한 학습의 어려움의 이해나 학생의 개념화, 교과내용의 표상 등으로 구성되어 있다고 하였다. 이런 의미에서 본다면 교과교육학 지식은 어떤 특수한 상황에서 특수한 내용을 어떻게 가르치느냐에 관한 지식이다(Mallado *et al.*, 1998).

Grossman(1990)은 교과교육학 지식의 핵심적인 구성 요소로 목적에 관한 신념과 지식, 학생들의 개념화에 대한 지식, 교육과정에 대한 지식, 교수전략에 관한 지식으로 4가지를 제안하였다.

Cochran *et al.*(1993)은 Shulman의 모델을 교수 학습에 대한 구성주의적 입장에서 수정하여 Grossman(1990)과 유사한 교과교육학 지식(이들은 pedagogical content knowledge 대신에 pedagogical content knowing을 사용함)을 구성하는 핵심적인 요소로 학습자에 관한 지식(knowledge of students), 학습 환경 맥락에 관한 지식(knowledge of environmental contexts), 교수 방법에 관한 지식(knowledge of

pedagogy), 교과내용에 관한 지식(knowledge of subject matter)을 제안하였다.

지금까지의 여러 연구 중에서 일반적인 교과교육학 지식에 대한 가장 광범위한 연구는 Ashton(1990)이 편집한 Journal of Teacher Education의 Theme: Pedagogical content knowledge이다. 여기서는 여러 교과와 분야에 걸쳐서 교과교육학 지식의 본질과 연구 방법을 광범위하게 다루고 있다. 이를 계기로 교과교육학 지식의 본질을 재조명하고 각 교과에서 이들이 어떻게 발전하는가에 대한 연구의 기초가 되었다.

위와 같은 여러 연구자들의 입장을 분석·종합하여 과학 교과교육학 지식의 본질에 대한 평가를 하면 다음과 같다.

첫째, 과학 교과교육학 지식은 교사 개인이 특정한 과학 수업 상황 속에서 과학 교과를 가르치는데 사용하는 과학의 내용 지식과 과학 교수방법 지식의 합성체를 의미하는 것이다.

둘째, 과학 교과교육학 지식은 교사 자신이 가지고 있는 교수를 위한 독특한 지식체로서 과학 교사 전문성의 요체가 되며, 자질 있는 과학 교사가 갖추어야 할 가장 핵심적이고 필수적인 사항이다.

셋째, 과학 교과교육학 지식은 어떤 특수한 상황에서 특수한 내용을 어떻게 가르치느냐에 관한 지식으로서 이것은 각 교사마다 독특하게 구성된 지식 체계에 따라 달라진다.

(2) 과학 교과교육학 지식의 구성 요소

우선 교과교육학 지식이 가지고 있는 본질과 사상을 가장 잘 나타내 주는 Grossman(1990)의 연구를 살펴본다. 이 연구는 교사가 갖추어야 할 지식 영역들 사이의 관련성을 잘 제시해 주고 있다.

그림 1에서 교사가 갖추어야 할 지식 영역들은 교과 내용 지식과 신념, 교육학적 지식과 신념, 상황과 맥락에 관한 지식과 신념, 교과교육학 지식과 신념이다. 각각의 지식 영역들 간의 화살표는 교수에서 교과교육학 지식과 다른 영역들 간의 상호 관련성을 나타낸다. 결국 교과교육학 지식은 교과내용 지식과 신념, 교육학적 지식과 신념, 상황과 맥락에 관한 지식과 신념의 질적인 전환의 결과임을 보여줄 뿐만 아니라 그 반대로 다른 영역들의 지식의 발달을 조장해 주는 역할을 하고 있다.

과학 교수 학습에서의 과학 교과교육학 지식의 구성 요소들에 대해서 Grossman(1990)과 Tamir(1988)

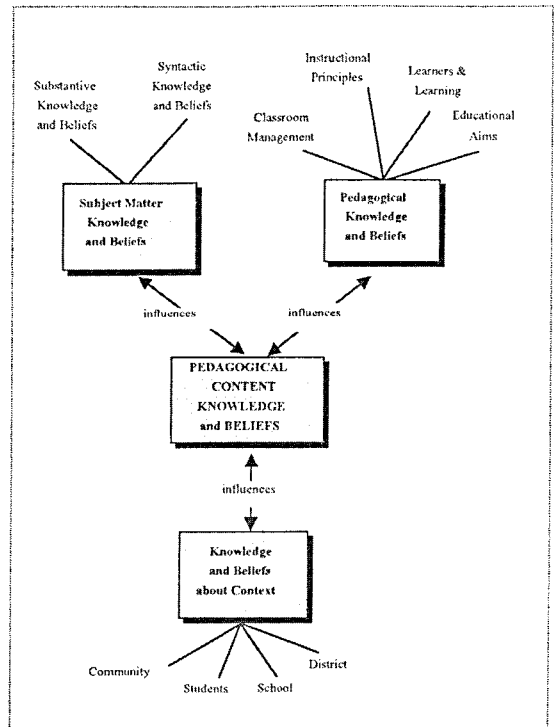


Fig. 1. A model of the relationships among the domains of teacher knowledge.

의 연구에 근거를 두고 Magnusson, Krajcik과 Borko (1999)는 과학 교수 학습에서 과학 교과교육학 지식이 다음과 같이 5가지 요소로 구성되어 있다고 개념화했다. 즉 과학 교수에 대한 지향, 과학 교육과정에 대한 지식과 신념, 특수한 과학 주제에 대한 학생들의 이해에 관한 지식과 신념, 과학에서 평가에 관한 지식과 신념, 과학 교수를 위한 수업전략에 관한 지식과 신념으로서 그림 2에 나타나 있다.

그림 2는 과학 교과교육학 지식에 대한 2개의 중요한 아이디어를 제시해 준다.

첫째, 그림에 나타난 각각의 요소들은 과학 교수에 사용되어지는 여러 가지의 서로 다른 과목 한정적인 과학 교과교육학 지식이 존재한다는 것을 암시해 준다. 각각의 요소들에서 교사들은 주제에 따라서 특별한 과학 교과교육학 지식을 가져야한다. 효율적인 교사는 과학 교과교육학 지식의 모든 분야에 관하여 지식을 개발할 필요성이 있고 특히 그들이 가르치고 있는 분야에 대한 주제에 대해서는 더욱 그렇다.

둘째, 과학 교과교육학 지식을 하나의 구인으로 보기 때문에 이를 구성하는 여러 요소들은 과학 교과

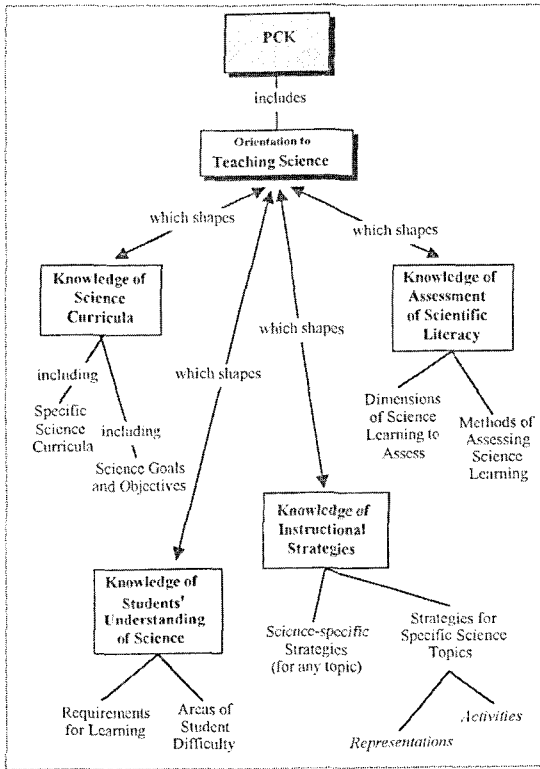


Fig. 2. Components of pedagogical content knowledge for science teaching.

교육학 지식을 위한 하나 하나의 부분으로서의 역할과 기능을 한다. 따라서 각 요소들 간의 일관성이나 지식의 양에 차이가 나면 과학 교과교육학 지식을 사용하고 발달시키는데 문제가 생긴다.

그림 2의 각각의 구성요소를 잘 나타내 주는 예와 개념적인 기술을 하면 다음과 같다.

① 과학 교수에 대한 지향

과학 교과교육학 지식의 구성 요소로서 과학 교수에 대한 지향은 어떤 한 학년에서 과학 교수를 위한 목적과 목표에 대한 교사가 가지고 있는 자기만의 고유하고 독특한 지식과 신념을 말한다. 과학교육 연구에서 이 요소는 과학 교수 학습에 대한 지향으로 제시하여(Anderson & Smith, 1987) 과학 학습까지 범위를 확대하기도 했으나 여기서는 Grossman(1990)의 연구와 같이 교수로 한정하는 것이 복잡성을 간단하게 하여 이해하는 것이 더 좋다고 생각한다. 지향이라는 것은 과학 교수를 보는 일반적인 관점이나 개념화를 말한다. 이 요소의 중요성은 이와 관련된

지식과 신념이 학생들의 학습 평가, 교과서나 교수 자료 사용, 숙제의 내용과 같은 일상적인 것들에 대해 교사가 교수 결정을 하는데 개념적인 지도 (conceptual map)를 제공해 주기 때문이다(Borko & Putnam, 1996).

② 과학 교육과정에 대한 지식

과학 교과교육학 지식의 구성 요소로서 과학 교육 과정에 대한 지식은 두 가지 범주로 구성되어 있다. 교육 목적과 목표에 대한 지식과 특수한 교육과정 프로그램이나 교육 기자재에 대한 지식이다.

교육 목적과 목표에 대한 지식은 교사들이 가르치는 과목에 대한 목적과 목표에 대한 지식뿐만 아니라 이들의 선후 학년에 대한 지식의 관련성을 포함한다. 이에 관련된 예는 국가 혹은 지방 차원의 과학 교육과정과 교수에 대한 문서들이 있다. 이런 것들은 위임된 교육 목적과 목표를 구현하기 위해서 어떤 과학 개념과 프로그램이 적절한지를 알게 해 주는데 도움을 준다. 효율적인 과학 교사들은 과학 교육과정에 대한 기본적인 지식과 신념이 있어야 한다.

특수한 교육과정 프로그램에 관한 지식은 과학에서 특별한 영역이나 주제와 관련하여 어떤 프로그램이나 교육 기자재가 요구되는지에 관한 지식이다. 이런 것들은 지난 30-40년 동안 여러 학교 수준에서 개발되어 왔다. 결과적으로 각각의 학교 수준과 과목에서 전형적인 여러 개의 프로그램이 개발되었는데 교사는 이런 것들에 관한 기본적인 지식과 신념을 갖고 있어야 한다. 예를 들면 화학 교사는 1960년대에 개발된 CHEM Study나 CBA(Chemical Bond Approach)와 1970년대에 개발된 IAC(Interdisciplinary Approach to Chemistry), 1980년대에 개발된 CHEMCOM (Chemistry in Community)같은 프로그램을 알아야 한다. 이와 유사하게 초등학교 교사는 1960년대에 개발된 ESS(Elementary Science Study), SCIS(Science Curriculum Improvement Study), SAPA(Asience A Process Approach)와 1980년대에 개발된 GEMS (Great Explorations in Math and Science)등에 대해서 알아야 한다. 이와 같은 프로그램들에 대한 교사의 지식은 그 교육과정에 대한 일반적인 학습 목적뿐만 아니라 그 목적에 부합되는 활동과 교수 기자재 등에 대한 지식을 포함한다. 여러 연구들은 국가 차원에서 계획되고 실행된 이런 교육과정에 대해서 많은 교사들이 그들의 교수와 관련하여 잘 모르고

있다고 지적한다.

③ 학생들의 과학의 이해에 대한 지식

과학 교과교육학 지식의 구성 요소로서 학생들의 과학의 이해에 대한 지식은 학생들의 특수한 과학적 지식의 발달을 돕기 위해서 교사가 학생들에 대하여 가져야 할 지식이다. 두 가지 범주로 구성되어 있다. 특수한 과학 개념 학습에 요구되는 지식과 학생들이 어려움을 느끼는 분야에 관한 지식이다.

특수한 과학 개념 학습에 요구되는 지식은 특수한 과학적 지식의 학습에 요구되는 필수적인 지식에 대한 교사의 지식과 신념으로 구성되었을 뿐만 아니라 특수한 주제 내에서 학습에 대한 학생들의 접근방법에 대한 이해를 포함한다. 온도에 대한 것을 가르치려고 할 때, 온도계 읽는 법, 온도 데이터의 수집 및 해석에 필요한 기능과 지식을 어떻게 발달시킬 것인가에 대한 지식을 반드시 알아야 한다. 또한 교사는 학생들의 발달 수준이나 능력 수준, 학습 양태가 다르기 때문에 특별한 과학적 이해를 발달시키는데 이들이 각각 어떻게 다르게 접근해야 하는지도 알아야 한다. 화학 분야에서 분자 수준의 현상을 학생들에게 이해하게 하는데 도움을 주는 교사의 교과교육학 지식의 한 예를 들면, 여러 가지의 다양한 예와 표상이 제시 될 수 있지만 어떤 특별한 표상과 예가 그 다른 어떤 것들보다도 학생들이 쉽게 이해 할 수 있다는 것을 알아야 한다. 어떤 아이들은 이런 것이 또 다른 아이들은 저런 것이 훨씬 효과적이라는 것을 알아야 한다. 효율적인 교사는 학생들의 서로 다른 다양한 요구를 알고 각각에 적절하게 응할 수 있다.

학생들이 어려움을 느끼는 분야에 관한 지식은 학생들이 학습하기 어렵다고 느끼는 과학적 개념이나 주제에 관한 교사의 지식을 말한다. 학생들이 과학을 학습하는데 어려움을 느끼는 원인은 여러 가지가 있고 교사는 각각의 어려움의 전형(type)을 알아야 한다. 어떤 과학적 주제는 개념이 매우 추상적이거나 혹은 학생들의 보통의 경험과는 잘 연관이 되지 않기 때문에 어렵게 느낀다. 교사는 어떤 주제와 개념들이 이 부류에 속하는지를 알아야 한다. 또 다른 학습 곤란의 원인은 수업이 문제 해결에 핵심을 두었을 때, 그 문제를 해결하기 위한 효율적인 전략과 방법을 잘 모르기 때문에 어려움을 느낀다. 세 번째로 학생들이 학습 곤란을 느끼는 원인은 학습하려고 하는 과학적 주제나 개념이 학생들이 가지고 있는 기

존의 선행지식과 대치가 될 때이다. 흔히 이런 것들이 오개념(misconceptions: 구성주의적 학습관에서 보면 적절치 못한 용어로서 preconceptions, naive beliefs, naive conceptions, alternative conceptions, spontaneous reasoning, intuitive conceptions, children's ideas, prescientific conceptions, prior knowledges, existing conceptions, personal constructs 등의 어느 하나가 적절함)이라고 알려진 것들이다. 학생들이 가지고 있는 전형적인 이런 오개념은 쉽게 치유되지 않는다는 것이 일반적인 오개념에 대한 많은 연구 결과의 공통점이다(Driver & Easley, 1978; Confrey, 1990; Wandersee *et al.*, 1994). 따라서 교사는 과학의 많은 부분에 있어서 학생들이 흔히 가지고 있는 오개념에 대한 지식과 그것을 치유하고 극복할 수 있는 방법을 알아야 한다.

④ 과학에서 평가에 관한 지식

과학 교과교육학 지식의 구성 요소로서 과학 교육 평가에 관한 지식에 대하여 Tamir(1988)는 두 가지 범주를 제시하였다. 즉, 평가하는데 중요한 과학 학습의 차원에 관한 지식과 평가하는 방법에 관한 지식이다.

과학 학습의 차원에 관한 지식은 어떤 특별한 한 단원 내에서 평가하는데 중요한 학생들의 학습에 대한 교사의 지식을 의미한다. 만약 학교 과학교육의 중요한 목적이 과학적 소양인 양성을 목적으로 한다면 교사의 지식은 과학적 소양에 기초를 둔 차원이어야 한다. 한 예로서 NAEP(National Assessment of Educational Progress)의 1990년 평가에서는 학생들의 과학적 소양을 위한 평가를 위한 중요한 차원이 개념적 이해, 간학문적 소재, 과학의 본성, 과학적 탐구가 과학 학습의 중요한 차원이었다.

평가하는 방법에 관한 지식은 어떤 특별한 한 단원을 평가하는데 중요한 방법에 대한 교사의 지식을 의미한다. 학생들의 과학 학습을 평가하는 방법에는 여러 가지가 있다. 예를 들어 학생들의 개념적 이해는 지필 평가로 하고 반면에 과학적 탐구에 대한 평가는 실제적인 실험 등으로 하는 것이 좋다. 수행평가와 포트폴리오 등도 또 다른 좋은 방법이다.

⑤ 과학 교수를 위한 수업전략에 관한 지식

과학 교과교육학 지식의 구성 요소로서 이 부분은 두 가지 범주로 구성되어 있다. 즉, 과목 한정적인

교수 전략(knowledge of subject-specific strategies)과 주제 한정적인 교수 전략(knowledge of topic-specific strategies)이다. 과목 한정적인 교수 전략이 적용 범위가 더 넓다. 예를 들면 국어나 사회 과목과 같은 다른 과목과 확연히 구별되는 것으로서 과학을 가르치는데 특수하고 독특한 것을 말한다. 주제 한정적인 교수 전략은 과학 영역 내에서 특별한 주제 예를 들면 전기와 자기, 날씨의 변화, 물질의 상태는 각각의 주제에 대하여 서로 다른 독특한 주제 한정적인 교수 전략이 가르치는데 적용되는 것이다.

과목 한정적인 교수 전략은 과학 수업에서의 전반적이고 일반적인 접근을 말한다. 이에 대한 교사의 지식은 교과교육학 지식의 과학 교수에 대한 지향과 관련되어 있다. 많은 과목 한정적인 교수 전략이 과학 교육에서 개발되었고, 대부분 3개 혹은 4 단계의 교수 계열을 가지고 있다. 과목 한정적인 교수 전략으로 잘 알려진 것으로서 학습 순환(learning cycle: 순환 학습이라고 번역하기도 하나 교수 전략과 관계된 것으로서 학습 순환으로 지칭하는 것이 타당하다고 판단됨. 권성기, 임청환 역(2000))을 들 수 있으며 탐색, 용어 도입, 개념 적용(Karplus & Thier, 1967; Lawson *et al.*, 1989)의 3단계로 되어 있다. 이것은 발견 수업과 탐구 지향적인 수업을 위해서 사용되어 왔을 뿐만 아니라 개념 변화 지향적인 수업에도 사용되어 왔다. 좀더 최근에 개발된 전략들(예를 들면 발생학습 모델, 개념변화 전략, 안내된 탐구)은 개념 변화를 지지하기 위해서 고안된 단계들이 추가되었는데, 예를 들면 학생들의 선 개념 이끌어내기, 인지 갈등을 일으키기 등이 추가된 전략들이다.

주제 한정적인 교수 전략은 학생들이 특별한 과학 개념을 이해하는데 도움을 주는 교사의 특별한 전략에 관한 지식이다. 여기에는 두 가지 범주: 표상(representation)과 활동(activity)이 있다. 비록 두 가지가 상호 배타적이지는 않지만(예를 들면, 어떤 특별한 활동이 어떤 개념이나 관련성의 특별한 표상을 포함 할 수도 있다), 두 개로 이들을 구분하는 것이 개념적으로 유용하다.

주제 한정적인 표상은 학생들의 학습을 조장하기 위하여 특별한 개념이나 원리를 표상하기 위한 것과, 특별한 표상의 장점과 단점에 관한 교사의 지식을 말한다. 또한 학생들이 특별한 개념이나 관련성을 이해하게 하기 위해서 도움을 주는 교사의 특별한 표상 개발 능력도 포함된다. 표상에는 예시, 예, 모형,

유추 등이 있다. 예를 들면 전기에서 전기 회로를 나타내는 여러 가지 유추: water flowing, bicycle chain or train, teeming crowds 등이 있는데 각각의 장단점이 있다. 효율적인 교사는 언제 어떤 상황에서 어떤 것이 좋은지를 판단할 수 있어야 한다.

주제 한정적인 활동은 학생들이 특별한 개념이나 관련성을 이해하는데 도움을 주는데 사용하는 활동에 관한 지식이다. 예를 들면 문제, 시범실험, 시뮬레이션, 탐구, 혹은 실험들이 이에 속한다. 이런 형태의 교과교육학 지식은 또한 특별한 활동에 대한 교사의 개념적 지식을 포함하고 있다. 예를 들면 열과 온도에 대한 것을 학생들에게 가르치기 위해서 어떤 활동을 어떻게 고안할 것인가를 다루어 볼 때, 모두 그렇지는 않지만 대체로 경험 많은 교사가 초임 교사보다 훨씬 더 잘한다. Smith와 Neale(1991)은 초등 교사들의 빛에 관한 활동에 대한 연구에서 교사의 교과 내용 지식이 강한 교사가 그렇지 못한 교사보다 빛에 관련된 주제 한정적인 활동을 잘 이해한다는 것을 알았다. 그 외의 여러 연구들(Hashweh, 1987; Sanders *et al.*, 1993)도 Smith와 Neale(1991)의 연구 결과와 유사하다. 이런 여러 연구들은 과학 교과교육학 지식의 발달이 교과 내용 지식과 깊이 관련되어 있음을 암시해 준다. 그런데 Hollon, Roth와 Anderson(1991)은 교과 내용 지식이 월등히 나는데도 불구하고 몇몇 교사들은 학생들의 과학적 지식을 이해하는데 도움을 주는 효과적인 표상과 활동을 잘 사용하지 못했다는 연구도 있다.

위와 같은 여러 연구자들의 입장을 분석·종합하여 과학 교과교육학 지식의 구성 요소를 개념 규정하면, Grossman(1990)과 Tamir(1988)의 연구를 발전시킨 Magnusson *et al.*(1999)의 연구 결과대로 5가지로 개념 규정을 하는 것이 타당하리라 판단된다. 즉 과학 교수에 대한 지향, 과학 교육과정에 대한 지식과 신념, 특수한 과학 주제에 대한 학생들의 이해에 관한 지식과 신념, 과학에서 평가에 관한 지식과 신념, 과학 교수를 위한 수업전략에 관한 지식과 신념이다.

과학 교과교육학 지식의 가치와 교사의 과학 교과교육학 지식의 발달

(1) 과학 교과교육학 지식의 가치

과학 교과교육학 지식의 가치는 어디에서 어떻게 찾아야 하는가? 교사가 갖추어야 할 여러 가지 지식 기반 중에서 교수를 위한 하나의 독립된 구인으로서

과학 교과교육학 지식을 정의하는 것이 개념적으로나 실제적으로나 가치가 있다.

개념적으로 과학 교과교육학 지식은 두 가지 이유에서 그 가치를 찾을 수 있다. 첫째, 과학 교과교육학 지식은 서로 다른 여러 분야의 작은 분절된 지식들 조각을 단순히 끼어 맞춘 것보다도 더하고, 그것들의 각 부분의 합보다도 더한 지식의 질적인 전환으로부터 나온 지식의 개념화이기 때문이다. 둘째, 과학 교과교육학 지식은 어떤 특별한 과목을 계획하고, 교수하고, 반성하는 교수 실제 과정을 통하여 구성되어진 것이기 때문에 독특한 교사의 지식이고 그 교사만이 가지고 있는 고유한 전문적인 이해의 한 형태이기 때문이다(Shulman, 1987). 이와 같이 과학 교과교육학 지식은 경쟁력 있고 전문적인 과학 교사가 되는 것이 무엇인지를 정의하는 가장 중요한 평가 도구로서의 역할을 하기 때문에 개념적으로서 가치를 찾을 수 있다.

하나의 독립된 구인으로서 과학 교과교육학 지식의 실제적인 면에서의 가치는 예비 교사 교육과 현직 교사 교육의 설계와 핵심을 안내하는 과학 교육에서의 전문가의 중요한 역할을 정의하는 잠재력과 관련이 있다. 많은 과학 교사와 과학 교사교육자들은 예를 들면, 힘, 광합성, 열 에너지 등에 대해서 가장 좋은 유추가 무엇이고, 가장 좋은 시범 실험이 무엇인지, 가장 좋은 실험 활동이 무엇인지를 잘 알고, 이 같은 아이디어를 학생들이 이해하는데 어떻게 도움을 주는지에 대한 많은 지식을 가지고 있다. 과학 교과교육학 지식으로서 위와 같은 것들을 찾아내는 것이 일반 교육학 지식이나 교과 내용 지식과 확실히 구분되는 과학 교과교육학 지식의 가장 중요한 특징이다. 이것이 과학 교과교육학 지식의 교수 실제에서의 실제적인 가치를 말해준다. 더구나 과학 교과교육학 지식의 구성 요소들에 대한 개념화는 효율적인 교사가 되는데 필요한 특별한 지식을 구성하는데 개념적인 평가 틀로서 중요한 역할을 한다. 안타깝게도 과학 내용 전문가나 일반 교육 전문가는 과학 교과교육학 지식이 그들의 전문적인 내용 영역과 확연히 다르기 때문에 연구하고 토의할 가치가 있다는 것을 잘 알지 못한다. 일반 교육 전문가는 내용에 상관없이 학습하는 것이 중요하다고 주장한다. 과학 내용 전문가들은 특별한 제제의 내용이 정확하고 완벽하게 제시되는 정도에 핵심을 두어야 한다고 주장한다. 이런 주장들이 자질 있고 유능한 효율적인 교사 양성

과 교수를 위해서 정말 옳은 주장들인가? 특히 과학 내용 전문가들은 전형적으로 특별한 주제를 교수할 때 그것이 얼마나 정확하고 완전하게 제시되는가에만 관심이 있다. 이런 방법이 또 다른 주제들에 대한 이해를 하는데 얼마나 도움이 되는가? Bellamy (1990)는 내용 분야에 상당한 지식이 있는 교사들이 유전에 관해서 학생들을 이해시키는데 효과적이지 못함을 지적한다. 이런 예가 교사의 과학 교과교육학 지식이 과학 내용 전문가의 내용 지식이나 일반 교육 전문가의 전문적인 일반 교육 지식과는 확연히 구분되는 것의 증거를 제시해 주는 것이다. Cochran (1992)는 과학자와 과학 교사가 지식을 조직하고 교수하는데 어떻게 차이를 나는가를 다음과 같이 지적하였다: 교사의 과학에 관한 지식은 기본적으로 교수적 관점에서 조직되어 학생들이 특별한 과학 개념을 학습할 때 도움을 주는 기초로서 사용된다. 반면, 과학자의 과학에 관한 지식은 기본적으로 연구적 관점에서 조직되어 그의 연구 분야에서 새로운 지식을 개발하는 기초로서 사용된다. 과학자는 학습자의 교수와는 상관없이 지식을 조직하고 사용하는 것이 과학 교사와 크게 다른 것이다. 따라서 과학 교과교육학 지식이 자질 있는 과학 교사의 핵심적인 구인임을 확증할 수 있는 것을 보장하기 위해서 교사가 갖추어야 할 전문적인 지식 기반 중에 하나의 고유한 영역으로 설정한 것은 매우 가치 있는 것이다.

(2) 교사의 과학 교과교육학 지식의 발달

과학 교과교육학 지식의 발달에 관한 여러 지식 영역들 사이의 상호 작용에 대해서는 생각해볼 만한 것이 많다(Magnusson *et al.*, 1999). 앞에 제시한 그림 1이 하나의 가능한 모델이 될 수 있다. 그림에서 중요한 여러 지식 영역에서 나온 선은 교과교육학 지식의 발달에 영향을 주는 각각의 지식 기반을 나타낸다. 이 모델이 각 지식 영역의 일반적인 영향을 나타내는데는 유용하지만 각각의 영역에서의 지식의 양의 차이 때문에 지식의 각 영역이 교과교육학 지식의 발달에 각각 다르게 영향을 줄 수도 있을 가능성이 있다. 예를 들어 교사 A는 그림 3의 A와 같은 상황의 과학 교과교육학 지식을 갖고 있고, 교사 B는 그림 3의 B와 같은 상황의 과학 교과교육학 지식을 갖고 있다고 가정해 보자. 그림에서 화살표의 두께는 영향을 주는 상대적인 정도를 나타내며 굵을수록 더 많은 영향을 준다고 하자. 교사 A는 기본적인

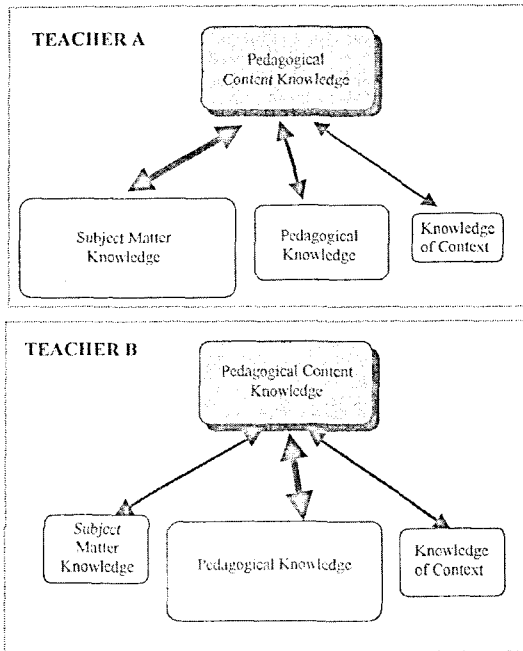


Fig. 3. A model illustrating differential influences of the development of PCK for two hypothetical teachers.

로 과학 교과교육학 지식의 발달이 교과내용 지식에 근거를 두고 있고, 교사 B는 일반 교육학적 지식에 근거를 두고 있다. 이런 차이는 만약 두 교사가 똑같은 과학 제재를 똑같은 교육 상황에서 교수할 때 그들은 서로 다른 과학 교과교육학 지식이 발달할 수도 있고, 각각 교사가 가지고 있는 지식에는 중요한 공통된 것이 있을 가능성이 있다고 예상할 수 있다. 이렇게 특별한 제재에 대한 과학 교과교육학 지식의 발달은 여러 다양한 길과 방법이 있다.

교사 교육의 가장 중요한 목표 중의 하나로서 Shulman(1986, 1987)은 교수 설계를 하는데 예비 교사들이 지식 기반을 통합하는데 도움을 주는 것이라고 지적한다. 그러나 이런 지식은 하나의 정확히 규정된 규칙이나 정보로서 의사 소통되는 것은 아니고, 교사들 스스로가 지식에 대한 이해를 구성해야만 한다. Shulman과 그의 동료들(Grossman, 1990; Shulman, 1986, 1987; Wilson et al., 1987)은 다양한 지식 기반을 기술했다: 내용에 관한 지식, 내용의 표상에 관한 지식, 교육학에 관한 지식, 학습자와 교육 과정에 관한 지식이다. 이 중에서도 효율적인 과학 교수를 위해서 내용에 관한 지식의 중요성을 지적했

지만 내용에 관한 지식 그 자체만으로는 충분하지 않다. 신임 교사는 그들의 교과교육학 지식(다양한 개념들을 가르치기 위한 가장 효율적인 방법에 관한 지식과 내용, 교육 과정과 학습자, 교수 학습에 관한 지식 등)을 반드시 발달시켜야 한다. 또한 학습자의 다양한 능력과 관심에 부응하기 위한 표상(예, 설명, 은유, 탐구 등)에 관한 지식도 발달시켜야 한다. 이와 같이 내용에 관한 지식을 교과교육학적으로 유용한 질적인 전환의 형태로 변환시키는 능력이 성공적인 과학 교수의 핵심이 된다. Krajcik et al.(1991)은 과학교육에서 과학 교과교육학 지식은 서서히 발달한다고 지적한다.

Clermont et al.(1994)은 경험 있는 교사와 초심자의 과학 교과교육학 비교 연구에서 경험 있는 교사가 초심자 보다 화학의 기본적인 개념들을 교수하는데 훨씬 더 많은 표상을 가지고 있다고 하였다. 그들은 또한 초심자들에서의 과학 교과교육학 지식의 발달은 일반적으로 느리고, 교사의 동기와 창의성, 교수 기능에 달려 있다고 하였다.

교과 내용지식과 효율적인 과학 교수와는 높은 상관 관계가 존재한다. McDiarmid et al.(1989)은 자질 있고 효율적인 교사가 되기 위해서 학습자들에게 유의미한 적절한 내용의 표상을 선택하고 창출해 내기 위해서는 교과 내용에 대한 사려 깊고 융통성 있는 개념적 이해를 해야만 한다고 제안한다. 그러나 대부분의 예비 교사들이 과학 내용 분야에서 결정적이고 중요한 적절한 지식을 가지고 있지 못하다고 지적한다(Ball & McDiarmid, 1990; Grossman, Wilson & Shulman, 1989; McDiarmid et al., 1989; Wilson & Wineburg(1989). 특히 어떤 주제에 대하여 그에 대한 관련성의 이해가 부족하다. 이런 것들이 교과교육학 지식의 발달에 상당한 저해가 된다.

과학 교과교육학 지식의 발달과 관련하여 Cochran et al.(1991)는 과학 교사의 전문성 준비가 분리되어 있고 체계가 서 있지 않다고 지적했다. Hewson과 Hewson(1988)은 이런 분리가 과학 교과 내용과는 상관 없이 일반 교육학을 학습할 때 특히 잘 일어난다고 강조한다. 이런 것들이 과학 교과교육학 발달에 상당한 저해 요인이 될 것임은 틀림없다. 이로 인해서 과학교육개혁에 관한 여러 문서들이 과학 교사들이 갖추어야 할 지식 기반의 발달을 강조함으로써 과학 교사 교육의 내용적인 측면과 교육학적인 측면의 불균형에 대한 가교 역할을 시작하였다(Doster et

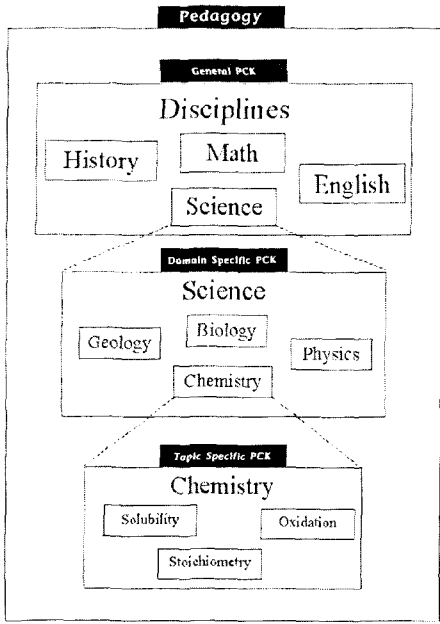


Fig. 4. Types of pedagogical content knowledge.

al., 1994). 따라서 과학 교과교육학 지식은 전통적으로 분리되어 왔던 지식 기반들을 연결해 주는 것으로 과학 교사 교육을 위한 지식 기반의 하나로 제시되어 왔다.

Veal(1997)은 교과교육학 지식은 세 가지의 유형이 있다고 하였다. 즉, 일반적인 교과교육학 지식(general pedagogical content knowledge), 영역 한정적인 교과교육학 지식(domain-specific pedagogical content knowledge) 그리고 주제 한정적인 교과교육학 지식(topic-specific pedagogical content knowledge)이다.

이 세 가지는 목적과 적용 면에서 뚜렷이 구분된다. 예를 들면 일반적인 과학을 효과적으로 가르치기 위해서는 일반적인 교과교육학 지식, 화학을 효과적으로 가르치기 위해서는 영역 한정적인 교과교육학 지식, 화학의 몰(mole) 개념을 효과적으로 가르치기 위해서는 주제 한정적인 교과교육학 지식이 필요하다는 것이다. 즉 가르치려고 하는 목적이 무엇이나에 따라서 요구되는 교과교육학 지식의 유형이 달라지며 그에 따른 적용도 달라진다. 그러나 이 중에서도 경험 있고 능력 있는 교사는 일반적인 교과교육학 지식 대한 건전한 이해를 하고 있는 사람이라고 지적한다(Magnusson et al., 1997; Veal, 1997). 이를 보

면 교과교육학 지식의 기본적인 기반은 일반적인 교과교육학 지식이 되며 이를 바탕으로 영역 한정적인 교과교육학 지식과 주제 한정적인 교과교육학 지식이 발달한다고 볼 수 있다. 일반적인 교과교육학 지식은 일반적인 교육학 지식이나 교수 방법보다는 좀 더 특수한 성격을 갖고 있다. 왜냐하면 예를 들면 과학이나 수학, 역사 등과 같이 각각의 과목의 내용 분야에 따라서 각각의 개념과 교수 전략과 방법 등이 달라지기 때문이다. 그러나 어떤 특수한 교과목과는 무관한 여러 가지의 일반적인 교수 방법과 기능, 교수 전략 등도 일반적인 교과교육학 지식의 발달에 영향을 주는 기초가 될 수는 있다.

Veal(1997)은 화학과 물리 교사의 과학 교과교육학 지식의 발달에 관한 연구에서 다음과 같은 결과를 제시했다. 첫째, 교사에게는 여러 형태의 교과교육학 지식이 발달한다. 둘째, 영역 한정적인 교과교육학 지식이 발달하기 전에 주제 한정적인 교과교육학 지식이 먼저 발달한다. 셋째, 교사의 과학 교수 학습에 대한 깊은 이해가 영역 한정적인 교과교육학 지식의 심도 있는 발달을 조장해 준다. 넷째, 실제 교실 수업의 경험이 과학 교과교육학 지식의 발달을 조장한다. 다섯째, 과학 교과교육학 지식의 발달은 복잡하게 일어나며 선형적이지 않다. 특히 학습자에 관한 지식이 선행된 내용 지식이 과학 교과교육학 지식의 발달에 가장 큰 영향을 준다.

Bell 등(1998)은 중등 물리 교사들의 연구에 기초를 두고 과학 교과교육학 지식의 위계를 제안했다. 즉, 가장 넓은 의미의 과학 교과교육학 지식(science PCK), 영역 한정적인 과학 교과교육학 지식(specific discipline PCK: 예를 들면 물리 영역), 주제 한정적인 과학 교과교육학 지식(specific topic PCK: 예를 들면 전기회로)으로 구분했다. 그들은 영역 한정적인 과학 교과교육학 지식은 주제 한정적인 과학 교과교육학 지식의 지속적인 경험으로부터 나온다고 보았다.

Van Driel과 Onno De Jong(1999)은 예비 교사의 과학 교과교육학 지식의 발달에서 과학 교육 분야에서 예비 교사와 현직 교사의 과학 교과교육학 지식의 발달에 관한 여러 연구들을 종합하여 과학 교과교육학 지식의 발달에 영향을 주는 요인을 다음과 같이 제시하였다.

첫째, 교과 내용에 대한 지식: 과학 교과교육학 지식은 내용에 대한 개념적 지식이 충분히 형성되지 전까지는 발달하지 않는다(Smith & Neale, 1989).

Gess-Newsome과 Lederman(1993)이 지적한대로 교사 교육의 초기에는 예비 교사의 과학 교과내용 지식은 분절적이고 모호한 상태이다. 그러나 교사 교육 프로그램이 진행되면서 예비 교사들은 그들 나름대로의 독특하고 통합된 교과 내용 구조를 발달시킨다. 그러나 교수 실제의 많은 복잡성 때문에 과학 교과교육학 지식의 발달이 저해 받을 수도 있다.

둘째, 특수한 주제에 관한 교수 경험: Lederman 등(1994)에 의하면 예비 교사들의 과학 교과교육학 지식의 발달은 실제적인 교수 상황에서 교과 내용의 지속적인 사용에 의하여 증진된다고 하였다. 초기에는 예비 교사들은 교과 내용과 일반적인 교수 방법 지식이 분리된 상태로 있다. 따라서 실제적인 교수 경험이 과학 교과교육학 지식의 발달을 도모해 준다. 즉, 과학 교과교육학 지식의 발달은 실제적인 교수 경험에 의해서 발달한다. 이것은 과학자와 과학 교사의 다른 점을 대변해 주는 특성이기도 하다.

셋째, 학습자의 개념화와 학습 곤란에 관한 지식: 예비 교사들은 특수한 과학 주제에 관하여 학생들이 이미 나름대로 가지고 있는 선개념과 교사들이 가지고 있는 개념과 비교하고 토론하여 많은 정보를 얻을 수 있다(Geddis, 1993). 이런 활동이 예비 교사들의 교과 내용 지식과 교수 전략을 질적으로 전환시키는데 도움을 준다. Van Driel *et al.*(1998)도 학생들이 가지고 있는 개념(conception: concept와는 다른 의미로 science education community에서 공공적으로 인정하는 개념과는 다른 개인적인 개념화 단계를 말함)과 사고 유형을 분석하는 것으로부터 과학 교사들의 과학 교과교육학 지식의 발달이 될 수 있다고 했다.

넷째, 특수한 회합에 참여: Clermont 등(1994)은 단 기간의 심도 있는 특수한 워크샵 참가한 예비 과학 교사들이 전문가 교사와 같은 과학 교과교육학 지식을 가지고 있다는 것을 알아냈다. 따라서 과학에서 의미 있게 구성된 특수한 분야의 회합과 워크샵 등이 교사들의 과학 교과교육학 지식의 발달에 도움을 줄 수 있다고 볼 수 있다.

결국 과학 교과교육학 지식은 교과 내용에 대한 개념적 지식이 충분히 형성되어야 하며, 이 내용 지식을 실제적인 교수 경험을 통하여 반복적으로 사용함으로써 발달한다. 또한 학습자의 개념화와 학습 곤란에 관한 지식을 통해서도 교사의 과학 교과교육학 지식의 발달을 알 수 있고, 의미 있게 구성된 특수한 분야의 회합과 워크샵 등도 과학 교과교육학 지식의

발달에 영향을 준다.

위와 같은 연구들은 과학 교과교육학 지식이 가르쳐야 할 개념들에 대해서 대단히 특수한 것으로 교과 내용 지식 자체보다도 중요하며, 많은 교수 경험을 통하여 발달하게 된다는 것이다. 이것이 교수 과정에서 독특한 것은 교수 목적을 위해서 교과 내용 지식을 교사가 질적인 전환을 한다는 것이다. 이런 질적인 전환은 교사가 교과 내용을 비판적으로 숙고하고 해석할 때 일어난다.

특별한 과학 제재에 대한 과학 교과교육학 지식의 발달은 여러 다양한 길과 방법이 있으며, 과학 교과교육학 지식의 발달은 지식이 서서히 발달한다. 특히 초심자들에서의 과학 교과교육학 지식의 발달은 일반적으로 느리고, 교사의 동기와 창의성, 교수 기능에 달려 있으며, 어떤 주제에 대하여 그에 대한 관련성의 이해가 부족할 때 과학 교과교육학 지식의 발달에 상당한 저해가 된다. 과학 교과교육학 지식의 기본적인 기반은 일반적인 교과교육학 지식이 되며 이를 바탕으로 영역 한정적인 교과교육학 지식과 주제 한정적인 교과교육학 지식이 발달한다. 영역 한정적인 교과교육학 지식은 주제 한정적인 교과교육학 지식의 지속적인 경험으로부터 나온다. 교사의 과학 교수 학습에 대한 깊은 이해가 영역 한정적인 교과교육학 지식의 심도 있는 발달을 조장해 주고, 실제 교실 수업의 경험이 과학 교과교육학 지식의 발달을 조장하며, 특히 학습자에 관한 지식이 선행된 내용 지식이 과학 교과교육학 지식의 발달에 가장 큰 영향을 준다. 과학 교과교육학 지식은 내용에 대한 개념적 지식이 충분히 형성되지 전까지는 발달하지 않는다. 특수한 주제에 관한 실제적인 교수 경험과 학습자에 대한 지식이 과학 교과교육학 지식의 발달을 조장한다. 이런 이유로 과학 교과교육학 지식은 교사가 가르쳐야 할 개념들에 대해서 대단히 특수한 것으로 교과 내용 지식 자체보다도 중요하며, 많은 교수 경험을 통하여 발달하게 된다.

결론 및 제언

결론

연구 문제에서 설정한 2가지의 연구 결과를 근거로 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

과학 교과교육학 지식의 본질은 교사 개인이 특정한 과학 수업 상황 속에서 과학 교과를 가르치는데

사용하는 과학의 내용 지식과 과학 교수 방법 지식의 합성체로서 교사 자신이 가지고 있는 교수를 위한 독특한 지식체이다. 과학 교수에서 과학 교과교육학 지식의 역할은 과학 교사 전문성의 요체가 되고 자질 있는 과학 교사가 갖추어야 할 가장 핵심적이고 필수적인 역할을 한다.

과학 교과교육학 지식의 발달은 여러 다양한 방법이 있으며, 점진적이고 서서히 발달한다. 교사의 동기와 창의성, 교수 능력에 따라 발달 수준이 다르고, 특히 교사의 교과 내용 지식의 이해가 부족할 때 과학 교과교육학 지식의 발달에 상당한 저해가 된다. 과학 교과교육학 지식의 기본적인 기반은 일반적인 교과교육학 지식이 되며 이를 바탕으로 영역 한정적인 교과교육학 지식과 주제 한정적인 교과교육학 지식이 발달한다. 실제 교실 수업의 경험이 과학 교과교육학 지식의 발달을 조장하며, 특히 학습자에 관한 지식이 선행된 내용 지식이 과학 교과교육학 지식의 발달에 가장 큰 영향을 준다.

제언

위와 같은 결론에 더하여 다음과 같은 제언을 하자 한다.

첫째, 예비 교사를 위한 교사 교육과정에서 과학 교과교육학 지식의 계발과 증진을 위한 효율적인 프로그램이 요구된다. 프로그램 운영을 위한 가장 중요한 핵심으로서 현장 경력이 풍부한 교사 교육자를 예비 교사를 위한 교사 교육 과정의 교수 요원으로 활용하는 것이 바람직하다.

둘째, 현직 교사의 과학 교과교육학 지식의 발달과 증진을 위해서 특별히 고안된 워크숍이나 세미나를 교사 교육기관에서 정례적으로 운영하는 것이 바람직하다.

셋째, 과학 교과교육학 지식의 발달이 구체적으로 어떻게 발달되느냐에 대한 경험적이고 실증적인 연구가 필요하며 이를 교사 교육과정에 적용해 보는 것이 바람직하다.

사 사

본 연구는 2001년도 학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2001-030-D00033).

참고문헌

- 권성기, 임청환 역, 2000, 구성주의적 과학 학습 심리학. 시그마프레스. 23-46.
- 임청환, 1999, 과학 교사의 자질에 관한 문헌 연구. 과학 수학 교육 연구, 대구교육대학교 과학교육연구소, 22권. 51-82.
- American Association for the Advancement of Science, 1993, Benchmarks for Science Literacy, New York: Oxford University Press.
- Anderson, R. D., & Smith, E. L., 1987, Teaching science, in V. Richardson-Koehler (ed), Educators' handbook-a research perspective.
- Ashton, P., 1990, Editorial, Journal of Teacher Education, 41(3), 2.
- Ball, D. L., 1988, Knowledge and reasoning in mathematical pedagogy: Examining what prospective teachers bring to teacher education. Unpublished doctoral dissertation, Michigan State University, East Lansing.
- Ball, D., & McDiarmid, G., 1990, The subject matter preparation of teachers. In W. Houston, M. Haberman, & J. Sikula (Eds.), Handbook of research on teacher education, New York: MacMillan, 437-449.
- Bell, J., Veal, W. R., & Tippins, D. J., 1998, The evolution of pedagogical content knowledge in prospective secondary physics teachers. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Diego, CA.
- Bellamy, M. L., 1990, Teacher knowledge, instruction, and student understanding: the relationships evidenced in the teaching of high school Mendelian genetics, Unpublished Doctoral Dissertation, The University of Maryland, College Park, MD.
- Borko, H. & Putnam, R. T., 1996, Learning to teach, In D. C. Berliner & R. C. Calfee (Eds.). Handbook of educational psychology, New York, MacMillan.
- Buchmann, M., 1982, The flight away from content in teacher education and teaching. Journal of Curriculum Studies, 14, 1.
- Carlsen, W. S., 1987, Why do you ask? The effects of science teacher subject-matter knowledge on teacher questioning and classroom discourse. Paper presented at Annual Meeting of the American Educational Research Association. (ERIC Document Reproduction Service NO. ED 293 181).
- Clermont, C. P., Borko, H., & Krajcik, J. S., 1994, Comparative study of pedagogical content knowledge of experienced and novice chemical demonstrators, Journal of Research in Science Teaching, 31(4), 419-441.
- Cochran, K., 1992., Pedagogical content knowledge:

- Teacher's transformations of subject matter. Research matters to the science teacher (NARST Monograph), 5, 3-10.
- Cochran, K. F., deRuiter, J. A., & King, R. A., 1993, Pedagogical content knowing: an integrative model for teacher preparation. *Journal of Teacher Education*, 44, 263-272.
- Cochran, K. F., King, R. A., & DeRuiter, J. A., 1991, Pedagogical content knowledge: A tentative model for teacher preparation. Paper presented at annual meeting of the American Educational Research Association, Chicago, IL.
- Confrey, J., 1990, A review of the research on student conceptions in mathematics, science, and programming, in C. Cazden (ed.), *Review of research in education*, Vol. 16, Washington D. C., American Educational Research Association, 3-56.
- Dewey, J., 1969, The logical and psychological aspects of experience. In D. Vandenberg (Ed.), *University of Illinois Press*.
- Doster, E., Jackson, D., & Smith, D., 1994, Modeling pedagogical content knowledge in physical science for prospective middle school teachers: problem and possibilities. Paper presented at annual meeting of the Association of Education of Teachers in Science, Elpasco. TX.
- Driver, R., & Easley, J., 1978, Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students, *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Geddis, A. N., 1993, Transforming subject-matter knowledge: The role of pedagogical content knowledge in learning to reflect on teaching. *International Journal of Science Education*, 15, 673-683.
- Gess-Newsome, J., & Lederman, N. G., 1993, Preservice biology teachers' knowledge structures as a function of professional teacher education: A year-long assessment. *Science Education*, 77, 25-45.
- Gitomer, D. & Burton, B., 1996, Teacher certification and complex performance assessment. Paper presented at the Portfolio Assessment Applications in Teacher Education conference. Hsingchu, Taiwan, R. O. C.
- Grossman, P. L., 1988, A study in contrast: Sources of pedagogical content knowledge for secondary English. Unpublished doctoral dissertation, Stanford University, Stanford.
- 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., 1989, Teachers of substance: Subject matter knowledge for teaching. In M. C. Reynolds (Ed.), *Knowledge base for the beginning teacher*. Oxford: Pergamon Press, pp. 23-36.
- Gudmundsdottir, S., 1987a, Learning to teach social studies of Chris and Cathy. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association. Washington, D. C. (Eric Document Reproduction Service NO. ED 290 700).
- Gudmundsdottir, S., 1987b, Pedagogical content knowledge: teachers' way of knowing. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association. Washington, D.C. (Eric Document Reproduction Service NO. ED 290 701).
- Hashweh, M. Z., 1987, Effects of subject-matter knowledge in the teaching of biology and physics, *Teaching and Teacher Education*, 3(2), 109-120.
- Hewitt, P., 1993, *Conceptual physics*, New York, Harper-Collins College Publishers.
- Hewson, P. & Hewson, M., 1988, An appropriate conception of teaching science: w from studies of science learning. *Science Education*, 72(5), 597-614.
- Hollon, R. E., Roth, K. J., & Anderson, C. W., 1991, Science teachers' conceptions in teaching and learning, in Brophy (ed.), *Advances in research on teaching*, Vol. 2, Greenwich, CT, JAI Press, 145-185.
- Karplus, R. & Thier, H. D., 1967, A new look at elementary school science: Science Curriculum Improvement Study, Chicago, Rand McNally.
- Krajcik, J. S., Layman, J., Starr, M. L. & Magnusson, S., 1991, The development of middle school teachers' content knowledge and pedagogical content knowledge of heat energy and temperature. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Oakbrook, IL.
- Lawson, A. E., Abraham, M. R., & Renner, J. W., 1989, A theory of instruction; Using the learning cycle to teach science concepts and thinking skills(Monograph of the National Association for Research in Science Teaching, No. 1, Cincinnati, OH, NARST.
- Lederman, N. G., Gess-Newsome, J., & Latz, K. S., 1994, The nature and development of preservice science teachers' conceptions of subject matter and pedagogy. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 129-146.
- Lederman, N. G., & Latz, M. S., 1995, Knowledge Structure in the preservice science teacher: Sources, development, interactions and relationships to teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 6(1), 1-19.
- Leinhardt, G. & Greeno, J., 1986, The Cognitive Skill of Teaching, *Journal of Educational Psychology*, 78(2), 75-95.
- Magnuson, S., & Krajcik, J., 1993, Teacher knowledge and representation of content in instruction about heat energy and temperature. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta, GA.

- Magnuson, S., Krajcik, J., & Borko, H., 1999, Sources, and development of pedagogical content knowledge for science teaching, in Julie Gess-Newsome and Norman G. Lederman (ed.), *Examining Pedagogical Content Knowledge*. Kluwer Academic Publishers. 95-132.
- Mallado, V., Blanco, L. J., & Ruiz, C., 1998, Changing primary teacher trainees' attitude to science. *Research in Science Education*, 21, 188-197.
- Marks, R., 1990, Pedagogical content knowledge: From a mathematical case to modified conception. *Journal of Teacher Education*, 41, 3-11.
- McDiarmid, G. W., Ball, D. B., & Anderson, C. W., 1989, Why staying one chapter ahead doesn't really work: Subject-specific pedagogy, in M. C. Reynolds (Ed.), *Knowledge for beginning teacher*, New York, Pegamon, 193-205.
- National Research Council, 1996, *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Peterson, P. L., 1988, Teachers' and students' cognitional knowledge for classroom teaching and learning. *Educational Researcher* 17, 5-14.
- Resnick, L. B., 1987, *Education and learning to think*, Washington, D. C., National Academy Press.
- Sanders, L. R., Borko, H., & Lockard, J. D., 1993, Secondary science teachers' knowledge base when teaching science courses in and out of their area of certification, *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 723-736.
- 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 new reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), 1-22.
- Shulman, L. S., & Sykes, G., 1986, A national board for teaching? In search of a bold standard. Paper presented at the Task Force on Teaching as a Profession, Carnegie Forum on Education and Economy, Stanford, CA.
- Smith, D. C. and Neale, D. C., 1991, The construction of subject-matter knowledge in primary science teachers, *Teaching and Teacher Education*, 5(1), 1-20.
- Tamir, P., 1988, Subject matter and related pedagogical knowledge in teacher education, *Teaching & Teacher Education*, (4), 99-110.
- Tobin, K., & Garnett, P., 1988, Exemplary practice in science classrooms. *Science Education*, 72, 197-208.
- Tuan, H. L., 1996., Pedagogical content knowledge- A revelation for the reform of future science teacher education. *Proceedings of The 1st math and science teaching and teacher education conference*. Changhua, Taiwan.
- Van Driel, J. H., & Onno De Jong., 1999, The development of preservice chemistry teachers' pedagogical content knowledge. Paper presented in NARST Annual Meeting, Boston, MA.
- 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.
- Veal, W. R., 1997, The evolution of pedagogical content knowledge in chemistry and physics prospective secondary teachers. Unpublished Doctoral Dissertation, University of Georgia.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D., 1994., Research on alternative conceptions in science, in D. Gabel (ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*, New York, MacMillan, 177-210.
- Wilson, S. M., Shulman, L. S., & Richert, E. R., 1988, '150 different ways' of knowing: Representations of knowledge in teaching. in(ed.) J. Calderhead *Exploring Teachers' thinking*, New York, Taylor and Francis.
- Wilson, S. M., & Wineburg, S. S., 1989, Peering at the history through different lenses: the role of Disciplinary knowledge in teaching history. *Teachers College Records*, 89(4), 525-539.

2003년 3월 8일 원고 접수
2003년 4월 3일 수정원고 접수
2003년 5월 24일 원고 채택