

교실에서의 실질적 과학 탐구를 위한 과학적 논증 기회에 대한 이론적 고찰

박 영 신*

한국교육개발원, 137-791 서울 서초구 우면동 92-6

Theoretical Study on the Opportunity of Scientific Argumentation for Implementing Authentic Scientific Inquiry

Young-Shin Park*

Korean Educational Development Institute, Umyeon-dong, Seocho-gu, Seoul 137-791, Korea

Abstract: The science education reforms put the emphasis of scientific literacy, so that students can understand how scientific knowledge is constructed through scientific inquiry at schools. However, scientific inquiry at schools has a problem as a cookbook system without the opportunity of developing argumentation, where students could understand how they use evidence to support their theory or vice versa. Teachers are supposed to understand the basic elements, purpose, and definition of scientific inquiry to implement authentic scientific inquiry at schools, then develop the instructional strategies of providing the opportunity of scientific argumentation to meet its needs.

Keywords: scientific inquiry, scientific argumentation, authentic scientific inquiry, school scientific inquiry

요약: 초·중고 과학 교육에서는 과학적 소양의 함양을 그 학습 목표로 하고 있으며 이를 위해서 학생들은 과학자들이 어떻게 과학적 지식을 정립해 가는지를 이해하는 과정이 필요하다고 주장하고 있다. 하지만 학교에서의 과학 탐구는 오로지 경험을 중시하는 실험 위주의 과학 탐구를 실행, 어떻게 자신들이 수집한 자료가 세운 이론에 합당한지를 밝히는 논증활동이 없다는 것이 문제점으로 지적되고 있다. 이 고찰 논문은 학교에서의 과학 탐구가 과학자들의 그것과 다르며, 실질적 과학 탐구의 실현을 위해서는 교사들이 탐구 자체의 정의, 목표 및 요소를 정확하게 이해하고, 과학적 논증기회를 부여하기 위한 적절한 교수 전략을 개발해야 함을 보여주고 있다.

주요어: 과학 탐구, 과학 논증, 실질적 과학 탐구, 학교 과학 탐구

서론

과학 교육 개혁자들은 ‘과학적 소양이란 일상 생활에서 과학정보를 논리적으로 사용해야 하는 현대인들에게 필수요건이 되어야 한다.’고 주장하고 있다(교육부, 1997; American Association for the Advancement of Science, 1993). 과학에서의 위대한 발견과 성장은 문제 해결자 및 발견자(problem solver and poser)인 과학자들에 의해서 이루어진 것을 감안한다면, 과학적 소양의 도모를 위해 과학 교육에서는 학생들도

과학자들이 문제를 파악하고 해결하여 과학적 지식을 창출하는 것과 유사한 경험을 해야 한다. 즉 ‘과학적 소양을 가르친다’는 것은 과학자들이 과학적 지식을 발견하고 정립해 나가는 일련의 과정을 이해하기 위해, 학생들은 어떠한 과학적 정보를 알아야 하고(what students need to know), 무엇을 이해해야 하며(what they need to understand), 무엇을 해야 하는지(what they need to do)를 논의하는 것이다(National Research Council, 1996; 2000).

그렇다면, 학교에서의 과학 탐구는 어떤 모습일까? 이 실행에 있어서 문제점은 없을까? 학교에서 실현하고자 하는 탐구는 과학자들에 의한 그것과는 구분되며 이를 실질적 과학 탐구(authentic scientific inquiry)라 부른다. 이 시점에서 과학자들의 실질적 과학 탐

*Corresponding author: pys68@snu.ac.kr

Tel: 82-2-3460-0376

Fax: 82-2-3460-0148

구가 무엇인지 또 그것의 특징은 무엇인지 알아보는 중요할 것이다, 왜냐하면 이 실질적 과학 탐구가 교실에서 제대로 실현되지 못함이 우리의 현 학교 과학 탐구(school scientific inquiry)의 문제점이 될 것이기 때문이다. 그렇다면 실질적 과학 탐구란 무엇인지 우선 살펴보고자 한다.

실질적 과학 탐구와 학교 과학 탐구

실질적 과학 탐구(authentic scientific inquiry) 즉, 과학자들이 실행하는 과학 탐구에 대해 제시된 사항은 다음과 같다(Reiff et al., 2002; Ritchie and Rigano, 1996; Chinn and Malhotra, 2002; Krajcik et al., 1998).

- Developing good questions to drive investigation
연구 가치가 있는 문제 제기는 탐구 설계를 결정짓는다. 이는 탐구 과정의 문제 제기가 얼마나 중요한지를 말해준다.

- Making connection: Look for the patterns using information

자연 현상의 문제를 해결하기 위하여 기존에 알고 있는 과학 정보와 연결한다.

- Literature based

탐구 문제를 해결하기 위해서는 기존에 알려진 관련 연구에 대한 정보가 필요하다.

- Connect to multiple disciplines

문제 해결에 필요한 영역을 판단한다. 즉, 과학적으로, 수학적으로, 또는 과학 기술적으로 문제를 해결하는지 해결 영역을 판단한다.

- The process of investigation

실질적인 탐구 과정에 들어간다. 이는 우리가 이해하고 있는 일련의 과정, 즉 문제 제기 후, 자료 수집, 자료 분석, 해석 및 결론 도출을 과정이다.

- The model of inquiry wheel

탐구 과정은 일련의 순환과정이지 아닌 탐구 단계가 서로가 연결되어 있는 거미줄과도 같다. 즉 자료를 수집하는 과정이 적절하지 않다고 생각된다면 연구 문제를 다시 반성해 볼 수 있다. 또한 도출된 결론이 과연 연구 문제에 합당한 해답이라고 판단되는지 연

관 지어 생각해 볼 수 있다.

- Communication for reflection with peers during whole inquiry process

탐구 과정은 혼자만의 과정 및 산출이 아닌 동료간의 협동으로 이루어진다. 즉, 다른 영역별로의 과학자들은 서로 정보를 주고받으며 탐구를 경험한다.

- The unknown results and trial and error

탐구는 미지에 대한 해답을 찾는 과정으로 노력과 실수의 과정이라고 할 수 있다.

- No fudging and blind alley

예상치 않은 결론 도출에 대해서 자료의 조작이 아닌 실험 과정에서 오류를 찾아 문제점을 해결해야 한다.

이들은 과학 탐구는 단선적인 과정이 아니라고 본다. 또한, 순환 과정도 아니라고 한다. 각 단계가 서로 맞물려 있는 탐구웹(inquiry web, Fig. 1) 또는 탐구휠(inquiry wheel, Fig. 2)이라 하여, 과학자들 또는 실질적 과학 탐구를 하고자 하는 학생들은 사회적 맥락(social context)에서 동료간의 대화를 중요시 해야 한다는 모델로 과학 탐구를 설명하고 있다. 탐구웹과 탐구휠에서 강조하고 있는 ‘대화(communication)’는 Standards(National Research Council, 1996)에서는 구체적으로 언급하고 있지 않다. Standards에서의 ‘대화’는 탐구 과정의 맨 마지막 해당하는 과정으로만 한정되어 있지만 탐구웹(inquiry web)이나 탐구휠(inquiry wheel)에서 말하는 ‘대화’는 필요하다면 언제든지 생길 수 있는 과정이다. 앞에서 언급했듯이 자료가 탐구 문제에 합당하게 해답을 줄 수 있는 것들로 수집되었는지, 과연 도출된 결론은 수집된 자료를 바탕으로 형성된 것인지는 중간 중간 단계에 다른 전문가나 동료간의 “대화”로 의견을 수렴하고 공유 할 수 있는 과정이 있어야 한다는 것이다.

그렇다면 이러한 실질적 탐구 과정이 왜 학교 교실 내에서는 실현되기가 힘든 것일까? 다음에서 그 문제점을 살펴보고자 한다. Gallagher and Tobin(1987)은 호주의 두 개의 고등학교에서 연구된 과학 활동을 통해 교수법 및 학습법을 연구 조사하였다. 이들의 결론은 고등학교에서 행해지는 과학 탐구는 첫째, 교사들은 교과 내용 전달이 주 임무였고, 학생들은 과

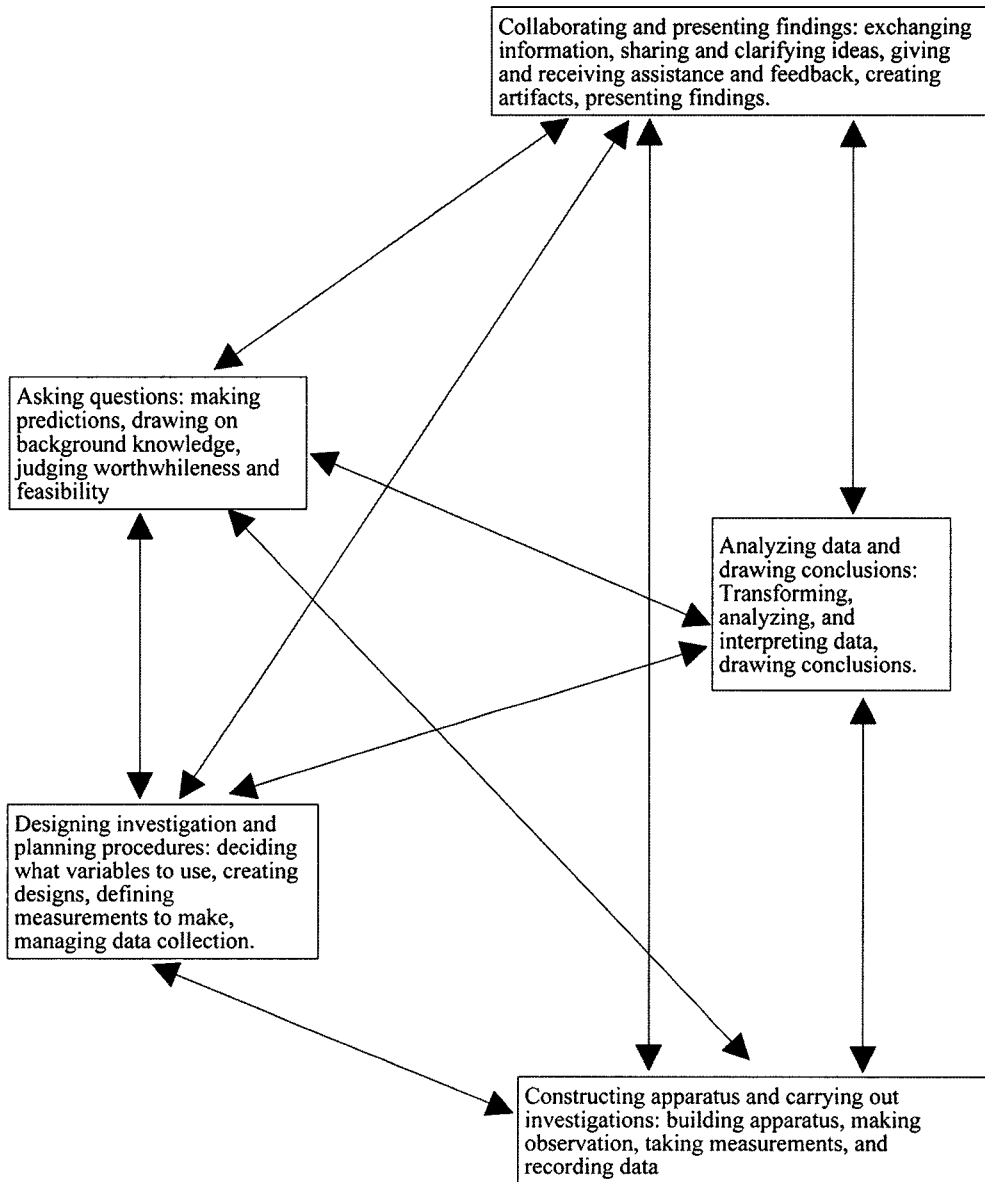


Fig. 1. The inquiry web (Krajcik et al., 1998).

학적 사고 능력을 키우는 기회조차 없이 교사가 제공하는 모든 것을 수동적인 자세로 받아들이는 것이 주 임무였다. 둘째, 교사와 학생들은 교실에서 일어나는 탐구 활동의 목적조차 명확히 이해하고 있지 않았다. 많은 교사들은 지정된 실험 시간을 실험이 아닌 내용 복습, 비디오 보기 등으로 활용하고 있었다. 셋째, 탐구 시간 동안 학생들에게 요구되는 인지 정도는 상당히 낮은 수준이었다. 다시 말해, 과학의 이해, 응용, 논리적인 추리 과정, 과학의 방법에 대한 것보다는 단순한 내용 암기가 더 강조되는 과학 수

업이었다. 또한, 학생들은 문제 제기에 관련된 지식 정보를 교과서에서 바로 접할 수 있었고, 탐구 과정을 알고리즘처럼 피동적으로 따라 함으로써 인지 발달은 상당히 낮은 수준이었다. 넷째, 모든 학생들이 참여할 수 있는 탐구 활동이 아닌 몇 명의 성취도가 높은 학생들이 주도하는 학습이었으며, 이러한 학생들에 의해 다음 단계의 학습으로 수업이 전환되었다.

Krajcik et al.(1998)도 역시 탐구 과정에서 학생들이 갖는 탐구의 어려움을 보고하였다. 첫째, 학생들은 탐구를 위한 문제를 제기하는 능력이 없었다. 제

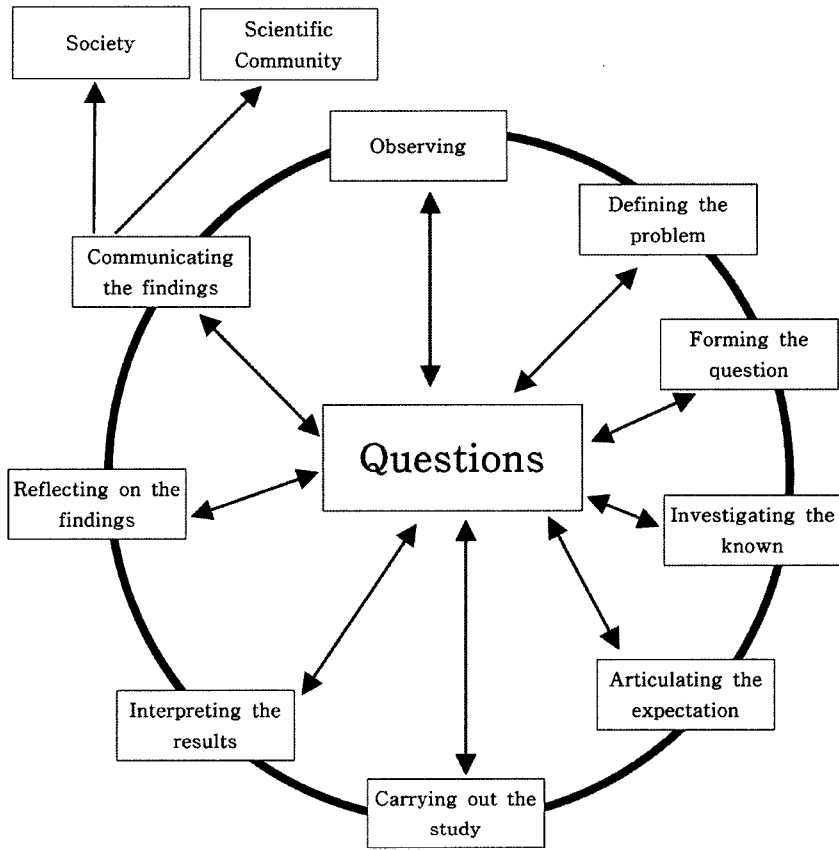


Fig. 2. A Proposed model for the process of scientific inquiry, the inquiry wheel (Reiff et al., 2002).

기된 문제는 배우고 있는 과학 내용과 상관없는 것도 있었다. 둘째, 탐구 설계의 어려움도 있었다. 실험에 영향을 주는 변인조차 구분하지 못했다. 셋째, 실험을 통해서 문제에 해답을 줄 수 있는 증거물을 수집하는 것이 아닌 단순하고 쉬운 자료 수집에 급급해 있었다. 넷째, 결론을 도출하는 과정에서 자료 분석 및 동료간의 의견 수렴에 어려움이 있었다. 자료로부터 다른 차트나 표를 사용한 자료 전달이 이루어지지 않았고, 이 자료를 이용해 결론을 형성하지 못했다. 즉, 학생들 자신들이 수집한 자료를 이용해 결론에 도달하지 못한다는 것이다. 이들은 어떻게 이 자료를 가지고 결론에 도달하게 되었는지에 대한, 그리고 이러한 과정을 통해서 무엇을 배웠는지에 대한 것보다는 탐구 과정 동안 무엇을 했고, 어떤 자료를 수집하고, 어떤 결론을 내렸는지에 대해서만 보고하는 수준이었다.

위에서 알 수 있듯이(Gallagher and Tobin, 1987; Krajcik et al., 1998) 학생들은 어떻게 탐구 실험을

설계하고, 발달시키며, 수행되었는지에 대해 논의할 기회가 없을 뿐만 아니라 도달한 결론을 가지고 다른 동료나 교사와 의견을 공유할 기회가 없다. 학생들이 처음에 문제를 제기하는 하지만, 이 문제가 교사에 의해 정해진 내용과 어떻게 관련이 있으며 과연 연구할만한 가치가 있는지에 대한 논의 기회를 주지 않는다. 학생들이 자료를 수집한 후, 역시 이 자료로부터 어떠한 증거물을 추려내는지에 대한 논의 기회가 없다. 학생들이 도달한 결론 또한 제기된 문제와 수집된 자료들과는 어떠한 과정으로 관련이 있는지 반성(reflecting)의 기회도 없다. 앞에서 지적된 탐구 웹 및 탐구월의 기능이 이루어지지 않고 있다. 즉 “대화”의 기회가 없거나 주어지지 않는다는 것이다. 그렇다면, 학생들에게 과연 충분한 “대화” 시간만 주어진다면 위의 문제는 해결이 될까? 그렇지 않다. 학생은 과학자와는 기본적으로 사고하는 방식이 다르다. 과학자가 할 수 있는 기본적인 과학적 사고가 일어날 수 있도록 “누군가”가 도와야 하는 것이다. 그 누군

가는 교실에서는 “교사”여야 하며, 어떠한 해결책으로 실질적 과학 탐구를 학생들이 수행할 수 있었는지, 그러한 수행 과정에 교사의 역할은 무엇이 있는지 알아보고자 한다.

교사의 역할

실질적 과학 탐구를 실현하기 위해서는 학생들로 하여금 어떻게 과학적 지식이 정립되는지를 이해할 수 있는 기회를 부여해야 한다. 이러한 기회는 동료 간, 교사 및 전문가와 대화를 할 수 있는 기회이며, 이를 통해 학생들은 부족했던 정보, 자료, 실험적 도구면에서 도움을 받을 수 있는 것이다. 교실에서 이런 기회는 교사에 의해 제공되지만, 단순히 실험 과정의 절차적인 방법에만 치중한다고 해서 얻어지는 것은 아니다. 교사의 역할은 학생들로 하여금 실험 수행에 필요한 절차적인 기술뿐만 아니라 과학적 지식의 본성을 이해하고 과학적 사고 능력을 개발시킬 수 있는 기회 부여에 있다는 것이다. 다음의 교사의 역할을 초·중·고의 경우로 분류한 것이다.

(1) 고등학교 교사의 역할(Crawford, 1998)

- 학생들로 하여금 책임감을 느낄 수 있도록 격려 (motivator)
- 학생들이 자유스럽게 생각을 표현(diagnostician)
- 탐구실험을 설계할 수 있도록 방향제시(guide)
- 새로운 방식의 실험설계 시도(innovator)
- 학생들에게 새로운 방법을 가르치고 평가(experimentor)
- 문제 해결에 필요한 방법을 평가하고 직접 문제 해결에도 참여(researcher)
- 과학자의 태도를 시사(modeler)
- 학생들의 탐구를 지지(mentor)
- 학생들과 같이 의견을 수렴 공유(collaborator)
- 교사들 자신도 과학 탐구를 통해서 새로운 내용을 배움(learner)

(2) 중학교 교사의 역할(Flick, 1997)

- 과학 탐구의 각 단계에서 방향 제시(guide)
- 각 실험 단계에서 학생들의 활동을 자극(motivator)
- 학생들의 탐구참여를 통한 학습 지지(mentor)
- 새로운 또는 다른 탐구교수법을 시도(innovator)
- 학생들과 추측되는 결론을 의견교환(collaborator)
- 실험 도구와 방법을 제공(researcher)

- 예상치 않았던 결론에서 오는 압박감 탈출 (mediator)

(3) 초등학교 교사의 역할(Crawford et al., 2000; Keys and Kennedy, 1999)

- 우연히 발생하는 학생의 탐구 실현을 위하여 교육과정 조절(coordinator)
- 학생들의 직접 실험할 수 있도록 책임전가(collaborator)
- 과학 탐구의 적당한 단계를 학생들 지도(mentor)
- 학생들의 탐구 활동을 위한 문제 제기 시작(motivator)
- 개념이해를 위해 학생들의 관찰과 의견을 주 정보원으로 사용(diagnostician)

위에서 살펴본 각 수준에서의 교사 역할은 초등학교에서는 좀 더 “많은 대화”가 특징이다. 초등 교사들은 학생들이 호기심에 근거해서 탐구 문제를 제기하고 이를 교사와의 대화로써 해답을 찾아 갈 수 있도록 환경을 제공한다. 이 때, 교사는 실험자(experimentor) 또는 연구자(researcher)라기보다는 중재자(mediator) 또는 코디네이터(coordinator)의 역할을 담당하게 되는 것이다. 실질적 과학 탐구가 가능하도록 하기 위한 고등학교 교사의 역할은 초등학교에 비해 다소 복잡하다. 학생들이 실험을 직접 설계하고, 교실 밖의 지역 사회의 전문가와 대화를 통해 좀 더 독립적인 연구자로서 자신들의 학습에 책임을 느낄 수 있는 기회를 제공한다. 이 경우에 교사는 동기 유발자(motivator) 또는 중재자(mediator)의 역할보다는 같은 연구동료(co-researcher) 또는 학습자(learner)로서의 협력자(collaborator)의 역할을 하게 되는 것이다. 초등학교가 수업중의 “대화”로 진행되는 과학 탐구라면, 이와는 달리 고등학교는 “프로젝트식의 과학 탐구(project-based scientific inquiry)”라고 할 수 있으며 각기 다른 상황에서 교사의 다른 역할이 나타남을 보여준다. 학생들의 실질적 과학 탐구 기회를 위한 교사들의 역할을 정리해 보면 다음과 같다.

첫째, 교사는 학생들로 하여금 탐구 활동에 대해서 “생각” 할 수 있도록 기회를 제공하고 이에 맞는 교수법을 선택한다. 그 중 하나가 구성주의의 학습을 고려하는 것이다. 구성주의에 입각한 교사의 역할이 탐구경험에서 오는 사고 능력, 즉 추리하는 기술을 증진시키는 기회를 제공할 수 있는 것이다. 둘째, 과

학 교육 관계자나 교사들이 직접 창안한 명시적인 반성적 평가틀(explicit reflective assessment framework)을 이용해서 과학 탐구 과정 동안 일어나는 과학적 사고, 즉 추리 과정을 확인하는 것이다. 즉, 각 탐구 과정에 해당하는 명시적인 질문을 만들어 사고하고 표현하는 기회를 주는 것이다. 셋째, 교사는 학생들이 직접 경험하는 활동(hands-on activity)에 해당하는 실험과 탐험(experimentation and exploration)에 대한 기회뿐만 아니라 직접 생각하는 활동(minds-on activity)에 의한 설명과 논증(explanation and argumentation) 기회도 제공해야 한다. 학교 과학 탐구의 문제는 전자의 직접적인 경험만을 강조함으로 야기되는 것이다. 학생들은 실험과 탐험으로 수집된 자료를 바탕으로 동고 또는 교사와 자신들의 생각을 공유하고 반박함으로써 과학적 지식의 정립과정을 이해해야 한다는 것이다. 교실에서 단순한 학교 과학 탐구가 아닌 실질적 과학 탐구를 실행하는데 성공적이었다는 교사들의 특징은 학습 내용과 연관 지어 자기의 경험을 되살려 문제 제기를 하며, 어떠한 자료를 수집하고 어떻게 수집을 하며, 수집된 자료가 과연 증거가 될 수 있는지, 또한 그러한 증거가 초기에 세운 가설이나 문제에 부합하는(supporting) 것인지 위배되는(refuting) 것인지를 논의할 수 있는 기회를 매번 제공했다는 것이다.

결론적으로 과학 교사가 실질적 과학 탐구를 교실에서 실현시키기 위해서는 학생들로 하여금 과학 탐구의 본성을 이해할 수 있도록 질문, 힌트, 단서 등을 통해 “과학적 사고(scientific thinking)”가 가능한 기회를 제공해야 한다는 것이다. 학생들은 단지 실험을 통한 절차적인 방법에만 치중해서는 과학 탐구의 목적을 이룰 수 없다. 실험을 통한 절차적인 방법뿐만 아니라 논증을 통한 추리능력 도모를 통해 과학 탐구의 목적을 달성 할 수 있는 것이다. 다음 장에서는 과학 탐구 및 과학의 본성을 이해할 수 있는 기회, 즉 과학적 논증기회(scientific argumentation)가 무엇인지 살펴보도록 하자.

과학적 논증을 위한 4가지 조건

논증(argumentation)은 과학 교육에서 두 가지의 의미로 해석된다(Driver et al., 2000). 하나는 수사적 논증(rhetorical argumentation)이라 하여 같은 또는 반대의 입장에 대해 이성적으로 생각하여 다른 사람

들에게 자기 입장의 강점을 표현하거나 설득하는 과정이다. 예를 들면, 교실에서의 수사적 논증은 학생들의 내용 이해를 돕기 위한 목적으로 교사가 논리적인 과학적 설명을 제공하는 경우이다. 또 다른 논증은 교사가 학생들에게 하는 설명이 아닌, 학생들이 스스로 과학적 추리 과정을 경험함으로써 이와 같은 논증 기술을 연습하는 것이다. 특정한 과학적 주장 내지 가설을 지지하는 또는 그것에 위반되는 확연한 증거물을 가지고 다른 입장의 사람들을 설득 내지 확신을 시키며 하며, 또한 다른 의견을 표현하거나 이와 관련시킬 수도 있어야 한다. 이를 대화적 논증(dialogic argumentation)이라고 한다(김희경과 송진웅, 2004). 이 글에서 말하는 과학 교육에서의 논증은 후자를 뜻하는 것이다. 하지만 교실에서 자신의 이론을 정당화하는 과정 또는 다른 사람의 이론을 평가하는 식의 논증은 잘 이루어지지 않고 있다. 현 교실에서 이루어지고 있는 논증의 기회에 대해 살펴보자.

Newton, Driver, and Osborne(1999)은 과학수업 중에 얼마나 많은 논증의 시간이 주어지는지를 연구하였다. 결과는 우리가 흔히 알고 있는 교사 중심의 질문-대답-평가의 일방적인 과학시간이 대부분이었다. 또한, 토론이나 논증을 통해 사회적 맥락(social context) 속에서 지식이 산출되는 과정을 경험하는 시간은 찾아 볼 수 없었다. 여기서 토론과 논증을 굳이 구분 짓자면 전자는 수사적인 논증의 성향이 많고, 후자는 대화적 논증의 성향이 더 있는 것으로 해석되며 논쟁(debate)에 가까운 것이라고 볼 수 있다. 이 연구에 의하면 학생들은 과학적 지식의 수립 과정을 이해하는데 필요한 자기 의사 표현의 기회를 전혀 갖지 못하고 있으며, 이는 교사가 그러한 기회를 주지 않는 데서 비롯된다고 한다. 학생들에게 논증의 기회를 주지 못하는 것은 교사들이 이러한 목적에 근거한 교수법을 알지 못하기 때문이라고 분석하였으며 해결점으로 논증을 위한 새로운 모델이나 교수법을 창안하여 교사들로 하여금 실현할 수 있도록 해야 한다고 제안하였다 Jimenez-Alexandre et al.(2000)도 학생들의 논증 기회가 제한되는 것은 교수법의 문제이며, 교사들이 과학 탐구를 위한 과학적 논증 정의 및 목적을 명확하게 이해해야 한다고 주장하였다. 교사들은 학생들이 자유롭게 자신의 의사를 표현하고, 서로 협력하여 의견을 교환하며, 자신들의 증거를 통해 설명을 정당화하고 이러한 설명이 기존의 지식과 어떻게 연관될 수 있는지에 대한 의견을 공유하고 수립

하는 기회를 줄 수 있어야 한다는 것이다. 이 저자들은 교실 내에서 학생들의 논증 기회는 전적으로 교사들의 노력에 달려있다고 제안하였다. 결론적으로 위의 두 연구는 과학적 논증 활동은 생산적인 과학 탐구의 필수요건이며, 이러한 목적을 위해서는 교사들은 과학 탐구 및 과학적 논증의 정의와 목적을 명확히 이해하고 이러한 이해의 바탕을 둔 교수법을 창안하는데 노력해야 한다고 시사한다.

과학적 논증 기회를 제공하기 위한 교수법의 개발은 실행에 옮기고자 하는 교사의 지식과 신념이 그대로 반영이 된다. 확고한 과학 탐구에 대한 이해가 과학적 논증 기회를 제공하게 되는 탐구 교수법의 개발 및 실천에 바탕이 되는 것이다. 그렇다면 실질적 과학적 논증 기회를 위하여 교사는 무엇을 알아야 할까? 우선 과학 탐구의 목적을 이해해야 한다. 또한 과학 탐구의 기본요소를 숙지해야 한다. 과학 탐구에 대한 명확한 지식과 신념 없이는 과학 탐구의 학습이 일어날 수 있는 과학적 논증 기회를 제공할 수 없는 것이다. 이 장에서는 학생과 과학자들이 사용하는 사고 과정의 차이점, 과학 탐구의 목적, 그리고 그 기본 요소는 무엇인지 알아보자. 마지막으로 이러한 이해 아래 적용할 수 있는 과학 논증 기회를 위한 탐구 교수법을 간단히 살펴해보도록 하자.

과학 논증을 위한 첫째 조건-과학적 사고 기술

우선 학생들과 과학자들이 사용하는 문제 해결 과정의 하나인 과학적 사고 기술이 어떻게 다른지 이해해야 한다. 일반 학생과 과학자들이 자연 현상에 느끼는 호기심과 거기에서 유발되는 문제점을 해결하고 싶어 하는 동기유발은 같다. 하지만 그 문제를 해결하기 위해 사용하는 지식의 범위와 문제 해결 과정은 엄연하게 차이가 있다. Reif and Larkin(1991)은 학교에서의 학습자는 일상 생활에서 오는 정보를 가지고 과학을 경험하는데 어려움이 있는데 반해, 과학자들은 과학적 목적과 인지 영역을 가지고 탐구를 하게 된다고 하였다. Reif and Larkin(1991)은 일상 생활 영역의 목적 및 인지과정을 과학 지식 영역의 그것들과(목적 및 인지과정) 비교함으로써 학생들이 과학 지식의 본성에 대한 이해 부족으로 인해 생기는 학습의 어려움이 무엇인지 분석하였다. 과학의 목적은 관찰되는 자연 현상에 근거하여 추론될 수 있는 이론적인 지식을 창안함으로써 합리적인 예견과 설명을 습득하는 것임에 반해, 일상 생활의 목적은

처해있는 환경에서 좀 더 만족스러운 삶을 영위하는 것이다. 학교에서의 과학 탐구의 목적 아래, 학생들은 과학이란 수많은 예견을 위하여 개념을 조직하는 것이 아니라, 일상 생활의 목적에 기반을 두어 단순한 지식의 암기와 사실을 수집하는 것에 지나지 않는다고 생각하는 것이다. 학생들은 비평 없이 교사에 의해 주어지는 전반적이고 상식적인 지식과 정보를 받아들이고 있다. 과학자는 수학적이고 구조적인 방법을 이용하여 복잡하고 다양한 추론을 실행해 보기 위해 문제 해결 과정을 설계하는 것이다. 과학자들은 관찰되는 자연 현상에 가능한 설명을 제안하기 위해서 문제를 제기하고, 부속적인 문제를 형성하고, 그것에 적당한 다른 실험을 설계하는 것이다. 하지만, 학교의 학생들은 특정한 상황(이 상황에서는 추리 과정이 간단하다)에서만 적용이 가능한 문제 해결 단계를 과학 탐구에 투입하는 것이다.

Driver et al.(1994)은 학생들에 의해 사용되는 “상식(commmonsense)”을 과학자들이 쓰는 “과학적 지식(scientific knowledge)”과 구분하였다. 일반 상식을 위한 사고과정은 어떤 특정한 규칙 없이도 존재할 수 있지만, 과학적 지식을 위한 사고과정은 증거물로 평가되는 명시적인 이론의 합체로 특정지을 수 있다. Dunbar and Klahr(1989)는 학생들의 과학적 사고과정이 과학자들의 그것과는 어떻게 다른지에 대해 보고하였다. 첫째, 어린 학생은 우선 과학자들(이 연구에서의 과학자는 공과 대학 1학년 학생들이다)하고는 다른 가정을 제안한다. 그리고 그러한 가설이 옳다고 판단하는 기준 역시 과학자들의 그것과는 다른 것이었다. 학생들은 주어진 문제에 대해서 간단한 실험만을 수행하는 능력이 있었다. 하지만 과학자들은 자신들이 세운 가설이 옳다는 것을 증명하기 위하여 수많은 다양하고 복잡한 실험을 수행하는 능력이 있었다. 둘째, 어린 학생들은 세운 가설과 다른 자료가 수집되었음에도 불구하고 기존의 가설을 포기하려 하지 않고 계속적인 증거를 찾기에만 급급해 함을 보여준다. 셋째, 세운 가설에 맞는 증거를 찾은 후 계속적으로 다른 증거를 찾아 가설의 옳음을 확인하는 과정이 없었다. 가설에 위배되는 자료가 수집되면 주의를 기울이지 않고 간과하는 경향이 있었다.

Kuhn(1989) 역시 어린 학생들은 수집된 증거를 평가하는 초인지 능력(meta-cognitive skill)을 갖고 있지 않다고 주장하였다. Kuhn은 과학적 지식의 본성을 이해하기 위해 필요한 과학적 사고 능력은 두 가

지가 있다고 했으며 이를 학생들에게서는 찾아 볼 수 없다고 보고하였다. 첫째, 학생들은 증거로부터 이론을 구별하지 못한다. 이론과 증거는 결론을 도출하는데 기여는 하지만 이를 구분하지 않아 같은 것으로 인식하고 있었다. 둘째, 학생들은 이론을 강화하기 위하여 증거를 사용하고, 더 많은 증거를 찾기 위해서 이론을 사용함을 적절하게 연관 짓지 못하였다.

이상에서 과학자들에 의한 실질적 과학 탐구(authentic scientific inquiry)와 학생들에 의한 학교 과학 탐구(school scientific inquiry)가 무엇인지 분별하는 학생들의 과학적 사고 기술은 교사로 하여금 어떠한 질문과 내용 선택을 해야 하는지를 좀 더 용이하게 만들어주는 요소가 될 것이다.

과학 논증을 위한 둘째 조건-과학 탐구의 목적 이해

다음의 3가지의 다른 목적으로 일어난 과학 탐구를 살펴보자. 기본적으로 한 탐구의 목적이 다른 목적에 비해서 강조가 되었을 뿐 3가지는 어우러져 복합되어 나타난 교실의 상황이다(Bybee, 2000). 각 교실 상황을 보고 어떠한 탐구 목적으로 교사의 학생들의 상호 작용이 일어난 것인지 살펴보자.

교실 1

한 학생의 호기심 어린 탐구가 이뤄지고 있었다. 물통에 있는 물에 무슨 일이 일어났는지 물었다. 지난 주 금요일에는 물통에 물이 가득 차 있었는데 주말이 지나고 오늘(월요일) 학교에 오니 물이 없어졌다. 이 학생은 아마도 교실에서 키우는 애완용 토끼가 토끼장에서 나와 마신 것 같다고 제안한다. 교사는 이 의견을 테스트 할 수 있는 방법을 찾아보려고 자극했다. 우선 학생들은 같은 물통에 물을 채운 후 토끼 율리가 마시지 못하도록 뚜껑으로 덮었다. 며칠이 지난 후 물통의 물은 그대로였다. 교사는 다른 의견을 제시해보도록 격려했다. 학생의 질문은 왜 물이 사라졌는지에 대한 연속적인 실험 탐구가 가능케 하였으며, 교사 역시 질문을 통해 다른 대안의 설명을 할 수 있도록 하고, 자신들의 설명을 정당화하기 위해서는 확실한 증거를 사용할 것과, 그 설명을 다시 확인할 수 있는 다른 실험을 할 수 있는 기회를 제공하였다. 교사는 절대로 증발 또는 그와 관련된 개념을 설명하지 않았다.

교실 2

과학시간에 학생들이 과학의 업적에 대해 토론할 수 있도록 관련된 책을 선택하였다. 목록은 The Double Helix, The Beak of the Finch, An Imagined World, and A Feeling for the Organism 을 포함하고 있었다. 3주에 걸쳐 각 학생들은 과제로 한권의 책을 읽고 4명으로 된 소그룹에서 다음과 같은 질문에 답하는 시간을 가졌다. 무엇이 이 과학자들로 하여금 탐구를 시작하게 하였는가? 어떠한 지식과 관련된 개념들이 탐구를 가능하게 하였는가? 탐구 시행을 위해서 어떠한 원인을 인용하였는가? 탐구에서 수학의 역할이 있다면 무엇일까? 과학자들이 내세운 과학 설명은 일관성이 있는가? 그 일관성은 증거가 충분한가? 그 설명은 지속적인 탐구가 가능하도록 오픈되어 있는가? 그 설명은 다른 응용된 실험에서도 적용이 되는 것인가? 이러한 집단 토론 후 교사는 학생들로 하여금 다음과 같은 제목으로 그룹 발표를 하게 하였다. “과학에서 탐구의 역할”

교실 3

생물 진화론에 대해 학생들이 화석을 관찰하고 있었다. 교사는 두 개의 비슷한, 하지만 약간 다른 몰드 타입의 완족류(brachiopod) 화석을 학생들에게 나눠주었다. 학생들은 두 개의 다른 종의 완족류 화석의 너비와 길이를 측정하였고, 교사는 너비와 길이의 차이가 나는 것이 진화와 관계가 있는지를 질문하였다. 학생의 반응에 따라 교사는 다음과 같은 질문을 하였다: 어떻게 그 사실을 알지? 지금 말한 대답의 증거가 있다면 무엇일까? 어떤 증거가 더 필요할까? 같은 암석에서 그 두 개의 화석이 나왔다면 어떤 다른 설명이 가능할까? 그 화석의 너비와 길이의 변화는 정상적인 변이었을까? 너비와 길이의 변이가 어떻게 완족류가 환경에 더 잘 적응하도록 도왔을까? 화석 활동으로 인해 학생들은 다음 사실의 관계를 학습할 수 있었다: (1) 종의 개수 증가, (2) 유전자로 인한 돌연변이와 재조합으로 생기는 종자의 유전자 변이, (3) 살아가는데 필요하지만 제한적인 공급원, (4) 생사를 위한 치열한 선택. 결국엔 학생들은 한 개체 안에서 일어난 특징의 변이를 학습할 수 있었으며 그것이 진화론이다.

Table 1. Definition of scientific inquiry (NRC, 2000)

탐구로서의 과학 교육 과정
탐구 활동으로 초중고의 학생들은 다음의 능력을 개발해야 한다. (1) 과학 탐구에 필요한 능력(Abilities necessary to do scientific inquiry) (2) 과학 탐구에 대한 이해(Understanding about scientific inquiry)

각 교실에서의 과학 탐구 목적은 무엇이라고 생각 이 되는가? 어느 교실 상황이 우리가 가장 많이 이해하고 있는 과학 탐구일까? 언뜻 보기에는 첫 번째 경우의 교실에서만 과학 탐구가 일어나는 것처럼 보인다. 하지만 위의 3가지 모든 경우는 과학 교육에서 전망하는 과학 탐구를 가르치고 학습하고 있다. 이에 대한 자세한 설명에 앞서 *Standards(National Research Council, 2000)*에서 정의하는 과학 탐구 정의를 먼저 살펴본 후 위의 교실 상황에 대해서 의논해 보도록 하자(Table 1). 우선 이 표에서는 두 가지의 탐구 목적이 설정되어 있다.

과학 탐구의 첫 번째 목적은 탐구 수행에 필요한 능력이다. 여기서의 능력은 두 가지를 말한다. 하나는 실험설계와 수행을 위한 절차적인 기술(procedural skill)이고 다른 하나는 탐구 단계에서 일어나는 학생들의 과학적 사고 기술(scientific thinking skill)로 추리적 사고 능력(reasoning thinking skill)과 비판적 사고 능력(critical thinking skill)의 두 가지가 포함된다. 이러한 과학 탐구의 수행 능력(doing scientific inquiry) 중 고등학교의 경우만 살펴보도록 하자(Table 2).

초등학교와 중등학교의 과학 탐구 능력은 차이는 있지만 기본적인 틀은 같다. 즉, 일반적인 과학 탐구의 단계라고 알고 있는 문제 제기, 실험 설계, 자료 수집, 자료 분석 및 해석, 결론 도출 및 발표에 필요한 기술은 어느 수준에서나 학습이 이루어져야 한다.

Table 2. Doing scientific inquiry (National Research Council, 2000)

과학 탐구에 필요한 기본적인 능력
고등학교 수준의 과학 탐구 능력
과학 탐구와 연관된 문제와 개념들을 인식한다.
실험을 설계하고 수행할 수 있다.
효과적인 탐구수행과 동료간의 토론을 위해 과학기술과 수학을 사용할 줄 안다.
논리와 증거를 가지고 과학적 설명이나 모델을 창안하거나 정립할 수 있다.
다른 설명과 모델이 있음을 인식하고 분석할 줄 안다.
과학의 논증을 이용해 토론하고 변론한다.

실험 도구나 공학, 또는 수학과와의 간학문적인 적용(interdisciplinary connection) 기술도 배워야 한다. 초등학교에 비해 중등 수준에서는 절차적인 과정뿐만 아니라 사고 과정이 많이 강조되어 있다. 인지 능력(cognitive ability)에 해당하는 과학 탐구 능력은 관찰, 추론, 실험에 관계된 절차적인 기술과 더불어 학생들로 하여금 과학 이해를 위해 추리 및 비판 사고 기술을 경험하게 하면서 과학적 지식을 만들어 가는 것이다. 즉, 과거의 전통적인 절차적 탐구에서 벗어나 학생들로 하여금 과학적 지식을 평가하는데 적극적으로 참여하도록 해야 한다는 것이다. 모든 탐구 단계에서 학생과 교사는 “뭐가 중요하지? 어떤 자료를 증거물로 써야 하지? 어떤 자료를 버려야 하지? 자료에 어떤 패턴이 있나? 이러한 패턴이 탐구에 필요한 것인가? 어떤 이론으로 그러한 패턴을 설명할 수 있을까? 이 이론이 저 이론보다 더 논리적인가?” 등의 질문을 스스로 해야 한다. 이러한 질문 속에 학생들은 과학적 주장을 펼치기에 적당한 증거와 논리적인 설명을 제시해야 한다. 다시 말해, 학생들이 세운 주장에 대해 강점과 약점을 판단할 수 있어야 한다. 이러한 지식의 성립과 판단에 필요한 기술이 과학 탐구의 기본이 되는 것이다.

과학 탐구의 두 번째 목적은 과학 탐구 이해(understanding scientific inquiry)다. 이것 역시 고등학교의 경우만 살펴보자(Table 3).

과학 탐구의 이해는 과학적 지식이 새로운 증거, 논리적인 분석, 그리고 과학자들의 논쟁을 거쳐 수정된 설명에 반응해서 어떻게 그리고 왜 변화하는지를 깨닫게 되는 과정이다. 또한, 탐구를 직접 수행함으로써 과학 탐구의 본성, 과학의 본성, 과학적 지식의 본성을 이해할 수 있다. 하지만 이런 과학 탐구의 이해는 학생 스스로 달성하기 힘들다. 과학 탐구의 이해에 대한 연구를 살펴보면, 교사의 암시적(implicit)인 것이 아닌 명시적(explicit)인 교수법으로 과학 탐

Table 3. Understanding scientific inquiry (National Research Council, 2000)

과학 탐구의 이해
고등학교 수준의 과학 탐구 이해
과학자들은 자연 현상에서 발견되는 게 어떻게 작동이 되는지에 대한 탐구를 많이 한다.
여러 가지 이유로 탐구가 이루어진다.
과학자들은 자료 수집과 자료 응용을 위해 공학을 사용한다.
수학은 과학 탐구에 있어서 필수이다.

Table 4. Teaching strategies and students' activities to different purposes of scientific inquiry

	교실 1 과학 탐구의 수행	교실 2 과학 탐구의 이해	교실 3 학습 내용의 이해
수업내용	물통의 물 수위변화	과학자들과 그들의 업적 알아보기	화석의 변이 탐구
교수법	학생들로 하여금 제안된 설명을 생각한 후 그 설명을 지지하기 위한 증거를 찾도록 제시	책을 이용해서 과학자들의 업적을 읽은 후 토론이 가능한 문제유형을 제공	화석을 제공하고, 학생들의 화석 관찰과 측정에 대한 질문
학생의 활동	간단한, 하지만 모든 단계의 탐구 과정을 설계	과학 탐구에 대한 책을 읽고 토론	화석을 측정하고 그 자료로 질문에 대답

구의 이해부분을 가르쳐야 학생들의 이해도도 높아진다고 보고하고 있다(Lederman, 1992; Khishfe and Abd-El-Khalick, 2000).

위에서 언급한 과학 탐구의 2개의 목적, 과학 탐구의 수행 (doing Scientific Inquiry)과 과학 탐구의 이해(understanding Scientific Inquiry) 외에 한 개의 목적이 더 있다. 그것은 과학 지식 즉 학습 내용(understanding Scientific Content)이다. 새로운 내용의 습득이 없는 과학 탐구는 무용지물이라는 것이다.

다음의 표를 참고로 해서 위의 과학 탐구의 3가지 교실 상황을 과학 탐구의 목적과, 그것에 맞는 교수법, 그리고 학생들의 활동을 비교해 보자(Table 4). 탐구 목적에 따라 교수법과 학생들의 활동이 달라지게 실현되는 것은 교사의 재량이다.

각각의 목적에 맞는 탐구 활동을 위하여 교사는 다양한 질문을 통해 학생들이 과학 탐구 수행을 위한 절차적인 기술은 물론, 추리적이고 비판적인 과학적 사고를 향상시킬 수 있도록 자극해야 한다(교실 1). 또한, 과학자들이 어떻게 과학적 지식을 형성하고 정립해 가는지에 대한 과학 탐구 및 과학의 본성을 이해할 수 있도록 자료 제공과 자극하는 질문이 있어야 한다(교실 2). 마지막으로 과학 내용의 학습 또한 과학 탐구의 목적이어야 한다(교실 3). 위의 3가지의 교실 상황은 과학 탐구의 3개의 목적 중 어느 하나가 두드러지는 것일 뿐이며, 실질적 과학 탐구 활동을 통해서는 위의 3가지 목적이 모두 이루어져야 할 것이다.

과학 논증을 위한 셋째 조건-과학 탐구의 기본요소 이해

과학 탐구의 정의와 목적을 이해했다면 이를 실현하기 위한 교수법과 학생들의 탐구 활동을 계획하기 위해서는 반영이 될 과학 탐구의 기본 요소는 무엇인지 알아야 한다(Table 5).

Table 5. Essential elements of scientific inquiry in the classroom

교실 과학 탐구의 기본요소
(1) 학습자는 과학적으로 문제 제기하는데 참여한다.
(2) 학습자는 문제에 해당하는 설명을 형성하고 평가하는데 필요한 증거를 수집한다.
(3) 학습자는 그러한 증거를 가지고 문제에 해답이 될 수 있는 설명을 형성한다.
(4) 학습자는 다른 관점에서의 설명으로 자신이 세운 설명을 평가할 수 있어야 한다.
(5) 제안된 설명을 다른 사람에게 발표하면서 전체적으로 정당화하는 기회를 갖는다.

과학 탐구의 목적을 위해서 우선 부분적으로나 전체적으로 학생들 자신이 문제 제기에 참여할 수 있는 기회가 있어야 한다. 제기된 문제에 대해서 어떻게 하면 자료를 수집할 것인지에 대해서 계획을 세우고 수집된 자료(data)에서 필요한 증거(evidence)를 구분할 수 있어야 한다. 모든 자료가 제기된 문제를 해결하는데 적합한 설명의 증거가 될 수 없기 때문이다. 명확한 증거를 바탕으로 자연 현상을 정당화할 수 있는 설명을 형성(form explanation)해야 한다. 논리적인 사고과정을 거친 설명은 자신 입장을 정당화할 뿐만 아니라 다른 사람의 설명을 평가(evaluate explanation)할 수 있어야 한다. 즉, 반증의 사례를 들어 반박할 수 있어야 한다. 마지막으로 자신의 설명과 다른 설명을 잘 보완하여 동료들에게 발표하는 토론의 기회(communicate and justify)를 가져야 한다.

하지만, 교실에서의 과학 탐구는 위의 기본 요소들을 포함하고 있지 않다. 한국의 예비교사 과학 교육 전공 대학생들을 대상으로 위의 과학 탐구의 목적과 기본요소를 학습한 후 기존의 탐구 수업 도안을 분석하게 하였다. 분석 결과, 예비교사들의 반응은 모든 탐구 수업 도안이 증거를 수집하는 기회와 설명을 형성하는 기회만 있을 뿐, 문제 제기, 설명 평가, 발표하는 기회를 학습자에게 제공하지는 않는다는 파

Table 6. The essential features of scientific inquiry with teachers and students' involvements

교실 안에서의 탐구기본요소와 그 등급				
기본요소	등급 1	등급 2	등급 3	등급 4
학생들이 문제발달에 직접 참여 한다. 학생들이 문제를 제기한다.	학생들이 제시된 문제 중에서 선택하여 다른 문제를 제안한다.	교사로부터 주어지는 문제를 재정리해서 문제를 세운다.	교사나 다른 교과서 또는 참고서에서 문제가 주어진다.	
학생들이 자료를 수집하여 증거물을 구별한다.	학생들이 무엇을 실험하여 어떤 증거물을 찾을지 직접 결정한다.	실험하여 자료를 모을 수 있도록 절차적인 방법을 따른다.	주어지는 자료를 바탕으로 분석만 한다.	자료도 주어지도 자료 분석 또한 지시대로 따른다.
증거를 바탕으로 설명을 형성한다.	수집된 증거를 바탕으로 학생들이 직접 설명을 형성할 수 있는 기회가 있다. 증거를 바탕으로 설명을 세우는데 약간의 지침을 받는다.	증거를 바탕으로 설명을 도식화하는 방법을 제안 받는다.	증거와 함께 설명이 주어진다.	
과학적 지식을 사용하여 설명을 정당화한다.	직접 다른 지식과 연결 지어 자신이 세운 설명을 정당화 한다.	어떤 과학적 지식을 써야 될지 교사로부터 지침을 받는다.	모든 과학적지식이 주어진다.	
학생들은 과학적 논증의 기회를 통해 검증과 반증 과정을 거쳐 이론을 발표한다.	적당한 논증을 통해 자신의 설명을 발표로 통해 정당화한다.	교사로부터 지침을 받아 논증의 기회를 갖는다.	전체적으로 논증을 쓸 수 있는 기회를 교사로부터 도움을 받는다.	논증이나 논의의 과정을 교사로부터 하나하나 지시를 받는다.
많이		학생들의 제어도		적게
조금		교사나 교과서의 지침도		많이

약하고 모든 기본요소가 포함되도록 새로운 탐구 수업을 개발하도록 하였다. 그 결과, 수업에 참석한 예비교사들은 진정으로 탐구가 무엇인지 탐구 수업에 어떤 요소가 있어야 하는지를 인식하게 되었다. 단순한 논증의 기회를 제공하는 탐구 수업의 형태는 미국 교실에서도 나타난다. 미국 중서부의 한 중학교에서의 교실 과학 수업 관찰을 통해 학생들이 어떤 방식으로 논증의 기회를 제공받으며 또한 논증 정도의 수준은 어떠한지 연구한 결과, 학생들은 교사의 질문에 따른 간단한 답만 열거하고 간혹 설명을 할 수 있는 기회만 있을 뿐, 설명을 강화하는 또는 반박하는 확장된 논증의 기회는 드물었다는 것이 보고되었다(Park, 2005). 또한 학생들 자신의 생각을 논리적으로 표현할 수 있는 전체 또는 그룹 발표 시간도 많지 않았다.

Table 6은 과학 탐구의 기본요소가 교사와 학생의 참여에 따라 어떻게 변하는지를 등급으로 표시하였다. 각 등급으로 그 수업의 탐구 수준 정도를 알 수 있다. 모든 요소가 1등급일 때 과학자들이 수행하는 실질적 과학 탐구라 할 수 있을 것이며 소위 열린 탐구(open inquiry)라고 할 수 있다. 교실 상황에 따라 학습자의 능력에 따라 교사 및 학생의 참여도는 다

양하게 변할 수 있으며 이 상황에 맞는 학생의 활동 및 교수법 또한 다양하게 나타날 것이다.

과학 논증을 위한 넷째 조건-과학 탐구 교수 모델 개발

과학 탐구의 명확한 정의 및 목적, 학생과 교사의 참여정도에 따른 과학 탐구 기본요소의 이해를 바탕으로 과학 탐구 교수법을 생각해보자. 이 교수법은 일반교사가 교실 상황과 학습 내용, 및 참여하는 학습자를 파악한 후 수정 적용해야 할 것이다. 이 글에서는 일반적으로 소개되고 있는 과학 탐구 교수법 2가지와 미국 오레곤 주립대학 및 교육부 연구팀에서 개발한 교수법을 간단히 소개하고자 한다.

(1) The K-W-L 모델

K-W-L(what you **Know**, what you **Want to know**, and what you've **Learned**) 차트는 학생들로 하여금 과학 탐구 활동에 참여하게 하는 교수법이다. 교사가 “눈(snow)”에 대해 가르친다고 하자. 교사는 아마도 학생들에게 무엇을 알고 있는지 선지식을 질문할 것이고 궁금한 것이 무엇인지 알아볼 것이다. 학생들의 토론 속에 탐구 문제는 제기될 수 있으며 이를 출발

점으로 학생들은 탐구 활동에 참여하게 된다. 이 모델은 교사가 학생들의 선지식 외에 오개념을 확인할 수도 있다. K-W-L 차트는 전통적으로 초등학교에서 많이 사용되지만 중등학교에서도 효과적으로 사용할 수 있다. 교사의 전반적인 과학 지식이 이 교수법을 사용하는데 중요한 요소이다. 만약 “눈”에 대해서 탐구 활동을 수행한다면, 교사는 최소한 학생들이 어느 내용에서 해답을 찾을 수 있는지 알아야 하는 것이다. 초등학교의 교사는 다른 멘터 교사, 또는 전문가, 인터넷 정보, 교사 연수를 통해서 교과목의 지식을 강화해야 할 것이다. 하지만 모든 것을 안다는 것은 불가능할 뿐만 아니라 불필요하다. 탐구 과정에 학생들에게 “나도 잘 모르겠는걸. 우리 한번 찾아볼까?”의 태도는 한 커뮤니티 안에서 교사와 학생들이 서로 협력 연구자로서 탐구하는 과정을 만들 수도 있다.

(2) 순환 학습

이 모델(Fig. 3)은 연방과학협회의(National Science Foundation)에서 1960년대에 과학적 탐구를 위해 개발한 교수법으로서, 각 단계는 학생들의 개념 이해의 폭을 넓히기 위하여 질문, 활동, 경험, 그리고 보기들을 사용하여 익힌 후, 그 새로운 개념을 새로운 상황에 적용해 보는 것이다. 학생들은 우선 자신들의 호기심에 자극이 되도록 여러 기술과 지식을 탐험을 한다(exploration). 그 후, 교사는 학습 목표에 맞는 기술과 지식(concept)을 소개를 하며, 마지막에 상황을 제공하여 소개받은 기술과 지식을 응용(application)을 하는 것이다. 전체적으로 이 순환 과정 동안에 형성평가(formative assessment)가 이루어진다.

이 모델의 처음 두 단계(exploration and concept)를 경험하고 나면, 학생들은 어느 정도 탐구를 위한 내용

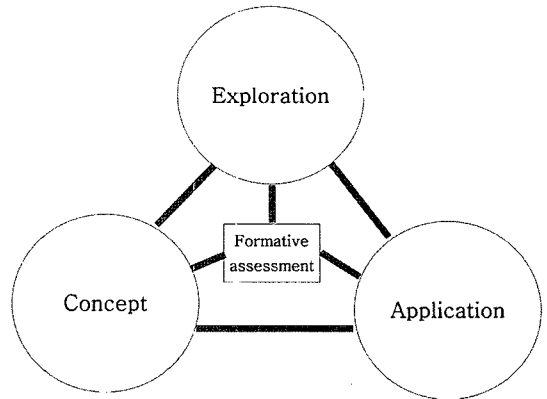


Fig. 3. Learning cycle and its elements.

및 기술적인 면에 해당하는 지식을 배우게 된다. 이 상태가 마지막 단계인 응용(application)에 준비된 것이며 새로운 과학적 문제에 자신들이 배운 지식과 경험을 적용한다. 다음의 Learning Cycle 계획서는 응용 단계로 가기 전에 유용한 계획서이다(Table 7).

(3) 디자인 스페이스(Design space)

이 모델은 교사가 특정한 과학 탐구 활동과 실험 설계를 어떻게 해야 하는지에 대한 정보를 갖고 있어야 한다. Design Space의 요소는 다음과 같다.

- 경험(experience): 학생들이 앞으로 행할 탐구 활동의 경험이 있어야 한다.
- 과학 탐구 기술(scientific inquiry skill): 적용 가능한 절차적인 방법 습득
- 과학적 지식(scientific knowledge): 사실, 원리, 이론, 그리고 법칙

Table 7. Learning cycle planner

순환 학습 계획 활동지		
제목		
학습 목표:		
학습 내용		
탐험 단계:		
실험 내용		
멀티미디어를 통한 탐험 활동		
개념 발달 단계		
가르쳐야 할 개념:		
가르쳐야 할 기술:		
활동:		
가이드 탐구	모둠 탐구	개인 탐구

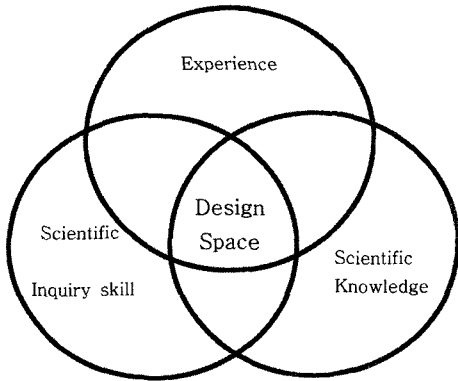


Fig. 4. Design space.

이 모델은 3개의 영역이 겹치며 이 영역에서 Design Space의 모델을 적용할 수 있다(Fig. 4). 각각의 영역에 대해서 살펴보자.

(가) 경험(Experience)

학생들이 친근한 경험에서 오는 과학 탐구를 설정해야 한다. 학생이 잘 알고 있는 내용의 탐구 과정이 펼쳐진다면 이 학생은 일단 이 모델의 한 영역인 “경험” 부분이 매우 확장되어 있는 것이다. 그리고 주어진 문제에 성공적으로 탐구를 수행할 수 있는 가능성이 커진다는 것이다.

(나) 과학 탐구 기술(Scientific Inquiry Skill)

이 모델의 다른 영역이다. 앞에서 언급했듯이 여기서의 기술은 두 작은 영역으로 나뉘는데, 하나는 질차적인 기술, 다른 하나는 인지 능력과 관련이 있는 사고 기술이다. 이 두 가지의 기술이 학생들로 하여금 탐구 설계를 하는데 있어서 이상적인 판단을 할 수 있도록 도와준다.

(다) 과학적 지식(Scientific Knowledge)

예를 들어 식물이 빛이 있는 곳에서 더 잘 자라는

지 암실에서 잘 자라는지 알아보는 탐구를 한다고 가정하자. 물론 녹색식물은 빛을 이용하여 자라는데 필요한 에너지를 만들어낸다. 하지만 많은 학생들이 씨를 심은 후 단지 며칠 동안만 관찰하여 해답을 찾고자 한다. 이러한 학생들은 암실의 씨도 빛이 있는 곳의 식물만큼 자란다는 것을 발견하게 될 것이다. 이는 빛이 없어도 벌써 씨 안에 저장된 에너지를 사용하여 자라기 때문이다. 탐구를 가능케 하는 적절한 과학적 지식이 제공되어야 한다.

(4) 주장-근거 교수법(Claim-Evidence Approach)

이 교수법은 종전의 귀류법으로 사용해 왔던 탐구 모델을 연역적인 법으로 바꾼 것이다. 종전의 탐구는 보통 학생들이 세운 가설에 적당한 자료를 수집, 해석하여 결론에 도달하게 된다. 이 Claim-Evidence Approach 교수법은 연역적인 방법으로 우선 교과서를 바탕으로 학생들이 과학적 원리 또는 법칙을 읽기와 교사와의 토론을 통해 익힌 후 이 원리를 바탕으로 자신들의 경험에 비춰 논리적인 주장(claim)을 세우는 것이다. 이것은 학생들의 언어로 표현된 주장이며, 교사는 학생들이 얼마나 논리적으로 표현하였는지 검사한 후 다음 단계의 문제 제기 및 증거 수집에 들어가게 된다. 이 교수법은 교실 과학 탐구의 문제점이 논증의 기회가 주어지지 않는다는 것에 중점을 두고 개발한 것이다. 학생들은 자료 수집 후 증거물을 구분할 줄 알아야 하며, 이 증거물들을 이용하여 자신이 세운 주장을 얼마나 지지할 수 있는지, 그렇지 않은지를 보여야 한다. 이것이 논증의 기회이다. Table 8은 일반적으로 사용 가능한 주장-근거 교수 틀이다. Park(2005)의 연구 결과에 의하면, 이 교수법을 채택하여 사용한 결과 과학 내용 학습과 실험이 동시에 가능하게 할 수 있었으며 교과서가 과학 탐구하는데 있어서 주요 공급원이 될 수 있었다고 한다.

이상으로 과학 탐구 실행을 위한 교수 모델을 간단히 살펴보았다. 탐구 모델은 아이디어만 소개할 뿐

Table 8. The claim-evidence approach for scientific argumentation

나의 주장은 무엇인가?	이러한 주장에 적당한 증거가 될 수 있는 문제는 무엇인가?	내 주장을 받아 들일 수 있는 증거는 무엇인가?	어떠한 증거가 나의 주장을 반박하는가?	실질적으로 어떠한 증거를 받아들여야 하는가?
--------------	----------------------------------	----------------------------	-----------------------	--------------------------

이다. 이 모델들이 구체적으로 어떻게 교실 안에서 실행되는지는 교사 연수 프로그램을 통해서 직접 경험하고 계획하고 실행하고 반성하는 가운데 그 해답을 찾을 수 있을 것이다.

맺는 말

과학자들이 하는 과학 탐구는 무엇이며, 그것이 학교에서 실행되는 학생들의 탐구와는 어떻게 다른지 알아보았다. 학교 과학 탐구의 문제점과 해결점 또한 분석하여 보았다. 시사되는 바는 교사들의 노력을 통해서 학생들은 과학자가 하는 것과 같은 실질적 과학 탐구의 경험 기회를 경험할 수 있으며, 이러한 경험이 적절한 교수법을 통해 실현되어야 하고 교수법의 개발과 선택에 있어서는 교사들이 명확하고 정확한 과학 탐구의 정의 및 목적에 대한 이해가 앞서야 한다는 것이다. 교사의 교수법에 대한 지식(knowledge)과 신념(belief)은 그들의 실천(practices)으로 그대로 나타나기 때문이다. 과학 탐구의 정의를 알고, 구조적이고 명확한 탐구 목적을 설정한 후 탐구의 기본요소를 탐구 모형에 반영해 가며 탐구 수업을 계획해야 하는 것이다. 탐구 수업 계획 속에서 설정하게 되는 교수법의 선택은 학생 수준, 교실 상황, 가능한 실험 도구 및 공학을 고려하여 이루어져야 할 것이다.

현대 과학 교육의 중요한 목표는 과학적 소양 함양이다. 즉, 학생들로 하여금 스스로 정보를 찾고, 이를 이용하여 과학적·사회적 문제를 판단하고 해결하는 능력을 키워줘야 한다. 이 능력은 과학자들의 그것들과는 다르지만 연습을 통해 어느 정도 함양 및 도모할 수 있으며 이러한 기회 제공이 교사의 역할이다. 이러한 기회가 앞서 말한 과학 탐구를 통한 과학적 논증 기회이며 학생들 간의 담화(discourse) 도중 교사는 동기 유발 및 자극이 되는 질문과 확장된 힌트를 통해 학생들의 논증 기회와 수준을 높이게 된다. 교사의 명확한 과학 탐구의 정의, 목적, 및 기본 요소에 대한 이해는 학생들이 논증 활동을 통해 과학자들이 하는 실질적 과학 탐구를 최대한 경험할 수 있도록 도와주고 수업 설계 및 교수법을 개발해야 한다는 것은 현 우리나라 과학 교육 현실을 고려할 때 그 시사하는 바가 매우 크다 하겠다.

참고문헌

- 교육부, 1997, 과학과 교육과정. (주)대한고과서, 서울, 90 p.
- 김희경, 송진웅, 2004, 학생의 논변활동을 강조한 개방적 과학탐구활동 모형의 탐색. 한국과학교육학회지, 24(6), 1216-1234.
- American Association for the Advancement of Science, 1993, Benchmarks for science literacy. Oxford University Press, NY, USA, 418 p.
- Bybee, R.W., 2000, Teaching science as inquiry. In Minstrell, J. and Van Zee, E.H. (eds.), Inquiring into inquiry: learning and teaching in science. Washington, D.C., American Association for the Advancement of Science, 21-46.
- Chinn, C.A., and Malhotra, B.A., 2002, Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. Science Education, 86, 175-218.
- Crawford, B.A., 1998, The poisons project: Motivate your students with inquiry-based unit. Science Scope, 21(5), 18-21.
- Crawford, T., Kelly, G.J., and Brown, C., 2000, Ways of knowing beyond facts and laws of science: An ethnographic investigation of student engagement in scientific practices. Journal of Research in Science Teaching, 37(3), 237-258.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., and Scott, P., 1994, Constructing scientific knowledge in the classroom. Educational Researcher, 23(7), 5-12.
- Driver, R., Newton, P., and Osborne, J., 2000, Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. Science Education, 84, 287-312.
- Dunbar, K. and Klahr, D., 1989, Developmental differences in scientific discovery processes. In Klahr, D. and Kotovsky, L. (eds.), Complex information processing: The impact of Herbert, A. Simon Lawrence Erlbaum Associates, NJ, USA, 109-143
- Flick, L.B., 1997, Focusing research on teaching practices in support of inquiry. Annual Meeting of the National Association of Research in Science Teaching, Oak Brook, IL.
- Gallagher, J.J. and Tobin, K., 1987, Teacher management and student engagement in high school science. Science Education, 71(4), 535-555.
- Jimenez-Aleixandre, M.P. and Bugallo-Rodriguez, A., 1997, Argument in high school genetics. Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Chicago, IL.

- Keys, C.W. and Kennedy, W., 1999, Understanding inquiry science teaching in context: A case study of an elementary teacher. *Journal of Science Teacher Education*, 10(4), 315-333.
- Khishfe, R., and Abd-El-Khalick, F., 2000, The Influence of explicit reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. Annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans, LA.
- Krajcik, K., Blumenfeld, P.C., Marx, R.W., Bass, K.M., Fredricks, J., and Soloway, E., 1998, Inquiry in project-based science classrooms: Initial Attempts by middle students. *The Journal of the Learning Science*, 7(3-4), 313-350.
- Kuhn, D., 1989, Children and adults as intuitive scientists. *Psychological Review*, 96(4), 674-689.
- Lederman, N.G., 1992, Students' and teachers' conceptions about the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 331-359.
- National Research Council, 1996, National Science Education Standards. National Academy Press, Washington, D.C., USA, 262 p.
- National Research Council, 2000, Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning. National Research Council, Washington, D.C., USA, 410p.
- Newton, P., Driver, R., and Osborne, J., 1999, The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21(5), 553-576.
- Park, Y.-S., 2005, Analyzing explicit teaching strategies and student discourse for scientific argumentation. Doctoral dissertation, Oregon State University, 286 p.
- Reif, F., and Larkin, J.H., 1991, Cognition in scientific and everyday domains: Comparison and learning implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 733-760.
- Reiff, R., Harwood, W.S., and Phillipson, T., 2002, Scientists' conceptions of scientific inquiry: Voices from the front. Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, New Orleans, LA.
- Ritchie, S.M., and Rigano, D.L., 1996, Laboratory apprenticeship through a student research project. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(7), 799-815.

2006년 3월 23일 접수
 2006년 6월 2일 수정원고 접수
 2006년 7월 3일 채택