

## 초등 예비교사의 자기 모델 탐구 과정과 과학적 모델에 대한 이해 변화

윤혜경

(춘천교육대학교)

**Pre-service Elementary Teachers' Inquiry on a Model of Magnetism and Changes in Their Views of Scientific Models****Yoon, Hye-Gyoung**

(Chuncheon National University of Education)

**ABSTRACT**

An alternative vision for science inquiry that appears to be important and challenging is model-based inquiry in which students generate, evaluate and revise their explanatory model. Pre-service teachers should be given opportunities to develop and use their mechanistic explanatory models in order to participate in the practice of science and to have a sound understanding of science. With this view, this study described a case of pre-service elementary teachers' scientific modeling in magnetism. The aims of this study were to explore difficulties pre-service elementary teachers encountered while they engaged in a model-based inquiry, and to examine how their understandings of the nature of scientific models changed after the model-based inquiry. The data analysis revealed that the pre-service teachers had difficulties in drawing and writing their own thinking because they had little experience of expressing their own science ideas. When asked to predict what would happen, they could not understand what it meant to make a prediction "based on their model". They did not know how to use or consider their model in making a prediction. At the end of the model-based inquiry they reached a final consensus of a best model. However, they were very anxious about whether the model was the "correct" answer. With respect to the nature of scientific models, almost all of the pre-service teachers initially viewed models only as a communication tool among scientists or students and teachers to help understand others' ideas. After the model-based inquiry, however, many of them understood that they could create, test, and revise their "own" models "by themselves". They also realized the key aspects of scientific models that a model can be changed as evidence is accumulated and a model is a knowledge production tool as well as a communication tool. The results indicated that pre-service elementary teachers' understandings of the nature of scientific models and their previous school science experiences could affect their performance on a model-based inquiry, and their experience of scientific modeling could help them enhance their understandings of the nature of scientific models.

**Key words :** model-based inquiry, explanatory models, models of magnetism, pre-service elementary teachers, the nature of scientific models

**I. 연구의 필요성**

‘식물에게 콜라를 주면 더 잘 자라는가?’, ‘식물에게 음악을 틀어주면 더 잘 자라는가?’, ‘어떤 종류의 휴지가 물을 가장 잘 흡수하는가?’, ‘작은 설탕 조

각과 큰 설탕 조각 중 어느 것이 물에 잘 녹는가?’

위와 같은 탐구 주제는 초등학생들의 탐구 활동에서 흔하게 볼 수 있는 것들이다. Windschitl *et al.*(2008)은 학교에서 이루어지는 이러한 전형적인 과학 탐구를 ‘과학적 방법(the scientific method)’이라는 용어로

지칭하였다. 대부분의 교사와 학생들은 관찰하고, 질문하고, 예측하고, 실험하고, 데이터를 분석하고, 결론을 진술하는 것이 과학적 방법이라고 생각한다 (Abell & Smith, 1994; Lederman, 1992). Windschitl *et al.* (2008)은 이와 같은 ‘과학적 방법’의 학교 과학 탐구 활동이 갖는 문제점을 지적하면서 현재의 학교 과학 패러다임이 학습자들에게 과학에 대한 왜곡된 이미지를 심어 주고 있음을 지적하였다. 그들이 지적한 문제점을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 많은 경우 학생들은 탐구를 하면서 왜 그러한 질문을 다루어야 하는지, 활동의 목적이 무엇인지를 명확히 모르는 경우가 많다. 위의 질문들은 매우 임의적인 것이며, 과학적 원리나 법칙, 이론과 명확한 연관이 없는 것이다. 즉 식물에게 콜라나 음약이 왜 혹은 어떻게 영향을 줄 수 있을 가능성이 있는지, 물을 흡수하는 것은 휴지의 어떤 특성과 관련이 되는 것인지에 대한 어떠한 초기 모델도 내재되어 있지 않다. 둘째, 이러한 탐구는 대개 통제 집단과 실험 집단을 비교하는 직접적인 실험만이 데이터를 수집하는 유일한 방법이라고 여기도록 한다. 그러나 실제 지질학, 진화생물학, 천문학 등에서는 변인 통제를 통한 실험이 불가능하다(Latour, 1999). 셋째, 결과가 어떤 조건에서 나왔는지에 대한 데이터만 나오게 되며, 그것에 갈려 있는 설명에 대해서는 거의 다루어지지 않는다(Chinn & Malhotra, 2002; Driver *et al.*, 1996; Yoon *et al.*, 2011). 예를 들어 작은 설탕 조각이 큰 설탕 조각보다 빨리 녹는다는 결과만을 얻을 뿐 분자 운동이 어떻게 설탕 분자의 화학적 결합을 끊는 것인지는 다루어지지 않는다. 마지막으로 과학을 일련의 정해진 절차를 따라가는 단선적인 과정으로 묘사하고 각 단계가 불연속적이며 이전 과정이 완성되어야 다음 단계가 진행되는 생각을 강화시킨다.

Hodson(1996)은 과학 탐구는 단순히 경험적 데이터를 수집하고 해석하는 것 이상이며, 과학 탐구는 경험적 탐구를 포함하지만 그 역은 성립하지 않는다고 지적하였다. Solomon *et al.*(1994)도 어떤 주방용 휴지가 물을 가장 잘 흡수하는지, 어떤 테이프가 가장 접착력이 좋은지 등을 알아내는 것과 같은 간단한 기술적 테스트는 과학 지식이나 설명과 관련되어 있지 않으므로 결과가 흥미롭다고 하더라도 진정한 의미의 탐구가 아니라고 주장하였다.

위와 같은 비판에 기초하여 최근 모델 중심 과학

탐구가 강조되고 있다(Schwarz *et al.*, 2009; Windschitl *et al.*, 2008). 과학적 모델과 모델링 과정이야말로 실제 과학의 핵심적인 특징이므로 과학교육에서는 모델 중심의 탐구 활동이 이루어져야 한다는 것이 이들의 핵심 주장이다. 먼저 과학적 모델에 대한 몇 가지 정의를 살펴보면 다음과 같다.

- 과학적 모델은 세계의 어떤 측면이 어떻게 작동하는지를 나타내 준다. 과학자들은 세포에서 우주에 이르기까지 시스템의 조직을 이해하고 기술하기 위한 수단으로, 그리고 증발로부터 먹이-천적 관계까지 자연적 과정을 이해하고 기술하기 위한 수단으로 비유, 개념적 도해, 다이어그램, 그래프, 지도, 물리적 구성물 그리고 컴퓨터 시뮬레이션의 형태로 모델을 만들어 낸다(Windschitl & Thompson, 2006).
- 모델은 특징을 명확하게 하기 위해 시스템을 추상화하고 단순화하는 표상이다(Gobert & Buckley, 2000).
- 과학적 모델은 어떤 현상의 시스템을 추상적으로, 단순화하여 표상한 것이며 주요한 특징을 명확하게 가시적으로 만든 것으로 설명하고 예측하는 데 사용될 수 있다(Harrison & Treagust, 2000).

과학적 모델의 예는 보어의 원자 모델, 물질에 대한 입자 모델, 우리가 물체를 어떻게 보는지에 대한 광선 모델, 물의 순환 모델, 유기체 사이의 상호관계를 나타내는 먹이 그물 모델 등을 들 수 있다. 어떤 학자들은 현상을 설명하기 위해 구성된 모델과 의사소통을 위해 표상적 도구로 사용된 모델을 구분하기도 한다(Romberg *et al.*, 2005). 이 논문에서 과학적 모델은 표상적 도구가 아닌 현상을 설명하기 위한 설명적 모델을 말한다. 관찰한 현상을 설명하기 위한 모델을 만드는 것은 과학자들이 세상을 이해하기 위해 사용하는 기본적인 방법 중 하나이다. 그리고 이러한 모델들이 과학 지식의 대부분을 구성한다(원자 모델, 자연 선택 이론 등). 설명적 모델은 단지 관찰된 것을 기술하는 것을 넘어서 관찰된 현상을 일으킨 보이지 않는 실체나 과정을 제안한다. 다시 말해 모델은 관찰된 현상에 대한 메커니즘을 제공한다(Chin & Brown, 2000; Russ *et al.*, 2008). 좋은 설명적 모델은 이전에 수집된 데이터를 설명하고, 특정 상황에서 무엇이 일어나는지를 예측한다(Schwartz & White, 2005). 이러한 예측은 실험이나

추가적인 관찰을 통해 테스트된다. 추가적인 증거가 모델에 의해 설명이 가능하면 그 모델은 신뢰성을 얻게 되며, 불일치 증거는 그 모델을 거부하거나 수정하도록 한다.

모델 중심의 과학 탐구란 학습자가 자연 세계를 이해하고 예측하는데 사용될 수 있는 과학적 모델을 생성하고, 평가하고, 수정하는 것에 초점을 두는 지도 방향을 말한다(Lehrer & Schauble, 2003; Schwarz & White, 2005; Windschitl & Thompson, 2006). 이것은 반복적인 모델의 수정을 통해 이론과 증거가 일치되도록 하는 과정이다. 학교 과학교육을 통해 과학의 본성에 대한 이해를 증진시키는 것이 중요하다(Lederman, 2006)는 점에 동의한다면, 그리고 단선적인 과정으로 묘사되는 ‘과학적 방법’이 과학에 대한 올바른 지식을 얻는 인식론을 가져올 수 있다(Windschitl *et al.*, 2008)는 것에 동의한다면 과학교육에서는 학생들이 자연 현상의 메커니즘을 설명하는 과학적 모델을 개발하고, 그것을 사용하고, 수정해 가는 활동을 포함시켜야 한다. 또, 이러한 모델 중심의 탐구 활동에서는 과학적 모델이 자연 세계를 설명하고 예측하기 위한 것이라는 점을 학습자가 이해하는 것이 중요하다(Schwarz & White, 2005). Russ *et al.* (2008)은 어린 아동조차도 기회가 주어지면 그러한 모델을 개발할 수 있음을 주장하였다. 그러나 학교 과학교육에서 아직 모델링은 거의 실시되고 있지 않다(Chinn & Malhotra, 2002; Windschitl & Thompson, 2004). 또한 대부분의 교사들은 모델, 모델링, 모델 중심의 탐구에 대해 매우 제한된 경험과 지식을 가지고 있으며, 과학 지식이 어떻게 생성되는가에 대해 그리고 모델이 이 과정에서 어떠한 역할을 하는지에 대해 세련된 지식을 가지고 있지 않다(van Driel & Verloop, 1999, 2002; Windschitl & Thompson, 2006). 따라서 무엇이 모델 중심의 탐구이고, 어떻게 과학적 모델에 대한 이해를 증진시킬 수 있는지에 대한 구체적 사례 연구가 필요하다.

요컨대 어떤 현상에 대한 설명적 모델을 구성하고 이에 기초하여 예측, 검증하고, 모델을 다시 수정하는 능력은 과학의 모든 영역에서 핵심적인 과학 탐구 능력이며, 이러한 과학적 모델의 역할을 이해하는 것 또한 과학의 본성에 대한 이해와 관련하여 매우 중요하다고 할 수 있다. 그러나 초·중등학교 과학교육에서 그리고 교사교육과정에서 모델 중심 탐구 활동의 경험은 매우 제한되어 왔다. 따라서 예비

교사들에게 모델 중심 탐구 활동은 비교적 새로운 형태의 탐구 활동이라고 할 수 있으며, 이들의 탐구 활동 과정을 자세히 성찰해 보는 것은 앞으로 이러한 유형의 탐구 활동을 장려하고 발전시키기 위해 필요한 첫 걸음이 될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 초등 예비교사들이 자기 현상에 대한 모델을 생성하고, 평가하고, 수정하는 모델 중심 탐구 활동 과정을 자세히 탐색하고자 하였다. 연구 대상인 초등 예비교사가 대부분 모델 중심의 탐구 활동 경험이나 과학적 모델에 대한 이해가 부족하다는 것을 고려하여 자기 현상에 대한 모델 중심의 탐구 활동을 실시하면서 동시에 과학적 모델의 역할에 대한 예비교사의 이해를 증진시키고자 하였다. 그리고 이 과정에서 교사교육자(연구자) 자신의 수업 과정을 반성적으로 고찰하였다. 구체적인 연구 질문은 다음과 같다.

1. 초등 예비교사들의 자기 모델 탐구 과정은 어떠한가? 어떠한 어려움이 나타나는가?
2. 모델 중심 탐구 활동을 통해 초등 예비교사의 모델에 대한 이해는 어떻게 발전하는가?

첫 번째 질문이 초등 예비교사들의 실제 탐구 내용과 결과에 대한 것이라면 두 번째 질문은 과학적 모델의 본성에 대한 이해에 대한 것이다. 본 연구는 예비교사의 모델 중심 탐구 활동의 한 예를 제공함으로써 그것의 필요성과 의의, 효과적인 실시 방법을 논의하는데 시사점을 줄 수 있을 것이다.

## II. 연구 방법 및 내용

이 연구는 교사교육자의 자기 연구(self study)라고 할 수 있다. 자기 연구는 교사교육 분야에서 최근 새로운 연구 형태로 자리 잡아 가고 있는데, 이것은 교사교육에서 ‘반성적 실천’을 강조해 온 것과 관련된다. 지난 20년간 교사교육에서는 교사를 ‘반성적 실천가’로서 양성하기 위한 노력이 이어져 왔다(Schön, 1983; Nichols *et al.*, 1997). 반성적 실천을 옹호하는 많은 사람들은 Dewey(1933)의 반성적 사고에 대한 이론을 언급한다. Dewey에게 있어서 가르치는 것과 반성은 분리될 수 없는 개념이다. 가르치는 것에 대한 이러한 개념화는 교사교육자의 자기 연구의 타당성과 필요성을 설명하는 기반이 된다. 만약 가르치는 것이 교사교육자가 하는 일이라면, 가르치는 것은 반성을 포함해야 하고, 자기 연구는 반성의 형

태로서 교사교육자 행동의 필수적인 부분이 되어야 한다. 또한 교사교육자는 예비교사가 반성적이 되도록 격려하는 것을 넘어서 교사교육자 자신이 반성적으로 가르치도록 해야 한다. 자기 연구는 교사교육자의 그러한 반성을 체계화하고 형태를 갖추도록 하며(Dinkelman, 2003) ‘자신’을 연구 과정이나 교육적인 실천에서 절대 분리할 수 없다는 포스트모던니스트의 가정에서 이루어진다(Loughran *et al.*, 2004). 실천가 자신이 연구자의 역할을 하므로 내부자적 관점에서 연구가 이루어지는 것이며, 특정 교육적 상황에서 일하고 있는 사람이 그 상황에 대한 상당한 지식을 가지고 있다는 것을 기본 가정으로 하고 있다. 이와 같은 자기 연구는 대개 고등교육 수준에서 교사교육과 관련하여 이루어지는 탐구를 일컬으며 주로 전기적, 자서전적, 내러티브적 형태의 데이터 수집과 분석에 기초한다.

본 연구의 연구자는 초등 예비교사 교육에 약 9년의 경험을 가지고 있으며 물리교육을 전공하였다. 자기 모델에 대한 탐구 활동은 한 학기 전부터 실시하기 시작했으며 이번이 두 번째 시도이다. 새롭게 시도하는 활동의 의의를 탐색하고 보다 효과적으로 개선하고자 하는 의도에서 본 연구가 시작되었다. 연구의 주요 데이터는 연구자의 성찰 일지, 수업 비디오, 예비교사들이 작성한 설문과 그림 등이다. 이들 데이터로부터 연구자 자신의 주요 반성 내용을 포착하고 이 과정들을 공적인 것으로 만들기 위해 데이터를 교차 분석하였다. 즉 여러 형태의 데이터들은 연구자의 반성 내용을 객관화하기 위해 삼각검증을 위한 자료로 상호보완적으로 사용되었으며 연구자는 ‘나’를 기준으로, 수업의 의도와 결과, 반성의 내용을 서술하였다. 연구자는 연구 과정 내내 성찰 일지를 작성하였으며 특히 수업 직전과 직후에 성찰 일지를 통해 연구자의 생각과 느낌, 관찰 사항, 반성의 내용을 기록하였다. 이후 연구자 자신의 성찰 일지를 반복적으로 읽으면서 주요한 이슈를 포착하고 보다 구체적인 데이터를 통해 이것을 분석하기 위해 수업 비디오, 사전 사후 설문, 예비교사들의 글과 그림 등의 자료를 활용하였다.

본 연구에서 진행된 자기 모델 탐구 활동은 “물리와 일상 사고(Physics and Everyday Thinking)” (이하 PET, Goldberg *et al.*, 2006)의 내용을 기초로 구성하였다. PET는 초등 예비교사 혹은 현직교사를 위해 개발된 물리 내용 중심의 교육과정이다. 본 연

구에서는 PET 4장의 일부 내용을 수정, 보완하여 사용하였으며, 탐구 활동은 3주간에 걸쳐 실시되었다. 연구 대상은 C교육대학교 3학년 4개 분반 133명(사회교육 전공, 윤리교육 전공, 교육학 전공, 영어교육 전공)의 학생들이다. 이 학생들은 1학년 과정에서 4학점의 과학 관련 교양 강좌를 이수하였으며 3학년 1학기에 2학점의 과학교육 관련 강좌를 이수하였다.

그림 1은 3주간 이루어진 탐구 활동의 흐름과 이 과정에서 수집한 데이터의 종류를 보여 준다. 사전 설문과 사후 설문은 별도로 실시된 것이 아니라 수업의 일부로 실시되었다. 사전 설문은 과학적 모델에 대한 예비교사들의 생각을 드러내고 전체 탐구 활동에 대해 안내하기 위한 과정으로 활용되었으며, 사후 설문은 예비교사 자신이 탐구 활동을 돌아보고 과학적 모델에 대해 변화된 생각을 확인하기 위한 과정으로 활용되었다. 사전 사후 설문 후에는 전체 토론이 이어졌다.

### III. 연구 결과

연구 결과는 자기 모델을 구성하는 탐구 활동이 이루어진 과정을 몇 개의 의미 단락으로 나누어 기술하면서 논의될 것이다. 연구 문제별로 기술하지 않고 탐구 활동의 흐름에 따라 결과를 기술하는 것은 전체 탐구 활동의 구체적 상황이 제시될 필요가 있

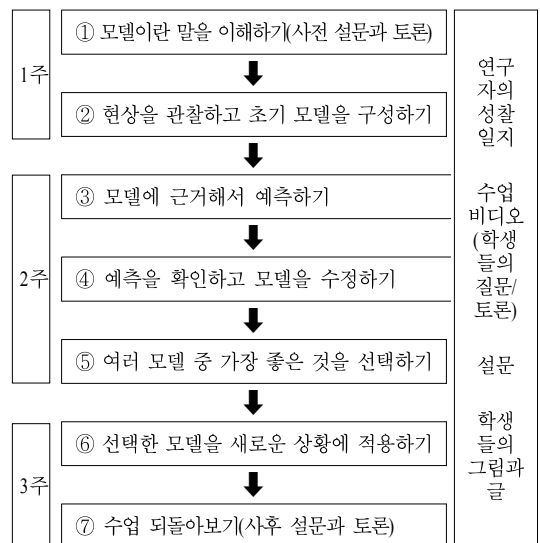


그림 1. 자기 모델 탐구 활동의 흐름

기 때문이다. 또한 연구자의 생각과 의도, 행동을 명확하게 나타내기 위해 연구자인 ‘나’의 내러티브를 사용하였다.

### 1. 모델이란 말을 이해하기

나는 자기 모델 탐구 활동을 통해 예비교사들의 물리 내용 지식뿐 아니라 과학에서 모델의 역할에 대한 이해를 증진시켜야겠다고 생각했기 때문에 먼저 예비교사들이 과학적 모델에 대해 어떻게 이해하고 있는지 간단한 설문을 통해 조사하였다. 설문지에는 두 개의 문항이 주어졌다(과학자들은 어떤 목적으로 모델을 만들어 사용한다고 생각하십니까? 과학을 가르치고 배우기 위해 학생과 교사는 모델을 어떻게 활용할 수 있다고 생각하십니까?).

국내외의 선행 연구(오필석, 2009; Smit & Finegold, 1995)에 의해서 밝혀진 것과 유사하게 나의 수업에 참여한 예비교사들도 대부분 과학 지식을 쉽게 설명하기 위해, 보이지 않는 것을 쉽게 가시화하기 위해 모델을 구성하거나 사용한다는 생각을 가지고 있었다. 또한 과학자들이 모델을 사용하는 목적이나 과학 학습에서 교사나 학생이 모델을 사용하는 목적이 같다고 인식하고 있었다. 즉, 모델은 과학자들 사이에서 혹은 교사와 학생 사이에서 의사소통을 위한 수단으로 인식되었으며, 자연 현상을 설명하고 예측하기 위한 목적으로는 거의 인식되지 않았다. 예를 들어 원자 모형이나 DNA 모형은 보이지 않는 것을 가시화해서 쉽게 이해할 수 있도록 하는 것으로, 직접 눈으로 보고 손으로 만들어 보도록 하면서 흥미를 갖게 하기 위한 것으로 인식되었다. 사전 설문에서 모델이 현상을 설명하기 위한 생각을 표현하고, 그 생각을 발전시키기 위한 것이라고 인식하고 있는 학생은 전체 133명 중 3명 정도에 불과했다.

나는 과학적 모델이 자연 세계를 탐구하는 연구의 도구가 된다는 것을 암시하기 위해 ‘미스터리 원통(National Academy of Science, 1998)’을 모둠별로 1개씩 준비하였다. 이것은 과학의 본성을 위한 학습 활동에서 많이 이용되고 있는 것이다. 뚜껑이 있는 원통의 측면에 4개의 구멍이 있고, 이 구멍으로 네 개의 끈이 나와 있다. 이 네 개의 끈을 잡아 당겨 보고 원통 내부에 끈이 어떻게 배치되어 있는지 추론하는 활동이다. 학생들은 끈을 동시에 당겨 보기도 하고, 한 쪽 끈을 고정시키고 다른 끈을 당겨 보기도 하였다. 또 끈을 당길 때 끌려 들어가는 길이를

측정하기도 하였다. 학생들은 자신이 관찰한 다양한 현상을 설명할 수 있는 원통 속 끈 구조에 대한 모델을 제안하였다. 학생들은 뚜껑을 열어 내부를 확인해 보고 싶어 했지만 나는 뚜껑을 절대 열어 보지 않도록 하였으며, 끈의 배치를 추론하는 우리의 활동이 실제 과학자들의 탐구 과정과 어떤 점에서 유사한지에 대한 토론으로 이어갔다. 나는 과학자들이 원자 모델을 탐구하는 과정을 비유적으로 설명하였다. 과학자들은 원자 내부를 ‘보기’ 위해 다양한 방법으로 탐구를 한다. 예를 들면 러더퍼드는 전자를 쏘아 보고 어떻게 튕겨 나오는지 관찰하였다. 그리고 자신이 관찰한 현상을 효과적으로 설명하기 위한 원자 모델을 제안하였고 이것은 이후 다른 과학자들에 의해 검증되고 수정되었다. 많은 학생들이 ‘왜 절대로 원통의 뚜껑을 열어볼 수 없는지’ 의아해 하였는데, 나는 과학자들이 직접 원자를 관찰하여 원자 모델을 구성한 것이 아님을 설명하면서 과학자들이 직접 원리나 법칙을 “발견”하는 것이 아님을 강조하였다. 결국 과학 탐구에서 과학적 증거를 얻는 것, 증거를 뒷받침할 수 있는 설명을 구성하는 것, 자신의 설명을 검증받고 재구성하는 것이 중요하며 학생들도 일방적으로 과학 지식을 진리로 전달받는 것이 아니라 스스로 과학적 증거를 얻고, 이를 토대로 자신의 설명을 제안할 수 있는 기회가 필요하다는 것을 강조하였다. 그리고 앞으로 자기 현상에 대해 예비교사 자신이 직접 이와 같은 탐구 활동을 하게 될 것임을 설명하였다. 이로써 모델이 단순히 의사소통을 위한 목적이 아니라 자연 현상을 설명하고 예측하기 위한 것이라는 점에 대해 공감대를 형성하고자 하였다.

대부분의 학생들은 ‘미스터리 원통’ 활동을 무척 흥미로워 했으며 나 역시 이 활동이 자기 모델 탐구 활동에 대한 효과적인 선행 조직자(Ausubel, 1968) 역할을 하였다고 생각한다. 선행 조직자는 기존의 인지 구조에 새로 학습하게 될 내용을 연결하여 유의미한 학습이 일어나도록 돕는 역할을 한다. 보이지 않는 끈의 구조를 추론하는 활동과 보이지 않는 클립 내부에 대한 자기 모델을 구성하는 활동을 예비교사들이 연결시키며 탐구를 수행할 수 있을 것으로 기대했다. 사전 설문을 통해 나타났듯이 과학적 모델을 의사소통 수단으로만 생각하고 있는 학생들에게 곧바로 자기 모델 탐구 활동을 시작하도록 하였다면 자신이 무엇을 하는지, 왜 이러한 활동을 하는

지에 대해 이해하지 못하고 기계적 활동을 수행하게 될 수 있다. ‘미스터리 원통’은 이러한 선행 조직자 역할을 어느 정도 수행했지만, 짧은 시간 동안 ‘미스터리 원통’을 다루어 본 것이 과학적 모델과 모델 중심 탐구에 대한 충분한 이해를 가져오지는 못한 것 같다. 이것은 이후 탐구 활동 과정에서 드러났다.

## 2. 현상을 관찰하고 초기 모델을 구성하기

나는 먼저 학생들이 자화 현상을 관찰하도록 하였다. 못이나 클립을 막대자석으로 문지르기 전과 문지른 후 어떠한 변화가 있는지 관찰하는 것이다. 쇠 못보다는 자르기 쉽고, 충격에 의해 자성을 비교적 쉽게 없앨 수 있는 클립을 이용하였다. 실험 전 클립을 여러 번 떨어뜨리거나 망치로 충격을 주어 자성을 없애는 것이 필요하기 때문이다. 먼저 자성을 띠지 않은 클립 두 개를 일자로 펴서 머리와 꼬리 부분으로 양 끝을 명명하고, 이것을 구분하기 위해 색깔을 다르게 표시하도록 하였다(머리 부분은 빨간색, 꼬리 부분은 파란색으로 표시하도록 했다). 막대자석으로 문지르지 않은 두 클립 사이의 상호작용을 살펴보기 위해 클립 하나는 작은 스티로폼 조각 위에 놓아 물에 띄우고, 다른 클립 하나를 물에 띄워 놓은 클립에 가까이 가져가면서 머리-머리, 머리-꼬리, 꼬리-꼬리 부분의 상호작용을 관찰하고 결과를 기록하도록 하였다. 다음으로 두 클립 중 하나의 클립을 막대자석으로 문지른 후 문지른 클립과 문지르지 않은 클립의 상호작용을 관찰하도록 하였다. 그 다음은 두 개의 클립을 모두 막대자석으로 문지러 문지른 두 클립끼리의 상호작용을 관찰하도록 하였다. 실험 결과를 쉽게 비교하기 위해 막대자석으로 클립을 문지르는 방법은 모두 같은 방법으로 통일하였다(막대자석의 N극으로 클립의 머리 쪽에서 꼬리 쪽으로 문지르기). 추가적으로 물에 띄워 놓은 클립을 자유롭게 회전시켰을 때 나침반의 바늘과 같은 방향으로 정렬되는 것도 확인하도록 했다. 이 관찰로 학생들은 모두 클립을 막대자석으로 문지르기 전과 후에 클립 내부에 어떠한 변화가 생기며, 막대자석으로 문지른 클립은 자석과 같이 N극과 S극, 서로 다른 두 극을 가지게 된다는 사실을 관찰하였다.

이제 학생들은 자신들이 관찰한 현상을 설명할 수 있는 자신들의 모델을 구성해야 했다. 학생들은 막대자석으로 문지르기 전과 문지른 후 클립 내부

에 어떤 변화가 있었는지 그림과 글로 표현하도록 요청 받았다. 먼저 개인적으로 자신의 모델을 만들어 본 후 모둠 별로 토론하여 가장 좋은 모델을 선택하도록 했다. 모둠 내에서 하나의 모델로 의견을 수렴하지 못한 경우 한 모둠에서 2개의 모델이 제시되기도 하였다. 클립을 막대자석으로 문지르기 전과 후 내부에 어떤 변화에 있는가에 대해 예비교사들이 생성한 모델은 다양했지만, 크게 6가지로 범주화할 수 있었다(표 1).

학생들은 자신의 모둠에서 구성한 모델을 커다란 종이에 그림과 글로 나타내고, 이것을 칠판에 게시하여 학급 전체에 설명하였다. 예비교사들이 발표한 각 모델의 빈도는 표 2와 같다. 표 2를 보면 예비교사들은 N, S 입자 분리 모델과 +, - 입자 분리 모델을 초기 모델로 가장 많이 생각해 냈다는 것을 알 수 있다. 이 중 +, - 입자 분리 모델은 선행 연구에서도 성인들이 흔히 가지고 있는 오개념으로 밝혀진 것이다(Johnson, 1999). 예비교사들은 물질이 원자핵과 전자로 이루어져 있고, 무거운 원자핵에 비해 전자는 움직이기 쉽다는 것과 금속에는 자유롭게 움직일 수 있는 자유 전자가 있다는 것을 잘 알고 있었다. +, - 입자 모델은 이와 같은 예비교사의 사전 지식이 적용된 결과라고 할 수 있다. N, S 입자 분리 모델이 많이 나타난 것도 자석의 같은 극 사이에는 척력이, 다른 극 사이에는 인력이 작용한다는 사전 지식이 적용된 결과라고 볼 수 있다. 요컨대 막대자석으로 클립을 문지르면 클립 내부의 어떤 입자들이 있어 자석을 따라 이동한다고 생각하는 것이 예비교사들이 가장 먼저 떠올리는 초기 모델이라고 할 수 있다.

1주차의 수업은 표 2와 같이 초기 모델을 구성하고 공유하는 것에서 마무리되었다. 그러나 모델을 구성해 본 경험이 없는 예비교사들에게 이 과정은 그리 쉬운 것이 아니었다. 사후 설문에서 수업 중 어려운 점이 무엇인지를 물었을 때 이 과정은 가장 어려운 것의 하나로 인식되었다. 많은 학생들은 이러한 경험이 처음이며 자신의 생각을 그림이나 글로 나타내는 것 자체가 어려웠다고 응답하였다(60명).

- 당연하다고 생각한 자화 현상에 대해 모델을 만든다는 것이 처음에 어렵게 느껴졌다.
- 이런 식으로 수업해 본 적이 없어 낯설고 어려웠다.
- 나의 생각을 그림(가시적으로)으로 표현하는 것이 어려웠다.

모델 중심 탐구 활동 뿐 아니라 모든 과학 수업에서 학습자가 자신의 생각을 말이나 글, 그림으로 나타내는 것은 매우 중요하고 구성주의적 관점에서 교사의 가장 중요한 역할 중 하나는 학습자의 생각을 드러내고 그에 기초해서 가르치는 것이다. 나는

학생들이 그들의 초중등 과학 수업에서 자신의 생각을 적극적으로 표현해 본 경험이 많지 않았다는 것을 다시 확인할 수 있었고, 이것이 어떤 현상에 대한 학생들 자신의 과학적 모델을 구성하는데 가장 기본적인 어려움이 될 수 있음을 인지하였다. 이러

표 1. 자화 현상에 대한 초등 예비교사들의 모델

모델	내용	그림 설명 예시
+, - 입자 분리 모델	쇠못이나 클립 내부의 전자가 한쪽 끝으로 끌려와서 전자가 많은 쪽이 N극이 되고 반대쪽은 전자가 부족해서 S극이 된다는 설명이다. +, - 입자가 서로 반대 방향으로 이동하는가, + 입자는 움직이지 않고 - 입자만 이동하는가가 다른 경우가 있었지만 모두 이 범주에 속하는 것으로 분류하였다.	
N, S 입자 분리 모델	쇠못이나 클립 내부에 N의 성질을 띤 입자와 S의 성질을 띤 입자가 무질서하게 존재하다가 막대자석의 N극으로 문지르면 S 입자가 끌려 와서 한쪽으로 모이게 되고 반대로 N 입자는 반대 방향으로 모이게 된다는 설명이다.	
+, - 입자 농도 모델	- 입자가 한 끝으로 완전하게 몰리는 것이 아니라 점진적으로 분포가 많아지면서 맨 끝 부분에서 가장 많아진다는 설명이다.	
N, S 입자 농도 모델	S 입자가 한 끝으로 완전하게 몰리는 것이 아니라 점진적으로 분포가 많아지면서 맨 끝 부분에서 가장 많아진다는 설명이다. 반대로 N 입자는 S 입자와 반대 방향으로 점점 많이 분포하게 된다.	
유전 분극 모델	전자가 원자 내부에서 임의의 방향으로 위치하다가 막대자석으로 문지른 후에는 일정한 방향으로 편향해서 위치하게 된다는 설명이다. 마치 대전체를 가까이 했을 때 절연체에 유전 분극 현상이 일어나는 것과 같은 설명이다.	
작은 자석 모델	쇠못이나 클립 내부에 작은 자석과 같은 것이 존재하고 이것의 방향이 임의로 배열되어 있다가 막대자석으로 문지르면 일정한 방향으로 배열된다는 설명이다.	

표 2. 자화 현상에 대한 초기 모델 유형 빈도

모델 유형	+, - 입자 분리 모델	N, S 입자 분리 모델	+, - 입자 농도 모델	N, S 입자 농도 모델	유전 분극 모델	작은 자석 모델
개수	9	11	1	2	1	2

한 어려움은 일회적인 교사의 격려로 극복될 수 있는 것은 아니며 학습자의 생각이 존중되고 활발한 의사소통이 이루어질 수 있는 수업 분위기를 형성하기 위해 교사의 지속적인 노력이 필요할 것이다. 나는 모델 중심 탐구 활동이 아니라도 나의 수업에서 이러한 측면을 좀 더 개선해야 할 필요가 있음을 실감했다.

### 3. 모델에 근거해서 예측하기

2주차 수업에서는 전 주에 구성한 모델을 수정하는 활동이 이루어졌다. 나는 수업을 시작하면서 먼저 과학적 모델의 역할은 관찰된 현상을 설명할 뿐만 아니라 새로운 현상을 예측해야 한다는 것을 강조하였다. 그리고 그 예측이 실험이나 관찰을 통해 검증되면 모델이 계속 지지될 수 있지만 예측이 맞지 않으면 모델은 수정되거나 폐기되어야 한다는 것을 설명하였다.

예비교사들에게 전 주에 자신들이 만든 모델에 근거해서 자화된 클립을 반으로 자르면 어떻게 될지, 반이 아닌 다른 길이(예를 들면 4분의 3과 4분의 1)로 자르면 어떻게 될지 예측하도록 하였다. 즉, 반으로 혹은 4분의 3지점을 자른 클립의 내부를 그림으로 나타내고, 두 조각의 각 끝부분이 N극인지, S극인지, 아니면 극이 없는지 나타내도록 했다. 이 때 자르는 행위는 클립에 큰 영향을 주지 않는 것으로 가정하도록 했다.

여기서 나는 의외의 상황에 직면했는데, 그것은 예비교사들이 자신들이 구성한 모델에 근거해서 예측하는 것이 아니라 또 다른 기존 지식에 근거해서 현상을 예측하는 것이었다. 예를 들어 N, S 입자 분리 모델을 세운 한 모둠에서는 자신의 모델대로라면 반으로 클립을 잘랐을 때 중간 부분에는 입자가 존재하지 않기 때문에 잘라진 도막의 한 끝은 극성을 띠지 않게 된다. 그러나 이 학생들은 자석을 두 조각으로 잘라도 각각 자석이 된다는 사실을 이미 알고 있었고, 따라서 잘라진 클립의 각 끝부분이 N극과 S극을 띠 것으로 예측하였다. 이와 같은 현상은 한 반의 7~8개 모둠 중 2~3개 모둠에서 나타났다. 모둠 활동을 순회하면서 지도하는 중 이러한 사실을 발견하고, 나는 ‘모델에 근거해서 예측하는 것’이 무슨 의미인지 더 명확히 설명을 해야 한다고 느꼈다. 그래서 전 주에 학생들이 그린 그림을 나누어 주고 “그 그림의 가운데 부분을 가위로 잘라 붙인

다고 생각해 보자. 그러면 잘라진 각 도막의 끝 부분은 어떤 극을 띠게 될까?”라는 질문을 하기도 하고 “지금 새롭게 예측하는 것이 아니라 지난 주 여러분이 구성한 모델에 근거해서 예측하는 것”임을 학급 전체에 주지시켰다. 또, 모듬을 순회하면서 함께 예측하는 과정을 도왔다. 학생들은 ‘모델에 근거해서 예측하는 것’의 의미를 잘 이해하지 못하였던 것이다. 이러한 내용은 학생들의 설문을 통해서도 확인되었다(24명).

- 모델에 근거해서 예측하는 것이 어려웠다. 자꾸만 내가 아는 선지식이 예측하는데 작용했다.
- 예측할 때에도 정답만을 쫓아가려 하였다. 우리가 만든 모델을 보며 예측을 해야 하는데, 이미 알고 있는 선지식이 계속 작용하여 제대로 예측을 하지 못했다.

‘모델에 근거해서 예측하는 것’이 어려웠던 것은 물론 예비교사들에게 이와 같은 탐구 활동의 경험이 없기 때문일 수 있다. 그러나 자신의 자기 모델을 상당한 노력을 들여 구성하였고, 강사가 명시적으로 그 모델을 사용하여 현상을 예측하도록 지도했음에도 불구하고 예비교사들이 모델을 사용하지 못하는 것은 모델을 사용해서 자신의 생각을 테스트할 수 있다는 것을 잘 이해하지 못한 것으로 해석할 수 있다. 즉, 현상을 설명하기 위해서 모델을 구성할 필요가 있다는 것은 비교적 쉽게 이해된 반면 모델을 사용해서 새로운 현상을 예측할 수 있다는 것에 대한 이해는 어려웠던 것으로 보인다. 이러한 경우 학생들이 초기 모델을 구성했다고 하더라도 그것을 활용하거나 수정하고 발전시키기 위한 이후의 탐구 활동으로 이어지기 어려울 수 있다. 따라서 모델의 역할에 대한 이해는 실제 모델 중심 탐구 활동 과정에서 중요한 역할을 할 수 있다.

### 4. 예측을 확인하고 모델을 수정하기

자화된 클립을 두 도막으로 잘랐을 때 각 끝 부분이 어떤 극의 성질을 띠게 될 것인지에 대해 예측을 하고 나서 이것을 확인하는 실험이 이어졌다. 먼저 클립 2개를 일자로 펴서 같은 막대자석으로 같은 방법으로 문질러 자화시킨 다음 자화가 제대로 되었는지 확인한다. 즉, 하나는 스티로폼을 이용해 물에 띄우고, 다른 하나의 끝을 가까이 가져가면서 각 클립의 머리와 꼬리가 N극과 S극으로 자화되었는



지 확인한다. 다음으로 물에 떠있던 클립을 반으로 잘라 반으로 자른 도막의 각 끝 부분의 극이 어떤 극인지 확인하도록 하였다. 이 때 자르는 과정에서 클립에 충격이 많이 가지 않도록 주의하도록 했다.

예비교사들은 실험을 통해 자화된 클립을 반으로 자르거나 서로 다른 길이로 자르더라도 각각의 도막이 막대자석처럼 N극과 S극을 가지게 된다는 사실을 확인하였다. 자신들의 예측과 관찰 결과가 정확하게 일치했다면 원래의 모델을 유지하도록 하며, 예측과 관찰 결과가 일치하지 않을 경우 모델을 수정하도록 하였다. 수정된 모델은 클립을 잘라도 양 쪽에 극이 생기는 것을 설명할 수 있어야 한다. 예비교사들은 모둠별로 토론을 통해 자신들의 이전 모델을 수정하였다. 그리고 칠판에 수정된 모델과 지난 주 구성했던 처음의 모델을 나란히 게시하고, 어떤 생각의 변화가 있는지 전체 학급을 대상으로 발표하도록 하였다.

표 3은 수정된 모델 유형의 빈도를 나타낸다. 초기 모델에 +, - 입자 분리 모델과 N, S 입자 분리 모델이 다수였던 것에 반해 작은 자석 모델과 +, - 입자 농도 모델, N, S 입자 농도 모델이 다수인 것을 알 수 있다.

초기에 N, S 입자 분리 모델을 제안했던 학생들은 주로 N, S 입자 농도 모델이나 작은 자석 모델로 변화하였고, 초기에 +, - 입자 분리 모델을 제안했던 학생들은 주로 +, - 입자 농도 모델이나 작은 자석 모델로 변화하였다. N, S 입자 농도 모델은 클립 내에서 N입자가 상대적으로 많이 분포하는 곳은 N극이고, S입자가 상대적으로 많이 분포하는 곳은 S극이 된다는 설명이다. +, - 입자 농도 모델은 - 입자가 상대적으로 많이 분포한 곳이 N극이고, + 입자가 상대적으로 많이 분포한 곳이 S극이라는 설명이다. 가장 쉽게 입자가 분리되어 양 극에 분포한다는 생각을 하였다가 실험적 증거가 이 생각을 지지하지 않자 예비교사들은 ‘분리’의 개념에 ‘연속적 분포’와 ‘상대성’의 개념을 도입하여 추가로 관찰된 현상을 설명하고자 한 것이다. 입자 농도 모델은 클립을 두 도막으로 잘랐을 때 나타나는 현상을 설명

하는 데에는 한계가 있었지만, 입자 분리 모델을 수정해서 학생들이 생각해 낼만한 그럴듯한 것이었으므로 나는 한 단계 발전된 모델이라고 보았고, 이러한 수정과 변화를 격려해 주었다. 입자 농도 모델을 제안한 모둠에게 이 모델이 적합한지를 알아볼 수 있는 새로운 현상을 예측을 하고, 다시 이것을 검증하는 순환 과정을 거치도록 하면 좋겠다는 생각이 들었지만 여러 모델에 대한 토론으로 대신하기로 했다.

초기 모델에 문제점이 있음을 발견하고 모델을 수정하거나 새로운 모델을 제안해야 했던 이 과정도 예비교사들에게 매우 어려운 과정으로 인식되었다. 사후 설문에서 이러한 내용을 확인할 수 있었다 (36명).

- 모델이 틀리다는 것을 알았을 때 어떻게 수정해야 할지 막막했다.
- 문제점이 있다는 것을 알았을 때 새로운 모델을 만들기가 어려웠다.

모델의 수정 과정에서 논리적인 사고뿐만 아니라 창의성이 요구되기 때문에 이 과정이 모델 중심의 탐구 활동에서 학생들에게 가장 어려울 수 있을 것으로 생각되었다.

### 5. 여러 모델 중 가장 좋은 것을 선택하기

2주차에 수정되어 제시된 여러 모델 중 가장 좋은 모델을 어떻게 결정할 수 있는지 전체 학급 토론을 실시하였다. 나는 능동적인 토론을 위해 예비교사 자신들이 이 문제 즉 클립의 자화 현상에 대하여 가장 많이 아는 전문가 집단임을 가정하고 토론을 하도록 당부했다. 또, 과학자들이 여러 모델 중 가장 타당한 것을 논박을 통하여 찾아가듯 학생들도 사회적 협의를 통해 과학 지식을 생성하는 것임을 강조하였다. 명시적으로 과학적 모델의 본성에 대한 이해를 돕고자 한 것이다. 이 전체 토론에서 다른 모둠의 모델에 대한 질문, 논박이 이어졌으며 새로운 테스트 아이디어가 제안되기도 하였다. 일부 학생

표 3. 자화 현상에 대한 최종 모델 유형 빈도

모델 유형	+ , - 입자 분리 모델	N, S 입자 분리 모델	+ , - 입자 농도 모델	N, S 입자 농도 모델	유전 분극 모델	작은 자석 모델
개수	0	0	7	6	2	10

들은 자신들의 모델을 옹호하기 위해 더 세부적인 부가 설명을 덧붙이기도 하였다. 2주차에 수정되어 제기된 주요 모델은 +, - 입자 농도 모델, N, S 입자 농도 모델, 작은 자석 모델 등이다. 학생들은 모델의 선택을 위한 중요한 테스트 방법이나 기존 이론과의 일치 여부 등을 논의하였다. 어떤 반에서는 자연스럽게 작은 자석 모델로 많은 동의가 이루어진 반면, 어떤 반에서는 작은 자석 모델이 전혀 제기되지 않고 농도 모델만이 제기되어 내가 작은 자석 모델을 제기하기도 하였다(4개 반 중 1개 반). 추가적인 예측과 테스트를 위한 시간이 충분히 주어졌다면 보다 자연스럽게 작은 자석 모델을 합의된 모델로 선택할 수 있었을 것으로 생각된다. 작은 자석 모델로 합의가 이루어지는 과정에서 +, - 입자 농도 모델, N, S 입자 농도 모델에 대한 여러 반론과 새로운 예측이 제안되었으며, 이것은 모두 그럴듯하고 테스트 가능한 것이었다. 나는 예비교사들이 여러 모델 중 설명력이 더 큰 모델을 찾아 합의를 이루어 내는 과정이 어려울 것으로 우려했지만, 경쟁 모델에 대한 다양한 반론과 평가가 가능하다는 것을 알았다. 다음은 작은 자석 모델로 합의를 이루어 가는 과정에서 나머지 두 개의 주요한 모델에 대해 예비교사들이 제기했던 주요 반론 내용이다.

학생들은 위와 같이 자신들이 구성한 모델을 성찰하여 반론을 제기하고, 평가하고, 설명력이 더 큰 모델로 사회적 합의를 이루어 가는 과정을 경험했지만, 이 과정에서 여전히 ‘정답’이 무엇인지 몰라 불안해하였다. 작은 자석 모델로 학급 전체에서 동

의를 하고 수업을 마친 경우에도 나에게 ‘진짜 답’이 무엇인지 따로 묻기도 했다. 사후 설문에서도 학생들의 이러한 생각이 나타났다(30명).

- 정답을 항상 먼저 알고 수업을 했기 때문에 정답 없이 수업을 하는 것이 불안하고 뭔가 답답했다.
- 정답이 아니면 어떻게 하나 하는 걱정 때문에 모델로 내 주장을 표현하는 것이 어렵다.

과학을 학습하는 것은 증거에 기초하여 지식을 구성하는 것이 아니라 책이나 교수가 알고 있는 ‘정답’을 알아야 하는 것으로 인식되기 때문이라고 볼 수 있다. 이러한 기존의 ‘학교 과학’ 문화가 과학적 실천을 어렵게 하는 요인이 된다는 것은 선행 연구에서도 지적된 바 있다(Berland & Reiser, 2009; Hogan & Corey, 2001). 교사가 증거에 기초한 학습 활동을 격려하더라도 학습 자체와 과학 학습에 대해 학생들이 오랫동안 형성해 온 신념과 기대는 그러한 탐구 활동을 어렵게 할 수 있다. 위에서 예비교사들은 논쟁과 토론을 통해 설명력 있는 자기 모델을 구성하였지만, 예비교사 자신이 그러한 과정을 가치 있는 학습으로 생각하지 않을 수 있고, 그들이 학습해야 하는 ‘정답’은 어딘가 다른 곳, 책이나 권위 있는 사람의 지식에 있다고 생각할 수 있다. 이러한 정답 문화 또한 단시간에 변화되거나 극복될 수 있는 것은 아니지만, 나는 예비교사들의 탐구 활동이 실제 과학자들이 과학 지식을 생성하는 과정과 유사한 것이라는 점을 좀 더 강조할 필요가 있다고 생각했다.

표 4. 전체 토론에서 제기된 주요 반론 내용

모델	반론 내용
+ , - 입자 농도 모델	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 클립 내에서 +, - 입자가 분리되어 있다면 양 끝에 전선을 연결하면 전류가 흐를 것이다. 따라서 양 끝을 도선으로 연결하여 전류가 흐르는 지 테스트해 볼 수 있다.</li> <li>· N, S극과 +, - 입자가 관련이 있다는 가정을 어떻게 할 수 있는가? 마찰 전기로 대전시킨 고무풍선에 강한 자석을 가까이 할 때 고무풍선이 힘을 받는지 테스트 해 볼 수 있다.</li> <li>· -입자가 움직여서 +와 -가 분리되고, 이것이 N극과 S극을 나타내는 것이라면 자유 전자를 가진 다른 금속(구리, 알루미늄 등)도 막대자석으로 문지르면 모두 자화가 되어야 한다. 다른 금속을 가지고 실험해서 테스트 해 볼 수 있다.</li> <li>· 한쪽으로 갈수록 - 입자의 개수가 점진적으로 많아지는 것이라면 자석을 반으로 잘랐을 때 양끝의 극의 세기가 달라야 한다. 즉, -입자가 많이 있는 곳의 자기력이 더 세야 한다. 우리의 실험에서 이것은 관찰되지 않았으므로 이 모델은 타당하지 않다.</li> </ul>
N, S 입자 농도 모델	<ul style="list-style-type: none"> <li>· N, S 입자가 있다면 서로 인력이 작용할 것이며, 클립 내에서 분리되어 존재할 수 없을 것이다.</li> <li>· N, S 입자가 분리된다면 자석을 잘라서 단일 극을 만들 수 있을 것이다. 실제로는 단일 극을 가진 자석을 만들 수 없으므로 이 모델은 타당하지 않다.</li> <li>· 한쪽으로 갈수록 N입자의 개수가 점진적으로 많아지는 것이라면 자석을 반으로 잘랐을 때 양끝의 N극의 세기가 달라야 한다. 즉, N입자가 많이 있는 자기력이 더 세야 한다. 우리의 실험에서 이것은 관찰되지 않았으므로 이 모델은 타당하지 않다.</li> </ul>

## 6. 선택한 모델을 새로운 상황에 적용하기

3주차에 나는 작은 자석 모델을 다른 현상을 설명하는 데 적용해 보도록 했다. 나는 센 자석의 N극과 약한 자석의 N극이 서로 붙는 현상, 자석을 클립에 가까이 가져갔을 때 클립이 끌려와서 붙는 현상을 보여주고 작은 자석 모델을 적용해 이 현상들을 설명해 보도록 하였다. 예비교사들은 자석과 클립 내부를 작은 화살표 그림을 통해 표현하였다. 이 때 작은 화살표의 머리가 N극을 나타내도록 하였다. 대부분의 예비교사들은 토론을 통해 적절한 설명을 구성할 수 있었다. 특히 예비교사들은 센 자석의 N극과 약한 자석의 N극이 붙는 현상을 매우 신기해하였고, 이것을 자신들의 모델로 설명할 수 있다는 것에 매우 만족스러워 했다. 이로써 작은 자석 모델이 여러 현상을 설명할 수 있는 유용한 모델이라는 데 의견을 모았다.

## 7. 수업 되돌아보기(과학적 모델에 대한 이해 변화)

나는 과학의 역사에서도 실제 여러 유형의 자기 모델(William Gilbert의 조화, 부조화 모델, Rene Descartes의 나선형 입자 모델, Franz Aepinus의 유체 모델, Charles Coulomb의 자기 실체모델 등)이 제안되고, 수정되고, 발달되어 왔음을 설명하였다. 즉, 과학의 과정은 모델을 개발하고, 검증하고, 수정하는 과정임을 설명하고 예비교사들의 탐구 활동이 그러한 모델을 구성하고 수정하는 과학적 활동이었음을 말하였다. 다시 한 번 과학에서 모델의 역할과 중요성을 명시적으로 강조하기 위한 것이었다. 나는 예비교사들이 자신의 탐구 활동을 되돌아보면서 어떤 점이 어려웠는지, 수업을 통해 자신의 과학적 모델에 대한 이해가 어떻게 달라졌는지 설문을 통해 기술하도록 하였다. 탐구 활동에서 어려웠던 점은 앞의 해당 부분에서 기술하였으며, 여기서는 예비교사들의 과학적 모델에 대한 이해가 어떻게 달라졌는지에 대해서만 요약하고자 한다.

‘이 수업을 통해 과학적 모델, 모델의 역할에 대한 여러분의 이해가 달라졌다면 어떻게 달라졌나요?’라는 설문 문항에 가장 빈번하게 나온 의견은 모델을 구성하는 주체가 꼭 과학자가 아니라는 점이었다(54명). ‘과학적 모델은 과학자가 구성한 것’이라는 생각을 가지고 있던 많은 예비교사들이 스스로 과학적 모델을 구성할 수 있음을 인식하고, 나아가

아동들도 이러한 활동을 할 수 있다는 것을 인식한 것으로 보인다.

- 과학자만 모델을 만들 수 있는 것이 아니고, 우리도 만들 수 있다는 점을 알게 되었다.
- 과학적 모델은 과학자들의 전유물인 줄 알았는데, 내가 이렇게 모델을 만들어 볼 수 있다는 점이 새로웠다.
- 과학자만이 아니라 아이들도 모델을 설정할 수 있을 것 같다.
- 가장 인상 깊었던 것은 일반인인 우리도 모델을 만들어서 과학자처럼 사고하고, 이를 확인하는 과정을 거칠 수 있었다는 것이었다.

위와 같이 모델을 학습해야 할 대상, 배워야 할 대상으로 인식하지 않고 스스로 구성하고 변화시킬 수 있는 것으로 인식하는 것은 모델 중심의 탐구 활동을 위한 가장 기본적인 필요 사항이라고 할 수 있을 것이다.

다음으로 많이 인식된 것은 과학적 모델의 가변성이다(34명). 과학적 모델은 완성된 이론을 나타내는 것으로 알고 있었지만, 탐구 활동을 통해 모델이 사실적 증거에 기초해서 계속해서 수정, 변화될 수 있다는 점을 인식한 것으로 보인다.

- 모델은 언제든지 바뀔 수 있다는 것을 알았다.
- 완전한 답이 아니기 때문에 사실에 비취가며 좀 더 나은 모델을 제시할 수 있다는 점
- 과학은 항상 결론이 정해져 있다고 생각했는데, 모델이 변화할 수 있다는 것을 깨닫게 되었다.
- 과학적 모델이란 이미 정해져 있는 답을 설명해 주는 공식이라고 생각했는데, 그것이 아니라 설명을 위해 제시된 것으로 100% 완벽하지 않다는 것을 알게 되었다.

모델이 단순히 의사소통 기능을 하는 것이 아니라 지식 생성의 도구라는 점도 많이 인식되었다(30명). 모델이나 모델링의 목적이 이해나 지식을 전달하기 위한 수단으로 뿐만 아니라 지식을 구성하는 방법, 새로운 것을 예측함으로써 새로운 이해를 증진시키는 데 사용될 수 있다는 점을 인식한 것으로 보인다. 예비교사들은 모델을 이전에 ‘교구’ 수준으로 인식했으나, 그 자체가 과학적 탐구의 과정이라는 점을 명확하게 언급하였다.

- 모델이란 과학자가 자신의 이론을 다른 사람에

게 설명할 때 사용하는 것으로만 생각했다. 하지만 이론을 만든 사람이 자신의 이론을 검토할 수 있는 기회 또한 주는 것 같다.

- 전에는 학생들의 이해를 돕기 위해 모델이 사용되는 것이라고 생각했는데, 내가 무언가를 알아내기 위해 모델을 만들고 그것을 확인하는 과정에서 사용할 수 있다는 점을 알게 되었다.
- 지식으로 만들어 가는 과정에 모델을 이용할 수 있다는 것을 알게 되었다.
- 모델은 일반인에게 설명하고 말해주기 위한 것이라 생각했는데, 그게 아니라는 것을 알았다. 과학자가 연구를 지속하게 하는 것이라는 사실을 알게 되었다.
- 모델은 이해를 돕는 도구라고만 생각했는데, 이제 모델이 수업의 목적이 될 수 있음을 알았다.
- 모델은 이미 다 알려진 이론의 이해를 돕는 데에만 사용되는 줄 알았는데, 이번 수업을 통해 모델은 과학적 탐구를 해 나가기 위한 하나의 과정이라는 것을 알았다.

과학자가 아닌 자신들도 자연 현상에 대한 모델을 구성할 수 있고, 그러한 모델은 관찰 사실이나 추가적인 증거에 의해 수정되거나 변화될 수 있다는 점, 과학 지식은 그러한 모델링을 통해 생성되고 발전된다는 점이 탐구 활동을 통해 어느 정도 이해되었으며, 이것은 수업 전 사전 설문에서 전혀 찾아볼 수 없었던 관점들이다. 물론 이러한 이해를 과학적 모델의 본성에 대해 충분한 이해로 보기 어려울 수 있으며, 모든 예비교사들이 이와 같은 이해를 갖게 된 것도 아니다. 그러나 사전 설문에서 이러한 관점이 전무했던 것을 감안하면 본 연구에서 실시된 자기 모델 탐구 활동은 예비교사들의 과학적 모델에 대한 이해를 어느 정도 증진시켰다고 할 수 있다. 과학적 모델에 대한 이해가 탈 맥락화되어 이루어진 것이 아니라 실제 자신들의 탐구 활동을 통해 이루어졌다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있을 것이다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구는 학습자가 자연 현상에 대한 과학적 모델을 생성하고, 평가하고, 수정하는 모델 중심 탐구 활동이 중요하다는 관점 하에 초등 예비교사들의 자기 모델 탐구 과정을 구체적으로 기술한 사례 연구이다. 또한 교사교육자가 자신의 수업을 반성적으로 고찰할 자기 연구(self-study)이다. 초등 예비교

사들이 자기 모델에 대한 탐구 과정에서 어떠한 어려움을 나타내는 지 탐구 과정을 분석하고, 또한 이러한 탐구 활동을 통해 과학적 모델에 대한 이해가 어떻게 변화하는지 탐색하였다.

먼저 예비교사들은 클립을 막대자석으로 문지르면 클립이 자화되는 현상을 관찰하고, 이 현상을 설명할 수 있는 모델을 그림과 글로 나타내었다. 이들의 초기 모델은 +, - 입자 분리 모델, N, S 입자 분리 모델, +, - 입자 농도 모델, N, S 입자 농도 모델, 유전 분극 모델, 작은 자석 모델 6가지로 범주화되었는데, 이 중 +, - 입자 분리 모델, N, S 입자 분리 모델이 가장 많았다. 학생들은 자신이 구성한 모델에 근거해서 자화된 클립을 두 도막으로 자르면 어떻게 될지를 예측하고 확인하였다. 자화된 클립을 반으로 자르거나 혹은 다른 길이로 자르더라도 항상 N, S극이 생긴다는 관찰 사실을 확인하고, 이 사실을 설명하기 위해 학생들은 자신의 초기 모델을 수정하였다. 즉, 수정된 모델로 새로운 관찰을 설명할 수 있도록 하였다. 초기의 +, - 입자 분리 모델, N, S 입자 분리 모델은 대부분 +, - 입자 농도 모델, N, S 입자 농도 모델, 작은 자석 모델로 변화되었다. 이 세 가지 모델 중 어느 모델이 더 설명력이 크고 유용한 모델인지에 대해 토론이 이루어졌고, 학생들은 논쟁을 통해 작은 자석 모델로 합의를 이루어 갔다. 과학적 모델에 대한 이해를 돕기 위해 탐구 활동의 전반부에서 ‘미스터리 원통’ 활동을 실시하였고, 마지막 정리 단계에서 실제 과학사에서 발달되었던 여러 가지 자기 모델에 대한 설명을 덧붙였다.

모델 중심 탐구 활동의 경험이 없는 예비교사들은 이러한 탐구 과정 중에 여러 가지 어려움을 나타냈다. 자신의 생각을 그림이나 글로 적극적으로 나타내 본 경험이 적어 이것을 어렵게 느꼈으며, ‘모델에 근거해서 예측’한다는 것의 의미를 이해하지 못하고 모델과 관계없이 단순한 예측을 하기도 하였다. 또 토론과 논쟁을 통해 ‘가장 유용한 모델’을 합의하는 과정을 거치면서도 ‘정답’을 몰라 불안해 하기도 하였다. 이것은 과학적 모델의 본성에 대한 이해와 ‘과학 학습’에 대한 전통적 신념과 기대가 실제 모델 중심 탐구 활동을 어렵게 만드는 요인이 될 수 있음을 의미한다.

예비교사들은 자기 모델 탐구 활동에서 위와 같은 어려움을 보이기도 했지만, 과학적 모델에 대한

이해가 탐구 활동 전에 비해 어느 정도 증진된 것으로 나타났다. 과학적 모델이 과학 지식을 쉽게 설명하기 위해, 보이지 않는 것을 가시화하기 위해, 주로 의사소통을 위한 수단으로 고안된 것이라고 생각하던 예비교사들은 탐구 활동 후 과학적 모델을 학습해야 할 대상으로 인식하지 않고 스스로 구성하고 변화시킬 수 있는 것으로 인식하였으며, 과학적 모델이 사실적 증거에 의해 계속해서 수정, 변화될 수 있다는 점, 그리고 과학적 모델이 단순히 의사소통의 도구가 아니라 지식 생성의 도구라는 점을 어느 정도 이해한 것으로 나타났다.

이러한 결과는 모델 중심 탐구 활동을 지도할 때 어떤 점들을 유의해야 하는지에 대한 시사점을 준다. 또한 구체적인 모델 중심의 탐구 활동을 통해서 과학적 모델에 대한 이해가 개선될 수 있다는 것을 보여준다. 그러나 단순히 모델을 생성하고 수정하는 모델 중심 탐구 활동을 한다고 해서 과학적 모델에 대한 이해가 증진되는 것은 아니며(Schwartz & White, 1998), 과학적 모델의 본성에 대한 이해를 증진시키기 위한 노력이 탐구 과정 중에 명시적으로 필요할 것이다. Schwartz와 White(2005)는 모델 중심의 탐구에서 모델에 대한 이해(이들은 *metamodeling knowledge*라는 용어를 사용하였다)를 함께 증진시키는 것이 필요하며, 실제 이것을 강조했을 때 과학 내용 지식이나 탐구 능력이 효과적으로 증진된다는 것을 보였다. 즉, 모델 중심의 탐구 활동에서는 학생들의 모델에 대한 이해 증진을 동시에 고려하는 것이 바람직하다고 보여진다. 그러나 과학적 모델의 본성에 대한 이해와 실제 모델 중심의 탐구 능력 사이의 관계를 살펴보기 위해서는 보다 면밀하게 설계된 후속 연구들이 필요할 것이다.

또한 초등 예비교사 수준이 아닌 실제 초등학생의 수준에서 가능한 모델 중심 탐구 활동에 대한 자료 개발과 탐색적 연구가 필요하다. 기존의 연구들은 대부분 중등 학생들이나 예비교사를 대상으로 이루어져 왔으며, 초등 수준에서 가능한 모델 중심 탐구 활동에 대해서는 논의가 거의 이루어지지 않고 있다. 연구가 많이 이루어지지 않은 것은 분명 초등 수준에서의 모델 중심 탐구 활동이 쉽지 않은 도전적인 과제라는 것을 시사한다. 그러나 Russ *et al.*(2008)의 연구에서는 어린 아동들도 모델을 구성할 수 있음을 보였으며 Harlow(2010)의 연구에서는 초등학생들 대상으로 자기 모델에 대한 수업을 실

시한 예를 보여준다. 초등학생들은 여러 가지 자연 현상에 대해 어떠한 초기 모델을 구성하는지, 이것을 어떻게 효과적으로 사용하고 발전시키도록 도울 수 있는지에 대해 더 많은 적극적 연구가 필요하다고 생각된다.

## 참고문헌

- 오필석(2009). 과학과 과학교육에서 사용되는 모델에 관한 초등 예비교사들의 인식. *초등과학교육*, 28(4), 450-466.
- Abell, S. K. & Smith, D. C. (1994). What is science? Pre-service elementary teachers' conceptions of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 16(4), 475-487.
- Ausubel, J. S. (1968). *Educational psychology: A cognitive views*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Berland, L. K. & Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93(1), 26-55.
- Chin, C. & Brown, D. E. (2000). Learning in science: A comparison of deep and surface approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 109-138.
- Chinn, C. & Malhotra, B. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86 (2), 175-218.
- Dewey, J. (1933). *How we think*. Boston: D. C. Heath.
- Dinkelman, T. (2003). Self-study in teacher education: A means and ends tool for promoting reflective teaching. *Journal of Teacher Education*, 54(1), 6-18.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (Eds.). (1996). *Young people's images of science*. Philadelphia: Open University Press.
- Gobert, J. D. & Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 891-894.
- Goldberg, F., Robinson, S. & Otero, V. (2006). *Physics for elementary teachers*. Armonk, NY: It's About Time.
- Harlow, D. B. (2010). Structures and improvisation for inquiry-based science instruction: A teacher's adaptation of a model of magnetism activity. *Science Education*, 94(1), 142-163.
- Harrison, A. & Treagust, D. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.
- Hodson, D. (1996). Laboratory work as scientific method: Three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 115-135.
- Hogan, K. & Corey, C. (2001). Viewing classrooms as cul-

- tural contexts for fostering scientific literacy. *Anthropology & Education Quarterly*, 32(2), 214-243.
- Johnson, A. (1999). *Students' development of models of magnetic materials, patterns of group activity, and social norms in a physics classroom*. Unpublished dissertation, University of San Diego and San Diego State University.
- Latour, B. (1999). *Pandora's hope: Essays on the reality of science studies*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lederman, N. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 331-359.
- Lehrer, R. & Schauble, L. (2003). Origins and evolution of model-based reasoning in mathematics and science. In R. Lesh (Ed.), *Models and modeling in mathematics teaching, learning, and problem solving* (pp. 59-70). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Loughran, J., Hamilton, M. L., LaBoskey, V. & Russell, T. (Eds.). (2004). *International handbook of self-study of teaching and teacher education practices*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- National Academy of Science (1998). *Teaching about evolution and the nature of science*. Washington, DC: National Academy Press.
- Nichols, S., Tippins, D. & Wieseman, K. (1997). A 'toolkit' for developing critically reflective science teachers. *Research in Science Education*, 27(2), 175-194.
- Romberg, T., Carpenter, T. & Kwako, J. (2005). Standards based reform and teaching for understanding. In Romberg, T. Carpenter, T. Dremock, F. (Eds.), *Understanding mathematics and science matters* (pp. 3-26). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Russ, R., S. Scherr, R. E., Hammer, D. & Mikeska J. (2008). Recognizing mechanistic reasoning in student scientific inquiry: A framework for discourse analysis developed from philosophy of science. *Science Education*, 92(3), 499-525.
- Schön, D. (1983). *The reflective practitioner*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Schwarz, C. & White, B. (1998, April). Fostering middle school students' understanding of scientific modeling. *Paper presented at the annual meeting of American Educational Research Association*, San Diego, CA.
- Schwarz, C. & White, B. (2005). Meta-modeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. & Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Smit, J. J. A. & Finegold, M. (1995). Models in physics: Perceptions held by final-year prospective physical science teachers studying at south african universities. *International Journal of Science Education*, 17(5), 621-634.
- Solomon, L., Duveen, J. & Scott, L. (1994). Pupils' images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16(3), 361-373.
- van Driel, J. H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modeling in science. *International Journal for Science Education*, 21(11), 1141- 1153.
- van Driel, J. H. & Verloop, N. (2002). Experienced teachers' knowledge of teaching and learning of models and modeling in science education. *International Journal of Science Education*, 24(12), 1255- 1272.
- Windschitl, M. & Thompson, J. (2004). Generating scientific models of natural phenomenon to ground authentic investigations: How do beginning secondary teachers reason about and enact canonical science practices? *Paper presented at the National Association of Research on Science Teaching*, Vancouver, British Columbia, Canada.
- Windschitl, M. & Thompson, J. (2006). Transcending simple forms of school science investigations: Can pre-service instruction foster teachers' understandings of model-based inquiry? *American Educational Research Journal*, 43(4), 783-835.
- Windschitl, M., Thompson, J. & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.
- Yoon, H-G., Joung, Y. J. & Kim, M. (Published online 22 March 2011). The challenges of science inquiry teaching for pre-service teachers in elementary classrooms: Difficulties on and under the scene. *Research in Science Education*. DOI 10.1007/s11165-011-9212-y.