한국과학교육학회지, 27권 7호, pp. 645-662(2007. 10) J Korea Assoc. Sci. Edu, Vol. 27, No. 7, pp. 645-662(2007. 10)

중등학교 지구과학 수업에서 과학적 모델의 활용 양상 분석: 대기 및 해양 지구과학 관련 수업을 중심으로

오필석*

이화여자대학교

Analysis of the Manners of Using Scientific Models in Secondary Earth Science Classrooms: With a Focus on Lessons in the Domains of Atmospheric and Oceanic Earth Sciences

Oh, Phil Seok*

Ewha Womans University

Abstract: The purpose of this study was to explore the manners in which models are used in secondary science classrooms. A total of thirteen video-recordings of science lessons dealing with the domains of atmospheric and oceanic earth sciences and their verbatim transcripts were analysed both quantitatively and qualitatively. Interviews with three inservice science teachers were also conducted. Six interrelated assertions were generated as the result of the study: 1) The most frequently used models in secondary earth science classrooms include two-dimensional pictorial, symbolic, iconic, and diagrammatic ones; 2) Science teachers employ models as a mode of representation to make the subject matter available to students; 3) In earth science classrooms, teachers use typical forms of models in intensive manners; 4) Students themselves deal with models on a few occasions, but they just follow similar procedures with the same models; 5) Teachers talk rarely about the nature of scientific models and provide few opportunities for students to think about it; and, 6) Teachers in practice think that the value of using models should be appraised in consideration of the pedagogical intentions of the teacher. Implications for science education and science education research were discussed.

Key words: scientific model, science classroom, atmospheric and oceanic earth science

I. 서 론

1. 과학적 모델의 의미와 역할

과학은 자연 세계를 다양한 방법으로 연구하여 이론을 구성함으로써 현상을 설명하는 활동이라고 포괄적으로 정의할 수 있다(National Research Council [NRC], 1996). 즉, 과학 활동의 산물로서 이론은 과학의 본성을 담고 있는 창조적인 구성물 중의 하나이다. 이러한 과학 이론에 대해 1970년대까지는 이론이 일정한 형식을 갖춘 공리들의 체계나 구조(axiomatic system or structure)라는 견해가 일반적으로 받아들여졌다(Giere, 1994; Suppe, 1972). 그러나, 자연 세계를 연구의 대상으로 과학에서는 경험적으로 확인 가능한 주장이 도출될 수 있는 방식으로 이론이 만들어져야 하기 때문에 공리들의 체계로서만 과학 이론을 이해하는 것은 충분하지 않다. 특히, 과학자들이 탐구하는 대상이나 그것들의 체계, 과정, 인지적인 현상들 중에는 직접적으로 관찰하거나 경험적으로 다루기 어려운 것들이 포함되어 있기 때문에, 과학 활동에서는 자연 현상이나 과학적인 아이디어를 표상(representation)하는 방법의 하나로서 모델(model)을 제작하고 이를 조작해 보이는 일이 중요하다(Franco *et al.*, 1999; Gilbert, 2004; Greca & Moreira, 2000).

모델이란 어떤 물체나 현상, 아이디어의 여러 가지 속성 중에서 관심 있는 특징들을 표상하는 또 다른 사물이나 기호, 그림 또는 그것들의 체계라고 할 수 있다

*교신저자: 오필석(philoh@ewha.ac.kr)
**2007.07.24(접수) 2007.10.12(1심통과) 2007.10.17(최종통과)
***이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-332-B00419)

(Gilbert & Boulter, 2000; Gilbert & Ireton, 2003; Halloun, 2004). 이렇게 표상된 것으로서의 모델은 과학 활동에서 추상적인 이론과 경험적인 내용을 연계 지으면서, 대상의 성질이나 상태를 기술(description)하거나, 현상의 원인을 설명(explanation)하고, 또 미래에 발생할 수 있는 사건을 예측(prediction)하는 데 기여한다(Gilbert, 2004; Gilbert *et al.*, 1998). 예를 들어, 대기과학자들은 지구의 기후 시스템에 대한 서로 다른 가정을 바탕으로 그 속에서 일어나는 과정들을 선택적으로 조직하여 여러 가지 기후 모델을 구성한다. 이러한 모델들은 자연 세계의 어떤 요소들을 묘사해 주는 것으로 여겨지기도 하며, 기능적으로는 과거나 미래의 기후 변화를 설명하거나 예견하는 도구로서의 역할을 하기도 한다(Oreskes, 2003; Parker, 2006). 다시 말해, 과학 활동의 맥락에서 의사소통과 문제해결을 위해 동원되는 모델을 과학적 모델(scientific model)이라고 할 수 있다.

과학자들의 활동 속에서 모델이 추상적인 이론과 경험 세계를 이어주는 다리의 역할을 하는 것과 마찬가지로, 학교의 수업에서도 과학적 모델을 이용함으로써 학생들을 과학에서 다루는 현상이나 이론들과 연계 지을 수 있다. 이러한 관계는 종종 학생들이 마음 속에 구성하는 '정신 모형'(mental model)과 밖으로 나타내어진 '표현된 모델'(expressed model) 사이의 관계로 설명된다. 즉, 학생들은 자연 현상이나 과정을 마음 속에 표상하여 정신 모형으로 구성함으로써 이해하게 되는데, 교사가 대상을 구체적으로 표현한 모델을 제시할 경우 이러한 정신 모형의 형성이나 그 발달 과정에 도움을 줄 수 있다. 또한, 정신 모형은 학생들이 과학 개념을 말하기와 쓰기, 그리고 다른 행동 속에서 실체가 있는 것으로 표현하고자 할 때 그 원형을 제공하며, 학생들은 이렇게 표현된 모델을 문제 해결 과정에 적용하여 테스트해 본 후 지속적으로 수정해 감으로써 목표가 되는 개념에 대한 이해를 정교화할 수 있다(Buckley & Boulter, 2000; Gilbert & Ireton, 2003; Schwarz & Gwekwerere, 2005, 2007).

2. 지구과학과 지구과학 교육에서 과학적 모델의 활용

과학적인 탐구를 위하여 모델을 활용하는 것은 지구과학에서 매우 중요한 역할을 한다(Baker, 1999; Engelhardt & Zimmermann, 1982; Giere, 1988, 1999). 이것은 지구과학이 지니는 본질적인 특성에 크게 기인하는 것이다. 주지(周知)하다시피 지구과학의 이론들은 물리나 화학과 같은 다른 과학의 그것들과 비교하여 경험적인 내용과 더욱 빈번히 연결된다. 그럼에도 불구하고 지구과학에서 관심을 두고 있는 대상들은 대부분 직접적으로 다루기 어렵다는 난점을 지니고 있다. 즉, 지구과학의 현상들과 과정들은 방대한 시·공간적인 규모로 인해 쉽게 인식하기 어렵고, 통제된 실험을 통해 재연하는 것이 불가능한 경우가 많다(Gobert & Clement, 1999). 또, 지구과학적인 사건들은 여러 가지 크고 작은 과정들이 복합적으로 상호작용한 결과로서 나타나기 때문에 몇 가지 과학적 법칙들을 형식 논리에 따라 적용하여서는 그 시스템적인 과정을 잘 설명할 수 없다(Raia, 2005). 따라서, 지구과학에서는 복잡한 실재(reality)의 어떤 요소를 선택적으로 설명하면서 실제 자연 현상과 간접적으로 관련을 맺는 모델을 이용한 탐구 활동이 자주 동원된다. 예컨대, 판구조운동론(plate tectonics)은 지각의 여러 가지 변화 과정들을 모두 자세하게 관찰함으로써 확립되었다기 보다는 지표와 지구 내부에 관한 모델을 구성하고 제한적으로 얻어진 경험적인 자료들과 함께 이 모델을 다양한 방식으로 조작해 보는 활동을 통해 발전되었다고 할 수 있다(Giere, 1988, 1999).

지구과학자들의 전문적인 연구 활동에서 과학적 모델이 자주 이용되는 것을 고려할 때, 각급 학교에서 지구과학을 가르치고 배울 때 과학적 모델을 활용하는 것은 교육적인 측면에서도 의미 있는 일이 될 수 있다. 지구과학 교육에서 과학적 모델을 활용하는 일의 가치는 크게 보아 두 가지로 나누어 생각할 수 있다.

첫째, 지구과학 교육에서 과학적 모델을 활용하는 것은 지구과학의 본질적 속성을 반영한다는 점에서 그 의의를 찾을 수 있다. 학교에서의 과학 교육이 과학의 본성을 반영한 형태로 이루어져야 한다는 주장이 대두된 것은 비교적 오래되었지만, 과학의 각 분야, 특히 지구과학의 본성에 관하여 전문적인 연구가 시작된 것은 상대적으로 최근의 일이다(Baker, 1999; Cleland, 2002; Dodick & Orion, 2003; Frodeman, 2000; Kleinhans *et al.*, 2005 등 참조). 이러한 학문적인 논의들은 지구과학 교육의 타당한 철학적 근거를 밝혀줄 뿐만 아니라, 지구과학 교수-학습 방법에 관하여 유의미한 시사점들을 제공해 주고 있다. 그 중에는 모델이 자주 동원되는 지구과학 연구의 특징을 반영하여 학교의 수업에서도 지구과학의 아이디어와 현상들을 모델을 통해 표상하도록 해야 한다는 것이 포함되어 있다(Gilbert & Ireton, 2003; Gobert, 2000; Raia, 2005; Reynolds *et al.*, 2005). 따라서, 각급 학교의 지구과학

교육에서 과학적 모델을 활용하는 일은 과학의 본성을 반영한 교육적 실천이라는 과학 교육 분야의 오랜 주장과 맥을 같이 하면서도 지구과학 탐구의 방법론적 특징을 반영한다는 점에서 가치가 있다.

둘째, 지구과학 교육에서 과학적 모델을 활용하는 것은 모델의 대상이 되는 과학적 개념들과 현상들에 대한 학생들의 이해를 증진시키는 효과가 있다. 이러한 주장은 모델을 이용한 활동이 학생들의 정신 모형으로 내면화되고, 그 과정에서 학생들은 정보를 재조직하고 통합하여 학습할 수 있다는 아이디어에 기초하고 있다(Buckley & Boulter, 2000; Crowder, 1996; Gilbert & Ireton, 2003). 실제로, Gobert 등(Gobert, 2005; Gobert & Clement, 1999)은 학생들이 지구의 내부 구조와 지각 변동을 그림의 형태로 표상해 보는 과정이 판구조 운동의 공간적이고(spatial) 인과적인(causal) 측면을 이해하는 데 도움이 된다는 것을 실증적으로 보인 바 있으며, 이러한 전략은 일반지구과학 강좌를 수강하는 대학생들에게도 효과적이라고 보고되기도 하였다(Steer *et al.,* 2005).

3. 본 연구의 맥락

과학 교육 분야에서 과학적 모델에 대한 연구는 과학적 표상 및 의사소통의 다중성(multimodality of scientific representation and communication)에 대한 인식과 그것을 응용한 수업에 관한 연구 경향과 맥을 같이 한다. 즉, 최근 많은 연구자들은 과학자들이 단순히 말하고 쓰는 것을 통해서 뿐만 아니라, 시각 자료(visuals)나 몸짓(gestures) 등 다양한 표상 형식을 사용하여 의미를 형성한다는 데 주목하고 있다. 또, 학생들도 과학의 과정을 이해해야 하고 그 과정에 참여함으로써 과학을 배워야 하므로, 학교의 과학 교육에서도 여러 가지 표상 형식을 활용한 수업이 이루어져야 한다는 데 동의하고 있다(Gilbert, 2005; Gilbert & Boulter, 2000; Halloun, 2004; Kress *et al.,* 2001; Lemke, 1998). 이들의 연구물 중에서 과학적 모델에 초점을 맞추고 있는 것들을 대별해 보자면, 과학적 모델의 특징을 이론적으로 고찰하여 과학 교육에의 시사점을 도출한 연구(Franco *et al.,* 1999; Gilbert, 2004; Gilbert *et al.,* 1998; Greca & Moreira, 2000), 과학적 모델에 관한 인식과 그 활용 실태를 조사한 연구(Grosslight *et al.,* 1991; Justi & Gilbert, 2002, 2003; van Driel & Verloop, 1999, 2002), 모델을 기반으로 한 교수-학습 활동의 특징과 그 효과에 관한 연구(Mayer, 1989; Rotbain *et al.,* 2006; Schwarz & Gwekwerere, 2005, 2007) 등을 예로 들 수 있다.

지구과학 교육의 측면에서는 S. W. Gibert & S. W. Ireton(2003)이 지구과학 수업에서 활용할 수 있는 과학적 모델의 종류를 유사성에 기초한 모델, 구체적 모델, 수학적 모델 등으로 구분하고 각각의 예와 활용 방법을 제안한 바 있다. 또, 다수의 연구자들이 지구과학 교육에서 과학적 모델의 중요성을 강조하고, 학생들이 참여하는 여러 가지 형태의 모델 기반 수업을 수행한 후 그 효과를 보고하고 있다(Gobert, 2005; Gobert & Clement, 1999; Gobert & Pallant, 2004; Johnson & Reynolds, 2005; Raia, 2005; Steer *et al.,* 2005). 이러한 연구들은 지구과학에는 영역 특이적인(domain-specific) 표상 형식이 존재하고 그것을 활용하는 것이 지구과학을 학습하는 데에도 핵심적인 역할을 한다는 점을 잘 보여 주었다. 또, 효과적인 지구과학 학습을 위해서는 학생들이 모델을 구성하고 조작하는 활동에 능동적이고 지속적으로 참여할 필요가 있음을 말해 주고 있다. 우리나라의 지구과학 교육 분야에서는 이진봉(2006)이 지구과학에 사용되는 그래프의 특징을 학습의 측면을 고려하여 탐색한 바 있으며, 오필석 등(2007)은 지구과학 교육에 활용되는 과학적 모델을 종합적으로 다루기 위하여 과학적 모델의 분류틀을 개발하고 그것을 이용하여 고등학교 1학년 과학 교과서의 지구과학 관련 단원들을 분석하기도 하였다.

이상과 같은 연구의 흐름을 따라 본 연구에서는 우리나라 중등학교의 지구과학 수업에서 과학적 모델이 어떻게 활용되고 있는가를 살펴보았다. 이 연구에서는 계량적인 방법과 함께 질적인 기법을 병행하여 사용하였는데, 초기에는 포괄적인 질문들로부터 연구를 시작하고 자료를 분석하는 과정에서 이 질문들에 답하기 위한 주장들을 점차로 구체화하는 절차를 따라 연구가 진행되었다. 이러한 과정 속에서 연구의 주된 관심이 되었고, 본 연구의 목적을 잘 나타낼 수 있는 연구 질문들은 다음과 같이 진술될 수 있다.

첫째, 우리나라 중등학교 지구과학 수업에서는 어떤 종류의 과학적 모델이 주로 활용되는가?

둘째, 우리나라 중등학교 지구과학 수업에서 과학적 모델은 어떤 교수법적인 목적(pedagogical purpose)을 위하여 사용되고, 학생들은 과학적 모델을 활용한 활동에 어떻게 참여하는가?

셋째, 이 연구가 주장하는 우리나라 중등학교 지구과학 수업에서의 모델 활용 양상에 대해 현장의 지구과학 교사들은 어떻게 생각하는가?

Ⅱ. 연구 방법

1. 분석 대상 수업

본 연구에서 분석 대상이 되었던 수업들은 2003~4년에 교육부가 지원하는 과학 교사 단기 해외 연수 프로그램에 참여한 지구과학 교사들로부터 수집한 비디오 자료에서 선정하였다. 이 기간 동안 해외 연수에 참여한 교사들은 프로그램 운영진의 협조 요청에 자발적으로 동의하는 경우 한국에서의 자신의 수업 장면을 담은 비디오 테잎을 제공하였다. 이 자료들 중에 18편은 수업에서 발생하는 과학적 설명을 분석한 선행 연구(오필석, 2007)에서 이미 한 차례 사용되었는데, 본 연구에서는 동일한 자료원에서 분석 대상을 재선정하고 그것을 과학적 모델이라는 새로운 시각에서 분석해 보고자 하였다.

지구과학 교사들이 제공한 총 21편의 수업 녹화 자료들 중, 중학교와 일반계 고등학교에서 '대기 및 해양 지구과학'과 관련된 주제로 수업을 진행한 13편을 본 연구의 최종 분석 대상으로 결정하였다. 이것은 교사들의 수업 녹화 시기가 비슷하여 이 분야에 관한 수업이 가장 많았고, 따라서 여러 수업들에서 공통되는 특징을 발견하기에 유리하다고 판단하였기 때문이었다. 본 연구에서 분석 대상이 되었던 수업들에 관한 정보는 표 1에 제시하는 바와 같다.

2. 수업 분석 방법

이상과 같이 선정된 수업 녹화물의 전사본을 작성한 후, 이를 비디오 테잎과 함께 분석하였다. 이때는 과학적 모델의 활용 양상에 관련된 본 연구의 세부적인 연구 질문에 따라 서로 다른 연구 방법을 사용하였다.

첫 번째 연구 질문에 답하기 위해서는 선행 연구(오필석 등, 2007)에서 사용한 분류틀을 이용하여 지구과학 수업에서 활용되는 과학적 모델을 계량적으로 조사하였다. 표 2에 제시한 것과 같은 과학적 모델의 분류틀은 하나의 모델을 '표상 매체'(medium of representation), '표상 방법'(method of representation), 그리고 모델의 '가동성'(mobility)이라는 세 가지 차원마다 각각 서로 다른 유형으로 구별할 수 있도록 구성되어 있다. 이때 표상 매체란 모델의 구현을 가능하게 해 주는 매개체(medium)를 뜻하며, 표상 방법은 어떤 대상을 표상하는 방법이나 원리를 말한다. 또, 모델의 가동성이란 용어 그대로 완성된 모델이 실제로 움직이거나 조작할 수 있는가의 여부를 의미한다.

표 2의 분류틀에 근거하여 이루어진 실제 분석 과정에서는 녹화된 수업 장면 중에 1회 이상 등장하는 과학적 모델을 중복을 허락하지 않고 계수하였다. 서로 다른 종류의 모델이 함께 등장하는 경우에는 전경(foreground)에 부각되어 의사소통의 초점이 되는(focal mode of communication) 것을 하나의 독립된 모델로 파악하고, 그것에 부속하여 지시적인 기능(deictic function)을 하는 것들은 따로 세지 않았다. 또한, 하나의 모델 내에서도 그것의 속성을 규정하는 주된 특징을 중심으로 모델의 유형을 판단하였다. 따라서, 모델의 특정 부분을 언급하는 지시어나 하위 텍스트(sub-text) 같은 것들은 독립적인 모델로 계수되지 않았다. 이와 더불어, 교사나 학생들이 그림을 그리는 활동 자체를

표 1

분석 대상 수업에 관한 정보

부호	교사 성별	교사경력 (년)	수업 과목	수업 주제	수업 형태
A	남	14	과학(9학년)	전선과 날씨	강의
B	남	19	과학(10학년)	전선 모형 만들기	학생 활동 및 강의
C	여	9.5	과학(10학년)	우리나라 기후의 계절별 특징	학생 활동 및 강의
D	여	5.4	과학(10학년)	구름의 생성 원리	학생 활동 및 강의
E	남	21	과학(10학년)	우리나라 주변 해수의 성질	학생 활동 및 강의
F	여	19.5	지구과학 I	해수의 순환	강의
G	여	18	지구과학 I	일기도 분석	학생 활동 및 강의
H	남	18	지구과학 I	일기에 관련된 속담	학생 활동 및 강의
I	남	15	지구과학 I	날씨의 변화	강의
J	여	11	지구과학 I	단열변화와 수증기의 응결	학생 활동 및 강의
K	여	9.8	지구과학 I	태풍	강의
L	여	17	지구과학 I	일기도 작성 및 분석	학생 활동 및 강의
M	남	17	지구과학 II	해파와 조석	강의

표 2

지구과학 교육에 활용되는 과학적 모델의 분류틀 (출처: 오필석 등, 2007)

분류 기준	과학적 모델의 유형	정의 및 사례
표상 매체 (medium of representation)	언어-문장적 모델 (verbal-sentential model)	• 읽거나 들을 수 있도록 언어를 사용하여 어떤 사물이나 상태, 과정, 아이디어 등을 표상한 모델 • 예: "얼음덩어리가 물 위에 떠 있듯이 지각은 밀도가 큰 맨틀 위에 놓여 있으면서 균형을 이루고 있다."
	기호 모델 (symbolic model)	• 직접적인 지시 이상의 상징적 의미를 내포하는 기호나 기호 체계를 통하여 어떤 대상을 표상한 모델 • 예: 일기 부호, 화학식(chemical equation), 좌표계
	평면적 그림 모델 (two-dimensional pictorial model)	• 2차원적인 그림, 스케치(sketch), 드로잉(drawing) 등을 통해 어떤 대상을 표현한 모델 • 예: 행성들의 크기와 궤도를 일정한 비율로 줄여서 그린 그림
	입체적 물질 모델 (three-dimensional material model)	• 하나 이상의 재료 물질을 이용하여 어떤 대상을 3차원적으로 표현한 모델 • 예: 두 개의 페트병을 이용하여 만든 토오네이도 모형
	몸짓 모델 (gestural model)	• 몸이나 몸의 일부를 움직여 어떤 대상을 표상한 모델 • 예: 학생들이 직접 행성의 역할을 하며 서로의 주변을 돌면서 만들어낸 태양계 모델
	컴퓨터 모델 (computer model)	• 컴퓨터의 고유한 기능을 이용하여 대량의 정보를 빠르게 처리함으로써 인간이 직접 다루기 어려운 대상을 표상하는 모델 • 예: 행성의 생성 과정에 대한 시뮬레이션 프로그램
표상 방법 (method of representation)	이론적 모델 (theoretical model)	• 이론적인 존재자(theoretical entity) 또는 이상화된(idealized) 상황을 이용하여 어떤 사물이나, 상태, 과정 등을 표상하는 모델 • 예: 평탄한 우주, 굽은 우주
	수학적 모델 (mathematical model)	• 숫자, 선과 점, 부호 등을 활용하여 양적인 변수나 변수들 사이의 관계를 표현한 모델 • 예: 좌표계, 그래프, $v = (gh)^{1/2}$
	도해적 모델 (diagrammatic model)	• 언어 그리고/또는 선, 색, 부호 등 상징적인 의미를 내포하는 약속된 기호를 이용하여 어떤 대상이나 대상들 사이의 관계를 표현한 모델 • 예: 지질도, 일기도, 등치선도, 분포도, 개념도, 순서도
	모상 모델 (iconic model)	• 표상하고자 하는 사물이나 과정, 사건과 비슷하게 보이거나 기능하도록 구성된 실재하거나 가상의 사물이나 과정 • 예: 일정한 축척에 따라 그린 태양계의 모습, 규모를 줄여 만든 습곡 모형(scale model)
	유비 모델 (analogical model)	• 어떤 대상을 그것과 유사한 다른 것의 모습이나 성질을 이용하여 표상한 모델 • 예: "얼음덩어리가 물 위에 떠 있듯이 지각은 밀도가 큰 맨틀 위에 놓여 있으면서 균형을 이루고 있다."
모델의 가동성 (mobility)	정적 모델 (static model)	• 전체나 부분이 움직이지 않고 어떤 사물이나 상태, 과정, 아이디어 등을 표상하는 모델 • 예: 일정한 축척으로 그린 태양계 그림, 지질도, 일기도
	동적 모델 (dynamic model)	• 대상이 되는 사물이나 과정, 사건이 실제로 움직이거나 발생하는 모습을 표상한 모델 • 예: 화산 폭발 모형, 구름 발생 과정을 플라스크 안에서 표현한 모델
	조작적 모델 (operational model)	• 표상하고자 하는 대상 속에 포함된 둘 이상의 변인들의 관계를 보이기 위하여 특정한 변인을 조작하면서 다른 변인의 변화를 관찰할 수 있도록 구성된 모델 • 예: 온도에 따른 물체의 색깔 변화를 통해 별의 온도와 색깔의 관계를 표상하는 모델

모델이 지니는 역동성이라고는 볼 수 없었으므로, 최종적으로 완성된 모델의 가동성에 따라 정적, 동적, 또는 조작적 모델을 구분하였다(이상과 같은 분석 원칙에 관해서는 오필석 등, 2007과 Kress *et al.*, 1998, 2001

을 참조).

위와 같은 계량적인 분석 과정에는 본 논문의 저자와 함께 과학적 모델에 관한 선행 연구(오필석 등, 2007)에 참여하였던 다른 한 명의 연구자가 참여하였다. 선행 연구에서 두 분석자는 과학 교과서에 등장하는 과학적 모델을 분류하는 데 95.1%의 일치도를 보였으며, 본 연구에서 두 분석자 간의 일치도는 92.9%이었다.

본 연구의 두 번째 연구 질문에 답하기 위해서는 계속비교방법(constant comparative method, Strauss, 1987)의 논리를 따라 연구 자료를 질적으로 분석하였다. 즉, 수업이 녹화된 비디오 테잎과 전사본을 함께 보면서 과학적 모델의 활용 양상에 관한 임시적인 주장들(assertions)을 형성한 후, 자료를 다시 보면서 이들을 수정·보완하는 과정을 반복하였다. 처음에 도출한 가설적인 주장들을 연구 자료에 비추어 다시 검토할 때에는 특정한 주장과 관련된 하위의 관찰 사실들이 추가로 발견되기도 하였지만, 종종 미처 인지하지 못한 장면들이 관찰되어 새로운 주장이 형성되기도 하였다. 또, 이러한 과정이 반복되어 당시까지 제기된 낱낱의 주장들을 포괄할 수 있는 상위의 주장이 필요하게 될 경우에는 연구자의 관점에 따라 그 내용을 기술하였다. 이상의 과정을 새로운 주장이 형성되지 않을 때까지 반복하여 본 연구의 두 번째 연구 질문에 관한 최종적인 답변들을 확정하였다.

3. 지구과학 교사들과의 면담

본 연구에서 지구과학 교사들과의 면담은 크게 두 가지 목적에 따라 수행되었다. 그 첫째는 우리나라 중등학교 지구과학 수업에서의 모델 활용 양상에 관해 연구자가 주장하는 바의 타당성을 검토하는 것이었고, 두 번째 목적은 과학적 모델을 활용한 수업에 관한 현장 교사들의 견해를 알기 위한 것이었다. 면담에 참여한 교사들은 서울시 고등학교에서 지구과학을 가르치고 있는 현직 교사 세 명으로, 본문에서는 이들을 각각 N(남, 교사 경력 = 7년 9개월), O(남, 교사 경력 = 8년 2개월), P(여, 교사 경력 = 13년 2개월)로 부호화하여 제시하였다. 이들은 모두 연구자와 함께 수년간 중고등학교 과학 수업 자료를 개발하는 프로젝트에 참여하면서 래포(rapport)를 형성해 왔던 교사들로, 덕분에 본격적인 면담 의뢰에 흔쾌히 응해 주었다. 이 교사들은 연구 시작 단계에서부터 지구과학 교육에 활용되는 모델을 분석해 보고자 하는 본 연구의 대체적인 방향에 대해서는 인지하고 있었지만, 면담이 시작되기 전까지는 연구자가 수업을 분석하여 얻은 구체적인 결과들에 대해서 알지 못하였다.

면담에 앞서 교사들에게 본 연구물의 초안을 전달하여 미리 살펴보도록 하였으며, 본격적인 면담은 연구자와 세 명의 교사가 함께 만나 자유롭게 토론하는 방식으로 대략 2시간 15분에 걸쳐 이루어졌다. 교사들과의 이야기는 본 연구물의 초안에서 주장하는 내용이 실제 학교 현장의 모습과 어느 정도로 부합하는지 묻는 것으로 시작되었고, 점차로 모델을 활용한 지구과학 수업에 관한 현직 교사들의 생각을 주고받는 것으로 진행되었다. 면담에 참여한 교사들이 원하지 않았기 때문에 녹음기를 사용할 수 없었지만, 그 대신 연구자가 주요한 면담 내용을 수기(手記)로 기록하였다.

교사들과의 일차적인 면담을 마친 후에는 연구자가 면담 내용을 종합적으로 정리하여 본 연구의 세 번째 질문에 답하기 위한 추가적인 주장을 도출하였다. 이렇게 하여 새롭게 작성된 본 논문의 초고를 다시 면담에 참여한 교사들에게 검토를 요청하여 현장 교사들의 의견이 제대로 반영되었는지를 확인 받았고, 교사들이 수정·보완해 준 내용을 본 논문의 최종본에 추가하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

이 절(節)에서는 앞서 기술한 연구 방법에 따라 얻어진 양적·질적 결과들을 서로 연관된 여섯 가지 주장들로 요약하고, 각각의 주장을 그것을 뒷받침하는 자료들과 함께 제시한다. 그리고, 이러한 연구 결과들이 지니는 의미를 문헌 고찰을 통해 얻은 아이디어와 연구자의 관점에 비추어 논의한다. 특히 이때는 교사의 실천 행위를 비판적이거나 우호적인 어느 한 가지 시각에서 평하기 보다는 두 가지 관점을 최대한 균형적으로 다룸으로써 과학적 모델이 활용되는 수업의 실제 모습을 이해하고, 문제점이 있다면 그것을 해소할 수 있는 시사점을 도출하는 데 초점을 두기로 한다.

1. 주장 ①: 우리나라 중등학교의 대기 및 해양 지구과학 관련 수업에서는 평면적 그림 모델과 기호 모델, 모상 모델과 도해적 모델들이 주로 활용된다.

비디오 녹화물을 통해 관찰한 수업에 등장하는 과학적 모델의 유형별 빈도를 표 3에 제시하였다. 표에서 보는 바와 같이, 우리나라 중등학교의 대기 및 해양 지구과학 관련 수업에 활용되는 모델은 표상 매체의 차원에서 평면적 그림 모델(47.2%)이 가장 많은 수를 차

표 3

우리나라 중등학교 대기 및 해양 지구과학 수업에서 활용되는 과학적 모델의 유형별 빈도

분류 기준	유형	분석 대상 수업													계 (%)
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
표상 매체	언어-문장적 모델	5	0	0	5	0	2	0	0	8	5	0	0	0	25 (19.7)
	기호 모델	2	0	10	0	6	0	1	0	3	0	0	4	0	26 (20.5)
	평면적 그림 모델	13	1	1	3	1	8	0	4	1	0	9	3	16	60 (47.2)
	입체적 물질 모델	1	0	0	3	0	1	0	0	0	2	0	0	0	7 (5.5)
	몸짓 모델	0	0	0	5	0	2	0	0	0	1	0	0	0	8 (6.3)
	컴퓨터 모델	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1 (0.8)
	계	21	1	11	16	7	14	1	4	12	8	9	7	16	127
표상 방법	이론적 모델	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0.0)
	수학적 모델	0	0	2	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	7 (5.5)
	도해적 모델	2	0	8	3	6	0	1	0	0	2	1	4	0	27 (21.3)
	모상 모델	13	1	1	13	1	14	0	4	4	5	8	3	16	83 (65.4)
	유비 모델	6	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	10 (7.9)
	계	21	1	11	16	7	14	1	4	12	8	9	7	16	127
모델의 가동성	정적 모델	19	0	11	8	6	9	1	4	12	5	9	5	15	104 (81.9)
	동적 모델	2	1	0	8	1	5	0	0	0	3	0	2	1	23 (18.1)
	조작적 모델	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0.0)
	계	21	1	11	16	7	14	1	4	12	8	9	7	16	127

지했으며, 기호 모델(20.5%)과 언어-문장적 모델(19.7%)이 그 다음으로 많은 비율을 보였다. 표상 방법의 차원에서는 모상 모델(65.4%)이 가장 높은 빈도를 보였으며, 그 다음으로는 도해적 모델(21.3%)이 많이 활용되었다. 또, 종종 유비 모델(7.9%)과 수학적 모델(5.5%)이 활용되는 모습도 관찰되었다. 모델의 가동성이라는 측면에서는 정적 모델(81.9%)이 가장 많았지만, 동적 모델의 비율도 18.1%가 되었다.

우리나라 중등학교의 실제 수업을 분석하여 얻은 이러한 결과는 10학년 과학 교과서를 분석한 선행 연구(오필석 등, 2007)의 결과와 공통되는 점이 있다. 즉, 대기 및 해양 지구과학 단원의 수업에서 평면적 그림 모델과 모상 모델은 고기압이나 저기압 주변에서의 공기의 흐름, 전선 주변의 기상 현상, 해수의 운동 등과 같이 경험적인 접근이 용이하지 않은 대상의 모습이나 움직임을 실제와 비슷하게 표현하기 위한 목적에서 많이 등장하였다. 또, 일기도, 등수온선도, 등염분선도 등과 같이 대기 및 해양 지구과학 분야에 고유한 영역-특이적 기호 체계(domain-specific symbol system)를 다루어야 하므로, 이것들의 유형인 기호 모델과 도해적 모델의 빈도가 비교적 높게 나타났다.

그런데, 교실에서의 실제 수업을 분석한 본 연구에서 교과서를 분석하였을 때에는 발견할 수 없었던 몸짓 모델과 컴퓨터 모델을 활용하는 장면이 관찰된 것은 주목할 만하다. 먼저, 몸짓 모델은 교사가 공기덩어리가 이동하는 과정이나 해면에 경사가 생겨 해류가 흐르게 되는 과정을 표상하는 경우에 동원되었다. 예를 들어, D 교사는 수평적으로 이동하던 공기덩어리가 지형의 영향으로 강제 상승하여 구름을 형성하는 과정을 그림 1과 같은 손짓을 통해 표상해 보였다. 이때 교사의 언어는 몸짓으로 표현되어 전경에 부각되는 모델에 부속하는 이차적인(secondary) 표상 형식이 되었다.

위와 같은 예외적인 사례가 있음에도 불구하고 관찰된 수업에서 교사의 몸짓은 하나의 독립된 모델로서 기능하기 보다는 보조적인 역할을 하는 경우가 많았다. 즉, 교사가 자신의 몸짓으로 어떤 대상의 속성을 모두 표상하는 경우를 발견하기는 어려웠고, 다만 모델의 어느 한 부분만을 표현하거나 특정한 방향이나 위치를 지시하기 위하여 손짓을 사용하는 경우가 대부분이었다.

수업 자료에서 컴퓨터를 이용한 모델이 관찰된 것은 바다에서 밀도 차이에 의해 침강류가 발생하는 과정을 컴퓨터 시뮬레이션(computer simulation)을 통해 재현한 것을 학생들이 시청하는 장면에서였다(F 교사의 수업). 그 밖의 많은 경우에는 컴퓨터가 이미 제작된 동영상물을 재생하는 기능, 즉 VCR이나 TV 수상기와 같은 기능을 하는 것에 머물러 있어서 컴퓨터의 고유한 능력을 이용한 모델이 활용되었다고는 판단하기 어

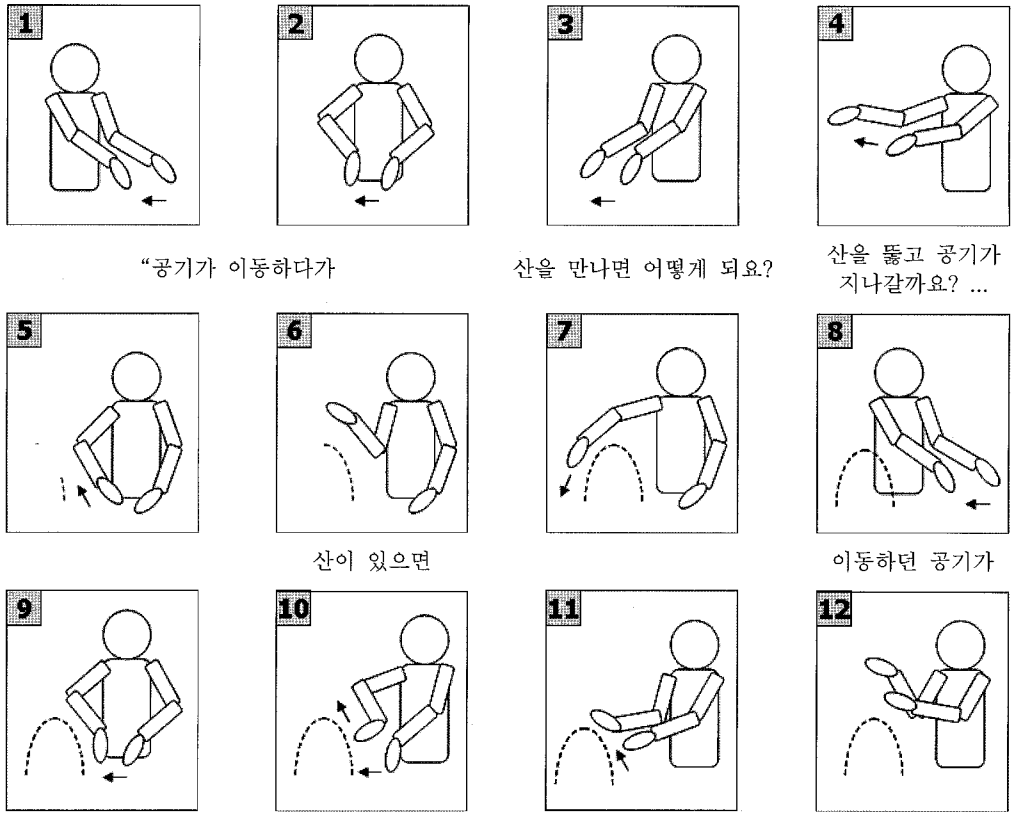

그림 1 *공기덩어리의 강제 상승을 표상하는 교사의 몸짓 모델과 교사의 발화*

려웠다. 그럼에도 불구하고 그러한 동영상물은 교사가 일기 현상이나 해수의 운동과 같은 역동적인 대상의 특징을 표상하기 위하여 종종 동적인 모델을 동원한다는 사실을 잘 증거해 주었다.

요약하여 말하자면, 대기 및 해양 지구과학에 관련된 수업에 등장하는 모델들의 유형과 활용 빈도는 대체로 수업에서 다루는 주제의 특성을 반영한다고 할 수 있다. 또, 교과서에 수록된 것과 비교하여, 실제 수업에서는 교사가 좀 더 다양한 표상 매체를 통해 구현된 과학적 모델을 활용한다는 것을 알 수 있다.

2. 주장 ②: 지구과학 수업에서 교사들은 모델을 교과 내용을 전달하기 위한 하나의 표상 형식(a mode of representation)으로서 활용한다.

Grosslight *et al.*(1991)은 교실 수업에서 과학적 모델을 활용하는 목적을 몇 가지로 구분하여 논의한 바 있다. 여기에는 1) 특정한 자연 현상이나 개념을 명확하고 접근 가능한 형태로 기술하기 위한 목적, 2) 교사가 기술하는 현상이나 개념이 지시하는 사례를 보이기 위한 목적, 3) 어떤 과학적인 아이디어를 테스트하기 위한 목적, 그리고 4) 학생들로 하여금 직접 모델을 구성하고 조작해 보도록 하기 위한 목적 등이 포함된다. 그런데, 본 연구에서 분석된 대부분의 수업의 경우, 과학적 모델은 주로 1)과 2)의 목적을 위하여 사용되었다. 다시 말하여, 우리나라 중등학교의 지구과학 수업에서 과학적 모델은 주로 교과 내용을 학생들에게 쉽게 전달하고자 하는 교사의 담화나 행동 속에서 하나의 표상 형식으로 활용된다고 할 수 있다.

예를 들어, D 교사는 상승하는 공기덩어리의 변화 과정을 묻는 질문에 학생들이 제대로 답변하지 못하자 다음과 같은 '풍선 모델'을 언어적으로 제시함으로써 구름의 생성 과정에 대한 학생들의 아이디어를 이끌어 내었다.

교사D: 자, 지표면에 공기 덩어리가 위로 올라가게 되면 어떤 변화가 생기게 되는 거죠?
학생들: (무응답)
...
교사D: 이 공기 덩어리는 아무런 변화가 없을까요?

학생들: (무응답)
교사D: 자, 그럼 반대로 생각해 봅시다. 이만큼 생긴 풍선이 위로 하늘 높이 올라갔어요. 어떻게 될까?
학생들: 터져요.
교사D: 왜 터지죠? 이 풍선이 터지죠? 터지는 이유는 뭐에요? ... 대기압이 낮아져요. ... 이 공기 덩어리도 마찬가지입니다.

또, I 교사는 '일정한 크기의 상자 안에 들어 있는 수증기 입자들'이란 모델을 통해 '수증기압'의 개념을 모상적으로 표현해 보이기나 아래에 제시하는 것과 같은 유비 모델을 제공함으로써 수증기압에 대한 학생들의 이해를 돕고자 하였다.

교사I: 축구공 있잖아. 축구공 안에 바람을 많이 집어넣으면 어떻게 될까?
학생들: 터져요.
교사I: 바람 많이 집어넣으면 눌러도 잘 안 들어가지? 그것과 마찬가지로, 바람 대신에, 축구공 안에 수증기가 있다고 생각해 봐. 압력이 커지겠지?
학생들: 네.
교사I: 그러니까, ... 수증기량이 많으면 어때? '그것에 따른 압력 자체도 커진다'라고 얘기할 수가 있지?

이상과 같은 교사의 발화는 그에 상응하는 개념이나 현상을 언어를 통해 표상한 것으로서, 본 연구에서는 표상 매체의 차원에서 모두 언어-문장적 모델로 분류되었다.

그런데, 이렇게 모델이 교과 내용을 이해하기 위한 수단이 된다는 점은 학생들이 보다 가시적인 형태의 모델을 가지고 체험적으로 학습하는 경우에도 마찬가지였다. 예를 들어, C 교사는 학생들이 직접 '기후 달력'을 제작하여 우리나라의 월별 기후 분포를 나타내 보도록 한 후에, 학생들의 작품을 수정해 주면서, "공책에 이렇게 정리 하세요", "프린트 ... 1 페이지에 있어요"라고 반복해서 말하였다. 즉, 이러한 발화를 통해 C 교사가 기후 달력이라는 모델을 활용한 까닭이 학생들의 창의적인 아이디어를 이끌어 내는 것보다는 그 속에 포함된 과학적인 정보를 학생들이 숙지하도록 하는 데 있다는 것을 알 수 있었다. 또, 해수의 운동과 관련하여 비교적 많은 수의 모델을 활용하였던 M 교사는 자신이 여러 가지 모델을 보여주는 의도가 학생들의 이해를 위한 것이고, 또 학생들의 인지적 능력을 고려하여 그것을 선택적으로 활용하고 있음을 다음과 같은 발화 속에서 직접적으로 언급하기도 하였다.

교사M: 여러분이 인터넷에서 봤던 그림과 교과서의 그림, 그 외에 여러 참고 서적을 통해서 볼 수 있는 그림들을 다양하게 경험을 해 볼수록 여러분한테 효과가 클거야. 그래서 이런 그림도 보여주는 거야.

교사M: 천해파는?
학생들: 수심이 얕은 곳.
교사M: 수심이 얕은 곳이라는 얘기고. 여러분, 여기에서 수심에 따라서 다르다고 했는데, 수심이 파장의 ½이고, 크다, 작다, 이렇게 구분하는데, 그것까지는 얘기를 하는 건, 무리하고 생각해요. 그건 내가 구분하지 않을게.

결론적으로, 교사들이 과학 수업에서 모델을 활용하는 것은 교과 내용을 학생들에게 접근 가능한 것으로 전환하여 전달하려는 데 주된 목적이 있다고 볼 수 있다. 이러한 사실은 우선, 우리나라 중등학교의 수업이 대체로 교사가 주도하는 '교과 내용 해설식 수업'이라는 사실(손민호, 2002; 이인효, 1991)에 비추어 볼 때 자연스런 귀결이라고 생각된다. 즉, 우리나라 중등학교 수업에서 과학적 모델의 활용은, 그것이 교사 주도적이든 혹은 학생들의 활동에 의해서든지 간에, 학습자로 하여금 과학 내용을 쉽게 이해하도록 하기 위한 교수법적인 목적이 우선시되어 이루어진다고 할 수 있다.

특별히 지구과학 수업에서 교사가 모델을 표상 형식의 하나로서 선택한 것은 지구과학이라는 학문의 본성이 반영된 결과라고도 해석할 수 있다. 서론에서 이미 언급한 바와 같이, 지구과학의 이론들은 경험적인 내용과 자주 연결되면서도 직접 다루기 어려운 자연 현상을 연구의 대상으로 하고 있기 때문에 실재의 어떤 요소들을 설명하면서 그것들과 간접적으로 관련을 맺는 과학적 모델을 자주 활용한다. 마찬가지로, 지구과학을 가르치는 교사들이 모델을 활용하는 것은 접근이 용이하지 않고 복잡한 지구과학적인 현상과 과정들을 단순화함으로써 학생들의 사고와 쉽게 연계 짓고자 하는 교수법적인 전략이라고 할 수 있을 것이다. 또한, 이러한 교사의 행동은 수업 중에 사용되는 구체적인 모델이 학생들의 정신 모형의 형성을 돕는다는 주장(Buckley & Boulter, 2000; Crowder, 1996; Gilbert & Ireton, 2003)이나 가시적으로 표현된 모델을 사용함으로써 교사의 설명에 대한 학생들의 이해를 증진시킬 수 있다는 Mayer(1989)의 실증적인 연구 결과에 의해 정당화될 수 있을 것이다.

3. 주장 ③: 우리나라 중등학교 지구과학 수업에서 교사들은 이미 그 구조가 결정된 전형적인(typical) 모델을 집중적으로 활용한다.

전문적인 과학 활동에서 모델을 사용하는 것은 연구의 맥락과 목적에 따라 좌우되기 때문에 동일한 대상

에 대해서도 여러 가지 서로 다른 모델들이 공존할 수 있다(van Driel & Verloop, 2002). 그럼에도 불구하고, 본 연구에서 관찰한 수업에서는 어떤 대상에 대하여 이미 그 구조가 완성되었거나 결정되어 있는 모델이 집중적으로 활용되는 경우가 많았다. 이때 모델의 구조가 이미 완성되었거나 결정되어 있다는 말은 수업에 등장하는 모델이 그것이 표상하는 개념이나 현상을 가르치기 위하여 잘 알려져 있고, 그래서 교과서나 교재에 빈번히 등장하는 '전형적인' 것임을 의미한다. 예를 들어, 교사들(A, G, L)이 일기 예보 활동을 위해 사용하는 일기도는 모두 한랭 전선과 온난 전선을 동반한 온대저기압이 한반도를 통과하면서 서서히 폐색하는 것으로, 다음 G 교사의 두 번의 발화를 통해 알 수 있는 바와 같이, 이 도해적인 모델에 관한 표준적인 해석은 이미 잘 확립되어 있다.

교사G: '저기압 중심의 이동 방향을 조사해 봅시다' 했는데, 두 개의 저기압은 대체로 어느 방향으로 이동합니까? ... 북동쪽입니다. 무엇의 영향으로? 편서풍의 영향으로.

교사G: 간단히 살펴봤지만, 바로 이 탐구 활동의 목표가 뭐냐 하면, '저기압이 편서풍의 영향으로 북동쪽으로 이동해 가느냐', 이것을 알 수 있어야 ...

또, 그림 2는 우리나라 과학 교과서에서 흔히 볼 수 있는 이차원적인 그림 모델을 보여 준다. 실제로 본 연구에서 관찰된 교사들(교사 A, B, L)은 그림 2와 속성상 같은 유형으로 분류되고 그 차이가 대동소이한 그림들을 활용하여 전선 주변에서 발생하는 일기 현상에 대해 설명하였다.

위와 같이 우리나라 중등학교의 지구과학 수업에서 교사들은 이미 잘 알려진 전형적인 모델을 사용할 뿐만 아니라, 그것을 '집중적으로' 다루었다. 이때 교사가 특정한 모델을 집중적으로 다룬다는 말은, 학생들이 모델에 함의된 과학적인 정보와 지식을 숙지하였다고 믿

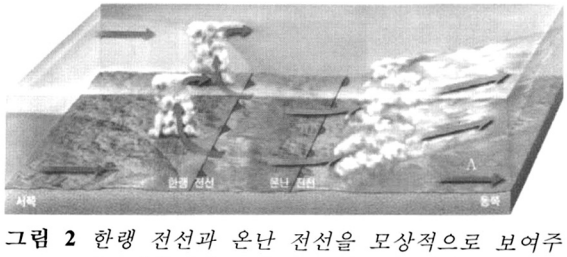

그림 2 *한랭 전선과 온난 전선을 모상적으로 보여주는 전형적인 모델 (A 교사가 사용한 교과서에서 인용)*

어질 때까지 그 모델에 관하여 이야기하거나 연습시킨다는 것을 뜻한다. 지구과학 수업에서 교사들이 어떤 모델을 집중적으로 다루는 양상은 대체로 세 가지로 대별해 볼 수 있는데, 그 첫째는 속성상 동일한 유형으로 분류되는 모델들을 반복해서 보여 주는 것이다. 예컨대, A 교사는 그림 2와 유사한 모델들을 통해 전선 주변의 일기 현상을 수업 중에 여러 차례 다루었으며, M 교사는 해수의 운동과 해파의 모습을 표상하는 비슷한 그림들을 학생들에게 지속적으로 보여 주었다. 또, E 교사는 학생들의 조별 활동, 조별 대표 학생의 발표, 교사의 해설식 강의 등 서로 다른 수업 장면에서 해수의 온도와 염분 분포를 나타낸 도해적인 모델을 사용하였지만, 실제로는 교과서에 수록된 제한된 종류의 모델들을 컴퓨터와 실물 화상기, TV 스크린 등 전시 매체(display medium)를 달리하면서 반복하여 다룬 것이었다.

교사들이 전형적인 모델을 집중적으로 다루는 두 번째 방식은 학생들이 직접 모델을 가지고 활동을 하기 전후(前後)에 자신의 언어로 모델이 표상하는 현상이나 과정을 자세히 기술하는 것이다. 예를 들어, D 교사와 J 교사는 각각 학생들이 구름 발생 과정을 나타내는 장치를 가지고 활동을 시작하기 전과 활동을 마친 후에 그 모델이 자연의 어떤 과정에 대응하는지 자신의 언어 행위를 통해 표상해 보였다. 다음은 J 교사의 실제 발화 내용이고, 그 아래에 제시하는 것은 학생들의 활동이 끝난 후 D 교사가 모델이 표상하는 과정을 칠판에 순서도와 같은 형식으로 표현한 것이다.

교사J: 주목! 단열 변화 실험 장치인데요. ... 우리가 단열 변화 하려고 하면, 공기를 위로 데려 가거나, 공기를 밑으로 내려가게 할 순 없잖아요. ... 그래서, 그런 효과를 주는 거지. ... 이 안의 기압을 낮춰 주면 올라가는 효과지? ... 여기 기압을 높게 해주면 내려오는 효과잖아.

(학생 활동 후 D 교사의 판서 내용)

받은 일 → 열
온도 ↑ → 습도 ↓
물 → 수증기

지구과학 교사들이 이미 그 구조가 결정되어 있는 전형적인 모델을 집중적으로 다루는 세 번째 방법으로는 '문제 풀이'를 들 수 있다. 즉, 교사들은 수업의 주제가 특정한 모델을 통해 충분히 다루어졌다고 판단되는 시점에서 수업 내용과 관련된 문제를 학생들에게 제시하여 해결하게 하였다. 특히, 이러한 문제 풀이라는 교수 전략은 I 교사를 제외한 다른 모든 교사의 수

업에서 발견되었다. 하지만, 이때 교사가 제공하는 문제는 주로 교과서에 이미 제시된 것들이거나 대학입학시험을 대비하기 위한 것으로, 다음과 같은 교사의 발화는 과학적 모델이 활용되는 수업에서 문제 풀이라는 활동이 어떤 교수법적인 목적을 위해 진행되는지 잘 알 수 있게 해 준다.

> 교사E: 자, 한 문제만 더 봅니다. 염분입니다. (교과서에 수록된 것과 동일한 그림이 스크린에 비춰진다.) ... 여러분, 수능 문제 같은 것은 사고력을 요구합니다. 배운 것에다가 여러분들이 추리해서 답을 한번 찾아봅니다.

이상과 같이 우리나라 중등학교 지구과학 수업에서 이미 그 구조가 결정되어 있는 전형적인 모델이 집중적으로 다루어지고 있다는 사실에 관하여는 두 가지 서로 다른 관점에서의 해석이 가능할 것이다. 먼저, 그러한 사실은 우리나라의 교사들이 국가 수준의 교육과정에서 제시하고 있는 내용을 충실히 따른 결과라고 해석할 수 있다. 이것은 비디오 자료를 통해 관찰된 수업에서 교사들이 활용하였던 모델들이 많은 경우 우리나라의 교육과정과 그것에 준하여 집필된 교과서에도 자주 등장하는 것들이라는 점(본 연구의 주장 1과 오필석 등, 2007을 참조)을 통해 미루어 짐작할 수 있다. 또, 학생들로 하여금 이미 잘 알려진 일기도나 등치선도와 같은 것들을 충분히 접하게 함으로써 해당 지구과학 분야에 고유한 모델에 익숙해지도록 하고 그로부터 교과로의 입문을 유도한다는 측면에서는 주장 3과 같은 사실을 긍정적으로 평가할 수 있을 것이다.

하지만, 교과에 대한 학습이 깊어지기 위해서는 해당 분야에 전형적인 것 외에도 변칙적인 사례를 다루어 볼 필요가 있으며, 학생들이 중심이 되는 모델 기반의 수업도 경험해 볼 필요가 있다고 생각된다. 왜냐하면, 변칙적인 사례들은 과학적 모델을 수정하여 새로운 설명과 이해의 탄생을 가능하게 하고, 전형적인 모델에 익숙한 학생들에게 호기심을 유발하여 탐구적인 과학학습 동기를 이끌어 낼 수 있다고 판단되기 때문이다. 예컨대, 본 연구의 면담에 참여한 교사들은 대기 및 해양 지구과학 수업에서 학생 중심의 탐구 수업을 진행하기 위하여 두 개의 태풍이 동시에 북상하는 경우나 온대저기압이 폐색하여 소멸할 듯하다가 다시 세력이 강해지는 경우와 같이 일반적인 것과는 다른 기상 현상이 기록된 일기도를 이용할 수 있다고 하였다. 이렇게 과학 수업에서 학생 중심적이고 탐구 지향적으로 모델을 활용하는 것에 대해서는 아래에 제시하는 주장 4와 함께 좀 더 논의해 볼 필요가 있다.

4. 주장 ④: 지구과학 수업에서 종종 학생들이 직접 모델을 다룰 때에는 모든 학생들이 동일한 모델을 가지고 유사한 절차에 따라 활동에 참여한다.

주장 4는 우리나라 중등학교 지구과학 수업에서 교사들이 교과 내용을 전달하기 위하여 몇 가지 제한된 유형의 모델을 집중적으로 활용한다는 앞의 주장들과 맥을 같이 한다. 즉, 본 연구에서 관찰된 수업에서는 학생들이 자신들의 탐구적인 호기심을 해결하기 위하여 다양한 모델을 이용하는 사례를 찾아보기 어려웠다. 오히려 학생들은 교사에 의해 미리 준비된 모델을 표준적인 해답을 발견하기 위해 사용하는 것으로 판단되었다. 학생들이 조별로 앉아 활동하는 경우에도 모든 조가 동일한 모델을 가지고 활동에 임하였고, 이미 정해진 동일한 절차를 따라 무엇을 그리거나 만드는 과정에 참여함으로써 학습자들의 활동이 자칫 단순한 견습이나 공작(craft)의 수준에 머무를 우려를 낳게 하는 경우도 있었다. 예를 들어, B 교사와 G 교사는 각각 학생들이 날씨 변화를 나타내는 모형을 만들거나 일기도를 분석하는 활동을 진행하면서 학생들이 따라야 할 절차를 다음과 같이 자세하게 제시하고 있다.

> 교사B: 300 페이지 보면은 '그림 나'번 있죠. 여러분들이 할 일은 '나'번처럼 만들면 됩니다. ... 주의해야 할 사항을 한 가지 전달합니다. ... 가로로 자를 때는 그냥 자르는데, 세로로 자를 때는 풀 붙일 자리를 남기고 자르세요. 그 다음 다 붙이고 나서는 색칠을 해 주세요. 그래서, 어, 찬공기는 차가운 색깔로, 따뜻한 공기는 따뜻한 색깔로 하세요. 따뜻한 색깔이 뭔지, 차가운 색깔이 뭔지는 각자 판단하시고.

> 교사G: 일기도 몇 장이죠? 네 장이죠? 맨 처음 일기도 위에다 [투명 용지를] 덮어봐. ... 이 일기도 처음 것 위에다 저기압을 그리고, 두 번째, 세 번째, 네 번째 겹쳐야 돼요. 그래서, 이거를 꺽쇠를 이용해서 여기다가 표시를 합니다.

또한, L 교사는 학생들에게 일기도 작성 요령을 일러 주고 동일하게 일기도를 그리도록 한 후에 교사가 미리 완성한 표준적인 일기도에 비추어 학생들의 일기도를 평가하였다. 더 나아가, J 교사는 단열 변화 실험 장치를 다루는 시범을 보이면서 "이게 수행 평가에 그대로 나옵니다"라고 하여 교사가 시범을 보인 그대로 재연하는 것이 활동의 중요한 한 가지 목적임을 강조하기도 하였다. 결국, 관찰된 대부분의 수업에서 학생들이 직접 모델을 다루는 경우에도 학습자가 새로운 모델을 창안하거나 새로운 절차를 따르는 것은 허용되

지 않는다고 볼 수 있다.

연구자들은 과학자들이 전문적인 연구 활동 속에서 모델을 사용하는 것과 마찬가지로 과학을 배우는 학생들도 자신들의 학습을 위해 능동적으로 모델을 활용할 수 있어야 한다고 주장한다. 특히, van Joolingen(2004)은 과학 학습을 위해 학생들이 주도적으로 모델을 활용하는 상황을 세 가지 모델링(modeling) 과정으로 제시한 바 있다. 첫째는 '탐색적 모델링'(exploratory modeling)으로, 학생들이 관심 있는 대상의 속성을 알기 위하여 기존의 모델을 직접 다루어보는 것을 뜻한다. 이때 학습자는 모델 속에 포함된 매개 변인들(parameters)을 조작하면서 그 효과를 관찰하거나 종종 변인들 간의 관계를 나타내는 규칙을 변경하여 모델을 수정할 수 있다. 둘째는 '표현적 모델링'(expressive modeling)으로, 학습자가 자유롭게 특정한 표상 형식을 선택하여 모델을 창안함으로써 어떤 주제에 관한 자신의 아이디어를 표현하는 것을 말한다. 학생들이 과학 학습을 위해 능동적으로 모델을 사용하는 세 번째 유형은 '탐구 모델링'(inquiry modeling)이라 불리는 것으로, 이때 학생들은 현상을 탐색하여 자료를 산출하고, 자료 속에 포함된 일정한 패턴이나 사건의 원인을 설명하기 위하여 모델을 창안하며, 또 그것을 이용하여 새로운 사건을 예측해 보기도 한다. 이와 더불어 많은 연구자들은 과학자들의 지속적인 탐구 활동과 마찬가지로 학습자가 다양한 목적을 위하여 직접 모델을 구성하고 이를 개념적으로 혹은 경험적으로 테스트하여 지속적으로 수정해 나가는 순환적인 과정 - 본 연구자가 '순환적 모델링'(modeling cycle)이라고 부르고자 하는 과정 - 에 따라 학습해야 한다고 주장하기도 한다(Clement, 1989; Greca & Moreira, 2000; Nersessian, 1992; Schwarz & Gwekwerere, 2007).

하지만, 이미 언급한 바대로, 본 연구에서 관찰된 수업에서는 위와 같이 능동적인 과학 학습의 일환으로 학생들이 모델을 활용하는 모습을 찾아보기 어려웠다. 즉, 학생들이 특정한 모델을 조작해 가며 어떤 현상이나 개념을 충분히 탐색해 보는 기회가 거의 제공되지 않았으며, 학습하는 주제에 관한 자신의 아이디어를 표현하기 위하여 모델을 창안하는 모습도 관찰되지 않았다. 예외적으로 F 교사가 자신의 수업에서 학생들에게 대기의 순환과 해류의 흐름을 나타내는 그림을 그려보도록 하였으나, 이 활동은 학생들의 자유로운 아이디어를 이끌어내기 위한 것이 아니라 이미 배운 교과 내용을 숙지하도록 하기 위한 것이었다. F 교사의 다음 발화에서 그러한 의도를 발견할 수 있다.

> 교사F: 이것은 ... 상식적으로 알아야 돼, 상식적으로. 이 해류 이름은 무조건 다 알아야 돼, 고등학교 졸업한 사람이라면. ... 연습장을, 이만한 걸 꺼내서 내가 그리라는 걸 빨리 그리고, 빨리 해류 이름을 적도록 해. ... 지구 전체를 그려 봐. ... 그 다음 두 번째, ... 적도를 넣어야 겠지, 적도. ...

또, H 교사의 수업은 학생들이 일기 속담을 선정하여 그 속에 담긴 과학적인 원리를 발표하는 활동으로 진행되었지만, 학생들은 몇 가지 정보원에서 찾은 내용을 읽거나 말로 재연할 뿐 그 이상의 다른 표상 형식을 이용하여 자신이 발견한 원리를 표현하는 모습은 관찰할 수 없었다. 더 나아가, 학생들이 스스로 구상한 모델을 테스트해 보고 그것을 점차로 개선하는 과정을 따라 학습하는 사례는 발견되지 않았다. 일례로, K 교사의 수업에서는 태풍에 의한 피해 상황을 보도하는 뉴스가 상영된 후 "왜 이쪽에 강우량이 집중되었을까?"라는 탐구를 유발할 만한 질문이 제기되었지만, 이 질문에 대한 답변은 강우량이 증가할 수 있는 상황에 대한 학생들의 모델링 과정을 통해 얻어진 것이 아니라 교사 주도의 해설식 수업을 통해 제공되었다.

연구자들은, 본 연구의 결과와 유사하게, 많은 과학 교과서들이 과학적 모델을 수록하고 있음에도 불구하고 학생들이 창의적으로 다양한 모델을 구성해 보도록 하는 수업은 드물게 시행되고 있다고 보고하고 있다(Justi & Gilbert, 2002, 2003; van Driel & Verloop, 1999, 2002). 또, 이들은 학생들로 하여금 다채로운 모델링 활동을 경험하도록 시도해 보지 못하는 현실에 대하여 교사들이 과학적 모델이나 모델링 과정에 대해 바르게 인식하고 있지 못하다는 데에서 가능한 원인을 찾기도 한다. 만약 그렇다면, 학교의 과학 수업을 학생 중심적이고 탐구적인 것으로 개선하기 위하여 학생들의 적극적인 모델링 활동을 지원할 수 있는 교재의 개발과 교사 교육 차원의 대응이 있어야 할 것으로 생각된다.

5. 주장 ⑤: 지구과학 수업에서 교사가 과학적 모델의 본성에 대해 설명하는 경우는 거의 없으며, 학생들이 과학적 모델의 본성에 대해 생각해 볼 수 있는 기회 또한 거의 제공하지 않는다.

연구자들은 학생들이 적극적으로 모델을 활용하는 학습 활동에 참여해야 할 필요성을 역설하면서도, 그러한 활동이 반드시 과학적 모델의 본성에 대한 학생들의 올바른 이해를 수반하지는 않는다는 데 동의하고 있다(Grosslight *et al.*, 1991; Schwarz & White, 2005).

다시 말해, 과학적 모델의 본성에 대한 학생들의 이해를 증진시키기 위해서는 모델의 본성에 대한 보다 직접적인 접근이 필요하다는 것이다. 하지만, 관찰된 수업에서는 교사가 과학적 모델의 본성에 대하여 언급하는 경우를 발견하기 어려웠다. 간혹 교사가 학생들과 함께 모델을 다루는 경우에도 교사의 발화는 모델의 본성 보다는 모델이 표상하는 현상이나 아이디어, 또는 일기도와 같은 특정한 형식의 모델을 작성하는 요령을 전달하는 데 초점을 맞추고 있었다. 예를 들어, 다음과 같은 교사의 발화는 과학적 모델의 본성을 어느 정도 드러내고는 있지만, 수업의 전체적인 맥락에 비추어 볼 때, 모델의 본성 보다는 모델 속에 포함된 교과 지식을 강조하기 위한 것이라는 점에서 주장 2에서 제시한 M 교사의 발화와 맥을 같이 하고 있다.

교사A: (전선이 통과할 때의 날씨 변화에 관해 그림을 이용하여 설명한 후) 이게 무슨 얘기인지 응용할 수 있어야 돼요. 여기서 배운 내용 따로, 여러분들이 실제 자연에 가서 생각하는 거 따로, 이렇게 하시면 안돼요.

교사L: 이번 시간에는 우리가 일기도를 직접 만들어 볼 것인데, ... 자, 그럼 일기도가 뭔가 봅시다. 보통 기상의 3요소 하면, 기압, 기온, 바람이 있는데, 이러한 것들을 적당하게 기호를 이용해서 일기도에다가 표현해요. 왜냐하면, 말로서 일일이 표현하면 엄청 복잡해지지요. 약속된 기호를 기입해서. ...

(일기 기호를 모두 보여준 후에)

교사L: 이걸 바탕으로 해서 여러분들이 일기도를 작성해요.

이러한 결과는 교사가 수업에서 과학적 모델을 활용하는 경우에도 모델이 담고 있는 과학 내용만을 강조할 뿐 모델이나 모델링 과정의 본성에 대해서는 언급하지 않는다는 다른 나라의 사례와도 일치하는 면이 있다(Justi & Gilbert, 2002, 2003).

학생들이 과학적 모델의 본성에 관해 이해해야 할 필요성은 두 가지 점에서 대두된다. 그 첫째는 과학적 모델과 모델링 과정에 대해 바르게 인식하는 것이 과학의 본성을 이해하는 일과 직결되기 때문이다. 예를 들어, 대기과학에서 사용되는 일기 예보 모델은 늘 불확정성을 수반할 수밖에 없고, 항상 열려(open) 있기 마련이다. 즉, 어떤 모델도 일기를 좌우하는 낱낱의 요소들을 모두 포함할 수 없고, 따라서 이런 종류의 모델에 있어서는 그 가치가 정확한 예측을 제시하는 데 있는 것이 아니라 대안적인 상황에 대한 다양한 시나리오를 제공하는 데 있다. 그런데, 지구과학에서 사용되는 모델이 지니고 있는 이러한 특성은 그 자체가 복잡한 자연 현상을 탐구의 대상으로 하는 지구과학의 본성을 반영하고 있을 뿐만 아니라, 그것을 깨닫는 것이 장차 지식의 불확실성(uncertainty)이라는 과학의 본성에 대한 이해로 발전할 수 있다는 점에서 주목할 만하다(Oreskes, 2003).

학생들이 과학적 모델의 본성을 알아야 할 두 번째 이유로는 그러한 인식이 종종 학생들의 과학 개념 이해와도 연관된다는 사실을 들 수 있다. 실례로, Gobert & Pallant(2004)는 지구의 판구조 운동을 공부하는 동안 자신이 생각하는 판의 운동과 지각 변동의 모습을 시각적인 모델을 통해 표상하고 그것을 지속적으로 개선해 나가도록 구성된 학습 활동을 중·고등학생들에게 적용한 바 있다. 그들은, 자신들의 연구 결과의 일부로서, 과학적 모델에 관한 보다 세련된 인식론적 관점을 갖게 된 학생들이 모델이 다루고 있는 과학 내용 또한 잘 이해하게 되었다고 보고하였다. 이렇듯 학생들이 과학적 모델의 본성에 대해 이해하는 것은 그것이 과학의 본성을 이해하는 좋은 계기를 제공할 뿐만 아니라, 모델이 표상하는 과학 지식을 아는 데에도 도움이 된다는 점에서 교실 수업의 중요한 목표의 하나로 고려될 필요가 있다.

6. 주장 ⑥: 교사들은 지구과학 수업에서 과학적 모델을 활용하는 일의 가치가 교사의 교수법적인 의도에 비추어 판단되어야 한다고 생각한다.

본 연구에 면담을 위하여 참여한 교사들은 이상과 같이 제시한 다섯 가지 주장들이 우리나라 중등학교 지구과학 교육 현장을 모습을 대체로 잘 나타내고 있다는 데 동의하였다. 특히, 교사가 교과 내용을 학생들이 이해할 수 있는 수준으로 전환하기 위하여 과학적 모델을 하나의 표상 형식으로 동원하고 이 과정에서 잘 알려진 전형적인 모델을 집중적으로 활용하는 것에 대해서는, 연구자가 해석한 바대로, 대부분의 교사들이 국가 수준의 교육과정을 충실히 따른 결과라고 말하였다. 특히, P 교사와 O 교사는 "교육과정이 최소한의 기준이므로 그것을 인정해야"하고, "교육과정이 없으면 [학생들이 성취해야 할] 최소 수준을 담보할 수 없다"고 강조하였다.

과학 학습을 위하여 학생들이 능동적으로 모델을 활용하는 모습이 발견되지 않은 사실에 대해서는 '입시 위주의 학사 운영', '탐구를 위한 시간의 부족'과 같이 이미 많은 사람들에 의해 언급되어 온 요인들을 지적해 주었다. 예를 들어, N 교사는 현행 제 7차 교육과정에서는 고등학교 1학년에서 과학이 3 단위로 운영되기

때문에 교육과정에 있는 내용을 다루기에도 시간이 부족하고, "이로 인해 기본 개념 이상의 다양한 현상을 설명하기 위해 [학생들이 직접] 설계하는 모델을 활용한 학생 중심의 탐구 수업을 자주 사용하기 어렵다"고 말하였다. 사실, 교사들이 이렇게 "시간의 문제"를 겪고 있다는 것은 본 연구에서 비디오 녹화물을 통해 관찰한 수업에서도 발견할 수 있었다. 예컨대, C 교사는 자신의 학교가 소재하고 있는 도시의 기후 자료를 표와 그래프, 즉 수학적 모델의 형태로 제시하면서 교사가 직접 자료를 수집하게 된 사정을 학생들에게 다음과 같이 설명하였다: "... 실제로 이걸 숙제로 내 줘야 하는데, 시간의 여유가 없는 관계로 내가 직접 자료를 찾아 봤거든요. ... 프린트에, 3 페이지에 보면, 비워져 있지요. 거기에 지금 적습니다."

교사들은, 위와 같은 문제 외에도, 모델을 활용한 과학 탐구 수업이 잘 이루어지지 않는 것에 대하여 "과학 수업을 탐구로 재구성하는 것의 효과에 대한 불안"(O 교사)이나 "평가의 문제"(N 교사)를 무시할 수 없다고 하였다. 예를 들어 N 교사는, 중학교에서는 사정이 다를 수 있다는 단서를 언급하면서도, 모델을 활용한 탐구 수업에 투자하다 보면 다른 내용의 수업이 소홀해 질 수 밖에 없다는 것에 고등학교 교사들은 대부분 공감할 것이라고 하였다. 또, P 교사는 학생들이 직접 모델을 다루는 활동을 통해 과학에 대한 흥미를 느끼도록 할 수는 있지만 과학 내용을 잘 이해하도록 하는 것은 어려울 것이라고 하였다. P 교사는 특히, 학생들이 스스로 모델을 구성하여 과학적 탐구를 경험하도록 하기 위해서는 먼저 학생들에게 충분한 지식이 있어야 한다고 강조하였다.

면담에 참여한 세 명의 교사들은 이상과 같은 점들을 종합적으로 고려할 때 학교의 과학 수업에서 모델을 활용하는 일의 가치는 교사의 교수법적인 의도(pedagogical intentions)에 비추어 판단되어야 한다고 주장하였다. 구체적으로, P 교사는 교사가 과학적 모델을 활용하는 수업은 그 목적에 따라 네 가지로 대별될 수 있다고 하였다. 즉, 1) 교사가 교과 내용을 잘 이해시키기 위해 모델을 활용하는 경우, 2) 학생들로 하여금 자신의 아이디어를 다양한 형태의 모델로 자유롭게 표현해 보게 하여 학습에 대한 흥미와 학습 동기를 유발하는 경우, 3) 과학적 모델을 통해 과학의 본성을 깨닫도록 하는 경우, 그리고 마지막으로 4) 학생들로 하여금 과학적인 탐구 방법을 체득하도록 하기 위한 경우가 그것이다. 그런데, 교사들에 따르면, 이렇게 서로 다른 교수법적인 의도는 본질적으로 좋거나 나쁘다고 할 수 없으며, 다만 그 목적에 부합하여 수업이 진행되었고 결과적으로 의도하는 교육 목표를 이루었느냐에 따라 판단되어야 한다. 이러한 관점에서 본다면, 본 연구에서 비디오 자료를 통해 관찰한 수업들은 대부분 첫 번째 목적에 충실하게 과학적 모델을 활용한 사례들이라고 말할 수 있으며, 2)의 경우도 학교의 과학 교육 현장에서는 종종 있는 일이라고 한다. 또, N 교사와 P 교사는 3)이나 4)의 목적을 위하여 모델을 활용하는 지구과학 수업의 예를 구체적으로 제시해 주기도 하였다. 즉, 판구조론이 정립되기까지의 역사적인 과정에서 등장하였던 지각과 지각의 운동에 관한 대안적인 모델들을 제시하고 학생들이 직접 평가해 보게 한다면, 그것이 과학적 탐구의 전(全) 과정을 반영하는 것은 아니지만 학생들로 하여금 탐구의 어떤 요소나 기능을 경험하게 하는 데에는 기여할 수 있다는 것이다. 교사들은 또, 이렇게 과학사(科學史)적인 측면을 이야기식으로 전달하게 되면 과학 지식이 불확정적이고 계속 변한다는 인식을 심어 주는 데에도 효과가 있을 것이라고 말하였다. 그리고, 이 정도의 활동은 교육 현장에서도 충분히 실천할 수 있는 것이라고 하였다.

마지막으로, 면담에 참여한 교사들은 학생들이 적극적으로 참여하는 모델 기반의 과학 수업이 더 잘 이루어지지 않는 사실에 대하여 과학적 모델이나 다양한 모델링 과정을 통한 과학 학습, 과학적 탐구와 모델링의 관계 등에 관해 현장의 교사들이 연구자들이 주장하는 만큼의 "문제의식"(N 교사)을 가지고 있지 못하거나 관련 지식을 알지 못하는 것도 한 원인이 될 수 있다고 덧붙여 말하였다. 따라서, 학생들의 능동적인 역할이 더욱 강조되는 모델 기반의 과학 수업이 이루어지기 위해서는 관련된 주제에 관한 홍보와 교사 교육 프로그램이 필요하다는 것을 시사 받을 수 있었다. 하지만 그러한 일들은, 면담에 참여한 교사들이 강조하는 바와 같이, 과학적 모델을 활용하는 교사들의 의도와 행위에 대한 이해를 바탕으로 하고 그들의 경험과 지혜를 적극적으로 활용하는 방식으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

Ⅳ. 결론 및 제언

지금까지 본 연구에서는 우리나라 중등학교의 대기 및 해양 지구과학 수업에서 과학적 모델이 활용되는 양상을 계량적인 방법과 질적인 방법으로 조사하고, 그 결과를 여섯 가지 서로 연관된 주장으로 요약하였다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 모델을 활용한 과학 수

업과 과학 교육 연구에서 고려해야 할 점들을 진술하자면 다음과 같다.

첫째, 경험적으로 접근하기 어려운 자연 현상이나 추상적인 과학 개념에 대한 학생들의 이해를 돕기 위하여 교사가 모델을 사용하는 것은 교수법적인 측면에서 정당성이 있다고 판단된다. 특히 우리나라의 중등학교 과학 교사들이 모델을 활용함에 있어 국가 수준의 교육과정을 충실히 따르고 있으며 영역-특이적인 모델의 전형(typical form)을 사용하여 학생들을 해당 교과로 입문하게 한다는 점은 긍정적인 것으로 생각된다. 하지만, 교과의 공부가 깊어지기 위해서는 학생들이 변칙적인 사례들도 다루어 보아야 하고, 그에 따라 수업에서 더욱 다양한 모델들이 등장할 수 있어야 한다는 점 또한 강조되어야 한다. 이를 위해서는 교사들이 본 연구와 선행 연구(오필석 등, 2007)에서 사용한 과학적 모델의 삼차원적 분류틀을 이용하여 지구과학 수업에서 활용할 수 있는 모델들을 다채롭게 준비할 수 있을 것이다.

둘째, 과학 교실에서 모델의 활용이 교사의 교육적인 판단에 따라 이루어지고 있다는 긍정적인 측면에도 불구하고 모델 사용에 있어 학생들이 수동적인 입장에 있다는 것은 개선되어야 할 것으로 생각된다. 과학적인 표상과 의사소통의 다중성(multimodality)을 강조하는 새로운 관점에서는 과학 학습을 기호를 창안하는(sign-making) 과정이라고 한다(Kress *et al.*, 2001; Lemke, 1998). 다시 말해, 학생들이 능동적으로 모델을 탐색하거나 창안하고, 또 자신의 모델을 재구성해 가면서 과학을 공부할 수 있어야 한다는 것이다. 이렇게 학생들이 주도적으로 모델을 활용하는 수업을 위해서는 교사들이 자신의 교실 상황을 고려하여 von Joolingen (2004)이 제안한 탐색적 모델링이나 표현적 모델링으로부터 보다 적극적인 수준의 탐구 모델링과 순환적인 모델링까지 모델을 기반으로 한 과학 탐구 수업을 점진적으로 시도해 볼 수 있을 것이다. 이러한 시도는 창의적인 문제 해결과 탐구 과정을 더욱 강조하고 자유 탐구를 신설한 새로운 교육과정(교육부, 2007)의 정신을 구현하기 위한 좋은 기회가 될 수 있을 것이다. 또한, 그러한 수업 과정은 과학적 모델을 통한 학습 활동의 성격과 그 효과를 경험적으로 탐색할 수 있는 새로운 연구의 장을 제공할 것으로 기대된다.

셋째, 흔히 현대의 과학철학이라 불리는 과학에 대한 새로운 관점이 과학 교육 분야에도 영향을 미쳐 학교의 과학 수업에서도 과학의 본성에 대한 교육이 필요하다는 주장이 제기된 것이 이미 십수년이 되었다 (American Association for the Advancement of Science [AAAS], 1990; NRC, 1996). 과학의 본성에 대한 교육은 과학사의 실제 사례나 과학과 관련된 사회적 이슈를 통해서 간접적으로 가르쳐질 수도 있고, 학생들이 과학 철학의 쟁점들을 직접 검토함으로써 이루어질 수도 있을 것이다. 과학적 모델과 모델링 과정은 이러한 접근 속에서 학생들로 하여금 과학의 본성에 관한 더욱 세련된 이해에 다가갈 수 있도록 하는 좋은 소재가 될 수 있을 것이다. 이 점에서 우리나라의 중등학교 지구과학 수업에서 적지 않게 모델이 등장하면서도 그것의 본성에 대해서는 거의 다루어지지 않고 있다는 사실은 아쉬운 점이다. 따라서 교사들은 모델을 교과 내용을 전달하기 위한 수단으로서 뿐만 아니라 과학적 모델의 본성, 나아가 과학의 본성을 가르치기 위한 기회로 활용할 필요가 있다. 특별히 학생들이 모델의 본성을 이해하는 것이 과학 내용에 대한 이해와도 상관이 있다는 연구 결과가 보고된 바 있으므로 (Gobert & Pallant, 2004), 모델의 본성을 잘 아는 것이 과연 학생들의 학업 성취와 정적(正的)으로 상관하는지에 대해 추가적으로 검증하는 연구가 이루어져야 할 것이다.

마지막으로, 본 연구의 면담 과정에 참여한 교사들에 따르면, 교육 현장의 교사들은 자신의 수업에서 모델을 여러 가지 교수법적인 목적에 따라 활용하면서도 과학적 모델과 모델링 과정의 특징, 그리고 그것의 교육적 가치에 대해서는 잘 인지하지 못하고 있다고 한다. 따라서, 앞서 기술한 제언들이 실제로 구현되기 위해서는 과학적 모델과 모델을 활용한 과학 수업에 대한 교사 교육 프로그램이 마련되어야 할 것이다. 특히 이때는 특정 이론을 학술적인 관점에서 일방적으로 전달하는 것에 치우치지 않고, 교사들이 실제로 활용하는 모델에 대해 개방적으로 논의하여 더욱 좋은 방안을 찾아가는 방식의 새로운 접근을 통해 실질적인 수업 개선을 도모할 필요가 있다고 생각된다.

국문 요약

본 연구의 목적은 우리나라 중등학교 과학 수업에서 모델이 활용되는 양상을 탐색하는 것이었다. 대기 및 해양 지구과학에 관련된 총 13개의 비디오 녹화 자료와 그것들의 전사본을 계량적인 방법과 질적인 방법으로 분석하고, 3명의 현장 교사들과 면담을 수행하였다. 연구의 결과는 서로 연관된 여섯 가지 주장들로 요약되었다. 즉, 1) 우리나라 중등학교의 대기 및 해양 지

구과학 관련 수업에서는 평면적 그림 모델과 기호 모델, 모상 모델과 도해적 모델이 주로 활용된다. 2) 지구과학 수업에서 교사들은 모델을 교과 내용을 전달하기 위한 하나의 표상 형식으로서 활용한다. 3) 우리나라 중등학교 지구과학 수업에서 교사들은 이미 그 구조가 결정된 전형적인 모델을 집중적으로 활용한다. 4) 지구과학 수업에서 종종 학생들이 직접 모델을 다룰 때에는 모든 학생들이 동일한 모델을 가지고 유사한 절차에 따라 활동에 참여한다. 5) 지구과학 수업에서 교사가 과학적 모델의 본성에 대해 설명하는 경우는 거의 없으며, 학생들이 과학적 모델의 본성에 대해 생각해 볼 수 있는 기회 또한 거의 제공하지 않는다. 6) 교사들은 지구과학 수업에서 과학적 모델을 활용하는 일의 가치가 교사의 교수법적인 의도에 비추어 판단되어야 한다고 생각한다. 이러한 연구 결과를 바탕으로 모델을 활용한 과학 수업과 과학 교육 연구에서 고려해야 할 점들을 논의하였다.

참고 문헌

교육인적자원부 (2007). 과학과 교육과정. 서울: 저자.

손민호 (2002). 교과 내용으로서의 실천적 지식에 대한 이해와 오해: 과학과 실험 수업의 경우의 관점의 시사. 교육과정연구, 20(3), 243-369.

오필석 (2006). 지구과학교육에서 활용되는 과학적 모델의 분류틀 개발. 한국지구과학회 춘계학술발표회 논문집, 92.

오필석 (2007). 중등학교 지구과학 교사들의 과학적 설명: 논리적 형식과 담화적 특징 분석. 한국과학교육학회지, 27(1), 37-49.

오필석, 전원선, 유정문 (2007). 10학년 과학 교과서 지구 분야에 등장하는 과학적 모델 분석. 한국지구과학회지, 28(4), 393-404.

이인효 (1991). 입시 위주 수업의 실제. 교육이론, 6(1), 93-113.

이진봉 (2006). 지구과학 그래프의 유형과 고등학생의 그래프 해석 능력 분석. 서울대학교 대학원 석사학위 논문.

American Association for the Advancement of Science (1990). Science for all Americans. New York: Oxford University Press.

Baker, V. R. (1999). Geosemiosis. GSA Bulletin, 5, 633-645.

Buckley, B. C. & Boulter, C. J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models. In J. K. Gilbert & C. J. Boulter (eds.), Developing models in science education (pp. 119-135). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Cleland, C. E. (2002). Methodological and epistemic differences between historical science and experimental science. Philosophy of Science, 69, 474-196.

Clement, J. (1989). Learning via model construction and criticism. In G. Glover, R. Ronning, & C. Reynolds (Eds.), Handbook of creativity: Assessment, theory and research (pp. 341-381). New York, Plenum.

Crowder, E. M. (1996). Gestures at work in sense-making science talk. The Journal of Learning Sciences, 5(3), 173-208.

Dodick, J. & Orion, N. (2003). Geology as an historical science: Its perception within science and the education system. Science & Education, 12, 197-211.

Engelhardt, W. von & Zimmermann, J. (1982). Theory of earth science (translated by L. Fischer). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Franco, C., de Barros, H. L., Colinvaux, D., Krapas, S., Queiroz, G., & Alves, F. (1999). From scientists' and inventors' minds to some scientific and technological products: Relationships between theories, models, mental models and conceptions. International Journal of Science Education, 21(3), 277-291.

Frodeman, R. (Ed.) (2000). Earth matters: The earth sciences, philosophy, and the claims of community. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.

Giere, R. N. (1988). Explaining science: A cognitive approach. Chicago, IL: University of Chicago Press.

Giere, R. N. (1994). The cognitive structure of scientific theories. Philosophy of Science, 61, 276-296.

Giere, R. N. (1999). Science without laws. Chicago, IL: The University of Chicago Press.

Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. International Journal of Science Education, 2, 115-130.

Gilbert, J. K. (Ed.) (2005). Visualization in science education. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Gilbert, J. K. & Boulter, C. J. (Eds.) (2000), Developing models in science education. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Gilbert, J. K., Boulter, C., & Rutherford, M. (1998). Models in explanations, Part 1: Horses for courses? International Journal of Science Education, 20(1), 83-97.

Gilbert, S. W. & Ireton, S. W. (2003). Understanding models in earth and space science. Arlington,VA: NSTA press.

Gobert, J. D. (2000). A typology of causal models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding. International Journal of Science Education, 22(9), 937-977.

Gobert, J. D. (2005). The effects of different learning tasks on model-building in plate tectonics: Diagramming versus explaining. Journal of Geoscience Education, 53(4), 444-455.

Gobert, J. D. & Clement, J. J. (1999). Effect of student-generated diagram versus student-generated summaries on conceptual understanding of causal and dynamic knowledge in plate tectonics. Journal of Research in Science Teaching, 26(1), 39-53.

Gobert, J. D. & Pallant, A. (2004). Fostering students' epistemologies of models via authentic model-based tasks. Journal of Science Education and Technology, 13(1), 7-22.

Greca, I. M. & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. International Journal of Science Education, 22(1), 1-11.

Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and experts. Journal of Research in Science Teaching, 28(9), 799-822.

Halloun, I. A. (2004). Modeling theory in science education. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2002). Science teachers' knowledge about and attitudes towards the use of models and modelling in learning science. International Journal of Science Education, 24(12), 1273-1292.

Justi, R. S. & Gilbert, J. K. (2003). Teachers' views on the nature of models. International Journal of Science Education, 25(11), 1369-1386.

Johnson, J. K. & Reynolds, S. J. (2005). Concept sketches? Using student- and instructor-generated, annotated sketches for learning, teaching, and assessment in geology courses. Journal of Geoscience Education, 53(1), 85-95.

Kleinhans, M. G., Buskes, C. J. J., & de Regt, H. W. (2005). Terra Incognita: Explanation and reducation in earth science. International Studies in the Philosophy of Science, 19(3), 289-317.

Kress, G., Jewitt, C., Ogborn, J., & Tsatsarelis, C. (2001). Multimodal teaching and learning: The rhetorics of the science classroom. London, UK: Continuum.

Kress, G., Ogborn, J., & Martins, I. (1998). A satellite view of language: Some lessons from science classrooms. Language Awareness, 7(2&3), 69-89.

Lemke, J. (1998). Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. In J. R. Martin & R. Veel (Eds.), Reading science: Critical and functional perspectives on discourse of science (pp. 87-113). New York: Routledge.

Mayer, R. E. (1989). Models for understanding. Review of Educational Research, 59(1), 43-64.

National Research Council (1996). National Science Education Standards. Washington, DC: National Academy Press.

Nersessian, N. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. N. Giere (Ed.), Cognitive models of science (pp. 3-44). Minneapolis, MN: University of Minnesota Press.

Oreskes, N. (2003). The role of quantitative models in science. In C. D. Canham, J. J. Cole, & W. K. Lauenroth (Eds.), Models in ecosystem science (pp. 13-31). Princeton, NJ: Princeton University Press.

Parker, W. S. (2006). Understanding pluralism in climate modeling. Foundations of Science, 11, 349-368.

Raia, F. (2005). Students' understanding of complex dynamic systems. Journal of Geoscience Education, 53(3), 297-308.

Reynolds, S. J., Johnson, J. K., Pibuvrn, M. D., Leedy, D. E., Coyan, J. A., & Busch, M. M. (2005). Visualization in undergraduate geology courses. In J. K. Gilbert (Ed.), Visualization in science education (pp. 253-266). Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Rotbain, Y., Marbach-Ad, G., & Stavy, R. (2006). Effect of bead and illustrations models on high school students' achievement in molecular genetics. Journal of Research in Science Teaching, 43(5), 500-529.

Schwarz, C. V. & Gwekwerere, Y. N. (2007). Using a guided inquiry and modeling instructional framework (EIMA) to support perservice K-8 science teaching. Science Education, 91, 158-186.

Schwarz, C. V. & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. Cognition and Instruction, 23(2), 165-205.

Steer, D. N., Knight, C. C., Owens, K. D., & McConnell, D. A. (2005). Challenging students ideas about Earth's interior structure using a model-based, conceptual change approach in a large class setting. Journal of Geoscience Education, 53(4), 415-421.

Strauss, A. (1987). Qualitative analysis for social scientists. Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Suppe, F. (1972). What's wrong with the received view on the structure of scientific theories? Philosophy of Science, 39, 1-19.

van Driel, J. H. & Verloop, N. (1999). Teachers' knowledge of models and modelling in science. International Journal of Science Education, 21(11), 1141-1153.

van Driel, J. H. & Verloop, N. (2002). Experienced

teachers' knowledge of teaching and learning of models and modelling in science education. International Journal of Science Education, 24(12), 1255-1272.

van Joolingen, W. (2004). Roles of modeling in inquiry learning. Paper presented at the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, Joensuu, Finland.