

# 중등학교 지구과학 교사들의 과학적 설명: 논리적 형식과 담화적 특징 분석

오필석

이화여자대학교

## Scientific Explanations by Earth Science Teachers in Secondary Schools: Analyses of the Logical Forms and Discursive Features

Oh, Phil Seok

Ewha Womans University

**Abstract:** The purpose of this study was to classify the logical forms of scientific explanations provided by teachers in secondary earth science classrooms, to examine the characteristics of the scientific explanations in different forms, and to identify the roles of the teacher and students in discursive practices for scientific explanations. Data came from the earth science teachers who participated in overseas teacher in-service programs in the years 2003 and 2004. A total of 18 video-taped lessons and their verbatim transcriptions were analyzed. The result showed that deductive-nomological explanations occurred most frequently in earth science classrooms and that the deductive-nomological model was well-suited to those problems for which there existed firmly established scientific laws or principles to construct scientific explanations. However, abductive explanations were presented when the classes dealt with retrodictive tasks of earth science. The statistical-probabilistic and statistical-relevance models were also employed in explaining weather proverbs and unusual changes of weather, respectively. Most of the scientific explanations were completed through the teachers' monologic utterances, and students assumed passive roles in discursive practices for developing scientific explanations. Implications for science lessons and science education research were discussed.

Key words: scientific explanation, deductive-nomological model, statistical-probabilistic model, statistical-relevance model, abductive explanation, earth science teacher

### I. 서론

#### 1. 과학적 설명의 논리적 형식들

자연 세계를 이해하기 위하여 설명을 제공하는 것은 중요한 과학 활동 중의 하나이다. ‘과학적 설명’(scientific explanation)은 흔히 ‘왜’(why) 또는 ‘어떻게 하여’(how come)라는 질문에 대한 답이라고 정의된다. 예를 들어, “얼음물로 가득 채워 놓은 유리잔 표면에 습기가 차는 것은 왜일까?”, “이 협곡은 어떻게 하여 형성되었는가?”와 같은 개별 사건에 관한 물음이나 “얼음은 왜 물에 뜨는 것일까?”라는 과학 법칙에 대한 질문은 모두 과학적 설명을 요청하는 것들로(Gerrard, 1984; Nagel, 1961 참조), 단순히 어떤

것에 대한 기술(description)을 요하는 물음들(예: what-and how-questions)과는 구별된다.

지금까지 과학철학이나 과학사에 관심이 있는 여러 학자들이 과학적 설명이 갖추어야 할, 혹은 그것이 갖추고 있는 논리적 형식들을 제시해 오고 있다(Hempel, 1965, 1966; Nagel, 1961; Pitt, 1988; Ohlsson, 2002; Salmon, 1971, 1984, 1998; Walton, 2004). 이들이 제안하는 논리적 형식은, 그 명칭에 있어 약간의 차이가 있을 뿐, 대체로 네 가지 종류로 구분된다. 즉, 연역-법칙적(deductive-nomological), 통계-확률적(statistical-probabilistic), 통계-유관성(statistical-relevance) 모형 및 귀추적(abductive) 설명이 그것으로, 본 연구에는 이러한 과학적 설명의 대표적인 모형들에 초점을 맞추고자 한다.

\* 교신저자: 오필석(philoh@ewha.ac.kr)  
\*\* 2006.08.21(접수) 2006.10.10(1심통과) 2007.01.11(2심통과) 2007.01.12(최종통과)

과학적 설명을 논리적 형식에 따라 분석적으로 제시한 선구적인 인물로는 Hempel을 들 수 있다. 그가 제안한 대표적인 과학적 설명의 형식은 ‘연역-법칙적 모형’(deductive-nomological model or D-N explanation)으로 알려져 있다. 연역-법칙적 모형은 초기 조건(initial condition)과 과학 이론 또는 법칙을 전제로 삼아 어떤 현상을 설명하는 것으로, 다음과 같은 사례가 연역-법칙적 설명의 전형적인 예라고 할 수 있다(Hempel, 1966, p. 10; Salmon, 1998, p. 303 참조).

(initial condition, C) 특정한 시각에 암염 조각이 분체 불꽃에 넣어 졌다. (P) (law or theory, L) 암염은 나트륨염으로 구성되어 있다.  
 나트륨염을 분체 불꽃에 넣으면 불꽃의 색이 노란색으로 변한다. (P → Q)  
 (explanandum, E) 따라서, 그 때 분체 불꽃이 노란색으로 변하였다. (Q)

위와 같이 연역-법칙적 설명 모형에서는 설명되어지는 현상이 두 가지 종류의 전제들로부터 연역적 논증의 결론으로 도출된다. 즉, 마치 피설명항(explanandum)이 설명항(explanans) 중의 하나인 이론이나 법칙에 포섭되는 형식을 갖추고 있으며, 이로 인해 Hempel의 연역-법칙적 설명 모형은 흔히 ‘포괄 법칙 모형’(covering law model)이라고도 불린다. 또, 초기 조건은 특정한 시간과 장소에서 어떤 사건이 발생하였다거나 관심 있는 대상이 어떤 특성을 지니고 있다는 것을 확인시켜 줌으로써 포괄 법칙이 적용될 수 있는 구체적인 상황을 제공하기 때문에 개별 사건을 설명하는 연역-법칙적 모형에서 반드시 필요하다. 하지만, 피설명항이 개별 사건이 아닌 법칙적 내용인 경우에는 종종 특정한 상황을 구성하는 초기 조건을 확인할 필요가 없기 때문에 법칙 언명이나 준법칙적 언명(law-like statement)이 초기 조건을 대치하기도 한다(Hempel, 1965; Nagel, 1961; Salmon, 1998).

Hempel(1965, 1966)은 과학적 설명이 적어도 하나의 통계적 법칙을 전제로 활용하는 경우에는 ‘통계-확률적 모형’(statistical-probabilistic model or S-P explanation)으로 확장될 수 있음을 인정하였다.<sup>1)</sup> 통계-확률적 모형은 연역-법칙적 설명의 변형으로, 포괄 법칙이 보편적으로 일반화된 것이 아닌 높은 확률적 진술이나 통계적 규칙성을 포함하는 언명으로 대치된 형식을 지니고 있다. 예컨대, Hempel은 짐(Jim)이란 아이가 홍역에 걸린 이유를 설명하는 다음의 경우를 통계-확률적 설명의 한 사례로 제시한다(Hempel, 1966, p. 59 참조).

C 짐이 홍역에 노출되었다.  
 L 홍역에 노출된 사람이 홍역에 걸릴 확률은 높다.  
 E 따라서, 짐이 홍역에 걸렸다.

이 때, 설명항과 피설명항 사이의 두 줄(=)은 그 논증이 연역적인 관계가 아닌 귀납적인 관계임을 나타낸다. 즉, 통계-확률적 설명에서는 설명 전제가 피설명항을 필연적으로 함축하고 있지 않고, 다만 설명항이 피설명항을 확률적으로 있을 법한 것으로 만들어 준다. 다시 말해, 설명항으로부터 피설명항을 이끌어 낼 수 있는 근거가 연역적 필연성에 있는 것이 아니라 높은 귀납적 확률에 있다.

Hempel의 아이디어에 기초한 이상과 같은 모형들이 과학적 설명의 논리적 형식으로서 인정되고 있음에도 불구하고, Salmon(1971, 1984, 1998)은 이 모형들이 과학적 설명의 보편적인 모형이 되기에는 제한점을 지니고 있다고 지적하였다. 예컨대, Hempel의 설명 모형에서 설명항으로 등장하는 일반 이론이나 보편 법칙, 통계적 법칙이 피설명항과 항상 인과적(causal)으로 연계되는 것은 아니므로, 다음 사례에서와 같이, 실제로는 피설명항이 전혀 설명되지 않는 경우가 있을 수 있다는 것이다(Salmon, 1971, p. 33 참조).

C 존(John)이 비타민(vitamin) C를 복용하고 있다.  
 L 거의 모든 감기는 비타민 C를 먹고 일주일 안에 낫는다.  
 E 그래서, 존은 일주일 내에 자신이 감기에서 나은 것이라고 확신하였다.

위 사례는 설명항이 높은 확률적 법칙 언명을 포함하고 있고 피설명항이 특정한 하나의 사건이므로 통계-확률적 모형에 대응하지만, 적절한 과학적 설명을 제공한다고는 보기 어렵다. 왜냐하면, 감기는 보통 일주일 정도 지나면 낫기 마련이고 비타민의 복용은 피설명항의 발생, 즉 감기의 치료에 영향을 미치지 않기 때문이다. 이와 같은 Hempel의 설명 모형의 제한점으로부터 Salmon은 대안적인 과학적 설명 모형을 제안하였다. 이 모형은 ‘통계-유관성 모형’(statistical-relevance model or S-R explanation)이라 불리는 것으로, 통계적 확률이 높고 낮음에 관계없이 관심 있는 문제와 통계적으로 적절하게(statistically relevant) 연계된 법칙이 좋은 설명을 제공할 수 있다는 관점에 기초하고 있다. 이 때 통계적으로 적절하다는 말은 어떤 설명항의 등장이 피설명항의 발생에 차이를 가져올 수 있음을 뜻한다. 예를 들면, 일반 사람들이 특정한 종류의

1) 초기에 Hempel(1965)은 과학적 설명의 확률적 모형은 피설명항이 통계적 규칙성인가 혹은 개별 사건인가에 따라 ‘연역-통계적 모형’(deductive-statistical model or D-S explanation)과 ‘귀납-확률적 모형’(inductive-statistical model or I-S model)으로 구분될 수 있다고 하였다. 하지만, 이 두 모형이 적어도 하나 이상의 확률적 법칙을 설명항으로 사용한다는 점에서 공통되고, 흔히 귀납-확률적 모형으로 대표되는 확률적 설명이 종종 ‘통계-확률적 모형’으로 불린다는 점(Martin, 1985)을 고려하여, 본 연구에서는 과학적 설명의 확률적 모형을 통칭하는 용어로 통계-확률적 모형을 사용하기로 한다.

버섯에 중독될 확률은 매우 낮지만, 이 통계 법칙적 언명은 특이 체질을 가진 사람이 버섯에 중독되는 사건을 잘 설명할 수 있다(Salmon, 1984, p. 32 참조).

- C 특이 체질을 가진 사람이 특정한 종류의 버섯을 섭취하였다.  
 L 이 버섯은 대부분의 사람들이 먹을 수 있지만, 특이 체질을 가진 일부 사람들에게는 독성이 있다.  
 E 그래서, 이 버섯을 먹은 사람이 버섯 중독에 걸렸다.

Salmon(1998)에 따르면, 과학적 설명의 통계-유관성 모형은 여러 과학 분야에 적용될 수 있다고 한다. 왜냐하면, 과학에서는 특정 원소의 방사성 붕괴나 새로운 종(species)의 탄생과 같이 발생 확률이 낮아 그다지 일어나지 않을(improbable) 것처럼 보이지만 결코 설명이 불가능하지(inexplicable) 않은 사건들도 탐구의 주제로 삼기 때문이다.

지금까지 논의한 과학적 설명 모형들이 대부분 초기 조건이 이미 알려져 있는 경우에 보편적이거나 통계적으로 인정된 법칙을 이용하여 피설명항을 이끌어 내는 데 적용될 수 있는 것들이라면, 초기 조건이 알려져 있지 않고 오히려 어떤 현상을 경험한 후 그것을 발생시킬 수 있는 조건들을 미루어 짐작해야 하는 경우에는 종종 다른 형식의 과학적 설명이 요청된다. 이것은 연역적 혹은 귀납적 논증의 형식을 갖추고 있는 앞의 모형들과 다른 추론의 구조를 가지고 있는데, 어떤 결과(result)를 설명하기 위하여 규칙(rule)을 추리해 내고 그로부터 그 결과를 발생시킬 수 있는 경우(case) 또는 조건(condition)을 이끌어 내는 구조, 즉 귀추법(abduction)의 구조를 지니고 있다. 귀추적 추론 구조를 지닌 설명의 예는 다음과 같은 후진적(retrodictive) 문제를 해결하는 과정에서 찾을 수 있다(Walton, 2004, p. 6 참조).

- (Result) 물고기 화석이 마을의 안쪽, 꽤 깊은 곳에서 발견되었다. (Q)  
 (Rule) 이 땅에 한 때 바닷물이 침범하였다면, 물고기 화석이 마을 안쪽의 꽤 깊은 곳에서 발견될 수 있다. (P → Q)  
 (Case) 따라서, 이 마을은 한 때 바닷물에 덮여 있었을 것이다. (P)

위와 같은 논증의 형식은 충분조건(Q)이 주어졌을 때 필요조건(P)을 이끌어내는 것으로 형식 논리의 관점에서는 타당하지 않지만, 관찰된 현상을 발생시킬 수 있는 여러 가지 개연적인(probable) 사건들 중에서 어떤 특정한 것을 추정해 내어 그 결과를 설명할 있도록 해 준다. 따라서, 이러한 형식을 과학적 설명의 ‘귀추적 모형’(abductive model of scientific explanation or abductive explanation)이라 할 수 있으며, 이미 여러 학자들에 의해 과학적 설명의 한 가지 대안적인 모형으로 여겨지고 있다(Fetzer, 2002; Psillos, 2000; Walton, 2004).

본 연구에서는 이상과 같은 복수의 과학적 설명 모

형, 즉 연역-법칙적 모형, 통계-확률적 모형, 통계-유관성 모형, 귀추적 모형들을 발견법적 도구로 삼아 우리나라의 중등학교 지구과학 수업 중에 교사들이 제공하는 과학적 설명의 논리적 형식을 분석해 보고자 한다.

## 2. 과학 수업에서 과학적 설명의 의의

과학 수업 중에 이루어지는 교사의 담화(oral discourse or talk)는 기본적으로 사회적 언어 행위(social speech)라고 할 수 있다. 왜냐하면, 교사의 독백(monologue)조차도 수업이 놓여진 상황이나 학생들의 반응에 따라 끊임없이 재구성되고, 교사의 강의는 종종 학생들과의 언어적인 상호작용을 통해 완성되기 때문이다(Edwards & Mercer, 1987; Gee et al., 1992). 따라서, 사람들 사이에서 일어나는 일종의 사회 현상인 수업을 이해하기 위해서는 교사의 담화를 분석하는 일이 매우 중요하다.

교사의 담화 중에 과학적 설명은 인과적(causal) 혹은 문제중심적인(problem-centered) 언어적 행동으로 분류할 수 있다. 이것은 표제적(topical) 혹은 지시중심적인(referent-centered) 담화와 대조되는데, 표제적·지시중심적 담화가 주로 현상이나 개념에 대한 기술(description)들로 이루어진 데 비하여, 인과적·문제중심적인 담화는 특정한 문제 상황 속에서 다루어지는 현상이나 개념과 관련되고 또 그것들의 기초가 되는 상위의 원리(superordinate principle)들로 구성된다. 따라서, 인과적·문제중심적인 담화는 다양한 설명적(explanatory) 진술을 포함할 수 있다(Bereiter, 2002; Woodward, 1994). 또, 일반적으로 예상할 수 있는 것과 같이, 과학에서는 기술적인 것보다는 인과적인 원리들로 이루어진 지식이 문제 해결에 더욱 유력한 기반을 제공하며, 학교의 과학 수업에서도 과학적 설명을 위시한 인과적·문제중심적인 담화가 학생들의 이해와 추론 능력을 향상시키는 데 더 효과적이라는 것이 알려져 있다(Mayer, 1992; Meyer & Freedle, 1984; Woodward, 1994). 따라서, 실제 수업 중에 제공되는 교사의 과학적 설명을 분석하는 일은 좋은 과학 수업을 위한 기초적인 정보와 유용한 시사점들을 제공할 수 있다.

하지만, 지금까지 과학교육 분야의 연구에서는 교사의 강의 내용을 서로 다른 인식론적 관점에서 분류하거나(Dagher & Cossman, 1992), 대안적인 형태의 설명에 관하여 이론적으로 고찰한 연구가 있을 뿐(Norris et al., 2005), 과학 교실의 담화를 과학적 설명의 논리적 형식에 따라 실증적으로 분석한 예는 찾아보기 어렵다. 이 점을 고려하여 본 연구에서는 우리나라 중등학교 지구과학 수업에서 교사들이 제공하는

과학적 설명을 서로 다른 논리적 형식에 따라 분석하고 그것의 의미를 논의해 보고자 한다. 본 연구에서 다루고자 하는 구체적인 연구 문제들은 다음과 같이 진술될 수 있다.

첫째, 우리나라 중등학교의 지구과학 수업 중에 교사들이 과학적 설명을 제공하는 빈도는 어떠하며, 지구과학 교사들은 어떤 논리적 형식에 부합하는 과학적 설명을 제공하는가?

둘째, 지구과학 교사들이 서로 다른 논리적 형식의 과학적 설명을 사용하는 상황은 구체적으로 어떤 경우인가?

셋째, 지구과학 수업에서 과학적 설명을 위한 담화행위는 교사와 학생의 담화적 역할(discursive role)이라는 측면에서 어떤 특징이 있는가?

## II. 연구 방법

### 1. 자료 제공 교사와 분석 대상 수업

본 연구를 위한 수업 자료는 최근까지 우리나라 교육부의 지원으로 실시되었던 전공 교과 교원 단기 해

외 연수 프로그램에 참가하였던 지구과학 교사들로부터 수집하였다. 2000년도 이후에 해외 연수에 참여한 지구과학 교사들은, 프로그램 운영진의 요청에 자발적으로 동의하는 경우, 자신들의 한국에서의 수업 장면을 녹화한 비디오 테이프를 제공하였다. 이 자료들은 연수 기간 중에 교사들의 수업에 대한 반성적 고찰과 연수 후속 프로그램을 위하여 활용되었다(Shin et al., 2003 참조). 본 연구에서는 기존의 연구에서 활용되지 않은 2003년과 2004년 참여 교사들의 수업을 주된 자료원으로 하였다. 이 기간 동안에는 총 40명의 연수 참여 교사들 중 19명이 21차시 분량의 수업 녹화 자료를 제공하였는데, 지구과학 전공 교사로서 중학교에서 물상 단원을 가르치는 장면이 녹화된 것과 녹화 상태가 좋지 않은 것들을 제외하고, 교사 일인당 하나의 수업을 분석 대상으로 하기 위하여 총 18명, 18차시의 수업을 분석 대상으로 선정하였다. 자료를 제공해 준 교사들과 분석 대상으로 선정된 수업에 관한 정보는 표 1에 요약된 바와 같다.

표 1에서 보는 바와 같이, 본 연구에서 분석된 지구과학 수업은 중학교 수업이 3차시, 과학교등학교를

표 1  
자료 제공 교사 및 분석된 수업에 관한 정보

자료 제공 교사에 관한 정보				분석된 수업에 관한 정보			녹화 시간* (분:초)
부호	성별	당시 근무 학교	당시 교육경력 (년)	수업 과목	수업 주제	수업 형태	
A	남	고	17	지구과학 II	해파와 조석	강의	34:39
B	여	고	19.5	지구과학 I	해수의 순환	강의	42:02
C	여	고	18	지구과학 I	일기도 분석	학생활동 및 강의	48:05
D	여	중	8	과학(8학년)	지구 모형의 크기 측정	학생활동 및 강의	21:22
E	남	고	18	지구과학 I	일기에 관련된 속담	학생활동 및 강의	38:23
F	남	고	15	지구과학 I	날씨의 변화	강의	46:42
G	여	중	14	과학(8학년)	지층에 숨겨진 기록	학생활동 및 강의	22:36
H	남	고	19	과학(10학년)	전선 모형 만들기	학생활동 및 강의	40:10
I	남	중	14	과학(9학년)	전선과 날씨	강의	46:57
J	여	고	9.5	과학(10학년)	우리나라 기후의 계절별 특징	학생활동 및 강의	28:00
K	여	고	11	지구과학 I	단열변화와 수증기의 응결	학생활동 및 강의	27:43
L	남	과학교	17	지구과학	해류	강의	36:27
M	여	고	9.8	지구과학 I	태풍	강의	39:38
N	남	고	12	지구과학 II	은하의 분류	학생활동 및 강의	41:23
O	여	고	5.4	과학(10학년)	구름의 생성 원리	학생활동 및 강의	39:24
P	여	고	12.5	과학(10학년)	행성의 분류	학생활동 및 강의	34:40
Q	여	고	17	지구과학 I	일기도 작성 및 분석	학생활동 및 강의	20:40
R	남	고	21	과학(10학년)	우리나라 주변 해수의 성질	학생활동 및 강의	53:40
평균 교육 경력: 14.6년				총 녹화 시간: 11시간 2분 31초			

\* 수업이 녹화된 시간을 제시한 것은 과학적 설명의 발생 횟수를 50분 단위의 수업에서의 빈도로 환산할 때 고려하기 위함이다.

포함한 고등학교 수업이 15차시로, 고등학교의 자료 중에는 대기나 해양 단원의 수업을 녹화한 자료가 상대적으로 많았다. 이것은 연수 참여 교사들의 수업 녹화 시기가 비슷하여 같은 단원의 수업을 진행한 경우가 많았기 때문이었다. 하지만, 세부 주제나 수업 형태가 서로 달랐기 때문에 비교적 다양한 모습의 지구과학 수업 장면을 제공하기에 충분하다고 판단되었다.

## 2. 자료의 분석

선정된 수업 녹화 자료를 분석하기 위하여 계량적인 방법과 정성적인 방법을 병행하였다. 먼저, 지구과학 교사들의 과학적 설명을 논리적 형식에 따라 계수하기 위하여 문헌 고찰을 통해 알게 된 과학적 설명의 네 가지 유형, 즉 연역-법칙적, 통계-확률적, 통계-유관성, 귀추적 모형을 분류 기준으로 삼고, 다음과 같은 분석의 원칙을 수립하였다. 우선, 교사 자신이나 학생에 의해 시작되는 ‘왜?’ 또는 ‘어떻게 하여?’라는 종류의 발문에 이어 교사의 답변이 제공되거나, 의문문인 것이 뚜렷이 드러나지 않더라도 그것에 상응하는 발화와 답변이 이어질 경우에 과학적 설명의 분석 대상으로 선정하였다. 특히, 교사가 단독으로 진행하는 발화뿐만 아니라 교사가 학생들과의 언어적인 상호작용을 통해 완성하는 과학적 설명 또한 분석 대상으로 하였다. 다음, 선정된 담화의 내용을 논리적 구조에 따라 재구성하여 그것의 논리적 형식을 분류하였다. 예를 들어, 다음과 같은 교사의 발화는 초기 조건과 포괄 법칙, 그리고 피설명항으로 이루어진 명시적인 논리적 구조로 가지고 있는 것으로 분석되었고, 따라서 연역-법칙적 모형에 부합하는 과학적 설명으로 구분하였다. 특히, 아래의 경우는 피설명항이 ‘우리나라와 같은 중위도 지방에서는 기상 현상이 서에서 동으로 움직인다’는 법칙적 내용에 해당하는 것으로, 초기 조건 역시 법칙적 언명으로 대치된 구조를 지니고 있다.

교사H : ... 공기 덩어리가 왜 서에서 동으로 움직이는 거야?  
 ... 우리나라에 지속적으로 부는 바람이 편서풍입니다. 그지? 위도 30도에서 39도 사이, 편서풍, 서에서 동으로. 그래서, 지표면에 있는 공기 덩어리는 바람 따라 움직이는 거죠? 바람이 서에서 동으로 부니까 서에서 동으로 옮기는 거죠.

C 위도 30도에서 39도 사이에 있는 우리나라에 지속적으로 부는 바람은 서에서 동으로 부는 편서풍이다.

L 지표면에 있는 공기 덩어리는 [상공의 지속적인] 바람을 따라 움직인다.

E 그러므로, 공기 덩어리가 서에서 동으로 움직인다.

하지만, 교사와 학생들의 수업과 같은 일상적인 상황에서 이루어지는 설명이 항상 논리적 조건을 모두 만족시키는 형태로 발생하지는 않는다는 점(Green, 1971; Martin, 1985)을 고려하여, 과학적 설명의 논리적 구조를 완성하기 위한 필수 요소들 중 하나가 결여된 경우에도 ‘왜?’ 또는 ‘어떻게 하여?’라는 발문에 대한 답변이 완성된 경우에는 그 담화 내용을 과학적 설명의 분석 대상으로 결정하였다. 예를 들어, 꽃샘추위의 원인을 설명하는 상황에서 “시베리아 기단[의] ... 가장자리 부근이 떨어져 나와서 우리나라에 차갑고 건조한 날씨를 준다”는 교사(J)의 발화는 ‘시베리아 기단의 가장자리 부근이 떨어져 나왔다’는 초기 조건은 있지만, ‘시베리아 기단은 차고 건조하다’는 법칙적 진술을 포함하고 있지 않았으므로 논리적 구조의 관점에서는 불완전한 것이었다. 하지만, 처음부터 우리나라 기후의 계절별 특징을 반복적으로 다루고 있는 수업의 전체적인 맥락에 비추어 볼 때 교사와 학생들이 이미 시베리아 기단의 성질에 관한 법칙적 내용을 공유하고 있다고 보였으므로, 실제적으로는 과학적 설명이 발생한 것으로 판단하였다. 이러한 결정은 어떤 논리적 조건이 암묵적으로 가정되어 있다고 생각되는 경우에 그 담화의 내용은 논리적으로나 인식론적으로 설명적인 것으로 보아야 한다는 Martin(1985)의 견해를 반영한 것이다. 결과적으로, 본 연구에서 과학적 설명의 형식은 논리적 구조를 이루기 위한 최소한의 요소를 갖추고 있는 경우, 즉 ‘명시적인 구조를 지닌 경우’와 구조적 요소 중 하나가 전혀 결여되어 있지만 설명이 일어난 것으로 판단되는 경우, 즉 ‘암묵적인 구조를 지닌 경우’로 세분되었다.

이상과 같은 원칙에 따라 분석을 진행하면서도 과학적 설명과 다른 종류의 담화를 구분하기 위하여 개념에 대한 정의(definition), 특정 대상에 대한 기술(description), 예측한 것을 설명하는 것이 아니라 미래의 사건에 대한 예측(prediction) 그 자체, 그리고 논리적 형식으로 구별하기 어려운 목적론적(teleological) 또는 기능적(functional) 설명에 해당하는 담화는 분석 대상에서 제외하였다. 그럼에도 불구하고, 과학적으로 옳고 그름이나 법칙 언명의 개수와 같은 설명의 충실도 등에 따라 과학적 설명 구조를 지닌 담화를 분석 대상에서 제외하지는 않았다. 다만, 설명의 타당성이나 설득력에 있어 문제가 되는 담화의 내용은 전문가에게 자문하여 그 결과를 지구과학 교사들이 제공하는 과학적 설명의 특징을 분석하는 데 반영하였다.

본격적인 분석을 위하여 비디오 테잎에 녹화된 수업을 전사한 후, 본 논문의 필자와 과학교육을 전공하

는 박사 후보생이 훈련 과정을 걸쳐 비디오 자료 및 전사본을 분석하였다. 훈련 과정은 과학적 설명에 대한 이론적 논의를 시작으로 분석 방법 및 원칙의 공유, 분석 연습의 순으로 진행하였고, 이 과정에서 비디오 자료에 대한 좀 더 자세한 전사가 이루어졌다. 훈련 과정의 마지막 단계로서 임의로 선택한 수업 장면들을 두 명의 분석자가 독립적으로 분석하는 예비 분석을 수행하였다. 예비 분석에서 불일치한 결과에 대해서는 협의 과정을 거쳐 합의에 이룸으로써 서로 동일한 기준으로 분류할 수 있도록 하는 데 주안점을 두었다. 지구과학 교사들이 제공하는 과학적 설명의 빈도에 관한 첫 번째 연구 질문에 답하기 위하여 실시한 본 분석에서 분석자간 일치도는 93.8%로 양호한 편이었으며, 불일치한 부분에 대해서는 예비 분석 때와 마찬가지로 별도의 협의를 거쳐 결과를 확정하였다.

두 번째와 세 번째의 연구 질문에 답하기 위해서는 비디오 테이프와 전사본을 함께 검토하면서 가설적인 주장들을 형성한 후, 이들의 내용을 자료를 통해 다시 검증하는 방식으로 진행하였다. 가설적 주장과 자료를 재검토하는 동안 새로운 주장을 형성하기도 하였고, 기존의 주장들을 조합하거나 일부 수정하는 작업을 반복적으로 진행하였다. 이러한 과정을 새로운 주장이 형성되지 않을 때까지 수행하여 분석자의 내적 일관성(intra-consistency)을 확보하였다.

### Ⅲ. 연구 결과 및 논의

#### 1. 지구과학 교사들이 제공하는 과학적 설명의 빈도

지구과학 교사들이 수업 중에 제공하는 과학적 설명의 빈도를 표 2에 제시하였다. 녹화된 총 시간 동안 발생한 과학적 설명을 50분 수업 시간당 발생 빈도로 환산하였을 때는 그 값이 11.1회로서, 지구과학 교사들은 1차시 수업 동안 10여 차례의 과학적 설명을 제공한 것으로 나타났다. 하지만, 분석 대상이 되었던 수업에서 과학적 설명의 최빈치와 최소치는 각각 26과 0으로서 과학적 설명을 전혀 발견할 수 없는 수업도 있었다. 이렇게 과학적 설명의 빈도가 차이가 있는 것은 수업의 외적인 형태보다는 답과 행위를 통해 다루고 있는 과제의 성격에 따라 좌우된다고 판단되었다. 예를 들어, 교사의 과학적 설명을 발견할 수 없었던 수업(교사 D)은 학생들이 조별로 실험을 수행하여 보고서를 작성한 후 그 결과를 발표하는 순으로 진행되었음에도 불구하고 학생들이 탐구적인 질문을 가지고 문제 해결에 임한 것이 아니라 이미 정해진

표 2

지구과학 교사들이 제공하는 과학적 설명의 유형별 빈도\*

논리적 형식에 따른 과학적 설명의 유형	명시적 구조를 지닌 설명	암묵적 구조를 지닌 설명	계
연역-법칙적 설명	82 (6.2)	38 (2.9)	120 (9.1)
통계-확률적 설명	6 (0.5)	0 (0.0)	6 (0.5)
통계-유관성 설명	3 (0.2)	0 (0.0)	3 (0.2)
귀추적 설명	12 (0.9)	6 (0.5)	18 (1.4)
계	103 (7.8)	44 (3.3)	147(11.1)

\* 괄호 밖의 숫자는 총 녹화 시간(11시간 2분 31초) 동안 발생한 과학적 설명의 전체 빈도를 나타내고, 괄호 안의 숫자는 이것을 50분 수업 시간으로 환산한 값을 나타낸다.

절차에 따라 활동을 수행하고 교사 또한 학생들의 실험 결과를 표준적인 공식에 의해 처리하였기 때문에 ‘왜’라는 질문이 다루어질 기회를 결여하고 있었다. 반면, 과학적 설명의 발생 빈도가 상대적으로 많았던 수업들(교사 L, 26회; 교사 O, 19회; 교사 R, 16회; 교사 M, 13회)에서는 교사가 지속적으로 또는 반복적으로 ‘왜’ 또는 ‘어떻게 하여’와 같은 종류의 발문을 제기하고 관심 있는 현상이나 개념에 대한 설명을 시도하는 것이 특징적이었다.

지구과학 교사들의 과학적 설명을 논리적 형식에 따라 계수하였을 때는 연역-법칙적 모형에 부합하는 사례가 압도적으로 많았다. 이러한 결과는 연역-법칙적 모형이 과학적 설명의 이상적인 형태로 여겨지고 있다는 과학철학적인 사실과도 잘 부합하는 것으로, 과학 교사들도 자신의 수업 중에 연역-법칙적 설명에 많이 의존하고 있음을 실증적으로 보여 준다. 그러나, 지구과학 수업에서는 소수에 불과하지만 귀추적 설명과 통계-확률적, 통계-유관성 설명 또한 발견되므로, 연역-법칙적 모형이 과학적 설명의 유일한 형식이 아니라는 점 또한 확인할 수 있다.

표 2의 결과에서 암묵적인 구조를 지닌 설명이 비교적 많이 포함되어 있다는 점은 주목할 만하다. 이렇게 암묵적 구조를 지닌 설명이 많은 것은 수업의 맥락에 비추어 볼 때 교사와 학생들 사이에 과학적 설명을 위해 필요한 법칙적 내용이나 규칙에 대한 공유가 이미 이루어졌기 때문이라고 생각할 수 있고, 중요한 수업 내용에 대해서는 교사가 이미 명시적으로 설명한 것을 암묵적인 구조로써 여러 번 반복하였다는 관찰 사실을 고려할 때 납득할 수 있는 결과이다. 그럼에도 불구하고, 이러한 암묵적 구조를 지닌 설명이 학생들의 이해에 어떻게 기여하는지에 관해서는 좀 더 심층적인 연구가 있어야 할 것으로 판단되었다.

2. 서로 다른 유형의 과학적 설명이 사용되는 상황의 특징

(1) 연역-법칙적 설명

관찰된 지구과학 수업에서 연역-법칙적 설명이 이루어진 것은 대체로 세 가지 경우로 구분되었다. 첫째, 보편적인 물리 법칙이나 지구과학에서 널리 쓰이고 경험적으로 잘 알려진 법칙적 내용을 이용하여 개별 사건을 설명하는 경우를 들 수 있다. 아래의 첫 번째 예는 적도 반류(反流)가 생기는 까닭을 설명한 교사(B)의 발화를 구조적으로 분석한 것이고, 그 다음은 교사(A)가 해수가 유입되는 해안선의 모습이 단조로워질 것이라고 예견한 수업 교재의 내용을 지목하며 그 까닭을 설명하는 경우로서, 두 사례 모두 주어진 초기 조건과 법칙적 내용을 이용하여 개별 사건을 설명하는 연역-법칙적 형식을 지닌 것으로 분석되었다.

- C “여기에서 이 해수가 이리로 가버리고 이 해수는 이리로 가 버리니까 여기 도달한 물이 이쪽으로 쓸려 버려서 해수의 두께가 달라지는 거야. ... 여기[태평양의 서쪽]가 물의 양이 많거든.”
- L “물의 높이가 한 쪽은 많고 한 쪽은 적을 순 없잖아. 높은 데서 낮은 쪽으로 물이 흘러버리지.”

---

- E “그래서, 적도에는 ... 역흐름이 있어, 적도를 따라 이리로[서에서 동으로] 흘러가는.”

---

- C [그림에서 보는 바와 같이] 파가 분산된다.
- L “파가 분산된다는 얘기는, 상대적으로 에너지가 분산이 되니까 여기[해안의 만 지역]에 퇴적되는 양이 많아질 것이고 ...”

---

- E “그래서, ... 지금 현재 이 모양이지만, 점차 이렇게 굴곡이 없는 그런 형태가 되어 갈 것이다. 이런 얘기자.”

둘째, 개별 사건이 아닌 지구과학의 경험 법칙을 설명하는 경우에도 과학적 설명의 연역-법칙적 모형이 동원되었다. 다음의 예는 봄철의 변덕스러운 날씨를 설명한 교사(J)의 발화를 논리적 형식에 따라 분석한 것으로, 법칙적 내용에 해당하는 피설명항을 설명하기 위하여 보통 초기 조건이 등장하는 위치에 준법칙적 연명이 사용되고 있으며, 다른 설명항의 위치에도 지구과학에서 경험적으로 잘 알려진 준법칙적 연명이 등장하고 있음을 보여 준다.

- C 우리나라의 봄철에는 이동성 고기압이 지나간다.
- L 이동성 고기압이 지나가면 ... 기압골의 영향을 받아 날씨가 흐려진다. [그 다음에] 다시 ... 고기압의 영향을 받아 날씨가 맑아진다. 그러다가, 또 고기압과 고기압 사이에 기압골이 존재하면서 날씨가 맑아졌다, 흐려졌다, 맑아졌다, 흐려졌다 하게 된다.

---

- E 그래서, 우리나라 봄철의 날씨는 변덕스럽다.

셋째로, 지구과학의 후진적(retroductive) 과제를 다루는 경우에도 상호조건적인 법칙(biconditional law)이 활용될 때에는 과학적 설명의 전체적인 구조가, 귀추적 추론 구조가 아닌, 연역-법칙적 설명의 형식을 갖추게 되었다.<sup>2)</sup> 예를 들어, 교사 G는 어떤 지층에서 발견된 암석의 종류를 통해 그 지층이 생성될 당시의 퇴적 환경을 추론하는 과제를 학생들과의 대화를 통해 완성하였는데, 이 담화 내용을 논리적 형식에 따라 분석해 보면 교사가 응회암과 그것이 발견된 환경에 관한 상호조건적 법칙을 사용하고 있음을 알 수 있다.

- 교사G : 그 다음에, 응회암층이라는 것이 발견되었어요. ... 여러분들 ... 지난해에 배웠는데요, 응회암은 어떤 것이 굳어져서 된 거?
- 학생들 : 화산재.
- 교사G : 네. 똑똑하네요. 예, 화산재입니다. 그러면, 화산재가 쌓일려면, 과거에 어떤 일이 있었다는 얘기가?
- 학생들 : 화산 활동.
- 교사G : 그렇죠, 화산 활동이 있었다는 거지요. 예, 응회암층이 있다는 건 과거에 화산 활동이 활발한 지역이라는 걸 알 수 있지요.

- (Result) 화산재가 [쌓여] 굳어져서 된 응회암층이 발견되었다. (Q)
- (Rule) 응회암층이 있다는 건 과거에 화산 활동이 활발한 지역이었다는 뜻이다. (P ↔ Q)

---

- (Case) 그러므로, 과거 이 지역에는 화산 활동이 활발하였다. (P)

위와 같이, 과거 지구 환경을 짐작해 보는 귀추적 성격의 추론 과제를 다루는 경우에도 잘 확립된 상호조건적 법칙이 규칙으로 사용될 때에는 응회암을 관찰한 결과가 마치 초기 조건처럼 기능하여 전체적으로 연역-법칙적 설명을 이루는 것을 알 수 있다.<sup>3)</sup>

2) 상호조건적 법칙은 흔히 'If and only if A is true, then E is true'라는 형식으로 표현되며, 상호조건적 법칙을 활용한 설명적 추론은 다음과 같은 구조를 지닌다(Engelhardt & Zimmermann, 1982; Magnani, 2001).

$$\frac{E}{A \leftrightarrow E} \\ A$$

그런데, 위와 같은 설명 구조를 Engelhardt와 Zimmermann은 귀추적 설명으로 분류한 반면, Magnani (p. 22)는 “'선택'의 여지가 없기 때문에 귀추가 아니다”(there is no abduction because there is not 'selection')라고 단언하고 있다. 이러한 쟁점에 대해서는 더 숙고해 볼 여지가 있지만, 본 연구에서는, 적어도 임시적으로는, Magnani의 견해를 따라 상호조건적 법칙에 의한 설명을 연역-법칙적 설명의 일종으로 보기로 한다.

3) 교사의 담화에 나타난 몇 가지 상호조건적 법칙에 관하여 지질학과 대기과학을 각각 전공한 연구자들에게 자문하였다. 그 결과, 지구과학에서 '(적절한 조건이 갖추어지면) 화산 활동이 있는 지역에서 응회암이 만들어 진다'와 '응회암층이 있다는 것은 과거에 화산 활동이 있었다는 뜻'이라는 진술은 모두 타당하고, 따라서 '응회암 ↔ 화산 활동'과 같은 형태의 상호조건적 법칙으로 인정

(2) 통계-확률적 설명

과학적 설명의 통계-확률적 모형은 개별 사건보다는 일기 속담과 같이 통계적이고 확률적으로 확립된 지구과학의 경험적 내용을 설명하는 상황에서 주로 등장하였다. 특히 아래의 설명 사례는 피설명항이 통계적 규칙성(statistical regularity)에 해당하는 것으로 설명항에도 역시 통계적인 규칙성을 표현한 언명들이 등장하는 것이 특징이다.

교사E : 사립문이 바람에 열리면 비가 온다, 뭐, 이런 속담도 있어요. 근데, 우리나라는 집을 지을 때 주로 어느 쪽으로 집을 짓지? (학생들: 남향.) 남향으로 집을 짓죠. ... 남풍이 불면, 남풍이 분다는 얘기는, 우리나라는 남풍이 주로 뭐야? 바다지? 그래서, 남풍이 불어 사립문이 이렇게 열리거든. 남풍이 분다는 얘기는 해양 쪽에서 더습한 공기가 바람에 불어 들어온다는 얘기가니까, 그러면 비가 올 가능성이 높다, ... 그렇거든.

(statistical generalizations) 우리나라는 주로 남향으로 집을 지으므로 사립문은 주로 남쪽으로 향하고 있다.  
우리나라 남쪽은 주로 바다이므로 남풍은 주로 해풍이다.  
해풍이 불면 해양에서 더습한 공기가 유입된다.

(statistical regularity) 그러므로, 남풍이 불어오면[그래서, 남풍으로 향한 사립문이 열리면], 비가 올 확률이 높다.

3) 통계-유관성 설명

통계-유관성 설명 모형은, Salmon(1998)이 주장한 바와 같이, 자주 있는 것은 아니지만 피설명항의 발생에 유의미하게 영향을 미칠 수 있는 특정한 조건이 갖추어져 있을 경우에 발생하는 지구과학적인 현상을 설명하는 상황에서 발견되었다. 예컨대, 다음은 2002년 태풍이 한반도를 내습했을 때 강릉 지역에 기상 관측 이래 최대의 집중 호우가 발생한 사건을 강릉의 특유한 지리적 조건, 당시 태풍의 진로에 대한 강릉의 위치와 그 곳에서 바람이 부는 양상 등, 유관된(relevant) 조건과 법칙들을 통해 설명한 교사의 발화와 그 분석 결과를 보여 준다.

교사M : ... 태백 산맥이 있고, 이 쪽이 동해 바다가 있지. [산맥 아래 부분] 여기가 강릉이지. 그런데, 태풍이 왔을 때, [강릉이] 태풍 진로의 어느 쪽이었다고? (학생들: 오른쪽.) 이 때 오른쪽은 편서풍과 함께 ...

저기압 중심부로 들어가는 바람이 ... 합해지면서, 이쪽으로 이렇게 들어 온 비구름이 ... 높은 태백 산맥을 타고 넘어가야 하는데, 여기가 너무 ... 높으니깐, 여기에 있던 비구름들이 비를 여기다가 몽땅 ... 뿌리고 ... 그러니깐, 이 쪽에 강수가 ... 집중될 수밖에 없다. ... 그래서, ... 강릉에 이틀 동안에 ... 898mm나 오는 그 현상이 일어났고 ...

- C 강릉은 태백 산맥 아래 지역에 위치한다.  
태풍이 왔을 때 강릉은 태풍 진로의 오른쪽에 위치하였다.
- L 태풍 진로의 오른쪽에서는 편서풍과 저기압 중심으로 불어 들어가는 바람이 합해진다.  
바람을 타고 유입된 비구름이 높은 산맥을 넘지 못하면 풍상측에 비를 뿌린다.
- E 그래서, 강릉에 기상 관측 이래 최대의 집중 호우가 발생하였다.

(4) 귀추적 설명

지구과학 교사들이 귀추적 설명을 제공하는 경우는 크게 두 가지로 구분되었다. 그 첫째는 과거에 발생하였을 법한 지구과학적 사건을 현재로부터 거슬러 추정(backward reasoning)하는 과제를 다루는 경우로서, 문제를 해결하기 위한 보편적인 물리 법칙이나 상호조건적 법칙이 정립되어 있지 않은 때에 귀추적 설명이 등장하였다. 예를 들어, 교사 G는 회색의 응회암 층과 붉은 색 세일층이 교대로 쌓인 지층의 조각들을 학생들이 살펴보도록 한 후, 이 지층이 생성된 과정을 다음에 분석된 것과 같이 귀추적으로 추론하여 제시하였다. 특히, 이 설명 속에는 특정한 사건에 이어 다음 사건이 연속적으로 발생하여 하나의 지구과학적인 시나리오를 구성하고 있는 것이 특징적이다. 이는 지구과학과 같은 역사 과학(historical science)에서 후진적 과제를 해결하기 위하여 추론자들이 과거의 사건들을 연쇄적으로 추리하여 발생적 설명(genetic explanation)을 구성한다는 기존 문헌들의 주장(Green, 1971; Ohlsson, 2002)과 맥을 같이 한다.

- (Result) 회색의 응회암층과 붉은 색 세일층이 교대로 쌓인 지층이 발견되었다.
- (Rule) 화산 활동이 있어 화산재가 쌓였다.  
화산재가 쌓이다가 증간에 붉은 색 세일의 기원암에서 퇴적물이 이동해 와서 쌓였다.  
다시 화산재가 쌓였다.  
이러한 과정이 반복되었다.
- (Case) 그래서, 이 지층에는 회색의 응회암층과 붉은 색 세일층이 교대로 쌓였다.

된다고 한다. 하지만, ‘암염 ↔ 건조한 바다 환경’이나 ‘권층운 ↔ 온난전선’과 같은 상호조건적 법칙은 성립되지 않고, 오히려 ‘(적절한 조건이 갖추어진) 건조한 바다 환경에서 암염이 생긴다’, ‘(적절한 조건이 갖추어진) 온난전선면 위에서 권층운이 발달한다’와 같은 형식의 준법칙적 언명만이 옳다고 한다. 왜냐하면, 암염은 바다가 아닌 다른 환경에서도 형성될 수 있고, 권층운 역시 온난전선과 무관하게 발생할 수 있기 때문이다. 그럼에도 불구하고, 실제 수업 장면에서 몇몇 교사들은 “암염이 나왔다는 얘기는 ... 건조한 바다라는 것”, “권층운은 온난전선면을 따라서 발달하는 것”이라고 말하여 이들을 상호조건적 법칙처럼 사용하였고, 결과적으로 귀추적 설명을 요하는 과제를 연역-법칙적으로 다루고 있었다. 이러한 사실은 교사가 제공하는 과학적 설명의 타당성에 대한 새로운 연구 문제가 될 수 있을 것이다.



지구과학 교사들의 귀추적 설명은 또, 직접적으로 경험하기 어렵고 통제된 실험이 불가능한 지구 환경적 맥락의 문제를 다루는 경우에도 등장하였다. 예컨대, 아래의 사례는 서안경계류인 쿠로시오 해류의 단면을 추정해 보는 과제를 부여한 후 학생들이 서로 다른 답변을 제시하자 교사(L)가 자신이 추론한 내용을 이야기한 것을 분석한 결과로서, 교사가 실제로 그 단면을 잘라 확인할 수 없는 해류의 특징을 귀추적으로 설명하였음을 보여준다.

(Result) 태평양 서안에서는 경계류인 쿠로시오 해류가 고위도로 흐른다.  
 (Rule) 서안의 해수면이 낮고 그보다 동쪽의 해수면이 높으면, 해수가 수압경도력에 의해 동쪽에서 서쪽으로 흘러 내려가다가 전향력의 영향을 받아 오른쪽으로 휘어져 고위도로 올라갈 수 있다.

(Case) 그러므로, 태평양 서안의 해수면이 낮고 그보다 동쪽의 해수면이 높을 것이다.

또, 다음은 교사(E)가 앞서 “기온이 예년보다 빨리 높아지면, [벌들이] 온도를 쉽게 감지해서 빨리 활동을 시작한다”고 풀이한 일기 속담을 암묵적으로 활용하여 농부가 벌들의 특별한 활동을 관찰한 후 다가올 날씨를 귀추적으로 가늠해 보는 상황을 설명한 것을 분석적으로 나타낸 것이다.

(Result) 겨울엔 나오지 않는 벌들이 올해는 벌통에서 좀 빨리 나와서 활동을 한다.

(Rule) 기온이 예년보다 빨리 높아지면, 벌들이 온도를 쉽게 감지하여 빨리 활동을 시작한다.

(Case) 그래서, ‘올해는 빨리 따뜻해지는구나. 계절이 빨리 찾아오는 거지’라고 생각할 수 있다.

지구과학 교사들의 귀추적 설명의 활용에 관한 이상과 같은 결과는 탐구 대상에 대한 접근이 용이하지 않고 변인 통제를 통한 실험 연구가 어려운 지구과학에서 귀추적 설명이 중요한 역할을 한다는 주장을 더욱 설득력 있게 만들어 준다. 즉, Engelhardt와 Zimmermann(1982)이 지적한 바와 같이, 지구과학에서는 어떤 사건의 원인과 결과가 모두 과거에 속하거나 그것들이 현재에 있지만 관찰이 불가능하여 그 가설적 상태를 미루어 짐작해야 하는 후진적 추론(retrodiction)이 많이 다루어지며 이러한 과제를 해결하기 위해서는 귀추적 설명이 필수적이다.

결론적으로, 지구과학 교사들이 제공하는 과학적 설명의 논리적 형식이 서로 다른 것은 다루어지는 문제의 특성에 크게 기인한다는 것으로 판단되었다. 특히, 연역-법칙적 설명은 개별 사건이나 법칙적 내용을 설명하는 데 필요한 상위의 원리 또는 일반화된 법칙이 잘 정립된 문제를 해결하는 데 알맞은 설명 모형이라는 점을 알 수 있었다. 하지만, 지구과학의 후진적 과제를 다루는 경우에 보편적인 법칙이 확립되어

있지 않고 오히려 과거의 사건이나 현재의 가설적 상태를 미루어 짐작해야 할 때에는 귀추적 설명이 등장하였다. 또, 일기 현상에 관한 통계적 규칙과 예기치 않은 기상 현상과 같이 지구과학에 특징적인 대상을 설명하기 위해서는 각각 통계-확률적 모형과 통계-유관성 모형에 부합하는 설명이 발생하였다. 이러한 결과는 지구과학에는 연역-법칙적 설명 모형이 요구되는 것 외에도 지구과학에 고유한 설명 과제가 있으며 지구과학 교사들의 담화 행위 또한 그러한 지구과학의 본질적 속성을 반영하고 있음을 말해 준다.

그럼에도 불구하고, 이상의 분석 과정 중에서는 문제의 특성이 반드시 특정한 유형의 설명적 담화로 귀결될 것이라는 판단을 성급히 내릴 수 없게 하는 증거 또한 발견되었다. 즉, 각주 3)에서 언급한 바와 같이, 지구과학 교사들은 종종 과학적으로는 인정되지 않는 법칙을 상호조건적으로 사용하여 귀추적 설명이 필요한 과제를 연역-법칙적으로 다루기도 하였다. 따라서, 지구과학 교사들이 어떤 상황에서 문제의 특성이 암시하는 것과 다른 유형의 과학적 설명을 제공하게 되는가에 대해서는 보다 심층적인 후속 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

### 3. 과학적 설명을 위한 담화의 특징

비디오 녹화 자료를 통해 관찰된 중등학교 지구과학 수업에서 이루어지는 담화의 개괄적인 특징은 소위 전형적인(typical) 교실 담화의 모습이라고 여겨지는 것과 유사하였다. 즉, 교사의 독백이나 교사의 발문에 학생 모두가 유사한 방식으로 답하고 학생들의 반응을 다시 교사가 평가하는 ‘선도-반응-평가’(Initiation-Reply-Evaluation)와 같은 교사 주도의(teacher-led) 담화 행위가 대부분을 차지하였다. 반면에, 학생들이 선도하는(student-initiated) 담화 행위는 드물게 관찰되었다. 과학적 설명에 해당하는 담화에 초점을 맞추어 보았을 경우에도, 지구과학 수업에서 과학적 설명은 그것의 논리적 형식이나 발생 빈도와 관계없이 교사가 단독으로 제공하는 경우가 많았다. 종종 과학적 설명이 학생들과의 언어적 상호작용을 통해 완성되는 경우에도 학생들은 수동적인 담화적 역할을 수행하는데 그치고 있었다. 이러한 특징을 좀 더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 분석된 지구과학 수업에서는 학생들이 피설명항의 내용을 제공하는 경우, 즉 ‘왜’라는 질문을 던지거나 설명 대상을 먼저 확인하여 문제를 제기하는 경우는 매우 드물었다. 다시 말해, 과학적 설명의 대상을 결정하는 것은 주로 교사의 교육적 판단에 의해 이루어지고 있다고 생각되었다. 예를 들어, 교사 L은

해양에서의 용승 현상을 다루면서, “적도는 용승 지역이다. 왜 그래요?”, “대양의 용승. 이게 뭐냐면 ...”과 같이 설명되어져야 할 사례들을 그림으로 제시하면서 자신이 질문을 던지거나 곧바로 설명을 진행하는 경우가 많이 발견되었다. 또, 교사 P는, “조금 이상한게 수성은 태양에서 제일 가깝게 있잖아요. 학생들이 온도가 가장 높을 거라고 생각하는데, 실제로는 높을 때랑 낮을 때는 너무 편차가 심하지요?”라고 하여 학생들이 탐구해 볼만한 과제를 교사가 직접 질문으로 구성하여 제시하곤 하였다.

그런데, 교사가 단독으로 설명을 제공하는 경우에 설명항과 피설명항 사이의 인과적인 연계가 불충분하거나 그 관계가 잘못된 사례가 종종 발견되었다. 예컨대, 다음은 교사(N)가 연역-법칙적 구조를 통해 나선 은하에 젊은 별들이 존재한다는 사실을 설명하는 모습을 보여준다.

교사N : 나선 은하는 ... 나선팔이 존재하는 거니까, 나선팔에 뭐가 있다고? 젊은 별이 있지. 따라서, 애[나선 은하]는 젊은 별이 있고.

C 나선 은하에는 나선팔이 존재한다.

L 나선팔에는 젊은 별이 있다.

E 그러므로, 나선 은하에는 젊은 별이 있다.

그런데, 위와 같은 설명 구조에서 법칙 언명에 등장하는 ‘나선팔’과 ‘젊은 별의 존재’ 사이에 인과적인 관계가 성립한다고는 보기 어렵다. 즉, 나선팔이 있기 때문에 그것이 원인이 되어 곧바로 젊은 별의 존재라는 결과를 초래한다고는 말하기 어렵고, 다만 이 두 변인 사이에 높은 상관성이 있다는 것을 경험적으로 확인할 수 있을 뿐이다. 이 같은 경우에 학생들이 교사의 드러나지 않은 의도나 교사가 제공하는 설명의 의미를 잘 이해할 수 있는지 의문이었으나, 이것과 관련하여 질문을 던지거나 의문시하는 학생들이 없어서 성급히 판단할 수는 없었다. 따라서, 설명항과 피설명항의 관계가 타당하게 형성되지 못한 설명이나 암묵적 구조를 지니는 설명이 충분한 명시적 구조를 지닌 설명과 비교하여 어떤 과학교육적인 의미와 효과가 있는지에 대해서는 좀 더 연구될 필요가 있다고 여겨진다.

둘째, 학생들은 주로 교사의 질문이나 선도적인 발화에 응답하는 형식으로 과학적 설명을 위한 담화에 참여하였다. 특히, 학생들은 설명항의 하나로서 법칙적 내용이 요구되는 경우에 법칙 언명 전체를 진술하기 보다는 핵심어(keyword)만을 간략히 답하는 경우가 많았다. 또, 어떤 사건을 설명하기 위하여 초기 조

건을 확인하는 경우에도 대부분의 초기 조건이 이미 교실에서 다루어진 것이거나 교과서와 교재에 제시된 것으로 학생들의 답변은 이미 제공된 정보를 재생(retrieving)하는 수준에 머물러 있었다. 예컨대, 아래의 상호작용 단편은 공기 덩어리의 단열 변화를 다루는 수업에서 학생들이 실험 활동을 통해 이미 관찰한 사실을 재확인한 후에, 그 원인을 설명하기 위하여 법칙 언명의 핵심어만을 제공함으로써 암묵적인 설명 구조를 완성하는 모습을 보여 주고 있다.

교사K : 자, 어떻게 됩니까? 압축시키니깐, 플라스크 내부의 온도가 어떻게 된다?

학생들 : 올라간다.

교사K : 올라간다. 올라간다. 그 이유는? 왜 그렇죠?

학생들 : 부피 변화 \*\*\* (여러 학생들이 대답을 시도하여 분명하게 전달되지 않는다.)

교사K : 단열 압축이요? ... 맞다. 맞는데, 단열압축이다.

학생들 : 네.

교사K : 그 다음에 3번[교과서의 문항 번호]. ... 온도가 어떻게 되는가?

학생 : 온도가 상승합니다.

교사K : 온도가 상승?

학생 : (답변을 수정한다.) 하강합니다.

교사K : 네, 온도가 하강합니다. ... 왜 그래요?

학생들 : 단열 팽창.

교사K : 단열 팽창이지요.

셋째, 과학적 설명을 완성하기 위하여 학생들이 교사와 언어적으로 상호작용 하는 또 다른 예로는 학생들이 추론의 결론을 말하는 경우를 들 수 있다. 하지만, 이 때에도 학생들의 담화적 역할은 이미 알려진, 혹은 논증의 흐름을 따라 자연스럽게 도출될 수밖에 없는 결론을 확인하는 정도에 그치고 있었다. 예를 들어, 아래의 담화 사례에서 학생들은 쿠로시오 해류의 수온이 높다는 피설명항을 답하고 있지만, 그 사실은 이미 쿠로시오가 적도 지방에서 올라온다는 언명을 통해 먼저 제공된 것으로 학생들이 새로운 사고를 통해 피설명항을 이끌어 내었다고는 생각하기 어려웠다.

교사R : 쿠로시오는 적도 지방 쪽에서 중위도 지방을 거쳐서 올라오기 때문에 물의 온도가 어떻게요?

학생들 : 높아요.

교사R : 고온이죠.

종합적으로 말하여, 분석된 지구과학 수업에서 과학적 설명을 제공하는 주된 역할을 수행하는 것은 교사들이었으며, 때때로 학생들이 과학적 설명을 완성하기 위한 담화 행위에 참여하는 경우에도 그들은 설명의 구조를 이루는 데 필요한 어떤 요소의 일부분만을 언급하는 소극적인 역할을 수행하는 경우가 많았다. 그

런데, 다음과 같은 에피소드는 보다 차원 높은 학생들의 사고를 유발하기 위하여 어떤 설명적 과제가 제시될 필요가 있는지에 대한 한 가지 유용한 암시를 제공해 준다. 아래의 사례는 편서풍에 관한 수업을 하기 전(前)시간의 마지막 부분에 학생들이 현재 우리나라 부근에 있는 온대 저기압의 이동 경로를 예상한 후 (“서에서 동으로”), 그 이유를 설명하기 위하여 여러 가지 규칙들을 추리해 내는 모습을 보여 주고 있다.

- 교사Q : 우리나라에 현재 걸쳐 있는 온대 저기압이 어디로 갈 거 같습니까? ...  
 학생 : 위로 올라갑니다.  
 학생 : 아래쪽.  
 교사Q : 위로 올라갑니까? (잠시 후) 서에서 동으로 빠져 나가니까?  
 학생들 : (서넛이 함께 말한다.) 서에서 동으로.  
 교사Q : 동에서 서로 갑니까?  
 학생들 : 서에서 동으로.  
 교사Q : 왜 서에서 동으로 갑니까?  
 학생 : 바람이 굉장히 세게 불어서.  
 교사Q : 바람이? 바람이 어떻게 된다고?  
 학생 : 해가 동쪽에서 떠서 서쪽으로 지니까.  
 교사Q : 해가 동쪽에서 서쪽으로 지니까?  
 학생 : 지구가 자전하니까.  
 교사Q : 지구가 자전하니까? (잠시 후) 여러분들 잘 모르겠습니까? 다음에 그러면, 이 온대 저기압이 어느 쪽으로 이동하며, 왜 그렇게 이동하는가를 우리 알아보도록 하겠습니다.

이 상호작용 단편은 교사가 다음 시간의 수업 주제를 예고하기 위하여 동원한 것으로, 학생들이 추리해 낸 규칙을 활용하여 귀추적 설명을 완성하는 것으로까지 발전하지는 못하였다. 하지만, 위와 같은 사례는 학생들에게 법칙적 내용을 가르치기에 앞서 어떤 현상을 관찰하게 하고 그들이 알고 있는 과학적 사실이나 원리, 법칙 등을 규칙으로 삼아 그 현상을 설명해 보게 하는 과제, 즉 귀추적 추론 과제를 부여할 경우에 학생들의 다양한 참여와 적극적인 사고를 유발할 수 있다는 것을 암시해 주고 있다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 우리나라 중등학교의 지구과학 수업에서 교사들이 제공하는 과학적 설명을 논리적 형식에 따라 분류하고, 서로 다른 유형의 과학적 설명이 지니는 특징과 과학적 설명을 위한 담화 행위에 참여하는 교사와 학생들의 역할을 차례대로 고찰해 보았다. 본 연구의 결과가 교육 현장에서의 과학 수업과 과학교육 연구에 시사하는 점들은 다음과 같다.

첫째, 분석된 지구과학 수업을 평균하여 보면 50분

의 수업 시간 동안 11.1회의 과학적 설명이 이루어졌다. 하지만, 과학적 설명의 빈도는 수업의 외적인 형태보다는 담화 행위를 통해 다루어지는 과제의 성격에 따라 편차가 크게 발생하였다. 따라서, 과학 수업에서 학생들이 과학적 설명을 접하는 기회가 더욱 많아지기 위해서는 교사가 ‘왜’ 또는 ‘어떻게 하여’와 같이 과학적 설명을 요구하는 질문을 중심으로 담화 행위를 이끌어 가는 의도적인 노력이 필요할 것으로 생각된다. 또, 이를 위해서는 과학 교사와 과학교육 연구자 모두 다양한 성격의 설명 과제를 경험해 볼 필요가 있다고 판단된다. 본 연구의 결과는 다루어지는 자연 현상이나 법칙적 내용에 따라 서로 다른 논리적 형식을 지닌 설명 모형이 동원될 수 있고, 지구과학에 특징적인 과제에 대해서는 통계-확률적, 통계-유관성, 귀추적 설명이 연역-법칙적 설명의 대안적인 형태로 등장할 수 있음을 실증적으로 보여 주었다. 따라서, 여러 가지 탐구 주제에 따라 특징적인 설명 문항들을 개발하고 이를 과학 수업에 활용하는 노력이 이루어진다면 수업을 통해 제공되는 과학적 설명은 더욱 다양해지고 그 빈도 또한 유의미하게 증가할 수 있을 것이다.

둘째, 과학적 설명은 학생들의 이해와 추론 능력을 향상시킬 수 있는 인과적·문제중심적인 언어 행위에 해당하지만(Mayer, 1992; Meyer & Freedle, 1984; Woodward, 1994), 그 효과는 학생들이 활발한 사고 과정을 통해 스스로 과학적 설명을 구성하고 이를 다양한 방식으로 표현할 수 있을 때 가장 분명히 드러난다고 생각된다. 왜냐하면, 어떤 현상이나 개념을 이해한다는 말은 그것을 설명할 수 있다는 것을 뜻하기 때문이다(Chi *et al.*, 1994; Ohlsson, 2002). 역설적으로, 본 연구를 통해 관찰된 대부분의 상호작용 단편들은 학생들이 과학적 설명을 위한 담화 행위에 보다 적극적으로 참여해야 한다는 사실을 말해주는 부적인 사례(negative example)들로 기능하였다. 즉, 학생들은 교사가 제공하는 설명을 완성하기 위하여 몇 가지 핵심어만을 제공하거나 단순히 추론의 결론을 확인하는 소극적인 수준을 넘어서는 담화적 역할을 수행할 필요가 있다. 이를 위해서는 Scott(1998)과 Maybin 등(1992)의 아이디어에 착안하여 오피셜(2005; Oh, 2005)이 제안한 바 있는 스캐폴딩(scaffolding)의 세 단계에 따라 수업 모형을 구성하여 교수-학습 활동을 진행할 수 있다고 생각된다. 즉, 수업의 맥락적 기초(contextual basis)를 형성하는 단계에서는 탐색적이고 학생들의 사고를 자극할 수 있는 도전적인 대화를 통하여 학생들이 관심 있는 대상에 대한 다채로운 설명을 시도하는 것을 허용한다. 다음으로, 상호적인 문제

해결(joint problem solving)의 차원에서 교사가 학생의 설명을 개선할 수 있도록 안내하는 역할을 한다. 이 때는 단순히 교사가 학생의 설명 중 옳지 못한 부분을 교정하거나 과학적인 설명을 일방적으로 전달하는 것이 아니라, 나선형적으로 확장되어가는 발문과 질의를 통해 학생들의 설명을 점차로 정교화해 나가거나 학생들간의 의견 교환이 가능하도록 토론을 중재하는 담화적 역할을 할 수 있다. 마지막으로, 독립적 수행(independent performance)의 단계에서는 학생들이 개선된 과학적 설명을 통해 처음에 다루었던 대상에 대한 새로운 설명을 시도하는 기회를 부여하고, 이를 또 다른 맥락적 기초로 삼아 이후의 교수-학습 활동을 계획한다.

셋째, 본 연구는 지구과학 수업에서 이루어지는 과학적 설명의 의미와 효과에 관한 몇 가지 해결되지 않은 연구 문제를 남겨 놓았다. 즉, 지구과학 교사들은 지구과학에서 널리 인정되는 상호조건적인 법칙을 사용할 뿐만 아니라, 종종 과학적으로는 인정되지 않는 법칙을 상호조건적으로 이용하여 귀추적 설명이 필요한 과제를 연역-법칙적으로 다루기도 하였다. 교사들은 또, 명시적인 논리적 구조를 갖춘 설명과 암묵적 구조를 지닌 설명을 병행하였으며, 때때로 설명항과 피설명항의 연계가 불충분하거나 타당하지 않은 설명을 제공하기도 하였다. 따라서, 우선적으로는 교사들이 어떤 상황에서 이와 같이 변형된 형태의 과학적 설명을 제공하게 되는가를 이해하기 위한 후속 연구가 요청된다. 이와 더불어 여러 가지 형태의 과학적 설명들이 설명의 내용에 대한 학생들의 이해와 과학적 설명을 구성하는 그들의 사고 과정에 어떻게 영향을 미치는지 연구되어야 한다. 이 때는 교수법적으로나 학습 전략의 측면에서 가장 적절한 설명이 반드시 일정한 논리적 조건을 모두 만족시키는 것은 아니라는 Horwood(1988)의 주장을 염두에 둘 필요가 있다. 다시 말하여, 학생들이 어떤 자연 현상이나 과학적인 개념을 이해하는 데 도움이 되는 대안적인 형태의 과학적 설명을 개방적인 관점에서 탐색하는 노력이 이루어져야 할 것이다.

넷째, 본 연구에서는 논리적 형식에 따라 구분된 과학적 설명의 대표적인 네 가지 유형에 따라 지구과학 교사들의 과학적 설명을 분석하였다. 하지만, 이 연구에서 초점을 맞추었던 과학적 설명의 네 가지 모형들이 지구과학 수업에만 적용될 수 있다고는 생각되지 않는다. 따라서, 이 모형들을 통해 다른 과학 과목의 수업에서 이루어지는 과학적 설명을 분석한다면 과목들간의 의미 있는 비교가 이루어질 수 있을 것이다. 특별히, 논리적 형식으로 구별되기 어려운 까닭으

로 본 연구에서 다루지 못했던 목적론적(teleological) 설명이나 기능론적(functional) 설명 등을 추가하여 여러 과목의 수업을 분석한다면, 서로 다른 과학 영역의 특징과 본성에 관한 이해의 폭을 넓힐 수 있을 것으로 기대된다.

## 국문 요약

본 연구의 목적은 우리나라 중등학교 지구과학 수업에서 교사들이 제공하는 과학적 설명을 논리적 형식에 따라 분류하고, 서로 다른 형식의 과학적 설명이 지니는 특징과 과학적 설명을 위한 담화 행위에서 교사와 학생들의 역할을 분석하는 것이었다. 연구를 위한 자료는 2003년과 2004년에 해외 단기 연수 프로그램에 참여한 지구과학 교사들로부터 수집되었으며, 총 18차시에 해당하는 지구과학 수업 녹화 자료와 전사본을 분석하였다. 분석된 지구과학 수업에서는 연역-법칙적 설명이 가장 빈번히 발생하였고, 연역-법칙적 모형은 과학적 설명을 구성하는 데 필요한 과학 법칙이나 상위의 원리가 잘 정립된 문제에 알맞은 것임을 알 수 있었다. 하지만, 지구과학의 후진적 추론 과제를 다루는 상황에서는 귀추적 설명이 제공되었고, 일기 속담이나 기상 이변과 같이 지구과학에 특징적인 대상을 설명할 때에는 각각 통계-확률적 모형과 통계-유관성 모형에 부합하는 설명이 활용되었다. 지구과학 수업에서 과학적 설명은 주로 교사의 단독적인 발화를 통해 이루어졌으며, 학생들은 과학적 설명을 구성하기 위한 담화 행위에서 주로 소극적인 역할을 담당하였다. 이상과 같은 연구 결과가 과학 수업과 과학교육 연구에 시사하는 점들을 논의하였다.

## 참고 문헌

- 오필석 (2005). “비계설정”(scaffolding)의 개념화: 교육적 담화 분석을 위한 한 시도. 2005년 과학교육자 종합학술대회 자료집, 213-214.
- Bereiter, C. (2002). *Education and mind in the knowledge age*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chi, M. T. H., de Leeuw, N., Chiu, M.-H., & LaVancher, C. (1994). Eliciting self-explanations improves understanding. *Cognitive Science*, 18, 439-477.
- Dagher, Z., & Cossman, G. (1992). Verbal explanations given by science teachers: Their nature and implications. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 361-374.
- Edwards, D., & Mercer, N. (1987). *Common knowledge: The development of understanding in the classroom*.

New York, NY: McMillan.

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

Fetzer, J. H. (2002). Propensities and frequencies: Inference to the best explanation. *Sythesis*, 132, 27-61.

Gee, J. P., Michaels, S., & O'Connor, M. C. (1992). Discourse analysis. In M. D. LeCompte, W. L. Millroy, & J. Preissle (Eds.), *The handbook of qualitative research in education* (pp. 277-291). San Diego, CA: Academic Press.

Gerrard, A. J. (1984). Multiple working hypotheses and equifinality in geomorphology: Comments on the recent articles by Haines-Young and Petch. *Transactions of the Institute of British Geography, New Series*, 9(3), 364-366.

Green, T. F. (1971). *The activities of teaching*. New York, NY: McGraw-Hill.

Hempel, C. G. (1965). *Aspects of scientific explanation and other essays in the philosophy of science*. New York, NY: The Free Press.

Hempel, C. G. (1966). *Philosophy of natural science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Horwood, R. H. (1988). Explanation and description in science teaching. *Science Education*, 72(1), 41-49.

Magnani, L. (2001). *Abduction, reason, and science: Process of discovery and explanation*. New York, NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers.

Martin, M. (1985). *Concepts of science education: A philosophical analysis*. Lanham, MD: University Press of America.

Maybin, J., Mercer, N., & Stierer, B. (1992). "Scaffolding" learning in the classroom. In K. Norman (Ed.), *Thinking voices: The work of the National Oracy Project* (pp. 186-195). London, UK: Hodder & Stoughton.

Mayer, R. E. (1992). Knowledge and thought: Mental models that support scientific reasoning. In R. A. Duschl & R. J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (pp. 226-243). Albany, NY: State University of New York Press.

Meyer, B. J. F., & Freedle, R. O. (1984). Effects of discourse type on recall. *American Educational Research Journal*, 21(1), 121-143.

Nagel, E. (1961). *The structure of science: Problems*

in the logic of scientific explanation. New York, NY: Harcourt, Brace & World.

Norris, S. P., Guilbert, S. M., Smith, M. L., Hakimelahi, S., & Phillips, L. M. (2005). A theoretical framework for narrative explanation in science. *Science Education*, 89, 535-563.

Oh, P. S. (2005). Discursive roles of the teacher during class sessions for students presenting their science investigations. *International Journal of Science Education*, 27(15), 1825-1851.

Ohlsson, S. (2002). Generating and understanding qualitative explanations. In J. Otero, J. A. Leon, & A. C. Graesser (Eds.), *The psychology of science text comprehension* (pp. 91-128). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Psillos, S. (2000). Abduction: Between conceptual richness and computational complexity. In P. A. Flach & A. C. Kakas (Eds.), *Abduction and induction* (pp. 59-74). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Pitt, J. C. (Ed.), (1988). *Theories of explanation*. New York: Oxford University Press.

Salmon, W. C. (1971). *Statistical explanation and statistical relevance*. Pittsburgh, PA: University of Pittsburgh Press.

Salmon, W. C. (1984). *Scientific explanation and the causal structure of the world*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Salmon, W. C. (1998). *Causality and explanation*. New York, NY: Oxford University Press.

Scott, P. (1998). Teacher talk and meaning making in science classrooms: A Vygotskian analysis and review. *Studies in Science Education*, 32, 45-80.

Shin, M.-K., Yager, R. E., Oh, P. S., & Lee, M.-K. (2003). Changes in science classrooms after experiencing an international professional staff development program. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1, 505-522.

Walton, D. (2004). *Abductive reasoning*. Tuscaloosa, AL: The University of Alabama Press.

Woodward, J. (1994). Effects of curriculum discourse style on eighth graders' recall and problem solving in earth science. *The Elementary School Journal*, 94(3), 299-314.