

예비 초등 교사들의 귀추적 탐구 활동에서 가설의 정교화 과정에 관한 연구

오필석* · 오성진¹

경인교육대학교 · ¹동두천고등학교

A Study on the Processes of Elaborating Hypotheses in Abductive Inquiry of Preservice Elementary School Teachers

Oh, Phil Seok* · Oh, Sung Jin¹

Gyeongin National University of Education · ¹Dongducheon High School

Abstract: The goal of this study was to investigate how hypotheses were elaborated after their initial appearances in the context of scientific problem solving. Data were collected from a class in which preservice elementary school teachers in groups carried out abductive inquiry of earth science. The analysis revealed two major processes of hypothesis elaboration: theory-driven and evidence-driven. The theory-driven process was in turn distinguished into two kinds of subprocesses: one is in pursuit of internal coherence and the other external coherence. The evidence-driven elaboration also had two subprocesses, which were triggered by direct evidence and indirect or analogical evidence, respectively. In addition, hypotheses were more often than not modified by a wrong theory or evidence whether it was driven by a theory or evidence. Implications for science education and related research were discussed.

Key words: abductive inquiry, hypothesis elaboration, elementary teachers, preservice teachers

I. 서 론

일찍이 I. Newton (1642~1727)은 자신은 가설을 만들지 않는다고 주장하였다. 이것은 자연과학에서는 미성숙한 이론을 만들지 않고도 경험 자료로부터 귀납 논리에 의해 확실한 지식에 이를 수 있다는 Newton 자신의 인식론적 입장을 표현한 것이다(Thayer, 1953). 하지만, 그러한 소박한 귀납주의적 관점은 현대의 과학철학에 의해 부정되었다는 것이 주지(周知)의 사실이다. 오히려 과학의 탐구에서는 가설을 설정하고 그것을 테스트하는 과정을 통해 믿을 만한 지식에 이르게 된다. 실제로 과학적 진보의 초기에는 현상을 설명하기 위해 설득력 있는 가설을 만드는 작업들이 많이 이루어졌다(Laudan, 1981; Nickles, 1980). 이때마다 가설은 실제 세계의 물체나 현상을 생생하게 표상해 내고 문제를 적절히 설명하여 새로운 과학 이론이 탄생할 수 있게 하는 역할을

하였다(Darden, 1992; Giere *et al.*, 2006; Thagard, 1992).

가설 형성 과정에 대해 연구한 저자들은 공통적으로 그 과정이 귀추법(abduction)에 의해 인도된다는 데에 동의한다(권용주 등, 2003; 박종원, 2000; 오필석, 김찬중, 2005; Haig, 2005; Hanson, 1958; Magnani, 2001; Walton, 2004). 귀추법은 결과로 나타나는 어떤 현상으로부터 출발하여 문제 현상을 설명하는 데 필요한 규칙들을 추리해 내고 그것들로부터 문제의 현상을 잘 설명하는 가설을 이끌어내는 추론 과정이다. 그래서 귀추법은 어떤 현상을 관찰한 다음이나 어떤 사건의 증거가 발견된 후, 그 현상이나 사건의 미처 알려지지 않은 선행 조건 또는 발생 과정을 추론하는 데 자주 활용된다.

그런데, 과학자들은 하나의 가설을 떠올린 후 바로 그것을 테스트하는 단계로 진행하는 경우가 흔하지 않다. 오히려 과학자들은 견고한 과학적 판단에 이르

*교신저자: 오필석(philoh@ginue.ac.kr)

**2010.10.05(접수) 2010.11.18(1심통과) 2011.01.17(2심통과) 2011.01.21(최종통과)

***이 논문은 2010년 한국과학교육단체총연합회 교수연구활동지원에 의하여 연구된 것임.

기 위해 하나 이상의 가설들을 가지고 탐구를 진행하기도 하며, 어떤 가설을 본격적으로 검증하기에 앞서 다양한 가설들을 착안한 후에 유력한 가설을 선택하기도 한다. 특히 주어진 증거가 부분적이고 제한적이기 때문에 하나의 가설을 결정적으로 확립하기 어려운 상황에서는 대변한 가설을 제안한 후 그것을 점차로 정교화(elaboration)하는 과정을 밟기도 한다(Kleinmans *et al.*, 2005; Kordig, 1978; Magnani, 2001). 즉, 과학적 탐구에서 '발견의 맥락(context of discovery)'은 새로운 가설이 최초로 상정되는 것으로 그치는 것이 아니라, 그것을 평가하고 더욱 설득력 있는 것으로 만드는 작업이 지속적으로 이루어지는 상황이라는 것을 알 수 있다. 그렇다면 어떤 과정을 거쳐 특정한 가설이 본격적으로 테스트해 볼만한 것으로까지 발전하게 되는 것일까?

귀납주의적인 과학 방법론을 주장했던 사람들은 제거적인(eliminative) 방법에 의해 하나의 유력한 가설에 이르는 것이 가능하다고 하였다. 하지만 Blachowicz (1989)는 제거에 의해 어떤 가설을 도출해 내는 것은 '약하게 생산적인(weakly generative)' 추론이라고 지적하고, 과학적으로 유망한 가설은 최초의 가설을 수정하여 세련되게 만드는 과정, 즉 '강하게 생산적인(strongly generative)' 추론 과정을 거쳐 만들어진다고 주장하였다. 이 보다 앞서 Kordig (1978)는 과학의 탐구 과정을 '최초의 생각 단계 - 설득의 단계 - 수용의 단계(initial thinking - plausibility - acceptability)'로 구분하고, 최초의 생각 단계에서 처음 착상된 가설들이 설득의 단계에서 더욱 정교화되어 더 연구해 볼만한 것으로 선택되어 진다고 하였다. 특히, Kordig (1978)는 대안적인 가설들을 평가하여 더 추구해 볼만한 것을 결정할 때에도 가설을 최종적으로 정당화 할 때와 같은 다양한 증거들이 사용된다고 주장하였다. 보다 최근에는 Clement (2008)가 전문적인 과학자가 문제를 해결하기 위해 가설적인 모델(model)을 형성하는 과정을 자세하게 연구하였다. 그는 과학자가 모델을 창안하는 과정을 '모델 형성, 평가, 수정(model generation, evaluation, and modification, GEM)'이라는 순환적인 절차로 파악하고, 과학자의 모델이 이들 단계를 거치는 동안 귀추적 모델 형성 및 수정, 유비 추리(analogy), 시뮬레이션(simulation), 사고 실험(thought experiment) 등과 같은 여러 가지 과정을 통해 점차로 정교하게 발

전된다는 점을 복잡한 도식과 함께 제시하였다. 이와 더불어, 과학적 설명(explanation)이나 논변(argument)에 관한 연구들은 설득력 있는 주장이 되기 위해서는 그 설명이나 논변이 적절한 내용 요소나 구조적 틀을 갖추도록 하는 작업이 중요하다고 지적하고 있다(Berland & Reiser, 2009; Sampson & Clark, 2008).

이와 같이 기존의 저작들은 과학적 탐구의 발견의 맥락은 최초로 가설이 착안되어 본격적으로 정당화의 시도가 이루어지기 전까지 지속적으로 세련되어져 가는 과정이라는 것을 암시해 주고 있다. 즉, 귀추적 탐구 과정은 가설을 만드는 방법뿐만 아니라 그것을 평가하고 더욱 발달시키는 과정도 포함되어 있다고 할 수 있다(Haig, 2005; Magnani, 2001; Oh, 2008, in press). 예컨대 Haig (2005)는 '과학적 방법에 대한 귀추적 이론(abductive theory of method, ATOM)'을 전개하면서 과학 이론은 이론 형성(theory generation), 이론 발달(theory development), 이론 평가(theory appraisal)라는 세 단계를 거쳐 구성된다고 주장하였다. 즉, Haig의 ATOM 모델은 단순히 가설을 착상하는 과정에 그치는 것이 아니라 그것이 더욱 발전되고 평가되어 최선의 설명에 이르는 절차를 포함하고 있다. 또, Magnani (2001)는 가장 좋은 설명에 이르기 위해서는 경쟁하는 가설들을 평가하는 과정이 필연적으로 따를 수밖에 없다고 하면서 귀추법이 가설을 형성하고 평가하는 과정이라는 점을 강조하였다. 하지만 그동안 과학 교육 분야의 연구에서는 최초로 상정된 가설들이 어떻게 다루어지며 어떤 발달 과정을 거쳐 '정당화의 맥락(context of justification)'을 위해 최종적으로 확립되는지에 관해서는 자세히 살펴보기 못하였다. 특히 여러 명의 참여자들이 다양한 방식으로 가설 형성에 기여할 수 있는 소그룹 탐구 활동에서 가설들이 어떤 과정을 통해 정교화 되는지에 초점을 맞춘 연구는 찾아보기 어렵다.

이상과 같은 점들을 고려하여 본 연구에서는 과학적인 문제를 해결하기 위하여 가설을 형성하는 상황에서 최초로 상정된 가설들이 어떤 정교화 과정을 거쳐 더욱 발전하게 되는가를 연구 문제로 설정하였다. 그리고 이에 답하기 위하여 예비 초등 교사들을 위한 수업 중에 귀추적 탐구 활동을 수행하고, 그 속에서 이루어지는 연구 참여자들의 가설 형성 과정의 특징을 질적(質的)인 방법으로 분석하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 참여자 및 탐구 활동

본 연구의 참여자는 중규모의 도시에 소재하고 있는 교육대학교에 재학하고 있는 예비 초등 교사들이다. 이들은 2009년 2학기과 2010년 1학기에 본 논문의 제1저자가 진행하는 과학 교과 교육 과목을 수강하였던 3학년 2개 반, 총 68명의 학생들로, 수업 과정의 일부로서 자연스럽게 과학 탐구 활동을 수행하고 본 연구에 필요한 자료를 제공하였다. 연구에 참여한 예비 교사들의 전공은 과학 교육(n=31), 컴퓨터 교육(n=26), 교육학(n=7) 및 기타 교과 교육(사회=1, 음악=1, 실과=2)이었으며, 대부분이 2학년 과정에서 본 논문의 제1저자로부터 과학 교과 교육 과목을 수강한 바 있다. 이들은 장차 학교 현장에서 과학 탐구 활동을 직접 지도해야 하는 주체들로서, 이들이 수행하는 탐구의 특징을 이해하는 것은 바람직한 탐구 수업 방안을 마련하는 데 핵심적인 정보를 제공할 수 있다는 점을 고려하여 본 연구의 주된 참여자로 결정하였다.

본 연구에서 예비 교사들이 수행한 탐구 활동은 '운동장 흙 분석' 활동이다. 이것은 Levin & Smith (2008)의 지사학(earth history) 실험·실습 활동들 중 한 가지를 수정한 것으로, 학생들이 학교의 운동장에서 수집한 '운동장 흙', 즉 화강암의 풍화 물질인 마사토(saprolite)를 분석한 후, 그것의 형성 과정을 추론해 보는 내용으로 이루어져 있다. 이 활동은 지구 과학에 특장적인 '귀추적 탐구 모형(abductive inquiry model, AIM)'에 따라 진행되었다. 지구과학은 역사 과학(historical science)이자 해석 과학(interpretive science)으로서(Frodeman, 1995), 어떤 사건의 원인과 결과가 모두 과거에 발생하였거나 그것들이 현재에 있지만 원인적 과정이 관찰 불가능하여 그 가설적 상태를 미루어 짐작해야 하는 후진적(後進的, retrodictive) 또는 사후추정적(事後推定的, postdictive) 과제를 많이 다루고 있다. 따라서 지구 과학에서는 잘 알려진 이론과 초기 조건으로부터 필연적인 결론을 이끌어내는 연역법과는 다른 추론, 즉 귀추법이 자주 활용된다(Baker, 1996, 2000; Engelhardt & Zimmermann, 1988; Kleinhan *et*

al., 2005). 귀추적 탐구 모형은 이러한 지구과학의 본성을 고려한 탐구 학습 모형으로 Kim (2003)이 처음 제안하였고, 오필석과 김찬중(2005), 그리고 Oh (2008, in press) 등의 이론적·경험적 연구에서 활용되었다.

본 연구에 참여한 예비 교사들은 5~7명씩, 각 반에서 6조씩, 총 12개의 조를 이루어 귀추적 탐구 모형의 단계를 따라 활동을 수행하고 그 결과를 발표하였다. 구체적으로, '탐색(exploration)' 단계에서는 운동장 흙을 구성하는 입자들의 크기 분포와 주요 입자들의 종류를 분석하여 표와 히스토그램으로 나타내었다. 이 과정에서 예비 교사들은 운동장 흙이 세립질이 많은 음성 왜도(negative skewness)를 보이고 있으며, 대부분 석영과 장석 조각들로 이루어져 있다는 것을 확인하였다. 다음 '조사(examination)' 단계와 '선택(selection)' 단계는 서로 순환적으로 진행되었는데, 예비 교사들이 조별 토론을 통해 운동장 흙의 형성 과정에 대해 여러 가지 가설들을 생각해 보고 가장 그럴듯한 것을 선택하도록 하였다. 이 과정에서 예비 교사들이 인터넷이나 관련 문헌을 통해 필요한 정보를 찾아보는 것이 허용되었다. 마지막으로 '설명(explanation)' 단계에서는 앞 단계에서 선택한 가설들을 토대로 조별로 운동장 흙의 생성 과정에 대한 최종적인 가설을 제안하였다. 이상의 과정에서 본 논문의 제1저자가 교수자(instructor)로서 예비 교사들의 활동을 안내하였고 종종 사고를 촉진하기 위한 질문을 던지거나 그들의 질문에 응대하였다. 이와 같이 운동장 흙 분석 활동은 지구과학의 대표적인 후진적 또는 사후추정적 추론 과제를 다루고 있으며, 따라서 연구 참여자들이 가설을 착상하고 점차로 세련되게 만들어 가는 과정을 집중적으로 탐색하기에 적절하다고 할 수 있다.

2. 자료 수집 및 분석

본 연구를 위한 자료의 수집은 연구 참여자들이 예의 과학 탐구 활동을 수행하는 것과 동시에 이루어졌다. 먼저, 예비 교사들이 운동장 흙을 분석하고 그 생성 과정을 추론하는 동안 조별로 토론하는 내용을 녹음하였다. 이때는 연구 자료로 사용하기 위하여 조별

1) '운동장 흙'이란 용어는 초등학교 교육과정과 교과서에서 '화단 흙'과 대비하여 일갱이가 상대적으로 크고 거친 마사토를 지칭할 때 사용하는 용어이다. 이러한 명칭을 사용하는 까닭은 화강암 풍화 물질인 마사토를 배수(排水)를 용이하게 하기 위한 목적으로 학교의 운동장에 뿌리곤 하기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 본 논문에서는 교육과정과 교과서의 내용이 좀 더 부합되도록 '운동장 흙'이란 용어를 주로 사용하기로 한다.

토론 과정을 녹음하는 데 동의하는 경우에 한하여 오디오 녹음이 이루어졌으며, 결과적으로 총 5개 조(2009년 3개 조, 2010년 2개 조)의 조별 활동이 녹음되었다. 본 논문에서 이들 5개 조는 A~E로 각각 부호화하였고, 조원들은 번호를 붙여 나타내었다. 예비 교사들의 조별 활동과 더불어, 각 조의 대표가 전체 학급을 대상으로 자신들이 추론한 내용을 발표하는 과정을 녹음하고, 이후에 모든 녹음 자료를 전사하여 분석에 활용하였다. 또, 예비 교사들이 활동을 수행하는 동안 조별로 활동지를 작성하게 하고 완성된 활동지를 연구를 위한 자료로 수집하여 녹음된 자료와 함께 분석하였다.

자료의 분석은 연구 문제에 초점을 맞추어 질적인 방식으로 진행되었다. 즉, 수집된 전사본과 활동지로부터 귀추적 탐구 과정에서 최초로 가설들이 상정된 후에 그것이 더욱 정교화 되는 방식들을 귀납적으로 파악하고, 각각을 범주화 하였다. 또, 범주화된 것을 다시 자료에 비추어 검토하면서 필요한 부분을 수정·보완하는 작업을 반복적으로 수행하여 결과를 확정하였다. 구체적으로, 자료를 처음 읽는 동안 예비 교사들의 가설 정교화 과정을 이론적인 고려를 많이 포함하고 있는 것과 경험적인 내용을 보다 많이 포함하는 것으로 나눌 수 있음을 발견하였고, 이들을 차후에 각각 '이론에 의해 유도되는 가설 정교화 과정(theory-driven process for elaborating hypotheses)' 과 '증거에 의해 유도되는 가설 정교화 과정(evidence-driven process for elaborating hypotheses)' 으로 명명(命名)하였다. 이렇게 두 개의 큰 범주를 확인한 후에는 자료를 다시 읽으면서 각각에 대하여 세부적인 범주를 찾아 분별하는 작업이 이루어졌다. 그 결과 이론유도과정은 가설의 '내적 정합성(internal coherence)' 을 추구하는 경우와 '외적 정합성(external coherence)' 을 추구하는 경우로 구분되었으며, 증거유도과정은 '직접 증거(direct evidence)' 에 의한 것과 '간접 증거(indirect evidence)' 에 의한 것으로 세분되었다. 이와 같이 세분화된 범주를 다시 자료에 비추어 검토하면서 분석 결과가 자료의 내용을 충실하고 신빙성 있게 반영하고 있음을 확인하였다. 다만 최종적인 검토 단계에서 간접 증거의 의미를 좀 더 부연하기 위하여 '유사 증거(analogical evidence)' 라는 범주어를 함께 사용하기로 결정하였다. 자료의 분석 과정에는 과학 교육을

전공한 연구자(제1저자)와 지질학 연구 경험이 있는 연구자(제2저자)가 참여하여 각자의 학문적인 식견에 비추어 자료를 타당하게 해석할 수 있도록 주의하였다. 또, 본 연구의 취지가 예비 초등 교사들이 귀추적 탐구 활동을 수행하면서 가설을 창안하고 그것을 정교화 하기 위해 어떤 종류의 전략들을 사용하는지 탐색하는 데 있었으므로, 각 범주별로 빈도를 헤아려 양적(量的)으로 비교하지는 않았다. 다만 내적 정합성을 추구하는 경우와 직접 증거에 의해 유도되는 가설 정교화 과정은 그 세부 과정이 상대적으로 복잡하여 다른 경우에 비해 많은 논의가 필요함을 알 수 있었다. 이상과 같이 하여 자료에 근거한 분석 결과를 확보한 후에는 과학 교육과 관련 연구에 관한 시사점을 이끌어냄으로써 연구 결과를 확정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

앞서 언급한 바와 같이, 본 연구에서 예비 초등 교사들이 귀추적 탐구를 수행하는 동안 가설을 정교화하는 과정은 크게 '이론에 의해 유도되는 과정' 과 '증거에 의해 유도되는 과정' 으로 나누어 볼 수 있었다. 이때 이론유도과정이란 문제 현상을 설명하는 가설이 이론적 정합성(theoretical coherence)을 갖출 수 있도록 더욱 발전시켜 가는 과정을 말하고, 증거유도과정이란 경험적인 자료와의 일치성(empirical consistency)을 고려하여 가설을 보완하거나 평가하는 과정을 의미한다. 좀 더 세부적으로, 이론유도과정은 다시 '내적 정합성' 과 '외적 정합성' 을 추구하는 경우로 구분되었으며, 증거유도과정은 '직접 증거' 에 의한 것과 '간접 증거' 또는 '유사 증거' 에 의한 것으로 구분되었다. 또, 각각의 경우에 잘못된 이론이나 그릇된 증거에 의해 가설이 수정되어지는 사례도 발견되었다. 아래에서는 이러한 연구 결과를 예비 교사들의 실제 활동 사례와 함께 구체적으로 제시한다.

1. 이론에 의해 유도되는 가설 정교화 과정

1) 내적 정합성을 추구하는 경우

운동장 흙의 형성 과정을 추론하는 과제를 접한 예비 교사들은 처음에 암석이나 퇴적물과 연관된 개념어만을 단순히 언급하는 경우가 많았다. 이것은 운동장 흙의 특징을 탐색하는 동안 그들의 배경 지식 중에

관찰 대상과 관련된 개념들이 활성화된 결과라고 짐작할 수 있다. 문제 현상을 설명하는 데 필요한 개념어들을 생각해 낸 후 예비 교사들은, 아래의 예와 같이, 그것을 토대로 운동장 흙의 형성 과정에 대한 가설을 문장으로 진술하기 시작하였다.

[C조]

PT(pre-service teacher) 20: 퇴적물에서 암석, 그거 있잖아.

PT 16: 이게, 물에 이렇게.

PT 20: 쓸려 내려오는 거지. 침식해서, 침식.

PT 16: 물로 침식, 운반 작용이 일어나고, 많이 아는데. (웃음)

PT 18: 뭐, 뭐, 뭐, 뭐?

PT 16: 침식, 운반 밖에 얘기 안 했는데. (웃음)

PT 20: 침식, 운반, 퇴적.

PT 18: 풍화. 풍화, 침식, 운반, 퇴적.

PT 16: 어어. 풍화된 게 물에 쓸려서.

PT 20: 나 그런 것도 아는데. 지층, 예고, 아니다. (웃음)

PT 16: 그렇지. 먼저 온 것부터 이렇게 쌓여 가지고, 바다 같은 데 이렇게 쌓이게 되는.

[D조]

PT 23: 어떻게 생겼을까? ... 일단,

PT 22: 일단,

PT 23: 흙은 산에서 내려 온,

PT 22: 흙은 풍화, 침식 작용에 의해서 생기지.

PT 22: 풍화, 침식. 퇴적은 아닌가?

PT 23: 아, 맞아, 맞아.

PT 21: 풍화, 침식 작용에 의해서 이게 떠내려가면 퇴적되는 게 아닌가, 모여서?

PT 22: 퇴적, 퇴적되면, 퇴적, 퇴적이 되는 거고, 풍화, 침식 작용은 물에 의해서 깎이는 거고.

위와 같이 예비 교사들은 우선 그들이 이미 알고 있는 개념을 토대로 가설을 만들어 보려 하였지만, 자신들이 문제 현상과 관련된 과학 지식이 부족하다고 판단한 경우에는 인터넷이나 참고 문헌을 통해 배경 지식을 확장하고 현상을 설명하는 데 도움이 될 만한 정보를 발견한 후 이를 이용하여 가설을 형성하기도 하였다. 예를 들어, 아래의 예에서 D조의 학생들은 인터넷

넷을 통해 화강암의 풍화·침식에 관한 정보를 찾아내고, 그것을 토대로 운동장 흙을 형성하는 원인적 과정이 포함된 가설을 만들어 가는 모습을 보여 준다. 즉, 앞서 ‘풍화, 침식, 퇴적’과 같은 개념어들과 ‘흙은 산에서 내려 온 것이다’는 가설을 착상하였던 D조원들은 새로운 정보를 얻은 후 아래와 같이 ‘화강암이 풍화, 침식되어 작아져서 운동장 흙이 만들어졌다’는 좀 더 자세한 가설을 생성하였다.

PT 23: ... 뭐 찾아 왔어?

PT 21: 이게, 원래는 화강암이 석영, 장석 이런 걸로 구성되어 있다.

PT 22: 거 봐, 화강암이.

PT 24: 오오.

PT 21: 이게 침식이 되고 풍화가 되고 이러면서 깎여져 나가서 ...

PT 23: 석영, 장석이 화강암에서부터 나온 거야?

PT 21: 어. 그게 풍화가 돼서. ...

PT 24: 화강암이 일단 만들어진 다음에 이게 풍화, 침식된 거니까, 화강암이 일단 있고, 그게 이제 풍화되거나 그런 다음에 이게 이렇게 작아진 거지.

PT 21: 풍화 돼 가지고 침식이 돼 가지고 이렇게 작아지는 거야.

이렇게 문제 현상과 관련된 개념들로부터 완성된 문장으로 그 현상의 발생 과정을 진술하는 것은 가설 형성의 초기 단계에 있는 일이라 할 수 있다. 하지만, 조별로 토론이 더욱 진행되어감에 따라 예비 교사들이 자신들의 가설에 포함된 원인적 사건이나 변인들의 관계가 과학적인 이론에 요구되는 구체성을 만족시킬 수 있도록 가설을 더욱 정교화 해 가는 것을 볼 수 있었다. 예를 들어, 운동장 흙이 풍화를 통해 만들어졌을 것이라고 생각하였던 B조원들은 암석의 풍화 과정이 기계적 풍화와 화학적 풍화로 나뉜다는 것을 상기하고, 자신들의 가설이 구체적으로 어떤 풍화 과정을 지시하는 것인지 확실히 하려는 태도를 보였다.

PT 8: 그리고 풍화가 한 종류가 아니야. 물리적 풍화도 있고, 화학적 풍화도 있고, ... 뭔가 주기적으로 일어난 물에 의해서 패였을 수도 있는 거고, ...

PT 11: 풍화가 다 바람 얘기하는 거야?
 PT 8: 그게 바람도 있고,
 PT 11: 갈리고 부서지는 거?
 PT 8: 어, 풍화. 그리고 그, 기계, 뭐지? 물리적으로 나뉘는 침식 이런 것도 있고, 빗방울이 들어 가서 깨지고, 틈에. 알지 그런 거? ...
 PT 11: 그러면 물리적 풍화에 인위적으로 부셨을 수 있고, ... 그 다음에 바람, 뭐 이런 거?
 PT 9: 그러니까 여러 가지 기상 작용.
 PT 10: 물, 물.
 PT 8: 어. 기상 작용.
 PT 9: 비와도 그렇고. ...
 PT 11: 화학적인 게, 산성비?
 PT 8: 산성비하고, 화학적인 게 뭐, 뭐가 있어요? 옛날에 배웠죠, 화학적 침식? 화학적인 게 뭐가 있을까?
 PT 9: CO₃ 든 거. ...
 PT 11: 물 들어가서 물이 얼면 또 깨져?
 PT 8: 어. 그게 서서히.
 PT 9: 틈 벌어진, 틈이 원래 조금 있어서. (잠시 후) 그냥 물이 흐르기만 해도, 바위가 이렇게 패이잖아요.
 PT 11: 맞아. 그런 것 좀 구체적으로 써야 될 것 같애. ... 그러니까 뭐, 뭐 기상 변화, 이런 게 아니라 그게 약간 구체적으로 ...

또, C조에서는 단순히 퇴적물이 강의 하류에 쌓일 것이라고 진술하는 것을 넘어서 그렇게 강의 하류에 퇴적되게 되는 물리적 원인, 즉 ‘물의 속력이 느려져 이동할 힘이 없어졌다’는 것까지 언급하여 가설에 포함된 원인적 과정을 더욱 구체화하는 모습을 볼 수 있었다.

PT 18: 자, 그러면, 풍화 됐어. 그 다음에 어떻게 해? 이동해야지. ...
 PT 14: 관찰야. 생성 다음에 풍화, 침식 한 다음에 이동. 관찰야.
 PT 16: 흙이나 모래 같은 건 바람으로도 날리고,
 PT 14: 바람.
 PT 18: 바람과 물에 의해서 이동.
 PT 14: 그 다음에,
 PT 19: 퇴적.

PT 14: 퇴적도 해야 돼?
 PT 19: 퇴적이 됐으니까, 어딘가에 애가 퇴적이 되어 있었을 거 아냐.
 PT 14: 그거는, 바람과 물의 속도가 느려지는 곳에.
 PT 19: 그곳이 어딜까?
 PT 14: 그래서 뭔가, 강에서는 하류. 강의 하류. 산 밑. ...
 PT 18: 강의 하류, 강의 하류쯤에서 이게 모인 거지. ...
 PT 14: (활동지에 기록하며) 모래들을 모아 온 것이다.
 PT 19: 물의 속력이 느려지는 곳.
 PT 14: 아아. 속도가 느려지는 곳?
 PT 19: 강의 하류, 강의 하류에서.
 PT 14: 물과 바람의 속도가 느려지는 곳?
 PT 19: 어. 이동할 힘이 없어지는 거죠.
 PT 14: 응응. 이동할 힘이 없어져서.
 PT 19: 그래서 퇴적된 거야.

이와 더불어, 가설이 전달하는 내용을 구체적으로 진술해 가는 동안 예비 교사들은 운동장 흙이 만들어진 여러 인과적 과정들이 서로 모순됨 없이 연계되어야 한다는 것을 깨닫기도 하였다. 예컨대, 아래 첫 번째 예에서 A조의 학생들은 가설에 포함된 원인적 과정에 대한 내용이 증가하는 것과 비례하여 여러 가지 제한점들(예: 압력 조건, 풍화·침식의 시기)을 추가함으로써 자신들의 가설을 더욱 정교화 하는 모습을 보여 주고 있다. 또, 두 번째 예에서 D조원들은 처음에는 운동장 흙이 고속도로 건설과 같은 인위적인 과정 중에 만들어졌을 것이라는 가설을 생각하였지만, 이러한 주장은 뒤늦게 제안된 화강암의 자연적인 풍화·침식 가설과는 어울리지 않으므로 도로 건설이라는 인공적인 작업을 가설의 내용에서 제외하거나 ‘풍화된 물질이 산 아래까지 운반되어 내려오기 전이라면 가능하다’는 조건을 붙여 제시하려 하고 있다.

[A조]
 PT 1: (활동지에 그림을 그리며) 여기 땅에서 화산이 폭발했고 용암이 이렇게 돼. 용암이 이렇게 있는데, 여기서 이제 이렇게 돼서, 확대해 보면은,
 PT 3: 조산대야?
 PT 1: 여기가 화강암. 이게 화강암인데,
 PT 3: 근데 왜 개는 분출하지 못했어? ... 개는 왜 밖으로 분출하지 못했어?
 PT 1: 분출할 만큼 그게 안 돼서, 압력이랑 그런 게.

PT 3: 압력이 안 됐던 거야?
 PT 1: 응.
 PT 4: 지각을 뚫는 압력이 부족해서.
 PT 1: 이제 애가 용기. ... 그리고 애네는 산이 됐어요.
 PT 4: 용기 후 침식을 거쳐서 산이, 산이 된 거지.
 PT 1: 용기 플러스 침식.
 (약 13분 후)
 PT 2: 여기, 변성이나 풍화, 침식이 없이 보존 된 거
 잦아, 땅 속에서 계속. 그러다가 이제, ...
 PT 3: 어, 안에 있던 게 나온 거지. ...
 PT 2: 그러니까, 변성이나 풍화, 침식, 이런 게 없이
 ... 보존되고 있다가,
 PT 3: 이거는 표면의 돌이 아니고 산 안에 있던 거니
 까, 뭐, (잠시 후) 풍화나 침식은 있을 수 있나?
 PT 2: 없지. ... 자연적 풍화나 침식이 없이 있다가,
 PT 4: 용기가 돼서,
 PT 3: 그러면 일단 산 자체가 만들어지는 과정은 용
 기를 해서,
 PT 4: 용기돼서 산이 되려면 침식은 있어야 돼요.
 PT 3: 그렇지.
 PT 4: 일단 땅 속에 있을 때는 그런 게 없었지만,
 자연적인 풍화나 침식은 없었지만.

[D조]

PT 22: 아니면, 그런 데, ... 산에, 산에 고속도로 낼
 때 파잖아. 그럼 거기에,
 PT 24: 아아.
 PT 22: 쌓이고 막 그런 거를 트럭에 싣잖아. 그런
 것들일 수도 있잖아.
 PT 24: 그럴 수도 있다.
 (약 7분 후)
 PT 22: 그러니까, 이게 약한 데는 깎이고 단단한 돌
 이 이제 산에 남게 된 거야. 그러면 그게 또
 깎이고 깎이고 깎여서 돌이 산 아래로 흘러
 내려 온 거지.
 PT 23: 여기 있는데, 여기서 이제 약한 부분이, ...
 PT 22: 그러니까 이게 산이, 산이 있잖아. 그러면
 바람이, 바람에 의해서 이게 전에 약한 것들
 만 깎인 다음에 흘러가고 강한 것만 남는데,
 이제 강한 것도 오랜 동안 풍화, 침식을 받
 으면 깎이게 되는 거지.
 PT 23: 이게 화강암이야? 이게 화강암이고, 옆에

있는 게 다 풍화, 침식 돼?

PT 22: 어. ... 또 이게, 또 이게 오랜 동안 풍화, 침
 식을 받으면 애도 깎여서,
 PT 24: 하루로 가잖아. (잠시 후) 고속도로는 빼야
 되겠다.
 PT 23: 고속도로? (웃음) ...
 PT 22: 왜? 그럴 수도 있지.
 PT 23: 고속도로 될 수 있지. 왜냐하면 그 중간에
 있는 거를 내려오기 전에 판 거지.

이상과 같이 어떤 가설이 문제 현상을 초래한 원인
 적 사건이나 변인들 사이의 인과적인 관계를 논리적
 모순 없이 구체적으로 표현하고 있을 때 그 가설은
 ‘내적 정합성’을 갖추게 되었다고 말할 수 있다(Oh,
 in press). 또, 이상에서 기술한 바와 같이, 귀추적 탐
 구를 수행하는 예비 교사들은 운동장 흙의 형성 과정
 을 잘 설명하기 위하여 자신들의 가설이 내적인 이론
 정합성(internal theoretical coherence)을 갖추도
 록 하는 작업에 참여하고 있음을 알 수 있다.

2) 외적 정합성을 추구하는 경우

내적인 이론 정합성이 가설은 스스로 모순됨 없이
 중요한 변인들 사이의 관계를 구체적으로 진술해야
 한다는 조건을 말하는 것이라면, ‘외적 정합성’이란
 어떤 가설이 이미 잘 확립된 과학적인 사실이나 이론,
 법칙과 조화를 이루어야 한다는 조건을 말한다(Oh,
 in press). 본 연구에 참여한 예비 교사들은 그들의
 가설이 다른 과학적인 사실이나 이론, 법칙들과 부합
 되고 혹시 서로 상충되지는 않는지 따져 보고, 그럴
 경우에는 적절하게 가설을 수정함으로써 자신들의 가
 설이 외적인 이론 정합성(external theoretical
 coherence)을 갖추도록 하였다. 예를 들어, 화산 폭
 발로 인해 생성된 화강암이 풍화되어 운동장 흙이 만
 들어졌다는 가설을 생각하였던 E조의 학생들은 본래
 화강암은 지하 깊은 곳에서 만들어진다는 과학적인
 사실을 떠올리고 그것과 조화하도록 용기와 침식 과
 정을 추가함으로써 자신들의 가설을 보완하였다.

PT 32: 이거는, 화강암은 그럼 뭐, 화산에 의해 생
 성됐다고 생각하면 생성 원리는 끝난 거고,
 어떻게 쪼개졌다만 생각하면 되는 거네.
 PT 27: 어.

PT 26: 그렇지. ...
 PT 32: 근데, 이 화강암이 크고 밝으면, 산, 그 뭐지?
 PT 27: 산에 있잖아.
 PT 32: 아니, 아니, 암석, 뭐야, 마그마가 분출이 안 되고 안에서 굳었던 소리잖아.
 PT 27: 어. ...
 PT 32: 그러면, 안에서 굳었으면은 애가 밖으로 튀어 나와, 지금, 튀어 나왔으니까, 볼 수 있으니까,
 PT 27: 그게, 튀어 나온 게 그거야, 그거. 용기와 침식. 그렇게 해서 산으로 올라온 거야.
 PT 32: 그럼 바다에서 만들어졌다는 거야? 바다 속에서 만들어졌다는 거야?
 PT 27: 굳이 바다라고 한정 지을 순 없을 것 같은데.
 PT 26: 화산 활동이라는 게,
 PT 27: 어, 화산 활동을 하는 게 바다일 수도 있고, 산일 수도 있잖아. 육지일 수도 있잖아. 어 쪼든 해서, 그게 굳은 게 화강암인데, 그게 나중에, 인제, 용기해서 산으로 올라오거나 그러면은 산이 좀 침식이 되겠지.

또, 아래에서와 같이 A조의 예비 교사들은 물의 상태 변화에 관한 과학적인 설명에 비추어 자신들의 가설을 구체적으로 수정하여 진술하기도 하였다.

PT 3: 침식 시키는 요인이 뭐, 뭐 있어?
 PT 7, PT 3: 바람.
 PT 4: 물.
 PT 3: 물. ...
 PT 4: 동물.
 PT 1: 식물이나,
 PT 4: 식물
 PT 3: 식물. 응. 바람이 많지, 그래도?
 PT 1: 물, 물이 제일 많지 않아요?
 PT 4: 물이 제일 많죠.
 PT 3: 아, 근데 이게 물가가 아니잖아.
 PT 1: 그러니까, 공기 중의 액체, 수증기 같은 게 들어 갔다가 밤 되면은 온도가 낮아서 오그라들었다가 다시 온도가 높아지면은 팽창하면서,
 PT 3: 아아, 그럴 수도 있겠다.
 PT 4: 아니지, 열면서 팽창하는 거지. 스며든 물이 열면서 팽창하면서,
 PT 3: 그래.

PT 1: 어, 맞네.
 PT 3: 팽창해서 깨질 수도 있고, 잘릴 수도 있고, 이렇게
 PT 4: 온도가 높아지면서 팽창해서 깨지려면 거의 100℃ 가야 돼.
 PT 1: 증발돼서 날라 가네. (웃음)

3) 잘못된 이론 또는 오개념에 의해 유도되는 경우
 이상과 같이 본 연구에 참여한 예비 교사들은 자신들의 가설이 내적·외적인 이론 적합성을 갖출 수 있도록 그것을 지속적으로 정교화 하는 것을 볼 수 있었다. 하지만, 때때로 그들이 참고하는 이론이나 개념이 잘못된 까닭에 결과적으로 타당하지 못한 가설에 이르는 경우도 관찰되었다. 예를 들어, 아래에 인용된 예에서는 E조원들이 자신들의 부족한 과학 지식을 조합하여 결국 잘못된 이론을 전개한 후 결론을 내리는 모습을 볼 수 있다.

PT 32: 근데, 석영이 퇴적암이라고 생각하기에는 애가 너무 투명하잖아.
 PT 26: 어.
 PT 28: 응.
 PT 32: 그게 뭐가 쌓여서 투명하게는 될 수 없잖아.
 PT 26: 맞아.
 PT 28: 맞아.
 PT 32: 변성암이 아닐까?
 PT 26: 열과 압력을 받아서?
 PT 32: 어.
 PT 28: 맞아.
 PT 32: 모래가 쌓여서 열과 압력에 의해서 석영으로 변했다. 그럴 거 같지 않아?
 PT 26: 콜.
 PT 32: 그럼, 열과 압력을 받으려면은 산에 있거나 바다 속 깊숙이에 있어야 될 건데, 바다 속 깊숙이 있는 것은 주로 석회암 퇴적물이란 말이야. 그러면 산에 있었겠지. 역시 산이다. 끝. 아니야?

다시 말하여, 위와 같은 예비 교사들의 사고 과정은 어느 정도 옳은 추론 구조를 지니고 있지만 추론의 토대가 되는 과학 지식(“석영은 변성암이다.”)이 옳지 못하여 결국 과학적으로 그릇된 결론(“[산에서] 모래가 쌓여서 열과 압력에 의해서 석영으로 변했다.”)에 이르게 되었다고 할 수 있다.

2. 증거에 의해 유도되는 가설 정교화 과정

1) 직접 증거에 의해 유도되는 경우

본 연구에서 ‘직접 증거’란 주어진 자료에서 발견되는 경험적인 내용을 뜻하는 것으로, 운동장 흙의 여러 가지 관찰 특성들이 이에 속한다. 귀추적 탐구의 첫 단계에서 운동장 흙을 구성하는 입자의 종류와 크기 분포를 탐색하였던 예비 교사들은 운동장 흙의 형성에 관한 가설을 처음 구상할 때 자신들이 탐색 과정에서 발견한 직접적인 증거들을 우선 설명하려 하였다. 예를 들어, 다음 C조와 E조의 예비 교사들은 공통적으로 자신들이 탐색한 운동장 흙이 대부분 석영과 장석 알갱이로 이루어져 있다는 것에 착안하여 가설을 형성하려는 모습을 보여 준다.

[C조]

PT 18: 근데 애는 석영하고 장석 분포에 따라서 어디에 있었다고 추론해야 되는 거 아냐?

PT 14: 그거 바다에 많을 걸요. 모래니깐요.

PT 18: 바다에 많다고?

PT 14: 석영이 다, 모래가 거의 석영이잖아요.

PT 18: 그러면 ‘바다’로 써, 일단.

[E조]

PT 27: 이 퇴적물이 어떻게 생겼냐고? ...

PT 31: 이게 석영하고 장석이니까 이게 주로 많이 퇴적되는 곳이 어딘가를 생각해 보면 될 거 같고, ... 우리가 인터넷으로 찾아 봐야 되는 거는 석영과 장석은 어디서 많이 퇴적이 되는지 알아보는 게 의미가 있을 것 같애.

그런데 예비 교사들은 경험적인 증거를 설명하기 위해 처음 가설을 구상할 뿐만 아니라 가설을 정교화 하는 과정에서도 자료로부터 발견되는 직접적인 증거들을 고려하였다. 예비 교사들이 직접적인 증거를 고려하여 가설을 정교화 하는 모습 중에 가장 두드러진 것은 직접 증거를 찾아 자신들의 가설이 타당하다는 것을 보이려는 것이었다. 즉, 예비 교사들은 자신들의 가설이 지지하는 경험적인 내용이 주어진 자료에서 발견 될 경우 그 가설이 옳다고 판단하는 ‘후견긍정(後件肯定)’의 도식에 따라 추론하는 경우가 빈번하였다. 아래 A조원들의 대화는 이러한 추론의 한 예를 보여 준다.

PT 4: 대체로 석영하고 장석이잖아요. 석영이랑 장석이 대표적인 무색 광물이니까, 이게 원래 있었던 암석은 되게 비중이 낮은 암석일 거 같아요. 그러니까 밀도가 작은 암석. ...

PT 1: 정상석 이런 거?

PT 4: 응. 그러니까 유색 광물은, 검은 색은 철, 마그네슘을 포함하고 있잖아.

PT 6: 응응. 맞아, 맞아, 맞아, 맞아.

PT 4: 애는 가벼운 애들이야. 가벼운 돌에서 빠져 나온 거야. 가벼운 돌이 침식돼서. ...

PT 3: 그러면 규소의 함량 비율에 따라서 이거, 이제 뭐야, 유색 광물이 되느냐 무색 광물이 되느냐,

PT 4: 예.

PT 1: 우린, 운모가 거의 없으니까, 맞소.

PT 3: 운모는 Si를 많이 안 들고 있네.

PT 1: 네. 네.

PT 4: 철이랑, 이런 거.

PT 3: 철을 많이 들고 있네.

위에 인용된 사례에 포함된 A조의 사고 과정을 아래와 같이 삼단논법의 형식으로 정리해 보면, A조의 예비 교사들은 후건(Q)을 긍정하여 전건(P)을 결론으로 이끌어내는 추론을 하고 있음을 알 수 있다.

(P → Q) 운동장 흙은 밀도가 낮은 암석으로부터만 들어졌을 것이다(A조의 가설). 밀도가 낮은 암석에는 철이나 마그네슘을 포함하는 유색 광물이 적다.

(Q) 우리가 탐색한 운동장 흙에는 유색 광물인 운모가 거의 없다.

(P) 그러므로, 운동장 흙은 밀도가 낮은 암석으로부터 만들어졌을 것이다.

또, 다음 E조의 학생은 “활석이 운모”라는 잘못된 개념을 가지고 있음에도 불구하고 주어진 자료에서 직접적인 증거를 찾아 자신들의 생각을 지지하려는 태도를 보여 준다.

Instructor: ... 또 한 가지는 뭐냐 하면, 아까 운모 얘기가 잠깐 나왔는데, 만약에 화강암이라고 그러면 운모가 보여야 되잖아요, 그죠? 그런데 왜 운모는 그렇게 찾기가 어려웠을까? 이것도 한 번 생각을 해 보

면 좋을 것 같아요. ...

PT 27: 운모가요, 운모가 백운모, 흑운모가 있잖아요. 백운모가 활석이라고 알고 있거든요.

Instructor: 뭐, 아무튼.

PT 27: 그래서 활석이 무르니까 가장 깎이기 쉽잖아요. 그래서 많이 안 보이지 않나,

Instructor: 아, 깎여 나가서 많이 안 보이는 거 같다?

PT 27: 네.

본 연구에 참여한 예비 교사들이 직접 증거에 의해 가설을 정교화 하는 과정 중에는 증거에 기반하여 여러 가지 대안적인 가설들을 평가하는 과정 또한 포함되어 있었다. 이것은 귀추적 탐구에서는 복수의 (multiple) 가설들이 등장할 수 있고, 추론자들은 그 중에서 보다 그럴듯한 것을 선별하고자 하기 때문이라고 할 수 있다(오필석, 2008; Oh, in press). 특히 예비 교사들의 가설 평가 과정에는 아래의 사례들과 같이 ‘후견부정(後件否定)’의 도식에 따라 추론하여 개연적이지 않다고 여겨지는 가설들을 제거하는 경우가 가장 많이 발견되었다.

[B조]

PT 8: 근데 이건 어차피 운동장에 있었지만 운동장에서 만들어진 게 아니라, 어디서 퍼 온 거잖아요. 그러니까 우리가 그 환경을 유추하는 거 아니에요?

PT 11: 바다에서 왔을 거야.

PT 8: 바다는 아닌 거 같지 않아. 바다치고는 너무 애가 ... 너무 애가 둥그렇지 않아. 너무 모났어.

(약 3분 후)

PT 11: ○○야, 계곡 같아?

PT 8: 바다는 아닌 것 같애. 바다는 보통 돌이 둥그렇잖아.

PT 11: 바다는 아닌 듯.

PT 8: 바다는 아닌 거 같고, 왜냐면, 돌이 너무 거칠어. ... 아예 둥그란 애가 없어.

[E조]

PT 32: 산 깎고 부신 거 아냐?

PT 26: 산에 있는 돌을 뽀낸 거 아냐? ...

PT 32: 석영이나 장석이 잘 깨지는 돌이잖아.

PT 26: 운동장 흙으로 쓸려고 그 바위를 갖다가 기

계로 부셨다? ...

PT 32: 기계로 부셨다기에는 되게 단면이,

PT 26: 엉망진창이야.

PT 32: 어.

위에 인용된 사례들 중 B조원들의 사고 과정을 삼단논법의 형식에 따라 정리해 보면, 이들은 후건을 부정(~Q)하여 전건의 부정(~P)을 결론으로 이끌어내는 추론을 하고 있음을 잘 알 수 있다.

($P \rightarrow Q$) 운동장 흙이 바다에서 만들어졌다면, 알갱이의 모양이 둥그릴 것이다.

(~Q) 우리가 탐색한 운동장 흙은 거칠고 모가 나 있어 둥그렇지 않다.

(~P) 그러므로, 운동장 흙은 바다에서 오지 않았을 것이다.

이렇듯 주어진 자료에서 직접적인 증거를 찾고 후건부정의 방식으로 추론하는 것은 가설을 정교화 하는 과정에서 경쟁하는 다른 주장들을 제거하여 자신의 가설을 더욱 강화하는 역할을 한다고 볼 수 있다.

2) 간접 증거 또는 유사 증거에 의해 유도되는 경우

앞 절에서 논의한 직접 증거와 대비되는 의미의 ‘간접 증거’ 또는 ‘유사 증거’란 주어진 자료에서는 발견되지 않지만, 주어진 자료와 비슷한 다른 자료에서 이미 경험한 내용들을 지칭한다. 본 연구에서 나타난 간접/유사 증거들은 대부분 예비 교사들의 과거 경험에 기인한 것으로, 직접 증거와 마찬가지로 예비 교사들이 가설을 착안하는 데 단서가 되거나 예비 교사들의 가설을 지지하여 그것을 더욱 설득력 있게 하는 역할을 하였다. 먼저 후자의 예로, 아래에 인용된 사례에서 E조의 한 여학생들은 자신의 개인적인 경험을 토대로 운동장 흙이 계곡에서 기원하였을 것이라는 가설을 지지하려는 태도를 보여 주고 있다.

PT 31: 저희는 운동장 흙이니까 물 빠짐이 잘 돼야 되고, 그래서 바다나 강 근처나 이런 쪽이 아닐까,

Instructor: 아, 물 빠짐이 잘 되는 흙.

PT 31: 아무래도 운동장 흙은 비가 오면 빨리 빠져야 되니까. ...

PT 26: 근데 강에서 퇴적된 거는 둥글둥글하잖아요,
많이 깎여서.

PT 31: 그러니까 계곡.

PT 26: 결국 산.

PT 31: 계곡.

Instructor: 강에서, 강, 바다에서 산으로 자꾸 올라
가는데. (모두 웃음) 알아서 하세요. 애
기하세요.

PT 31: 계곡 쪽에서는 이런 흙을 좀 본 것 같애. 이
런 게 떨어지는 거를.

또한, B조에서는 ‘산에서도 운동장 흙과 같은 “하
얀 모래”를 보았다’는 간접/유사 증거로부터 ‘운동장
흙은 산 아래에 있는 암석이 많은 사람들의 발에 밟혀
서 생성된 것이다’라는 가설을 상정하고, 이를 “[운동
장 흙에는] 작은 게 많다”는 직접 증거를 통해 확립하
려는 경향을 보이기도 하였다.

PT 9: 근데 산에서도 모래가 있고, 돌만 있는 게 아
니라, ...

PT 11: 산에도 저런 하얀 모래가 잘 있어?

PT 10: 그 밑, 밑쪽에도 있어. 사람들이 잘 들어가
는 그런 쪽. 입구 쪽.

PT 12: 아, 이거를 그렇게 하면 되잖아. 작은 것들이
많으니까, 산 위쪽 돌이 아니라, 산 아래 쪽에
서 사람들한테 발에 밟히고 해서, 그런 데에
서 퍼온 것. 사람들이 많이 지나다니는 곳. 그
런 곳. 근거. 작은 게 많다. 작은 돌이 많다.

3) 잘못된 증거에 의해 유도되는 경우

본 연구에 참여한 예비 교사들은 귀추적 탐구를 수
행하면서 먼저 자신들이 탐색한 증거를 설명하기 위
해 가설을 생각해 내었지만, 일단 가설이 만들어진 후
에는 자료에서 발견되는 다른 여러 가지 증거들을 자
신들의 가설에 맞추어 해석하려는 경향을 보이기도
하였다. 따라서 이러한 경우에는 종종 그릇된 증거가
가설을 지지하는 것처럼 주장되기도 하였다. 예를 들
어, D조의 한 예비 교사는 지각의 용기·침강 과정에
서부터 운동장 흙이 만들어지기 시작했다는 자기 조
의 가설을 발표하면서 여러 가지 종류의 암석 조각들
이 섞여 있는 운동장 흙의 특성이 자신들의 가설에 부
합되는 것으로 잘못 해석하였다.

PT 22: ... 이 땅이 용기하고 하강하고, 용기하고 하
강하고 하면서 이렇게 풍화, 침식 작용도 일
어나고 해서, 이렇게 여기 있던 돌들이 깎여
서 이런, 지금의 상태와 비슷한, 그런 지형
을 만든 거예요. ...

Instructor: ... 아까 조보다는 풍화, 침식 얘기를 조
금 자세하게 얘기해 주긴 했는데 ... 용
기, 침강의 증거를 찾을 수 있을까요, 이
퇴적물에서? 뭘 보고 ‘용기, 침강에 의
해 생긴 거다’ 이런 생각을 했어요? ...

PT 22: 다른 거랑 섞여 있는 게,

Instructor: 다른 거랑 섞여 있다? 아, 섞여 있으니
까 흔들렸을 거다, 마치 체를 흔들듯이.
그런 애긴가요?

PT 22: 네.

위와 같이 경험적인 증거가 잘못 해석되는 경우에
는 과학적으로 타당하지 않은 가설이 강화되고 다른
대안적인 가설들이 고려될 수 있는 기회를 잃게 되는
결과를 초래하는 것처럼 보였다.

이와 더불어, 예비 교사들은 가설에 포함된 인과적
인 설명들을 모두 증거를 통해 확인하려고 하지는 않
았다. 예를 들어, 전체 학습을 대상으로 자신들의 가
설을 발표하는 아래와 같은 상황에서 예비 교사들은
비, 바람, 동식물, 화산, 지진, 사태, 심지어는 운석 충
돌 등 암석의 풍화·침식에 영향을 미칠 수 있는 여러
가지 과정들을 언급하였다. 이렇게 가설에 포함된 인
과적 내용이 많아진 것은 예비 교사들이 운동장 흙의
생성 과정을 구체적으로 진술하려는 노력의 결과라고
해석할 수 있다. 그럼에도 불구하고, 이들은 각각의
원인적 과정을 설득력 있게 제시하는 데 필요한 증거
를 하나하나 찾으려고 하지 않았고 그들 사이의 인과
적인 관계를 자세히 설명하려고도 하지 않아서 높은
수준의 가설에는 이르지 못한 것으로 판단되었다.

[B조]

PT 32: ... 돌로 이루어진 산에서 되게 큰 바위나 돌
이 있는데, 몇 가지 요인에 의해서 이게 침
식, 풍화되는 과정을 그려 봤거든요. ... 비로
인해서, 비가 내리면서 이렇게 바위를 쳐 가
지고 ... 몇 백년, 몇 억년 이렇게 되면서 분
쇄가 되구요, 그리고 또 바위 깨진 틈으로

물이 들어가서 얼면 그 바위가 부서지잖아요. 그런 과정. 그리고 바람이 불면서 바위를 약하게 할 수도 있고요, 그리고 또, 그런 거 있어요, 나무가 커 가면서 땅 속에 있는 바위들을 깨뜨릴 수 있고요, 그리고 산을 다니는 사람들의 등산화나 뭐, 단단한 물질에 의해서 바위나 돌이 분쇄될 수 있고요, 그리고 지진, 산사태로 인해서 바위가 분쇄될 수 있고요, 또 그런 과정을 거치면서 작아졌겠죠. 그리고 계곡을 통해서 계속 흘러내리면서 애가 침식되는 과정도 생각을 해 봤고요, ...

Instructor: 그러니까 지금 얘기하는 과정이 다 개입되었다는 얘기죠, 지금 이 조는?

PT 32: 예. 그러니까 어떤 과정, 그냥 한 과정이라고 보기에는 저희가 가지고 있는, 그런 게 충분하지 않다고 생각을 해서 여러 가지 가설을 생각해 보았습니다.

[C조]

PT 14: ... 저희는 퇴적물의 생성, 침식, 그리고 이동, 퇴적, 이렇게 네 가지로 나눠 봤는데, ... 생성물의 침식은 뭐, 물이나 바람이나 운석 충돌이나 나무뿌리, 그리고 동물이 먹거나 밟아서, 아니면 번개, 아니면 지각 변동, 뭐 화산 활동이나 용기, 침강, 습곡, 뭐 이런 거 나왔고요, ... 이동은 바람이나 물이나 아까 말했듯이 동물들이 먹어서 이동을 했다거나 이런 여러 가지 원인들에 의해서 이동했다고 생각을 했구요, ...

이상과 같이, 예비 교사들은 자신들의 가설이 직접적인 증거나 유사한 증거에 의해 더욱 지지될 수 있고 정교하게 될 수 있다는 인식을 가지고 있음에도 불구하고 실제 탐구 과정에서는 자신들의 가설을 증거에 의해 지지하는 과정 없이 주장하려는 태도를 보이기도 하였다. 또, 이들의 탐구 과정에는 종종 증거를 잘못 해석함으로써 타당하지 않은 결론에 이르게 되는 경우가 있다는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결론 및 제언

과학적 탐구의 발견의 맥락은 최초로 가설이 착상된

후에도 그것이 지속적으로 평가되고 수정되어 더욱 세련된 것으로 발전하는 과정이라고 할 수 있다. 이 점을 고려하여 본 연구에서는 예비 초등 교사들이 조를 이루어 운동장 흙의 형성 과정을 귀추적으로 탐구하는 동안 어떻게 자신들의 가설을 정교화 해 가는지 분석하였다. 앞 절에서 제시한 연구 결과를 토대로 할 때, 예비 교사들의 설명적 가설은 다음과 같은 과정을 거쳐 형성되고 더욱 발전한다는 것을 알 수 있다.

첫째, 본 연구에 참여한 예비 교사들은 자신들이 탐색한 운동장 흙에서 발견되는 직접 증거를 설명하기 위하여 가설을 형성하기 시작하였다. 석영과 장석 알갱이가 많이 포함된 운동장 흙의 특징을 설명하기 위하여 가설을 만들기 시작하였던 C조와 E조의 대화는 이 점을 잘 보여준다.

둘째, 예비 교사들은 운동장 흙의 특징이나 그것과 연관된 개념어들을 떠올리거나 필요한 정보를 조사한 후, 그것들을 이용하여 인과적인 내용이 포함된 문장을 말하기 시작함으로써 가설을 형성하였다. 앞서 인용된 대표적인 사례로, D조원들은 먼저 '풍화, 침식, 퇴적'과 같은 개념어를 생각해 내고 인터넷에서 정보를 탐색 후에 '운동장 흙은 화강암이 풍화, 침식 되어서 작아진 것'이라는 가설을 형성하였다.

셋째, 예비 교사들은 내적·외적인 이론 정합성을 추구하여 자신들의 가설을 정교화 하였다. 그 결과 예비 교사들의 가설이 제안하는 인과적인 내용이 더욱 많아졌으며, 가설에 포함된 원인적 과정들 간의 모순이 제거되기도 하였다. 예를 들어, B조의 예비 교사들은 운동장 흙이 단순히 풍화에 의해서 만들어졌다고 말하는 것을 넘어서 암석의 풍화 과정을 구체적으로 진술하는 것을 볼 수 있었다. 또, 처음에는 운동장 흙의 근원인 화강암이 화산 폭발로 인해 생성되었다고 생각하였던 E 조원들이 화강암이 심성암이라는 과학적인 이론에 근거하여 자신들의 설명을 수정한 사례는 외적인 이론 정합성을 이루도록 가설을 보완한 대표적인 사례라고 할 수 있다.

넷째, 예비 교사들은 직접 증거 또는 간접/유사 증거에 의해 가설을 평가하였다. 이때 경험적인 증거와 부합하지 않는 가설들은 배제되었으며, 증거에 의해 지지된 가설들은 더욱 그럴듯한 것으로 여겨져 최종적으로 운동장 흙의 형성 과정을 설명하는 데 사용되었다. 예를 들어, A조에서는 유색 광물이 거의 없다는 증거를 들어 운동장 흙이 밀도가 낮은 암석으로부터

만들어졌을 것이라는 자신들의 가설을 지지하는 모습을 보여 주었고, B조의 예비 교사들은 입자들이 거칠고 각이 진 모양이라는 이유로 운동장 흙이 해안가에서 기원하였다는 가설을 배제하였다.

이상과 같은 결과로부터 가설을 형성하는 귀추적 탐구 과정은 증거와 이론에 비추어 새로운 가설이 계속 등장하고 그것들이 지속적으로 다듬어져 가는 과정(emergent and evolving process)이라는 것을 다시 한 번 확인할 수 있다. 그럼에도 불구하고 이러한 과정들은 일방(一方)의 선형적인(linear) 절차가 아니라는 점에 주의해야 한다. 즉, 귀추적 탐구 중에 이론과 증거를 고려하는 과정은 순환적으로 반복됨으로써 가설의 정교화에 기여한다고 할 수 있다. 그런데, 본 연구에 참여한 예비 교사들의 가설 정교화 과정 중에는 잘못된 이론이나 그릇된 증거에 의해 유도되는 경우도 있었으며, 가설에 포함된 모든 내용을 이론이나 증거에 의해 타당화 하려고는 하지 않는, 다소 소극적인 태도가 발견되기도 하였다. 이러한 예비 초등 교사들의 가설 정교화 전략을 숙고해 봄으로써 과학 교육과 관련 연구에 다음과 같은 제언을 제시할 수 있다.

먼저, 학생들의 논변에 관한 연구에 따르면, 학생들이 다루어지는 주제에 관해 개념적으로 이해하고 있지 못한 경우에는 자신들의 주장을 정당화하기 위해 과학 지식을 적절하게 사용하지 못한다고 한다(Sampson & Clark, 2008). 따라서 학생들이 과학적으로 문제를 해결하고 설득력 있게 주장할 수 있게 하는 데에는 과학 이론을 정확히 가르치고 배우는 것이 도움이 되리라는 것을 시사 받을 수 있다. 즉, 학생들에게는 학교 교육을 통해 과학 교과의 주요한 내용 지식을 분명히 배울 수 있는 기회가 반드시 제공되어야 한다.

하지만 과학적 탐구에서는 내용 지식을 많이 아는 것만으로는 충분하지 않다. 본 연구를 통해서도 드러난 바와 같이, 과학적 설명은 적절한 증거를 통해 더욱 설득력 있는 것으로 발전할 수 있다. 하지만 Kuhn 등(Kuhn, 1993; Kuhn *et al.*, 1988)의 연구에 따르면, 학생들은 증거와 이론적 주장을 잘 구별하지 못하고 증거에 비추어 주장을 평가하는 태도가 부족하다고 한다. 이러한 경향은 증거를 설명하기 위해 가설을 형성하고 자신들의 설명을 여러 가지 증거에 비추어 평가하는 탐구 경험을 통해 개선될 여지가 있다고 생각한다. 특히 지구과학과 같은 역사 과학의 과제는 증

거에 기반한 추론이나 증거와 이론의 조화를 연습하기에 적절하다고 판단된다. 따라서 학생들이 과학적인 증거와 이론에 토대하여 주장하는 태도를 함양할 수 있도록 하기 위하여 지구과학의 후진적 또는 사후 추정적 추론 과제를 개발하여 활용하는 것을 고려해 볼 수 있다. 또, 문제 해결에 필요한 이론과 증거가 충분히 다루어지는 진정한(authentic) 형태의 탐구 경험은 정규 수업과 비교하여 상대적으로 오랜 시간이 필요하므로 새로운 교육과정에서 제안하고 있는 '자유 탐구'의 시간을 활용할 수 있을 것이다.

물론 학생들이 과학적으로 탐구하여 문제를 해결하도록 하기 위해서는 단순히 학생들을 문제 상황에 노출시키는 것만으로는 충분하지 않을 것이다. 선행 연구들은 학생들이 증거를 이용하여 추론하거나 이론을 평가하고 선택하는 데 증거를 활용할 수 있는 잠재적 능력을 갖추고 있음에도 불구하고 실제 문제 해결의 맥락에서는 그러한 능력을 충분히 발휘하지 못한다고 지적하고 있다(Berland & Reiser, 2009; Leach, 1999; Sandoval & Millwood, 2005). 따라서 학생들이 과학적 탐구 상황에서 이론과 증거를 이용하여 적절하게 추론할 수 있게 하기 위해서는 교사의 적절한 안내와 도움이 필수적이다(Crawford, 2000; Oh, 2010; Roth, 1996). 하지만 가설 형성이나 과학적 설명, 또는 논증 활동과 관련된 과학 교육 분야의 연구에서는 학생들이 보다 세련된 과학적 주장을 형성하도록 하기 위한 교사의 역할이나 탐구 활동의 조직 방법 등에 관한 연구가 아직 부족하거나 그것의 기초가 될 수 있는 이슈들에 대해 서로 다른 견해가 공존하는 것처럼 보인다(예: 학생들이 이론과 증거를 구별할 수 있거나 없다.). 따라서 보다 많은 참여자들을 대상으로 다양한 탐구 경험을 제공하고 그 속에서 형성되는 설명이나 논변의 특징을 분석하여 바람직한 교수법을 찾아가는 연구가 더욱 활발히 진행되어야 할 것으로 생각한다.

본 연구는 교육대학교에서 공부하고 있는 예비 초등 교사들을 대상으로 하여 이루어졌다. 이 연구를 통해 대학생들의 잠재적인 탐구 능력을 다시금 확인할 수 있었고(오필석, 2008; Oh, *in press*), 탐구를 경험한 예비 교사들이 장차 교육 현장에서 어떻게 과학 탐구 수업을 지도하는가를 연구해 보고자 하는 동기를 마련할 수 있었다. 하지만 본 연구의 결과는 교사들이 초등학교 수준에서 과학 탐구 활동을 성공적으

로 지도하기 위해서는 앞서 언급한 것과 같은 적절한 과학 지식과 추론 능력을 갖추어야 함을 강하게 시사하고 있다. 이를 위해서는 예비 교사들을 위한 교육과정 또한 그들을 과학적 탐구 상황에 지속적으로 노출시키고 바로 그 문제 해결의 맥락에서 과학 지식과 추론 능력을 연습하게 하는 방식으로 구성할 필요가 있다. 예를 들어, 본 연구에서 활용한 운동장 흙 분석 활동을 다른 예비 교사들에게 적용할 때에는 교수자(instructor)가 적절한 개념적 질문과 반복적인 증거 제시 요구를 통해 이 연구에서 발견된 예비 교사들의 그릇된 추론과 소극적인 태도를 해소할 필요가 있다고 생각한다.

마지막으로, 본 연구의 결과를 더욱 타당하게 하고 관심 주제에 대한 보다 분명한 통찰을 얻기 위해서는 실제 과학자들이 가설을 창안하고 정교화 하는 과정을 연구해 볼 필요가 있다. 즉, 앞으로의 연구에서는 실제 과학자들의 연구 활동을 다양한 관점과 방법을 통해 탐색하여 과학적 탐구와 담화의 특징을 보다 자세히 분석하고 과학 교육을 위한 아이디어를 이끌어 낼 필요가 있다.

국문 요약

이 연구의 목적은 과학적인 문제를 해결하기 위하여 가설을 형성하는 상황에서 최초로 상정된 가설들이 어떤 정교화 과정을 거쳐 더욱 발전하게 되는지 탐색하는 것이었다. 이를 위하여 예비 초등 교사들이 조를 이루어 지구과학의 귀추적 탐구 과제를 해결하는 상황에서 자료를 수집하여 분석하였다. 그 결과, 예비 교사들의 가설 정교화 과정을 크게 '이론에 의해 유도되는 과정'과 '증거에 의해 유도되는 과정'으로 나누어 볼 수 있었다. 이론유도과정은 다시 '내적 정합성'과 '외적 정합성'을 추구하는 경우로 구분되었으며, 증거유도과정은 '직접 증거'에 의한 것과 '간접 증거' 또는 '유사 증거'에 의한 것으로 구분되었다. 또, 각각의 경우에 잘못된 이론이나 그릇된 증거에 의해 가설이 수정되어지는 사례도 발견되었다. 이러한 연구 결과가 과학 교육과 관련 연구에 시사하는 바를 논의하였다.

참고 문헌

권용주, 정진수, 강민정, 김영신(2003). 과학적 가

설 지식 생성 과정에 대한 바탕 이론. 한국과학교육학회지, 23(5), 458-469.

박종원(2000). 학생의 과학적 설명 가설의 생성 과정 분석: 과학적 가설의 정의와 특성을 중심으로. 한국과학교육학회지, 20(4), 667-679.

오필석(2008). 지구과학자와 대학생들의 가설 형성 과정 비교: 태풍의 이상 경로에 대한 사례를 중심으로. 한국과학교육학회지, 28(6), 649-663.

오필석, 김찬중(2005). 지구과학의 한 탐구 방법으로서 귀추법에 대한 이론적 고찰. 한국과학교육학회지, 25(5), 610-623.

Baker, V. R. (1996). Hypotheses and geomorphological reasoning. In B. L. Rhoads & C. E. Thorn (Ed.), *The scientific nature of geomorphology* (pp. 57-85). New York: Wiley.

Baker, V. R. (2000). *Conversing with the earth: The geological approach to understanding*. In R. Frodeman (Ed.), *Earth matters: The earth sciences, philosophy, and the claims of the community* (pp. 2-10). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Berland, L. K., & Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93, 26-55.

Blachowicz, J. (1989). Discovery and ampliative inference. *Philosophy of Science*, 56(3), 438-462.

Clement, J. J. (2008). Creative model construction in scientists and students: The role of imagery, analogy, and mental simulation. Dordrecht, The Netherlands: Springer.

Crawford, B. A. (2000). Enhancing the essence of inquiry: New roles for science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 916-937.

Darden, L. (1992). Strategies in anomaly resolution. In R. Giere (Ed.), *Cognitive models of science* (pp 251-273). Minneapolis, MN: University Minnesota Press.

Engelhardt, W. von, & Zimmermann, J. (1988). *Theory of earth science* (translated by

L. Fisher). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Frodeman, R. (1995). Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science. *GSA Bulletin*, 107(8), 960–968.

Giere, R. N., Bickle, J., & Mauldin, R. F. (2006). *Understanding scientific reasoning* (5th ed.). Belmont, CA: Thomson Wadsworth.

Haig, B. D. (2005). An abductive theory of scientific method. *Psychological Methods* 10(4), 371–388.

Hanson, N. R. (1958). *Patterns of discovery: An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Kim, C.-J. (2003). Preparing teachers for systems science methodology. In V. J. Mayer (Ed.), *Implementing global science literacy* (pp. 255–266). Columbus, OH: The Ohio State University.

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

Kordig, C. R. (1978). Discovery and justification. *Philosophy of Science*, 45, 110–117.

Kuhn, D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77, 319–337.

Kuhn, D., Amsel, E., & O’Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. San Diego, CA: Academic Press.

Laudan, L. (1981). *Science and hypothesis: Historical essays on scientific methodology*. Dordrecht, Holland: D. Reidel.

Leach, J. (1999). Students’ understanding of the co-ordination of theory and evidence in science. *International Journal of Science Education*, 21(8), 789–806.

Levin, H. L., & Smith, M. S. (2008). *Laboratory studies in earth history* (9th ed.). New York: McGraw-Hill

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

Nickles, T. (1980). *Scientific discovery: Cases studies*. Dordrecht, Holland: D. Reidel.

Oh, P. S. (2008). Adopting the abductive inquiry model (AIM) into undergraduate earth science laboratories. In I. V. Eriksson (Ed.), *Science education in the 21st century* (pp. 263–277). New York: Nova.

Oh, P. S. (2010). How can teachers help students formulate scientific hypotheses? Some strategies found in abductive inquiry activities of earth science. *International Journal of Science Education*, 32(4), 541–560.

Oh, P. S. (in press). Characteristics of abductive inquiry in earth science: An undergraduate case study. *Science Education*.

Roth, W.-M. (1996). Teacher questioning in an open-inquiry learning environment: Interactions of context, content, and student responses. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(7), 709–736.

Sampson, V., & Clark, D. B. (2008). Assessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and recommendations for future directions. *Science Education*, 92, 447–472.

Sandoval, W. A., & Millwood, K. A. (2005). The quality of students’ use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, 23(1), 23–55.

Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Thayer, H. S. (1953). *Newton’s philosophy of nature: Selections from his writing*. New York: Hafner Press.

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