

지구과학 문제 해결을 위한 귀추적 추론에서 결정적 증거와 결정적 자원 모델의 역할과 중요성

오필석*

경인교육대학교

The Roles and Importance of Critical Evidence (CE) and Critical Resource Models (CRMs) in Abductive Reasoning for Earth Scientific Problem Solving

Phil Seok Oh*

Gyeongin National University of Education

Abstract : The purpose of this study was to analyze undergraduate students' reasoning for solving a problem about a rock and investigate the roles and importance of critical evidence (CE) and critical resource models (CRMs) in abductive reasoning. Participants were 20 senior undergraduate students enrolled in a science major course in a university of education. They were asked to abductively infer geologic processes of sedimentary rocks having a lot of holes and represent them with models. Their reasoning were analyzed according to a scheme for modeling-based abductive reasoning. As a result, successful student reasoning was characterized by using a diversity of grains and lots of holes as CE, activating the sedimentary rock formation and weathering as CRMs, and combining the CRMs into a scientifically sound explanatory model (SSEM). By contrast, in the reasoning unsuccessful in proposing a SSEM, students activated the igneous rock (basalt) formation and deposition as resource models (RMs) based on the evidence of the holes in the rocks and diverse grains, respectively, and used the RMs to construct their own explanatory models (EMs). It was suggested that to construct SSEMs to solve earth scientific problems about rocks, students need to know what could be CE in a particular problem situation, take an integrative or systemic approach to a rock problem, use multiple RMs, and evaluate RMs or EMs in light of evidence.

keywords : earth science, abductive reasoning, modeling, critical evidence, critical resource model

I. 서론

우리나라의 과학 교육과정은 물리학(에너지), 화학(물질), 생명과학(생명), 지구과학(지구)이라는 과학의 4분야가 대체로 균형을 이루며 구성되어 있다 (MOE, 2015). 이것은 미국의 경우에도 마찬가지로,

1996년에 처음 과학 교육 기준이 발표된 이후 과학의 학문적인 영역은 물리학과 화학을 아우르는 물상과학, 생명과학, 그리고 지구 및 우주과학 등으로 구분되어 제시되고 있다(NGSS Lead States, 2013; NRC, 1996). 이렇게 지구과학이 과학 교육 과정의 한 분야로 자리매김할 수 있는 까닭 중의

*교신저자: 오필석 (philoh@ginue.ac.kr)

**2017년 10월 17일 접수, 2017년 12월 15일 수정원고 접수, 2017년 12월 20일 채택
<http://dx.doi.org/10.21796/jse.2017.41.3.426>

하나는 지구과학이 다른 과학 분야와 구별되는 독특한 본성을 지니고 있기 때문이라고 할 수 있다. 지구과학은 역사 과학이자 해석 과학으로서 실험 과학과는 다른 특성을 지니고 있다는 것이 이미 여러 학자들에 의해 강조되어져 왔다(Ault, 1998; Dodick, Argamon & Chase, 2009; Frodeman, 1995; Gray, 2014; Kleinhans, Buskes & de Regt, 2005; Oh, 2011). 이와 더불어, Frodeman(1995), Miall & Miall(2004), Raab & Frodeman(2002) 등은 지구과학의 방법론이 해석학적인 특징을 지닌다고 부연하였다. 해석학의 특징 중의 하나로는 어떤 대상을 인식하는 과정에 이미 그것에 대한 해석이 동반된다는 것을 들 수 있다. 예를 들어, 지질학자가 암석의 노두를 관찰할 때에는 자신이 가지고 있는 과학 지식이나 사고의 습관을 바탕으로 어떤 부분을 눈여겨보아야 하는지 결정하고, 암석의 특징에 관한 가설을 제안할 때에도 그러한 지식과 사고 습관에 의존한다(Frodeman, 1995; Raab & Frodeman, 2002). 특히 지질학자가 의존하는 지식이나 해석의 결과로 산출되는 가설은 단순히 명제적인 진술에 국한되지 않고, 모델과 같은 다양한 표상 형식을 띌 수 있다.

이러한 점을 고려할 때 최근 지구과학의 귀추적 사고 과정에서 모델의 역할을 도식화 한 것(Oh, 2016)은 주목해 볼 만하다. 이 도식(Figure 1)은 어떤 ‘증거(evidence)’를 문제 현상으로 인식한 추

론자가 ‘자원 모델(resource model, RM)’을 활용하여 ‘설명 모델(explanatory model, EM)’을 구성함으로써 본래의 증거를 설명하는 과정을 나타내고 있다. Figure 1의 도식은 관찰된 증거로부터 그 증거를 설명할 수 있는 가설이나 이론으로 직접 나아갈 수 있다는 과학적 방법에 대한 귀납주의적 견해와 대비된다(Chalmers, 1999). 귀납은 다수의 관찰 진술로부터 공통된 속성을 일반화하는 추론이기 때문에 관찰 진술에 포함되지 않은 이론적 내용이 결론으로 도출될 수 없다. 이에 반해 귀추는 증거를 설명하기 위하여 추론자에게 가용한 여러 가지 종류의 지식을 선택적으로 사용하기 때문에 경험적 내용을 넘어서는 이론적 존재자를 포함한 가설이나 모델을 제안하는 것이 가능하다(Oh & Kim, 2005). 물론 문제 상황에서 추론자가 이용할 수 있는 증거나 RM은 하나 이상이 있을 수 있다. 즉, 다양한 증거를 접한 추론자는 자신이 이미 알고 있는 지식 중에 각각의 증거와 부합한다고 여겨지는 RM을 머릿속에 활성화하여 떠올리거나 참고 문헌 등을 찾아 가용한 RM의 범위를 넓힐 수 있다. 그리고 이러한 여러 가지 RM의 내용을 문제 상황에 알맞은 방식으로 결합하거나 변형함으로써 새로운 EM을 구성하게 된다. 이러한 도식의 내용은 Clement(2008)의 연구에서 과학자가 여러 가지 비유 모델을 이용하여 문제를 해결한 과정과도 맥을 같이하고, 사람들이 문제 상황을 만나면 자신의 정신 모델이나 외적으로 표상된 모델을 이용하여 문

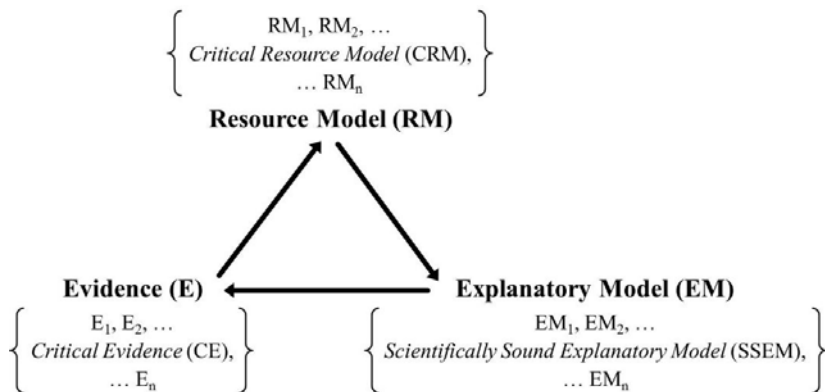


Figure 1. A scheme for modeling-based abductive reasoning (source: Oh, 2016)

제를 해결한다는 인지 과학의 보다 보편적인 주장과도 일치하는 것으로 타당성이 있다(Nersessian, 2008). 즉, 귀추적 추론자가 동원하는 정신 모델(mental model) 또는 외적 모델(external model)은 문제 현상을 설명하는 새로운 모델을 구성하는 자원으로서의 역할을 한다고 할 수 있다.

또, Figure 1의 도식은 왜 어떤 추론자는 증거를 성공적으로 설명하여 문제를 수월하게 해결하는 반면 다른 추론자는 그렇지 못한가를 알 수 있게 해 준다. 귀추적 추론자가 활용할 수 있는 자원의 후보 중에는 ‘과학적으로 타당한 설명 모델(scientifically sound explanatory model, SSEM)’을 구성하는 데 토대가 되는 모델, 즉 ‘결정적 자원 모델(critical resource model, CRM)’이 있으며, 이러한 CRM을 발견하게 하는 ‘결정적 증거(critical evidence, CE)’가 따로 있다. 따라서 성공적인 추론자는 CE를 토대로 CRM을 활성화하거나 찾아내고, CRM을 문제의 맥락에 맞게 변형함으로써 SSEM을 구성한다고 할 수 있다. 이와는 달리 SSEM에 이르지 못하는 추론자는 CE로부터 CRM을 찾아내지 못하였거나 CRM을 적절하게 활용하지 못하였다고 짐작할 수 있다(Oh, 2016).

결국 Figure 1의 도식에 따르면, 지구과학의 귀추적 추론에서 SSEM을 제안하여 문제를 성공적으로 해결하기 위해서는 CRM과 그것을 활성화하는 CE를 발견하는 것이 무엇보다 중요하다. 그렇다면 실제 문제 해결 상황에서 지구과학의 초보자들이 CE와 CRM을 적절하게 활용하여 최종적으로 SSEM에 이르도록 돕기 위해서는 어떻게 해야 할까? 본 연구는 귀추적 추론에서 모델의 역할을 제안한 선행 연구(Oh, 2016)의 후속 연구의 하나로, 특정한 구조가 발달한 암석이 겪은 지질학적 과정을 추론하는 대학생들의 사례를 분석함으로써 이러한 문제에 대해 보고자 한다.

암석은 지구과학 교과와 핵심적인 주제 중의 하나로, 그동안 이와 관련된 연구들이 많이 이루어져 왔다(Dove, 1996; Ford, 2005; Jeong, Lim & Lee, 1994; Kortz & Murray, 2009; Kusnick, 2002; Moon, Jeong & Chung, 2005; Park & Cho, 2014; Stofflett, 1993; Wee *et al.*, 2007).

그런데 이 중에는 암석에 관한 질문 목록을 가지고 학생들의 오개념이나 암석 동정(identification) 능력을 조사한 것이 대부분으로, 결과적으로 학생들이 암석에 관한 지구과학 문제를 어떻게 해결하는지 심층적으로 탐색하는 데에는 부족하였다. 다만 일부 연구가 암석 문제에 접근하는 학생들의 태도가 어떠한지 암시해 주고 있는데, 예를 들어 Kusnick(2002)에 따르면, 일반인들은 ‘암석(rock)’을 지질학자들이 흔히 ‘부서진 조각(clast)’이라고 부르는 ‘돌(stone)’로 여긴다고 한다. 즉, 암석이 지층과 같은 큰 규모에서 형성되는 것을 이해하지 못하고 처음부터 실험실에서 흔히 볼 수 있는 표본 정도의 크기로 만들어진다고 생각한다. 뿐만 아니라 학생들은 암석을 지질학적 과정의 일부로 여기지 않고 낱알의 사물로만 취급하려는 경향이 있다(Kortz & Murray, 2009). 개별 암석에 대한 사고에 관해서는 다수의 선행 연구가 많은 학생들이 현무암에는 반드시 구멍이 있다고 생각하고 있다는 사실을 공통적으로 지적하였다(Moon, Jeong & Chung, 2005; Park & Cho, 2014; Wee *et al.*, 2007). 또, 암석 이외의 지층이나 암석을 포함한 지질 구조에 대한 학생들의 추론의 특징을 조사한 연구에서는 이 같은 학생들의 배경 지식이 그들의 추론 결과에 영향을 미치는 중요한 요소 중의 하나라고 지적하기도 하였다(Moon, Lee & Kim, 2009; Seo, 2004).

본 연구에서는 선행 연구들이 가지고 있는 이러한 제한점과 시사점을 함께 고려하여 Figure 1의 도식을 바탕으로 특정 암석에 반영된 지질학적 과정에 대한 대학생들의 추론 과정을 분석해 보고자 한다. 구체적으로, 본 연구에서는 문제의 암석에 관한 SSEM을 구성한 사례와 그렇지 못한 사례의 특징을 비교해 봄으로써 지구과학의 귀추적 추론에서 CE와 CRM의 역할과 중요성을 경험적으로 확인하고, 학생들의 수월한 지구과학 문제 해결을 돕기 위한 교수법적인 전략을 이끌어 내게 될 것이다.

본 연구에서 답하고자 하는 세부적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 특정 암석에 관한 지구과학 문제 해결 과정에서 SSEM을 제안한 추론의 특징은 무엇인가?

둘째, 특정 암석에 관한 지구과학 문제 해결 과정에서 SSEM을 제안하지 못한 추론의 특징은 무엇인가?

셋째, 지구과학의 귀추적 추론 과제에서 학생들이 SSEM을 구성하게 하기 위한 교수법적인 전략은 무엇인가?

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

본 연구는 2017년 1학기에 한 교육대학교에서 과학 심화 전공의 4학년 학생들을 대상으로 본 연구자가 진행한 수업을 통해 이루어졌다. 이 수업에는 총 20명의 학생들(남=9, 여=11)이 참여하였으며, 이들은 모두 2학년 과정에서 2개 학기 동안 지구과학 전공 과목을 수강하였고, 3학년 과정에서 야외 실습 과목을 통해 본 연구자와 함께 지질 답사를 경험하였다. 이들이 수강한 4학년 과목은 그 동안의 수업을 통해 잘 다루지 못했던 초등 과학의 주요 개념과 실험실습 활동을 집중적으로 경험하게 하는 것을 목적으로 하였다. 특히 2017년 1학기에는 수업 과정의 일부로서 학생들이 특정 암석을 소재로 하여 귀추적 추론 과제를 수행하고 본 연구를 위한 자료를 제공하였다. 본 연구에서는 이 학생들을 A~T의 부호를 사용하여 나타내었다.



Figure 2. A rock for the earth scientific problem solving

본 연구에는 이들 학생 외에도 지질학 분야에 전문적인 역량을 갖춘 두 명의 현직 고등학교 교사가 참여하였다. 이들은 각각 김교사(가명)와 최교사(가명)로, 선행 연구(Oh, 2016)에도 참여하여 전문가로서 자문 역할을 하였다. 본 연구에서도 이 두 명의 교사가 암석에 관한 전문가적인 추론 과정을 보여주었으며, 그것을 학생들의 것과 비교하여 교수법적인 전략을 도출하는 데 도움을 주었다.

2. 자료 수집

지구과학의 귀추적 추론을 다루고자 하는 본 연구에서는 학생들에게 Figure 2와 같은 특징이 있는 20여개의 암석이 문제로 주어졌다. 이 암석들은 경기도 화성군 시화호 주변 한염 지역에서 수집된 것이다. 이 지역은 한반도 남부에 분포하는 백악기 퇴적 분지 중 하나에 속하는 곳으로, 역암, 사암, 이암과 같은 여러 가지 육성 기원의 쇄설성 퇴적암을 관찰할 수 있다(Kee, Kim & Lee, 2006). 본 연구에서 학생들에게 주어진 암석들 또한 역암 또는 사암으로, 크기, 모양, 색깔 등이 다양한 알갱이들로 이루어져 있다. 또, 이 암석들은 풍화 작용으로 인해 표면에 구멍이 많이 발달해 있는 것이 특징으로, 이렇게 풍화 작용을 받아 암석에 생긴 구멍을 종종 '타포니(tafoni)'라고 부른다(Kwon, 2006). 본 연구에 참여한 학생들에게는 이렇게 문제의 암석에 구멍이 발달하게 된 지질학적인 과정을 귀추적으로 추론하는 것이 과제로 주어졌다.

본 연구에서는 학생들이 귀추적으로 추론하는 동안 활용한 RM과 그 결과로 산출한 EM을 가시적으로 살펴보기 위하여 학생들 모두에게 스케치북을 제공하고 스케치북에 자신의 문제 해결 과정 및 결과를 기록한 보고서를 작성하도록 하였다. 이때는 먼저 암석을 처음 보았을 때 머릿속에 자연스럽게 떠오른 것을 글과 그림, 사진 등으로 나타내도록 하였다. 또, 문제를 해결하는 데 필요하다고 생각하는 지식과 정보를 자유롭게 찾아보도록 하고 그 때 마다 새로 발견되는 것과 새롭게 떠오른 것을 역시

글과 그림, 사진 등으로 표현하도록 하였다.¹⁾ 이와 더불어, 학생들에게 과제를 제공한 4주 후에는 수업 중에 중간발표 시간을 갖고 그동안의 과제 수행 결과를 공유하도록 하였다. 이 중간발표의 목적 중의 하나는 학생들이 동료의 사고 과정을 참고하여 자신의 추론을 수정하는 것을 허용함으로써 좀 더 실질적이고 폭 넓은 문제 해결 경험을 하도록 하기 위한 것이었다. 결과적으로 학생들은 한 번의 추론으로 문제를 해결한 것이 아니라, 참고 문헌을 찾아보거나 동료들과 토론하고 그들의 생각을 공유한 후에 새롭게 사고하면서 여러 번의 추론을 시도하였고, 이러한 과정을 모두 스케치북 보고서에 기록하였다. 본 연구에서는 이렇게 하여 학생들이 제출한 스케치북 보고서를 주된 자료원으로 활용하였다.

본 연구에서는 학생들의 보고서와 함께 동일한 암석에 관한 전문가의 추론 과정을 자료로 수집하였다. 이를 위하여 김교사와 최교사를 각각 면담하고, 문제의 암석이 Figure 2와 같은 구조를 갖게 된 까닭에 대하여 추론해 줄 것을 부탁하였다. 이때는 교사가 본 연구자와 자연스럽게 대화하면서 자신의 사고 과정을 말하도록 하였으며, 대화의 내용을 오디오 기기로 녹음하여 연구 자료로 활용하였다. 김교사와는 문제의 암석에 관하여 두 차례 면담하고 이 중 두 번째 면담을 녹음하였으며, 최교사와는 한 차례 면담하고 그것을 녹음하였다. 이 밖에 자료를 분석하고 논문을 작성하는 동안 추가로 자문이 필요한 경우에는 전화 또는 다른 모임에서 수시로 이야기를 나누어 필요한 내용을 수집하였다.

3. 자료 분석

본 연구에서 답하고자 하는 처음 두 가지 연구 문제는 SSEM을 제안한 경우와 그렇지 못한 경우 각각에 대하여 추론의 특징을 분석하는 것이었다. 이를 위하여 먼저 학생들의 보고서 내용을 토대로 SSEM이 제안된 경우를 ‘SSEM 그룹’, 그렇지 못한 경우를 ‘non-SSEM 그룹’으로 나누어 구별하였다. 그런데 앞서 언급한 바와 같이 본 연구에 참여한 학생들은 대부분 여러 번의 추론을 통해 문제를 해결하였으므로, 새로운 EM이 제안되는 것을 한 번의 추론으로 계수했을 때, 학생들이 추론한 총 횟수(44회)는 학생 수(20명)보다 많았다. 이에 따라 Table 1과 같이 각 그룹에서 학생 수와 추론 사례의 수를 서로 구분하고, 추론의 특징을 분석할 때에도 상황에 따라 이를 구별하였다.

SSEM 그룹과 non-SSEM 그룹의 추론의 특징을 분석할 때에는 모델링 중심의 귀추적 추론에 관한 도식(Figure 1)을 바탕으로 하였다. 즉, 각 추론 사례에서 학생들이 관찰한 증거는 무엇이고, 그들은 어떤 RM을 활용하였으며, 결과적으로 제안된 EM은 어떤 내용인지 분석하여 표의 형태로 정리하였다. 그리고 SSEM 그룹과 non-SSEM 그룹의 추론의 특징을 Figure 1의 도식을 이용하여 나타냄으로써 가시적인 비교가 가능하도록 하였다.

본 연구의 세 번째 연구 문제는 과학적으로 타당한 모델을 제공하는 추론의 특징을 분석하여 장차 효과적인 지구과학 탐구 수업을 위한 교수법적인 시사점을 도출하는 것이었다. 이를 위하여 먼저 김교사 및 최교사와의 면담 녹음 자료를 전사하고,

¹⁾ 귀추적 추론 과제에 대한 안내서를 통해 학생들에게 주어진 지시문은 다음과 같다: 여러분에게 주어질 암석은 모두 같은 지역에서 수집된 것들이다. 이 암석들이 어떻게 형성되었는지 다음과 같은 단계에 따라 추론하고, 자신의 추론 과정과 결과를 스케치북에 글과 그림, 사진 등으로 나타내어 보자. 1. 암석을 처음 보았을 때 머릿속에 자연스럽게 떠오른 것을 글과 그림, 사진 등으로 나타내어 보자. 또, 그에 따라 암석의 형성 과정을 추론한 것을 글과 그림, 사진 등으로 나타내어 보자. 2. 주어진 암석들을 여러 가지 방법으로 자세히 관찰하고 필요한 지식과 정보를 찾아보거나 친구들과 함께 토론하는 등 자신이 원하는 다양한 방법을 통해 암석의 형성 과정을 추론해 보자. 또, 자신의 추론 과정과 결과가 잘 드러나도록 머릿속에 새로운 것이 떠오를 때마다 그것을 글과 그림, 사진 등으로 나타내어 보자. 단, 암석을 관찰하고 형성 과정을 추론하는 중에 문제에 대한 직접적인 답을 제공하는 문헌이나 인터넷 자료는 찾지 않도록 한다.

그 내용을 녹음 자료와 함께 반복적으로 살펴보면 분석하였다. 이때는 학생들의 사례와 마찬가지로 지구과학의 전문가들은 어떤 증거에 주목하였고, 자신이 가지고 있는 CRM을 어떻게 활성화하였으며, 최종적으로 어떤 내용의 SSEM을 제시하였는지 분석하였다. 또, 암석 문제에 대한 이들의 접근 방법을 대학생들의 것과 비교함으로써 장차 각급 학교의 과학 수업에서 지구과학 문제 해결 활동을 돕기 위한 교수법적인 전략을 도출하였다. 이와 더불어, 학생들의 추론 중 SSEM 그룹에 속하는 사례들을 좀 더 자세히 분석하여 어떤 전략들을 사용하여 최종적으로 SSEM에 이르게 되었는지 찾아냄으로써 교수법적인 시사점을 추가적으로 이끌어 내었다.

마지막으로, 이상과 같이 분석한 결과를 학생들의 보고서 내용과 대조하여 검토함으로써 그 타당성을 확인하였다. 또, 두 명의 교사에게 참여자 검토를 받아 전문가적인 추론의 내용을 확정하였으며, 이 과정에서 지질학적인 용어 표현에 대해서도 조언을 받고 그 결과를 논문에 반영하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 과학적으로 타당한 설명 모델을 제안한 추론의 특징

학생들의 보고서를 종합해 보면, 암석이 Figure 2와 같은 모습을 갖게 된 지질학적 과정을 추론하는 문제는 두 가지 세부 과제로 다시 표현할 수 있다. 첫째는 주어진 암석이 어떤 종류의 암석인가 하는 것이고, 둘째는 그 암석에 어떻게 하여 구멍

이 많이 생기게 되었는가 하는 것이다. 학생들은 이 중에서 암석이 어떤 종류에 속하는 것인지를 먼저 해결할 문제로 생각하였는데, 이러한 경향은 SSEM과 non-SSEM 그룹 모두에 공통적인 것이었다. 하지만 이 두 그룹은 암석의 종류를 판단하기 위해 고려한 증거에서 차이가 있었고, 그것이 이후의 추론 과정에도 영향을 미쳤다. 먼저 SSEM 그룹의 추론을 살펴보면 다음과 같다.

1) 암석의 종류에 관한 추론

SSEM 그룹의 추론에서는 학생들이 문제의 암석이 크기와 모양, 색깔 등이 서로 다른 다양한 알갱이들로 이루어졌다는 사실에 주목하고, 이로부터 퇴적암을 머릿속에 떠올렸다고 하였다. 예를 들어, 학생L은 자신의 스케치북 보고서에 “어두운 암석을 딱 보았을 때 역암이 떠오른다. 실제로 역암을 인터넷 사이트에 검색했을 때 나오는 이미지들과 매우 비슷하다.”고 기록하였다. 또, 학생O는 “[문제의 암석이] 화성암이란 생각은 안 했다.”고 강조하면서, 문제의 암석을 이루고 있는 붉은 색 물질을 보고 떠오른 생각을 다음과 같이 적어 주었다.

붉은 모래를 보고 다양한 생각이 떠올랐다. 독일 여행에서 보았던 성을 만 들었던 암석이 떠올랐다. 당시 붉은 사암으로 지은 건물이라는 설명을 들었기 때문이다. 다음으로 붉은 사막이 떠올랐다. ... 결론적으로 이 암석은 쇠설성 퇴적암이다. 붉은 모래로 이루어진 사암에 자갈이 박혀 있는 형태의 퇴적암이다.

Table 1. Descriptive statistics for the two grouped students and reasoning cases

| 구분 | 학생 수(명) | 추론 사례 수(회) |
|-------------|---------|------------|
| SSEM 그룹 | 15 | 25 |
| non-SSEM 그룹 | 5 | 19 |
| 합 | 20 | 44 |

이 밖에도 문제의 암석을 보고 화성암과 퇴적암에 관한 생각을 모두 떠올렸지만 즉시로 퇴적암이라고 판단한 추론 사례도 있었다. 예를 들어, 학생 B는 “처음에는 단지 구멍이 있다는 사실만으로 현무암인 것으로 추론하였으나, 작은 알갱이나 작은 자갈들이 있는 것으로 보아 퇴적암일 확률이 높은 것으로 판단하였다.”고 하였고, 학생D와 학생E도 이와 유사한 추론 과정을 기록해 주었다. 즉, SSEM 그룹에 속하는 추론을 수행한 학생들은 공통적으로, 주어진 암석이 다양한 종류의 알갱이들로 이루어졌다는 증거로부터 모래나 자갈과 같은 쇄설성 물질로 이루어진 ‘퇴적암의 생성 과정’을 RM으로 선택하였다는 것을 알 수 있다.

2) 암석의 구멍에 관한 추론

위와 같이 문제의 암석이 퇴적암이라고 판단한 학생들은 그 다음에 해결해야 할 세부 과제로서 암석에 구멍이 많이 발달해 있다는 사실에 주목하고 그 까닭을 설명하기 위하여 귀추적으로 추론하였다. 이때 학생들은 암석의 구멍이라는 증거로부터 ‘풍화 작용’을 RM으로 활성화 하였다. 예를 들어, 학생M은 자신의 세 번째 추론에서 문제의 암석에 구멍을 만든 지질학적인 과정에 대해 집중적으로 고민하기 시작하였는데, 먼저 암석의 구멍을 자세히 관찰하여 다음과 같은 사실을 알아내었다.

암석의 구멍을 관찰해 보면 구멍의 크기와 깊이가 매우 다양하고 구멍 안에 또 다른 구멍들이 발견되기도 하며 구멍이 없는 암석이 존재하기도 한다. 즉, 구멍이 일정하게 생긴 것이 아니다.

그리고 학생M은 이러한 관찰 결과로부터 아래와 같이 ‘타포니’와 ‘메테오라(Meteora)’를 머릿속에 떠올렸다.

주어진 암석과 같이 ‘구멍’으로 유명한 지형을 생각해 보니 ... 마이산의 ‘타

포니’와 얼마 전 [TV]에서 보았던 그리스의 ‘메테오라’가 떠올랐다. 둘 다 암석의 구멍에 비해 스케일이 큰 것이긴 하지만 암석 역시 지층의 일부이기 때문에 함께 생각해 볼 수 있다고 판단하였다.

이후 학생M은 타포니와 메테오라가 모두 물이 있는 곳에서 외부적인 요인에 의해 구멍이 만들어졌다는 공통점이 있다는 것을 확인하고, 그것을 자신의 RM으로 활용하여 풍화 작용에 의해 문제의 암석에 구멍이 발달하였다는 것을 주된 내용으로 하는 모델을 제안하였다.

위와 같이 학생M이 자신이 이미 알고 있는 지식 중에서 일부를 RM으로 사용한 것과는 달리, 학생E는 참고 문헌에 포함된 외적 모델을 RM으로 활용하였다. 학생E는 먼저 자신의 첫 번째 추론에서 문제의 암석을 퇴적암이라고 판단한 후, 두 번째 시도에서 암석의 구멍에 대해 집중적으로 추론하였다. 이때 학생E는 스스로 “퇴적암이라면 왜 구멍이 있는 거지?”라는 질문을 던지고, “비슷한 지형을 찾아보자!”라며 참고 문헌을 통해 필요한 정보를 조사하였다. 학생E가 구멍의 생성 과정에 대한 답을 제공할 수 있는 RM의 후보들로 참고 문헌에서 찾아낸 것은 총 3가지로, “i) 지하수가 빠져나가 생긴 ... 싱크홀, ii) 조개류가 뚫어 놓은 돌구멍 ... iii) 타포니”이었다. 학생E는 이 중 타포니를 자신의 RM으로 결정하고, 최종적으로 문제 암석의 특징을 설명하기 위하여 “이 암석은 타포니가 있는 퇴적암(역암)일 것이다.”라는 내용의 모델을 제안하였다. 그런데 학생E가 여러 가지 RM의 후보 중에 타포니를 선택한 까닭은 아래에 인용한 것과 같이 문제의 암석과 전형적인 타포니 사이에 공통점이 있었기 때문이었다.

타포니란 ... 암석이 물리적, 화학적 풍화 작용을 받은 결과 암석의 표면에 형성된 요형 ... 특히 암석의 측면에 벌집처럼 집단적으로 파인 구멍들을 타포니라고 한다. 해안이나 화강암 산

지에서 흔히 나타나는데, 역암, 사암, 석회암에서도 형성된다. ⇒ 집단적으로 파인 구멍, 해안(∴ 바닷가에서 자주 볼 수 있는 돌맹이가 있기 때문), 역암에서도 형성 ⇒ 가능성이 있는 가설이다. (밑줄과 화살표 등의 기호는 학생E가 직접 표시한 것임.)

즉, 학생M과 학생E는 문제로 주어진 암석에 대한 관찰 증거로부터 그것을 설명할 수 있는 모델로 직접 나아간 것이 아니라, 자신들에게 가용한 RM들 중에 특정한 것을 선택하고 이를 문제 상황에 맞게 활용하는 귀추적 추론을 수행하였다고 할 수 있다.

3) SSEM 그룹의 설명 모델

이상과 같이 본 연구에서 SSEM 그룹의 추론 사례는 '퇴적암의 생성 과정'과 '풍화 작용'을 대표적인 RM으로 사용하여 그들을 대등하게 결합함으로써 문제의 암석이 퇴적암이 풍화된 것이라는 점을 핵심 내용으로 하는 SSEM을 제안한 것이 특징적이었다. 다음은 그 한 예로, 학생O의 SSEM을 기술한 것이다.

산간 계곡을 흐르던 빠른 속도의 강물이 주변을 침식하여 생긴 다양한 크기와 모양의 자갈들이 ... 붉은 모래와 함께 퇴적된 쇠설성 퇴적암이다. 퇴적암의 아랫부분에는 상대적으로 자갈이 많이 박힌 암석으로, 윗부분은 자갈이 거의 없고 붉은 모래로만 이루어진 암석으로 구성된 것이다. 이렇게 퇴적된 암석이 용기하여 지표면에 드러나게 된 후, 상대적으로 약하게 박혀 있던 자갈이 떨어지고, 그 구멍에 계속적으로 기계적 풍화 작용이 일어나면서 둥글고 다양한 크기의 구멍이 생긴 것이다.

위의 예에서 볼 수 있는 것처럼 학생들이 제시한 SSEM에는 퇴적암이 만들어지는 과정이나 풍화로 인해 구멍이 생기는 과정만 있는 것이 아니라, 각각의 용기 등 다른 RM의 내용들도 다수 포함되어 있었다. 즉, 선행 연구(Oh, 2016)에서 제안하는 것처럼, 학생들이 최종적으로 제안한 모델은 '퇴적암의 생성 과정'과 '풍화 작용'을 중심으로 하고 여기에 다양한 RM의 내용들이 보조적으로 결합하여 구성된다는 것을 알 수 있다. 또, 학생들의 SSEM에서 지시하는 구체적인 풍화의 기작은 추론 사례마다 매우 다양하였는데, 학생O와 같이 암석에 구멍을 만든 주된 기작으로 기계적 풍화 작용을 언급한 추론 사례가 3회, 화학적 풍화 작용을 언급한 경우가 6회, 생물의 작용을 포함한 여러 가지 기작을 동시에 언급한 경우가 10회 등이었다. 예를 들어, 다음은 학생D가 자신의 세 번째 추론에서 제안한 SSEM 중 구멍의 형성 과정을 다룬 부분의 내용이다.

자갈이 많은 붉은 토양이 있는 곳에 어떤 특정 물질 [또는] 성분 A가 같이 포함이 [돼] 있는데 이것이 모든 곳에 섞여 있는 것이 아니라 부분적으로 모여서 분포해 있었을 것이다. 아마도 화학적 풍화를 통해 선택적 풍화가 일어나며 A를 녹이거나 풍화시키고 그 자리에 여러 크기의 구멍이 생기게 되었을 것이다.

이렇게 학생들이 구성한 SSEM의 구체적인 내용이 다채로운 까닭은 동일한 RM을 활용하여 추론하는 경우에도 RM의 일반적인 원리들을 문제의 맥락에 그대로 적용하기 어렵기 때문이라고 할 수 있다 (Ault & Dodick, 2010; Ford, 2005; Oh, 2016). 즉, 퇴적암의 생성 과정이나 풍화 작용을 본 연구에서 주어진 암석에 적용하기 위해서는 RM의 탈맥락적인 내용들이 문제의 고유한 상황에 맞게 변형되어야 하고, 여기에 여러 가지 또 다른 RM의 내용들도 보조적으로 결합되어야 함을 알 수 있다.

결론적으로, 본 연구에서 문제의 암석이 다공성

구조를 갖게 된 지질학적인 과정을 타당하게 설명한 모델, 즉 SSEM을 제안한 것은 총 44번의 추론 사례 중 25번이었고, 학생 수로는 15명이었다 (Table 1 참조). 또, 이렇게 성공적으로 문제를 해결한 학생들은 공통적으로 문제의 암석이 다양한 종류의 알갱이로 이루어져 있으며 암석에 구멍이 많이 있다는 증거를 토대로 ‘퇴적암의 생성 과정’과 ‘풍화 작용’을 각각 활성화하였고, 이들을 RM으로 활용하여 최종적인 모델을 구성하였다. 따라서 이 경우에는 예의 두 증거가 CE의 역할을 하였으며, 두 RM이 CRM의 역할을 하여 학생들을 SSEM에 이르게 하였다고 할 수 있다. 이러한 추론의 특징을 모델링 중심의 귀추적 추론에 관한 도식을 이용하여 나타내면 Figure 3과 같다. 즉, 학생들은 Figure 3의 (a), (b)의 도식과 같은 추론을 순차적으로 수행하여 최종적인 모델에 이르렀다고 할 수 있다.

2. 과학적으로 타당한 설명 모델을 제안하지 못한 추론의 특징

1) 암석의 종류에 관한 추론

본 연구에서 SSEM을 제안한 추론의 경우와 마찬가지로, 그렇지 못한 추론을 한 경우에도 학생들은 먼저 문제 암석의 종류를 판단하려고 하였다. 그런데 이때 학생들은, SSEM 그룹의 사례와는 달리, 문제의 암석에 구멍이 있다는 사실로부터 화성암 또는 보다 구체적으로 현무암을 떠올렸다고 하였다. 예를 들어, 학생R은 자신의 보고서 첫 장에 치즈 사진을 붙여 놓고 “구멍이 송송 나 있는 모습

이 치즈 같다.”고 기록하고, 연이어 “구멍이 있으니 현무암이 아닐까?”라고 적어 놓았다. 즉, 구멍이 많은 암석의 모습이 학생R에게 치즈와 현무암에 대한 생각을 활성화하게 하였다는 것을 알 수 있다. 또, 학생C와 학생I는 자신들의 첫 번째 추론에 관해 기록하면서 “[구멍]을 보자마자 현무암일 것이라는 추측이었다.”, “처음에는 이 암석을 현무암이라고 생각했다. ... 현무암에서 쉽게 볼 수 있는 암석의 구멍”이라고 적어 주었다.

즉, non-SSEM 그룹의 추론에서는 학생들이 구멍의 존재로부터 현무암이 생성되면서 기공(氣孔)이 만들어지는 과정을 대표적인 RM으로 활성화하였다는 것을 알 수 있다. 이러한 특징은 현무암에는 반드시 구멍이 있다고 생각하는 학생들이 많다는 선행 연구의 결과와도 상응하는 것이다(Moon, Jeong & Chung, 2005; Park & Cho, 2014; Wee *et al.*, 2007). 즉, 본 연구에 참여한 학생들에게는 암석의 구멍과 현무암의 생성 과정이 서로 강하게 연결되어 있어 다른 RM들이 활성화되거나 선택되는 것을 방해하였다고 짐작해 볼 수 있다. 특히 학생G는 암석의 구멍을 보고 서로 다른 생각을 활성화하기도 하였지만, 결국 아래와 같이 ‘현무암의 생성 과정’만을 자신의 RM으로 결정하였다.

구멍이 있다. 그런데 그 구멍이 현무암 구멍 같은 것도 있고, 무언가 다른 물체가 빠져 나간 듯이 보이는 구멍도 존재. ... 기체가 빠져 나온 구멍 이외엔 설명하기 힘들어 보이는 구멍들도 있다.



Figure 3. A schematic representation for the successful cases of modeling-based abductive reasoning about the rock

2) 다양한 알갱이들에 관한 추론

위와 같이 문제로 주어진 암석이 화성암 또는 현무암이라고 판단한 학생들은 다음으로 문제의 암석이 다양한 알갱이들로 이루어진 것을 보고 쇄설성 조각들의 '퇴적 작용'을 떠올렸다고 하였다. 그런데 이때 학생들이 말하는 쇄설물은 장차 속성 작용을 거쳐 퇴적암을 만드는 것이 아니라, 퇴적 작용으로 인해 기존의 암석에 추가되는 '이물질'이었다. 예를 들어, 앞서 서로 다른 RM의 후보들 중에 현무암의 생성 과정을 자신의 RM으로 선택하였던 학생G는 암석을 이루는 다양한 종류의 알갱이들에 관해서는 "자잘한 다른 암석 ... 암석에 박힌 조각들"이라고 표현하여 이들을 기존 암석에 추가된 다른 종류의 물질로 인식하였음을 드러내었다.

이와 비슷하게 학생T는 문제의 암석을 관찰한 자신의 생각을 아래와 같이 적어 주었다.

암석의 상단부에 기공 존재 혹은 다른 물질로 채워진 [모습] ... 암석의 하단부는 다른 암석들이 포획 혹은 채워진 상태

즉, 학생T 또한 문제의 암석을 처음 생성한 것과는 다른 지질학적인 과정에 의해 다양한 종류의 쇄설물이 암석에 추가로 퇴적되는 과정을 자신의 RM으로 떠올렸음을 알 수 있다.

3) non-SSEM 그룹의 설명 모델

이상과 같이 non-SSEM 그룹의 추론에서는 '화성암(현무암)의 생성 과정'과 '퇴적 작용'이 대표적인 RM으로 서로 결합되고, 다른 RM들이 보조적인 역할을 하여 최종적인 EM이 구성되었다. 예컨대, 학생N은 문제의 암석을 처음 보았을 때 자신의 머릿속에 떠오른 지질학적인 과정을 "뜨겁다, 뚫렸다, 박혔다"라고 표현하고, 이들을 RM으로 활용하여 "화산이 있는 뜨거운 곳에서 열기에 의해 [암석에 구멍이] 뚫리고 다른 암석이 박혔을 것이다."는 내용의 EM을 제안하였다. 또, 처음에 인용한 학생R의 경우에는 자신의 스케치북 보고서에 아래와 같은 지질학적 과정을 그림과 함께 정리해 주었다.

- ① 산등성이에서 소규모 화산 폭발 →
- ② 잠시 동안의 휴지기, 흘러나온 용암이 살짝 식음. → ③ 대규모 화산폭발이 일어남. 화산재, 화산회, 화산력, 화산암괴가 분출[되고 이들이] 소규모 화산 폭발 때 분출된 용암 위로 쌓임. → ④ 용암이 화산 분출물이 쌓인 상태로 굳음. 기체가 빠져 나가면서 구멍 생성

이밖에도 non-SSEM 그룹에 속하는 12번의 추론 사례에서 학생들은 학생R의 것과 유사한 EM을 제안하였다. 또, 이와는 조금 다르게 5번의 추론 사례에서는 이미 쌓여 있는 퇴적물에 마그마가 유입됨으로써 화성암에 쇄설성 조각들이 추가되었다는 내용의 EM이 제안되기도 하였다. 다음은 후자의 아이디어를 포함하고 있는 학생F의 첫 번째 EM의 내용이다.

1. 화산이 폭발한다. 2. 분출한 마그마가 바다 속으로 흘러 들어간다. 3. 마그마가 바다 속에서 식으면서 겔 상태가 되고, 바다 속 자갈 지대 위에서 식는다.

본 연구에 전문가로서 참여한 두 명의 교사에 의하면, 이상과 같은 non-SSEM 그룹의 EM의 내용은 실제로 발생하기 어려운 것이다. 즉, non-SSEM 그룹의 추론을 통해 최종적으로 제안된 모델은 말 그대로 과학적으로 타당하지 않은 것이라 할 수 있으며, 이러한 모델이 제안된 것은 non-SSEM 그룹의 추론에서 학생들이 활용한 증거나 RM에 그 까닭이 있다고 할 수 있다. 이와 같은 non-SSEM 그룹의 추론의 특징을 도식적으로 정리하여 나타내면 Figure 4의 (a), (b)와 같다.

본 연구에서 Figure 4와 같이 추론한 사례는 모두 19번이었고, 학생 수로는 5명이었다(Table 1 참조). 즉, 총 20명의 학생들 중에서 5명은 여러 차례의 추론 시도에서 한 번도 SSEM을 제안하지 못하였다. 그 중 조금 특이한 사례로는 학생P의 경우

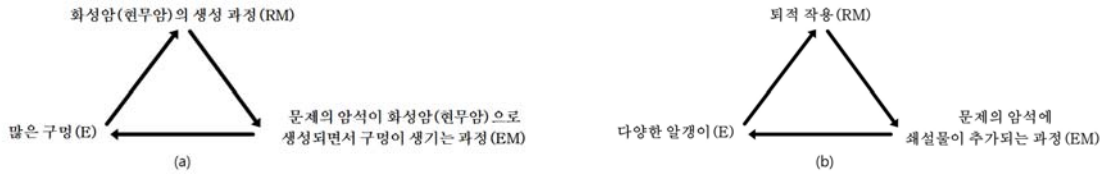


Figure 4. A schematic representation for the deficient cases of modeling-based abductive reasoning about the rock

를 예로 들 수 있다. 학생P는 문제로 주어진 암석이 퇴적암과 화성암이 붙어서 된 것이라고 주장하고, 각각의 암석에 구멍이 생긴 까닭도 다르다고 설명하였다. 즉, 퇴적암에서는 풍화 작용에 의해 자갈이 떨어져 나가서 구멍이 만들어졌으며, 화성암에서는 기체가 빠져 나가서 구멍이 생겼다는 것이다. 이러한 학생P의 추론 사례에서는 ‘퇴적암의 생성 과정’, ‘화성암의 생성 과정’, ‘풍화 작용’이 모두 주요한 RM으로 활용되었다고 할 수 있다. 하지만 이 경우 역시 암석의 구멍을 보고 화성암에 관한 내용을 활성화하여 그것을 RM으로 사용하였다는 점에서 과학적으로 타당하게 추론하였다고는 보기 어려웠다.

결론적으로, 본 연구에서 SSEM 그룹과 non-SSEM 그룹의 추론의 특징을 비교해 보면, 과학적으로 타당한 모델을 구성하기 위해서는 문제 상황에 알맞은 CE와 CRM을 활용하는 것이 중요하다는 것을 확인할 수 있다. 그런데 두 그룹의 추론에서는 동일한 증거로부터 서로 다른 RM이 활성화되었다는 것에 주의해 볼 필요가 있다. 즉, 다양한 알갱이라는 증거로부터 SSEM 그룹에서는 퇴적암의 생성 과정을 떠올린 반면, non-SSEM 그룹에서는 단순히 쇄설물이 쌓이는 작용만을 생각하였다. 또, SSEM 그룹에서 암석의 구멍으로부터 풍화 작용을 생각해 내었던 것과는 달리, non-SSEM 그룹에서는 같은 증거에서 현무암의 생성 과정을 활성화해 내었다. 이러한 차이가 생긴 까닭을 설명하고 교수법적인 시사점을 이끌어 내기 위해서는 다음과 같이 전문가적인 추론 과정과 문제 해결에 성공한 추론 사례에 대해 좀 더 자세히 살펴 볼 필요가 있다.

3. 과학적으로 타당한 설명 모델에 이르기 위한 전략

1) 통합적 또는 시스템적 접근

본 연구에서 자문 역할을 한 김교사와 최교사에 따르면, 주어진 것과 같은 암석에 관한 문제를 해결하기 위해서는 먼저 암석의 종류가 무엇인지 알아야 한다. 즉, 암석이 어떤 성인에 의해 생성되었는지 판단하는 것이 우선적으로 해결해야 할 과제인 셈이다. 따라서 본 연구에 참여한 학생들이 어떤 그룹인지에 상관없이 암석의 종류를 먼저 판단하려고 하였다는 점에서는 모두 전문가적인 접근을 하였다고 볼 수 있다.

그런데 암석의 종류나 성인은 암석의 ‘조직(texture)’을 보고 판단해야 한다. 지질학에서 암석의 조직이란 구성 입자의 크기, 모양, 분포, 배열 상태 등 외형적인 특징을 통칭하는 말이다(Raymond, 2002). 특히 김교사는 암석의 조직이 “화성 조직인지, 쇄설 조직인지”에 따라 암석의 종류를 판단할 수 있다고 말한다.

김교사: 제일 중요한 거는 ... 깨끗한 면을 보고서 여기에 결정이 있는가, 쇄설물이 있는가 ... 이게 과연 화성 조직인지, 쇄설 조직인지 구분하는 거죠.

연구자: 화성 조직이면?

김교사: 화성 조직이고 구멍이 있으면, 일단 화산암일 가능성이 있는 거죠.

연구자: 여기처럼 쇄설물이 있고,

김교사: 여기 있는 구멍은 죽었다 깨어나도 만들어질 때 나온 건 아니니까 추후에 침식으로 만들어진 거겠죠.

즉, 암석이 광물의 결정들로 이루어진 화성 조직이면 화성암, 그 중에서도 특별히 결정이 매우 작은 경우에는 화산암일 가능성이 크고, 쇄설물로 이루어진 쇄설 조직이면 퇴적암일 가능성이 높다는 것이다. 또, 김교사는 이렇게 암석의 종류를 판단하고 나면 그 종류의 암석에 구멍이 생기는 까닭은 거의 결정적으로 정해진다고 말한다. 즉, 화산암의 구멍은 처음 암석이 생성될 당시에 기체가 빠져나가면서 생긴 것이고, 퇴적암의 구멍은 암석이 만들어진 후에 풍화 작용을 받아 생긴다는 것이다.

이와 같은 전문가적인 입장에서 보면, 구멍의 유무는 암석의 종류에 관한 RM을 활성화 하는 데에는 적절하지 않은 증거라고 할 수 있다. 이 점에서 non-SSEM 그룹의 추론에서 CRM을 찾아내지 못한 것은 학생들이 문제의 특성에 비추어 적합하지 않은 증거를 사용하였기 때문이라고도 할 수 있다. 따라서 특정한 문제의 맥락에서 무엇이 CRM을 활성화 시킬 수 있는 CE가 되는지 아는 것이 문제 해결을 위한 중요한 관건 중의 하나라는 점을 시사 받을 수 있다.

그런데 위에서 인용한 김교사와의 대화에서 좀 더 주의 깊게 살펴볼 것은, 문제 암석의 종류에 대한 추론과 그 암석에 구멍이 생긴 까닭에 대한 추론이 거의 동시에 이루어지고 있다는 점이다. 즉, 김교사는 문제의 암석이 쇄설물로 이루어진 퇴적암이라고 판단하는 것과 동시에 “여기 있는 구멍은 ... 추후에 침식으로 만들어진 거”라고 말하고 있다. 또한 위 대화 이전에도 김교사는 “퇴적암에 이게[구멍이] 생길 방법은 침식 밖에 없[다.]”라고 하였고, 최교사는 역시 “이건[암석의 구멍은] 딱 봐서 역들이 빠져 나간 흔적”이라고 선언하듯이 말하여 문제의 암석에 구멍이 발달한 과정을 어렵지 않게 추론하는 모습을 보여 주었다.

그렇다면 김교사와 최교사가 문제의 암석에 구멍이 생긴 과정에 대하여 쉽게 판단할 수 있었던 까닭은 무엇일까? 이에 대하여 최교사는 “먼저 [암석의] 조직을 봐야 되죠.”라고 여러 차례 강조하면서, 구멍과 같은 특징적인 구조를 암석의 조직과 관련지어 생각해 볼 것을 조언하였다. 그리고 그러한 사고의 예가 될 수 있는, 문제 암석에 대한 자신의 추론을 다음과 같이 이야기하였다.

최교사: 그러니까 이게 ... 굉장히 풍화, 침식이 많이 이루어진 표품인데, 어 당연히 이렇게 구멍이 생겼다고 하는 건 ... 우선은 역이 빠져 나가, 뭐 이런 걸로 봐서는 당연히 역이 빠져 나간 흔적들이죠, 뭐.

연구자: 이런 거라니 어떤 거요?

최교사: 지금 이런 역, 역들이 박혀 있잖아요, 이렇게.

연구자: 예, 예.

최교사: 이런 걸로 봐서 이거는 다 역이 빠져 나간 거죠, 뭐. 그러니까, 마치 타포니 같은 거예요.

이뿐만 아니라, 연구자와의 대화에서 김교사가 보여준 추론 또한 최교사의 접근 방법과 매우 유사하였다.

연구자: 역이 빠져 나갔다는 생각을 어떻게 해요? ...

김교사: 자갈들이 많이 분포하는데, 구멍에는 자갈이 하나도 없어요. 그러니까 그건 구멍에 ... 자갈들이 있어야 되는데 [없고], 구멍 옆에는 자갈들이 또 있어요.

연구자: 그러니까 ... 이 구멍을 보고, 이 자갈이랑 어떻게 연결해서 생각을 하느냐 이거지.

김교사: ‘왜 이 자리에는 자갈이 없을까?’라고 생각을 하면 되죠.

즉, 두 교사의 설명에 따르면, 조직은 암석의 종류에 관한 RM을 활성화하는 데 사용될 뿐만 아니라, 구멍과 같은 암석의 다른 특징과 연계하여 또 다른 부류의 RM을 활성화하는 데에도 중요한 역할을 한다. 이렇게 암석의 전체적인 조직과 암석에 특징적으로 나타나는 구멍을 관련지어 생각하는 전문가적인 사고 방식을 ‘통합적(integrative)’ 또는 ‘시스템적(systemic)’ 접근이라고 부를 수 있을 것이다(Frodeman, 2003; Turner, 2000). 서론에서 언급한 바와 같이, 학생들을 비롯한 지구과학의 초보자들은 암석을 지질학적 과정의 일부로 여기기보다 낱알의 작은 사물로만 보려는 경향이 있다(Kortz & Murray, 2009; Kusnick, 2002). 이와는 달리 지질학자들은 암석을 보다 큰 규모에서 생각하고 다양한 지질학적 과정들이 통합된 하나의 시스템으로 파악하곤 한다(Frodeman, 2003; Kusnick, 2002; Turner, 2000). 그리고 이러한 사고의 습관은 구성 요소들 사이의 상호 관계를 통해 지질학적 대상을 이해하려는 태도에서 잘 드러난다. 예를 들어, 어떤 암석 노두(outcrop)의 특징을 이해하기 위해서는 그 노두를 이루는 각 층의 특징을 이해해야 하고, 각 층의 특징은 다시 전체 노두와의 관계 속에서만 제대로 이해될 수 있다(Frodeman, 1995; Raia, 2005).

이와 마찬가지로 본 연구에서 김교사와 최교사는 다양한 쇄설물 알갱이들로 이루어진 암석의 조직적 특성과 암석 표면에 부분부분 존재하는 구멍에 대해 별개로 추론한 것이 아니라 이 두 가지 측면을 서로 관련지어 사고하였다. 특히 이러한 통합적인 접근은 암석의 종류에 관한 CRM과 암석의 구멍에 관한 CRM을 거의 동시에 활성화시킴으로써 주어진 문제를 수월하게 해결할 수 있게 하였다. 물론 SSEM 그룹의 학생들도 이들 전문가와 유사한 추론을 하였지만, 그들의 추론에서는 암석의 종류를 판단하는 과제와 구멍의 생성 원인을 판단하는 과제를 순차적으로 나누어 별도의 문제처럼 취급한 것이 특징적이었다. 즉, 대부분의 학생들은 문제의 암석이 퇴적암이라고 결정한 다음, 또 다른 추론 과정을 통해 암석에 구멍이 발달한 까닭에 대하여 사고하였다. 이러한 접근은 같은 문제를 해결하는 전문가들의 방법과 논리적인 순서에 있어서는 서로

일치하지만, 두 가지 세부 과제 사이의 관련성을 충분히 이해하고 있지 못하다는 점에서 초보적인 특징을 드러낸다고 할 수 있다. 실제로, 본 연구에 참여한 학생들 중 첫 번째 추론 과정에서부터 ‘문제의 암석은 퇴적암에 선택적 풍화 작용에 의해 구멍이 생긴 것’이라고 타당하게 추론한 학생B조차도 자신의 보고서에서 “구멍의 존재와 퇴적암의 생성[을] 종합적으로 [생각해야 했기 때문에] 생성 과정에 대한 추론이 힘들었다.”고 기록하고 있다. 다시 말해, 학생들의 것과 비교하였을 때, 김교사와 최교사가 보여준 전문가적인 추론은 Figure 3에 제시한 두 가지 도식이 이미 하나로 통합되어 발생한 것이라고도 볼 수 있다.

이러한 차이점에도 불구하고 몇몇 학생들의 추론 사례에서는 문제의 구멍을 암석의 조직에 나타난 다른 증거와 관련지어 봄으로써 암석의 특징을 통합적으로 이해하려는 시도의 단초를 발견할 수 있었다. 예를 들어, 학생I는 자신의 두 번째 추론을 위한 관찰 과정에서 “[암석에서] 우수수 모래가 떨어지고 박혀 있는 돌이 손톱으로 빠질 정도. 가장 자리의 작은 자갈들을 떼어내 보니 크기는 작지만 모양이 비슷한 구멍이 생김.”이라고 기록하고 있다. 이와 유사하게 학생K와 학생L도 본래 암석에 붙어 있다가 떨어져 나간 조각을 발견하곤 “이렇게 떨어질 정도면 ... 이렇게 쉽게 부서진다면 구멍도 돌들이 떨어져 나간 흔적일 수 있겠다.”(학생K), “돌이 떨어져 나간 부분과 암석에 있는 구멍의 모습이 매우 유사하다는 것을 확인할 수 있었다.”(학생L)고 하였다. 결과적으로 이 학생들은 ‘풍화 작용’을 CRM으로 사용하여 아래에 예시한 것과 같은 내용의 SSEM을 제안하였다.

1. 호수나 강에 퇴적물이 쌓이고 퇴적암이 만들어짐. ... 2. 지각변동이 일어나 퇴적암이 융기하고 아주 가파른 절벽이 생긴다. ... 3. 비, 바람 등의 외부적 요인으로 모래알갱이가 먼저 떨어져 나가고 큰 자갈이 떨어져 나감. 자갈이 떨어져 생긴 구멍에 물이 고여 얼었다 녹았다를 반복하며 구멍이 커짐. (학생I)

결론적으로, 지구과학의 초보자들이 SSEM을 구성하여 암석에 관한 문제를 성공적으로 해결하게 하기 위해서는 구체적인 문제 상황에서 무엇이 CE가 될 수 있는지 이해하는 것과 더불어, 증거들 사이의 관계를 통합적이고 시스템으로 파악하게 하여 문제 해결에 필요한 CRM을 보다 쉽게 활성화 할 수 있도록 해야 한다는 것을 알 수 있다. 특히 이러한 역량은 문제 상황에 따라 다르게 발현될 것이므로(Ford, 2005; Sung & Oh, in press; Tytler & Peterson, 2003), 학생들이 다양한 지구과학 문제를 해결하는 실제적인 활동을 통해 경험적으로 체득하게 할 필요가 있다.

2) 복수의 자원 모델 활용

앞서 기술한 것과 같이 문제 상황에 맞는 CE를 알아내고 증거들에 관하여 통합적으로 접근하는 데 익숙해지기 전까지는 학생들이 적합하지 않은 증거와 RM을 바탕으로 사고하는 것을 피하긴 어려울 것이다. 본 연구 상황을 예로 들더라도, 암석의 구멍을 보고 현무암의 생성 과정을 떠올리는 것은 학생들에게는 매우 자연스러운 일이라고 할 수 있다. 그렇다면 이와 같은 경우에는 학생들이 거의 자동적으로 활성화되는 하나의 RM에만 의존하지 않고 복수의 대안적인 RM을 활용하여 여러 가지 EM을 구상해 보도록 교수법적으로 안내할 수 있을 것이다. 실제로 본 연구에 참여한 학생들 중에는 문제의 암석이 화성암 또는 현무암이라고 생각하고 ‘화성암(현무암)의 생성 과정’을 RM으로 활용하여 EM까지 구성하였다가 그 다음 추론 과정에서 ‘퇴적암의 생성 과정’을 RM으로 활용하여 결과적으로 SSEM에까지 이른 학생이 9명 있었다. 예를 들어, 학생A는 자신의 두 번째 추론에서 문제의 암석에 대하여 다음과 같은 EM을 제안하였다.

- ① 화산에서 마그마가 분출되어 화성암 생성, ② 화성암이 있던 자리가 바다가 됨, ③ 화성암에 퇴적물 퇴적, ④ 퇴적물 사이에 조개가 들어감, ⑤ 조개화석이 됨 → 화석을 캐낸 자리가 빈 공간

하지만 학생A는 동료들과 함께 과제에 대한 중간발표를 마치고 난 후에 세 번째로 추론을 시도하면서 “돌에서 부스러기가 떨어진다는 점 [때문에] 화성암보다 퇴적암에 가깝다고 생각할 수 있다.”고 판단하고 ‘퇴적암의 생성 과정’을 새로운 RM으로 고려하기 시작하였다. 그리고 결국 ‘풍화 작용’을 자신의 또 다른 RM으로 선택하고, 두 가지 RM의 내용을 결합하여 아래의 같은 내용의 모델을 최종적으로 제안하였다.

- ① 퇴적작용에 의해 암석이 형성, ② 암석이 지표면에 노출 [또는] 땅속에 위치, ③ 산성비 [또는] 지하수에 의해 용식작용, ④ 석회암으로 구성된 부분이 화학작용을 받으며 구멍 생성

위와 같은 학생A의 추론 사례가 암시하고 있는 것처럼, 귀추적 추론자가 복수의 RM을 고려하게 되었을 때에는 더 많은 증거들을 찾아 문제 현상에 대한 보다 자세한 관찰을 유도한다는 장점이 있었다. 예를 들어, 학생B는 주어진 암석을 처음에는 퇴적암, 다음에는 화성암, 그리고 다시 퇴적암이라고 판단하면서 총 4차례에 걸쳐 추론하였는데, 이렇게 하는 동안 자신이 이미 알고 있는 지식이나 참고 문헌의 내용 중에서 다양한 RM의 후보들을 찾아 활용하였다. 그런데 학생B가 새로운 RM을 고려할 때에는 항상 문제 암석에 나타난 새로운 증거들에 주목하였다. 구체적으로 다음은 학생B의 4번째 추론의 예로, 이때는 먼저 이전에 자신이 추론한 것의 미흡한 점을 기술하고 새롭게 관찰한 암석의 특징을 정리하였다.

- 관찰하지 않았던 암석 중에는 현무암이라고 보기 힘든 붉은 갈색 빛이 도는 암석도 있었다. ... 현무암이라고 단정 지어서는 안 되는 특징이 있음에도 불구하고 성급하게 구멍의 존재만으로 현무암으로 방향을 잡았던 것이 가장 미흡했던 점이였다. 새롭게 관찰한 특징: 1. 모든 암석에 구멍이 존재

한다. 하지만 암석에서 구멍이 뚫린 면의 반대쪽 면은 모두 구멍이 뚫려 있지 않았다. 2. 암석의 구멍 속에는 또 다른 구멍들이 형성되어 있는 경우가 있다. 3. 몇몇 암석에 식물의 씨앗, 거미줄 등이 묻어 있다. ... 4. 암석들을 모두 관찰해 보니 ... 여러 다른 특징들을 고려해 보았을 때 [각각의 특징마다] 3가지 정도로 분류해 볼 수 있었다: [암석의 여러 가지 특징] 색의 어두운 정도, 입자의 크기, 큰 자갈이 박혀 있는 정도, 이루고 있는 알갱이의 크기가 고른 정도.

이 후에 학생E는 참고 문헌에서 퇴적암의 일반적인 형성 과정, 타포니의 정의와 특징, 조개의 서식 특성 등을 찾아 RM으로 활용하고, 이들의 핵심적인 내용이 모두 포함된 SSEM을 자신의 최종적인 모델로 제안하였다.

이와 같이 복수의 RM을 활용하는 동안 대상에 대한 보다 자세한 관찰이 이루어지면, 그렇게 하여 얻어진 더 많은 증거들은 EM을 더욱 정교화 하는 데에도 도움을 줄 수 있다. 예컨대, 학생E는 앞서 언급한 대로 자신의 두 번째 추론에서 3가지 대안적인 RM을 조사하고, 그 중에 타포니의 생성 과정을 선택하여 “이 암석은 타포니가 있는 퇴적암(역암)일 것이다.”라는 모델을 제안하였다. 그리고 마지막 세 번째 추론에서 자신의 모델이 문제 암석에 나타난 다른 증거들을 얼마나 잘 설명하는지 조사하는 과정을 거쳤다. 다음은 그 일부 내용을 학생E의 보고서에 기록된 형태 그대로 옮긴 것이다.

- ▶ 암석 표면 색깔이 다양하다. → 여러 광물이 섞여서 퇴적된 퇴적암이다.
- ▶ 모래 알갱이와 익숙한 돌맹이들 → 바다 또는 해안가 지형에서 퇴적된 것이다.
- ▶ 타포니라면 반짝이는 은색 알갱이는? → 퇴적물에 석영이 있었을 수도 있다.

- ▶ ... 이 암석은 물을 잘 흡수하였다. 겨울철 물의 동결과 융해를 반복해 자갈 성분의 암석이 잘 떨어져 나갔고 이로 인해 구멍이 생긴 것이다.

학생E는 스스로 위와 같은 과정을 “검증”이라고 불렀다. 하지만 보고서의 내용을 자세히 살펴보면 학생E가 수행한 것은 단순히 모델의 진위 여부를 ‘검증’한 것이 아니라, 문제의 암석에서 발견된 새로운 증거들에 따라 자신의 모델을 더욱 세련되게 다듬어 간 것이라는 사실을 잘 알 수 있다.

결론적으로, 교수법적인 측면에서 볼 때, 학생들이 복수의 대안적인 RM을 활용하게 하면 그 과정에서 더 많은 증거들을 관찰할 수 있고 EM의 내용도 더욱 풍부하고 정교하게 구성될 수 있다는 점을 시사 받을 수 있다. 특히 학생들이 고려하는 대안적인 RM들 중에는 CRM 또한 포함될 가능성이 있으므로, 결과적으로 SSEM을 구성하는 것도 보다 수월해 질 수 있을 것이다. 이와 더불어, 문제의 현상을 설명할 수 있는 다양한 모델을 구상해 보는 것은 ‘복수의 작업 가설들(multiple working hypotheses)’을 가지고 연구하는 지구과학자들의 실천 행위와 일관된 측면이 있으므로(Chamberlin, 1890), 복수의 RM을 활용하게 하는 교수법적인 전략은 학생들이 지구과학의 본성을 이해하는 데에도 도움이 된다고 할 수 있다.

3) 증거에 의한 제거

모델링 중심의 귀추적 추론에 관한 도식(Figures 1, 3 & 4)에 따르면, 문제 상황에서 증거는 RM을 활성화 하는 역할을 하고, RM으로부터 새롭게 제안되는 EM에 의해 설명되어지는 특징이 있다. 그런데 본 연구에 참여한 학생들의 추론 사례에서는 암석에 나타난 여러 가지 증거가 RM을 활성화하는 역할 뿐만 아니라 ‘제거’의 역할을 하였다는 사실을 알 수 있었다. 즉, 학생들은 문제의 암석에서 관찰된 증거를 바탕으로 RM 또는 EM의 후보들을 평가하고 그 중 적절하지 않다고 판단되는 것들을 제거하였다. 구체적으로, 본 연구에서 이러한 제거적인

사고 전략을 사용한 학생은 총 20명 중 18명이었으며, 이들 중 15명이 한 차례 이상의 추론에서 SSEM을 제안하여 문제를 성공적으로 해결하였다.

예를 들어, 학생D는 주어진 암석에서 “구멍이[구멍]가 가장 눈에 띄게 관찰[되므로]” 화성암을 떠올렸다가, “가스가 빠져 나갔다고 하기[에는] 너무 크다.”는 이유로 “아무래도 이 암석은 ... 화성암은 아닌 것 같다.”라고 다시 판단하게 되었다. 이와 비슷하게 학생C는 자신의 두 번째 추론에서 여러 가지 RM들을 동시에 생각해 본 후, 그 중 어느 것 하나를 성급히 선택하여 EM을 구성하지 않고 문제의 암석을 다시 관찰하면서 각각의 RM 후보에 대한 평가를 진행하였다. 다음은 학생C가 서로 다른 RM 후보들을 평가한 기록의 일부이다.

- 이암 - 문제의 암석은 흔히 아는 이암보다는 알갱이들이 구별할 수 있을 정도로 크다. 이암은 문제의 암석보다 표면이 상대적으로 매끄러우며 묻어나오는 알갱이가 현저히 굵다. 따라서 가능성이 희박하다.
- 석회암 - ... 회색 계열의 석회암과 적색 계열인 문제의 암석은 겉으로 보기에도 상이하다. 따라서 가능성이 희박하다.
- 접촉 변성암 - 열에 의한 접촉성 변성은 보이지 않는다. 관입의 흔적도 찾아 볼 수 없다.
- 광역 변성암 - ... 흔히 보이는 편리를 찾아 볼 수 없고 ... 알갱이들을 관찰했을 때 온도나 압력의 영향을 받은 흔적이 보이지 않는다.

또 다른 예로, 학생K는 처음부터 주어진 암석이 퇴적암이라고 확신하였지만, 동료들의 중간발표를 들으면서 문제 해결의 다른 가능성도 있다는 것을 알게 되었다. 이에 해결해야 할 문제의 목록을 작성한 후, 두 번째 추론에서 성인에 따른 퇴적암의

분류, 원마 작용, 분급 작용, 빙하의 작용, 사태, 풍화 작용 등에 관해 광범위하게 조사하여 자신이 활용할 수 있는 RM의 범위를 확장하였다. 하지만 이때에도 학생K는 모든 RM을 이용하여 EM을 구성하지 않고, 문제 암석에 나타난 증거와 일치하지 않는 후보들을 배제한 후 과학적으로 타당한 설명을 제공하기에 가장 유력하다고 판단되는 RM만을 선정하였다. 예컨대, “알갱이의 크기가 제멋대로인 것”과 “분급 작용이 많이 일어나지 [않은 것]”을 빙하의 작용과 연계해 보려 하였지만 “[빙하에 의해] 밀리면 굵히거나 원마 작용이 일어났을 텐데 우리의 암석엔 그런 흔적[이 없다].”는 이유로 빙하의 작용을 RM으로 활용하지 않기로 결정하였다. 결과적으로, 학생K는 문제의 암석이 사태와 같은 급격한 지질학적 과정에 의해 공급된 자갈들로 이루어진 각력암의 일종이며, 구멍은 풍화 작용으로 인해 자갈들이 빠져나온 흔적이라는 것을 주된 내용으로 하는 SSEM을 제안하였다.

그런데 학생들은 여러 가지 RM의 후보들뿐만 아니라 이미 한 차례 추론을 통해 제안된 EM에 대해서도 증거에 의한 평가와 제거를 수행하였다. 예를 들어, 학생M은 첫 번째 시도에서 문제의 암석이 “화산에서 생성[된] 화성암”이고 “구멍[은] 가스가 빠져 나간 듯”하다고 추론하였다가, 두 번째 추론을 시작할 때에는 아래와 같은 증거를 토대로 자신의 첫 번째 EM이 타당하지 않았다고 스스로 판단하였다.

BUT, 모양이 역암과 유사; 구멍을 보면 돌이 빠져나간 흔적처럼 보임; 박혀 있는 돌의 크기가 다양; ... 암석이 무르고 암석마다 입자 크기가 다양

또, 앞에서 인용한 학생K는 중간발표를 통해 공유한 동료들의 EM을 증거에 비추어 평가해 보고, 아래와 같이 동료들의 EM이 타당하지 않다고 판단한 후, 예의 자신의 추론을 이어나갔다.

중간발표 때 친구들이 말한 마그마에 돌들이 박힌 화성암일까? 그렇다면 암석 내부가 마그마가 굳은 것이어야. 하지만 쪼개진 암석들 어디에도 마그마의 흔적 X. 모든 표면이 모래나 자갈들임. 그리고 아무리 마그마가 식은 후 돌들이 날아와서 꽃혔다고 해도, 굳기 전이라면 마그마가 매우 뜨거웠을 텐데 각각의 알갱이 표면에 변성의 흔적 전혀 X. 작은 알갱이들의 표면은 오히려 거침.

이와 더불어, 학생N은 최종적으로 SSEM을 제안하지는 못했지만 문제 암석의 구멍은 식물의 뿌리에 의해서 생긴 것이라는 다른 학생의 EM에 대하여 “만약 뿌리가 실제로 자란 것이라면 구멍 내부는 뿌리가 났을 때처럼 일정한 구조를 가지고 있어야 한다. 그러나 실제 내부는 구멍 속에 또 구멍이 있는 경우도 있고 매우 복잡한 구조를 갖추고 있다.”는 증거를 들어 그것이 적절하지 않다고 평가하기도 하였다.

이상과 같이 문제의 암석에서 발견된 증거는 RM을 활성화하는 역할을 할 뿐만 아니라 과학적으로 타당하지 못한 EM이나 그러한 EM에 이르게 하는 RM을 평가하여 제거하는 역할을 한다는 것을 알 수 있다. 특히 암석의 알갱이나 구멍에 관한 증거가 CE로서 대안적인 모델을 제거하는 역할을 할 경우에는 결과적으로 SSEM이 제안될 가능성이 높아질 것이라는 점을 어렵지 않게 예상할 수 있다. 특히 이러한 과정은 앞서 복수의 대안적인 RM을 고려했을 때 좀 더 다양한 증거에 주목할 수 있다는 사실과 동전의 양면과 같은 것이라고 할 수 있다. 따라서 지구과학의 귀추적인 문제 해결 과정에서 학생들이 복수의 RM을 활용하는 것과 함께 증거에 의한 제거 전략을 사용함으로써 “관찰과 해석이 끊임없이 재평가”(Turner, 2000, p. 55)되도록 하는 교수법적인 안내와 도움이 필요하다는 것을 시사 받을 수 있다.

IV. 결론

지금까지 본 연구에서는 구멍이 많이 발달한 퇴적암에 관한 문제를 해결하는 대학생들의 사고 과정을 모델링 중심의 귀추적 추론에 관한 도식에 따라 분석하여 지구과학의 귀추적 추론에서 결정적 증거(CE)와 결정적 자원 모델(CRM)의 역할과 중요성을 살펴보았다. 그 결과, 문제를 성공적으로 해결한 학생들의 추론은 다양한 알갱이와 많은 구멍을 CE로 삼아 퇴적암의 생성 과정과 풍화 작용을 CRM으로 각각 활성화하고, 이들을 결합하여 문제 암석에 반영된 지질학적 과정을 옳게 제시한, 과학적으로 타당한 설명 모델(SSEM)을 구성하는 특징이 있었다. 반면 문제 암석에 관한 SSEM을 구성하지 못한 추론에서는 학생들이 많은 구멍이라는 증거로부터 화성암(현무암)의 생성 과정을, 다양한 알갱이라는 증거로부터 퇴적 작용을 자원 모델(RM)로 활성화하고, 이들로부터 자신들의 설명 모델(EM)을 제안하였다. 학생들이 SSEM을 구성하여 암석에 관한 문제를 해결하도록 돕기 위해서는 문제 상황에 맞는 CE가 무엇인지 알게 하고, 암석의 특징에 관하여 통합적 또는 시스템적으로 접근하게 하며, 복수의 RM을 활용하도록 하고, 증거에 비추어 RM이나 EM을 평가하게 하는 교수법적인 전략을 사용할 수 있음을 제안하였다. 이러한 연구 결과와 관련된 논의점과 제언점을 결론으로 제시하면 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서 문제 암석의 지질학적 과정에 대한 학생들의 추론 과정을 살펴보면, 선행 연구(Oh, 2016)에서 제안하는 것처럼, 다양한 증거로부터 여러 가지 RM들이 활성화되고 이들의 내용이 서로 결합하여 새로운 EM이 구성된다는 것을 알 수 있다. 그런데, non-SSEM 그룹의 추론 사례가 시사하는 바와 같이, 이러한 활성화와 결합의 과정만으로는 과학적으로 타당한 모델이 형성되는 것이 보장되지 않는다. 다시 말해, SSEM을 구성하여 문제를 수월하게 해결하는 역량은 단순히 RM을 활성화하고 그것들을 결합하는 능력에만 의존한다고 보기 어렵다. 오히려, 선행 연구에 따르면(Ford,

2005; Sung & Oh, in press; Tytler & Peterson, 2003), 이러한 종류의 탐구 역량은 구체적인 문제의 내용이나 맥락에 의존적이다. 예컨대, 본 연구 상황에서와 같이 특정한 암석의 종류를 판단하고자 할 때에는 암석의 조직이 중요한 증거가 된다는 것을 아는 지식이나, 암석의 조직적 특성을 암석에 나타난 다른 특징과 관련지어 생각해 보는 습관 등이 이러한 내용- 또는 맥락-의존적 역량의 바탕이 될 수 있을 것이다. 따라서 지질학을 비롯한 지구과학 분야에서 문제 해결 역량을 기르기 위해서는 일반적인 탐구 능력을 연습하는 것과 더불어 학생들을 내용특이적이고 맥락의존적인 탐구 활동에 더 많이 참여하게 하여 다양한 문제 상황에 필요한 자원들을 풍부하게 갖추게 할 필요가 있다.

둘째, 본 연구에서 얻은 Figure 3의 도식에 따르면, 성공적인 귀추적 추론에서는 문제 상황에 적합한 CE가 문제를 과학적으로 해결하는 데 필요한 CRM을 활성화하는 역할을 하고, 이 CRM이 다시 SSEM을 구성하는 데 핵심적인 역할을 하였다. 즉, 수월한 문제 해결을 위해서는 문제 상황에 알맞은 CE로부터 과학적으로 타당한 내용을 담고 있는 CRM을 활성화하고, 이를 이용하여 SSEM을 구성하는 것이 중요하다는 점을 확인할 수 있다. 그런데 본 연구에서 분석한 학생들의 추론 사례는 특정한 증거와 강하게 연결된 RM이 있다는 것을 암시해 주고 있다. 즉, 암석의 구멍을 보고 현무암을 거의 자동적으로 떠올린 학생들이 많았다는 사실은 구멍과 현무암의 생성 과정이 매우 강하게 연결되어 있다는 점을 잘 말해 준다. 또한 이러한 사실은 현무암에는 반드시 구멍이 있어야 한다고 생각하는 학생들이 많다는 선행 연구의 결과와도 일관된다고 할 수 있다(Moon, Jeong & Chung, 2005; Park & Cho, 2014; Wee *et al.*, 2007). 하지만 실제로는 구멍이 없는 현무암도 많이 존재하고, 심성암인 화강암에도 풍화 작용에 의해 구멍이 생길 수 있다. 따라서 학생들이 암석에 구멍이 만들어질 수 있는 여러 가지 사례를 경험하였다면, 구멍만으로 현무암의 생성 과정을 활성화하는 것을 어느 정도 제한할 수 있었을 것이고, 구멍의 구체적인 특징을 근거로 문제의 암석이 현무암이라는 생각을 비판적

으로 재검토하는 것 또한 가능했을 것이다. 지구과학 탐구 활동에서 학생들이 실제 자연 현상과 대상을 직접 살펴보도록 하는 것이 가장 좋은 전략이라는 것은 두말할 나위가 없다. 하지만 이와 더불어, 학생들이 소위 교과서적이고 전형적인 사례뿐만 아니라 실제 자연 세계에서 볼 수 있는 다양한 사례를 접하게 하여 지구과학적인 현상과 대상의 다채로움을 체험하게 하는 일이 필요하다는 것을 알 수 있다.

셋째, 본 연구의 결과는 지구과학의 초보자인 학생들이 과학적으로 타당하지 않은 추론을 하는 경우에도 지속적인 평가 과정을 통해 점차 세련된 설명에 이르게 할 수 있다는 점을 말해 주고 있다. 즉, 본 연구에서 학생들은 복수의 RM을 고려하는 동안 보다 많은 새로운 증거를 살펴보게 되었으며, CE가 대안적인 RM이나 EM을 평가하여 적절하지 않은 것들을 제거하는 역할을 할 때에는 결국 SSEM에 이르게 되는 경우가 많았다. 따라서 증거를 관찰하고 모델을 구성하는 활동이 많은 지구과학 탐구에서는 학생들이 더 많은 증거와 잘 정립된 과학 지식에 비추어 자신의 모델을 지속적으로 평가하고 개선하도록 안내할 필요가 있다. 또한, 연구의 결과를 기술하면서 종종 언급한 것처럼, 학생들은 중간발표를 통해 동료들과 서로의 사고 과정 및 결과를 공유한 다음에 자신의 추론을 달리 한 경우가 적지 않았다. 따라서 초·중·고등학교 현장에서도 학생들의 수월한 지구과학 문제 해결을 위해 동료 간 의사소통과 평가가 강조된 협동적인 탐구 활동을 적극적으로 시도할 필요가 있음을 시사 받을 수 있다.

참고 문헌

- Ault, C. R., Jr. (1998). Criteria of excellence for geological inquiry: The necessity of ambiguity. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 189-212.

- Ault, C. R. Jr., & Dodick, J. (2010). Tracking the footprints puzzle: The problematic persistence of science-as-process in teaching the nature and culture of science. *Science Education*, 94(6), 1092-1122.
- Chalmers, A. F. (1999). *What is this thing called science?* (3rd ed.). Indianapolis, IN: Hackett Publishing Company.
- Chamberlin, T. C. (1890). The method of multiple working hypotheses. *Science*, 15, 92-96.
- Clement, J. J. (2008). *Creative model construction in scientists and students: The role of imagery, analogy, and mental simulation*. Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Dodick, J., Argamon, S., & Chase, P. (2009). Understanding scientific methodology in the historical and experimental sciences via language analysis. *Science & Education*, 18, 985-1004.
- Dove, J. E. (1996). Student teacher identification of rock types. *Journal of Geoscience Education*, 44, 266-269.
- Ford, D. J. (2005). The challenges of observing geologically: Third graders' descriptions of rock and mineral properties. *Science Education*, 89, 276-295.
- Frodeman, R. (1995). Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science. *GSA Bulletin*, 107(8), 960-968.
- Frodeman, R. (2003). *Geo-logic: Breaking ground between philosophy and the earth sciences*. Albany, NY: State University of New York.
- Gray, R. (2014). The distinction between experimental and historical sciences as a framework for improving classroom inquiry. *Science Education*, 98(2), 327-341.
- Jeong, J.-W., Lim, C.-H., & Lee, Y.-B. (1994). Elementary school children's conceptions on rock. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 13(1), 1-17.
- Kee, W. S., Kim, B. C., & Lee, Y.-N. (2006). Sedimentary environments and structural evolution of the Cretaceous Namyang basin, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42(3), 329-351.
- Kleinhans, M. G., 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.
- Kortz, K. M., & Murray, D. P. (2009). Barriers to college students learning how rocks form. *Journal of Geoscience Education*, 57(4), 300-315.
- Kusnick, J. (2002). Growing pebbles and conceptual prisms: Understanding the source of student misconceptions about rock formation. *Journal of Geoscience Education*, 50(1), 31-39.
- Kwon, D. H. (2006). *Korean landform*. Paju: Hanulbooks.
- Miall, A. D., & Miall, C. E. (2004). Empiricism and model-building in stratigraphy: Around the hermeneutic circle in the pursuit of stratigraphic correlation. *Stratigraphy*, 1(1), 27-46.
- Moon, B. C., Jeong, J.-W., & Chung, C. H. (2005). The classifying ability of the igneous rocks with naked eyes for preservice science teachers. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 26(7), 630-639.
- Moon, B. C., Lee, G., & Kim, H. (2009). The characteristics of observing and inferring of elementary gifted students in inquiry activities of the strata. *Journal of Korean*

- Elementary Science Education*, 28(4), 476-486.
- National Research Council [NRC]. (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Nersessian, N. J. (2008). *Creating scientific concepts*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology.
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Oh, P. S. (2011). Characteristics of abductive inquiry in earth science: An undergraduate case study. *Science Education*, 95, 409-430.
- Oh, P. S. (2016). Roles of models in abductive reasoning: A schematization through theoretical and empirical studies. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 38(4), 551-561.
- Oh, P. S., & Kim, C.-J. (2005). A theoretical study on abduction as an inquiry method in earth science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 25(5), 610-623.
- Park, K.-J., & Cho, K.-S. (2014). The classification ability with naked eyes according to the understanding level about rocks of pre-service science teachers. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 35(6), 467-483.
- Raab, T., & Frodeman, R. (2002). What is it like to be a geologist? A phenomenology of geology and its epistemological implications. *Philosophy & Geography*, 5(1), 69-81.
- Raia, F. (2005). Students' understanding of complex dynamic systems. *Journal of Geoscience Education*, 53(3), 297-308.
- Raymond, L. A. (2002). *Petrology: The study of igneous, sedimentary and metamorphic rocks* (2nd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Seo, D. W. (2004). An analysis of observations and hypotheses of elementary school students on sedimentary rocks and geological structures in field courses. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 25(7), 586-594.
- Stofflett, R. T. (1993). Preservice elementary teachers' knowledge of rocks and their formation. *Journal of Geoscience Education*, 41, 226-230.
- Sung, J. Y., & Oh, P. S. (in press). Sixth grade students' content-specific competencies and challenges in learning the seasons through modeling. *Research in Science Education*.
- Ministry of Education [MOE]. (2015). *Science Curriculum*. Sejong, Korea: Author.
- Turner, C. (2000). Messages in stone: Field geology in the american west. In R. Frodeman (Ed.), *Earth matters: The earth sciences, philosophy, and the claims of community* (pp. 51-62). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
- Tytler, R., & Peterson, S. (2003). Tracing young children's scientific reasoning. *Research in Science Education*, 33(4), 433-465.
- Wee, S. M., Cho, H., Kim, J. S., & Kim, Y. J. (2007). Characteristics of high school students' conceptual understanding about minerals and rocks. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 28(4), 415-430.

국 문 요 약

본 연구의 목적은 암석에 관한 문제를 해결하는 대학생들의 사고 과정을 분석하여 지구과학의 귀추적 추론에서 결정적 증거(CE)와 결정적 자원 모델(CRM)의 역할과 중요성을 살펴보는 것이었다. 한 교육대학교에서 과학 심화 전공 과목을 수강하는 20명의 4학년 학생들이 연구에 참여하였다. 이들에게 많은 구멍이 발달한 퇴적암의 지질학적 과정을 귀추적으로 추론하여 모델로 나타내게 하고, 그 과정을 모델링 중심의 귀추적 추론에 관한 도식에 따라 분석하였다. 그 결과, 문제를 성공적으로 해결한 학생들의 추론은 다양한 알갱이와 많은 구멍을 CE로 삼아 퇴적암의 생성 과정과 풍화 작용을 CRM으로 각각 활성화하고 이들을 결합하여 과학적으로 타당한 설명 모델(SSEM)을 구성하는 특징이 있었다. 반면 문제 암석에 관하여 SSEM을 제안하지 못한 추론에서는 학생들이 많은 구멍이라는 증거로부터 화성암(현무암)의 생성 과정을, 다양한 알갱이라는 증거로부터 퇴적 작용을 자원 모델(RM)로 활성화하고, 이들로부터 자신들의 설명 모델(EM)을 구성하였다. 학생들이 SSEM을 구성하여 암석에 관한 지구과학 문제를 수월하게 해결하기 위해서는 문제 상황에 맞는 CE가 무엇인지 알고, 암석의 특징에 관하여 통합적 또는 시스템적으로 접근하며, 복수의 RM을 활용하고, 증거에 비추어 RM이나 EM을 평가할 필요가 있음을 제안하였다.

주제어: 지구과학, 귀추적 추론, 모델링, 결정적 증거, 결정적 자원 모델