

## 야외 지질 답사 교육에서 나타난 귀추적 탐구 수행 특성 변화

정찬미<sup>1</sup> · 신동희<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>이화여자대학교 자연사박물관, 03760, 서울특별시 서대문구 이화여대길 52

<sup>2</sup>이화여자대학교 과학교육과, 03760, 서울특별시 서대문구 이화여대길 52

### Changes of the Abductive Inquiry Performance in Outdoor Geological Fieldwork

Chanmi Jung<sup>1</sup> and Donghee Shin<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Natural History Museum, Ewha Womans University, Seoul 03760, Korea

<sup>2</sup>Department of Science Education, Ewha Womans University, Seoul 03760, Korea

**Abstract:** In order to provide explanations of the practice of the abductive inquiry-based outdoor geological fieldwork education, this study examined the characteristics of students' performance in geological fieldwork before and after the introduction of explicit learning of geologic knowledge and inquiry. To this end, a 21st-class program was developed in the order of pre-evaluation, initial fieldwork, explicit learning of geologic knowledge and inquiry, and post-evaluation and applied to nine middle school students. As research data, outdoor geological fieldwork class recording data and students' activity sheets were collected and analyzed qualitatively. As a result, during the initial fieldwork, students caught clues of low geological importance and used everyday experience and/or general scientific knowledge as a rule when asked to generate hypotheses about the origin of the clues. Also, students evaluated their hypotheses by the scientific accuracy of the rule or their own criterion. Meanwhile, during the final fieldwork, students frequently caught key clues in geologic perspectives and generated geological event hypotheses related to the clues by borrowing geologic knowledge as a rule. Furthermore, students scientifically evaluated their hypotheses based on the consistency of evidence and rules. Combining these results, the effects of learners' geological knowledge and inquiry (abduction) abilities as a path model were presented in order to help students carry out a proficient abductive inquiry in geological fieldwork.

**Keywords:** outdoor geological fieldwork education, abductive inquiry, explicit inquiry

**요약:** 본 연구는 귀추적 탐구 중심 야외 지질 답사 교육의 실제에 대한 설명을 제공하기 위해, 명시적 지질학 지식 및 탐구 학습 도입 전·후의 지질 답사에서 나타난 학생들의 귀추 수행 특징을 살펴보았다. 이를 위해 사전 평가, 초기 답사, 명시적 지질학 지식 및 탐구 학습, 후기 답사, 사후 평가 등의 순서로 진행되는 21차시의 프로그램을 개발하여 중학생 9명에게 적용했다. 연구 자료로서 야외 지질 답사 수업 녹화·녹음 자료 및 학생 활동지가 수집되어 질적으로 분석되었다. 연구 결과, 초기 답사에서 학생들은 지질학적 중요도가 낮은 단서를 포착했고, 해당 단서의 생성 원인에 대한 가설 생성을 요구받자 일상 경험 및 일반 과학 지식을 규칙으로 활용했으며, 생성된 가설을 규칙의 과학성이나 임의적 기준에 의해 평가했다. 한편, 후기 답사에서 학생들은 지질학적 핵심 단서를 포착했고, 자발적으로 해당 단서와 관련된 지질학적 사건 가설을 지질학 개념을 규칙으로 차용해 생성했으며, 생성된 가설을 관찰 증거와 규칙의 정합성을 바탕으로 과학적으로 평가했다. 이러한 결과를 종합하여, 지질 답사에서 능숙한 귀추 수행을 위해 학습자의 지질학 지식과 탐구(귀추) 역량이 미치는 영향을 경로로 제시했다.

**주요어:** 야외 지질 답사 교육, 귀추적 탐구, 명시적 탐구 학습

\*Corresponding author: donghee@ewha.ac.kr

Tel: +82-2-3277-2719

## 서 론

과학 교육에서 과학적 소양을 갖춘 시민을 양성하는 것을 강조함에 따라, 학생들을 탐구에 참여시킴으로써 과학의 개념과 과학 탐구 과정, 과학의 본성에 대해 이해하도록 하는 탐구 기반 접근이 강조되어 왔다(AAAS, 1993; NRC, 1996; 2000). 최근 국내의 과학과 교육과정에서는 꾸준히 탐구 중심의 학습을 강조해 왔으며, 지구과학 교과에서도 예외가 아니다. 2015 개정 과학과 교육과정에서는 지구과학 I·II 교과 목표로서 지구과학의 탐구 방법을 이해하고 이를 활용하여 실제로 일상생활에서 지구과학 관련 문제를 탐구할 수 있는 능력과 과학과 핵심 역량을 함양할 것을 제시하고 있다(MOE, 2015).

학생들이 지구과학의 탐구 방법을 이해하기 위해서는 탐구를 직접 경험할 필요가 있다. 그런데 지구과학의 탐구는 실험실에서 여러 변인을 통제하여 가설을 검증하는 ‘전형적인’ 학교 탐구의 형태로 이루어지기 어렵다. 그 이유는 지구과학의 탐구 대상인 지구과학적 현상이 거대한 시·공간 규모, 접근 불가능성, 통제 불가능성, 복잡성 등의 특징을 가지고 있으며(Kim, 2002), 탐구의 본질적 목표가 지구와 우주에서 발생하는 현상에 대한 역사학적(historical) 기술 및 인과적(causal) 설명을 생성하는 것이기 때문이다(Laudan, 1987). 이렇듯 실험과학의 방법론과 다른 지구과학 탐구를 학교에서 교수·학습하기 위해, 해당 학문 영역의 고유성과 차별화된 특징에 대한 과학 철학 및 과학 교육적 논의를 가장 활발하게 심화해 온 지질학 분야를 조명해볼 필요가 있다.

지질학은 역사 과학, 해석 과학, 현장 과학 등으로 특징지어지며(Rabb and Frodeman, 2002; Dodick and Orion, 2003; Gray and Kang, 2014), 지구가 현재의 모습을 가지기까지 발생한 사건을 순차적으로 밝혀내거나 지구에서 일어나는 현상의 원인을 밝히는 것을 목표로 한다(Laudan, 1987). 지질학자들은 야외에서의 직·간접적 관찰과 측정을 바탕으로, 지질학적 사건 및 원인을 추론하는 형태의 탐구를 진행한다(Engelhardt and Zimmermann, 1988; Ault, 1998). 지질학 탐구 과정은 제한된 관찰 증거로부터 지질

현상에 대한 최선의 인과적 설명 가설을 구성하고자 한다는 점에서, 과학적 추론 방법 중 하나인 귀추법(abduction)에 잘 부합한다(Oh and Kim, 2005; Maeng et al., 2007; Lee and Kwon, 2010). 귀추법은 관찰된 현상이 왜 일어나는지를 가장 잘 설명할 것으로 생각되는 개연성 있는 가설을 제안하는 추론 방법으로, 새롭고 창의적인 설명적 지식을 생성해낼 수 있다는 점에서 자료의 요약인 기술적 지식을 생성하는 귀납법이나 생성된 가설을 평가하는 가설-연역법과 구별된다(Hanson, 1958; Fann, 1970; Fischer, 2001). 귀추의 의미는 설명 가설을 생성하는 것 뿐 아니라 최선의 설명을 위한 추론(inference to the best explanation: IBE), 즉 생성된 가설의 설명력을 높이기 위한 정당화·정교화 과정을 포괄한다(Harman, 1965; Magnani, 2001).

야외 지질학(field geology) 맥락에서 귀추적 탐구 과정을 구체적으로 살펴보면, 먼저, 다양한 암석 구조, 암석 조직, 지질 구조 정보가 복합적으로 분포하고 있는 지질 노두(outcrop)에서 특정 지질 단서를 문제로 포착한다. 그 후 관찰된 지질학적 현상이 왜 일어나는지를 잘 설명할 것으로 생각되는 개연성 있는(plausible) 가설을 생성한다. 마지막으로, 가장 좋은 설명을 위한 추론(IBE)이 될 수 있도록 생성된 가설을 평가하고 정당화 및 정교화한다. 이렇듯 지질 단서의 포착(문제 발견), 지질 사건 가설의 생성, 지질 사건 가설의 평가(정교화, 정당화)로 일컬어지는 귀추적 탐구 과정은 지질학자가 명시적으로 인식하지 못하더라도 순환적·반복적으로 진행된다.<sup>1)</sup> 따라서 지질 답사 교육에서 야외 지질학 탐구가 실제적(authentic)으로 이루어진다면, 학습자는 자연스럽게 과학적 지식 생성 과정을 경험하고 귀추적 추론 능력을 향상시킬 가능성이 있다.

그런데 기존의 초·중·고생 대상 지질 답사 교육은 지질학적 현상과 과정에 대한 개념 이해를 보다 용이하게 하려는 목적이 주가 되는 경우가 많기 때문에, 학생이 주도하는 탐구 수행보다는 강사에 의한 해설이 주가 되는 야외 강의 형태로 진행되어 왔다(Munn et al., 1995; Jun et al., 2007). 최근 국내에서 확산하고 있는 국가지질공원에서 운영하는 일반 대중

1) 이 세 가지 과정은 귀추의 인식론적 의미에 대한 Magnani (2001)의 분류, Park (2001)이 제시한 과학적 설명 가설의 생성 과정 4단계, 과학 지식의 귀추적 생성 과정에 대한 Kwon et al. (2003)의 설명 체계 및 과학 탐구에서 문제 발견의 중요성 등 선행 이론에 바탕하여 지질 답사 상황에 적절한 방향으로 새롭게 구성한 것임. 자세한 내용은 Jung (2018)의 학위논문 38-43쪽 참고.

및 초·중·고생을 대상으로 한 지질명소 체험 프로그램 또한 지질 또는 지형학적 현상에 대한 안내 해설 위주로 이루어지고 있다(Kim and Lim, 2016). 이렇듯 지질 현장에서의 해설 위주 교육에서 학습자는 지질 대상을 직접 보고 그와 관련한 지질학 지식을 습득할 가능성이 있지만, 지질학의 탐구 과정을 경험하거나 지질학자와 같이 추론하는 방법을 익히기는 어렵다. 한편, 지질학 전공생 대상 지질 답사 교육은 학생들이 스스로 해당 지역의 지질을 조사 및 해석하여 지사를 구성하는 장기간의 프로젝트 형태로 진행되는 경우가 많아(Jung and Shin, 2017), 과학적 실천을 바탕으로 지질학 탐구에 대한 이해와 지질학적 추론을 발달시킬 것으로 기대되지만, 이와 관련한 실증적 연구를 찾아보기 어렵다.

국내의 선행 연구 중 야외 지질 답사 교육에서 귀추적 과정에 초점을 둔 경우는 Maeng et al. (2007)이 귀추적 탐구 모형(abductive inquiry model: AIM)을 적용한 야외 지질 답사 프로그램을 개발 및 적용하여 학생들의 귀추적 추론 사례 및 그 과정에 사용된 사고 전략을 분석하고 교사의 개입이 학생들의 귀추적 추론 과정에 미치는 영향을 보고한 것이 거의 유일하다. 그러나 후속 연구가 부족해, 그 교수·학습 과정에 대한 이해가 불충분하다. 특히 지질학 비전공자를 위한 지질 답사 교육은 주로 일회성으로 이루어져(Jung and Shin, 2017), 학습자가 야외 지질 답사 교육 프로그램을 통해 지질학 탐구 측면에서 어떠한 변화를 가져올 수 있는지에 대해 밝혀진 바가 거의 없다.

야외 지질 답사에서 귀추적 탐구와 같이 새롭게 도입될 필요성이 있는 특정한 형태의 학습이 교육 현장에 정착될 가능성을 높이기 위해서는 그것이 실제로 설계 및 실행된 자료를 근거로 해당 교수·학습 결과의 특성은 무엇이며, 그러한 결과에 이르는 과정이 어떻게 이루어지는지 체계적으로 분석·규명될 필요가 있다(Edelson, 2002; Cobb et al., 2003; Barab and Squire, 2004). 본 연구는 귀추적 탐구 중심 야외 지질 답사 교육의 실제에 대한 설명을 제공하기 위한 기초로서, 학생들의 야외 지질 답사를 통해 문제 발견부터 가설 생성 및 정교화·정당화에 해당하는 귀추적 탐구 수행 특징을 분석하고자 한다. 특히 실내에서 지질학 지식과 탐구를 명시적으로 교수·학습 하도록 하고, 그 전·후의 지질 답사에서 학생들이 나타내는 귀추적 탐구 수행 특징을 비교함으로써, 명시

적 지질학 탐구 학습의 도입이 학생들의 귀추 수행에 미치는 영향에 대해 탐색하고자 한다. 본 연구는 실제 교수·학습 상황에서 수집된 자료에 근거하여 귀추적 탐구 수행 특징에 대해 상세히 밝혀 교수·학습 설계 및 중재(intervention)를 위한 기초가 될 뿐 아니라 향후 귀추적 탐구 기반의 야외 지질 답사의 확산에 기여할 수 있을 것이다. 본 연구의 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 명시적 지질학 지식 및 탐구(귀추) 학습 전·후의 지질 답사에서 학생들의 귀추 수행 특징은 어떠한가?

둘째, 지질 답사에서 귀추 수행에 학습자의 지질학 지식과 탐구(귀추) 역량은 각각 어떻게 기여하는가?

## 연구 방법

### 1. 프로그램 개발

본 연구의 목적은 명시적 지질학 지식 및 탐구 학습 전·후의 학생들이 지질 답사 현장에서 스스로 귀추적 탐구를 어떻게 수행하는지 그 특징을 분석하는 것이다. 따라서 명시적 지질학 지식 및 탐구 학습을 위한 실내 수업 및 전·후의 지질 답사 수업을 포함하는 ‘지오투어를 떠나요’ 프로그램을 개발했다. 프로그램 개발은 지구과학교육을 전공한 연구자가 진행했으며, 지구과학교육 전문가의 검토 및 지질학 교수 2인, 중등 지구과학 교사 4인의 전문가 내용 검토를 거쳤다. 프로그램은 총 21차시(총 91시간)으로 구성되며, 개요는 Table 1과 같다.

#### 1) 명시적 지질학 지식 및 탐구 학습 설계

초기 답사와 후기 답사 사이의 교실 수업은 귀추에 활용할 수 있는 자원이 되는 지질학 지식을 체계적으로 학습하고, 다양한 지질학 탐구 요소를 구체적·명시적으로 훈련할 수 있도록 개발되었다. 지질학 지식 및 탐구 학습의 개요는 Table 2와 같다.

지질학 지식의 명시적 학습을 위한 교실 수업 설계 시, 현행 교육과정을 고려하여 학습자 수준에 맞는 내용으로 새롭게 구성하고, 교사의 강의뿐만 아니라 퀴즈, 만들기 등의 핸드온(hands-on) 활동, 관찰과 추리 등의 실내·외 탐구 활동, 발표와 토론 등 다양한 방법을 활용하는 데 중점을 두었다. 한편, 지질학 탐구 중 귀추적 추론의 명시적 학습을 위해서, 초기 답사 직후에는 본인이 수행한 야외 지질 답사 과정

**Table 1.** Program outline

Step	Day(hour)	location	Contents
Pre-evaluation	Day 1-2 (7 hours)	classroom	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction</li> <li>• Pre-test of geologic knowledge and inquiry ability</li> </ul>
Initial fieldwork	Day 3-4 (7.5 hours)	field	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fieldwork on Mt. Gwanaksan in Seoul</li> </ul>
Explicit learning of geologic knowledge and inquiry	Day 5-13 (35 hours)	classroom	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Learning activities on geologic concept (formation and classification of rocks, rock texture/rock structure/geological structure, rule of geography)</li> <li>• Learning activities on geological inquiry elements (observing, representing, abducting, spatial thinking, diachronic thinking)</li> </ul>
Final fieldwork	1st Day 14-15 (12 hours)	field	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fieldwork on Songdo Peninsula in Busan</li> </ul>
	Day 16 (5 hours)	classroom	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Review of first late fieldwork: Reconstruction of abduction</li> </ul>
2nd	Day 17-18 (11.5 hours)	field	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fieldwork on Byunsan Peninsula in North Jeolla Province</li> </ul>
Post-evaluation	Day 19-21 (13 hours)	classroom	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Group interview after the fieldwork</li> <li>• Post-test of geologic knowledge and inquiry ability</li> <li>• Retrospection of the learning</li> </ul>

**Table 2.** Overview of explicit learning of geologic knowledge and inquiry

Day	Division	Contents	Main activities
Day 4	Geologic inquiry (abduction)	Understanding the characteristics and process of abductive reasoning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• “Geologic Inquiry we experienced: forensic science vs. geological fieldwork” activity</li> <li>• “Mystery box: Let’s reason” game</li> </ul>
Day 5			<ul style="list-style-type: none"> <li>• “Rocks, classify as we want” activity</li> <li>• Understanding the characteristics of each type of rock (igneous, sedimentary, and metamorphic rock)</li> <li>• Detailed classification of rocks</li> </ul>
Day 6		Formation and classification of rock	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rock review quiz</li> <li>• Campus rock tour</li> </ul>
Day 7	Geologic knowledge		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observation of eight major types of crude and cardiac minerals and three types of cardiac rocks</li> <li>• Using charts to distinguish 17 types of rock</li> </ul>
Day 8		Rock textures & structures and geological structures	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Understanding various rock textures, rock structures, and geological structures</li> </ul>
Day 9			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creating rock structures and geological structures</li> </ul>
Day 10			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reading ‘Smith’s Story of the Strata’ and taking the geological time quiz</li> </ul>
Day 11		Law of geology and geological age	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Understanding the types of geological time, the laws of geology, the contrast of strata, how to measure the absolute age of rocks, the concept of Earth’s history and geological times</li> </ul>
Day 12			<ul style="list-style-type: none"> <li>• “Challenge, Paleontologist!”: Using general knowledge and experience as rules to create hypotheses [level 1]*</li> <li>• “Challenge, Geologist!” (1): Discovering geological clues and using geological knowledge to generate geological event hypothesis [level 2]*</li> </ul>
Day 13	Geologic inquiry (abduction)	Performing abductive reasoning tasks*	<ul style="list-style-type: none"> <li>• “Challenge, Geologist!” (2): To testify on the basis of observational evidence and rules (geology concept) [level 3]*</li> <li>• “Challenge, Geologist!” (3): To devise competing hypotheses and choose the best hypothesis based on rules (geology concepts) and observational evidence [level 4]*</li> </ul>

\*Abductive reasoning tasks consist of 4 types according to the level of difficulty.

을 과학 수사 과정과 비교하고, 간단한 활동을 통해 귀추의 특성을 이해하도록 구성했다. 그리고 지질학 지식을 학습한 후 실제 지질 답사와 유사한 문제 상

황에서 귀추적 추론을 구체적으로 연습하도록 하는 4개의 과제를 제공했다. 귀추적 추론 과제는 규칙으로 활용하는 지식의 종류에 따라 ‘도전! 고생물학자’,

**Table 3.** Learning procedure of the geological fieldwork

Phase	What teacher and/or students do	Learning initiative
Preparation for the fieldwork	Teacher provides explanations about the general and geologic features of the site and the route and schedule of the trip.	teacher-centered
1st field activities	Students observe the geologic field and discover clues for geologic event inference.	student-centered
1st summary activities	Students infer hypotheses that can explain the geologic origins and processes of clues found.	student-centered
2nd field activities	With the help of the teacher, students discover additional important geologic phenomena in the field and infer scientifically valid geologic events.	teacher-centered
Final summary activities	Students compose a geologic history by combining all the individual geologic events inferred so far.	student-centered

‘도전! 지질학자’로 구별되는데, ‘도전, 고생물학자!’는 일반 지식 및 경험 지식을 규칙으로 활용하여 공통 발자국 화석과 관련된 가설을 생성해보는 가장 쉬운 난이도의 과제였다. ‘도전 지질학자!’는 본 프로그램에서 학습했던 지질학 개념을 규칙으로 활용하여 주어진 지질 노두 사진을 보고 단서를 포착하여 해당 지질의 형성 과정에 대한 가설을 생성하는 것으로, 귀추적 추론 과정의 난이도에 따라 3가지로 구성되었다. ‘도전! 지질학자 (1)’은 지질 사건 가설을 생성하는 것 자체에 초점이 있었고, ‘도전! 지질학자 (2)’는 가설의 설명력을 높이기 위해 관찰 증거와 규칙(지질학 개념) 바탕으로 논증하는 과정에 초점이 있었으며, ‘도전! 지질학자 (3)’은 동일한 지질 구조에 대한 경쟁 가설을 생성하고 평가하여 최선의 가설을 선택하는 사회적 과정에 초점이 있었다.

귀추적 추론 과제는 귀추 교수·학습에 관한 선행 연구를 기초로 하여 새롭게 개발·적용된 것이다. 귀추적 수행의 연습을 위해 실제 지질 답사 맥락과 유사한 과제를 개발한 것은 학생들의 가설 생성 능력 증진을 위해 과학적 탐구 상황 및 문제 해결 맥락이 필요하다는 Oh (2008)의 시사점에 기반한다. 구체적 문항 개발 시에는 Kwon et al. (2003)이 제안한 가설 생성의 단계적 적용 전략(관찰하기, 의문 만들기, 의문 상황 분석하기, 유사 경험 생각하기, 가설 만들기 등)과 Jung and Song (2006)이 Peirce의 귀추법 양식에 따라 제안한 가설 생성과정에서 귀추법 사용을 유도하는 틀 등을 참고하여, 지질 답사 맥락에서의 귀추적 과정인 지질 단서 포착, 지질학적 가설 생성 및 평가를 수행할 수 있도록 새롭게 개발했다.

2) 귀추적 탐구 중심 야외 지질 답사 설계

본 연구에서는 문헌 조사, 현장 조사를 통해 답사

지역 및 관찰 지점을 선정하고, 답사 참여자 학습 수준 분석을 바탕으로 야외 지질 답사 학습 과정 설계와 활동지, 참고 자료, 교수 자료를 개발했다. 선정된 답사 지역은 관악산 약수사 계곡 일대(중생대 쥐라기 관입암), 부산 송도 반도 해안 산책로 일대(중생대 백악기 분지 퇴적층), 전북 변산반도 격포 해안 일대(중생대 백악기 분지 퇴적층) 등 세 곳이었으며, 개발된 야외 지질 답사 학습 절차는 Table 3와 같다. 답사 준비 단계는 답사 장소의 일반 특징과 지질 특징 및 답사 경로와 일정 등에 대해 교사가 설명을 제공하는 것이다. 이는 학생들의 ‘생소한 경험 공간(novelty space)’을 줄이기 위한 과정이다(Orion, 1989). 두 번의 현장 답사 활동과 두 번의 답사 정리 활동은 참여자의 귀추적 탐구를 촉진하기 위해 유기적으로 관련된다. 현장 답사 활동은 참여자가 지질학적 현장을 관찰하며 지질학적 사건 추론을 위한 단서를 발견하는 데 초점이 있다. 반면, 답사 정리 활동은 해당 단서의 지질학적 생성 원인과 과정을 설명할 수 있는 가설을 추론하는 데 강조점이 있다. 1차 답사 및 정리 단계에서는 참여자가 스스로 자율성을 최대한 발휘하여 귀추적 탐구를 수행한다. 2차 답사 및 정리 단계에서는 교수자가 개입해 학생들이 중요한 지질 현상에 대해 과학적으로 타당한 귀추적 추론에 도달하도록 돕는다. 이러한 반복적 과정을 통해 참여자는 야외 지질 답사 과정에서 귀추적 탐구를 경험할 수 있을 뿐 아니라, 해당 현장의 지질 현상과 형성 과정에 대한 풍부하고 심화된 이해를 형성할 수 있을 것으로 기대되었다. 마지막으로 최종 답사 정리 단계에서 이전까지 관찰을 바탕으로 추론한 지질학적 사건들을 모두 종합하여 지사를 구성한다. 한편, 본 연구에서 제안한 야외 지질 답사 학습 과정은 학습자의 수준 및 답사의 목적에 따라 탐구 개방 정도(학습자

**Table 4.** Characteristics of research participants (students)

Code	Grade	Gender	Attendance (%)	Fieldwork attendance*				Characteristics of achievements in geologic inquiry
				P1	P2	M1	M2	
2A	8th	Male	90	O	-	O	O	I got one step closer to my dream to be paleontologist.
2B	8th	Male	95	O	O	O	O	Geology is difficult, but now I understand what a 'normal fault' is.
2C	8th	Male	62	O	O	O	-	I lack geologic knowledge and inquiry skills, but I like to 'sweat' outdoors.
2D	8th	Male	95	O	O	O	O	I have a high score in geologic inquiry, but I'm a little weak in fieldwork.
2E	8th	Female	95	O	O	O	O	Based on enthusiastic participation, I improved my geologic inquiry score as well as my practice in the field.
2F	9th	Male	90	O	O	O	O	I am always confident and active without getting stuck. I can generate creative abductive reasoning by myself.
2G	9th	Male	67	O	O	O	-	I have not made much progress compared to high expectations.
2H	9th	Female	100	O	O	O	O	Slowly but patiently, I have made progress in terms of geologic concepts and inquiry.
2I	9th	Female	95	O	O	O	O	I'm working hard, but some of my wrong ideas degrade the accuracy of my abductive reasoning.

\*Field site (date): [P1/P2] Preliminary fieldwork to Mt. Gwanaksan in Seoul (Day 3/4), [M1] Main fieldwork to Songdo Peninsula in Busan (Day 14-15), [M2] Main fieldwork to Byunsan Peninsula in Jeolla Province (Day 17-18)

의 자율성)가 다양하게 수정 및 재구성되어 활용되었다.

## 2. 프로그램 적용

### 1) 연구 상황

‘지오투어를 떠나요’ 프로그램은 서울 소재 대학에 서 주관하는 중학생 대상 주말 과학 교실의 소그룹 멘토-멘티 프로그램 중 하나로 적용되었다. 소그룹 멘토-멘티 프로그램에서는 9개월 동안 5~10인의 멘티 학생들이 지구과학교육 전문가인 멘토 1인의 지속적인 교수·학습을 바탕으로 과학 관련 특정 주제에 대한 프로젝트를 수행했다.

### 2) 연구 참여자

본 연구의 학생 연구 참여자는 ‘지오투어를 떠나요’ 프로그램에 60% 이상의 출석률을 나타냈으며 연구 참여에 동의한 8~9학년 9명이다. 이들은 과학 활동을 위해 거의 매 주말 오전과 오후를 기꺼이 할애한다는 점에서 기본적으로 과학에 흥미가 있고 성실한 특성을 가지고 있었다. 이들의 학년, 성별, 출석률, 답사 출석 여부 및 지질학 탐구 관련 성취 특성은 Table 4와 같다.

한편, 본 프로그램의 교사는 연구자 중 1인으로, 프로그램 진행 당시 과학 교육 전공의 박사 수료생이었으며 지구과학 및 공통과학 교사 자격증 소유자다. 주말 과학 교실에서 3년의 교수 경험이 있고, 그

중 마지막 1년 동안 ‘지오투어를 떠나요’ 파일럿 프로그램을 운영했다. 다양한 교육 대상을 상대로 여러 지역에서의 야외 지질 답사에 학습자 또는 관찰자로 10여 차례 참여한 경험이 있었다.

## 3. 자료 수집 및 분석

### 1) 자료 수집

질적 연구의 질과 확증성(credibility)은 자료의 깊이와 폭에 좌우된다(Charmaz, 2006). 본 연구에서는 야외 지질 답사에서 지질 단서 포착 과정을 밝히기 위해 참여자들의 학습, 경험, 사고의 과정과 결과 등을 파악할 수 있는 문서 및 영상 기록을 다양하게 수집했다.

### (1) 야외 답사 수업 녹화·녹음 자료

‘지오투어를 떠나요’ 멘토-멘티 프로그램의 야외 지질 답사 수업을 녹화·녹음했다. 수업 영상 촬영 시 수업의 맥락과 함께 멘토 교사와 멘티 학생의 행동과 대화를 놓치지 않는 데 초점을 두었다. 특히 현장 답사 활동 시에는 개별 학생들이 자유롭게 공간 이동도 하기 때문에 녹화에 특별한 주의를 기울였다. 답사에 동행한 2인 이상의 보조 교사가 학생들을 자연스럽게 따라다니며 촬영했고, 일부 멘티 학생은 직접 녹음기를 소지했다. 녹화 자료는 모두 전사되었고, 녹음 자료는 녹화 기록에서 누락된 부분을 보완하는 방식으로 전사되었다.

(2) 야외 지질 답사 학생 활동지

야외 지질 답사 수업에서 학생들은 다양한 기록물을 생산했다. 대부분의 현장 답사 활동 시 학생들은 야장에 각자 관찰 결과를 스케치나 글로 묘사하거나 암석이나 구조를 판별(identification)한 결과를 기록했다. 또한 학생들은 모든 최종 답사 결과 정리 활동 시 해당 지역의 전체 지사를 재구성하여 나타낸 표현물(representation)을 개별적으로 산출했다. 연구자는 야외 지질 답사 수업에서 생산된 모든 기록물과 산출물을 스캔 혹은 복사하여 수집했다.

2) 자료 분석

본 연구에서는 강요된 분석틀을 부과하지 않고 자료 및 출현적 아이디어와 연구자 간 지속적인 상호작용을 강조하는 Charmaz (2006)의 2세대 근거이론 실천 지침을 따라, 질적 자료 분석 절차를 창의적으로 개발했다. 자료 분석의 첫 단계는 에피소드 추출 및 자료 재구성이었다. 먼저, 3차례의 지질 답사 수업 전사본 전체에서 학생들이 발견한 지질 단서 종류별로 각 지질 단서를 주제로 한 귀추 과정 내용을 추출하여 시간 순서대로 정렬하였다. 그리고 해당 주제에 대해 학생들이 관찰 및 추리한 내용이 담겨 있는 야장과 활동지 등의 기록을 첨부하였다. 이렇게 재구성된 에피소드 개수는 예비 답사에서 19개, 1차 본 답사에서 9개, 2차 본 답사에서 12개였다.

이후 에피소드별 자료 초기 코딩 및 귀추적 탐구 수행 흐름 분석에 비당한 에피소드 간 지속적 비교 분석(constant comparative analysis)을 통해(Glaser and Strauss, 1967; Charmaz, 2006) 초기 및 후기 야외 지질 답사에서 귀추적 탐구의 각 과정, 즉 지질 단서 포착, 지질 사건 가설의 생성, 지질 사건 가설의 평가에서 나타난 특징을 요약화했다. 그리고 인지심리학, 과학철학 및 과학교육학의 기존 이론과 본 연구의 결과를 통합해 야외 지질 답사에서 능숙한 귀추 수행을 위한 역량 요소와 경로를 도출했다.

본 연구는 구체적·경험적 현실에 기반한 자료에 근거하여(grounded) 개념들을 귀납적으로 발견하고 개념 사이의 관계성을 구축함으로써(Glaser and Strauss, 1967; Hallberg, 2006) 잘 알려지지 않은 특정 교육 현상에 대한 이해의 지평을 확장하고자 했다는 점에서 근거 이론 방법론에 기초했다고 볼 수 있다. 자료 분석 시 연구자 2인이 분석의 타당성과 적절성에 대해 수시로 비평하고 논의하는 과정을 통해 자료 해

석의 오류를 줄이고 신뢰도를 높이고자 했다(Kim, 2012). 특히 지질 답사에서 능숙한 귀추 수행을 위한 역량 요소 및 경로 도출의 타당성에 대하여 지질학 교수 1인, 중등 지구과학 교사 4인, 지구과학교육 박사 과정생 3인 등 전문가의 검토를 받았다.

## 결과 및 논의

### 1. 초기 답사에서 귀추적 탐구 수행 특징

‘시오투어를 떠나요’ 프로그램에서 초기 답사(장소: 관악산 계곡)는 명시적 지질학 지식 및 탐구 교수·학습 전인 3-4차시에 수행되었다. 이 답사에서 학생들은 전반적으로 지질 현장을 낯설어하거나 귀추적 탐구 수행에 어려움을 겪었다. 구체적인 귀추 수행 양상을 귀추 과정별로 살펴보면 다음과 같다.

#### 1) 지질 단서 포착

(1) 지질학적 중요도가 낮은 지질 단서를 자주 포착함

관악산 계곡에서 자유로운 탐색 시간이 주어졌을 때(1차 현장 답사 단계), 많은 학생들은 노두보다는 개별 암석 조각들에 대한 관찰 결과를 다양하게 기록했다. 예를 들면, 학생들은 “주변 돌과는 다르게 하얗고 투명한” 규암 조각(2F), 각진 육면체 모양의 전석인 “네모, 네모 돌”(2B), 회색 바탕에 어두운 색의 자갈들이 박혀 있는 콘크리트 조각(2A) 등을 유심히 관찰했다. 지질 대상을 탐색하라고 하자 학생들은 흙이나 독특하게 생긴 암석 조각에 쉽게 접근하고 흥미를 느끼는 경향이 있었다. 이는 일반적으로 비전문가가 암석(rock)을 지질학자들이 흔히 부서진 조각(clast)이라고 부르는 돌(stone)로 간주하는 것(Kusnick, 2002)과 마찬가지로 학생들이 노두보다 암석 조각을 익숙하게 여기기 때문으로 여겨진다. 그런데 해당 지역의 지사(地史)를 구성하기 위한 목적의 지질 답사에서는 노두 관찰이 우선될 필요가 있다. 전석이나 자갈은 해당 지역의 노두에서 기인한 것인지, 다른 곳에서 운반되어 온 것인지 알기 어려워 지사 구성에 혼란을 줄 수 있기 때문이다. 교사는 1차 현장 답사 시작 전에 노두와 전석의 의미를 설명하며 이 점에 대해 여러 번 주의를 주고 강조했지만, 그럼에도 불구하고 학생들은 노두와 분리된 암석 조각을 관찰 대상으로 선정하는 경향이 나타났다. 뿐만 아니라 학생들은 인공물인 시멘트나 콘크리트 조각과 자연적으로 생성된

암석 조각을 구별하는 것에서 어려움을 겪었다.

한편, 일부 학생들은 암석의 겉면에 나타나는 색이 다양한 것을 포착했고, 이를 자세히 관찰하다 겉면과 신선한 면의 색이 다르다는 것을 발견했다. 절벽을 이루는 암석이 “겉보기에는 거무튀튀~황토까지 다양한 색이 있지만 가까이서 붙어 있는 것을 떼면 흰색~연황으로 보이는”(2E) 이유는 암석 겉 부분이 산화되거나 이물질이 묻어 있기 때문이다. 대부분의 지질 노두는 풍화, 변색, 지의류의 분포 등으로 인해 신선하지 않은데, 이런 현상은 지질학자에게는 매우 익숙한 것이다. 전문가라면 신선하지 않은 노두의 겉면에 관심을 두지 않고, 지질 망치를 사용해 신선한 면을 만들어 내어 암석의 본래 조직을 관찰함으로써 암종 구별을 위한 단서를 얻고자 시도할 것이다. 그러나 학생들은 다양한 색이 나타나는 암석의 겉면과 신선한 암석 내부의 색이 다르다는 것 자체를 흥미로운 지질 단서로 포착해, 암석의 겉면과 내부의 색이 다르게 나타나는 원인에 대한 추리를 한 후에 진행했다. 즉, 학생들은 지질학자들이 대수롭지 않게 여기는 지질 단서를 포착해 귀추를 시작했다.

종합하면, 초기 답사에서 학생들은 자연 암석이 아닌 인공물, 노두가 아닌 전석, 신선한 암석의 조직이 아닌 신선하지 않은 암석의 겉면 등 지질학적 중요도가 낮은 대상을 지질 단서로 포착하는 경우가 많았다. 즉, 지질학 탐구 초보자가 포착한 의문 현상은 지사 구성이라는 지질학 탐구의 목적을 이루는데 적합하지 않은 경향이 있었다. 이는 관찰 대상이 지질학적 추론을 위한 단서로서 타당한지 판단하는 것은 초보자에게 쉬운 일이 아니며, 따라서 교사의 적절한 개입 및 명시적 학습의 필요성을 시사한다.

(2) 지질학적 중요도가 높은 지질 단서를 포착하지 못하거나, 일부 포착해도 추리로 연결하지 못함

관악산 계곡 노두를 이루고 있는 암석은 관악산을 이루는 관입암체인 화강암과 기반암인 편마암으로, 답사 지점에는 두 암석의 경계면이 노출되어 있다. 1차 현장 답사 단계에서 학생들은 계곡 노두 위쪽을 이루는 화강암과 계곡 노두 위쪽을 이루는 편마암 각각의 색과 특징적 무늬, 풍화·침식 양상 등을 포착한 경우가 있었다. 암석의 색과 관련해 학생들은 계곡 노두에서 아래쪽은 어두운 색을, 위쪽은 밝은 색을 띤다는 것을 지각했다. 구체적으로 학생들의 야장에는 “상류에 있는 돌은 밝고 하류는 어둡다.”(2C,

관악산 야장 3p.)거나, “위로 갈수록 돌이 하얘지고, 아래로 갈수록 어두워진다.”(2G, 관악산 야장 4p.), “밑으로 갈수록 돌의 색이 진해진다.”(2A, 관악산 야장 3p.) 등의 기록이 나타난다. 암석의 특징적 무늬 및 풍화·침식 양식과 관련해, 2A, 2E, 2F는 계곡 아랫부분을 이루는 편마암에서 균열이 많이 발달한 침식 양상과 “결”을, 2D, 2E, 2F는 계곡 윗부분을 이루는 화강암에서는 균열이 별로 없는 특징과 “점무늬” 혹은 “1~2mm 입자”가 있음을 관찰해 야장에 기록했다. 학생들이 관찰한 이러한 특징들은 노두의 암종(巖種)을 구별할 수 있도록 하는 중요한 단서가 될 수 있다. 암종의 판별(identification)은 지사의 핵심을 이루는 암석의 생성 과정을 추리하기 위해 필수적이다. 전문가라면 이러한 서로 다른 풍화·침식 양상과 암석의 조직(색, 줄무늬, 점무늬) 등을 관찰 증거로 활용하여 각각의 암종을 판별할 수 있었을 것이다. 그러나 지식과 경험이 부족한 학생들은 주요한 관찰 정보를 획득한 후에도 이것이 무엇을 의미하는지 알지 못했고, 지질을 해석하기 위한 주요 단서로 활용하지 못했다.

한편, 학생들은 화강암과 편마암의 암종을 판별하지 못했을 뿐만 아니라, 화강암체와 편마암체가 접촉하고 있는 두 암석의 경계부 또한 인식하지 못했다. 즉, 계곡 위의 암석과 아래 암석의 색과 풍화·침식 양상이 다르다는 중요한 관찰 결과를 수집했음에도 불구하고, 해당 상황에서 ‘왜(어떻게) 위의 암석과 아래 암석의 색과 풍화·침식 양상이 다를까?’라는 의문을 떠올리지 못했고, 위·아래가 서로 다른 종류의 암석임을 인식하는 데까지 나아가지 못했다. 전문가라면 화강암과 편마암의 경계부를 포착하고, 서로 다른 성인을 가진 두 암석이 서로 접촉하고 있는 현상을 탐구할 만한 가치가 있는 것으로 여겨 관입이라는 지질학적 사건에 대한 추리를 시작할 것이다. 그러나 초기 답사에서 그 어떤 학생도 노두를 구성하는 암석의 종류가 무엇인지, 또한 노두가 서로 다른 두 가지 암석으로 구성되어 있음을 알아채지 못했다.

종합하면, 초기 답사에서 학생들은 암종을 지시하는 중요한 관찰 정보를 스스로 획득했으나, 이로부터 암석의 생성 과정과 관련한 추리를 시작하지 못했다. 즉, 지질학 탐구 초보자는 지질학적으로 중요도가 높은 지질 단서를 포착하고도 이를 의미 있는 지질 단서로 활용하지 못했다. 이 사례는 지질학 탐구에서 대상을 관찰할 수 있는 능력과 별개로 이를 추론을



위한 단서로 활용할 수 있는 추리력이 요구됨을 잘 보여준다. 이는 초보자의 관찰력 뿐 아니라 추리력을 향상하기 위한 교사의 개입 및 명시적 학습의 필요성을 시사한다.

2) 지질 사건 가설의 생성

(1) 귀추 양식을 제공받지 않을 경우 지질 현장에서 관찰(지질 단서 발견)만 하고 추리는 거의 시도하지 않음

지질학자는 지질 현장에서 관찰과 동시에 관찰된 현상에 대한 해석, 즉 귀추를 수행한다. 그런데 초기 답사 시 학생들은 중 ‘1차 현장 답사’ 단계에서 관찰만 수행하고, 그 현상으로부터 지형학적·지질학적 생성 과정과 관련된 추리를 거의 수행하지 못했다. 이는 지질학 탐구 초보자가 지질 단서를 포착해 관련 관찰 정보를 기록하는 것은 비교적 쉽지만, 그 현상으로부터 생성 과정을 설명할 수 있는 가설을 귀추적으로 추리하는 것은 비교적 어려운 것이며 명시적 학습이 필요함을 시사한다.

한편, 1차 현장 답사 종료 후 ‘1차 답사 정리’ 단계에서 구조화된 활동지를 배부받은 후, 학생들은 비로소 의문 현상을 명료화하고 그 원인을 추론하는 가설을 생성하기 시작했다. 이 단계에서 학생들에게 제시된 과제는 관악산이 오늘의 모습이 되기까지 어떤 지형학적·지질학적 사건들이 있었는지 추리하고, 이를 귀추의 양식에 따라 정리하는 것이었다. 학생들이 작성해야 할 활동지에 제시된 귀추의 양식은 1) 관찰 결과, 2) 관련된 규칙, 3) 가설 등 세 가지로, 학생들이 관찰 결과를 정리하고 이로부터 어떤 규칙을 활용해 지사와 관련된 가설을 구성했는지 명료하게 밝히기 위해 고안된 것이었다. 또한 이 단계에서는 학생들이 귀추에 활용할 수 있는 지질학적 지식들이 설명되어 있는 참고 자료가 함께 제시되었는데, 학생들은 자신의 관찰 결과와 해당 지식을 연결해 가설을 구성하는 경우가 많았다. 이렇듯 1차 답사 정리 단계에서 귀추의 양식이 제시되었을 때 학생들이 해당 양식에 맞게 가설을 구성해낸 것은 Jung and Song(2006)의 연구에서 Peirce의 귀추법 양식을 제시했던 결과와 마찬가지로, 귀추의 과정이 명시적으로 강조되었을 때 학생들의 귀추 수행이 촉진됨을 잘 보여준다.

(2) 자신이 보유한 경험 지식 및 일반 과학 지식을 조합해 가설을 생성함

초기 답사에서 학생들은 포착한 지질 단서를 바탕으로 지질 사건을 추리할 때, 자신의 경험 지식을 규칙(자원)으로 활용하는 경우가 많았다. 일례로, 주차장 노두 절벽에 나타나는 “줄무늬”의 생성 원인과 관련된 추리 과정에서, 이들은 암석의 변색과 직접적으로 관련된 과학 지식을 몰라 이를 자원으로 활용하지 못했다. 대신 학생들은 의문 현상에서 “겉 부분에 무엇이 묻었다.”는 세부 특징에 집중해, 이와 유사한 경험 상황을 떠올리며 논의를 진행했다.

- 2B: 일단 저거는 먼지가 많이 있고 비가 많이 와서 불순물이 많이 묻은 거야.
- 2I: 그런데 비에서 불순물이... (중략) 그런... (계 가능해?)
- 2B: 흙수가 난 거 아닐까?
- 2I: 흙수? 그런 가능하겠잖아. 그런데 그 흙수는 물이잖아. 물이 변색을 시켜?
- 2B: 아니 이게 흙들을 다 끌고 오잖아 흙수가.
- 2I: 음... (활동지에 내용을 적으며 고민)

(3차시 관악산 답사, 1차 답사 정리 단계 중)

2B는 비가 올 때 불순물이 묻는다는 경험을 바탕으로 가설을 제시했다. 즉, 포착한 지질 단서와 완전히 일치하는 경험을 가지지 않을 경우, 학생들은 지질 단서의 세부 특징을 찾고, 그로부터 연상되는 경험을 떠올려 현재 의문 상황에 대한 설명 가설을 구성하는 특징을 나타냈다. 그런데 이 과정에서 2B가 떠올린 경험을 가지고 있지 않은 2I는 자신의 경험을 바탕으로 비에서 이물질이 붙을 수 있다는 가설의 타당성을 의심하는 질문을 제기했다. 이에 2B는 겉 부분에 무엇이 묻을 수 있는 또 다른 경험 상황을 떠올려, 흙수 시에 물이 흙들을 운반한다는 설명 가설을 새롭게 구성했다. 새롭게 구성된 설명 가설의 타당성에 대한 논의는 더 이상 진전되지 않았다.

한편, 학생들은 포착한 의문 현상에 대한 원인을 추리할 때, 지질학 외 일반 과학 지식을 자원으로 활용하는 경우도 있었다. 일례로, 계곡 노두 위쪽 암석의 색이 밝고 아래쪽 암석의 색은 어두운 관찰 현상에 대한 원인을 추리할 때, 학생들은 철 성분 함량과 물의 색의 관계에 대한 경험 지식 및 철 산화에 따른 변색, 유속과 용존 산소량의 관계, 용존 산소와

철의 산화도의 관계 등과 관련된 일반 과학 지식을 떠올려 설명 가설을 구성하기도 했다.

- 2G: 하류(계곡 하부)에 물이 많잖아. 또 하류(계곡 하부)에 검은 색이 많고. 철이 물에 많으면... 그러니까 물이 많기 때문에 물에 있는 철 성분 때문에 검은색이 많은 건가?  
(중략)
- 2A: 상류(계곡 상부)가 물의 세기가 세니까 용존 산소가 많을 거 아냐? 그것 때문에 더 잘 산화될 수도 있지.  
(3차시 관악산 답사, 1차 답사 정리 단계 중)

2A는 상류가 하류보다 물이 세게(빠르게) 흐른다는 것과 물이 세게 흐르면 용존 산소가 많고, 용존 산소가 많으면 철이 더 잘 산화된다는 일반 경험 및 과학 지식으로부터 현장의 계곡 상부는 계곡 하부보다 물이 세게(유속이 크게) 흐를 것이며, 따라서 용존 산소가 높을 것이고, 철이 더 잘 산화될 것이라고 추리했다. 그런데 2A의 추리에 따르면 계곡의 상부에서 산화된 붉은 철이 더 많으므로 더 어두운 색을 띠어야 한다. 즉, 2A가 활용한 자원들로부터 조합된 추리는 논리적으로 계곡 상부가 더 어두운 색을 띠을 함의한다. 그런데 실제 관찰 결과는 계곡 상부가 더 밝은 색을 나타낸다. 2A의 추리는 추리로부터 도출되는 설명 가설이 관찰 결과를 설명하지 못하는 모순된 것이었다. 그럼에도 학생들의 논의에서 이 점이 지적되지 않았다.

종합하면, 초기 답사에서 학생들은 포착한 의문 현상의 원인을 추리할 때, 지질학 지식보다는 경험 및 일반 과학 지식에 근거하여 설명 가설을 구성하는 경향이 있었다. 이러한 일상 경험 지식이나 일반 과학 지식을 바탕으로 추론할 수 있는 지질학적 사건은 매우 제한적이므로, 학생들이 생성한 지질 사건 가설은 지질학적 중요도가 떨어진다. 뿐만 아니라 경험 지식에 근거한 귀추는 서로 다른 경험을 가진 사람에게 그 가설의 타당성을 설득하기에 한계가 있다. 이 사례는 지질학 탐구의 초보자인 학생들이 귀추에 활용할 수 있는 자원으로서 지질학 지식을 보유하고 있지 않을 경우, 지질학적으로 중요한 가설을 생성하는 것이 불가능함을 잘 보여준다.

(3) 새롭게 제공받은 지질학 지식을 차용해 단일 가설을 생성함

초기 답사에서 학생들은 포착한 지질 단서와 관련한 지질 사건을 추리할 때, 제공받은 참고 자료에 제시된 지질학 지식을 규칙(자원)으로 활용하는 경우가

있었다. 일례로, 계곡 아랫부분을 이루는 편마암에서 균열이 많이 발달한 현상을 의문 현상으로 포착했던 2F는 1차 답사 정리 단계 활동 시 배부된 참고 자료에서 절리에 관한 설명을 발견하고 이것이 자신이 현장에서 관찰한 암석의 균열들을 설명하기에 적합한 지식이라고 판단했다. 그리고 새롭게 알게 된 절리의 개념을 바탕으로 “돌에 여러 가지 힘이 작용했다”는 설명 가설을 구성했다.

- 2F: 아까 그 처음에 시작하는 부분에 뽀족뽀족한 돌들이 있었잖아? 그 돌들이 그 때... 이거(참고 자료) 보면 절리라고 나오거든? 절리가 뭐냐면 돌들이 압력에 의해 눌리거나 혹은 눌린 게 풀려서 그런 거라고 나오거든? 여러 힘들의 기록이래. 그걸 구하면 힘들이 돌에 작용했던 걸 알 수 있어.
- 2I: 그럼 (활동지에) 어떻게 써야 해?
- 2F: 가설에 돌에 여러 가지 힘이 작용했다고 쓰면 되지 않을까?
- 2I: 힘이 작용하는 방향이 나와 있지 않고? 재는 절리 치고 작지 않아?
- 2B: 큰 절리 작은 절리가 어떤 거야?
- 2F: 여기(참고 자료) 나와 있어. 수 cm에서 수십 m까지 이룬다고.

(3차시 관악산 답사, 1차 답사 정리 단계 중)

절리의 개념은 학생들에게 모두 새로운 것이었기 때문에, 해당 구조를 절리라고 볼 수 있는지에 대한 질문이 2I에 의해 제기되기도 했다. 2I의 절리 치고 작지 않느냐는 질문에 2F는 참고 자료를 바탕으로 절리는 수 cm에서 수십 m에 이를 수 있기 때문에 관찰 증거와 부합한다고 설명했으며, 다른 학생들은 이를 수용했다. 즉, 교사에 의해 제공된 지질학 지식은 학생들에게 권위 있게 받아들여졌다. 종합하면, 논의를 통해 팀원들은 2F가 구성한 가설을 공유했고, 이 가설의 타당성을 어느 정도 인정했다.

이 사례는 탐구자가 포착한 지질 단서를 설명할 수 있는 적절한 자원을 가지고 있지 않더라도 수집된 관찰 결과를 설명할 수 있다고 여겨지는 새로운 자원이 제공되면 이를 활용해 설명 가설을 구성할 수 있음을 보여준다. 그런데 관련 지식이 제공된다고 해서 모든 탐구자가 이를 활용할 수 있는 것은 아니었다. 예를 들면, 2A와 2E 또한 이 지점에서 “돌이 많이 갈라져있는 것”을 관찰했고 4단계에서 2F와 동일한 참고 자료를 제공받았지만, 이들은 이 관찰 현상에 대해 “절리”라는 개념을 차용한 설명 가설을 구

성하지 못했다. 이렇듯 서로 다른 귀추 수행 결과는, 동일한 지질 단서를 관찰하고 동일한 지식을 제공받아도 관찰 결과와 지식을 연결해 가설을 생성하는 것, 즉 귀추에 성공하는 여부가 학생마다 달라질 수 있음을 잘 보여준다. 그리고 이는 귀추적 사고의 유능한 정도가 학생이 가지고 있는 지식과 구별되는 별도의 “추리력”에 기인하고 있음을 암시한다. 따라서 학생의 귀추적 사고 능력을 증진하기 위해서 관련 지식(자원)의 학습 뿐 아니라 추리력 자체를 향상하기 위한 교수적 개입의 필요성이 도출된다.

(4) 하나의 지질 단서에 대해 여러 종류의 관련 자원을 활성화하고, 이를 조합하여 다양한 경쟁 가설을 생성함

초기 답사에서 학생들은 의문 현상(지질 단서)을 설명할 수 있을 것으로 기대되는 다양한 자원을 떠올려 규칙을 추리했고, 다양한 경쟁 가설을 생성했다. 예를 들어, 계곡 노두의 상부는 밝고 하부는 어두운 현상의 원인과 관련해 활성화된 자원은 크게 심성암의 분류와 광물 성분에 대한 과학 지식, 심성암의 생

성 깊이에 대한 과학 지식, 물에 의한 철 성분의 산화와 관련된 경험 지식 등이었다. 각각의 자원들이 활성화될 때 관찰 증거와 유사성이 있다고 여겨진 특징들이 있었을 것이다. 그러한 특징들은, 비록 학생들의 논의나 기록에서 확인되지는 않지만, 관련 규칙을 분석함으로써 논리적으로 추리해볼 수 있다. 귀추의 논리에 따른 분석을 통해 이 사례에서 학생들이 포착했다고 짐작되는 관찰 세부 특징 및 이와 관련해 떠올린 규칙 혹은 자원, 그리고 이로부터 도출될 수 있는 가설을 재구성하면 Table 5, 6과 같다.

학생들이 관찰 결과를 설명할 수 있는 가설을 생성해 낼 수 있었던 원인은 이들의 머릿속에 관련 자원들이 활성화되었기 때문일 것이다. 그러나 학생들은 그러한 자원이 무엇인지 정돈된 언어로 표현하는 것에 어려움을 느꼈다. 이것은 학생들이 귀추를 수행하는 과정을 스스로도 인지하지 못하는 것을 잘 드러낸다. 귀추적 사고 과정은 많은 부분 잠재 의식 수준에서 진행되기 때문이다(Lawson, 2000; 2002). 그러나 학생들이 비록 귀추의 양식에 적절한 규칙을 명료하게 표현하지 못하는 등 본인의 귀추적 사고

**Table 5.** Resources activated when inferring the phenomenon of the light at the top of the Gwanak Valley but the dark at the bottom

Observation features (evidence)	Activated resources
The color gets brighter from the bottom of the valley to the top.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt;Experience&gt; Relationship between iron content and water color</li> <li>• &lt;General science knowledge&gt; Discoloration by iron oxidation</li> <li>• &lt;Geological knowledge&gt; Color of rock and mineral composition</li> </ul>
The color of the rock varies depending on the height	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt;Geology knowledge&gt; Classification of igneous rocks by depth of formation</li> </ul>
Water intensity upstream and downstream (Similar evidence for non-observation)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt;Experience&gt; Flow rate difference between upstream and downstream</li> <li>• &lt;General science knowledge&gt; Relationship between the flow rate and the amount of dissolved oxygen, and the degree of oxidation of dissolved oxygen and iron</li> </ul>

**Table 6.** Competitive hypotheses generated from inference on the light at the top of the Gwanak Valley but the dark at the bottom

No.	Contents of Competition hypothesis	Combined Resources
H1a	The components of the lower part of the valley are iron and magnesium, and the components of the upper part of the valley are silicic acid.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt;Geological knowledge&gt; Color of rock and mineral composition</li> </ul>
H1b	The difference in the color of the rock in the valley is related to the depth of formation of the igneous rock.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt;Geology knowledge&gt; Classification of igneous rocks by depth of formation</li> </ul>
H1c	The lower part of the valley has a lot of water including iron, so rocks appear in dark colors, and the upper part of the valley appears in bright colors because there is little water.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt;Experience&gt; Relationship between iron content and water color</li> <li>• &lt;General science knowledge&gt; Discoloration by iron oxidation</li> </ul>
H1d	The upper part of the valley looks darker because the water flows harder than the lower part, making the iron more oxidized.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• &lt;Experience&gt; Flow rate difference between upstream and downstream</li> <li>• &lt;General science knowledge&gt; Relationship between the flow rate and the amount of dissolved oxygen, and the degree of oxidation of dissolved oxygen and iron</li> </ul>

과정의 논리를 명확하게 알지 못하더라도, 이들은 경험이나 자원을 떠올려 관찰 결과와 연결된 설명 가설을 구성했으므로 귀추적 사고를 수행했다고 볼 수 있다.

3) 지질 사건 가설의 평가

(1) 생성한 가설의 타당성 평가를 수행하지 않음

지질 사건 가설의 평가 과정에서는 생성된 지질 가설의 설명력을 검토하여 설명력을 높이는 것이 중요하다. 그러나 귀추의 논리에 익숙하지 않은 초보적 수준의 탐구자는 지질 사건 가설 생성에 급급하여, 생성된 가설의 정교화·정당화를 시도하지 않는 경우가 많았다. 특히 초기 답사에서 학생들은 가설 생성 시 규칙으로 경험 지식을 떠올리는 경우가 많았는데, 이 경우 학생들은 가설의 타당성 평가를 거의 수행하지 못했다. 경험 지식은 명료화되기 어려우며 객관적이지 않기 때문에 그 규칙 자체의 타당성이나 혹은 실제 관찰 결과와 규칙의 부합성을 판단하기 어려웠기 때문이다. 즉, 경험 지식에 근거해 형성된 가설이 정교화 혹은 정당화된 사례는 많지 않았다.

예외적으로 일부 학생이 의문 현상과 규칙의 정합성에 대해 검토하여 가설의 타당성을 평가하고자 시도하는 경우가 있었으나, 대다수의 학생은 이를 받아들이지 않은 채 논의를 마무리 짓는 경향이 있었다. 일례로, 관악산 계곡 상부는 밝고 하부는 어두운 현상의 원인을 추론할 때, 일부 학생들은 본인들이 상정한 ‘철 성분 함량과 물의 색의 관계’에 대한 규칙이 실제 관찰 현상에 부합하는지, 즉 실제 계곡물에 철 성분이 포함되어 있는지에 대한 의문을 제기했으나, 대부분의 학생들은 의문 제기를 무시한 채 논리적으로 타당하지 않은 가설을 “억지로라도”(2G) 생성한 데 만족하며 논의를 종결했다.

2G: 그런데 상류(계곡 상부)에 물이 많아, 하류(계곡 하부)에 물이 많아?

2A: 하류(계곡 하부)에 물이 많지.

2C: 그런데 물에 철이 있나? 철 성분이 있나 물에?

2E: 있는데도 있고 없는데도 있지. 아니면 말고.

2G: 하류(계곡 하부)에 물이 많잖아. 또 하류(계곡 하부)에 검은 색이 많고. 철이 물에 많으면... 그러니까 물이 많기 때문에 물에 있는 철 성분 때문에 검은색이 많은 건가?

2E: 그거 그냥, 오빠, 거기(활동지)에 써요.

2C: 철 때문이 아닐 수도 있지.

2G: 그런데 그거밖에 없어. 억지로라도.

(3차시 관악산 답사, 1차 답사 정리 단계 중)

(2) 경쟁 가설들을 비체계적 기준을 바탕으로 평가하여 설명력이 낮은 최종 가설을 선택함

관악산 계곡 상부는 밝고 하부는 어두운 현상에 대한 추론에서 생성된 경쟁 가설 H1a, H1b, H1c, H1d (Table 6)의 타당성을 규칙 자체의 과학적 정확성, 규칙과 관찰 현상과의 유사성, 귀추 논리의 정합성 측면에서 평가하면 Table 7과 같다. H1a의 추론 과정에서 활용된 규칙은 제공된 과학 지식에 근거한 것으로 과학적으로 타당한 것이며, 관찰 현상과 관련성이 높고, 귀추의 논리도 정합하다. H1b의 추론 과정에서 활용된 규칙은 학생이 가지고 있던 과학 지식에 근거한 것으로 과학적으로 타당한 것이었다. 그러나 이 규칙은 색과 높이에 대한 관찰 특징 중 높이와만 관련된 것으로, 주요한 관찰 특징인 색의 변화를 설명하지 못한다. 따라서 관찰 증거와 규칙의 유사성이 낮으며, 귀추 논리의 정합성도 떨어진다. H1c의 추론에서 활용된 규칙은 물과 철 성분에 관련된 것인데, 이는 학생이 가지고 있는 경험 지식에 근거하고 있지만 실제 과학적 타당성이 낮다고 볼 수 있다. 그러나 귀추의 논리에 따라 이 규칙으로부터

**Table 7.** Validity of competitive hypotheses generated from inference on the light at the top of the Gwanak Valley but the dark at the bottom

No.	Feasibility assessment (researcher)			Final hypothesis selection (student)
	scientific accuracy of rules	similarity between observational evidence and rules	consistency of abductive logic	
H1a	High	High	High	X
H1b	High	Low	Low	X
H1c	Low	High	High	X
H1d	High	Low	Low	O

도출된 가설은 관찰 증거의 원인을 설명할 수 있다. H1d의 추론에서 활용된 규칙은 상류와 하류의 유속 차이, 유속과 용존 산소량의 관계, 용존 산소와 철의 산화의 관계 등에 대한 학생이 가지고 있던 과학 지식에 바탕해 구성된 것이다. 이 규칙을 구성하는 명제적 과학 지식들은 정확성이 높으나, 규칙으로부터 논리적으로 도출되는 가설이 관찰 증거와 어긋나게(반대되게) 되는 귀추 논리에서의 모순이 발생한다. 뿐만 아니라 자원 중 상류와 하류의 유속 차와 관련된 것은 실제 관찰 현상의 규모와 부합하지 않는데, 이것은 유추적 귀추 관점에서 규칙과 관찰 현상의 유사성이 낮은 것을 의미한다.

종합하면, 경쟁 가설 H1a, H1b, H1c, H1d 중 규칙 자체의 과학적 정확성, 규칙과 관찰 현상과의 유사성, 귀추 논리의 정합성을 모두 갖춘 것은 H1a이었다. 그런데 학생들은 H1d를 최종 가설로 선정했다. 학생들의 가설 평가 기준은 타당성 기준 세 가지를 종합적으로 만족하는 것이 아니었던 셈이다. 학생들은 H1a가 암석의 성분을 추리할 수 있게 하지만, 그렇게 생성된 원인을 설명해주는 못한다는 점에서 원인 설명력이 없다고 판단하고 이를 배제했다. H1b의 경우, 특별한 근거 제시 없이 배제했다. 그리고 가설 3이 귀추의 논리를 만족함에도 불구하고, 규칙의 과학적 정확성이 떨어지자 기각했다. 대신 학생들은 귀추의 논리를 만족하지 않으며 관찰 현상과의 관련성(유사성)이 떨어짐에도 불구하고 규칙 자체가 과학적으로 정확하고 타당한 H1d를 선택했다.

이 사례는 초기 답사 시 초보자인 학생이 교사의 별다른 개입 없이도 나름의 기준을 가지고 가설을 평가하고 정교화하려고 시도할 수 있음을 보여준다. 그런데 이들이 귀추적 추론의 타당성을 평가하는 기준은 명료하지 않고 미성숙했다. 초보자는 과학 지식의 권위에 강력하게 의존하는 경향이 있어, 이 외의 기준은 별로 검토하지 않았다. 특히 H1d는 직접 증거가 아니라 정황상의 간접 증거(유사 증거)에서 도출된 것인데, 이에 대한 문제 의식도 갖지 못했다. 다양한 직접 증거(관찰 증거)를 잘 설명할 수 있는 가설을 구성하는 것이 숙련된 귀추라고 볼 때, 초보자의 가설 평가 및 정교화 과정에서 나타나는 한계들은 타당한 귀추적 추론을 구성하는 방법에 대한 교육이 필요함을 시사한다.

지질학 탐구 초보자의 가설 평가 및 정교화 과정의 특징은, 기존 가설이 타당하지 않다고 배제된 후

새롭게 도입된 가설이 기존 가설보다 설명력이 높다고 보기 어렵다는 것이다. 즉, 초보자는 나름대로 가설을 수정해 갈 수 있지만, 이 과정이 보다 나은 추리, 즉 최선의 설명을 위한 추론(inference to the best explanation, IBE)을 향하는 방향이 아닐 수도 있다는 것이다. 이는 지질학 탐구에서 귀추 향상을 위해 교사나 교수가 개입할 필요성을 강력하게 시사한다. 초보자가 가설 평가 및 정교화에서 이러한 한계를 나타내는 이유는 지질학 지식의 부족과 더불어 설명력 있는 가설을 구성하기 위한 체계적 전략을 가지고 있지 못하기 때문이다. 따라서 이러한 한계점을 극복하기 위해 교사나 교수는 학습자가 지식 뿐 아니라 추리 능력 측면을 향상할 수 있는 학습 과정을 설계할 필요가 있다.

## 2. 후기 답사에서 귀추적 탐구 수행 특징

‘시오투어를 떠나요’ 프로그램에서 후기 답사는 명시적 지질학 지식 및 탐구 교수·학습 후인 14-15차시(장소: 부산 송도반도 해안) 및 17-18차시(장소: 전북 변산반도 해안)에 수행되었다. 두 번의 후기 답사에서 학생들은 전반적으로 초기 답사 때보다 수월한 귀추 탐구 수행을 나타냈다. 구체적인 귀추 수행 양상을 귀추 과정별로 살펴보면 다음과 같다.

### 1) 지질 단서의 포착

(1) 지질학적 중요도가 높은 지질 단서를 주로 포착함

후기 답사에서 학생들은 지질 현장에서 관찰할 대상을 탐색하며, 지질학적으로 중요한 것과 그렇지 않은 것을 구별해 인식하는 것으로 보였다. 이러한 평가 과정은 학생의 머릿속에서 이루어지거나 혹은 자동화되어 있기 때문에 명시적으로 드러나지 않는 편이나, 드러난 경우도 종종 있었다. 한 사례로, 17-18차시에 이루어진 변산반도 답사의 1차 현장 답사 단계에서 학생들은 검은 세일 위에 있는 하얀 가루를 처음에 관심 깊게 보다가, 그 정체가 소금이며 이것이 바닷물에서 기원했다는 판단한 후에 이를 야장에도 기록하지 않은 채 더 이상의 관심을 보이지 않았다. 학생들이 암석 위에 묻은 소금이라는 관찰 정보를 비교적 소홀하게 취급한 것은, 이것이 전체 지사 구성에 유용한 정보인지 판단하는 데 기초한다고 볼 수 있다. 뿐만 아니라 초기 답사에서 학생들은 전석이나 자갈 등을 단서로 포착하고 관찰 결과로 기록

하는 경우가 많았는데, 후기 답사에서는 대부분 지질 노두에서 지질 단서를 수집하는 경향을 나타냈다. 후기 답사의 학생들은 지질학 탐구의 목표인 지사 구성을 위해서 지질 단서를 수집할 때, 비노두는 유용하지 않음을 인식하고 있는 것으로 판단할 수 있다. 정리하면, 문제 발견에는 추구할 가치가 있는 문제를 선택하기 위한 평가적 사고 요소도 포함되는데 (Hoover, 1990), 숙련된 탐구자가 된 학생들은 지질 현장에서 이러한 평가를 내면적으로 수행하는 것으로 보였다.

한편, 후기 답사에서 학생들이 포착한 지질 단서는 주로 암석 구조 및 지질 구조였다. 일례로, 변산반도 답사에서 자유 탐색 시기에 2A와 2F는 바다를 이루는 검은 색 암석의 긴 틈 사이에 하얀색 광물이 있는 구조인 방해석맥을 포착했다. 이들이 퇴적지층의 생성 후에 지각 변동과 화성 활동이 있었음을 지시하는 주요한 지질 단서인 방해석맥을 지질 단서로 포착할 수 있었던 이유는 이 대상이 색깔과 요철 측면에서 주변과 대비가 크게 나타나고, 1 cm 정도의 폭으로 수십 m에 이르도록 길게 이어지는 등 규모가 큰 데 일차적으로 기인한다. 이에 더하여, 학생들이 이와 유사한 형태인 관입 암맥, 쇠설성 암맥을 직접 눈으로 관찰하고 관련 지질학 지식을 학습한 경험은 학생들이 해당 형태를 주변과 구별하여 인식하는데 영향을 미쳤을 것이다.

후기 답사에서 방해석맥 외에 학생들이 포착한 암석 구조 및 지질 구조는 무문암맥, 다공질 구조, 유상 구조 등의 화성암 구조, 수평층리, 말린 층리 구조 등의 퇴적암 구조, 정단층, 역단층, 주향이동단층, 불규칙 절리 등의 지질 구조로 매우 다양했다. 이러한 구조들은 곧바로 그 이름이 판별되거나 지질학적 사건 가설 생성으로 이어지지 않더라도, 일단 학생들의 주목을 끌었다. 이러한 주목도는 암석 구조나 지질 구조 자체의 겉보기 특성에도 기인하지만, 관찰자의 ‘훈련된 눈’ 또한 많은 영향을 미친다(Frodeman, 2003). 다양한 암석 구조 및 지질 구조에 대한 이미지를 가지고 있는 관찰자는 수많은 지질 정보가 주어지는 지질 노두에서 해당 구조를 특정 형태로 구별되게 인식할 가능성이 높기 때문이다. 후기 답사에서 학생들이 암석 구조와 지질 구조를 지질 단서로 포착한 것은 초기 답사에서는 나타나지 않았던 특징이다. 이렇듯 지질 단서 포착 과정에서 암석 및 지질 구조를 인식하지 못하는 초보 수준에서 이를 인식할

수 있는 숙련된 수준으로 변화한 것은, 초기 답사와 후기 답사 사이의 명시적 교수·학습을 통해 다양한 암석 및 지질 구조에 대한 개념이 증가했을 뿐 아니라 지질 노두 사진에서 지질 단서를 포착하고 관찰 결과를 작성했던 연습에 기인하는 측면이 클 것이다.

## 2) 지질 사건 가설의 생성

(1) 익숙한 지질 단서에 대해 자신의 지질학 지식에 근거해 지질 생성 과정에 대한 단일 가설을 구성함

후기 답사 시 학생들은 초기 답사와 달리 자발적으로 지질 단서의 포착과 동시에 그 생성 원인에 대한 의문을 품고 추리를 시작했다. 학생들은 지질 단서가 익숙할 경우 자신의 지질학 지식에 근거해 쉽게 가설을 생성했다. 일례로, 변산반도 자유 탐색 시 대부분의 학생들은 퇴적 지층이 층리에 수직한 방향으로 끊겨 있으며 그 끊긴 곳에 다른 암석이 돌출되어 있는 구조를 지질 단서로 포착하고, 관찰 특징을 바탕으로 관입이라는 지질 사건을 추론해 야장에 이 구조에 대한 스케치와 함께 “관입”, “관입암”이라는 기록을 남겼다. 학생들이 활용한 관입이라는 자원과 실제 관찰 현상의 유사도가 높아서인지, 학생들은 이와 다른 자원을 별도로 고려하지 않아 경쟁 가설 없이 단일 가설이 생성되었다. 대신 학생들은 “관입이라면 그 증거를 찾으라.”는 교사의 안내에 따라 포획암과 혼펠스 등 관입 경계부의 특징에 해당하는 관찰 증거를 추가적으로 찾는 데 집중했다.

이 사례는 학생들이 관찰한 특정 지질 단서에 대한 단일 설명 가설을 비교적 쉽게 생성할 수 있음을 보여준다. 이렇듯 설명 가설이 쉽게 구성될 수 있었던 것은 학생들이 알고 있는 자원의 전형적인 형태와 가까운 관찰 현상이기 때문으로 여겨진다. ‘지오투어를 떠나요’ 프로그램에서 학생들은 여러 차례 관입 현상을 나타내는 모형이나 사진을 여러 차례 본 경험이 있었는데, 이 때 관입암체는 주로 수평한 퇴적 지층을 끊고 있는 형태였다. 반복된 경험을 바탕으로 학생들은 수평한 지층을 절단하고 다른 물질이 채워져 있는 것을 관입의 전형적 형태로 여기게 되었으며, 현장에서 이러한 전형적 형태에 부합하는 관찰 현상을 발견하자 이로부터 관입 사건을 빠르고 정확하게 추리할 수 있었던 것이다. 이렇듯 학생들이 전형적인 형태의 지질 단서를 현장에서 빠르게 포착하고 단일한 자원을 떠올려 단일 가설을 상정하게 된 과정은 인지 심리학의 개념 중 재인(再認, recognition)

을 잘 수행했다고 해석할 수도 있다. 재인은 현재 경험하고 있는 자극이나 정보가 과거의 학습 또는 입력 과정을 통해 기억 체계 속에 저장되어 있는 자극이나 정보와 같은 것임을 확인하는 인지 과정이다 (Reed, 2006).

이 사례는 두 차원에서 중요한 교육적 시사점을 준다. 첫째, 지질 단서의 전형성은 귀추의 난이도에 영향을 줄 수 있으므로 답사 장소 선정 시 이 점을 유의해야 한다는 것이다. 만약 학생들이 익숙하지 않은 형태의 관입암체가 있다면 학생들은 이를 관입암체로 판별하기 어려울 것이다. 따라서 전형적 암석이나 지질 구조에 대한 정보를 가지고 있을 가능성이 높은 초보자들에게는 전형적인 형태의 암석이나 지질 구조가 나타나는 현상이 답사 장소로 적합할 것이다. 또한 지질 현장에서 지질 단서가 불가피하게 비전형적으로 나타날 경우 교사의 적절한 개입이 필요할 것이다.

둘째, 지질 답사 사전 수업에서 암석과 지질 구조 등 지질학적 개념을 교수할 때, 전형성 및 변칙성을 고려할 필요가 있다는 것이다. 개념(concept)은 특정한 사물, 사건, 대상들의 공통된 속성을 추상화하여 종합한 표상이다(Kwak et al., 2008). 개념에 해당하는 개별 사물, 사건, 대상들의 본질적 특성은 공통적이지만, 비본질적 특성은 다르게 나타날 수 있다. 어떤 개념이든 초보자가 그것을 학습할 때는 공통된 특성 위주로 배우는 것이 적절하고 효율적일 것이다. 그러나 자연에서 나타나는 개별 지질 단서에는 전형적이지 않은 것이 많은 것이 사실이다. 지질학 탐구에서 이러한 비전형적 사례를 다루는 것이 보다 ‘실제적’인 것이다. 이 때 탐구자에게 비전형적인 사례에 대한 정보가 있다면 탐구자가 지질 현장에서 수행하는 귀추의 정확성을 높일 것이라고 기대할 수 있다. 따라서 지질학 탐구 능력을 향상하기 위해서는 지질 관련 개념 학습에서 전형적인 특성과 함께 함께 변칙적이거나 예외적 사례도 다양하게 다루는 것이 적절할 것이다. 이는 학생들이 암석의 구멍 형성 과정에 대해 과학적으로 타당한 설명 가설을 구성하

도록 하기 위해 소위 교과서적이고 전형적인 사례 뿐 아니라 실제 자연 세계에서 볼 수 있는 다양한 사례를 접하게 할 필요성을 언급한 Oh (2017)의 시사점과 일치한다.

(2) 익숙하지 않은 지질 단서와 관련해, 자신의 지질학 지식 중 여러 관련 자원을 활성화하고 이를 조합하여 다양한 경쟁 가설을 생성함

후기 답사에서 학생들은 포착한 지질 단서가 익숙하지 않을 경우 자신의 지질학 지식을 활용해 다양한 경쟁 가설을 생성하거나, 혹은 주어진 지질학 지식을 활용해 가설을 생성했다. 일례로, 변산반도 적벽강 바다 노두에서 검은색 암석을 끊으며 존재하는 흰 선 구조(방해석맥)를 인식한 학생들은 관찰된 지질 단서를 ‘맥’이라고 곧바로 재인할 수 없었다. 학생들은 ‘맥’이라는 지질학 지식에 대해 학습하거나 이를 직접 본 경험이 없었기 때문이다. 학생들은 자신들이 곧바로 재인할 수 없는 지질 단서의 생성 과정을 설명하기 위해 세부적인 관찰 증거를 수집하고, 관련 자원으로서 관입, 결핵체, 쇄설성 암맥, 석회암 등 자신이 알고 있는 지질학 지식을 떠올렸다. 이 사례에서 학생들이 관찰한 특징 및 이로부터 활성화된 자원의 종류를 재구성하면 Table 8과 같다. 학생들은 암석을 끊고 발달한 선 구조를 보고 관입 혹은 암맥의 개념을 떠올렸고, 선을 이루고 있는 흰색 물질의 조직(성분)을 보고 석영 및 대리암을 떠올렸다. 그리고 염산 반응 결과를 설명할 수 있는 자원으로서 결핵체, 석회암(퇴적암), 대리암 등을 연상했다. 관찰 증거와 관련돼 활성화된 자원들은 구조 및 성분 측면에서 다양하게 조합되어, Table 9와 같이 4개의 설명 가설이 구성되었으며, 경쟁 가설들 중 H2d를 최종 가설로 선택했다.

이 사례에서 학생들은 다양한 경쟁 가설을 순차적으로 생성했는데, 이러한 가설 생성 과정의 특징은 다음과 같다. 첫째, 포착한 지질 단서와 유사한 형태의 자원을 떠올려 가설을 생성한다. 학생들은 방해석 맥을 발견한 후, 검은색 모암을 끊고 존재하는 흰 선

**Table 8.** Resources activated when inferring the identity of calcite vein at the Red Rock outcrop of Byunsan Peninsula

Observation features (evidence)	Activated resources
Line structure represented by white matter filled between long cracks in black rock	• <Geology knowledge> intrusion, dike
Texture of white substance	• <Geology knowledge> quartz, (marble)
Hydrochloric acid-reacting substance	• <Geology knowledge> concretion, sedimentary rock (limestone), marble

형 구조를 보고 관입암맥과 유사하다고 인식하고, 모암이 생성되고 난 후 암체가 끊어져 틈이 생성되는 사건이 발생하고, 이후 그 틈을 메우는 관입이 일어났다는 사건을 추리해 냈다. 그리고 틈을 채운 흰색 물질의 색과 광택, 조직 등의 관찰 특징을 바탕으로 이 성분이 석영이라고 판단했다.

둘째, 새롭게 활성화된 자원에 해당하는 과학 개념으로부터 기대되는 관찰 증거가 실제로 현장에 나타나는 지를 평가한다. 즉, 역행추론을 수행한다. 학생들은 흰색 물질이 석영이라는 가설을 생성한 후, 해당 구조의 주변에 묻은 염산을 뿌려보았다. 그 결과, 검은 색 모암에서는 염산 반응이 없고, 흰색 선 구조에서만 염산 반응이 나타난다는 관찰 증거를 새롭게 수집하게 되었다. 이들은 석영이 염산에 반응하지 않는 광물이라는 것을 알고 있는데, 해당 선 구조 부분은 (염산) 반응을 하기 때문에 그들의 첫 번째 가설을 기각했다. 즉, 그들은 첫 번째 가설이 예측하는 현상(염산에 미반응)과 실제 사실(염산에 반응)의 일치도를 평가하는 추론, 즉 역행추론(retroduction)<sup>2)</sup>을 수행했다.

셋째, 현장에서 추가 관찰 정보를 수집하며, 관찰 증거와 부합한 자원들을 조합하여, 포착된 지질 현상을 더 잘 설명할 수 있는 가설을 구성한다. 학생들은 모암의 틈을 채운 흰색 물질이 염산에 반응한다는 관찰 증거를 추가로 수집한 후, 생김새 및 화학적 특성에 부합한 대리암을 자원으로 떠올렸다. 그리고 대리암이 변성을 받아 생성된다는 지식을 바탕으로, 모암의 틈에 석회질 물질이 퇴적된 후 굳어져 석회암

이 되었다가 변성을 받아 대리암이 되었다는 가설을 생성했다. 이러한 귀추 과정은 추론자의 기억 체계 속에 저장되어 있는 여러 규칙들 중 일부를 선택하는 선택적 귀추가 아니라, 선택적 귀추로 완전히 설명되지 않는 현상을 설명하기 위해 새로운 규칙과 가설을 만들어내는 창조적(creative) 귀추 과정에 해당한다(Magnani, 2001).

정리하면, 쉽게 재인할 수 없는 지질 단서에 대해 학생들은 현장에서 추가 관찰 정보를 수집하며, 이를 새로운 관찰 증거를 바탕으로 자신이 보유한 지질학 지식을 떠올려 전략을 활용해 다양한 경쟁 가설을 생성했고, 그 결과 방해석맥의 구조 및 성분 측면에서 거의 정답에 가까운 설명 가설을 생성했다. 후기 답사에서 나타난 이러한 숙련된 귀추 수행 특징은 초기 답사에서 나타나지 않았던 것으로, 그 변화의 원인은 지오투어 프로그램에서 계획된 많은 학습 경험과 관련될 수 있다. 먼저, 학생들의 기억 속에 ‘자원’을 가지게 해 준 학습 경험들이 있었다. 학생들은 교실 수업에서의 명시적 지질학 지식 수업 또는 여러 차례의 답사를 통해 다양한 지질 구조에 대한 개념을 그 형태와 함께 기억하게 되었다. 이러한 개념들은 학생들이 답사 현장에서 재인이 어려운 특정 지질 단서를 포착했을 때 이를 설명하기 위한 자원으로 활성화되었다. 또한, 교실 수업에서 지질 현장 사진을 보고 낮은 지질 단서를 포착해 이로부터 다양한 유사한 여러 자원을 떠올려 각각의 경쟁 가설을 세우고, 활용한 자원 개념 중 관찰 증거를 가장 잘 설명하는 것으로 보이는 경쟁 가설을 선택하는

**Table 9.** Competitive hypotheses generated from inferring the identity of calcite vein at the Red Rock outcrop of Byusan Peninsula

No.	Contents of Competition hypothesis	Combined Resources
H2a	Quartz intrusion (quartz vein)	• <Geology knowledge> intrusion, quartz
H2b	Concretion	• <Geology knowledge> concretion
H2c	Limestone dike (clastic dike)	• <Geology knowledge> dike, sedimentary rock(limestone)
H2d	Marble dike (metamorphism of limestone dike)	• <Geology knowledge> dike, marble

2) 귀추와 관련된 논의에서 귀추(abduction)와 역행추론(retroduction)의 개념을 동일시하거나 명확히 구분하지 않은 채 혼용하는 경우가 많지만, Lee (2008)는 구분의 필요성을 제기했다. 그는 관찰된 결과(경험)로부터 인과적 기제(가설)가 추리되는 양식을 귀추(abduction, 이기홍은 귀추 대신 “가추”라는 용어를 사용함)로, 반대로 고안된 인과적 기제(가설)으로부터 존재할 것으로 기대되는 경험을 되돌아 추리하는 양식을 역행추론(retroduction)으로 보았다. 이때의 역행추론은 경험적 결과가 고안된 가설의 “자연적 필연성”의 산물임을 확인함으로써 귀추를 통해 고안된 가설의 개연성과 타당성에 대한 믿음을 강화하는 논리로 설명된다. 그는 논리의 차원에서 이 둘을 구분해 설명했지만, 실제 가설을 생성하는 탐구 과정에서는 귀추와 역행추론이 동전의 양면처럼 함께 진행되며 분리되지 않으며, 능숙한 과학적 탐구 작업은 귀납, 연역, 귀추, 역행추론 등 다양한 추론 양식들을 보완적이고 반복 순환적으로 사용하는 것이라고 덧붙였다.



**Table 10.** Validity of Competitive hypotheses generated from inferring the identity of calcite vein at the Red Rock outcrop of Byunsan Peninsula

No.	Feasibility assessment (researcher)			Final hypothesis selection (student)
	scientific accuracy of rules	similarity between observational evidence and rules	consistency of abductive logic	
H2a	High	Low	High	X
H2b	High	Low	High	X
H2c	High	Middle	High	X
H2d	High	High	High	O

과 논리에 익숙해지도록 한 것으로 보인다. 이러한 학습 경험들로 인해 학생들은 후기 답사인 변산반도에서 낮선 지질 구조를 보고 유사한 형태의 자원을 떠올려 가용 자원을 확장하는 전략을 활용해 중요한 지질 형성 과정에 대한 경쟁 가설을 다양하게 세울 수 있었다. 따라서 이 사례는 초기 답사와 후기 답사 사이의 명시적 지질학 지식 및 탐구 교수·학습이 학생들의 지질학 지식과 탐구 능력(특히 귀추 능력)을 향상시켰음을 잘 보여준다.

3) 지질 사건 가설의 평가

(1) 학생 주도적으로 관찰 및 추리를 반복해 과학적으로 타당하게 가설을 발전시킴

방해석맥의 생성 과정에 대한 추론에서, 학생들은 다양한 지질학 자원을 활성화하고 이를 조합하여 4개의 경쟁 가설을 생성했다. 이러한 경쟁 가설들(Table 9)은 학생들의 논의 과정에서 다양한 측면에서 평가되었으며, H2a, H2b, H2c는 기각되고 H2d가 최종 가설로 선정되었다. H2a는 추가 관찰 증거인 염산 반응 여부와 어긋나는 자원(석영)을 포함하고 있기 때문에 기각되었다. H2b는 자원에 해당하는 과학 개념(결핵체)에 의해 기대되는 형태와 실제 관찰 현상의 형태가 다르기 때문에 기각되었다. H2c는 명시적으로 기각된 적은 없으나, 이 가설이 발전된 H2d와의 차이점을 고려하면, 흰색 물질의 조직과 더 유사한 형태를 가진 자원(대리암)이 선택되고, 덜 유사한 형태를 가진 자원(석회암)은 기각된 것을 알 수 있다. 학생들이 가설 평가 과정을 거쳐 최종적으로 고안한 H2d는 학생들이 알고 있는 과학 개념 및 이론과 어긋나지 않으며, 학생들이 수집한 관찰 증거를 모두 설명할 수 있는 것이었다. 경쟁 가설 H2a, H2b, H2c, H2d의 타당성을 규칙 자체의 과학적 정확성, 규칙과 관찰 현상과의 유사성, 귀추 논리의 정

합성 측면에서 연구자가 평가한 것과 비교했을 때에도, H2d가 가장 타당했다(Table 10).

학생들이 최종적으로 생성한 H2d가 포함하는 지질학적 사건을 시간 순서대로 정리하면 ‘모암이 생성되고 난 후 암체가 끊어져 틈이 생성된 후, 그 틈을 석회질 물질이 채우고 굳어져 퇴적암맥(석회암)이 생성되고, 이러한 퇴적암맥이 변성을 받아 대리암이 되었다.’는 것이다. 추리의 정답인 방해석맥이 생성되는 과정은 암체에 절리가 생성된 후 그 사이를 광화유체에서 침전된 방해석이 채우게 되는 것이므로, 학생들은 구조적으로 일치하는 추론을 한 것이다. 뿐만 아니라 대리암을 이루는 주된 광물은 방해석이므로, 정답인 방해석맥과 성분적으로 동일한 추론을 했다고 평가할 수 있다. 정리하면, 학생들은 지질 현상의 구조 및 성분 측면에서 과학적으로 거의 정답에 가까운 추론을 수행했다.

학생들이 추리의 정답인 방해석맥 가설을 세우지 못했던 이유는 방해석이라는 광물이 맥의 형태로 나타날 수 있다는 것에 대한 지식이 없었기 때문이었다. 만약 방해석맥에 대한 지식을 가지고 있었다면 이들은 과학적으로 타당한 설명 가설을 구성하는 데 성공했을 것이라고 기대할 수 있다. 그런데 실제 지질학자들도 지질학의 전 영역에 대한 지식을 가지고 있는 것은 아니며, 본인이 가지고 있는 자원 내에서 가장 타당한 설명을 고안해낸다. 이러한 측면에서 학생들은 지질학자와 마찬가지로 숙련된 귀추적 추론을 바탕으로 가장 타당한 가설을 발전시켜갔다고 평가할 수 있다. 이렇듯 학생들이 스스로 과학적으로 타당성이 높은 설명 가설을 구성했던 것은 이 시기 학생들이 적절한 지질학(과학) 지식을 가지고 있으며 동시에 가설을 생성하고 정교화하기 위한 귀추적 추론 능력을 잘 갖추고 있었음을 시사한다.

한편, 모든 과정은 공통적으로 현장의 직접 증거와

관련되어 진행되었는데, 이는 초기 답사 시 초보자의 가설 정교화 과정과의 뚜렷한 차이점이다. 후기 답사의 숙련된 학생은 초기 답사의 초보자와 달리 현장의 직접 증거를 설명할 수 있는 가설을 더욱 타당하다고 평가하게 되었다. 다르게 말하면, 숙련된 학생은 관찰 증거에 의해 지지되는 과학적 가설을 구성했고, 초보자는 관찰 증거에 의해 지지되지 않는 가설을 구성했다. 관찰 증거가 강조되는 것은 지구과학 탐구의 본성과 관련된다. Manduca and Kastens (2012)는 지구과학 추론을 정의하는 특성으로 관찰과 가설 검증 사이의 상호작용을 꼽으며, 지구과학 탐구에서 관찰은 가설을 생성하는 데 사용되며, 가설의 궁극적 검증은 이러한 관찰을 설명할 수 있는 능력이라고 설명했다. 따라서 학생들이 가설의 설명력을 평가하는 데 관찰 증거를 강조하게 된 것은 지구과학자의 실제 사고 과정에 보다 가까운 형태로 탐구를 수행하게 된 것을 의미한다.

뿐만 아니라 과학적 주장이 증거에 근거해야 한다는 것은 과학적 추론의 핵심으로 과학 교육에서 오랫동안 강조되어 왔다. ‘증거에 기반하여 논증하기’가 NGSS에서 제시한 과학적 실천 중 하나인 것에서 단적으로 알 수 있다(NGSS Lead States, 2013). 그런데 학습자가 처음부터 증거에 의해 지지되는 주장을 구성해내는 것은 아니며, 이러한 과학적 사고와 논증의 습관은 교육과 훈련을 통해 길러질 수 있다(Kuhn and Reiser, 2006). 본 연구에서 초보자와 달리 숙련자가 지질 현상에 대한 가설을 정교화 할 때 현장의 관찰 증거를 중요하게 여기도록 변화한 것은 이러한 과학적 사고의 논증 습관이 내면화되었음을 의미한다.

‘지오투어를 떠나요’ 프로그램에서 학생들은 초반보다 후반에 증거에 기반한 논증을 구성하는 과학 실천을 더 잘 할 수 있게 되었다. 이러한 발전은 프로그램에 포함된 다양한 학습 경험에 기인한다고 볼 수 있다. 특히 다양한 상황에서 귀추를 연습할 때 교사가 근거 제시 요구를 반복적으로 한 것은 주요한 학습 경험일 수 있다. 예를 들면, 12차시의 교실 수업에서 지질 현장 사진을 관찰하고 이로부터 지사를 구성하는 과제에서, 학생이 관찰한 암석이 변성암일 수도 있다는 가설을 제시하자, 교사는 “이게 변성암이라는 근거는?”이라는 질문을 제시하고, 관찰 증거와 해당 자원의 개념을 연결시켜 설명 가설(주장)을 구성할 것을 요구했다. 교사는 현장 지질 답사 중에도 이와 비슷한 요구를 지속적으로 제시하며 학생들

을 훈련시켰다. 이상과 같이 보다 실제적인 지질학 탐구를 위해 설계된 ‘지오투어를 떠나요’ 프로그램에서 학생들은 가장 보편적인 과학적 추론, 즉 증거에 기반한 논증 실천을 향상함과 동시에 실제적 지구과학 추론의 본성을 경험했다고 볼 수 있다.

### 3. 지질 답사에서 능숙한 귀추 수행을 위한 지질학 지식 및 탐구 역량

연구 결과, 전반적으로 학생들의 귀추 수준은 본 프로그램 초기의 초기 답사보다 후기의 후기 답사에서 능숙하게 변화했다. 초기 답사와 후기 답사에서 나타난 학생들의 귀추 특징을 비교 분석하여, 지질 답사에서 능숙한 귀추 수행을 하기 위한 학습자 역량의 하위 요소로 풍부한 지질학 개념의 정확한 이해, 지질학 탐구(귀추) 방법의 이해와 숙달 등 두 가지를 도출했다. 또한 이러한 하위 요소가 능숙한 귀추 수행에 미치는 영향을, Fig. 1과 같이 각 귀추 과정에 이르는 구체화된 경로로 나타냈다. 이러한 경로는 인지 심리학의 재인(recognition) 및 과학 철학 및 과학 교육에서의 문제 발견, 가설 생성, 귀추 관련 등과 관련된 기존 이론과 본 연구의 결과를 통합해 개발되었다.

먼저, 귀추 과정의 시작인 지질 단서 포착 수행에 미치는 학습자의 지질학 지식 및 탐구 역량의 영향을 살펴보기로 한다. 암석 조직, 암석 구조, 지질 구조 등 다양한 지질 현상에 대한 지식(개념)이 많은 것은 이러한 개념이 포괄하는 시각적 표상(이미지) 또한 기억 속에 많다는 것을 의미한다. 인지 심리학에 따르면 관찰자는 기억 속에 유사한 형태를 가진 무늬(pattern)를 지각할 가능성이 높다(Reed, 2006). 따라서 지질학 개념의 시각적 표상을 다양하게 가지고 있을수록 복잡한 지질 노두에서 익숙한 형태의 지질 단서를 선별적으로 빠르게 지각할 수 있다. 실제로 초기 답사보다 후기 답사에서 학생들은 보다 다양한 지질 단서를 포착했다. 그런데 후기 답사의 결과는 학생들이 지각한 모든 지질 단서에 대한 귀추를 수행하는 것은 아니며, 지각한 지질 형태 중 귀추적 탐구 대상으로서 적절한 것인지 판단하는 과정을 암묵적으로 거침을 보여주었다. 귀추적 탐구를 수행할 지질 단서를 포착한다는 것은 과학 탐구에서 문제 발견이 그러한 것처럼, 그 문제가 지질학적으로 추구할 만한 문제인가를 평가하는 것을 포함한다(Hoover, 1990; Mogk and Goodwin, 2012) 것이다. 이러한 평

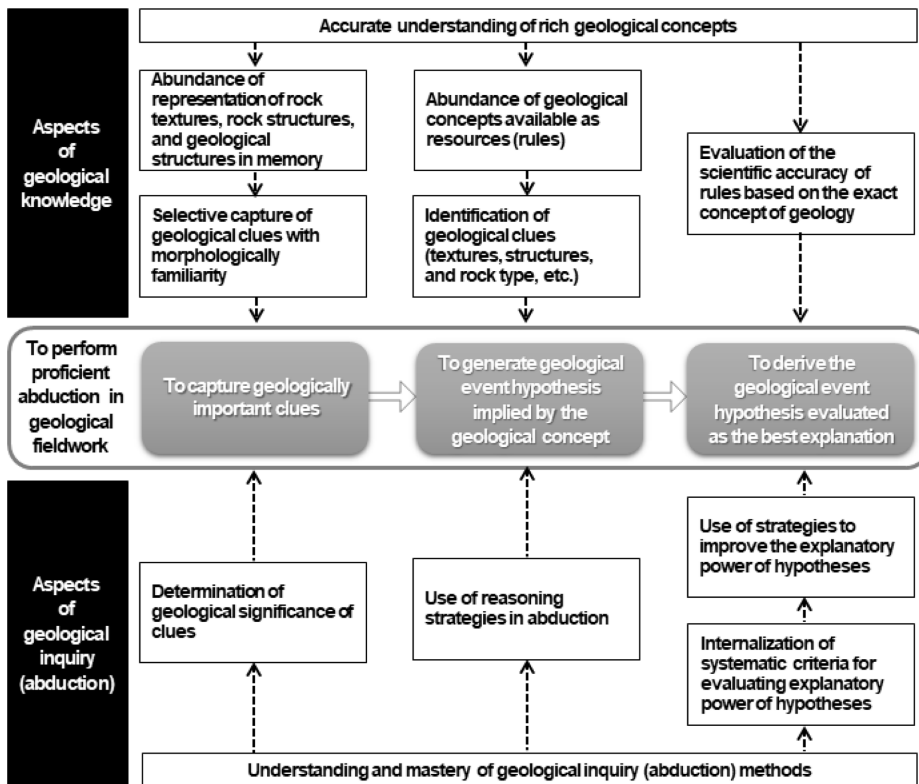


Fig 1. Competency factors and pathways for proficient abductive inquiry in geological fieldwork

가는 지질학 개별 개념 자체를 아는 것만으로는 불가능하다. 지질 단서의 지질학적 중요도를 판단하는 것은 지질학 탐구의 목적과 결과를 이해함으로써 가능하다. 따라서 지질 현장에서 지질학적으로 중요한 단서를 포착하기 위해서는 다양한 암석 조직, 암석 구조, 지질 구조 개념에 대한 이해와 함께 지질학 탐구에서 중요하게 여겨지는 추론의 결과를 유도할 수 있는 지질 단서인지의 여부를 판단할 수 있는 귀추 능력이 함께 요구된다.

다음으로, 포착된 지질 단서를 바탕으로 과거의 지질학적 사건에 대한 가설을 생성하는 과정에 미치는 학습자의 지질학 지식 및 탐구 역량의 영향을 살펴보자. 후기 답사에서 학생들은 알고 있는 여러 지질학 개념, 즉 암석 조직, 암석 구조 및 지질 구조에 대한 지식을 바탕으로, 해당 지질 단서를 쉽게 판별하여 그 지질학 개념이 함축하는 지질 형성 과정을 규칙으로 삼아 지질학적 사건 가설을 생성했다. 이는 탐구자의 개별 지질학 지식(개념)이 가설 생성에 영향을 미침을 잘 보여준 것이다. 그런데 한편, 즉각적

으로 판별하기 어려운 지질 단서의 경우, 해당 단서에 대한 가설을 구성하기 위해서 학생은 기억 속에서 유사한 자원을 활성화하거나 혹은 참고 자료를 활용하는 등의 방식으로 가용 자원을 확장하는 등 다양한 자원을 고려해야 했다. 뿐만 아니라 세부 관찰 정보를 다양하게 수집하여, 이러한 관찰 증거를 해당 자원으로 설명할 수 있는지 판단해야 했다. 이는 탐구자가 지질 답사에서 지질학적 사건 가설 생성을 잘 수행하기 위해서는 지질학 탐구의 방법, 특히 귀추의 방법에 대한 이해와 규칙 추리 전략의 숙달이 필요함을 의미한다. 이는 학생들이 특정 가설 생성 과제를 수행할 때 학생들의 사전 지식(배경 지식)과 귀추 능력이 각각 모두 중요하게 영향을 미침을 보고해 온 많은 선행 연구들의 결과(Kwon et al., 2003; Jeong, 2006; Kwon et al., 2006; Kim and Lee, 2007)와 일맥상통한다. 정리하면, 지질학 개념이 함축하는 지질 사건 가설 생성을 수행한다는 것은 개별 지질학 개념과 함께 귀추적 탐구 방법에 대한 별도의 이해와 숙달을 전제한다.

마지막으로, 생성된 지질 사건 가설을 평가하고 정당화하는 과정에 미치는 학습자의 지질학 지식과 탐구 역량의 영향을 살펴보기로 한다. 초기 답사에서 미숙한 지질학 개념을 가지고 있었던 학생들은 과학적으로 타당한 가설을 거의 구성하지 못했지만, 후기 답사에서 보다 성숙한 지질학 개념을 가지고 있었던 학생들은 과학적으로 타당한 가설을 구성하는 경향이 있었다. 이는 과학적으로 설명력 높은, 즉 최선의 설명으로서의 가설을 구성하는 과정에 지질학 개념(지식)이 중요한 영향을 미침을 의미한다. 정확한 지질학 개념은 가설 평가 기준의 하나인 규칙의 과학성과 관련되기 때문이다. 그러나 한편 초기 답사에서 자원으로 활용(규칙으로 차용)된 과학 지식이 정확하다 하더라도 이것이 관찰 증거와 모순되는 경우도 있었다. 즉, 정확한 지질학 개념(자원)을 활용하더라도 이와 관찰 증거를 잘못 연결하면 설명력 있는 가설이라고 볼 수 없다. 따라서 지질 답사의 귀추 과정 중 가설의 평가를 능숙하게 수행하기 위해서는 지질학 탐구에서 최선의 설명이 무엇인지에 대한 이해와 함께, 지질학 탐구에서 관찰 증거를 가장 잘 설명할 수 있는 가설을 생성하기 위해 관찰 증거와 함께 지질학 이론에 바탕한 가설을 방법적(methodical)으로 비교해가는 과정(Manduca and Kastens, 2012)에 대한 숙달이 요구된다. 정리하면, 최선의 설명으로 평가되는 지질 사건 가설을 능숙하게 도출한다는 것은 지질학 개념에 대한 정확한 이해와 함께 가설의 설명력을 평가하는 과학적 기준, 가설 설명력 향상을 위한 전략 등과 관련된 귀추적 추론 방법의 이해와 숙달을 전제한다.

종합하면, 지질 답사에서의 각 귀추 과정을 능숙하게 수행하기 위해서, 즉 지질학적으로 중요한 단서를 포착하고, 지질학 개념이 함축하는 지질 사건 가설을 생성하며, 생성된 가설을 정교화·정당화하여 최선의 설명으로 평가될 수 있는 가설을 도출하기 위해서는, 탐구자에게 지질학 지식(개념) 측면과 탐구(귀추) 측면의 역량이 모두 요구된다.

## 결론 및 제언

본 연구는 그동안 야외 지질 답사 교육에서 간과되어 온 탐구의 과정적 측면을 조명한 새로운 지질 답사 교육 과정을 설계 및 적용했다. 확인 실험이 결과로서의 과학 지식을 학습하는 데에는 효과적일 수

있으나 과정으로서의 과학 탐구를 경험하는 데에 한계가 있는 것처럼, 확인 위주의 지질 답사를 통해서 학습자는 지질학 탐구의 본성을 경험할 수 없다. 반면, 귀추적 탐구를 수행할 수 있도록 설계된 본 연구의 지질 답사에서는 학생들이 탐구 문제에 해당하는 지질 단서를 스스로 발견하고 지질 단서의 생성 원인을 추론하여 가설을 생성하는 등 과학적 지식을 생성하는 과학의 과정을 직접 경험했다. 즉, 이 연구는 과학적 지식 생성을 경험하는 탐구 기반 야외 지질 답사 교육이 가능함을 예증한 의의가 있다.

특히 9개월 이상 지속된 ‘지오투어를 떠나오’ 프로그램에서 참여 학생이 지질 답사에서 수행하는 귀추적 탐구 양상의 변화를 관찰하여 그 특징을 제시한 본 연구의 가치는 큰 가치가 있다. 동일한 학생들이 여러 번의 지질 답사를 수행하는 것을 추적해(following) 그 변화에 대해 밝힐 필요성은 예전부터 제기되어 왔다(Orion and Hofstein, 1994). 그런데 그동안 초·중·고 학생을 대상으로 한 지질 답사 교육은 주로 일회성으로 수행되어(Jung and Shin, 2017) 연구 설계 상 이러한 변화를 추적할 수 없는 한계가 있었다. 본 연구에서는 장기간의 프로그램을 통해 총 33여 시간의 교실 수업 전후에 수행된 초기 답사와 후기 답사에서 나타난 학생들의 귀추 수행 양상을 대조했다. 초기 답사에서 학생들은 지질학적 중요도가 낮은 지질 단서를 포착했고, 해당 단서의 생성 원인을 설명할 수 있는 가설을 자발적으로 생성하지 않았으며, 귀추 양식이 주어진 후에 비로소 일상 경험 및 일반 과학 지식을 규칙으로 한 가설을 생성했고, 생성된 가설을 평가하지 않거나 과학적 타당성이 낮은 평가를 수행해 최종 도출된 가설이 과학적 설명력을 갖춘 경우가 드물었다.

반면, 후기 답사에서 학생들은 지질학적 중요도가 높은 핵심 지질 단서를 포착했고, 해당 단서의 생성 원인을 설명하는 가설을 본인이 알고 있거나 혹은 참고 자료로 제공된 지질학 지식을 차용해 생성했으며, 생성된 가설을 관찰(증거)과 규칙(과학 이론)의 정합성을 바탕으로 평가함으로써 최종적으로 과학적 설명력이 높은 가설을 생성하는 경향이 있었다. 초기 답사와 후기 답사에서 드러난 귀추 수행 양상의 차이는 학습자의 실제적 지질학 탐구 경험을 목표로 설계된 귀추적 탐구 기반 지질 답사 프로그램의 결과가 프로그램의 진행 시점(혹은 학습자의 숙련 정도)에 따라 달라질 수 있음을 명백하게 보여주었다.

초기 답사에서 초보자인 학생들은 주체적으로 귀추적 탐구를 수행했지만, 지질학적으로 의미 있는 단서 포착 및 지질학 지식을 차용한 가설 생성은 거의 하지 못하는 등 지질학적 의미가 별로 없다. 이러한 결과는 지질 답사 초보자인 대부분의 초중고생을 대상으로 실제적 지질학 탐구를 강조한 지질 답사 교육을 할 때에는 학생의 주도적 귀추 수행과 함께, 지질학적으로 중요한 단서 포착 및 지질학적 사건 가설 생성을 위한 교사의 개입을 보완적으로 고려할 필요성을 시사한다. 이와 관련해 답사 준비, 1차 현장 답사 활동, 1차 답사 정리 활동, 2차 현장 답사 활동, 최종 답사 정리 활동 등으로 구성된 본 프로그램의 야외 지질 답사 학습 절차의 활용을 고려할 수 있다. 본 프로그램의 야외 지질 답사 학습 절차는 동일한 현장에 대한 답사 및 정리 활동을 반복하는 것이 특징이다. 1차 현장 답사 및 1차 답사 정리 활동에서 참여자가 주도적으로 귀추적 탐구를 수행하게 한 후, 동일한 장소에 대한 2차 현장 답사 활동에서 교수자가 중요한 지질 현상에 대해 과학적으로 타당한 귀추적 추론에 도달하도록 명시적으로 강의하고 시범을 보이는 것이다. 이러한 반복적 과정을 통해 학습자는 주인 의식(ownership)을 가지고 탐구를 수행하는 것에 더해, 지질학자의 인지 과정에 보다 가까운 탐구 내용과 방법을 경험할 수 있다. 즉, 본 연구에서 개발한 야외 지질 답사 학습 절차는 실제적 탐구의 두 가지 의미인 탐구 수행 시의 인지 과정 측면과 탐구자의 주도권 측면을 모두 고려해 고안된 것으로, 현장 적용 시 교육적 의미가 클 것으로 기대된다.

초기 답사와 달리 후기 답사에서 학생들은 지질학적으로 중요한 단서를 포착하고 지질학 지식을 차용해 지질 사건 가설을 생성하는 등 지질학적으로 의미 있는 귀추적 탐구를 수행했다. 초기 답사와 후기 답사 사이에 수행된 교실 수업을 후기 답사의 사전 학습으로 간주한다면, 초기 답사와 후기 답사에서 학생들의 귀추 수행 양상의 차이는 사전 학습의 차이로 설명될 수 있다. 지금까지의 선행 연구에서는 야외 지질 답사의 사전 학습(Orion의 야외 학습 절차에서는 ‘준비 단계’)을 통해 방문할 지질 현장 노동에서 관찰될 개념, 과정, 암석 등을 포함한 지질학의 기초 개념을 배우거나(Orion, 1989; 1993), 클리노미터나 모바일 기기와 같은 장비의 사용을 미리 연습하는 것(Chang et al., 2012) 등을 강조해 왔다. 이와 관련해 후기 답사의 사전 학습으로는 지질학 기초

개념들이 다루어졌으며, 중학생의 교육 과정을 고려해 야외 지질 답사 활동에서 주향과 경사를 측정하는 활동이 제외되었기 때문에 교실 수업에서 클리노미터 등과 같은 장비를 활용한 측정 연습은 이루어지지 않았다. 교실 수업에서 명시적으로 교수·학습한 지질학 개념의 내용은 암석의 성인과 분류, 암석 조직·구조 및 지질 구조, 지질시대 및 지사학 법칙 등 야외 지질 답사 수행과 직접적으로 관련된 것이었고, 다양한 교수 방법을 활용했다.

후기 답사의 사전 학습이 기존의 지질 답사 교육과 차별화되는 독창적 지점은 지질학 탐구(귀추적 추론) 차원의 명시적 교수·학습이다. 야외 지질학 탐구는 실험 과학과 다른 탐구 방법과 추론의 방식을 활용하며, 본 연구의 결과로 밝혀졌듯 초보 학생들은 야외 지질학 탐구의 방법과 추론의 양식에 익숙하지 않다. 그럼에도 불구하고 그 동안의 지질 답사 교육에서 개념에 비해 탐구 방법과 추론의 양식의 교수·학습은 간과되어 왔다. 그러나 과학을 학습한다는 것은 단지 내용 지식을 발달하는 것뿐만 아니라, 절차적 지식과 인식론적 지식을 발달하는 것을 의미한다(Kind and Osborne, 2017). 따라서 지질 답사 교육에서는 지질학 개념과 함께 지질학 탐구가 무엇이며, 이것을 어떻게 수행하는 것인지, 그 추론의 본질은 무엇인지가 함께 다루어질 필요가 있다. 특히 과학적 추론이 가설-연역적 논증에 전적으로 의존한다는 신화(myth)에 바탕하는 경향이 있는 학교 과학 문화에 익숙한 학생들에게 귀추적 추론은 낯선 것이기 때문에, 이를 명시적으로 교수할 필요가 있다. 이러한 필요성에 의거해 후기 답사의 사전 수업에 해당하는 교실 수업에서는 지질학 탐구의 주요 특성인 귀추적 추론을 명시적으로 교수·학습했다.

이렇듯 초기 답사와 후기 답사 사이에 이루어진 교실 수업을 통한 지질학 지식(개념)과 지질학 탐구(귀추적 추론)의 명시적 교수·학습 내용이 이후 지질 답사에서 귀추적 탐구의 각 과정(지질 단서의 포착, 지질 사건 가설의 생성, 지질 사건 가설의 평가) 수행에 구체적으로 어떤 영향을 미칠 수 있는 지 분석한 결과도 제시했다. 이러한 연구 결과는 교실 수업에서 지질학 지식과 귀추적 추론의 명시적 교수·학습과 실제 지질 답사에서 귀추 수행 특성의 관련성을 설득력 있게 보여준다. 이에 따라 실제적 탐구가 강조된 지질 답사의 사전 학습으로 지질학 지식과 더불어 지질학 탐구의 핵심인 귀추적 추론이 설계될

필요성이 도출된다.

장기간 학교 밖 과학 교육 프로그램을 통해 야외 지질 답사에서 학생들의 귀추적 탐구 수행 특성을 질적·귀납적으로 밝힌 본 연구에 기반하여, 향후 초·중등 학교 및 대학교 지질 답사 교육 현장에 귀추적 탐구 기반 야외 지질 답사 교육을 도입하기 위한 실질적·구체적 방안들이 마련되기를 기대한다. 본 연구에서 개발된 ‘지오투어를 떠나요’ 프로그램은 참여 학생들이 지질학 탐구의 본성을 경험하고 귀추적 추론 수행 수준을 향상하는 등의 새로운 교육적 효과가 있는 것으로 나타났으나, 총 21차시, 91시간에 걸쳐 상당히 장기간 동안 지질학 영역에 특화된 내용을 교육하는 학교 밖 프로그램으로, 초·중등 학교 과학 수업의 정규 과정으로 적용되기는 현실적으로 어렵다. 한편, 본 프로그램의 틀(framework) 중 핵심적인 교실 및 야외 지질 답사 교육 과정, 즉 초기 답사, 지질학 지식 교실 수업, 귀추적 탐구 교실 수업, 후기 답사 등의 순서를 따른 단기간의 집약적 프로그램이 개발된다면, 교내 과학 동아리 활동 등에 적용 가능성이 높아질 것으로 기대된다. 특히 귀추적 탐구 기반 야외 지질 답사 교육을 위한 교수·학습 모형이나 모듈과 같은 형태가 제시된다면 보다 많은 과학 교사가 유용하게 활용할 수 있을 것이다.

뿐만 아니라, 본 연구 결과는 대학교에서 이루어지는 지질 답사 교육에 주는 시사점도 크다. 지질학을 전공하는 학부 학생들은 전문 지식과 연구 역량을 갖춘 지질학자가 아니라는 점에서 중고등 학생들을 대상으로 진행한 본 연구 결과는 지질 답사 교육에도 고려할 수 있다. 특히, 지질학 탐구가 가지고 있는 고유한 특성인 귀추적 추론을 활용한 대학 수준의 야외 지질 답사 교육 개선 방안에 대한 후속 연구가 이어짐으로써 학부 야외 지질 답사 교육의 의미와 방법 재고에 도움을 줄 것으로 기대한다.

## 사 사

본 논문은 정찬미의 2018년도 박사 학위논문의 데이터를 활용하여 재구성하였습니다.

## References

American Association for the Advancement of Science [AAAS]., 1993, *Benchmarks for Science Literacy*. Oxford University Press, New York, USA.

- Ault, C.R., 1998, Criteria of excellence for geological inquiry, the necessity of ambiguity. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 189-212.
- Barab, S., Squire, K., 2004. Design-based research: Putting a stake in the ground. *The Journal of the Learning Sciences*, 13, 1-14.
- Chang, C.H., Chatterjea, K., Goh, D.H.L., Theng, Y.L., Lim, E.P., Sun, A., Razikin, K., Kim, T-Q., Nguyen, Q.M., 2012, Lessons from learner experiences in a field-based inquiry in geography using mobile devices. *International Research in Geographical and Environmental Education*, 21, 41-58.
- Charmaz, K., 2006, *Constructing grounded theory: A practical guide through qualitative research*. SAGE publications, London.
- Cobb, P., Confrey, J., DiSessa, A., Lehrer, R., Schauble, L., 2003, Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32, 9-13.
- Dodick, J., Orion, N., 2003, Cognitive factors affecting student understanding of geologic time. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 415-442.
- Edelson, D.C., 2002, Design research, what we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning sciences*, 11, 105-121.
- Engelhardt, W.v., Zimmermann, J., 1988, *Theory of earth science*, Cambridge University Press, Cambridge. (in German)
- Fann, K.T., 1970, *Peirce's theory of abduction*. Martinus Nijhoff Publishers, Hague.
- Fischer, H.R., 2001, Abductive reasoning as a way of worldmaking. *Foundations of Science*, 6, 361-383.
- Frodeman, R., 2003, *Geo-logic, breaking ground between philosophy and the earth sciences*. State University of New York Press, New York.
- Glaser, B. G., Strauss, A. L., 1967. *The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research*. Aldine Publishing Company, Chicago, US.
- Gray, R., Kang, N.H., 2014, The structure of scientific arguments by secondary science teachers, comparison of experimental and historical science topics. *International Journal of Science Education*, 36, 46-65.
- Hallberg, L., 2006. The 'core category' of grounded theory: Making constant comparisons. *International Journal of Qualitative Studies on Health and Well-being*, 1, 141-148.
- Hanson, N.R., 1958, *Patterns of discovery: An inquiry into the conceptual foundations of science*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Harman, G.H., 1965, The inference to the best explanation. *The philosophical Review*, 74, 88-95.
- Hoover, S.M., 1990, Problem finding/solving in science, moving toward theory. *Creativity Research Journal*, 3, 330-332.

- Jeong, J., 2006, Role of hypothesizing abduction in high school students' generation of hypotheses about root-pressure. *Biology Education*, 34, 405-414. (in Korean)
- Joung, Y., Song, J., 2006, The features of the hypotheses generated by pre-service elementary teachers using the form of Peirce's abduction. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 25, 126-140. (in Korean)
- Jun, Y., Kwon, H., Choi, B., Park, J., Kim, C., 2007, Perceptions and practices of teachers in an earth science teachers' research group about teaching geologic field trip, a case study. *Journal of the Korean earth science society*, 28, 686-698. (in Korean)
- Jung, C., Shin, D., 2017, Comparing elements of inquiry in field geology by learner groups, focusing on cases of geological fieldwork education. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 10, 235-253. (in Korean)
- Jung, C.M., 2018. Development of process theory and outcome theory for junior high school students' outdoor fieldwork education focusing on abductive inquiry. Unpublished Ph.D. dissertation, Ewha Womans University, Seoul, Korea, 438p. (in Korean)
- Kim, C.J., 2002, Inferences frequently used in earth science. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 23, 188-193. (in Korean)
- Kim, I., Lee, H., 2007, The role of student's prior knowledge in the processes of generating scientific explanatory hypothesis. *New Physics: Sae Mulli*, 54, 65-73. (in Korean)
- Kim, T., Lim, J., 2016, Research on activation plan of National Geoparks through analysis on education programs of National Geoparks. *Journal of the Geological Society of Korea*, 52, 609-621. (in Korean)
- Kim, Y., 2012. *Qualitative research methodology: Bricoleur* (2nd Ed.). Academy Press, Seoul, Korea. (in Korean)
- Kind, P., Osborne, J., 2017, Styles of scientific reasoning: a cultural rationale for science education?. *Science Education*, 101, 8-31.
- Kuhn, L., Reiser, B., 2006, Structuring activities to foster argumentative discourse. In: annual meeting of the American Educational Research Association, San Francisco.
- Kusnick, J., 2002, Growing pebbles and conceptual prisms-understanding the source of student misconceptions about rock formation. *Journal of Geoscience Education*, 50, 31-39.
- Kwak, H., Park, C., Lee, T., Kim, M., Jin, Y., 2008, *Dictionary of Experimental Psychology*. Sigma Press, Seoul, Korea. (in Korean)
- Kwon, Y.J., Jeong, J.S., Park, Y.B., 2006, Roles of abductive reasoning and prior belief in children's generation of hypotheses about pendulum motion. *Science & Education*, 15, 643-656.
- Kwon, Y., Shim, H., Jeong, J., Park, K., 2003, Role and process of abduction in elementary school students' generation of hypotheses concerning vapor condensation. *The Journal of The Korean Earth Science Society*, 24, 250-257. (in Korean)
- Laudan, R., 1987, *From mineralogy to geology: the foundations of a science, 1650-1830*. University of Chicago Press, Chicago.
- Lawson, A.E., 2000, The generality of hypothetico-deductive reasoning, making scientific thinking explicit. *The American Biology Teacher*, 62, 482-495.
- Lawson, A.E., 2002, What does Galileo's discovery of Jupiter's moons tell us about the process of scientific discovery?. *Science & Education*, 11, 1-24.
- Lee, G., Kwon, B., 2010, Reasoning-based inquiry model embedded in earth science phenomena. *The Journal of The Korean Earth Science Society*, 31(2), 185-202. (in Korean)
- Lee, K., 2008, Abduction and retrodution in social sciences. *Society and History*, 80, 287-321. (in Korean)
- Maeng, S., Park, M., Lee, J., Kim, C., 2007, A case study of middle school students' abductive inference during a geological field excursion. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 27, 818-831. (in Korean)
- Magnani, L., 2001, *Abduction, reason, and science: Process of discovery and explanation*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Manduca, C.A., Kastens, K.A., 2012, Geoscience and geoscientists, uniquely equipped to study Earth. *Geological Society of America Special Papers*, 486, 1-12.
- Ministry of Education [MOE], 2015, 2015 Revised Curriculum -Science-. MOE, Seoul, Korea. (in Korean)
- Mogk, D.W., Goodwin, C., 2012, Learning in the field, synthesis of research on thinking and learning in the geosciences. *Geological Society of America Special Papers*, 486, 131-163.
- Munn, B.J., Tracy, R.J., Jenks, P.J., 1995, A collaborative approach to petrology field trips. *Journal of Geological Education*, 43, 381-381.
- National Research Council [NRC], 1996, *National science education standards*. National Academies Press, Washington.
- National Research Council [NRC], 2000, *Inquiry and the national science education standards, a guide for teaching and learning*. National Academies Press, Washington, US.
- NGSS Lead States., 2013, *Next Generation Science Standards*. The National Academy Press, Washington.
- Oh, P., 2008, Comparison of hypotheses-formation processes between an earth scientist and undergraduate students, a case study about a typhoon's anomalous path. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 28, 649-663. (in Korean)

- Oh, P., 2017, The roles and importance of critical evidence (CE) and critical resource models (CRMs) in abductive reasoning for earth scientific problem solving. *Journal of Science Education*, 41, 426-446. (in Korean)
- Oh, P., Kim, C., 2005, A theoretical study on abduction as an inquiry method in earth science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 29, 586-601. (in Korean)
- Orion, N., 1989, Development of a high-school geology course based on field trips. *Journal of Geological Education*, 37, 13-17.
- Orion, N., 1993, A model for the development and implementation of field trips as an integral part of the science curriculum. *School Science and Mathematics*, 93, 325-331.
- Orion, N., Hofstein, A., 1994, Factors that influence learning during a scientific field trip in a natural environment. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 1097-1120.
- Park, J., 2001, Analysis of students' processes of generating scientific explanatory hypothesis, focused on the analysis of university students' responses. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 21, 609-621. (in Korean)
- Raab, T., Frodeman, R., 2002, What is it like to be a geologist? a phenomenology of geology and its epistemological implications. *Philosophy & Geography*, 5, 69-81.
- Reed, K.S., 2006, *Cognition: Theory and Applications* (7th ed), Sigma Press, Seoul, Korea. (in Korean)

---

Manuscript received: July 21, 2020

Revised manuscript received: October 9, 2020

Manuscript accepted: October 23, 2020