



야외 지질학 탐구 요소 추출 및 지질 답사 교육 문헌 분석

정찬미, 신동희*
이화여자대학교

Drawing Elements of Inquiry in Field Geology and Analyzing Field Geology Education in Previous Studies

Chanmi Jung, Donghee Shin*
Ewha Womans University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 28 April 2017

Received in revised form

18 May 2017

5 June 2017

Accepted 5 June 2017

Keywords:

field geology education,
authentic geologic inquiry,
research synthesis, elements of
inquiry in field geology, analysis
criteria for field geology
education

ABSTRACT

This study is a research synthesis analyzing how field geology education is conducted in domestic and foreign countries in the recent 20 years and how it reflects the characteristics of authentic geologic inquiry. For these purposes, we first drew five elements of inquiry in field geology (observation, representation, abductive reasoning, spatial thinking, and diachronic thinking) considering the field geologists' actual research method as well as its pedagogical significance in science education. We developed analysis criteria for field geology education. The 53 cases were analyzed based on each element of inquiry in field geology and its sub-elements, and also the tendency of overall elements. As a result, observation and representation were included in most cases, but there appeared less frequency in order of abductive reasoning, spatial thinking, and diachronic thinking. For observation, the ratio of purposive observation and autonomous observation is high. For representation, both visualizing and linguistic type of representation and free-form representation appear frequently. For abductive reasoning, the step of generating hypothesis is often included and the hypothesis tends to be about the geological formatting process. For spatial thinking, type of self-location and perception of the spatial configuration of the structure appear at a high rate. For diachronic thinking, type of stratigraphic sequence is the most frequent. The proportions of the cases including three or more elements of inquiry in field geology consist 87% of the total. We suggested implications for improving geological fieldwork as authentic science inquiry in the future.

1. 서론

과학 탐구는 과학자들이 자연 세계에 대한 이해를 얻기 위하여 행하는 일이다. 과학 탐구에서는 보편적인 한 가지 방법만 사용하는 것이 아니라, 학문 특성에 따라 서로 다른 탐구 방법을 사용한다(Lederman *et al.*, 2002; Kang & Noh, 2014). 대표적 과학 탐구 방법으로 실험(experimentation)이 있다. 실험은 잘 통제된 실험실 환경에서 변수 간 관계를 검증하기 위해 자연을 조작하는 탐구 형태를 말한다. 그러나 전통 지질학의 탐구 대상인 지질 현상은 시공간 규모가 매우 거대하고 현상의 원인이 복잡적이므로 실내에서 통제된 실험으로 재현되기 어렵다(Kim, 2002). 지질학 탐구의 목적은 지구가 현재의 모습을 가지기까지 발생한 사건을 순차적으로 밝혀내거나 지구에서 일어나는 현상의 원인을 밝히는 것이다(Laudan, 1987). 따라서 지질학자들은 야외에서의 직·간접적 관찰과 측정을 바탕으로 지질학적 사건 및 원인을 추론하는 형태의 탐구를 진행한다(Ault, 1998; Lee & Kwon, 2010). 야외 지질학 탐구는 남아 있는 정보로부터 연구자의 해석에 따라 과거를 추론한다는 점에서 역사학과 유사한 측면이 많아, 역사 과학 및 해석 과학이라고 불리기도 한다(Gray & Kang, 2014;

Oh, 2016).

과학 교육에서 탐구에 대한 강조가 고조되고 있음에도 불구하고, 학교 과학의 탐구는 주로 실험의 형태로 진행되어 왔다(Gray, 2014). 학생들이 실험 외의 과학 탐구 방법 중 하나인 역사 과학 탐구에 노출된 경험이 별로 없다는 연구 결과(Gray, 2014)에서 드러나듯이 학교 과학 교육에서는 과학 탐구 방법의 다양성에 대한 이해를 증진하고자 하는 노력이 많지 않았다. 이에 학생들은 과학 탐구가 곧 실험이라고 생각하거나 과학 탐구 방법이 유일하다고 생각하는 등 과학 탐구 방법의 다양성에 대한 정교하지 못한 인식을 가지고 있는 경우가 많다(Lederman *et al.*, 2002; Gaigher, Lederman, & Lederman, 2014). 이러한 과학 교육 현실에서, 실험 과학과 다른 역사 과학적 탐구 특징을 가진 야외 지질학 탐구의 도입은 학교 과학에서 탐구 방법의 다양성을 증진시키기 위한 방안이 될 수 있다.

야외 지질 답사 교육이 지질학자가 현장 조사에서 수행하는 과학 탐구 과정을 실제적으로 구현하는 참 탐구(authentic inquiry) 형태로 이루어진다면, 과학 탐구 방법의 다양성에 대한 학습자의 풍부한 이해에 도움을 줄 수 있을 것이다. 그러나 그 동안 학교에서 수행되는 야외 지질 답사 교육은 '야외 강의(outdoor lecture)' 형태인 경우가

* 교신저자 : 신동희 (donghee@ewha.ac.kr)

** 이 논문은 2014년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2014S1A5B6037290).

http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2017.37.3.465

많았다(Munn, Tracy, & Jenks, 1995; Jun *et al.*, 2007). 학생이 노두(outcrop)와 직접 상호작용하는 활동을 강조하는 지질 답사 형태에서도, 답사 교육의 목적이 야외 지질학 탐구를 수행하는 것이라기보다 지질학적 개념 이해에 머무르는 경우가 많다(Orion & Hofstein, 1994; Esteves *et al.*, 2013). 이러한 선행 연구들은 기존의 야외 지질 답사 교육에서 학습자가 ‘지질학다운’ 탐구를 경험하고 있는 지에 대한 의문을 제기한다. 그러나 야외 지질 답사 교육이 야외 지질학 탐구의 특성을 잘 반영하고 있는지를 구체적으로 분석한 실증적 연구는 거의 없었다. 야외 지질 답사 교육 사례를 분석한 선행 연구는 일부 수행되었는데, 분석 주제는 지구과학자 양성에 있어서 야외 지질 답사의 가치 및 답사 현장에서 사고와 학습의 특징(Mogk & Goodwin, 2012)이거나 학교(K-12) 과학에서 야외 학습의 필요성 및 야외 학습에서 교사의 역할(Behrendt & Franklin, 2014) 등으로 야외 지질학 탐구 특성을 반영하여 분석한 것이 아니었다. 이 연구들은 또한 연구 방법 측면에서 분석 기준이나 분석틀을 개발하지 않고 기존 사례들을 종합했다.

한편, 교육 과정을 대상으로 지구과학 탐구를 분석한 선행 연구도 있었다. 가장 빈번한 형태의 연구는 국내외의 고등학교 과학 교과서 내 지구과학 영역의 탐구 활동을 과학 탐구 기능 요소로 분석한 것이다(Kim, Kim, & Park, 2005; Shin & Youn, 2006; Bae & Chung, 2008). 이러한 연구들은 제7차교육과정에 제시된 과학 탐구 과정의 요소, 즉 기초 탐구 과정 요소인 관찰, 분류, 측정, 예상, 추리 및 통합 탐구 과정 요소인 문제 인식, 가설 설정, 변인 통제, 자료 변환, 자료 해석, 결론 도출 및 일반화(MOE, 1997)를 분석 기준으로 활용했다는 공통점이 있다. 이 분석 기준은 해당 내용의 성격 및 탐구 특성에 관계없이 사용될 수 있는 일반적, 공통적 기준이지만, 지구과학 탐구의 고유 특성을 드러내기 위한 분석 기준으로서의 한계가 있다. 예를 들면, 관찰 증거로부터 지질 구조 역사 재구성을 하는 과정을 자료 해석이라는 일반적, 공통적 탐구 요소로 분류할 경우, 지질학 탐구의 역사 과학적 측면은 고려될 수 없다.

이러한 한계를 극복하고자 지구과학 탐구의 특성을 반영한 분석틀을 개발, 적용한 연구도 진행되었다. Kim *et al.*(2005)은 지구과학 탐구 방법을 논리적 추론 방법, 해석적 방법 및 역사적 방법의 세 영역으로 나누고, 각각에 부속되는 하위 요소들을 제시했다. 중학교 2학년 과학 교과서의 지질학 관련 단원의 탐구 활동에 지구과학 탐구의 특징이 반영된 정도를 조사하기 위한 분석 기준으로 이를 활용했다. Park & Park(2013)은 미국 고등학교 지구과학 교과서의 탐구 과제(inquiry task)에 드러난 탐구의 특징을 지구과학 논리적 추론 측면과 참 과학 탐구 측면에서 분석했다. 이러한 연구들은 교과서에 제시된 지구과학 탐구 활동이 모험문의 특성을 적절히 반영하고 있는지 규명하고자 했다는 점에서 의의가 있다. 그러나 두 연구에서 공통적으로 활용된 Kim *et al.*(2005)의 지구과학 탐구 방법 분석틀의 세 영역은 Ault(1998), Engelhardt & Zimmermann(1988), Frodeman (1995) 등에 제시된 각각의 특성을 병렬적으로 합친 것으로, 항목 간 경계 및 위계가 다소 모호하다. 뿐만 아니라 이 분석틀은 야외 지질학 탐구의 본질인 현장성을 별로 반영하고 있지 않다. 따라서 이 분석틀은 야외 지질 답사 과정보다는 실내에서 수행되는 지질학 관련 탐구 활동을 분석하기 위한 기준으로서 적절하다.

이에 야외 지질 답사 교육을 분석하는 본 연구에서는 야외 지질학

탐구를 구성하는 탐구 요소와 하위 요소를 현장에서의 활동을 중심으로 새롭게 규명하고, 이로부터 체계적 분석 기준을 개발하고자 한다. 야외 지질학 탐구 요소 도출 시 지질학자들의 연구 방법 뿐만 아니라, 과학 교육 측면에서 탐구 요소를 도입할 필요성이 있는지 문헌 고찰에 기초하여 근거를 마련할 것이다. 그리고 개발된 분석 기준을 적용하여 최근 20년 간 국내외의 문헌에서 드러난 야외 지질 답사 교육 과정에 야외 지질학 탐구 요소가 어떻게 반영되어 있는지 밝히고자 한다. 이를 통해 그 동안 국내외에서 수행된 야외 지질 답사 교육을 통해 야외 지질학 탐구가 실제적으로 이루어지고 있는 지, 야외 지질학 탐구 요소 중 보다 빈번하거나 드물게 활용되는 요소가 무엇인지 등에 대한 현황 분석을 할 것이다. 궁극적으로 본 연구에서는 이러한 현황 분석을 근거로 과학 교육자들에게 참 과학 탐구로서 야외 지질 답사 교육을 활용할 것을 제안하고, 보다 실제적인 야외 지질 답사 교육을 가능하게 하는 시사점을 제시하고자 한다. 본 연구의 연구 문제를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 야외 지질학 탐구 요소를 도출하고, 이를 바탕으로 지질 답사 교육 분석 기준을 개발한다.

둘째, 최근 20년 간 국내외의 문헌에서 드러난 지질 답사 교육 사례에 야외 지질학 탐구 요소가 반영된 경향을 분석한다.

II. 연구 방법

이상의 연구 목적을 달성하기 위해 본 연구는 Figure 1과 같은 절차를 거쳐 수행되었다.

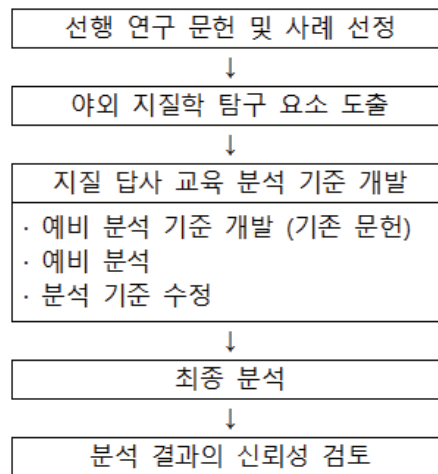


Figure 1. Research procedure

1. 분석 대상 문헌 및 사례 선정

본 연구의 분석 대상은 1997년 1월부터 2016년 12월에 이르기까지 최근 20년간 야외 지질 답사 교육 프로그램을 개발 및 적용하거나 야외 지질 학습 방법을 소개한 국내외의 선행 연구다. 국내 연구의 경우 RISS(Research Information Sharing Service) 사이트에서 KCI(Korean Citation Index) 등재 논문 중 제목에 ‘야외’와 ‘지질’이 모두 포함된 33건¹⁾을 1차 검토 대상으로 삼았다. 국외의 경우 과학 교육 학계와

1) 2017. 1. 25. 기준 검색 결과

Table 1. Fieldwork cases analyzed in this study

검색기관	검색 기준				1차 검토 논문 수	최종 분석 논문 편수	야외 지질 답사 사례 수 ¹
	논문 제목	초록	학술지명	비고			
RISS	야외	지질	-	KCI	33	16	16
ERIC ProQuest	field	geo* ²	science edu* <OR> science teach* <OR> science school	-	17	5	5
ERIC ProQuest	field	geo* ²	Journal of Geoscience Education	-	56	20	20
GSA Special Paper	GSA(Geological Society of America) Special Paper 제461호				26	10	12
합계					132	51	53

¹주: 한 논문에서 구별되는 여러 사례가 나온 경우 중복 집계.

²주: ()*()로 시작하는 단어를 검색하도록 하는 명령어임.

지질 학계에서 야외 지질 학습 관련 연구를 수행하기 때문에, 분석 대상 문헌 선정에 위해 다양한 접근 방법을 활용했다. 첫째, ERIC(Education Resources Information Center) ProQuest에서 논문 제목에 'field'가 포함되고 초록 중 'geo'로 시작하는 단어가 포함되어 있는 논문을 검색했다. 초·중등 과학 교육과 관련된 학술지를 선정하기 위해 학술지명에 'science edu*', 'science teach*' 또는 'science school'이 포함되도록 검색 조건을 지정한 결과, 17건이 검색되었는데²) 이를 1차 검토 대상으로 삼았다.

둘째, 대학교 및 고등학교 대상의 야외 지질 학습 관련 연구를 가장 활발하게 출판하는 학술지 중 하나인 'Journal of Geoscience Education(JGE)'에 게재된 논문 중 제목에 'field'가 포함되고 초록 중 'geo'로 시작하는 단어가 포함되어 있는 논문을 검색했고, 56건이 1차 검토 대상으로 추출되었다³).

셋째, 'Field Geology Education: Historical Perspectives and Modern Approaches'라는 제목의 GSA(Geological Society of America) Special Papers 제461호 논문집에 포함된 26건의 논문도 1차 검토 대상으로 선정했다. GSA는 국제적으로 가장 권위 있는 지질학 학술 단체로, 지질학 분야에서 여섯 개의 학술지 및 지질학 관련 주제에 대한 'GSA Special Papers' 논문집을 편찬하고 있다. GSA Special Papers 논문집은 2016년 말 현재 제524호까지 발행되었는데, 그 중 제461호 논문집은 야외 지질학 교육을 주제로 하고 있다. 야외 지질학 탐구 요소를 추출하고자 하는 본 연구의 목적을 달성하기 위해 실제 지질학 전문가 양성 과정 관련 문헌 분석이 필요하다고 판단하여, GSA Special Papers 제461호 논문집도 분석 대상에 포함시켰다.

1차 검토 대상 중, 중복된 결과 및 가상 야외 지질 답사 관련 사례를 제외하고, 야외 지질 답사의 교수-학습 과정이 제시된 논문을 최종 분석 대상으로 선정했다. 예를 들어, 야외 지질 학습장 개발 및 적용 논문에서 야외 지질 답사 교수-학습 과정이 거의 드러나지 않고 지질 답사 전후의 학생 개념 변화만 제시한 논문의 경우, 분석 대상에서 제외했다. 최종 분석 대상 논문 및 사례는 Table 1과 같다.

2. 야외 지질학 탐구 요소 도출

본 연구에서는 지질학의 학문적 특성을 규명한 과학철학 문헌 및 지질학 학습과 관련된 과학 교육 문헌을 고찰하여 야외 지질학 탐구의 중요 요소를 도출했다. 실제 야외 지질학 탐구에서의 활용 양상

뿐만 아니라 과학 교육에서의 중요성 및 활용 가능성 등을 종합하여 도출 근거로 삼았다. 연구자 1인이 야외 지질학 탐구 요소를 예비 도출한 후, 2인의 지구과학 교육 연구자가 내용의 타당성을 검토하여 최종 요소를 선정했다. 최종 도출된 야외 지질학 탐구 요소는 관찰, 표상, 귀추적 추론, 공간적 사고 및 통시적 사고였으며, 이들 요소 선정에서 고려했던 대표 문헌은 Petcovic, Libarkin, & Baker(2009), Mogk & Goodwin(2012), Engelhardt & Zimmermann(1988), Kali & Orion(1996), Dodick & Orion(2003a) 등이다.

3. 지질 답사 교육 분석 기준 개발

야외 지질 답사 교육이 야외 지질학 탐구의 특성을 어떻게 반영하고 있는 지 분석하는 기준을 개발하기 위해, 선정된 야외 지질학 탐구 요소 각각에 대한 문헌들을 참고하여 예비 분석 기준을 마련했다. 관찰은 Kwon *et al.*(2005)과 Lee, Park & Kim(2007), 표상은 Gilbert, Boulter & Elmer(2000), 귀추적 추론은 Maeng *et al.*(2007), 공간적 사고는 Kali & Orion(1996)과 Lobben(2004), 통시적 사고는 Dodick & Orion(2003a) 등의 문헌을 참고했다.

예비 분석 기준을 기준으로 연구자 1인이 국내외 각 10개의 야외 지질 답사 교육 사례를 예비 분석한 후, 사례에서 빈도가 거의 나타나지 않은 하위 요소를 삭제하고, 야외 지질학 탐구 특성을 보다 구체적으로 드러내기 위해 하위 요소를 추가했다. 최종 야외 지질학 탐구 분석 기준은 체크리스트 형식으로 개발했고, 하위 요소별 의미 및 예시를 함께 제시하여 분석 기준을 명확히 했다. 최종 분석 기준 내용 타당성을 위해 지구과학 교육 전문가 2인의 검토를 거쳤다.

4. 분석 방법

본 연구에서 개발한 분석 기준을 적용하여 야외 지질학 탐구 요소(관찰, 표상, 귀추적 추론, 공간적 사고, 통시적 사고) 측면에서 분석 대상 53개의 사례를 분석했다. 각 사례마다 사전 및 사후 기간을 제외한 야외 지질 답사(fieldwork) 기간에 대하여 각각의 빈도를 조사했다. 다만 지질 답사 보고서 제출이나 답사에서의 프로젝트에 대한 학회 발표 등이 답사 후 시기에 이루어질 경우, 답사와 직접 관련 있는 활동으로 보고 분석에 포함시켰다. 분석 기준을 명확히 하기 위해 공동 연구자 1인과 논의하고 합의하는 과정을 거쳤다.

야외 지질 답사 사례에 드러난 야외 지질학 탐구 요소의 하위 요소 빈도 분석 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여, 총 53개의 사례 중 15개

2) 2017. 2. 1. 기준 검색 결과

3) 2017. 2. 3. 기준 검색 결과

Table 2. Characteristics(publication year, educational subject, duration of fieldwork, and rock types of fieldwork site) of analyzed cases: Comparison by journal groups 사례 수

특성	학술지군	국내 과학 교육 학술지	국외 과학 교육 학술지	JGE	GSA SP 461	합계
논문 출판 연도	1997	0	0	0	0	0
	1998	0	0	0	0	0
	1999	0	0	0	0	0
	2000	1	0	0	0	1
	2001	0	0	3	0	3
	2002	1	0	0	0	1
	2003	0	0	0	0	0
	2004	1	0	1	0	2
	2005	2	0	1	0	3
	2006	0	0	6	0	6
	2007	3	0	1	0	4
	2008	0	1	1	0	2
	2009	3	0	1	10	14
	2010	0	0	0	0	0
	2011	0	0	1	0	1
	2012	1	1	0	0	2
	2013	2	1	1	0	4
	2014	1	0	2	0	3
	2015	0	2	1	0	3
2016	1	0	1	0	2	
합계	16	5	20	10	51	
교육 대상	K-12	12	1	1	0	14
	지질학 관련 전공생	0	2	13	12	27
	과학 교사	2	1	6	1	10
	기타	2	1	3	1	7
	합계*	16	5	23	14	58
답사 기간	1일	12	0	4	0	16
	2-7일	2	1	2	3	8
	8-14일	0	1	6	1	8
	15-30일	0	0	2	2	4
	31일 이상	0	2	2	5	9
	비명시	2	1	4	1	8
	합계**	16	5	20	12	53
답사 장소 :암석학적 분포	화성암	1	0	1	0	2
	퇴적암	8	2	9	6	25
	화성암+퇴적암	1	0	1	2	4
	퇴적암+변성암	0	0	1	0	1
	화성암+퇴적암+변성암	4	0	4	4	12
	비명시	2	3	4	0	9
	합계**	16	5	20	12	53

* 개별 야외 지질 답사 교육 사례의 대상이 여럿일 경우 중복 집계.

** 한 논문에서 구별되는 여러 사례가 나온 경우 중복 집계.

를 무작위 선택한 후 지구과학교육 전공 박사 과정 2명이 각각 분석했다. 연구자를 포함한 3인이 일치하지 않는 사례에 대하여 논의 후 각각 수정하여 다시 분석하는 방법으로 2차에 걸쳐 조율했으며, 최종 일치도는 각각 98.5%, 98.6%로 나타났다.

5. 분석 대상 선행 연구 개요

분석 대상으로 선정된 문헌 및 사례의 특성을 출판 연도, 교육 대상, 답사 기간, 답사 장소 측면에 따라 정리하면 Table 2와 같다.

가. 논문 출판 연도

GSA special paper(GSA SP) 제461호가 발간된 2009년을 제외하면, 분석된 20년 기간 동안 매년 0~6편의 분포로 대상 논문 수가 시간에 따라 특별히 증가 또는 감소하는 경향은 발견되지 않았다. 학술지별 분포를 보면, 국내 과학 교육 학술지 중에는 2000년대 이후 매년 0~3편으로 총 16편, 국외 과학 교육 학술지 중에는 2008년 이후 매년 0~2편으로 총 5편이 발표되었다. JGE에서는 2001년 이후 매년 0~3편이, 특히 2006년에는 가장 많은 6편이 발표되었다.

나. 교육 대상

야외 지질 답사 교육 대상은 학교급 및 전공에 따라 크게 K-12, 지질학 관련 전공생, 과학 교사, 기타 등 4개 집단으로 구분했다. K-12 집단은 초·중·고 학생을, 지질학 관련 전공생 집단은 지질학과 및 자원공학과 등 학과 교육과정 상 지질학 강의를 수강하는 대학생을, 과학 교사 집단은 초등 및 중등 과학 예비 교사와 현직 교사를, 기타 집단은 지질학 외 전공 학부생 및 명시되지 않은 경우를 포함한다. 전체적으로 야외 지질 답사 교육 대상은 지질학 관련 전공생인 경우(27건)가 가장 많았고, K-12(14건), 과학 교사(10건), 기타(7건) 순으로 나타났다. K-12를 대상으로 한 야외 지질 답사는 주로 국내 과학 교육 학술지(12건, 86%)에서 출판되었다. 지질학 관련 전공생을 대상으로 한 사례는 주로 JGE(13건, 48%)와 GSA SP 461(12건, 44%)에서 나타났고, 국내 과학 교육 학술지에서는 한 사례도 출판되지 않았다. 과학 교사를 대상으로 한 야외 지질 답사는 주로 JGE(6건, 60%)에서 출판되었다.

다. 답사 기간

야외 지질 답사 기간은 1일 이내, 2-7일, 8-14일, 15-30일, 31일 이상 및 명시되지 않은 경우 등으로 구분했다. 캠프 형태로 연속하여 답사가 진행된 경우 캠프의 총 기간을, 당일 답사가 여러 번 비연속적으로 진행된 경우 한 프로그램에서 드러난 전체 지질 답사 일수를 합산하여 제시했다. 예를 들어, 매주 금요일에 진행되는 15주차 수업 중 8회부터 15회에 동안 현장 답사를 나갔을 경우, 7일에 해당한다. 야외 답사 기간은 1일 이내가 16건(30%)으로 가장 많았고, 31일 이상(9건, 17%)가 그 다음이었으며, 2-7일, 8-14일, 비명시가 각각 8건(15%)으로 그 뒤를 이었고, 15-30일(4건, 8%)이 가장 적었다.

라. 답사 장소의 암석학적 분포

야외 지질 답사 장소 유형을 구성 암석의 성인에 따라 퇴적암 지대, 화성암 지대, 변성암 지대 등으로 구분했으며, 답사 장소에 여러 종류의 암석이 공존할 경우 별도로 집계했다. 또한 답사 장소에 어떤 종류의 암석이 있는지 논문에 명시적으로 드러나지 않은 경우 비명시로 집계했다. 답사 장소의 구성 암석이 비명시인 경우는 '지질학적 다양성이 높은 곳' 등으로 표현되었다. 답사 장소가 퇴적암인 경우가 총 25건(47%)으로 가장 많았고, 퇴적암과 화성암 및 변성암이 모두 복합적으로 나타나는 경우가 12건(23%), 비명시가 9건(17%), 화성암과

퇴적암이 함께 나타나는 경우가 4건(8%), 화성암만 나타나는 경우(2건, 4%), 퇴적암과 변성암(1건, 2%) 순이었다.

III. 야외 지질학 탐구 요소

야외 지질학 탐구 요소는 Figure 2와 같이 관찰, 표상, 귀추적 추론, 공간적 사고 및 통시적 사고 등 다섯 가지로 도출되었으며, 각 요소는 다른 요소와 배타적 관계가 아니라 중첩되는 특성도 일부 존재한다. 야외 지질학 탐구에서 각 요소의 활용 양상 및 과학 교육적 의미는 다음과 같다.

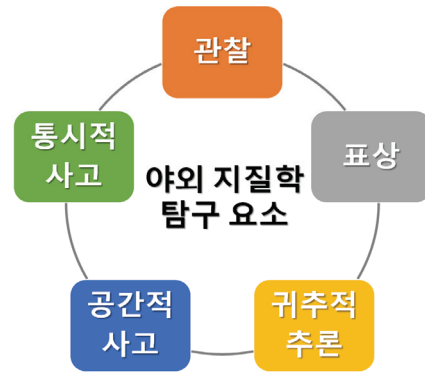


Figure 2. Elements of inquiry in field geology

1. 관찰

과학에서 관찰은 관찰자가 오감과 도구를 이용해 자연 현상에 대한 정보를 수집하는 방법으로, 과학 탐구의 주요한 과정 기능이다(Martin, 2012; Kwon et al., 2005; Park & Cho, 2003). 측정은 특수한 관찰의 형태로 볼 수 있으며(Bentley, Ebert, & Ebert, 2000; Lee et al., 2000), 대개의 경우 도구를 사용하여 양적 자료를 수집하거나 사물과 현상을 수로 기술한다. 도구를 사용하지 않는 측정은 어렵(estimate)이다(Cho et al., 2011). 본 연구에서 야외 지질학 탐구 요소에서의 관찰은 어렵 및 측정을 포함하는 넓은 의미로 사용하기로 한다. 관찰은 가장 기초적인 탐구 기능 중 하나지만, 학생들은 다양한 관찰 방법을 사용하지 못하고 시각적이며 정성적 관찰에 치우치는 경향이 있다(Kwon et al., 2005). 그럼에도 불구하고 관찰적 탐구(observational inquiry)는 일반적으로 과학 교육에서 주목받지 못해 왔으며, 교실에서 학생들의 과학적 관찰을 어떻게 도울 것인지에 대한 이해도 충분하지 않다(Smith & Reiser, 2005; Bannan, Peters, & Martinez, 2010).

야외 지질학 탐구는 광활하고 복잡한 장소에서 수행되므로 실험 과학이나 이론 과학보다 많은 관찰과 해석이 이루어지기 때문에(Granshaw, 2011) 학습자의 과학적 관찰을 훈련하기에 적합하다. 야외 지질학 탐구는 현장에 남아 있는 지질 기록을 발견하면서 시작되므로 관찰 행위가 중요하다. Petcovic, Libarkin, & Baker(2009)에 따르면 지질학자는 야외에서 관찰을 수행하며 암석 및 지질 특성을 빠르게 인식한다. 지질학자는 대부분의 암석 유형을 즉각적으로 인식하여 명명하고(예: 현무암, 사암), 암석의 특징(예: 지층, 단층대, 암층간 접촉)과 구조적 특징(예: 단층, 습곡 등)을 기록한다. 또한 암석의

주향과 경사를 측정하고, 작은 암석층의 두께를 어렵한다.

특히 야외 지질학 탐구에서는 복잡한 자연 환경에서 지질학적으로 무엇이 중요하고 무엇이 중요하지 않은지 구별하는 예리한(keen) 관찰 능력, 즉 “원래의 풍경(original landscape)을 선택적으로(selectively) 볼 수 있는” 관찰력이 요구된다(Mogk & Goodwin, 2012). 동일한 야외 노두에서 전문 지질학자와 초보자가 관찰한 결과는 다를 수 있다. 지질학자는 복잡한 자연 환경에서도 암석 유형이나 퇴적 구조, 지질 구조 등을 발견해 내지만, 초보자는 그렇지 못한 경우가 많다. 지질학자와 초보자의 관찰 결과 차이는 사전 지식 및 경험과 밀접하게 연결된다. 지질학자는 현장에서 무엇을 보아야 할지 알고 있으며, 관찰의 목적에 부합한 지식(예: 암석 분류와 관련된 지식)을 가지고 있고, 유사한 암석이나 지질 구조에 대한 사전 관찰 경험을 가지고 있기 때문에 초보자와 달리 식별력 있는(discerning) 관찰을 할 수 있다. 이렇듯 관찰은 관찰자의 지식, 사고, 동기 등에 밀접하게 관련되어 있는 복잡한 활동이며(Chiappetta & Koballa, 2014), 관찰의 주관성 및 이론 의존성 측면은 과학 교육에서 과학의 본성 요소 중 하나로서 강조되어 왔다(McComas, Clough, & Almazros, 1998; Lederman *et al.*, 2002)

야외 지질 답사를 통해 학습자는 관찰을 배우고 실행하는 기회를 갖게 되고 숙련된 관찰자로 성장할 수 있다. 야외 환경을 처음 경험한 학습자가 많은 정보에 의해 압도되며 ‘무엇을 보아야 할지 모르는’ 상황에서 야외 지질학 탐구의 목적 및 과정에 대한 안내를 받은 이후 관찰 대상을 초점화할 수 있는 것이 예가 될 수 있다. 또한 야외 지질 답사는 과학의 본성 측면에서 관찰의 이론 의존성을 인식하는 상황을 제공할 수 있다. 같은 장소에 대한 학습자 간 관찰 결과를 비교하거나, 같은 장소에 여러 번 갈 때 학습자의 시간에 따른 관찰 결과를 비교하는 등의 활동은 개인의 야외 지질학 탐구에 대한 이해, 암석의 종류 및 구별 기준에 대한 지식 및 사전 암석 관찰 경험 등 주관적 요소가 관찰에 미치는 영향에 대해 인식하게 한다.

2. 표상

표상(representation)은 자극이나 사물을 원래의 것과 가장 유사하게 재현하는 것이다. 표상이 마음속에서 일어나는 것을 내적(internal) 혹은 정신적(mental) 표상이라 하고, 그림, 언어 등 외부적 표현 형태로 나타나는 것을 외적(external) 표상이라 한다. 표상의 방식에는 언어적(verbal), 시각적(visual), 기호적(symbolic), 구체적/물질적(concrete/material), 행동적(gestural) 방식이 있다(Gilbert, Boulter, & Elmer, 2000). 과학자들은 문자에 수식, 그래프, 표, 추상적인 도형, 지도, 그림, 사진 등 시각적 및 상징적 표상의 방법을 결합하여 과학을 읽고, 쓰고, 말하고, 행한다(Lemke, 1998). 이와 같이 주제 관련 정보에 대해 의사소통하기 위해 문자, 그림, 그래프 등 여러 방법을 사용하는 것을 다중표상(multiple-mode representation)이라고 한다(Hand *et al.*, 2008). 과학자들은 자신이 조사한 과학 현상을 이해하고 발견한 것을 설명하기 위해 다중표상을 사용하므로, 과학 교육에서도 다중표상 관련 연구가 진행되어 왔다. 특히, 학생들이 다양한 외적 표상들을 선택할 수 있는 환경에서 효과적인 학습이 가능하다는 다중표상(multiple representation) 학습 이론에 따라(Ainsworth, 1999; Mayer, 2003), 다양한 교과에서 다중표상 학습의 필요성이 부각되어 왔다.

일반적으로 표상은 외부에서 학습자에게 주어지는 것과 학습자가 구성해내는 것 모두를 의미하는데, 본 연구에서 야외 지질학 탐구로서의 표상은 학습자가 구성해내는 표상(student-generated representations; SGR)으로(Bamberger, 2014) 의미를 제한하기로 한다.

Mogk & Goodwin(2012)는 야외 지질학 탐구에서 이루어지는 자연 현상에 대한 표상을 ‘명각(銘刻, inscription)’으로 명명하고 그 과정을 상세히 설명했다. 명각은 자연 그대로의 실재(raw essence)로부터 얻어진 관찰 결과나 정보를 그 의미나 유용성을 높이기 위해 번역한(translate) 것으로, 외적 표상에 해당한다. 야외 현장에서 관찰 대상인 자연 및 관련 역사에는 매우 많은 정보가 있기 때문에, 지질 조사를 수행하는 사람은 인지 부하를 경험할 수 있다. 그러므로 특정 개념이나 핵심 증거를 밝히는 데 활용되는 세부 사항(details)에 주의를 집중시키는 표상을 생성해야 할 필요가 있다(Mogk & Goodwin, 2012). 야외 지질학 탐구에서 지질학자들은 복잡한 자연에 대해 명확하게 관찰하고, 관찰 결과를 선별하여 야장에 기록하고 스케치하며, 사진을 촬영하고, 관찰 및 측정 결과를 바탕으로 지질도를 작성한다. 이렇게 생성된 명각은 복잡하고 혼란스러운 관찰 결과와 정보에 대해 이해한 것을 공개적이고 영구적 기록으로 변환한 것이다(Mogk & Goodwin, 2012). 개개인이 이해한 것을 명확하게 표현하기 때문에 명각은 더 큰 공동체와 쉽게 공유(보급, 배포)될 수 있다. 예를 들어, 지질도는 지질과학 공동체 내에서 정보를 효과적으로 전달하는 수단이다.

명각의 생성 과정에는 무엇을 중요하게 보고하고 무엇을 무시할 것인지에 대한 비판적 평가가 포함된다. 예를 들면, 지질학자는 특정 질문에 답하는 데 필요한 증거의 유형과 질에 관하여 정보에 근거하여 결정하고, 지도에 포함될 정보를 적극적으로 선택하여 지질도를 작성한다. 따라서 지질도는 “부분적으로 객관적이고 실제 사실들의 기록임과 동시에, 이 사실들과 관찰 결과들에 대한 지질학자의 해석을 나타내기 때문에 매우 주관적(Harrison, 1963, p.225, as cited in Mogk & Goodwin, 2012)”이다.

과학 교육 전반에서 물체와 사건을 기술(묘사)하는 능력이 개발되고 훈련될 필요가 있다(Renner & Stafford, 1972). 특히 2015 개정 교육과정에서는 “말, 글, 그림, 기호 등 다양한 양식의 의사소통 방법을 통하여 제시되는 과학 기술 정보를 이해하고 표현하는 능력”인 과학적 의사소통 능력을 과학과 핵심 역량 중 하나로 강조하고 있다(MOE, 2015). 그러나 그 동안 과학 교육에서 표상과 관련된 연구는 원자, 분자, 이온 등 미시적, 입자적 현상에 대한 이해를 목표로 한 화학 분야에서 활발하게 수행되어 왔고, 지구과학 분야에서 표상은 상대적으로 덜 강조되어 왔다. 한편, 야외 지질학 탐구에서 지구에 대한 지질학자의 이해를 설명하고, 확인하고, 합리화하고, 외부화하기 위해 명각(예: 지도, 스케치 및 도표)을 작성하고 사용하는 과정은 모두 시각화 및 언어화 표상과 관련된 차원으로, 지구과학교육에서도 학습자가 표상을 훈련하고 그 기능을 향상하도록 지도할 필요가 있다. 야외 지질 답사 교육에서 학습자가 자신의 관찰 결과를 야외 지질학 탐구의 목표에 맞게 언어화 및 시각화하는 과정을 교수 학습 차원에서 지원하는 것은 한 가지 방안이 될 수 있다.

3. 귀추적 추론

귀추법(abduction)은 “특정한 사실이나 법칙, 가설을 추론하여 어떤 현상이나 관찰 내용을 설명하거나 발견하는 과정”(Magnani, 2011, p.17-18)으로, 연역법이나 귀납법과 같은 논리적 추론 방법 중 하나다. 귀추법은 확장적(ampliative) 추리를 통해 특정 현상의 발생 원인에 대해 설명할 수 있게 하는 논법(Magnani, 2011)이다. 많은 연구자들은 귀추가 가설의 창안(생성) 과정을 인도할 뿐 아니라, 가장 설득력 있는 최선의 설명 가설을 찾기 위한 정교화 과정을 포함한다는 데 동의한다(Magnani, 2011; Cho, Jeong, & Yang, 2008; Oh & Kim, 2005). 과학 교육에서 귀추법에 대한 관심은 그 동안 학교 과학에서 주로 이루어진 가설-연역적 탐구가 가설 생성 과정 자체에 대해 주목하지 않았던 것에 대한 반성(인식)으로부터 시작되었다. 과학 교육 연구에서 귀추법은 가설 생성 및 정교화 과정을 설명하거나(Oh & Oh, 2011; Jeong, Choi & Yang, 2011; Kwon *et al.*, 2003) 가설 생성 능력과 창의성 등 과학 탐구 능력을 증진하기 위해(Jeong, Won, & Kwon, 2005; Oh, Kim, & Kang, 2008; Kim & Yoo, 2012) 활용되어 왔다.

Kitt(1977, as cited in Ault, 1998)에 따르면 지질학의 목표는 “과거에 대한 단 하나의 기술적 진술을 이끌어내고 검증하는 것”이다. 즉, 지질학자들은 야외 지질 조사에서 관찰된 결과들이 어떤 원인에 의해 형성된 것인지 설명해야 한다. 미래에 대한 예측(prediction)이 아니라 현재로부터 과거의 사건에 대해 추론하는 것이기 때문에 역행추론(retrodiction), 후진추론(postdiction)이라고도 불린다. 역행추론은 “지구의 과거 조건과 사건들을 재구성하는 데 적절한 현재의 지식을 사용하는 것”이다(Engelhardt & Zimmermann, 1988, p. 213). 야외 지질학 탐구의 추론은 특수한 사실, 즉 관찰한 지질학적 현상을 설명하기 위하여 특정 사실이나 원리, 법칙을 추리해 내고, 그로부터 현상의 원인에 대한 설명적 가설(explanatory hypothesis)을 새롭게 구성하는 방식, 즉 귀추적 추론(abductive reasoning) 방식을 취하는 경우가 많다(Engelhardt & Zimmermann, 1988; Kim *et al.*, 2005). Oh & Kim(2005)은 귀추법이 지구 환경의 형성 원인과 과정을 추리하는 지구과학 탐구에 부합하는 탐구 방법임을 주장하며, 귀추적 방법을 모델로 한 지구과학 수업과 이와 관련된 연구가 이루어져야 한다고 제안했다.

야외 지질학 탐구에서 귀추법을 명시적으로 강조한 경우는 많지 않은데, Maeng *et al.*(2007)은 야외 지질 학습 현상이 귀추적 탐구의 장이 될 수 있다고 보았다. 이에 사전 학습, 본 학습, 사후 학습 중 본 학습 단계에 귀추적 탐구 모형(abductive inquiry model; AIM)을 적용한 야외 지질 학습 프로그램을 실시하고, 참여 학생의 귀추적 추론 사례를 분석하여 사고 전략별로 제시했다. Maeng *et al.*(2007)에서 활용된 AIM은 Kim(2003)이 귀추적 사고 과정에 초점을 두어 지구과학 탐구 활동에 적합한 형태로 구성하여 제시했던 것으로, 현상의 탐색 및 관찰-설명 가능한 가설 검토-가장 적합한 가설 선택-현상 설명의 4단계로 구성된다. 현상의 탐색 및 관찰 단계에서 학생들은 답사 지역의 노두를 관찰하고 암석의 종류를 구별하여 각 지층의 특징을 서술한다. 이 단계는 본 연구에서 도출한 야외 지질학 탐구 요소 중 관찰과 표상을 포함한다고 볼 수 있다. 설명 가능한 가설 검토 단계에서 학생들은 관찰된 특징을 근거로 이 지역 지형의 형성 과정을 해석

하기 위한 다양한 규칙과 원리를 의논한다. 야외 지질학 탐구에서의 추론은 필요한 배경 지식의 범위가 너무 광범위하고 현상이 단일 원인으로 거의 발생하지 않기 때문에 동시에 많은 다른 가설이 생성될 가능성이 높다. 이러한 다중 작업 가설(multiple working hypotheses, Chamberlin, 1965)들은 증거가 더 잘 설명 될 때까지 새로운 증거가 밝혀지면서 서로 대립될 수 있다. 가장 적합한 가설 선택 단계에서 학생들은 논의된 여러 가지 규칙과 원리들 중에서 가장 그럴듯한 것을 선택하고, 현상 설명 단계에서는 해당 지역 지층의 생성 과정을 순서대로 설명한다. 이 단계는 본 연구에서 도출한 야외 지질학 탐구 요소 중 귀추적 추론과 통시적 사고(diachronic thinking)를 모두 포함한다고 볼 수 있다.

역사 과학에 사용된 추론과 논쟁의 독특한 방법론과 유형은 학생들이 보다 풍부하고 완전한 과학 이미지를 형성할 수 있도록 하기 위해 교실 탐구 경험에 포함될 필요가 있다(Gray, 2014). 역사 과학인 야외 지질학 탐구에서의 귀추적 추론을 통해 학생들은 지질학자가 수행하는 가설 생성과 정교화를 경험할 수 있다. 또한 제한적이고 부분적인 증거와 정보로부터 최선의 설명을 구성해야 하는 야외 지질 조사 과정에서 학생들은 직관과 창의적 상상의 역할 등 해석학적 특징을 경험할 수 있다(Raab & Frodeman, 2002). 나아가 관찰 대상의 한계로부터 자연스럽게 내재된 가설(지식)의 모호함(ambiguity)을 인식함에 따라 과학 지식의 생성 과정에 대한 비판적인 회의주의적(skeptical) 사고도 가능하다(Ault, 1998). 이와 같이 야외 지질학 탐구에서 해석학적 특징을 반영한 귀추적 추론은 다른 유형의 과학 탐구와는 다른 특성이 잘 나타나며, 학생들이 과학의 본성을 경험하게 하는 계기가 될 수 있다.

4. 공간적 사고

공간 능력(spatial ability)은 지능을 구성하는 요소 중 하나이며, 공간적 사고(spatial thinking) 또는 시각-공간적 사고(visual-spatial thinking) 등의 용어로도 표현된다. 공간 능력에 대한 정의는 연구자마다 다른데, 단순하게는 공간 자료에 대한 인지적, 정신적 조작을 할 수 있는 능력이다(Liben & Titus, 2012). 공간적 사고의 학습에 대한 보고서인 NRC(National Research Council, 2006)에서는 공간적 사고를 “공간에 대한 의미를 이해하는 공간적 개념, 사물의 공간적인 형태나 구조를 시각화(표상, represent)하는 방식, 그리고 공간적 표현 방식을 활용하여 사물의 구조와 성질, 기능 등을 이해하고 설명하는 추론 과정까지 포함하는 종합적 사고 능력”이라고 정의하기도 했다.

건축, 의학, 물리학, 기하학, 생물, 의학 등 다른 분야와 마찬가지로 지구과학에서도 공간 능력은 기본이 된다(Kali & Orion, 1996). 지질학은 암석이나 지층 등을 관찰하여 지구 표면을 구성하는 물질, 그 물질의 분포 상태와 구조, 지구에 미치는 여러 작용, 이들 작용으로 인한 변화 등을 연구하는 학문이다(Lee, Kim, & Kim, 2004). 전통 지질학은 지질학적 단위, 지질 구조 및 천연 자원의 표면 및 심층 분포에 대한 이해를 추구하기 때문에(Pibum *et al.*, 2002), 지질학자들은 탐구 과정에서 다양한 종류의 공간-시각적(spatial-visual) 활동에 참여한다. 지질학에서 특히 요구되는 공간 능력의 속성을 밝힌 연구들 중 하나인 Kali & Orion(1996)은 시각의 변형된 구조 및 그러한 구조와 지구 내부 힘과의 관계를 유추하는 학문인 구조지질학에서

요구되는 구체적 공간 능력의 특징을 두 가지로 제시했는데, 다양한 지질 구조의 공간적 배치 형태를 인식하는 능력과 다양한 횡단면(cross-section, 단면도)의 형태를 마음 속에 그리는 능력, 즉 구조를 시각적으로 투시하는 능력(visual penetration ability; VPA) 등이 그것이다. Titus & Horsman(2009)는 지질학적 맥락에서 유용한 공간-시각화 능력의 세 가지 구성 요인을 공간 관계(spatial relations), 공간 조작(또는 공간 방향성, spatial orientation) 및 시각적 투시 능력(VPA)로 제시했다. 공간 관계는 축을 중심으로 머릿속에서 물체를 회전시킬 수 있는 능력으로, 지각 조작의 회전(rotation)부터 단층 방향성 자료를 입체 투영(stereographic projection, 평사도법, 스테레오 투영)하는 것에 이르기까지 모든 척도의 지질학적 문제에 반영될 수 있다. 공간 조작(공간 방향성)은 머릿속으로 형상을 다른 배열로 조작하는 능력으로, 지각에서의 마그마 이동이나 층서 천이의 점진적 습곡(접힘) 현상 등과 같이 암체의 시간에 따른 변형을 상상하는 구조지질학에서 유용하다. 시각적 투시 능력은 고체 물체의 내부에 무엇이 있는지를 머릿속으로 상상할 수 있는 능력으로, 지질 단면도를 사용하기 위해 필요한 능력이다.

한편, 야외 지질 조사에서는 지질도 작성 작업이 주가 된다. 지질도 작성은 지형도 상에 조사 지점을 표기하고 그 지점의 암석 및 지질 구조 등을 기록하는 것이다. 지질도 작성을 위해서는 현재 자신이 위치한 곳이 지도 상에서 어디인지 파악하는 능력이 필수인데, 이러한 능력을 자기 위치화 능력(self-location ability)이라고 한다(Lobben, 2004). 또한 지도는 기본적으로 3차원의 현실 세계를 2차원의 평면에 옮겨놓은 것으로, 지도와 현실 세계의 간극을 해결하기 위해 인간의 공간 능력이 개입된다(Choi, 2013). 예를 들면, 지질학자들은 지형도를 보며 추상적 2차원 지도를 인지적 작용을 통해 3차원 풍경으로 변형시키거나, 3차원 단층과 습곡 등 지질 구조 및 노두 암석 단위의 유형과 연대를 시각화하여 2차원 지질도를 작성하기도 한다(Piburn *et al.*, 2002).

공간적 사고는 과학자 및 공학자의 일 뿐만 아니라 일상생활에도 필수적이다. 이에 따라 다양한 영역에서 공간적 사고의 중요성을 강조함에도 불구하고, 공간적 사고는 국내외 K-12 교육과정에서 체계적으로 제시되지 않고 있다. 공간적 사고는 학습을 통해 향상될 수 있으며, 특히 특정 분야의 맥락에서 훈련과 광범위한 실습을 통해 효과적으로 학습될 수 있다(NRC, 2006; Lee *et al.*, 2015). 야외 지질학 탐구에서는 다양한 시각-공간적 활동을 하기 때문에, 이러한 특성을 잘 반영한 야외 지질 학습은 학생들의 공간적 사고를 증진하도록 하는 바람직한 맥락이 될 수 있다.

5. 통시적 사고

지질학의 최종 목적은 지구의 역사를 연대기적으로 밝히는 것이기 때문에, 지질학에서 시간은 가장 중요한 개념 중 하나다(Kim & Kim, 2006). 지질시대 개념은 판구조론과 더불어 지구를 바라보는 관점과 과학적 사고에 혁명을 가져오고 현대 지구과학의 발전으로 이어진 중요한 개념으로 평가된다(Orion & Ault, 2007). 과학 교육 측면에서 지질학적 시간을 조명한 Dodick & Orion (2003a; 2003b)은 지질학적 시간에 대한 이해를 두 가지 개념으로 나누어 제시했다. 첫째, 지질학적 시간에 대한 수동적 이해로, 대규모의 특정 지질학적 사건과 그

순차적 순서에 대한 이해다. 이러한 이해는 지질 시대의 특정 사건(예: 지구 상 생물의 최초 출현 등)을 시간 순으로 정렬하도록 하는 과제를 통해 평가될 수 있다. 이는 지질학적 사건들에 대한 개인의 지식 및 사건과 시간을 연결하는 것에 달려 있다. 둘째, 지질학적 시간에 대한 논리적/능동적 이해로, 일련의 과학적 원리에 기초하여 과거의 환경과 생물을 시간 순서대로 재구성(reconstruct)하는데 사용되는 스키마(schema)를 의미한다. 이는 지구과학 지식보다는 논리적 과정을 반영하는 것으로, 지층 그림을 제시하고 형성 과정을 시간 순으로 조직하도록 하는 과제를 통해서 평가될 수 있다. 이 개념에 기초하면, 지질학의 기본 논리에 충실하지 않은 학생들은 퇴적 시스템에 영향을 미친 변화를 시간에 따라 재구성할 수 없다. 첫 번째 개념이 절대연대와 관련된 것이라면, 두 번째 개념은 상대연대와 관련되어 있다. 야외 지질 답사에서는 관찰 결과를 해석하는 과정에서 암석, 화석, 지층 등 공간적 존재로부터 시간적인 내용을 논리적으로 추출하게 되는데(Cheong, Kim, & Lee, 2011), 이 과정은 두 번째 개념과 관련된다. 한편, 형성 시기를 밝히기 위해 야외에서 암석이나 화석 표본을 채집한 후 실험실에서 동위원소 분석하는 경우도 있는데, 이 과정은 첫 번째 개념과 관련된다. 본 연구에서는 야외 지질 학습에서 활용되는 지질학적 시간에 대한 두 가지 이해를 통칭하여 ‘통시적 사고(diachronic thinking)’라고 한다.

선행 연구들은 지구과학 학습 맥락에서의 훈련을 통해 통시적 사고 능력이 향상될 수 있음을 뒷받침한다. Dodick & Orion (2003a)은 통시적 사고를 포함하는 문제에서 고등학교의 지질학 선택 학급이 비선택 학급에 비해 유의하게 높은 점수를 나타낸 결과를 보고했다. 특히 이들은 야외 지질 학습에의 노출이 통시적 사고 능력 발달의 핵심 요인이 될 수 있음을 밝혔다(Orion & Ault, 2007). Riggs & Treinjak(2003)의 연구 결과 또한 초등 예비 교사를 대상으로 한 지질 답사가 지구과학의 내용 지식, 특히 퇴적암 기록에서 암석의 환경의 시간에 따른 변화에 대한 이해 측면을 향상시켰음을 밝혔다. 지질학적 시간에 대한 이해와 공간 능력 사이의 상관을 고려하면(Dodick & Orion, 2003a; 2003b), 바람직하게 설계된 야외 지질 답사는 공간적 사고와 통시적 사고를 모두 향상할 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 지질 답사 교육 분석 기준

지질 답사 교육 분석 기준은 다음과 같이 야외 지질학 탐구 요소별로 개발했으며, 분석 기준의 명료화를 위해 하위 요소별 코딩 예시를 Table 3~7에 함께 제시했다.

1. 관찰

관찰은 기초 과학 탐구 과정 기능 중 하나로, 이미 개발된 탐구 요소 분석틀이 존재한다. 이 연구에서는 그 중 Kwon *et al.* (2005)과 Lee, Park, & Kim (2007)이 제시한 관찰 탐구 요소 분석틀을 기초로 야외 지질 답사 사례 예비 분석을 통해 필요한 부분을 수정 보완하여 관찰의 자율성, 목적적 관찰 여부, 도구 사용 여부, 측정 측면, 표본 수집 여부 등 다섯 가지 하위 요소를 포함한 관찰 분석 기준을 Table 3과 같이 개발했다. 이 분석 기준에는 선행 연구 고찰에서 드러난 관찰의 이론 의존성 관련 요소가 포함되지 않았는데, 이는 53개의

Table 3. Analysis criteria and example: Observation

관찰 하위 요소		의미 및 예시
관찰의 자율성	자유 관찰	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 교사의 도움 없이 학생 스스로 자유롭게 관찰 활동을 수행. 예: ‘참가자들은 스스로 걸어 다니며 관찰을 수행해야 했다(Participants were asked to walk around on their own and make observations.)’, ‘학생들은 교수자의 직접 안내 없이 짝을 이루어 작업해야 한다(Students are required to work in pairs without the direct guidance of the instructor.)’
	교사 안내에 따른 관찰	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 학생에게 관찰의 주도권이 있지만 교사의 안내를 받기도 함. 예: ‘학생들이 통합 문제를 해결하기 위해 노트를 관찰하고 특징을 기술 ... (교사는) 학생들이 노트에서 관찰 도중 누락한 사항이나 오류를 수정 ...’, ‘교수자가 특정 질문에 답하기 위해 집단마다 돌아다니지만, (학습자의) 자기 발견이 강조된다(The instructor circulates among the groups to address specific questions, but emphasis is placed on self-discovery.)’
	구조화 관찰	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 교사에 의해 정해진 대상을 학생이 관찰. 예: ‘학생들의 개별 및 조별 관찰 활동을 제한하고 학생 전체를 대상으로 강의식 야외 지질 학습을 진행...’, ‘(해당 관찰 지점에서) 지층을 이루는 알갱이의 크기와 변화를 관찰해 보자.’ 등의 문제와 안내가 제시된 활동지 제공.
	불명확	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 교사가 존재하지만 관찰 관련 역할이 명시적으로 제시되지 않음.
목적적 관찰 여부		<ul style="list-style-type: none"> 의미: 학생들이 관찰의 목적을 인식한 채로 관찰. 교사가 관찰의 목적(예: 궁극적으로 지질학적 역사를 밝히기 위한 것)을 명시적으로 제시하거나, 학생 스스로 연구 질문을 설계하고 이에 답하기 위해 필요한 관찰을 함. 예: ‘중생대 백악기 격포 분지의 퇴적 환경은 어떤 특징이 있을까?’를 통합 문제로 제시하여 여러 노트에서의 관찰 활동이 퇴적 환경을 추론하기 위한 관찰 증거 수집 과정임을 강조...’, ‘광물 및 암석 식별, 암석 조직과 노트 구조 인식, 상대적 연대 관계의 해석을 포함한 기초 관찰을 수행한다(make rudimentary field observations including mineral and rock identification, rock texture and outcrop structure recognition, and the interpretation of relative age relationships)’
도구 사용 여부	관찰 도구	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 관찰 도구를 사용하여 관찰. 관찰 도구 예: ‘확대경(hand lens)’, ‘입체경(stereoscope)’, ‘지질 망치(hammer)’ 등 (디지털카메라는 관찰 도구로 간주하지 않음)
	측정 도구	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 측정 도구를 사용하여 측정. 측정 도구 예: ‘브런턴 컴퍼스(Brunton compass)’, ‘클리노미터(clinometer)’, ‘줄자(tape measure)’, ‘입자 크기 도표/카드(grain size chart/card)’, ‘거리/고도 측정기(Jacob’s staff)’, ‘직각기(cross-staff)’, ‘온도계(thermometer)’ 등
측정 측면	방향, 각도	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 나침반, 경사계 등으로 방향이나 각도를 측정함. 대부분 주향이나 경사. 측정 측면 예: ‘지층면 자세(bedding plane attitudes)’, ‘절리면(joint planes)’ 등
	거리, 길이	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 줄자, 보측(pacing) 등을 활용하여 거리나 길이 등을 측정하거나 어림. 측정 측면 예: 지층의 두께, 퇴적암에 포함된 입자의 크기 등
	기타	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 방향이나 각도, 거리나 길이를 제외한 대상을 측정. 측정 측면 예-측정 도구: 위치-GPS, 토질-지하 탐사 레이더(ground-penetrating radar), 지온-온도계(thermometer), 대기 온습도-온습도계(psychrometer), 지하수 및 해양의 pH와 전기전도도-pH/전기전도율 측정기(pH-conductivity meters) 등
표본 수집 여부		<ul style="list-style-type: none"> 의미: 암석이나 화석 표본을 수집하거나 퇴적물 코어를 시추. 즉각적 관찰을 위한 것과 실험실에서의 추가 관찰 및 분석을 위한 것을 모두 포함.

Table 4. Analysis criteria and example: Representation

표상 하위 요소		의미 및 예시
표상의 자율성	자유 양식	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 야장, 보고서, 발표 등 학생이 자유로운 양식으로 관찰 결과 및 아이디어를 표상함.
	구조화된 양식	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 교사에 의해 제시된 활동지 등 정해진 양식에 맞추어 학생이 관찰 결과 및 아이디어를 표상함. 예: ‘학생들에게 엄격하게 따라야 할 형식에 근거한 지질 답사 보고서 예시를 제공한다. 지질 답사 보고서 예시에는 그림(과 그림 설명)과 참조 쪽이 있다.(Students are provided with a sample field report based on a format that is to be strictly followed. The sample field report contains figures (and figure descriptions) and a reference page.)’
	불명확	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 표상 양식이 명시적으로 제시되지 않음.
표상 방식	시각화	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 관찰 및 해석한 내용을 스케치, 사진, 지도, 그림, 표, 그래프 등의 방식으로 표상. 예: ‘동료들과의 시각적 의사소통(visual communication to their peers)’
	언어화	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 관찰 및 해석한 내용을 말이나 글의 방식으로 표상. 예: ‘동료들과의 구두 의사소통(oral communication to their peers)’
	불명확	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 논문에 표상 방식이 명시적으로 제시되지 않음.

지질 답사 사례 중 이러한 측면이 반영된 사례가 발견되지 않았기 때문이다.

2. 표상

표상은 기능적 요소로, 속성적 요소인 다른 네 요소와 중복되는 경향이 있다. 표상의 분석 기준은 Gilbert, Boulter, & Elmer(2000)의

표상 방식 다섯 가지 중 예비 분석을 통해 야외 지질 답사에 주로 나타난 두 가지를 선정하고, 표상의 자율성이라는 하위 요소를 추가 하여 Table 4와 같이 개발했다. 여기서 표상은 학생 스스로 생성해 내는 과정(student-generated representation; SGR)으로 그 의미를 제한하고, 주어진 외적 표상을 이해하는 것은 제외했다. 예를 들면, 주어진 지질도나 단면도를 읽고 해석하는 능력은 포함시키지 않고, 지질도나 단면도를 생성하는 과정은 포함했다.

Table 5. Analysis criteria and example: Abductive reasoning

귀추적 추론 하위 요소		의미 및 예시
귀추 단계 포함	가설 생성	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 답사에서의 관찰 결과를 근거로 과학적 의문 및 가설을 생성하는 과정 또는 관찰한 자료에 대해 그 이상의 숨은 의미를 해석하는 추론 과정을 포함. 예: ‘자신의 관찰 결과와 관련 문헌 검토를 통해 가설을 생성한다(generate hypotheses based on their own observations and their review of relevant literature)’, ‘층서 단면과 구조적 특징의 신중한 해석(careful interpretation of stratigraphic sections and structural features)’, ‘가설을 세움(forming a hypothesis)’
	가설 정교화	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 생성한 가설에 대한 검증이나 토론 등을 통해 더 적합한 가설을 세워가는 과정을 포함. 예: ‘가설을 검증하기 위해 그 자료를 활용함(utilizing that data to test the hypothesis)’
	최종 현상 설명	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 발표나 보고서를 통해 최종적으로 구성된 가설(결론)로 현상을 설명하는 과정을 포함.
가설 내용	지질 형성 과정 관련	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 암석이나 지층 및 지질구조를 통해 생성 당시의 환경(고환경)이나 형성 과정을 추론하는 것과 관련된 가설. (즉, 역사 과학으로서 지질학의 목적과 관련) 예: ‘퇴적 환경을 추론하기 위해서(to infer the depositional environment)’
	기타	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 형성 과정과 관련되지 않은 가설이거나 학생 스스로 설계한 연구 질문에 대한 가설 등 내용이 명확하게 드러나지 않은 가설.
가설 정교화 방법	토론	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 생성한 가설의 적합성 및 다른 가설의 가능성 등에 대해 동료 및 강사진과 논의함. (관찰 내용에 대한 토론 등 가설과 관련되지 않은 토론은 해당하지 않음). 예: ‘의사소통하고 설명을 정당화한다(communicate and justify explanations)’ ‘매일 저녁 교수자는 가설 및 자료 수집 전략을 토의하고 수정하기 위해 각 집단과 협의했다.(Each evening, the instructors conferred with each group to discuss and modify hypotheses and data collection strategies.)’
	검증 (추가 관찰)	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 현장에서의 추가 관찰 및 자료 수집을 통해 가설을 수정 및 정교화 함.
	기타	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 토론이나 검증 외의 가설 정교화 과정. 예를 들면, 참고 문헌을 활용하는 형태. 예: ‘참가자들은 가설을 생성 또는 수정하기 위해 강좌의 현장 도서관에 게시된 정보를 참조해야 했다. 현장 도서관의 자료에는 지도, 교과서, 전문 간행물 및 강좌 주제 관련 인기 있는 간행물이 포함되었다.(Participants needed to consult published information in the course’s field library to develop and/or refine their hypotheses. Materials in the field library included maps, textbooks, professional publications, and popular publications relevant to the course’s topics.)’
최종 설명 방법	발표	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 최종적으로 구성한 가설(결론)을 답사의 마무리 시간이나 학술 대회 등에서 발표 (관찰 내용에 대한 발표 등 자신이 구성한 결론에 대한 발표가 아닌 경우는 해당하지 않음).
	보고서	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 지질 답사 보고서를 통해 최종 결론을 제시.

Table 6. Analysis criteria and example: Spatial thinking

공간적 사고 하위 요소		의미 및 예시
공간적 사고 유형	자기 위치화	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 현재 자신이 위치한 곳이 지도 상에서 어디인지를 파악하는 능력 및 길찾기 능력. 예: ‘지형도 상에서 답사 장소의 위치를 찾는다(locate field sites on a topographic map)’, ‘길찾기(navigation)’, ‘지질도 작성 프로젝트(mapping project)’, ‘오리엔티어링(orienteeing)’, ‘위치 찾기(locate)’, ‘GPS’, ‘나침반 및 지형도를 사용한다(Use a compass and a topographic map)’, ‘현장에서 길을 찾을 수 있는 능력을 향상한다(improve their ability to navigate in the field)’
	공간 배치 형태 인식	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 다양한 지질 구조의 공간적 배치 형태를 인식하는 능력 예: ‘상부 및 단면에서 퇴적 구조를 관찰한다(view sedimentary structures both from the top and in cross-section)’, ‘지질 특징을 지도로 작성함(mapping geological features)’, ‘지형 개요(topographic profiles)’
	투시	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 고체 물체의 내부에 무엇이 있는지를 머릿속으로 상상할 수 있는 능력. 즉, 지질 단면도를 그리는 데 사용되는 능력 예: ‘단면도 작성(mapping cross section)’, ‘투시하다(penetrate)’, ‘도식적 층서 단면을 구성하다(construct schematic stratigraphic sections)’, ‘구조적 단면도를 생성한다(make a structural cross section)’, ‘지질도로부터 단면도를 그린다(make cross sections from geologic maps)’, ‘현장의 단면과 지하 구조를 구성한다(construct cross-sections of the scene & propose subsurface structures)’

3. 귀추적 추론

귀추적 추론의 분석 기준은 Maeng *et al.*(2007)의 귀추적 탐구 모형(abductive inquiry model; AIM)에 나타난 4단계를 참고하여 개발했다. AIM의 1단계는 관찰과 추론에 해당하는 것으로 보아 제외하고, 마지막 단계인 ‘현상 설명’ 단계의 원래 의미에서 통시적 사고 요소, 즉 역사적 재구성 부분을 제외하고 단계 이름을 ‘최종 현상 설명’으로 변경하여 귀추 단계를 수정했다. 그리고 하위 요소로 가설 내용, 가설 정교화 방법, 설명 방법 등을 추가하여 Table 5와 같이 개발했다. 이 분석 기준은 선행 연구 고찰을 통해 찾아낸 귀추적 추론과 관련된 과학의 본성 측면, 즉 직관과 상상의 역할 및 가설의 모호

함과 관련된 회의주의적(skeptical) 사고 등을 포함하고 있지 않다. 이는 53개의 사례 중 이러한 측면이 반영된 사례가 발견되지 않았기 때문이다.

한편, 본 연구에서 가설의 의미는 과학적 설명 가설(explanatory hypothesis), 즉 ‘어떤 현상이 왜 일어났는지에 대하여 인과적으로 설명하기 위해 제안된 잠정적인 해답(solution)’(Park, 2000; Lawson, 1995)을 의미한다. 즉, 실험 연구나 상관관계 연구의 가설에서처럼 변인 간 관계가 드러나 있지 않은 경우에도 가설로 간주했다. 이러한 가설의 의미로부터 귀추 단계 중 ‘가설 생성’ 단계는 논문에 ‘가설(hypothesis)’이라는 용어가 명시적으로 제시되지 않았더라도, 학습자가 관찰한 현상을 설명하기 위한 추론을 포함한 진술을 한다면 가설

Table 7. Analysis criteria and example: Diachronic thinking

통시적 사고 하위 요소		의미 및 예시
층서 (생성 순서)		<ul style="list-style-type: none"> 의미: 암층의 분포로부터 지층 누층의 원리, 관입의 원리 등 지질학 원리를 활용하여 암석의 상대적 생성 순서를 밝히는 능력 예: ‘이 지층의 층서를 구성(construction of a stratigraphic column of these formations)’, ‘고생대 층서 조사(examination of the Paleozoic stratigraphy)’, ‘층서를 기술한다(describe its stratigraphy)’, ‘대비(correlation)’, ‘장소와 장소를 대비한다(correlated from place to place)’, ‘층서 분석(stratigraphic analysis)’, ‘상대연대 측정(relative dating)’, ‘상대적 연대 관계의 해석(interpretation of relative age relationships)’
통시적 사고 유형	역사 재구성 (변형 과정)	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 암층의 형성 후 지층에 이르기까지 변형 과정(역사)을 재구성하는 능력 예: ‘형성 시점부터 그 위치에서의 노출 시점까지(from the time of formation to the time of exposure at the location)’, ‘시간에 따른 지역의 환경(regional environments through time)’, ‘지질 사건을 재구성한다(reconstruct geologic events)’, ‘지질 역사(geologic history)’, ‘정당화된 지질 모형을 개발한다(develops a well-justified geological model)’, ‘연대기적으로 이어지는 사건(chronological subsequent event)’, ‘구조적 발달(structural development)’, ‘퇴적 과정의 재구성(reconstruction of depositional sequences)’, ‘발생했을 것으로 여겨지는 지질 사건의 순서대로(in what order geologic events probably happened)’, ‘결론 절에 지질 형성과 유전적 함의에 관한 논의를 포함한다(include in the conclusion section a discussion on geologic formation and genetic implications)’
	절대연대	<ul style="list-style-type: none"> 의미: 암석의 절대연대를 측정하고 수치화하는 능력 또는 지층의 역사 재구성에서 절대연대를 고려할 줄 아는 능력 예: ‘화강암 연대를 측정한다(age the granite)’, ‘연대를 측정한다(coordinate ages)’, ‘응회암 시료의 절대연대 분석’, ‘동위원소 연대 측정(isotopic dating)’, ‘방사성 연대 측정(radiometric dating)’

Table 8. Results of analysis on sub-elements of observation in geological fieldwork

사례 수 (%)

관찰 하위 요소											관찰 포함 사례	전체 사례
관찰의 자율성*				목적적 관찰	도구 사용*		측정 측면*			표본 수집 포함		
자유 관찰	교사 안내	구조화	불명확		관찰 도구	측정 도구	방향, 각도	거리, 길이	기타			
25	19	12	10	44	7	28	20	11	14	15	53	53
(47)	(36)	(23)	(19)	(83)	(13)	(53)	(38)	(21)	(26)	(28)	(100)	(100)

*한 사례에서 동일 관찰 하위 요소의 여러 하위 요소가 나타날 경우 중복 집계.

을 생성한 것으로 간주했다. 본 연구에서는 관찰에서 얻어진 자료를 바탕으로 어떤 현상이 발생한 원인을 설명하는 과정을 귀추적 추론으로 보았으며, 이것은 기초 탐구 기능 중 하나인 추리(reasoning)에 대한 Lee *et al.*(2005)의 정의와 유사하다.

4. 공간적 사고

공간적 사고의 분석 기준은 공간적 사고 유형을 중심으로 개발했다. 먼저 Kali & Orion(1996)가 제시한 구조지질학에서 요구되는 두 가지 공간 능력의 특징인 ‘공간 배치 형태 인식’과 ‘투시’를 하위 요소로 선정했다. 그 후 예비 분석을 통해 야외 지질 답사에서 자주 제시되는 지질도 작성 과정 중 지도 상에서 자신의 위치를 찾거나 길을 찾는 등의 공간 능력이 필요함을 발견했고, 이에 Lobben(2004)의 ‘자기 위치화 능력’을 추가했다(Table 6).

5. 통시적 사고

통시적 사고 분석 기준은 통시적 사고 유형을 중심으로 개발했다. 먼저 Dodick & Orion(2003a)이 제시한 지질학적 시간에 대한 수동적 이해(절대연대) 및 지질학적 시간에 대한 논리적/능동적 이해(상대연대)를 하위 요소로 선정했다. 그 후 예비 분석을 통해 상대연대 관련 요소를 암석의 상대적 순서를 밝히는 능력인 층서(생성 순서)와 암층 형성 후의 변형 과정을 밝히는 능력인 역사 재구성(변형 과정)으로 구분하는 것으로 수정했다(Table 7).

V. 문헌 분석 결과

1. 야외 지질학 탐구 요소별 분석

가. 관찰

관찰 분석 기준(Table 3)에 따른 관찰 하위 요소 분석 결과, 관찰은 모든 야외 지질 답사 교육 사례에 포함되어 있었다(Table 8). 이는 관찰 없는 야외 지질 답사를 상상하기 어려움을 의미한다. 관찰의 자율성 측면에서 보면 현장에서 학생 스스로 관찰 대상을 찾아 관찰을 수행하는 등 참여자의 자율성이 높은 자유 관찰(25건, 47%)이 답사 장소에 대한 교사의 해설식 설명을 들으며 교사가 정한 대상을 관찰하는 등 참여자의 자율성이 낮은 구조화 관찰(12건, 23%)보다 높게 나타났다. 목적적 관찰을 하는 경우는 44건(83%)으로 많았는데, 예를 들면 관찰의 목적이 지질학적 역사를 밝히기 위한 증거를 발견하기 위한 것임을 교사가 언급해 주거나, 학생 스스로 설계한 연구 질문에 답하기 위해 필요한 관찰을 하는 것 등이었다. 도구 사용 측면에서 관찰 도구를 사용하는 경우는 7건(13%)으로 적었고, 측정 도구를 사용한 정량적 관찰은 절반 정도(28건, 53%)로 나타났다. 측정 측면에서 보면 지층면이나 절리면의 주향과 경사 등 브런던 컴퍼스나 클리노미터를 활용하여 방향과 각도를 측정하는 경우가 가장 많았고(20건, 38%), 기타(14건, 26%), 거리와 길이(11건, 21%) 등의 순이었다. 거리와 길이는 주로 지층의 두께나 암석을 구성하는 입자의 크기 등을 자나 스케일바를 활용하여 측정하는 경우가 많았다. 암석 및 화석 등 표본 수집을 포함하는 경우는 15건(28%)으로 빈도가 높지 않았다.

Table 9. Results of analysis on sub-elements of representation in geological fieldwork

사례 수 (%)

표상 하위 요소							표상 포함 사례	전체 사례
표상의 자율성*			표상 유형					
자유 양식	구조화된 양식	불명확	시각+언어화	시각화	언어화	불명확		
28	9	15	33	7	7	3	50	53
(53)	(17)	(28)	(62)	(13)	(13)	(6)	(94)	(100)

*한 사례에서 동일 표상 하위 요소의 여러 하위 요소가 나타날 경우 중복 집계.

Table 10. Results of analysis on sub-elements of abductive reasoning in geological fieldwork

사례 수 (%)

귀추적 추론 하위 요소										귀추적 추론 포함 사례	전체 사례
귀추 단계 포함*			가설 내용*		가설 정교화 방법*			설명 방법*			
가설 생성	가설 정교화	최종 설명	지질 형성 과정 관련	기타	토론	검증 (추가 관찰)	기타	발표	보고서		
36	20	21	24	14	14	7	7	15	12	38	53
(68)	(38)	(40)	(45)	(26)	(26)	(13)	(13)	(28)	(23)	(72)	(100)

*한 사례에서 동일 귀추적 추론 하위 요소의 여러 하위 요소가 나타날 경우 중복 집계.

Table 11. Results of analysis on sub-elements of spatial thinking in geological fieldwork

사례 수 (%)

공간적 사고 하위 요소							공간적 사고 포함 사례	전체 사례
공간적 사고 유형*			공간적 사고 유형 개수					
자기 위치화	공간 배치 형태 인식	투시	3가지	2가지	1가지			
29	28	16	13	14	6	33	53	
(55)	(53)	(30)	(25)	(26)	(11)	(62)	(100)	

*한 사례에서 동일 공간적 사고 하위 요소의 여러 하위 요소가 나타날 경우 중복 집계.

나. 표상

표상 분석 기준(Table 4)에 따른 표상 하위 요소 분석 결과, 학생이 생성해 내는 능동적 표상이 포함된 경우는 50건(94%)으로 표상 활동은 대부분의 사례에서 명시적으로 드러나 있었다(Table 9). 표상의 자율성 측면에서는 야장, 지질도 작성 등 자유 양식(28건, 53%)이 활동지 빈칸 등의 구조화된 양식(9건, 17%)보다 3배 이상 높게 사용되었다. 즉, 학생들이 자유로운 양식으로 관찰 결과 및 아이디어를 표상하도록 지질 답사를 설계한 사례가 더 많았다. 표상 유형은 시각화 및 언어화를 모두 포함하는 경우(33건, 62%)가 가장 많았고, 관찰 및 해석한 내용을 표현할 때 스케치, 사진, 지도, 그림 등 시각화만 포함하는 경우나 말이나 글에 해당하는 언어화만 포함하는 경우는 각각 7건(13%)이었다. 지질 답사 보고서 작성을 요구하지만 보고서에 포함되어야 할 내용이 명시적으로 제시되지 않는 등 표상 유형이 불명확한 경우는 3건(6%)이었다.

다. 귀추적 추론

귀추적 추론 분석 기준(Table 5)에 따른 귀추적 추론 하위 요소 분석 결과는 Table 10과 같다. 귀추적 추론을 포함한 경우는 전체 사례 중 38건(72%)으로, 야외 지질학 탐구 요소 중 세 번째로 높은 비율이었다. 귀추 단계 중 1단계인 가설 생성이 가장 많이 나타났으며(36건, 68%), 3단계인 최종 설명(21건, 40%), 2단계인 가설 정교화(20건, 38%) 순이었다. 귀추의 3단계가 모두 나타난 사례가 12건(23%)으

로 가장 많았고, 1단계만 나타난 경우가 9건(17%), 1·2단계가 나타난 경우가 8건(15%), 1·3단계가 나타난 경우가 7건(13%), 3단계만 나타난 경우가 2건(4%)으로 뒤를 이었다. 귀추를 포함한 사례 중 대부분은 가설 생성 단계를 명시적으로 포함했지만, 가설 생성 없이 최종 설명만 나타나 있는 경우(2건, 4%)도 있었다. 생성한 가설의 내용은 고환경 추론 등 지질 형성 과정과 관련된 경우(24건, 45%)가 기타인 경우(14건, 26%)보다 훨씬 많았다. 가설 내용이 기타로 분류된 경우는 지질 형성 과정과 관련되지 않은 가설이거나 학생 스스로 설계한 연구 질문에 대한 가설로서 그 내용이 명시적으로 문헌 안에서 드러나지 않기도 했다. 가설을 정교화하는 방법에서 동료 및 강사와의 토론이 14건(26%)으로 가장 높았고, 추가 관찰 자료 수집을 통한 검증 및 기타 방법이 각각 7건(13%)으로 동일하게 나타났다. 최종 설명 방법은 발표(15건, 28%)와 보고서(12건, 23%)가 비슷한 빈도를 보였다. 야외 지질 답사에서 귀추적 추론을 포함하는지와 생성 가설이 지질 형성과 관련되는지의 여부는 해당 지질 답사 교육의 목적과 관련이 높다. 야외 지질 답사 교육 대상 사례 중 절반 가량(24건, 45%)이 명시적으로 관찰 결과를 바탕으로 지질 형성 과정에서 있었던 지질학적 사건을 추론하는 활동을 포함하고 있었는데, 이는 야외 지질학 탐구의 목적에 부합한다고 볼 수 있다.

라. 공간적 사고

공간적 사고 분석 기준(Table 6)에 따른 하위 요소 분석 결과는 Table 11과 같다. 공간적 사고는 전체 사례 중 33건(62%)에 포함되어

Table 12. Results of analysis on sub-elements of diachronic thinking in geological fieldwork

사례 수 (%)

통시적 사고 하위 요소						통시적 사고 포함 사례	전체 사례
통시적 사고 유형*			통시적 사고 유형 개수				
층서	역사 재구성	절대연대	3가지	2가지	1가지		
22	17	6	1	15	12	28	53
(42)	(32)	(11)	(2)	(28)	(23)	(53)	(100)

*한 사례에서 동일 통시적 사고 하위 요소의 여러 하위 요소가 나타날 경우 중복 집계.

Table 13. Number of cases on geological fieldwork including each field geologic inquiry elements

사례 수 (%)

야외 지질학 탐구 요소					전체 사례
관찰	표상	귀추적 추론	공간적 사고	통시적 사고	
53	50	38	33	28	53
(100)	(94)	(72)	(62)	(53)	(100)

있었다. 야외 지질 답사에서 비교적 빈번하게 나타나는 공간적 사고 유형은 공간 배치 형태 인식(29건, 55%)과 자기 위치화(28건, 53%)였다. 흥미롭게도 자기 위치화와 공간 배치 형태 인식이 동시에 나타나는 사례가 절반 가량(24건, 45%) 있었는데, 이는 지질도 작성 활동이 다양한 지질 구조의 공간적 배치 형태를 인식하고 3차원 현장의 공간적 정보를 2차원 지도로 변환하여 해당 지질 구조가 위치하는 곳의 지도 상에서 어디인지 표시하는 등의 다양한 공간적 사고를 요구하기 때문이다. 한편, 야외 지질 답사 교육 사례에서 투시(16건, 30%) 유형의 공간적 사고는 비교적 적게 포함되어 있었는데, 투시는 주로 보조 지질도인 지질 단면도를 작성하는 활동을 통해 나타났다. 이는 지질 단면도가 지표면이 아니라 지하 암석 분포 상태, 암석 간 상호 관계(정합·부정합, 관입 등) 및 지질 구조(습곡, 단층 등) 등을 나타내는 것이기 때문이다.

마. 통시적 사고

통시적 사고 분석 기준(Table 7)에 따른 하위 요소 분석 결과는 Table 12와 같다. 전체 사례 중 통시적 사고를 포함한 경우는 28건(53%)으로 가장 적게 포함된 탐구 요소다. 통시적 사고 유형 중 층서와 같이 생성 순서를 고려한 경우가 22건(42%)으로 가장 많았으며, 생성 후 변형 과정을 고려하여 지질 역사를 재구성한 경우는 17건(32%)이었고, 층서와 역사 재구성이 함께 나타나는 경우가 14건(26%) 있었는데, 이 두 가지는 주로 지질 답사 보고서 과제에서 같이 나타났다. 지질 답사 보고서 과제는 답사에서 수집한 자료로부터 해당 지역의 지질 형성 및 변형 과정에 대한 역사를 재구성하여 결론에 제시하도록 하여 다양한 유형의 통시적 사고를 요구하기 때문이다. 한편 절대연대를 알아내기 위해 시료를 채취하는 등의 활동을 포함한 경우는 6건(11%)에 불과했다. 절대연대 분석은 답사 후 실험실에서 전문 장비를 통한 추가 분석이 필요하기 때문에 야외 지질 답사에서 포함되기 어려운 것으로 해석된다. 야외 지질 답사 프로그램 내에서 학생들이 절대연대를 고려한 역사 재구성을 하도록 하기 위한 교수 학습 방안이 개발되어야 할 것이다.

2. 탐구 요소 전반 종합: 야외 지질 학습 경향

가. 야외 지질학 탐구 요소별 답사 포함 여부

본 연구에서 도출한 야외 지질학 탐구 요소인 관찰, 표상, 귀추적 추론, 공간적 사고, 통시적 사고 각각이 개별 사례에 포함되어 있는지 분석한 결과, 야외 지질 답사에 관찰이 가장 많이(53건, 100%) 포함되어 있었고, 표상(50건, 94%), 귀추적 추론(38건, 72%), 공간적 사고(33건, 62%), 통시적 사고(28건, 53%) 순으로 나타났다(Table 13). 문헌에 obsev*, measur* 등으로 시작하는 단어가 포함되고 전후 맥락상 그 단어가 야외 지질 답사에서의 관찰을 의미할 경우 관찰 요소가 포함되어 있는 것으로 산정했다. 또한 문헌에 표상 유형이 구체적으로 나타나 있는 경우 표상 요소가 포함되어 있는 것으로, 문헌에 귀추 단계 중 1단계 이상 나타나는 경우 귀추적 추론 요소가 포함되어 있는 것으로 산정했다. 그리고 문헌에 공간적 사고 유형 및 통시적 사고 유형 각각이 1개 이상 제시될 경우 공간적 사고 및 통시적 사고 요소가 포함되어 있는 것으로 산정했다.

야외 지질 답사 교육 사례에서 다섯 가지 야외 지질학 탐구 요소가 포함된 빈도가 다르게 나타나는데, 포함 빈도가 높을수록 해당 탐구 요소는 지질 답사 교육에서 보다 기본적으로 활용되고 있음을 의미한다. 현장에서 지질 요소를 관찰하는 것과 관찰 결과를 시각적 또는 언어적으로 표상하는 활동은 대부분의 야외 지질 학습에서 기본적으로 활용하고 있었다. 이는 관찰과 표상 활동이 야외 지질 답사에서 필수적이라고 여겨지거나, 혹은 대부분의 교육 대상이 수행할 수 있음을 의미한다. 한편, 관찰 결과를 증거로 하고 자신의 과학 지식을 활용하여 지질학적 사건 등을 추론하는 활동은 72% 비율로 관찰이나 표상보다 낮았다. 이는 귀추적 추론 활동이 특정 교육 대상에게 어렵다고 생각되어 야외 지질 답사에서 선택적 탐구 요소로 여겨지고 있음을 의미한다. 지질도 및 보조 지질도를 작성하는 과정이나 지질 답사 보고서를 작성하는 활동을 통해 활용되는 공간적 및 통시적 사고는 가장 낮은 빈도로 활용되었다. 특히 이 활동은 지질학 관련 전공생 대상 답사에서는 높은 비율로 나타났지만, 어린 학생들을 대상으로 한 야외 지질 답사에서는 거의 이루어지지 않았다. 공간적 및 통시적 사고 또한 다른 야외 지질학 탐구 요소들과 마찬가지로 학습자 수준에 적합하게 학습하도록 지질 답사에서 더 많이 활용될 필요가 있다.

Table 14. Types and number of field geologic inquiry elements included in geological fieldwork

사례 수 (%)

야외 지질학 탐구 요소 종류 및 개수											전체 사례
5가지		4가지		3가지			2가지		1가지		
abcde	abcd	abce	abde	abc	abd	abe	acd	ab	ae	a	
20	5	2	4	10	3	1	1	5	1	1	53
(38)	(9)	(4)	(8)	(19)	(6)	(2)	(2)	(9)	(2)	(2)	(100)

주: a(관찰), b(표상), c(귀추적 추론), d(공간적 사고), e(통시적 사고).

나. 답사에 포함된 야외 지질학 탐구 요소의 다양성: 종류와 개수

야외 지질학 탐구 요소 다섯 가지가 각각 포함되거나 포함되지 않았을 경우의 수를 종합하면 총 32가지인데, 이 중 분석을 통해 발견된 유형은 11가지였다. 집단별 11가지 유형이 나타난 사례 수는 Table 14와 같다.

야외 지질 답사에 야외 지질학 탐구 요소가 얼마나 다양하게 반영되어 있는지 알아보기 위해, 개별 사례에 포함된 야외 지질학 탐구 요소 개수를 합산한 결과, 총 사례 중 야외 지질학 탐구 요소 5가지를 모두 포함한 사례가 20건(38%)으로 가장 많았으며, 3가지인 경우가 15건(28%), 4가지인 경우가 11건(21%), 2가지인 경우가 6건(11%), 1가지인 경우는 단 1건(2%)에 불과했다. 3가지 이상의 야외 지질학 탐구 요소를 포함하는 경우가 총 46건으로 87%의 높은 비율을 나타내는 것은 그 동안 많은 야외 지질 답사가 야외 지질학 탐구의 특징 다양하게 반영해 왔음을 의미한다. 한편, 야외 지질학 탐구 요소 5가지를 모두 포함한 야외 지질 답사 사례의 교육 대상은 대부분 지질학 관련 전공생이나 과학 교사였으며, K-12를 대상으로 한 경우는 단 1건도 없었음은 주목할 만하다. 즉, K-12를 대상으로 한 야외 지질 답사보다 지질학 관련 전공생을 대상으로 한 답사에 더욱 다양한 야외 지질학 탐구 요소가 포함되었다는 것이다. 지질학 관련 전공생을 대상으로 한 야외 지질 답사는 지질학 관련 전문가 양성 목적으로 수행되는 경우가 많다. 이 집단을 대상으로 한 야외 지질 답사는 다른 집단의 경우보다 다양한 야외 지질학 탐구 요소를 포함하고 있으며, 이는 보다 지질학 탐 탐구에 가까운 형태일 것이다.

VI. 결론 및 제언

과학의 본성에 대한 이해를 목적으로 하는 과학 교육에서 참 탐구의 강조는 당연하다. 야외 지질학 탐구는 실험 과학과 다르게 역사 과학 및 해석 과학 관련 연구 방법론을 가지고 있어 학생들이 과학의 본성에 대한 이해를 확장하는 데 긍정적 영향을 줄 수 있다. 그럼에도 불구하고 그 동안 지질학 참 탐구의 방법으로서 야외 지질 답사 교육을 많이 고려하지 않았다. 본 연구는 지질학 참 탐구의 특징을 규명하기 위해 야외 지질학 탐구 요소를 관찰, 표상, 귀추적 추론, 공간적 사고 및 통시적 사고 등 다섯 가지로 도출했고, 지질 답사 교육 분석 기준을 개발하여 최근 20년간의 야외 지질 답사 교육 사례들이 지질학 참 탐구를 경험하는 기회로 활용되고 있는 지 현황을 분석했다.

야외 지질 답사 분석 대상의 특징을 보면, 조사된 20년의 기간 동안 발표된 관련 논문 수는 연도에 따른 특별한 증감을 보이지 않았다. 전체적으로 출판되는 과학 교육 논문 수가 증가했음을 고려하면, 이

러한 결과는 과학 교육계에서 야외 지질 답사 교육에 대한 관심이 감소하는 것으로 해석될 수 있다. 참 탐구의 실현이라는 측면에서 야외 지질 답사에 대한 연구가 보다 확대될 필요가 있다. 야외 지질 답사 교육 대상은 국내 연구의 경우 대부분 K-12이고, 국외 연구의 경우는 대부분 지질학 관련 전공생이었다. 특히 국내에서는 지질학 관련 전공생을 대상으로 한 야외 지질 답사 연구 사례가 발견되지 않았는데, 국내 과학 교육 연구자들이 지구과학 전문가 양성 과정 또한 관심을 가지고 연구 대상을 확장할 필요성을 시사한다.

야외 지질 학습 분석 기준을 바탕으로 야외 지질 답사 교육 사례를 분석한 결과, 탐구 요소별 분석 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다. 관찰은 모든 야외 지질 답사 교육 사례에 포함되어 있었는데, 목적적 관찰을 하는 경우가 83%로 매우 높게 나타났으며, 관찰의 자율성이 높은 자유 관찰 및 측정 도구를 활용한 양적 관찰을 하는 경우가 절반 정도 있었다. 표상은 50건의 사례에 포함되어 있었는데, 표상 유형 측면에서 시각화 표상과 언어화 표상을 모두 활용하는 경우가 가장 많았고(62%), 표상의 자율성 측면에서는 자유 양식인 경우(53%)가 가장 많았다. 귀추적 추론은 38건의 사례에 포함되어 있었으며, 귀추의 3단계 중 가설 생성 단계가 포함된 경우(68%)가 가장 많았다. 형성된 가설 내용은 지질 형성 과정과 관련된 경우(45%)가 많았다. 공간적 사고는 33건의 사례에 포함되어 있었고, 공간적 사고 유형 중 자기 위치화(55%) 및 공간 배치 형태 인식(53%)이 높은 비율로 나타났다. 통시적 사고는 28건의 사례에 포함되어 있었고, 통시적 사고 유형 중 층서(42%)가 가장 높은 비율로 나타났다.

야외 지질학 탐구 요소 전반을 분석한 결과, 전체 사례 중 3가지 이상의 야외 지질학 탐구 요소를 포함하는 경우가 87%의 높은 비율을 나타낸 것으로 보아, 그 동안의 많은 야외 지질 답사가 야외 지질학 탐구의 특징을 반영해 왔음을 알 수 있다. 한편, 야외 지질학 탐구 요소 반영 형태에 있어 지질학 관련 전공생 대상 야외 지질 답사에는 야외 지질학 탐구의 요소가 보다 다양하게 포함되어 있어, 지질학 참 탐구에 가까운 형태로 나타났다. 야외 지질 답사를 보다 실제적인(authentic) 야외 지질학 탐구가 되도록 설계하기 위해서 지질학 관련 전공생 대상 야외 지질 답사 교육 과정으로부터 시사점을 얻을 수 있다. 지질학 관련 전공생 집단의 답사에는 지질도 작성 및 지질 답사 보고서 활동을 요구하는 경우가 많아 공간적 및 통시적 사고가 포함되어 있는 비율이 높다. 향후 야외 지질 답사 교육에서 대상의 인지 발달 단계 및 선지식 수준을 고려하여 이러한 활동 및 과제를 적절히 포함한다면 학습자들이 보다 실제적인 야외 지질학 탐구를 경험할 수 있을 것이다.

본 연구에서 개발한 야외 지질학 탐구 요소 분석 기준은 야외 지질학 탐구의 실제성 차원에서 지질 답사 교육 사례를 분석할 수 있다는 점에서 이전의 분석틀과 차별화된다. 이 분석 기준은 다양한 문헌에

근거를 두고 예비 분석을 통해 귀납적으로 도출된 것으로, 후속 연구를 통해 이론적으로 완성될 필요가 있다. 특히 야외 지질학 탐구 요소 분석 기준에 더해 과학 교육에서 중요하게 여겨지는 과학의 본성 관련 내용이 포함된다면, 야외 지질 답사 프로그램이 참 탐구를 교육하기 위해 적절한지 평가하는 틀로서 이상적 기준을 제시할 수 있을 것이다.

본 연구는 야외 지질학 탐구 요소를 기준으로 야외 지질 답사 교육 현황을 진단하여 참 과학 탐구로서 야외 지질 답사 교육의 활용 가능성에 대한 실증적 근거를 제공했다는 점에서 의의가 있다. 한편, 본 연구는 문헌에 나타난 야외 지질 답사 사례의 전반적 특성을 분석한 것으로, 향후 교육 대상별 혹은 답사 기간별 야외 지질 답사의 특징 등 보다 세부적이고 심층적 분석도 가능할 것이다. 나아가 본 연구에서 제시된 실제성이 높은 야외 지질 답사의 특징을 교수·학습 설계 시 반영하는 등 야외 지질 답사를 지질학 참 탐구의 장으로서 활용하는 교육 프로그램 및 후속 연구가 이어지기를 기대한다. 특히 본 연구에서 도출한 야외 지질학 탐구 요소 및 하위 요소를 기초로 하여, 각 요소를 교육 대상에 적절하게 교수하는 방법에 대한 연구는 과학 교육에서 참 과학 탐구를 실현하는 데 실질적으로 기여할 수 있을 것이다.

국문요약

본 연구는 최근 20년간 국내외에서 수행된 야외 지질 답사 교육이 지질학 참 탐구의 특성을 어떻게 반영하고 있는지 분석한 문헌 분석 연구다. 이를 위해 먼저 야외 지질학자의 실제 연구 방법 및 과학 교육학적 중요성을 고려하여 야외 지질학 탐구 요소 다섯 가지(관찰, 표상, 귀추적 추론, 공간적 사고, 통시적 사고)를 도출하고, 이를 바탕으로 탐구 하위 요소를 추가하여 지질 답사 교육 분석 기준을 개발했다. 분석 대상 사례는 총 53건이었으며, 분석은 야외 지질학 탐구 요소별 하위 요소 및 탐구 요소 전반이 나타나는 경향에 대해 수행되었다. 분석 결과, 관찰과 표상은 대부분의 사례에 포함되어 있었으며, 귀추적 추론, 공간적 사고, 통시적 사고 순으로 포함된 빈도수가 적었다. 관찰은 목적적 관찰 및 자유 관찰의 비율이 높았고, 표상에서는 시각화·언어화 유형과 자유 양식의 표상이 많이 나타났으며, 귀추적 추론에서는 가설 생성 단계가 포함되는 경우가 많고 가설 내용은 지질 형성 과정과 관련된 경우가 많았다. 공간적 사고에서는 자기 위치화 및 공간 배치 형태 인식 유형이 높은 비율로 나타나고, 통시적 사고에서는 층서 유형의 사고가 가장 많이 나타났다. 3가지 이상의 야외 지질학 탐구 요소를 포함하는 경우는 전체 사례의 87%였다. 이 연구의 결과를 바탕으로 향후 참 과학 탐구로서 야외 지질 답사 교육의 활용과 관련한 시사점을 제시했다.

주제어 : 야외 지질 답사 교육, 지질학 참 탐구, 문헌 분석, 야외 지질학 탐구 요소, 지질 답사 교육 분석 기준

References

Ainsworth, S. (1999). The Functions of Multiple Representations. *Computers, & Education*, 33(2), 131-152.
Ault, C. R. (1998). Criteria of Excellence for Geological Inquiry: The Necessity of Ambiguity. *Journal of Research in Science Teaching*,

35(2), 189-212.
Bae, H., & Chung, G. (2008). A Comparative Analysis on Inquiry Activities in Geology of High School Earth Science Textbooks of Korea and the U. S. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 29(7), 626-639.
Bamberger, J. (2014). The Laboratory for Making Things: Developing Multiple Representations of Knowledge. In Eilam, B. and Gilbert, J. K. (Eds.), *Science Teachers' Use of Visual Representations* (pp. 291-311). Cham: Springer International Publishing.
Bannan, B., Peters, E., & Martinez, P. (2010). Mobile, Inquiry-based Learning and Geological Observation: An Exploratory Study. *International Journal of Mobile and Blended Learning*, 2(3), 13-29.
Behrendt, M., & Franklin, T. (2014). A Review of Research on School Field Trips and Their Value in Education. *International Journal of Environmental and Science Education*, 9(3), 235-245.
Bentley, M. L., Ebert, C., & Ebert, E. S. (2000). *The Natural Investigator: A Constructivist Approach to Teaching Elementary and Middle School Science*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
Chamberlin, T. C. (1965). The method of multiple working hypotheses. *Science*, 148, 754-759. Originally published in *Science* in 1890.
Cheong, C., Kim, J., & Lee, Y. (2011). *지질학 [Geology]*. Seoul: Parkyoungsa.
Chiappetta, E. L., & Koballa, T. R. (2014). *Science Instruction in the Middle and Secondary Schools* (7th ed.). Boston: Pearson Allyn, & Bacon.
Cho, H., Jeong, S., & Yang, I. (2008). The Development of the Analytic Coding Frames on the Abductive Reasoning in Scientific Inquiry. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 29(7), 586-601.
Cho, H., Kim, H., Yoon, H., & Lee, K. (2011). *과학 교육의 이론과 실제 [Theory and Practice of Science Education]* (4th). Seoul: Kyouyookgwahagsa.
Choi, J. (2013). Middle and High School Students' Self-location Ability in Map Reading for Wayfinding. *Journal of Geographic and Environmental Education*, 21(1), 65-77.
Dodick, J., & Orion, N. (2003a). Cognitive Factors Affecting Student Understanding of Geologic Time. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(4), 415-442.
Dodick, J., & Orion, N. (2003b). Measuring Student Understanding of Geological Time. *Science Education*, 87(5), 708-731.
Engelhardt, W., & Zimmermann, J. (1988). *Theory of Earth Science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press; English version.
Esteves, H., Ferreira, P., Vasconcelos, C., & Fernandes, I. (2013). Geological Fieldwork: A Study Carried Out With Portuguese Secondary School Students. *Journal of Geoscience Education*, 61(3), 318-325.
Frodeman, R. (1995). Geological reasoning: Geology as an interpretive and historical science. *Geological Society of America Bulletin*, 107(8), 960-968.
Gaigher, E., Lederman, N., & Lederman, J. (2014). Knowledge about Inquiry: A study in South African high schools. *International Journal of Science Education*, 36(18), 3125-3147.
Gilbert, J. K., Boulter, C. J., & Elmer, R. (2000). Positioning Models in Science Education and in Design and Technology. In J. K. Gilbert, & C. J. Boulter (Eds.), *Developing Models in Science Education* (pp. 3-17). Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
Granshaw, F. D. (2011). *Designing and Using Virtual Field Environments to Enhance and Extend Field Experience in Professional Development Programs in Geology for K-12 Teachers* (Doctoral dissertation). Available from ProQuest Dissertations and Theses database. (DAI No. 3458471)
Gray, R. (2014). The Distinction between Experimental and Historical Sciences as a Framework for Improving Classroom Inquiry. *Science Education*, 98(2), 327-341.
Gray, R., & Kang, N. (2014). The Structure of Scientific Arguments by Secondary Science Teachers: Comparison of experimental and historical science topics. *International Journal of Science Education*, 36(1), 46-65.
Hand, B., Choi, A., Greenbowe, T., Schroeder, J., & Bennett, W. (2008). Examining the Impact of Student Use of Multiple-mode Representations in Constructing Science Arguments. In *Annual International Conference of National Association for Research in Science Teaching*, Baltimore, MD.
Jeong, J., Won, H., & Kwon, Y. (2005). Application of the Triple Abduction Model for Improving the Skills of Scientific Hypothesis Generation. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 25(5), 595-602.
Jeong, S., Choi, H., & Yang, I. (2011). An Analysis of Abductive Reasoning on the Inquiry of Scientists and Elementary School Gifted Children in Science. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 31(6), 901-919.
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(6), 686-698.
- Kali, Y., & Orion, N. (1996). Spatial Abilities of High-school Students in the Perception of Geologic Structures. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(4), 369-391.
- Kang, S., & Noh, T. (2014). *과학의 본성 [Nature of science]*. Seoul: Bookshill.
- Kim, C. (2002). Inferences frequently used in earth science. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 23(2), 188-193.
- Kim, C. (2003). Preparing Teachers for Systems Science Methodology. In V. J. Mayer (Ed.), *Implementing Global Science Literacy*, (pp. 255-266). Columbus, OH: The Ohio State University.
- Kim, C., Park, I., An, H., Oh, P., Kim, D., & Park, Y. (2005). Development of an Inquiry Analysis Framework Based on the Features of Earth Science Inquiry Methodology and the Analysis of Inquiry Activities in the 8th Grade "Earth History and Diastrophism" Unit. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 26(8), 751-758.
- Kim, J., Kim, M., & Park, Y. (2005). Analysis of Inquiry Tasks in Earth Unit of the 10th Grade Science Textbooks. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 26(6), 501-510.
- Kim, K., & Kim, J. (2006). High School Science Teachers' Understanding of the Contents Related to the Geologic Time in the Secondary School Science Textbooks and the Guidebooks for Teachers. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 27(1), 32-48.
- Kim, N., & Yoo, P. (2012). The Effect of Hypothesis Formulation using Abduction on Science Processing Skills and Creative Thinking Activities. *Journal of the Korean Society of Earth Science Education*, 5(1), 60-67.
- Kwon, Y., Jeong, J., Kang, M., & Park, Y. (2005). Patterns of Scientific Observation in Elementary and Secondary Science Teachers' Observing Biological Phenomena. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 25(3), 431-439.
- Kwon, Y., Shim, H., Jeong, J., & Park, J. (2003). Role and Process of Abduction in Elementary School Students' Generation of Hypotheses concerning Vapor Condensation. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 24(4), 250-257.
- Laudan, R. (1987). *From mineralogy to geology: the foundations of a science, 1650-1830*. Chicago, Illinois: University of Chicago Press.
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking*. Belmont, Calif.: Wadsworth Publication.
- Lederman, N. G., Abd-El-khalick, F., Bell, R. L., & Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497-521.
- Lee, B., Kim, J., Lee, Y., Hong, M., & Shin, D. (2000). *과학과 탐구과정의 하위 요소 추출 및 위계화 [Extraction and hierarchization of sub-elements of science inquiry process]* (Report No. RR 98-6). Cheongju: Korea national university of education Institute for Curriculum and Instruction.
- Lee, B., Park, B., & Kim, H. (2007). Analyses of the Basic Inquiry Process in Korean 3-10 Grade Science Textbooks: Focused on Observation and Measurement. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 27(5), 421-431.
- Lee, G., & Kwon, B. (2010). Reasoning-Based Inquiry Model Embedded in Earth Science Phenomena. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 31(2), 185-202.
- Lee, J., Lee, K., Park, Y., Maeng, S., & Oh, H. (2015). A Case Study on Spatial Thinking Revealed in Elementary School Science Class on Solar System and Stars. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(2), 179-197.
- Lee, K., Lee, S., Kang, E., Kwon, K., Kim, M., Nam, K., Byun, T., Lee, I., Lee, J., & Cho, Y. (2005). *과학탐구기능 들여다보기 제9장 추리하기 [Look into science inquiry skills chapter 9 Reasoning]*. In Seoul National University Science Education Research Center (Ed). *성공적인 중학교과학 탐구수업을 위한 길라잡이 자료 [Guidelines for Successful Middle School Science Inquiry Classes]*. Retrieved from <http://serc.snu.ac.kr/archives/read.php?bdiid=6&page=1&msid=660&st=&mecat1=6&mecat2=>
- Lee, W., Kim, H. S., & Kim, H. (2004). Development and Effects of Program for Enhancement of Spatial Abilities in the Units related to Geology of High School Students. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 25(6), 391-401.
- Lemke, J. (1998). Multiplying meaning: Visual and Verbal Semiotics in Scientific Text. In J. Martin, & R. Veel (Eds.), *Reading Science: Critical and Functional Perspectives on Discourses of Science* (pp. 87-113). London: Routledge.
- Liben, L. S., & Titus, S. J. (2012). The Importance of Spatial Thinking for Geoscience Education: Insights from the Crossroads of Geoscience and Cognitive Science. In Kastens, K. A., and Manduca, C. A. (eds.), *Earth and Mind II: A Synthesis of research on Thinking and Learning in the Geosciences*. 51-70. Boulder, CO: The Geological Society of America Inc.
- Lobben, A. K. (2004). Tasks, Strategies, and Cognitive Processes Associated With Navigational Map Reading: A Review Perspective. *The Professional Geographer*, 56(2), 270-281.
- 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(9), 818-831.
- Magnani, L. (2011). *Abduction, Reason and Science: Processes of Discovery and Explanation*. NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Martin, D. J. (2012). *Elementary Science Methods: A Constructivist Approach* (6th Ed). Belmont, CA: Wadsworth Inc.
- Mayer, R. E. (2003). *The Promise of Multimedia Learning: Using the Same Instructional Design Methods across Different Media*. *Learning and Instruction*, 13(2), 125-139.
- McComas, W., Clough, M. P., & Almazros, H. (1998). The Role and Character of the Nature of Science in Science Education. In W. McComas, W. (ed). *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Ministry of Education (MOE). (1997). *7차 과학과 교육과정 [7th Curriculum. -Science-]*. Seoul: MOE. MOE Notice No. 1997-15.
- Ministry of Education (MOE). (2015). *2015 개정 과학과 교육과정 [2015 Revised Curriculum -Science-]*. Seoul: MOE. MOE Notice No. 2015-74.
- 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). (2006). *Learning to Think Spatially: GIS as a Support System in the K-12 Curriculum*. Washington, DC: National Academies Press.
- Oh, P. (2016). Roles of Models in Abductive Reasoning: A Schematization through Theoretical and Empirical Studies. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(4), 551-561.
- 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(7), 586-601.
- Oh, J., Kim, S., & Kang, Y. (2008). A Suggestion for a Creative Teaching-Learning Program for Gifted Science Students Using Abductive Inference Strategies. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 28(8), 786-795.
- Oh, P., & Oh, S. (2011). A Study on the Processes of Elaborating Hypotheses in Abductive Inquiry of Preservice Elementary School Teachers. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 31(1), 128-142.
- Orion, N., & Ault, C. (2007). Learning Earth Sciences. In S. Abell, & N. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (pp. 653-688). Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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(10), 1097-1120.
- Park, D., & Park, M. (2013). Examining the Features of Earth Science Logical Reasoning and Authentic Scientific Inquiry Demonstrated in a High School Earth Science Curriculum: A Case Study. *Journal of Geoscience Education*, 61(4), 364-377.
- Park, H., & Cho, H. (2003). Analyses of Scientific Inquiry in Science 8. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 23(3), 239-245.
- Park, J. (2000). Analysis of Students' Processes of Generating Scientific Explanatory Hypothesis - Focused on the Definition and the Characteristics of Scientific Hypothesis. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 20(4), 667-679.
- Petcovic, H. L., Libarkin, J. C., & Baker, K. M. (2009). An Empirical Methodology for Investigating Geocognition in the Field. *Journal of Geoscience Education*, 57(4), 316-328.
- Piburn, M. D., Reynolds, S. J., Leedy, D. E., McAuliffe, C. M., Birk, J. P., & Johnson, J. K. (2002). The Hidden Earth: Visualization of Geologic Features and their Subsurface Geometry. In *Proceedings of the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*.
- 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.

- Renner, J. W., & Stafford, D. G. (1972). *Teaching Science in the Secondary School*. NY: Harper, & Row.
- Riggs, E. M., & Tretinjak, C. A. (2003). Evaluation of the Effectiveness of a Classroom and Field-based Curriculum Sedimentation and Change through Time for Pre-service Elementary Schoolteachers. Paper presented at the Geological Society of America annual meeting, Seattle, WA.
- Shin, N., & Youn, S. (2006). An Analysis on Inquiry of "Geology Units" in the "Science" Textbooks, the 7th Curriculum. *Secondary education research*, 54(2), 237-263.
- Smith, B. K., & Reiser, B. J. (2005). Explaining Behavior through Observational Investigation and Theory Articulation. *The Journal of the Learning Sciences*, 14(3), 315-360.
- Titus, S., & Horsman, E. (2009). Characterizing and Improving Spatial Visualization Skills. *Journal of Geoscience Education*, 57(4), 242-254.