

지구환경적 문제 해결 과정에서 귀추적 추론을 위한 규칙 추리 전략들

오필석

이화여자대학교

Rule-Infering Strategies for Abductive Reasoning in the Process of Solving an Earth-Environmental Problem

Oh, Phil Seok

Ewha Womans University

Abstract: The purpose of this study was to identify heuristically how abduction was used in a context of solving an earth-environmental problem. Thirty two groups of participants with different institutional backgrounds, i.e., inservice earth science teachers, preservice science teachers, and high school students, solved an open-ended earth-environmental problem and produced group texts in which their ways of solving the problem were written. The inferential processes in the texts were rearranged according to the syllogistic form of abduction and then analyzed iteratively so as to find thinking strategies used in the abductive reasoning. The result showed that abduction was employed in the process of solving the earth-environmental problem and that several thinking strategies were used for inferring rules from which abductive conclusions were drawn. The strategies found included data reconstruction, chained abduction, adapting novel information, model construction and manipulation, causal combination, elimination, case-based analogy, and existential strategy. It was suggested that abductive problems could be used to enhance students' thinking abilities and their understanding of the nature of earth science and earth-environmental problems.

Key words: abduction, abductive reasoning, earth science, problem solving, thinking strategy

I. 서론

과학과 같이 오랜 연구 전통을 지니고 있는 학문 분야에는 그 분야에 독특한 탐구 방법들이 존재한다. 이러한 탐구 방법들은 해당 교과를 가르치고 배우는 데에도 반영되어야 할 것으로, 특히 각급 학교의 과학 프로그램은 과학자들의 연구 수행 과정을 특징짓는 지적·문화적 전통, 즉 탐구의 전통을 고려한 형태로 운영되어야 한다(National Research Council, 1996). 과학의 다양한 탐구 방법들 중에서 귀추법(abduction)은 지구과학 탐구의 성격을 규정하는 방법으로 꼽히고 있으며(Baker, 1996, 2000; Engelhardt & Zimmermann, 1982; Kim, 2002; Rhoads & Thorn, 1996), 학교의 지구과학 수업에서도 귀추법을 반영한 탐구 활동이 이루어져야 한다는 주장이 제기되고 있다(오필석, 2005; 오필석, 김찬중, 2005; Dodick & Orion, 2003; Kim, 2003). 또한, 최근에 개발된 지구과학 교

육과정들은 지구환경적인 상황과 이슈를 적극적으로 활용함으로써 지구과학에서 다루고 있는 탐구 주제들이 전통적인 것보다는 더욱 확장된 사실을 반영하고 있는데(Duschl & Smith, 2001), 여러 가지 지구환경적인 문제를 해결하는 학습 활동에서도 귀추법은 중요한 역할을 할 수 있다.

일찍이 Peirce는 귀추법을 추론(inference)의 한 형태로 파악하였다. 이것은 귀추법이 연역법(deduction)이나 귀납법(induction)과 같이 전제들로부터 결론을 이끌어 내는 형식을 갖추고 있다는 뜻으로, 귀추법의 삼단논법적인(syllogistic) 형식을 자주 인용되는 귀추적 추론의 예를 통해 제시하면 다음과 같다.

(result) Q	이 콩들은 하얗다.
(rule) P → Q	이 주머니에서 나오는 콩은 모두 하얗다.

(case) ∴ P	∴ 이 콩들은 모두 이 주머니에서 나

*교신저자: 오필석(phloh@ewha.ac.kr)

**2006.03.02(접수) 2006.05.18(1심통과) 2006.06.07(2심통과) 2006.06.19(최종통과)

왔다.

위와 같이 귀추법은 결과(result)와 규칙(rule)에서 경우(case)를 도출하는 과정으로, 규칙과 경우에서 결과를 이끌어 내는 연역법이나 경우와 결과를 보고 규칙을 산출하는 귀납법과 대비되는 논증의 구조를 가지고 있다. 기능적으로 보면 귀추법은 $P \rightarrow Q$ 라는 규칙을 이용하여 Q라는 결과를 설명하는 것으로, 설명에 해당하는 내용(P)이 규칙($P \rightarrow Q$) 중에 이미 함의되어 있다. 다시 말하여, 귀추법은 결과를 시작점으로 삼고 그 결과를 어떤 규칙의 전형적인 사례로 간주하는 것이므로, 이 규칙을 확인하게 되면 결론은 논증의 형식에 따라 자연스럽게 도출된다(Bonfantini & Proni, 1983).

그런데, 이와 같은 형식을 갖춘 귀추법은 $P \rightarrow Q$ 라는 규칙에서 필요조건 Q가 주어졌을 때 충분조건 P를 결론으로 이끌어 내는 추론이기 때문에 결론의 진실성이 논리적으로 보장될 수 없는 확장적인(amplicative) 성격을 지닌다(오필석, 김찬중, 2005; Magnani, 2001). 이 점은 앞서 제시한 추론의 사례를 연역법의 형식에 따라 아래와 같이 재구성해 봄으로써 잘 알 수 있다.

(rule) $P \rightarrow Q$	이 주머니에서 나오는 콩은 모두 하얗다.
(case) P	이 콩들은 모두 이 주머니에서 나왔다.

(result) $\therefore Q$	\therefore 이 콩들은 하얗다.

위와 같은 연역법의 삼단논법적인 구조가 암시하는 바와 같이, 연역적 추론에서는 전제들이 참일 경우 그로부터 도출되는 결론은 반드시 참일 수밖에 없고, 이 때문에 연역법은 귀납법이나 귀추법과는 달리 엄격한 논리적 조건을 만족시키는 진리보존적인 논증 방법으로 여겨지고 있다.

귀추법과 연역법은 삼단논법적인 형식에서 서로 대비될 뿐만 아니라 과학적 탐구나 문제 해결 과정에 있어서도 서로 다른 기능을 한다(Mannoia, 1980). 즉, 연역법은 흔히 일반 이론(general theory)이나 포괄 법칙(covering law)에 대응하는 ‘규칙’과 초기 조건(initial condition)이라 할 수 있는 ‘경우’가 주어졌을 때, 이것들을 전제로 삼아 어떤 ‘결과’를 예측하거나 설명할 수 있게 해 준다. 대조적으로 귀추법은, 처음 제시한 사례에서와 같이, 어떤 ‘결과’를 경험한 추론자가 특정한 ‘규칙’을 활용하여 그 결과를 발생시킬 수 있는 가능성 있는 조건들, 즉 ‘경우’들을 제시할 수 있도록 해 준다. 따라서, 귀추법은 엄격한 논리적 기준에서는 타당하지 않음에도 불구하고 과학자들이

문제를 해결하기 위하여 임시적인 설명, 즉 가설(hypothesis)을 상정하는 데 자주 동원되며, 특히 현재 남아 있는 부분적이고 제한적인 증거들로부터 과거에 일어났던 과정들을 추론해야 하는 지구과학과 같은 역사 과학(historical science)의 탐구에서 중요한 역할을 한다(Baker, 1996, 2000; Engelhardt & Zimmermann, 1982; Kim, 2002; Rhoads & Thorn, 1996). 귀추법의 이러한 특징은 과학자들이 처음 가설을 제안하는 과정을 심리학이나 사회학의 영역으로 취급하였던 가설-연역론자들이나 반증주의자들의 견해와는 달리 과학자들의 가설 형성이 충분히 합리적이고(rational) 이해할만한(understandable) 추론의 과정을 거쳐 일어난다는 점을 잘 말해 주고 있으며, 과학을 배우는 학생들도 귀추법을 사용한 가설 형성 과정에 지적으로 참여할 필요가 있음을 시사해 준다.

과학적 탐구에서 귀추법을 사용하는 과학자들은 문제가 되는 현상이나 상황을 설명하는 데 필요한 규칙을 종종 자동적으로 혹은 반자동적으로 떠올릴 수 있다. 이러한 즉각적인 사고를 가리켜 Eco(1983)는 ‘지나치게 규범화된’(over-coded) 귀추법이라고 칭하기도 하였다. 하지만, 결과를 설명할 수 있는 규칙이 모든 사람들에게 항상 자동적으로 주어지는 것은 아니며, 많은 경우 추론자가 여러 가지 사고 전략을 동원하여 귀추적 추론의 전제가 되는 규칙을 추리해 내야 한다(Bonfantini & Proni, 1983; Eco, 1983). 이러한 까닭으로 Eco(1983)는 귀추법에는 지나치게 규범화된 것 외에도, ‘덜 규범화된’(under-coded) 귀추법, ‘창조적’(creative) 귀추법, ‘메타-귀추법’(meta-abduction) 등이 있음을 주장하면서, 훌륭한 규칙을 만들어 내거나 가장 설득력 있는 설명을 내놓게 하는 규칙을 선택하는 것이 귀추법이 지니는 독창성이라고 강조하였다. 또, 이와 같은 맥락에서 Thagard(1978, in Eco, 1983)는 귀추법을 경우를 추정하는 과정이라기 보다는 “규칙을 추리하는 추론”(abduction as inference to a rule, p. 203)으로 보아야 한다고 주장하기도 하였다. 즉, 귀추법이 어떤 현상을 설명하여 문제를 해결하는 기능을 다하기 위해서는 활용 가능한 다양한 규칙들 중에서 가장 유력한 것을 선택하거나 새로운 규칙을 창안해 내는 과정과 그 과정에 동원되는 사고 전략들이 중요하다는 것이다.

귀추법에서 규칙을 추리하는 데 사용되는 전략들은 이미 여러 연구자들에 의해 제시되어져 왔다(오필석, 김찬중, 2005; Engelhardt & Zimmermann, 1982; Johnson & Krems, 2001; Leak, 1995; Magnani, 2001; Shelley, 1996; Schurz, 2002; Thagard, 1988, 1992). 예를 들어, Magnani(2001)는 귀추법에 관련된

과학철학, 인지과학, 인공지능 분야의 쟁점들을 두루 다루면서 과학적 발견과 의학적 진단, 그리고 기타 창조적인 추론에 활용되는 귀추적 전략들을 세분하여 제시하였다. 또, Thagard(1992)는 지질학, 생물학, 물리학, 화학 등 과학사의 여러 가지 사례들을 통하여 귀추적 추론 과정에서 새로운 규칙이 어떻게 형성될 수 있는지를 보여 주었으며, 최근에 오필석과 김찬중(2005)은 지구과학의 귀추적 탐구 상황에서 규칙 추리와 가설 제안을 위해 동원되는 몇 가지 사고 전략들을 지구과학 탐구 사례들과 함께 논의한 바 있다. 귀추적 추론 과정에서 규칙으로 활용될 수 있는 것의 범주는 매우 넓은데, 여기에는 문화적인(cultural) 지식으로부터 개인적인(personal) 지식, 공적(public)이거나 사적(private)인 경험 등 우리가 공유하고 있는 일반적인 정보가 모두 포함된다(Harrowitz, 1983). 이러한 광범위한 범위의 정보를 추론자들이 가지고 있는 배경 지식(background knowledge)이라고 할 수 있으며, 추론자들의 배경 지식은 그 특정한 요소들이 귀추적 추론의 결론을 낳게 하는 규칙으로 등장할 수 있기 때문에 귀추법과 같은 창조적인 사고 과정에서 중요한 역할을 한다(Kim & Cunningham, 2003; Kruijff, 2005). 다시 말해, 귀추법의 창조적인 성격을 이해하기 위해서는 귀추적 추론자들이 기존에 알려져 있지 않은 새로운 가설을 제안한다는 사실에만 초점을 맞추기 보다는 그들이 이미 알고 있는 배경지식 중에서 어떤 특정한 규칙들을 선택하는 것과 관련된 사고 과정 또한 함께 살펴보아야 한다.

이상과 같이 귀추법은 추론자가 어떤 문제 상황에 직면했을 때 특정한 규칙을 추리하여 그것을 설명함으로써 문제를 해결하는 것을 가능하게 해 준다. 특히, 귀추법은 지구과학자들의 연구에서 문제 해결을 인도하는 추론 방법으로서 빈번히 활용되고 있다. 지구과학에서 다루어지는 문제들은 ‘설명적’(explanatory), ‘후진적’(後進的, retrodictive or postdictive), ‘예측적’(predictive)인 것으로 구분할 수 있는데(Schumm, 1991), 지구과학자들은 이러한 문제를 해결하기 위하여 특정한 사실이나 원리, 법칙, 그리고 자신의 경험을 규칙으로 삼아 지구 환경에 기록된 결과들로부터 그 원인이나 형성 과정, 또는 미래의 모습을 귀추적으로 추정하거나 예견해 나간다(Baker, 1996, 2000; Engelhardt & Zimmermann, 1982; Kim, 2002; Schumm, 1991; Rhoads & Thorn, 1996). 예컨대, Arizona 사막 한 가운데에서 움푹 파여진 구덩이(depression)를 관찰한 다양한 분야의 과학자들과 목동들은 저마다의 배경 지식에 따라서 구덩이의 기원

과 형성 과정에 대한 서로 다른 가설을 제안하였다(Gilbert, 1896).

하지만, 아직까지 지구과학자들의 전문적인 연구 상황이 아닌 교사나 학생들이 지구과학이나 지구과학 개념들이 포함된 문제를 해결하는 상황에서 귀추법이 어떻게 활용되는가에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다(예외적인 경우로는 권용주 등, 2003을 참고). 이 점을 고려하여 본 연구에서는 다양한 집단의 교사와 학생들이 지구환경적 문제를 해결하는 과정에서 귀추법이 어떻게 활용되고 있는가를 살펴보고자 한다. 특히 본 연구에서는 귀추법을 규칙을 추리하는 추론으로 보아야 한다는 Eco(1983)와 Thagard(1978) 등의 견해에 착안하여, 문제 상황에 따른 연구 참여자들의 추론 과정을 귀추법의 삼단논법적 형식에 따라 분석하면서 추론자들이 귀추적 결론이 합의된 규칙을 추리하는 데 사용한 사고 전략들을 발견법적으로 확인하는 것을 주된 목적으로 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

본 연구가 토대하고 있는 지구환경적 문제 해결 활동에 참여한 사람들은 크게 세 집단으로 구분된다. 즉, 2005년 겨울 방학 기간 중에 중등 교원 자격 연수에 참여한 서울 및 경기 지역 지구과학 교사 25명, 서울의 A사범대학에서 2005학년도 2학기에 지구과학 실험 과목과 과학 교재 연구 및 지도법에 관한 수업을 수강한 예비 과학 교사 82명, 그리고 2004년 2학기과 2005년 1학기에 A사범대학에서 주말 수업을 수강했던 A사범대학 부속고등학교의 과학 특별 활동반 55명의 학생들이다. 이들은 당시에 자신들이 수강한 교육 프로그램의 일부로서 진행된 지구환경적 문제 해결 활동에 대개 4~5 명씩, 많게는 7명씩 한 조를 이루어 참여하였다. 결과적으로, 지구과학교사반 5개, 예비교사반 16개, 특별활동반 11개 조가 본 연구에 참여하였으며, 각 조에서 협동적으로 작성한 문제 해결 과정의 텍스트(text)가 본 연구의 주된 분석 대상이 되었다.

2. 지구환경적 문제 해결 활동

연구 참여자들을 위한 문제 해결 활동으로는 미국의 통합과학적인 교육과정 프로젝트의 하나인 WET(Water Education for Teachers, The Watercourse and Council for Environmental Education, 1995)에 수록된 ‘A Grave Mistake’(pp. 311-315)를 수정·보완한 것을 사

용하였다. WET은 ‘물’을 큰 주제로 한 여러 가지 과학 학습 활동들로 구성되어 있는데, 본 연구를 위해 선택된 것은 미국에서 실제로 있었던 사건을 문제 해결 활동을 위한 시나리오의 형태로 재구성한 것으로, 지하수의 움직임과 이용, 불투수층이나 대수층과 같이 지하수의 움직임과 관련된 지하의 지질 구조, 수질 및 토양 오염 등과 같은 지구과학 개념들을 포함한 환경 문제를 다루고 있다. 이 활동의 대략적인 과정은 다음과 같다.

참여자들이 해결해야 하는 문제는 어느 시골 마을의 주민들이 과거 몇 년간 만성 비소 중독증세(chronic arsenic poisoning symptom)를 보여 왔고, 최근에는 목재 방부제를 생산하는 공장[B 공장]에서 일하는 한 노동자가 매우 심한 증세를 호소하였다는 이야기로부터 출발한다. 이 마을의 의사는 만성 비소 중독이 오염된 물을 마셔서 생길 수 있다는 소견을 발표하고, 주민들은 마을의 모든 우물물의 오염도를 조사하기에 이른다. 우물마다 오염도가 기록된 자료가 주어지면, 추론자들은 일차적으로 이 오염도 자료를 토대로 비소를 방출한 오염원이 어디인지 찾아내야 한다. 추론자들이 문제를 해결하는 동안 자연 환경에서 비소의 산출 형태와 비소의 쓰임새, 비소 중독에 관한 새로운 정보가 추가로 제공된다. 시나리오는 주민들이 마을 중앙에 있는 우물물의 오염도가 가장 높은 것을 확인하고 그 우물의 바로 옆에 위치한 목재 방부제 생산 공장인 B 공장을 오염원으로 지목한다는 이야기로 전개된다. 하지만, B 공장을 실사한 결과, 그 공장은 비소 처리 시설을 잘 갖추고 있어 오염원이 될 수 없다는 결론이 내려지고, 마을 주민들은 다시 오염원을 찾아야 하는 문제에 직면하게 된다. 추론자들에게도 진짜 오염원을 결정하는 과제가 주어지고, 추론자들이 특정한 지점을 오염원으로 추정하여 지목하면, 토양의 오염도를 측정된 자료를 통해 실제 오염원이 밝혀진다. 비소를 방출한 오염원은 지형적으로 마을의 위쪽에 위치한 공동묘지로서, 오래 전 미국의 시민전쟁에서 전사한 시체들을 비소를 포함한 방부제로 처리한 후 묘지에 묻었고, 세월이 지나면서 시체들로부터 비소가 지하로 유출되어 지하수를 통해 이동하였으므로 마을 아래쪽에 있는 우물의 물이 오염되었다는 것이 시나리오의 최종적인 결론이다.

이상과 같이 본 연구의 참여자들이 해결하였던 지구환경적 문제는 추론자들의 사고에 따라 다양한 설명과 해석이 가능한 열린 형태의 것이었다. 실제로 추론자들은 세부 문제 상황에 따라 우물물의 오염원이나 오염 경로, 또는 공장 노동자가 비소 중독에 걸린

까닭 등을 다채롭게 설명하였다.

3. 자료의 수집 및 분석

앞 절에서 제시한 지구환경적 문제를 해결하는 동안 참여자들은 자신의 사고 과정을 돕기 위하여 자유롭게 메모하거나 그림을 그리도록 허용되었다. 또, 조별로는 조원들이 최종적으로 합의한 추론의 결과와 그 과정을 정리하여 기록하도록 하였다. 이렇게 문제 해결 과정에 임하는 참여자들의 추론 과정이 기록된 자료, 즉 추론 과정의 텍스트를 본 연구를 위한 자료 원으로 수집하였다. 다만, 개인적인 메모나 그림은 모든 추론자가 의무적으로 작성한 것이 아니므로 분석을 위한 보조 자료로 활용하였고, 조별로 산출된 텍스트를 주된 분석 대상으로 하였다. 따라서, 본 연구를 통해 발견된 사고 전략들은 개인적인 것이라기보다는 집합적(collective)인 것들이라고 할 수 있다.

추론자들의 텍스트를, Harrowitz(1983)의 분석 방법과 유사하게, 결과(result)-규칙(rule)-경우(case)로 구분하여 귀추법의 삼단논법적인 형식에 따라 정리하면서 그들이 귀추적 결론을 함의하고 있는 규칙을 추리하는 데 사용한 전략들을 분석하였다. 질적 자료인 추론자들의 텍스트로부터 규칙 추리 전략들을 발견하기 위해서는 관련 문헌들(오피셜, 김찬중, 2005; Engelhardt & Zimmermann, 1982; Johnson & Krems, 2001; Leak, 1995; Magnani, 2001; Shelley, 1996; Schurz, 2002; Thagard, 1988, 1992)에 제시된 규칙 추리 전략들을 하나의 목록으로 정리하고, 이 목록을 발견법적 도구로 활용하여 텍스트를 분석한 후, 그 결과를 피드백(feedback)하여 목록을 수정·보완해 나가는 상호적인 과정을 반복적으로 수행하였다. 구체적으로, 1차 분석 단계에서는 우선 기존 연구들에서 제시하고 있는 사고 전략들을 추론자들의 텍스트 속에서 확인하고, 목록에 없는 새로운 전략들이 발견될 경우에는 해당되는 텍스트를 따로 분류해 두었다. 이렇게 따로 분류된 텍스트에 포함된 사고 전략의 특성을 파악한 후, 관련 문헌을 추가적으로 고찰하여 새로 발견된 전략들마다 그 특성이 잘 드러나도록 명명(命名)하였다. 이렇게 새로 정의된 전략들을 기존의 목록에 추가하고, 확장된 목록을 토대로 2차 분석을 수행하였으며, 마찬가지로 방법으로 3차 분석 단계를 거친 후 전략들의 목록을 완성하였다. 완성된 규칙 추리 전략들의 목록을 본 연구에서 다루고 있는 문제에 익숙한 과학교육 연구자와 함께 최종적으로 추론자들의 텍스트와 상호 비교함으로써 타당성을 검토하였다. 이상과

표 1

귀추적 추론 과정에서 활용되는 규칙 추리 전략들의 목록

귀추적 추론 과정에서 활용되는 규칙 추리 전략	
자료의 재구성(data reconstruction) 전략	추론자들이 문제를 해결하기 위해 필요하다고 생각하거나 염두에 두고 있는 규칙들을 쉽게 추리해 낼 수 있도록 정보를 재배열하거나 증거를 선별하는 전략
연쇄적 귀추(chained abduction) 전략	복수의 규칙들을 순차적으로 연계하여(sequentially chained) 하나의 지구과학적인 시나리오를 구성하고, 이를 통해 문제 상황을 설명하는 전략
발견법적 일반화(heuristic generalization) 전략*	경험적으로 얻은 자료들 속에서 패턴을 찾아 임시적으로 일반화하고, 이를 규칙으로 삼아 귀추적으로 추론하는 전략
유추(analogy) 전략	비슷한 상황에서 성공적으로 기능하였던 규칙들을 차용하여 현재 주어진 현상에 대한 새로운 설명을 제시하는 전략. 유추가 실물이나 그림, 사진 등에 기초하였을 때는 ‘이미지 기반의 유추’(image-based analogy), 직·간접적으로 체험한 일이나 이야기를 토대로 할 경우에는 ‘사례 기반의 유추’(case-based analogy)로 세분될 수 있다.
존재에 관한 전략(existential strategy)	알려지지 않은 새로운 대상의 존재를 가정하거나 기존에 알려져 있거나 있음직한 대상의 존재를 부정하는 규칙을 형성하고, 이를 토대로 귀추적으로 추론하는 전략
결합 전략(combination strategy)	둘 이상의 규칙들을 결합하여 새로운 규칙을 형성하고, 이 새로운 규칙을 이용하여 귀추적으로 추론하는 전략. 복수의 개념들이 결합하여 새로운 개념을 낳기도 하고[개념적 결합, conceptual combination], 다양한 원인들이 병렬적으로 조합하여 하나의 사건을 설명하기도 한다[인과적 결합, causal combination].
모델 구성 및 조작(model construction and manipulation) 전략	관심 있는 대상의 모습이나 움직임, 기능을 그림 등을 통해 표상하고, 이를 통해 문제 상황을 설명하는 전략. 이 전략을 통해 창안되는 모델은 종종 ‘모상 모델’(iconic model)의 특징을 지닌다.
특이 정보의 채택(adapting novel information) 전략	문제 해결 과정 중에 매우 새로운 정보가 제공되거나 발견되었을 때 그것을 활용하여 규칙을 형성하고, 이를 이용하여 귀추적으로 추론하는 전략
제거 전략(elimination strategy)	대안적인 규칙이나 가설들을 여러 가지 기준을 통해 평가하거나 서로 비교하여 그럴 듯 하지(plausible) 않은 것들을 배제하는 전략

*발견법적 일반화는 문헌 고찰을 통하여 귀추적 추론 과정 중에 동원되는 규칙 추리 전략 중의 하나로 확인되었으나 본 연구의 자료에서는 발견되지 않았다. 이는 본 연구에서 다루고 있는 문제의 성격에 기인한 것으로 판단된다.

같은 과정을 통해 발견된 귀추적 추론 과정에서의 규칙 추리 전략들의 목록은 표 1과 같다.

하도록 하겠다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

표 1에 제시된 것들은 본 연구에서 다루고 있는 지구환경적 문제를 해결하는 과정에서 귀추법에 필요한 규칙을 추리해 내는 데 추론자들이 사용하였던 전략들이다. 특히, 주어진 문제를 해결하는 동안 추론자들은 나름대로 여러 가지 세부 상황을 설정하고 다양한 규칙들을 추리해 냄으로써 문제에 대한 다채로운 설명과 해석을 제시하였다. 이 점을 고려하여 다음에서는 추론자들의 지구환경적 문제 해결 과정을 몇 가지 세부 문제 상황에 따라 구분하고, 그 속에서 귀추법이 어떻게 활용되고 있는가를 추론자들이 가장 빈번하게 사용한 대표적인 규칙 추리 전략들을 중심으로 기술

1. 우물물의 오염원을 추론하는 상황

주어진 지구환경적 문제를 해결하기 위해서 추론자들은 마을의 우물물을 비소로 오염시킨 오염원이 어디인지 우선 결정해야 했다. 연구에 참여한 지구과학 교사반, 예비교사반, 특별활동반의 여러 조원들은 많은 경우 마을의 중앙 즈음에 위치하고 있는 B 공장을 오염원으로 지목하였는데, 여기에는 아래와 같은 두 가지 전략들이 주된 역할을 하였다.

1) 자료의 재구성 전략

귀추적 추론 과정에서 ‘자료의 재구성 전략’이란 추론자들이 문제를 해결하기 위해 필요하다고 이미 알고 있거나 염두에 두고 있는 규칙들을 쉽게 추리해 낼 수 있도록 주어진 정보를 재배열하거나 증거를 선

별하는 전략을 말한다(오필석, 김찬중, 2005; Engelhardt & Zimmermann, 1982). 본 연구에서 추론자들은 우물마다 오염도가 기록된 자료표와 마을의 지도를 이용하여 등오염선도(contour map)를 그려 보거나(그림 1 참조), 등오염선도에 상응하는 정보를 글로 요약하는 방식으로 자료를 재구성하는 것이 많이 발견되었다. 이러한 전략은 ‘B 공장이 오염원이다. 그러면, B 공장 가까이에 있는 우물의 오염도가 높다’라는 규칙을 추리해 내는 것을 용이하게 하고, 다음과 같은 귀추적 추론을 가능하게 해 주었다.’

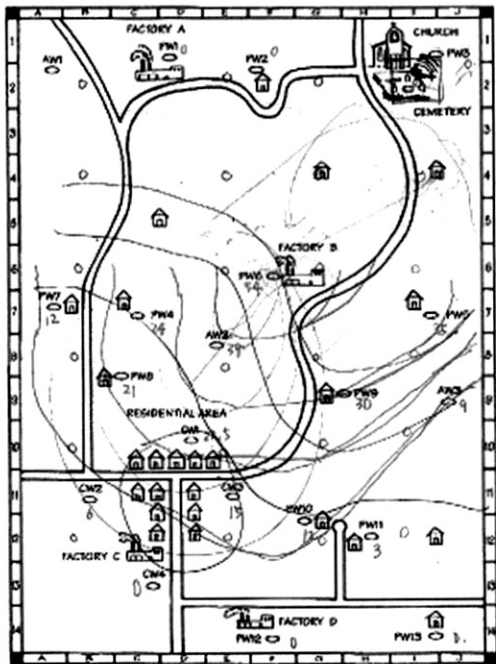
1. B 공장 가까이에 있는 우물의 오염도가 높다. (result, Q)
2. B 공장이 오염원이면, 공장 가까이에 있는 우물의 오염도가 높다. (rule, P → Q)
3. 그러므로, B 공장이 오염원이다. (case, P)

하지만, 구체적인 자료의 재구성 방법은 추론자들마다 조금씩 달랐는데, 예를 들어 그림 1의 (a)에서와 같이 지구과학 교사들은 등고선이나 등압선과 유사한 형태의 등오염선도를 산출해 낸 반면(지구과학교사반

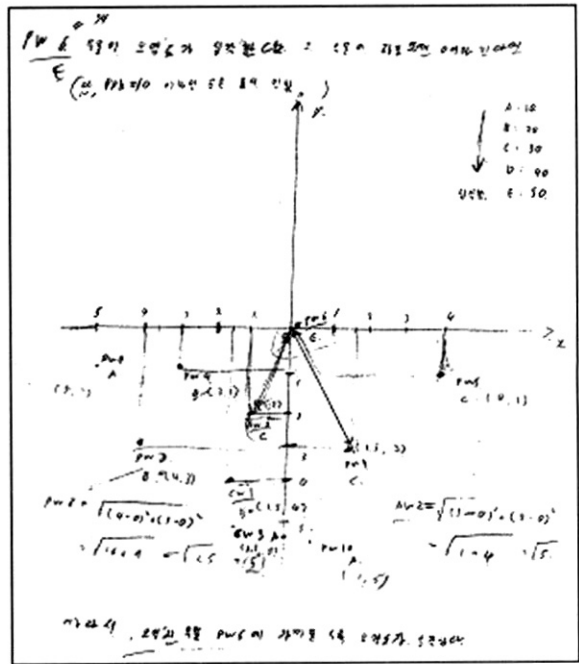
1조), 고등학생들은 우물들의 위치를 좌표 평면에 표시하는 방식으로 자료를 재구성한 것이 눈에 띄었다(그림 1의 (b), 특별활동반 7조). 이러한 차이는 관련 과학 지식이나 그동안의 과학 탐구활동 경험 등을 포함하는 포괄적인 의미의 ‘배경 지식’이 두 집단에서 서로 다른 데 크게 기인한 것이라고 판단되었다.

2) 제거 전략

자료의 재구성 전략을 통해 다시 만들어진 자료는 오염원으로 적합하지 않은 곳을 사전에 제거하여 그것에 관한 규칙의 형성을 배제하는 전략, 즉 ‘제거 전략’의 사용으로 이어지는 경우가 많았다. 예컨대, 상기한 것과 유사한, ‘오염원에 가까이 있는 우물의 오염도가 높다’와 같은 규칙들로부터 “AW1, PW1, PW2, PW3[우물의 기호]의 오염도가 0ppb인 것으로 보아 이 근처에는 오염원이 없다고 가정할 수 있다”는 결론이 가능하였고(특별활동반 3조), 아래에 분석된 형태로 제시된 것과 같은 자동화된 혹은 반자동화된 귀추적 결론으로부터 마을 아래 지역에 위치한 공



(a)



(b)

그림 1 자료의 재구성 전략의 활용 예

- 1) 실제로 추론자들이 문제를 해결하는 과정을 관찰한 바에 따르면, 삼단논법적인 형식에 따라 귀추적 추론(또는 논증)을 진행하는 것과 그 논증에 사용할 규칙을 추리해 내는 과정은 거의 동시에 발생하는 것처럼 보인다. 즉, 이 두 과정은 ‘개념적’으로는 분리되지만 ‘실제적’으로는 상호적으로 영향을 미치면서 함께 일어나는 경우가 많다는 것이 현재 본 연구의 한 가지 주장이다. 특히, 그러한 복합적인 성격이 가장 잘 드러나는 사례가 ‘자료의 재구성 전략’이나 ‘제거 전략’을 사용하는 경우이었다.

장들을 오염원의 후보에서 배제하는 추론자들도 발견되었다.

1. 마을 아래의 우물물이 오염되었다. (Q)
2. 마을 위쪽에 오염원이 위치하면, 마을 아래의 우물물이 오염된다. (P → Q)
3. 그러므로, 마을 위쪽에 오염원이 위치한다. (P)

특히, 이들은 “지대가 대각선으로 낮아지므로 C, D[마을 아래쪽의 공장]는 [오염원] 아니다”(예비교사반 9조)라는 텍스트를 제공하였는데, 이로부터 자료의 재구성 전략에서와 마찬가지로 자료에 대한 독특한 지각(perception)이 추론자들이 염두에 두고 있는 것과는 다른 규칙들을 배제하게 함으로써 귀추적 추론을 위한 규칙의 선택에 영향을 미쳤음을 확인할 수 있었다.

2. 우물물의 오염 경로를 추론하는 상황

대부분의 추론자들은 단순히 우물물의 오염원을 결정하는 데 그치지 않고 구체적인 오염 경로를 함께 추정하여 주어진 문제의 해결을 시도하였다. 왜냐하면, 특정한 지점이 오염원이라는 것이 더욱 설득력이 있기 위해서는 오염이 되는 과정에 대한 설명이 수반되어야 하기 때문이었다. 특히, 이 문제 상황에서는 우물물의 오염 경로가 다양할 수 있는 만큼 귀추적 결론을 함의하고 있는 규칙을 추리하는 데 활용된 전략 또한 매우 다양하였다.

1) 연쇄적 귀추 전략

‘연쇄적 귀추 전략’은 귀추적 추론 과정에서 복수의(multiple) 규칙들을 사용하는 전략 중의 하나로서, 이것은 추론자들로 하여금 여러 가지 규칙들을 순차적으로 연계하여(sequentially chained) 하나의 시나리오를 구성하고 이를 통해 문제 상황을 설명할 수 있도록 해 준다. 예를 들어, 아래와 같은 텍스트는 우물물의 오염 경로에 대한 이야기의 형태로 산출되었는데, 이를 그 다음에 제시한 것처럼 귀추법의 삼단논법적 형식에 따라 분석해 보면 여러 가지 규칙들이 시간적으로 연속하고 있음을 발견할 수 있다.

“공장 B에서 비소를 생산한 뒤, 남은 비소를 토양에 묻는다. 토양으로부터 흘러나온 비소는 지하수를 타고 낮은 지대 쪽으로 흐르게 되어 낮은 지대, 기령 PW6, PW5, AW2, PW9을 오염시키게 된다.”(예비교사반 10조)

1. 마을의 낮은 지대에 있는 우물물이 오염되었다. (Q)
2. (i) 공장 B에서 ... 남은 비소를 토양에 묻으면, 토양으로부터 비소가 흘러나온다. (P1 → Q1)

(ii) 토양으로부터 비소가 흘러나오면, 지하수를 타고[비소가 지하수에 섞여] 낮은 지대로 흐른다. (P2 → Q2)

(iii) 비소가 섞인 지하수가 낮은 지대로 흐르면, 낮은 지대의 우물물이 오염된다. (P3 → Q3)

3. 그러므로, 제시된 규칙들이 지시하는 것과 같은 일이 일어났다. (P)

위와 같이 연쇄적 귀추를 통해 등장하는 각각의 규칙은 바로 전 단계에 있는 규칙의 효과를 포함하고, 또 다음 단계에 오는 규칙의 원인이나 조건을 제공함으로써 인과적인 고리(causal chain)을 형성한다. 이러한 전략은 현상을 설명할 수 있는 일반 이론이 부재하고 다만 유한한 개수의 경험적인 규칙들만이 존재하는 경우에 효과로부터 원인으로 거슬러 올라가며 추론하는 방법(backward-reasoning)과 공통점이 있다(Schurz, 2002). 그렇기 때문에 연쇄적 귀추 전략은 현재 남아 있는 증거들로부터 출발하여 과거에 발생하였던 사건들을 역사적으로 재구성함으로써 그 증거들을 설명하는 것을 목적으로 하는 지구과학의 후진적(retrodictive or postdictive) 문제 해결 과정에서 자주 활용되고 있다(Elgelhardt & Zimmerman, 1982; Rhoads & Thorn, 1996).

그런데, 추론자들의 텍스트 중에는 여러 규칙들이 치밀하게 연결되지 못하여 하나의 완성된 시나리오를 구성하지 못하고 결과적으로 문제 상황을 충분히 설명하지 못하는 경우도 종종 발견되었다. 예컨대, “공장에서 나온 비소[를] 포함한 방부제를 트럭이 싣고 가면 다른 길 주변의 우물을 오염시킨다”(특별활동반 11조)는 텍스트에서는 있음직한 구체적인 인과적 고리를 추가로 발견할 수 없었고, 따라서 우물물의 오염 과정을 설득력 있게 설명하지 못한 것으로 생각되었다. 하지만, 이와 같은 것이 과학 지식의 부족으로 인한 것인지, 과학적인 텍스트를 구성하는 능력이 미흡하기 때문인지, 혹은 두 가지 원인이 복합적으로 작용하였기 때문인지를 결정하기 위해서는 좀 더 자세한 후속 연구가 수행될 필요가 있다고 판단되었다.

2) 특이 정보의 채택 전략

여기서 ‘특이 정보’(novel information)란 추론자들이 문제 해결 과정 중에 새로 제공받거나 발견한 것으로서 그들이 이미 알고 있는 배경 지식과 대비되어 진기한 것으로 판단된 정보를 말한다. 본 연구에서 추론자들이 문제 해결에 임하고 있는 중에 새롭게 제공된 정보에는 비소가 각종 방부제뿐만 아니라 농약이나 살충제, 제초제에도 사용되며, 자연적으로는 구리, 납, 아연과 같은 금속에 포함되어 산출되고, 가스 형태로 공기 중에 포함될 수도 있다는 것이 포함되어

있었다. 이러한 정보를 접하였을 때 추론자들은 자신이 판단한 특이 정보를 활용하여 규칙을 형성하고 우물물의 오염 이유를 귀추적으로 추론하였는데, 그렇게 형성된 규칙들의 예를 제시하자면 다음과 같다.

“공동묘지에서 제초제 등을 많이 사용하면 ... 지하수로 유입될 가능성이 높다.” (특별활동반 10조)

“시민전쟁 때 사용되었던 [비소를 포함한 금속 물질로 된] 총탄 및 무기가 박힌 채로 무덤에 묻혔다면, 무기가 산화, 부식되는 과정에서 토양이 오염되었고 마을 전체가 오염된다.” (예비교사반 2조)

“비소는 기체 상태로도 존재하는데 ... 공장의 배기 가스에 섞인 비소가 공장 B를 중심으로 확산되어 우물에 녹는다.” (예비교사반 15조)

이렇게 추론자들이 새롭게 발견한 특이 정보를 활용하여 귀추적 추론을 위한 규칙을 형성하는 전략은 일반인들뿐만 아니라 과학자들도 자신의 추론 과정 중에 매력적이고 눈에 띄는 정보를 발견법적인 도구로 활용하는 경향이 있다는 관찰(Eco, 1983; Solomon, 1992)과 부합되는 면이 있다. 또, 조별 활동이 한창 진행되는 과정 중에 추가로 제공된 정보가 추론자들이 새로운 규칙을 형성하는 것을 촉진하였다는 사실은 각급 학교의 과학 수업에서 학생들이 탐구 활동이나 문제 해결 활동에 임하고 있을 때 교사가 적절한 과학적인 정보를 가지고 교수법적인 개입(pedagogical intervention)을 시도할 필요가 있음을 말해 준다.

3) 결합 전략

본 연구에서는 귀추적 추론 과정에서 추론자들이 어떤 현상을 설명하기 위하여 복수의 규칙들을 동원하는 전략으로서 연쇄적 귀추 전략 외에 ‘결합 전략’을 사용하고 있음을 확인하였다. 하지만, 연쇄적 귀추에서는 복수의 규칙들이 시간적인 순서에 따라 연계되는 반면, 결합 전략에서는 복수의 원인들이 병렬적으로 조합함으로써 하나의 사건을 설명하는 것이 서로 달랐다. 특히, 본 연구에서 다루고 있는 지구환경적 문제 상황에서는 복수의 개념들이 조합하여 새로운 개념을 낳는 개념적 결합(conceptual combination, Thagard, 1988, 1992) 보다는 여러 가지 원인들이 복합적으로 작용하여 하나의 결과를 초래하게 하는 인과적 결합(causal combination, Johnson & Krems, 2001)이 뚜렷하였다. 예를 들어, 아래에 귀추법의 삼단논법적 형식에 따라 분석된 형태로 제시된 텍스트는 추론자들이 우물물의 오염 경로를 추정하는 과정의 일환으로 토양이 오염된 이유를 설명하기 위해 복

수의 규칙들을 인과적으로 결합하고 있음을 보여 준다.

1. 공동묘지 아래의 토양이 오염되었다. (Q)
2. (i) 시민전쟁 당시에 비소에 노출된 시체를 묻었다면(P1 → Q), 그리고 (ii) 시체에 처리된 방부제로부터 비소가 방출되면(P2 → Q), 그리고 (iii) 잔디를 관리하면서 방부제 처리를 하였다면(P3 → Q), 토양이 오염된다.
3. 그러므로, 제시된 규칙들이 지시하는 것과 같은 일들이 일어났다. (P)
(예비교사반 5조)

추론자들에 따라서는 단순히 몇 가지 규칙들을 병렬적으로 조합하여 사건을 설명하는 경우도 있었지만, 보다 설득력 있는 과정적인 시나리오를 구성하기 위하여 연쇄적 귀추 전략을 결합 전략과 함께 사용하는 사례 또한 발견되었다. 예컨대, 상기의 추론자들은 복수의 원인들로부터 토양 오염의 이유를 제한한 후에, 오염 물질이 지하수를 통해 이동하고 다시 지하수를 사용하는 우물이 오염된다는 연쇄적인 사건을 상정함으로써 우물물의 오염 경로를 설명하였다.

4) 모델 구성 및 조작 전략

지구환경적 문제 해결 과정에서는 연쇄적 귀추나 결합 전략을 통해 복수의 규칙을 동원한다 하더라도 그 문제와 관련된 사건의 복잡성을 충분히 설명하기 어려운 경우가 많이 있다. 본 연구에서는 이러한 경우에 추론자들이 시각적인(visual) 모델을 구성하고 모델의 중요 요소들이 어떻게 기능하는가를 설명해 보임으로써 자신들의 추론 과정을 오로지 글로만 표현하는 한계를 보완하는 것이 발견되었다. 이 때의 모델은 주로 그림과 같은 형태로 표상된 ‘모상 모델’(iconic model)로서, 이것은 “실제하거나 아니면 가상에 의한 것으로 다른 사물 및 과정과 여러 가지 점에서 비슷하고 또 우리의 이해를 진작시키는 기능을 하는 사물 내지 과정”(Harre, 1972, 번역판의 203쪽에서 직접 인용)을 말한다.

그림 2는 본 연구에 참여한 예비교사반 두 개 조(3, 4조)의 모델을 각각 제시한 것으로, (a)는 공동묘지에서 기원한 비소 성분이 지하수를 통해 이동하여 분지 지형이라고 여겨지는 B 공장 주변에 집적하면 우물물이 오염된다는 규칙의 형성을 보조하는 역할을 하였고, (b)는 공동묘지에서 농약을 살포하면 “비소는 수직 이동할 것이다, 중력에 의해”라고 추론자들이 추리해 낸 규칙을 좀 더 잘 이해할 수 있게 하는 역할을 하였다. 이렇듯, 복잡한 지구환경적인 현상을 설명하기 위하여 모델을 구성하고 이를 조작해 보이는 전략은 문장(sentence)으로 이루어진 추리의 제한점을 넘어서 보다 창의적인 규칙의 형성을 가능하게 해 주

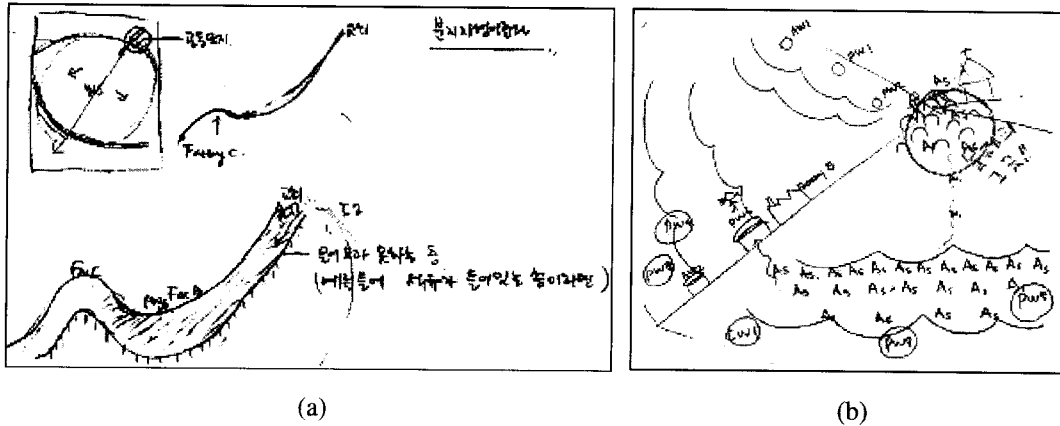


그림 2 모델 구성 및 조작 전략을 통해 산출된 시각적 모상 모델의 예 1

는 모델 기반의 귀추(model-based abduction, Magnani, 2001)나 고고학과 같은 역사 과학 분야에서 활용되는 시각적인 귀추(visual abduction, Shelley, 1996)와 유사한 특징을 지니고 있다.

5) 존재에 관한 전략

귀추적 추론 과정에서 ‘존재에 관한 전략’이란 알려지지 않은 새로운 대상을 가정하는 규칙을 형성하고 이를 토대로 귀추적으로 추론하는 것을 뜻한다(Thagard, 1988). 본 연구의 참여자들도 우물물의 오염 경로를 추정하는 상황에서 다음과 같이 분석된 사례에서처럼 새로운 자연물의 존재를 상정하여 문제를 설명하는 것이 발견되었다.

1. 마을의 우물물이 오염되었다. (Q)
 2. 오염 우물이 있는 지역의 기반이 구리, 납, 아연 조성으로 되어 있어 그 곳에서 비소를 방출한다면, 우물물이 오염된다. (P → Q)
 3. 그러므로, 구리, 납, 아연 조성으로 되어 있는 지층이 우물 아래에 있다. (P)
- (예비교사반 7조)

추론자들이 존재에 관한 전략을 사용할 때에는, 위의 예에서 알 수 있는 바와 같이, 자신들이 특이 정보라고 판단한 것을 채택하는 경우가 많았다. 예를 들어, 여러 조원들은 마을의 한 지역에 초원이나 방목지, 논밭의 존재를 가정한 후, 그 곳에 사용된 농약으로 인한 토양 오염이나 지하수의 오염이 우물물의 오염을 초래한 것이라는 설명을 차례로 제안하였다(지구과학교사반 1조, 예비교사반 8, 12조). 특히, 이러한 사례를 통해서 본 연구에서 다루고 있는 것과 같은 복잡한 지구환경적 문제를 해결하는 과정에서는 존재에 관한 전략이 보다 세련된 형태의 연쇄적 귀추나 결합 전략, 모델 구성 및 조작 전략 등을 보조하는 기

능을 할 수 있다는 것을 암시 받을 수 있었다.

6) 유추 전략

비슷한 상황에서 성공적으로 기능하였던 규칙들을 이용하여 현재 주어진 문제를 설명하는 ‘유추 전략’에는 이론적인 아이디어를 규칙으로 차용해 오는 경우도 있지만, 시각적인 대상물에 기초하거나 어떤 사건이나 이야기를 기반으로 하는 경우 또한 포함된다(Leak, 1995; Shelly, 1996). 특히, 지구환경적인 문제를 다루는 본 연구의 맥락에서는 추론자들이 자신들이 직·간접적으로 경험한 일들로부터 규칙을 형성하는 경우가 대표적이었는데, 예컨대 우물물의 구체적인 오염 경로를 추정하는 상황에서 누군가 고의로 비소를 우물물에 섞었다면 우물물이 오염될 수 있다는 규칙을 제시하는 추론자들이 많이 발견되었다(지구과학교사반 1조; 예비교사반 7, 11조; 특별활동반 1조). 이들은 공통적으로 오염물의 투척과 같은 실제 사건에 착안하여 규칙을 형성하였다고 함으로써 ‘사례 기반의 유추’(case-based analogy) 전략이 사용되었음을 알 수 있었다. 또한 이러한 종류의 유추 전략의 사용으로부터 학생들의 탐구 활동 중에는 교사가 과제와 관련된 유사 사례들을 충분히 제공함으로써 그들의 문제 해결 과정을 도울 수 있다는 시사를 얻을 수 있었다.

3. 기타 문제 상황

주어진 문제를 성공적으로 해결하기 위해서는 오염 물질을 방출한 오염원과 우물물의 구체적인 오염 경로를 추정하는 것이 핵심적인 과제였지만, 추론자들이 지각한 것이 서로 달랐으므로 그 밖에 다양한 문제 상황들이 추가로 설정되는 것을 알 수 있었다. 여기에는 B 공장에서 일한 노동자가 만성 비소 중독에 걸린

까닭, 마을의 아래로 갈수록 우물의 오염도가 낮아지는 까닭, 특정한 지역에서 오염도가 낮거나 높은 이유를 추정하는 것들이 포함되었다. 이 중에서 공장 노동자가 만성 비소 중독에 걸린 까닭을 추론하는 것이 별도의 문제 상황으로 등장한 것은 비소 중독의 원인이 우물물을 마셨기 때문만은 아닐 것이라는 추론자들의 판단에 의한 것이었으며, 다른 문제 상황들은 추론자들이 결정한 오염원이나 오염 경로에 대한 텍스트를 더욱 설득력 있게 전달하기 위한 목적에서 등장하였다. 이러한 새로운 문제 상황들에서는 이미 열거한 것들과 같은 규칙 추리 전략들이 동원되었는데, 대표적인 전략들을 실제 사례와 함께 살펴보면 다음과 같다.

1) 특이 정보의 채택 전략

B 공장에서 일한 노동자가 만성 비소 중독에 걸린 까닭을 추론하는 과정에서는 ‘특이 정보의 채택 전략’의 사용이 두드러졌는데, 이 때는 추론자들에게 새롭게 제공된 정보 중에 비소가 공기 중에 기체 상태로 존재할 수 있다는 정보가 많이 활용되었다. 이 특이 정보를 기반으로 형성된 규칙들의 예로는 아래와 같은 것들이 있었다.

공장에서 일하면서 기체 상태의 비소를 호흡 도중 무의식적으로 섭취하면, 만성 비소 중독에 걸린다. (지구과학교사반 3조)

공장에서 근무했기 때문에 방부제 살포시 호흡기로 비소를 많이 유입하면, 만성 비소 중독에 걸린다. (지구과학교사반 4조)

방부제를 생산하는 곳에서 호흡기를 통해 비소를 흡입하면, 만성 비소 중독에 걸린다. (특별활동반 4, 5조)

2) 결합 전략

B 공장에서 일했던 사람만이 유독 심각한 만성 비소 중독 증세를 보인 까닭을 설명하는 문제에서도 추론자들은, 우물물의 오염 경로를 설명하는 상황에서도 마찬가지로, 여러 가지 원인이나 조건을 함의한 규칙들을 인과적으로 결합하여 귀추적 결론에 이르는 것이 발견되었다. 예를 들어, 다음과 같은 텍스트를 예의 삼단논법적 형식에 따라 분석해 보면, 우물물 음용과 공기 중에 포함된 비소의 흡입에 관한 규칙이 결합하여 문제의 상황을 설명하는 것을 알 수 있다.

“가장 심한 증세를 보이는 사람이 공장 B에서 일했으며 우물물을 사용했다. ... 환자가 가장 비소를 많이 접해 왔기 때문에 가장 심한 증세를 보였다고 할 수 있으며, ... 환자는 비소 가루[가스]를 직접적으로 접해 왔기 때문에, 우물이 비소에 감염[오염]되어 ... 더 심한 증세가 나타나는 것이다.” (특별활동반 9조)

1. B 공장에서 일한 노동자가 심한 만성 비소 중독 증세를 보인다. (Q)
2. (i) 환자가 비소 가스를 직접적으로 접해 왔기 때문에(P1 → Q), 그리고 (ii) 환자가 비소에 오염된 우물물을 마셨기 때문에(P2 → Q), 그 환자는 심한 만성 비소 중독 증세를 보인다.
3. 그러므로, 제시된 규칙들이 지시하는 일들이 이 문제의 원인이다. (P)

3) 존재에 관한 전략

앞서 우물물의 오염 경로를 추론하는 상황에서는 추론자들이 새로운 자연물의 존재를 가정하는 규칙을 형성하였지만, 마을의 특정한 지역에서 오염도가 낮은 까닭을 설명하기 위해서는 특정한 자연물의 존재를 부정하는 규칙을 형성하는 경우도 발견되었다. 즉, 추론자들은 “점토층”이나 “불투수층”, “다른 지하수층/수원(水源)”의 존재를 함의한 규칙을 상정하여 특정 지역에 오염도가 낮은 까닭을 설명하기도 하였지만(지구과학교사반 5조; 예비교사반 3, 9, 13조), 때로는 “수로(水路)”나 “정화시설”의 존재를 부정하는 규칙을 형성하고 이를 토대로 귀추적으로 추론하기도 하였다(예비교사반 12조; 특별활동반 3조). 예컨대, 특정한 우물에서 오염도가 낮은 까닭에 대해 추론하는 과정에서 다음과 같은 공동의 텍스트를 산출한 경우가 있었는데, 이 텍스트를 그 아래에서와 같이 분석하여 보면 조원들의 귀추적 추론에는 적절한 수로의 존재를 부정하는 규칙이 포함되어 있음을 알 수 있다.

“모순되는 것은 PW9와 AW3이 Factory B와 비슷한 거리에 있는데, 오염치가 서로 차이가 심하다는 것이다. 이 점은 AW3가 버려진 우물이어서 지하수가[지하수로가] 연결되[돼] 있지 않기 때문이라고 가정할 수 있다.” (특별활동반 3조)

1. PW9와 AW3의 오염치가 심한 차이를 보인다. (Q)
2. AW3에 수로가 연결되어 있지 않다면, PW9와 AW3의 오염치가 심한 차이를 보일 수 있다. (P → Q)
3. 그러므로, AW 3에는 버려진 우물이어서 수로가 연결되어 있지 않다. (P)

위와 같은 사례를 통해 볼 때, 본 연구에서는 귀추적 추론 과정에서 존재에 관한 규칙은 알려지지 않은 새로운 대상의 존재를 가정하는 것뿐만 아니라 기존에 알려졌거나 있음직한 대상의 존재를 부정하는 규칙을 형성하는 전략이라고 그 의미를 확장하여 이해해야 할 것으로 판단하였다.

4) 모델 구성 및 조작 전략

마을 아래로 갈수록 오염도가 낮아지는 이유나 특정 지역의 오염도가 낮거나 높은 까닭을 설명하기 위해서는 우물물의 오염 경로를 추정하는 문제와 같이

지하수의 이동과 관련된 복잡한 과정을 다루어야 한다. 따라서, 추론자들은 종종 이러한 기타 문제 상황에서 모델에 의하여 자신들의 아이디어를 표현하곤 하였다. 특히, 존재에 관한 규칙에 의해 새로운 자연물이 상정되었을 경우에 그것과 관련된 모상 모델의 형성이 동반되는 경우를 종종 발견할 수 있었다. 그림 3의 (a), (b)는 각각 “오염된 지하수가 여러 갈래로 뿔어 나가면서 토양의 정화 과정을 거쳐 비소의 농도가 조금씩 낮아지고 있다”는 설명을 지하수의 움직임에 관한 시각적인 모델과 함께 제시한 경우(예비교사반 16조)와 “비슷한 지역인데 비소의 농도가 다른 이유[가] 지하수층을 뿔어내는 곳이 다르다”고 하여 새로운 지하수층의 존재를 상정한 후 모상 모델을 통해 자신들이 추리한 규칙을 구체화한 추론자들(예비교사반 13조)의 텍스트를 보여 주고 있다.

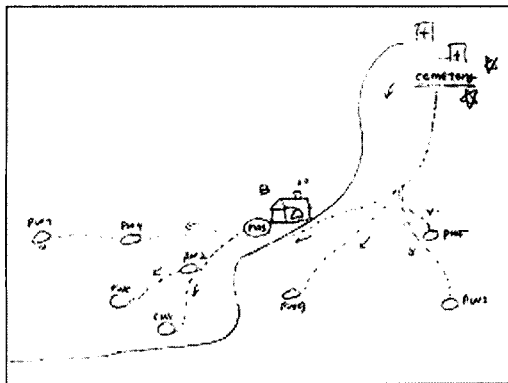
IV. 결 론

본 연구의 목적은 다양한 집단의 학습자들이 조를 이루어 지구환경적 문제를 해결하는 과정에서 귀추법이 어떻게 활용되고 있는가를 살펴보는 것이었다. 이를 위하여 조원들이 집단적으로 산출한 추론 과정의 텍스트를 귀추법의 삼단논법적 형식에 따라 분석하면서 그들이 귀추적 결론을 함의하고 있는 규칙을 추리하는 데 사용한 전략들을 발견법적으로 확인하였다. 그 결과로부터 도출되는 결론과 시사점은 다음과 같다.

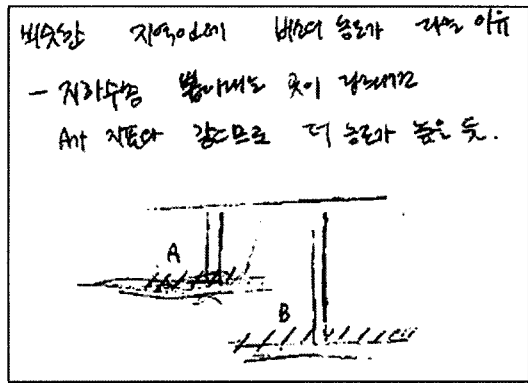
첫째, 추론자들은 자신들이 지각한 대로 여러 가지 문제 상황을 설정하고 각각의 문제를 해결하기 위하여 귀추적인 추론을 시도하였다. 이 과정에서 그들은 복수의 사고 전략들을 활용하여 귀추적 결론을 낳기 위한 규칙을 추리해 내는 것이 발견되었다. 이러한 사실은 귀추법이 다양한 차원의 사고를 필요로 하는 추

론의 한 형태라는 점을 잘 말해 주는 것으로, 학생들의 지적이고 창의적인 사고 능력을 함양하고자 하는 과학교육의 맥락에서 귀추적 추론 과제가 적절히 활용될 수 있다는 것을 시사 받을 수 있다.

둘째, 귀추적 추론 과정에서 규칙 추리를 위해 여러 가지 전략들이 요구되는 까닭은, 적어도 부분적으로는, 여러 가지 지구과학 개념들을 포함하고 있는 지구환경적 문제가 지니는 속성에 기인한 것이라고 볼 수 있다. 실제로 귀추법은 복잡한 시스템적 지구환경에서 발생하는 현상들을 탐구하는 상황에서 빈번히 사용되고, 이 때는 보다 설득력 있는 결론을 얻기 위하여 다양한 규칙 추리 전략들이 동원된다. 예를 들어, 본 연구의 참여자들이 우물물의 오염원을 결정하는 상황에서 활용하였던 자료의 재구성 전략과 같은 것은 지구과학자들이 자연적인 상태의 야외 지층이나 노두에서 탐구에 적합한 증거들을 선별하고 재배열하는 데 반드시 필요하며, 우물물의 오염 경로를 추정하는 과정에서 많이 등장하였던 연쇄적 귀추 전략 또한 현재의 증거로부터 과거의 일을 추정하는 후진적(retrodictive or postdictive) 과제를 주로 다루는 역사과학 연구에서 자주 활용되고 있다(Elgelhardt & Zimmerman, 1982; Rhoads & Thorn, 1996). 뿐만 아니라, 대륙의 분포와 이동에 관한 아이디어를 시각적인 모델을 통해 표상해 보인 지구과학자들의 전략은 20세기에 지질학에서 과학 혁명을 가져오는 데 핵심적인 역할을 하기도 하였다(Giere, 1999). 그러므로, 학교의 과학 수업에서 본 연구의 것과 유사한 문제를 다룬다면 그를 통해 학생들이 지구과학을 비롯한 역사과학의 탐구와 지구환경적 문제 해결 과정이 지니는 특징과 가치를 이해하도록 도울 수 있을 것이다. 이와 더불어, 본 연구에서 확인된 유추 전략이나 모델의 구성 및 조작 전략 등은 과학을 공부하는 학생들



(a)



(b)

그림 3 모델 구성 및 조작 전략을 통해 산출된 시각적 모상 모델의 예 II

의 학습 전략으로서도 유용하므로(Gilbert & Irton, 2003), 학생들이 이러한 전략들을 활용할 수 있는 명시적인 교수-학습 방안이 마련되어야 할 것이다.

셋째, 본 연구에서는 보다 설득력 있는 귀추적 결론을 낳게 하는 규칙을 형성하는 데 추론자들이 가지고 있는 배경 지식이나 문제 해결 과정 중에 새로 제공된 정보가 중대한 영향을 미친다는 암시를 얻을 수 있었다. 이것은 학생들이 과학적 가설을 설정하거나 문제를 해결하는 과정에 그들의 배경 지식이 중요한 역할을 한다는 기존 연구 결과들(김찬중, 1998; 박종원, 2001)과 맥을 같이 하는 것이다. 그렇다면, 학생들의 탐구 능력이나 문제 해결 능력을 증진시키기 위해서는 단순히 몇 가지 사고 기능의 수준을 높이는 데 그치는 것이 아니라 그들이 적절한 과학 지식을 갖출 수 있도록 지도하는 것이 필요할 것이다. 또, 학생들이 탐구 과정에 임하고 있는 중에는 교사들이 과제와 관련된 과학 지식이나 유사한 사례들을 제공함으로써 학생들의 상황적인 문제 해결 능력을 높일 수 있도록 해야 할 것이다. 아울러, 연구적인 측면에서는 배경 지식에 따라 참여자들의 문제 해결 양상이 어떻게 다른가에 대한 구체적인 탐색이 이루어져야 할 것이다.

마지막으로, 본 연구는 지구과학의 탐구와 지구환경적 문제 해결 과정에서 귀추법이 중요한 역할을 한다는 것을 추론자들이 사용한 다양한 규칙 추리 전략을 통해 실증적으로 보였음에도 불구하고, 연구에 활용된 문제가 우리나라의 상황과는 큰 차이가 있는 외국의 사례라는 단점을 지니고 있다. 다시 말해, 우리나라에 고유한 지구환경적 문제를 활용하였을 경우 추론자들이 좀 더 진정한(authentic) 문제 해결 활동에 임하게 됨으로써 현재의 연구보다 더욱 다채로운 사고 전략들이 발견되었을 가능성도 배제할 수 없다. 장차 그러한 지구과학 탐구 문제나 수업 활동을 개발하고 활용하는 것은 우리나라의 지구과학자, 지구과학 교사, 그리고 지구과학 교육 연구자들이 함께 노력하여 성취해야 할 과제라고 판단된다.

국문 요약

본 연구의 목적은 지구환경적 문제를 해결하는 과정 중에 귀추법이 어떻게 활용되는가를 발견법적으로 확인하기 위한 것이었다. 현직 지구과학 교사, 사범대학의 예비 과학 교사, 그리고 고등학교 학생 등 서로 다른 배경을 지닌 참여자들이 총 32개 조를 이루어 끝이 열린 형태의 지구환경적 문제를 해결하였고, 그 과정에서 자신들의 추론 과정이 기록된 텍스트를 산

출하였다. 이 텍스트에 포함된 추론 과정을 귀추법의 삼단논법적 형식에 따라 정리하고 귀추적 추론에서 사용된 사고 전략들을 반복적으로 분석하였다. 그 결과, 추론자들이 지구환경적 문제 해결 상황에서 귀추법을 사용하였으며, 그들은 다양한 사고 전략들을 활용하여 귀추적 결론을 낳게 하는 규칙을 추리해 내었음을 알 수 있었다. 이 전략들은 자료의 재구성, 연쇄적 귀추, 특이 정보의 채택, 모델 구성 및 조작, 인과적 결합, 제거, 사례 기반의 유추, 그리고 존재에 관한 전략 등이었다. 결론적으로, 학생들의 사고 능력을 증진시키고 지구과학과 지구환경적 문제 해결 과정의 특징에 대한 학생들의 이해를 함양하기 위하여 귀추적 추론 과제가 이용될 수 있다는 것을 시사 받을 수 있었다.

참고 문헌

- 권용주, 심해숙, 정진수, 박국태 (2003). 수증기 응결에 관한 초등학생들의 가설 생성에서 귀추의 역할과 과정. *한국지구과학회지*, 24(4), 250-257.
- 김찬중 (1998). 초등 과학 우수 학생의 일상적 맥락의 과학 문제 해결 과정: 서답형 문항에 대한 응답 분석. *한국초등과학교육학회지*, 17(1), 75-87.
- 박종원 (2001). 학생의 과학적 설명 가설의 생성 과정 분석: 대학생의 반응 분석을 중심으로. *한국과학교육학회지*, 21(3), 609-621.
- 오필석 (2005). 지구과학적으로 탐구하기: 지구과학 수업에서의 귀추적 탐구. *함께하는 지구과학교육*, 4(1), 52-60.
- 오필석, 김찬중 (2005). 지구과학의 한 탐구 방법으로서 귀추법에 대한 이론적 고찰. *한국과학교육학회지*, 25(6), 610-623.
- Baker, V. R. (1996). Hypothesis and geomorphological reasoning. In B. L. Rhoads & C. E. Thorn (Eds.), *The scientific nature of geomorphology*, (pp. 57-85). New York, NY: John Wiley & Sons.
- Baker, V. R. (2000). *Conversing with the Earth: The geological approach to understanding*. In R. Frodeman (Ed.), *Earth matters: The earth sciences, philosophy, and the claims of community*, (pp. 2-10). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Bonfantini, M. A., & Proni, G. (1983). To guess or not to guess? In U. Eco & T. A. Sebeok (Ed.), *The sign of three: Dupin, Holmes, Peirce*, (pp. 119-134). Bloomington, IN: Indiana University Press.
- Dodick, J., & Orion, N. (2003). *Geology as an historical science: Its perception within science and the educational system*. *Science & Education*, 12, 197-211.
- Duschl, R. A., & Smith, M. J. (2001). *Earth science*.

In J. Brophy (Ed.), *Subject-specific instructional methods and activities*, (pp. 269-290). Oxford, UK: Elsevier Science.

Eco, U. (1983). Horns, hooves, insteps: Some hypotheses on three types of abduction. In U. Eco & T. A. Sebeok (Ed.), *The sign of three: Dupin, Holmes, Peirce*, (pp. 198-220). Bloomington, IN: Indiana University Press.

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

Giere, R. N. (1999). *Science without laws*. Chicago, IL: The University of Chicago Press.

Gilbert, G. K. (1896). The origin of hypotheses: Illustrated by the discussion of a topographical problem. *Science, New Series*, 3(53), 1-13.

Gilbert, S. W., & Ireton, S. W. (2003). *Understanding models in earth and space science*. Arlington, VA: NSTA Press.

Harre, R. (1972). *The philosophies of science*. (민찬홍, 이병욱 (역) (1985). *과학철학*. 서울: 서광사). Oxford, UK: Oxford University Press.

Harrowitz, N. (1983). The body of the detective model: Charles S. Peirce and Edgar Allan Poe. In U. Eco & T. A. Sebeok (Ed.), *The sign of three: Dupin, Holmes, Peirce*, (pp. 179-197). Bloomington, IN: Indiana University Press.

Johnson, T. R., & Krems, J. F. (2001). Use of current explanations in multicausal abductive reasoning. *Cognitive Science*, 25, 903-939.

Kim, C.-J. (2002). Inference frequently used in earth science. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 23(2), 188-193.

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

Kim, J., & Cunningham, D. J. (2003). A syllogism for formulating hypotheses. *Semiotica*, 144, 303-317.

Kruijff, G.-J. M. (2005). Peirce's late theory of abduction: A comprehensive account. *Semiotica*, 153, 431-454.

Leak, D. B. (1995). Abduction, experience, and goals: A model of everyday abductive explanation. *The Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 7, 407-428.

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

Mannoia, V. J. (1980). *What is science? An introduction to the structure and methodology of science*. Lanham, MD: University of Press of America.

National Research Council (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: National Academy Press.

Rhoads, B. L., & Thorn, C. E. (1996). Observation in geomorphology. In B. L. Rhoads & C. E. Thorn (Eds.), *The scientific nature of geomorphology*, (pp. 21-56). New York, NY: John Wiley & Sons.

Schumm, S. A. (1991). *To interpret the Earth: Ten ways to be wrong*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Schurz, G. (2002). Model of abduction: From an interrogative viewpoint. In G. Schurz & M. Werning. (Eds.), *Philosophical prepublication series of the chair of theoretical philosophy at the University of Dusseldorf*. Available from <http://thphil.phil-fak.uni-duesseldorf.de/index.php/filemanager/download/68/ModelsAbducReasoning.pdf>.

Shelley, C. (1996). Visual abductive reasoning in archaeology. *Philosophy of Science*, 63, 278-301.

Solomon, M. (1992). Scientific rationality and human reasoning. *Philosophy of Science*, 59, 439-455.

Thagard, P. (1988). *Computational philosophy of science*. Cambridge, MA: The MIT Press.

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

The Watercourse and Council for Environmental Education (1995). *Project WET: Curriculum & Activity Guide*. Bozeman, MT: Author.