한국과학교육학회지, 31권 6호, pp. 901-919(2011. 10) J Korea Assoc. Sci. Edu, Vol. 31, No. 6, pp. 901-919(2011. 10)

과학자와 초등과학영재의 탐구에서 나타난 귀추적 추론 분석

정선희[1] · 최현동 · 양일호[1]*
서울대방초등학교 · [1]한국교원대학교

An Analysis of Abductive Reasoning on the Inquiry of Scientists and Elementary School Gifted Children in Science

Jeong, Sun-Hee[1] · Choi, Hyun-Dong · Yang, Il-Ho[1]
Daebang Elementary School · [1]Korea National University of Education

Abstract: The purpose of this study was to analyze abductive reasoning on the inquiry of scientists and elementary school gifted children in science. Subjects for this study were eight scientists and eight elementary school gifted children in science studying in the Academy of Gifted Child Education in Science affiliated with Seoul National University of Education. As a result, abductive reasoning on the scientific inquiry of scientists and gifted children showed the three stages of generating hypotheses, designing the experiments, and interpreting the results. The abductive reasoning in each stage characterized the five types as complex abduction, analogical abduction, observation-based abduction, logic-based abduction, selective abduction. The sub-reasoning process of the abductive reasoning of gifted children in science differed in some ways from that of scientists. First, for most scientists, representing a method or representing a casual explican appeared after searching for the characteristics of variables but for gifted children in science, searching for the characteristics of variables appeared after representing a method. Second, scientists tend to rely on logic-based abduction but gifted children in science tend to rely on observation-based abduction. Third, scientists reason by the similar rate in three steps: generating the hypothesis, designing the experience, interpreting the results. On the other hand, most gifted children in science reason about designing the experience.

Key words: abductive reasoning, elementary school gifted children in science, inquiry

Ⅰ. 서 론

과학적 탐구는 자연 현상의 기저가 되는 인과 메커니즘을 이해하는데 목적이 있으며(Russ *et al.*, 2008) 관찰된 현상을 설명하는 과정에 과학적 사고를 하게 된다(Hempel & Openheim, 1948). 관찰에 대한 설명 중 현상이 나타나게 된 원인에 대한 설명 즉, 가설을 만들기 위해 사용되는 추론을 귀추적 추론이라고 한다. 귀추적 추론(abductive reasoning)은 Peirce가 귀납적 추론, 연역적 추론과 다른 형태의 추론이 있음을 지적한 이래, 많은 연구자들이 관심을 모으고 있다(권용주 등, 2000; 정용재와 송진웅, 2006; 정진수 등, 2005; 조현준 등, 2008; Lawson, 1995; Magnani, 2001, 2007; Minnameier, 2002, 2004; Yang *et al.*, 2007).

하지만 기존의 연구들은 대부분 귀추적 추론을 가설 생성을 위한 추론으로 전제하고 있어(권용주 등, 2000; 정진수 등, 2005; Lawson, 1995) Hanson (1958)이 제안한 '새로운 아이디어 도출'의 의미나 Magnani(2007)의 '선택적 귀추'의 의미가 제대로 해석되고 있지 않다. Hanson(1958)은 과학의 모든 아이디어들은 귀추적 추론을 통해서 얻어진다고 주장했다. 또한 Magnani(2001)에 따르면, 놀라운 현상을 설명해 줄 수 있는 법칙이나 규칙은 하나가 아니다. 현상을 설명할 수 있는 다양한 대안 가설들을 제안할 좋은 이유가 존재한다. 따라서 Magnani(2001)는 가설 검증 과정을 통해 최종 원인적 설명자를 비교, 평가하는 과정이 귀추적 추론에 포함될 수 있다고 제안한다. 이를 최선의 설명을 위한 추론 즉, IBE(Inference to the best explanation) 관점으로 해석하면서, 관

*교신저자: 양일호(yih118@knue.ac.kr)
**2011.04.18(접수) 2011.09.14(1심통과) 2011.09.26(2심통과) 2011.09.27(최종통과)

찰된 현상을 설명할 수 있는 여러 가설들 중 가장 잘 설명해내는 "최선의 설명"을 참인 것으로 받아들이는 추론 형식으로 표현하기도 한다(박준호, 2005; 이봉재, 1992; Harman, 1965; Lipton, 1991; Thagard, 1988).

하지만 IBE 내에 귀추적 추론이 내포되었다는 주장이 있다(박준호, 2005). 또한 귀추적 추론이 가설 검증과 관련된다는 주장(Magnani, 2001, 2007), Peirce의 귀추적 추론이 가설 생성 방법인지 가설 검증 방법인지 명확히 진술되지 않았다고 하는 주장(정상모, 1997)도 있어 가설 검증 과정이 하나의 귀추적 추론을 의미하는지 탐구 전체적인 맥락으로 보았을 때 탐구의 각 단계에서 귀추적 추론이 나타난다는 것인지 의미가 모호하다.

이러한 귀추적 추론의 범주 문제를 확인하기 위해 탐구 과정 전체에서 귀추적 추론이 언제 어떻게 나타나는지를 확인할 필요가 있다. 귀추적 추론을 탐구 전체적인 과정에서 분석하려는 시도가 있었지만(이혜정 등, 2008; 조현준, 2009) 이혜정 등(2008)은 생물학자를 대상으로 하였고, 조현준(2009)은 귀추적 추론의 범주 문제나 하위 요소에 관해 연구한 것이 아니라 귀추적 추론, 연역적 추론, 귀납적 추론이 천문학자의 연구과정에 어떻게 연관되어 나타났는지를 분석했다. 과학자의 탐구 전체적인 맥락에서 귀추적 추론이 언제 어떻게 나타나는지에 대한 분석이 요구된다.

그러나 과학 교육자들의 관심은 과학자가 아닌 학생들의 사고력과 탐구 능력 증진에 있다. 과학 교육학자들은 이미 오랜 전부터 학생들이 자료로부터 증거를 평가하는 능력(Chinn & Brewer, 1993, 1996; Klahr & Dunbar, 1988; Zimmerman, 2000), 논리적으로 적절한 추론을 이끌어내는 능력(Kuhn, D., 1993; Kuhn, D. *et al.*, 2000)이 있는지 등의 과학적 사고력에 주목해 왔다. 특히 과학영재는 일반 아동에 비해 과학적 사고력(박민정과 전동렬, 2008; 황희숙 등, 2006), 창의성(김명숙 등, 2002; 박지영 등, 2005; 이수진 등, 2007; 조석희, 2000)면에서 우수한 특성을 보였다. 특히 박경희 등(2006)의 연구에서는 가설생성활동 부분에서 과학영재가 일반학생에 비해 뇌 용적뿐만 아니라 전전두엽에서의 활성도에 차이가 있었다고 전했다. 과학영재들은 일반 아동에 비해 가설 생성이나 실험 설계 등 새로운 아이디어를 생성해야 하는 개방화 정도가 높은 탐구 활동에 더 많은 흥미와 호기심을 보인다는 보고도 있다(양태연 등, 2003).

이미 과학영재가 갖고 있는 과학적 사고력이나 창의성의 우수한 면에 대해 인식하고 있으면서도 창의적 아이디어를 생성하는 과정이나 추론 과정에 관한 분석 즉, 귀추적 추론에 대한 분석이 없어 창의성에 관한 기작을 밝히기 어려웠다. 오준영 등(2008)이 귀추적 추론의 추리 전략을 이용하여 과학영재를 위한 창의적 교수-학습 프로그램을 제안하긴 했지만 이 연구는 창의성의 하위 요소와 귀추적 추론과의 관계를 분석하는데 그치고 있어 전체 탐구의 과정에서 귀추적 추론이 언제 어떻게 나타나는지를 알 수는 없다. 또한 이 외에도 오필석과 김찬종(2005)은 귀추 형식이 지구과학 학습의 본성을 반영하기에 유용함을 강조하였다. AI(Artificial Intelligence) 관점에서 귀추적 추론의 유형을 분석한 연구(Thagard, 1988)가 있지만 철학적 이론적 관점을 배경으로 하여 구분한 것이며, 대부분의 연구가 이론적 철학적 접근을 통해 논증 구조를 분석하는데 그치고 있어(Baral, 2000; Fischer, 2001; Hoffmann, 1999) 과학영재의 사고 과정에서 어떤 특징을 나타내는지에 대한 설명을 찾을 수 없었다. 또한 귀추적 추론의 하위 과정에서 원인적 설명자를 선택하는 기준에 관한 설명이 없어 언제 어떻게 그 원인적 설명자를 채택하는가의 문제를 해결해 주지 못했다(Leake, 1995).

따라서 이론적 철학적 분석이 아닌 실제 과학영재의 탐구 수행 과정에서 귀추적 추론이 언제 어떻게 나타나는지에 대한 분석이 필요하다. 과학적 사고력이나 창의성 면에서 우수성이 확인된 과학영재의 탐구에서 나타나는 귀추적 추론을 분석하면 원인적 설명자 선택의 기준 및 기원을 밝힐 수 있을 것으로 여겨진다. 이를 과학적 사고의 이상적 모델로 여겨지는 과학자의 사고와 비교 분석함으로써 과학영재가 귀추적 추론을 할 때의 특징 및 차이점을 찾아낼 수 있을 것이다. 이 연구는 과학자와 과학영재의 탐구 과정에서 귀추적 추론이 언제 어떻게 나타나는지를 분석하기 위한 것이다. 연구를 위해 과학자와 과학영재의 탐구 과정에서 귀추적 추론이 나타나는 시기를 확인하고, 나타난다면 귀추적 추론의 하위 과정 및 특징은 어떠한지, 과학자와 과학영재의 귀추적 추론의 차이는 어떠한지를 비교 분석하였다. 이를 통해 탐구의 과정에서 창의적 아이디어 생성이 요구되는 시점이나 아이

디어 선택의 근원 및 방법에 대한 시사점을 줄 수 있을 것으로 기대한다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구 대상

연구 대상은 과학자와 과학영재이다. 과학영재는 서울교대 과학영재교육원에 재학 중인 초등학교 4~6학년 8명이었다. 자유탐구 과제에 참여를 희망한 19명의 학생들이 3인 1조의 6개조로 편성되어 자유탐구 과제를 수행하였다. 탐구를 수행하는 과정에서 떠올리게 된 사고는 모두 큰 소리로 표현하게 함으로써 사고의 흐름을 이해할 수 있게 하였다. 사고 발성법은 인지 과정을 분석하기에 유용하다(van Someren *et al.*, 1994). 하지만 학생들은 사고한 것에 대한 전달력이 미흡했다. 따라서 사고 발성 정도가 원활하며 탐구 수행에 적극적으로 참여해 추론 과정을 이해할 수 있었던 학생 8명만을 분석 대상으로 선정하였다.

선정된 연구 대상 과학영재들은 표 1과 같은 과제를 수행하였는데, 2명은 마우스와 햄스터가 어떻게 길을 찾아갈까에 관한 주제로 기억력을 비교하는 탐구를 수행하였으며, 2명은 쥐가 먹이를 찾는데 어떤 감각을 이용하는지에 관한 탐구 주제, 4명은 마찰력에 영향을 미치는 요인이 무엇인지에 관한 주제로 탐구를 수행하였다. 학생 코드는 8명 학생의 이름을 가나다 순으로 정렬하여 붙여진 것이며, 같은 주제로 활동한 학생끼리 묶어서 제시한 것이다.

또한 과학영재의 탐구 수행 과정에서 나타나는 귀추적 추론의 출현 시기나 하위 추론 요소들에 관한 특징을 알아보기 위해 분석틀 개발 과정에서 분석된 과학자의 귀추적 추론과 함께 비교하였다. 비교 분석된 과학자는 물리 영역(전자기학) 1명, 화학 영역(유기 화학) 1명, 생물 영역(동물 행동학) 5명, 지구과학 영역(기상학) 1명 총 8명으로 SCI급 저널에 실적이 있는 과학자들이다. 과학자의 전공 영역마다 사고 패턴이 다르지만 귀추적 추론의 출현 시기나 기원을 확인하는데 무리가 없을 것으로 판단돼 이들을 분석대상으로 선정하여 과학영재의 귀추적 추론과 비교하였다. 과학자 역시 가다나 순으로 이름을 정렬하여 붙여진 것이며, 같은 영역 주제의 과학자끼리 묶어서 제시하였다.

2. 자료 수집

과학영재의 탐구 과정에서 나타나는 귀추적 추론을 분석하기 위해 문헌 연구와 선행 연구를 통해 탐구 과제를 개발하고 개발된 과제(훈련 과제+자유탐구 과제)를 제시하여 활동 과정을 비디오 촬영하였다. 훈련 과제는 3시간, 자유탐구 과제는 1주에 3시간씩 총 8주 동안 진행되었다. 훈련 과제에도 자료 수집 기간인 자유탐구 과제와 동일하게 촬영하여, 촬영으로 인한 외연변인을 제거하도록 하였다. 학생들은 탐구를 수행하는 과정에서 개별 탐구일지를 기록하도록 훈련되었다. 학생들이 자유탐구 과제를 수행하는 동안 연구자는 참여관찰을 통해 일어나는 탐구 활동을 관찰, 기록하였고 탐구 활동 중에 일어나는 사고 과정에 대해 궁금한 점은 수행 중 간단히 인터뷰하였다. 과제 수행 중에 사고 발성되지 않거나 질문할 수 없었던 부분은 탐구 수행 후 비디오 녹화 내용을 보여주면서 그 당시 어떤 생각을 했었는지 회상하도록 요청하고, 학생들의 추론 내용을 보다 정확하게 재확인하였다. 최종 보

표 1
연구 대상의 연구 분야 및 주제

	주 제	연구대상 코드
과학자	물리 영역(전자기학)	S1
	화학 영역(유기 화학)	S7
	생물 영역(동물 행동학)	S2, S3, S5, S6, S8
	지구과학 영역(기상학)	S4
과학 영재	마우스와 햄스터의 기억력 비교	G1, G8
	쥐는 먹이를 찾는데 어떤 감각을 이용하는가?	G2, G4
	마찰력	G3, G6
	마찰력에 대하여	G5, G7

고발표회를 통해 제출된 영재 학생들의 결과보고서와 개별탐구일지를 귀추적 추론 분석의 근거 자료로 수집하였다. 이후 탐구 수행 과정에서 생성된 프로토콜을 전사하고 분석하였다. 자료 분석을 위해 과학영재의 탐구 수행 과정 중에 촬영된 내용을 모두 전사하였다. 피험자의 언어적인 것뿐만 아니라 비언어적인 행동까지 전사하였으며, 연구자가 피험자를 관찰한 기록지의 내용도 전사에 추가하여 프로토콜을 완성하였다.

비교 분석한 과학자들에 관한 자료는 저널에 실린 논문을 바탕으로 탐구의 과정에 관해 인터뷰하여 프로토콜을 생성하고 분석하였다. 과학자들은 그들의 탐구 과정에 직접 참여할 수 없기에 회상적 인터뷰를 통해 그들의 탐구 과정에서 나타난 귀추적 추론을 분석하였다. 회상적 인터뷰는 과학자들을 직접적으로 대면해 생생한 연구 과정을 들을 수 있기에 과학적 발견 및 사고 과정을 분석하기에 매우 효과적이다(양일호 등, 2006). 그러나 연구 대상자인 과학자의 기억에 의존해 인터뷰하기 때문에 시간 순서가 정확하지 않을 수 있으며, 실제 사고 과정이나 수행에서 나타났던 세밀한 과정을 놓치기 쉽다. 또한 과학자의 편향된 해석이 나타나게 된다(Gorman *et al.*, 2004). 따라서 인터뷰 후에 생성된 프로토콜을 시간 순서에 따라 재구성하였다.

3. 과제 개발

(1) 훈련 과제

과학영재에게 제시된 탐구 과제는 훈련 과제(촛불 과제) 1가지와 자유탐구과제이다. 훈련 과제로 촛불 과제를 선정한 이유는 촛불 관찰을 통해 평소 알고 있던 과학적 지식이나 신념과 다른 특이한 현상을 발견하게 되는 문제 발견과 그 특이 현상에 관한 설명을 찾아가는 가설 생성과 가설 검증을 위한 귀추적 추론이 나타날 수 있는 과제라 판단되었기 때문이다. 특히 타고 있는 촛불은 고체, 액체, 기체가 공존하고 있으며 상태의 변화, 대류 등 물리적인 변화와 양초가 연소하여 물과 이산화탄소로 변하는 화학적 변화를 동반하고 있어(남철우 등, 1997) 주변에서 쉽게 접할 수 있지만 학생들의 호기심을 유발하기 좋은 과제라고 판단되어 훈련 과제로 선정한 뒤 학생들에게 제시하였다.

(2) 자유탐구 과제

촛불 과제를 통해 가설 생성, 실험 설계, 결과 해석 등의 전체 과정에서 탐구 수행 능력과 사고 발성 훈련이 되면 학생들 스스로 자유탐구 과제를 수행하도록 하였다. 자유탐구 과제는 자신이 평소 궁금해 하던 현상이나 과학 사실에 대해 의문을 제기하고, 원인을 찾아 설명하기 위해 가설을 세우고, 실험을 고안하고 실험을 수행한 후 결과 해석, 결론을 도출하는 일련의 탐구 과정을 거치게 된다. 자유탐구 과제를 제시한 것은 과제 선정부터 의문 생성, 가설 생성, 가설 검증까지의 탐구 과정 전체를 이해하기 위한 것이며 특정 과제로 제한하여 연구자의 의도가 개입되는 것을 최소화하기 위한 이유에 근거하였다. 황성원과 박승재(2001)도 개방적 탐구의 필요성에 대해 언급했고 Roth(1994)는 자신이 탐구 문제를 고안하여 탐구할 수 있는 환경이 필요하다는 견해를 제안하였다. 또한 자유탐구는 개념과 탐구 과정에 대한 이해 증진(Gott & Mashiter, 1991) 및 학생들의 참여도를 높이기에 적합하기에(윤혜경과 박승재, 1999) 학생들에게 제시할 연구 과제로 선정되었다.

3. 자료 분석

연구를 위해 수집된 과학자와 과학영재의 프로토콜은 조현준 등(2008)의 귀추적 추론 분석틀에 따라 분석하였다. 표 2에서 보는 바와 같이, 조현준 등(2008)의 귀추적 추론 분석틀에서는 가설생성, 실험설계, 결과해석으로 단계를 구분하여 하위 추론 요소들을 제시하고 있다. 제시된 하위 추론 요소들은 의문상황인식, 방법의문인식, 의문상황분석, 변인속성탐색, 경험지식표상, 설명자표상, 방법표상, 유추, 설명자선택, 방법선택, 설명자차용, 방법차용, 가설구성, 방법구성, 가설확인, 방법확인, 가설수락, 방법수락, 가설기각, 방법기각의 20가지 추론 요소를 포함하고 있다.

귀추적 추론의 하위 추론 요소에 따라 프로토콜을 분석한 뒤 분석에 대한 신뢰도를 확인하였다.

이를 위해 분석된 프로토콜 중 1가지를 무작위 선정하여 세미나 중 과학 교육 전공자 10인과 함께 일치도를 확인하였다. 일치도를 확인하는 과정에서 의견이 일치하지 않는 요소에 대해서는 토론을 통해 용어 정의 및 분석 방법에 대한 명확한 기준 확보가 이루어지도록 하였다. 분석틀에 관한 분석자 2인간 일치도

표 2
가설생성, 실험설계, 결과해석의 귀추적 추론 분석틀(조현준 등, 2008)
가설생성단계

단계	가설 생성의 과정		코드
	귀추적 추론 단계	구체적인 하위 추론 요소	
1단계	의문 현상 인식	탐구하고자 하는 의문 현상 인식	의문상황인식
2단계	원인적 설명자 탐색	의문 상황에 대한 분석	의문상황분석
		의문 상황에 대한 경험 지식 표상	경험지식표상
		원인적 설명자 표상	설명자표상
		원인적 설명자로 유추	유추
3단계	가설 구성과 확인	원인적 설명자 선택	설명자선택
		원인적 설명자를 가설로 차용	설명자차용
		원인적 설명자에 의해 가설 구성	가설구성
		관찰과 비교를 통해 가설 확인	가설확인
4단계	가설의 가능성 확인	가설에 대한 가능성 확인	가설수락
		가설 기각	가설기각

실험설계단계

단계	실험 설계 과정		코드
	귀추적 추론 과정	구체적인 하위 추론 요소	
1단계	방법적 의문 인식	실험 방법에 대한 의문 인식	방법의문인식
2단계	변인의 속성 탐색	변인의 속성에 대한 탐색	변인속성탐색
		실험 방법과 관련된 경험 지식 표상	경험지식표상
		실험 방법 표상	방법표상
		실험 방법으로 유추	유추
3단계	실험 방법 구성과 확인	실험 방법 선택	변인선택
		실험 방법으로 차용	변인차용
		실험 방법 구성	방법구성
		관찰과 비교를 통해 실험 방법 확인	방법확인
4단계	실험 방법의 가능성 확인	실험 방법에 대한 가능성 확인	방법수락
		실험 방법 기각	방법기각

결과해석단계

단계	결과 해석의 과정		코드
	귀추적 추론 단계	구체적인 하위 추론 요소	
1단계	의문 현상 인식	탐구하고자 하는 의문 현상 인식	의문상황인식
2단계	원인적 설명자 탐색	의문 상황에 대한 분석	의문상황분석
		의문 상황에 대한 경험 지식 표상	경험지식표상
		원인적 설명자 표상	설명자표상
		원인적 설명자로 유추	유추
3단계	가설 구성과 확인	원인적 설명자 선택	설명자선택
		원인적 설명자를 가설로 차용	설명자차용
		원인적 설명자에 의해 가설 구성	가설구성
		관찰과 비교를 통해 가설 확인	가설확인
4단계	가설의 가능성 확인	새로운 가설에 대한 가능성 확인	새로운 가설수락
		가설 기각	가설기각

(inter-rater reliability)를 확인한 결과 신뢰도 지수 K=0.83이었다.

프로토콜 분석 과정에서 연속적인 사고에 대해 화살표(→)로 연결하여 표현하고, 다른 내용으로 추론이 전환되거나 다른 가설을 떠올릴 경우 가운데 점(•)으로 나눠서 표현하였다. 그래프 상에서는 다른 원인적 설명자나 방법을 찾기 위해 추론한 것으로 구분하기 위해 색깔을 달리하여 표현하였다. 조현준 등(2008)의 분석틀로 분석하였으나 귀추적 추론 이외에도 관찰이나 실험 행동, 예상이나 비교 판단을 위한 연역적 추론이 나타났다. 첫 번째 연구 문제 즉, 귀추적 추론이 나타나는 출현 시기를 알아보기 위해 하위 추론 요소를 묶어서 편의상 귀추적 추론 요소에 해당되는 것은 A로, 관찰이나 실험에 관한 행동 요소는 I로, 예상이나 비교 판단을 위한 연역적 추론은 D로 구분하여 축약 표현하고 귀추적 추론A과 연역적 추론D, 귀납적 추론I의 빈도 차이를 확인하였다. A는 귀추적 추론의 하위 요소 중 설명자표상과 방법표상이 나타난 부분을 중심으로 빈도를 구분하였다.

두 번째 연구문제와 관련하여, 귀추적 추론의 과정 및 특징을 확인하기 위해 각 하위 추론 요소가 나타나는 순서를 시간의 흐름에 따라 확인하였다. 결과 논의를 위해 언급된 자료들은 가장 특징적인 형태의 프로토콜과 하위 추론 요소에 의한 그래프이다. 과학자에 관한 프로토콜과 하위 추론 과정에 관한 분석 내용은 분석틀 개발 과정에서 조현준 등(2008)의 연구에 제시하였기 때문에 과학영재의 자료를 위주로 논의하였다. 분석 결과, 과학자나 과학영재의 귀추적 추론의 과정에 관한 일반화된 경향성을 찾기는 힘들었지만 귀추적 추론 과정에서 나타나는 5가지 특징을 발견할 수 있었다. 이러한 특징을 중심으로 분석된 자료를 연구 결과에 논의하였다. 그리고 세 번째 연구문제와 관련하여, 과학자와 과학영재의 귀추적 추론의 차이를 확인하기 위해 하위 추론 요소 각각에 대한 평균 빈도를 비교하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 탐구 단계에서 나타나는 귀추적 추론 빈도

귀추적 추론의 출현 시기를 확인하기 위해 추론에 관한 요소들을 A, I, D로 묶어서 분석한 결과, 그림 1과 같이 가설생성, 실험설계, 결과해석의 각 단계에서 귀추적 추론이 나타남을 확인할 수 있었다. 또한 이들 세 단계에서 A, I, D가 함께 나타났다. 하지만 과학자가 가설생성이나 실험설계, 결과해석에서 나타나는 추론의 빈도가 거의 비슷하게 나타났던데 비해, 과학영재는 가설생성과 결과해석 부분에 대한 추론 빈도가 상대적으로 적게 나타났다(그림 1). 이는 관찰된 현상에 대한 원인적 설명자를 찾기 위한 가설 지식 생성이 어려운 작업이며, 탐구로 진입하는 중요한 역할을 한다고 지적한 권용주 등(2003)의 견해와 일치되는 결과이다. 이러한 결과는 설명 가설 생성에의 어려움을 지적한 박종원(2001)의 연구에서도 확인된다. 과학자 8명의 평균 추론 빈도와 과학영재 8명의 평균 추론 빈도를 비교해 보면 그림 1과 같다.

과학자의 가설생성단계에서 A는 5.38(58.1%), I는 2.25(24.3%), D는 1.63(17.6%), 실험설계단계에서 A는 6.88(61.8%), I는 2.25(20.2%), D는 2(18.0%), 결과해석단계에서 A는 5.25(53.2%), I는 2.5(25.3%), D는 2.13(21.5%)로 나타났다. 이에 비해, 과학영재의 가설생성단계에서 A는 10.13(79.4%), I는 0.63(4.9%),

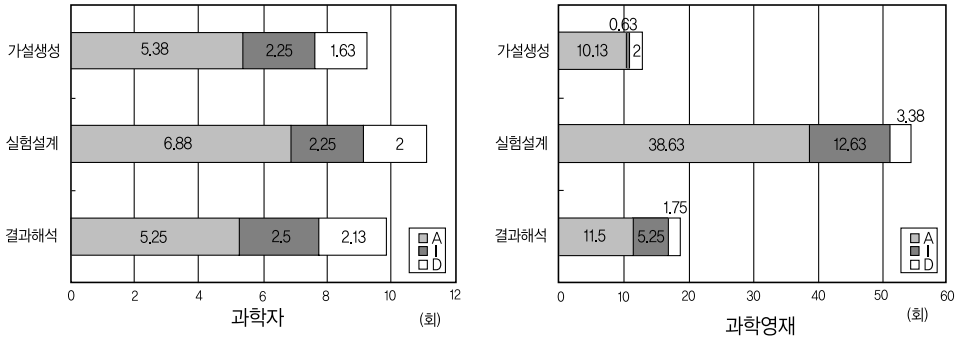

그림 1 *과학자와 과학영재의 평균 추론 빈도*

D는 2(15.7%), 실험설계단계에서 A는 38.63(70.7%), I는 12.63(23.1%), D는 3.38(6.2%), 결과해석단계에서 A는 11.5(62.2%), I는 5.25(28.3%), D는 1.75(9.5%)로 나타났다.

가설생성, 실험설계, 결과해석의 3단계에서 모두 귀추적 추론 A가 나타났으며 각 단계에서 A는 I, D와 함께 나타남을 알 수 있다. 가설생성이 아닌 실험설계나 결과해석 단계에서도 A와 I가 일어난다는 사실은 가설검증과정을 연역적 과정과 동일시했던 기존 연구결과와 다르다(박순화 등, 2005). 또한 과학자의 경우 이 세 단계에서 이루어지는 귀추적 추론의 비중이 58.1%, 61.8%, 53.2%로 거의 같게 나타났다. 흥미로운 점은 과학영재의 실험설계에 대한 추론 빈도가 다른 두 단계보다 훨씬 높았음에도 불구하고 A의 빈도는 각 단계에서 79.4%, 70.7%, 62.2%로 거의 비슷한 비율을 보였다는 사실이다. 이것은 가설생성, 실험설계, 결과해석 단계에서 유사한 비율로 귀추적 추론이 관여하고 있음을 의미한다.

2. 하위 과정에 따른 귀추적 추론의 특징

귀추적 추론의 하위 요소들에 따라 분석한 결과, 과학자와 과학영재의 전체 사례, 각 단계에서 복합적 귀추(Complex Abduction), 유추적 귀추(Analogical Abduction), 관찰-기반 귀추(Observation-based Abduction), 논리-기반 귀추(Logic-based Abduction), 선택적 귀추(Selective Abduction)의 5가지 특징적인 유형이 나타났다.

(1) 복합적 귀추(Complex Abduction)

마찰력에 관해 탐구한 과학영재 G3의 프로토콜을 살펴보면, G3은 움직이지 않고 있는 현 상황이 마찰력이 존재하기 때문으로 해석하고 마찰력이 존재하지 않는다면 계속 앞으로 나갈 것이라는 이야기를 하였다. "마찰이 일어나는 상황이요? 지금요…안 미끄러지고 서 있잖아요." 라는 부분이 이에 해당되는 내용이다.

G3: 마찰이 일어나는 상황..지금요. **(의문상황인식)**
G3: 안 미끄러지고 서 있잖아요. **(I-변인속성탐색)**
G3: 너 물 위에 서 있어봐. 마찰력이 없는가 (D)
G3: 저는요 서 있는 거에 마찰력이 있다 라고 보거든요. 그 자체가 마찰력이잖아..서 있다는 그 말 자체가..신발하고 땅하고 **(설명자표상)(변인속성탐색)**
G3: 자기가 움직이는 거죠. 힘이 가해지면...멈출 때는요 마찰력이 많아야 멈출 거 같았어요. **(의문상황분석)**
G3: 장화 같은 것도요. 마찰력이 높아서 안 미끄러진다고 하는 데요. 안 미끄러지려면 마찰력이 높아야 되는데 그러면 안 움직이는 거잖아요. **(경험지식표상)(의문상황분석)**
G3: 그러니까 무한대로 가지 그럼 마찰력이 제로면 (D)
G3: 가만히 있게 되니까 어떻게 갑자기 0이 돼? **(의문상황인식)**
G3: 마찰력 측정하는 기구가 없잖아요. **(방법의문인식)**
G3: 0이면 제로 무조건 앞으로 가는 거야. 처음에 0이면 그때부터...그럼 너는 서 있을 때 바람 불면 앞으로 가냐? (D)
G3: 앞으로 안 가잖아. **(경험지식표상)**
G3: 그럼 마찰력이 0일 수가 없지 무거우면..근데 무게가 있으면 마찰력도 조금 생길 것 같은데? (D)
G3: 아니야, 정지해 있다면 다 마찰력이 100퍼센트일거야. **(가설구성)**
G3: 마찰은 부딪히니까 **(경험지식표상)**

이미 G3의 경우 마찰력이 존재하는 상황에 대한 경험지식이 있었기 때문에 의문상황인식에서 바로 가설이 형성될 수 있었다. 주어진 의문상황분석을 통해 가설을 구성한 것이 아니라 이미 가설이 구성된 상황에서 자신의 가설을 뒷받침해 줄 수 있는 증거를 찾아 설명하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 제시된 의문상황분석은 원인적 설명자를 탐색하기 위한 것이 아니라 증거를 찾기 위한 분석이다. 또한 의문상황분석 이후에도 의문상황인식이 계속해서 등장했다(그림 2).

G3 사례를 통해서 알 수 있듯이 귀추적 추론의 하위 요소들이 순차적이고 선형적인 형태가 아니라 y축에 제시된 추론 요소가 I, D와 함께 지그재그 형태를 띠는 복잡한 형태를 띠면서 상향선을 나타냄을 알 수 있다. 또한 가설구성을 위한 귀추적 추론, 방법구성을 위한 귀추적 추론이 구분되지 않고 복합적으로 일어나는 추론임이 확인된다. 귀추적 추론의 하위 추론 요소들은 일정한 순서나 위계에 따라 나타나는 선형적인 형태의 상향곡선을 띄는 것이 아니라 I와 D를 오가

● 〈의문상황인식〉→I→〈변인속성탐색〉→D→〈설명자표상〉→〈변인속성탐색〉→〈의문상황분석〉→〈경험지식표상〉→〈의문상황분석〉→D→〈의문상황인식〉→〈방법의문인식〉→D→〈경험지식표상〉→D→〈가설구성〉→〈경험지식표상〉→〈방법의문인식〉→〈변인속성탐색〉→〈변인속성탐색〉→〈의문상황분석〉→〈의문상황인식〉→〈의문상황분석〉→〈변인속성탐 색〉→I→〈의문상황분석〉→〈설명자표상〉→〈가설확인〉

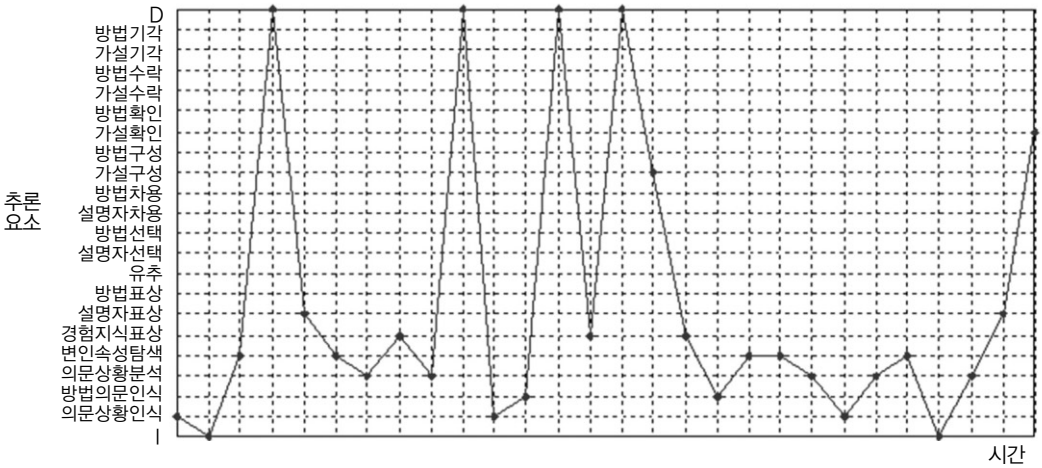

그림 2 *과학영재 G3의 가설생성단계의 추론과정*

는 복잡한 형태를 띄고 있었다. 과학영재 8명 어느 사례에서도 분석틀에서 제시하였던 하위 추론 요소들이 순차적으로 나타나지 않았을 뿐 아니라 동일한 추론 요소가 반복해서 복잡하게 나타났다. 또한 가설생성단계에서 방법의문인식이나 변인속성탐색 등 방법구성에 관한 추론 요소가, 실험설계단계에서 의문상황인식, 가설확인 등 가설구성에 관한 추론 요소가 혼재되어 복합적으로 등장함을 확인할 수 있다. 즉 가설생성단계에서도 실험방법을 표상해서 방법을 구성하기 위한 귀추적 추론이 일어나고 실험설계단계에서도 가설구성이나 가설확인에 관한 추론 요소가 나타났다.

(2) 유추적 귀추(Analogical Abduction)

과학영재 G1은 마우스의 학습능력을 주제로 자유탐구를 수행했었다. 제시된 프로토콜은 G1이 마우스가 학습할 수 있는 능력이 있을 것이라는 가설을 생성한 과정이다. 프로토콜 중 "쥐들도 사람처럼 머리 좋은 쥐도 있고 나쁜 쥐도 있잖아…."라는 부분은 마우스를 사람과 유추한 부분이다. 그리고 "조류 독감처럼…마우스독감처럼 갑자기 폐사할 수도 있고…."라는 부분은 쥐를 몇 마리 가지고 할 것인가를 선정하는 과정에서 조류독감과 유추하여 한꺼번에 죽을 가능성을 생각하게 된 내용이다.

G1: 아, 제리구나 어쨌든 제리 나이는 솔직히 10년 넘었다. **(경험지식표상)**

G1: 쥐들도 사람처럼 머리 좋은 쥐도 있고 나쁜 쥐도 있잖아. 아까 예지가 쥐 학습 능력에 대해서 실험하고 싶다고 했었잖아요. 그렇다면 그 학습 능력에 대한 것을 1차시 2차시에서 시간이 지나고 그런 식으로 해서 처음에는 안 머뭇거렸다가 어느 정도 반복을 하느냐에 따라서 시간에 따라서 기간에 따라서 그걸 하면...하는 모양이 다 다를 수 있다가...맨 처음에는 비슷한 반응을 보이겠지만 아마도 반복을 하다보면...맨 처음에는 유리판이 있다가 그 다음엔 유리판이 없다. 그런 걸 해가지고 잘 할 수도 있을 것 같은데... **(유추)(방법표상)(D)**

G1: 다 똑같은 쥐가 아니라 여러 마리를 사용하는 거지... **(방법표상)**

G1: 갑자기 다 먹어...밤새도록 자기 몸만 핥아먹어... **(I-변인속성탐색)**

G1: 진짜로 마시는 게 아니라 먹이 같은 데 소량을 살짝 묻혀가지고... **(방법표상)**

G1: 매일 매일 관찰해야 되는 것 같은데, 여기서 해주진 않잖아. **(변인속성탐색)(D)**

G1: 햄스터가 2년을 살거든? 그러니까... **(경험지식**

표상)

G1: 미로 중간에 끼는 거 아니야? **(변인속성탐색)**

G1: rat는 온순해 **(경험지식표상)**

G1: 스튜어트 리틀이 똑똑한데...스튜어트 리틀은 비행기까지 조종하잖아. **(경험지식표상)**

G1: 정확히 안 따져도.. 늙은 쥐가 병에 안 걸려야 되잖아. **(경험지식표상)**

G1: 젊은 쥐 10마리..늙은 쥐 10마리 그렇게 해서 중간에 3마리 정도 해서 병으로 죽는다는 가정하에서 좀 많이 가져와야 될 걸? **(변인속성탐색)**

G1: rat을 할 수도 있잖아. **(방법표상)**

G1: 중간에 죽는 거 평균값 낼 거 생각해서 여러 마리..어...그거를 모르니까 걱정되는 거지. 중간에 죽을지 안 죽을지 모르니까 새 거를 사야 될지... **(변인속성탐색)(방법표상)**

G1: 아니, 마우스 수명이 2년이라고 가정했을 때. 젊은 쥐는 몇 개월짜리를 쓸 건지.. **(경험지식표상)(방법의문인식)**

G1: 그럼 중간 중간 마우스 전염병으로 장례식 해야겠다. 조류 독감처럼..마우스독감처럼 갑자기 폐사할 수도 있고... **(유추)**

그림 3에 제시된 G1의 가설생성 추론과정을 통해서도 확인할 수 있듯이 유추를 통한 귀추적 추론이 일어나기 위해서는 유추할 수 있는 결정적 경험지식표상이 선행되어야 한다. 떠올린 경험지식에서 설명자를 유추해 올 수 있고 방법을 유추해 올 수 있다. 과학영재 G1은 사람과의 유추를 통해 '학습가설'을 구성하고, 조류독감을 떠올리면서 많은 마우스를 실험에 사용해야 한다는 방법을 구성하였다. 귀추적 추론이 자신의 과거 경험 상황을 현재의 의문 상황에 끌어와서 가설을 생성해 가는 추론(권용주 등, 2003)이라고 할 때 설명자 선택의 기준이 유추가 될 수 있다. 과거 경험을 설명해 주던 설명자가 현 상황을 설명하기에 적합한지 비교하여 설명자 선택 과정에서 유사 기능이나 형태에 따라 유추하고 그 설명자를 차용해 가설을 생성하는 귀추적 추론이 유추적 귀추라고 하겠다. 이것은 Thagard(1988)가 제안한 귀추의 4가지 유형 중 유추적 귀추와도 같은 개념이다. Thagard(1988)는 단순 귀추(Simple abduction), 존재론적 귀추(Existential abduction), 법칙-형성 귀추(Rule-forming abduction), 유추적 귀추(analogical abduction) 4가지로 구분하였다. 역사적으로 유명한 과학적 발견 사례가 이런 유추적 귀추를 통해 이루어졌다는 연구가 있으며(Nersessian, 1992), 과학적 설명을 위한 가설 추론 방식에 유추가 유용하게 사용된다(조인래, 2001; Blake, 2004; Blanchette &

● 〈경험지식표상〉→〈유추〉→〈방법표상〉→D→〈방법표상〉→I→〈변인속성탐색〉→〈방법표상〉→〈변인속성탐색〉→D→〈경험지식표상〉→〈변인속성탐색〉→〈경험지식표상〉→〈경험지식표상〉→〈변인속성탐색〉→〈방법표상〉→〈방법표상〉→〈변인속성탐색〉→〈방법표상〉→ 〈경험지식표상〉→〈방법의문인식〉→〈유추〉

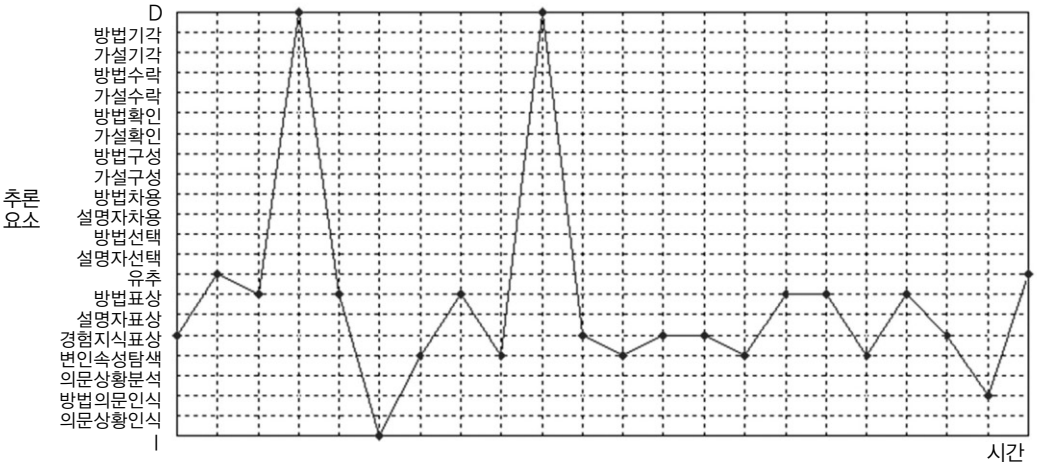

그림 3 *과학영재 G1의 가설생성단계의 추론과정*

Dunbar, 2000). 유추적 귀추는 과거 경험이나 관련 경험지식 가운데 외형적인 유사성이나 구조적, 기능적 유사성을 바탕으로 유추하여 현 상황에 적합한 설명자를 선택하고 차용해 와서 가설로 사용한다. 과학영재 G1 사례에서 이런 특징이 잘 드러난다.

(3) 관찰-기반 귀추(Observation-based Abduction)

과학영재 G3의 실험설계단계의 추론과정 중 나타난 프로토콜 "너무 이상하게 찍혔어. 다시 해야 돼. 그냥 다시 하지. 다시 해보면 알 거 아니야"라는 부분에서도 알 수 있듯이 예상치 못한 결과를 접하게 될 때 기존 경험지식이 많지 않은 경우, 관찰이나 실험 즉 I를 통해 다시 그 현상을 확인하면서 변인속성탐색이나 방법표상을 한다(그림 4).

G3: 어, 왜 두 개씩 찍혔냐? **(의문상황인식)**
G3: (시간기록계 찍는 곳에) 이게 하나밖에 없잖아 ~ **(의문상황분석)**
G3: 아, 맞다. 이걸 조여놨어야 되는데..음... 이거는 하나씩 나온 거 같다. 조이는 거였어. **(설명자표상)**
G3: 아닌데~ 떨어뜨리는 거? **(I-가설확인)**
G3: (저울로 분동 무게를 확인) 50그램. 100그램. 맞나 확인해볼까? 50그램? 맞다! 150그램...160그램. 170그램...느리니까 좁아져요. (I)
G3: 점점 빨라지는지 점점 느려지는지... **(가설확인)**
G3: 뭐 적당한 힘으로... **(변인속성탐색)**
G3: 추로 하는 거라니까요? **(방법표상)**
G3: 같은 힘을 주기 위해서..근데, 그러면 계속 떨어지잖아. 언제는 늦어지고 언제는 빨라지는지 모르잖아. **(변인속성탐색)(의문상황분석)**
G3: 너무 이상하게 찍혔어. 다시 해야 돼. 그냥 다시 하지. 다시 해보면 알 거 아니야. (I)
G3: (추를 들어보면서)너무 무거운 거 같은데 **(변인속성탐색)**
G3: 근데 우리 이거 직선으로 해야 하잖아. **(의문상황분석)**
G3: 느려지는 구간이 없어. 바닥에서 그냥 딱 떨어져서... **(의문상황분석)**

추론과정에서 관찰이나 실험에 관한 I가 자주 등장했다는 것은 I가 귀추적 추론에서 가설이나 방법의 적절성을 판단하는 근거가 된다는 사실을

● 〈의문상황인식〉→〈의문상황분석〉→〈설명자표상〉→I→〈가설확인〉→〈방법표상〉→I→〈가설확인〉→ 〈변인속성탐색〉→〈방법표상〉→I→〈가설확인〉→〈변인속성탐색〉→〈방법표상〉→〈변인속성탐색〉→〈의문상황분석〉→I→〈변인속성탐색〉→〈의문상황분석〉 〈의문상황분석〉→I→〈의문상황분석〉→〈가설확인〉 →I→〈변인속성탐색〉→〈방법표상〉→〈방법의문인식〉→〈방법표상〉→〈변인속성탐색〉→〈변인속성탐색〉→I→〈방법의문인식〉→I→〈방법표상〉→I→〈의문상황인식〉→〈설명자표상〉→〈의문상황분석〉→〈설명자표상〉→〈변인속성탐색〉→〈방법선택〉→〈의문상황분석〉→〈설명자표상〉→〈방법기각〉→I→〈방법표상〉→〈방법표상〉→〈방법표상〉→〈방법구성〉

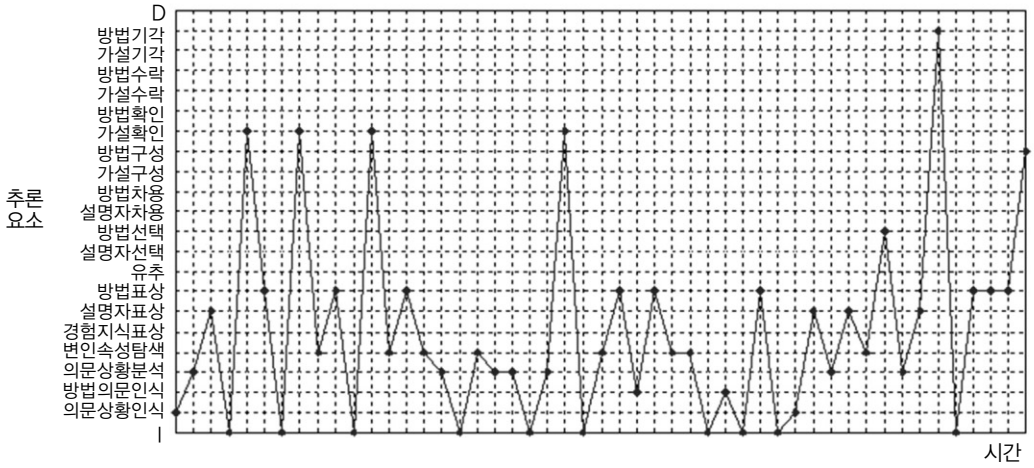

그림 4 *과학영재 G3의 실험설계단계의 추론과정*

지지해 준다. 설명해야 할 의문 상황을 분석하여 가설을 구성하거나 방법을 구성하는데 주로 관찰이나 실험에 의존하는 특징이 나타난다. 그래프가 아래 방향으로 꺾이는 형태를 띠면서 I가 자주 등장하고 있다는 사실을 통해서 알 수 있다. 이 결과는 가설생성이나 실험 설계, 결과 해석 등 아이디어를 생성하기 위한 추론을 하는 동안 관찰이나 실험이 이루어진다는 의미이며, 가설공간과 실험공간이라는 이중탐색공간이 서로 상호작용하게 됨을 밝힌 Klahr와 Dunbar (1988)의 연구로 뒷받침된다. 아이디어를 생각하면서 그것을 증명할 수 있는 실험을 찾고, 실제 관찰 및 실험 수행이 이루어진다. 또한 귀추적 추론이 지식과 관찰에 의존한 추론이라고 지적한 Baral(2000)의 견해와도 일치한다. Park(2006)은 설명 가설을 이론적 가설, 실증적 가설, 보조 가설로 구분한 바 있는데, 관찰-기반 귀추는 경험에 기반한 실증적 가설 생성과 유사하다.

(4) 논리-기반 귀추(Logic-based Abduction)

과학영재 G6의 프로토콜은 마찰력 실험을 하다가 예상치 못한 결과를 접하고 그 결과를 해석하면서 나타난 추론 과정이다. 과학영재 G6은 정지해 있던 물체가 운동 상태였다가 다시 정지할 때 마찰력이 어떻게 변하는지에 의문을 느꼈다. 그리고 마찰력을 측정하기 위해 타점기록계를 사용했다. 타점기록계 끝에 실을 연결해 추를 떨어뜨려서 일정하게 운동하도록 했는데 예상했던 바와 달리 타점기록계로는 물체가 운동했다가 서서히 정지하는 구간을 볼 수 없었다. 추는 계속해서 중력을 받고 있기 때문에 서서히 느려지는 것이 아니라 계속해서 일정한 힘이 작용하게 된다는 점을 생각지 못하고 실험했던 것이다. "해봐! 해봐. 다시 해봐. 아, 그냥 떨어뜨려봐. 근데, 그러면 계속 떨어지잖아. 언제는 늦어지고 언제는 빨라지는지 모르잖아. 딱 떨어지네. 근데 천천히 느려지는 모습을 못 보잖아. 추요…너무 무거워서…."는 실험하면서 의문을 느끼고 자신이 세운 방법에 문제가 있음을 찾아내는 과정에서 나타난 프로토콜이다.

G6: 왜 안 떨어지냐고 **(의문상황인식)**
G6: 해봐 해봐. 다시 해봐. 아, 그냥 떨어뜨려봐. 근데, 그러면 계속 떨어지잖아. 언제는 늦어지고 언제는 빨라지는지 모르잖아. **(의문상황분석)**
G6: 일단 봐봐. 관찰해보게. **(I)**
G6: 추요...너무 무거워서 **(변인속성탐색)**
G6: 아니야. 여기까지는 떨어지는 부분이니까 아니야. **(의문상황분석)(D)**
G6: 딱 떨어지네. 근데 천천히 느려지는 모습을 못 보잖아. **(의문상황분석)**
G6: 실을. 실을 좀 길게 하고. 요걸 요기로 옮기자. 길게... **(방법표상)**
G6: (종이테이프를 관찰한다)그럭저럭 됐다. 일단 차이를 발견하고 보자고. 나무 떼. 나무...일단 차이를 발견해 보자고 **(I)**
G6: 여기서 부터니까...쭉~가네. 여기서부터 **(I-의문상황분석)**
G6: 영점 삼. 여기도 영점 삼인가? 여기는 영점 삼인데, 여기는 영점 오야. 근데 여기는 균일해요. 여기는 2밀리니까...별로 차이가 안 보이는 거 같은데요. **(I)**
G6: 느려진 구간이 없어. 잘못된 거야. **(의문상황분석)(I)**

G6의 추론 그래프에는 D가 자주 등장할 뿐만 아니라 I와 D가 혼재되어 아주 복잡한 형태를 나타내고 있다(그림 5). 따라서 귀추적 추론이 일어나는 동안 귀납적 추론과 연역적 추론이 상호작용하게 됨을 알 수 있다(정용재와 송진웅, 2006). 논리-기반 귀추란 귀추적 추론을 하는 과정에서 논리에 기반한 연역적 추론을 하게 됨을 의미한다. 즉 의문상황을 분석하고 변인이 갖고 있는 속성을 탐색하는 과정에서 찾아낸 설명자나 방법을 선별하고 판단할 때의 추론은 논리적이고 연역적이다. 관찰뿐만 아니라 논리에 기반한 귀추도 중요한 역할을 담당한다. 과학영재 G6의 사례를 통해 이런 특징을 확인할 수 있다.

(5) 선택적 귀추(Selective Abduction)

과학영재 G4의 실험설계단계의 추론에서는 유독 방법표상, 설명자표상과 변인속성탐색을 많이 볼 수 있었다(그림 6). 미로를 가지고 마우스 실험을 하였는데, 처음 가설은 마우스가 후각 능력에 의존에 미로를 찾아갈 것이라고 설정했다. '후각 가설'을 확인하기 위한 실험설계를 하는 중 다음과 같은 추론을 하였다. 미로의 형태를 표상하거나 시간 측정 방법에 대해 표상, 시각을 통제하기 위한 방법 등 다양한 방법표상이

- 〈의문상황인식〉→〈의문상황분석〉→I→〈변인속성탐색〉→〈의문상황분석〉→D→〈의문상황분석〉→〈방법표상〉→I→I→〈의문상황분석〉→I→〈의문상황분석〉→I→〈의문상황분석〉→〈설명자표상〉→I→〈의문상황분석〉→〈경험지식표상〉→〈변인속성탐색〉→ 〈설명자표상〉→I→〈의문상황분석〉→〈설명자표상〉→〈변인속성탐색〉→〈방법표상〉→〈방법구성〉 I
- I→〈변인속성탐색〉→〈의문상황인식〉→〈변인속성탐색〉→〈설명자표상〉→〈방법표상〉→〈변인속성탐색〉→〈방법확인〉→〈의문상황분석〉→〈방법표상〉→〈의문상황인식〉→I→〈방법확인〉→I→〈방법표상〉→D→〈변인속성탐색〉→〈설명자표상〉→〈가설구성〉→〈경험지식표상〉→〈유추〉→〈방법표상〉→I→〈의문상황분석〉→D→〈경험지식표상〉→〈유추〉→〈변인속성탐〉→D→〈변인속성탐색〉→〈유추〉→D→〈경험지식표상〉→〈설명자표상〉→〈가설구성〉
- I–〈의문상황인식〉→〈설명자표상〉→〈변인속성탐색〉→〈설명자차용〉→〈가설구성〉→I→〈변인속성탐색〉→〈설명자표상〉→〈가설구성〉
- 〈의문상황인식〉→〈의문상황분석〉→〈경험지식표상〉→〈설명자표상〉→〈설명자차용〉→〈가설구성〉→〈가설확인〉

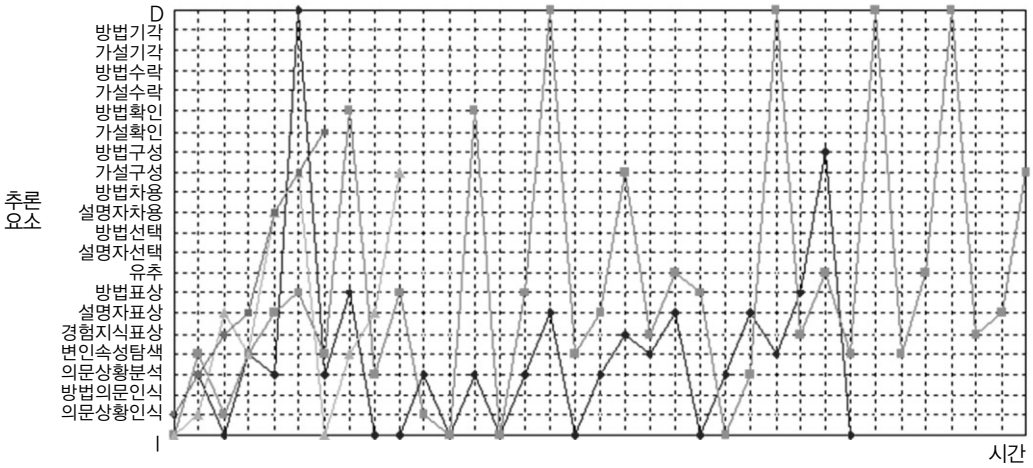

그림 5 *과학영재 G6의 결과해석단계의 추론과정*

일어났는데, 과학영재 G4의 특징은 변인속성탐색이나 의문상황분석 이후에 설명자표상이나 방법표상을 하는 것이 아니라, 무조건적으로 알고 있는 방법을 표상하고 그 방법의 적절성을 판단하였다. 그래프에서 연속된 방법표상이 나타난 것도 그 때문이다.

G4: 그러면 누가 더 빨리 달리냐에 문제가 또 있지 않을까? 왜.. 안 풀리는 거야. **(설명자표상)**

G4: (손으로 설명)간 시간을 잰다면 달리기가 빠른 놈이 먼저 갈 수 있다는 단점이 있고요. 장점은 못하는 냄새를 잘 못맡는 애는 이쪽으로 갔다가 ~ 나왔다 또 이쪽으로 갔다 할테니까요 시간이 또 많이 걸리니까 걔는 머뭇거리니까. 또 거기에 먹이를 찾았다고 해도 더 찾으려고 다른 곳으로 갈 수도 있으니까 장점이 될 수 있고요. 실로 하는 거는 거리를 재는 것은...애가 운에 따라서 먹이를 찾는 곳 까지 갈 수 있는 거... **(방법표상)(변인속성탐색)(방법표상)(변인속성탐색)**

G4: 네~ 두 갈래 길이 있으면 냄새를 안 맡아도 이쪽에 있을 수도 있다 해서 이쪽으로 가고. 만약에 저쪽으로 가도 되잖아. 이쪽으로 가도... 그럼 50%잖아요. **(변인속성탐색)**

G4: 냄새가 도달되지 않을 것...그럴 수도 있을 거라고 보는데... **(변인속성탐색)**

G4: 일단 적자. 길을 무엇으로 만들 것인가..안대는 무엇으로 만들 것인가... **(방법의문인식)**

G4: (아이들이 주변으로 모여든다)형형, 있잖아 발에다 먹물을 찍는 거야. 그러면 얘가 어느 쪽으로 가는지 알 수 있잖아. 그래서 잘못된 길이라면, 이렇게 잘못된 길이라면 그걸 갔다가 일로 온다면 관을 비교해 본다면, 발자국이 막 찍혔을 거 아니야. 그러다가 돌아서 나와 가지고 이렇게 들어갔다는 발자국이 보일 거 아니야. 이렇게 발자국을 비교해서보면, 먹물을 찍어서... 그러

면 되지 않을까? 그거보고 비교를 하면 되지 않을까? **(방법표상)(변인속성탐색)(방법확인)**

G4: 발자국을 또 똑같이 밟고 오면 그거 뭐지? 아님 뒷걸음질 쳐서 오면 이렇게 한 줄이 생기잖아. 가는 줄 밖에 안 생기잖아. 근데 문제는 얘가 또 겹쳐질 거 아니야. 발자국이...얘는 이렇게 사이가 벌어져 있는데, 만약에 여기를 갔다 왔다면 알 수 있지 않을까? 응? **(변인속성탐색)**

과학영재 G4는 '후각 가설'을 확인하기 위해 조원들과 이야기 하면서 떠올린 방법의 가능성을 탐색하였다. 변인속성탐색을 근거로 방법들을 비교 판단하였지만 여러 가지 방법들 가운데 T자 미로(두 갈래 미로) 실험으로 결정한 근거는 다분히 선택적이었음을 프로토콜을 통해 확인할 수 있다. 가설을 확인하기 위한 방법을 구성하는 것이 아니라 현재 수행할 수 있는 실험 방법을 확인하여 그에 적합한 가설을 형성한 것이다.

귀추적 추론의 하위 추론 과정을 살펴본 결과, 앞서 제시된 것과 같은 5가지 특징을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다; 복합적 귀추, 유추적 귀추, 관찰-기반 귀추, 논리-기반 귀추, 선택적 귀추. 많은 학자들은 귀추적 추론을 최선의 원인적 설명자를 찾기 위한 추론 IBE와 동일시하는 경향이 있다(이봉재, 1992; Harman, 1965; Lipton, 1991; Thagard, 1988). 여러 가지 대안 가설 중에 최선의 원인적 설명자를 찾아 가설을 생성하기 위한 추론을 귀추적 추론으로 해석한 것이다. 하지만 최선의 설명자를 찾는 기준에 관해서는 명확히 언급하기 힘들었다. Magnani(2001)는 귀추적 추론이 설명자 비교 검증을 통해 이루어지는 선택적이며 창의적 추론이라고 제안하였고, 연희원(1998)은 귀추적 추론을 직관적이며 통찰적 특성을 지닌 추론으로 해석한 바 있는데, 실제 프로토콜 분석 결과 그의 견해와 같은 선택적 귀추의 특징을 발견할 수 있었다.

우리는 이런 귀추적 추론의 특징에서 원인적 설명자를 선택한 기준이 무엇인가? 언제 선택하게 되는가의 문제에 대한 해답을 찾을 수 있다. 즉 원인적 설명자를 찾기 위한 추론은 의문 상황을 해결할 수 있는 방법구성과 함께 일어나며, 그 탐색과정에서 끊임없는 관찰과 실험이 병행된다(Baral, 2000). 가설공간과 실험공간이라는 이중탐색을 통해 귀추적 추론은 일어

- 〈설명자표상〉→〈방법표상〉→〈변인속성탐색〉→〈방법표상〉→〈변인속성탐색〉→〈변인속성탐색〉→〈변인속성탐색〉→〈방법의문인식〉→〈방법표상〉→〈변인속성탐색-〉→〈방법확인〉→〈변인속성탐색〉→〈방법표상〉→D→〈방법확인〉→〈방법확인〉→〈변인속성탐색〉
- I→〈방법구성〉→〈방법표상〉→D→〈방법표상〉→〈설명자표상〉→〈방법확인〉→〈방법표상〉→〈변인속성탐색〉→〈방법표상〉→〈변인속성탐색〉→〈변인속성탐색〉→〈변인속성탐색〉→〈방법표상〉→〈방법표상〉 →〈방법표상〉→〈방법표상〉→〈방법확인〉→〈설명자표상〉→〈가설구성〉→〈방법구성〉

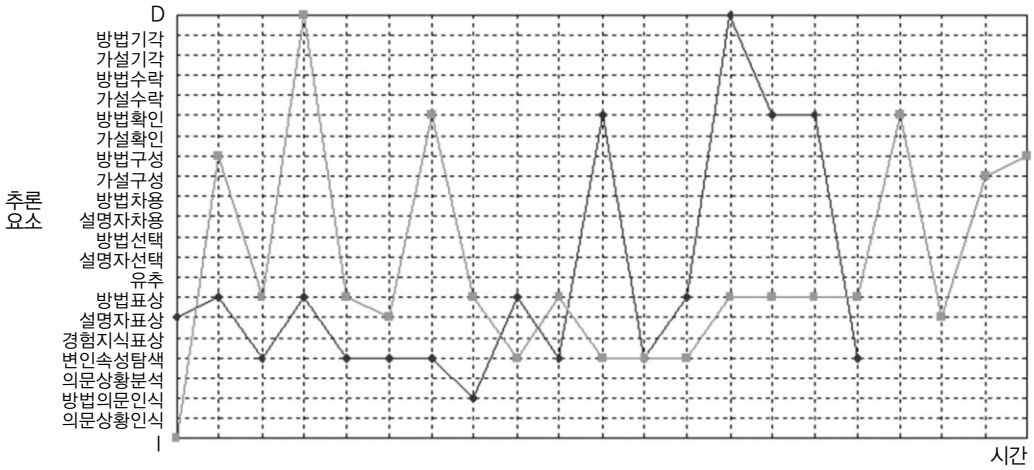

그림 6 *과학영재 G4의 실험설계단계의 추론과정*

나게 됨을 의미한다(Klahr & Dunbar, 1988). 그리고 과거 경험지식이 가지고 있는 형태적, 구조적, 기능적 유사점을 찾아 유추하거나(권용주 등, 2000; 조인래, 2001; Blake, 2004; Lawson, 1995) 새롭게 얻은 지식을 논리적으로 추론함으로써 새로운 이론을 구성할 수 있다. 새로운 이론을 선택한 근거는 다분히 '선택적' 이다(Baral, 2000; Magnani, 2001).

3. 각 탐구 단계에서 나타나는 귀추적 추론

(1) 가설생성단계에서의 귀추적 추론

과학자와 과학영재의 귀추적 추론의 차이를 확인하기 위해 각 단계에서 나타나는 귀추적 추론의 하위 추론 요소들에 대한 빈도를 비교하였다. 과학자 8명, 과학영재 8명의 가설생성단계에서 일어나는 귀추적 추론의 평균 빈도는 그림 7과 같다. 그림 7에 제시된 바와 같이 변인속성탐색, 경험지식표상, 설명자표상의 추론 요소가 과학자는 3.6(13.1%), 5.1(18.6%), 3.5(16.5%)로 과학영재는 8.1(22.4%), 3.3(9.1%), 2.4(6.6%)로 높은 빈도를 차지하고 있었다. 이러한 사실을 통해 귀추적 추론이 관찰이나 기존의 경험지식에 의존한 추론임(Baral, 2000)을 재확인할 수 있으며, 변인속성탐색, 경험지식표상이 귀추적 추론에 중요한 역할을 담당하고 있음을 유추할 수 있다.

또한 가설생성단계임에도 불구하고 방법구성에 관한 방법의문인식, 변인속성탐색, 방법표상의 하위 추론 요소들이 나타나고 있는데, 이는 가설구성과 방법구성이 병행해서 일어남을 의미한다.

평균 빈도는 과학자와 과학영재가 큰 차이를 보이지 않지만 과학자는 변인속성탐색이 경험지식표상보다 더 높은 빈도를 나타낸 반면, 과학영재는 경험지식표상이 변인속성탐색보다 더 높은 빈도를 나타낸다(그림 7). 이것은 과학자가 의문 현상에 관련된 변인의 속성을 탐색하고 탐색 결과를 바탕으로 설명자를 찾아나가는 특징을 드러내 준다. 방법구성에 관한 귀추적 추론의 하위 요소가 과학자에 비해 과학영재에게 더 높은 빈도로 나타났는데, 대부분의 과학영재가 실현가능한 실험 방법을 떠올린 후에 가설을 생성하고 확인하는 모습을 프로토콜을 통해 확인할 수 있었다.

(2) 실험설계단계에서의 귀추적 추론

실험설계에 관한 하위 추론 요소 중 변인속성탐색과 방법표상이 과학자는 6.3(20.5%), 2.9(9.4%), 과학영재는 22.4(18.9%), 26.4(22.2%)로 높은 빈도를 차지하고 있다(그림 8). 방법구성을 위한 귀추적 추론에 변인속성탐색이 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 또 다른 특징은 가설생성단계와 마찬가지로 실험설계단계에서 가설구성에 관한 추론 요소들이 나타난다는 점이다. 의문상황인식, 설명자표상, 가설확인 등의 추론 요소들이 등장하고 있는데, 이는 실험방법을 구성하면서 끊임없이 가설을 확인하고 가설에 적합한 실험 상황을 표상한다는 점을 반추해 준다.

출현 순서상 과학자와 과학영재가 차이를 보이는 추론 요소가 있었다. 과학자는 변인속성탐색을 통해 충

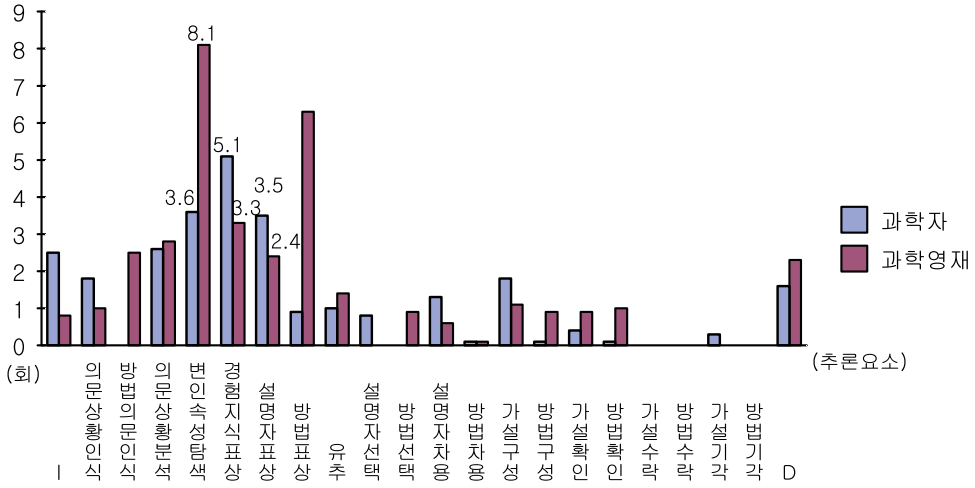

그림 7 *가설생성단계의 추론 요소에 대한 평균 빈도*

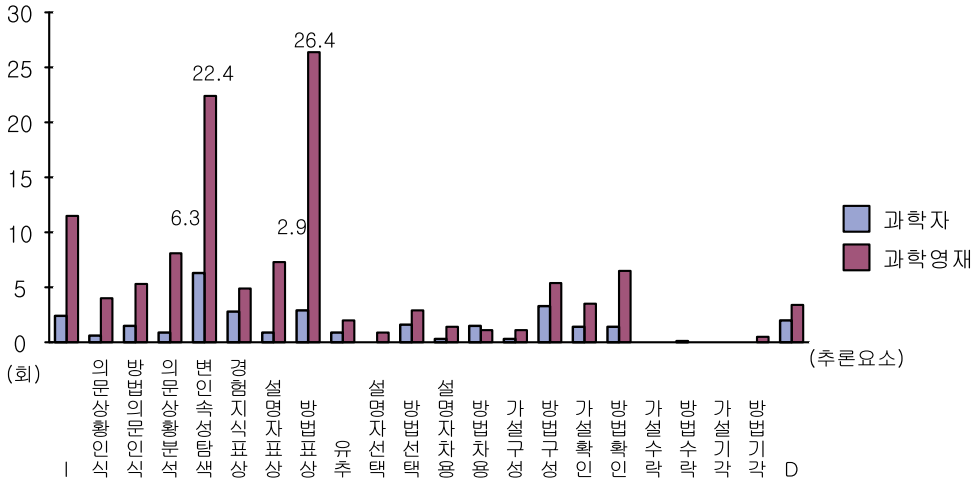

그림 8 *실험설계단계의 추론 요소에 대한 평균 빈도*

분히 사고한 후에 적절한 **방법표상**을 하게 되는 반면, 과학영재 대부분이 **방법표상**을 먼저하고 그 방법이 적합한지 그 적절성이나 변인의 속성을 분석하는 **변인속성탐색**을 하고 있었다. 이러한 특징은 과학자는 현 상황을 정확히 관찰하고 분석해서 방법을 구성하는데 반해 과학영재가 선지식이나 관련 경험지식에 의존해서 실험 방법을 구성하기 때문으로 보여진다. 과학영재가 경험지식이나 선신념에 의존해 실험한다고 해석할 수 있으며 이러한 결과는 양일호 등(2002)의 연구결과를 통해서 증명된다.

(3) 결과해석단계에서의 귀추적 추론

가설생성단계나 실험설계단계에서 과학영재의 귀추적 추론 빈도가 월등히 높았던데 비해 결과해석단계에서 가설구성의 빈도를 보면 과학자가 1.3(5.4%), 과학영재가 1.5(4%)로 거의 비슷한 수준으로 나타남을 확인할 수 있다(그림 9). 오히려 많은 시간 녹화된 것을 생각하면 과학영재가 결과해석에의 추론이 약하다고 판단할 수 있는 결과이다.

대부분의 과학영재가 실험결과 나타난 의문을 설명하고자 적극적인 추론을 하기보다는 "고무가 나무보

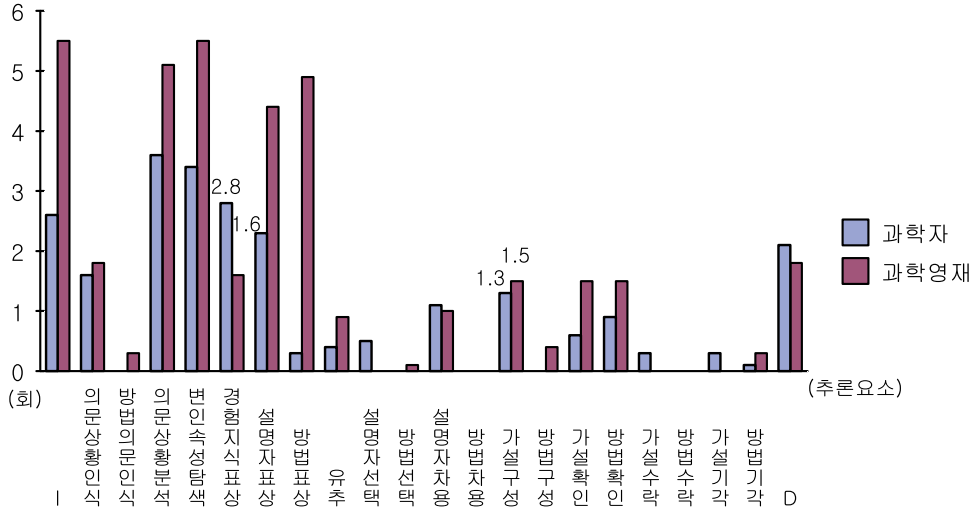

그림 9 *결과해석단계의 추론 요소에 대한 평균 빈도*

다 다 잘 내려간다는…네 그런 것도 오차일 것 같아요. 실험이 잘못됐어요."라고 하는 등 실험오차로 치부하고 무시하고 넘어가는 경향이 강했다. 이것은 Chinn과 Brewer(1993)의 연구를 통해 확인할 수 있다. Chinn과 Brewer는 대학생들조차 예상치 못한 결과를 접했을 때 무시하거나 거부, 보류, 배제, 재해석, 이론 주변부의 변화, 이론변화 등의 특징을 보인다는 결과를 제시한 바 있다. 박종원(1996)은 관찰로만 얻어진 결과에 대해서는 실험 결과를 거부하는 반응이 많이 나타나고, 자신이 변인통제를 통해 얻은 결과에 대해서는 결과를 수용하거나 혼란을 느끼고 새로운 해석을 하게 된다고 밝히고 있다. 특히 자신이 가지고 있는 선개념을 변화시키지 않고도 대안개념을 사용해 올바른 결과 해석을 할 수도 있다는 사실에 주목하였다.

데이터를 재해석하거나 개념변화를 일으키기 위한 추론, 그 결과를 해석할 수 있는 새로운 이론을 생성하기 위한 귀추적 추론이 일어나기는 쉽지 않다. 기존에 확고한 선개념을 가지고 있는 경우라면(Yang, 2003) 결과해석을 위한 귀추적 추론은 더욱 일어나기 힘들 것으로 판단된다.

또한 실험 결과를 해석하는데 있어 과학영재의 귀추적 추론 빈도가 떨어진다는 사실은 교사가 과학 수업에서 결과해석에 대한 지도를 많이 하지 않고 있기 때문으로도 해석할 수 있다. 실험결과를 정리하고 정해진 결론을 도출하는데 급급해 예상치 못한 결과들을 무시하고 넘어가거나 실험 결과나 과정에 대한 반성의 시간이 없다고 지적한 연구 사례를 통해 알 수 있다(홍미영, 2002; Chin, 2003). Reiff 등(2002)의 연구에서 교과서 분석한 결과, 탐구 단계에서 가장 많이 등장하는 단계는 '가설설정'과 '실험수행'이었으며 가장 적게 등장한 탐구 단계는 '결론에 대한 반성'과 '결과에 대한 의사소통'이었음을 확인한 결과와도 유사하다.

Ⅳ. 결론 및 제언

이 연구는 탐구 수행 과정에서 나타나는 과학자와 과학영재의 귀추적 추론을 분석하기 위한 것이었다. 탐구의 과정에서 원인적 설명자를 찾아 가설을 생성하거나 가설을 검증하기 위해 실험 설계 아이디어를 내는 단계, 예상치 못했던 현상에 대해 결과를 해석하는 단계에서 귀추적 추론이 나타날 것이라고 예상하고 가설설정, 실험설계, 결과해석 단계에서 귀추적 추론을 분석하였다. 분석 결과, 세 단계에서 모두 귀추적 추론 요소를 확인할 수 있었으며 귀추적 추론은 연역적 추론이나 귀납적 추론과 상호작용하며 원인적 설명자를 선택하거나 방법을 선택하게 되는 기준이 됨을 확인할 수 있었다. 또한 귀추적 추론의 하위 추론 요소를 분석한 결과 복합적 귀추, 유추적 귀추, 관찰-기반 귀추, 논리-기반 귀추, 선택적 귀추의 5가지 특징이 발견되었다. 과학자의 귀추적 추론과 비교해 보았을 때 과학자들이 변인속성탐색 이후에 방법표상이나 설명자표상이 나타나는 반면 과학영재는 대부분 방법표상 후에 변인속성탐색이 이루어지는 경향이 나타났다. 또한 과학자는 논리-기반 귀추 성향이 강하고, 과학영재는 관찰-기반 귀추에 의존하는 경향이 나타났다. 과학자는 가설생성, 실험설계, 결과해석 단계에서 거의 비슷한 비중으로 귀추적 추론이 나타났던 반면, 과학영재는 실험설계 위주로 귀추적 추론이 일어남을 알 수 있었다.

이러한 결론이 교육에 담고 있는 함의는 다음과 같다. 첫째, 탐구 과정에서 과학적 사고를 통해 동료나 교사와의 상호작용이 필요할 때는 가설생성, 실험설계, 결과해석 단계이다. 무조건 토의를 강요할 것이 아니라 실제 토의나 상호작용이 일어나야 할 때를 알고 스스로 사고할 수 있는 시간을 주어야 할 것이다. 특히 개방도가 높은 탐구를 선호하는 과학영재가 탐구를 진행하도록 지도해야 할 때 학생에게 주도권을 주고 많은 토의가 이루어질 수 있도록 해야 할 시기는 가설생성, 실험설계, 결과해석 단계임을 시사해준다. 둘째, 학생들이 가설을 구성하거나 실험 방법을 설계해야 할 때, 가설 구성을 위한 귀추적 추론, 방법구성을 위한 귀추적 추론이 일어날 수 있는 환경을 조성해주어야 한다. 과학영재는 관찰에 기반한 귀추에 의존하기 때문에 가능한 많은 실험 기회를 제공하고, 유사한 실험 경험을 제공하여 유추하도록 할 수 있는 근거를 제공해야 할 것이다. 셋째, 결과해석을 위한 귀추적 추론이 전제되어야 탐구는 지속될 수 있다. 일회적이고 단편적인 백과사전식 실험이 되지 않기 위해서는 결론을 이끌어내는 것뿐만 아니라 결과해석 단계를 소홀히 해서는 안 될 것이다. 과학영재나 일반 학생들이 탐구를 수행하면서 예상치 못한 실험 결과를 접하게 될 때 새로운 시각으로 해석하고 다시 탐구의

기회로 삼는 탐구의 본성을 갖출 수 있도록 지도하는 것이 중요하다.

국문 요약

이 연구의 목적은 과학자와 초등과학영재의 탐구 수행 과정에서 나타난 귀추적 추론을 분석하기 위한 것이었다. 연구를 위한 피험자는 과학자 8명과 서울교대 과학영재교육원에 재학 중인 과학영재 8명이었다. 연구 결과, 과학자와 과학영재의 탐구 과정에서 귀추적 추론은 가설생성, 실험설계, 결과해석 3단계에서 나타났다. 각 단계의 귀추적 추론은 복합적 귀추, 유추적 귀추, 관찰-기반 귀추, 논리-기반 귀추, 선택적 귀추 5가지 유형을 나타냈다. 그리고 과학영재의 귀추적 추론의 하위 추론 과정은 과학자와 몇 가지 다른 특징을 보였다. 첫째, 과학자가 변인속성탐색 이후에 방법표상이나 설명자표상이 나타난데 비해, 과학영재는 방법표상 후에 변인속성탐색이 나타났다. 둘째, 과학자는 논리-기반 귀추에 의존하는 경향이 강하고, 과학영재는 관찰-기반 귀추에 의존하는 경향이 강하다. 셋째, 과학자는 가설생성, 실험설계, 결과해석 단계에서 거의 비슷한 비율로 귀추적 추론이 나타난 반면, 과학영재는 실험설계 위주로 추론했다.

참고 문헌

권용주, 양일호, 정원우(2000). 예비과학교사들의 가설 창안 과정에 대한 탐색적 분석. 한국과학교육학회지, 20, 29-42.

권용주, 심해숙, 정진수, 박국태(2003). 수증기 응결에 관한 초등학생들의 가설 생성에서 귀추의 역할과 과정. 한국과학교육학회지, 24(4), 250-257.

김명숙, 정대련, 이종희(2002). 과학영재의 창의성, 환경, 그리고 학업적 자기 효능감에 관한 연구. 아동학회지, 23(3), 91-108.

김무길(2010). 퍼스의 실재론적 프래그머티즘과 탐구 논리. 교육철학회, 48, 1-22.

남철우, 송판섭, 한광래(1997). 초등학교 자연과 물질영역 보조실험의 개발. 한국초등과학교육학회지, 16(1), 25-37.

박경희, 권용주, 김수용, 이길재(2006). 뇌기능의 공동작용에서 나타난 과학영재와 일반학생의 뇌파특성, 한국과학교육학회지, 26(3), 415-424.

박민정, 전동렬(2008). 과학 영재교육 대상자 선발방법으로써 교사 추천제 분석: 학생의 과학적 태도, 탐구력, 사고력, 문제 해결력, 창의성을 중심으로. 한국과학교육학회지, 28(2), 111-119.

박순화, 고경태, 정진수, 권용주(2005). 생물학 탐구에서 학생들이 생성한 가설검증방법의 유형. 한국과학교육학회지, 25(2), 230-238.

박종원(1996). 학생의 선개념과 탐구기능이 전기실험 결과의 해석에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 16(3), 227-238.

박종원(2001). 학생의 과학적 설명가설의 생성과정 분석, 한국과학교육학회지, 21(3), 609-621.

박준호(2005). 퍼스의 가추와 가설의 방법. 범한철학, 37, 65-85.

박지영, 이길재, 김성하, 김희백(2005). 과학영재교육 프로그램 분석 모형의 고안과 국내의 과학영재를 위한 생물 프로그램의 실태 분석, 한국생물교육학회지, 33(1), 122-131.

송진웅, 조숙경 역(1995). 과학적 발견의 패턴. 민음사. pp. 117-149. (원전: Hanson, N. R. (1958). Patterns of discovery. Cambridge: Cambridg University Press)

양태연, 배미란, 한기순, 박인호(2003). 과학영재의 과학 관련 태도와 지능 및 과학탐구능력과의 관계. 한국과학교육학회지, 23(5), 531-543.

양일호, 권용주, 김영신, 장명덕, 정진우, 박국태(2002). 학생들의 사전 지식이 밀도과제의 과학적 추론에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 22(2), 314-335.

양일호, 허명, 오창호, 황신영, 정진수, 권용주(2006). Charles Darwin의 자서전에 나타난 사고 과정 분석. 한국생물교육학회지, 34(1), 53-71.

연희원(1988). 퍼스의 상정 논법에 관한 연구. 철학연구, 21, 177-213.

오준영, 김상수, 강용희(2008). 귀추 추리 전략을 통한 과학영재를 위한 창의적 교수-학습 프로그램의 제안. 한국과학교육학회지, 28(8), 786-795.

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

윤혜경, 박승재(1999). 확장적 과학 탐구 활동에서 중학생의 인지적 참여도 변화. 한국과학교육학회지,

19(4), 684-695.

이봉재(1992). 과학적 실재론과 설명의 문제. 철학연구, 31(0), 184-203.

이수진, 배진호, 김은진(2007). 초등 과학 영재와 일반 아동의 과학 창의적 문제 해결 과정에서 나타난 사고 유형 및 특징. 초등과학교육, 25(5), 567-581.

이혜정, 양일호, 권용주(2008). 생물학자의 지식 생성 과정에서 나타난 귀추적 사고. 한국생물교육학회지, 36(2), 189-202.

조석희(2000). 영재교육 중장기 종합발전방안. 교육개발, 124, 138-147.

정용재, 송진웅(2006). 퍼스의 귀추법에 관한 이론적 고찰을 통한 과학교육적 함의 탐색. 한국과학교육학회, 26(6), 703-722.

조인래(2001). 과학적 방법으로서의 유추. 철학연구회, 54(1), 375-404.

조현준, 정선희, 양일호(2008). 과학자의 과학적 탐구과정에서 나타나는 귀추적 추론 분석틀 개발. 한국지구과학학회지, 29(7), 586-601.

조현준(2009). 천문학자의 연구 과정과 추론 분석. 한국교원대학교 박사학위 논문.

정상모(1997). 과학적 발견의 질문(대화)법적 논리. 대한철학회지, 421-446.

정진수, 원희정, 권용주(2005). 과학적 가설의 생성력 향상을 위한 삼원귀추모형의 적용. 한구과학교육학회지, 25, 595-602.

황희숙, 오민주, 윤소정(2006). 과학영재와 일반 학생의 비판적 사고와 사고양식의 관계 비교. 열린교육연구, 14(3), 149-172.

홍미영(2002). 우리나라 중학생들의 과학의 탐구 및 본성 영역에서의 국제 성취도 분석. 한국과학교육학회지, 22(2), 336-344.

황성원, 박승재(2001). 전기와 자기에 대한 중학생들의 개방적 탐구에서 과제 유형에 따른 탐구 수행 분석. 한국초등과학교육학회지, 21(2), 255-263.

Baral, C. (2000). Abductive reasoning through filtering. Artificial Intelligence, 120, 1-28.

Blake, A. (2004). Helping young children to see what is relevant and why: supporting cognitive change in earth science using analogy. International Journal of Science Education, 26(15), 1855-1873.

Blanchette, I., & Dunbar, K. (2000). How analogies are generated: The roles of structural and superficial similarity. Memory & Cognition, 29, 730-735.

Chin, C. (2003). Success with investigations success with investigations. The Science Teacher, 70(2), 34-40.

Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisiton: A theoretical framework and implications for science instruction. Review of Educational Research, 63(1), 1-49.

Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1996). Mental Models in Data Interpretation. Philosophy of Science, 63, 211-219.

Fischer, H. R. (2001). Abductive Reasoning as a Way of Worldmaking. Foundations of Science, special issue on "The Impact of Radical Constructivism on Science", edited by A. Regler, 6(4), 361-383.

Gorman, M. E., Tweney, R. D., Gooding, D. C., Kincannon, A. P. (2004). Scientific and technological thinking. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Gott, R., & Mashiter, J. (1991). Practical Work in Science-A task-based approach? In B. E. Woolrough(ed). Practical Science: Open University Press.

Harman, G. (1965). The Inference to the Best Explanation, Philosophical Review, 64, 88-95.

Hempel. C. G., & Openheim, P. (1948). Studies in the Logic of Explanation. Philosophy of Science, 15(2), 135-175.

Hoffmann, M. (1999). Problems with Peirce's concept of Abduction. Foundations of Science, 4, 271-305.

Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual Search space during scientific reasoning. Cognitive Science, 12, 1-48.

Kuhn, D. (1993). Science as Argument :

Implications for Teaching and Learning Scientific Thinking. Science Education, 77(3), 319-337.

Kuhn, D., Black, J., Keselman, A., & Kaplan, D. (2000). The Development of Cognitive Skills to support Inquiry Learning. Congnition and Instruction, 18(4), 495-523.

Lawson, A. E. (1995). Science teaching: And the development of thinking. Wadsworth Publishing Company, CA, USA, p. 624.

Leake, D. B. (1995). Abduction, Experience, and Goals: A Model of Everyday Abductive Explanation, The Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence, 1-25.

Lipton, P. (1991). Inference to the best explanation. Philosophical issues in science. 1-108.

Magnani, L. (2001). Abduction, Reason, and Science. Kluwer Academic. pp. 15-38, 71-77.

Magnani, L. (2007). Abduction and chance discovery in science. International Journal of Knowledge-based and Intelligent Engineering Systems, 11, 273-279.

Minnarmeier, G. (2002). Peirce-Suit of Truth : Why Inference to the Best Explanation and Abduction Are Not the same and How This Relates to Current Debates in Philosophy of science and Epistemology. Jahannes Grutenberg University. pp. 1-29.

Minnarmeier, G. (2004). Peirce-Suit of truth: Why inference to the best explanation and abduction ought no to be confused. Erkenntnis, 60, 75-105.

Nersessian, N. J. (1992). How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In Giere, R. N. (Ed.), Cognitive Models of Science. Minneapolis, MN. University of Minnesota Press, pp. 5-22.

Park, J. (2006). Modelling Analysis of Students' Processes of Generating Scientific Explanatory Hypotheses. International Journal of Science Education, 28(5), 469-489.

Reiff, R., Harwood, W. S., & Phillipson, T. (2002). A scientific method based upon research scientists' conception of scientific inquiry. Paper presented at the AETS, Charlotte, NC.

Roth, W. (1994). Experimenting in a constructivist high school physics laboratory, Journal of Research in Science Teaching, 31(2), 197-223.

Russ, R. S., Scherr, R. E., Hammer, D., & Mikeska, J. (2008). Recognizing Mechanistic Reasoning in Student Scientific Inquiry: A Framework for Discourse Analysis Developed From Philosophy of Science. Science Education, 92(3), 499-525.

Thagard, P. (1988). Computational Philosophy of Science. The MIT Press. pp. 52-64.

van Someren, M. W., Barnard, Y. F., & Sandberg, J. A. (1994). The Think Aloud Method : A practical guide to modelling cognitive processes. Academic Press, London, pp. 1-12.

Yang, I. H. (2003). A Study on Students Scientific Reasoning in Solving Pendulum Task. Journal of Korea Association For Research in Science Education, 23(4), 430-441.

Yang, I. H., Oh, C. H., & Cho. H. J. (2007). Development of the scientific inquiry process model based on scientists' practical work. Journal of Korea Association for Research in Science Education, 27, 724-742.

Zimmerman, C. (2000). The Development of Scientific Reasoning Skills. Developmental Review, 20, 99-149.