

유사 경험의 제공이 귀추에 의한 가설 설정에 미치는 효과

박은미* · 강순희

이화여자대학교

The Effects of Offering Similar Experiences for Hypothesis-Generation Based on Abduction

Park, Eun Mi* · Kang, Soon Hee

Ewha Womans University

Abstract: The purpose of this study was to investigate the effects of offering similar experiences for hypothesis-generation based on abduction. Two hundred and seventy eight students in Seoul(8th and 10th grades) were requested to propose causal questions and generate hypotheses after observing an unfamiliar situation. Then, after having been presented numerous similar experimental situations to initial situation, the students were asked to regenerate a hypothesis. When the χ^2 analysis was done to determine differences in hypothesis generation before and after offering the similar experimental situations, a meaningful difference appeared($p<.001$). This study proposes that offering similar experimental situations ease hypothesis-generation based on abductive reasoning. Additionally, the second meaningful difference was discovered when the χ^2 analysis was carried out to find differences in causal question proposal and hypothesis generation among students who had varied cognitive levels($p<.05$) Considering the findings of the study, a progressive stage offering similar scenarios may further abductive reasoning while implementing lessons related to hypothesis generation in middle and high school.

Key words: hypothesis-generation, abductive reasoning, abduction, similar experiences' definition

I. 서론

과학적 활동을 수행함에 있어서 자신의 선행 개념과 다른 현상에 직면했을 때 ‘왜’라는 의문을 가지게 되며, 이러한 의문을 해결하기 위해서 가설을 고안해 내게 된다. 현상에 대한 의문인 서술적 질문과는 다른 이러한 의문을 인과적 질문이라 하며, 인과적 질문에 대한 임시적인 해를 가설이라고 할 수 있다. 과학적 탐구에서 핵심적인 과정으로 여겨지는 과학적 가설에 대해 널리 사용되고 있는 정의는 ‘어떤 현상이 왜 일어났는지에 대하여 인과적으로 설명하기 위해서 제안된 잠정적인 해’라는 것이다(Lawson, 1995; Whenham, 1993). 과학 철학적 입장에서, 기존의 이론에 의해서 설명될 수 없는 놀라운 현상을 관찰하고 그 이유를 설명할 수 있는 가설을 세우는 과정에 대하여 여러 가지 견해가 제시되고 있다. 그 중에서 최근에 가장 지지를 받는 것은 가설이 귀추적 추론(abductive reasoning)

의 과정을 통해 생성된다고 설명하는 연구들이다(Hanson, 1958/1995; Lawson, 1995; Peirce Edition project, 1998; 권용주 등, 2003a; 김성도, 1998; 정진수, 2004). 귀추란 미지의 현 상황을 이미 알고 있는 다른 상황과의 유사성에 바탕을 두고, 이를 차용하여 현 상황을 설명하는 추론의 한 유형이다. 피스가 정의하는 귀추는 관찰된 결과를 설명하기 위해서 적절한 규칙이나 법칙인 가설을 도입하거나 새롭게 구성하는 과정을 말한다(Fisher, 2001; 김성도, 1998). 그에 의하면 연역적 추론(deductive reasoning)이나 귀납적 추론(inductive reasoning)과 다르게 귀추적 추론은 현상의 원인에 대한 ‘짐작하기’의 과정으로 이성애 토대를 둔 과정이라는 점에서 엄밀한 의미에서 추론이며 지식의 성장을 가져오는 추론이다(김성도, 1998). 귀추가 어떤 것에 사용되기에는 너무 약한 추론이라거나 귀추가 가설의 생성을 설명하는 올바른 방식이 아니라는 고전적인 논란에도 불구하고, 귀추는 새로운 것을 발

*교신저자: 박은미(watw33@paran.com)

**2005.08.24(접수) 2006.02.12(1심통과) 2006.04.28(2심통과) 2006.05.03(최종통과)

견하기 위한 매우 가능성 있는 추론이라고 볼 수 있다(Paavola, 2004). 귀추란 이전의 어떤 한 상황에서 성공적이었던 설명을 새로운 상황에 빌려와 적용한 임시적인 가설을 생성하는 정신적 과정이라고 정의하기도 한다(Lawson, 2002). 이러한 과정에서 현 상황과 이전 경험과의 유사성이 중요하며 이 유사성을 바탕으로 사고하는 과정은 많은 부분 잠재 의식 수준에서 진행된다고 보았다. 헨슨은 과학적 발견의 패턴을 논의하면서, 귀추란 하나의 사실을 관찰한 다음 그 사실을 생성하도록 만든 것이 무엇인지를 말하도록 하는 것이라고 정의하였다(Hanson, 1958/1995). 그에 의하면 과학의 모든 아이디어들은 귀추를 통해서 얻어진다. 귀추는 사실을 언급하고, 그것들을 설명하는 이론을 고안하는 과정이다. 즉, 설명 대상(explicanda)으로부터 설명자(explicans)를 진행하는 과정이다. 권용주 등(2003b)도 가설이 귀추를 통해 얻어진다고 보고 가설이 생성되는 귀추적 과정을 모형화하여 제시하였다. 귀추적 과정은 관찰을 통해 의문 상황을 구성하고 의문 상황과 유사성이 높은 과거의 경험 상황을 동정하고 원인이 되는 설명자를 찾아 가설을 창안하는 단계로 제시된다. 그에 의하면 가설은 일회적인 사고의 도약이나 지각 불가능한 직관적 통찰에 의해 만들어지는 것이 아니라 일련의 추론 과정을 통해서 만들어진다는 것이다. 경험 과학은 귀추와 같은 합리적 추론을 사용하며, 귀추는 귀납이나 연역과는 전혀 다른 추론의 형식이다. 귀납은 어떤 것이 실제로 작용하는 것을 보여주는 것이라면 연역은 어떤 것이 반드시 그렇다는 것을 증명하는 것이다. 귀납법은 여러 사례의 관찰과 그 결과를 통해 규칙을 만드는 추론으로, 새로운 정보나 사실을 생성하기보다 지금까지 관찰된 사례와 결과에 해당하는 ‘진술’을 할 뿐이다. 따라서 귀납에 의해서 얻어진 규칙은 새로운 상황에 대한 예측을 할 수 없고, 새로운 정보를 생성할 수 없으며, 독창성이 결여되어 있다고 할 수 있다. 연역은 결론이 이미 전제들 속에 포함되어 있기 때문에 그 결론이 필연적이며 비과오적이다. 타당하게 진행된 연역적 추론에서는 전제들이 참일 경우 그로부터 도출되는 결론은 반드시 참일 수밖에 없다. 반면에 귀추는 어떤 것이 그럴 수도 있다는 것을 제안하는 것으로 주어진 전제들이 결론의 타당성을 부분적으로 지지할 수 있을 뿐이다. 즉, 귀추는 정당화의 논리를 약화시킨 대신에 발견의 가능성을 확대시킨 추론으로서 진리성의 문제가 아니라 새로운 것을 발견하기 위한 확장적인 추론이다. 따라서 귀추에 의해서 제시되는 결론은 법칙이 아니라 현상에 대한 임시적인 해답인 가설의 지

위를 갖게 되는 것이다. 그러므로 귀추에 의해서 제안된 가설들은 가설-연역적 방법과 실험적인 방법 등에 의해 더욱 진지하게 탐구됨으로써 과학적인 법칙으로 정당화될 수 있다(Hanson, 1958/1995).

실제적으로 가설 설정 수업을 실시한 연구들에 의하면 학생들은 가설에 대하여 생소하게 느끼는 경우가 많았으며 그들이 세운 가설은 미흡한 경우가 많았다(Peter, 1992; White, 2004). 창안된 가설을 분석한 결과에 의하면 학생들은 현상의 결과에 영향을 미치는 독립 변인을 찾지 못하거나, 관련 없는 변인들을 언급하거나, 독립 변인과 종속 변인의 관계를 애매하게 진술한 경우가 있었으며, 독립 변인을 종속 변인과 인과적으로 연결짓지 못하는 경우가 있었다(Germann et al., 1996; Peter, 1992; 박종원, 2001). 학생들의 가설 분석 결과는 학생들이 가설 설정 과정에서 적절한 가설을 창안하는데 많은 어려움을 겪는다는 것을 의미한다. 실제로 중·고등학교 현장에서 가설 설정과 관련된 수업이 거의 실시되지 않는 이유 중의 하나도 학생들이 가설을 설정하는 것을 어려워하기 때문이라고 할 수 있다. 그러므로 학교 현장에서 학생들에게 가설을 설정하도록 할 때는, 귀추 과정에 도움을 줄 수 있는 전략이 필요하나, 이러한 전략에 대한 체계적인 연구가 제대로 이루어지지 못하고 있다. 따라서 이 연구에서는 학생들에게 의문 상황을 제시하고, 학생들이 가설을 제안할 때 그들의 귀추 과정에 도움을 줄 수 있도록 의문 상황과 유사한 경험들을 제공하는 교수 전략을 구상하고, 교수 전략에 따라 수업을 실시한 후에 학생들이 설정한 가설을 분석하고 그 효과를 검증하였다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 절차 및 대상

이 연구는 학생들이 가설 설정과 관련된 과제를 수행함에 있어서 인과적 의문점을 느끼는 정도와 귀추적 사고를 자극할 수 있도록 다양한 경험을 제공해주는 것이 가설 설정에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위한 것이다. 이를 위해 적합한 과제를 선정하고 학생들을 위한 활동지를 구성하였다. 또한 가설 설정 활동에 필요한 여러 가지 실험 상황을 비디오로 녹화하여 편집하였다.

서울시에 위치한 중학교 2학년 학생 155명과 고등학교 1학년 학생 123명, 총 278명을 대상으로, 학생들 개인에게 가설 설정 활동지를 제공하고 모든 실험 과정을 동영상으로 편집한 내용을 단계별로 제시하면

서 활동지의 질문에 답하도록 하였다. 활동지의 모든 문항은 완전 개방형으로 학생들이 자신의 생각을 서술형으로 기술하도록 구성하였다. 학생들이 작성한 활동지의 답안을 분석하면서 면담이 필요한 학생들을 대상으로 개인 면담을 실시하였다.

2. 과제 개발

이 연구를 위해 개발된 과제는 물이 담긴 수조에서 연소되고 있는 양초에 유리종을 덮었을 때 나타나는 변화와 관련된 내용이다. 이 과제는 로슨이 경험 귀추적 사고와 가설 연역적 사고 과정에 대하여 설명할 때 사용한 실험이다(Lawson, 1995). 이 과제를 연구의 목적에 맞도록 수정하여 학생용 활동지를 구성하고, 다음의 Fig. 1과 같이 관찰 상황과 의문 상황 및 귀추적 사고를 위한 유사 실험들을 녹화하여 편집하였다.

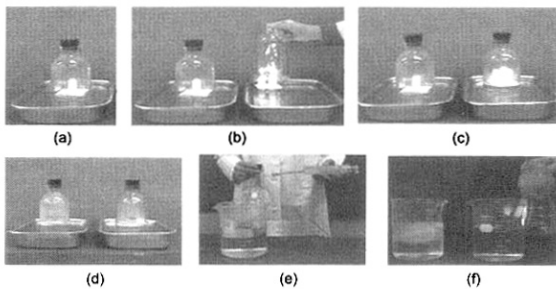


Fig. 1 observing situation(a), questioning situation(b)~(c) and similar experiences(d)~(f)

첫 번째(Fig. 1-(a))는 학생들에게 물이 담긴 수조 안에서 연소되고 있는 양초 하나에 유리종을 덮고 고무마개로 막은 후에 나타나는 실험 결과를 제시하였다. 학생용 활동지는 이 실험을 보고 느끼는 인과적 질문을 서술하도록 하여 학생들이 느끼는 인과적 의문점의 내용과 정도를 알아보았다.

두 번째(Fig. 1-(b))는 양초 한 개 대신 양초 세 개를 연소시키면서 유리종으로 덮기 전까지의 상황을 녹화하여 제시한 후 학생용 활동지에 어떠한 실험 결과가 예측되는지 적고 그러한 예측이 어떠한 가설을 토대로 한 것인지 기록하도록 하였다. 이 과정에서 학생들이 세운 가설은 박종원(2000)의 예측 가설과 같은 것이다. 이 단계는 학생들이 설정한 예측 가설의 내용과 정도를 알아보기 위하여 고안된 과정이다.

세 번째(Fig. 1-(c))는 양초 세 개를 사용하였을 때의 실험 결과를 제시하여 학생들이 예측한 결과와 비교해보도록 하였다. 이 단계를 통해 예측 결과와 실험

결과가 일치하는 학생들의 옳거나 옳지 않은 가설과, 예측 결과와 실험 결과가 일치하지 않는 학생들의 옳지 않은 가설이 다양한 경험의 제공을 통해 어떻게 변화되는가를 살펴보았다. 이를 위해 학생들에게 귀추 과정에 도움을 줄 수 있는 다양한 경험(Fig. 1-(d)~(f))을 제공하였다. 학생들에게 제공된 유사 경험은 유리종 안에서 붉은인을 연소시키는 실험(인의 연소 실험), 온도에 따라 삼각 플라스크에 연결된 주사기의 피스톤이 이동하는 실험(주사기 실험), 삼각 플라스크에 썩은 풍선이 온도에 따라 크기가 달라지는 실험(풍선 실험), 삼각 플라스크를 가열한 후 입구에 달걀을 올려놓는 실험(달걀 실험) 등이다. 이후 다양한 실험을 관찰한 학생들에게 다시 가설을 설정해 보도록 하여 유사한 경험의 제공이 학생들의 가설 설정에 어떠한 영향을 미치는지 알아보았다.

여기서 유사 경험이란 이전의 어떤 상황에서 성공적이었던 설명을 새로운 상황에 빌려와 임시적인 가설을 생성하는 귀추적 사고를 위해서 제공되는 것으로서, 이러한 과정에서는 현 상황과 이전 경험과의 원인적 유사성이 중요하다. 첫 번째로 제시한 ‘인의 연소 실험’은 인의 연소에 의해서 생성된 오산화인이 불에 녹으면서 물이 올라오는 과정을 보여주는 것이다. 이 현상은 유리종 내부의 압력이 처음보다 낮아지면 물이 올라온다는 점에서 ‘양초 실험’에서 물이 올라오는 이유와 유사하다. 두 번째와 세 번째로 제시한 ‘주사기 실험’이나 ‘풍선 실험’은 온도차에 의한 분자운동의 변화를 보여주는 내용이다. 이 현상은 촛불이 타고 있을 때는 온도가 높아서 분자의 운동이 활발하므로 기체의 부피가 늘어나고, 촛불이 꺼지면 온도가 낮아서 분자의 운동이 느려지므로 기체의 부피가 줄어든다는 점에서 ‘양초 실험’과 유사하다. 네 번째로 제시한 ‘달걀 실험’은 가열된 플라스크 내부 공기의 분자 운동이 빨라져 일부가 밖으로 달아난 후 온도가 내려가면 내부 압력이 낮아지면서 달걀이 안으로 빨려 들어가는 것처럼, 촛불에 의해 데워진 유리종 안 공기의 일부가 밖으로 달아나고 촛불이 꺼진 후에는 공기가 식어서 유리종 안의 압력이 감소했기 때문에 물이 올라온다는 점에 있어서 ‘양초 실험’과 유사하다. 즉, 첫 번째로 제시된 유사 경험은 물의 상승 원인이 내부 압력의 변화에 있다는 측면에서의 유사성이다. 두 번째와 세 번째로 제시된 유사 경험은 물의 상승을 가져오는 부피 변화 혹은 압력 변화의 원인이 온도차에 의한 분자운동의 변화에 있다는 측면에서의 유사성이다. 네 번째로 제시된 유사 경험은 물의 상승이 온도차에 의한 분자운동의 변화에서 기인한

내부 압력의 변화라는 측면에서의 유사성이다. 이와 같이 유사성의 강도를 증가시키면서 다양한 경험을 제시하였다.

3. 자료 분석

연구에 앞서, GALT 검사 도구를 이용하여 학생들의 인지 수준을 측정하였다. 중학생들의 경우는 구체적 조작기 29.7%, 과도기 45.2% 형식적 조작기 25.2%였으며 고등학생들의 경우는 구체적 조작기 23.6%, 과도기 34.1%, 형식적 조작기 42.3%였다. 사전 연구 결과, 중·고등학생들은 같은 학년에도 인지 수준이 다양한 학생들이 섞여 있고 가설 설정과 같은 과학적 탐구는 인지 수준과 관련이 있다고 가정하여, 학생들의 반응 결과는 학교급별 또는 학년별 비교가 아니라 인지 수준에 따라 비교하여 분석하였다.

학생들이 제출한 활동지를 토대로, 학생들이 제기한 인과적 질문과 유사 경험의 제공에 따른 가설의 변화를 분석하였다. 먼저, 인과적 질문을 제기한 학생들의 비율과 인과적 질문의 내용을 살펴보고, 인지 수준별로 인과적 질문을 제기하는 빈도에 차이가 있는지 알아보기 위하여 χ^2 검증을 실시하였다. 다음에는 학생들이 제시한 가설을 유형별로 분류하고 유사 경험의 제공 전후에 학생들이 설정한 가설에 어떠한 변화가 있었는지 내용을 구체적으로 살펴본 후에, 다양한 유사 경험의 제공에 따라 학생들의 가설 설정에 변화가 있었는지 알아보기 위해서 χ^2 검증을 실시하였다. 끝으로 인지 수준별로 가설 설정 빈도에 차이가 있는지 알아보기 위하여 χ^2 검증을 실시하였다.

III. 결과 및 논의

1. 인과적 질문 분석

불이 담긴 수조에서 연소되고 있는 양초에 유리종을 덮었을 때 나타나는 변화를 관찰하였을 때, 학생들이 제기한 인과적 질문을 분석하였다. 학생들이 제기한 인과적 질문의 내용은 Table 1과 같다. 학생들이 제일 많이 제시한 인과적 질문은 ‘왜 유리종 안으로 물이 올라올까?’였으며 총 학생의 62.6%에 해당하는 학생들이 이 질문을 제기하였다. 다음으로 17.3%에 해당하는 학생들은 ‘왜 촛불이 꺼졌을까?’라는 인과적 질문을 제기했다. 이 연구에서 학생들이 제기한 위의 두 가지 인과적 질문은 양초 실험에 관한 로슨의 이전 연구에서 학생들이 제기했던 두 가지 인과적 질문과 같았다(Lawson, 1999). 이러한 인과적 질문 외에 ‘왜 유리종을 덮었을까?’, ‘왜 물 위에서 실험을 하였

을까?’와 같이 실험 기구나 시약에 관련된 질문을 한 학생들이 7.6%에 해당하였다. 1.1%에 해당하는 소수의 학생들은 ‘초가 꺼진다’와 같이 현상에 관련된 내용을 서술하거나, 실험 현상과 관련이 없는 내용을 서술하였다. 전체 학생 중 11.5%에 해당하는 학생들은 어떠한 질문도 제기하지 못하였다. 새로운 현상을 관찰하였을 때, 기구나 시약에 관련된 질문, 기타 질문, 무응답이 아닌, 인과적 질문을 제기한 학생들의 비율이 79.9%에 해당하였다. 이러한 분석의 결과는 학생들이 새로운 현상을 관찰하였을 때, 그러한 현상이 왜 일어나게 되었는지에 대한 의문점을 갖고, 의문점을 진술하는 비율이 꽤 높다는 사실을 알려준다.

Table 1
Causal questions that students propose

Question type	Question	The number of students(%)
Causal question	Why does water rise in a jar-bell?	174(62.6)
	Why is a candle put out?	48(17.3)
No Causal question	Questions concerning experimental instruments or reagent	21 (7.6)
	Others	3 (1.1)
	No response	32(11.5)
Total		278(100)

미지의 현상을 관찰하고 인과적 질문을 제기한 학생들과 그렇지 못한 학생들을 인지 수준에 따라 비교한 결과 인지 수준 간 인과적 질문의 제기 빈도에는 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < .05$). Table 2에 나타난 것과 같이 구체적 조작기에서 과도기, 형식적 조작기로 인지 수준이 높아질수록 인과적 질문을 제기하는 학생들의 비율이 점점 증가하였다. 구체적 조작기에 해당하는 학생들은 49.3%만이 인과적 질문을 제기하였으나 과도기와 형식적 조작기에 해당하는 학생들은 80% 이상이 모두 인과적 질문을 제기하였다.

2. 유사 경험 제시 전의 최초 가설과 제시 후에 변화된 최후 가설

새로운 현상을 관찰하였을 때 학생들이 설정한 최초 가설이 다양한 유사 경험이 제시된 후에 어떻게 변화되었는지를 알아보기 위하여 학생들을 두 범주로 나누었다. 첫째는 예측 결과와 실험 결과가 일치하는 학생들(198명)이고, 둘째는 예측 결과와 실험 결과와

Table 2

The Proposal of a causal question according to the cognitive level

Cognitive level	Causal question	No causal question	df	χ^2	p
Concrete operational stage	52(49.3%)	23(50.7%)			
Transitional stage	91(81.2%)	21(18.8%)	2	8.036	.018*
Formal operational stage	79(86.8%)	12(13.2%)			
Total	222(79.9%)	56(21.1%)			

*p<.05

일치하지 않는 학생들(80명)이다.

(1) 예측 결과와 실험 결과가 일치하는 학생들이 설정한 가설

양초 한 개가 연소될 때 유리종 안으로 물이 올라오는 것을 관찰한 학생들은 양초 세 개가 연소되면 물의 높이가 어떻게 될지 예측하고 가설을 설정하였다. 실제 실험 결과와 같이 물의 높이가 더 높이 올라갈 것이라고 예측한 학생들의 수는 전체 278명 중 198명(71.2%)이나 되었다. 예측 결과와 실제 실험 결과가 일치하는 학생들이 유사 경험이 제시되기 전에 세운 최초 가설을 살펴보면 Table 3과 같다.

예측 결과와 실험 결과가 일치하는 학생들의 40.9%는 물이 더 높이 올라가는 이유에 대하여 양초가 한 개에서 세 개로 늘어났기 때문이라고 기술하였다. 실험 기구에 있어서 확연한 차이가 양초의 개수이므로 학생들은 양초의 개수를 언급한 것으로 판단된다. 다음으로 많은 학생들(35.4%)은 양초가 세 개일 경우 한 개를 사용하는 경우보다 많은 산소가 소모되므로 물이 더 많이 올라올 것이라고 설명하였다. 압력의 차

이가 원인이라고 생각한 학생들은 5.6%였으며 이 학생들을 대상으로 개별 면담을 실시하였다. 이 학생들의 대부분은 양초가 세 개일 경우 뜨거운 열기로 인해 공기가 유리종의 윗부분으로 더 많이 올라가므로 밑 부분은 거의 진공 상태와 같아지므로 압력 차이가 생겨서 물이 올라온다고 답하였다. 실제로 면담을 실시하면서 학생들에게 유리종 안의 공기의 분포를 그려보라고 하였을 때 학생들은 기체의 대부분을 유리종 위에 분포되도록 그리고 밑에는 기체를 거의 그리지 않았다.

양초가 세 개일 때 실제로 물의 높이가 더 많이 올라가는데 중요한 기여를 하는 원인이 되는 온도차 변인을 기술한 학생은 8명(4.0%)이었다. 온도차 변인의 기술과 함께 변인과 현상의 관련성을 과학적으로 설명한 학생은 1명(0.5%)밖에 되지 않았다. 이 학생을 대상으로 면담을 실시한 결과 가설을 설정하는데 있어서 중학교 1학년 때 이미 배웠던 열기구, 찌그러진 공을 더운물에 넣었을 때의 등글게 퍼지는 현상과 같은 것들을 생각했다고 하였다. 이 학생은 Lawson(2002), 권용주 등(2003b)이 주장하는 것과 같이 제시된 현상

Table 3

The initial hypotheses which the students who predicted that water will rise higher made.

The initial hypotheses	The number of students(%)
Because the number of candles increase, water rises higher.	81(40.9)
Because the quantity of the consumed oxygen is larger, water rises higher.	70(35.4)
Because there is a big difference of air pressure between the top part and the bottom part of inside the jar-bell, water rises higher.	11 (5.6)
Because the temperature is higher, water rises higher.	8 (4.0)
Because the solubility of gas is different before and after the combustion, water rises higher.	2 (1.0)
Because the higher temperature make air ascend more, water rises higher.	1 (0.5)
Others	17 (8.5)
No response	8 (4.0)
Total	198(100)

과 유사한 과거의 경험을 떠올려 가설을 세우는 귀추적 사고를 거친 것이라고 할 수 있다. ‘양초의 수가 늘어 발생하는 기체의 양이 많아져 기체가 찬물을 뿜아들었다’, ‘촛불이 타서 생긴 연기가 모두 물로 바뀌면서 위로 물이 더 올라온다’ 등과 같이 완전히 다른 내용이나 잘못된 내용을 기술한 학생들이 8.5%나 되었다. 가설 설정에 대하여 어떠한 답도 서술하지 않은 학생은 4.0%였다.

예측한 결과와 실험 결과가 일치하는 학생들에게 유사 경험이 제공하였을 때, 변화된 최종 가설은 Table 4와 같다.

Table 4
The final hypotheses which students who predicted that water will rise higher made.

The final hypotheses	The number of students(%)
No change of hypothesis	67(33.8)
Because the temperature is higher, water rises higher.	34(17.2)
Because the higher temperature make air ascend more, water rises higher.	11 (5.6)
Statements about a similar experience	56(28.3)
Others	9 (4.5)
No response	21(10.6)
Total	198(100)

예측 결과와 실험 결과가 일치하는 학생들의 경우, 유사 경험이 제공되더라도 자신의 예측 가설이 변화되지 않는 학생들이 67명(33.8%)에 해당하였다. 예측 결과와 실험 결과가 같은 경우 학생들의 인지적 갈등이 적으므로 학생 자신의 생각이 잘 변화하지 않는 것으로 보인다. 가설에 변화가 없는 학생들이 최초로 설정한 가설을 자세히 살펴보면, 산소의 소모량 차이를 이유로 든 학생 21명, 산소의 연소 속도 차이를 이유로 든 학생 2명, 양초 수의 차이를 이유로 든 학생 37명, 압력 차이를 이유로 든 학생 6명, 연소 전후 기체의 용해도 차이를 이유로 든 학생 1명이었다.

온도차 변인을 찾은 학생은 최초에 8명(4.0%)이었으나(Table 3), 다양한 유사 경험의 제공을 통해 온도 변인을 찾은 학생들은 34명(17.2%)으로 늘어났으며(Table 4), 이들 34명 중 15명의 학생들은 처음에 산소의 소모량 차이를 이유로 든 학생들이었다. 온도차 변인을 찾고 변인간의 관계를 과학적 설명한 학생은 처음에 1명(0.5%)이었으나(Table 3), 11명(5.6%)으로 늘어난 것을 볼 수 있다(Table 4). 최초에 온도차 변인을 찾은 학생들 중 3명, 산소가 많이 소모된다고

하였던 학생들 중 5명, 산소 소모 속도 차이, 산소 소모량 차이를 기술한 학생 각각 1명이 완전한 가설로 변화되었다. 예측 결과와 실험 결과가 일치하는 학생들 중에는 유리종 안의 물이 올라온 이유에 대한 가설을 세우는 대신 단지 유사 현상에 관련된 내용을 적은 학생들이 56명(28.3%)이나 되었다. 이 학생들은 제시된 유사 경험을 현재의 문제 상황에 적용하지 못하고 단순히 유사 경험의 원인만을 서술하였다. 예를 들어 ‘주사기의 피스톤이 뜨거운 물 속에서 밀려난 것은 주사기 안의 공기의 부피가 팽창했기 때문이다’라고 기록하는 등 유리종 안의 물이 올라온 이유와 관련되지 않은 내용을 언급한 것이 대부분이었다.

이러한 결과는 가설 생성에 실패한 이유가 단지 지식의 없어서가 아니라 오히려 귀추적 추론 능력이 부족한 것과 관련된다는 것을 보여준다(권우주 등, 2003b). 가설의 생성은 의문 상황을 접했을 때, 의문 상황을 분석하고 현재의 의문 상황과 유사성의 정도가 높다고 생각되는 과거의 여러 경험을 되살려서 현재의 의문 상황을 가장 효과적으로 설명한다고 판단되는 원인적 설명자를 선택해내는 일련의 과정을 거쳐서 진행된다. 그러므로 단순히 유사 경험을 제공하는 것만이 아니라 귀추적 추론의 과정에 도움을 줄 수 있는 단계적인 전략이 필요하다고 판단된다.

(2) 예측 결과와 실험 결과가 일치하지 않는 학생들이 설정한 가설

예측 결과와 실험 결과가 일치하지 않는 학생들(80명)을 다시 두 범주로 나누어 살펴보았다. 첫째는 ‘초가 한 개일 경우와 세 개일 경우에 올라온 물의 높이가 같다’고 예측한 학생들(59명)이고, 둘째는 ‘초가 한 개일 경우보다 세 개일 경우에 물의 높이가 더 낮아질 것이다’라고 예측한 학생들(21명)이다.

먼저 ‘물의 높이가 같다’고 예측한 학생들은 전체 278명의 21.2%인 59명이었다. 이 학생들이 세운 최초 가설은 Table 5와 같다. 이 학생들이 가장 많이 세운 가설로는 ‘양초가 꺼지기 전까지 소모된 산소의 양이 같기 때문에 올라온 물의 높이가 같을 것이다’라는 내용으로 37명(62.7%)의 학생들이 이 가설을 기술하였다. 그 외에 ‘두 실험에서 사용한 물의 양이 같다’ 또는 ‘두 실험에서 동일한 초를 사용하였기 때문이다’라는 것이 올라온 물의 양에 변화가 없는 이유로 제시되었다.

‘물의 높이가 같다’고 예측한 학생들의 경우, 유사한 경험이 제공된 후에 변화된 최종 가설을 살펴보면 Table 6과 같다. 처음 가설에서 전혀 변화가 없는 학생들은 17명으로 28.8%였다. 이 학생들이 최초로 설

Table 5
The initial hypotheses which students who predicted that water will rise equally made.

The initial hypotheses	The number of students(%)
Because the quantity of the consumed oxygen is the same, water rises equally.	37(62.7)
Because the quantity of water used in the experiment is the same, water rises equally.	3 (5.1)
Because the kind of candle used in the experiment is the same, water rises equally.	2 (3.4)
Others	3 (5.1)
No response	14(23.7)
Total	59(100)

정했던 가설을 구체적으로 살펴보면, 소모된 산소의 양이 같기 때문이라고 한 학생 13명, 물의 양이 같기 때문이라고 한 학생 2명, 동일한 초를 사용했기 때문이라고 한 학생 1명, 전혀 다른 내용을 기술한 학생 1명이다.

‘물의 높이가 같다’고 예측한 학생들에게 다양한 유사 경험을 제공하였을 때 변화된 최후 가설은 Table 6과 같다.

Table 6
The final hypotheses which students who predicted that water will rise equally made

The final hypotheses	The number of students(%)
No change of hypothesis	17(28.8)
Because the temperature is higher, water rises higher.	21(35.6)
Because the higher temperature make air ascend more, water rises higher.	3 (5.1)
Statements about a similar experience	8(13.5)
Others	3 (5.1)
No response	7(11.9)
Total	59(100)

처음에는 온도차 변인을 찾은 학생은 한 명도 없었으나(Table 5), 온도차 변인을 찾은 학생들이 21명(35.6%)으로 늘어났다(Table 6). 이는 예측 결과와 실험 결과가 같은 학생들이 최후 가설에서 온도차 변인을 찾은 비율인 17.2%(Table 4)보다 훨씬 높았다. 이

러한 결과는 예측 결과와 실험 결과가 일치하지 않는 학생들의 경우가 변인 찾기에 있어서 더 성공적이었음을 알려준다. 온도차 변인을 찾은 21명이 최초로 설정한 가설을 자세히 살펴보면, 산소의 양이 같음을 이유로 설명한 학생 17명, 동일한 초의 사용을 설명한 학생 1명, 무응답의 학생 2명, 다른 내용을 설명한 학생 1명이었다. 최후에 완전한 가설을 설정한 학생은 3명(5.1%)이었는데, 이들은 모두 최초 가설을 ‘소모된 산소의 양이 같다’고 서술한 학생들이었다.

끝으로 ‘물의 높이가 더 낮아질 것이다’라고 예측한 학생들은 전체 278명의 학생들 중 21명(7.6%)밖에 되지 않았다. 이 학생들이 세운 최초 가설의 종류는 Table 7과 같다. 이 학생들이 최초로 설정한 가설을 구체적으로 살펴보면, ‘양초 세 개를 사용할 경우 물에 띄운 우드락에 무게가 많이 가해져서 한 개일 때보다 물이 적게 올라올 것이다’라는 학생들이 9명(42.9%)으로 가장 많았다. 그 다음으로는 ‘생성되는 기체의 양이 더 많기 때문에 물이 더 조금 올라올 것이다’라고 답한 학생이 4명(19.0%)이었으며, 관련 없는 다른 내용을 설명한 학생이 2명(9.5%), 무응답이 6명(28.6%)이었다.

Table 7
The initial hypotheses which students who predicted that water will rise lower made.

The initial hypotheses	The numbers of students(%)
Because the weight of the candle is heavier, water rises lower.	9(42.9)
Because the quantity of the generated gas is larger, water rises lower.	4(19.0)
Others	2 (9.5)
No response	6(28.6)
Total	21(100)

‘물의 높이가 더 낮아질 것이다’라고 예측한 학생들에게 다양한 유사 현상을 제시한 후에, 변화된 최후 가설을 살펴보면 Table 8과 같다. 최초 가설에서 변화가 없는 학생들이 4명, 온도차 변인을 찾은 학생이 3명이었다. 온도차 변인을 찾은 3명의 학생들은 최초로 양초의 무게 차이를 설명한 학생 1명, 생성되는 기체량의 차를 설명한 학생 1명, 다른 내용을 설명한 학생 1명에 해당한다. 물의 높이가 낮을 것이라고 예측 가설을 세운 학생들이 최후 가설에서 온도차 변인을 찾은 비율은 14.3%로 다른 두 가지 예측의 경우

보다 낮은 값을 나타냈으며 온도차 변인을 찾고 인과적 설명을 한 학생은 한명도 없었다. 그밖에 귀추에 도움을 주고자 제공한 다양한 실험 내용의 원인에 대해서만 진술한 학생이 7명, 기타 응답이 3명, 무응답이 4명에 해당하였다.

Table 8
The final hypotheses which students who predicted that water will rise lower made.

The final hypotheses	The number of students(%)
No change of hypothesis	4(19.0)
Because the temperature is higher, water rises higher.	3(14.3)
Statements about a similar experience	7(33.4)
Others	3(14.3)
No response	4(19.0)
Total	21(100)

3. 유사 경험 제시 전과 제시 후의 가설 설정 정도 비교 분석

가설의 평가에 대한 기존의 연구 결과(Peter, 1992; German. et al., 1996)와 이 연구에서 얻어진 학생들의 가설 내용에 대한 분석을 바탕으로, 학생들이 설정한 가설을 분석하기 위하여 이 연구에서는 가설의 평가 기준을 Table 9와 같이 제시하였다. 놀라운 현상의 원인인 독립 변인을 찾고 독립 변인과 종속 변인간의 관계를 과학적으로 타당하게 설명한 경우를 A로 분류하였고, 독립 변인과 종속 변인은 진술하나 그 둘의 인과적 관계를 과학적으로 설명하지 못하는 경우는 B로 분류하였다. 다른 변인을 진술한 경우는 C, 완전히 다른 내용이나 잘못된 내용을 진술한 경우는 D, 응답이 없는 경우는 E로 분류하였다.

이 연구의 과제에서 독립 변인은 온도차이므로 온도차와 물의 높이 변화를 진술하고 둘의 관계를 과학적으로 설명한 경우를 A로 분류하였다. A로 분류한 예는 ‘촛불의 수가 많을수록 주변의 온도가 높아 공기가 활발히 퍼져나가므로, 촛불이 꺼지면 유리종 안의 공기가 식어서 압력이 더 낮아지기 때문에 물이 더 높이 올라온다’와 같은 인과적 설명을 한 경우이다. 독립 변인인 온도차와 물의 높이만을 진술한 경우를 B로 보았는데 ‘온도차로 인해 물의 높이차가 생겼다’라고 진술한 경우이다. 유리종을 덮었을 때 온도차 변인 외에 산소의 소모량의 차이, 생성된 기체의 용해도 차이, 양초의 수 차이 등은 다른 변인을 진술한 C의 경우로 보았다. 양초가 세 개일 때 유리종 안의 물

이 더 많이 올라온 이유에 대한 내용이 아닌 다른 내용을 진술하거나 문맥의 앞뒤가 맞지 않는 잘못된 내용의 경우를 D, 응답이 없는 학생들을 E로 분류하였다.

Table 9
Category of hypotheses

Statement of hypothesis	Category
A dependent variable and an independent variable are stated and both variables are correctly related in terms of a casual link.	A
A dependent variable and an independent variable are stated but both variables aren't correctly related in terms of a casual link.	B
Other variables are stated.	C
An entirely different investigation or a false investigation is stated.	D
No response	E

가설 설정에 있어서 빈도 변화를 살펴보기 위해 학생들이 제시한 최초 가설과 최종 가설을 다시 다음과 같이 분류하였다. A는 완전한 가설을 세운 경우, B는 종속 변인에 영향을 미치는 독립 변인을 찾은 경우, C, D, E는 바른 가설을 설정하는데 실패한 경우이다. 이와 같은 가설의 구분에 의해, 유사 현상의 제시가 귀추에 의한 가설 설정 정도에 영향을 미치는지 알아보기 위하여 χ^2 을 실시하였다. 검증 결과는 Table 10과 같다. 표에서 알 수 있듯이 유사 현상의 제시에 따라 가설 설정의 유형별 빈도에 유의미한 차이가 나타난 것으로 보아($p < .001$), 유사 현상의 제공이 학생들의 귀추에 의한 가설 설정에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

최초 가설에서 변인과 변인간의 관계를 과학적으로 설명하여 완전한 가설을 설정한 학생들의 비율은 0.4%에 불과하였으나, 다양한 유사 경험을 제공한 후에 변화된 최종 가설에서 완전한 가설을 설정한 학생은 5.0%로 증가하였다. 또한 최초의 가설 설정에서 변인을 찾은 학생들은 전체 학생의 2.9% 밖에 되지 않았으나, 다양한 유사 경험을 제공한 후에 변화된 최종 가설에서 변인을 찾은 학생들은 20.9%로 많이 증가하였다. 이러한 결과는 연구 대상의 약 25%에 해당하는 학생들이 가설을 설정하는데 있어서 유사 현상의 도움을 받았다는 것을 의미한다. 완전한 가설을 설정한 학생들은 유사 경험의 제공을 통해서 미지 현상의 원인이 되는 변인을 찾아냈을 뿐만 아니라, 스스로 변인간의 관계를 인과적으로 연결하여 과학적인 설명을 완전하게 이끌어내었다. 유사 경험의 제공을 통해서 인과적 관계를 구성하는 변인을 찾아낸 학생

Table 10
Variations of hypotheses that students generate

		The final hypothesis			Total	df	χ^2	p
		Suggesting a complete hypothesis (A)	Finding an independent variable (B)	Failing to suggest a hypothesis (C, D, E)				
The initial hypothesis	suggesting a complete hypothesis (A)	1(0.4%)			1 (0.4%)			
	finding an independent variable (B)	3(1.1%)	5 (1.8%)		8 (2.9%)	4	38.20	.000**
	failing to suggest a hypothesis (C, D, E)	10(3.6%)	53(19.1%)	206(74.1%)	269(96.8%)			
Total		14(5.0%)	58(20.9%)	206(74.1%)	278(100%)			

**p<.001

들의 경우에는 교사의 적절한 안내가 이루어진다면 인과적 설명을 끌어내어 과학적으로 완전한 가설을 설정할 수 있는 충분한 준비가 되어 있다는 점에서의 의의를 찾을 수 있다. 따라서 유사 경험의 제공은 학생들의 귀추에 의한 가설 설정에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

4. 인지 수준에 따른 가설 설정 정도 비교 분석

인지 수준에 따라 최종 가설의 설정 정도에 차이가 있는지를 비교하였는데 결과는 Table 11과 같다. 표에서 알 수 있듯이 인지 수준에 따라 학생들의 가설 설정 빈도에 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다 (p<.05).

인지 수준이 구체적 조작기에서 과도기, 형식적 조

작기로 높아질수록 최종 가설에서 온도차 변인을 찾는 비율이 점점 증가하는 것을 볼 수 있으며, 다른 인지 수준의 학생들에 비해 형식적 조작기에서 온도차 변인을 찾고, 변인간의 관계를 과학적으로 설명을 한 학생들의 비율이 높았다. 이를 통해 가설 설정과 같은 과학적 탐구는 인지 수준과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구는 유사 경험의 제공이 귀추에 의한 가설 설정에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위한 목적으로 실시되었다.

먼저 학생들이 인과적 의문점을 느끼는 정도를 알

Table 11
The Generation of a hypotheses according to the cognitive level

Cognitive level	Suggesting a complete hypothesis (A)	Finding an independent variable (B)	Failing to suggest a hypothesis (C, D, E)	df	χ^2	p
Concrete operational stage	2(2.7%)	10(13.3%)	63(84.0%)	4	12.07	.017*
Transitional stage	3(2.7%)	24(21.4%)	85(75.9%)			
Formal operational stage	9(9.9%)	24(26.4%)	58(63.7%)			
Total	14(5.0%)	58(20.9%)	206(74.1%)			

*p<.05

아보았으며 인과적 질문의 내용을 분석하였다. 전체 학생의 79.9%에 해당하는 많은 학생들은 새로운 현상을 관찰하였을 때 인과적 의문점을 제기하였다. 학생들의 인지 수준에 따라 인과적 질문을 제기하는 정도에 차이가 있는지 알아보기 위하여 빈도 분석을 실시한 결과 유의미한 차이가 나타났다($p<.05$). 인지 수준이 높을수록 새로운 현상을 관찰하였을 때 인과적 질문을 제기하는 학생들의 비율이 점점 증가하였다.

이어서 학생들에게 새로운 현상에 대하여 예측 가설을 설정하도록 한 후, 새로운 상황과 유사한 다양한 실험 상황을 제공한 후에 다시 가설을 설정해 보도록 하였다. 학생들에게 다양한 유사 경험을 제공하기 전에 예측 가설을 설정해 보도록 하였을 때, 학생들의 대부분은 두 가지 실험 상황에서의 차이점을 가설로 세웠다. ‘양초가 하나에서 세 개로 늘어나므로 물이 세 배 높이 올라갈 것이다’와 같은 가설이나 ‘양초가 세 개이므로 더 무거워서 물이 적게 올라갈 것이다’ 혹은 ‘실험에서 사용한 물의 양이 같으므로 같은 높이만큼 올라올 것이다’와 같은 내용이다. 예측 결과와 실제 실험 결과가 일치하는 학생들의 경우는 다양한 유사 경험의 제공 후에도 자신이 처음에 세운 가설을 변화하지 않는 학생들이 33.8%에 해당하였다. 본인의 예측이 실험 결과와 일치하였으므로 인지적 갈등을 느끼지 않은 것이 가설의 변화하지 않는데 주요한 요인으로 작용한 것으로 보인다.

유사 경험이 제공되기 전 학생들의 최초 가설과 유사 경험이 제공된 후에 변화된 학생들의 최종 가설을 비교 분석하였으며, 다양한 유사 경험의 제공 전후의 가설 설정의 빈도 차이를 분석하였다. 학생들에게 귀추적 사고에 도움을 줄 수 있는 유사 경험을 제시하였을 때 학생들의 가설에는 많은 변화가 있었다. 온도차 변인을 찾은 학생들은 8명(2.9%)에서 58명(20.9%)으로 증가하였으며, 온도차 변인과 함께 올바른 인과적 설명을 기술한 학생들은 1명(0.4%)에서 14명(5.0%)으로 증가하였다. 유사 경험의 제공에 따른 가설 설정의 빈도 분석 결과는 유의미한 차이를 나타내었다($p<.001$). 변인을 찾은 학생과 바른 인과적 설명을 한 학생이 처음의 총 9명(3.3%)에서 72명(25.9%)으로 크게 증가한 것으로 보아 유사한 경험의 제공이 학생들의 귀추적 사고에 도움을 주는 것으로 생각된다. 그러나 다양한 경험의 제공 후에도 많은 학생들은 변인을 찾거나 인과적 설명을 하지 못하였다. 성공적으로 가설을 설정하기 위해서는 관련된 지식뿐만 아니라 귀추적 추론 능력도 함께 요구된다는 것을 의미한다. 이러한 학생들을 위하여 유사 경험의 제공과 함께 유사 경험을 현상에 끌어와 설명할 수 있는 전략 제시

가 필요한 것으로 판단된다.

학생들의 인지 수준에 따라 유사 경험의 제시 후, 최종 가설의 설정 정도를 비교하기 위하여 빈도 분석을 실시한 결과 유의미한 차이가 나타났다($p<.05$). 인지 수준이 높아짐에 따라 최종 가설에서 변인을 찾은 학생들의 비율이 증가하였고, 다른 인지 수준에 비해 형식적 조작기에서 변인을 찾고 변인간의 관계를 과학적으로 설명한 학생들의 비율이 높았다. 이를 통해 가설 설정과 같은 과학적 탐구는 인지 수준과 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다.

연구 결과, 중·고등학교 현장에서 가설 설정과 관련된 수업을 실시하고자 할 때 학생들의 귀추적 사고에 도움을 줄 수 있는 유사 경험의 제시 단계가 필요할 것으로 보인다. 그러나 다양한 유사 경험의 제공 후에도 많은 학생들이 변인을 찾거나 인과적 설명을 서술하는데 실패한 것으로 보아, 관련 지식이나 유사 경험의 제공뿐만 아니라 귀추적 추론 능력을 향상시키기 위한 단계적 수업 전략이 함께 요구된다고 볼 수 있다.

국문 요약

이 연구는 유사 경험의 제공이 귀추에 의한 가설 설정에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실시되었다.

서울 시내 중·고등학생 278명을 대상으로, 학생들에게 미지의 현상을 관찰하게 한 후 인과적 의문점을 제시하도록 하였다. 미지의 현상을 관찰하였을 때, 전체 학생의 79.9%에 해당하는 많은 학생들이 인과적 의문점을 제기하였다. 인과적 질문을 제기하는 빈도는 인지 수준에 따라 유의미한 차이가 나타났다($p<.05$). 이어서 새로운 현상에 대하여 예측 가설을 설정하도록 한 후, 새로운 상황과 유사한 다양한 실험 상황을 제공한 후에 다시 가설을 설정해 보도록 하였다. 처음에는 대부분의 학생들이 실험 상황을 단순히 기술한 것을 가설로 제안하였으나, 학생들에게 다양한 유사 경험을 제공한 후에 실험 상황에 대하여 다시 가설을 설정해 보도록 하였을 때는 변인을 찾고, 변인간의 관계를 과학적으로 설명한 학생들이 늘어났다. 다양한 유사 경험이 제공되기 전후에 학생들의 가설 설정에 차이가 있는지 알아보기 위하여 빈도 분석을 실시하였을 때, 유의미한 차이가 나타났다($p<.001$). 이러한 결과는 유사 경험의 제공이 귀추에 의한 가설 설정에 도움을 준다는 사실을 알려준다. 또한 인지 수준에 따라 가설 설정에 차이가 있는지 알아보기 위하여 빈도 분석을 실시하였으며, 그 차이는 유의미하였다($p<.05$).

연구 결과로 보아 중·고등학교 현장에서 가설 설

정과 관련된 수업을 실시하고자 할 때는 학생들의 귀추적 사고에 도움을 줄 수 있는 유사 경험의 제시 단계가 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 권용주, 정진수, 박윤복, 강민정 (2003a). 선언적 과학 지식의 생성 과정에 대한 과학철학적 연구. *한국과학교육학회지*, 23(3), 215-228.
- 권용주, 정진수, 박윤복, 양일호 (2003b). 수증기 응결에 관한 초등학생들의 가설 생성에서 귀추의 역할과 과정. *Jour. Korean Earth Science Society*, 24(4), pp 250-257.
- 김성도 (1998). *현대 기호학 강의*. 서울: 민음사
- 박종원 (2000). 학생의 과학적 설명가설의 생성과정 분석 -과학적 가설의 정의와 특성을 중심으로-. *한국과학교육학회지*, 20(4), 667-679.
- 박종원 (2001). 학생의 과학적 설명가설의 생성과정 분석 -대학생의 반응 분석을 중심으로-. *한국과학교육학회지*, 21(3), 609-621.
- 정진수 (2004). 과학적 가설 생성에 대한 삼원 귀추 모형의 개발과 적용. *한국교원대학교 박사학위 논문*.
- Fisher, H. R. (2001). Abductive reasoning as a way of worldmaking. *Foundations of Science*, 6, 361-383.
- Germann, P. J., Odom, A. L., Aram, R., & Burke, G. (1996). Student performance on asking questions, identifying variables, and formulating hypotheses. *School Science and Mathematics*, 96(4), 192-201.
- Hanson, N. R. (1995). 과학적 발견의 패턴: 과학의 개념적 기초에 관한 탐구. (송진웅-조숙경 역). 서울: 민음사(원저 1958 출판).
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Lawson, A. E. (1999). What should students learn about the nature of science and how should we teach it. *Journal of College Science Teaching*, 28(6), 401-411.
- Lawson, A. E. (2002). What does Galileo's discovery of Jupiter's moons tell us about the process of scientific discovery? *Science and Education*, 11, 1-24.
- Paavola, S. (2004). Abduction as a logical and methodology of discovery: The importance of strategies. *Foundation of Science*, 9, 267-283.
- Peirce Edition Project (Ed.). (1998). *The essential Peirce: Selected philosophical writings, (volume II)*, Indianapolis, ID: Indiana University Press.
- Peter, S. (1992). Children's language and assessing their skill in formulating testable hypotheses. *British Educational Research Journal*, 18(1), 73-85.
- Whenham, M. (1993) The nature and role of hypotheses in school investigations. *International Journal of Science Education*, 15(3), 231-240.
- White, B. (2004). Reasoning Maps: A generally applicable method for characterizing hypothesis-testing behaviour. *Science Education*, 26(14), 1715-1731.