

일액현상에 대한 초등과학 영재의 귀추적 사고과정에서 나타나는 유추 분석

양일호 · 김순미*

한국교원대학교 · 전북대정초등학교*

Analyzing analogy on abductive thinking process of elementary school gifted children on leaves guttation phenomenon

Il-Ho Yang, Soon-mi Kim*

Korea National University of Education, Daejeong Elementary School*

<ABSTRACT>

The purpose of this study was to analyze the analogy on abductive thinking process of elementary school gifted students. 14 gifted students of elementary school was selected as the participants. 14 gifted students' thinking aloud protocol and interview data were collected during they hypotheses generation about leaves guttation phenomenon. The Results were as followings: Analogy exists in abductive thinking process of gifted children in science. And representation of question-situation were influenced the analogical inference and final selected hypothesis. When gifted students observed an amazing phenomenon, searching properties of objects are influenced their final hypothesis selection. The stage in representing of problem, it was inferred that the surface similarity. On the other hand, searching candidate hypotheses and configurating hypothesis stage, structural similarity revealed. This result showed a meaningful implication on the science research instruction and the education procedure planing. The teachers need to make the students pay attention to the essential elements through simplification and transformation, and to lead them generate the problems with a new viewpoint in the hypothesis generation teaching for the research ability improvement of the students.

Key words: Abductive thinking, Analogy, Gifted children

* 교신저자 : 김순미, goodtsm@hanmail.net

** 이 논문은 한국교원대학교 2013학년도 KNUE 학술연구비 지원을 받아 수행하였음.

Received 18 November 2013; Accepted 17 December 2013; Published 30 December 2013

2014. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

I. 서론

과학은 자연에 대한 인간 호기심으로부터 출발하여 자연 현상에 대한 원인을 설명하는 것을 목적으로 하며(Lawson, 2002), 이러한 자연 현상을 설명하기 위하여 가장 중요한 핵심적인 과정은 가설을 만들어내는 과정이다(Kwon et al., 2003a; Lawson, 1995). 과학에서 가설을 생성하는 과정은 미지의 인과적 원인에 대한 새로운 설명 체계를 제시하는 과정으로서 과학적 탐구 과정의 핵심이라고 할 수 있다(Klahr & Dunbar, 1988; Lawson, 1995; Wenhams 1993). 뿐만 아니라 가설을 생성하는 활동이 창의성과 깊은 관련이 있고 학생들의 창의적 사고력 발달 및 논리적 사고력과 밀접한 관련이 있기 때문에 가설의 생성 과정은 과학 교수 학습 활동에서 핵심적인 활동으로 다루어지고 있다(Kang et al., 2006; Adsit & London, 1997; Lawson, 1995; Magnani, 1997).

이러한 가설 생성과 관련하여 귀추적 추론 과정에 관한 연구가 지속적으로 이루어져 왔다(Kwon et al., 2000, 2003a, 2003b; Oh & Kim, 2005; Jeong et al., 2011; Jeong et al., 2005; Cho et al., 2008; Fisher, 2001; Jeong, 2006; Jeong & Kwon, 2007). 귀추란 새로운 현상을 설명하기 위한 지식을 생성하기 위한 추론으로(Leake, 1995; Magnani, 2005; Thagard, 1988), 미지의 현상을 관찰하고 그 이유를 설명하는 과학적 지식을 창안하는 과정(Kwon et al., 2002)이며, 새로운 지식 생성을 위한 유일한 메커니즘이라고 할 수 있다(Fisher, 2001).

과학적 현상에 대한 설명을 위한 가설의 창안 과정은 과학 탐구에서 가장 중요한 활동이며, 나타난 자연 현상의 의문에 대한 설명적 가설은 현상의 원인과 결과에 대한 이해를 증시하는 과학교육의 목적을 달성하는 데 중요한 역할을 한다(Wenhams, 1993). 이러한 인과적 의문에 관한 잠정적인 설명인 과학적 가설을 제안하는 과정은 귀추적 추론으로 설명할 수 있다. 귀추란 새로운 현상의 원인을 설명하는 지식 생성 과정에서 나타나는 추론으로(Hanson, 1958; LMagnani, 2005), 설명하려는 자연 현상 상황과 유사한 배경적 지식을 바탕으로 인식된 문제에 대한

잠정적인 해답인 가설을 제안하는 과정이다(Kwon et al., 2003b; Park, 2004). 이와 같은 귀추를 Magnani(2001)는 신념의 비모순성을 보존하기 위한 진리의 확장적 사고라고 하였으며, Clement(2008)는 배경적 지식과 유사성을 기반으로 하는 유추와 관련되는 과정이라 하였다.

유추란 이미 경험을 통해 해결책을 알고 있는 유사한 문제를 활용하여 새로운 목표 현상을 해결하는 방법을 말한다(Pedone et al., 2001; Reed, 2006). 즉, 두 영역 사이의 표면적/구조적 유사성에 의하여 두 영역이 가진 요소를 대응시키고, 한 영역에서 다른 영역으로 설명적 구조를 전이하는 과정이다(Dunbar & Blanchette, 2001). 이러한 유추는 인간의 삶 곳곳에 퍼져 있으며, 일상적으로 활용되는 추론의 방법으로(Lee & Harm, 2011; Dunbar & Blanchette, 2001), 자연스럽게 일어나는 과정이며, 문제 해결에 유용한 도구로 사용된다(Wiesberg, 2009).

Thagard(1988)는 귀추를 네 가지로 유형화하고, 그 중에서도 유추적 귀추가 새로운 과학 지식의 형성 논리 역할을 한다고 주장하였다. 그에 의하면 유추적 귀추는 한 영역의 정보를 다른 영역으로 전이하는 과정에서, 전제와 결론에서 공통적으로 사용되는 용어의 의미가 보존되지 않고 새로운 요소를 포함하는 개념적 변화를 나타낸다. 따라서 새로운 과학 지식을 창안하는 가설 생성 과정에서 유추의 역할은 중요하다고 할 수 있다. 유추적 귀추는 유추적 문제 해결과 유사하지만, 전자가 유추라는 추론을 사용하여 가설을 생성한다는 점과 비교하여 후자는 현재의 문제에 대한 하위 목표를 구성하기 위해 유추가 사용된다는 점에서 차이가 있다. 하지만 둘 다 잠재적으로 유용한 유사체의 활성화를 통해 인출한 개념들을 서로 대응시킨다는 점에서 동일하다고 할 수 있다(Haig, 2005; Schurz, 2008; Thagard, 1988).

유추 과정에는 현재 문제 시 되고 있으며, 이해를 시도하는 문제 상황과 관련된 요소인 목표(target)와 이미 이해하고 있는 목표와 유사한 정보의 조각인 바탕(base/source)이라는 두 요소가 관여한다. 따라서 유추적 문제 해결을 위해서 바탕과 목표 사이에 유사성이 존재해야 한다(Dunbar & Blanchette, 2001; Holyoak, 2005). 이와 같은 유사성에 의해 지식이 회상되고, 그 지식은 새로운 상황에 적용된다

(Dunbar & Blanchette, 2001). 즉, 유추는 귀추적 사고 과정에서 가설 창안의 설명력을 제공한다. Bassok(2003)은 유추 과정에서 나타나는 유사성의 유형을 문제 구조와 관련된 특정 개체의 유사성인 표면적 유사성(surface similarity)과 목표 성취에 영향을 주는 유사성인 구조적 유사성(structural similarity)으로 구별하였다. 표면적 유사성은 문제에 직면하는 맥락이나 문제의 표현, 스토리라인과 같은 지각적 유사성이나 외관 유사(Gentner & Medina, 1998)와 연관된 것이다. 표면적 유사성은 목표와 관련된 문제의 해결에 인과적인 역할을 하지는 않는다. 그러나 구조적 유사성은 목표와 바탕 사이의 각 요소가 상호 관련되어 있으며, 동일 구조로서 변수가 동일하거나 유사한 관계적 구조로 조직되어 있다. 따라서 그 문제들은 유사하거나 동일한 방법으로 해결할 수 있다(Bassok, 2003). 따라서 새로운 지식을 생성하거나 문제를 더 잘 해결하기 위해서는 유사체 간의 표면적 속성보다 구조적 속성에 주의를 기울임으로써 목표 현상과 인과적으로 관련되는 요소에 주의를 기울여야 한다(Holyoak, 2005)

그런데 지금까지의 가설 생성 관련 선행 연구(Kwon et al., 2003b; Yang et al., 2006; Jeong et al., 2005; Cho et al., 2008)를 살펴보면, 가설 생성 과정을 몇 단계로 나누고, 원인적 설명자를 가설적 설명자로 차용하는 귀추 과정을 주로 다루었다. 이 경우 실제 가설을 생성하는 과정에서 단계마다 어떤 인지 작용이 일어나는지 자세히 파악하기 어렵다. 또한 의문 생성 과정에 관한 심도 있는 분석이 이루어지지 않은 까닭에 현상을 관찰한 후 무엇을 지각하고, 어떤 과정을 거쳐 의문을 생성하는지를 파악하기 어렵다. 이에 여러 가지 대안 가설 중 최선의 원인적 설명자를 선택하는 준거를 찾기에 무리가 있다. 또한 지금까지의 귀추적 추론 관련 연구에서는 이러한 가설의 평가와 선택 과정을 과거의 지식으로부터 유추하여 만든 여러 가지 대안 가설 중 IBE, 즉 최선의 원인적 설명자를 찾는 추론(Lee, 1992; Horwich, 1982; Lipton, 1991; Thagard, 1988)이라고 설명하거나 새로운 이론을 선택한 근거가 '선택적'이라고만 언급하였을 뿐(Baral, 2000; Magnani, 2001) 최선의 원인적 설명자를 선택하는 준거가 구체적으로 무엇인지에 관해서는 알려진 바가 없다.

이러한 의미에서 과학적 지식을 생성하는 과정에서 사용되는 귀추적 사고 과정에서 나타나는 유추를 확인해볼 필요성이 있다. 선행 연구들에서는 다양한 귀추적 사고와 유추 사고에 대한 연구들이 진행되었지만, 과학지식 생산의 과정으로서 귀추적 사고과정에서 나타나는 유추에 관한 연구는 부진하다. 따라서 이 연구에서는 일액현상을 중심으로 초등과학 영재 학생들의 귀추적 사고과정에서 나타나는 유추를 분석하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

연구 대상을 선정할 때는 다음과 같은 조건을 고려하였다. 먼저 학생들이 가설 생성 과제를 수행할 때 연구자가 그들의 사고 과정을 세밀하게 파악하기 위하여 언어 능력 및 사고 발생(Kucan & Beck, 1997; Newell & Simon, 1972) 능력이 우수한 학생을 연구 참여자 선정 기준에 포함시켰다. 또한 유추 능력이 형식적 조작기에 도달했을 때 충분히 발휘된다는 선행 연구(Sternberg & Downing, 1982) 결과에 따라 형식적 조작기 이상의 과학 영재라는 기준을 포함시켰다. 이 때 동일한 학교 교육과정을 이수한 초등학교 과학 영재를 선발하기 위하여 연구 참여자의 학년을 통제하였고, 예비 연구 결과에 따라 초등학교 과학 영재의 경우 6학년 중에서 자발적으로 연구에 참여할 의사를 밝힌 학생을 보호자의 동의를 얻어 선정하고자 하였다.

위의 선정 기준에 따라 연구자의 의도에 맞는 연구 참여자(Patton, 2002)를 선정하기 위하여 비확률적 표집 방법 중 목적 표집(Cohen et al., 2007)에 의하여 연구자와 안면이 있는 2-3개 대도시 및 중소도시의 과학 영재 담당 교사로부터 초등학교 과학 영재를 추천받았다. 이들을 대상으로 Roadradka 등(1983)이 개발한 검사지를 Choi 등(1985)이 번역하고 수정한 논리적 사고력 검사지(GALT; The Group Assessment of Logical Thinking)를 투입하여 과학

영재 학생들의 인지 발달 수준을 파악하고, 형식적 조작기에 도달한 학생을 선발하였다. 이 때, 여러 선행 연구를 통해 제기되었던 원본과 축소본의 신뢰성에 관한 논란(Kang et al., 1998; Ryu & Lee, 2010; Roadranka & Padilla, 1985)을 고려하여 검사지 원본에서 16점 이상을 획득한 학생들을 선발하였다. 이렇게 선발된 학생들 중 면담 시 사고 과정이 잘 드러나지 않는 1명을 제외 한 14명을 연구 참여자로 선정하였다.

2. 과제 선정

이 연구에서 사용한 과제는 일액 현상이다. 일액 현상이란 식물 잎의 가장자리에 작은 물방울들이 맺혀 있는 현상으로 이 물방울들은 식물체의 배수조직에서 배출되는 수분이다. 생명과학대사전에 의하면, 식물의 뿌리에서 흡수된 물은 대부분 수증기로 증산되지만, 육상고등식물에서는 수공, 배수세포, 배수모 등에서 배수현상을 나타낸다. 이러한 현상은 근압에 기인하는데, 근압이 높아지면 물은 수공에서 밀려나간다. 따라서 배수는 세포의 물 수분퍼텐셜이 0이 되어 흡수할 수 없게 된 시점에서 일어난다. 그 때문에 야외에서는 밤부터 이른 아침에 걸쳐서 일어나고 낮에는 일어나지 않는다. 일액현상을 선정한 이유는 학생들에게 선지식이 없으면서 새롭고 흥미로운 자연 현상이면서, 귀추적 사고 활동이 초등학생들에게 충분히 일어날 수 있기 때문이다. 또한 이미 Kwon 등(2003)의 연구에서도 사용되어 이미 타당성이 확보되어 있기 때문이기도 하다.

본 연구에서 제시한 과제는 일반 초등학생들 35명과 초등교원양성대학교 예비교사 15명에게 예비 투입을 통해, 흥미로우면서 새롭게 접한 현상이고 스스로 인과적 의문을 생성하고 가설을 창안하는 과정

이 잘 나타나는지 점검 과정을 거쳐 최종적으로 6개의 일액현상을 보여주는 사진을 선정하여 구성하였다.

3. 자료 수집 및 분석

과학 영재의 면담에 앞서 반 구조화된 면담 질문지(Cohen et al., 2007)를 개발하였다. 예비 연구 결과 사고 발생이 뛰어난 과학 영재라고 하더라도, 성인과는 달리 가설 생성 시 때 순간 나타나는 사고의 흐름을 모두 설명하지 않고 지나치는 경우가 많았다. 따라서 이를 더 세밀하게 파악하기 위해서는 추가적인 심층 면담이 필요하다고 판단하였다. 이에 과학 영재의 귀추적 사고과정에서 유추를 자세히 파악하기 위한 면담 질문지를 구성하였다. 면담 질문지는 학생의 과학적 설명 가설 생성 과정을 분석하기 위해 Park(2001)이 사용했던 면담 질문 중 I, II 단계 질문을 보충하여 구성하였다. Park(2001)의 연구에서 사용한 면담의 I 단계는 학생이 목표 현상의 어느 측면을 어떻게 관찰하는지 확인하기 위한 것이고, II 단계는 관찰 사실을 바탕으로 어떤 질문을 제기하는지 확인하기 위한 것이다(Table. 1). 따라서 의문 상황 표상 과정을 확인하기 위한 이 연구에 적절하다고 판단하여 면담지 구성에 반영하였다.

구성한 면담 질문지의 적절성을 판단하기 위하여 과학적 탐구 및 가설 생성과 관련된 연구를 질적 연구로 수행한 경험이 있는 과학교육 전문가 3인으로부터 두 차례에 걸쳐 면담지의 타당성 여부를 확인하였다. Lawshe(1975)의 방법에 의하여 산출한 내용 타당도 지수는 0.88로 나타났으며, 이에 따라 구성된 면담 질문이 과학 영재의 가설 생성 시 나타나는 추론의 요소 및 최종 후보 가설 선택의 준거를 파악하는 데 적절하다고 판단하였다.

<Table 1> Question for analyzation of generative processes of hypothesis on scientific explanation by Park(2001)

Stage	Question
I	What did you see? or Please explain what you see.
II	Is there anything strange related with the observation?
III	Please explain about the question.(Hypothesis proposal)
IV	Why do you think so? (Basis of hypothesis proposal)
⋮	⋮

위에서 마련한 과제 및 질문지를 통하여 자료를 수집하였다. 연구 참여자 14명을 연구자와 면대 면으로 만나 과제 수행 및 면담을 실시하였다. 먼저 서로의 이름을 나누고 일상적인 이야기를 통해 연구 참여자와의 친밀감을 형성하였으며, 과학자와 마찬가지로 연구 시작 단계에서 연구자의 신분과 연구의 목적에 관하여 설명하였다. 면담 내용의 녹화 및 녹음에 관해 안내하고, 연구 동의서를 수령하였다. 연구 동의서 작성이 끝나면 사고 발생에 관하여 설명하고, 초벌 과제로 이를 연습하도록 하였다.

이후 선정된 일액 현상 과제를 보여주고 연구자에게 사고 발생을 통하여 관찰에서 최종 후보 가설 선택에 이르는 과정을 설명하도록 요청하였다. 이 때 연구자가 미처 파악하지 못한 가설 생성 과정 및 추론의 요소는 이후 심층 면담과정에서 자세히 설명해 줄 것을 요구하였다. 심층 면담은 의문 상황 표상, 후보 가설 탐색 및 생성, 최종 후보 가설 선택의 3 단계로 나누어 실시하여 각 과정에서 나타나는 추론의 요소와 최종 후보 가설 선택의 준거를 자세히 파악할 수 있도록 노력하였다.

이 모든 과정은 녹화 및 녹음되었으며, 연구의 전 과정에서 연구 참여자의 그림이나 글을 함께 수집하고, 면담 중과 후에 특이 사항에 관한 연구자의 기술 노트 및 반성 노트를 함께 수집하였다.

III. 연구 결과 및 논의

일액현상을 관찰하고 이에 대한 인과적 의문 생성 과정에서 나타난 유추를 분석하였다. 분석 결과, 의문 생성 단계에서 전체 연구 대상의 50%에서 유추 과정이 나타났다. 이러한 결과는 가설 생성 단계에서 나타난 75%와는 달리 매우 낮은 결과를 보였다. 또한 과제에 제시된 현상의 자료에 의해 유도되는 의문 생성 과정에서 유추는 표면적 유사성에 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

S34: 모두 앞의 끝에 뭉방웁이 동그랗게 달려 있어요. 앞의 표면에 달려 있는, 붙어 있는

것은 많지 않고 뽕족한 부분에.... 이승이 뻗혀 있어요. 왜 앞의 표면에는 많이 안 달라붙어 있고 뽕족한 끝 부분에만 붙어 있을까?.... 이게 비가 와서 생긴 뭉방웁인지, 아니면 새벽에 온도 차 때문에 생긴 이승인지.... 그게 궁금해졌어요. ... 이런 거 보긴 했는데, 이렇게 끝에만 달려 있는 것은 잘 못 봤어요.

S34는 제시된 일액 현상을 분석하여 과거의 관찰 또는 학습 경험과 표면적 유사성을 찾고, 또한 차이점을 발견하고 있다. 즉, 의문 상황과 경험 상황 간의 차이를 발견하고 의문이 생성되어 추후 설명적 지식을 생성하기 위한 갈등 상황에 직면하게 된다. S34도 관찰했던 경험 상황 또는 학습 했던 경험 상황을 떠올리며 표면적 유사성에서 의문을 출발하고 있다. 이러한 경향성은 다른 사례에서도 확인 할 수 있었다.

S2 : 뭉방웁이 다른 부분에도 뻗칠 수가 있는데, 꼭 앞의 가장자리 부분에만 뻗혀있어 가지고, 거의 대부분.... 아침에 밖에 나가보면 풀에 뭉방웁이 많이 뻗혀있어요. 또 비 온 다음에도 뭉방웁이 뻗혀 있는 것을 본 적이 있어요. 그런데 그 때는 그냥 끝부분에 뻗히는 것도 있고, 아니면 잎 위에 뻗혀있는 것도 있고. 그런데 이건 봤던 거랑 달라요.

한편, 대안적 가설 탐색 및 생성 단계에서 의문 현상과 바탕 유사체를 대응 할 때 구조적 유사성을 고려하여 설명자를 차용하는 사례가 매우 드물게 나타났다. 예를 들어 S11의 경우 앞의 의 뽕족함의 차이와 구조적 유사성에서 가설을 탐색하는 사례가 나타났다.

S11 : 표면장력과 관계가 있을 것 같은데.. 연필 같은 경우에는 호터스 호라라고, 연필 표면의 구조상으로 뭉방웁이 잘 뭉치게 그런 구조로 되어 있는데... 그래서 연필 호라가 생겨서 뭉방웁이 동그랗게 되는 건데요. 이런 연필이 아니니까 표면은 그에 해당하지

않고.... 잎의 끝이 뽕족하잖아요, 아무래도 거기서 연잎 흔라타 비슷한 흔라를 뺐았을 것 같아요...

한편, 의문 상황 표상 방식의 차이에 따라 이후의 유추 과정 및 가설 생성 과정에도 차이가 있었다. 이 때 기존의 경험 지식을 배제하고 완전히 새로운 방식으로 문제를 표상하였을 때 가설 검증의 성공 가능성이 증가하였다. 예를 들어 초등학교 과학 영재 S7의 경우, 잎에 맺힌 물방울을 관찰하였을 때, 이슬과 비 등 잎에 물방울이 맺힐 수 있는 일반적인 현상을 모두 제거하고 전혀 다른 방식으로 문제를 표상하였다.

이러한 의문 상황 표상 방법의 차이는 실체 추정에 영향을 주었다. S7과 같이 실체를 비나 이슬이 아니라고 추정하였을 경우에는 의문 상황의 구조가 단순해지고, 실체의 속성 관찰을 통해 나뭇잎의 끝에 물방울이 둥글게 맺힐 수 있는 원인을 찾는 데 집중할 수 있었다. 반면에, 사전 지식의 영향으로 외부 응결에 의한 물방울이라고 실체를 추정한 대부분의 과학 영재들은 물방울이 잎 끝에 맺힌 원인보다는 잎 표면에 맺힌 물방울이 잎 끝으로 이동하여 둥글게 맺히는 방법에 치중하여 사고하였다. 이 과정에서 연잎 효과나 소수성 등 여러 가지 조건을 개입시켜 의문 상황의 구조를 복잡하게 만들었다.

S7: 빗방울은 여기(끝)으로만 떨어지는 게 아니잖아요. 그래서 다 맺히는데. 그리고 이슬은... 이슬도 폭잎 가운데 맺히고 그럴 때가 있는데 이건 거의 다 동일하게 여기, 이 끝 쪽에만 맺혀 있어요. 일단 비나 이슬은 아닌 테고.

일반적으로 가설 생성 단계에서 나타나는 유추의 유형은 기억 인출에 의한 것이 가장 높은 비율을 나타내었다. S3과 같이 학습한 개념을 바탕으로 설명하거나, 과거의 경험을 바탕으로 가설을 세워 현상의 원인을 설명하고 있다.

S3 : 물방울이 맺히는 이유는 물끼리 서로 붙으려는 성질 그것 때문에... 그래서 잎 끝에 붙

어 있다가 중력 때문에 더 세지고, 더 세져서 떨어지기 직전의 모습....

일반적으로 대부분의 학생들은 이와 같이 수증기 응결 때문에 물방울이 나뭇잎의 외부에 만들어지고, 물의 표면장력과 중력의 영향으로 잎의 가장자리에 맺힌다는 설명을 하고 있다. 이러한 기억 인출에 의한 유추가 많은 비율을 차지하는 이유는 인과적 의문과 유사한 과거의 경험들 가운데 경험빈도가 높은 경험 상황을 설명자로 전이시키는 고착이 발생했기 때문이다. 이러한 기억 인출 유추는 인과적 질문이 힌트의 역할을 하고, 문제 해결의 기초적 역할을 한다. 또한 내용고착 현상이 많이 발생하였는데, 다양한 유사 경험들을 인출하지만 의문 상황을 더욱 그럴듯하게 설명하는 설명자보다는 자신의 경험빈도가 높은 설명자를 선택하였다.

과학 영재의 의문 상황 표상 단계에서 나타난 하위 추론 요소는 시작 조건 확인, 활동 확인, 대상 속성 탐색, 경험 지식 표상, 경험 지식과 현상 비교, 의문 생성, 단순화 및 변형, 실체 추정, 실체 속성 확인 등이다. 그런데 과학 영재의 경우 다른 요소에 비하여 상대적으로 단순화 및 변형, 실체 추정 및 실체 속성 확인의 요소가 적게 나타났다. 목표 현상을 관찰하고 이와 관련된 경험지식을 표상하여 둘 사이의 차이점에 의해 의문을 생성하지만, 의문 현상을 일으키는 실체를 추정하거나 실체의 속성 확인이 없이 대상 속성 탐색 결과에 의하여 문제를 표상하고, 그 결과 가설을 생성하는 경향이 짙었다. Clement(1988)에 따르면 문제의 핵심에 도달하는데 있어 변형이 중요한 역할을 한다. 앞서 과학자의 가설 생성 과정을 살펴보았을 때, 그들은 문제를 단순화하거나 변형함으로써 의문 현상을 일으키는 데 핵심적인 역할을 하는 실체를 추정하고, 그 속성을 탐색할 가능성을 증가시킬 수 있었다. 이러한 문제의 단순화 및 변형 과정이 없으면 문제의 핵심적인 요소에 도달하지 못하여 성공적인 문제 해결이 어렵다(Kim & Lee, 2002). 과학 영재의 경우 문제를 단순화하거나 변형하지 못함으로써 현상의 실체나 실체의 속성을 파악하지 못하는 경향이 있었다. 즉, 의문 현상을 일으키는 핵심적인 실체를 파악하기 보다는 겉으로 보이는 대상 속성에 의하여

<Table 2> Lower deduction factor exposed when elementary school gifted students propose hypothesis

[illegible]

문제를 표상하였고, 이것이 이후의 유추와 가설 생성 및 선택에 영향을 주었다. 반면, 드물게 문제를 단순화하거나 변형한 과학 영재의 경우에는 목표 현상의 대상 속성 중 의문 현상의 직접적인 원인과 관련되는 것에 집중하여 가설을 생성하는 경향을 보였다. 이런 경우 최종 후보 가설 선택 시 목표 현상의 실제 원인과 일치하는 가설을 생성하기도 하였다. 예를 들면 초등학교 과학 영재 S4의 경우에는 제시한 6장의 잎 사진 중 잎의 표면에 맺힌 물방울이나 주변의 날씨, 조도, 식물이 위치한 장소 등을 배제하고, 잎맥과 그 끝에 달린 물방울에만 주의를 기울였고, 목표 현상의 원인과 일치하는 가설을 생성하였다.

94 : 물방울이 다른 부분에도 맺힐 수가 있는데, 꼭 잎의 가장자리 부분에만 맺혀있어 가지고, 거의 대부분. 이 (5번 사진) 것처럼 잎의 표면에 있는 것들은 무시해도 될 것 같아요. ... 전체적으로 보면 잎맥이 다, 이렇게 물방울이 끝에 맺혀있는 쪽으로 나 있는데, 이 잎맥에서 영양분하고 수분이 흐르고, 그 낮은 찌꺼기들을 그 잎 끝으로 다 태워 내니까...

이와 같이 문제 해결에 불필요하거나 방해가 되는 요소를 제거하고 핵심적인 측면에만 치중하여 대상 속성을 탐색하는 것이 가설 검증에 성공할 가능성을 높인다는 것을 확인할 수 있었다. 가설 연역적 추론을 수행하는 학생들에 관한 선행 연구들 (Jeong *et al.*, 1998; Kwon, 1998)에서도 과학적으로 옳은 가설을 받아들이려면 과제와 관련이 없는 초기의 정보를 억제하는 것이 중요하다고 주장한다. 불필요한 정보를 억제하고 핵심적인 속성을 중심으로 문제를 표상함으로써 문제와 구조적으로 관련된 바탕 유사체를 찾고, 이는 문제 해결의 가능성을 높여준다 (Gentner, 1989).

두 번째, 의문 상황 표상 방식의 차이에 따라 이후의 유추 과정 및 가설 생성 과정에도 차이가 있었다. 이 때 기존의 경험 지식을 배제하고 완전히 새로운 방식으로 문제를 표상하였을 때 가설 검증의 성공 가능성이 증가하였다. 예를 들어 초등학교

과학 영재 S1의 경우, 잎에 맺힌 물방울을 관찰하였을 때, 이슬과 비 등 잎에 물방울이 맺힐 수 있는 일반적인 현상을 모두 제거하고 전혀 다른 방식으로 문제를 표상하였다.

<부록 1>은 일액 현상에 관한 가설을 생성 및 면담하는 중에 초등학교 과학 영재 s18이 생성한 프로토콜이다. 과학 영재 s18은 일액 현상을 관찰하고 배경 지식으로 있던 풀잎에 맺힌 이슬이나 빗방울과 비교하여 차이점을 찾은 후 의문을 생성하였다. 의문을 해결하기 위하여 증산작용이나 응결 현상 등 과거의 경험이나 지식을 통하여 여러 가지 바탕 유사체를 도출하였다. 이 중 결정적으로 6장의 사진이 공통적으로 잎맥의 끝에 물방울이 맺혀 있다는 사실을 관찰함에 따라 잎맥의 역할을 떠올리고, 이와 관련하여 사람이 소화 과정에서 부산물을 밖으로 배출한다는 바탕 유사체와 비교함으로써 최종적으로 잎 끝에 맺힌 물방울이 잎 안에서 나온 영양분이나 남은 물이라는 가설을 선택하였다.

IV. 결론

이상의 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 초등과학 영재들의 귀추적 사고과정에서 유추가 관찰되었다. 특히 인과적 의문 생성과정에서 표면적 유추 사용 비율이 월등히 높았다. 또한 유추 기반 가설 생성 과정에서 의문상황표상, 후보 가설탐색 및 생성 과정에서 여러 하위 추론 요소들이 관찰되었다.

또한 과학 영재의 가설 생성 시 의문 현상에 관한 표상이 이후의 유추 과정에 영향을 미치고 최종적으로 가설을 선택하는 데에까지 영향을 주었다. 세부적인 특징을 살펴보면, 의문 현상과 관련하여 해당 영역 지식이 풍부한 경우에는 관련된 바탕 유사체를 곧바로 표상하여 그로부터 가설을 생성하였다. 이와 다르게, 의문 현상과 관련된 지식이 적은 경우에는 의문 상황 표상 단계에서 탐색한 대상 속성에 의하여 실체를 추정하고, 이와 연관된 바탕 유사체를 탐색함으로써 여러 가지 후보 가설을 만든

다. 이 중 의문 상황 표상 단계에서 탐색한 대상의 속성을 가장 잘 설명해줄 수 있는 가설을 최종적으로 선택하는 경향을 보였다. 이 때 과학 지식과 일치하는 가설을 생성하기 위해서는 변형이나 단순화를 통하여 원리 중심으로 문제를 표상하는 것이 중요함을 확인할 수 있었다. 또한 가설 생성 시 크게 두 단계에서 유추가 나타났는데, 의문 상황 표상 단계에서는 표면적 유사성에 의하여 목표 현상과 표면적으로 유사한 경험을 떠올리고, 두 상황 사이의 차이점을 발견함으로써 의문을 생성하였다. 반면 후보 가설 탐색 및 생성 단계에서는 의문 현상을 설명하기 위해 구조적으로 유사한 바탕 유사체를 도출하고 이들 사이의 대응을 통해 유추를 생성하였다.

이와 같은 연구 결과로 보아, 학생들에게 다양한 유추의 기회를 충분히 제공할 필요가 있다고 생각된다. 유추를 생성하는 경험을 통하여 두 영역 사이의 표면적, 구조적 유사성을 인식하고 이를 전이함으로써 지식의 폭을 확장시킬 수 있기 때문이다. 또한 다양한 유추 생성 경험을 통하여 사고의 범위를 넓힐 수 있는 기회를 가지게 될 것이다.

참고 문헌

- Cho, H. J., Jeong, S. H., Yang, I. H. (2008). The Development of the Analytic Coding Frames on the Abductive Reasoning in Scientific Inquiry. Journal of the Korean Earth Science Society, 29(7), 586-601.
- Choi, Y. J., Lee, W. S., Choi, B. S. (1985). A study on Logical Thinking Formation of Middle and High School Student's. Journal of the Korean Association for Research in Science Education, 5(1), 1-9.
- Chung, W. H., Kim, Y. S., Kwon, Y. J. (1998). Neuropsychological Variables on the Development of Logical Thinking in Junior High School Students. Journal of Science Education, 8(1), 106-125.
- Encyclopedia of life science (2008). Academybooks
- Jeong, J. S., Won, H. J., Kwon, Y. J. (2005). Application of the Triple Abduction Model for Improving the Skills of Scientific Hypothesis Generation. Journal of the Korean Association for Research in Science Education, 25(5), 595-602.
- Jeong, S. H., Choi, H. D., Yang, I. H. (2011). An Analysis of Abductive Reasoning on the Inquiry of Scientists and Elementary School Gifted Children in Science, Journal of the Korean Association for Research in Science Education, 31(6), 901-919.
- Kang, S. H., Park, J. Y., Noh, J. W. (1998). A Comparative Analysis of the GALT Full Version and Short Version Used in the Science Education Researches. Journal of the Korean Association for Research in Science Education, 18(3), 399-413.
- Kim, D. S., Lee, Y. M. (2002). The Effects of Web based multi-user Object Oriented Learning Environment on Problem Representation Learning. Korean journal of educational research, 40(2), 65-88.
- Kwon, Y. J., Yang, I. H., Chung, W. W. (2000). An Explorative Analysis of Hypothesis - Generation by Pre-service Science Teachers. Journal

- of the Korean Association for Research in Science Education, 20(1), 29-42.
- Kwon, Y. J., Jeong, J. S., Kang, M. J., Yang, I. H. (2002). A Process of Creative Knowledge-Generation in Scientific Explanation. *The Journal of creativity education*, 5(1), 5-18.
- Kwon, Y. J., Jeong, J. S., Park, Y. B., Kang, M. J. (2003). Focused on Inductive, Abductive, and Deductive Processes - A Philosophical Study on the Generating Process of Declarative Scientific Knowledge. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 23(3), 215-228.
- Kwon, Y. J., Jeong, J. S., Kang, M. J., Kim, Y. S. (2003). A Grounded Theory on the Process of Generating Hypothesis-Knowledge about Scientific Episodes. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 23(5), 458-469.
- Lee, B. J. (1992). Special Issues in the Philosophy and History of Science - : Scientific Realism and Explanation. *Society of Philosophical Studies*, 31, 184-203.
- Lee, J. W., Harm, K. R. (2011). The Use of Analogy in Teaching and Learning Geography. *Journal of the Korean Geographical Society*, 46(4), 534-553.
- Oh, P. S., Kim, C. J. (2005). A Theoretical Study on Abduction as an Inquiry Method in Earth Science. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 25(5), 610-623.
- Park, J. W. (2001). Focused on the analysis of university students' responses = Analysis of Students' Processes of Generating Scientific Explanatory Hypothesis. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 21(3), 609-621.
- Park, J. W. (2004). A Suggestion of Cognitive Model of Scientific Creativity (CMSC). *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 24(2), 375-386.
- Ryu, C. R., Lee, Y. G. (2010). An Analysis of the Reliability of Group Assessment of Logical Thinking (GALT) using Generalizability Theory. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 31(1), 95-105.
- Yang, I. H., Jeong, J. S., Kwon, Y. J., Jeong, J. W., Hur, M., Oh, C. H. (2006). An Intensive Interview Study on the Process of Scientists' Science Knowledge Generation. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 26(1), 88-98.
- Bassok, M. (2003). Analogical transfer in problem solving. In J. E. Davison, & R. J. Sternberg (Eds.), *The psychology of problem solving* (pp. 343-369). NY: Cambridge University Press.
- Baral, C. (2000). Abductive reasoning through filtering. *Artificial Intelligence*, 120(1), 1-28.
- Clement, J. (1988). Observed methods for generating analogies in scientific problem solving. *Cognitive Science*, 12(4), 563-586.
- Clement, J. (2008). *Creative model construction in scientists and*

- students: The role of imagery, analogy, and mental simulation.* Dordrecht: Springer.
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education* (6th ed.). London: Routledge.
- Dunbar, K., & Blanchette, I. (2001). The in vivo/in vitro approach to cognition: The case of analogy. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(8), 334-339.
- Fisher, H. R. (2001). Abductive reasoning as way of worldmaking. *Foundations of Science*, 6(4), 361-383.
- Gentner, D. (1989). The mechanisms of analogical learning. In S. Vosniadou, & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning*. NY: Cambridge University Press.
- Gentner, D., & Medina, J. (1998). Similarity and the development of rules. *Cognition*, 65(2-3), 263-297.
- Hanson, N. R. (1958). *Patterns of discovery: An inquiry into the conceptual foundations of science*. NY: Cambridge University Press.
- Holyoak, K. J. (2005). Analogy. In K. J. Holyoak, & R. G. Morrison (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 117-142). NY: Cambridge University Press.
- Klahr, D., & Dunbar, K. (1988). Dual space search during scientific reasoning. *Cognitive Science*, 12(1), 1-48.
- Kucan, L., & Beck, I. L. (1997). Thinking aloud and reading comprehension research: Inquiry, instruction, and social interaction. *Review of Educational Research*, 67(3), 271-299.
- Kwon, Y. J. (1998). How do the prefrontal lobes mediate scientific reasoning and conceptual change in adolescents? *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 18(3), 437-441.
- Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. *Personnel Psychology*, 28(4), 563-575.
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching: And the development of thinking*. CA: Wadsworth Publishing Company.
- Lawson, A. E. (2002). What does Galileo's discover of Jupiter's moons tell us about the process of scientific discovery? *Science & Education*, 11(1), 1-24.
- Leake, D. B. (1995). Abduction, experience, and goals: A model of everyday abductive explanation. *The Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 7(4), 1-25.
- Lipton, P. (1991). Inference to the best explanation. In W. H. Newton-Smith (Ed.), *A companion to the philosophy of science* (pp. 184-193). Oxford: Oxford University Press.
- Magnani, L. (2001). *Abduction, reason, and science: Processes of discovery and explanation*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Magnani, L. (2005). An abductive theory of scientific reasoning. *Semiotica*, 2005(153-1/4), 261-286.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative evaluation methods* (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.
- Pedone, R., Hummel, J. E., & Holyoak, K. J. (2001). The use of diagrams in analogical problem solving. *Memory and Cognition*, 29(2), 204-221.
- Reed, S. K. (2006). *Cognition: Theory and applications*, (7th ed.). Belmont, CA: Wadsworth.
- Roadrangka, V., Yeany, R. H., & Padilla, M. J. (1983). The Construction and Validation of Group Assessment of Logical Thinking(GALT), *Paper presented at the 56th annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching*, Dallas.
- Schurz, G. (2008). Patterns of abduction. *Synthese*, 164(2), 201-234.
- Sternberg, R. J., & Downing, C. J. (1982). The development of Higher-order reasoning in adolescence. *Child Development*, 53(1), 209-221.
- Thagard, P. (1988). *Computational philosophy of science*. London: MIT Press.
- Weisberg, F. W. (2009). *Creativity: Understanding innovation in problem solving, science, invention, and the arts*. (Mi-Seon Kim, Trans.). Seoul : Sigmapress. (Original work published 2006).
- Wenham, M. (1993). The nature and the role of hypothesis in school science investigations. *International Journal of Science Education*, 15(3), 231-240.

<부록 1> 초등학교 과학 영재 s18의 프로토콜과 하위 추론 요소

중요 프로토콜	하위 추론 요소 코드
물방울들이 앞에서 톱니모양으로 되어 있는 부분의... 끝에. 이렇게 뽕족하고 색깔이 다른 부분에,	시작 조건 확인
몽쳐있는 데서 물방울이 다 맺혀 있어요.	활동 확인
다른 부위들도 많은데 왜 꼭 앞의 가장자리 끝부분에만 물방울이 맺혀 있을까.	의문 생성
물방울이 다른 부분에도 맺힐 수가 있는데, 꼭 앞의 가장자리 부분에만 맺혀있어 가지고, 거의 대부분.	경험 지식과 현상 비교
아침에 밖에 나가보면 풀에 물방울이 많이 맺혀있어요. 또 비 온 다음에도 물방울이 맺혀 있는 것을 본 적이 있어요.	경험 지식 표상
그냥 끝부분에 맺히는 것도 있고, 아니면 앞 위에 맺혀있는 것도 있고.	경험 지식 표상
증산작용을... 하는... 도중에 그... 밖에서 날씨가 차가워져서, 밖이 더 날씨가 차가워서	바탕 유사제 탐색
나온 수증기가	실체 추정
응결되어가지고 앞의 끝부분에 맺히는 것 같기도 하고요.	설명자 차용 및 가설 생성
사진들을 전체적으로 보면 잎맥이 다, 이렇게 물방울이 끝에 맺혀있는 쪽으로 나 있는데,	단순화 및 변형
이 잎맥에서 영양분하고 수분이 흐르고, 그 남은 찌꺼기들을	실체 추정
앞 끝으로 다 배출하는 것 같기도 하고요.	설명자 차용 및 가설 생성
잎맥이 그 끝 쪽으로 되어 있는 데에서 물방울이...	대상 속성 탐색
영양분하고, 수분하고, 그런... 남은 것들.	실체 추정
이슬일 수도 있겠다는 생각도 드는데요.	실체 추정
다른 그림들을 보면 거의 다 끝부분에만 맺혀져 있고, 다른 부분에는 거의 물방울이 맺혀져 있지가 않고.	대상 속성 확인
그래서 이슬이 아닐 수 있다는 생각을 했어요.	가설 수락 및 기각
이런 잎맥... 같은 걸 관찰했을 때	단순화 및 변형
잎맥 끝에 있으니까.	대상 속성 확인