

## 해설

## 과학의 본성에 대한 학생의 생각을 조사하기

장 병 기

(춘천교육대학교 과학교육과)

## Investigating the Pupils' Ideas about the Nature of Science

Jang, Byung-Ghi

(Chunchon National University of Education)

## ABSTRACT

Understanding the nature of science is being emphasized recently among the major goals of science education. The nature of science is concerned with aims of scientific work, the status and nature of scientific knowledge, and science as societal institution. This is a review on how to investigate the pupils' ideas about the nature of science, which was suggested by Driver et al. in their book 'Young people's images of science (1996)'. The purpose of this review is to consider the methodological problems of investigating the pupils' ideas about the nature of science, and to get the implications of developing the instruments about it. The instruments, developed by Driver et al., are described as a model and their suggestions are surveyed. Several hints are given this article to develop the similar instruments.

**Key words :** nature of science, pupils' ideas, development of instruments

## I. 서 론

과학교육자들은 지난 이삼십 년 동안 학생의 행동이나 생각을 이해하는데 많은 노력을 기울여왔다. 예를 들어, 자연 현상이나 과학의 본성에 대해서, 또는 문제 해결에 대해서 학생이 어떻게 생각하고 행동하는지 이해하는 것은 과학교육의 중요한 과제 중의 하나가 되었다. 학생의 생각이나 행동을 이해하기 위한 노력으로 사건 또는 사례 면담법(IAE: Interview About Events 또는 IAI: Interview About Instances), 개념도 그리기(concept mapping), 예상-관찰-설명하기(POE 과제), 단어 연상법, 그림그리기, 개념 만화, 준-구조화된 면담, 소리 내어 생각하기(think aloud), 질문하기, 관찰법, 끝열린 설문지 등 다양한 방안이 여러 상황 속에서 제시되어 왔다(Wandersee, Mintzes & Novak, 1994; White & Gunstone, 1992). 또한, 연구 목적을 위해 학생의 생각을 측정하는 표준화된 여러 도구도 개발되어 왔다.

특히, 최근에는 과학교육의 목적이 과학 지식이나

과학적 방법에 대한 강조에서 사회 제도로서의 과학으로 관심이 집중되면서 과학 개념에 대한 학생의 생각과 더불어 과학 자체에 대한 학생의 생각을 이해하기 위한 연구가 중요하게 부각되고 있다. 그리고 과학의 본성에 대한 학생의 생각을 조사하기 위해 면담법과 설문지를 비롯하여 리커트형, 선다형, 서술형 등 다양한 검사도구가 제작되어 사용되고 있다. 학생의 생각을 올바르게 이해하기 위해서는 그와 같은 검사도구와 관련된 문제를 바르게 인식해야 그 결과를 정확하게 해석할 수가 있다. 과학의 본성에 대한 학생의 생각을 조사하는데 있어 Driver 등(1996)의 광범위한 논의는 그 점에서 매우 많은 시사점을 제공한다. 그러나 우리나라의 경우 그에 대한 깊이 있는 연구가 부족하여 외국에서 개발된 검사도구를 그대로 번안하거나 수정하여 사용하는 경우가 많다. 따라서 과학의 본성에 관한 학생의 생각과 관련하여 상대적으로 부진한 우리나라의 연구를 좀더 증진시키기 위해 Driver 등이 개발한 검사도구를 중심으로 그와 관련된 문제를 살펴보고 검사도구 개발

방안을 논의하고자 한다.

## II. 연구 방법론에 대한 고찰

과학의 본성에 대한 학생의 생각을 조사하기 위해서는 먼저 ‘과학의 본성’이라는 말이 무엇을 의미하는지 논의되어야 할 것이다. 이에 대한 논의는 여러 가지 관점에서 제시될 수 있지만, 학교 과학의 관점에서 학생들이 그에 대해 무엇을 이해하기를 기대하는지에 초점을 맞추는 것이 연구 목적을 위해서는 바람직할 것이다. 본 소론에서는 그에 대한 자세한 논의는 생략하고, Driver 등의 의견에 따라 ‘과학의 본성’에 대한 이해가 과학 활동의 목적, 과학 지식의 본성과 위상, 사회적 활동으로서의 과학을 이해하는 것과 관련이 되어있다는 것만을 제시한다. 그리고 여기서는 연구의 내용적인 측면보다는 방법론적인 측면을 중점적으로 고찰하고자 한다. 과학의 본성에 대한 학생의 생각을 조사하기 위하여 개발될 수 있는 검사도구의 문항과 관련하여 일반적으로 제기될 수 있는 문제의 종류는 그림 1과 같다.

첫 번째는 문제 상황과 관련된 것으로 제시된 질문이나 조사 도구가 구체적인 상황인가 또는 일반적인 상황인가, 아니면 상황과 관계없는 형태인지의 문제이다. 검사도구가 상황이 제시되지 않은 일반적인 질문으로 이루어진 경우 학생들이 어떤 생각을 갖고 반응했는지 알기가 어렵다. 예를 들어, ‘가설이란 무엇인가?’(Carey et al., 1989), ‘왜 과학자가 실험을 한다고 생각하는가?’(Solomon et al., 1994) 등과 같은 질문이다. 어쩌면 학생들은 구체적인 상황에 기반을 두지 않고 답을 할지도 모르지만, 이와 같은 질문

은 학생들이 마음속에 어떤 구체적인 상황을 바탕으로 반응했는지 알기가 불가능하다. 더구나, ‘여러분은 과학자가 왜 실험을 한다고 생각합니까?’라는 질문은 학생들이 마음속에 어떤 종류의 과학자를 생각하고 있는지, 또는 어떤 종류의 실험을 생각하고 있는지에 따라 다르게 반응할 여지가 많다. 따라서 이러한 불확실성은 이런 방법으로 얻은 자료를 해석하는데 있어 그 신빙성을 떨어뜨리기 쉽다. 그러나 구체적인 상황 속에 설정된 문제는 그러한 해석의 불확실성을 피할 수는 있지만 그것을 일반화하기는 어렵다. 예를 들면, ‘원자력과 같은 사회적 문제를 해결하는데 있어 과학의 역할은 무엇인가?’(Aikenhead et al., 1987)와 같은 문제는 선택된 상황이 원자력이라는 구체적인 상황 때문에 그 결과를 다른 과학 관련 사회적 문제로 일반화하기가 매우 어렵게 만든다.

두 번째 종류의 문제는 질문과 과제가 상황 속에서 구체적으로 설정되는 경우에도, 주어진 상황이 ‘실제 과학’이나 ‘학교 과학’의 상황에 따라 차이가 있을 수 있다는 것이다. 특히, 실제 과학의 경우에 대답하는데 필요한 지식의 본성과 정도에 대한 문제가 뒤따른다. 예를 들어, Aikenhead 등(1987)은 과학자들의 활동에 대한 학생들의 생각을 조사했지만, Carey 등(1989)과 Solomon 등(1994)은 교실 상황에서 그것을 조사하였다. 교실 상황의 경우에 학생들의 생각을 더 끌어내기가 쉬웠다. 실제적인 과학자의 활동에 대한 지식을 갖고 있지 못한 경우에 그에 대한 학생들의 반응은 피상적이 되기 쉽기 때문이다. 그렇지만 과학 수업을 통한 자연스러운 관찰의 경우에는 연구 문제와 관련된 적절한 상황을 찾기가 힘들고, 실제 과학에 대한 생각을 조사할 수 있는 상황이 거

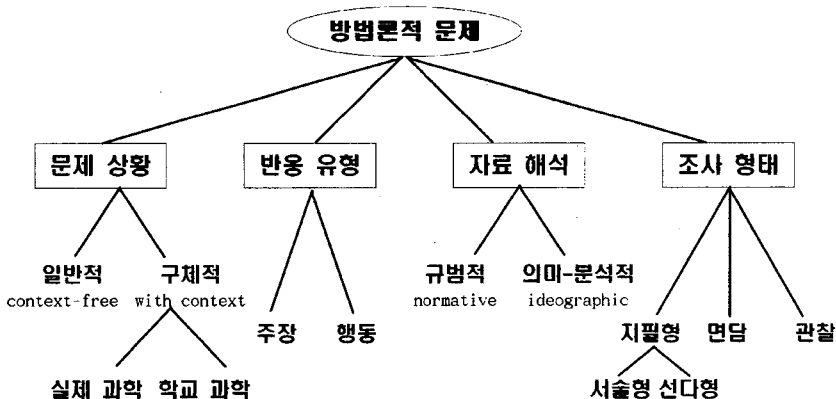


그림 1. 연구 방법론과 관련된 문제

의 주어지지 않을 수 있으며, 또한 전체적으로 일관성을 갖추기도 힘들 것이다. 아울러 학교 과학은 '실제' 과학과는 다른 목적을 위해 수행되고 있고, 학생들은 이것을 인식할지도 모른다.

세 번째 종류는 학생의 반응 유형과 관련된 것으로 학생들이 일반적으로 주장하는 견해와 구체적인 과제를 수행하는 행동에서 추리될 수 있는 암시적인 견해가 서로 차이가 있을지 모른다는 것이다. 연구자들은 관련된 문제 상황과 관계없이 질문을 통해 학생들의 주장에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이것은 학생들이 구체적인 과제를 해결하기 위해 실제로 행동할 때 암시적으로 표현한 생각과 같을 수도 있고, 그렇지 않을 수도 있다. 예를 들어, Karmiloff-Smith와 Inhelder(1974)는 학생들을 직접 실제적인 수평 맞추기 과제에 참여시킴으로써 경험적 탐구에 대한 학생들의 생각을 조사하였다. 그 결과는 상황과 무관한 방법으로 학생들에게 경험적 탐구의 본성에 대해 질문하는 것과는 매우 다르게 나타났다. 주장된 견해와 행동 속에 암시된 견해 사이의 구별은 중요한 문제이다. 예를 들어, Rowell과 Dawson(1983)은 과학의 본성에 대한 학생들의 견해가 학생들이 실제로 과학적 탐구를 수행하는 방식에 반영되어 있지 않을 수도 있다는 것을 보여 주었다. 다시 말해 학생들은 그렇게 주장하지만, 실제로 매우 다르게 행동할 수 있다는 것이다.

네 번째 종류는 자료 해석의 문제로, 자료를 해석하는데 있어 미리 규정된 견해와 비교하는 규범적(normative) 접근방식과 학생들의 관점에서 서술하는 의미-분석적(ideographic) 접근방식 사이에는 차이가 있을 수 있다는 것이다. 규범적인 접근방식에 있어서는 먼저 조사하고자 하는 과학의 본성에 대한 어떤 측면을 확인하고, 그러한 측면의 내용을 구체화하여, 학생들의 생각을 평가하는 잣대로 사용한다. 예를 들어, 과학적 탐구의 본성에 대한 연구 문제에 초점을 맞추고, 가설-연역적 관점과 같이 미리 규정된 특정한 견해에 학생들의 생각이 어느 정도 일치하는지 알아보기 위해 반응을 분석하는 것이다. 반면에 의미-분석적 접근방식에 있어서는 학생의 관점에서 학생의 반응을 이해하기 위해 학생들의 견해를 끌어내고 서술하려는 것이다. 이것은 미리 규정된 기준과 일치하는 정도를 단순히 판단하는 것이 아니라, 학생들의 말로써 학생들의 반응을 이해하려는 것이다. 예를 들어, Solomon 등(1994)의 연구에서 사용된 선다형 문

항은 규범적인 접근방식의 가정을 구체화한 것으로 볼 수 있다. 또한 가설-연역적인 관점이 귀납적인 관점보다 좀더 세련된 것이라는 Carey 등(1989)의 연구도 규범적인 접근 방식을 따르는 것으로 볼 수 있다. 물론 그것이 일반적인 결론이 아니라 연구자들이 사용한 구체적인 수업과 관련된 결론이라면 다르게 해석될 수도 있을 것이다. 반면에, 면담 문제에 대한 학생들의 반응을 기초로 하여 실험에 대한 학생들의 생각을 4 집단의 분류 항목으로 개발한 Carey 등의 과제나 Aikenhead 등(1989)의 VOSTS 문항은 의미-분석적 접근방식을 따른 것이다. 규범적인 접근방식의 경우에는 연구자에 따라 서로 다른 관점을 취할 수 있다는 문제가 있고, 의미-분석적 접근방식의 경우에는 피험자 집단이나 문화적 차이에 따라 반응이 상당히 다를 수 있어 검사도구를 집단의 특성과 상관없이 일반화하여 사용하기가 어렵다는 것이다.

다섯째는 조사 형태와 관련된 것으로 검사도구의 유형과 관련된 문제가 존재한다는 것이다. 특히, 질문이나 과제의 진술에서 사용되는 언어의 의미가 학생과 연구자 사이에 일치하지 않는 경우가 많다. 따라서 선다형 검사나 설문지 또는 열린 질문의 경우 학생들은 질문자가 의도한 의미대로 문제를 이해하기가 그리 쉽지 않다. 또한 선다형의 경우에는 학생들의 반응을 제한하여 학생에게 선택을 강요하고, 열린 질문의 경우에는 질문에 대한 학생들의 반응이 의미하는 바가 매우 모호하여 반응을 명확하게 하기 위해서는 추가적인 조사를 필요로 하는 경우가 많다. 예를 들어, Aikenhead(1988)는 리커트(Likert)형 문장, 선다형 문항 및 면담 등 4 가지 유형에 대한 학생들의 반응을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다(우종욱과 소원주, 1995). 리커트형은 모호성이 80% 정도로 단지 학생들의 생각을 엿볼 수 있을 뿐이고, 서술형 문장은 모호성이 35%에서 50% 정도인 것으로 나타났다. 가장 정확한 자료를 제공하는 것은 5% 정도의 모호성을 갖는 준-구조화된 면담이지만, 자료 수집과 분석에 많은 시간이 걸린다는 단점이 있다. 반면에 경험적으로 만들어진 선다형 문항은 모호성을 15%에서 20% 수준으로 낮출 수 있었다는 것이다. 그러나 실태조사(survey) 도구의 개발은 다음과 같이 좀더 탐색적인 초기 연구를 필요로 한다. 예를 들어, 핵심 문제를 결정하고, 그 내용을 글로 나타내서 이해할 수 있도록 해야 한다. 특히, 선다형을 사용하는 경우에는 제공될 답지의 범주와 표현되어야

할 용어를 선정해야 한다. 또 다른 극단의 방법은 과학의 본성에 대한 학생들의 이해가 분명하게 드러날지 모르는 상황 속에서 학생들을 관찰하는 것에 기초한 연구일 것이다. 이것이 가능한 장소는 학교 과학 교실일 것이다. 예를 들어, 정규 과학 수업에 아동을 관찰하고, 자신들이 무엇을, 왜 하고 있다고 생각하는지에 대해 물어볼 수 있을 것이다. 그렇지만 단지 어떤 수업 활동만이 관련된 문제를 제기할 것이고, 특정한 수업 활동에서 관련된 모든 문제와 질문을 포함하기는 어려울 것이다. 또한, 구체적인 상황과 장면이 매우 다양하여, 연구자가 관찰된 상황에 어떤 구속 조건을 거의 부여하지 못할 것이다. 또한, 과학 수업에서 수행된 활동들은 실제로 일어나는 과학자들의 활동을 언급할 가능성을 거의 제공하지 않을지도 모른다.

학생의 생각을 이해한다는 것은 이와 같은 의미에서 쉬운 과제는 아니다. 그렇지만 조사와 관련된 이와 같은 문제의 이해는 좀더 적절한 검사도구의 고안과 개발에 도움을 줄 것이다. 다음 절에서는 그에 대해 요약할 것이다.

### III. 적절한 검사도구의 개발

과학의 본성에 대한 학생의 생각을 효과적으로 조사하기 위해서는 앞에서 논의한 방법론적 문제들을 고려하여야 한다. Driver 등은 그것을 토대로 과학의 본성에 대한 학생의 생각을 조사하기 위한 적절한 검사도구를 개발하는 방안을 다음과 같이 제시하였다.

- (1) 지필이나 관찰 방식보다는 구체적인 과제에 초점을 맞춘 자료를 제공하고, 학생들이 그것을 해결하는 과정에서 연구자는 부분적으로 구조화된 면담을 사용하도록 한다. 구조화된 면담은 학생들의 반응을 분명하게 하고 필요한 만큼 심층적으로 조사할 수 있게 하며, 학생들을 조사하려고 하는 문제와 질문에 집중시킬 수 있게 하는 최선의 수단이기 때문이다.
- (2) 과학이나 과학 지식에 대해 좀더 일반적이고 추상적인 진술을 하는데 있어 학생들이 어떤 상황을 생각하고 있는지 아는 것이 중요하기 때문에, 구체적인 사례 속에서 의미-분석적인 접근방식을 취하도록 한다. 예를 들어, '실험은 무엇인가?'와 같은 상황과 무관한 질문은 학생들이 주장하는 생각을 조사할 수 있게 할지 모르지만, 학생들의

반응을 해석하는데 심각한 문제를 초래한다. 실험이라는 말은 일상적으로도 여러 가지 뜻이 있고, 학생들의 마음속에서 서로 다른 다양한 의미로 사용될지 모르며, 과학자들도 서로 다른 여러 이유 때문에 실험을 수행하기 때문이다. 따라서 학생들에게 어떤 구체적인 상황이 없는 문제에 반응하도록 한다면 적절하게 반응하기가 어렵고, 연구자도 그것이 처해 있는 상황이 없이 그러한 반응을 이해하려고 할 때 똑같은 문제에 직면하게 된다.

- (3) 과제의 처음에 하는 질문은 언제나 주어진 상황 속에서 구체적인 문제에 대해 생각하고 성찰할 수 있는 기회를 제공하도록 한다. 따라서 두 명씩 짝을 이루어 구체적인 문제에 대해 토의하고 해결해 보는 시간을 허용하도록 한다. 그리고 후속적인 질문은 주어진 일련의 상황과 관련하여 좀더 일반적인 질문을 제기하도록 한다. 다시 말해 학생들에게 후속적인 질문을 통해서 여전히 주어진 일련의 상황과 관련을 지으면서, 검사 문항에서 사용된 다른 상황들에서 학생 자신들이 한 대답의 공통적인 특징을 생각해 보도록 한다. 아울러 모든 검사는 한 가지 이상의 상황을 사용하여 반응의 상황-특정적인 특징과 의미의 미묘한 차이를 연구자가 탐지하도록 한다.
- (4) 학교 과학과 실제 과학이라는 상황 사이의 균형을 맞춘다. 모든 검사 문항을 한 가지 상황 속에 설정하기로 결정하는 것은 다른 문제들을 초래할 수 있기 때문이다. 여기서 핵심적인 문제는 학교 과학과 실제 과학 사이의 균형이다. 실제 과학의 본성에 대한 학생들의 생각이 학교 과학의 본성에 대한 학생들의 생각과 같다고 가정할 수 없기 때문이다. 또한, 학교 과학에 대한 학생들의 생각은 실제 과학에 대한 자신들의 생각보다는 좀더 직접적이고 광범위한 경험에 바탕을 두기가 쉽다. 그런 의미에서 어떤 질문이나 토의 면담의 상황을 가능한 한 분명하고 명확하게 드러나게 할 필요가 있다.
- (5) 학교 교육과정과 관련된 개념적 내용을 갖고 있는 사례들을 선택하도록 한다. 예를 들어, Kuhn 등(1988)은 일상생활에서 일어날 수 있는 인위적인 경험적 인과관계를 이론으로 사용했지만, 그것은 학교 과학 교육과정 상황 속에서 전형적으로 나타나는 특정한 현상에 대해 학생들이 이론과

관련짓는 방식을 드러내지 못한다. 학생들은 그러한 현상에 대한 예상, 그리고 아마 설명들을 갖고 있기 쉽다. 학교 과학교육에서 관심이 있는 것은 그러한 형태의 설명과 그러한 상황에 대한 학생들의 추론이다. 물론 이것은 그 상황의 개념적 내용이 그 나이의 학생에게 친숙하고, 어느 정도 접근 가능할 수 있도록 상황을 선택해야 한다는 것을 뜻한다. 이것을 위해 검사도구 기능 중의 일부는 학생들이 과학의 본성에 대한 어떤 좀더 미묘한 뒷인지적(meta-cognitive) 문제를 언급하기 전에, 관련된 개념적 이해와 그 상황에 익숙해질 수 있는 약간의 시간을 학생들에게 허용하는 것이다.

(6) 과학의 본성에 대한 검사도구는 과학 활동의 목적, 과학 지식의 본성과 위상, 사회적 활동으로서의 과학에 대한 세 가지 이해를 반영하는 것이 바람직하다. 이와 관련된 연구 문제의 예는 다음과 같다:

- 학생들은 과학자들이 취급하는 종류의 문제들이 어떤 특징을 갖고 있는 것으로 보는가? (과학 활동의 목적)
- 학생들은 실험을 하는 것이 어떤 목적을 갖고 있는 것으로 보는가? 학생들은 실험을 하는 과정이 어떤 특징을 갖고 있는 것으로 보는가? (과학 지식의 위상과 본성-실험하기)
- 학생들은 과학 이론의 위상이 무엇이 되어야 한다고 생각하는가? 학생들은 이론이 현상에 어떻게 관련된다고 생각하는가? 학생들은 이론과 법칙을 어느 정도 가설적인 것으로 보는가? (과학 지식의 위상과 본성-설명의 본성)
- 이론을 받아들이거나 받아들이지 않는 것을 정당화하기 위하여 학생들은 (그런 것이 있다면) 어떤 유형의 근거에 의존하는가? (과학 지식의 위상과 본성-설명의 본성)
- 학생들은 이론이 평가된다는 것을 어떻게 생각하는가? 학생들은 이론을 자신이 설명하는 현상과 별개로 생각하는가? (과학 지식의 위상과 본성-이론의 평가)
- 학생들은 경험적 증거를 사용하여 이론을 적절하게 평가할 수 있는가? 학생들은 이론에 대한 자신의 믿음과 관계없이 이론을 평가할 수 있는가? (과학 지식의 위상과 본성-이론의 평가)
- 학생들은 과학 활동을 (개인적인 것과는 반대로)

사회적 노력으로 보는가? (사회적 활동으로서의 과학)

- 학생들은 과학자 집단 내에서의 의견 충돌을 어떻게 해석하는가? 학생들은 그것들이 어떻게 해결될 것으로 보는가? (사회적 활동으로서의 과학-논쟁의 해결)
  - 학생들은 과학 지식의 생성과 구체적 상황 속에서 그러한 지식 적용에 대한 전체적인 사회의 영향을 무엇이라고 보는가? (사회적 활동으로서의 과학-사회적 문제)
- (7) 과학의 본성에 대한 학생들의 생각을 포괄적이고 집중적으로 조사하는 경우에 조사 목적에 맞는 여러 가지 도구를 개발하도록 한다. 그럴 경우에 어떤 학생도 두 개 이상의 도구에 대해 면담(20~40분)이 이루어지지 않도록 하고, 다른 도구의 동일한 상황에 접하지 않도록 주의하는 것이 필요하다.

과학의 본성에 대한 여러 측면을 일관성 있게 조사하려는 위와 같은 시도는 단편적인 조사에서 알 수 없는 매우 많은 시사점을 제공할 것이다. 그렇지만 비록 포괄적인 검사도구의 개발이 아니더라도 위와 같은 개발 방안은 과학의 본성의 어떤 측면에 대한 집중적인 조사 도구의 개발에도 마찬가지로 유효한 도움을 제공할 것이다. 다음 절에서는 Driver 등이 개발한 검사도구의 실제 사례를 살펴볼 것이다.

#### IV. 검사도구의 개발 사례

과학의 본성에 대한 학생의 생각을 조사하기 위하여 Driver 등은 한 가지 이상의 검사도구가 대부분의 연구 문제를 포함하도록 설계하였다. 관련된 모든 연구 문제가 한 가지 이상의 상황 속에서 제기되도록 하였고, 과학의 본성에 대한 세 가지 이해의 특징들이 포함되도록 구성하였다. 몇 가지는 학교 과학 상황 속에서 설정되었고, 그 밖의 다른 것은 학교 과학과 실제 과학 모두에서 나온 상황에 의존했다. 사회적 활동으로서의 과학에 대한 학생들의 이해를 조사하는 한 가지 검사도구는 전문 과학자들의 활동 내용 속에 전체적으로 설정되었다. Driver 등에 의해 개발된 6개의 검사도구의 예는 다음과 같다.

- (1) **과학 문제:** 학생들에게 표 1과 같이 일련의 문제를 제시하고, 그것이 과학자가 흥미를 갖고 해결

표 1. 검사도구 '과학 문제'에서 제시된 사례

문 제	판단의 근거	비 고
어떠한 종류의 섬유가 방수가 되는가?	경험적 증거	자연 현상; 학교 과학 활동
가장 좋은 TV프로그램은 어느 것인가?	심미적 판단	사회 현상
돌고래를 잡는 것은 나쁜 일인가?	윤리적 가치	자연 현상
새들은 어떻게 먼 거리에서도 제갈 길을 찾는가?	경험적 증거	자연 현상
아기를 건강하게 키우기 위해 가장 좋은 식사는 무엇인가?	경험적 증거	자연 현상
주방용 세제를 살 때 큰 용기와 작은 용기 중 어느 것이 더 싸는가?	질에 대한 개인적인 평가와 경제	사회 현상
지구가 어떻게 만들어졌는가?	경험적 증거	자연 현상; 가치문제(종교적 신념?) 포함
지구의 대기는 뜨거워지고 있는가?	경험적 증거	자연 현상
밤에 낚은 집에서 귀신이 나타나는가?	경험적 증거	자연 현상, 논쟁의 여지가 있는 존재
수돗물에 어떤 종류의 박테리아가 있는가?	경험적 증거	자연 현상
금속은 자석이 될 수 있는가?	경험적 증거	자연 현상; 학교 과학 활동

하려는 '과학 문제'인지 아닌지 분류하고 이유를 대도록 했다.

- '과학적인 것'과 '과학적인 아닌 것'으로 보는 문제들의 특징에 대한 학생들의 생각, 과학적 관점에서 제기될 수 있는 문제들의 범위에 대한 지적된 한계, 학생들이 과학 지식 주장을 평가하는데 있어 실험하기와 경험적 증거의 역할에 대해 일반적으로 갖고 있는 생각 등을 조사하였다.

- 자연 현상과 사회 현상, 학교 과학과 실제 과학 활동, 경험적 검증이 가능한 것과 그렇지 않은 문제 등을 포함한 11개의 문제로 구성되었다.

- 카드로 하나씩 두 학생들에게 제시하고, 분류한 다음에 그 이유를 대도록 했다. 충분한 시간을 주어 과제가 끝나면 그것에 대해 면담자와 이야기 했다. 최종적으로 '일반적으로 어떤 문제가 과학 문제인가?'라는 질문을 했다.

표 2. 검사도구 '실험'에서 제시된 상황

이름	카드에 적힌 진술	비 고
케이크	이 사람은 조리법에 따라 케이크를 만들고 있다. 모든 재료를 계량해서, 함께 섞고, 케이크를 굽는다.	실제 활동, 알려진 결과, 상황 속에 과학에 대한 시사점이 거의 없음
결정	이 사람은 커다란 소금 결정을 만들기 위해, 선생님이 활동지에 제시한 지시에 따르고 있다.	실제 활동, 알려진 결과, 상황 속에 과학에 대한 시사점이 강함
라디오	이 사람은 라디오스위치를 켜지만, 그것은 작동하지 않았다. 라디오가 왜 작동하지 않는지 알아내고 있다.	실제 활동, 모르는 결과, 상황 속에 과학에 대한 시사점이 거의 없음
화장지	이 사람은 세 개의 화장지 중에서 어느 것이 가장 물을 잘 닦아내는지 찾고 있다.	실제 활동, 모르는 결과, 상황 속에 과학에 대한 시사점이 강함
우편물	이 사람은 우체국에서 일한다. 그는 손님이 어느 우표를 사야 할지 결정하기 위해 소포의 무게를 달고 있다.	추정, 밀반침되는 이론에 대한 시사점이 없음
비	이 사람은 보통 9월보다 4월에 비가 더 많이 내린다는 예감을 갖고 있다. 예감이 맞는지 알아보기 위해 매일 날씨를 기록하고 있다.	명백히 진술된 가설의 경험적 검증
용해	이 사람은 설탕 입자가 작을수록 더 빨리 물에 녹을 것이라는 생각을 갖고, 그것을 검사하고 있다.	명백히 진술된 가설의 경험적 검증
도체	이 사람은 전기가 모든 금속에서 통하지만, 금속이 아닌 것에서는 일부만 전기가 통한다고 생각하고 있다. 그녀는 이 생각을 검사하고 있다.	명백히 진술된 가설의 경험적 검증
풍선	병이 가열되면 풍선에 공기가 채워진다. 이것은 가열될 때 공기가 팽창하기 때문이거나, 뜨거운 공기가 위로 올라갔기 때문일 수 있다. 이 사람은 어느 생각이 더 좋은지 알아보기 위해 병을 거꾸로 세워 가열하고 있다.	설명적 이론의 경험적 평가

(2) **실험**: 표 2와 같이 특정한 활동(학교 과학, 실제 과학, 일상 상황)을 서술하는 일련의 카드를 제시하고, 각 활동을 ‘실험’, ‘실험이 아닌 것’ 또는 ‘확실하지 않음’으로 분류하고 이유를 대도록 했다. 전체 활동들을 그렇게 분류한 것에 대해 설명하고 정당화하도록 요구했다. 추가적인 질문은 제시된 상황 속에서 이론과 증거 사이의 지각된 관련성을 조사하였다.

- 실험하기의 목적에 대한 학생들의 생각, 실험과 실험하기를 특징짓기 위해 학생들이 사용한 증거, 학생들이 과학 지식 주장을 평가하는데 있어 실험하기와 경험적 증거의 역할에 대해 일반적으로 갖고 있는 생각 등을 조사하였다.
- 이론적/탐구적 요소가 없는 상황과 진술된 가설을 평가하기 위한 상황, 일상적 활동과 학교 과학 활동 등을 포함한 9개의 카드에 활동이 진술되어 있다.
- 카드에 적힌 진술을 조사하고 토의한 다음에, 카드를 분류하고 그 이유를 대도록 했다.

(3) **이론 이야기**: 학생들이 이론에 대해 이야기하는 상황을 제공하기 위한 자료로 구성되었다(부록 1 참조). 철이 녹스는 것, 가열할 때 공기의 팽창, 부패에 대한 세균 이론에 관한 짧은 세 이야기가 제시되었고, 이야기 속에는 ‘이론’과 그에 대한 증거에 관해 얘기하는 아동들이 등장한다. 각 경우에 학생들에게 ‘이론’이라는 말에서 자신이 이해한 것과 각 이론이 어떻게 검사될 수 있는지 설명하도록 하였다.

- 이론의 위상, 현상에 대한 이론의 관련성에 대한 생각, 학생들이 이론을 가설적인 것으로 보는 정도, 이론이 경험적 증거를 사용하여 평가될 수 있다는 생각, 이론과 자신이 설명할 현상을 별개로 생각하든지 등을 조사하였다.
- 이야기는 학생이 따라 읽을 수 있도록 복사하여 나누어 주고 소리를 내어 읽는다. 그리고 면담은 ‘녹’, ‘풍선’, ‘세균’ 이야기 순으로 이루어진다.
- ‘녹’과 ‘세균’ 이야기는 두 명의 주인공이 현상을 관찰하고, 한 사람이 ‘난 그것에 대한 이론을 갖고 있어’라는 말을 사용하여 현상에 대한 가능한 이론을 제시한다. 면담자는 여기서 등장인물이 사용한 ‘이론’이 무엇을 뜻한다고 생각하는지 물어 보고, 그 이론이 무엇인지 알고 있는지 조사한다.

이야기의 끝에서는 ‘등장인물들이 그 이론이 옳다는 것을 확신할 수 있는가?’, ‘그 이론이 옳다는 것을 증명하려면 어떻게 해야 할까?’라는 질문을 던진다.

- ‘풍선’ 이야기의 구조는 약간 달라서 등장인물은 두 가지 서로 다른 이론을 제시한다. 따라서 두 이야기에서 했던 질문뿐만 아니라 ‘어느 이론이 이야기 속에 있는 사용 가능한 증거를 가장 잘 설명하는가?’라는 질문을 또한 학생들에게 던진다.

(4) **믿음의 근거**: 친숙한 이론적 명제를 제시하고, 전에 그것을 들어 본 적이 있는지, 그것을 믿는지 물어 보고, 그 이론이 사실이라고 믿는 이유를 대도록 하였다. 사용된 두 가지 명제는 ‘지구는 매우 큰 공과 같이 둥글다.’와 ‘전기는 전지에서 도선을 통해 전구로 가기 때문에 회로에 있는 전구에 불이 켜진다.’와 같은 생각이었다.

- 학생들이 이론을 가설적인 것으로 보는 정도와 자신의 이론 수용 여부를 정당화하기 위하여 학생들이 의존한 근거의 유형을 조사하였다.

(5) **이론과 증거**: ‘간단한 전기회로’, ‘뜨는 것과 가라앉는 것’과 관련된 일련의 현상에 대해 몇 가지 가능한 설명을 제시하고, 그럴 듯한 설명을 선택하도록 했다(부록 2 참조). 전기회로에서는 새로운 상황에 대해 예상하도록 하고, 실제 결과를 보여 주어 그것이 선택된 이론을 지지하는지를 생각해 보고, 자신의 결정을 정당화하도록 했다. ‘뜨는 것과 가라앉는 것’에서는 뜨고 가라앉는 구체적인 사례들이 자신의 설명과 일치하는지를 단순히 물어 보았다. 두 가지 상황 속에서 학생들의 추론을 조사하였다.

- 이론이나 설명을 평가하는데 있어 경험적 증거의 역할, 자신의 개인적 이론 수용이나 포기과 이론 평가의 관련, 이론을 현상과 별개로 생각할 수 있는지, 경험적 증거를 사용하여 이론을 평가할 수 있는지 등을 조사하였다.
- 면담 절차는 다음과 같은 3 단계를 거치도록 하였다.

가. 관련된 현상에 대해 상기시키기

- 관련 현상의 종류와 상황에 대해 학생을 상기시킨다.

- ‘전기회로’에서는 구체적인 관찰이 제시되었다.
- ‘뜨기와 가라앉기’에서는 언어적인 설명이 제시되었다.

나. 서로 다른 설명의 제시와 선택

- 일련의 현상에 대한 다른 설명의 목록이 카드 위에 제시되었다. 학생들은 최선이라고 생각하는 설명을 선택해야 한다.

다. 증거의 제시

- 선택된 설명을 설명할 것으로 기대되는 여러 증거가 차례로 제시되었다. 학생들에게 자신의 선택된 설명에 비추어 각 증거를 검토하고, 증거와 설명 사이의 일치나 불일치가 시사하는 바를 토의하도록 요청한다.
- 전기회로의 경우 설명은 회로에서 일어나는 모형에 바탕을 두었고, 뜨는 것과 가라앉는 것의 경우에는 경험에서 나온 일반화에 바탕을 두었다.
- 자신이 좋아하는 이론을 선택한 후에, 뒤따르는 각각의 사례에 어떤 일이 일어날 것으로 생각하는지 예상해 보도록 했다. 그런 다음 학생들에게 각 사례를 시범으로 보여 주고, 선택한 설명에 비추어 각 증거를 생각해 보고, 증거와 설명 사이의 일치나 불일치가 시사하는 바를 토의하도록 했다.

(6) **논쟁의 종결:** 전체 학급 상황에서 특별히 준비된 소책자와 녹음테이프를 이용하여 과학과 관련된 논쟁거리에 대한 배경 정보를 제시했다. 두 가지 논쟁은 대륙 이동에 대한 이론(부록 3 참조)과 음식물에 방사선을 쬐이는 일에 대한 것이다. 논쟁 중의 하나를 제시한 후에 집단(4명)별로 전문가의 의견 불일치에 대한 이유와 논쟁의 종결에 관한 어떤 문제들을 논의하도록 했다. 이들 문제에 대한 자신들의 견해에 대해 집단별로 면담이 이루어졌다.

- 과학적 활동을 사회적 노력으로 보는 정도, 과학자 집단 내의 의견충돌의 출현과 해결의 해석 방식, 과학 지식의 생성과 실제 상황 속에서 이러한 지식의 적용에 전체적인 사회의 영향을 해석하는 방식 등을 조사하였다.

개발된 6가지 검사도구는 연령별로 분포된(‘논쟁의 종결’은 제외) 각기 다른 집단에 대해 실시되었다.

면담은 네 명씩 활동했던 ‘논쟁의 종결’은 제외하고 서로 과제를 논의할 수 있도록 두 명씩 이루어졌고 토의 시간이 허용되었다. 한 쌍의 학생은 동일한 성으로 이루어졌고, 학생의 능력에 따라 상, 중, 하의 학생들로 구성되도록 하였다. 검사도구를 시행하는데 있어 학생들이 두 개의 서로 다른 검사도구에 있는 동일한 상황에 노출되지 않도록 하기 위해, ‘실험’/‘믿음에 대한 근거’, ‘이론 이야기’, ‘과학 문제’/‘이론과 증거’ 검사도구별로 시행 집단을 구분하였다. ‘논쟁의 종결’이라는 도구는 다른 도구와는 다르게 실시되었다. 이 경우에는 학생들이 서로 배경 지식을 얻을 수 있도록 네 명씩 함께 활동하는 16세 학생들 전체 학급에 실시되었다. 각 학급 내에 있는 6개의 집단이 동시에 면담을 해야 하기 때문에, 집단 토의 과제를 완수한 후에 가능한 한 빨리 연구자들 팀이 자료 수집에 참여했다. 검사도구에 따른 참여 학생 쌍의 수는 표 3과 같다.

표 3. 검사도구에 따른 참여 학생의 쌍

검사도구	쌍의 수		
	9살	12살	16살
과학 문제(11 문항)	31	26	32
실험(9개 카드)	31	32	33
이론 이야기(녹, 풍선, 세균)	31	28	32
믿음의 근거(지구, 전구 불)	28	32	33
이론과 증거(전기회로/뜨는 것과 가라앉는 것 과제)	26	36	33
논쟁의 종결	4명의 집단 수		
• 음식물에 방사선 쬐이기	-	-	13
• 대륙 이동설	-	-	13

## V. 제언 및 결론

일반적으로 과학의 본성에 대한 생각을 조사하는 우리나라 연구들은 보통 Aikenhead 등이 개발한 검사도구 VOSTS를 활용하고 있다(박종석 외, 2001; 서승조 외, 2001; 김맹희와 권치순, 1999; 우종욱과 소원주, 1995). 그러나 VOSTS는 캐나다 고등학생을 대상으로 개발된 검사도구이다. 따라서 제시된 답지도 캐나다 고등학생의 반응을 바탕으로 구성된 것이다. 또한, VOSTS의 진술 내용은 표 4와 같이 대개 구체적인 상황과 관련이 적은 일반적인 진술이 대부분이다. 따라서 그러한 도구를 특히 초등학생에게 직




표 4. 관련된 VOSTS 문항의 진술 내용(Aikenhead et al., 1989)


VOSTS 90111 과학자가 서로 다른 이론을 믿는다면 유능한 과학자가 한 관찰들도 보통 서로 다를 것이다.  
 VOSTS 90211 원자, DNA, 신경 모형 등과 같이 연구실에서 사용하는 많은 과학적 모형은 실재를 그대로 복사한 것이다.

표 5. 수정 개발 중인 검사 문항(나지연, 2003)

오래 전에 과학자 두 사람이 있었습니다. 한 과학자 장박사는 지구가 납작한 원이라고 생각하고, 또 다른 과학자 윤박사는 둥근 공모양이라고 생각했습니다. 두 과학자는 함께 배를 타고 지구 둘레를 한 바퀴 돌아보기로 하였습니다. 그래서 두 과학자는 배를 타고 가면서 자신의 생각이 맞는지 자연을 관찰하고 돌아왔습니다.



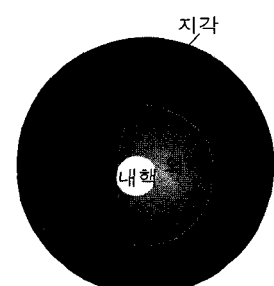
과학자 상구의 생각



과학자 하영이의 생각

1. 과학자 장박사와 과학자 윤박사는 서로 다른 과학 이론을 믿고 있습니다. 두 과학자가 배를 타고 지구 둘레를 돌며 관찰한 내용은 같을까요? 다를까요?  
 ( ) ① 거의 모두 비슷할 것이다.  
 ( ) ② 달라도 아주 다르지는 않을 것이다.  
 ( ) ③ 거의 모두 다를 것이다.  
 ( ) ④ 잘 몰라서 대답할 수가 없다.  
 ( ) ⑤ 내 생각과 같은 보기가 없다.  
 (내 생각은 \_\_\_\_\_ 이다.)  
 위와 같이 답한 이유는 무엇입니까?

2. 과학자 윤박사는 지구의 속이 어떻게 생겼는지 연구해서, 나무 공을 잘라내어 그림과 같은 지구 속 모형을 만들었습니다. 이 지구 속 모형은 실제로 지구 속을 그대로 나타낸 것일까요?  
 ( ) ① 그렇다.  
 ( ) ② 똑같지는 않지만 거의 비슷할 것이다.  
 ( ) ③ 그렇지 않다.  
 ( ) ④ 잘 몰라서 대답할 수가 없다.  
 ( ) ⑤ 내 생각과 같은 보기가 없다.  
 (내 생각은 \_\_\_\_\_ 이다.)  
 위와 같이 답한 이유는 무엇입니까?



지구 속 모형

접 적용하기에는 무리가 따른다. 앞에서 논의했던 방법론적 문제를 고려하여 VOSTS와 관련된 진술 내용을 초등학생에게 적용하기 위해 대학원 과정에서 현재 수정 개발 중인 검사 문항의 예를 제시하면 표 5와 같다.

위의 예에서는 관찰과 모형에 대한 학생의 생각을 조사하기 위하여 지구의 모양에 대한 구체적인 이론이나 지구 속 모형을 문제 상황으로 제시함으로써 학생들에게 부분적인 배경 지식을 제공하고, 그것을 바탕으로 반응하도록 구성하였다. 이와 같이 앞에서 논의했던 방법론적 문제들을 고려하면, 다양한 형태

의 검사도구를 개발할 수 있고, 그것들을 비교 연구할 수도 있을 것이다. 여러 가지 연구 풍토가 미흡한 우리나라의 실정에서 연구를 위한 검사도구의 개발은 중요한 과제이기는 하지만, 현실적으로 외국의 검사도구를 아무런 검증 없이 그대로 번역하여 사용하는 경우가 많다. 그런 의미에서 Driver 등이 논의한 연구 방법론적인 논의는 우리에게 많은 시사점을 제공한다.

예를 들어, 앞에서 제안한 것처럼 일반적인 상황의 문제를 학생 수준에 맞게 구체적 상황의 문제로 바꿀 수가 있다. 또한, 과학 활동이나 환경에 대한 학

생의 인식이나 생각을 조사하기 위하여 학생의 주장 보다는 실제 행동에 바탕을 둔 새로운 검사도구의 구성에 도움을 줄 수도 있을 것이다. 보통 주장되는 학생들의 일반적인 진술을 구체적 상황에서 점검할 수 있는 도구를 개발하여 비교 분석하는 것도 가능할 것이다. 특히, Driver 등이 제시한 검사도구와 유사한 도구를 사용하여 연구한 결과는 거의 없는 실정이므로, 그에 대한 연구도 시급한 실정이다. 그런 의미에서 그들이 제시한 검사도구의 개발 방안은 우리나라의 실정에 맞는 검사도구의 개발에 많은 도움을 줄 수 있을 것이라고 생각한다. 특히, 학생의 생각을 직접 묻는 검사도구와 학생의 행동으로부터 추리하는 검사도구를 비교하는 연구는 학생의 생각을 깊이 있게 이해하기 위해서 반드시 수행하여야 할 과제라고 생각한다.

### 참고문헌

- 김맹희, 권치순(1999). 교대생과 초등교사의 과학-기술-사회에 대한 인식도 조사. 초등과학교육 18(1), 29-39.
- 박종석 외(2001). 초등 예비교사의 과학에 대한 인식 조사 연구. 초등과학교육 20(2), 229-238.
- 서승조 외(2001). 예비 및 현직 초등교사의 STS 상호작용에 대한 신념. 초등과학교육 20(2), 255-270.
- 우종욱, 소원주(1995). 과학인식론의 일부 주제에 대한 고등학교 학생의 견해. 한국과학교육학회지 15(3), 349-362.
- Aikenhead, G. S. (1988). An analysis of four ways of assessing student beliefs about STS topics. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(8), 607-27.
- Aikenhead, G. S., Fleming, R. G. & Ryan, A. G. (1987). High school graduates' beliefs about science-technology-society. I: Methods and issues on monitoring student views. *Science Education*, 71(2), 145-61.
- Aikenhead, G. S., Fleming, R. G. & Ryan, A. G. (1989). *Views On Science-Technology-Society (VOSTS)*. Department of Curriculum studies, College of Education, University of Saskatchewan.
- Carey, S., Evans, R., Honda, M., Jay, E. and Ungar, C. (1989). 'An experiment is when you try it and see if it works': A study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *International Journal of Science Education*, 11(5), 514-29.
- Driver, Leach, Millar & Scott (1996). *Young people's images of science*. Open University Press.
- Karmiloff-Smith, A. & Inhelder, B. (1974). If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, 3, 195-212.
- Kuhn, D., Amsel, E. and O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. London: Academic Press.
- Rowell, J. A. & Dawson, C. J. (1983). Laboratory counter-examples and the growth of understanding in science. *International Journal of Science Education*, 5, 203-15.
- Solomon, J., Duveen, J. and Scott, L. (1994). Pupils' images of scientific epistemology. *International Journal of Science Education*, 16(3), 361-73.
- Wandersee, J., Mintzes, J., & Novak, J. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, vol. I, NY: MacMillan Publishing Company. 177-210.
- White, R. T., & Gunstone, R. F. (1992). *Probing understanding*. London: Falmer.

### 부록 1. 검사도구 '이론 이야기'

#### 독스는 것

툼과 브라이언은 바닷가로 소풍을 갔다. 그들은 산책로를 따라 걷고 있었고, 난간에 기댄 채로 물고기를 찾기 위해 바다로 달려드는 갈매기를 바라보기도 하였다. 브라이언은 그 난간이 학교에 있는 것과 비슷하다는 것을 알아차렸다.

'이 난간은 교문 옆에 있는, 학교에 있는 것과 똑같은 것 같애'  
 '전혀 똑같지 않은걸! 학교에 있는 것은 이것처럼 녹슨 것이 없어'라고 톼이 반박했다.

그렇다, 학교에 있는 난간은 하얗게 칠해져있고, 매우 반짝거리게 보이고, 잘 보존되어 있다. 이 난간도 하얗게 칠해져 있지만, 여기저기에 페인트를 뚫고 갈색 녹이 생기고 있었다.

'나는 그것에 대한 이론을 알고 있어'라고 브라이언이 말했다.

너는 브라이언이 의미하는 이론이 무엇이라고 생각하는가?  
 브라이언의 이론이 무엇이라고 생각하는가?

'그럼 말해봐, 어떤 일이 일어난다고 생각하니?'라고 톼이 말했다.

글세, 그건 바다와 관련이 있어, 너도 바닷물이 짜다는 것을 알지?'라고 브라이언이 말했다.

'그래, 계속 해봐...'  
 '그래, 바다의 염분이 해답이야'라고 브라이언이 말했다.

'난 그것이 무얼 설명하는지 모르겠어. 소금은 바다에 있고, 이 난간은 여기 육지에 있잖아. 어쨌든 소금이 어떻게 녹슬게 만들지?'  
 '그래, 너도 알잖아, 소금은 모든 종류의 물체를 녹슬게 만들어, 우리 엄마가 길에 소금을 뿌리면 차 아래가 녹이 스다고 말씀하셨어. 바다의 소금이 어떻게 난간에 도달하는지 아는 것은 쉬운 일이야. 폭풍이 불 때 파도가 여기까지 쉽게 물을 튀기잖아'라고 브라이언이 설명했다.

'멋진 생각이야, 바로 그거야!'라고 톼이 말했다.

그래? 두 소년은 브라이언의 이론이 올바르다고 정말로 확신할 수 있는가?  
 그들은 브라이언의 이론이 정말 올바른지 점검하기 위해 무엇을 할 수 있을까?

#### 풍선

케이와 사라는 주둥이에 풍선을 씌운 병을 가지고 과학 시간에 활동하고 있었다. 병과 풍선 속에는 공기가 들어 있었다. 스타크 선생님은 그들에게 천천히 병을 천천히 가열하여 무슨 일이 일어나는지 보라고 했다. 그들이 그렇게 했을 때, 풍선이 점점 커지는 것을 주목했다.

'풍선이 부풀고 있어, 왜 그렇게 될까?'라고 케이이 말했다.

'공기 때문이야'라고 사라가 말했다. '뜨거워져서 많은 공기가 풍선으로 들어갔거든. 봐, 풍선이 부풀어 오르는 것이 보이지. 이전 풍선 속에 더 많은 공기가 있어.'

'그래, 왜 그렇게 되었지?'라고 케이이 말했다.

'응, 난 그것에 대한 이론을 갖고 있어'라고 사라가 설명했다.

너는 사라가 의미하는 이론이 무엇을 뜻한다고 생각하니?  
 너는 그녀의 이론이 무엇이라고 생각하지?

그래 계속해 보라고 케이이 말했다. 말해 봐!

응, 난 뜨거운 공기가 위로 올라가기 때문이라고 생각해. 너도 난로나 물체로부터 올라가는 뜨거운 공기를 어떻게 느낄 수 있는지 알지. 나는 병을 가열하면 안에 있는 공기가 뜨거워져 위로 올라간다고 생각해. 그래서 공기가 풍선 속으로 들어가는 거야.

그때 사라는 자신이 의미하는 것을 케이에게 설명하기 위해 그림을 그렸다.

두 소녀는 사라의 이론이 맞다는 것을 정말로 확신할 수 있는가?  
 사라의 이론이 정말로 올바른지 점검하기 위해 그들은 무엇을 할 수 있는가?

케이는 잠시 동안 사라의 설명에 대해 생각했다. '나는 그렇게 확신할 수 없어'라고 말했다. '병을 거꾸로 하여 가열하면 무슨 일이 일어날까? 뜨거운 공기가 위로 올라간다면 공기는 단지 병의 위쪽으로 가지 않을까?'

'좋아, 해보자'라고 사라가 말했다. 그들은 병을 식힌 다음에 거꾸로 하였다. 다시 가열했을 때, 그들이 앞서와 마찬가지로 풍선이 점점 커진다는 것을 알았다.

너는 이것에 놀랐니?  
 이 결과는 두 소녀에게 무엇을 말해 주는가?  
 이것은 사라의 이론이 틀렸다는 것을 증명하는가?

'나는 그렇게 될 거라고는 생각하지 못했어.'라고 사리가 말했다. '나는 무엇 때문에 풍선이 점점 커지게 되었는지 모르겠어.'  
두 사람 모두 잠시 동안 생각했다. 그리고 나서 케이가가 말했다. '내 이론은 가열할 때 공기가 팽창한다는 거야. 그래서 그것은 더 많은 공  
간이 필요하고, 그것이 풍선이 점점 커지는 이유야.'  
'"팽창한다"는 것이 무슨 뜻이지?'라고 사리가 물었다.  
'그것은 점점 커지고, 더 많은 공간을 차지한다는 뜻이야'라고 케이가가 설명했다.

두 소녀는 병을 가열할 때 풍선이 점점 커지는 이유를 설명하기 위해 이제 두 가지 이론을 제안했다:

- (1) 뜨거운 공기는 위로 올라간다.
- (2) 공기를 가열하면 팽창한다.
  - 너는 이 이론들이 다르다고 생각하니?
  - 어느 이론이 그들이 관찰한 것을 더 잘 설명하는가?
  - 그들은 더 나은 이론이 맞는다는 것을 정말로 확신할 수 있는가?
  - 그들은 더 나은 이론이 정말로 올바른지 검사하기 위해 무엇을 할 수 있는가?

## 부록 2. 검사도구 '이론과 증거'

### '전기회로' 검사도구에서 제시된 설명

- 1. 전기는 전지의 한쪽 끝에서 나와 한 전선을 따라 전구로 들어간다. 전기는 전구에서 소비된다.
- 2. 전기는 전지로부터 나와 전구까지 두 전선을 따라 흘러간다. 이것이 전구에 불이 켜지게 한다.
- 3. 전기는 전지에서 나와 한 전선을 따라 전구로 들어간다. 그 중 일부는 전구에서 소비된다. 나머지 전기는 다른 전선을 따라 전지로 들어간다.
- 4. 전기는 전지에서 나와 한 전선을 따라 전구로 흘러가고, 전구를 지나 다시 전지로 되돌아간다.

### '전기회로' 검사도구에서 제시된 여러 가지 증거

이것들은 카드로 제시되고, 또한 실험 장치를 사용하여 시범을 보인다:

- 가. 우리는 처음 전구와 동일한 두 번째 전구를 연결했다. 두 전구가 같은 밝기로 불이 켜졌다. 그러나 하나일 때보다는 밝기가 어두워졌다.
- 나. 우리는 처음 두 전구와 동일한 세 번째 전구를 연결했다. 세 전구가 같은 밝기로 불이 켜졌다. 그러나 밝기가 두 개일 때보다 어두워  
졌고, 한 개일 때보다는 좀더 어두워졌다.
- 다. 우리는 전류를 측정하기 위해 회로 안에 두 개의 전류계를 연결했다. 두 전류계의 바늘은 정확하게 같은 눈금을 가리켰다. 전류의 세기  
는 두 전선에서 똑같았다.
- 라. 우리는 얼마 동안 다 회로의 스위치를 켜 놓았다. 전류계의 눈금은 점점 작아져서 결국 0이 되었다. 그러나 두 눈금은 언제나 서로 같았다.

### '뜨는 것과 가라앉는 것'에서 제시된 설명

- 1. 가벼운 물체는 뜨고, 무거운 물체는 가라앉는다.
- 2. 공기를 갖고 있는 물체는 뜨고, 공기를 갖고 있지 않는 물체는 가라앉는다.
- 3. 어떤 재료는 뜨고, 그것으로 만들어진 물체는 뜬다. 어떤 재료는 가라앉고, 그것으로 만들어진 물체는 가라앉는다. 문제가 되는 것은 바  
로 만들어진 재료이다.

### '뜨는 것과 가라앉는 것'에서 제시된 여러 가지 증거

삼화가 그려진 카드를 집단별로 제시한다.

- 가. 장난감 배는 뜬다. 장난감 차는 가라앉는다.
- 나. 알루미늄 호일은 뜬다. 구인 알루미늄 호일은 가라앉고, 호일로 만든 배는 뜬다.
- 다. 유리병은 뜨고, 유리구슬은 가라앉는다.
- 라. 철 도막은 가라앉는다. (철로 된) 작은 핀은 가라앉고, (철로 된) 배는 뜬다. (철로 된) 종 모양의 잠수기는 가라앉는다.
- 마. 큰 찰흙 공은 가라앉고, 작은 찰흙 공도 가라앉는다. 찰흙으로 만든 모형 배는 뜬다.
- 바. 돌은 가라앉는다. 양초는 뜬다. 감자는 가라앉는다. 작은 감자 조각도 가라앉는다.

### 부록 3. 검사도구 ‘논쟁의 종결’

#### 베게너와 대륙 이동설과 관련된 참고 자료

1915년에 독일의 기상학자인 베게너는 ‘대륙과 해양의 기원’이라는 책을 출판했다. 거기서 그는 대륙은 서로 떨어져 이동한 것으로 원래의 ‘초대륙’의 일부분이라는 자신의 견해를 말했다. 이 책의 영국판은 1922년에 나왔다. 같은 해에 영국의 과학진흥협회는 대륙 이동 가설을 논의하기 위한 회의를 개최했다. 비슷한 좌담회가 1925년에 미국 석유 지질학자 협회에 의해 개최되었고, 베게너도 참석했다. 두 회의는 대체로 베게너의 생각에 적대적인 반응을 보였다. 대륙 이동이라는 개념은 지질학자 집단에 의해 거부되었다. 그렇지만 30년이 지난 후에 대륙 이동에 대한 추가적인 증거가 다양한 자료에서 수집되었고, 1960년대 초기에 해양저 확장이라는 개념으로 이끈 해양저 산맥 근처의 자기 이상에 대한 바인과 매튜의 연구에서 절정에 이르렀다. 1960년대 말 경에 베게너가 제안했던 방식의 대륙 이동을 포함한 판 구조론이 지질학자와 지구 과학자 사이에 정설로서 널리 받아들여지게 되었다.

대륙 이동 가설의 역사는 그 자체가 좋은 이야기 거리이고, 여러 접근 가능한 재미난 설명이 존재한다(Tarling & Tarling, 1971; Hallam, 1975). 그것은 또한 과학 이론 변화의 역동성에 대한 생각들을 조사하고 검증하기 위한 사례 연구로서 널리 사용되었다. 어떤 사람은 이론 변화에 대한 리카토스 입장과 매우 걸맞는 에피소드로 보고(Frankel, 1979), 어떤 사람은 혁명과 패러다임 변화라는 쿤의 개념에 걸맞는지 조사했다(Jones, 1974; Kitts, 1974). 레그랑(1988)은 수반되는 철학적 ‘논평’과 함께 대륙 이동 가설의 역사에 대한 자세한 설명을 제공한다. 베게너 사례는 또한 대학 수준에서 과학적 탐구의 본성에 대한 생각을 가르치고(Open University, 1981) 학교 과학 교육에서 이론의 역할에 대한 생각을 설명하기(Dusch, 1990) 위한 수단으로 사용되었다.

- 배경 정보를 제공하기: 학생들에게 참고 자료와 같은 배경 정보를 제공하고, 베게너의 대륙 이동설에 찬성하고 반대하는 몇 가지 중요한 주장들을 제시하는 일련의 만화를 아울러 제시했다.
- 학생들은 네 명씩 다음과 같은 문제를 토의하도록 했다:
  - ◆ 1920년대에 지질학자들은 왜 모두 동의하지 않았다고 생각하는가?
  - ◆ 모든 지질학자가 의견의 일치를 보기 위하여 1920년대에 무엇이 필요했을 것으로 생각하는가?
  - ◆ 1920년대에 대다수의 지질학자들은 우리가 지금 생각하기에 잘못된 결정을 왜 내렸다고 생각하는가?
- 몇 가지 가능한 답이 배경 정보에 있었지만, 학생들이 어떻게 이것을 선택해서 선택한 생각을 자신의 말로 나타내는지 조사하였다.