

# 과학사를 활용한 과학수업 적용을 통한 중학생들의 과학의 본성에 대한 이해의 발달

최준환 · 남정희\* · 고문숙 · 고미레

부산대학교

## Developing Middle School Students' Understanding of the Nature of Science through History of Science

Choi, Joonwhan · Nam, Jeonghee\* · Ko, Moonsook · Ko, Mire

Pusan National University

**Abstract:** The purpose of this study was to explore how 9th grade students' understanding of the nature of science developed during a one-year implementation of NOS learning materials. The lessons were a combination of short readings in episodes in the history of science with accompanying response booklets consisting of illustrations and questions. The lessons were designed to be 45 minutes in length and were implemented over ten months of the school term. Data on students' understanding as it developed during the implementation were obtained from test items, questionnaires, and students' journal. Findings indicate that students showed changes in their understanding of the nature of science towards modern views of the nature of science. However, they showed understanding of tentativeness of scientific knowledge, they also showed belief of absoluteness of scientific knowledge.

**Key words:** nature of science, history of science, modern view of the nature of science, scientific knowledge

### I. 서 론

학생들이 중등학교에서 경험하는 과학 수업이 정규 교육과정에서 과학을 경험하는 유일한 기회가 될 수도 있기 때문에 학교 교육을 통한 과학 경험의 질은 매우 중요하다고 볼 수 있다. 그러나 실제로 많은 학생들은 과학을 일상생활에서 항상 마주치며 활용 가능한 것이라고 생각하기 보다는 복잡한 지식체계와 탐구과정을 필요로 하는 어려운 학문으로 인식하여 소수의 우수한 학생들만을 위한 학문으로 간주하려는 경향이 있다(Driver *et al.*, 1996). 과학은 앞으로 과학자가 되려하는 소수를 위한 학문적 가치보다는 오히려 모든 사람들에게 보편적인 가치를 가지는 어떤 것을 제공할 때 정당화 될 수 있다. 이러한 이유로 해서 과학적 소양이 과학 교육과정에서 중요한 목적 중의 하나로 받아들여지고 있다.

학생들이 생활 속에서 겪게 될 다양한 사회적 문제들에 대해 합리적인 의사결정을 내리는 데 필요한 지

식, 기술, 태도 등과 같은 과학적 소양을 함양하기 위해서는 과학의 본성에 대해 이해하는 것이 필수적이다(Meichtry, 1992). 왜냐하면 이러한 과학의 본성에 대한 이해는 우리 사회에서 학생들이 자기 역할을 할 수 있도록 도와줄 뿐 아니라, 과학자들이 하는 일을 경험하고 또 자신이 직접 과학 활동에 참여함으로써 그들의 삶을 풍성하게 할 수 있기 때문이다(AAAS, 1993; Hogan, 2000). 따라서 학생들에게 과학의 본성에 대해 가르치는 것은 과학의 내용에 대한 지식을 발전시키는 것만큼이나 중요하다고 볼 수 있다.

이에 따라 과학의 본성을 가르쳐야 할 필요성이 제기되었으며(Abd-El-Khalick *et al.*, 2000), 과학의 본성을 가르칠 수 있는 방안 중의 하나로 과학사의 유용성을 제안하게 되었고, 이러한 시도는 학생들이 과학자들의 사고방식과 지식의 발달과정을 접하게 되면 과학지식의 창의성과 잠정성 등에 대한 이해가 향상될 뿐만 아니라 개념을 보다 효과적으로 이해하게 된다는 가정에 기초하고 있다(Duschl, 1990; Solomon

\*교신저자: 남정희(jhnam@pusan.ac.kr)

\*\*2009.01.28(접수) 2009.03.06(1심통과) 2009.03.09(최종통과)

\*\*\*이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

et al., 1992). 그러나 학생들로 하여금 단순히 과학적 활동에 참여하게 하거나 과학사 자료를 제시하는 것 만으로는 학생들이 과학의 본성에 대한 새로운 개념을 학습하도록 하는데 불충분하다. Bell 등(2003)은 과학의 본성과 과학적 탐구의 이해에 대한 연구에서 과학의 본성에 대해 직접 가르치거나 반성하도록 하는 등의 조인을 하지 않는 암묵적인 방법을 통해서 학생들의 과학의 본성과 탐구에 대한 인식에는 거의 변화가 없었음을 보여주었다.

과학교사들은 과학의 본성이 이미 교과내용 속에 암시적으로 포함되어 있으며, 따라서 과학의 내용을 습득하게 되면 과학의 본성도 자연스럽게 학습하게 되는 것으로 생각하는 경향이 있다(Bartholomew & Osborne, 2004). 그러나 수업에서 명백히 다루지 않았던 것을 학생들이 스스로 고려한다는 것은 기대하기 어렵다. 또한 과학의 내용과 본성을 따로 떼어내어 가르치는 것은 불합리한 방법일 수 있으며, 이러한 방법을 통해서 학생들에게 과학의 과정과 실행이 본질적으로 반성적인 노력의 결과라는 사실을 인식시킬 수 없다.

따라서 과학의 본성에 대한 현대적 이해의 특성들을 과학수업 중에 명백하게 가르치고 고려해 보도록 하는 것이 필수적이며, 이러한 기회를 제공하는 교수법을 통해 학생들이 과학의 본성에 대한 좀 더 나은 이해를 습득할 수 있다는 것이다(Bartholomew & Osborne, 2004). 이와 같은 맥락에서 근래의 많은 연구에서는 공통적으로 과학의 본성이 인지 학습의 산물로서 간주되어야 하며, 학습 환경 내에서 명확히, 그리고 반성적으로 다루어져야 한다고 제안하고 있다(Bell et al., 2000; Lederman et al., 2001; Khishfe & Abd-El-Khalick, 2002; Schwartz et al., 2004; Akerson & Volrich, 2006). 이들 연구에서는 탐구활동 과정에서 과학의 본성 요소들과 관련하여 반성적인 일지를 작성하고, 세미나를 통해 자신과 다른 견해를 경험해보도록 하는 것이 과학의 본성에 대한 현대적 인식을 습득하도록 하는 데 효과적이라고 보고하였다.

우리나라에서도 과학사 수업이 과학의 본성에 대한 인식에 미치는 영향(유진숙, 1998; 한승희, 2001; 임소희, 2002; 정배현, 2003; 강석진 등, 2004)에 대한 연구들이 이루어져 왔으나, 과학사 수업에서 과학의 본성을 명시적으로 적용시킨 연구는 거의 이루어지지

않았다. 그 이유로는 여러 가지가 있을 수 있겠지만, 교육과정이나 시간의 제약, 학생의 동기와 능력에 대한 고려의 부족, 그리고 교사들의 과학의 본성에 대한 내용 지식과 관련된 과목 특정 교육학적 지식, 이를 테면 과학의 본성을 가르치는 방법에 대한 지식의 부족 뿐 아니라, 과학의 본성에 대한 교사의 이해와 과학의 본성에 대한 학생들의 생각을 평가하는 능력의 부족으로 인해 교사들이 느끼는 곤란 등(Abd-El-Khalick, 1998; Bell et al., 2000; Lederman et al., 2001)이 주요 원인이라고 할 수 있겠다.

이러한 문제점들로부터 볼 때 과학의 본성이 실제 학교 과학수업에 도입되기 위해서는 교사들의 인식변화와 함께 과학의 본성이 수업내용 속에서 구체적으로 드러나도록 하면서 동시에 과학교육과정의 내용과 결부된 교수학습프로그램이 필요하다. 이를 위한 한 방법으로 실제 과학사에서 일어났던 에피소드를 활용하여 관련 과학교육과정 내용과 연관된 수업프로그램을 개발하여 과학수업에 활용하는 것을 고려해 볼 수 있다.

따라서 이 연구에서는 중학교 과학 교육과정에 제시된 개념과 관련된 과학사 에피소드를 활용한 수업 모듈을 개발하여 과학사를 활용한 과학수업이 중학생들의 과학의 본성에 대한 이해 발달에 미치는 영향을 알아보았다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구 대상

이 연구에서는 지역에 따른 차이를 최소화하기 위해 광역시의 동부, 서부, 중부에 소재한 3개 중학교를 선정하였고, 각 학교에서 3학년 학생을 연구대상으로 정하였다. 각 학교의 형태 및 인원 구성은 Table 1과 같다. A 학교는 2명의 교사가 처치를 하였으며, B와 C 학교는 각각 1명의 교사가 수업처치를 하였다. 이 연구에서는 학생들의 과학의 본성에 대한 인식이 쉽게 변화하지 않는다는 가정 하에 비교반을 따로 선정하지 않았다.

### 2. 검사도구

과학사를 활용한 수업이 학생들의 과학의 본성에

**Table 1**  
*Personnel organization of each school*

School	Type	Number of teachers	Number of students
A	Mixed	2	429
B	Girls	1	126
C	Boys	1	153
Total			708

대한 인식에 미치는 영향을 알아보기 위하여 2가지의 평가도구를 이용하였다.

**1) 과학의 본성에 대한 학생들의 이해 발달 평가 도구**

학생의 과학의 본성에 대한 견해를 조사하기 위하여, 이은아(2001)가 AAAS의 과학적 소양의 관점에 의거하여 개발한 ‘과학의 본성에 대한 학생들의 이해 발달 평가 문항’ 중 6-8학년을 대상으로 하는 문항을 사용하였다. 검사문항은 20개의 문항을 선택하여 사용하였으며, 이 문항들은 미국 AAAS에서 제안하고 있는 학교 과학교육에서 다루어야 할 과학의 본성에 대한 세 가지 주제인 과학적 세계관 7문항, 과학적 탐구 9문항, 과학적 활동 4문항으로 구성되어 있다. 각 문항은 진술내용에 대해 ‘동의함(T)’, ‘동의하지 않음(F)’, ‘잘 모르겠음(N)’으로 응답하는 방식으로 구성되었다. 검사는 수업처치 사전과 사후에 실시하였고, 검사 소요 시간은 25분이었다. 이 연구에서 구한 사전 검사 신뢰도는 .71, 사후 검사 신뢰도는 .64였다.

**2) VNOS 설문(Views on the Nature of Science Questionnaire)**

과학의 본성에 대한 학생들의 견해를 심층적으로 분석하기 위하여 Lederman 등(2001)이 개발한 VNOS-C(Views on the Nature of Science questionnaire-From C)와 VNOS-B 문항을 번안한 후 수정하여 사용하였다. VNOS-C는 과학의 가변적, 경험적, 추론적, 창의성, 이론의존성인 본성과 과학이론과 법칙, 과학의 사회 문화적 착근성, 보편적인 과학의 방법 등에 대한 총 10개 문항으로 구성되었다. 이 연구에서는 VNOS-C 문항 중 중학생들에게는 어렵다고 판단되는 원자의 구조와 종의 분류와 관련된 문항은 제외하고, 과학적 지식과 견해의 차이를 묻는 VNOS-B 문항 한 개를 추가하여 총 9개 문항을 사용

하였다.

본 연구에 투입하기 전에 연구자 중 한명이 담당하고 있는 학급에 설문지를 투입하여 학생들의 가독성을 평가한 후 문구를 수정하였으며, 검사에는 40분이 소요되었다. VNOS 설문은 수업처치 전과 후에 두 번 투입하였고, 수업 처치 후 실시한 VNOS 설문지 분석 후, 응답이 불분명한 경우에 한해 사후 면담을 실시하였다. 사후 면담은 학생들의 응답에 대한 추가질문을 하는 반구조적인 형태로 이루어졌다.

**3) 반성적인 수행일지**

매 수업시간마다 학생들에게 그 시간의 수업내용, 과학사 에피소드 및 과학의 본성과 관련된 자신의 생각을 글로 표현해보도록 하는 반성적인 수행일지를 작성하도록 한 후 분석하였다. 이에 대한 분석은 VNOS 설문에 대한 보강 설명을 위해 이용하였다.

**3. 수업 모듈 개발 및 적용**

**1) 과학사를 활용한 수업 모듈의 개발**

과학사를 활용한 수업 모듈의 개발을 위하여 과학 교육 전문가 3명과 박사과정 3명이 참여하는 세미나를 통한 과학의 본성과 과학사에 대한 문헌연구를 통해 현대적인 의미의 과학의 본성에 대한 견해를 선정하고, 선정한 과학의 본성 측면들을 학생들이 효과적으로 다룰 수 있는 과학사의 논쟁점과 그 에피소드를 찾고자 하였다. 이 연구에서 선정한 과학의 본성 요소는 과학적 방법과 비판적 검증, 과학과 확실성(가변성), 과학적 사고의 다양성, 가설과 예측, 과학적 지식의 역사적인 발전, 창의성, 과학과 질문, 자료의 분석과 해석, 과학적 지식의 개발에 있어서 협력과 공동연구이다. 이 과정을 통해 중학교 3학년 과학교과내용에서 선정한 과학의 본성 측면들을 가장 잘 나타낼 수 있으리라고 생각되는 과학사 에피소드를 선정하고, 이를 토론 자료로 활용한 총 10차시의 수업 모듈을 개발하였다(Table 2).

각 차시별 수업 모듈은 학생용 활동지, 과학사 카드, 교사용 교수학습지도안으로 구성되어있다. 과학사 카드는 해당 차시의 내용과 관련된 과학자와 그 시대의 논쟁거리를 제공하여 학생들이 이를 읽고 토론할 수 있도록 하였다. 과학사 카드와 학생용 활동지에는 과학사 속의 인물의 이미지와 과학사적 상황을 보

**Table 2**  
*Contents of instruction using history of science*

Lesson	Content of instruction
1	The change in views of material
2	Law of conservation of mass
3	Law of definite proportions
4	Atomism
5~6	Molecular hypothesis(Law of gaseous reaction)
7	Electricity and magnetism
8	Torrichelli's experiment
9	The Copernican theory
10	The evolution theory

여주는 삽화를 삽입하여 학생들의 흥미를 이끌어낼 수 있도록 하였다. 학생용 활동지는 학생들로 하여금 과학사에 존재하는 논쟁점에 대한 자신의 생각을 표현하고 조별 토의와 전체 토의활동을 하게하고, 교사가 의도적으로 제시한 과학의 본성 측면에 대해 숙고해 보도록 하는 활동으로 이루어져있다(부록). 이 과정에서 교사는 단순히 설명을 통하여 과학의 본성 측면을 전달하는 것이 아니라 토의와 반성적 활동을 통해 학생들 스스로 개념을 구성할 수 있도록 하였으며, 한 차시의 수업에 2가지 또는 3가지 정도의 과학의 본성 측면들을 포함시켰다.

개발된 수업모듈은 수업처치에 앞서 연구자 중 1명이 자신의 학급에서 수업을 실시하면서 학생들이 이해하기 어려워하는 용어와 개념을 수정하고 중학교의 한 차시 수업시간인 45분에 맞추어 활동의 양을 조절하는 과정을 거쳐 수정된 수업모듈을 완성하였다.

## 2) 수업처치

이 연구에서는 수업 처치 전에 교사들을 대상으로 2회에 걸쳐 사전 연수를 실시하였다. 1차 사전 연수는 과학에 대한 자신의 생각을 드러내고 현대적 의미의 과학의 본성 측면들을 소개하는 사전 오리엔테이션으로 이루어졌다. 2차 사전 연수에서는 연구진이 개발한 과학사를 활용한 수업 모듈 중학생용 활동을 교사들이 직접 학생의 입장에서 수행하고, 수업 후에는 수업의 단계와 활동에 대해서 실제 과학 수업에 적용하는 것과 관련하여 논의하는 과정을 통하여 이러한 수

업에 익숙해지는 기회를 갖도록 하였다. 또한 각 교사가 가진 기존의 지식, 교수 방식 및 전공 차이 등의 교사변인이 학생들의 과학의 본성에 대한 인식에 미칠 수도 있는 영향을 줄이기 위한 방안으로 교사가 수업에 개입하는 수준을 최소화하도록 하였다. 따라서 교사들로 하여금 수업 시작 단계에서 제시된 과학사의 사례를 이용하여 학생들의 흥미와 의문점을 이끌어내고, 수업의 진행 단계별로 적절히 시간을 제한하며, 조별 토의와 전체 토의가 이루어지는 동안 학생의 주장 중에서 과학의 본성 요소를 찾아 질문을 하도록 하였다. 또한 교사들에게 과학사 에피소드와 관련된 과학사 내용을 참고자료로 제공하여 과학사 에피소드가 발생한 맥락을 파악하도록 함으로써 학생들의 질문에 대비할 수 있도록 하였다.

두 차례의 사전 연수 후에 개발한 과학사를 활용한 과학 수업 10차시를 실시하였다. 1차시 수업처치 후 연구자들과 참여교사와의 중간 협의회를 가졌으며, 이 중간 협의회에서는 1차시 수업처치에서의 경험을 토대로 수업 처치 시 어려운 부분, 교사들이 자신의 교수방법과 과학의 본성에 대한 이해 등에 대한 토론이 이루어졌다. 연구진들은 교사들과의 협의회에서 제기된 문제점을 점검하고 차후에 수시로 전자메일 및 전화를 이용하여 수업과 관련된 내용에 대해서 의견교환을 하였다.

학생들의 경우에는 매 수업시간마다 활동지를 작성하는 것 이외에 그 시간의 수업내용, 과학사 에피소드 및 과학의 본성과 관련된 자신의 생각을 글로 표현하는 반성적 수행일지를 작성하는 과정을 통해 과학의 본성에 대한 개념을 구성하도록 장려하였다.

## 4. 자료의 처리와 분석

이 연구에서는 과학사를 활용한 과학 수업이 학생들의 과학의 본성에 대한 이해 발달에 미치는 영향을 검증하기 위하여 정량적인 분석과 정성적인 분석을 병행하였다.

과학의 본성에 대한 학생들의 이해 발달 평가 도구의 통계처리를 위해서 각 문항에 대해 현대적 인식과 같은 답변을 한 경우에는 1, 아닌 경우와 모르겠다는 답변을 한 경우는 0으로 코딩하여 20점 만점이 되도록 하였다. 사전검사와 사후검사의 결과를 대응표본 t-검정을 사용하여 비교분석하였으며, 이때의 유의

수준은  $p < .05$ 였다.

VNOS 설문에 대한 답변에 대해서는 1차적으로 과학교육 전문가 1명과 박사과정 3명이 공동으로 참여하여 각각의 분석 범주를 마련하였으며, 2차 분석에서는 각자 개발한 분석 범주에 대한 논의를 거쳐 분석 범주를 통일시켰고, 최종적으로 통일된 분석 범주를 바탕으로 연구자 1인이 처음부터 끝까지 분석하였다. 이 연구에서 제시한 학생들의 설문 내용에서 사용한 기호는 익명성을 보장하기 위해 이니셜을 사용하였다.

### III. 연구 결과 및 논의

과학의 본성에 대한 중학생들의 이해 발달에 대한 전체적인 평가는 이은아(2001)의 ‘과학의 본성에 대한 학생들의 이해 발달 평가 문항’ 중 선정한 20개 문항을 이용한 검사결과로 나타내었다. 그 다음 학생들의 과학의 본성에 대한 심층적인 이해 및 인식변화는 VNOS 설문 결과를 바탕으로 제시하였다.

#### 1. 과학의 본성에 대한 학생들의 이해 발달에 대한 전체적 결과

과학사를 활용한 수업이 학생들의 과학의 본성에 대한 이해에 미치는 영향을 알아보기 위해 수업처치 전과 수업처치 후에 실시한 과학의 본성에 대한 학생들의 이해 발달 평가 문항의 결과를 t-검정을 이용하

여 비교한 결과, 세 학교 모두에서 수업처치 후에 과학의 본성에 대한 이해가 유의미하게 높은 것으로 나타났다(Table 3).

Table 4에는 전체 학생에 대한 각 문항별 정답률을 제시하였다. 사전 검사에서 총 20문항에 대한 전체 학생들의 평균 정답률은 70.35%로 나타났다. 사후 검사의 평균 정답률은 76.55%로서 거의 모든 항목에서 향상이 나타났지만, 1번과 7번 문항에서만 감소한 것으로 나타났다. 7번 문항의 경우, 도덕을 과학으로 판단할 수 있는가를 묻는 문항으로 그 감소폭이 작고, 유의미한 결과가 아니었다. 그러나 ‘과학지식의 절대성’을 묻는 1번 문항의 경우에는, 사후 검사 결과가 53.0%로 사전 검사에서의 63.1%에 비해 13.1%가 감소하였으며, 그 차이가 통계적으로 유의미하였다. 이러한 결과는 ‘과학지식의 가변성’을 묻는 2번 문항에서 가장 높은 정답률(93.2%)을 보이고 있는 것과 상반된 결과로서, 이는 학생들이 과학의 가변성과 과학 지식의 절대성에 대한 생각을 동시에 가지고 있기 때문인 것으로 보인다. 이에 1번 문항에 대한 학생들의 생각을 요구한 결과, 다음과 같은 견해를 가지고 있는 것으로 나타났다.

“과학이란 정해진 내용이기 때문에 시간이 지날수록 더욱 정확한 내용을 밝혀야 한다고 생각한다.”(KDS, 사후면담)

“정확한 결과를 얻으면 더욱 좋겠지만 결과의 오차에 영향을 미치는 외부요소를 완전히 차단시키기엔

**Table 3**

*Results of t-test on the scores of the test-items to assess student progress in understanding of the nature of science*

School	Test	Mean	N	Std. dev.	t	Sig.
A	Post test	15.14	429	2.991	7.387	.000*
	Pre test	13.96	429	3.288		
B	Post test	14.97	126	3.004	4.601	.000*
	Pre test	13.49	126	3.796		
C	Post test	16.07	153	2.300	5.115	.000*
	Pre test	14.86	153	2.959		
Total	Post test	15.31	708	2.883	10.05	.000*
	Pre test	14.07	708	3.343		

\*  $p < .05$

**Table 4**  
Results of *t*-test on the scores of each test-items

	Item		Mean	Std. Dev.	t	Sig.
01	non absoluteness	Post	.530	.0225	-4.526	.000*
		Pre	.631			
02	tentativeness	Post	.932	.0135	3.024	.003*
		Pre	.891			
03	continuity	Post	.928	.0144	2.448	.015*
		Pre	.893			
04	limitation	Post	.795	.0196	2.092	.037*
		Pre	.754			
05	limitation	Post	.694	.0230	2.948	.003*
		Pre	.626			
06	hypothesis	Post	.600	.0236	2.036	.042*
		Pre	.552			
07	limitation	Post	.790	.0187	-0.680	.497
		Pre	.802			
08	variety	Post	.860	.0164	1.292	.197
		Pre	.839			
09	process	Post	.763	.0219	5.094	.000*
		Pre	.651			
10	controlling	Post	.797	.0207	4.710	.000*
		Pre	.699			
11	bias & prejudice	Post	.678	.0244	2.145	.032*
		Pre	.626			
12	bias & prejudice	Post	.686	.0243	6.155	.000*
		Pre	.537			
13	bias & prejudice	Post	.675	.0230	7.570	.000*
		Pre	.501			
14	bias & prejudice	Post	.749	.0206	2.747	.006*
		Pre	.692			
15	bias & prejudice	Post	.766	.0211	2.341	.020*
		Pre	.716			
16	bias & prejudice	Post	.798	.0221	4.224	.000*
		Pre	.705			
17	contribution	Post	.706	.0221	4.599	.110
		Pre	.671			
18	ethics	Post	.903	.0163	3.129	.002*
		Pre	.852			
19	ethics	Post	.856	.0206	5.420	.000*
		Pre	.744			
20	ethics	Post	.805	.0220	5.451	.000*
		Pre	.685			

\*  $p < .05$

불완전하기 때문에...”(YSH, 사후면담)

다시 말하면, 과학적 지식은 이미 존재하고 있는 것으로 단지 기술이나 도구의 부족, 환경적인 요인으로

인해 우리가 얻어내지 못하고 있을 뿐이라는 것이다. 이처럼 과학에 대한 견해에 있어서 가장 일관되고 강하여 머릿속에서 지우기 힘든 이미지는 우리가 어떤 사실을 알기 이전에 이미 그 실체가 존재하고 있다는

생각으로, 과학이 우리를 서서히 진리인 실체에 가까워지도록 한다는 것이다. 이러한 순진한 실재주의적 견해(소원주, 1998)는 남정희 등(2007)의 연구에서 예비 과학교사들이 과학지식의 가변성에 대해 피상적으로는 이해하고 있으나 절대적인 진리에 대한 견해도 동시에 가지는 이중성을 보여주고 있다고 한 것과 같은 결과이다. 학생들이 과학적 지식에 대해 동시에 가지고 있는 ‘가변성’과 ‘절대적 진리’라는 이중성은 VNOS 설문 문항에 대한 학생들의 답변을 통해 심층적으로 살펴보았다.

## 2. 과학의 본성에 대한 심층적 이해와 인식 변화

### 1) 과학은 무엇입니까? 다른 과목과 다른 점은 무엇입니까?

이 질문의 목적은 과학에서의 창의성과 상상력의 역할, 과학적 지식을 형성하는 데 실험적 증거의 필요성, 그리고 과학의 문화적이고 사회적인 내재성에 대한 이해를 평가하기 위한 것이었다. 사전설문에서 많은 학생들(48.15%)이 과학에 있어 실험적 증거의 필요성에 대해 주장하였다.

“과학은 실험을 통하여 나온 증명된 사실이다. 다른 과목과는 달리 확실한 증거와 이론을 가지고 있다.”  
(CYJ, VNOS 사전설문)

“과학은 실험을 통해 정확하게 밝혀내는 것이라고 생각한다. 과학은 실험하는 것이다.”(SGW, VNOS 사전설문)

한편으로 일부 학생들은 다음과 같이 과학주의적인 견해(5.9%)를 가지고 있었으며, 또한 과학지식의 객관성(11.1%)을 중요하게 생각하고 있었다.

“과학은 세상을 지탱하는 힘...”(PYB, VNOS 사전설문)

“과학은 우리 생활 하나하나 모두라고 생각한다. 우리 생활 중에서 과학과 관련이 안 되는 것이 없다.”  
(JHJ, VNOS 사전설문)

“과학은 모든 사람에게 적용되고 우리는 과학 속에 살고 있다. 종교, 철학 등은 우리가 피하면 아무 상관 없이 과학은 피할 수 없다.”(JWS, VNOS 사전설문)

“과학이 다른 과목과 다른 점은 다른 과목(역사, 사회)은 역사가들의 주관적인 견해를 공부하는 것이지만 과학은 객관적인 사실을 배우는 것이다. 그리고 생활 속에서 유용한 지식을 배우는 것이다.”(PCH, VNOS 사전설문)

“과학은 다른 과목과는 달리 어느 한 주제에 관하여 실험과 연구를 통하여 객관성있는 결과를 얻는 것이다. 또 우리가 살아가는 공간을 구성하는 요소들에 대한 정석이다.”(JBJ, VNOS 사전설문)

사후설문에서는 실험적 증거의 필요성(39.9%)과 과학지식의 객관성(5.9%)을 이야기하는 학생은 다소 줄었으며, 과학주의적인 견해를 지닌 학생들이 오히려 늘어났다(9.15%).

“과학은 다른 과목과 달리 완전하고 정확하다. 그렇기 때문에 신빙성이 있다.”(KKD, VNOS 사후설문)

“이 세상의 모든 것들을 배우는 것이 과학이다. 과학의 소재는 세상의 비밀을 파헤쳐 내는 것이다.”  
(KJS, VNOS 사후설문)

가장 두드러진 변화는 사전설문에서는 153명의 학생 중 단 1명만이 과학적 지식의 가변성을 언급했었지만, 사후설문에서는 22명(14.4%)에 달하는 학생들이 과학의 정체성으로 다음과 같이 가변성을 언급했다는 것이다.

“과학은 하루하루 바뀌어가고 새로워진다. 그리고 계속해서 발전한다. 그리고 다른 과목과 차이점은 과학은 바뀌고 새로워지지만 다른 과목은 그렇지 않다.”(SJH, VNOS 사전설문)

“과학은 뭐든지 사람들이 의견을 내고 실험으로 증명되면 계속 변할 수 있지만, 종교나 철학 같은 사상은 절대로 변하지 않는다. 과학은 영원한 답이 없다.”(PYB, VNOS 사후설문)

“과학에는 절대적인 것은 없고 시대가 바뀌면서 새로운 것의 등장으로 결과가 달라져서 바뀔 수도 있기 때문에 다르다.”(YDH, VNOS 사후설문)

이러한 사실은 또한 수업 후에 학생들이 적은 수행일지에서도 드러난다.

“친구들이 여러 가지 생각을 발표하면 그것에 대한 반론을 하기가 힘들었다. 과학이 절대적인 것이 아니라 사회가 발전하면서 함께 변한다는 것을 알았고 그것에 대한 친구들의 생각도 알게 되었다.”(SMC, 원소와 원자 수업 후 수행일지)

“과학은 단순한 연구가 아닌 발상의 전환으로도 변화하고 발전할 수 있는 것이구나 싶었다. 또 우리가 당연한 듯이 알고 있는 지식도 옳지 않은 것 일수도 있다는 생각이 들었다.”(PTJ, 전기와 자기 수업 후 수행일지)

그러나 이와 같이 가변성을 언급한 학생들 중 상당수가 지식의 객관성과 과학주의적인 견해를 같이 언급하는 이중성을 보이고 있었다.

“과학은 우리 주변에서 일어나는 현상을 설명해 주는 것으로 객관적이나 변화가 가능하다. 과학이외의 종교, 철학 등은 과거에 일어난 역사를 바탕으로 사회, 사건 등을 정의, 설명한 것으로 거의 변화가 불가능하고 주관적인 것도 있다.”(JBJ, VNOS 사후설문)

“과학은 세상의 모든 것을 연구하는 것이다. 인간이 살기 좋게 삶을 발전시키고, 인간의 호기심을 풀어주기도 한다. 과학이 종교, 철학 등과 다른 점은 제시하는 모든 것에 확연한 증거, 뒷받침해주는 것이 있으며 계속 변화한다는 점이다. 끊임없는 연구를 하고 발전해 나아간다는 점에서 다르다.”(KKH, VNOS 사후설문)

Moss 등(2001)의 연구에서도 11-12학년의 학생 5명 중 2명이 ‘모든 것이 과학’이라는 믿음을 가지고 있다고 보고하였다. 우리는 어렸을 때부터 과학이 항상 우리 주위에 있다고 배워왔으며, 일상생활에서 알든 모르든 무의식적으로 과학에 대해 생각하거나 참여한다는 생각을 일관되게 가지고 있다는 것이다. 이는 우리 주변의 생활관련 물질들이 과학으로 인한 것이라는 생각하는 것에서 연유한 것이라고 생각된다(남정희 등, 2007).

## 2) 실험은 무엇인가?

실험은 자연과학을 다른 학문 분야와 구분하는 준거로서, 과학적 이론을 검증하는 과정이자 그 과정의

설계이다. 또한 새로운 사실을 발견하거나 이미 알려진 과학지식을 검증하기 위한 활동, 즉 가설을 검증하기 위한 조작이며 과학적 탐구의 본질적인 속성이다(조희형, 최경희, 2001). 사전설문에서 두드러진 견해는 실험이 교과서에서 배운 과학적 지식(24.18%)이나 이론(19.61%)을 확인하는 과정이라는 견해이다.

“실험은 이론으로 공부할 때보다 더 쉽게 외우거나 이해하는 데 도움이 되고, 실험을 하면 공부시간에 지루하지 않게 수업을 할 수도 있고 집중도 잘 된다. 그리고 과학을 배울 때는 꼭 해야 한다.”(KTW, VNOS 사전설문)

“과학 이론이 맞는지 한 번 확인해 보는 것이다.”(PHT, VNOS 사전설문)

학생들은 실험이 교과서에서 배운 지식과 이론을 확인하는 과정으로 생각하고 있었으며, 이는 과학 실험이 행해지는 형태가 대부분 이미 학습한 이론을 확인하는 것으로서 학생들에게 매우 제한된 과학의 경험을 제공하고 있기 때문이라고 생각된다.

사후설문에서는 실험이 가설의 검증(35.95%)과 이론을 입증(13.34%)하기 위한 과정이라는 견해가 많았다.

“실험은 어떤 한 가지의 과학가설을 뒷받침할 증거가 될 수 있는 과학에서는 절대 빠져서는 안 되는 일이다. 또한 가설의 사실 여부를 알아내는 중요한 과정 중 하나에 속한다.”(MJH, VNOS 사후설문)

“자신의 생각을 다른 사람에게 보여주고 인정받기 위한 근거를 만드는 과정, 또는 자신의 이론을 수정, 추가하기 위한 것이다.”(PHS, VNOS 사후설문)

이러한 변화는 과학사 카드에서 제시한 에피소드의 대부분(10차시 중 6차시)에서 과학자가 실험을 통해 가설을 입증하는 과정을 다루었기 때문인 것으로 판단된다.

## 3) 과학적 지식의 발전은 실험을 필요로 하는가?

이 질문의 목적은 전통적인 과학적 방법이나 검증 가능한 가설을 요구하는 논리적인 단계를 따르지 않는 다양한 탐구방법의 존재에 대한 이해를 평가하기 위한 것이었다. 사전설문과 사후설문에서 ‘실험이 꼭 필요하지는 않다’는 의견은 각각 8.50%와 6.54%로



차이가 없었다.

“필요없다. 과학적 지식은 꼭 실험을 하지 않더라도 컴퓨터나 가상실험을 통하여 할 수 있다.”(KTH, VNOS 사전설문)

“그렇지 않다. 예를 들어 우리 지구에 공룡이 사라진 원인을 아직 정확히 알지 못하고 실험으로 증명할 수도 없다. 여러 가지 가설로 인해 과학적 지식이 발전한다.”(PCH, VNOS 사후설문)

‘실험이 필요하다’는 의견 중에서 실험이 무언가를 증명하기 위한 과정이라는 의견이 사전설문에서는 14.40%, 사후설문에서는 34.64%로 뚜렷하게 증가하였다. 물론 현대적 의미의 과학의 본성에 대한 인식에서 실험이 무엇인가를 증명할 수는 없지만, 적어도 비판적인 검증에 대해 인식하고 있다는 점에서는 향상이 있다고 판단된다.

“실험이 필요하다고 생각한다. 예를 들어 실험을 해보지 않은 과학적 지식은 그것이 사실인지 아닌지 또는 가능한지 불가능한지를 증명할 수가 없어서 실험을 하지 않으면 과학적 지식으로 인정받기 어렵고 인정받지 않은 지식은 발전에 도움을 주지 못할 것이다.”(KTH, VNOS 사전설문)

“그렇다. 만약 무엇을 발견해도 실험이 없이 무엇으로 그것을 해명할 수 있을까? 실험이 존재한다면 자신이 찾아낸 것을 해명할 수 있고 또한 증거물로 남아서 새로운 실험을 통해 새로운 답이 나오지 않는 이상 자신이 발견한 것은 사라지지 않는다.”(KHI, VNOS 사후설문)

그러나 학생들에게 과학을 하는 과정에서 반드시 실험을 해야 한다는 주장이 설문결과에서 뿐만 아니라 수업 후 작성한 수행일지에서도 많아졌다는 것은 학생들이 과학적 방법의 다양성을 인식하지 못하고 있음을 보여준다.

“아무리 좋은 가설이라도 실험이 안 되면 아무 쓸모 없는 것이다. 실험을 해야만 그 가설을 증명하고 더욱 더 응용할 수 있다.”(JYJ, VNOS 사후설문)

“실험이라는 증거가 없다면 가설은 쓸데없는 것이 된다.”(KOJ, VNOS 사후설문)

“가설을 연구하는 것도 중요하지만 실험을 하여 증명하는 것이 가장 중요한 것 같다.”(SHN, 기체반응의 법칙 수업 후 수행일지)

“과학은 실험을 통해 정보를 얻어야 그것이 진정한 정보라는 것을 알았다.”(NSY, 기체반응의 법칙 수업 후 수행일지)

또한 이러한 학생들의 생각은 지금까지 학교 과학이 지나칠 정도로 실험을 통해 새로운 과학이론을 평가하고 만들어내는 능력에 강조점을 두어왔음에도 기인한다고 판단된다(이상욱, 2002). Kuhn(1977)에 의하면 사람들은 일단 옳바르다고 생각되는 ‘과학적’ 방법론이 확립된 이후에는 과학지식이 기계적으로 이러한 방법론을 적용함으로써 얻어지는 것으로 생각한다는 것이다. 다시 말하자면 실험에 의한 비판적 검증은 인식하였으되 과학적 방법의 다양성을 인식하지 못하는 결과를 가져올 수도 있다는 것이다.

#### 4) 과학자들이 과학이론(예를 들어, 원자이론, 진화이론)을 개발한 후에 그 이론들은 변화를 거쳤는가?

이 질문은 과학적 주장들의 가설적인 특징과 왜 주장들이 변하는지를 이해하는지 알아보기 위한 목적을 가지고 있다. 이에 대한 학생들의 응답에서 ‘과학이론은 변화될 수 없다’라는 의견은 사전설문에서 16명(10.46%)이었으나, 사후설문에서는 1명(0.65%)으로 감소하였다.

“과학이론은 변화되지 않는다고 생각한다. 사람들이 그 과학이론에 반대되는 의견을 제시한다고 해도 그것은 새로운 이론이지 아예 바뀌는 것은 아니다. 예를 들어 다윈의 진화론이 발표되고 진화론에 반대되는 이론이 발표되어도 다윈의 진화론은 그 자체로 지니는 가치가 있기 때문이다.”(PBS, VNOS 사전설문)

“최근의 과학 실험은 거의 틀리지 않는다. 그래서 과학이론은 더 이상 변하지 않는다고 믿는다.”(KNK, VNOS 사후설문)

‘과학이론은 변화된다’고 과학적 지식의 가변성을 지적인 의견은 사전설문에서도 89.54%로 다수였지만, 사후설문에서는 99.35%로 증가하였으며, 이는 수행일지에서도 나타났다.

“예전과 지금의 생각이나 가치관, 시대상황 등이 많이 달라지고 변화했기 때문에 과학이론이 변한다고 생각한다.”(YWS, VNOS 사전설문)

“과학은 정해진 틀을 깨는 것이다. 자신의 생각을 한 번만 더 돌이켜보고 틀렸다고 생각하면 그것을 탐구하고 연구한다면 변화된다고 본다.”(CYS, VNOS 사후설문)

“자신이 정확한 실험을 했다면 현재의 이론에 얽매이지 않고 창의적으로 생각하고 반론하는 것이 현명하다.”(KJC, 일정성분비의 법칙 수업 후 수행일지)

한편 Bell 등(2000)의 연구에서와 같이 ‘과학기술’로 인해 변화된다는 견해가 사전설문(6.54%)보다 사후설문(35.95%)에서 상당히 증가하였다.

“실험기구의 발전과 좀 더 사고를 깊게 할 수 있게 되면서 전혀 다른 결과를 도출해 낼 수 있었다.”(HSY, VNOS 사전설문)

“과학이론은 세월이 지나면서 변화를 거듭한다. 옛날에는 기술이 부족해서 보이는 만큼 그대로 믿었지만 기술이 발전하면서 더 많은 것을 발견할 수 있게 되어서 이론이 변화된다.”(SYH, VNOS 사후설문)

“과학이론이라는 것은 발표될 당시의 관측기구의 기술력을 반영하여서 도출되는 것이기 때문에 기술의 발달이 있다면 과학지식의 변화가 있어야 할지도 모른다.”(HSY, VNOS 사후설문)

물론 관측기구의 발달은 이전까지 발견하지 못했던 ‘새로운 현상을 발견’ 함으로써 이론의 변화를 가져올 가능성을 높여줄 수는 있다. 그러나 그러한 관측기구도 하나 이상의 이론을 바탕으로 제작되고 해석되며, 근본적으로 기존의 이론에 의존할 수밖에 없다는 사실을 간과하고 있는 것으로 보인다.

학생들이 보여준 다른 변화는 ‘이론은 실험을 통해 증명 안 된 가설일 뿐’이라는 주장이 사전설문(0.65%)에 비해 사후설문(5.88%)에서 늘어났다는 것이다.

“변화된다. 이론은 완전하게 입증되기까지는 하나의 가설일 뿐이다. 원자이론도 과학자들이 실험을 하면서 변화해 온 것이고 앞으로도 새로운 실험에 의해 언제든지 바뀔 수 있다.”(KSH, VNOS 사전설문)

“이론이 변하는 것은 과학이론은 아직까지 과학적으로 정확히 증명되지 않은 가설일 뿐이므로 얼마든지 바뀔 수가 있다.”(JJM, VNOS 사후설문)

“이론이 변하는 이유는 이론은 가설이기 때문이다. 법칙과는 다른 것이다. 그래서 언제든지 이론은 바뀔 수가 있다.”(KDH, VNOS 사후설문)

### 5) 과학이론과 과학법칙 사이에는 차이점이 있는가?

이 질문은 과학적 이론과 법칙의 전개 및 이들 사이의 관계에 대한 학생들의 이해를 알아보기 위한 것이다. Bell 등(2000)의 연구에서 대부분의 학생들은 이들 사이에 위계적인 관계가 있다고 믿고 있었다. 이론은 그 이론에 잘 맞는 증거가 충분히 축적되면 법칙이 된다고 생각한다는 것이다. 이 연구에서도 사전설문에서 20.26%의 학생들이 실험 등의 방법을 통해 증명이 된 것이 법칙이며 아직 증명이 이루어지지 않은 것이 이론이라는 생각을 가지고 있었다. 이러한 생각은 사후설문에서 더욱 증가하여 그 비율이 61.44%에 달했으며, 또한 수행 일지에서도 발견된다.

“법칙은 과학이론이나 가설 등이 시간이 흐르며 검증되고 변화하여 마침내 굳어진 것(예, 관성의 법칙)이고, 이론은 법칙 이전의 단계로 예외나 잘못된 부분이 있을 수도 있다(예, 빅뱅이론, 자연선택설, 용불용설).”(CYS, VNOS 사전설문)

“과학이론은 개인이 어떠한 현상이나 사건에 대해 주장한 것으로 참인지 거짓인지 구별이 확실히 되지 않는 것이나, 과학법칙은 어떠한 이론이 참이라는 것이 증명되어 세계 모두가 약속한 것이라고 할 수 있다.”(JBJ, VNOS 사후설문)

Schwartz 등(2004)에 의하면 이론과 법칙은 과학적 지식의 서로 다른 종류로서 법칙은 일정 조건하에서는 반드시 성립하는 관찰되거나 인지되는 자연의 현상들 사이의 관계에 대한 기술이며, 이론은 자연현상에 대한 설명과 자연 현상 사이의 관계를 위한 절차에 대한 추론이다. 과학에서 가설은 과학적 공동체에서 기본적으로 지지하는 증거와 용인이 축적되면 이론과 법칙으로 유도될 수 있다. 그러나 이론과 법칙은 한쪽이 다른 쪽으로 진보하지는 않는다. 이론과 법칙의 의미를 제대로 이해하지 못하고 있는 학생들이 가설과 이론, 그리고 법칙의 경계를 구분하는 것은 어려

운 일이며, 불완전한 이론이 검증되면 확실한 지식인 법칙으로 자리잡는다는 위계적인 생각을 가지고 있는 경우에 과학적 지식의 가변성과의 논리적인 모순은 피할 수 없는 것으로 보인다.

6) 과학적 지식과 견해 사이에는 차이가 있는가?

이 질문은 과학 지식을 형성하는데 있어서 실험과 같은 증거의 역할을 이해하고 있는지 평가하기 위한 것이다. 사전설문에서 학생들은 ‘지식은 교과서 등을 통해 자신이 알고 있는 것(16.34%)’, ‘지식은 실험 등의 방법으로 검증된 것(15.03%)’, ‘지식은 객관적이고, 견해는 주관적(9.15%)’, ‘지식은 정확한 것(7.84%)’ 과 같은 의견을 가지고 있었다.

“과학적 지식은 과학에 대해 알고 있는 것이지만, 견해는 과학에 대한 자기 자신의 생각이기 때문에 다를 수 있다.”(JWH, VNOS 사전설문)

“과학적 지식은 누구에게나 같지만 견해는 사람마다 다를 수 있다는 것이 차이점이다.”(JJB, VNOS 사전설문)

“과학적 지식은 실험을 통해 증명된 것이고 의견은 증명되지 않은 자신의 생각이다.”(KDW, VNOS 사전설문)

사후설문에서 뚜렷하게 차이를 보이고 있는 것은 ‘지식은 실험 등을 통해 증명된 것(29.41%)’이라는 견해이다.

“과학적 지식은 여러 사람의 손을 거쳐 완성된 것이지만, 견해는 아직 검증되지 않은 이론일 뿐이다. 그러므로 차이가 있을 것이다.”(CUJ, VNOS 사후설문)

“지식은 견해가 실험을 통해서 입증된 것이고, 견해는 과학자들의 생각이다.”(PJS, VNOS 사후설문)

“지식은 모두가 공통적으로 알고 쓰고 하는 것이나 견해는 개인이 어떤 현상이나 사건에 대해 생각하는 것으로 이것이 과학적 실험에 의해 참이라는 것이 증명되면 지식이 되는 것이다.”(JBJ, VNOS 사후설문)

질문에서 의도한 바와 같이 지식에 있어서 검증의 필요성을 언급한 학생들이 많아졌다는 것은 고무적인

결과이지만, 세 번째 질문에서 지적했던 것과 같이 검증방법을 실험에만 의존하는 것은 과학적 방법의 다양성을 인식하지 못하게 하는 결과를 가져올 수도 있다.

7) 만약 두 집단의 과학자들이 동일한 자료를 이용해서 결론을 이끌어 내었음에도 불구하고 다른 결론을 내렸다면 어떻게 다른 결론을 내릴 수 있었습니까?

이 질문은 과학적 논란에 봉착해 있는 과학자들이 동일한 자료를 사용하지만 서로 다른 결론에 도달하는 사실을 강조함으로써, 학생들이 과학자들의 연구에 영향을 주는 요인들에 대해 생각하게 해보도록 하기 위한 것이다. 이 질문에서는 사전과 사후설문에서 별다른 차이가 발견되지 않았다. 사후설문에서 학생들이 주로 ‘생각(41.18%)이나 가치관(9.15%)의 차이’를 그 원인으로 들고 있는 것으로 보아 과학자들의 ‘주관성’을 인식하고 있는 것으로 보인다.

“사람마다 살아 온 환경, 배경지식 등이 달라서 생각하는 것이 다르기 때문에 여러 가설이 생긴다.”(HSK, VNOS 사후설문)

“동일한 자료지만 과학자들마다 경험이나 견해가 조금씩 달라서 같은 자료를 봐도 100% 똑 같은 생각은 할 수가 없다. 그래서 가설은 객관적인 자료로 세우는 것이지만 과학자들의 주관적인 생각도 조금씩 들어가는 것 같다.”(JDI, VNOS 사후설문)

“과학자들의 성향과 추구하는 가치가 다르기 때문이다.”(HHS, VNOS 사후설문)

“인간은 각기 다른 주관을 가지고 있고, 다른 지식의 배경을 가지고 있다. 과거의 사실에 대한 가설이 각자 다른 것은 자신의 경험과 지식의 양이 다르고 주관이 다르고 이해관계가 다르기 때문이다.”(YSW, VNOS 사후설문)

또 다른 의견들로는 ‘과학자들이 가지고 있는 기존의 과학지식(8.50%)’, ‘연구방법의 차이(10.46%)와 ‘증거 불충분(7.84%)’이 있었다.

“자신이 가진 과학적 지식이 다르기 때문이다. 만약 과학적 지식이 완전히 같다면 아마 과학자들의 생각은 같았을 것이다. 그러나 과학적 지식과 그 지식에 대한 견해가 다르기 때문에 결론이 다르다고 생각한다.”(YWS, VNOS 사전설문)

“먼저 사람의 생각이 모두 다르고, 아무리 같은 자료를 이용해서 제시한 것이라고 해도 자료를 보는 방향에 따라 또는 자료를 분석하는 방법에 따라 다를 것이다. 생명체를 위협할 수 있는 자연현상이 많고 아주 오래전 일을 가정했기 때문에 우리는 어떤 일이 있었는지 무한한 상상을 할 수 있다.”(KTH, VNOS 사후설문)

“과학적 자료가 부족하기 때문이다. 같은 자료라도 자료의 양이 적으면 결과의 수는 방대해질 수 있기 때문이다.”(KSJ, VNOS 사전설문)

**8) 어떤 사람들은 과학에 사회적이고 문화적인 가치를 주입해야 한다고 주장하고 있으며, 또 다른 사람들은 과학이 보편적이어야 한다고 주장한다. 이에 대한 당신의 의견은?**

사전과 사후설문에서 ‘과학이 보편적’이라는 의견은 각각 51.63%와 50.98%로 거의 변화가 없었다.

“사회와 문화는 나라마다 다르다. 객관성이 강한 과학은 어느 나라에서나 똑같이 적용해야 혼란이 없다. 그러므로 보편적인 것이다.”(JBJ, VNOS 사전설문)

“과학은 보편적인 것이다. 과학을 정치적, 종교적, 사회적 규범에 속하게 하려는 것은 인간이 과학자의 의도(호기심, 지식 발전 등등)를 더럽히는 짓이다.”(YDH, VNOS 사후설문)

“과학적인 사실, 권리 등은 인간이 나타나기 이전에 존재했던 것들이다. 인간의 국제적 문화적, 경제적 국경은 인간들이 임의로 만들어 낸 것이다. 그러므로 과학은 어느 곳에서나 작용한다.”(KJS, VNOS 사후설문)

과학이 사회문화적 가치를 반영해야 한다는 의견도 사전설문에서 33.33%였으나, 사후설문에서는 39.87%로 큰 변화가 없었다. 그러나 이에 대한 이유로는 사전설문에서는 ‘실생활에 도움(9.15%)’을 들었던 것에 비하여, 사후설문에서는 ‘실생활에 도움’을 이유로 드는 경우가 3.92%로 줄었으며, 황우석 사건의 영향으로 인간복제를 이유로 제시한 학생이 15.03%였다.

“예, 과학은 세월이 지나면서 과학의 발달로 인해 인

간의 문화와 가치를 반영해 변화시켜 인간의 생활을 더 편리하게 만들어야 한다.”(JWS, VNOS 사전설문)

“장영실이 조선 초기 많은 천문학 기구를 발명한 배경은 그 시대 중국을 비롯하여 많은 국가에서 천문학이 열기를 띠었고 세종대왕의 정책과 필요가 뒷받침되었기 때문이다. 그러므로 과학은 사회적 문화적 필요에 알맞게 발전을 알 수 있다.”(PDJ, VNOS 사전설문)

“과학은 사회적이고 문화적인 가치를 반영해야 한다. 예를 들어 황우석 박사가 만들려고 시도했던 배아줄기 세포는 난자를 가지고 실험을 해서 윤리적인 문제가 많이 생기기도 했다.”(KWJ, VNOS 사후설문)

**9) 과학자들은 자신이 제안한 질문에 대한 해답을 얻으려고 할 때 실험/탐구를 수행한다. 과학자들이 탐구를 수행하는 동안 자신의 창의성과 상상력을 사용합니까?**

이 질문은 과학연구에서 인간의 창의성과 상상력, 이들의 역할에 대한 학생들의 이해를 평가하기 위한 것이다.

사전설문에서 ‘상상력과 창의성을 이용하지 않는다’고 응답한 학생들이 23.53%였으나, 사후설문에서는 11.11%로 그 비율이 많이 감소하였다. 이들 중 대부분은 이유로 ‘과학은 정확해야 하고 객관적 사실만을 밝혀내야 하는 것’ 이기 때문이라고 답하였다.

“과학자들이 상상력과 창의성을 사용해서 실험/탐구를 한다고 하면 그것은 객관적이지 못한 것이다. 과학 실험/탐구는 객관적이어야 하기 때문에 상상력과 창의성을 사용하면 안 된다고 생각한다.”(LDJ, VNOS 사전설문)

“사용하지 않는다. 과학에서 창의성과 상상력은 불필요한 것이고, 과학적 사실만을 지식적으로 밝혀내는 것이기 때문이다.”(YTY, VNOS 사전설문)

“창의성과 상상력을 사용하면 안 된다. 왜냐하면 과학은 정확하고 확실한 것을 추구하는 것이다. 그렇기 때문에 과학자들이 자신의 상상력과 창의성을 사용하는 것은 과학의 정확함을 표현할 수 없기 때문에 과학은 정확한 정보로만 이용되어야 한다.”(LYI, VNOS 사후설문)

‘상상력과 창의성을 사용한다’고 주장한 학생들은 사전설문에서는 64.05%였으나, 사후설문에서는 79.08%로 증가하였다. 특히 설계와 구상 단계에서 사용한다는 의견이 사전설문에서 26.14%였는데, 사후설문에서는 48.36%로 증가하였다. 창의적인 사고를 이용하는 것이 탐구의 전반에 걸쳐 고유하고 필수적인 구성요소로 간주되기 보다는 오히려 탐구의 최초 단계인 설계와 구상으로 제한하였다는 점에서 단순한 견해로 간주할 수 있다.

“예, 이미 증명된 사실에 의거하여 그 속에서만 해답을 찾으려 전전긍긍한다면 찾지 못할 답이 태반일 것이다. 그러므로 사실을 바탕으로 하되 과학자만의 독창적인 생각이 가미된다면 더 많은 발명품들이 생겨날지도 모른다.”(PDJ, VNOS 사전설문)

“설계와 구상에서 가장 많은 창의성과 상상력이 들어간다고 생각한다. 그 이유는 같은 정보, 같은 증거라도 실험 방법에 따라 다른 결과가 나오기 때문이다.”(MJH, VNOS 사전설문)

“과학자들은 설계와 구상 단계에서 자신의 상상력과 창의성을 사용할 것이다. 설계와 구상은 아직 해답을 찾지 못한 상태에서 수행하는 단계이므로 객관적일 수 없다.”(JB, VNOS 사후설문)

다음으로 많은 의견은 ‘자료 수집 후’에 사용한다는 것으로 사전설문에서 7.19%, 사후설문에서는 7.84%로 사전과 사후설문의 차이가 없었다.

“자료를 수집하기까지는 반드시 객관적인 시각이 필요하다. 이 자료를 토대로 결과를 판단해야 하기 때문이다. 예를 들어, 자료가 이해되기 어려운 상황에서는 객관적으로 판단하기 힘들다. 그러므로 이럴 때 이런 사실을 토대로 창의성을 이용해 적절한 결과를 이끌어 내야 한다. 그래서 자료 수집 후 창의성과 상상력을 사용해야 하는 것이다.”(LSW, VNOS 사전설문)

“자료 수집 후에 사용할 것이다. 자료를 수집한 후에 그 자료를 바탕으로 가설을 만들어내는 데 가설을 만드는 과정에서 자료로부터 가설을 이끌어내기 위해 상상력과 창의성이 필요하게 되기 때문에 그렇게 생각한다. 예를 들어 탐정이 증거물을 수집한 후에 그 증거물로 인과관계와 나름의 상상력과 창의성을

이용해 범인을 잡아내듯이 과학자들도 가설을 세우기 위해 상상력과 창의성을 자료(증거물)에 사용한다.”(YDH, VNOS 사후설문)

모든 단계에서 창의성과 상상력을 이용한다는 의견은 사전설문에서는 4명(2.61%), 사후설문에서는 2명(1.31%)으로 그 비율이 매우 적었다.

“과학자들은 언제든지 자신의 창의성과 상상력을 사용한다. 설계 구상 중에도, 자료 수집 중에도, 자료 수집 후에도 심지어 실험 중에도 창의성과 상상력이 요구된다. 예를 들어 과학자들의 실험을 보자. 과학자들은 실험 중에도 이것이 아니다 싶으면 바로 변경한다. 좀 더 실용적인 방법을 찾아 자신의 모든 뇌를 사용하고, 자신의 모든 창의력과 상상력을 동원했다. 그것처럼 과학자에게는 언제나 상상력과 창의성이 필요한 것이다.”(LJH, VNOS 사전설문)

“모든 과정에서 상상력과 창의성이 사용된다고 본다. 과학은 사람이 상상한 그 무언가를 실험하고 탐구하여 결과를 얻는 것이기 때문이다. 과학의 기초는 상상력과 창의성이라고 생각한다.”(PHS, VNOS 사전설문)

“나는 모든 단계에서 자신의 상상력과 창의성을 사용한다고 생각한다. 과학이라고 뭐든지 공식이 맞다고 생각하고 원리와 이미 잡혀져 있는 틀이 무조건 옳다고 생각하고 그것이 만약 틀렸거나 예외를 생각하지 않는다면 과학은 발전할 수 없을 것이다. 자신이 틀렸다고 생각하고 실험해보고 관찰하고 끊임 없이 탐구하고 자신의 상상력과 창의성을 보여준다면 우리가 알고 있던 원래의 과학이 틀렸다고 밝힐 수도 있을 것이다.”(CYS, VNOS 사후설문)

위의 응답에서 보듯이 학생들은 자료수집과 분석, 해석의 과정에서의 창의성의 역할을 별로 인정하지 않았다. 이러한 결과는 과학의 역할이 자연현상에서 나타나는 경향성을 창출해내는 것이 아니라 객관적인 진리를 발견하는 것이라는 견해를 가지고 있다는 사실과 그 의미를 같이 하는 것이라 판단된다.

## IV. 결 론

이 연구에서는 과학의 본성 요소들을 명시적으로 강조하는 과학사를 활용한 과학수업을 통해 중학생들이 가지고 있는 과학의 본성에 대한 이해의 발달에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 과학의 본성에 대한 학생들의 이해 발달 평가 문항과 VNOS 설문제에 대한 답변과 수행일지를 비교 분석한 결과, 과학사를 활용한 수업 후 학생들의 과학의 본성에 대한 이해가 전반적으로 개선된 방향으로 변화가 있었다.

학생들은 과학사를 활용한 과학수업을 통해 과학적 지식이 변화되어가는 과정을 접하면서 가변성에 대한 인식을 획득하기는 하였으나, 가변성이 과학 자체의 본질적인 특성이라는 인식에까지는 이르지 못했다. 학년별 전체 과학시수 136차시 중 10차시에 불과한 과학사 수업만으로는 이러한 인식을 확장시키기에는 불충분한 것으로 보인다. Saunders(1986)는 자신의 연구에서 과학의 본성에 대해 학생들이 학습하는 것은 그들이 과학수업에서 겪은 경험의 결과라는 것을 제안하였다. 실제로 학교에서 이루어지는 과학수업과 평가는 주로 강의, 기계적 암기, 그리고 객관식 검사로 구성되어 있다. 과학수업에서 과학 내용의 기억만을 강조한다면 학생들은 과학의 실증주의적 관점과 정보만을 수용하게 될 수 있다(Hogan, 2000). 따라서 과학수업에서는 다양한 과학의 본성들이 포함되는 내용들이 강조되고 이를 평가에도 반영할 수 있는 방법이 모색되어야 할 것이다.

실험에 대한 인식에서 일부 학생들은 실험이 교과서에서 배운 과학적 지식이나 이론을 확인하는 과정이라는 견해에서 가설과 이론을 검증하는 과정이라는 견해로 변화하였다. 그러나 여전히 학생들 사이에 실험을 통해서만 이론의 진위를 증명할 수 있다는 생각이 광범위하게 존재하였다. 과학적 실험에 의해 모든 의문이 해결되고, 곧바로 지식을 성취하게 한다는 것은 환상이며, 어떤 사실을 성취하기 위해서는 과학자 집단에서 합의를 얻기 위한 과정이 필연적으로 수반되어야 한다는 사실을 이해해야 한다(소원주, 1998). 또한 과학적 지식을 획득하는 다양한 과학적 방법이 존재한다는 사실을 깨달을 수 있도록 해야 할 것이다.

학생들은 과학 기술의 발달로 인해 새로운 사실이 축적됨으로써 과학 이론이 변화되며 이론이 실험을 통해 충분한 증거를 가지게 되면 더 이상 변화되지 않

는 완벽한 법칙이 된다는 위계적인 견해를 일관되게 가지고 있었다. 이러한 결과는 과학에서의 가변성이 자료의 완벽과는 상관없이 관찰과 추론의 본성에 기인한 고유한 특성이라는 사실을 이해하지 못했다는 것이다. Schwartz 등(2002)은 이것이 과학교과서와 교육이 학생들에게 과학의 본성에 대한 부적절한 견해를 제시하고 있기 때문이라고 지적하였으며, 그들의 연구에서도 연구 참여자들이 마지막까지 가장 적은 변화를 보였던 부분이기도 하다. 전달식 수업과정에 익숙해져서 과학에는 수식이나 법칙과 같은 영원 불변의 진리가 있다고 생각해왔던 학생들이 이론과 법칙에 대한 의미를 제대로 인식하지 못한 채 과학적 지식의 역사적 발전과정에 대한 수업을 받다 보니 이와 같은 주장을 하게 된 것으로 추측된다.

학생들은 과학적 지식이 보편적 가치를 가진 것으로서 사회 문화적인 가치를 반영해서는 안된다는 생각을 일관되게 가지고 있었다. 그러나 과학적 이론은 과학자 집단의 검증과 같은 집단적 노력을 통한 결과이며, 이러한 검증은 상호주관적인 것이다. 객관적 진리를 성취하기 위한 것이라기보다는 오히려 자신의 논의의 타당성을 얻고 다른 사람들을 설득하기 위한 것이다(소원주, 1998). 따라서 과학수업에서 과학사 속의 다양한 사례에 대해 논의하는 과정을 통해 과학 이론이 맞거나 틀렸다는 기준은 그 당시의 사회문화적 상황과 그에 맞는 도구의 개발을 통해 이루어진 사회적 합의일 뿐 절대적일 수는 없다는 사실을 강조해야 할 것으로 생각된다.

창의성과 상상력의 역할에 대한 학생들의 인식은 과학이론의 성립과정에서 그 역할에 대한 비율이 증가하였으나, 학생들은 일부 단계에서만 창의성과 상상력을 사용한다는 의견이 지배적이었다. 특히 설계와 구상 단계에서 사용한다는 의견이 많았다.

과학사를 활용한 과학수업을 통해서 학생들의 과학적 지식의 가변성과 비판적 검증, 그리고 창의성과 연관된 요소들에 대한 인식이 크게 향상되었다. 또한 과학이 이전부터 존재했던 진실의 발견이 아닌 인간의 노력으로 인식하게 되었다는 사실은 주목할 만하다. 이는 과학사를 과학수업에 적용하여 명시적으로 과학의 본성을 가르친 결과라고 볼 수 있다. 그러나 여전히 학생들은 이러한 인식, 특히 가변성에 대한 인식과 기존에 자신이 가지고 있던 실증주의적 견해 사이에 인지적 혼란을 겪고 있는 것으로 보인다. 비록 이성적

으로는 과학적 지식의 가변성을 받아들이더라도 과학 지식의 절대성에 대한 생각이 마음속에 자리하고 있는 것이다. 이는 단기간의 교육에 의해서는 개선되기 힘든 요소라고 본다.

따라서 장기간에 걸쳐서 다양한 과학의 소재를 과학수업에 포함시킬 뿐만 아니라, 평가과정에도 이를 포함시켜 학생들에게 과학의 본성에 대한 이해를 발달시키는 것이 필요하다고 본다.

### 국문 요약

이 연구는 과학사를 활용하여 과학의 본성을 명시적으로 강조한 과학수업이 학생들의 과학의 본성에 대한 이해의 발달에 미치는 영향을 조사하였다. 연구 대상은 광역시에 소재한 4개 중학교 3학년 학생 708 명이며, 과학사 교수학습프로그램의 사전과 사후에 과학의 본성에 대한 인식을 알아보기 위한 검사와 설문문을 실시하였다. 수업처치는 10차시에 걸쳐 이루어졌다. 연구에 대한 정량분석 결과, 학생들은 과학적 지식의 가변성, 과학적 방법을 통한 비판적인 검증, 창의성과 같은 과학의 본성 측면에 대한 인식이 현대적인 관점으로 개선되었음을 보여주었다. 그러나 과학적 지식의 가변성 측면에서 지식의 절대성도 동시에 가지고 있는 것으로 나타나 아직은 인지적 혼란을 겪고 있는 것으로 보였다. 설문과 수행일지에 대한 정성분석 결과, 과학에는 실험이라는 실증적 과정이 필요하다는 견해는 유의미한 변화가 나타나지 않았으나, 과학의 본질적인 특성으로 과학적 지식의 가변성을 언급하는 학생들이 증가하였다. 그러나 학생들이 가지고 있던 과학주의적 경향도 다소 증가하는 이중성을 보여주었다.

### 참고 문헌

강석진, 김영희, 노태희 (2004). 과학사를 이용한 소집단 토론 수업이 학생들의 과학의 본성에 대한 이해에 미치는 영향. *한국과학교육학회지*, 24(5), 996-1007.

남정희, Mayor, V. J., 최준환, 임재향 (2007). 예비 과학교사의 과학의 본성에 대한 인식. *한국과학교육학회지*, 27(3), 253-262.

소원주 (1998). 과학교사의 과학철학적 관점과 과

학 서술 방식이 중학생들의 과학철학적 관점의 변화에 미치는 영향. *한국 교원대학교 지구과학교육전공 박사학위 논문*.

유진숙 (1998). 과학의 본성에 대한 인식 조사 및 인식 변화에 미치는 과학사 프로그램의 효과. *서울대학교 교육학(화학전공) 석사학위 논문*.

임소희 (2002). 과학사를 이용한 수업이 고등학생의 과학철학적 관점에 미치는 영향. *한국교원대학교 교육대학원 석사학위 논문*.

이상욱 (2002). 역사적 과학철학과 철학적 과학사. *한국과학사학회지*, 24(2), 송상용 교수님 정년퇴임 특집호.

이은아 (2001). 과학의 본성에 대한 학생들의 이해 발달 평가 문항의 개발: 미국 AAAS의 "과학적 소양을 위한 기준"에 의거하여, *서울대학교 박사학위 논문*.

정배현 (2003). 과학사 프로그램의 개발 및 고등학교 과학 수업에의 적용 효과. *서울대학교 석사학위 논문*.

조희형, 최경희 (2001). *과학교육총론*. 교육과학사.

한승희 (2001). 과학사를 도입한 에너지 보존 법칙 수업자료 개발과 그 효과. *서울대학교 석사학위 논문*.

Abd-El-Khalick, F. (1998). The influence of history of science courses on students' conceptions of the nature of science. Unpublished doctoral dissertation, Oregon State University, Oregon.

Abd-El-Khalick, F. (2000). Improving elementary teachers' conceptions of nature of science in the context of a science content course. Paper presented at the annual meeting of the Association for the Education of Teachers in Science, Akron, OH.

Akerson, V. L., & Volrich, M. L. (2006). Teaching nature of science explicitly in a first-grade internship setting. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(4), 377-394.

American Association for the Advancement of Science [AAAS]. (1993). *Benchmarks for science literacy: A Project 2061 report*. New York: Oxford University Press.

Bartholomew, H., & Osborne, J. (2004). Teaching Students "Ideas-About-Science": Five dimensions of effective practice. *Science*

Education, 88(5), 655-682.

Bell, R. L., Blair, L., Crawford, B., & Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of a science apprenticeship program on students' understanding of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487-509.

Bell, R. L., Lederman, N. G., & Abd-El-Khalick, F. (2000). Developing and acting upon one's conception of the nature of science: A follow-up study. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(6), 563-581.

Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Buckingham, England: Open University Press.

Duschl, R. A. (1990). *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York: Teachers College Press.

Hogan, K. (2000). Exploring a process view of students' knowledge about the NOS. *Science Education*, 84(1), 51-70.

Khisfe, R., & Abd-El-Khalick, F. (2002). Influence of explicit and reflective views versus implicit 'inquiry orientated' instruction on sixth graders views of the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578.

Kuhn, T. (1977). *The essential tension—selected studies in scientific tradition and change*, The University of Chicago Press.

Lederman, N., Schwartz, R. S., Abd-El-Khalick, F., & Bell, R. L. (2001). Preservice teachers' understanding and teaching of the

nature of science: An intervention study. *The Canadian Journal of Science, Mathematics, and Technology Education*, 1(2), 135-160.

Meichtry, Y. J. (1992). Influencing student understanding of the nature of science: Data from a case of curriculum development. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 389-407.

Moss, D. M., Abrams, E. D., & Robb, F. (2001). Examining student conceptions of the nature of science. *International Journal of Science Education*, 23(8), 771-790.

Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. (2003). What "Ideas-about-Science" should be taught in school science? A delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.

Saunders, W. L. (1986). Alternative conceptions of the nature of science - Response from students teachers and professors. *Education*, 107(1), 98-104.

Schwartz, R., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610-645.

Solomon, J., Duveen, J., Scot, L., & McCarthy, S. (1992). Teaching about the nature of science through history: Action research in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(5), 409-421.



## 부 록

- 과학사 활용 교수학습 프로그램 예시 -

3학년	<b>과 학</b>	조	학번	이름
대단원	3. 물질의 구성	소단원	3-1. 물질의 기본적인 성분은	

### 이 끌 어 내 기

바빌로니아의 전설에 의하면 태초에는 바다만이 있었으며, 육지는 신이 바다로부터 창조하였다고 한다. 이와 같이 다른 모든 물질이 근본 물질인 물에서 유래하였다는 생각은 그 후의 많은 사회에서 물질의 변화를 설명하는 기초로 이용되었다고 한다. 과연 물질을 이루는 기본적인 성분은 무엇일까?



### 탐 구 하 기

과거의 과학자들은 만물의 근원적인 요소에 대해 어떻게 생각해 왔을까? 각자 과학사 카드 1-1, 2, 3, 4, 5를 읽어보고, 그들의 주장에서 공통점과 차이점을 찾아 적어보자.

#### 1. 탈레스와 아리스토텔레스

공통점 :

차이점 :

#### 2. 아리스토텔레스와 라부아지에

공통점 :

차이점 :

### 설 명 하 기

1. 이전에는 만물의 근원을 신에게서 찾다가 탈레스가 만물의 근원을 물이라고 주장하면서부터 과학이 시작되었다고 한다. 이것은 어떠한 의미를 가지는가?

2. 고대 그리스의 철학자인 탈레스와 아리스토텔레스의 설명은 나름대로 논리적이기는 하지만 과학적이라고는 볼 수 없다. 그 이유는 무엇인가?

3. 이전의 과학자들이 발견하고는 그 정체를 확인하지 못했던 수소와 산소 기체를 이용하여 라부아지에는 아리스토텔레스의 4원소설을 타파하였다. 이와 같은 사실을 통해 우리가 알 수 있는 것은 무엇인가?

### 동 화 하 기

1. 물질의 근원에 대한 생각이 고대로부터 지금까지 계속 변해 온 까닭이 무엇이라고 생각하는가?

2. 현대과학에서는 물질의 근원을 원소라고 한다. 원소의 정의를 적어보자.

- 과학사 읽기 카드 예시 -

**과학사카드 1-1 : 탈레스**



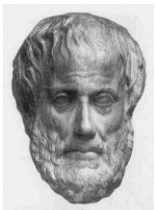
물을 끓이면 기체가 되어 날아간다. 말하자면 물이 공기로 바뀌는 것 같다. 그 뿐만 아니라, 물은 얼어서 얼음이 되기도 하며 물을 오래 놓아두면 흙 같은 찌꺼기도 그 속에 생겨나고 나중에는 장구벌레와 같은 작은 벌레조차 생긴다. 세상에 물 없이 살 수 있는 것은 없다. 물이 야말로 모두를 만들어 주고 살려 주는 바탕이 되는 근원적인 물질, 즉 원소일 수밖에 없다.

**과학사카드 1-2 : 엠페도클레스**



나무가 탈 때 불꽃이 일어나고(불), 끝 부분에 수분이 맺히며(물), 연기가 올라가고(공기), 그리고 타고 난 뒤에는 재(흙)가 남는다. 그렇다면 만물은 물, 불, 공기, 흙으로 이루어져 있지 않을까? 그 네 가지 원소가 사랑과 투쟁이라는 두 가지 힘에 의해 결합되고 분리되어 만물을 형성하게 되는 것 같다. 4원소가 돌고 돌면서 뭉치고 떨어지는 것을 반복하는 데 매 번 서로 친하고 먼 정도가 달라진다. 그렇게 세계도 바뀌고 달라지는 것 같다.

**과학사카드 1-3 : 아리스토텔레스**



물, 불, 공기, 흙 등의 4원소는 모두 제5의 원소로 되어 있다. 여기에 네 가지 성질인 따뜻함, 차가움, 습함, 건조함이 두 개씩 더해질 때 비로소 4원소가 생성되는 것이다. 이 원소들의 조합에 의해 만물이 생성된다. 따라서 한 원소가 다른 원소로 변환되는 것도 가능하다. 예를 들어 물을 끓일 때 흰 앙금이 생기는 현상은 물과 불이 반응할 때 따뜻하고, 차갑고, 건조하고, 습한 성질이 재배열되어 공기와 흙이 되는 것이다.

**과학사카드 1-4 : 보일**



나무가 탈 때 나온다는 물, 불, 공기, 흙이 나무가 타기 전부터 나무 그 자체에 실제로 들어 있었다는 증거는 어디에도 없다. 고대 그리스 철학자들처럼 실증되지 않은 추상적 개념을 고집해서는 안 되며, 모름지기 과학을 연구하는 사람이라면 관찰과 실험을 통해 실증의 단계를 거쳐야 한다. 원소는 모든 물질을 이루고 있는 기본 물질이므로, 원소는 보다 간단한 물질로 더 분해되어서는 안 된다.

**과학사카드 1-5 : 라부아지에**



가열된 관에 수증기를 통과시키는 실험을 하면, 물은 산소와 수소라는 더 작은 물질로 분해가 된다. 이 실험에서 발생하는 기체는 바로 물이 분해된 것이니까, '물을 만드는 원소'라는 의미에서 수소라고 부르자. 그런데 원소는 현재까지 알려진 어떤 수단으로도 더 이상 간단한 물질로 분해할 수 없는 물질이니까, 아리스토텔레스의 4원소에서 적어도 물이 원소라는 것은 더 이상 옳지 않다.