

## 교과서의 화학 실험 분석을 통해 본 실험과 도구의 의미 재고

최취임 · 이선경\*

서울대학교

(접수 2016. 1. 25; 게재확정 2016. 5. 31)

### Reconsidering the Meanings of Experiments and Instruments Based on the Analysis of Chemistry Experiments in Textbooks

Chui Im Choi and Sun-Kung Lee\*

Seoul National University, Seoul 08826, Korea. \*E-mail: halley2061@hanmail.net

(Received January 25, 2016; Accepted May 31, 2016)

**요 약.** 일반적으로 실험은 과학의 꽃으로 인식되고 있고 학교 과학에서도 중요한 위치를 차지한다. 과학자들은 확증이든, 입증이든, 사고실험이든, 어떤 형태든 실험이라는 형태를 거친다. 과학교육의 주요 목표 중 하나는 탐구능력을 향상키는 것이다. 이에 학생들에게도 실험을 하도록 하는 것은 당연한 것으로 여겨진다. 그러나 학교 실험이 과학을 이해하고 학습하는데 있어서 과연 무엇이며 어떤 역할을 하는지에 대한 의견과 논의는 항상 긍정적이지만은 않다. 또한, 학교 과학 실험의 이론적 당위성이 자리 잡고 있다고 하더라도 실제 과학자들이 수행하는 실험과는 간극이 존재한다. 이 연구에서는 학교 과학 실험과 도구의 의미를 탐색하였다. 또한 하나의 사례로 중학교 과학 교과서와 고등학교 화학 교과서에 수록되어 있는 화학 관련 탐구 실험의 유형 및 도구 사용 수준을 분석하여, 학교 과학 탐구에서 실험과 도구의 의미를 재조명하고자 하였다.

**주제어:** 학교과학탐구, 실험, 도구

**ABSTRACT.** Experiment is recognized as an important part in science and science education. Scientists do experiments for verifying or refuting theory and they take many forms to do experiments. One of the central goals of science education is to improve inquiry ability. So we have taken for granted that students engage in authentic inquiry and experiment which scientists carry out to research. But it is not always positive about discussions and opinions what school experiment and its role is in learning science and understanding about science. There is certainly a gap between experiments which scientists and students do even though there is a theoretical basis of school science experiment. In this study, we discussed how scientific inquiry and school inquiry are different, and what it means to use instrument in school science experiment. And as a case, we analyzed chemistry experiments in science textbook and manipulation level of instruments which were handled in chemistry experiments, we shed light on the meanings of experiments and instruments in school science inquiry based on the result of experiments and instruments analysis.

**Key words:** School science inquiry, Experiment, Instrument

## 서 론

과학을 학습하는 방식은 다양하다. 과학 학습 방법의 하나로서의 실험은 과학의 꽃이라 불릴 정도로 학교 과학에서 오래 동안 중요한 위치를 차지해왔다. 과학교육의 목표로 중요시되는 것은 탐구이며, 탐구능력을 향상시키기 위해서는 학생들이 직접 과학의 과정을 경험해보는 것이기 때문이다. 과학 과정의 중심에는 실험이 있으며, 학교 과학의 실험은 학생들로 하여금 과학자가 수행하는 탐구 과정을 수행할 수 있도록 한다.<sup>1,2</sup>

과학자들은 실험을 한다. 확증이든, 입증이든, 사고실험이든, 어떤 형태든 실험이라는 과정을 거친다. 실험실에서 과학자들은 기술과 지식을 배우고 경험하고 사용하면서 지식의 산출 과정에 참여한다. 실험에 기반을 둔 과학의 실제 활동에서 대부분의 경우에 실험에는 각종의 도구가 쓰인다. 학교 과학에서의 실험은 추상적인 과학지식을 지도하는 데 효과적인 학습방법이라 여겨진다.<sup>3,4</sup> 실험을 통해 학생들은 정보를 수집하고 조직하는 기능과 관찰결과를 전달하고 해석하는 기능이 향상되며 새로운 개념이나 이론을 탐색할 수 있는 구체적인 학습경험을 할 수 있다. 이러한 이유로 과학교육에서는 실험을 강조하고 있고, 과학교육에서 학생들이 실험에 참여한다는 것은

과학자들의 탐구를 경험한다는 것을 의미한다.

과학교육-화학분야-에서 이루어지고 있는 실험에 대한 연구는 실험 개발과 실험 개선이 주된 이룬다. 교과서는 교육과정의 주요 실천 자료이고 주된 학습 교재로 사용되고, 과학을 학습하는 데 있어서 교사와 학생 모두 교과서에 의존하고 있다.<sup>16</sup> 따라서 교과서에 제시되고 있는 실험은 학생 경험의 자원이 되므로, 여러 연구들은 교과서에 제시되고 있는 실험의 문제점을 분석하고 그 문제점을 바탕으로 과학개념 학습에 도움을 줄 수 있도록 개선한 실험을 제안하였다.<sup>7, 10</sup> 또 다른 실험에 대한 연구들로 학생들이 과학개념을 이해하기에 적합한 실험을 개발한 연구들이 있다.<sup>11, 14</sup> 이러한 연구들은 실험이 갖는 의미가 무엇인지에 대한 논의가 부족하다. 이는 국내에서만이 아니라 국외에서도 실험과제의 이론적 평가틀을 개발한 Chinn과 Malhotra<sup>15</sup>와 물리교육에서 실험의 인식론적 역할을 구성주의 관점에서 재구조화하여 제안한 Kopone과 Mantyla<sup>16</sup>과 같은 몇몇의 연구를 제외하고는 실험이 갖는 의미에 대해서는 거의 연구되고 있지 않다.

이에 본 연구는 학교 과학 탐구의 본질이 과학적 탐구와 어떠한 차이가 있는지를 검토하고, 학교 과학 탐구에서 실험의 위치를 탐색하고자 한다. 또한 학교 과학의 주요 실천 자료로서 화학 교과서의 분석 사례를 통해, 실험의 유형과 도구의 조작수준을 살펴보고자 한다. 이를 토대로 학교 과학 실험과 도구의 의미를 재조명하는 것이 본 연구의 목적이다.

## 이론적 배경

### 학교 과학 탐구

과학적 탐구는 과학자들이 하는 활동을 일컫는다. 과학자들은 실세계에 대한 문제를 해결하기 위해 가설(잠정적 설명)을 설정하고, 가설을 입증하거나 반증하기 위해 검증이라는 활동을 수행하고, 검증의 결과에 따라 결론에 도달하거나 문제를 재정의한다. 이 일련의 활동은 실험이라는 형식으로 이루어진다. 이때 실험은 직접 현상을 관찰하거나 실험실에서 조작하거나 머릿속에서 하거나 다양한 형태로 이루어진다.

과학교육에서 과학적 탐구는 주요 목표가 된 지 오래이다. '탐구'는 20세기 후반부터 세계 과학교육의 중심용어가 되어 왔으며,<sup>17</sup> 학생들에게 과학자의 과학적 탐구를 경험하도록 하는 것이 과학교육에서 중요하게 여겨졌다. 과학 활동의 본질이 과학자 활동에 있다면, 학생들이 과학자 활동을 경험하는 것은 과학교육에서 핵심이기 때문이다.

미국과학교육기준(NSES)에서는 과학 탐구를 "과학자들이 자연 세계를 연구하는 다양한 방법으로, 연구로부터

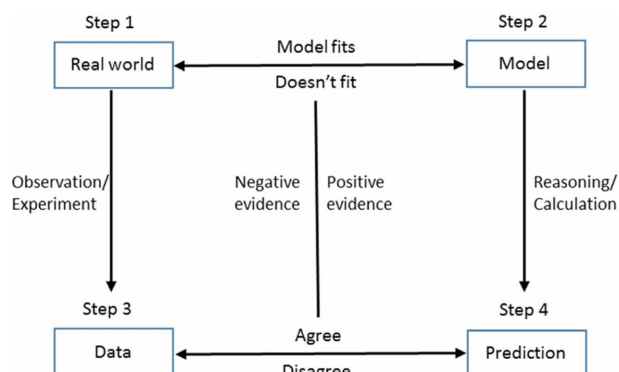


Figure 1. Model of scientific reasoning.<sup>10</sup>

얻은 증거를 기반으로 설명을 만드는 것"이라고 정의하고 있다. 이 정의에 따르면, 과학 탐구는 특정 방법에 제한되지 않는다. 과학자의 탐구는 정형화된 것이 아니고 문제에 다양한 방식이 열려 있어 적합한 방식을 가용할 수 있다. 뒤이어, NSES는 과학 탐구의 주요 특징인 5개 요소(asking, evidencing, explaining, evaluating, communicating)를 제시하면서, 교육과정과 시간이 제한되어 있는 학교 과학 탐구에서 이 요소들의 수준을 다양화하여 수업에 적용할 것을 권고하였다.<sup>18</sup> 과학 탐구는 과정 기능만이 강조된 절차가 아니라 과학 지식을 생성하는 활동으로 간주되는 것이 더 적합한 듯하다.

과학 활동에 대한 이해와 평가를 위해, Gierc<sup>19</sup>는 신세계, 사료, 설명, 예측이 역동적 관계를 갖는 과학적 추론(scientific reasoning) 모형을 제안했다. Fig. 1과 같이 과학자들은 관찰과 측정을 통해 '실세계'에 대한 자료를 수집하고(Step 1), 실세계 행동에 대한 설명을 추측해 만든다(Step 2). 이 설명으로부터 추론과 계산을 통하여 추측하고 있는 설명으로부터 구체적인 예측이 만들어지고(연역되고)(Step 4), 그 예측들은 자료와 비교된다(Step 3). 다음으로, 자료가 예측과 일치하거나 일치하지 않는 정도가 검증되어야 한다. 이 과정은 분명하거나 간단하지 않다. 하나의 이론이나

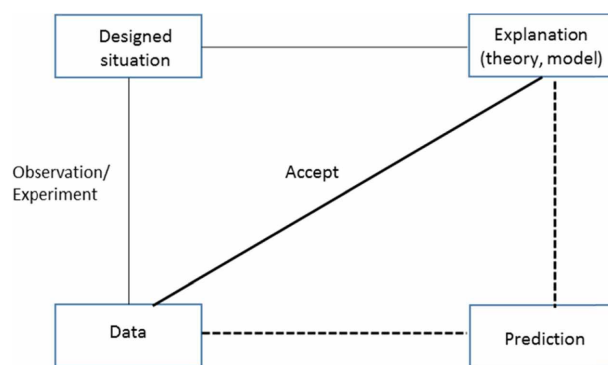


Figure 2. Modified model of science.<sup>21</sup>

추측이 검증되기 보다는 두 개 이상의 경쟁이론 사이에서 일어나는 경우가 왕왕 있기 때문이다. 그 다음 과학자가 하는 중요한 활동은 이 대안들이 증거와 일치하는지 혹은 일치하지 않는지를 평가하여, 특정 자연 현상에 대해 가장 설득력 있는 설명을 제공하는 것이다. 예측과 자료가 맞아떨어지면, 실세계와 설명의 조화에 대한 확신이 증가하게 된다. 반면에 예측과 자료가 맞아떨어지지 않으면 설명에 의심을 품게 되거나, 설명으로부터 연역된 특정 예측을 의심하거나, 혹은 자료의 타당성을 의심하게 된다. 이처럼 과학자들이 하는 일은 문제 해결 활동이 단위가 되며, 문제를 형성하고, 문제 해결을 위한 방법 및 도구를 결정하거나 고안하는 일에 몰두한다.<sup>20</sup> 이러한 문제 해결 활동에서, 과학자 탐구의 핵심은 관찰 자료 수집이나 이론의 구성 보다는, 실험 및 이론적 연구에서 모든 종류의 모델을 창출하고 사용하는 것에 있다고 볼 수 있다.

반면, 학교 과학 탐구는 과학자의 탐구 모델과는 다르게 자연현상보다는 교실에서 세팅된 자연현상을 관찰하거나 실험을 한 후 과학자가 세워놓은 이론을 확인하는 사례가 일반적이다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이,<sup>21</sup> 학교 과학 탐구에서는 단일 자료가 설명(이론, 모델)을 확증하는 혹은 이론을 확증하기 위해 단일 사례를 제시하는 등의 자료-설명(이론, 모델)의 관계가 두드러지는 양상을 보인다. 수업에서 설명(이론, 모델)을 학생들에게 전달하기 위해 전형적 혹은 대표적 사례로 판단되는 자료(사실, 예시)를 제시하는 것으로 충분하다고 구성원들에게 받아들여지는 듯하다. 세팅된 자연현상과 설명(이론, 모델)을 연결하는 과정 혹은 실험 및 관찰로부터 자연현상과 관련된 자료를 획득하는 과정은 연관성 없이 단절적으로 이루어지기도 한다. 또, 설명(이론, 모델)으로부터 예측을 하는 과정 혹은 자료와 예측을 비교하는 과정은 대부분 누락된다. 이는 교사의 설명 유형의 수업뿐 아니라 학생들의 탐구 실험에서도 일반적이다. 이 모델은 한정된 시간 내에 교과 목표 개념을 효율적으로 다룰 수 있으며, 교사와 학생은 뚜렷한 목표 개념에 근접하므로 장황한 탐구 과정에 빠져 혼란을 겪지 않아도 된다. 이러한 이유로 학교 과학 탐구는 단순 탐구 과정으로 구성되며, 하나의 증거와 이론을 단순히 연결하는 단순 실험(simple experiment), 단순 관찰(simple observation), 단순 예증(simple illustration)이 추가 된다.<sup>15</sup> 이처럼 단순화되고 결정된 탐구 과정은 학생들로 하여금 정답만을 추구하게 하고 수동적으로 과정을 따르게 하는 권위에 의존하는 학습 형태를 낳게 한다. 즉, 학생들 학습 과정에서 능동적 추론과 비판적이고 창의적 사고와 행동의 기회가 박탈될 수 있다.

이처럼 과학 탐구에 대한 개념적 정의는 활발히 논의되고 정교화되는 듯하지만, 학교 과학 탐구 실제에 대해서는

여전히 불뉘한 시각이 존재한다. 특히 과학 탐구로 대표되는 실험에는 변화의 조짐이 나타나지 않는다. 현실적으로, 학교 과학 탐구는 열려 있지 못한데, 그 이유로는 교육과정에 구속되어 있거나, 시공간에 구속되어 있거나, 탐구 경험이 결여된 교사의 운영 능력에 구속되어 있는 등 여러 가지가 존재한다. 물론, 과학 동아리, 학교 밖 활동, 자유 탐구 등의 장기적인 과학 활동에 학생들이 자발적으로 참여하게 되는 경우, 학생들은 과학 탐구에 참여하고 체험할 기회를 갖게 된다. 상황에 따라 차이는 있겠지만, 학생들의 참 탐구(authentic inquiry)를 경험할 수 있게 되는 것이다. 교육과정 개발자들이 이러한 인식을 하게 됨에 따라, 학교 과학에서 참 탐구의 중요성이 제기되었고, 우리나라의 제7차 개정 과학과 교육과정에 도입된 것이 '자유 탐구'이다. 자유 탐구 학생들이 과학자처럼 참 탐구를 경험할 기회를 제공하는 것이지만, 교육과정은 자유 탐구에 대한 시수와 간단한 절차 지침만을 명시하고 있어서 자유 탐구의 본질은 변질될 가능성이 있다. 또한 참 탐구를 경험해 본 교사는 많지 않아 학생들의 자유 탐구 지도가 쉽지 않고, 특히 중고등학교로 갈수록 입시위주의 공부로 인해 방과 후에 과학을 할 수 없는 것이 실험의 어려움으로 지적되었다.<sup>22</sup>

이처럼 실험이 변모해왔듯이, 다양한 방식으로 과학에서 실험을 옹호하고 장려하는 이유는 실험을 학교 과학 교육을 증진시키기 위한 최선의 방법이라고 여겨졌기 때문이다.<sup>23</sup> 실험은 범위와 형식면에서 다소 다양한 스펙트럼을 갖는데, 언급한 단순 탐구 과제에서부터 학습 목표에 따라 다양화된 탐구 특징의 경험, 그리고 장기간의 자유탐구에 걸쳐 있다. 실험의 범위와 형식이 다양한 것은 학습 과제의 목표와 방법 그리고 교사와 학생의 학교상황에 구속되기 때문이다.

## 실험과 도구

Liebig는 대부분의 과학 연구가 이론 의존적인 실험, 즉 이론을 시험하는 역할을 갖지만, 어떤 연구는 분명한 가설 없이도 실험을 수행한다고 주장한다.<sup>24,25</sup> 실험은 단지 무슨 일이 일어나는지를 보기 위해 실행할 수도 있다. 그러나 모든 실험 활동은 이론(모델)에 독립적으로 존재할 수 없다. 실험이 검증해야 할 가설이 존재하지 않더라도, 적어도 관찰이론과 도구에 의존하기 때문이다. 관찰이론은 관찰 현상을 그것으로 보게 해주는 이론(개념, 틀)이 된다. 예를 들어, 세포를 관찰할 때 미토콘드리아, 염색체, 세포막 등을 구별하게 해주는 것이 관찰이론이 된다. 세포의 구조와 성분에 대한 이론이 없다면 이들을 구별해 내지 못할 것이기 때문이다. 또한 무언가를 관찰하거나 측정한다는 것은 관찰 혹은 측정 도구를 사용함으로써 이루어

지는데, 이때 도구 사용은 그 도구에 포함된 이론을 믿고 사용한다는 의미를 포함한다.

근대 이후, 과학적 탐구의 근거로 놓이는 경험은 직접적 관찰이라기보다는 도구를 쓰는 관찰과 실험이라고 할 수 있다.<sup>26</sup> 도구는 실험적 실천의 핵에 해당하며, 자연 탐구에 도구가 쓰이게 되면서 과학적 탐구는 중요한 전환점을 맞게 되고, 인간의 인식적 탐구는 새로운 수준으로 나아가게 된 것이다. 도구는 이론적 목적을 위해 존재하거나 이론과 관련된 한에서 존재하는 경우도 있지만, 한편 도구가 오히려 이론적 탐구의 방향을 제약하는 경우가 있다. 후자의 경우, 도구는 대상에 관한 유의미한 경험 정보를 산출하는 기능을 한다는 측면에서 인식을 확장하는 연장(tools)이라고 볼 수 있다. 이런 의미에서 도구는 우리의 감각 기관의 연장에 가깝다 하겠다.

실험에서 도구의 위치는 단순한 도구 '사용' 이상의 의미를 갖는다. 실험에서의 도구는 설계 및 제작을 위해서 이론이 실험의 과정에 들어와서 가능해진다. 즉 도구의 세움과 도구의 작동 원리에 관한 도구 이론이 실험을 가능하게 해 주는 역할을 한다. 또한 실험 자료에 일정한 경험적인 의미를 부과하는 해석 이론은 실험 결과에 일정한 인식적 의미를 부여하는 일을 돕는다. 도구 이론과 해석 이론은 특정 실험적 배치 속의 물리적 조건들 내에서 실험 결과의 해석이 이루어지도록 상호연관되어 있다.<sup>26</sup> 이때 도구 이론은 추상적 이론보다는 상대적으로 경험적인 안정성을 갖기 때문에, 그 일부는 암묵적 지식(tacit knowledge)에 가깝다. 마찬가지로, 도구를 쓰는 일은 체계적 이론만이 아니라 경험 법칙이나 일상적 진리에 기초하기 때문에 암묵적 지식을 사용한다.

## 연구 방법

학교는 시간과 자원이 부족하다 보니, 학교 과학에서 수행하는 과제들은 제한된 시간, 공간, 예산 내에서 수행할 수 있는 것들로 이루어져 있다. 즉 학교에서 수행되는 실험들은 과학자들이 수행하는 실험과 같을 수가 없다. 이러한 학교 과학실험 특히 과학교과서에 제시된 과학실험들은 과학자들의 실험과 어떻게 다른지 고찰해볼 필요가 있다. 교과서는 교사들이 가장 의존하는 자료이며, 학교에서 이루어지는 실험들이 대부분 교과서에 제시되어 있는 실험들이다. 따라서 실험이 학교 과학에서 어떤 의미를 지니고 있는지는 교과서에 제시되고 있는 실험들이 어떠한 목적으로 수행되고 있는지를 아는 것을 통해 파악할 수 있을 것이다. 이에 과학교과서에 제시된 실험의 유형과 도구 사용 수준에 대해 분석하였다.

## 교과서 분석

일선 학교에서 사용 중인 2009년 개정교육과정 중학교 과학 1, 과학 2, 과학 3의 화학 영역과 고등학교 화학 I 및 화학 II 교과서를 임의로 1권씩 선택하여 분석 사례로 정하였다.

교과서에 제시된 실험은 실험 유형 및 도구 사용 수준으로 나누어 분석되었다. 첫째, 실험 유형의 분석을 위해 기본적으로 Chin과 Malhotra<sup>15</sup> 제안한 단순실험, 단순관찰, 단순 예측의 세 가지 유형 분류틀이 사용되었다. 단순실험은 하나 혹은 두 개의 제공된 변인들을 조사하는 실험 유형이다. 이때 학생들은 간단한 지시에 따라 절차를 수행하고, 단순한 대조 추론을 사용한다. 단순관찰은 실험에서 단순한 지시에 따라 무언가를 관찰하는 실험 유형이다. 여기서 학생들은 단순한 귀납추론을 사용하게 된다. 단순예측은 간단한 지시에 따라 제공된 변인을 사용하여 절차를 수행하는 실험 유형이다. 단순실험에서 경험적 규칙성을 찾고 이론적 메커니즘을 찾지 않은 반면에 단순예측에서 학생들은 이론적 메커니즘을 예측하는 실험을 한다. 이 과정에서 학생들은 단순한 연역 추론을 사용하게 된다. 세 가지 유형의 범주 외에, 관찰과 예측 등의 혼합적인 실험 사례가 발견되어, 혼합(Mixed) 범주를 넣어 분석하였다.

둘째, 실험을 하기 위해서는 도구가 필요하고 그러한 도구는 단순한 수단적 역할을 하는 것이 아니라 도구의 작동을 실현하기 위해서는 일정한 이론이 요구된다. 즉 도구의 작동을 이해하는 데는 이론이 필요하다. 또한 실험을 이해하기 위해서는 도구에 대한 이해가 필요하다. 이런 관점에서 도구가 실험에서 어떤 역할을 하고 있고, 도구가 어떤 수준에서 사용하고 있는지를 확인하고자 과학교과서를 분석하였다. 분석 기준으로는 실험에 사용된 도구를 다루는 수준에 따라 2단계로 나누었다. 도구 즉 실험기구의 사용법에 따라 도구를 사용하고 있으면 수준 1로 보았다. 반면에 단순히 사용법을 따르는 것을 넘어서 제시된 도구를 변형하거나 필요한 도구를 직접 제작하는 경우에는 수준 2로 분류하였다.

교과서 분석에는 연구자 2인이 분석을 하였고 분석결과에 대해 일치율을 보았다. 연구자들은 교과서에 제시된 실험이 각 실험 유형 및 도구 수준에 해당하는 수를 검토하고 실험 사례를 해석하는 과정을 수행하였다.

## 연구 결과

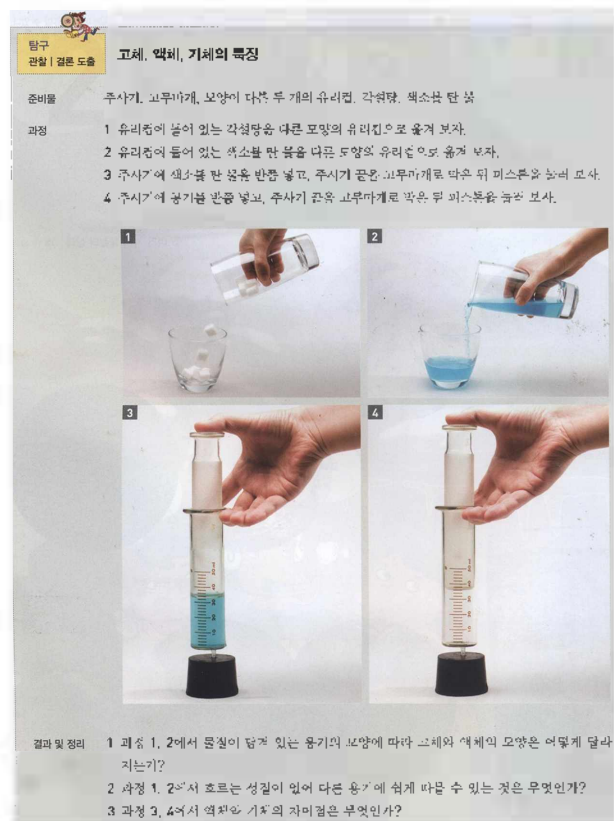
### 교과서에 제시된 실험 유형

실험 유형에 대한 교과서에 제시된 화학실험의 유형 분석결과는 아래의 Table 1과 같다. Table 1에서 알 수 있듯

**Table 1.** Result of analyzing types of experiments in science textbooks

	SE	SO	SI	Mixed	Total
MS Science 1	5	8	2	0	15
MS Science 2	0	0	8	3	11
MS Science 3	0	3	12	2	17
Chemistry I	1	0	8	2	11
Chemistry II	6	6	8	0	20

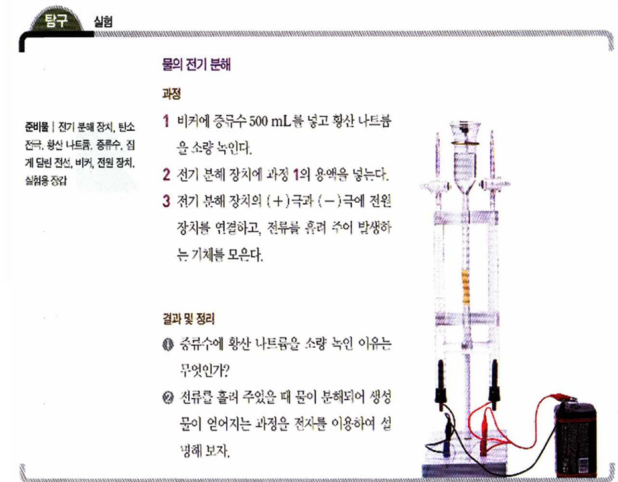
\*MS (Middle School); SE (Simple Experiment); SO (Simple Observation); SI (Simple Illustration)



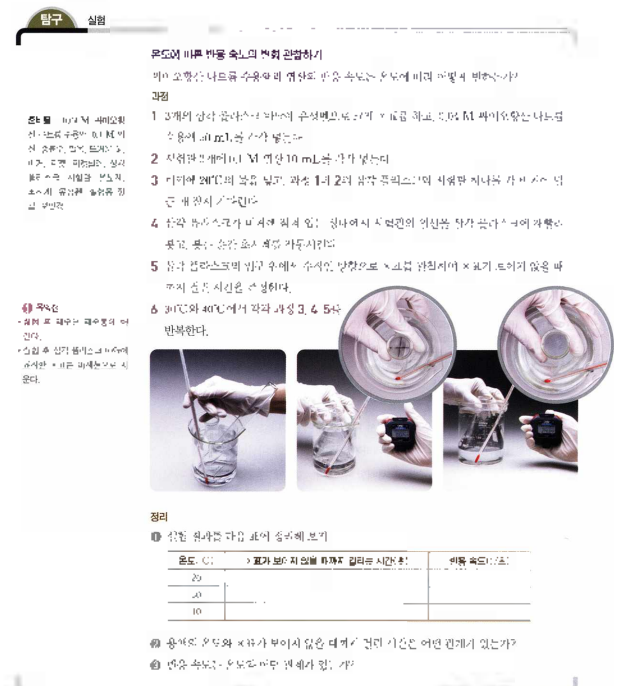
**Figure 3.** An example of simple observation (MS Science 1).

이 중학교 과학 1 교과서에서는 단순관찰실험, 중학교 과학 2와 과학 3 교과서에서는 단순예증, 화학 1 교과서에서는 단순 예증의 실험이 많이 나타났다. 화학 II 교과서에 제시된 실험들은 단순 실험, 단순 관찰, 단순 예증이 다양하게 제시되고 있었다.

단순관찰의 대표적인 예를 들면 Fig. 3에서 보이듯이 물질의 세 가지 상태 단원에서 제시된 실험이다. 이 실험에서 학생들은 제시된 절차 즉 유리컵에 든 각설탕을 다른 유리컵에 옮겨본다. 그 다음으로 유리컵에 들어 있는 색소 탄 물을 다른 모양의 유리컵에 옮겨본다. 그리고 주사기에 색소 탄 물을 반쯤 넣고, 주사기 끝을 고무마개로



**Figure 4.** An example of simple illustration (Chemistry I).



**Figure 5.** An example of simple experiment (Chemistry II).

막은 뒤 피스톤을 눌러본다. 마지막으로 주사기에 공기를 뽀뽀 넣고 주사기 끝을 고무마개로 막은 뒤 피스톤을 눌러본다. 이 실험에서 학생들은 단순한 지시에 따라 고체, 액체의 모양을 관찰하고 학생들은 간단한 귀납 추론을 사용한다.

대표적인 단순 예증 유형의 실험은 Fig. 4와 같이 화학 불의 전기 분해를 들 수 있다. 이 실험에서 학생들은 전기 분해 장치에 황산나트륨을 소량 녹인 물을 넣고 전기분

해 장치에 전원장치를 연결한다.

마지막으로 Fig. 5는 단순실험의 예이다. 이 실험은 온도에 따른 반응속도의 변화란 알아보는 실험으로 학생들은 하나의 독립변인(속도)에 대한 하나의 종속변인(온도)의 효과를 평가하는 활동을 하게 된다. 이 실험에서 학생들은 이론을 찾는 것이 아니라 온도에 따라 반응속도의 변화의 규칙성을 찾아내게 된다. 이러한 유형들의 실험들은 이론을 구성하는 실험이기 보다는 이론을 확인하는 목적으로 수행된다. 과학수업에서 이루어지는 실험들은 교육적 기능 즉 특정 이론적 관점을 실증하기 위해 사용되고 있다. 이는 학생들이 수행하는 실험은 정상과학 즉 실험이 과학자 사회가 수용한 특정 패러다임 내에서 이루어지고 있다는 것이다. 그러나 과학자들은 정상과학뿐만 아니라 학교에서 부정하고 다루고 있지 않는 패러다임 즉 전과학 단계에 있는 패러다임에 친숙하고 이를 다루기 때문에 학교 과학은 과학자들의 탐구와 다르다.<sup>25</sup> 따라서 학교과학에서 실험을 통해 학생들은 과학자들의 탐구를 경험할 수 있다고 가정하고 있으나 실제 교과서에 도입된 실험들의 목적과 기능은 이러한 가정에 만족하지 못하고 다소 차이가 있는 것으로 볼 수 있다. 과학교육에서 중요하게 여기고 있는 것 중 하나는 학생들에게 과학자의 탐구를 경험하도록 하는 것이다. 그러나 학교과학에서 제시되어 있는 실험들은 학교과학상황에 맞게 단순화된 과제들로 이루어져 있으며, 과학자들의 과학과 다르다는 것을 알 수 있다.

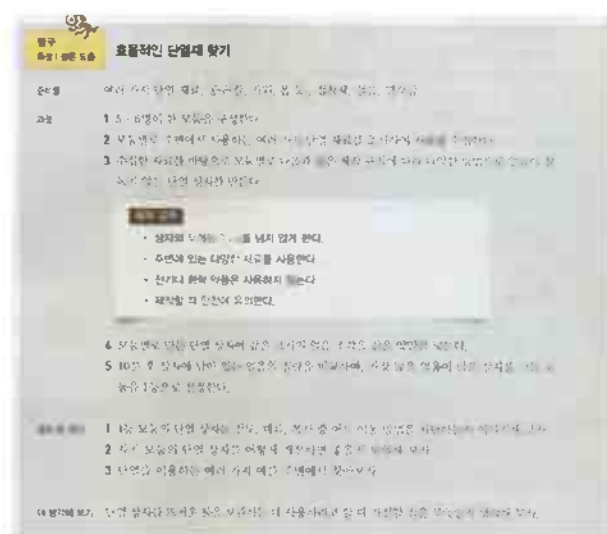
### 교과서에 제시된 실험 도구 조작 수준

Table 2에서 볼 수 있듯이 학교과학에 제시된 화학실험에서 사용된 도구는 실험을 수행하는 수단으로 사용되는 경향이 크게 나타났다. 과학 교과서에 제시된 거의 모든 실험에서 나타난 도구 조작 수준은 1수준인 단순조작으로, 절차에 따라 주어진 도구를 그대로 사용하고 있다. 이 결과는 학생들이 실험에서 그 도구를 왜 사용하는지와 도구가 달라지면 어떤 결과를 얻게 되는지에 대한 고민할 기회가 부족하다는 것을 의미한다고 해석할 수 있다. 교과서는 도구의 사진 혹은 그림과 명칭을 실험 과정

**Table 2.** Result of analyzing levels of operating instruments in science textbooks

	Level 1	Level 2	Total
MS Science 1	14	1	15
MS Science 2	11	0	11
MS Science 3	17	0	17
Chemistry I	11	0	11
Chemistry II	20	0	20

\*MS (Middle School)



**Figure 6.** An example of level 2 in operating instrument (MS Science 1).

과 별개로 다른 지면을 활용하여 제시하고 있어서, 도구에 관련된 이론이나 사용 훈련 등의 도구에 대한 탐색은 교사의 재량으로 남아있다.

도구 조작의 2수준은 중학교 1학년 교과서에서 도구 제작 활동에서 찾아 볼 수 있다(Fig. 6). Fig. 6에 제시된 활동은 단열재를 만들어보는 것으로 학생들은 다른 실험에서 사용될 수 있는 도구를 제작해보는 경험을 하게 된다. 이 과정에서 학생들은 단열의 원리와 같은 이론을 적용하여 가장 효율적인 단열재를 제작하게 되는데, 도구와 관련된 과학적 이론의 탐색이 이루어질 것으로 보인다. 즉 학생들은 단열재를 제작하면서 단열재를 더 잘 작동하게 하는 이론을 받아들이고, 도구의 신뢰성을 인정할 기회를 얻을 수 있기 때문이다. 이를 통해 앞으로 단열재를 이용할 실험을 수행할 때 그들은 도구의 작동을 더 잘 이해하고, 더 정확하고 정밀한 실험결과를 얻을 수 있을 것이다.

도구를 제작하는 활동은 과학자들이 실험을 수행할 때 도구를 개선하고 보수하고, 새로운 도구를 도입하는 것과 같은 과학자들의 활동에서 두드러지게 나타나는 특징이다. 과학자의 활동 예를 들면, 빌리컨의 기류방울 실험에서 X선을 사용한다는 것은 X선이 무엇인지에 대한 이론적 이해를 전제로 하며, 어떤 도구적 배치를 통해 x선을 방출시키는지에 대한 이해가 필요하다. 이론적 이해가 없다 해도 x선 방출을 쓸 수 있다고 할 수 있지만, 도구의 이용을 가능하게 하는 이론이 바닥에 깔려 있다는 점을 간과할 수 없다.<sup>27</sup> 그리고 이러한 도구는 실험이 이루어지도록 도움을 주고,<sup>27</sup> 반대로 도구가 실험에 영향을 줄 수도 있다.<sup>28</sup> 따라서 도구 제작 활동은 단순히 도구를 수단으로

사용하는 것을 넘어서 도구와 관련된 이론을 이해하고 적용하는 수준에 도달할 것을 요구한다고 하겠다.

## 결론 및 논의

과학교육에서 탐구는 가장 중요한 것으로 여겨져, 1960년대 이래로 학생들에게 과학자들이 수행하는 탐구를 경험하도록 하고 있다. 그리고 실험은 탐구를 실현할 수 있는 즉 탐구과정을 수행할 수 있는 핵심활동이라고 여겨졌다.<sup>29</sup> 학생들은 실험활동을 통해 과학자들의 탐구를 경험할 수 있다는 전제 하에, 초기 과학교육 혁명 이래로 많은 교사들은 학생들이 과학자들이 하는 방식으로 또는 같은 목적으로 실험하고, 관찰하고 추론하고 그리고 문제를 해결한다고 가정하고 가르쳐 왔다.<sup>25</sup> 그러나, 이에 대한 비판적 관점과 이론적 재고를 통해, 과학자의 탐구와 학교과학에서 이루어지는 탐구는 다르다는 것을 확인할 수 있었다. 과학자들은 실세계에 대한 자료를 수집하고, 이에 대한 설명을 한다. 반면 학교과학에서 학생들은 세팅된 자연현상을 관찰하고 과학자들이 세워놓은 이론을 확인하는 경우가 대다수이다. 과학자들은 실세계를 추론하면서 다양한 접근법을 사용하지만,<sup>30,31</sup> 학교에서 이루어지는 탐구인 실험활동은 단순실험, 단순관찰, 단순 예측과 같이 단순화되어 있다. 따라서 학생들은 학교에서 자유탐구와 같은 형태의 활동을 제외하고 과학자들의 탐구를 경험하기는 어려울 것으로 생각된다. 또 다른 의문점은 과학과 과학교육에서 실험의 역할은 동일하다는 가정이다. 우선 과학자들은 사실획득, 이론시험, 이론 반증, 이론 생성, 또는 현상 창조 등 다양한 목적으로 수행한다.<sup>32</sup> 그러나 학교과학에서 실험은 학생들의 과학개념을 이해하는데 도움을 주고, 탐구기능을 향상시키고, 과학에 대한 긍정적인 태도가 형성되기 위해 사용된다.<sup>1</sup> 즉 과학수업에서 실험은 교육적 기능을 가지고 있다.

실험은 이론과 도구에서 자유로울 수 없다. 실험이 이론으로부터 자유로울 수 없다는 것에는 의심의 여지가 없다. 여기서 도구에 대해서는 의문을 제기할 수도 있다. 과학활동 속에 도구는 근대 이후로 그 역할에 대해서 인정받기 시작했고, 최근 들어 과학 활동 속에서 도구가 하는 역할이 강조되고 있다.<sup>24,28</sup> 특정한 이론과 관련된 문제를 해결하는 데 필요한 종속적인 존재이기도 하다. 그러나 이와는 반대로 거대과학에서처럼 예를 들면 입자 가속기라는 도구가 있고, 그 가속기에서 나오는 여러 실험 결과는 수많은 이론적 작업을 불러일으키게 된다. 이러한 경우는 도구가 오히려 이론적 탐구의 방향을 제약하는 경우가 된다.<sup>26</sup> 과학자들은 도구를 통해서 실험결과 획득의 방법이 확대되었으며, 도구는 과학의 발전에 기여를 하고 있

다. 이러한 관점에서 도구를 단순히 실험을 수행하는 수단으로써만 보는 것은 무리가 있다고 볼 수 있다. 또한 도구에는 그 도구를 설계하고 제작하는 데 이론을 요구한다. 이러한 도구이론은 도구의 신뢰성을 인정할 수 있게 하고, 이로 인해 실험결과의 신뢰할 수 있게 한다.<sup>33</sup> 만약 우리가 도구를 사용한다면, 그 도구에 포함된 체계적인 이론과 경험적 이론을 받아들인다는 것을 의미한다. 도구 및 도구 이론은 실험의 핵심적인 요인이라고 볼 수 있다.

이 연구를 통해 과학 교과서에 제시된 화학 실험을 분석한 결과는 단순 관찰, 단순 실험, 단순 예측의 유형이 대부분으로, 과학자들의 실험이 갖는 복잡성을 반영하지 않는 것으로 나타났다. 이는 학교과학에서 실험의 의미와 목적이 과학자의 실험과 다르다는 것을 명시적으로 보여준다. 실험을 통해 학생들에게 경험하기를 요구하는 것은 이론 확인 혹은 관찰에 초점이 있는 것으로 추론된다. 즉, 실험활동을 통해 학생들이 과학자들의 탐구를 경험할 수 있다고 하지만 실제 학생들은 이미 배운 내용을 간단하게 확인하기 위해서 실험을 수행하고 있다는 것을 의미한다. 이러한 실험은 학생들에게 단순한 과학적 추론을 요구하고 있고,<sup>15</sup> 실험에서 요구하는 인지적 능력 또한 낮은 수준이다.<sup>29,34</sup> 이러한 단순화된 실험활동은 학생들이 과학지식을 이해하고 탐구능력이 향상되고, 과학에 대해 긍정적인 태도를 갖게 하는지는 불확실하다.<sup>3,29,35,36</sup> 과학에서 실험은 단순히 이론을 확증하고, 반증하기 위해 수행하는 것이 아니라 이론-증거-방법의 변증법적 조정 과정으로 이루어지는 것이다. 따라서 학생들은 다양한 증거들을 설명하는 이론을 발달시키고, 어떤 증거를 사용해야 할지를 결정하고, 설명과 절차를 비평하는 것을 배워야 한다.<sup>18</sup> 그러나 교과서에 제시된 화학실험에서는 이론이 있고 이를 확인하기 위해 실험을 수행하는 것에 치우쳐 있다. 이러한 실험활동은 이론과 증거의 조정과정의 여지가 없고, 기대에 모순되는 결과가 나타났을 때 그 결과를 거부하게 된다. 이러한 경험은 학생들에게 실험 결과의 중요성에 대한 과장된 이해와 과학에서 실험이 갖는 의미에 대한 오해를 제공할 수 있다.

또한, 과학교과서의 화학 실험에서 대부분 도구는 실험을 수행하는 데 있어서 단순히 수단의 역할을 하고 있었고, 도구를 조작하는 수준도 주어진 도구조작법을 따르도록 되어 있었다. 이러한 양상은 학교과학에서 실험은 이론 확인을 위해서 수행하고 있고, 실험에서 도구의 중요성을 드러내고 있지 않다는 것을 의미한다. 이는 도구는 과학의 발달에 있어서 중요한 역할을 하고 있지만 그 중요성에 대한 인식은 부족한 것으로 생각할 수 있다. 이러한 인식의 부족은 학생들에게 실험에서 도구가 어떠한 역할을 하는지에 대해 생각해 볼 수 있는 기회를 제한하고 있다.

그러나 과학자들은 자신의 실험에 적합한 도구를 개발하고, 그 도구를 개발할 때 어떤 이론이 적용되는지를 생각한다. 학생들은 교과서에 제시된 탐구실험에서 주어진 도구를 사용하는데 제한되기 때문에, 도구에 내포된 도구이론이나 도구를 사용하여 얻은 자료를 해석하는데 필요한 해석이론을 연결시킬 기회가 부족하다. 그렇지만 최근 스스로 문제를 제기하고 해결하는 자유탐구를 수행하기 위해서는 학생들이 직접 도구를 제작하고 사용하는 경험이 요구된다. 즉, 학생들은 자유탐구를 하는 동안 자신의 이론을 주장하기 위해 적합하고 정확한 실험결과를 얻기 위해 어떤 도구가 필요한지를 결정해야 한다. 만약 적합한 도구가 존재하지 않는다면 학생들은 도구를 개발하고 개발에 필요한 이론을 선택하면서 다양한 도구 사용을 시도한다. 학생들의 도구이론과 해석이론의 탐색은 도구 제작과 사용 경험을 심도있게 해 줄 것이며, 탐구실험의 본질과 경험을 확장해 줄 것이다. 또한 단순관찰 등의 간단한 화학실험에서도 도구 선택에 따라 관찰 결과가 다르게 나타나는 등의 다양한 도구 선택과 사용 맥락을 고려하여 실험할 수도 있다. 이러한 과정에서 학생들은 관찰하기 원하는 물체를 관찰하기 위해서는 어떤 도구를 선택해야 하는지, 그리고 어떤 도구를 선택하는지에 따라 관찰결과가 다르게 나타날 수 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 화학교육에서 학생들에게 도구의 단순 사용에서 도구 선택과 제작에 이르는 과정을 체험하도록 하는 탐구 활동의 맥락을 다루어야 할 필요가 있다.

과학교육에서 실험의 중요성에 대해서는 누구도 의심하지 않는다. 여기서 중요한 것은 목적에 적합한 실험이 계획되어 학생들이 교육적으로 유의미한 경험을 하도록 하는 것이다. 본 연구에서 논한 학교 과학 실험의 특징과 유형, 그리고 도구 사용에 관한 내용은 교육적 차원에서 실험의 전부를 다룬다고 볼 수는 없다. 그러나 본 연구에서 다룬 실험에 관한 일부 관점 즉, 실험 유형과 도구에 대한 재고가 화학교육에서 목표에 적합한 실험을 구상하는 데 또 하나의 이론적 토대와 방향이 될 수 있기를 바란다.

**Acknowledgments.** 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2013R1A1A2065669).

## REFERENCES

- Wellington, J. J. *Practical Work in School Science: Which Way Now?* Wellington, J. J., Ed.: Routledge: New York, 1998: p 3.
- Bybee, R. In *Inquiring Into Inquiry Learning and Teaching in Science*; Minstrell, J., Zee, E.van., Ed.; American Association for the Advancement of Science: Washington, DC, 2000: p 20.
- White, R. T. *International Journal of Science Education* **1996**, *18*, 761.
- Nam, M.-J.; Yoon, H.; Jeong, D. H.; Chae, H. K. *Journal of the Korean Chemical Society* **2009**, *53*, 51.
- Chiang-Soong, B.; Yager, R. E. *Journal of Research in Science Teaching* **1993**, *30*, 339.
- Choi, K. H.; Kim, S. J. *The Korean Journal of Science Education* **1996**, *16*, 303.
- Park, K.-T.; Kim, E.-S.; Kim, M.-H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2005**, *49*, 105.
- Park, K.-T.; Lee, J.-Y.; Park, K.-S.; Cho, Y.-J. *Journal of the Korean Chemical Society* **2006**, *50*, 328.
- Park, K.-H.; Park, K.-T. *Journal of the Korean Chemical Society* **2007**, *51*, 93.
- Seong, S.; Choi, C. I.; Jeong, D. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2009**, *53*, 368.
- Jang, N. H.; Lee, K. O.; Lee, J. S.; Suh, J. S. *Journal of the Korean Chemical Society* **2003**, *47*, 79.
- Park, K.-H.; Noh, J.-H.; Kim, D.-J.; Ryu, R.-Y.; Noh, Y.-M.; Kim, M.-K.; Lee, S. K. *Journal of the Korean Chemical Society* **2008**, *52*, 303.
- Min, J. S.; Kim, S. H.; Jeong, D. H. *Journal of the Korean Chemical Society* **2009**, *53*, 175.
- Ryu, R.-Y.; Kim, D.-J.; Hwang, H.-S.; Park, S.-Y.; Lee, S. K.; Park, K.-T. *Journal of the Korean Chemical Society* **2011**, *55*, 529.
- Chinn, A. C.; Malhotra, B. A. *Science Education* **2002**, *86*, 175.
- Koponen, I. T.; Mantyla, T. *Science & Education* **2006**, *15*, 31.
- Abd-El-Khalick, F.; Boujaoude, S.; Duschl, R.; Lederman, N. G.; Mamlok-Naaman, R.; Hofstein, A.; Niaz, M.; Treagust, D.; Tuan, H.-L. *Science Education* **2004**, *88*, 397.
- National Research Council. *National Science Education Standards*; National Academy Press: Washington, D.C., 1996.
- Giere, R. *Understanding scientific reasoning*, 3rd ed.; Harcourt Brace Jovanovich College Publishers: New York, 1991.
- Nersessian, N. In *Teaching Scientific Inquiry*; Duschl, R. A., Grandy, R. E., Eds.; Sense Publishers: The Netherlands, 2008; p 57.
- Han, Y.-H. Development of Classroom Inquiry Model to Improve Scientific Communication Ability. Ph.D. Thesis, Korea National University of Education, 2012.
- Sim, J.-H.; Shin, M.; Lee, S.-K. *The Korean Journal of Science Education* **2010**, *30*, 140.
- Jenkins, E. In *Practical Work in School Science: Which Way Now?* Wellington, J. J., Ed.; Routledge: New York, 1998; p 35.
- Hacking, I. *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science*; Cambridge University Press: Cambridge, 1983.
- Hodson, D. *Educational Philosophy and Theory* **1988**,



- 20, 53.
26. Lee, S. *Philosophical Understanding of Doing Experience*: Seokwangsa: Korea, 2004.
27. Lee, S. *Korean Journal for the Philosophy of Science* **1999**, 2, 43-67.
28. Galison, P. *How Experiments End*. The University of Chicago Press: Chicago, 1987.
29. Lazarowitz, R.; Tamir, P. In *Hand Book of Science Teaching and Learning*: Gabel, D. L., Ed.; Macmillan Publishing Company: New York, 1994; p 94.
30. Dunbar, K. In *The Nature of Insight*. Sternberg, R. J., Davidson, J., Ed.; MIT Press: Cambridge, MA, 1995; p 365.
31. Dunbar, K. *Journal of Applied Developmental Psychology* **2000**, 21, 49.
32. Lee, S. *Korean Journal for the Philosophy of Science* **2006**, 9, 75.
33. Lee, S. *Korean Journal for the Philosophy of Science* **2002**, 9, 27.
34. Trumper, R. *Science & Education* **2003**, 12, 645.
35. Watson, J. R.; Prieto, T.; Dillon, J. *Journal of Research in Science Teaching* **1995**, 32, 487.
36. Hodson, D. *Journal Curriculum Studies* **1996**, 28, 115.
-