

# 고등학교의 과학적 탐구력 신장을 위한 과학 학습지도 방법과 자료의 개발에 관한 연구 I<sup>1)2)</sup>

조희형·이문원·조영신·지찬수  
(강원대학교 과학교육과)

강순희 · 박종윤 · 허 명 · 김찬중  
(이화여자대학교 과학교육과) (국립교육평가원)

(1994년 9월 9일 받음)

## I. 머리말

과학은 산물, 과정, 상황 등 세 가지 요소가 그것의 핵심적인 구조를 이룬다고 한다(ASE, 1986). 과학은 과학지식, 과학지식을 구성하고 정당화하는 과정, 전통적 관습 등이 주요한 구성 요소라는 의미이다(Cothron, Giese, & Rezba, 1993). 여기서 과학지식은 과학적 사실·개념·법칙·이론 등으로 이루어진 개념체계를 일컫으며, 과정은 과학적 탐구의 한 수단인 과학적 방법과 각 방법에 고유한 기능과 기술을 말한다. 한편 과학의 전통적 관습은 과학자와 그가 속한 사회의 가치관 및 문화적 배경을 의미한다.

과학이 지니는 이와 같은 특성을 근거로 국내·외의 각급 학교 과학교육 현장에서는 탐구 중심의 과학교육이 여전히 강조되고 있다. 외국의 경우 과학적 탐구는 과학교육의 세

가지 측면에서 특별히 강조되고 있다. 과학적 탐구의 기술 및 기능의 배양이 각급 학교 과학교육의 주요한 목표로 설정되어 있으며, 과학적 탐구 과정은 과학 교육과정의 내용을 선정·조직하는 원리로 적용되고 있다(AAAS, 1989; ASE, 1986; DES, 1985). 그런 기능과 기술로 이루어진 과학적 탐구력은 당연히 평가의 대상으로 간주되고 있다(APU, 1989; NAEP, 1989).

현재의 우리 나라 과학교육 현장에서도 과학적 탐구가 과거 어느 때보다도 강조되고 있다. 즉 과학적 탐구가 과학 교육과정에서 뿐만 아니라 학습지도의 내용과 평가의 영역으로도 중요시되고 있다. 제 6 차 과학 교육과정에는 탐구력의 함양이 과학교육의 주요한 목적으로 설정되어 있으며, 그 내용이 지식과 탐구활동으로 나뉘어져 있다. 또한 교육 과정상에 공통과학이 탐구 중심의 필수 과목으로 설정되어 있으며(교육부, 1992), 대학수학능력 시험도 탐구력의 평가에 일차적인 목표를 두고 있다(국립교육평가원, 1992).

그러나 과학적 탐구의 본성이 과학 및 과학교육 연구의 현장에서 뿐만 아니라 각급 학교 과학교육의 실제 상황에서조차 여러 가지 의미로 해석되고 있다. 과학적 탐구가 전공이나 관심 영역에 따라 과학지식이 형성되거나 발견되는 방법, 과학적 연구의 방법, 과학의 탐구 과정, 과학적 탐구 기능 및 기술 등 다양한 뜻으로 풀이되고 있다(조희형, 1992).

1) 이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

2) 이 연구 결과는 지면 관계상 I부와 II부로 나누어 발표한다. I부에서는 과학적 탐구의 일반적 특성과 분야별 탐구의 특징을 서술하고, II부에서는 화학과 생물물 소재로 과학의 탐구 학습지도 자료 실풠을 제시한다.

과학적 탐구의 본성에 관하여 인식론자들은 주로 과학지식의 기원과 그 출처에(Honer & Hunt, 1987), 과학방법론자들은 논리적 추리로 특징지어지는 과학적 방법에(Giere, 1984), 과학자와 과학교육학자들은 일련의 절차와 단계로 이루어진 탐구 과정이나 그 기능 및 기술에(Trowbridge & Bybee, 1989) 주된 관심을 보이고 있다.

더욱이 과학적 탐구 과정은 그 종류에 따라 여러 상황이거나 내용에 일반적인 특성과 아울러 특정 상황이나 내용에 특수한 성질도 지니고 있다(DeBoer, 1991). 탐구를 수행하거나 문제를 해결하는 능력이 주어질 과제나 문제에 따라 다르게 나타나는 현상이 이를 반증한다. 한편 과학적 탐구가 지니는 이러한 특성은 그것을 어떻게 가르쳐야 할지에 관한 문제로 대두된다. 현재의 과학교육 학계에서는 과학적 탐구 기능 및 기술을 특정한 내용이 없이 범상황적인 특성을 지니고 있다는 가정을 전제로 가르쳐야 할지 혹은 내용과 상황에 독특한 기능과 기술을 가정하고 그에 따라 교수해야 할지가 주요한 논쟁점이 되고 있다.

이와 같이 과학적 탐구의 본성이 여러 가지 의미로 해석되거나 특징지어짐으로써 각급 학교의 과학교육 현장에서는 학습지도상에 혼란과 문제점이 야기되고 있다. 그러나 특별히 우리 나라의 과학교육 현장에서는 과학적 탐구의 본질과 그 의미 그리고 과학 학습지도 과정에서 고려해야 할 특성에 관한 연구가 미흡한 실정이다. 이 연구는 고등학교 과학교육을 통해서 함양시킬 수 있는 과학적 탐구력의 본성 및 그 구성요소에 관한 국내·외의 연구들을 분석하고, 분야별로 고유한 과학적 탐구 기능과 기술을 확인한 다음, 그 결과를 바탕으로 탐구력을 길러 주기 위한 학습지도 방법과 자료를 개발하는 데 근본 목적을 두었다.

## II. 연구 방법 및 내용

이 연구는 문헌 조사와 개발 연구를 병행하여 실시하였다. 이 연구는 ① 과학적 탐구의 의미와 탐구력의 구성 요소에 관한 분석, ② 분야별 탐구의 특성 확인, ③ 분야별 고유한 탐구의 과정 및 기능과 기술의 조사, ④ 분야별 학습지도 방법과 전략 그리고 그에 바탕을 둔 자료의 개발, ⑤ 학습지도 방법과 자료의 일반화 방안 제시 등의 절차에 따라 수행되었다.

과학적 탐구의 의미 및 본성, 과학적 탐구력의 구성 요소, 분야별 탐구의 특성, 과학적 탐구의 과정 및 그 기능과

기술 등을 확인하기 위해 국내·외의 연구 결과를 조사·분석하였다. 한편 학습 지도 방법 및 전략과 자료는 분야별로 개발하였으며, 이 연구에 참여한 협력 교사들과 연구자들이 공동으로 개발하였다. 학습 지도 자료는 약 세 시간의 수업 분량이 되도록 개발하였다.

## III. 연구의 결과

이 연구의 결과는 크게 과학적 탐구의 의미와 일반적인 속성, 분야별 탐구의 특성과 기능 및 기술, 분야별 학습지도 자료 등으로 나뉘어진다. 이 논문에서는 지면 관계상 과학적 탐구의 의미와 속성에 관한 분석 결과와 물리·화학·생물·지구과학의 학문적 성격 및 분야별 탐구의 특성에 관한 조사 결과만을 제시하고, 각 분야별로 개발한 탐구 학습지도 자료의 실례는 제II부에서 발표한다.

### 1. 과학적 탐구의 의미와 일반적인 속성

과학적 탐구가 일반적으로는 자연의 진리·정보·지식·사실 등을 더듬어 찾는 탐색 활동으로 정의된다(이희승, 1994; Neilson et al., 1956). 그것이 이보다 구체적으로는 과학적 이론 및 법칙이나 원리 즉 과학지식을 형성하기 위한 연구 및 그 활동으로 정의되기도 한다(서울대학교 교육연구소, 1994). 그러나 이와 같은 정의가 과학교육 현장에서 실질적으로 학습지도할 수 있을 만큼의 구체적인 과학적 탐구의 과정과 그 기능 및 기술을 말해 주지는 못한다. 현재의 과학교육 현장에서는 과학적 탐구의 의미가 명확하게 정립되지 않은 채 오히려 여러 가지 의미와 혼동되는 경향마저 나타나고 있다.

과학교육 현장에서 과학적 탐구가 여러 가지 의미로 정의되는 한 원인은 과학자들과 과학철학자들이 그들의 인식론적·형이상학적·방법론적 관점에 따라 과학적 탐구의 의미를 다르게 해석할 뿐만 아니라 그 성격도 다르게 특징짓는 데에 있다. 현대의 과학자들과 과학철학자들은 과학적 탐구의 본성을 그들의 전공 영역이나 관심 분야 그리고 연구의 목적에 따라서도 서로 다른 의미로 해석한다. 특별히 이 때문에 그들이 과학지식을 형성하거나 검증하는 과정에서 나타나는 과학적 탐구의 기능적 특성을 보는 관점도 달라진다(조희형, 1992).

경험주의자들을 포함한 일부의 전통적 인식론자들(Chi-

sholm, 1966; Kneller, 1971)은 지식이란 그것이 형성되는 방법 및 과정에 의해서 그 의미와 성격이 규정된다고 보고 지식의 출처와 그것이 형성되는 절차에 따라 탐구를 관찰 및 경험, 추론, 연구, 직관적 사고 등으로 분류한다. 이들과 대조적으로 험펠(Hempel, 1966), 네이글(Nagel, 1961), 카납(Carnap, 1966) 등을 포함한 대다수의 실증주의자들은 과학이 지니는 형식논리적 속성을 분석하고 그 결과를 근거로 귀납법, 연역법, 가설-연역적 방법 등 논리적 추리 방식을 과학적 방법으로 제시한다. 또한 이들과 달리 쿤(Kuhn, 1962), 라카토스(Lakatos, 1978), 네이글(Nagel, 1961), 포퍼(Popper, 1959) 등 대다수의 현대 과학철학자들은 과학이 긴 역사적 과정을 통해서 변화·발전한 실제의 방법을 조사하고 그 결과를 바탕으로 반증법, 패러다임 교체, 연구프로 그램 변화 등을 과학적 탐구 방법으로 제시하기도 한다. 한편 과학교육에 관심을 가지고 있는 대다수의 현대 과학자들과 과학교육학자들(Abruscato, 1988; ASE, 1986; Collette & Chiappetta, 1989; 박승재, 1991; 허명, 1984)은 과학적 탐구의 특성을 그 과정이나 그 기능 및 기술에 대한 견해를 통해 파악한다. 그들은 과학적 탐구가 문제인식, 가설설정, 실험설계, 자료수집, 자료분석, 결과해석, 가설검증 등의 단계에 따라 이루어지며, 각 단계를 수행함에 있어서 여러 가지 기능과 기술이 요구된다고 본다.

과학적 탐구의 본성이 과학자와 과학철학자들에 따라 여러 가지 의미로 해석되는 원인은 과학적 탐구의 본질이 여러 가지의 관점에서 그리고 다양한 방법으로 파악될 수 있다는 데에도 있다. 위의 논의에 암시되어 있듯이 과학적 탐구의 본질 규명에는 논리학적 분석뿐만 아니라 과학사적 발달 과정의 조사와 과학자의 연구 방법에 관한 분석도 주요한 도구로 이용되고 있다. 논리학적 분석은 주로 실증주의자들이, 과학사의 조사는 현대의 과학철학자들이<sup>3)</sup>, 그리고 과학자의 연구 방법과 그 활동에 관한 분석은 학문중심 교육사상을 확립한 교육학자·교육철학자·과학교육학자·과학자들이 주로 이용하고 있다. 현재의 과학교육학계에서는 주요한 과학 개념의 오인(misconception)에 관한 연구의 결과도 과학적 탐구의 본성을 밝히는 데 유용한 도구로 활용되고 있다.

방법론적 관점에는 과학적 탐구가 어느 영역에서나 효과적으로 적용될 수 있는 일반적인 특성을 나타낸다고 생각할

수도 있다. 특별히 과학적 탐구를 논리적 추론 방법과 과정으로 생각할 경우 그것은 여러 분야에 보편적인 속성을 지닌다고 말할 수 있다. 이를테면 귀납법, 연역법, 가설-연역적 방법 등은 탐구하고자 하는 영역의 성격에 상관없이 과학의 여러 분야에서 두루 적용될 수 있다고 하겠다. 사실 이런 방법들은 비단 자연과학 분야에서 뿐만 아니라 사회과학 영역에서도 효과적으로 적용될 수 있으며, 단지 각 분야 내에서 탐구할 주제의 구조적 성질에 따라 그 적용 효과가 다르게 나타날 수 있을 뿐이다. 이와 같은 방법들은 한 걸음 더 나아가 일상생활에서조차 잘 쓰이고 있는 사고방식이기도 하다.

귀납법은 일반화하여 얻어진 결과의 절대적 참이 보장되지 않는다는 점에서 이상적인 과학적 방법으로 인정되지 않고 있으며, 심지어는 논리적 추론으로 취급할 수 없다는 주장까지도 제기되고 있다(Phillip, 1987). 그러나 귀납법은 탐구의 대상이 대체로 서술적이고 개념적인 특성을 띠는 분야에서는 비교적 효과적으로 적용될 수 있다. 즉 관찰이나 실험을 통해서 얻어진 구체적인 정보를 바탕으로 추상적인 법칙을 일반화하거나 이론을 구성하는 영역에서는 그 효과가 잘 나타난다. 한편 연역법은 법칙과 이론을 통해 자연현상을 설명하거나 새로운 사실을 예측하는 상황에서는 어느 과정에서나 비교적 잘 적용된다(Singleton et al., 1993). 또한 가설-연역적 방법은 법칙과 이론을 구성한 다음 그것으로부터 특수한 명제를 예측하고 그 명제의 검증을 통해 간접적으로 그 타당성을 판정하는 실험 상황에서는 그 역할을 다 해낸다. 한 마디로 연역법과 가설-연역적 방법들은 비교적 추상적인 속성을 나타내는 분야의 탐구 과정에서는 효율적으로 적용된다고 말할 수 있다.

과학적 탐구는 이처럼 논리적 추론 방법만이 아니라 몇몇의 단계들로 이루어진 연구의 과정으로 볼 경우에도 그 대상에 대한 일반성과 특수성을 동시에 지닌다. 특히 문제의 인식 및 진술, 가설의 형성 및 제시, 실험의 설계, 관찰 및 측정, 자료의 수집 및 분석, 가설의 검증, 결론의 도출 등 이른바 일곱 단계로 구성된 실증주의자들의 과학적 방법은 비교적 여러 분야에서 적용될 수 있다. 실증주의자들이 개발하여 제시한 과학적 방법과 절차가 자연에서 일어나는 제반 현상의 원인을 설명하기 위한 법칙과 이론을 구성하는 데 탐구의 일차적인 목적이 있는 분야에서는 효과적으로 적용될 수 있다.

일부에 한정되기는 하지만 어떤 조작적 기술과 기능은 분야에 대한 특수성보다는 일반성을 더 많이 지닌다(Collette

3) 여기서 현대철학은 실증주의 이후(post-positivism)의 과학철학을 총칭한다.

& Chiappetta, 1989). 예를 들면 저울이나 자와 같은 일반적인 실험 도구를 사용하는 측정 기술, 관찰과 실험을 통해 얻은 자료를 통계적으로 분석하는 기술, 논리적 추론 과정에 따라 결론을 이끌어 내는 기술, 탐구의 결과를 발표하거나 논문을 작성하는 기술 등은 특정 영역에서만 획득될 수 있는 것이 아니다. 이런 기능과 기술은 당연히 여러 분야에서 소용된다. 특정한 분야에서 획득되고 그 분야에서만 주로 이용되는 탐구 기능과 기술의 종류와 특성은 다음 절에서 살펴본다.

## 2. 각 분야별 탐구의 특성

앞에서는 과학적 탐구의 과정과 방법 그리고 그 기능과 기술이 여러 분야에 대한 보편성과 아울러 대상에 대한 특이성도 지니고 있음을 지적하였다. 과학적 탐구를 과정으로 보다는 일련의 절차 혹은 단계 그리고 그 기능 및 기술로 파악할 경우 그것은 여러 분야에 두루 적용할 수 있는 보편적 특성보다는 특정 대상에 관한 연구에서만 효과를 내는 특수성을 지니는 경우가 더 흔하다. 특히 시약들을 다루거나 특정 분야의 실험 도구 및 기자재를 취급하는 조작적 기술들은 탐구할 내용에 특수한 성질을 지니고 있다. 이 절에서는 물리·화학·생물·지구과학 등 전통적으로 구분되는 과학의 네 분야에 독특한 탐구의 일반적인 특성에 관하여 고찰하고, 각 탐구 과정과 그 기능 및 기술의 종류와 속성에 관하여 살펴본다.

### 1) 물리학 탐구의 특성

물리학은 물질의 물리적 성질과 물체의 운동·소리·빛·전기·에너지 등의 현상과 구조를 다루는 자연과학의 한 분야이다. 여기서는 물리적 현상과 물리학의 특성을 살펴보고, 물리학적 탐구 방법이 무엇인지 고찰한다.

#### (1) 물리학 및 물리적 현상의 특성

물리적 현상은 전자나 양성자의 크기인  $10^{-15}$ m의 미시 세계로부터 사진이 찍히는 은하계 중 가장 먼 거리인  $10^{25}$ m( $1.06 \times 10^{11}$ 광년)에 달하는 거시 세계까지, 시간적으로는 빛이 소립자를 통과하는  $10^{-23}$ 초의 짧은 시간에서 태양의 수명에 달하는  $1.9 \times 10^{12}$ 년 정도의 긴 시간 범위 속에서 일어난다. 그러나 물리적 현상의 주체가 되는 원소는 100여 종에 불과하며, 자연현상은 중력, 핵력, 전자기력 등 몇 가

지 안되는 힘들의 상호작용으로 일어나는 현상들이다. 이런 현상들을 설명할 수 있는 이론 체계를 찾는 것이 물리학 연구이며, 그 결과로 물리지식이 형성된다. 이러한 물리지식이 그 골간을 이루는 물리학은 대체로 다음과 같은 특성들을 지니고 있다고 말할 수 있다.

- 물리학은 물질 세계의 중요한 부분을 서술하고 설명 체계를 형성하며, 우주와 그 현상에 대한 사고 방법을 제시하는 기능이 있다.

- 물리학은 수학적 표현이 필수적이다. 개개의 물리현상에 기본 법칙을 적용하여 물리학적 이론 체계를 구축하고 혼동 없이 논리를 전개하여 나가기 위해서는 수학을 사용한 개념의 정의가 가장 적절하기 때문이다. 중력의 법칙을 설명하기 위해서는  $F = GM_1M_2/r^2$ 의 수학적 공식을 사용함으로써 물리학적 법칙의 이해 및 적용의 한계를 극대화할 수 있다.

- 물리학의 탐구는 대개 동력학적이고 다중적이므로 물리학 지식을 어느 한 가지의 단순한 과정 혹은 그것을 이루는 단계나 방법으로 묘사한다는 것은 적절하지 않다. 특히 브리지먼(P. W. Bridgman, 1882~1961)이 말하는 도구적(instrumental) 조작(operation) 및 정신적(mental) 조작에 있어서 중요한 것은 탐색적 실험과 수리적 접근이다.

- 물리학에서는 기준점에 관계없이 변하지 않는 다양한 불변량들이 포함되어 있다. 예로 중력은 두 물체 사이 거리의 역제곱에 비례하게 되는데, 이 때 두 물체 사이의 거리는 물체가 움직이지 않는 한 어떻게 좌표를 잡아도 변화되지 않는다.

### (2) 물리학적 탐구의 특성

물리는 사물의 이치를 다루는 학문이다. 물리적 현상 중에서 미시적인 것들은 물질을 구성하는 원자들의 구성 비율이 같은 상태에서 원자들 사이의 상대적인 위치의 변화나 원자 내의 전자 또는 원자핵 내의 소립자들의 변화 등으로 인하여 일어나는 현상들이다. 한편 거시적인 물리현상들에는 만유인력에 의한 행성들의 운동, 블랙홀 이론(Black Hole Theory) 또는 대폭발이론(Big Bang Theory)등과 같이 비교적 큰 규모와 먼 거리에서 서로 힘을 주고 받으면서 일어나는 현상들이 있다. 이와 같이 물리적 현상들은 크기의 범위가 아주 적은 영역에서부터 아주 큰 영역을, 시간의 범위가 아주 짧은 영역부터 아주 긴 영역에서 일어나기 때

문에 물리탐구는 다른 자연과학 탐구 분야와는 다른 특성을 지니고 있다. 물리 분야의 탐구는 아래와 같은 특성을 지닌다.

- 물리적 현상이 일어나는 크기, 시간, 대상 등은 인간의 오감으로 감지할 수 있는 영역을 넘어서는 경우가 많기 때문에, 학생들은 여러 가지 측정 기구의 원리와 동작에 대한 기본 개념을 파악하고 있어야 한다.

- 측정 기구를 이용하여 관찰·측정한 결과는 대부분 수치로 나타난다. 그러므로 물리 탐구에는 정량적 결과를 분류하고, 가능하면 그림으로 나타낸 후 어떤 규칙성을 발견할 수 있는 능력이 요구된다.

- 물리학적 이론이나 법칙들을 서술하는 데에는 수학이 매우 중요시된다. 따라서 물리학적 이론과 법칙을 유도하는 데 필요한 수준의 수학 실력이 필수적으로 요구된다.

- 길이, 질량, 시간, 전하 등 물리에서 다루는 기본량으로부터 속도·가속도·운동량·에너지 등의 물리량들이 유도되는데, 이러한 물리량들을 사용하여 설명되는 물리학적 이론과 법칙들은 거의 대부분 이상적인 조건에서만 성립된다. 따라서 물리 탐구 탐구에는 그 대상이 되는 물리량이 어떠한 조건에서, 어떻게, 얼마만큼의 외부 영향을 받는지 또는 외부에 영향을 주는지를 파악할 수 있는 능력이 있어야 한다.

- 물리는 가상의 상향과 개념을 도입하는 경우가 많다. 예를 들면 관성의 법칙처럼 실제적으로 작용되는 힘이 없으나 가속계 내의 물체는 힘을 받아 운동하게 되는데, 이것을 설명하기 위해 가상의 힘을 도입하여 설명한다. 이처럼 물리는 가설적 모형과 상황을 설정할 수 있는 능력이 요구된다.

- 여러 물리량들은 스칼라(scalar)인 경우보다는 벡터(vector)인 경우가 많다. 벡터량의 경우는 그 물리량의 크기뿐만 아니라 방향도 함께 탐구의 대상에 포함시켜야 한다. 또한 다른 자연과학 분야의 탐구와는 특이하게 방향에 대한 개념이 특별히 많이 요구된다.

- 어떤 물리 개념은 장(field) 개념에 의해 유도되고, 그럼으로써 여러 물리적 현상들이 설명되어진다. 전자기유도, 만유인력의 법칙, 쿨롱의 법칙 등의 경우 장개념의 이해와 적용이 필수적이다.

- 미시 세계와 아주 짧은 시간 또는 긴 시간의 영

역에서 일어나는 물리현상을 설명·추리하기 위하여 모형을 사용하는 경우가 일반적이다.

- 물리는 하나의 기본 원리를 바탕으로 이론적 체계를 구성하려는 분야로서 일반화되지 않은 단계에서는 기본적 제약(boundary condition)이 많다. 그 예로 고전적 자연법칙들이 일관성을 갖기 위해서는 양자역학 법칙을 발견한 후에도 양자수가 크다는 기본적인 제약을 갖는다.

- 물리는 전자기파, 빛의 이중성 등 이해하기 매우 어려운 현상들을 많이 포함하고 있다. 이런 현상들은 실험에 의해서는 쉽게 설명하거나 확증하기 어렵고, 오로지 사고 실험(gedauken experiment)에 의해서만 검증된다.

## 2) 화학 탐구의 특성

본질적인 측면에서는 화학 탐구의 본성이 다른 자연과학 분야에서 사용하는 일반적인 과학적 탐구 방법과 같다고 볼 수 있다. 그러나 화학에서 다루는 개념의 특성에 따라서 탐구 방법의 선정이나, 탐구 과정의 일부 절차가 달라질 수 있으며, 또한 수공적·조작적 기술 면에서도 차이가 있을 수 있다. 그러므로 이 절에서는 먼저 화학의 학문적 특성을 간단히 설명한 다음, 고등학교 교과 내용과 관련된 화학 탐구의 특성을 서술한다.

### (1) 화학의 학문적 특성

화학은 자연계에 존재하는 다양한 물질들의 성질을 연구하고, 그러한 물질들이 서로 어떻게 반응하여 다른 물질로 변화되는가를 연구하는 학문이다. 화학의 역사는 인간이 불을 사용하기 시작한 원시시대로부터 시작되었으나, 화학이 현대 과학으로 발전하기 시작한 것은 18세기의 라브와지에(A. Lavoisier, 1743~94) 때부터이다. 라브와지에는 정량적인 분석의 중요성을 깨닫고 이전보다 더 정확한 저울을 고안하여 질량보존의 법칙을 발견하였다. 그 후 일정성분비의 법칙, 배수비례의 법칙 등이 정립되었고, 이러한 실험 결과들을 토대로 1800년대 초에는 돌턴(J. Dalton, 1766~1844)이 원자설을 제시하고, 아보가드로(Avogadro, 1776~1856)의 분자설과 카니짜로(S. Cannizzaro, 1826~1910)의 원자량 및 몰 개념도 나오게 되었다. 원자나 분자와 같은 미시적인 입자의 개념이 도입됨으로써 그 때까지 알려지지 않았던 실험 결과들을 성공적으로 설명할 수 있었으며, 지금까

지도 원자와 분자의 개념은 화학의 가장 기본적인 개념이 되고 있다. 입자설이 1900년대에는 양자 이론이 정립됨으로써 현대물리학의 한 분야를 확고하게 자리잡을 수 있었다.

화학에 원자의 개념이 도입된 이후 원자는 물질을 구성하고 있는 기본 입자로 믿어졌으며, 물질은 불연속적인 입자로 구성되어 있다는 것도 믿어지게 되었다. 그리고 원자 개념을 이용한 화학식이나 화학 반응식을 사용함으로써 물질의 조성이나 물질의 변화를 좀 더 쉽게 이해할 수 있게 되었다. 그러나 원자는 그 크기가 너무 작은 미시적인 개념이므로 관찰을 통해서 그 실체를 확인하기가 어렵다. 그 존재는 관찰된 현상으로부터 추론할 수밖에 없으며, 단지 적절한 모형을 통해서만 그 이해가 가능하다. 따라서 형식적인 조작적 사고를 원할히 하지 못하는 학생에게는 원자 개념에 기초한 화학의 원리가 이해하기 어려운 것이 될 수밖에 없다. 예를 들면 연소 반응이나 철이 녹스는 것 같은 화학적인 변화는 관찰한 현상만으로는 실제로 어떤 변화가 일어나고 있는지 분명하게 설명하기 어렵다. 즉 연소 반응에 대해서 우리가 지각할 수 있는 것은 불꽃이나 뜨거움 그리고 물질이 타서 눈에 보이지 않게 되는 현상 등이다. 이러한 현상을 관찰한 학생들이 연소 반응은 그 물질이 산소와 결합하는 반응이며, 반응 전과 반응 후에 질량이 보존된다고 설명할 수 있을 것으로 기대하는 것은 어려운 일이다.

이러한 점들 때문에 학생들은 화학을 어려운 학문으로 느끼게 되며, 화학적인 현상을 화학의 원리를 통해 이해하려 하기보다는 그냥 외우는 방법을 택하게 된다. 그러나 원자 개념이 일단 정립되면 이를 이용하여 많은 화학적인 현상을 설명할 수 있게 되므로 다른 자연과학 분야에 비해 배우기 어렵다고 볼 수 없다. 화학은 원자 개념만 확실히 이해하면 별다른 새로운 지식을 습득하지 않아도 많은 화학적인 현상을 설명할 수 있게 된다(Shayer and Adey, 1981). 그러므로 학생들에게 원자의 개념을 정확히 심어 주고, 그 개념을 자연 현상의 설명에 응용할 수 있는 능력을 길러 주는 것이 화학의 원리를 이해시키는 데 있어서 가장 중요한 과제이다.

## (2) 고등학교 교과 내용과 관련된 화학 탐구의 특성

과학을 탐구하는 데 있어서 많은 종류의 과학적 탐구 기능과 기술이 탐구의 방법 및 과정에 따라 분류되고 있다. 이러한 탐구 방법이나 과정은 여러 분야에서 보편적으로 적용되지만 각 분야에 따른 특수성도 가지고 있다. 여러 과학 분야는 그 지식의 출처, 내용(content), 대상이 다르기 때문이

다. 고등학교 교과 내용과 관련하여 화학적 탐구의 특성은 다음의 몇 가지 측면으로 생각해 볼 수 있다.

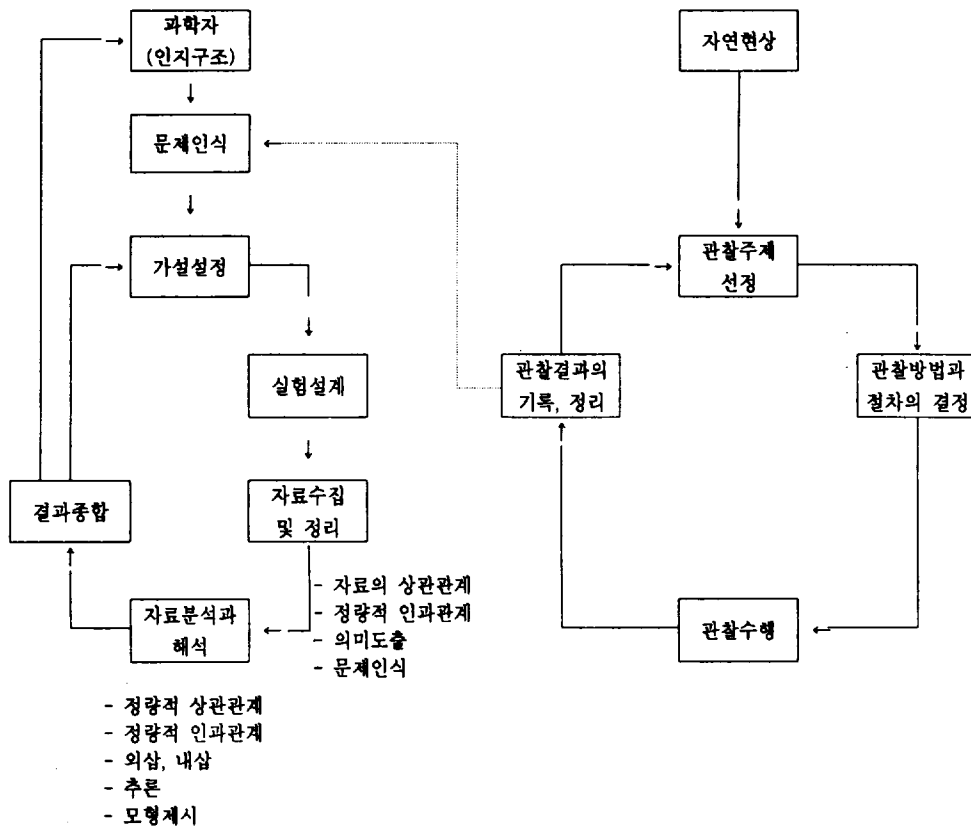
- 화학적 탐구는 일상적 경험을 통해서 그리고 거시적으로 관찰할 수 있는 화학적 현상으로부터 자연의 규칙성을 알아내는 것이며, 이를 위하여 실험·관찰을 수행하는 데 있어서 특수성을 띤 탐구 기능과 기술이 요구된다. 화학 탐구의 특수한 실험·관찰 기능과 기술의 몇 가지 예를 들면 다음과 같다: 저울 사용 기능, 유리 세공 기능, 뷰렛 사용 기능, 용액 만들기 기술, 분별 증류 기술, 혼합물 분리 기술, 정량하는 기술, 화합물 합성 또는 분리 기술. 이런 기술들은 주로 화학 탐구와 연구에서 습득되어진다.

- 색의 변화, 질량 변화, 부피의 변화 등 실험과 관찰이 가능한 거시적 화학반응에 대한 탐구는 귀납적 일반화 과정을 따르는 경험적 탐구(empirical inquiry)의 방법을 포함하고 있다. 예를 들면 고등학교의 화학 교과내용 중에서 불꽃 반응, 연소 반응, 기체 발생 반응, 정성적인 색깔 변화 반응, 정성적인 침전 반응 등은 단순히 관찰하거나 그 결과를 분류하여 기록하는 기술적 탐구(descriptive inquiry) 과정(그림 1)을 통해서 습득될 수 있다.

- 산·염기의 반응이나 유기 또는 무기 화합물의 합성 반응 등에 대해서는 실험을 통하여 얻어진 결과를 실험값과 화학 반응식의 이론값을 비교하도록 하는 안내된 탐구(guided inquiry) 과정을 거치게 하는 것이 좋다.

- 화학 평형이나 화학 반응 속도에 대한 개념은 고등학교 화학 교과과정에서 실험 여건도 좋지 않을 뿐만 아니라 매우 높은 형식적 조작 수준이 요구된다. 따라서 이러한 개념들에 대해서는 가설을 설정하고, 가설을 검증할 계획을 설계하고, 표나 그래프로 자료를 제시하여 가설과 관련시켜서, 자료의 의미를 해석하게 하고, 결론을 도출하여, 일반화할 수 있도록 하는 이른바 개념적 탐구(conceptual inquiry) 방법(그림 1)을 적용하는 것이 좋다.

지금까지 살펴본 화학 탐구는 자연계에 존재하는 다양한 물질들의 성질, 반응, 또는 변화 등의 거시적(macro) 화학 반응에 대한 것이다. 이와 더불어 이러한 관찰 가능한 거시적인 현상을 원자, 분자 수준의 미시적(micro)인 관점의 개념적 탐구로 연결시키는 것도 중요하다.



개념적 탐구 방법에 대한 순환 모형:  
미시적 원자·분자 수준  
상상·사고실험

기술적 탐구 방법에 대한 순환 모형:  
거시적 수준  
실제실험

[그림 1] 화학 탐구 모형

### 3) 생물학 탐구의 특성

생물학 탐구 방법이 띠는 근본적 특성은 일반적인 과학적 탐구 방법과 동일하다. 다만 생물학의 특성과 관련되어 탐구 방법의 적용에 물상과학과 약간의 차이가 있을 수 있다. 그러므로 생물 분야에 고유한 탐구의 특성을 논하기에 앞서 생물학의 학문적 특성을 먼저 논하는 것이 적절한 순서이다.

#### (1) 생물학의 특성

생물을 그 구성 수준에 따라 분자→세포→조직→기관→기관계→개체→개체군→군집→생물권으로 나누어 생각할 수 있다. 그런데 생물학의 발달 초기에는 개체 수준의 연구가 주류를 이루었으며, 이어서 조직과 기관을 연구하는 해부학, 형태학, 조직학이 발달하였다. 1665년에 후크(Hooke)가 세포를 처음 관찰한 후 현미경의 발달에 힘입어 세포 수준의 생물학이 발달하게 되었고, 아울러 개체군, 군집, 생물

권 수준의 연구에 주된 관심을 집중하는 생태학도 발달하였다. 그러나 분자 수준의 생물학이 본격적으로 발달하기 시작한 것은 20세기에 들어선 후의 일이다.

생물학에 있어서 쿤(Kuhn, 1962)이 말하는 과학혁명이란 부를 만한 사건은 아마도 슈반과 슬라이덴의 세포설, 다윈의 진화론, 왓슨과 크릭에 의한 DNA의 구조 발견일 것이다. 이와 같은 생물학의 발달은 물상 과학의 발달과 매우 깊은 관련이 있다. 예를 들면 세포학 발달의 밑거름이 된 현미경의 발달, 진화론과 관련된 화석 연구와 지질학의 발달, 분자 생물학 발달의 밑거름이 된 화학의 발달 등을 들 수 있다. 최근에는 간학문적 연구(interdisciplinary study)의 발달로 생물학과 물상과학의 경계가 모호해질 정도로 두 학문이 밀접한 관계를 맺고 있다.

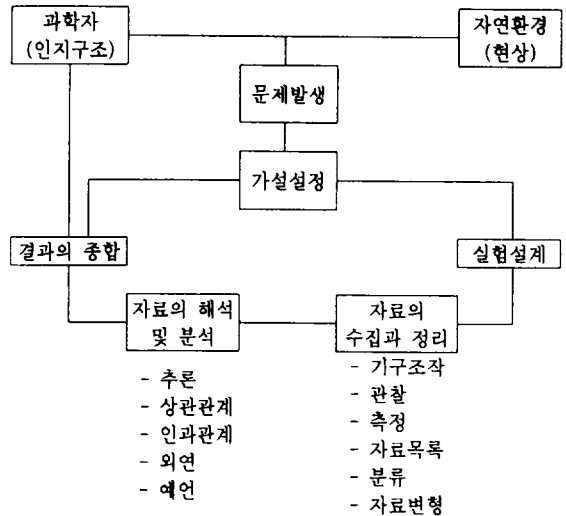
그러나 생물학은 생명 현상을 연구한다는 점에서 물질과 물체를 연구하는 물상과학과 뚜렷이 구별된다. 물질과 물체를 대상으로 연구를 할 경우 변인통제를 하는 것이 비교적 쉬움에 비하여, 생물을 대상으로 연구를 할 경우에는 예측할 수 없는 변인들이 동시에 작용하는 경우가 많아 변인통제가 어렵다. 이처럼 생물학의 연구 대상이 물상과학의 연구 대상과 다름으로 해서 연구의 과정과 방법에도 차이가 있을 수 있다. 이러한 차이점은 다음 절에서 구체적으로 논의한다.

## (2) 생물학적 탐구의 본질과 구성

생물학이 물상 과학과 크게 다른 점은 그 탐구 방법보다 그 대상 혹은 내용에 있다. 생물학의 탐구 방법은 본질적으로 일반적인 과학적 탐구 방법의 범주에 속한다. 일반적인 과학적 탐구 방법에 대해서 조희형(1992)은 크게 네 가지 영역, 즉 지식의 출처, 과학적 방법, 과정 또는 절차, 기능과 기술의 영역으로 나누어 기술하고 있는데, 여기서는 과정 또는 절차의 측면에서 초점을 맞추어 논의한다.

과학적 탐구 과정의 속성에 대해서 로미(Romey, 1968), 스와브(Schwab, 1962), 타미어(Tamir, 1978) 등은 선형 모형을 제시하였다. 이는 문제인식, 가설설정, 탐구설계, 탐구수행, 자료해석 및 결론도출 등의 과정을 순서대로 거치는 모형이며, 이러한 선형 모형은 라켈슨(Rachelson, 1977), 허명(1984) 등에 의하여 비판을 받았다. 윌슨(Wilson, 1974)은 탐구 방법을 크게 경험적 탐구와 개념적 탐구로 나누어 그 방법의 차이를 지적하였으며, 예거(Yager, 1993)는 과학의 탐구 방법이 기술의 탐구 방법과 달라야 한다는 것을 학습 모형과 함께 제시한 바 있다. 허명(1984)은 로미 등의 선형

모형에 대한 대안으로서 순환 모형을 제시하였는데 이를 간략히 소개하면 [그림 2]와 같다.



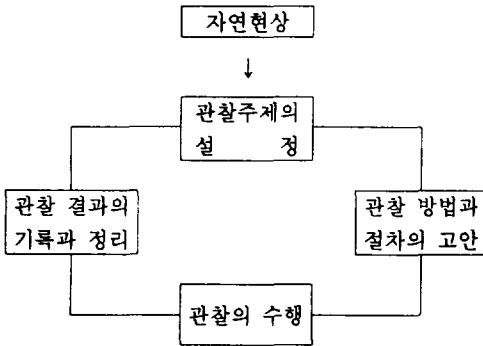
[그림 2] 탐구 과정의 순환 모형

[그림 2]의 순환 모형은 가설-연역적 탐구 방법에 초점을 맞춘 것이며, 실제의 과학 탐구에서는 이러한 모형 이외에도 다양한 방법이 추구될 수 있다. 생물학의 탐구 방법이 일반적으로 그림 2와 같은 과정을 거칠 수 있다는 점에서는 물상과학과 크게 다르지 않다. 그러나 생물학은 생물의 형태와 기능을 관찰하고 기술하는 내용을 많이 포함하고 있다. 예를 들면 중고등학교의 교과 내용 중에서 세포의 관찰, 혈액의 관찰, 모세 혈관의 관찰, 연못 속의 작은 생물 관찰, 개구리의 발생 관찰 등은 가설 설정이라는 단계를 필요로 하지 않고 단순히 관찰하고 관찰 결과를 기록하거나 분류하는 절차만을 거친다. 이러한 종류의 실험이 중고등학교 생물 실험의 60% 이상을 차지하고 있는데, 이는 생물교과의 특성뿐만 아니라 생물학 자체의 특성을 반영하고 있다고 볼 수 있다.

그러므로 생물학적 탐구 방법을 가설 연역적 탐구 방법으로만 설명해서는 충분치 않으며, 위에 언급한 생물학의 특성을 잘 반영할 수 있도록 보완되어야 할 것이다. 다시 말하면 생물학에서는 관찰과 기술(記述)을 중요시하므로 이



러한 과정을 표현할 수 있는 기술적(descriptive) 탐구 방법의 절차를 모형화하는 것이 필요하다. 이러한 탐구 모형을 [그림 3]에 예시하였다.



[그림 3] 기술적 탐구방법 모형

[그림 3]의 모형에서는 가설 설정의 단계가 없으며, 관찰과 관찰 결과의 기록이 탐구 과정의 주된 요소로 부각되고 있다는 점에서 가설 연역적 탐구 방법과 크게 다르다. 그리고 바로 이러한 점이 생물 탐구 방법의 기술적 측면을 잘 반영하고 있다고 볼 수 있다.

#### 4) 지구과학 탐구의 특성

지구과학은 지질과학, 대기과학, 해양과학, 천문학 등 주요 하위 분야로 구성되어 있다. 지구과학은 하위 분야의 독립성이 강하여, 물리학이나 화학 또는 생물학 등과 같은 자연과학의 다른 분야와 비교할 때 하나의 분야라는 통합성이 약하다는 지적이 있었다. 그러나 판구조론의 출현 이후 지구과학의 각 영역은 이전에 볼 수 없었던 강력한 상호 협력을 경험하고 있다(Engelhardt & Zimmermann, 1982). 지구과학의 모든 영역의 현상과 문제를 해결하는 데 판구조론이라는 동일한 지각 진화의 역동적인 모형을 활용할 수 있음을 많은 지구과학자들이 공감하고 있기 때문이다. 지구과학 탐구의 내용이나 대상은 지구과학의 학문적 특성에 깊은 영향을 준다. 그러므로 이 연구에서는 지구과학의 학문적 특성에 대하여 논의하고, 그 결과를 기초로 지구과학의 특징적인 탐구 방법의 모형화를 시도하였다.

#### (1) 지구과학의 학문적 특성

지구과학의 학문적 특성은 여러 측면에서 살펴볼 수 있겠으나, 그 중에서도 탐구 대상이 가진 특성과 탐구의 목적이 가장 중요하다고 판단되므로 이를 중심으로 논의하기로 한다. 지구과학의 탐구 대상은 고체 지구의 표면에서부터 내부의 내핵, 지구를 둘러싸고 있는 대기와 해양, 그리고 천체와 우주까지이며, 또한 시간적으로는 우주의 생성 순간에서부터 지금까지, 공간적으로는 주변의 미시적인 현상에서부터 지구와 우주 전체까지를 모두 포괄한다. 이러한 지구과학의 탐구 대상이 가진 특성은 지구과학의 학문적 특성에 깊은 영향을 준다.

- 지구과학의 두드러진 특성 중 하나는 원인과 결과 사이에 걸리는 시간이 매우 길다는 점이다(이명계, 김찬중, 최승언, 1993). 인간이 역사를 기록해 온 수천 년이라는 긴 시간도 두꺼운 퇴적층의 생성이나, 산맥의 형성 등과 같은 지질과학의 여러 현상을 처음부터 끝까지 관찰하기에는 충분하지 못하다.

- 지구과학의 탐구 대상은 산맥, 판, 기단, 은하 등과 같이 매우 커다란 공간적 규모를 가진 경우가 많다(이명계, 김찬중, 최승언, 1993).

- 지구과학의 탐구 대상 중에서 많은 부분은 인위적으로 조작하기가 매우 어렵다(이명계, 김찬중, 최승언, 1993). 화산 폭발, 지진 등의 연구를 위해서는 직접 현상을 조작하기보다는 현상이 일어나기를 기다려야 한다(Laudan, 1987).

- 지구과학 현상에는 관련된 개념이 매우 복합적인 경우가 많다. 지구에서 일어나는 다양한 현상이나 변화는 쉽게 분리할 수 있는 몇 가지의 원인에 의해서 일어나는 것이 아니라 매우 복합적으로 상호작용을 하는 여러 요인들에 의한 경우가 많다(Laudan, 1987).

- 지구과학의 많은 연구 대상은 사람이 접근하기 어려운 곳에 있다. 즉 지구과학자는 현상이 일어나는 현장을 직접 관찰하거나 조사하지 못한 상태에서 탐구를 수행해야만 하는 경우도 많았다(Laudan, 1987).

지구과학 탐구 대상이 가진 이상과 같은 특성은 지구과학 탐구에 많은 영향을 주게 되며, 탐구 방법의 선택이나 이론의 구성에 제한을 가하게 된다. 탐구 대상이 가진 시간적인 특성과 접근상의 곤란성은 지구과학 탐구 과정에서 실증과 관찰보다는 상상력과 추론에 더 의존하게 하는 경향을

초래한다. 또한 부분적인 자료를 바탕으로 추론을 하거나, 현재 관찰할 수 없는 과거의 과정을 가정하여야 한다. 한편 공간적 규모가 주는 영향은 지구과학 탐구에서 광범위한 지역의 탐사와 도표 작성(mapping)과 같은 자료 수집 과정을 필요로 하며, 또한 이론 수립 과정에서 부분적인 자료를 바탕으로 추론을 해야 하거나, 전체적인 자료를 얻기 위해서 인공위성을 이용한 원격 탐사(remote sensing) 등과 같은 첨단 기술의 사용이 불가피하게 된다. 이로서 관련 개념의 복잡성은 지구과학의 현상을 설명하는 이론의 생성시 고려해야 할 변인이나 개념의 수가 우선 많을 수밖에 없기 때문에 이론의 생성 자체가 복잡하고 어렵게 된다. 또한 관련된 이론의 완성도에 따라 생성한 이론이 많은 영향을 받게 된다.

지구과학 탐구의 목적은 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 하나는 지구의 역사를 밝혀 내는 것으로 이를 역사학적(historical) 탐구라고 하고, 다른 하나는 지구와 지구를 이루는 물질의 생성, 그리고 지구에서 일어나는 변화의 인과관계를 알아내려는 것으로 이를 인과적(causal) 탐구라고 한다(Laudan, 1987). 역사학적 탐구의 대표적인 예로 지사학이 있으며, 인과적 탐구에는 광물학, 지질학, 고생물학, 퇴적학, 지구물리학 등이 있다. 역사학적 탐구에서 지질과학은 특수하고 반복되지 않는 사건들의 시간적 연속성을 밝혀 내는 것을 주 목적으로 한다. 역사학적 탐구의 결과는 일반화된 이론이 아니라, 지구에서 일어난 사건의 연대표 또는 시간적으로 연속성을 갖는 특정한 주장의 지위를 얻는 다(Laudan, 1987). 이러한 의미에서 지질과학은 역사학적이며, 비실험과학으로 볼 수 있다. 많은 지구과학자들은 오늘날의 지구를 이루게 한 인과 과정을 이해하려는 것을 탐구의 목적으로 삼고 있다. 퇴적암이 퇴적된 환경과 과정, 화성암이나 변성암의 성인에 대한 연구, 조산운동, 화석 분류, 종의 분화와 멸종 등에 대한 탐구는 지질과학의 원리나 법칙의 구성으로 연결된다(Laudan, 1987).

지구과학에서 인과적 탐구와 역사학적 탐구는 서로 상보적인 관계에 있다. 인과적 탐구는 재구성된 지구의 기록을 바탕으로 수립될 수 있으며, 역사학적 탐구는 인과적 탐구를 바탕으로 정립될 수 있다. 역사학적 탐구는 지구과학의 독특한 특성이다. 또한 인과적 탐구도 근본적인 면에서는 다른 과학 탐구와 차이가 없으나 지구과학 탐구 대상의 특성에 적합하도록 선택적으로, 또는 적절히 변형되어 활용된다.

## (2) 지구과학의 탐구 방법

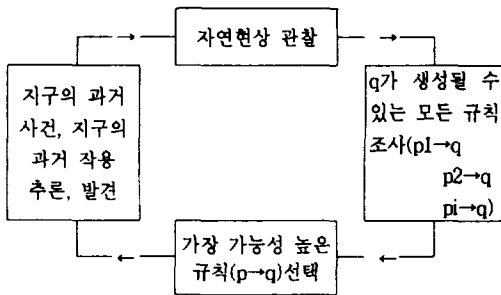
지구과학 탐구 방법은 지구과학의 목적을 지구 역사의 재구성으로 보는 경우와 인과적 관계의 규명으로 취급하는 경우에 따라 차이가 있다. 인과적 탐구 방법은 과학의 다른 영역의 탐구 방법과 근본적인 측면에서는 차이가 없다. 그러나 지구과학의 특수한 맥락에 대한 적용성이 증시된다는 측면에서 다른 과학 영역의 탐구 방법과 차이가 있을 수 있다.

지구과학 탐구에는 개념적 구조나 하위 이론 수준과 같이 여러 가지 수준이 있다. Engelhardt와 Zimmermann(1982)은 지구과학에서 유용한 탐구의 수준을 경험적 근거, 경험적 자료의 체계화와 일반화, 이론적 수준, 조정 원리의 네 가지 수준으로 나누었다. 경험적 근거는 관찰이나 실험에 의해서 확정된 진술을 말한다. 물론 이론과 전혀 무관한 경험적 근거는 있을 수 없으나, 대체로 경험적 근거는 이론이 변해도 그 가치를 상실하지는 않는다. 한편 경험적 자료의 체계화와 일반화 수준은 많은 개개의 관찰 결과를 요약하고 체계화하는 단계를 말한다. 또한 어느 정도의 일반화까지는 포함하지만 완전히 일반화된 법칙의 수준에 이르지 못한 경우이다. 셋째 단계인 이론적 수준은 일반적인 법칙(universal law)의 형태를 말한다. 여기에는 경험적 근거와 두번째 단계인 체계화, 일반화된 경험적 자료가 한 법칙의 필요한 부분으로 포함된다. 가장 높은 수준인 조정원리 수준은 경험적 연구와 이론 생성을 위한 방향을 제시하는 관행, 규칙, 비경험적 원리 등이 포함된다. 예를 들면, 인과법칙, 동일과정설 등을 들 수 있다. 때러다임, 연구 프로그램, 연구 전통과 같은 상위 개념적 구조는 탐구 방법과 개념 체계의 복합체라는 점에서 탐구 방법에 국한된 조정원리와 차이가 있으며, 이론적 수준에 속하는 것으로 본다(Engelhardt & Zimmermann, 1982).

역사적 탐구에 사용되는 방법은 인과적 탐구 방법과 다르지 않다. 그러나 역사적 탐구에서는 이미 발생한 역사적 사건의 재구성을 목표로 하기 때문에 원인이나 생성 과정을 목표로 하는 인과적 탐구방법과 탐구의 방향이 다르다. 인과적 탐구를 목표로 하는 지구과학자들은 탐구 결과로 현재의 지표물 생성시킨 인과 과정을 알아내고자 한다. 그들은 인과적 주장을 뒷받침하기 위하여 야외 관찰 뿐 아니라 물리, 화학적 이론의 외삽, 실험 결과의 비유적 해석 등을 시도한다(Laudan, 1987). 역사적 탐구를 수행하는 학자들은 지구의 역사를 이루는 특수한 사건의 순서를 결정하고자 한다. 따라서 그들은 야외에서 관찰을 통하여 자신들이 필요

한 증거를 찾는다. 이 과정은 경험적 근거 수준과 같으며, 탐사와 도록작성 작업이 주가 된다. 야외 관찰에서 그들은 암석으로부터 과거의 기록을 이해하기 위하여 기존의 어떠한 인과법칙이라도 사용한다(Laudan, 1987). 역사적 탐구는 알려진 법칙이나 원리를 이용해서 과거의 현상을 알아냄으로써 가설유도추리 방법을 많이 사용하고 있으며(Engelhardt & Zimmermann, 1982), 현상으로부터 법칙이나 원리를 수립하고자 하는 인과적 탐구와 탐구 방법의 방향이 다르다.

가설유도추리는 지구과학의 인과적 탐구나 역사학적 탐구에서 모두 중요한 역할을 하는 특징적인 탐구방법이다. 가설유도추리란 규칙과 결과를 가지고 어떤 상황을 추론해 내는 것을 말한다(한국철학사상연구회, 1989). 만약  $p \rightarrow q$  라는 과학 규칙과  $q$ 라는 결과가 주어지면, 이를 바탕으로 아마  $p$ 라는 상황이었을 것이라고 추론하는 것이다. 이는 형식논리학적인 측면에서 보면 불완전한 논리개념으로 받아들여지지만, 실제적인 적용 상황에서는 제한적인 조건만이고려되고 많은 부분은 제외되므로 훌륭한 추론 과정이 될 수 있다(Engelhardt & Zimmermann, 1982). [그림 4]는 가설유도추리를 한 모형으로 제시한 것이다.



[그림 4] 가설유도추리 모형

[그림 4]에서와 같이 지구과학자들은 시간적 특성을 지닌 자연현상을 관찰함으로써 어떤 작용에 의한 결과 ( $q$ )를 얻게 된다. 그 다음 단계에서 지구과학자들은 이러한 결과 ( $q$ )가 생성될 수 있는 모든 규칙이나 현재의 과정을 조사하게 된다. 조사된 규칙이나 과정에서 실제로 존재하며, 또한 그 영향력이 결과 ( $q$ )를 일으키기에 충분한 규칙을 선택하

며, 이 규칙을 바탕으로 지구에서 과거에 일어난 사건이나 과정을 알게 된다. 이러한 과정은 되풀이하여 일어나게 된다.

#### IV. 결론 및 제언

이상에서와 같이 이 연구는 과학적 탐구의 의미와 속성을 분석하고, 물리학·화학·생물학·지구과학의 학문적 성격과 각 분야별 탐구의 특성을 조사하는 데 일차적인 목적을 두고 수행하였다. 이 연구를 통해서 확인한 과학적 탐구의 의미와 특성, 각 분야별 학문적 성격과 탐구의 특성을 요약하면 다음과 같다.

##### <과학적 탐구의 의미와 특징>

- 과학적 탐구는 인식론적·형이상학적·방법론적 관점에 따라 탐색 활동 혹은 과학지식을 형성하기 위한 연구로 정의되며, 과학지식의 출처, 과학적 방법, 탐구의 과정과 그 기능 및 기술 등으로 특징지어지고 있다

- 과학적 탐구의 본질이 논리적 추론 절차, 과학과 과학지식의 발달 과정, 과학자의 연구 활동, 학생들의 과학 학습 방법 등에 관한 조사·분석을 통해서 규명되고 있다

- 과학적 탐구는 넓은 범위의 주제에 적용할 수 있는 보편성과 아울러 탐구의 대상과 분야에 대한 특이성도 지닌다.

##### <분야별 학문적 특성>

- 물리적 현상은 전자나 양성자와 같은 미시 세계로부터  $1.06 \times 10^{11}$ 광년에 달하는 거시 세계까지, 시간적으로는 빛이 소립자를 통과하는  $10^{-23}$ 초의 짧은 시간에서 태양의 수명에 달하는  $1.9 \times 10^{12}$ 년 정도의 긴 시간 범위 속에서 일어난다

- 물리학은 물질의 물리적 성질과 물체의 운동·소리·빛·전기·에너지 등의 현상과 구조를 다루는 자연과학의 한 분야로서 이와 같은 현상들은 대개 수학적 공식을 사용하여 표현된다

- 화학은 자연계에 존재하는 다양한 물질들의 성질을 연구하고, 그러한 물질들이 서로 어떻게 반응하여 다른 물질로 변화되는지를 연구하는 학문이다

<연구논문> **고등학교의 과학적 탐구력 신장을 위한 과학 학습지도 방법과 자료의 개발에 관한 연구 I, 조희형 외**

- 화학의 핵심적 개념인 물질의 조성과 그 변화는 미시적인 것으로서 관찰을 통해서 그 실체를 확인하기 어렵고, 그 존재는 관찰된 현상으로부터 추론할 수밖에 없으며, 그에 대한 이해도 적절한 모형을 통해서만 가능하다

- 생물학의 발달 초기에는 개체 수준의 연구가 주류를 이루었으나 조직과 기관을 연구하는 해부학, 형태학, 조직학 등이 그 뒤를 이어 발달하였으며, 현재는 분자 수준의 생물학과 아울러 비교적 거시적인 생태학도 발달하였다

- 생물에 의해 나타나는 현상에는 예측할 수 없는 변인들이 동시에 작용하는 경우가 많기 때문에 생물체를 주된 연구 대상으로 하는 분야에서는 변인을 통제하기 어렵고, 인과관계보다는 상관관계가 주된 관심 대상이 된다

- 지구과학의 탐구 대상은 고체 지구의 표면에서부터 내부의 내핵, 지구를 둘러싸고 있는 대기와 해양, 그리고 천체와 우주까지이며, 시간적으로는 우주의 생성 순간에서부터 지금까지, 공간적으로는 주변의 미시적인 현상에서부터 지구와 우주 전체까지를 모두 포괄한다

- 지구과학의 탐구 대상 가운데 많은 부분은 인위적으로 조작하기 어려우며, 실험을 통한 조작도 쉽지 않다; 즉 지구 위의 어떤 현상과 그 변화는 쉽게 분리할 수 있는 소수의 원인에 의해서가 아니라 매우 복잡적으로 상호작용을 하는 여러 요인에 의해 일어난다.

<분야별 탐구의 특성>

- 물리적 현상 가운데에는 인간의 오감으로 감지할 수 있는 영역을 넘어서는 경우가 많다

- 측정 기구를 이용하여 관찰·측정한 결과는 대부분 수치로 나타나며, 물리학적 이론이나 법칙들을 서술하는 데에는 수학이 매우 중요시된다

- 물리는 가상적인 상황과 개념을 도입하는 경우가 많으며, 특히 미시 세계와 아주 짧은 시간 또는 긴 시간의 영역에서 일어나는 물리적 현상을 설명·추리하기 위하여 모형을 사용하는 경우가 일반적이다

- 화학적 탐구는 일상적 경험을 통해서 그리고 거시적으로 관찰할 수 있는 화학적 현상으로부터 자연의 규칙성을 알아내는 것이다

- 색의 변화, 질량의 변화, 부피의 변화 등과 같은

실험과 관찰이 가능한 거시적 화학 반응의 변화에 대한 탐구는 귀납적인 경험적 탐구(empirical inquiry)의 방법 또는 절차를 포함하고 있다

- 화학 평형이나 화학 반응 속도에 대한 개념은 고등학교 화학 교과과정에서 실험 여건도 좋지 않을 뿐만 아니라 매우 높은 형식적 조작 수준이 요구되며, 이러한 개념들에 대해서는 이른바 개념적 탐구(conceptual inquiry) 방법을 적용하는 것이 좋다

- 생물학은 생물의 형태와 기능을 관찰하고 기술하는 내용을 많이 포함하고 있으며, 이런 영역의 탐구에는 가설 설정이라는 단계를 필요로 하지 않고 단순히 관찰하고 관찰 결과를 기록하거나 분류하는 절차만을 거친다

- 생물학적 탐구 방법을 가설 연역적 탐구 방법으로만 설명해서는 충분하지 않다. 특별히 관찰과 기술(description)을 중요시하는 생물학 탐구 분야에는 기술적(descriptive) 탐구 방법의 절차를 모형화하는 것이 필요하다

- 지구과학의 탐구의 수준은 경험적 근거, 경험적 자료의 체계화와 일반화, 이론적 수준, 조정 원리 등 네 가지로 나누어진다.

이상에서와 같이 물리·화학·생물학·지구과학 등은 나름대로 독특한 학문 분야이며, 모든 분야에서 보편적으로 적용될 수 있는 방법과 아울러 각 분야에 고유한 방법을 통해서 탐구된다. 이는 곧 과학적 탐구 방법은 탐구의 주제 및 대상과 상호 밀접한 관계가 있으며, 따라서 과학적 탐구의 기능과 기술은 분야별로 습득케 하는 것이 더 바람직함을 시사한다. 그러나 모든 탐구 기능과 기술이 각 분야에 독특한 특성을 나타내는 것은 아니다. 귀납법·연역법 등과 같은 논리적 추론 방법은 비단 논리학뿐만 아니라 다른 여러 학문 분야에 널리 적용된다. 또한 가설설정·실험설계·관찰·자료해석 등 대부분의 탐구 과정은 반드시 과학이나 과학의 특정 분야에서만이 아니라 일상생활에서조차 유용하게 이용되고 있다.

참고문헌

교육부(1992). 고등학교 교육과정. 교육부 고시 제1992-19호.

- 국립교육평가원(1992). 대학수학능력시험 실험평가 문제집.  
박승재(1991). 과학적 탐구 사고력 평가. 서울대학교 물리교  
육과.  
서울대학교 교육연구소(1994). 교육사전. 하우.  
이명제, 김찬중, 최승언(1993). 실험실 맥락과 지구환경 맥  
락의 문제해결에서 활성화되는 지식의 차이. 한국과  
학교육학회지, 13(2), 257-271.  
이희승(1994). 국어대사전. 민중서림.  
조희형(1992). 과학적 탐구의 본질에 대한 분석 및 탐구력  
신장을 위한 학습지도 방법에 관한 연구. 한국과학교  
육학회지, 제12권 제1호, 61-73.  
한국철학사상연구회(1989). 철학대사전. 서울: 동녘.  
허명(1984). 과학탐구 평가표의 개발. 한국과학교육학회지,  
제4권 제1호, 57-63.  
AAAS.(1989). *Science for all Americans*. Washington,  
D.C.: Author.  
Abruscato, J.(1988). *Teaching children science*, 2nd ed.  
Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.  
APU.(1989). *Science at age 15*. London: HMSO.  
ASE.(1986). *Science teachers' handbook*. London: Hut-  
chinson.  
Carnap, R.(1966). *The philosophy of science*. Edited by M.  
Gardner. NY: Basic Books, Inc.  
Chisholm, R.(1966). *Theory of knowledge*, 2nd ed.  
Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.  
Collette, A.T. & Chiappetta, E.L.(1989). *Science instruction in  
the middle and secondary schools*, 2nd ed.  
Columbus, Ohio: Merrill Publishing Company.  
Cothron, J.H., Giese, R.N., & Rezba, R.J.(1993). *Students  
and research: Practical strategies for science  
classrooms and competitions*. Dubuque, Iowa:  
Kendall/Hunt Publishing Company.  
DeBoer, G.E.(1991.) *A history of ideas in science  
education: Implications for practice*. NY: Teachers  
College Press.  
DES.(1985.) *Science 5-16: A statement of policy*. London:  
HMSO.  
von Engelhardt, W. & Zimmermann, J.(1982). *Theory of  
earth science*. Translated by Fisher, L. Cambridge:  
Cambridge University Press.  
Giare, R. N.(1984). *Understanding scientific reasoning*,  
2nd ed. NY: Holt, Rinehart and Winston.  
Hempel, C. G.(1966). *Philosophy of natural science*.  
Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.  
Honer, S.M., & Hunt, T.C.(1987). *Invitation to philosophy*,  
5th ed. Belmont, CA: Wadsworth Publishing  
Company.  
Huggett, R.(1990). *Catastrophism: systems of earth  
history*. London: Edward Arnold.  
Kneller, G. F.(1971). *Introduction to the philosophy of  
education*, 2nd ed. NY: John Wiley & Sons, Inc.  
Kuhn, T. S.(1962). *The structure of scientific revolutions*.  
Chicago: The University of Chicago Press.  
Lakatos, I.(1978). Falsification and the methodology of  
scientific research programmes. In I. Lakatos & A.  
Musgrave. *Criticism and the growth of knowledge*.  
Cambridge University Press.  
Laudan, R.(1987). *From mineralogy to geology: The  
foundations of a science, 1650-1830*. Chicago:  
University of Chicago Press.  
NAEP.(1989). *Science objectives: 1990 assessment*. ETS.  
Nagel, E.(1961). *The structure of science*. London: RKP  
Neilson, W. A., Konott, T. A., & Carhart, P. W.(1956).  
*Webster's new international dictionary of the  
English language*. Springfield, Mass.: G&C. Merriam  
Company.  
Open University.(1986). What is science? An Open  
University perspective. In J. Brown, A. Cooper, T.  
Horton, F.Toates, & D. Zeldin(eds.) *Exploring the  
curriculum: Science in schools*. Milton Keynes: The  
author.  
Phillip, D.C.(1987). *Philosophy, science, and social  
inquiry*. NY: Peramon Press.  
Popper, K.(1959). *The logic of scientific discovery*. NY:  
Harper & Row.  
Rachelson, S.(1977). A question of balance: A Wholistic  
view of scientific inquiry. *Science Education*, vol.  
61, 109-117.  
Romey, W.D.(1968). *Inquiry techniques for teaching  
science*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.  
Schwab, J.J.(1962). *The teaching of science*. Harvard  
University Press.

- Shayer, M., & Adey, P.(1981). *Towards a science teaching: Cognitive development and curriculum demand*. London: Heinemann Educational Books.
- Singleton, Jr. R. A., Straits, B. C., & Straits, M. M.(1993). *Approaches to social research*, 2nd ed. NY: Oxford University Press.
- Tamir, P.(1978). An analysis of laboratory inquiries in the BSCS Yellow version. *The American Biology Teacher*, vol. 40, 353-357.
- Trowbridge, L.W., & Bybee, R.W.(1986.) *Becoming a secondary school science teacher*. Columbus, Ohio: Merrill Publishing Company.
- Wilson, J. T.(1974). Process of scientific inquiry: A model for teaching and learning science. *Science Education*, vol. 58, 127-133.
- Yager, R.E.(1993). *The science, technology, society movement*. Washington, D.C.: NSTA.

(ABSTRACT)

## A Study on the Teaching/Learning Strategies and Materials for the Enhancement of Scientific Inquiry Skills of High School Students

Hee-Hyung Cho, Moon-Won Lee, Yung-Shin Cho, Chan-Soo Jee  
(Kangwon National University)

Soon-Hee Kang, Jong-Yoon Park, Myung Hur  
(Ewha Women's University)

Chan-Jong Kim  
(National Institution for Educational Assessment)

This study has been performed in order to achieve three objectives. They are as follows:

- To analyze, based on the research literatures, the nature of scientific inquiry ability and the characteristics of its constitutive elements.
- To identify inquiry skills and techniques essential to such areas as physics, chemistry, biology, and earth science.
- To develop instructional models and materials for enhancing inquiry ability on the part of high school students.

It was found in the study that the scientific inquiry was interpreted in terms of different meanings according to the viewpoint of the person who are interested in the nature of science. The scientific inquiry has been viewed as the process of knowledge formation, scientific method, inquiry process or process skills depending on the epistemological, methodological, educational perspectives, respectively. It was also identified that certain kind of skills or techniques would be used for inquiry in only one specific area of the science. The skills and techniques are effectively learned when those are taught with specific knowledge in each area of the science. The model and materials for fostering scientific inquiry skills will be presented on the second part of the report.