

과학적 탐구의 본질에 대한 분석 및 탐구력 신장을 위한 학습지도 방법에 관한 연구

조희형

(강원대학교 사범대학 과학교육과)

1992년 6월 1일 받음

I. 머리말

지난 1930년대에서 1950년 말까지 미국을 중심으로 한 서방세계의 과학교육은 대체로 듀우이의 진보주의 교육 철학에 바탕한 생활중심 또는 경험중심 교육사상에 이론적 배경을 두었다. 이와 더불어 이 기간에는 과학 지식과 과학적 정보의 양이 매 10년마다 배증될 정도로 폭증하고 있었으며(Hurd, 1979), 컴퓨터와 인공위성의 개발로 나타났듯이 과학적 기술이 혁신적으로 개발되고 있었다. 그러나 과학의 발달과 과학적 기술의 발전 수준이 나라마다 달랐고, 특히 1950년대 말에는 소련이 미국을 앞지르는 결과가 나타났다. 이에 충격을 받은 미국은 그 원인을 초·중등학교 과학교육에 두고 그에 대한 연구에 많은 연구비를 지원했다.

이를 계기로 1950년대 말부터는 초·중등학교의 과학교육에 대한 연구가 집중적으로 수행되었으며, 그 결과 학문중심 교육사상이 확립되었다. 학문중심 교육사상은 종래의 경험중심 교육사상과 그에 기초하여 일상생활과 관련된 문제의 해결을 지나치게 강조한 생활중심의 과학 교육과정과 아동중심의 과학 학습지도 방법을 반대하고, 학문에는 각 영역에 독특한 개념과 그것이 이루어지는 탐구과정이 있다는 것을 전제로 초·중등학교의 과학교육에 있어서 기본개념과 탐구방법의 교수를 중요시한다. 과학지식이 폭발적으로 팽창하는 지금의 상황에서 한정된 시간에 모든 과학지식을 아동들의 흥

미와 관심을 끄는 단편적인 형식의 내용만을 가르칠 수는 없고 각 분야별로 가장 기본적이고 기초적인 구조와 과학자들이 과학활동을 수행할 때 따르는 과정과 방법을 가르쳐야 한다는 것이다.

이러한 학문중심 교육사상이 브루너가 쓴 「교육과정」(Bruner, 1966)과 스와브(Schwab, 1966)가 제시한 학문의 구조론에 체계화되었다. 브루너는 가르쳐야 할 교육과정의 내용을 기본적 지식의 구조로 지칭하면서, 그것은 학자들이 연구할 때 적용하는 방법상의 원리에 맞추어 활용됨으로써 의미가 있다고 보고 그에 따라 발견학습법을 강조한다. 그에 비해 스와브는 학문의 구조를 개념적 체계와 방법론적 규정으로 구분함으로써 과학적 탐구를 안정적(stable) 탐구와 유동적(fluid) 탐구로 나누고, 그에 따른 과학의 탐구적 교수 및 학습 방법의 중요성을 강조한다.

브루너와 스와브가 이와 같이 주창한 학문중심 교육사상이 1960년대 초부터 미국에서 개발한 PSSC, HPP, BSCS, CHEM study, ESCP 등을 구성하는 이론적 근거가 되었다. 즉, 이들 교육과정 연구단들은 모두 브루너와 스와브의 인식론적 견해를 수용하여 탐구적 과학 교육과정 및 학습지도 자료를 개발했다. 특히 탐구중심의 과학교육 사상은 오늘날에도 미국 중등학교 과학교육의 국가적 정책의 배경이 되고 있을 뿐만 아니라(AAAS, 1989), 영국의 국가 교육과정(DES, 1989)의 기본구조를 이루고 있다. 우리나라의 경우도 이 사상에 따라 과학

적 탐구력의 배양을 제 5차 과학교과 교육과정의 주요 목표로 설정하였다(교육부, 1988). 더욱이 과학적 탐구력은 1994년도부터 시행되는 대학수학능력 시험의 한 분야로 포함되어 있다. 이러한 국내·외의 교육여건에 비추어 볼 때 과학적 탐구력의 함양은 앞으로도 과학교육의 주요한 목적으로 강조될 것이 분명하다.

그러나 탐구중심의 과학교육 사상에 따라 지금까지 개발된 교육과정 및 교수법이 원래 의도했던 바와는 다른 효과를 냈다(Rakow, 1986; Collette and Chiappetta, 1989). 따라서 지금은 BSCS를 제외한 다른 모든 탐구중심 교육과정의 개발이 중단된 상태이다. 특히, 우리나라에서는 탐구중심 과학교육이 구호로만 강조되고 있을 뿐 실제의 과학교육 현장에서는 제대로 이행되지 못하고 있다. 이는 근원적으로 과학적 탐구의 본성 즉 대다수 과학교사 및 학생들이 따르기 어려운 속성에서 기인하기도 하지만 그보다 더 직접적으로는 과학교육 전문가 및 과학교사들이 말하는 과학적 탐구의 본성에 관한 오해에서 비롯되는 경우가 더 흔하다. 이는 또한 과학교사들이 과학교육 현장에서 편리하게 이용할 수 있는 학습지도 자료가 개발되어 있지 않은데서 비롯되기도 한다.

과학적 탐구력이 과학교육의 실효성 있는 목표가 되고 과학 학습지도 방법과 자료를 개발하는 실질적 준거가 되기 위해서는 과학적 탐구의 본질적 의미는 물론이고 그것을 구성하는 요소들의 특성이 조작적 수준에서 규명되어야 한다. 그러나 과학교육 현장에서는 그것이 과학적 방법, 과학적 연구, 과학의 과정 또는 그 기능 및 기술, 심지어는 과학실험의 방법 및 기능 등과 혼용됨으로써 그 의미가 흐려지고 그에 따라 과학적 탐구의 구성요소들과 절차 및 방법들이 여러가지 형태로 제시되고 있다. 이 논문에서는 과학교육 목표로서의 과학적 탐구의 본질적 특성을 밝히고 그에 따라 중등학교 과학교육을 통해서 함양시킬 수 있는 요소들과 그에 대한 학습지도 방법을 제안하고자 한다. 이를 위해서 과학적 탐구, 과학적 연구, 과학적 방법, 과학의 과정 또는 기능 및 기술 등의 관계와 같은점 및 다른점 그리고 각 측면이 안고 있는 적용상의 한계와 문제점을 분석한 다음, 그에 바탕하여 학습지도가 가능한 탐구력의 속성과 요소들을 확인하고 그에 대한 학습지도 방법을 제시하고자 한다.

II. 과학적 탐구의 본질

과학적 탐구, 과학적 연구, 과학적 방법, 그리고 과학

의 과정 및 기능의 관계와 차이는 무엇보다도 이 용어들의 의미가 먼저 규정되어야 할 수 있다. 그러므로 이 절에서는 이 용어들이 함축하고 있는 의미를 분석하고 그 결과에 따라 각각의 특성을 확인하고자 한다.

1. 과학적 탐구의 의미와 특성

일반적인 의미의 탐구는 물론 과학적 탐구가 포괄적으로 이해될 수 있을 만큼 한두 마디로 정의하기란 대단히 어렵다. 탐구가 개념적 구조 또는 지식체계와 아울러 방법, 과정 또는 절차, 기능 또는 기술, 활동 및 그 결과 등과 관련되어 있기 때문이다. 따라서 탐구의 본성이 다음과 같이 다양한 형태와 의미로 해석되고 있다.

- 더듬어 연구함(이희승, 1988)
- 진리, 정보, 혹은 지식의 탐색(search); 사실 또는 원리의 조사; 연구; 조사(Neilson et al., 1956)
- 진리탐색(Cohen & Manion, 1985)
- 진리와 지식의 탐색(Carin & Sund, 1989)
- 아는 방법(BSCS, 1980; Honer & Hunt, 1987)
- 정보와 이해를 찾는 일반적 과정: 보다 넓은 의미의 사고 방법(Welch, 1981)
- 학습의 기본적 수단(Suchman, 1966)
- 우주의 사물과 현상을 이해하고 조정하며 문제를 해결하기 위한 인간의 의도적 활동(박승재, 1991)
- 찾는 과정이자 지식과 이해의 탐색(quest). 즉 자연현상을 이해하는 과정(Collette & Chiappetta, 1989)
- 환경에서 지식을 획득하고 구성해 가는 과정, 방법 및 행동(정건상, 1991)
- 스스로 답을 구함으로써 이해와 응용력의 폭을 넓혀주는 문제를 해결하는 일련의 활동(Mayer, 1978)
- 사물과 사건들 사이의 관계를 발견하고 서술할 목적으로 수행되는 체계적 조사 활동(Peterson, 1978)
- 문제의 정의·조사, 가설 설정, 실험 설계, 자료 수집, 그리고 결론 도출 등의 단계로 이루어진 과정(Trowbridge & Bybee, 1986)

과학적 탐구가 이와 같이 연구, 탐색, 방법, 과정, 활동 등의 용어를 빌려 사전적 정의의 형식으로 그 본질을 서술하는 것이 일반적이지만, 그것은 인식론적 구조와 방법론적 측면에 의해서도 그 특징을 나타낼 수 있다. 예컨대 마틴(Martin, 1972)은 과학적 탐구를 두가지 측면, 즉 지식이 생성되는 상황과 검증되는 상황으로 구분하는데, 이는 실증주의자들이 구분하는 발견 상황과 정당화 상황에 일치한다. 또한 스와브는 그것을 그 구조 또는 형식에 따라 지식체계가 분화·발달하는 안정적

탐구와 개념 및 이론이 교체되는 유동적 탐구로 구분하는데 이 구분은 쿤의 정상과학 단계와 혁명적 과정에 대응된다(박승재, 1991). 스와브에 의하면 과학지식은 이 두가지의 탐구과정을 통해서 누적적으로 발달하거나 새로운 지식으로 대체되어 변화됨으로써 역동적 특징을 지닌다고 한다.

한편 일부의 과학교육학자들(Aikenhead, 1983; Welch, 1981)은 과학지식을 과학적 탐구의 산물로 보고 그것들 사이의 관계에 기초하여 과학적 탐구의 영역을 크게 세 가지로 분류한다. 그들이 나눈 영역별 주요 주제와 내용은 다음과 같다.

- 일반적 탐구과정-문제해결, 증거의 이용, 논리적 추론 또는 유추, 가치의 명료화, 의사결정 등
 - 과학과정 기능-관찰 및 측정, 문제인식 과 해당 탐색, 자료 해석, 일반화, 검증, 이론적 모형 수정 등
 - 과학적 탐구의 본성-과학지식의 타당성 검증
- 또 다른 일부의 과학교육학자들은 과학적 탐구를 그 구성요인들과 그것을 수행하는 방법에 의해 특징지운다. 이를테면 밀라(Millar, 1989)는 과학적 탐구가 일련의 절차와 과정이 진행되는 규정 및 규칙만이 아니라 한 과장을 이루는 단계들에 특이한 기능 또는 기술도 관련되어 있다고 주장한다. 그에 비해 콜레트와 치아피타(Collette & Chiappetta, 1989)는 과학적 탐구가 토의, 읽기, 야외실습, 실험실 조사 등 다양한 학습활동을 통해서 수행될 수 있음을 강조한다.

과학적 탐구의 본질과 성격에 관한 이상의 논의를 종합해 볼 때 그것은 과학지식, 그것이 획득되는 과정 및 절차, 그것이 따르는 규정 및 규칙, 그에 필요한 기술 및 기능, 그리고 이것들을 바탕으로 수행되는 활동들로서 자연을 조사·탐색하거나 문제를 해결하는 활동 등이 복합적으로 관련되어 있음을 알 수 있다. 이는 과학적 탐구가 과학교육계 및 교육현장에서 통념적으로 생각되고 있는 것보다 훨씬 광범위하고 포괄적인 의미와 다면적인 특징을 지니고 있음을 뜻한다. 이는 또한 과학적 탐구가 보편적 절차에 따라 수행될 수 있는 성질의 것이 아니라 그 대상 및 내용에 특수한 과정을 통해 실행되는 성격의 것임을 암시한다. 이런 견해는 미국의 AAAS(1989)의 연구보고서에도 반영되어 있다. AAAS는 과학적 탐구에는 어느 영역이나 전이가 가능한 보편적 단계가 없으며, 그것은 문제 및 주제와 조사활동 상황에 특이성을 나타낸다고 주장한다.

2. 과학적 연구의 의미와 특성

앞에서 논의한 바와 같이 과학적 탐구는 자연에 대한 과학지식 및 진리를 획득·검증하는 방법, 절차와 과정, 규정 또는 규칙, 기능과 기술, 그리고 그 활동 등을 뜻한다. 이런 의미와 더불어 과학지식은 그 형성 과정 및 방법에 따라 계시지식, 이성적 지식, 경험지식, 권위지식, 직관적 지식 등으로 구분되며(Kneller, 1971), 그 출처가 외부지각, 기억, 추론, 그리고 자기 인식 등으로 분류된다(Chisholm, 1966)는 점에서 과학적 연구는 과학적 탐구의 한가지 수단임을 알 수 있다. 과학적 연구는 특히 외부지각을 통한 경험적 지식과 논리적 추론에 의한 이성적 지식과 관련되어 있으며 그에 따라 아래와 같이 여러가지의 의미로 풀이되고 있다.

- 어떠한 일이나 사물에 대하여, 그 원리와 현상을 깊이 조리있게 캐고 조사하며 생각하는 일(이회승, 1988)
- 꼼꼼한 탐구 혹은 조사; 새로운 사실을 발견하고 옹계 해석하며, 새로 발견된 사실에 비추어 기존의 승인된 결론과 이론 및 법칙을 수정하는데 목적이 있는 정밀한 조사 혹은 실험(Nelson et al. 1956)
- 자연현상들 사이의 추정적 관계에 관한 가설적 명제에 대한 체계적, 통제된 실험적, 그리고 비판적 조사(Kerlinger, 1973)
- 과학적 문제의 해결에 과학적 방법의 형식적, 체계적 응용(Gay, 1987)
- 과학적 문제를 해결하는 논리적 방법(Otto & Towle, 1985)
- 이미 확립된 지식 또는 전통적 관습을 초월한 정보 혹은 이해를 획득하기 위해 수행되는 체계적 활동(Ziman, 1984)

이상에서와 같이 과학적 연구는 합리적으로 생각하고 자연을 조사하는 조직적 탐구 활동을 뜻한다. 즉 그것은 이성과 경험에 의한 체계적 활동으로서 자율적 통제 기능을 갖는다(Cohen & Manion, 1985). 오늘날에는 이러한 특성을 지닌 과학적 연구가 대체로 과학자들이 과학지식의 타당성을 검증하기 위해 수행하는 탐구 활동으로만 인식되기도 한다.

3. 과학적 방법의 의미와 특성

흔히 과학을 합리적 학문으로 생각하고 일상적인 여러 사건 및 상황에 대해서 '과학적'이라는 말을 자주 사용하는데, 이 말의 근거는 대개 과학적 방법이 논리적이

고 객관적인 성격을 지닌다고 보는 관점에 근거한다. 그러나 실제의 과학적 방법은 이보다 훨씬 다양한 특징을 띠고 있으며, 아래의 정의들로부터 알 수 있듯이 일반적으로 인식되고 있는 의미보다 더 포괄적인 의미를 담고 있기도 하다.

- 사물·현상 사이에 존재하는 법칙을 추구하는 자연 과학의 연구 방법(이희승, 1988)
- 순서 바른 절차 또는 과정(Neilson et al., 1956)
- 자연의 탐색만이 아니라 지적 탐구 영역에 적용되는 사고 또는 추리 방법(Carin & Sund, 1989)
- 과학지식을 획득하고 평가하는 방식(Barnes, 1985)
- 가장 개연적인 일반 원리(이론)를 발견하기 위해 실험적 정보를 수집, 분석, 해석하는 등의 추리에 바탕한 탐구의 학문적 양식(Honer & Hunt, 1987)
- 자연세계에 일어난 것과 그에 대한 진술 사이의 일치성 또는 적절성을 보임으로써 발견된 결과들의 타당성을 실험적으로 정당화하는 표준과 절차(Cohen & Manion, 1985)
- 과학적 연구를 수행하는 일련의 단계(Otto & Towle, 1985)
- 과학적 실제의 규칙(Feyerabend, 1975)
- 과학적 사실들에 대한 설명의 발견 또는 실험적 발견을 위한 일련의 규칙(Nagel, 1961)
- 유용하고 실제적인 지식체계를 얻기 위한 방법(Campbell, 1964)
- 관찰, 분류, 추론, 가설 설정 등과 같은 일련의 일반적 활동 과정(Wellington, 1989)
- 과학적 탐구 방법(Brown et al., 1986)

이상에서와 같이 과학적 방법은 과학적 탐구의 한가지 방법으로서 과학적 연구가 따르는 일련의 규정과 준거를 포함한다. 그것은 또한 분명히 구분되는 몇가지의 절차와 단계로 구성되어(Wellington, 1989; Gay, 1987) 이른바 과학의 과정을 이룬다(Carin & Sund, 1989). 특히, 과학의 과정으로 해석되는 과학적 방법은 그것을 이루는 각 단계에 독특한 기능 및 기술에 의해 운용되며 논리적 또는 철학적 원리로서(Kaplan, 1964) 과학을 다른 학문과 구분하는 준거가 된다. 이처럼 과학적 방법은 논리적 규정 및 규칙과 경험적 단계의 측면들을 동시에 포함하여 종합적 체계를 이루지만 오늘날의 과학교육계에서는 그것이 단편적 과정과 절차에 의해서만 인식되고 있는 경향이다. 그 중에서도 특히 아래와 같이 실증주의자들이 제시한 과학의 과정 또는 절차에 의해서 과학적 방법이 이루어진 것으로 이해되고 있는 실정이다(Carin & Sund, 1989; Trowbridge & Bybee, 1986)

- 문제진술
- 가설제시
- 관찰
- 자료의 수집 및 분석
- 자료검증
- 결론도출

그러나 이와 같은 단계로 구성된 과학적 방법이 현대의 과학철학자들과 과학교육학자들에 의해 비판을 받고 있다. 현대의 과학철학자들은 인식론적 관점에서 이 방법의 타당성을 거부하며, 과학교육자들은 과학교육학적 가능성과 실효성에 근거하여 문제점을 지적한다. 일반적으로 인식되고 있는 과학적 방법이 안고 있는 문제와 한계는 다음 절에서 탐구중심 과학 학습지도와 관련하여 더 구체적으로 논의한다.

4. 과학의 과정과 과학적 기능

오늘날 과학교육 현장에서 과학적 탐구력의 신장 또는 과학적 방법의 습득을 주요 목표로 설정하고 그 실천 방안을 제시할 때, 흔히 과학의 과정(process)과 그에 관련된 기능(skill) 및 기술(technique)을 뚜렷이 구분하지 않은 채 혼용하여 제시한다. 과학의 과정은 관찰, 분류, 실험, 추론 등과 같은 일반적인 과학적 활동으로서(Wellington, 1989) 과학적 방법의 핵심을 이룬다(Brown et al., 1986). 그러나 과학의 과정 그 자체만으로는 과학적 방법이 될 수 없으며, 반드시 그와 관련된 과학적 기능과 기술에 의해서 그 작용이 활성화된다(Kirkham, 1989). 바꾸어 말하자면 과학적 기능과 기술은 과학의 과정을 거치면서 길러진다. 따라서 과학의 과정은 과학적 기능에 비해 더 일반적인 특성을 지닌다고 하겠다. 이에 비추어 본다면 1°C 이내의 오차로 온도계를 읽는 것은 과학의 과정이 아니라 기능으로 취급되어야 한다(Wellington, 1989). 이와 같이 과학의 과정과 기능 및 기술은 그 구분이 가능하지만 서로 밀접한 관계를 맺고 있기 때문에 과정기술이라는 한 단어로 통칭되기도 한다.

비록 과학자들이 연구하는 방법과 학생들이 과학을 학습하는 방법이 동일할지라도 그 구체적 과정은 다른 경우가 일반적이다. 학생과 과학자가 따르는 과정과 사용되는 기능이 다르기 때문이다. 특히, 과학적 기능은 그것을 지닌 과학자 또는 학생들의 지식 수준과 그것이 적용되는 상황 및 주제에 따라 다르게 사용된다(Millar, 1989). 그러므로 과학적 기능은 표준화된 보편적 절차를 따르는 과학적 방법을 통해서 길러질 수 없고 특정 과학문제를 해결하는 과정을 통해서 습득된다고 생각할

수 있다(Woolnough, 1989).

과학의 과정과 기능의 형태는 다양하며 몇 가지 방법에 따라 그 종류를 분류할 수 있다. SAPA II(1990)에는 관찰, 시공 관계의 이용, 분류, 수의 사용, 측정, 의사소통, 예측, 추론 등의 여덟가지 기능은 비교적 단순한 기본 과정을 통해서, 변인 통제, 자료 해석, 조작적 정의, 가설 설정, 실험 등 다섯가지의 기능은 여러 기본 과정의 통합적 과정을 통해서 습득된다고 서술되어 있다. 아울러 이러한 기능들은 실험활동을 통해서 가장 효과적으로 획득된다고 주장한다. 심프슨과 앤더슨(Simpson & Anderson, 1981)은 SAPA II가 확인한 기능에 모형 형성과 질문 기능을 더하고, ASE(1987)는 SAPA II와 달리 과학 기능을 사고 기능, 실험 기능, 의사소통 기능 등 세 가지의 영역으로 대별하고 각 영역별로 세부적 기술을 제시한다. 한편 트로우브리지와 바이비(Trowbridge & Bybee, 1986)는 기능을 획득 기능, 조직 기능, 창의 기능, 조작 기능, 의사소통 기능 등 다섯가지의 포괄적 범주로 나누고 각 범주별 기능을 세분화한다.

그 밖에 AAS(1989)는 중등학교를 거치면서 획득되어야 할 기능으로 계산 기능, 조작과 관찰 기능, 의사소통 기능, 비판적 반응 기능 등의 중요성을 강조한다. 한편, WPS(1986)는 가설 설정 및 검증, 예측, 관찰, 추론, 변인 통제, 분류 등 여섯 가지의 기능에 대한 학습지도 자료를 교과 내용별로 개발했다. 이것들과는 달리 SSCR(1987)은 과정을 일련의 단계 또는 절차와 같은 정신적 특성을 지닌 것으로, 기능을 몇몇의 과정과 절차에 보편적이고 전이가 가능한 속성으로 규정함으로써 과학의 기능을 뚜렷이 구분하고 각각의 세부적 내용을 다음과 같이 제시한다.

기능)

듣기, 말하기, 읽기, 그리기, 쓰기, 수 다루기, 관찰하기, 무언의 의사소통, 탐색, 측정, 조작, 도표 작성, 기록

(과정)

의사소통 및 토의-질문, 사고, 도움 추구, 협상 정보처리-선택, 관계 이용, 설계, 결론 도출, 변인 통제

문제해결, 실험, 의사결정-예측, 추론, 해석, 가설 형성, 모형화, 평가, 검증, 분류, 시간 조절

일반적으로 과학적 탐구란 보편적 규칙과 절차만이 아니라 이와 같은 과정과 기능에 의해서 그 기능이 발휘되며, 따라서 이것들에 의해서 그 본성을 나타낼 수 있다. 가네(Gagne, 1984)는 이러한 과정과 기능의 위계적

관계에 의해서 문제 해결력이 구성된다고 주장하지만, 과학적 탐구력을 구성하는 과학의 과정과 기능이 위계적 관계가 있는지에 관해서는 의문시되고 있다. 다만 과학적 기능은 관련된 내용에 특수하며, 그러므로 종합적 조사활동을 통해서 습득되어야 한다는 결론은 타당한 것으로 인정되고 있다.

5. 과학적 탐구의 분석 결과 요약

앞에서는 일반적으로 받아들여지고 있는 의미의 과학적 탐구, 과학적 연구, 과학적 방법, 그리고 과학의 과정 및 기능 등의 정의와 특성에 관한 분석을 통해서 과학적 탐구의 본질이 무엇인지를 살펴보았다. 각 용어들의 정의와 특성들로부터 알 수 있듯이 오늘날의 과학 및 과학교육학계에서는 과학적 탐구가 그 접근 방식과 대상 또는 관심 영역에 따라 다음과 같은 분야와 구성요소들로 나누어져 논의되고 있다고 하겠다.

- 지식의 출처 - 경험, 추론, 과학적 연구, 직관...
- 과학적 방법 - 귀납법, 연역법, 수학-연역적 방법, 실험-연역적 방법, 가설-연역적 방법, 반증법, 패러다임 변화, 연구프로그램 변화...
- 과정 또는 절차 - 문제 인식, 가설 설정, 실험 설계, 자료 해석, 가설 검증...
- 기능과 기술 - 사고 기능 및 기술, 실험·실습 기능 및 기술, 의사소통 기능...

위에서 지식의 출처는 인식론자들이, 과학적 방법은 과학철학자와 과학사학자들이, 과정 또는 절차의 기능 또는 기술은 과학자 및 과학교육학자들이 주로 관심을 갖는 영역이다. 지식의 출처는 본질적으로 인식론의 대상이다. 일부의 인식론자들(Chisholm, 1966;Kneller, 1971)은 지식과 그것이 형성되는 방법이 불가분의 관계에 있다고 보고 바로 그 지식의 출처에 의해서 탐구의 본성과 종류를 위와 같이 설명한다.

이들과 대조적으로 과학의 방법론자들과 과학철학자들 또는 과학사학자들은 과학의 형식논리적 특성 또는 과학지식이 변화·발달한 과학사적 과정을 분석하고 그 결과에 따라 과학적 탐구를 위와 같이 여러 가지 형태로 구분한다. 다시 말하자면 과학적 방법론자들은 형식논리를 이용하여, 일부의 과학철학자들 및 과학사학자들은 과학사를 분석 도구로 삼아 과학적 방법을 위와 같이 분류한다. 이에 따라 오늘날에는 귀납법, 가설-연역적 방법 등이 논리적 특성을 지닌 과학적 방법으로, 반증법, 패러다임 등은 과학의 발달과정으로 이해되는 경향

이 두드러지게 나타나고 있다.

한편 오늘날의 과학교육학자들은 과학자들의 연구와 과학활동에 관심을 갖고 그들이 적용하는 방법, 절차 및 과정, 기능 또는 기술에 의해서 과학적 탐구를 특징지운다. 이런 과정에서 이들은 특히 과정 또는 절차와 기능 또는 기술을 뚜렷이 구분하지 않은 채 이것들을 과학적 탐구의 구성요소로 제시하고 있다. 이에 따라 과학교육의 목적으로 제시된 탐구력의 구성요소에도 과정과 기능이 구분되지 않고 있다.

과학적 탐구의 성격은 이 밖에 형이상학적, 인식론적, 방법론적 관점에 따라서도 여러 형태로 나누어질 수 있음을 알 수 있다. 먼저 형이상학적 관점은 다시 절대론과 상대론으로 나누어진다. 절대론자들은 실증주의자들이 그 예가 되듯이 과학적 탐구의 보편적 특성을 주장하며, 쿤으로 대표되는 상대론자들은 과학적 탐구법의 개인 및 사회적 상황과 관련 주제에 대한 상대적 특성을 강조한다.

이와는 달리 과학적 탐구에 대한 인식론적 관점은 관념론과 실재론으로 대별된다. 페이어아벤트와 같은 관념주의 과학철학자들은 실증주의자들이 말하는 과학적 탐구 과정과 방법이 설명체계에 불과하며 실제의 과학은 “제멋대로의 원리(principles of anything goes)” (Feyerabend, 1987)에 따라 발달한다고 본다. 그에 비해 경험주의자들과 실증주의자들은 실재론적 관점에 따라 과학적 탐구 과정이 객관적 절차와 단계로 구성되며 각 단계에 독특한 기능과 기술이 요구되는 실체라고 주장한다.

한편 방법론적 관점은 경험론, 이성론, 과학적 방법론 등으로 구분된다(Honer & Hunt, 1987). 지식을 획득하거나 어떤 것을 아는 방식에 관하여 경험론자들은 경험을, 이성론자들은 이성을, 그리고 과학적 방법론자들은 경험과 이성을 들어 설명한다. 방법론적 관점은 또한 규범적 견해와 표의적(ideographic) 견해로 나누어지기도 한다. 규범적 견해에 따르면 과학적 탐구를 자연현상에 영향을 미치는 요인들 사이의 관계와 자연현상에 나타나는 규칙성을 조사·분석하는 도구로 생각할 수 있으며, 후자의 견해에 의하면 개인이 세계관을 구성하거나 수정하며 그 세계관에 따라 자연현상을 보고 해석하는 방법으로 볼 수 있다.

결론적으로 과학적 탐구의 본성은 그 자체를 인식하는 입장과 방식에 따라서, 또는 형이상학적, 인식론적, 방법론적 관점에 따라서 다양한 의미로 해석된다. 이는 과학교육의 목적만이 아니라 과학적 탐구력을 함양하기 위한 학습지도 방법과 자료가 여러 가지의 형태와 내용으로 개발될 수밖에 없는 오늘날의 현실적 상황을 설명

하는 근거가 된다. 현재 탐구중심 과학 학습지도 방법과 자료가 각급 학교 과학교육 현장에서 다양한 형태로 적용되고 있는데 다음 절에서는 특별히 중등학교 과학교육 현장에서 적용되는 실태와 문제점에 관해 논의한다.

Ⅲ. 탐구중심 과학교육의 실태와 문제점

현재 과학적 탐구가 과학교육의 여러 측면에서 두루 적용되고 있으며, 그 중에서도 특히 과학의 교육과정, 학습지도 방법과 자료의 개발, 평가의 영역에서 가장 두드러지게 적용되고 있다. 이 단원에서는 과학적 탐구의 방법과 과정이 적용되고 있는 실태를 각 영역별로 조사·분석하고 그에 내세운 한계와 문제점에 관하여 논의한다.

1. 과학적 탐구의 적용 실태

과학적 탐구가 과학 교육과정에서는 주로 그 목표로 적용되고 있다. 영국 ASE(1987)는 과학의 과정을 다섯 가지 과학교육 목적의 하나로 설정하고 있으며, 교육과학성이 발표한 국가교육과정(DES, 1989)의 17가지 도달목표중에도 「과학의 탐색」과 「과학의 본성」이 포함되어 있다. 미국의 국가적 과학기술교육 정책연구 보고서(AAAS, 1989)에도 과학교육을 통해서 달성해야 할 12가지 목표를 중에 첫째 목표로 과학의 본성에 대한 이해를 들고 과학적 세계관, 과학적 탐구, 과학적 활동 등이 과학교육을 통해서 교수되어야 할 것을 강력히 권고하고 있다. 우리 나라의 교육과정도 제5차에는 과학교과의 둘째 목표로 설정했으며(교육부, 1988), 제6차에서는 첫째 목표로 설정하고 있다(교육부, 1992).

이와 같이 과학적 탐구력의 배양이 각급학교 과학교육의 목표로 강조되고 있는 상황에 비하여, 교육과정 내용을 선정·조직하는 데는 보편적으로 적용되지 않고 있는 실정이다. 물론 1960년대에는 BSCS(Mayer, 1978)에서와 같이 과학적 탐구의 정의를 규정하고 그 구성요인들을 교과내용으로 제시한 분야가 없지는 않으나 지금의 과학교육 현장에서는 보편화되어 있지 않다. 여기서 교육과정 내용에 대한 적용은 BSCS의 교사용 지도서(Mayer, 1978)나 우리나라의 제6차 교육과정에서 처럼 그 체제 중 내용편에의 적용으로 한정되며, 그에 따라 개발된 교과서와 각종 교재에의 적용은 학습지도 자료에의 적용으로 구분한다.

이런 점에서 볼 때 과학적 탐구가 과학의 교육과정보다는 학습지도 방법과 자료의 개발에 더 구체적으로 적

용되고 있다고 말할 수 있겠다. 지금까지 개발된 탐구적 과학 학습지도 전략 및 방법은 과학자가 과학지식을 구성하는 방법과 과정에 따라 학생들이 과학을 학습할 때 의미있는 과학학습이 일어난다는 가정을 전제로 과학자들의 연구 방법 및 그 과정에 따라 학생들이 과학을 학습하게 하는 절차의 형태로 제시되고 있다. 그러므로 인식론적, 방법론적 관점에 따라 학습지도 방법의 세부적인 절차와 단계가 다를 수밖에 없다. 예컨대 경험주의의 인식론적 견해에 바탕한 탐구학습 과정에서는 관찰을 통한 과학적 발견이 특별히 강조되며, 관찰이 과학적 탐구의 시작임을 보여준다(Falk, 1971). 이에 비해 실증주의의 방법론적 견해에 바탕한 탐구 과정은 흔히 문제의 인식으로부터 출발하며 그 문제에 관한 가설의 설정과 검증이 그 골간을 이룬다(Trowbridge)& Bybee, 1986). 한편 현대의 인식론에 따른 탐구 과정은 문제의 발생(허 명, 1984) 또는 문제의 형성(Mayer, 1978)으로부터 출발하여 그 문제를 해결할 뿐만 아니라 그 결과 새로운 지식을 획득하는 절차가 중요시된다.

우리 나라에서는 각급 학교에서 쉽게 보편적으로 적용할 수 있는 과학적 탐구력의 배양을 위한 과학 학습지도 자료가 개발되어 있지 않은 실정이지만 외국의 경우는 사정이 다르다. 외국에서는 과학적 방법과 과정을 습득하게 하고 관련 과학적 기능과 기술을 숙달시킴으로써 과학적 탐구력을 신장시키는 데 목적을 둔 교재들이 다양하게 개발되어 있다. 미국의 BSCS와 SAPA II(1990), 영국의 WPS(1986)와 Science in Process(Wray, 1987) 등이 그 대표적인 예이다.

BSCS는 청색판, 녹색판, 황색판 등 세가지 종류의 고등학교용 생물교재를 발행하고 있으며, 녹색판의 경우 금년도에 제7권이 나온다. 이 세 가지 교재는 생물의 조직 수준에서만 다르며, 전통적 생물교재들과는 대조적으로 모두 탐구중심 교육과정에 따라 개발되고 있다. 각 교과서는 생물의 주요 개념은 물론이고 관련 탐구력을 기를 수 있는 실험·실습 과제들로 선정·조직되어 있다. BSCS의 특이한 점은 또한 교사용 지도서(Mayer, 1978)에 「탐구에의 초대」 단원을 설정하고 44개의 탐구 과제 및 활동을 제시한 데 있다. 탐구 과제는 주로 생물의 주요 개념을 중심으로 선정되었다.

미국의 BSCS가 전통적 과학 지식체계의 틀을 유지하면서 탐구적 학습활동을 강조하는 형식으로 구성되어 있음에 비해, WPS의 교재는 지식체계보다는 과학의 과정을 중심으로 개발되었다. 하지만 영국 국가교육과정 및 GCSE의 준거를 맞추기 위해 내용별로 탐구과정을 다루고 있다. 즉 가설 설정, 예측, 관찰, 추론, 변인 통

제, 분류 등 여섯 가지의 과정을 확인하고, 입자, 에너지, 적용 등 28가지의 주제와 관련 학습과제 및 학습활동을 통해서 각 과정의 기술과 기능을 습득할 수 있도록 구성했다.

SAPA II도 WPS와 같이 내용의 학습지도보다는 탐구 활동 중심으로 개발된 자료이다. 다만 다른점이 있다면 WPS가 중등학생들을 위한 교재라면 SAPA II는 국민학생 대상의 교재이다. SAPA II는 관찰, 측정 등 여덟 가지의 기본과정과 변인통제, 자료해석 등 다섯 가지의 통합과정을 확인하고 105개의 학습과제를 모듈화한 자료를 통해서 이와 같은 과정기술을 획득하게 할 수 있도록 구성되었다. 각 모듈의 근본적인 차이는 주제에 있으며 각 주제를 다루는 데 적절한 기능이 습득될 수 있도록 개발되었다.

Science in Process는 몇 가지 점에서 SAPA II 및 WPS와 다르다. 먼저 이 교재는 중학교 수준의 학생들(11세-13세)용으로 개발되었다. 둘째, DES(1985)정책을 수용한 개인 연구단의 산물이다. 셋째, 가장 특이한 점으로 과학적 탐구능력의 신장만이 아니라 과학의 본질의 이해와 태도의 함양 등 일반교육 목표도 달성할 수 있도록 개발되었다. 이를 위해 이 교재는 관찰, 분류, 추리 등을 포함한 14가지의 기능을 확인하고 각 기능별 학습 과제 및 활동으로 구성되어 있다.

탐구중심 과학교육 사상이 가장 실용적으로 적용된 분야를 들라면 평가영역을 말할 수 있겠다. 영국의 APU(1988)와 미국의 NAEP(1989)는 주기적으로 전국에 걸쳐 과학적 탐구력을 평가하고 있다. 국내에서도 허명(1984)의 과학 탐구 평가표가 여러 연구자들에 의해 기본자료로 활용되고 있으며, 박승재(1990)의 과학탐구 평가틀은 대학수학능력 시험의 과학적 탐구력 평가문항을 개발하는 준거로 이용되고 있다. 이런 연구들의 목적, 평가틀, 평가결과 등은 널리 알려져 있기 때문에 이 논문에서는 이에 대한 구체적인 논의를 생략하고, 그 대신에 지금까지 드러난 과학적 탐구력 및 그 기능과 기술을 평가하는 과정상의 문제를 지적하고자 한다.

이상에서 논의한 적용 실태로부터 짐작할 수 있듯이 과학적 탐구력이 과학교육의 목표 및 학습지도 자료와 독립적으로 평가되어 왔다. 과학교육의 목표가 과학 교육과정의 실질적 준거가 되지 못했고, 더욱이 지금까지 국내·외에서 개발된 과학적 탐구력의 평가틀이 기존의 교육내용 또는 학습지도 자료와는 상관없이 구성되었고 말해도 과언이 아니다. 평가는 교육구조상의 통합적 구성요소로서 학습지도 결과의 검사에 일차적인 목적이 있다(Kempa, 1986)는 점에서 평가틀은 교육과정 내용

및 실제의 학습지도 내용을 바탕으로 개발되어야 한다. 말하자면 평가들에 앞서 학생들의 탐구력을 길러줄 수 있는 학습지도 자료가 개발되고 그에 의해 학습지도가 이루어진 다음, 평가들과 그에 따른 평가 문항이 개발되어야 한다고 말할 수 있겠다.

2 과학적 탐구의 한계와 문제

현재로서는 1960년대에 미국에서 개발된 탐구중심 과학 교육과정과 학습지도 자료가 중등학교 과학교육 현장에서는 실효성이 없었던 것으로 판단된다. 당시에 개발된 학습지도 자료들의 대부분이 오늘날에는 더 이상 이용되지 않고 있는 사실이 이를 반증한다. 이에 대하여 여러 가지의 원인들이 제시되고 있으나 그것들은 크게 보아 과학적 탐구가 안고 있는 본질적 문제와 그에 수반되는 적용상의 한계로 나누어진다.

탐구중심 과학 교육과정과 그에 따른 학습지도 자료의 비효율성이 확인된 1970년대부터는 그 원인에 대한 연구가 활발히 수행되었다. 그 동안의 연구를 통해서 밝혀진 원인들을 다음과 같이 요약할 수 있다(Rakow, 1986; Collett & Chiappetta, 1989).

- 과학교사들의 탐구중심 과학교육에 대한 사전 교육이 부족하다. 대다수의 과학교사들이 직전 교육기간에 전통적인 과학의 교육 과정을 이수했기 때문이다
- 탐구중심 과학 학습지도에 많은 시간이 소요된다
- 탐구중심 과학 학습지도 자료가 부족하다 특히 탐구학습에 필요한 도구 및 기구와 장치들이 충분하지 않다
- 탐구중심 과학교육에 대한 사회적 지원이 충분하지 않다
- 각종의 평가가 과정으로서의 과학보다는 내용으로서의 과학만을 중시한다
- 탐구중심 과학 학습 및 지도가 극소수의 뛰어난 학생들을 제외한 대다수의 학생들과 많은 수의 과학교사들에게 어려운 과제이다

이러한 적용상의 한계들은 과학적 탐구의 본성에 대한 그릇된 인식에서 비롯된 경우가 적지 않다. 중등학교 과학교재에 제시된 탐구 과정을 분석해볼 때 그것들은 과학자들의 연구 과정 또는 과학지식의 과학사적 발달 과정을 나타낼 뿐 학생들이 과학을 학습하는 실제의 심리적 또는 인지적 과정과는 거리가 멀다. 과학적 탐구는 그 대상인 자연 및 그에 대한 지식만이 아니라 사회적 상황과 심리적 상태의 영향도 받는다는 점에서(Hodson,

1990), 자연에 대한 지식의 구성과 발달 과정만을 따르는 탐구적 학습지도 방법과 과정은 적용상의 한계를 지닐 수밖에 없다.

탐구중심 과학 학습지도 방법이 드러내는 적용상의 한계는 또한 과학적 탐구에 내재된 본질적 문제로부터도 드러난다. 지금까지 확인된 문제들을 종합해 볼 때 과학적 탐구가 안고 있는 본질적 문제는 과학적 방법, 과학의 과정, 과학적 기능 및 기술과 관련된 문제로 나뉘어진다.

과학적 방법과 관련된 문제는 다시 방법과 수단의 관계로부터 드러나는 문제, 환원론적 관념상의 문제, 과학적 방법의 보편성에 관한 견해상의 문제 등으로 소분화된다. 먼저, 방법과 수단의 관계로부터 제기되는 문제는 각급학교의 탐구중심 과학 교육과정과 학습지도 자료에 반영된 과학적 방법 또는 탐구과정들이 수단과 방법의 관계를 혼동한 채 적용되고 있다(Millar & Driver, 1987)는 문제이다. 밀라와 드라이버에 의하면 몇몇의 단계들로 구성된 과학적 방법과 그 과정 및 절차는 과학의 수단이지 목적이 아니라고 한다. 이는 과학적 방법과 그 과정을 구성하는 절차와 단계들의 기능과 기술만이 과학교육의 목적이 될 수 있다는 의미의 다른 표현이다. 한편 이말은 과학적 방법과 탐구 과정이 과학학습의 방법 또는 절차나 과정은 될지언정 그 목표가 될 수 없다는 의미를 담고 있다.

둘째의 문제는 환원주의적 견해상의 문제로서 과학적 방법과 절차에 따라 수행되는 과학활동의 통합적 전체성을 부분적 구성요소들의 단순한 합체로 취급한다는 데 있다(Woolnough, 1989). 즉 이 문제는 과학적 방법과 그 과정을 몇몇의 단계로 환원시키고 한 과정을 이루는 각각의 단계에 속달되면 전체의 과정은 기계적으로 진행된다고 보는 데 있다. 현대의 과학철학자들은 이와 같은 환원주의자들의 인식론적 견해를 부정하고 과학의 과정기술은 종합적 조사활동을 통해서 습득되는 것이라고 주장한다.

셋째, 과학적 방법은 실증주의자들이 제시한 것과 같이 보편적 과정과 절차에 따라 이루어지는 것이 아니라는 데 있다. 과학적 방법에는 그것을 이루는 과정과 절차만이 아니라 기능과 기술도 포함되지만 실증주의자들은 그것들을 혼용하거나 과정과 절차만을 강조한다(Martin, 1972). 현대의 과학철학자들은 과학적 방법을 '과학적'이게 하는 것은 일반적인 과정 또는 절차가 아니라 그것이 적용되는 상황에 있다(Kirkham, 1989; Hodson, 1989)고 보고 그에 따라 과학적 방법이란 상황 및 내용에 특수한 성질의 것이라고 주장한다. 이 주장은

진단적 특성을 지닌 과학적 방법이란 있을 수 없다는 뜻을 함축하며, 이 말은 다시 만일 과학적 방법이 예측 가능한 속성이 아니라면 그것을 가르칠 수 있는 속성이 아니고 따라서 과학 학습지도의 목표도 될 수 없다는 의미를 내포한다.

과학의 과정과 관련된 문제는 다시 구조상의 문제와 기능상의 문제로 나누어서 논의할 수 있다. 먼저 구조상의 문제는 귀납적 추론에 관한 견해로부터 드러난다. 특히 중등학교의 각종 과학교재에는 과정이 그 구성요소인 단계들에 의해서 위계적으로 구성되어 있다는 가정을 전제로 과학적 탐구가 마치 단순한 기본단계로부터 시작하여 보다 복잡한 상위단계를 거치면서 진행되는 것처럼 진술되어 있다. 그러나 과학 학습지도의 실제에서는 그런 증거를 찾아볼 수 없다(Millar, 1989). 더욱이 오늘날에는 이와 같은 생각의 바탕이 되고 있는 귀납적 추론의 타당성이 부정되고 있는 실정이다. 둘째의 문제는 기능적 속성과 관련된 문제로서 과학 교육학자들이 말하는 과학의 과정 대부분이 과학에서만 독특하게 나타나는 속성이 아니라 일반적인 인지과정이라는 것이다(Millar, 1989). 이른바 과학의 과정이라는 것이 과학과만 특별한 관련을 맺고 있는 것은 아니며 과학을 다른 학문과 구분하는 기준도 될 수 없다는 뜻이다.

과학적 기능 및 기술과 관련된 문제는 그것의 본질적 특성에 대한 오해에서 비롯된다. 이 문제가 특히 과학교육 현장에서는 과학적 방법 또는 과학의 과정과 과학적 기능 및 기술이 뚜렷이 구분되지 않음으로써 제기된다.

전자의 경우 어느 정도 일반성을 지니고 있으나 후자는 분야, 도구, 기구 등에 특수한 성격을 띤다(Martin, 1972; Hodson, 1990). 과학적 기능과 기술은 또한 조사 상황(Tamir, 1989)과 내용(Millar & Driver, 1987) 혹은 이론(Wellington, 1989)에도 특수성을 지닌다. 그럼에도 불구하고 중등학교 과학교육 목적과 학습지도 자료에는 과학적 기능과 기술이 여러 분야에 보편적 특성을 지닌 것으로 다루어지고 있다.

이상의 논의를 종합해 볼 때 탐구중심 과학 학습지도 방법이 안고 있는 문제들을 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 과학교육계에서 흔히 강조되고 있는 과학적 탐구의 방법과 과정이 일반적인 특성을 지니고 있지 않으며, 그것은 취급하는 대상, 관련 지식체계, 이용할 수 있는 기능과 기술의 발달 수준, 사용 가능한 도구 및 설비에 의존한다. 둘째, 과학이 변화·발달하는 과정, 과학자들이 과학지식을 구성하는 과정, 학생들이 과학을 학습하는 과정 등이 모두 다를 수밖에 없다. 한 마디로 말하자면 이런 문제들은 과학이 발달하는 과정 또는 과

학자들이 과학활동을 수행하는 방법과 과정에 따라 학생들이 과학을 학습하기에 어려울 수밖에 없다는 의미를 함축하고 있다.

IV. 탐구중심 과학 학습지도의 목표와 방법

엄밀한 의미로는 탐구중심 과학 학습지도가 「탐구로서의 교수 및 학습」과 「탐구로서의 과학」에 대한 교수 및 학습을 뜻한다(Schwab, 1966). 그러나 과학교육 현장에서는 전자의 의미로만 해석함으로써 과학의 본질을 소홀히 취급하거나 후자의 의미만을 강조함으로써 학습의 심리적 특성을 경시하고 과학자의 연구 방법과 과학이 발달하는 과정에 따른 과학의 교수와 학습을 중요시하는 양극단적 추세가 있다. 이 절에서는 탐구중심 과학 학습지도의 실질적 목표를 어디에 또는 무엇에 두어야 할지를 논의하고 이를 달성하기 위한 학습지도 방법에 관하여 고찰한다.

1. 과학적 탐구 학습지도의 목적

탐구중심 과학 학습지도의 목적은 과학교육 목적의 일환으로 제시되는 경우가 일반적이지만 그것은 대체로 과정으로서의 과학에 대한 이해(ASE, 1986), 문제해결 능력의 함양(Carin & Sund, 1989), 과정기술의 습득(Abruscato, 1988), 과학적 소양의 증진(Simpson & Anderson, 1981; AAAS, 1989), 과학적 탐구력의 신장(DES, 1985; DES, 1989; 교육부, 1988) 등의 형태로 제시되고 있다. 또한 이러한 목적을 달성하기 위한 구체적 목표로서 과학적 방법의 단계, 과학의 과정 또는 탐구 과정의 절차, 탐구 기능 및 기술의 종류 등이 제시되고 있다. 그러나 이런 형식의 진술 모두가 탐구중심 과학 학습지도의 목적 또는 목표로 타당한 것은 아니다.

말하자면 과학교육의 목적 및 목표, 학습지도의 목표, 평가의 목표로 진술될 수 있는 내용이 서로 다르다는 의미이다. 대체로 과학적 탐구의 과정 및 방법을 통한 탐구력의 배양은 과학교육의 목적이나 목표일 수는 있어도 학습지도와 평가의 목표로는 설정될 수 없다. 과학의 학습지도 및 평가의 목표는 과학의 과정과 기능 및 기술 일 수 밖에 없다.

앞의 논의에서 이미 지적하였듯이 과학자들이 수행하는 과학적 활동 또는 연구나 과학이 발달하는 방법, 과정, 절차가 과학 교수와 학습의 방법, 과정, 절차로는 적용될 수 있으나 학습지도를 통해서 길러질 수 있는 능력은 아니다. 과학 학습지도를 통해서 길러질 수 있는

것은 그런 방법과 과정 또는 절차에 따라 과학지식을 획득할 수 있는 기능 및 기술이다. 더욱이 과학적 방법과 과정은 주제, 상황, 도구 등 과학교육의 여러 가지 측면에 특수성을 지니기 때문에 학습지도상 의미있고 가능한 어떤 보편적 절차와 단계를 설정할 수 없다. 이에 비하여 기능과 기술은 대개 과학의 여러 분야와 과정에 보편성을 지닌다. 그러므로 탐구중심 과학 학습지도의 직접적 목표는 과학적 탐구에 필요한 기능과 기술이라고 하겠다.

그러나 기능과 기술을 탐구중심 과학 학습지도의 목표로 설정할 경우 어떤 것들을 선정해야 할지에 관한 문제가 제기된다. 과학학습에 필요한 기능은 무수히 많고 학교의 한정된 과학수업 시간에 그것들을 모두 취급하기란 대단히 어려우며 그럴 필요도 없고 반드시 몇몇을 선택해야 하기 때문이다. 앞에서 논의한 바와 같이 과학적 기능과 기술을 연구자들마다 서로 다른 범주로 나누어 제시하고 있지만 그 결과를 종합해 볼 때 탐구력을 구성하는 요소로서 탐구적 과학 학습지도의 목표가 될 수 있는 기능과 기술을 다음과 같이 범주화할 수 있다.

사고기능-문제형성, 가설 설정, 실험 및 조사, 설계, 관찰 및 측정, 검증, 추론, 평가...

수공적 조작 기술-관찰 및 측정 도구의 설치와 사용, 실험 재료의 준비 및 사용, 실험 기구의 제작과 수리, 실험·실습시설의 이용 및 보존...

정보처리 기능-정보와 재료의 수집, 자료의 정리 및 분석, 자료의 통합 및 해석, 의사결정, 의사소통...

위에서 사고기능은 지식을 구성하기 전이나 자료를 얻기 전의 과정에 관련된 기능을 말하며, 정보처리 기능은 기존의 지식과 자료를 이용하여 새로운 지식을 검증하는 과정에서 요구되는 기능을 의미한다.

각 소범주는 학습지도 목표의 선정·조직 준거에 따라 다시 더욱 구체적인 기능과 기술로 세분화 할 수 있다. 교육목표를 선정·조직하는 준거가 다양한 형태로 제시되고 있으나(Tyler, 1949; Jonson, 1967: SSCR 1987; Trowbridge & Bybee, 1986.) 탐구중심 과학 학습지도의 목표에 관한 한 SSCR의 준거가 가장 적절하다고 생각된다. SSCR가 제시한 학습지도 목표의 선정·조직 준거를 요약하면 다음과 같다.

- 모든 학생들에게 교수가 가능해야 한다
- 학교 밖의 일상적 상황에도 관계있고 응용할 수 있으며 실제로 전이가 가능한 것이라야 한다
- 과학의 전반적 교육과정과 일치해야 한다

- 교수 전략과 자료 및 출처를 이용할 수 있는 것이어야 한다
- 후속 학습의 바탕이 되어야 한다
- 지역적 상황에 적합한 것이어야 한다

이와 같은 조건을 만족시키다 보면 학교급별로 또는 학년별로 제시할 수 있는 목표로서의 기능 및 기술의 수가 제한될 것이다. 이에 더하여 교과별 또는 영역별로 필수적인 것만을 한정한다면 그 수는 더욱 줄어들 것이다. 그러나 그 수가 아무리 적을지라도 그 목표를 달성하기 위한 학습지도 방식과 자료는 다르며, 다음 소절에서는 그에 대한 내용을 다룬다.

2. 탐구력 신장을 위한 학습지도 방법

지금까지 개발되어 발표된 국내·외의 문헌을 조사해 보면 과학적 탐구력을 신장시키기 위한 학습지도 방법과 절차가 여러 형태와 내용으로 제시되고 있음을 알 수 있다. 그것들이 서로 다름을 말할 수 있는 준거 또한 다양하겠으나 가장 명확하고 단순한 준거는 절차에 관한 것이다. 이 준거에 따르면 탐구중심 과학 학습지도 방법은 (1) 과학적 방법과 과정을 이루는 단계를 구분하고 각 단계별 기능과 기술을 확인하여 주어진 주제와 상황을 통해서 학습하게 하는 방법(WPS, 1986; SAPA II, 1990)과 (2) 문제와 상황을 제시하고 학생들이 스스로 그 문제를 해결하는 과정을 통해서 관련 탐구 기능과 기술은 물론 관련 지식을 습득하게 하는 방법(Mayer, 1978)으로 대별된다. 이 방법들이 탐구력 신장에 주된 목적을 두고 있다는 점에서 전통적 학습지도 방법과 다르다. 그러나 이 방법들이 모두 실험·실습 위주의 과학 수업만을 지향하며 학생들의 인지적 수준과 심리적 특성을 고려하지 않고 있다는 공통적 문제점을 안고 있다.

물론 이런 공통적 문제점 외에 각 방법에 독특한 문제점과 아울러 나름대로의 특이한 장점도 지니고 있다. 첫째 방법의 경우 과학적 탐구에 필수적인 기능과 기술을 구체적이고 세부적으로 교수할 수 있는 장점이 있다. 따라서 분야별로 독특한 기본적인 조작적 기술과 비교적 단순한 기능을 학습지도하는 데 실용적이다. 그러나 이 방법은 귀납적 방법과 기계론적 견해에 바탕함으로써 적용상의 한계와 문제점들을 드러낸다. 그 가운데서 가장 심각한 문제는 하위적 기능과 기술이 상위적인 것의 기본적 바탕이 되는 것은 아니며 그 기능과 기술을 습득했다고 해서 전과정이 기계적으로 수행되지 않는다는 데 있다.

이런 문제는 둘째의 방법을 통해서 어느 정도 극복될

수 있다고 하겠다. 그러나 둘째 방법도 그에 독특한 한계와 문제점을 안고 있다. 이 방법은 학생들이 과학지식을 획득하거나 이해하는 실제의 인지적 과정보다는 과학지식이 긴 과학사적 과정을 통해서 변화된 절차, 또는 과학자들의 과학적연구 방법 및 과정으로 구성되어 있어서 특히 저학년의 학생들이 따르기에 어려운 방법이다. 물론 학습할 주제와 과정의 장·단에 따라 그 정도가 다를 수도 있겠으나 1960년대 이후에 개발된 교육과정과 학습지도 자료가 효과적으로 이용되지 못한 주된 원인이 되고 있다.

이런 문제들을 감안하여 볼 때 탐구중심 과학 학습지도는 무엇보다도 학생들의 지적수준과 인지적 과정에 맞추어 이루어져야 한다고 하겠다. 학생들이 과학을 학습하는 현재의 상황과 과거의 과학사적 상황이 다르며, 그들의 인지적, 기능적 수준과 기대 또는 필요성이 과학자들과 같지 않기 때문이다. 탐구 수업은 이 밖에도 학생들이 내·외적 조건들을 만족시켜야 효율적으로 수행되며 그 조건들은 다음과 같다(Aikenhead, 1983).

- 상황—사회, 교사, 교실, 교육과정
- 처리—교실의 사건, 방법, 분위기, 평가
- 결과—과학의 과정과 방법, 과학의 본질, 탐구 전략과 관례

위 조건들은 탐구수업이란 그것을 수행할 수 있는 기본적 여건과 방법, 그리고 그 결과로 기대하는 바가 충분히 만족되어야 그 효과가 날 수 있음을 보인다. 탐구중심 과학수업은 사회적 요구, 교사의 자질과 의욕, 교실의 환경 여건, 교육과정상의 규정을 만족시켜야 하고, 학습지도 방법과 전략이 타당하고 정당하게 평가되어야 하며, 그 결과 과학적 방법 및 과학의 본질이 이해될 수 있도록 이루어져야 한다는 것이다.

그러나 탐구수업이 이런 조건들을 모두 만족시킨다고

해서 반드시 효과적으로 진행될 수 있는 것은 또한 아니며, 그것은 수업의 방식과 기술에 따라서 다른 효과를 낸다. 대개의 경우 탐구중심 학습지도 자료가 실험·실습위주로 개발되어 있으나 탐구력이 그 기능과 소재에 따라서는 질문법, 토의법, 종합적 조사법 등을 통해서도 효과적으로 습득될 수 있다(Trowbridge & Bybee, 1986; Simpson & Anderson, 1981). 이를테면 수공적 조작 기술은 실험 도구와 기구를 다룸으로써, 사고 기능은 질문법과 토의법을 통해서, 그리고 정보처리 기능은 조사법을 통한 문제해결 과정을 거치면서 습득되거나 길러질 수 있다.

일반적으로 의미있는 학습이란 학생들이 그에 대한 태세와 의욕을 갖추고 있어야 가능하다(Ausubel et al., 1978). 즉 학습내용이 학생들의 요구를 만족시키고 그들의 흥미와 관심을 끌며 이해될 수 있는 것이어야 한다. 학생들은 대체로 생활주변의 과학 관련 문제와 쟁점에 많은 호기심을 지니고 있다. 이 점에서 탐구력 신장을 위한 학습지도 자료의 소재는 STS와 생활주변으로부터 선정하여 이용하는 것이 바람직하다. 과학교육을 통해서 길러주고자 하는 과학적 탐구력이란 결국 그런 문제들을 이해하고 해결할 수 있는 능력이기 때문이다.

결론적으로 탐구력은 조작적 기술만이 아니라 사고 기능이 주요한 구성요소이다. 또한 과학이란 궁극적으로 사고 과정을 통해서 이루어지며 그 밖의 기능은 그에 대한 보조 수단에 지나지 않는다. 그러므로 탐구중심 과학 학습지도의 방법과 절차는 영역별로 기본적인 조작적 기술을 습득하게 하되 그 결과가 과학적 사고력을 증진할 수 있도록 구성되어야 한다. 즉 저학년 일수록 기초적 기능과 기술을 습득하게 하고 고학년에 올라가면서 종합적 문제를 해결하게 하는 방법과 과정으로 이루어져야 한다고 하겠다.

참 고 문 헌

교육부. (1988). 고등학교 과학과 교육과정 해설. 국정교과서주식회사.
 박승재. (1990). 대학교육 적성으로서 과학적 탐구력의 평가방안. 서울대학교 물리교육과.
 박승재. (1991). 과학적 탐구 사고력 평가. 서울대학교 물리교육과.
 이희승. (1988). 국어대사전. 민중서림.
 정건상. (1991). 고등학교 생물과 탐구학습의 실태조사와 문제점 분석. 한국교원대학교.
 교육부. (1992). 중학교 교육과정 교육부 고시 제1992-11호 대한교과서 주식회사
 허 명. (1984). 과학 탐구 평가표의 개발. 한국과학교육학회지, 제4권,

제1호, 57-63.
 AAAS. (1989). Science for all Americans. Washington, D.C.: AAAS, Inc.
 Abruscato, J. (1988). Teaching children science. 2nd ed. Englewood, Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
 Aikenhead, G. S. (1983). Science as inquiry: A desired state in Penick, J. E. (ed). Science as inquiry. NSTA.
 APU. (1988). Science at age 15. London: HMSO.
 ASE. (1987). ASE Science teachers' handbook London: Hutchinson.
 Ausubel, D.P., Novak, J. D. & Hanesian, H. (1978). Educational psychology: A cognitive view, 2nd ed. NY: Holt, Rinehart and Winston.
 Barnes, B. (1985). About science. Basil Blackwell.
 Brown, J. et al. (eds) (1986). Science in schools. Milton Keynes Open

- University Press.
- Bruner, J. S. (1966). *Toward a theory of instruction*. NY: W. W. Norton & Company, Inc.
- Carin, A. A. & Sund, R. B. (1989). *Teaching science through discovery*, 6th ed. Columbus, OH: Merrill Publishing Company.
- Chisholm, R. (1966). *Theory of knowledge*, 2nd ed. Englewood Cliffs, NY: Prentice-Hall, Inc.
- Cohen, L. & Manion, L. *Research methods in education*, 2nd ed. London: Croom Helm.
- Collette, A. T. & Chiappetta, E. L. (1989). *Science instruction in the middle and secondary schools*, 2nd ed. Columbus, OH: Merrill Publishing Company.
- DES. (1985). *Science 5-16: A statement of policy*. London: HMSO.
- DES. (1989). *Science in the national curriculum*. London: HMSO.
- Falk, D. (1971). *Biology teaching methods*. Malabar, FL: Robert E. Krieger Publishing Company.
- Feyerabend, P. (1975). *Against method*. London: Verso.
- Feyerabend, P. (1987). *Farewell to reason*. London: Verso.
- Gagne, R. M. (1984). *The conditions of learning and theory of instruction*, 4th ed. NY: Holt, Rinehart and Winston.
- Gay, L. R. (1987). *Educational research: Competencies for analysis and application*, 3rd ed. Columbus, OH: Merrill Publishing Company.
- Hodson, D. (1990). Making the implicit explicit. In Herget, D. E. (ed), *History & philosophy of science in science teaching*. Florida State University.
- Honer, S. M. & Hunt, T. C. (1987). *Invitation to philosophy*, 5th ed. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Hurd, P. DeH. (1979). Back-to-basics: A critical juncture in biology education. *The American Biology Teacher*, Vol. 41(3), 181-190.
- Kaplan, A. (1964). *The conduct of inquiry*. San Francisco: Chandler Publishing Company.
- Kempa, R. (1986). *Assessment in science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kerlinger, F. N. (1973). *Foundation of behavioral research*, 2nd ed. NY: Holt, Rinehart and Winston, Inc.
- Kirkham, J. (1989). Balanced science: equilibrium between context, process and content. In Wellington, Skills and process in science education. London: Routledge.
- Kneller, G. F. (1971). *Introduction to the philosophy of education*, 2nd ed. NY: John Wiley & Sons, Inc.
- Martin, M. (1972). *Concepts of science education: A philosophical analysis*. Glenview, IL: Scott, Foresman and Company.
- Mayer, W. V. (1978). *Biology teachers' handbook*, 3rd ed. NY: John Wiley and Sons.
- Millar, R. & Driver, R. (1987). Beyond processes. *Studies in Science Education*, Vol. 14, 33-62.
- Millar, R. (ed). (1989). *Doing science: Images of science in science education*. London: The Falmer 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.
- Otto, J. H. & Towle, A. (1985). *Modern biology*. NY: Holt, Rinehart and Winston Publishers.
- Peterson, K. D. (1978). Scientific inquiry for high school students. quoted from Trowbridge & Bybee (1986)
- Rakow, S. J. (1986). *Teaching science as inquiry*. Bloomington, IND: Phi Delta Kappa Educational Foundation.
- SAPA II. (1990). *Science: a process approach*. Hudson, NH: Delta education, Inc.
- Schwab, J. J. (1966). The teaching of science as enquiry. In Schwab, J. J. & Brandwein, P. F. *The teaching of science*. Cambridge: Harvard University Press, 3-103.
- Simpson, R. D. & Anderson, N. D. (1981). *Science, students, and schools*. NY: Macmillan Publishing Company.
- SSCR. (1987). *Better science*. London: Heineman Educational Books.
- Suchman, R. (1966). Developing inquiry. quoted from Trowbridge & Bybee (1986).
- Trowbridge, L. W. & Bybee, R. W. (1986). *Becoming a secondary school science teacher*. Columbus, OH: Merrill Publishing Company.
- Tyler, R. W. (1949). *Basic principles of curriculum and instruction*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Welch, W. W. (1981). Inquiry in school science. In Harms, N. & Yager, R., *Project synthesis, what research says*, Vol. 3 NSTA.
- Wellington, J. (ed). (1989). *Skills and processes in science education: A critical analysis*. London: Routledge.
- Woolnough, B. E. (1989). Towards a holistic view of process in science education. In Wellington, J., *Skills and processes in science education*. London: Routledge.
- WPS. (1986). *WPS*. Southampton Ashford Free Publishing.
- Wray, J. (ed). (1987). *Science in process*. London: Heinemann Educational Books.
- Ziman, J. (1984). *An introduction to science studies*. Cambridge: Cambridge University Press.

ABSTRACT

An Analysis of the Nature of Scientific Inquiry and a Study on the Instructional Method for Promoting Inquiry Competence

Hee-Hyung Cho
(Kangwon National University)

In response to epoch-making development in science and technology, the innovative curricular materials have been begun to develop since the late 1950s and early 1960s. However, the new inquiry-centered materials have failed to be successfully used in teaching/learning practices of science. Among the various reasons for the failure, the very nature of the inquiry approach has been identified as the most critical problem.

Nevertheless, fostering inquiry faculties on the part of the students has been emphasized as one of the most important objectives of science instruction. Therefore this study was conducted for the purpose of developing a practical inquiry-oriented instructional method. In order to obtain this goal the nature of scientific inquiry was analyzed and the status quo of science education in which inquiry-oriented instructional strategies were applied was examined. The results of the study are described in this paper.