

과학교육의 이론적 배경과 그 시사점

조 회 형

(강원대학교 과학교육과)

The Theoretical Backgrounds and Their Implications for Science Education

Hee-hyung Cho

(Department of Science Education, Kangwon National University)

ABSTRACT

Widespread recognition of the various aspects of science education has been prompted by post-positivist philosophers' discussions of the nature of science and intense debates among constructivist psychologists about learning in science. Their discussions and debates, in turn, have raised the problems associated with teaching /learning of science in the schools. The purpose of this article, basically based on the reviews and analyses of the literature related to philosophy of science and psychology, was to describe the implications of post-positivism and constructivism for current science education in the schools. In this paper, the author defines science education as education of /about science, and education through /by science. He also stresses that scientific literacy and decision-making should be emphasized as the goals of science education, that the ethical dimensions of science and technology must be included in science curriculum, that group discussion and /or cooperative learning are effective teaching strategy for science as interpreted by post-positivists and constructivists, and that the assessment should be focused on the degree to which cognitive structure has been changed through instruction in the school classrooms.

Key words : post-positivism, constructivism, science education, science instruction, teaching strategy, science assessment.

I. 머리말

과학교육학은 과학의 교육, 또는 과학에 관한 교육으로 정의되며(Barrentine, 1986), 교수·학습·평가, 그것이 이루어지는 교실·실험실, 산업 및 환경·보건 교육, 과학·기술·사회, 그리고 과학교육의 목적 등에 주된 관심을 가진다(Hull, 1993). 과학교육학에는 과학의

본질, 과학을 가르쳐야만 하는 당연한 이유, 과학지식의 본성, 과학자가 개념적 과학지식을 구성하는 방법, 일반인들이 과학적 사고 기능을 개발하는 방법, 과학지식의 획득에 가장 적절한 교수법 등 과학교사들이 알아야 할 것 등이 그 영역에 포함된다(Lawson, 1995). 교육의 목적은 당대의 학문과 학생의 요구, 사회와 국가가 필요로 하는 것 등에서 선정하고 철학과 심리학을 근거로 조직

*1998년 2월 5일 받음.

1) 이 논문은 '1996년도 강원대학교 기성회 교수 해외 연구지원에 의하여 이루어진 연구의 결과임.

한다(Tyler, 1949). 그러나 과학교육의 목적은 과학의 정의에 의해 결정되기도 한다(Gilbert, 1991). 그런 과학교육의 목적을 달성하기 위한 교수 방법은 과학의 역사적·철학적 측면을 학습과 통합시키지 않으면 개선시키기 어렵다(Matthews, 1994).

이와 같은 과학교육의 주된 관심사, 그것을 구성하는 요소, 그리고 과학의 학습지도 방법 등은 국가적 이념과 사회·교육 환경의 변화에 따라 부단히 수정·보완되어 왔다. 지금까지 몇 차례 이루어진 과학교육의 개혁을 계기로 각급 학교의 졸업이수 학점 및 과목, 교과목·교육과정·교과서, 간학문적 통합 교육과정 및 고차원적 기능, 교사교육(Tobin, Tippins, & Gallard, 1994), 과학교육의 목적(Bybee & DeBoer, 1994) 등의 영역이 확립되고 그 세부적인 내용이 변화하였다. 그런 변화의 기저에는 언제나 이론적 배경이 있다. 그러나, 우리나라를 포함한 세계 각국의 과학교육 연구 현장에서는, 과학교육의 목적, 그 교육과정, 그에 대한 교수/학습, 그리고 학습지도 결과의 평가 등 중등학교 과학교육의 여러 측면의 기저가 되는 방향감각 및 이론과 철학에 대한 연구가 미흡한 실정이다(Duschl, 1990; Harms & Yager, 1981; Matthews, 1994).

현재 과학교육의 이론적 배경으로 관념론·상대주의에 바탕을 둔 현대의 과학철학과 구성주의(constructionism)·발달심리학·사회심리학 등을 수용하는 현대 심리학이 중요시되고 있다(조희형과 박승재, 1995; 한국과학교육학회, 1996). 전통적 과학철학과 현대의 과학철학을 분석하여 비교한 연구의 결과에 따르면, 과학교수/학습의 이론적 배경으로 포퍼 이후의 소위 "새로운(new) 과학철학"(Abimbola, 1983; McGuire, 1992)을 제시하는 것이 보통이다. 특히, 과학의 구조, 과학적 방법의 본성, 과학자의 가치관에 따른 판단 등 과학교육에서 심각한 문제로 인식되고 있는 주제의 이해와 해결에는 현대의 과학철학이 중요하다(Hodson, 1991). 과학교육자들이 현대과학철학의 한 가지 형태로 받아들이는 구성주의가 실용주의(pragmatism)에 그 기원을 두고 있는데(von Glasersfeld, 1991), 이 사실도 과학교육의 이론적 배경이 과학철학에 있음을 보여준다.

과학이 철학으로부터 분리될 때까지는 심리학도 통합되어 있었는데(Machamer, 1992), 이를 통해서도 과학교육의 이론적 배경이 심리학에 있음을 알 수 있다. 또한, 각급 학교의 과학교육 현장에서는 학생들이 파지하고 있는 선행지식(prior knowledge)(Ausubel, Novak, & Hanesian, 1978), 즉 대체적 개념틀(alternative

framework)(Driver, Leach, Millar, & Scott, 1996)로 일컬어지기도 하는 오인(misconception)(West & Pines, 1985)이 과학의 효과적인 교수/학습에 장애요인이 된다는 것이 밝혀졌는데, 그 원인은 과학사·인지론·구성주의를 통해 설명할 수 있다(Nersessian, 1991). 오늘날의 과학교육 현장에서는 심리학 이론으로 관념론과 상대주의에 바탕을 둔 구성주의(Matthews, 1994), 개인의 인지적 발달을 중요시하는 발달심리학 및 인지론(Margolis, 1984; Russell, 1987), 지적·인지적 발달 과정의 사회적 영향을 중요시하는 사회심리학을 중요시한다(Joyce & Weil, 1996).

이와 같이, 과학교육이 과학철학 및 심리학과 밀접한 관계를 맺고 있음에도 현장의 과학교사들은 그 중요성을 제대로 인식하고 있지 못할 뿐만 아니라 그에 대한 지식도 충분히 갖고 있지 않은 실정이다. 이 논문에서는 현대의 과학·과학철학, 심리학·심리철학의 속성에 관한 문헌을 조사·분석하고, 그 결과가 과학교육에 어떤 점을 시사해 주는지 살펴본다. 현대의 과학 및 과학철학에 관해서는 포퍼·쿤·라카토스·파이어아벤트·라우든의 인식론적·실체론적 신념과 관념론 및 상대론 그리고 새로운 과학관으로 제기된 STS를, 심리학 및 심리철학에 관해서는 구성주의와 발달심리학 그리고 사회심리학을 중심으로 조사·분석한다. 각 분야가 과학교육에 던져주는 시사점은 과학교육의 정의, 목적, 교육과정, 학습지도, 평가로 나누어 기술한다.

II. 전통적 과학관과 현대의 과학관

경험론·이성론·실증주의 등 전통적 인식론·형이상학·방법론이 기준견해(standard view)(Manica & Secord, 1983; Mulkay, 1979; Riggs, 1992), 표준견해(received view)(McGuire, 1992; Phillips, 1983), 상식적 견해(common-sense view)(Chalmers, 1982) 등으로 일컬어짐에 비해, 포퍼(Popper, 1973)·쿤(Kuhn, 1996)·라카토스(Lakatos, 1970)·툴민(Toulmin, 1967)·파이어아벤트(Feyerabend, 1975)·라우든(Laudan, 1990) 등 1960~80년대와 그 이후의 과학철학적 견해는 "새로운 과학철학"(Abimbola, 1983; Brown, 1977)이나 후실증주의(post-positivism)(Donmoyer, 1985; Phillips, 1983)로 지칭된다. 또한, 현대의 인식론적·형이상학적 신조와 방법론은 대체로 상대주의와 관념론에 바탕을 둔다. 이 절에서는 전통적 인식론과 실체론에 따라 인식되고 있는 과학 및 과학지식과 과학적 방

법의 특성에 관한 분석 결과를 기술하고, 현대의 관념론적·상대주의적 관점에서 본 과학과 과학지식 그리고 과학적 방법의 특징에 관하여 논의한 다음, 새로운 과학관으로 제시된 STS의 본성과 그에 대한 교육 및 그에 따른 과학교육에 관하여 기술한다.

1. 전통적 과학철학자들이 말하는 과학·과학지식과 과학적 방법

경험론은 과학지식이 감각적 증거에 바탕을 둔다고 보는 신념이다(Boyd, Gasper, & Trout, 1993). 즉, 과학적 개념과 지식이 감각경험 또는 내성을 통해서 도출되거나 정당화되며, 논리적으로 독립적인 과학적 사실들이 누적되어 계속 성장·발전한다는 인식론적 신념이다(Bynum, Bowne, & Porter, 1981). 고전적 경험주의의 뿌리는 근대 귀납법의 주창자이며 과학적 방법의 개척자로 일컬어지는 베이컨(F. Bacon)의 업적에 있으며, 흄(D. Hume)에 의해 더욱 발전되었다. 특히, 흄의 경험주의는 지각의 구성요소로서 인상과 관념을 들고, 의미의 출처로 인상을 제시한다(Abimbola, 1983).

논리실증주의는 러셀(B. Russell)과 화이트헤드(A. N. Whitehead)가 개발한 기호논리를 근간으로 형성되었으며, 경험주의의 엄격한 입장을 취한다. 그 명칭은 콩트(A. Comte)가 붙였으며, 밀(J. S. Mill)에 의해 더욱 확장되었다. 논리실증주의의 핵심적 주제는 경험에 직접 바탕을 둔 지식만이 진짜 지식이라고 보며, 기호논리를 주요한 분석 도구로 이용한다. 논리실증주의가 표명하는 고전적 주의(doctrine)는 진위를 검증할 수 있는 경험적 방법을 가지고 있는 명제만이 의미가 있다는 의미의 검증설(verification theory of meaning)이다(Brown, 1977).

논리실증주의는 한정된 수의 관찰자료를 이용하여 과학적 법칙을 결론적으로 검증하려 할 때 한계를 드러내는데(Chalmers, 1982), 그런 한계를 극복하기 위해 제기된 철학적 원리가 논리경험주의이다(Brown, 1977). 카르납(Carnap, 1966)·험펠(Hempel, 1966)·네이글(Nagel, 1979) 등으로 대표되는 논리경험주의는 논리실증주의와 마찬가지로 과학의 분석 도구로 기호논리를 이용하며 경험적 지식의 구성과 검증에 주된 관심을 가진다. 논리경험주의의 절대적인 의미를 지닌 검증설 대신에 확률적 의미가 있는 입증설(confirmation theory)을 제시하고(Brown, 1977), 과학적 방법으로 가설-연역적 방법을 적용한다(Boyd et al., 1991; Earman &

Salmon, 1992).

그러나 포퍼(Popper, 1973)는 어떠한 이론이나 가설도 절대적으로 확증되거나 확률적으로 입증될 수는 없고 오로지 그 반증만이 가능하다고 주장한다. 그에 따르면, 반증될 수 없는 이론은 비과학적 이론이며, 쉽게 반증될 수 있는 이론일수록 좋은 이론이다. 이에 비추어, 과학적 탐구의 목적은 이론과 가설의 확증이나 입증에 있지 않고 반증에 있다고 말할 수밖에 없다(McGuire, 1992). 포퍼의 반증주의는 경험주의의 귀납법과 실증주의의 입증설 및 확증설의 유용성을 부정하지만, 과학적 실재론에 바탕을 두어 이론과 가설은 경험을 통해 반증할 수밖에 없다고 강조함으로써 표준적 견해와 현대의 과학철학적 견해의 중간적 입장을 취한다.

전통적 과학철학자들은 과학지식의 출처, 그 본성, 정보의 성격 등에 관하여 서로 견해를 달리한다. 과학지식의 출처로 경험론과 실증주의는 관찰·관측·실험 등을 포함한 경험을, 합리론은 논리적 추리와 이성을, 반증주의는 상상력과 직관적 추리를 제시한다(Moser & Nat, 1987). 과학지식의 본성에 관하여는 경험론과 논리경험주의가 확률성과 개인성을, 합리론과 논리실증주의는 필연성 및 절대성을 주장한다(Brown, 1977). 전통적 과학철학자들은 이런 주장을 바탕으로 과학지식을 ‘정당화된 참된 신념’(justified true belief)으로 정의한다(Moser & Nat, 1987; Phillips, 1987; Riggs, 1992). 그들은 대체로 실재론과 절대주의를 지지하고, 그에 따라 과학적 사실과 정보가 객관적 특성을 지닌다고 주장한다(Jardins, 1997).

전통적 과학철학자들은 과학적 방법에 관해서도 그들 간에는 물론이고 현대의 과학철학자들과도 의견을 달리한다. 과학지식을 형성·검증하는 방법으로 경험론은 귀납법을, 합리론은 연역법을, 논리실증주의는 절대적 검증을 의미하는 확증법을, 논리경험주의는 통계적·확률적 검증을 의미하는 입증법을, 입증법을 수용하는 논리경험주의와 반증주의는 전체를 의심하는 데서 출발하는 가설-연역법을 제시했다(Brown, 1977; Kourany, 1987). 일반적으로, 전통적 과학철학자들은 과학적 방법으로 논리적 추리와 수학적 접근법을 활용했으며(Klee, 1997), 학문중심 교육사상과 그에 따른 탐구중심 과학교육의 이론적 배경이 되었다.

2. 현대의 과학철학자들이 해석하는 과학·과학지식 및 과학적 방법

흔히, 현대의 과학철학자로 쿤·라카토스·파이어아벤트·틀민·라우든 등을 든다. 이들이 주장하는 현대의 과학철학 즉 후실증주의, 또는 "새로운 과학철학"에서는 과학의 분석 도구로 과학사의 연구를 이용하며, 과학적 연구와 발견의 대상으로 이미 수용된 결과가 아니라 부단히 진보하는 연구프로그램을 제시한다(Brown, 1977). 새로운 과학철학을 받아들이는 이들은 과학적 변화와 그 발달의 역사적·시대적 측면을 중요시함으로써 당대 교육과정의 목적과 내용을 선정하고 조직하는 원리가 된다(Abimbola, 1983).

쿤(Kuhn, 1996)은 과학이 경험적 내용의 증가로 부단히 향상되고 누적된다는 주장을 부정한다. 그는 한 이론이 사라지고 새로운 이론이 대두되는 이유는 사라지는 이론을 부정하는 증거가 축적되거나 그 타당성이 확증되지 않았기 때문이 아니라 새로운 이론이 사라지는 이론보다 문제를 해결하는 범위가 넓고 더 쉽게 해결하기 때문이라고 생각한다. 그는 이런 생각을 바탕으로 과학이 전과학 단계, 정상과학 단계, 위기 단계, 혁명 단계로 이루어진 격변적 과정을 통해 발달한다는 이론을 제시하였다. 그의 이론은 패러다임(paradigm)의 변화와 패러다임 사이의 비교불가능성(incommensurability)이 핵심을 이룬다.

라카토스(Lakatos, 1970)는 경쟁적 관계에 있는 이론들을 비교할 공통적 기준이 없다는 쿤의 이론을 부정하고 최소한 그 내용을 서로 비교할 수 있다는 입장을 취한다. 그는 과학지식이 끊임없이 성장함을 인식하고, 그 원인을 과학지식의 외적 조건이나 상황과 아울러 내적 특성을 분석하여 설명한다. 그가 말하는 과학지식이 성장하는 과정의 성격과 그 방향을 분석하는 기본 단위는 연구프로그램(research programme)이다. 라카토스의 생각에 따르면, 과학의 발달도 순전히 과학지식의 속성과 그 성장에 대한 분석을 통해 설명할 수 있다(McGuire, 1992).

파이어아벤트(Feyerabend, 1975)는 경쟁이론을 논리적으로나 탈상황적으로 평가·비교할 수 없고, 단지 역사적으로 분석할 수밖에 없으며, 과학이란 규칙이 지배하는 활동이라는 쿤·라카토스의 견해에 비판적인 입장을 나타낸다. 그는 과학이 합리적 절차에 따라 발달한다는 주장도 거부하고, 과학의 발달은 과학 그 자체의 방법이나 권위가 아니라 과학자들의 창의성에 의해 설명할 수 있다는 견해를 나타낸다. 과학은 논리적 추리나 다른 어떤 합리적인 논증이 아니라 설득·수사(rhetoric)·선전(propaganda)·실천 등을 통해서 발전한다

는 생각이다.

도구주의는 논리경험주의의 입증설에 관하여 회의적인 입장을 나타내는데(McGuire, 1992), 그런 도구주의를 지지하는 틀민(Toulmin, 1967)은 과학적 이론이 세계에 대한 주장이 아니라 기존의 관찰을 바탕으로 새로운 관찰을 예상하게 하는 추론 강령이라는 견해를 나타낸다. 그는 실증주의와 상대주의가 안고 있는 문제를 해소하기 위한 한 가지 이론으로(Donmoyer, 1985) 진화론적 모형(evolutionary model)(Kourany, 1987)을 구성하고 그에 따라 과학이 역사적으로 발달하는 과정을 설명한다. 그의 모형은 과학이, 마치 생물이 변이와 자연선택을 통해 진화하듯이, 기존의 개념이 사라지고 새로운 개념이 출현하여 발달한다고 설명한다.

라우든(Laudan, 1990)은 쿤의 격변적 변화 모형과 라카토스의 연구프로그램 이론을 통합하여, 또는 그들의 이론이 안고 있는 문제를 해결하기 위한 일환으로(Gholson & Barker, 1985) 그들의 것과 다른 연구전통의 이론을 제시하였다. 라우든에 따르면, 새로운 이론은 과학자가 조사할 새로운 세계를 제시한다. 그러나 역사적 사실에 비추어 볼 때, 새로운 이론이 언제나 새로운 세계를 조사할 방법과 목적을 제시하지는 않는다. 즉, 과학적 이론과 방법 그리고 그 목적은 상호간에 독립적으로 변하고 발달한다. 라우든의 점진적 모형(gradual model)(Kourany, 1987)은 과학이 그 이론·방법·목적의 독립적으로 변함으로써 발달함을 설명한다.

특히, 쿤·라카토스·틀민·라우든 등을 포함한 많은 후실증주의 과학철학자들은 논리적으로 이론을 평가하는 입증·확증·반증 절차의 타당성을 부정하고 과학의 분석에 사회적 접근법을 활용한다. 그들은 과학을 끊임없이 변하는 사회학적 현상으로 본다. 그들은 또한 진리나 진실성(versimilitude)(Brown, 1977; McGuire, 1992)과 같은 인식론적 개념에는 관심을 멀리하고, 문제해결·패러다임·연구프로그램 등으로 설명되는 과학의 변화와 진보에 관심을 쏟는다. 이를 계기로 과학자와 과학교육자들은 학교에서 가르치는 과학의 본성을 사회학적·역사학적·인류학적·심리학적·철학적 관점에서 해석하고 설명하려는 경향이 나타났다.

과학과 과학지식의 변화에 대한 이들의 관점은 사회적 구성주의(social constructivism)를 이룬다(McGuire, 1992). 특히, 영국의 에딘버러(Edinburgh)학과 중심의 사회적 구성주의는 사회적 영향이 미치지 않은 순수한 과학적 사실의 존재 자체를 부정한다. 그들은 모든 과학적 이론이 사회적 상황에서 사회적 구인(const-

ruct)으로 형성되어 공공적 개념(concept)으로 발달한 다음, 사회적 조직의 틀 안에서 해석·응용된다고 주장한다. 사회적 구인 또는 이론에 독립적인 과학적 사실이 있을 수 없다는 주장(Matthews, 1994; Radder, 1996)과 같다. 특히, 상대주의 전통을 따르는 구성주의는 과학지식이 관찰자와 독립적으로 존재하는 외부세계에 대한 객관적 표상화라는 주장을 거부하고 경험을 바탕으로 한 검증가능한 구조물로 규정한다(von Glasersfeld, 1991).

현대의 과학철학자들은 과학지식의 출처와 본성 그리고 그 바탕이 되는 정보의 성격에 관하여 다양한 견해를 제시한다. 그들은 과학지식의 출처로 민주적 절차를 따른 사회적 협상과 합의(Radder, 1996)를, 과학지식의 속성으로 잠정성과 임시성(Brown, 1977)을 제시한다. 실용주의자를 포함한 현대의 대다수 과학철학자들은 과학지식을 인간의 행위를 통제·조절하는 원리(Bynum, Browne, & Porter, 1981)나 사회적 과정을 통해 구성되는 설명체계(Brown, 1977; Mulkey, 1979)로 특징짓는다. 현대의 과학철학자들은 관념론과 상대주의의 그리고 구성주의를 수용하고, 그에 따라 과학적 사실과 정보가 주관적 속성을 지닌다고 주장한다(Jardins, 1997).

현대의 과학철학자들은 과학적 방법에 관해서도 그들은 물론 전통적 과학철학자들과 의견을 달리한다. 쿤은 패러다임의 변화를, 라카토스는 연구프로그램의 변화를, 피어어벤트는 '제멋대로의 원리(anything goes)'를, 라우든은 목적·내용·절차·전략이 함께 변하는 종합적 원리를 과학이 변화·발달하는 과정으로 제시했다(Brown, 1977; Kourany, 1987). 일반적으로, 현대의 과학철학자들은 과학이 역사적으로 발달되어 온 과정을 분석하고 그 결과에 근거를 두어 사회적 합의의 원리, 또는 무원칙을 과학적 방법과 그 과정으로 제시한다(Klee, 1997).

3. 새로운 과학관으로서의 STS와 과학교육

1970년대초 이후의 과학자와 과학철학자들은 상대주의·합리론·관념론 등을 수용하여(Klee, 1997) STS(science-technology-society)라는 새로운 과학관의 기틀을 마련하였다. STS는 자이먼(Ziman, 1980)이 과학·기술·사회의 관계를 나타내기 위해 처음으로 사용한 말로서, 과학적 활동이 사회적 활동의 일환으로 이루어지기 때문에 과학은 언제나 그것이 수행되는 사회적 상황과 관련시켜 이해되어야 한다는 의미가 함축되어 있

다(Newton, 1988). STS는 과학적 방법의 사회적 속성과 과학지식의 상대적 특성을 수용하는 과학에 대한 새로운 견해로서 과학지식의 잠정성과 실용성 그리고 가설적 특성을 암시함과 동시에, 과학적 방법이 사회적 절차를 따르는 합의 과정임을 보여준다. STS는 과학의 비합리적 특성을 강조함으로써 쿤이 표명한 과학관과도 일치되는데(Bauer, 1994), 특히 이런 의미의 STS는 과학과 기술이 상호간에 미치는 영향, 과학의 발달과 기술의 개발이 사회에 미치는 영향, 그리고 사회가 과학의 발전과 기술의 발달에 미치는 영향을 중요시한다. 과학교육학자들은 이런 특성을 근거로 STS를 SST(society-science-technology)로 불러야 한다고 주장하기도 한다. STS는 또한 인간을 중요시하는 과학을 강조하는데, 이런 이유로 현대사회에서는 과학과 과학자의 사회에 대한 책임도 강조한다(Stahl & Stahl, 1995). 과학이 이와 같은 특성을 지닌다고 보는 STS 사상은 이외에 과학과 기술로부터 야기된 사회적 문제가 과학이나 기술만으로는 해결될 수 없음을 암시하기도 한다(Jardins, 1997).

STS는 과학교육의 한 운동으로서 각급 학교 과학교육에도 큰 영향을 미치고 있다(Lawson, 1995). STS 사상은 전통적 과학교육 사상과는 다른 과학 학습지도 방법과 교육과정 내용 및 소재의 이용을 강조한다(Bybee, 1993; Yager, 1996). STS 사상에 따르면, 중등학교 과학의 학습지도에는 학생들이 소극적으로 읽거나 듣는 전통적인 강의법보다는 그들이 능동적으로 참여하는 토론법·역할놀이·의사결정·문제해결·조사법 등이 효과적이다(Hunt, 1988). STS의 학습지도에는 이외에도 교사와 학생간, 또는 학생들간의 의사교환을 이용한 교수법이 실제적이다. 지금까지 수행된 STS에 대한 연구의 결과에 따르면, STS의 교육과정은 세계·과학·기술의 심미적 인식, 진정한 민주주의와 그 과정의 중요성 인정, 가치의 중요성 이해, 개인적 가치의 명료화, STS 문제와 관련된 가치의 확인 등 윤리학 및 가치관과 관련이 있는 주제들을 중심으로 그 틀을 구성할 수 있다(Cheek, 1992). 한편, STS 학습지도 내용과 소재는 도덕적·사회적 특성을 지닌 과학적 개념이나 현상(Solomon, 1993), 당시의 과학지식 체계, 과학지식이 응용되는 생활과 사회적 상황, 과학 및 과학기술로부터 야기된 사회적 문제 등에서 선정할 수 있다. 특히, 인간 게놈 연구, 복제 기술, 핵 기술, 삼림의 개발 등 과학지식과 기술이 응용되는 생활·사회에서 선정한 내용과 사회적으로 논란거리가 되고 있는 것들은 과학기술적·

경제적·사회적·문화적 가치가 내재된 윤리적 문제를 안고 있다. 이런 문제들의 본질은 그것이 미치는 긍정적인 영향뿐만 아니라 부정적인 측면을 통해서 더욱 분명하게 이해할 수 있다(조희형, 1994; 최경희, 1996).

Ⅲ. 현대의 학습심리학

과학교육학의 구성요소로 과학철학·사회학과 더불어 심리학도 들 수 있다. 학습지도 모형은 학생들이 학습하는 방법, 즉 학습자가 지식을 구성하는 과정에 따라 사회적 학습설, 정보처리설, 개인적 모형설, 행동주의설의 네 범주로 대별되는(Joyce & Weil, 1996) 학습의 형태에 따라 서로 다르게 구성된다. 학습이론은 학습심리학에 그 이론적 배경을 두는데(Lawson, 1994), 특히 현대의 과학 학습이론은 발달심리학, 행동주의, 그리고 구성주의에 그 바탕을 둔다(Driver, 1982). 여기서 말하는 구성주의는 인식론적 입장(Tobin & Tippins, 1993)과 사회학적 관점(Ernest, 1995) 그리고 심리학적 견해에 따라(McInerney & McInerney, 1994; Resnick, 1989) 서로 다른 의미로 해석된다. 인식론적 구성주의에 바탕을 둔 발달심리학 이론 또는 학습이론으로 피아제(J. Piaget)의 지능발달 이론(Inhelder, Sinclair, & Bovet, 1974)을 들 수 있다. 이 절에서는 현대의 심리학과 그 이론적 배경이 되는 구성주의, 피아제 등이 확립·발달시킨 발달심리학, 사회학적 관점에서 형성된 사회심리학에 관하여 조사·분석한 결과를 기술한다.

1. 현대의 심리학과 그 이론적 배경으로서의 구성주의

전통적 과학철학의 신조, 즉 과학에 대한 기준견해는 귀납주의(inductivism)로 일컬어지기도 하며(Losee, 1987), 특히 실재론적·절대론적 관념에 바탕을 두고 있다. 기준견해는 과학의 목적, 과학적 방법과 탐구 과정, 과학지식의 속성에 주된 관심을 가지며, 자연과학 지식이 궁극적으로는 객관적 실재(reality)와 절대적 사실에 의해 결정된다고 본다. 자연과학은 진리로 구성되어 있으며, 진리를 표현하지 않는 과학적 이론은 경험적 자료와 일치하지 않는다는 것이 확인되어 결국에는 기각될 것이라는 의미이다. 따라서, 이들이 가지는 세계관, 즉 실체론·인식론·가치론이 객관주의로 지칭되기도 한다(Davis, McCarty, Shaw, & Sidani-Tabba, 1993). 이들의 견해는 또 과학지식이 발견·발달되는

과정도 자연에 의해 결정된다고 본다(Cole, 1992). 이들의 견해에 따르면, 자연과학의 목적은 인간의 지각 밖에 존재하며 인식될 수 있는 실재의 확인에 있으며, 과학교육의 목적은 자연의 실재에 가까운 전문가의 지식을 학생들에게 그대로 전달해 줌에 있다(Davis, McCarty, Shaw, & Sidani-Tabba, 1993). 이처럼, 전통적 과학철학은 실재론적 형이상학과 절대론적 인식론을 근간으로 구조화되어 있다. 이런 과학철학에 바탕을 둔 전통적 학습심리학은 행동을 심리학적 법칙과 이론으로 설명할 수 있다고 보고(Manicas & Secord, 1983), 특히 행동주의는 이를 근거로 학습지도의 목적으로 지식체계의 이해와 귀납법·연역법·가설-연역법 등과 같은 논리적 추리력의 습득을 강조한다(Driver, 1982).

그러나 현재는 전통적 과학철학이 지식·실재·과학·과학지식 그리고 과학적 방법 등에 대한 대체적 관점을 제공하는 현대의 과학철학과 구성주의에 의한 비난을 받고 있다. 과학철학자들은 기준견해와 대비되는 현대의 인식론, 또는 체계관(Davis, McCarty, Shaw, & Sidani-Tabba, 1993)을 구성주의로 통칭한다. 구성주의는 과학지식을 인식의 주체에 의한 능동적 구성으로 보고, 인식을 적용 기능과 경험세계의 조직화로 본다(Wheatley, 1991). 구성주의는 관념론과 상대주의를 받아들여(Donmoyer, 1985; Driver, Leach, Millar, & Scott, 1996; Radder, 1996) 과학적 문제가 사회적 상황에서 사회적 과정을 통해서 해결된다고 주장함으로써 과학지식이 사회적으로 구성됨을 강조한다. 과학지식은 경험적 증거의 평가에 적용하는 일련의 합리적 규칙을 응용한 결과가 아니라 우연한 발생, 특정한 도구의 사용, 특정 물질의 이용, 실험실 내의 사람들 사이나 그들과 실험실 밖의 사람들 사이의 협상 등을 통해 형성된다(Steffe & Gale, 1995)고 볼 수도 있다. 스스로를 상대주의자로 자처하는 구성주의자에 따르면, 과학자가 경험하는 세계는 과학사회가 참이라고 인정하는 과학지식의 형성에 아무런 영향도 미치지 않는다(Radder, 1996). 한 마디로, 구성주의는 인간이 실체를 아는 방법은 개인적이고 주관적이라고 믿는 인식론적 주장을 말한다(Tobin & Tippins, 1993).

구성주의는 실체가 존재하지만 경험의 한계 때문에 그것을 진리로 밝힐 수 없다는 가정을 전제로 하는 지식에 관한 신념으로서(von Glasersfeld, 1993), 지식이 능동적으로 구성되며 인식은 적용성이 있어서 경험 세계를 조직하는 기능을 한다는 두 가지 원리에 기초를 둔다(Cheek, 1992). 구성주의는 또 적어도 세 가지의 가정

에 의해서 특징지어진다(Cole, 1992). 첫째, 모든 구성주의는 과학을 매우 합리적인 활동으로 보는 전통적인 인식론적·방법론적 견해를 부정한다. 둘째, 대다수의 구성주의자는 과학적 문제를 해결하는 방법과 과정의 불완전성을 강조하고, 과학지식이 발달하는 바탕으로서의 경험적 세계의 중요성을 부정하거나 깎아내리는 상대주의의 인식론적 입장을 수용한다. 셋째, 모든 구성주의자는 인간이 실제로 파지하고 있는 자연과학 지식은 오로지 사회적 과정의 결과로 이해되며, 사회적 변인의 영향을 받는다고 주장한다. 이 세 가지 가정은 피아제의 지능발달 이론과 오슈벨의 유의미학습론을 포함한 인지론의 이론적 바탕이 되기도 한다. 피아제가 말하는 인지구조는 사회적 과정을 통해 성장·발달하며, 오슈벨이 말하는 인지구조는 학습할 내용이 의미있게 연결됨으로써 더욱 분화된다(박승재와 조희형, 1994). 구성주의는 또 과학의 다면성을 강조하고 과학 학습지도의 목적으로 암묵적(tacit) 과학지식과 개인적 의미의 구성을 강조한다(Driver, 1982).

구성주의는 인식론적 신념을 강조하는 급진적 구성주의(radical constructivism)(Bettencourt, 1993; von Glasersfeld, 1993), 학습에 미치는 문화적 영향을 중요시하는 상황적(contextual) 구성주의(Cobern, 1993), 그리고 지식의 사회적 구성과 교육의 사회적 과정을 강조하는 사회적 구성주의(Shotter, 1995)로 분류된다. 구성주의는 이외에 전통적 경험주의, 정보처리설, 사소한 구성주의, 사회문화적 인식론, 사회적 구조주의(constructionism) 등으로 소분화된다. 사회적 구조주의는, 사회적 구성주의가 사회보다 개인을 더 강조함에 비해, 개인보다 사회를 더 중요시한다. 그러나 모든 구성주의가 과학교육학의 패러다임으로 작용한다. 구성주의는 또 지식을 개인이 세계로부터 의미를 발견한 것이 아니라 그에 관한 의미를 창조함으로써 개인에 의해 구성된 설명체계로 간주한다(Steffe & Gale, 1995). 구성주의는 아는 방법과 과정에 대한 사고 방식이며, 특별히 이런 의미의 구성주의는 학습·교수·교육과정의 모형을 구성하기 위한 지시대상(referent)으로 이용될 수 있다. 전통적 심리학과 달리, 구성주의는 그 신조에 상관없이 행동은 물리학적·화학적·생물학적·심리학적·사회학적 체계를 바탕으로 하기 때문에, 한두 개의 심리학적 법칙이나 이론으로 설명할 수 없다고 주장한다(Manicas & Secord, 1983).

연구자에 따라서는 구성주의가 인식론으로부터 심리학적 이론으로 간주되기도 한다. 구성주의를 심리학적

이론으로 받아들이는 심리학자들은 지식이 학습자에 의해 능동적으로 구성된다고 보는 인식론적 가정을 바탕으로 학습을 인지구조의 변화로(Prawat & Floden, 1994), 또는 현재의 지식을 이용해 경험을 이해하는 사회적 과정(Tobin, Tippins, & Gallard, 1994)으로 정의한다. 과학과 과학지식의 사회학적 특성을 중요시하는 구성주의는 학습을 자기-조직(self-organization)의 산물로 정의한다(von Glasersfeld, 1991). 특히, 피아제의 전통을 이어받은 구성주의는 인식을 적응기능(adaptive function)으로 가정한다(von Glasersfeld, 1991). 심리학적 이론으로서의 구성주의는 또 특정 상황에서 일어나는 학습을 설명할 수 있고(Tobin, Tippins, & Gallard, 1994), 맥락론(contextualism)·유기체론(organicism)의 세 가지 세계관 가운데 어떤 것을 이론적 배경으로 받아 들이느냐에 따라 급진적 구성주의와 사회적 구성주의로 구분된다(Prawat & Floden, 1994). 전통적 정보처리 이론은 그 이론적 배경으로 기계론에, 급진적 구성주의는 유기체론에, 그리고 사회적 구성주의는 맥락론에 바탕을 둔다. 이런 이론적 배경에 비추어 볼 때, 과학교육학자들이 흔히 말하는 구성주의는 사회적 구성주의임을 알 수 있다. 사회적 구성주의자들은 과학지식이 개인의 경험이 아니라 집단내 상호간의 협동을 통해 구성된다고 강조함으로써 위에서 말한 구성주의자들과 다름을 주장한다.

2. 발달심리학과 인지론

발달심리학은 개인의 지적·정서적·사회적 과정의 전개에 관심을 두는 심리학의 한 분야로서 신체적·지적·정의적·사회적 발달의 소영역으로 나뉜다(서울대학교 교육연구소, 1994). 발달심리학은 20세기 초에 홀(G. S. Hall)에 의해 심리학의 분과로 확립되었으며, 당시에는 평생에 걸친 변화를 대상으로 하는 심리학 분야로 받아들여졌다(Reber, 1995). 최근의 발달심리학자들은 학습에 영향을 미치는 요소로 나이와 관련이 있는 요인의 존재를 가정하고(Driver, 1992), 여러가지 발달단계, 성장의 원리와 법칙, 경험과 그 실행이 발달에 미치는 영향 등의 탐구에 흥미를 나타낸다(Chaplin, 1985).

인지심리학은 내적·정신적 과정을 강조하는 심리학의 일반적 접근법으로서(Reber, 1995), 또는 심리학의 한 분야로서(Chaplin, 1985) 감각·지각·기억·사고의 과정을 연구의 대상으로 삼으며, 행동에 대한 목적·

지식·이해·추리의 중요성을 강조한다. 인지심리학적 견해는 지각·학습·사고에 대한 연합론의 연구법을 부정하는 형태설에 의해 처음으로 제기되었으며, 피아제의 지능발달 이론과 톨만(E. C. Tolman)의 기호학습설 그리고 정보처리설 등에 의해 인지론으로 확립되었다(Bower & Hilgard, 1981; Hergenhahn, 1982).

행동주의에 비판적인 입장을 취하는 인지심리학자들에게 의하면, 행동은 가시적 특성으로 기술할 수 있는 속성이 아니라 정신적 사건·표상화·의도 등에 의해 설명되어야 한다. 그렇다고 인지심리학이 반행동주의는 아니다. 행동주의는 사고·언어·의사결정 등과 같은 인지적 과정을 충분히 설명하지 못하는 심리학적 이론에 지나지 않기 때문이다(Reber, 1995). 발달심리학 또는 인지심리학을 받아들이는 과학교육학자들은 이를 근거로 학생들이 파지하고 있는 개념의 변화를 지식의 획득, 또는 학습으로 본다(Carey, 1985). 특히, 발달심리학자들은 과정으로서의 과학을 중요시하고 과학 학습의 목적으로 사고기술의 습득을 강조한다(Driver, 1982).

발달심리학과 인지론의 대표적인 이론으로 피아제의 지능발달이론과 오슈벨의 유의미학습론을 들 수 있다. 과학교육 현장에서 피아제의 이론은 교수 이론(Bruner, 1960), 과학적 방법과 형식적 사고 기능의 함양(SCIS, 1974), 과학 교육과정의 개발(Shayer & Adey, 1981), 학습 방법 및 평가(Lawson, 1995) 등에서, 그리고 오슈벨의 학습론은 선행조직자와 개념도(Novak, 1977) 그리고 인식론적 브이(V)(Novak & Gowin, 1984)를 이용한 학습지도에 광범위하게 적용되었다. 그러나 이 두 가지 이론을 포함한 인지론과 발달심리학은 적용상의 한계와 문제를 지니고 있어서 특정 주제와 영역에 제한적으로 적용되고 있을 뿐이다(Driver, 1982).

인지심리학적·발달심리학적 방법이 선행지식과 오인에 대한 연구에 효과적으로 적용되는 면도 없지 않다. 일부의 발달심리학자(Carey, 1985)는 피아제가 말하는 인지구조의 변화를 큰 변화와 작은 변화로 구분하였음에 비하여, 드라이버(Driver, 1982; Driver & Easley, 1978)는 피아제의 인지구조 대신에 개념적 체계인 대체적 틀(alternative framework)을 제시하고 그에 따른 학습지도 방법을 제안하였다. 웨스트와 파인즈(West & Pines, 1985)는 드라이버보다 한 걸음 더 나아가 우주관·상대성이론 등과 같이 그녀가 말하는 대체적 개념 틀보다 더 포괄적인 개념의 인지적 특성과 그것이 학습지도 과정을 통해 변화되는 양상을 설명하였다.

3. 사회심리학과 개념체제 이론

일반적으로, 전통적 심리학은 방법론적 개인주의에 바탕을 두어 개인과 개인의 특성에 대한 지식의 추구에 목적을 둔다. 이와 대조적으로, 사회학 또는 사회과학은 인간에 의해 조직화된 사회적 구조, 서로 다른 구조간의 관계, 사회적 구조와 실제의 관계 등에 관심을 집중한다. 한편, 사회심리학은 이 두 영역을 포괄하는 학문간(interdisciplinary) 탐구이다. 사회심리학은 서로 간에, 또는 제반 사회적 제도와 상호간에 미치는 영향, 그런 활동과 더 포괄적인 사회적 구조의 관계들에 주된 관심을 가진다(Manicas & Secord, 1983).

사회심리학에 이론적 배경이 있는 기호상호작용주의(symbolic interactionism)와 문화기술방법론(ethnomethodology)이 보여주듯이, 사회심리학은 개인의 행동과 사회적 구조를 다름으로써 심리학과 사회학을 중개하는 역할을 한다. 사회심리학은 또 개인의 관점에서 경험에 대한 접근법을 적용하지만, 개인이 사회에 소속되어 있기 때문에 개인에 대한 연구는 결국 사회에 대한 연구라는 가정을 기초로 한다. 사회심리학은 일상생활 상황에서 개인과 그의 행동을 대상으로 한다는 점에서 실험심리학과 구분된다(Manicas & Secord, 1983).

방법론적으로는 사회심리학과 실험심리학을 구분하기 어렵다. 정의에 의하면, 사회심리학은 실험실에서 사회적 변인을 통제하는 실험을 실시해야 한다. 그러나 사회적 변인은 매우 복잡하기 때문에 통제하기 어렵고, 따라서 순수한 의미의 실험을 실시하기도 쉽지 않다. 그러므로 실제적 상황에서 수행된 행동에 대한 연구의 결과는 그 행동에 대한 부분적인 지식과 이해만을 제공한다. 개방된 체계에서 일어나는 현상의 이해에는 다른 조건과 상황에 대한 지식은 물론이고 전기적·역사적 지식도 필요하다(Manicas & Secord, 1983).

IV. 현대의 과학교육

현대의 과학교육은 과학사회학 및 과학지식사회학이 통합된 현대의 과학철학과 심리학에 바탕을 둔다. 현대의 과학철학과 심리학은 과학교육의 본성을 전통적 과학철학과는 다른 의미로 해석하며, 과학기술 소양 및 STS 소양과 의사결정력을 그 목적으로 제시한다. 또한, 과학 교육과정을 학습과제로 정의하고 그 내용으로 과학 및 기술의 윤리적 측면을 강조한다. 과학의 학습지

도 방법으로는 사회적 상황과 민주적 절차에 따른 협동 학습법과 토론학습법을 중요시하며, 평가 방법에 관해서도 임상실험법과 같은 새로운 관점을 제시한다. 이 절에서는 현대의 과학철학과 심리학이 시사하는 과학교육의 정의, 그 목적, 과학 교육과정, 과학의 학습 및 학습지도, 그 평가에 관하여 조사·분석한 내용을 요약·정리한다.

1. 과학교육의 정의

과학교육은 과학 및 과학철학, 심리학 및 심리철학, 교육학 및 교육철학, 사회학 등과 밀접한 관련을 맺고 있어서 어떤 분야의 신조를 더 강조하느냐에 따라 서로 다른 의미로 정의된다(박승재와 조희형, 1994; 조희형, 1988). 일반인들은 과학교육을 과학에 관한 지식과 태도의 교육, 또는 현상을 과학적으로 관찰하여 처리할 능력을 양성하는 교육으로(이희승, 1994), 그리고 교육학자들은 이보다 더 좁은 의미로 과학적 지식과 방법론의 이해를 목적으로 행하는 교육, 즉 자연현상을 과학적으로 관찰·처리하여 얻은 원리와 법칙을 이해함으로써 일상적인 생활·행동에서 바람직한 방향으로의 변화를 기대하는 교육으로(서울대학교 교육연구소, 1994) 정의한다. 과학교육학자들은 아래와 같이 과학교육을 이 둘보다도 더 조작적으로 정의한다.

- 과학교육은 과학 속의 교육(education in science), 또는 과학에 관한 교육(education about science)이다. 과학 속의 교육은 소수의 사회인에게 과학적 지식·기능·능력과 과학적으로 바람직한 행동의 질을 제공하는 행동·과정이 관련된 인간의 행위물, 과학에 관한 교육은 모든 사회인에 과학적 지식·기능·능력과 사회적으로나 과학적으로 바람직한 행동의 질을 제공하는 행동·과정이 관련된 인간의 행위물 말한다(Barrentine, 1986).
- 교육은 학생들이 무엇을, 왜, 어떻게 특정한 지식·기능·태도 등을 배우는지를 다루는데, 과학교육은 과학을 학습하는 개인에 관심을 가진 교육의 일부이다(Yager, 1978).
- 과학교육은 과학과 사회의 접면(interface)이다(Hofstein & Yager, 1982).
- 과학교육은 과학을 교수하기 위해, 즉 이미 생성된 지식의 교수와 새로운 지식의 추구에 이용할 개선된 방법과 자료의 발견·개발·평가에 전념하는 학문이다.

다. 과학교육은 지식을 추구하는 학생들을 교수하는 과정이 관련되어 있다(Good, Herron, Lawson & Renner, 1985).

이와 같이, 과학교육학자들은 과학교육을 과학자의 입장(Good, Herron, Lawson, & Renner, 1985), 심리학자의 관점(Yager, 1978), 교육학적 견해(Barrentine, 1989), 사회학적 측면(Hofstein & Yager, 1982; Ziman, 1980; Ziman, 1984) 등 가운데 어떤 것을 더 강조하느냐에 따라 조금씩 다른 의미로 정의한다. 전통적으로는 과학교육이 과학의 본성에 대한 관점과 학습 심리학적 견해 그리고 교육사상적 신조에 따라 정의되었으나, 오늘날에는 사회학적 입장에서 그것의 정치적·경제적·문화적 특성도 강조된다. 과학교육은 또 과학과 교육학만으로 정의되기도 하였는데(Bybee, 1993), 과학교육학자들은 과학의 내용과 과정을 개인적·사회적 상황에서 제시해야 한다고 주장함으로써 과학적 측면보다는 교육학적 측면을 더 강조한다.

예거(Yager, 1978)는 교육을 응용분야로 특징짓고, 그에 따라 과학교육을 과학과 사회의 상호작용에 관한 연구, 즉 과학이 사회에 미치는 영향과 사회가 과학에 미치는 영향에 관한 연구에 관심을 가진 학문으로 정의한다. 그가 몇 년 후에는 과학교육에 연구·교육과정·수업·교수법의 관계를 포함시켰다(Yager, 1984). 한편, 바이비(Bybee, 1977)는 과학교육을 과학지식, 과학적 방법, 아동발달 등 그 구성요소로 특징짓기도 한다. 그는 나중에 발표한 논문(Bybee, 1987; 1993)에서, 과학교육은 과학의 구체적인 내용·과정·기술과 교육의 목적이 통합되어 있다고 주장하는데, 이는 곧 과학교육이란 그 구성요소뿐만 아니라 과학과 그 교육에 대한 인식에 따라서 그 의미도 달라질 수 있음을 시사한다.

과학교육은 과학과 사회의 변화에 따라 서로 다른 의미로 정의되어 왔지만, 현재는 대체로 과학의 교육(education of science) 또는 과학을 통한 교육(education through science)으로 해석되고 있다. 과학의 교육은 과학에 관한 교육(education about science)으로서 교육학의 연장이거나 교육학의 한 독특한 분야로서 물질과 생물계의 지식, 그것을 추구하는 과정과 방법 등으로 이루어진 과학의 본성에 대한 교육을 말한다. 한편, 과학을 통한 교육은 과학에 의한 교육(education by science)으로 일컬어지기도 하며, 교육학 이론·방법에 따라 과학적 개념·법칙·이론·방법 등을 이용하는 응용교육학을 의미한다(조희형과 박승재,

1995). 이처럼, 과학교육은 그 정의에 관계없이 과학과 밀접한 관계를 맺고 있다.

2. 과학교육의 목적

과학교육의 의미와 특징은 그 목적에 의해서도 나타낼 수 있다. 과학교육 목적의 중요도와 강조도에 따라 교육과정의 구조가 결정되며, 그 조직을 검사·분석하여 과학 교육과정과 학습지도의 차이를 확인할 수 있다. 과거 200여 년의 미국 과학교육사를 분석해 볼 때, 과학 지식의 이해, 과학적 방법의 이해와 응용, 그리고 개인적·사회적 발달의 함양이라는 세 가지 목적이 과학의 교육과정과 학습지도 방법의 틀이 되었다. 그런데 각 목적의 중요도와 강조도 그리고 각각의 세부적인 내용이 시대에 따라 변했다(Bybee & DeBoer, 1994). 또한, 과학자의 입장에서는 과학을 물리화학적·생물학적 지식과 그런 지식을 탐구하는 과정으로 규정하고, 과학교육의 목적을 그런 과학지식과 탐구 기능의 전수에 두었다(DeBoer, 1991).

오늘날 각급 학교와 과학교육계에서는 과학교육의 종합적인 목적으로 과학적 소양(scientific literacy)을 중요시한다. 과학적 소양은 허드(P. DeH. Hurd)가 1950년대 말에 처음으로 사용한 이래 그 의미가 많이 변했다. 과학적 소양이 처음에는 과학의 이해와 사회적 응용으로 정의되었으나(DeBoer, 1991), 현재는 수학·과학·기술이 상호의존적인 인간기획으로 정의된다. 이 정의에 의하면, 과학적 소양인은 과학의 핵심적 개념과 원리를 이해하고, 자연세계에 친밀하고 그것의 다양성과 통일성을 인식하며, 개인과 사회의 목적을 달성하기 위해 과학지식과 과학적 사고방식을 이용할 줄 아는 사람이다(AAAS, 1989).

일찍이, 펠라(Pella, 1967)는 100여 개의 논문을 조사·분석하여 과학적 소양으로 ① 과학과 사회의 관계, ② 과학의 윤리, ③ 과학의 본질, ④ 개념적 지식, ⑤ 과학과 기술, ⑥ 인문학 속의 과학을 지칭하고 있음을 확인하였다. 한편, 미국의 국가연구위원회(NRC, 1995)는 과학적 소양을 개인적 의사결정에 필요한 과학적 개념과 과정에 관한 지식과 이해, 문화적·시민적 업무에 관여, 경제적 생산성 등으로 특징짓는다. 국가연구위원회는 과학적 소양에 신문·잡지·TV의 과학과 관련된 기사를 이해할 수 있고, 결론의 타당성에 관한 사회적 의사소통에도 참여할 수 있으며, 증거에 입각하여 논증을 펴고 평가하여 그 과정에서 도출한 결론을 응용할 줄 아

는 능력을 포함시키기도 한다. 국가연구위원회는 또 그것이 의미하거나 암시하는 바를 다음과 같이 제시한다.

- 과학적 소양은 일상생활 경험에 관한 호기심에서 도출한 의문을 제기하고 그 답을 찾고 결정할 수 있다.
- 자연현상을 서술·설명·예측할 수 있는 능력을 갖는다.
- 국가와 지방 수준에서 이루어지는 정책 결정의 기저가 되는 과학적 문제를 확인하여 과학적·기술적 상식으로 그에 관한 입장을 표현할 수 있다.
- 과학정보의 질을 그 출처와 그것이 생성된 방법을 바탕으로 평가할 수 있다.

과학적 소양에는 과학에 대한 어휘력, 과정으로서의 과학에 대한 인식, 과학의 상황에 대한 중요성, 과학교사·학생의 과학에 대한 관점 등도 포함된다(Rhoton & Bowers, 1996). 그러므로 과학적 소양인은 특정한 지식 또는 능력을 지닌 교육을 받은 사람을 지칭하기도 한다. 그렇다고 그들이 전문인과 마찬가지로의 지식과 능력을 가질 필요는 없다. 자신이 가지고 있는 과학기술의 기결과 지식을 이용하여 일상생활 과정에서 접하는 많은 관념·주장·사건을 생각하고 이해할 줄 아는 사람을 소양인이라 한다. 당연히, 과학적 소양을 지닌 사람이라면 사건을 예민하게 관찰하고, 그것을 꼼꼼히 궁리하고, 그 설명을 이해할 수 있는 능력을 갖는다. 그들이 하는 내적 지각과 숙고는 의사결정과 행동의 근거를 제공한다(AAAS, 1993).

과학적 소양은 물리·화학·생물 등 각 분야별 소양으로 세분할 수 있다. 생물학적 소양인은 생물학의 통합적 원리와 주요한 개념, 인간이 생물권에 미치는 영향, 과학적 탐구의 과정, 생물학 개념의 역사적 발달 등을 이해해야 한다. 생물학적 소양을 지닌 사람은 또 과학적 조사에 관한 적절한 개인적 가치, 생물학적·문화적 다양성, 생물학과 생물공학이 사회에 미치는 영향, 생물학의 개인적 중요성 등을 인식한다. 생물학적 소양은 또 창의적으로 사고하고, 자연에 관한 질문을 할 수 있으며, 정보를 논리적이고 비판적으로 추리하고 평가하며, 기술을 적절하게 이용하고, 생물학적 문제와 관련된 개인적이고 윤리적 의사결정을 하며, 지식을 이용하여 실제 세계의 문제를 해결할 수 있는 능력을 말한다(BSCS, 1993).

과학적 소양은 체계적인 조직체로서 그 구성요소에 의해서도 설명될 수 있다. 과학적 소양은 ① 과학 내의

본질적인 개념, ② 과학적 활동의 본성, ③ 사회·문화에 있어서 과학의 역할로 구성되어 있다. 당연히, 이 세 가지 능력과 소양을 가진 사람을 과학적 소양인으로 볼 수 있다. 이 요소에 비추어, 과학적 소양은 과학을 지적·종교적 인간사의 한 분파로 보는 이해라고 말할 수도 있다. 즉, 과학적 소양은 역사적·문화적 소양의 한 부분이다. 진보는 과학적 합리라는 여과기를 거치면서 한정된다는 것을 이해하는 사람은 누구나 과학의 내용을 많이 알지 않더라도 과학적 소양인이 될 수 있다(Bauer, 1994).

과학적 소양은 전문적 용어를 적절하게 이용하고, 과학적 개념·과정을 응용하는 등의 다양한 방법으로 드러난다. 또한, 학생들이 가지고 있는 소양은 개인이나 영역에 따라 다르다. 어떤 학생은 생물학 분야에 비교적 많은 소양을 가지고 있을 수 있으며, 다른 학생은 물리학 분야에 더 많은 식견을 가지고 있을 수 있다. 과학적 소양은 어느 한 시점까지만 획득되는 것이 아니라 평생 동안 신장되며, 그 정도와 형태가 개인마다 다르다(NRC, 1995). 특히, 1960년대 이후부터는 과학적 소양의 의미가 더욱 확장되어 모든이, 특히 일반 학생들을 위한 과학교육의 목적으로 중요시되고 있다(Shamos, 1995).

이상에서와 같이, 과학적 소양은 과학자, 과학교육 연구자·저자에 따라 다른 의미로 해석된다. 그러나 일반적으로는 과학적 소양이 주요한 과학분야의 발달·방법론·성취·문제를 익히 알고 있는 능력과 정도, 즉 대중매체를 통해 거론되고 있는 과학을 읽고 이해할 수 있는 기능과 지식을 말한다(DeBoer, 1991). 대중매체에서 논의되는 과학은 전문적인 것이라기보다는 대중적인 것이 보통인데, 이에 대한 과학적 소양도 과학과 사회의 상호작용, 과학의 윤리, 과학의 본성, 개념적 지식, 과학과 기술, 그리고 인문학 속의 과학 등의 영역으로 나눌 수 있다(Pella, 1967). 과학적 소양이 현재는 과학기술 소양으로 일컬어지기도 하며, 그 능력이 과학·기술의 개념·원리·과정에 대한 이해만으로는 달성될 수 없고 이와 더불어 사회의 통합적 부분으로서의 과학과 기술에 대한 이해가 필요하다(Bybee & DeBoer, 1994).

현대의 과학자와 과학교육학자들이 그렇듯이, 과학을 STS로 볼 경우에는 과학교육의 목적으로 과학적 소양 대신에 STS소양과 아울러 의사결정력의 함양을 주장할 수도 있다. STS의 교수/학습 모형을 구성하는 핵심적 골격은 의사결정 상황이며(Piel, 1993), 바로 이 점에 의해서도 그 교육의 목표들 가운데 하나로 의사결

정력의 함양(Solomon, 1993; Stahl & Stahl, 1995)을 들 수 있다. 의사결정은 문제해결을 지향한 활동의 선택 행위이며(서울대학교 교육연구소, 1994), 과학과 기술의 이해·연구·응용에 기본적인 기능이기도 하다(Yager, 1995). 일반적으로, 의사결정은 ① 결정해야 할 문제나 상황을 인식하고, ② 문제를 해결할 방법에 관한 정보를 수집·분석하고, ③ 문제를 해결할 수 있는 가능한 다양한 대안을 확인하고, ④ 그 대안들을 평가하고, ⑤ 최종적인 대안을 선정하는 절차에 따라 이루어진다(서울대학교 교육연구소, 1994).

의사결정은 미국과학진흥회(AAAS, 1993)와 전국과학교사협회(NSTA, 1990)에 의해서도 과학교육의 목적과 학습지도법으로 중요시되고 있다. 미국과학진흥회는 학생들이 사회적·환경적·정치적·기술적·과학적 사례 연구를 통해서 의사결정 기능을 신장시킬 수 있다고 본다. 미국과학진흥회는 또 문제에는 언제나 다양한 대안이 있기 마련이라고 보고 학생들이 가능한 많은 수의 대안이 지니는 장·단점을 검토하고, 각 대안의 특성과 그것을 선택함으로써 얻을 수 있는 이익과 해를 분석하며, 만일에 있을 위험과 그 위험을 감수해야 할 가치가 있는 대안을 조사하는 과정을 통해서 의사결정력을 기를 수 있다고 주장한다.

전국과학교사협회(NSTA, 1990)는 현재 윤리적 문제를 안고 있기 때문에 세계적·국가적·사회적 논쟁거리가 되고 있는 주제들 가운데에서 중등학교 학생들에게 적절하다고 여기어지는 10개를 선정하여 의사결정 과정을 통해 그 본질을 올바르게 인식하고 정당하게 해결할 수 있는 학습지도 자료를 개발하였다. 각 학습지도 자료는 ① 과학교사들이 과학적 연구에서 부단히 생겨나는, 그리고 학습지도에 유용한, 사회적 상황을 인식하게 하고, ② 학생들로 하여금 그들의 개인적·사회적·기술적 관심에 따라 그 문제를 기술하게 하고, ③ 학생들이 중요한 문제에 관한 반대 입장을 이해하려는 노력을 극대화하는 교수법을 실행해 볼 수 있게 개발되었다. 각 학습지도 자료는 또 개별적 토론학습이나 집단적 협동학습이 이루어지도록 구성되었다.

3. 과학 교육과정

과학 교육과정에 관한 핵심적 질문은 가르칠 내용이 무엇이며, 누가 그 내용을 결정해야 하는지에 관한 것이다(Davis, McCarty, Shaw, & Sidani-Tabba, 1993). 전통적 과학철학 또는 객관주의의 세계관에 따르면, 관

런 분야를 가장 잘 알고 있다고 생각되는 전문가가 교육과정의 내용을 선정해야 한다. 그러나 구성주의 관점에서 본다면, 교육과정 내용의 결정에 학습자도 주도적인 역할을 해야 한다. 학습자는 그에게 중요한 학습의 형태를 결정하고 그에 효과적인 수단을 탐색할 수 있다. 구성주의는 또 학생들이 이미 가지고 있는 사전지식 및 그들의 장애와 관련이 있는 기술을 습득하고 지식을 획득할 수 있는 기회를 제공하는 교육과정을 중요시하며, 단편적인 사실의 학습지도보다 사고과정과 관계의 구성을 위한 내용을 강조한다.

구성주의에 따르면, 과학 교육과정은 일련의 학습경험이다. 이런 포괄적인 의미의 교육과정에서는 지식과 학습자 그리고 학습이 이루어지는 문화적 환경을 별개로 다루지 않는다. 그러므로 구성주의 교육과정은 다면적 특성을 지니며, 역사적·사회적·정치적·경제적 상황과 학부모·행정가·교사 상호간에 미치는 영향을 포함한다(Tobin, Tippins, & Gallard, 1994). 구성주의를 수용하면 교육과정을 지식체거나 기능 및 기술의 나열이 아니라 학생들이 그런 지식을 획득하거나 기능과 기술을 습득할 수 있는 활동의 프로그램, 또는 학생들이 학습한 내용을 이해할 수 있게 조직된 학습의 경험으로 정의할 수도 있다(Driver & Oldham, 1986). 과학교육학자들은 이런 정의를 근거로 과학지식과 과학의 과정 및 기술로 구성된 전통적인 과학교육의 영역에 창의성·태도·응용을 포함시키고(McCormack & Yager, 1989), 과학 교육과정도 그 영역을 바탕으로 개발·개선시켜야 함을 강조한다(McCormack, 1992).

과학을 STS로 특징짓는다면, 교육과정의 내용으로 과학의 윤리적 특성을 중요시해야 한다(조희형, 1997). 과학의 윤리적 특성에 대한 교육의 필요성은 미국과학진흥협회(AAAS, 1993)에서 발행한 「과학소양표준기표(Benchmarks for Scientific Literacy)」와 국가연구위원회(NRC, 1995)의 「국가과학교육기준(National Science Education Standards)」에도 잘 나타나 있다. 「과학소양표준기표」에서는 학생들이 이해해야 할 과학의 요소로 과학의 조직, 사회적 구조, 학문적·제도적 특성, 윤리적 측면, 그리고 과학자의 역할의 다섯 가지 차원을 제시한다. 이 책에서는 또 ① 인간을 대상으로 하는 연구에서는 그가 연구의 대상자가 되거나 그 과정에 참여함으로써 얻을 수 있는 이익 또는 피해에 관하여 충분히 이해하고 참여를 거부할 수 있는 권한이 있음을 주지시키고, ② 과학자는 공동연구자, 학생, 이웃, 사회에 알리지 않고 그들의 건강이나 재산에 영향을 미치는

연구를 수행해서는 안되며, ③ 동물을 주의깊게 다루어야 함을 강조한다.

한편, 「국가과학교육기준」에서는 과학의 윤리적 특성에 대한 교육의 필요성을 직접 언급하거나 제시하지는 않고, 과학 및 STS 교육이 필요함을 강조함으로써 그 필요성을 간접적으로 암시해 준다. 「국가과학교육기준」에서는 과학 및 과학교육에 대한 현대적인 견해를 바탕으로 내용표준을 통합개념 및 과정, 탐구로서의 과학, 물상과 생물 그리고 지구와 우주, 과학과 기술, 개인적·사회적 관점의 과학, 과학의 역사와 본질의 여섯 영역으로 범주화하여 제시한다. 한편, 과학과 기술의 영역에서는 자연적 사물과 인공적 사물의 구분, 기술적 설계의 이해, 과학과 기술에 관한 이해를 강조하며, 개인적·사회적 관점의 과학 영역에서는 개인적 건강, 인구의 특성·변화·성장, 인구나 자원 및 환경, 자연 자원의 형태·위험, 환경의 변화와 위험·편익 그리고 질, 지역·사회·세계에 있어서의 과학과 기술 등에 관한 교육의 중요성을 역설한다. 또한, 과학의 역사와 본질의 영역에서는 인간에 의한 노력으로서의 과학, 과학의 본질과 역사, 과학지식의 본질, 과학의 역사적 관점 등 가치와 윤리적 문제를 다룰 내용을 포함시키고 있다.

4. 과학 학습과 학습지도

고전적 조건반사설, 연합론, 행동주의는 기계론적 세계관을 받아들여 학습을 조건화 과정 또는 자극과 반응의 연합으로 정의한다(Gholson & Barker, 1985). 이들의 이론은 대체로 생물이 자극에 능동적으로 반응하며, 강화·자극 등 외적 힘에 의해 변화된다는 패러다임을 바탕으로 확립되었다. 1930년대까지는 이런 행동주의와 함께 이른바 “유기체(organism)” 패러다임을 바탕으로 형태설(gestalt), 피아제의 지능발달 이론, 정보처리설 등이 확립되었다. 이런 학습이론들은 학습이 규칙·가설의 검증을 통해서 일어나고, 생물은 인지적으로 적극적이며, 변화는 내적 전환에 의해 일어난다는 것을 강조한다.

전통적 인식론자들은 실재론에 바탕을 두어 과학의 목적이 자연의 실재에 대한 복사물이나 복제물의 발견에 있다고 본다. 이런 인식론을 수용한 전통적 학습심리학의 정의는 교수와 학습이 같지 않음을 시사한다. 교사가 아무리 잘 가르칠지라도 학생들은 학습하지 않는 경우가 많다. 교사가 가르친 개념이 학생들의 머리 속에 전혀 기억되어 있지 않은 경우가 많다. 그러나 지식은

학습자의 마음 속에 구성된다고 주장하는 구성주의 심리학에 의하면, 교수가 있으면 학습이 일어난다. 학생들은 선행개념(preconception)이나 오인(misconception)을 가지고 있어서 그에 따라 학습 내용을 이해하고 학습한다(Bodner, 1986).

발달심리학과 인지론에 의하면, 유의미한 학습은 개인이 주변의 환경과 상호작용을 통해 자신의 이해를 구성하여 일어난다. 학습자들은 전환과정과 자율적 규제를 통하여 정보를 적극적으로 이해한다는 것이다(McInerney & McInerney, 1994). 구성주의와 마찬가지로 인지론도 학습자의 학습에 능동적인 참여를 강조하고 그 관심을 교사의 교수활동보다 학습자의 학습행위에 더 집중한다. 학습에 대한 주변 환경은 가정·동료·학교 등 사회적 대인관계 망(網), 개인의 지식과 이해 수준, 태도, 동기 수준, 흥미, 나이, 성 등 내적 변인, 그리고 외적 조건 등을 포함하는데, 이런 환경이 개인마다 다른 의미로 해석된다.

특히, 구성주의에는 학습이 경험을 바탕으로 한 능동적 활동으로서 그 과정을 통해 인지적 도식이 구성되고 정교화된다는 뜻이 함축되어 있다. 구성주의는 또 학습이란 사회적 상호작용과 환경에 대한 경험을 통해(Driver & Oldham, 1986) 의미를 협상하여 사회적 방법과 모형을 구성하는 주관적 활동으로 특징짓는다. 그러므로 구성주의의 실천에 효과적인 학습환경은 내용보다 활동으로 사고하는 것이 더 바람직하다. 구성주의에 따르면, 과학 교실에서는 의미를 토의하여 합의에 도달하게 하는 기회가 주어져야 하며, 전통적 방법인 설명-연습법이 아니라 문제중심의 교수법이 효과적이다(Wheatley, 1991).

문제중심의 학습지도 모형은 과제, 협동학습 집단, 역할분담(sharing)으로 구성된다(Wheatley, 1991). 과제는 학생들이 의심을 가질 확률이 높은 것, 즉 학생들이 문제를 쉽게 찾을 수 있는 학습지도 자료와 소재를 말한다. 전통적 수업에서 이용되는 교과서는 그런 자료나 소재를 선정하는 좋은 출처가 못되며, 학문의 핵심적 개념을 중심으로 구성하는 것이 좋다. 한편, 그런 주제는 협력정신의 함양에 목적을 둔 소집단에 의한 협동학습이 효과적이며, 그런 과제를 이용한 집단수업의 결과는 서로 공유해야 한다. 집단토의에는 모두 참여시키고 그 결과를 개인이나 학생이 아니라 전체 학급에 발표케 하는 것이 협력정신의 함양에 바람직하다.

현대의 과학철학과 구성주의 심리학에 의하면, 학습과 학습자에 관한 관점은 다음과 같이 요약된다(Driver

& Oldham, 1986): ① 학습자는 목적의식을 가지고 수업에 임하며, ② 지식은 개인에 의해 구성되며, ③ 개인의 지식과 신념은 그가 구성하는 의미에 영향을 미치며, ④ 의미의 구성은 능동적 과정이며, ⑤ 이해와 신념은 다르며, ⑥ 과학적 개념의 학습은 개념 변화이다. 이런 과학철학과 심리학적 견해를 수용하는 과학교사는 수업을 시작하기 전에 학생들이 이미 알고 있는 지식을 고려하고, 수업이 진행되는 동안에는 학생들이 의미를 교환할 수 있는 상호작용을 최대한 활용한다. 그러므로, 구성주의에 따른 과학 수업은 문제중심의 학습을 활용하는, 적은 수의 분단내 또는 분단간에 이루어지는 토론식 수업이 효과적이다(Tobin, Tippins, & Gallard, 1994). 가르칠 내용은 맥락화하고 의미있는 상황에서 제시해야 한다(Wheatley, 1991). 구성주의는 학습지도 내용의 논리적인 제시가 언제나 효과를 내지 않는 이유를 설명하며, 교수/학습의 방법에 대한 강조점도 학생들에게 주는 부담보다 그들 사이의 협상에 둔다(Bodner, 1986).

5. 과학교육 평가

과학의 학습평가는 과학교육 체제의 한 요소인 수업의 한 과정으로서 과학교육 평가체제의 한 요소이기도 하다(김창식 외, 1991). 바꾸어 말하면, 학습의 평가는 학습과는 물론이고 수업과도 긴밀한 관계를 맺고 있어서(정찬기외와 문승한, 1997) 그 목적과 방법은 학습에 대한 관점과 그 목표에 의해 결정된다. 행동주의는 학습을 행동의 변화로 정의하고 평가를 이미 규정된 표준상태와 비교하는 규범적 활동(김인식과 최호성, 1996)으로 특징짓는다. 그에 따르면, 학습평가의 목적은 행동의 변화를 알아보는 데 있음을 알 수 있다. 한편, 행동의 변화를 비교할 준거로는 학습지도 전에 선정·조직한 바람직한 행동이나 체계적인 지식과 같은 외부의 조건에 둔다. 이 점에서 객관적 선다형도 무난한 평가 방법으로 생각할 수 있다(박승재와 조희형, 1995).

그러나 그런 평가의 목적과 방법은 행동주의의 심리학적 견해에만 부합된다. 따라서, 과학교육학자와 현장의 과학교사들은 구성주의의 관점에서 과학의 학습을 정의하고 그에 따라 평가의 목적·내용·방법을 선정하려는 경향이다. 현대의 과학철학과 구성주의에 따르면, 과학의 학습은 인지구조가 변화되어 일어난다. 여기서, 인지구조의 변화는 새로운 개념이 기존 인지구조의 한 요소로 형성되는 것, 새로운 개념이 기존의 인지구조에

한 예시로 연결되어 더욱 분화되는 것, 새로운 개념에 의해 기존의 개념이 대치되는 것을 포함한다. 과학교육자와 과학교사들은 이런 견해를 받아들여 학습평가의 목적을 이미 설정된 인지구조의 상태가 아니라 그것이 학습지도를 통해 변화된 정도에 둔다(박승재와 조희형, 1995).

그런데 구성주의의 인식론적·심리학적 관점에서는 특히 학생들의 이해를 평가하는 일이 쉽지 않다. 학생들이 구성한 과학지식과 의미의 구조를 밝혀내기 위한 방법과 도구로 개념도와 인식론적 브이(V)(Novak & Gowin, 1984), 포트폴리오(portfolio), 수행중심 검사(performance-based test), 집단검사실시법(team test-taking approach) 등이 개발되어 있으나 현장에서는 효과적으로 이용되지 않고 있다. 구성주의에 따르면, 학습은 학생들이 파지하고 있는 과학지식의 구체적인 내용이 아니라 문제를 해결할 수 있는지의 여부에 따라 평가되어야 한다고 말할 수 있는데(Davis, McCarty, Shaw, & Sidani-Tabba, 1993), 이는 현대의 인식론과도 일치한다.

적 요

이 연구는 과학철학·심리학, 과학교육, 과학 교육과정·학습지도·평가 등과 관련이 있는 문헌을 조사·분석하고 그것이 과학교육의 여러 측면에 던져주는 시사점을 기술할 목적으로 수행되었다. 과학철학에 관해서는 전통적 과학철학과 현대의 과학철학 그리고 현대의 과학관으로 제기된 STS를 중심으로 조사·분석하였으며, 심리학은 전통적 심리학과 아울러 구성주의와 사회심리학을 그 대상으로 하였다. 한편, 과학철학과 심리학이 과학교육에 던져주는 시사점은 과학교육의 정의, 과학교육의 목적, 과학 교육과정, 과학 학습지도, 과학교육 평가를 중심으로 기술하였다. 이 연구에서는 과학교육을 과학에 의한 또는 과학을 통한 교육으로 정의했고, 과학교육의 목적으로 과학적 소양과 의사결정력의 함양을 강조하였으며, 과학의 교육과정에 과학의 윤리적 측면을 포함시켜야 함을 주장했다. 이 연구에서는 또 과학은 집단토의법과 협력학습법으로 학습지도되어야 하며, 그 결과의 평가는 인지구조가 변화된 정도의 측정에 주안점을 두어야 한다고 주장했다.

참 고 문 헌

- 김인식, 최호성(1996). 최신 교육과정 및 평가. 교육과학사.
- 김창식, 이화국, 권재술, 김영수, 김찬종(1991). 과학학습 평가. 교육과학사.
- 박승재, 조희형(1995). 학습론과 과학교육. 교육과학사.
- 서울대학교 교육연구소(1994). 교육용어사전. 하우.
- 이희승(1994). 국어대사전. 민중서림.
- 정찬기오, 문승환(1997). 교육과정 및 교육평가 특론. 교육과학사.
- 조희형(1988). 과학교육과정 및 과학 교수/학습의 이론적 배경과 미래의 과학교육에 대한 시사점. 한국과학교육학회지, 제8권 2호, 33-41.
- 조희형(1994). 과학·기술·사회와 과학교육. 교육과학사.
- 조희형(1997). 과학의 윤리적 특성 학습지도. 초·중등과학교육 워크샵(학교현장·적용을 위한 과학 탐구학습 지도방법 개선). 강원과학고등학교. 1997년 10월 31일.
- 조희형, 박승재(1995). 과학론과 과학교육. 교육과학사.
- 최경희(1996). STS 교육의 이해와 적용. 교학사.
- 한국과학교육학회(1996). 고등학교 과학교사 공통과학 실험연수교재. 교육부.
- AAAS(1989). *Science for all Americans*. Washington, DC: The author.
- AAAS(1993). *Benchmarks for science literacy*. Washington, DC: The author.
- Abimbola, I. O.(1983). The relevance of the "new" philosophy of science for the science curriculum. *School Science and Mathematics*, 83, 181-193.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D., & Hanesian, H.(1978). *Educational psychology: A cognitive view*, 2nd ed. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Barrentine, C. D.(1986). Science education: Education in, or about science? *Science Education*, 70(5), 497-499.
- Bauer, H. H.(1994). *Scientific literacy and the myth of the scientific method*. Urbana, Illinois: University of Illinois Press.
- Bettencourt, A.(1993). *The construction of knowledge: A radical constructivist view*. In K. Tobin(ed.) *The practice of constructivism in science education*. Hill-

- sdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Bodner, G. M.(1986). Constructivism: A theory of knowledge. *Journal of Chemical Education*, 63 (10), 873-878.
- Bower, G. H., & Hilgard, E. R.(1981). *Theories of learning*. 5th ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Boyd, R., Gasper, P., & Trout, J. D.(eds.)(1993). *The philosophy of science*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Brown, H. I.(1977). *Perception, theory and commitment: The new philosophy of science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Bruner, J.(1960). *The process of education*. Cambridge: Harvard University Press.
- BSCS(1993). *Developing biological literacy: A guide to developing secondary and post-secondary biology curricula*. Dubuque, Iowa: Kendall /Hunt Publishing Company.
- Bybee, R. W.(1977). The new transformation of science education. *Science Education*, 61(1), 85-97.
- Bybee, R. W.(1987). Science education and the science-technology-society(S-T-S) theme. *Science Education*, 71(5), 667-683.
- Bybee, R. W.(1993). *Reforming science education: Social perspectives & personal reflections*. New York: Teachers College Press.
- Bybee, R. W., & DeBoer, G. E.(1994). *Research on goals for the science curriculum*. In Gabel, D. L. (ed.) *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Bynum, W. F., Browne, E. J., & Porter, R.(eds.) (1981). *Dictionary of the history of science*. New Jersey: Princeton University Press.
- Carey, S.(1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Carnap, R.(1966). *An introduction to the philosophy of science*. New York: Basic Books, Inc.
- Chalmers, A. F.(1982). *What is this thing called science? 2nd ed*. Milton Keynes: Open University Press.
- Chaplin, J. P.(1985). *Dictionary of psychology*. New York: Laurel.
- Cheek, D. W.(1992). *Thinking constructively about science, technology, and society education*. Albany, New York: State University of New York Press.
- Cobern, W. W.(1993). *Contextual constructivism: The impact of culture on the learning and teaching of science*. In K. Tobin(ed.) *The practice of constructivism in science education*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Cole, S.(1992). *Making science: Between nature and society*. Cambridge: Harvard University Press.
- Davis, N. T., McCarty, B. J., Shaw, K. L., & Sidani-Tabba, A.(1993). Transitions from objectivism to constructivism in science education. *International Journal of Science Education*, 15(6), 627-636.
- DeBoer, G. E.(1991). *A history of ideas in science education: Implications for practices*. New York: Teachers College Press.
- Donmoyer, R.(1985). The rescue from relativism: Two failed attempts and an alternative strategy. *Educational Researcher*, 14, 13-20.
- Driver, R.(1982). Children's learning in science. *Educational Analysis*, 4(2), 69-79.
- Driver, R.(1983). *The pupil as a scientist?* Milton Keynes: The Open University Press.
- Driver, R., & Oldham, V.(1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- Driver, R., & Easley, J.(1978). Pupils and paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- Driver, D., Leach, J., Millar, R., & Scott, P.(1996). *Young people's images of science*. Buckingham: Open University Press.
- Duschl, R. A.(1990). *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York: Teachers College Press.
- Earman, J., & Salmon, W. C.(1992). *The confirmation of scientific hypotheses*. In M. H. Salmon

- et al. *Introduction to the philosophy of science*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Ernest, P.(1995). *The one and the many*. In L. P. Steffe, & J. Gale.(eds.) *Constructivism in education*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Feyerabend, P.(1975). *Against method*. London: Verso.
- Gholson, B., & Barker, P.(1985). Kuhn, Lakatos, and Laudan: Applications in the history of physics and psychology. *American Psychologist*, 40(7), 755-769.
- Gilbert, S. W.(1991). Model building and a definition of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 73-79.
- Good, R., Herron, J. D., Lawson, A. E., & Renner, J. W.(1985). The domain of science education. *Science Education*, 69(2), 139-141.
- Harms, N. C., & Yager, R. E.(1981). *What research says to the science teacher, vol. 3*. Washington, D. C.: NSTA.
- Hempel, C. G.(1966). *Philosophy of natural science*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Hergenhahn, B. R.(1982). *An introduction to theories of learning*, 2nd ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Hodson, D.(1991). *Philosophy of science and science education*. In M. R. Matthews. *History, philosophy, and science teaching: Selected readings*. New York: Teachers College Press.
- Hofstein, A., & Yager, R. E.(1982). Societal issues as organizers for science education in the '80s. *School Science and Mathematics*, 82(7), 539-547.
- Hull, R.(ed.)(1993). *ASE secondary science teachers' handbook*. Cheltenham, Glos: Stanley Thomes Ltd.
- Hunt, A.(1988). SATIS approaches to STS. *International Journal of Science Education*, 10(4), 409-420.
- Inhelder, B., Sinclair, H., & Bovet, M.(1974). *Learning and the development of cognition*. Cambridge: Harvard University Press.
- Jardins, J. R.(1997). *Environmental ethics: An introduction to environmental philosophy*, 2nd ed. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Joyce, B., & Weil, M.(1996). *Models of teaching*, 5th ed. Boston: Allyn and Bacon.
- Klee, R.(1997). *Introduction to the philosophy of science: Cutting nature at its seams*. New York: Oxford University Press.
- Kourany, J. A.(1987). *Scientific knowledge: Basic issues in the philosophy of science*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Kuhn, T. S.(1996). *The structure of scientific revolutions*, 3rd ed. Chicago: The University of Chicago Press.
- Lakatos, I.(1970). *Falsification and the methodology of scientific research programmes*. In I. Lakatos, & A. Musgrave.(eds.) *Criticism and the growth of knowledge*. London: Cambridge University Press.
- Laudan, L.(1990). *Science and relativism: Some key controversies in the philosophy of science*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Lawson, A. E.(1994). *Research on the acquisition of science knowledge: epistemological foundations of cognition*. In Gabel, D. L.(ed.) *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Lawson, A. E.(1995). *Science teaching and the development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Losee, J.(1987). *Philosophy of science and historical enquiry*. Oxford: Clarendon Press.
- Machamer, P.(1992). *Philosophy of psychology*. In M. H. Salmon et al. *Introduction to the philosophy of science*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Manicas, P. T., & Secord, P. F.(1983). Implications for psychology of the new philosophy of science. *American Psychologist*, April, 399-413.
- Margolis, J.(1984). *Philosophy of psychology*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Matthews, M. R.(1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. New York:

- Routledge.
- McCormack, A. J.(1992). *Trends and issues in science curriculum*. In Kraus International Publications (ed.) *Science curriculum resource handbook: A practical guide for K-12 science curriculum*. Millwood, New York: The editor.
- McCormack, A. J., & Yager, R. E.(1989). A new taxonomy for science education. *Science Teacher*, 56(2), 44-58.
- McGuire, J. E.(1992). *Scientific change: Perspectives and proposals*. In M. H. Salmon et al. *Introduction to the philosophy of science*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- McInerney, D. M., & McInerney, V.(1994). *Educational psychology: Constructing learning*. Sydney: Prentice Hall.
- Moser, P. K., & Nat, A. V.(1987). *Human knowledge: Classical & contemporary approaches*. Oxford: Oxford University Press.
- Mulkay, M.(1979). *Science and the sociology of knowledge*. London: George Allen & Unwin.
- Nagel, E.(1979). *The structure of science: Problems in the logic of scientific explanation*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Nersessian, N. J.(1991). *Conceptual change in science and in science education*. In M. R. Matthews. *History, philosophy, and science teaching: Selected readings*. New York: Teachers College Press.
- Newton, D. P.(1988). *Making science education relevant*. London: Kogan Page Ltd.
- Novak, J. D.(1977). *A theory of education*. Ithaca, New York: Cornell University Press.
- Novak, J. D., & Gowin, D. B.(1984). *Learning how to learn*. Boston: Cambridge University Press.
- NRC(1995). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- NSTA(1990). *Real science, real decisions*. Arlington, VA: The author.
- Pella, M.(1967). Science literacy and the high school curriculum. *School Science and Mathematics*, 67, 346-356.
- Phillips, D. C.(1983). After the wake: Postpositivistic educational thought. *Educational Research*, 12(5), 4-12.
- Phillips, D. C.(1987). *Philosophy, science, and social inquiry: Contemporary methodological controversies in social science and related applied fields of research*. Oxford: Pergamon Press.
- Piel, E. J.(1993). *Decision-making: A goal for STS*. In R. E. Yager(ed.) *What research says to the science teacher, vol. 7: The science, technology, society movement*. Washington, DC: NSTA.
- Popper, K. R.(1973). *Conjectures and refutations: The growth of scientific knowledge*. London: Routledge and Kegan Paul.
- Prawat, R. S., & Floden, R. E.(1994). Philosophical perspectives on constructivist views of learning. *Educational Psychology*, 29(1), 37-48.
- Radder, H.(1996). *In and about the world: Philosophical studies of science and technology*. Albany, New York: State University of New York Press.
- Reber, A. S.(1995). *Dictionary of psychology*. London: Penguin Books.
- Resnick, L. B.(1989). *Knowing, learning, and instruction*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Rhoton, J., & Bowers, P.(eds.)(1996). *Issues in science education*. Washington, DC: NSTA.
- Riggs, P. J.(1992). *Whys and ways of science: Introducing philosophical and sociological theories of science*. Carlton, Victoria: Melbourne University Press.
- Russell, J.(ed.)(1987). *Philosophical perspectives on developmental psychology*. New York: Basil Blackwell.
- SCIS(1974). *Science curriculum improvement study*. University of California.
- Shamos, M. H.(1995). *The myth of scientific literacy*. New Brunswick, New Jersey: Rutgers University Press.
- Shayer, M., & Adey, P.(1981). *Towards a science of science teaching*. London: Heinemann.
- Shotter, J.(1995). *In dialogue: Social constructionism and radical constructivism*. In L. P. Steffe, & J. Gale(1995). *Constructivism in education*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

- tes, Publishers.
- Solomon, J.(1993). *Teachig science, technology and society*. Buckingham: Open University Press.
- Stahl, N. N., & Stahl, R. J.(1995). *Society and science: Decision making episodes for exploring society, science, and technology*. Menlo Park, CA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Steffe, L. P., & Gale, J.(1995). *Constructivism in education*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Tobin, K., & Tippins, D.(1993). *Constructivism as a referent for teaching and learning*. In K. Tobin (ed.) *The practice of constructivism in science education*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Tobin, K., Tippins, D. J., & Gallard, A. J.(1994). *Research on instructional strategies for teaching science*. In Gabel, D. L.(ed.) *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan Publishing Company.
- Toulmin, S.(1967). *The philosophy of science*. London: Hutchinson University Library.
- Tyler, R. W.(1949). *Basic principles of curriculum and instruction*. Chicago: The University of Chicago Press.
- von Glasersfeld, E.(1991). *Cognition, construction of knowledge, and teaching*. In Matthews, M. R. *History, philosophy, and science teaching*. New York: Teachers College Press.
- von Glasersfeld, E.(1993). *Questions and answers about radical constructivism*. In K. Tobin(ed.) *The practice of constructivism in science education*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- West, L. H. T., & Pines, A. L.(ed.)(1985). *Cognitive structure and conceptual change*. New York: Academic Press, Inc.
- Wheatley, G. H.(1991). Constructivist perspectives on science and mathematics learning. *Science Education*, 75(1), 9-21.
- Yager, R. E.(1978). Priorities for research in science education: A study committee report. *Journal of Research in Science Teaching*, 15(2), 99-107.
- Yager, R. E.(1984). Defining the discipline of science education. *Science Education*, 68(1), 35-37.
- Yager, R. E.(1995). *Forward*. In N. N. Stahl, & R. J. Stahl(1995). *Society and science: Decision making episodeds far exploring society, science, and technology*. Menlo Park, CA: Addison-Wesley Publishing Company.
- Yager, R. E.(ed.)(1996). *History of science/technology/society as reform in the United States*. In R. E. Yager. *Science/Technology/Society as reform in science education*. Albany, New York: State University of New York Press.
- Ziman, J.(1980). *Teaching and learning about science and society*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ziman, J.(1984). *An introduction to science studies: the philosophical and social aspects of science and technology*. Cambridge: Cambridge University Press.