

과학교육과정 및 과학 교수/학습의 이론적 배경과 미래의 과학교육에 대한 시사점*

조 회 형

(강원대학교 사범대학 과학교육과)

(1988년 11월 30일 받음)

I. 서 문

지난 20여년 동안에 학생들의 “선행개념” 혹은 “아동의 관념”이 과학교육자와 심리학자들의 주된 연구 관심사가 되어왔다. 이 연구 결과가 과학교육계의 주요 학술지에 흥미하고, 책으로 발간되었으며(Driver, 1983; Carey, 1985; Driver, Guesne, & Tiberghien, 1985; West & Pines, 1985), 국제 학술 세미나의 주제가 되었고(Helm & Novak, 1983; Novak, 1987), 이에 대한 1,500여편의 연구결과를 인용한 문헌목록(Pfundt & Duit, 1988)이 나온 것을 보더라도 과학의 선행개념이 과학교육에 관한 연구에 얼마나 중요시되고 있는가를 알 수 있다.

아동의 관념에 관한 연구의 대부분은 그 이론적 배경을 과학철학과 심리학에 두고 있으며, 전통적인 경험주의 인식론과 행동주의에 바탕을 둔 심리학을 부정하고, 대신에 “새로운 과학철학(new philosophy)” (Brown, 1977) 혹은 “실증주의 이후의 인식론

(post-positivism)” (Newton-Smith, 1981)과 구성주의(constructivism) 심리학에 그 바탕을 둔다.

이 연구에서는 과학의 선행개념에 관한 연구의 이론적 배경이 되고 있는 인식론과 심리학을 알아보고 이를 바탕으로 미래의 과학교육에 대한 시사점을 도출하고자 한다. 이 연구의 구체적인 목적을 제시하면 다음과 같다.

(1) 과학의 선행개념에 대한 연구가 그 이론적 배경으로써 부정하는 경험주의와 실증주의의 인식론이 무엇인지를 알아보고, 과학교육과 관련하여 어떤 문제점이 있는지를 분석한다.

(2) 실증주의 이후의 현대인식론이 무엇인지를 조사, 분석한다.

(3) 행동주의의 학습론이 무엇인지 알아보고, 과학교육과 관련하여 어떤 문제점이 있는지를 분석한다.

(4) 구성주의의 학습이론을 조사·분석한다.

(5) 현대 인식론과 구성주의 학습이론의 분석결과를 바탕으로 미래의 과학교육에 대한 시사점을 제시한다.

II. 경험주의와 실증주의의 인식론

1. 경험주의와 귀납법

자연과학에 대한 가장 단순하고 전통적인 견해는 경험론(empiricism)이다. 경험주의자들은 과학지식의 출처가 경험에 있다고 보고, 지식을 얻는 방법으

* 이 논문은 1987년도 문교부 학술연구조성비 지원에 의해서 연구된 것으로서 제6차 IBRD 차관사업에 외거한 해외파견 연수(영국 Leeds대학교)중에 연구 되었음. 이 논문의 일부는 「Workshop on Research for students' conceptual structure and changes in Learning physics(1988. 12. 5-8, 서울대학교)에 발표 되었음.

로써 귀납법(inductive method)을 제시하며, 과학지식이 누적적으로 진보한다고 주장한다.

경험주의에 의하면 과학지식은 명제로 구성되어 있으며, 그 명제는 경험, 즉 관찰을 통해서 얻어진 사실에 대한 진술이다. 따라서 명제의 참 가치(truth-value)는 경험에 의해서 결정된다.

경험주의자들은 자연과학의 제반 법칙이 감각자료인 사실로부터 귀납적인 일반화에 의해서 얻어진다고 본다. 따라서 그들은 귀납법을 가장 이상적인 과학의 방법으로 받아들인다. 지식의 획득은 물론 정당화의 가장 이상적인 방법으로 인식되는 귀납법은 다음과 같은 절차로 구성되어 있다(Finley, 1983).

- (1) 관찰과 사실의 수집
- (2) 사실의 분석과 분류
- (3) 사실로부터 일반화의 귀납적 도출
- (4) 일반화의 검증

네 단계 중에서 처음 두 단계에서는 가설이 개입되지 않아야 한다. 만약 가설에 바탕을 두면 그 가설이 편견으로 작용하여 경험주의가 강조하는 과학의 객관성이 무너지기 때문이다. 위와 같은 단계로 이루어진 귀납법은 다음과 같은 기본 가정에 바탕을 둔다(Brown, n.d.)

- (1) 과학지식을 생성하는 방법이 있다.
- (2) 그 방법이 적절히 이용되면 절대적으로 참인 결과를 가져온다.
- (3) 그 방법은 새로운 발견을 제공하고, 그 발견의 참을 보장한다.

위 가정에 따른다면 과학지식이 형성되는 방법과 과정이 있으며 적절한 방법과 과정에 의해서 생성된 지식은 그 참이 보장된다. 또한 경험주의자들은 관찰의 객관성을 주장한다. 따라서 관찰 결과 얻어진 관찰 사실을 바탕으로 과학지식이 구성되며 관찰사실이 누적됨으로써 과학지식이 진보한다고 본다.

그러나 현대 인식론에 의하면 경험주의의 주장, 즉 지식의 원천으로서 경험과 관찰, 과학지식의 구성 및 정당화 방법인 귀납법, 과학지식의 누적적 변화에 대한 주장에 문제가 있음을 알 수 있다. 지식의 원천에 관한 문제는 관찰의 이론 의존성(theory-ladenness)에 의해서 제기된다. 현대의 인식론(Kuhn, 1970; Lakatos, 1970; Popper, 1968; 1972)에 의하면 관찰이 객관적이지 아니며, 관찰자가 파지한 선행지식에 의존한다. 선행지식은 관찰과 관찰된 사실의 조직을 결정

함으로써 관찰된 정보의 의미를 구성한다.

귀납법과 관련된 문제는 일련의 관찰사실로부터 법칙이나 이론으로 일반화되는 논리적 규칙이나 보편 절차가 없다는 사실에 의해서 제기된다. 실증주의 이후의 인식론에 의하면 과학적 현상으로부터 과학적 법칙 혹은 이론이 일반화되는 논리적이고 보편적인 절차나 과정이 알려져 있지 않다.

과학지식의 누적적인 진보는 과학지식의 원천이나 과학방법에 관한 문제만큼 결정적으로 부정되지 않고 있다. 단지 과학지식이 점진적으로 혹은 누적적으로 진보하느냐, 아니면 격변적으로 변화하느냐에 관한 문제는 현대 과학철학자들의 주요한 논쟁의 주제가 되고 있다.

2. 실증주의와 검증설 및 확증설

실증주의는 콤테(A. Comte, 1798-1857)에 의해서 붙여진 이름으로써 고전적 경험주의의 개선된 입장을 나타낸다. 실증주의는 명제의 입증(verification) 혹은 확증(confirmation)의 정도에 따라 논리 실증주의와 논리 경험주의로 분파된다.

비엔나를 중심으로한 논리 실증주의는 경험주의의 과격한 입장을 취하며 의미의 입증설(verification theory of meaning)을 제시한다. 명제가 입증될 수 있을 때만, 혹은 확증할 증거를 갖고 있을 때만 그 명제는 유의미하다. 명제의 참은 경험과 논리 혹은 수확과 같은 형식적 수단에 의해서 결정된다. 이것은 두 가지 형태의 지식이 있음을 의미한다. 논리 실증주의자들에 의하면 과학적 지식이 경험적 지식과 형식적 지식의 두 가지 형태로 나누어진다. 경험적 지식은 관찰에 의해서 그 참의 가치가 입증되며 관찰과 입증은 과학자의 과학활동을 이룬다. 형식적 지식은 분석적 명제로 구성되며, 그 참가치는 용어의 정의에 대한 분석 혹은 논리에 의해서 입증된다.

그러나 논리 실증주의는 경험주의의 중도적 입장을 취하는 논리 경험주의에 의해서 비판되고 있다. 논리 경험주의는 특히 논리 실증주의의 의미의 입증설을 부정하고, 대신에 확증설(confirmation theory)을 제시한다. 확증설에 의하면 과학적 명제가 결정적으로 입증될 수는 없으며, 증거에 따라 명제의 확증 정도가 증가될 뿐이다. 즉, 검증 결과에 의해서 과학 명제의 진위가 결론적으로 판명될 수 없으며, 지지하는 실험결과에 의해서 그 명제의 참일 가능성이 높다

거나 확증정도가 증가 되었다고 말할 수 있다는 것이 확증설이 의미하는 골자이다.

실증주의 이후의 현대 인식론자들은 위와 같은 입증설 및 확증설에 문제가 있다고 지적한다. 그들에 의하면 관찰 혹은 실험증거를 바탕으로 명제에 대한 확증 정도가 주어질 수 없다. 아무리 많은 실험과 관찰일지라도 유한한 것이며, 그 실험결과 및 관찰결과를 설명할 수 있는 설명체계가 무한히 구성될 수 있기 때문이다.

Ⅲ. 실증주의 이후의 인식론

1. 포퍼와 반증주의

포퍼(Popper, 1968)는 실증주의의 입증설은 물론 확증설까지 부정하고 반증설(theory of falsification)을 주장한다. 한편 경험에 의해서 반증될 수 있는 이론 혹은 가설만이 과학적인 것이라고 주장함으로써 경험주의의 입장을 취한다. 따라서 포퍼는 실증주의와 현대 인식론의 중간적 위치에 있다고 볼 수 있다.

반증설은 관찰에 의해서 이론이 반증은 될 수 있으나 검증 혹은 확증은 될 수 없다는 것을 의미한다. 만약에 어느 이론이 실험에 의해서 반증이 된다면 그 이론은 버려지나, 실험에 의해서 지지가 된다면 그 이론이 확증되었다거나 입증되었다고 하기 보다는 이 실험에 의해서는 그 이론이 반증되지 않았다는 것을 확인(corroboration)했을 뿐 이라고 말할 수 있다. 반증될 수 있는 이론만이 과학적 이론이라는 포퍼의 주장에 비추어 볼 때 과학적 이론이 절대적인 설명체계가 될 수 없고 단지 잠정적인 추측에 불과한 위치에 있게 된다. 포퍼에 의하면 과학은 잠정적으로 지식체계를 이루는 이론의 반증에 의해서 발달한다.

그러나 포퍼의 위와같은 반증설은 몇 가지의 문제점을 포함하고 있다. 그 중에서 가장 심각한 문제는 관찰에 의해서 한 이론이 반증될 때 제기된다. 이것은 현대 인식론이 주장하는 관찰의 이론 의존성에 의해서 문제시 된다. 만약 관찰이 이론에 의존한다면 관찰언명이 이론을 지지하지 않는 실험의 경우 정말로 반증 되어야 할 것이 그 이론인지 혹은 그 이론을 반증하는 관찰언명 인지를 확인할 방법이 없다. 이것은 관찰언명 자체가 신뢰할 만한 것이 못 되기 때문에 어느 이론을 결정적으로 반증할 수 없다는 것을 의미한다.

2. 라카토스와 연구프로그램

라카토스(Lakatos & Musgrave, 1970)는 포퍼의 모델을 개선하기 위해서 연구프로그램(research programme)을 제안했다. 연구 프로그램은 세 가지의 구성요소, 즉 부정적 발견법(negative heuristic), 보호대(protective belt), 그리고 긍정적(positive) 발견법으로 구성되어 있다.

부정적 발견법은 방법론적 규칙으로서 연구프로그램에 대한 일련의 기본적 가정들로 구성된 견고한 핵(hard core)으로 특징 지워진다. 일련의 이론적 언명인 기본적 가정들은 연구프로그램의 전통에 속한 과학자들에 의해 논파되지 않는다.

즉, 견고한 핵은 보조 및 관찰 가설과 초기 조건들로 구성된 보호대에 의해서 논파로부터 보호된다. 보조가설은 연구프로그램의 논파 가능한 변체로서 검증결과에 따라 조절되거나 대치됨으로써 견고한 핵을 보호한다.

긍정적 발견법은 또 다른 방법론적 규칙으로서 연구프로그램의 보조가설을 어떻게 변화 혹은 발전 시키느냐, 보호대를 어떻게 수정하고 정교화 하느냐에 관한 제안과 암시로 구성되어 있다. 또한 긍정적인 발견법은 연구자가 택해야 할 연구방향과 방법을 제시한다. 예를 들면 실험 기술의 개발 및 실험기구의 개선에 관한 연구 정책 등을 제시한다.

라카토스에 의하면 연구프로그램이 진보함에 따라 과학이 발달한다. 만약 한 연구프로그램이 새로 나타난 변칙적 사례를 조절하고 새로운 사실을 예측하는 한 그 프로그램은 전진적이며 그렇지 못한 경우 퇴행적이다. 경쟁 프로그램 중에서 가장 전진적인 프로그램의 연속적인 선정에 의해서 과학이 발달한다. 따라서 라카토스의 연구프로그램은 과학이 이성적(rational)으로 발달함을 보여 준다.

그러나 과학사에 비추어 볼 때, 라카토스의 연구프로그램 모델은 과학의 진보와 관련하여 문제점이 있음을 알 수 있다. 한 연구프로그램이 비가역적인 퇴행을 갖고 있다는 것을 명쾌하게 보여주는 방법이 없다. 실제로 한시기에는 퇴행적으로 판단된 연구프로그램이 진보적인 것으로 변화된 사례가 과학사에 흔히 나타났다.

3. 쿤 및 페이어아벤트와 비이성적 과학

라카토스와는 달리 쿤(Kuhn, 1970)과 페이어아벤트(Feyerabend, 1975)는 과학의 비이성적인 진보와 과학의 사회성을 주장한다. 쿤은 개인보다는 과학사회에 의해서 이루어진 과학지식을 주장하고 이 지식이 이론적 혹은 상황적 진리에 관한 사회적 합의의 산물임을 보여 준다. 사회적 합의의 산물인 과학지식은 전과학-정상과학-위기-혁명-새로운 정상과학……의 단계를 거침으로써 변화 혹은 발달한다.

이러한 과학의 발달 단계는 패러다임(paradigm)의 전환에 의한 과학의 진보를 의미한다. 쿤은 패러다임에 관하여 명료한 정의를 내리지 않고 있으나, 그것은 대체로 과학사회의 연구 전통, 사고체계를 의미한다. 이러한 패러다임은 과학사회의 구성원에게 과학적 연구의 방향, 방법, 기준 등을 제시하며, 과학자들이 자연을 관찰하고 해석하는 데 이용되는 틀의 역할을 하게 된다.

패러다임이 위와같은 발달 단계를 거치는 동안 구 패러다임이 경쟁 패러다임에 의해서 대치된다. 이때의 패러다임 전환은 격변적인 변화로서 과학 혁명으로 불리며, 경쟁패러다임과 구패러다임은 비양립적 관계가 된다. 즉 두 패러다임간을 비교할 공통적 기준 혹은 잣대가 없기 때문에 그들의 비교가 불가능하다. 따라서 패러다임이 사물을 보고 해석하는 틀의 역할을 한다는 점에 비추어 경쟁 패러다임을 가진 과학자는 구패러다임의 전통에 있는 과학자와는 전혀 다른 세계를 보게 된다.

과학사회가 패러다임에 심리학적으로 강하게 얽매어 있기 때문에 그 사회의 패러다임 변화가 대단히 어려우며, 변화가 일어나는 경우 그 사회는 심한 심성 변화를 겪는다. 이것은 패러다임 변화, 즉 과학의 진보에 근본적으로는 비이성적인 심리학적 과정이 관계됨을 암시한다.

이것은 또한 보편적이며 논리적인 과학의 방법이 있을 수 없다는 것을 의미한다. 페이어아벤트에 의하면 전통적으로 인식된 과학의 방법에 의해서 과학이 발달한 사례를 과학사에선 찾아볼 수 없다. 그에 의하면 과학이 단 하나의 원리, 즉 “가는데로(anything goes)” (Feyerabend, 1975, p.23)에 의해서 발달해 왔다.

IV. 행동주의와 행동변화로서의 학습

과학지식의 개념적 혹은 논리적 구조가 인식론의 대상이라면, 인지적 혹은 심리학적 구조는 심리학의 대상이다. 개념적 혹은 논리적 구조는 교과서에 제시되었거나 과학 전문가가 파지한 지식체계의 구조를 의미하며, 인지적 혹은 심리학적 구조는 학생 혹은 학습자가 파지한 지식체계의 구조를 말한다. 따라서 과학교육자는 인식론은 물론 심리학에 관심을 갖고 연구의 바탕을 이 두 영역에 두어야 한다.

심리학에 관하여 과학교육자들은 발달 심리학, 행동주의, 인지론 그리고 정보처리의 전통으로 구분된(Driver, 1982; Osborne & Wittrock, 1985). 행동주의를 제외한 나머지 세 전통이 현재는 구성주의로 총칭된다.

지난 1950년대까지는 과학교육 연구의 대부분이 행동주의 심리학의 전통 속에서 수행되어 왔다. 행동주의 심리학은 학습을 행동의 변화로 보고 학습에 관한 연구가 주로 행동의 변화를 중심으로 이루어져 왔다.

행동의 변화로서의 학습에 관한 이론이 가네(Gagne, 1985)에 의해서 더욱 확장되고 발달되어 왔다. 가네는 여덟 가지의 학습형태와 다섯 종류의 학습결과를 제시한다. 그에 의하면 학습은 학습자가 상호작용하는 환경에서 일어나는 사건에 달려 있다. 즉, 학습이란 자연적으로 일어나는 것이 아니라 반드시 관찰 가능한 통제 조건하에서 일어난다. 또한 학습이란 학습자의 변화된 행동에 환원된다. 바꾸어 말하면, 학습이란 학습자의 변화된 행동에 의해서 설명된다.

가네의 환원론적 학습론은 학습과정 그 자체를 설명하는 데 몇 가지의 어려움이 있다. 첫째로 행동이란 학습의 결과이지, 학습자가 배우거나 획득한 것이 아니라는 사실(Shuell, 1986)에 의해서 야기된 어려움이다. 단순히 학습결과에 불과한 행동 혹은 변화된 행동으로 학습과정을 설명한다는 것은 논리적인 비약을 수반할 가능성이 높다. 둘째로 가네가 제시한 학습형태와 학습결과와의 관계가 분명하지 않다. 만약 제시된 학습형태가 학습과정 혹은 학습방법을 의미한다면 이것과 학습결과와의 관계가 분명해질 수 있으나 가네는 그 관계를 제시하지 않았다.

핀리(Finley, 1983)가 지적 하였듯이, 위와같은 문제점의 원인은 가네가 오늘날 부정되고 있는 인식론,

즉 행동주의의 근원인 귀납적 경험주의에 그의 이론적 배경을 두고 있다는 데 있다. 가네는 학생들이 귀납적 추리능력과 추리의 타당성을 검증할 능력을 가지도록 교수가 이루어져야 한다고 본다. 그는 또한 과학탐구의 바탕인 과학과정은 관찰을 시작으로 하여, 관찰에 의해서 수집된 자료의 조직, 이 자료로부터 귀납적 추론, 그리고 추론의 검증 단계를 거쳐야 한다고 본다. 그러나 위와같은 인식론적 주장은 현대의 인식론에 비추어 문제점이 있다는 것을 앞에서 지적하였다.

V. 구성주의와 개념변화로서의 과학 학습

과학지식에 관한 이론이라고 볼 수 있는 구성주의에 의하면 과학지식이 학습자의 마음속에서 구성된다(Bordner, 1986). 한편, 심리학적 구성주의는 학습자의 학습과정, 즉 지식의 구성과정에 관한 이론을 제시한다. 위와 같은 구성주의 심리학에 발달 심리학, 인지론적 심리학의 전통이 속한다. 피아제의 지능발달 이론이 발달 심리학의 전통에 속하나 이 논문에서는 발달 심리학과 분리하여 따로 논의하고자 한다. 오슈벨의 유의미 학습론은 인지론적 심리학의 전통에 속하여 인지론적 심리학의 대표적인 이론으로 논의한다.

피아제(Piaget, 1971)는 심리학자이며 인식론자라고 볼 수 있다. 그가 실험적 방법인 임상적 면담법을 이용하여 출생시부터 성인까지의 사고, 즉 지능발달 단계에 관하여 연구한 점에서는 심리학자라고 볼 수 있으며, 학습자가 이미 파지한 인지구조 혹은 도식과 환경과의 능동적인 상호작용을 통해서 지식이 구성된다고 본 점에서는 인식론자라고 볼 수 있다. 인식론자로서의 피아제는 지식을 물리적 혹은 획득된 지식, 논리적-수학적 지식, 그리고 타고난 지식으로 나눈다. 그는 또한 지식의 성장이 누적적 학습과정에 의해서 보다는 불연속적인 인지구조, 즉 조작의 변화에 의해서 일어난다고 본다. 이 점은 쿤의 패러다임의 변화 및 상대주의와 일치한다.

피아제의 지능 발달 이론이 과학교육, 특히 과학의 교수/학습론에 커다란 영향을 미쳤으나 그만큼 많은 비평도 받고 있다. 피아제의 발달이론에 대한 비평 중에서 세가지 점에 관한 비평이 가장 설득력이 있

고 수궁이 갈 만하다. 첫째로, 피아제의 발달 이론에 의해서 학생들의 논리적 조작능력이 문제상황에 따라 다르게 나타난다는 실험적 사실을 설명하는 데 어려움이 있다. 학생들의 조작 능력이 주제의 상황에 영향을 받으나 피아제가 정의한 조작은 주제 및 상황을 초월하는 논리적, 수학적 구조의 특징을 갖고 있다. 둘째로, 변칙적인 경험들을 모든 아동이 동일하게 조절하지 않는다는 사실을 명확히 설명할 수 없는 어려움이 있다. 만약 피아제가 주장하는 도식 혹은 조작이 옳다면 다양한 방법으로 경험을 조작하는 현상이 나올 수 없다. 셋째로, 나이가 다름에 따라, 즉 발달단계에 따라 사고과정 및 방법이 다르다는 사실을 발달단계 이외의 설명체계에 의해서도 설명될 수 있을 가능성을 간과한다. 만약 발달단계 이외의 다른 방법으로 그 차이를 설명할 수 있다면 그 발달단계 이론은 군더더기의(redundant) 이론에 불과하다. 마지막으로, 피아제는 영역에 특수한(domain-specific) 과학개념과 영역을 초월하는 추론능력을 명확히 구분하지 않을 뿐 아니라(Carey, 1985), 학문적 구조와 인지적 구조를 혼돈한다(Phillips, 1987). 위와 같은 몇 가지의 문제점에도 불구하고 과학의 교수/학습 이론에 관한 새로운 틀을 제공하고 있다는 점에서는 그의 공헌을 인정해야 한다.

피아제의 발달단계 이론이 아동 전체 혹은 아동 전체를 대상으로 한 것이라면, 켈리(Kelly, 1977)의 '과학자로서의 인간' 모델은 개인적 구성개념(construct)설을 의미한다. 켈리에 의하면 실체는 주관적, 개인적, 능동적, 창조적, 이성적 그리고 감정적으로 구성된다. 따라서 구성개념설은 실제의 절대적인 참가치보다는 위와같이 구성된 실제에 관한 설명 모델이다. 켈리 자신이 지적 했듯이 구성개념설이 지식의 상대성을 설명하기도 하나(Pope & Gilbert, 1984), 현대 인식론의 주요한 주제의 하나인 지식의 사회성을 경시한다. 이것은 개인의 학습과정을 어느 정도 설명할 수 있을지는 몰라도 지식의 발달과정을 설명할 수는 없는 설명체계를 나타낸다.

보스니아두와 브루워(Vosniadou & Brewer, 1987)가 지적하듯이 피아제와 켈리 이외에 지식 획득에 관심을 갖는 많은 수의 발달심리학자들은 지식의 재구성에 관한 연구에 집중하고 있다. 그들에 의하면 지식의 획득이 사실의 단순한 축적이 아니며 인지구조의 재구성이다.

지식의 재구성은 전반적(global) 재구성과 영역에 특수한 재구성으로 대별된다. 전반적 재구성은 모든 영역에 걸쳐 아동들이 지식을 획득하는 제한요인이 된다. 피아제의 발달단계와 그 변화가 전반적 재구성으로 볼 수 있다.

카레이(Carey, 1985)는 영역에 특수한 재구성을 다시 약한 재구성과 강한 재구성으로 나눈다. 약한 재구성은 초보자-전문가의 변화(Chi et al., 1981)에서 나타나며, 강한 재구성은 이론의 변화를 초래한다. 약한 재구성에서는 새로운 개념간의 관계가 확립되고 새로운 도식이 형성되며, 강한 재구성에서는 이러한 것을 포함하여 인지구조를 이루는 핵심 이론이 대체되거나 변화된다. 이러한 점에 비추어 볼 때, 발견적인 학습이 간혹 일어날 수도 있으나 대부분의 학습은 선행개념에 새로운 개념이 동화되거나 선행개념이 수정됨으로써 인지구조의 재구성에 의해서 일어난다고 볼 수 있다.

발달심리학자들이 개별적인 개념변화에 의해서 지식 획득을 기술함으로써 개념변화로 학습을 설명하고자 하나, 재구성의 과정 혹은 개념의 변화기구를 구체적으로 설명하지 못한다. 바로 이러한 문제점을 오슈벨(Ausubel et al., 1978)이 해결된다. 오슈벨의 유의미 학습이론에 의하면 학습자의 관련된 인지구조에 새로운 개념 혹은 정보가 유의미하게 연결됨으로써, 즉 상위적 혹은 하위적으로 포섭이 됨으로써 학습이 일어난다. 이러한 포섭이 되풀이 됨으로써 이미 파지한 인지구조, 즉 지식이 성장하고 발달하게 된다.

오슈벨의 유의미 학습이론의 핵심은 학습될 내용과 관련된 인지구조, 즉 선행개념과의 유의미한 연결에 의해서 학습이 일어난다는 데 있다. 이것이 사실이라면 학습자가 관련된 선행학습이나 경험에 의해서 학습자에 독특한(idiosyncratic) 인지구조를 파지하기 때문에 같은 내용을 아동에 따라서 다르게 학습할 수 있다. 이것은 대체적 개념 혹은 오인에 관한 연구에서 흔히 밝혀지고 있으며, 아동의 인지구조 중심의 교수/학습이 강조되어야 함을 나타낸다.

VI. 과학교육에 대한 시사점

현재 진행되고 있는 아동의 선행개념과 교수/학습과의 관계에 대한 국·내외의 대다수 연구는 실증

주의 이후의 인식론과 구성주의 심리학에 그 이론적인 배경을 갖고 있음을 지적하고, 주요한 인식론 및 구성주의의 본질과 문제점을 논의하였다. 여기서는 이러한 분석을 바탕으로 과학의 본질, 과학교육과정, 과학 교수/학습에 대한 시사점을 제시한다. 아래에 제시된 시사점은 인식론과 심리학으로부터 논리적인 연관 관계에 따라 도출된 것일 뿐 아니라 선행개념에 관한 실험 연구결과에서도 이미 밝혀진 것들이다. 따라서 중등과학 교육과정과 교수/학습 모델을 개발하는 데 이용될 수 있다고 본다.

1. 과학의 본질에 대한 새로운 의미

1) 과학지식은 반증될 수 있으나 현재로는 반증되지 않은 잠정적인 언명으로 구성된다.

실증주의에 의하면 과학이 사실, 개념, 법칙 혹은 원리, 이론들로 구성되어 있다(Brown, 1977). 그러나 관찰의 이론 의존성 때문에 위와 같은 구성요소들간의 관계가 애매할 뿐 아니라 절대적인 지위를 가질 과학지식체계의 구성요소로서 보장될 수 없다.

2) 과학지식은 발견된 것이 아니라 구성된 것이다.

현대의 인식론에 의하면 과학지식이 정신과는 독립적인 외부의 실재를 단순히 내면화함으로써 형성되는 것이 아니라 선행지식과 외부와의 상호작용에 의해서 구성되는 것이다. 따라서 과학지식은 선행지식의 변화에 의해서 성장하고(Popper, 1972), 과학자 혹은 과학사회에 대하여 상대적이다(Kuhn, 1970). 이것은 과학자가 이미 파지한 지식체계를 통해서 자연세계를 관찰하고 해석하며 그 결과 지식이 형성되기 때문이다.

3) 인식론과 과학의 방법론을 구분하는 것은 옳지 않다.

전통적으로는 지식의 본질을 다루는 인식론과 과학의 방법론이 별개의 영역으로 취급되어 왔으나 현대의 인식론과 과학사에 비추어 볼 때 이 두 영역을 따로 구분할 수 없다. 실증주의와 그 이후 인식론은 과학지식의 본질은 물론 그 지식이 형성되고 정당화되는 방법을 동시에 취급하고 있다. 과학방법은 과학의 실험적인 측면 뿐 아니라 이성적 측면을 포함하기 때문에 철학적 분석의 대상이 될 수 있으며, 기술 뿐 아니라 이론적 지식체계와도 관련되어 있다(Hodson, 1986). 또한 과학의 과정이 주제 혹은 지식체계와 밀접한 관계를 맺고 있기 때문에(Feyerabend, 1987) 과

학 방법론을 인식론과 따로 취급할 수 없다.

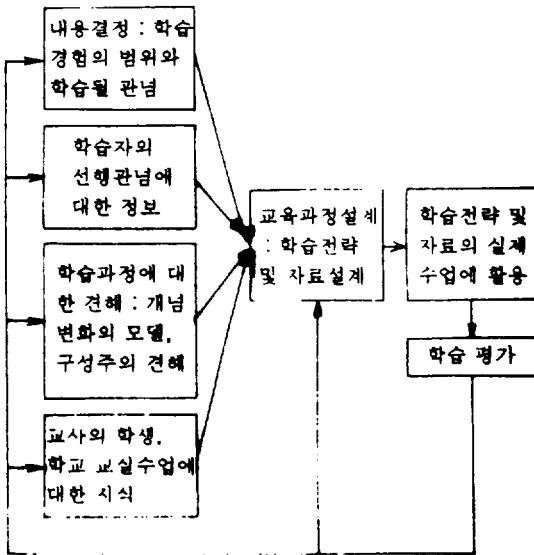
2. 과학교육과정에 대한 시사점

1) 과학교육과정은 학습자들의 과학에 대한 이해를 촉진시킬 수 있는 일련의 학습경험으로 정의 되어야 한다.

이것은 과학교육과정이 일련의 학습과제와 전략으로 구성되어야 함을 의미한다. 바꾸어 말하면 과학교육과정이 전통적으로 정의되어 온대로 지식체계 혹은 일련의 기술이 아니라, 이 지식체계와 기술이 구성되거나 획득될 수 있게 하기 위한 학습활동의 프로그램이어야함을 나타낸다. 이것은 교육과정이 학습전에 논리적인 분석에 따라 구성되어야 하는 것이 아니라, 학생들이 현재 파지하고 있는 선행 지식을 바탕으로 구성될 실험적이고 문체적 특성을 가진 것임을 의미한다(Driver, 1987). 드라이버는 위와 같은 점은 바탕으로 <그림1>과 같은 과학교육과정 모델을 제시한다.

2) 과학교육과정 내용의 상황이 학습자에 관련 되어야 한다.

이것은 선행개념이 관련 학습에 미치는 영향을 근거로 제시한 시사점으로서, 학습과제가 학습자가 이미 파지한 선행관념 및 학습자의 일상생활과 관련된 것이어야 함을 의미한다. 이것은 또한 학생들의 태도와 흥미에 관계가 있어야 함을 나타낸다. 즉 학습과



〈그림 1〉 과학교육과정 모델(Driver, 1987)

제가 학생들로 하여금 중요하고 흥미롭다고 생각할 수 있는 것이어야 함을 암시한다.

3) 학습경험이 개념적 혹은 논리적 구조 뿐 아니라 학습자의 인지적 혹은 심리학적 구조에 바탕을 두어 선정되고 조직 되어야 한다.

전통적으로는 교육과정 내용이 논리적 구조를 바탕으로 선정되고 조직되어 왔으나, 논리적 순서가 항상 최대의 효과를 가져오지는 않는다는 것이 실험적으로 밝혀졌다(Bodner, 1986). 이것은 논리적 구조 및 순서가 심리적 구조 및 순서와 일치되지 않은 경우가 흔하기 때문이다(Driver, 1983)

4) 과학교육과정에서 과학의 내용과 과정을 구분해서는 안된다.

과학과정이 일반적인 것이 아니며 내용 혹은 상황에 의존적이기 때문이다. 과학사를 통해서 볼 때 내용과 독립적이며 보편적인 과학방법을 통해서 과학 지식이 발달한 사례를 찾아 볼 수 없다(Feyerabend, 1977).

3. 과학의 교수/학습에 대한 시사점

1) 학습이 학습자의 개인적 개념(conceptions)의 변화에 의해서 일어난다.

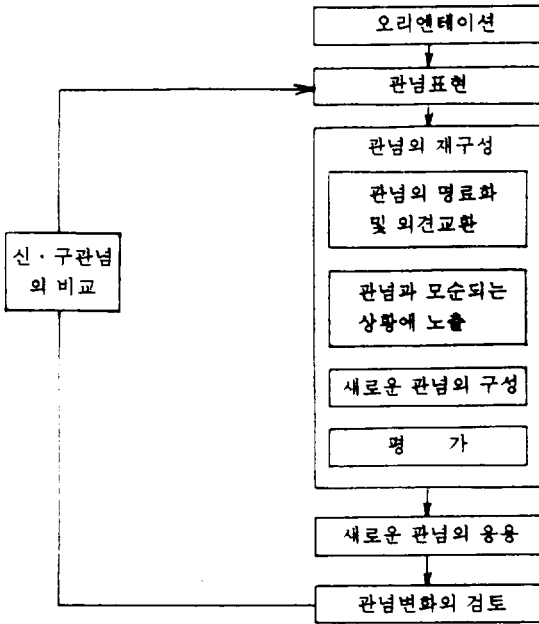
개념변화로서의 학습에 대한 학습론에 의하면, 학습자가 외부의 주어진 환경을 단순히 내면화함으로써 학습이 일어나는 것이 아니라, 인지구조내에 지식이 형성됨으로써 학습이 된다. 이것은 학습자가 파지한 관념의 변화가 곧 학습임을 의미한다.

2) 개념변화의 과정은 의미의 능동적인 구성을 나타낸다. 의미의 구성은 계속적이며 능동적인 과정이며(Driver, 1986), 그 의미는 외부로부터 주어진 감각적인 자료를 바탕으로 구성된다(Osborne & Wittrock, 1985). 학습과정을 통해서 구성된 의미는 일련의 도식 혹은 모델로서 경험을 해석하고 이해하는 틀이 된다. 따라서 학습은 의도적이고 목적을 갖는 활동이라고 볼 수 있다.

3) 교수/학습의 방법 및 전략은 학습자의 선행지식을 변화시킬 수 있는 모델에 바탕을 두어야 한다.

학습자들의 선행관념이 변화되거나 재구성됨으로써 관련 학습내용을 학습할 수 있는 교수/학습 방법 및 전략이 이용되어야 한다. 드라이버(Driver, 1986)는 위와 같은 점을 바탕으로 <그림2>와 같은 교수/학습모델을 제시한다.

참고 문헌



〈그림 2〉 교수/학습 모델(Driver, 1986)

4) 과학의 학습은 사회적-심리적 과정이다.

학습자는 자신의 관념을 분명하게 밝히고 다른 학생들의 관념을 청취하고 토론할 사회적인 분위기가 주어져야 한다. 즉 다른 학생들이 자기와는 다른 관념을 가질 수 있다는 것을 인식하고, 부담감 없는 의사소통을 통해서 학생들 간에는 물론 교사와 학생들 간에 사회적인 상호작용이 일어날 수 있는 학습분위기를 조성해야 한다.

5) 교사는 단순한 지식의 전달자가 아니어야 한다.

교사는 의도된 학습결과를 가져올 수 있는 학습환경을 조성하는 조직자, 학습자가 파지한 선행지식을 확인하는 진단자(Driver, 1986), 학습자로 하여금 자신의 관념과 학습내용과의 관계를 생각해 보게 하는 동기 유발자(Osborne & Freyberg, 1985), 그리고 학생들의 사고과정에 나타나는 오류와 논증의 바탕이 되는 잘못된 기본가정을 지적해 주는 안내자의 역할을 해야 한다.

6) 과학의 교수/학습의 평가척도는 학생들의 관념 혹은 선행개념이 변화된 정도이어야 한다.

선행개념이 변화된 것을 학습이라고 본다면 그 변화정도가 평가의 척도이어야 한다. 관련된 학습내용의 논리적 혹은 개념적 구조가 가장 바람직한 척도일 수만은 없다.

Ausubel, D.P., Novak, J.D. and Hanesian, H. 1978. Educational psychology: A cognitive view, 2nd ed. N.Y. Holt, Reinehart and Winston.

Bodner, G.M. 1986. Constructivism: A theory of knowledge. Journal of Chemical Education, Vol. 63(10), 1986.

Brown, H.I. (n.d.). Changing perceptions of science. Wing-spread conference on the wisconsin model for future directions in science education.

Brown, H.I. 1977. Perception, theory and commitment: The new philosophy of science. Chicago: The University of Chicago Press.

Canap, R. 1966. An introduction to the philosophy of science. N.Y.: Basic Books, Inc.

Carey, S. 1985. Conceptual change in childhood. Cambridge: The MIT Press.

Chi, M.T.H., Feltovich, P.J. and Glaser, R. 1981. Categorization and representation of physics problems by experts and novices: Cognitive Science 5, 121-152.

Driver, R. 1982. Children's learning in science. Educational Analysis, 4(2), 69-79.

Driver, R. 1983. The pupil as scientist? Milton Keynes: The Open University Press.

Driver, R. 1986. A constructivist approach to curriculum development in science. Paper prepared for the symposium "personal construction of meaning in educational settings". BERA, Sheffield, August.

Driver, R. 1987. Changing conceptions. Paper prepared for the international seminar, adolescent development and school science, King's College, London, September 13-17, 1987.

Driver, L., Guesne, E., and Tiberghien, A.(eds.). 1985. Children's ideas in science. Milton Keynes: Open University Press.

Feyerabend, P. 1975. Against method. London: Verso.

Feyerabend, P. 1987. Farewell to reason. London: Verso.

Finley, F.N. 1983. Science process. Journal of Research in Science Teaching, Vol. 20(1), 47-54.

Gagne, R.M. 1985. The conditions of learning, 4th ed. N.Y.: Holt, Rinehart and Winston.

Helm, H. and Novak, J.D. 1983. Proceedings of the international seminar: Misconceptions in science and mathematics. June 20-22, 1983. Cornell University, Ithaca, N.Y., U.S.A.

- Hodson, D. 1986. Philosophy of science and science education. Journal of Philosophy of Education, Vol. 20(2), 215-225.
- Kelly, G.A. 1977. The psychology of the unknown. In Bannister, D.(ed.). New perspectives in personal construct theory. N.Y.: Academic Press.
- Newton-Smith, W.H. 1981. The rationality of science. London: Routledge & Kegan Paul.
- Novak, J.D. 1987. Proceedings of the 2nd international seminar: Misconceptions and educational strategies in science and mathematics. July 26-29, 1987. Cornell University, Ithaca, N.Y., U.S.A.
- Osborne, R. and Wittrock, M. 1985. The generative learning model and its implications for science education. Studies in Science Education, 12, 59-87.
- Pfundt, H. and Duit, R. 1988. Bibliography: students' alternative frameworks and science education, 2nd ed. IPN, University of Kiel, W. Germany.
- Phillips, D.C. 1987. Philosophy, science, and social inquiry. Oxford: Pergamon Press.
- Piaget, J. 1971. Biology and knowledge. Chicago: The University of Chicago Press.
- Pope, M. and Gilbert, J. 1984. Theories of learning: Kelly. In Osborne, R. and Gilbert, J. Some issues of theory in science education. Hamilton, NZ: University of Waikato.
- Popper, K.R. 1968. The logic of scientific discovery. N.Y.: Harper & Row, Publishers.
- Popper, K.R. 1972. Conjectures and refutations: The growth of scientific knowledge. London: RKP.
- Shuell, T.J. 1986. Cognitive conceptions of learning. Review of Educational Research, Vol. 56(4), 411-436.
- Vosiadou, S. and Brewer, W.F. 1987. Theories of knowledge restructuring in development. Review of Educational Research, Vol. 57(1), 51-67.
- West, Leo, H.T. and Pines, A.L. 1985. Cognitive structure and conceptual change. N.Y.: Academic press.

Abstract

Analysis of Theoretical Background for Current Research on Science Curriculum and Teaching / Learning and Implications for Future Science Education

Hee-Hyung Cho

(Kangwon National University)

During the last decade researchers in science education and psychology have emphasized the importance of children's ideas, or "what they already know", which they bring to their related learning situations. Most research reports on the children's prior ideas reject both the traditional epistemologies and the conventional learning theories.

Therefore, this study has its objective to analyze the traditional epistemologies as well as post-positivism temporarily in vogue, to examine both the conventional learning theories and the constructivism of psychology, and then, based on the analyses, to draw the implications for the future science education. The implications are described under such headings as the nature of science, the science curricula, and the science teaching / learning. The implications are drawn in logical relation to the post-positivism and constructivism, and some of which are empirically validated by the research on the children's conceptions.