

## 구성주의적 과학교육과 학생의 물리 誤概念 地圖

송 진 용 (서울대학교)

과학은 단순히 법칙들의 모음이나 사실의 목록이 아니다. 과학은 자유롭게 고안된 생각의 개념을 갖는 인간 정신의 창조이다. 물리학의 이론은 식재에 대한 형상을 형성하고 이것과 폭넓은 간각의 세계를 연계시켜준다(Einstein & Infeld, 1938, *The Evolution of Physics*; Driver, 1983에서 재인용).

### 1. 구성주의의 등장과 과학교육

1980년대 이후의 과학교육을 특징짓는 중요한 두 가지 패러다임을 듣다면, 하나는 학생의 과학 관련 오개념(misconceptions)을 조사하고 이의 효과적인 교정을 위한 개념변화의 방안을 탐색하는 구성주의(constructivism) 과학교육(예: Driver, 1983; Black & Lucas, 1993; Driver *et al.*, 1994)과, 다른 하나로는 학교 과학교육을 전통적인 과학자 양성 중심의 학문적 접근에서 탈피하여 보다 광범위한 사회·기술적 맥락 속에서 과학을 이해시키고 그 관련성을 강조하는 과학-기술-사회(STS) 교육이라 할 수 있다(예: Cheek, 1992; Solomon, 1993; Solomon & Aikenhead, 1994). 특히 과학교육과 관련하여 구성주의는 과학교육 목표의 설정, 교육과정 내용의 선정과 조직, 과학 교수-학습 방법 및 자료의 개발, 과학교육의 평가 방법 및 도구의 개발, 과학교사교육 프로그램 개발 등의 폭넓은 영역에서 그 즈거와 지침이 되어 왔다(조희형·최경희, 2002).

구성주의는 크게 두 가지 전통으로 나뉘어질 수 있다. 첫 번째는 아동의 학습을 세계 속에서의 그들의 활동으로부터 발생하는 개인적이고 사적인 지적 구성으로 해석하는 심리학적 구성주의(psychological constructivism)이다.

\* 2003년 5월 투고, 2003년 5월 심사 완료

\* ZDM분류 : C30

\* MSC2000분류 : 97C30

\* 주제어 : 구성주의, 과학교육, 학생의 오개념, 오개념지도.

Piaget로부터 출발한 심리학적 구성주의는 다시 두 갈래로 구분할 수 있는데, 하나는 Piaget의 전통에 입각하여 보다 사적이고 주관적인 전통을 따르는 것으로서 von Glaserfeld의 연구로 이어지는 개인적 구성주의(personal constructivism)이며, 다른 하나는 개인의 인지적 구성에 대해 언어적 공동체의 중요성을 강조하는 Vygotsky 학파의 사회적 구성주의(social constructivism)이다.

두 번째의 주요 전통으로는 사회학적 구성주의(sociological constructivism)를 들 수 있는데, 이는 Beger 등의 문화사회주의자 및 Barnes, Bloor, Collins, Latour 등으로 대표되는 에딘버러 학파의 과학사회학자들로부터 유래한다. 사회학적 구성주의는 과학지식은 사회적으로 구성되고 지지된다는 입장을 견지한다. 사회학적 구성주의의 전통은 신념체계의 구성에 대한 개인적인 심리학적 기작에 관심을 두지 않고 개인적 신념을 결정한다고 믿어지는 탈개인적 사회적 상황에 초점을 맞춘다. 극단적 형태의 사회학적 구성주의는 과학이 예술적 문학적 구성과 유사하게 인간의 인지적 구성의 한 형태에 불과하다고 주장한다.

실제적으로 구성주의는 많은 이질적 요소들이 포함되는 운동이라 할 수 있다. 여기에는 다양한 변종들이 포함되는데, 상황적, 변증법적, 경험적, 정보처리적, 방법론적, 온전한, 피아제 학파적, 후인식론적, 실용주의적, 급진적, 사회적, 사회역사학적, 인본주의적, 교훈적 구성주의가 그 예로 포함될 수 있겠다(Matthews, 1994).

### 2. 구성주의의 심리학적 철학적 기초

구성주의적 접근을 취하는 과학교육은 교육의 중심에 학습을 둔다. 이러한 입장은 학습자의 개념 상태에 주의를 기울이지 않았던 이전의 심리학적 가정들과 큰 차이를 보인다. Gilbert, Osborne & Fensham(1982)은 이를 ‘백지상태’ 및 ‘교사중심’ 가정이라 부르고, 이러한 이전의 입장과

대비되는 것으로 ‘학생중심’ 가정을 들고 있다.

‘백지상태’ 가정은 학습자들은 ‘백지상태(또는 빈 마음)’로 학습의 장면에 오게 되고, 학습이라는 것은 이러한 백지상태에 교사들이 지니고 있는 과학적 개념(St)으로 ‘체워’지는 것이라고 본다. ‘교사중심’ 가정에서는 비록 학습자들이 학교에서 교육을 받기 이전에 새롭게 배우게 되는 과학 내용에 대하여 어떤 개념적 견해(Sch)를 지니고 있다고 할지라도, 이러한 학습자의 견해는 학습에 거의 영향을 미치지 못하며 또한 어렵지 않게 대치될 수 있다고 본다.

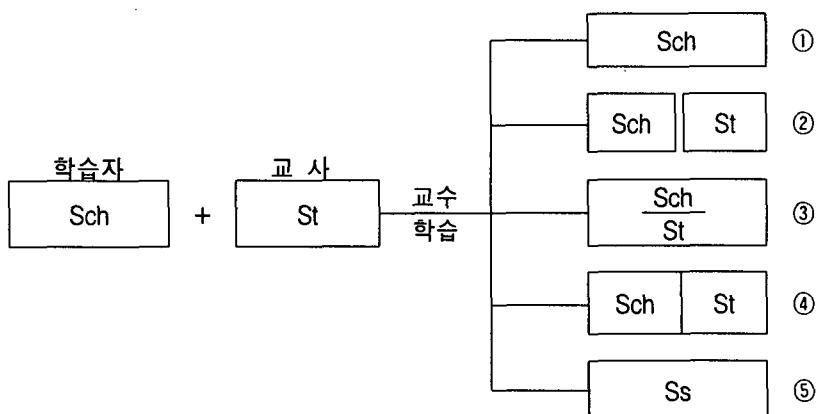
반면, ‘학생중심’ 가정에서는 학생들의 물리적 견해는 상당히 지속되며 과학교육과 상호작용 할 정도로 충분히 강한 것으로 인정한다. 이 가정에서는 학습의 정도에 따라서 다양한 형태의 학습결과가 나타날 수 있다(<그림 1> 참조). 즉, ① 교수-학습 과정의 영향을 전혀 받지 않거나 학습자가 자신의 선개념을 그대로 유지하는 경우, ② 자신의 선개념과 교사의 개념이 공존하면서 선개념은 일상생활의 적용을 위해 교사의 개념은 학교 시험용을 위해 사용되는 경우, ③ 교수-학습의 과정을 거쳐 오히려 학습자의 선개념이 더욱 보강 강화되어 약간 변형된 방식으로 유지되는 경우, ④ 학습자의 선개념과 교사의 개념이 혼합되어 각각을 구분하지 못하고 혼용되는 경우, ⑤ 학습자의 선개념이 교사의 개념과 통합되거나 교체되어 과학자적 개념(Ss)이 형성되는 경우 등이 가능하다.

Driver & Bell(1986)은 구성주의적 학습관의 기본적 가

정을 다섯 가지로 요약하였다: ① 학습의 결과는 학습 환경에 의존할 뿐만 아니라 학습자의 지식에도 의존한다, ② 학습은 의미를 구성하는 일이며, 학생들이 구성한 의미는 원래 교사가 의도한 것과 일치하지 않을 수 있다. ③ 의미 구성은 연속적이고 능동적인 과정이다, ④ 학습자는 학습의 최종 책임자이다, ⑤ 학생들이 구성한 의미에는 자연언어를 통하여 물리 세계의 경험을 공유하게 되어 일정한 유형이 있다.

한편, 어떻게 과학지식이 발달하고 진보하느냐에 대하여 과학철학의 두 학파가 각각 다른 입장을 취하고 있다. Bacon에 의해 시작된 경험주의(empiricism)가 그 중의 하나이며, 구성주의(constructivism)가 다른 하나이다.

경험주의자들은 지식이란 오로지 사실의 관찰과 논리를 통해서만 증명이 되고 귀납적으로 축적된다고 본다. 그들은 객관적 관찰과 귀납적 논리가 과학적 방법을 구성하고, 그 과학적 방법에 의해서 과학은 ‘참(truth)’을 향하여 발전한다고 본다. 경험주의에 철학적 바탕을 두는 Thorndike, Pavlov, Guthrie, Hull, Skinner 등의 행동주의자들은 학습이란 경험의 결과로서 개인에 일어나는 행동의 변화라고 정의하는 관념연합론자로서 주로 학습의 과정을 설명하고 있다. 이들은 행동에 대한 설명은 개체의 외부에서 찾아야 하며, 외부로 드러나는 행동을 예측할 수 있는 법칙을 찾아야 한다고 주장한다. 이를 위하여 그들은 Bacon에 기초를 두는 실험주의(experimentalism)적 방법론을택한다.



<그림 1> ‘학생중심’ 가정에서 학습자의 선개념이 변화되는 양상

반면 구성주의에 의하면, 이론 혹은 개념은 단순하게 감각적 데이터와 귀납적 관계를 맺고 있는 것이 아니며, 개념(마음)과 경험의 상호작용에 의해 구성되고 발달한다. 이미 소지한 개념적 구조(선입관) 혹은 이해하고 있는 이론이 관찰에 선행한다. 이러한 입장은 취하고 있는 과학철학자로는 Lakatos, Toulmin, Kuhn 등을 대표적으로 들 수 있다. 구성주의자들은 과학적 개념변화에 논리가 어떻게 적용되는가, 그리고 과학적 지식의 객관성과 이론의 평가기준에 대하여 견해의 차이를 보이고 있지만, 일반적으로 ① 과학적 지식의 발달은 이론 혹은 범례의 중요한 변화로부터 온다, ② 관찰은 객관적일 수 없으며 관찰자의 개념적 구조의 영향을 받는다는 점에서 의견의 일치를 보인다(조희형, 1984).

아동의 과학학습과정에 대하여 이러한 구성주의의 관점을 따르면, 아동은 자연현상과의 개인적인 상호작용 그리고 어른 또는 동료 학생들과의 사회적 상호작용을 통하여 그들 자신의 지식을 구성해 간다. 그 결과로 아동들은 과학을 학교에서 정식으로 배우기 이전에 물리세계가 어떻게 작동하는가에 대한 신념을 이미 지니게 된다.

따라서 과학교사의 중요한 역할은 학생들이 다음과 같은 것을 할 수 있도록 학습 환경을 제공해 주는 것이다: ① 자신의 생각을 인식하고 그것을 반추한다, ② 다른 사람들은 자신의 생각과는 갈등을 일으킬 수 있지만 그 사람에게는 마찬가지로 가치 있는 다른 생각을 가질 수 있다, ③ 이러한 생각들의 유용성을 교사의 과학적 이론에 비추어 평가한다. 학생들이 다양한 학습활동을 하게 될 때 그리고 반추할 기회가 주어졌을 때, 그들은 의도된 학습의 결과를 향하여 자신의 생각들을 수정할 수 있는 것이다. 과학적 '지식'은 교사의 사고에서나 학생의 사고에서나 개인적인 구성물인 것이다(Needham & Hill, 1987).

### 3. 학생의 과학 오개념 연구

구성주의 과학교육 운동은 학생들이 학교에서 과학 내용을 학습하기 이전에 이와 관련하여 이미 지니고 있는 오개념들을 광범위하게 조사·분석하였으며, 이를 통해 학생들이 과학을 학습하는 과정에서 경험하게 되는 공통적인 어려움의 인식론적·심리학적 원인을 추적하고, 이 과정에서 고려해야 할 교수·학습적 요인들을 밝

히는 데 초점을 맞추고 있다. 따라서, 구성주의 과학교육의 연구 경향은 과학의 교수-학습의 구체적 과정에 대한 많은 유용한 정보들을 제공해 주었으며, 이를 기초로 과학의 실제적 교수-학습 과정에 의미 있는 제안과 대안을 제시해 주고 있다.

학생의 과학 오개념에 대한 연구는 아마도 과학교육이 태동한 이래로 가장 폭넓고 종합적으로 연구된 분야이며, 연구자료 또한 가장 많이 축적된 분야이기도 하다. 예컨대, 1993년 Duit(1993)의 분석에 의하면, 과학 오개념에 대한 연구는 이미 총 2800개에 이르며, 그 중에서 물리학 분야의 오개념에 관한 연구들로는 역학(281개), 전기(146개), 열(68개), 광학(69개), 입자(60개), 에너지(69개), 천문학(36개), 현대물리학(11개) 등이었다. 실제로 학생의 과학 오개념에 대한 연구는 지금까지의 그 어떤 교육 및 심리 이론보다 과학의 교수-학습 활동에 대한 구체적이고 상세한 정보를 제공해 주고 있다.

Ausubel(1968)이 학생들이 갖고 있는 선개념(preconceptions)이 학습에 끼치는 영향을 지적한 이래, 특히 1970년대 말부터, 과학교육자들에 의해 학생들의 과학개념에 대한 많은 실증적 연구가 이루어졌다. 이러한 연구들의 결과에 의하면, 학생들은 과학학습에 직면하기 이전에 어떤 주제이든 그와 관련된 개념을 이미 가지고 있으며, 그 개념이 그 학습에 영향을 끼치며 그 개념들은 전통적인 과학교수법에 의하여 좀처럼 영향을 받지 않는다는 것이다. 한편, 이러한 연구들에서 학생의 과학개념들은 연구자들의 입장과 견해에 따라서 매우 다양한 이름으로 불리고 있다:

- 오개념/오인(misconceptions)
- 직관적 신념(intuitive belief) (McClosky, 1983)
- 아동과학(children's science) (Gilbert, Osborne & Fensham, 1982)
- 아동의 비정규 생각(children's informal ideas) (Black & Lucas, 1993)
- 자발적 추론(spontaneous reasoning) (Viennot, 1979)
- 선개념(preconceptions) (Hashweb, 1988)
- 대안적 개념(alternative conceptions)
- 대안틀(alternative frameworks) (Driver, 1981)

- 초보믿음(naive beliefs) (Caramazza, McCloskey & Green, 1981)
- 선과학 개념(prescientific conceptions) (Good, 1991)
- 미니이론(mini theories) (Claxton, 1993).

이미 1980년대에는 학생의 선개념 연구가 국제적인 관심을 이끌게 되어 세계 각지에서 국제적인 학회와 세미나 등을 개최하게 되었다. 예를 들어, 1979년 영국의 Leeds 대학에서는 'Cognitive Development Research in Science and Mathematics'라는 제목의 국제 세미나를 개최되었고, 1983년에는 프랑스 CNRS에서 'Research on Physics Education'와 미국 Cornell 대학에서 'Misconceptions in Science and Mathematics', 1984년에는 네덜란드 Utrecht 대학에서 'The Many Faces of Teaching and Learning Mechanics', 1986년에는 일본 Sophia 대학에서 'Trends in Physics Education', 1987년에는 네덜란드 Free 대학이 주관하여, 'Learning Difficulties and Teaching Strategies in Secondary School Science and Mathematics', 1987년과 1995년에는 1983년에 이어서 미국 Cornell대학에서 2회 및 3회 'Misconceptions and educational Strategies in Science and Mathematics' 학술대회가 개최되었다. 한국에서도 1988년 서울대학교에서 'Research for Student's Conceptual Structures Changes in Learning Physics'라는 국제 회의가 개최되었고, 제 2회 학회가 필리핀 대학에서 그리고 제 3회는 1995년 서울대학교에서 개최되었다. 물론 이후에도 학생의 과학 오개념에 대한 연구는 국내외에서 지속적으로 수행되어 왔으며, 최근에는 이전에 잘 연구되지 못했던 보다 상위(또는 현대적) 개념들에 대한 오개념 조사 및 학생의 오개념을 과학적 개념으로 변화시키기 위한 개념변화 방안에 관한 많은 연구들이 이루어지고 있다.

학생의 과학 개념 연구에 사용되는 연구방법은 심리학, 교육학에서 전통적으로 사용되었던 정량적인(quantitative) 방법과 다르게 정성적인(qualitative) 정보에 많이 의존한다. 이는 학생의 개념 자체가 학생 각 개인의 적극적인 내면적 재구성 과정을 통한 산물이기 때문에 집단의 평균값을 위주로 하였던 정량적 통계처리

방식으로는 알기 어렵기 때문이다. 각 개인의 개념적 구성과정을 알기 위해서는 좀 더 심층적인 정보의 추출과 정을 거쳐야 하는 것이다. 따라서 단순한 선택형 혹은 설문지 형식의 방법보다는 단어연상 검사, 정의와 특성 쓰기, 개념도(concept map)(Novak & Gowin, 1984), 끝 열린 주관식 지필검사, 임상적 면담법 등이 주로 사용되고 있다. 그러나 후자의 방법들에서 오는 소규모의 표집 크기, 정보의 주관적 해석 등의 한계점을 극복하기 위해 POE(예측-관찰-설명), IAI(사례면담), IAE(사건면담), 2단계 설명식, 선택후 설명식 등과 같은 다양한 검사방법과 계통도 분석과 같은 정보분석 방법들이 개발, 사용되고 있기도 하다(박종원 등, 2001).

#### 4. 학생의 과학 오개념의 특징

학생의 개념은 일상 경험에서 획득하거나 이전의 수업에서 학습한 것들이 대부분이다. 물리 분야의 경우, 일상적인 개념은 주로 운동, 열, 빛과 같은 감각적 현상을 경험한 것으로부터 생겨나거나 대중 매체나 일상적인 언어 생활 및 대화에 의하여 생겨나기도 한다. 일상적 경험, 특히 감각 경험에서 생겨난 그러한 개념은 대개 설명력이 커서 쉽게 포기되지 않는다.

학생들은 교사나 교과서에 의하여 제시된 정보를 자신의 생각에 바탕을 두고 해석하고 의미를 부여한다. diSessa(1983)는 그러한 학생의 개념을 현상적 '사고 원형'이라고 부른다. 예를 들어, '힘을 주면 물체가 움직인다.'와 같은 생각은 사고 원형으로서 더 이상 설명이 필요 없는 공리와 같은 역할을 하며, 다양한 현상을 설명하는 데 기초로 사용된다. 따라서 학생들은 과학적 지식을 학습하기 어려우며, 기껏해야 그 일부분만을 학습하거나 자신의 생각에 통합시킨다. 학생들은 기존의 자신의 생각이 매우 성공적이거나 새로운 생각의 필요성을 깨닫지 못할 때 새로운 생각을 강하게 거부한다. 기존의 생각이 포기되려면 강한 저항을 극복해야 한다. 자신의 생각을 포기하는 일은 오랫동안 잘못된 생각을 갖고 있었다는 것을 인정하는 것 이기 때문에 매우 어렵다. 또 학생들의 개념은 자연 현상에 대한 설명적 모형이라기보다는 인과적 모형의 형태를 갖기 쉽다. 자연 현상을 설명하는 학생들의 현상적 사고 원형은 원인과 결과를 단순하게 연결짓는 규칙성에 좀더

주목하기 쉽다. Andersson(1986)은 그러한 규칙을 ‘인과율의 경험꼴(experiential gestalt of causation)’이라고 불렀다.

한편, 어떤 현상에 대한 학생들의 개념은 과학적 개념과는 다를 수 있지만, 예를 들어 운동, 열, 시각과 관련된 개념처럼 과학사에서 나타났던 예전의 개념과 비슷한 경우가 많이 있다. 그러한 학생의 개념은 과학사에서 나타났던 개념과 내용 수준에서 유사할 뿐만 아니라 지식 습득 과정도 과학사에서 나타난 과학 지식의 발달 과정과 유사하다(Duit, 1991; Song *et al.*, 1996 & 1997). 과학사에서 이론의 변화가 어려웠던 것처럼 학생들도 직관적인 개념을 버리고 과학적인 개념을 받아들일 때 어려움을 겪는다(장병기, 2000).

Wandersee *et al.*(1994)은 학생들의 과학 대안개념(alternative conceptions)에 대한 중요한 연구결과들에 대한 종합적 해석을 통해 구성주의적 입장에서 행하여진 대안 개념 운동(ACM : alternative conceptions movement)의 대표적인 지식주장(knowledge claims)을 다음의 8가지로 요약하였다.

- 학습자는 자연의 사물/사건에 대한 다양한 대안 개념을 가지고 과학 수업에 임한다.
- 학습자의 대안 개념들은 나이, 능력, 성별, 문화의 경계들을 초월한다.
- 대안 개념은 완고하고 저항적이어서 전통적 교수 전략에 의해 잘 소멸되지 않는다.
- 대안 개념은 흔히 이전 세대의 과학자나 철학자들이 제안하였던 설명들과 유사하다.
- 대안 개념은 직접적 관찰과 지각, 또래문화, 언어, 교사의 설명, 교수자료 등을 포함하는 다양한 개인적 경험으로부터 기원한다.
- 교사도 이따금 학생과 동일한 대안 개념을 가지고 있다.
- 학습자의 사전 지식은 수업에서 제시되는 지식과 상호작용하며, 이를 통해 의도하지 않은 다양한 학습 결과가 유발된다.
- 개념 변화를 촉진하는 교수 접근들은 효과적인 수업 도구가 될 수 있다.

학생의 과학 오개념은 다양한 특징을 갖고 있다. 학생들은 서로 다른 물리 영역의 현상에 따라 독특한 개념을 갖기도 하며, 보편적으로 유사한 개념을 갖기도 한다. 또한 동일한 물리 현상을 학생에 따라 서로 다르게 생각하기도 한다. 그렇지만 학생들의 개념은 공통적인 특징을 갖고 있다(장병기, 2000). Driver(1985, 1988)는 학생들이 갖고 있는 개념의 특징을 다음과 같이 요약하였다.

- 지각에 의존하여 생각한다.
- 상호작용보다는 물체의 성질들에 초점을 맞춘다.
- 안정된 상태보다는 변화에 초점을 맞춘다.
- 단순히 인과적으로 생각한다.
- 변화되지 않은 개념을 사용한다.
- 상황에 따라 다르게 생각한다.
- 새로운 상황을 이해하기 위한 ‘능동적인 인식틀’의 역할을 한다.
- 사고 방식 내에서 일관성을 갖고 있다.

## 5. 과학 오개념의 변화를 위한 교수-학습 방안

1980년이래 초창기의 구성주의적 접근이 학생의 과학 오개념에 대한 조사·분석에 집중되었던 반면, 이후의 구성주의적 과학교육 연구의 주된 흐름은 개변변화의 조건 및 효과적인 개변변화 방안의 탐색이었다.

### □ 개념변화의 조건

구성주의에 기초할 때 과학학습은 새로운 정보의 단편적인 증가보다는 개념을 발전시키거나 변화시키는 데 관심을 갖는다. 따라서 구성주의적 과학교육이 학교 현장에 효과적으로 적용되기 위해서는 학생의 오개념에 대한 종합적이고 체계적인 조사와 함께 오개념이 과학적 개념으로 변화될 수 있도록 하기 위한 실천적 방안들이 강구되어야 한다.

개념변화에 대한 탐색은 과학교육학(Posner *et al.*, 1982)과 발달심리학(Carey, 1986; Vosniadou, 1994) 연구 양쪽에 그 뿌리를 두고 있다. 과학교육학 연구에서 개념

변화이론은 학생의 개념이 새로운 과학적 개념으로 교환될 필요가 있다는 것을 의미하는데, 이는 Posner *et al*(1982)의 이론적 틀의 핵심이었다. 반면에, 개념변화에 대한 발달심리학 연구는 일반적으로 기술적(descriptive)이며 개념변화의 대상이나 방법에 대해서는 제한적 시사점을 주는 데 집중되었다(Duit & Treagust, 1998).

학생의 오개념이 변화에 매우 저항적이기 때문에, 오개념을 과학적 개념으로 바꾸기 위해서는 몇 가지 특정한 조건을 만족해야 한다. Posner *et al*(1982)은 성공적인 개념변화를 위해 다음의 4가지 조건을 제안하였다: 자신의 생각에 불만을 가지고(dissatisfactory), 새로운 개념은 이해할 수 있는 것이어야 하고(intelligent), 그럴듯하며(plausible), 활용 가능성이 많아야(fruitful) 한다. 한편, Macbeth(2000)는, Driver(1985)에 기초하여, 개념변화의 촉진을 위해서는 다음의 조건들이 만족될 필요가 있다고 지적하였다.

- 학생들에게 자신의 개념을 분명하게 밝히고 검토 할 수 있는 기회를 제공해야 한다.
- 학생의 개념과 상반되는 경험적 예를 제시한다.
- 대안 개념들을 제시하고 이를 검토한다.
- 과학적 개념을 사용할 기회를 제공한다.

#### ■ 개념변화를 위한 학습지도 방안

학생의 오개념을 과학적 개념으로 변화시키기 위한 방안으로 다양한 학습지도 방안(또는 학습모형, 수업모형, 교수모형)들이 제안되고 있다. 여기에서는 과학교육학 분야에서 제안되었던 개념변화를 위한 대표적인 몇 가지 사례에 대해 살펴보자.

##### (Driver의 학습모형)

Driver의 학습모형은 학생들이 자신의 생각을 표현하는 단계, 자신의 생각을 재구성하는 단계, 재구성한 생각을 응용하는 단계, 자신의 생각의 변화를 검토하는 단계로 이루어져 있다.

- ① (표현 단계) 학생 각자의 생각을 표현하기 위한 단계이다. 교사는 학습내용과 관련된 현상이나 예를 제시하고, 학생들은 이를 관찰하고 자신의 언어로 설명하

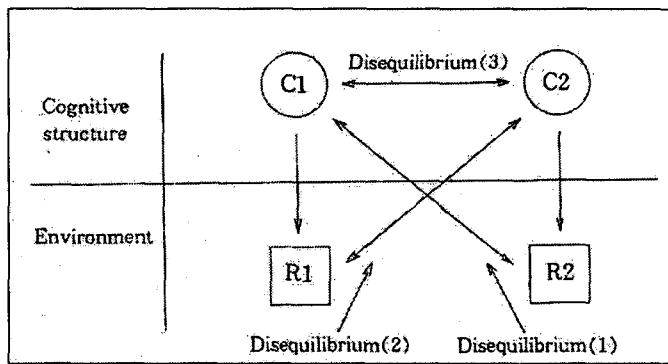
도록 한다. 학생들은 자신의 생각을 정리하여 기록한다.

- ② (재구성 단계) 이 단계는 4개의 하위 단계로 구성된다. 먼저, 학생들은 자신의 생각을 분명히 하고 이를 발표하도록 한다. 각자의 생각을 비교해 보고 그 장단점을 생각해 본다. 이어서 학생들의 생각과 상충되는 현상이나 사건을 제시함으로써 ‘상충된 상황에 노출’되고 인지갈등을 경험하도록 유도한다. ‘새로운 생각의 구성’ 단계에서는 자신의 기존 생각을 대체할 수 있는 새로운 생각을 구성하는데, 이를 위해 교사는 새로운 생각의 장점이 잘 드러나도록 하는 방안 등을 고안한다. 새로운 생각의 구성이 이루어지면, 이어서 그것이 얼마나 타당한지 평가하도록 한다.
- ③ (응용 단계) 학생들에게 새로운 소재나 상황을 제시하여 재구성한 생각을 적용해 볼 수 있는 경험을 갖도록 한다. 이를 통해 학생들은 새로운 생각의 활용 가능성을 인식하게 될 것이다.
- ④ (변화 검토 단계) 학생들이 새롭게 학습한 생각과 수업 전에 갖고 있던 이전의 생각을 스스로 비교해 보는 기회를 갖는다. 자신의 생각이 얼마나 변화되었는가를 경험하는 것은 새로운 생각의 학습을 스스로 확인해 보게 함으로써 학습과정에 대한 반추를 가능하게 한다.

##### (인지갈등 모형)

구성주의적 접근을 취하면서 학생의 개념변화를 피하기 위한 대부분의 학습지도 방안은 기본적으로 인지갈등(cognitive conflict)을 가장 중요한 단계로 간주하고 있으며, 인지갈등을 전제로 하는 개념변화 학습지도 방안에는 여러 가지가 있다. 권재술(1997)은 Hashweh(1988)가 제안했던 개념변화 모형에 부분적인 수정을 가하여, <그림 2>와 같이 도식화하였다. 여기에서 C1은 학습자가 현재 가지고 있는 개념, C2는 새로 학습해야 할 개념, R1은 C1에 의해 무리 없이 설명될 수 있는 현상, R2는 C2에 의해 무리 없이 설명될 수 있는 현상을 말한다.

인지갈등은 지적 비평형(disequilibrium) 상태에서 발생하는데, 비평형(1)은 기존의 개념에 의해 새로운 현상



&lt;그림 2&gt; 권재술의 개념변화의 인지적 모형

이 설명되지 않을 때, 비평형(2)는 새로 학습한 개념에 의해 이전에 익숙했던 현상이 설명되지 않을 때, 비평형(3)은 새로운 개념이 기존의 인지 구조와 통합되지 않을 때 일어난다. 여기에서 다음의 3가지 개념변화 유형을 생각할 수 있다.

- ① 확장형 개념변화 ( $C_1 < C_2$ ) : 새로 학습할 개념이 기존의 인지구조에 있는 개념에 비해 상위 수준이며 기존 개념을 포함하고 있는 경우이다. 이 경우 비평형(1)이 매우 중요하다.
- ② 상호전환형 개념변화 ( $C_1 \leftrightarrow C_2$ ) :  $C_1$ 과  $C_2$ 가 같은 개념이면서 표현 형태가 다른 경우이다. 이 경우에는 비평형(1)과 비평형(2)가 다같이 중요한 문제로 대두된다. 하지만 보통 학교교육에서는 비평형(1)만 부각된다.
- ③ 혁명형 개념변화 ( $C_1 \rightarrow C_2$ ) : 새로 학습할 개념이 기존의 인지구조에 있는 개념을 완전히 대체하는 경우이다. 이 경우 비평형(1)의 도입은  $C_2$ 의 도입을 위하여 필수적이다. 단 비평형(1)이 해소되는 것이 아니라 결국에는 의미를 상실하게 된다. 비평형(2)은 해소되어야 하는 것으로서 중요한 역할을 한다.

구성주의적 접근에서 가장 중요한 점은 학습자 자신이 스스로의 오개념과 그것의 한계를 인식하고 이를 통해 오개념과 그것으로는 설명되지 않는 새로운 현상 사이의 갈등 혹은 오개념과 학습될 새로운 과학적 개념 사이의 갈등을 극복하는 것이다. 갈등의 인식과 해소에 기초한 개념

변화의 단계를 보다 간략히 순서화 하면 다음과 같다(박종원, 1992; 김익균 등, 2002).

- ① 오개념 인식 단계 : 학습자가 자신의 오개념을 인식한다.
- ② 갈등 인식 단계 : 제시된 학습 내용과 자신의 오개념이 다를 경우에 갈등을 인식한다.
- ③ 갈등 해소 단계 : 갈등을 해소하기 위한 능동적인 학습 활동을 한다.
- ④ 변화된 개념 인식 단계 : 변화된 개념은 오개념과 비교하고, 새로운 상황에 적용한다.

발생학적 지도모형(Generative Teaching Model)을 제안한 Cosgrove & Osborne(1985)도 유사한 인지갈등 극복 단계를 제안하였는데, 그 주요 내용은 다음과 같다: ①(준비단계) 교사는 과학자의 관점, 학생의 관점 그리고 자신의 관점을 이해할 필요가 있다; ②(집중단계) 학생들이 자신의 개념을 실제적이고 일상적인 상황에서 탐색할 수 있는 기회를 제공한다. 학습자는 자신의 관점을 명확하게 하도록 한다; ③(도전단계) 학습자는 자신들이 현재 가지고 있는 관점들과 교사가 도입한 과학적 관점간의 같은 점과 다른 점에 대해 논쟁을 벌인다; ④(적용단계) 새로운 생각을 여러 상황에 적용할 기회를 제공한다.

#### (초인지 활동을 통한 방안)

성공적인 학습자는 자신의 개념을 탐색하기 위해 스스로에게 질문하는 자기질문법을 많이 사용하고, 자신이

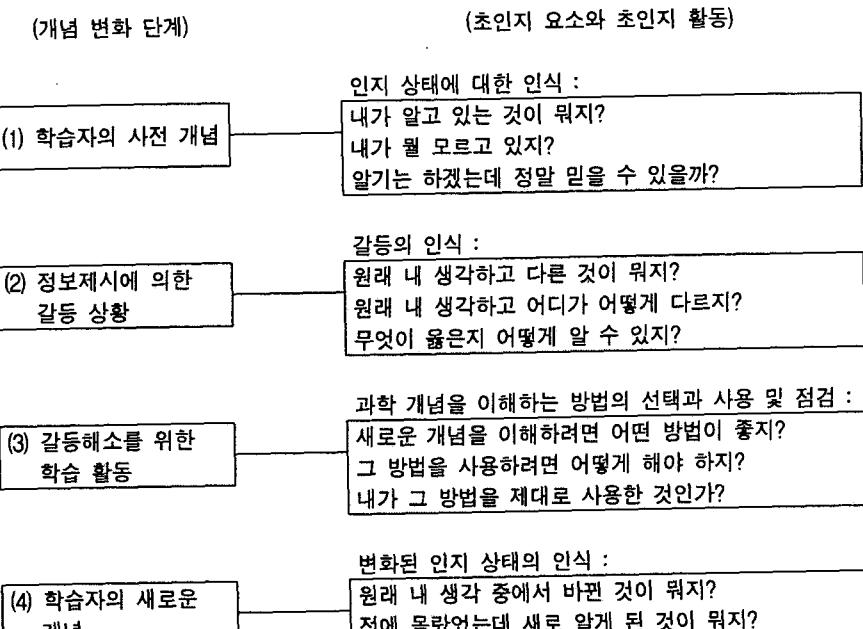
학습한 성취 결과를 반성하고, 자신의 개념이 앞으로 어떻게 사용될 것인지에 대해 고려한다는 특성이 있다. 이러한 특성을 초인지(meta cognition)라 할 수 있는데, 최근의 연구에 의하면 초인지적 전략이 학생의 과학개념 형성에 상당히 효과적인 것으로 밝혀지고 있다(예: White & Gunstone, 1989). 박종원(1992)은 과학 개념의 변화 과정에서 초인지가 중요하다고 가정하였을 때 구체적으로 3가지의 필요한 초인지 요소가 있다고 지적하였다: ① 자신의 인식 상태에 대한 인식, ② 갈등의 인식, ③ 과학 개념을 이해하는 방법의 선택과 사용 및 점검. 초인지 활동을 통한 개념 변화에서 특히 중요한 점은 개념 변화를 위하여 외적인 조건을 만족시키는 데 그치지 않고 학습자의 내적 조건을 만족하도록 하는 것이다. 예를 들어, 학습자가 실제로 자신의 개념을 인식하고, 갈등을 인식하여, 자신의 개념을 새로운 개념으로 변화시킬 수 있는 학습자 자신의 능동적인 활동을 할 수 있도록 하는 것 등이 여기에 해당한다. 초인지 활동을 통한 개념변화 학습의 단계별 초인지 요소 및 초인지 활동은 <그림 3>에 나타나 있다.

## 6. 구성주의적 접근이 과학교육에 주는 시사점

구성주의적 접근은 과학교육의 전반에 걸쳐 폭넓은 시사점을 던져주고 있으며, 이에 따른 다양한 변화를 요구하고 있다. 여기에서는 교육과정, 학습지도 및 평가, 교사교육의 측면에 대해 살펴보자.

### ■ 교육과정의 측면

Driver(1981)는 오개념 연구들이 과학 교육과정에 주는 시사점으로 다음의 네 가지를 주장하였다: ① 교육과정을 개발할 때 교과의 구조와 함께 학생의 사고 구조에도 주의를 기울여야 할 필요가 있다, ② 교과 내용의 논리적 순서가 학습의 심리적 순서와 일치하지 않을 수 있기 때문에, 과학개념 이해의 발달 과정에 맞추어 구조화될 필요가 있다, ③ 과학 수업의 활동에는 여러 설명 중에서 올바른



<그림 3> 초인지 활동을 통한 개념변화 학습의 단계 (김의균 등, 2002)

설명을 확증하고, 그렇지 않은 설명을 반증하는 활동이 포함될 필요가 있다. ④ 과학 수업 시간에 이루어진 관찰과 측정의 의미를 학생들이 철저히 생각해 볼 수 있는 기회를 제공할 필요가 있다. 또한 Duit & Confrey(1996)는 교육과정과 수업을 재조직하여 학교 과학 학습을 증진시키기 위한 5가지 가정을 제시했다:

- 학생이 관심을 갖는 상황 속에서 과학 지식을 적용하는 일에 강조를 두어야 한다.
- 과학 지식이 영원한 진리가 아니라 인간의 잠정적 구성물이라는 것을 배워야 한다.
- 학생의 일상적 개념을 과학 개념으로 대체하는 대신 둘의 관계를 파악하도록 한다.
- 수업 분위기는 의견 교환, 토의, 개념의 협상 등 학생 중심적이어야 한다.
- 상이한 관점들의 가치를 인정하고, 협상을 통해 합의에 도달할 수 있도록 한다.

학생의 오개념에 대한 지식은 또한 구체적인 학습 과제를 계획할 때도 중요하다. 학생들의 지배적인 생각 유형을 알면 그러한 생각의 적용 범위를 확장하거나 도전시킬 수 있는 활동들을 고안할 수 있기 때문이다. 학생들의 생각을 변화시키기 위해서는 Posner *et al.*(1982)의 지적과 같이 자신의 현재의 개념에 대한 불만이 쌓일 수 있는 기회를 제공하고, 지적인 이해가 가능하고, 그럴듯하며, 재기되는 여러 문제에서 유용하게 사용될 수 있는 개념을 제공해 줄 수 있는 학습 자료를 개발해야 할 것이다. 그러나 한 가지 학습 자료를 제공하는 것으로 학습을 증진시키기는 어렵다. 새로운 학습 자료의 개발은 포괄적인 구성주의적 접근 방식 속에 통합되어야 한다. 그리고 실험과 교재를 비롯한 다양한 학습 자료가 개발되어야 할 것이다(Stinner, 1992).

#### ■ 학습지도의 측면

Driver *et al.*(1985)은 여러 연구를 토대로 개념 학습을 증진시키는 데 도움이 될 수 있는 방안을 다음과 같이 제안했다: 학생들이 자신의 생각을 분명하게 할 수 있는 기회를 제공한다. 불일치 사건을 도입한다, 소크라

테스식 질문법을 사용한다, 일련의 다양한 생각들을 해보도록 격려한다, 넓은 범위의 상황 속에서 개념을 사용하는 연습을 한다. 특히 Duit(1991)는 교수·학습 측면에서 다음의 점들에 주의해야 함을 지적하였다:

- 과학 개념은 경험적 증거나 이론적 통찰에 따라 수정될 수 있다는 것의 이해에 중점을 둔다.
- 학생들은 과학 지식뿐만 아니라 과학 지식의 본성에 대한 통찰력을 갖도록 한다.
- 일상적인 경험에서 비롯될 수 있는 오해를 피하기 위해 학습 내용의 구조를 변화시켜야 한다.
- 학습 장애를 극복하고 개념을 합리적으로 구성할 수 있도록 학습 보조도구의 개발이 필요하다.
- 학생의 관점과 과학적 관점을 대조하고 협상하도록 지도한다.
- 개념 변화는 새로운 것에 대한 감정적 저항이 극복되어야 하므로 정의적 측면을 고려한다.
- 학습 자체에 대한 성찰이 강조되어야 한다.
- 연수 등을 통해 교사에게도 구성주의적 관점을 가르쳐야 한다.

과학 학습은 과학의 개념 학습에 강조를 두지만, 과학적 탐구 과정, 과학의 본성에 대한 이해, 학습에 대한 메타지식 등이 학생의 개념에 영향을 준다. 따라서 교과 내용 지식뿐만 아니라 이러한 측면의 이해 역시 과학 수업의 목표로서 강조되어야 할 것이다. 또한 학생들은 동일한 현상에 대하여 다른 관점이 있을 수 있고, 그런 관점들은 나름대로 장점과 가치가 있다는 것을 배워야 한다. 아울러 과학적 관점이 자신의 관점과 어떻게 다른지 학습하고, 왜 과학적 관점이 특정한 상황에서는 자신의 관점보다 더 적절하고 가치가 있는지 알아야 한다. 따라서 학생들의 개념을 틀린 것으로 간주하고 그것을 고치는 데 초점을 맞추기보다는 학생들이 세상을 이해하는 과정을 이해하려고 노력해야 할 것이다.

#### ■ 교사교육의 측면

구성주의적 접근은 교사교육에도 많은 시사점을 준다. Northfield *et al.*(1996)은 전문성 개발을 위한 교사교육을

위하여 다음의 원리를 제안했다: ① 교사교육은 교사가 갖고 있는 기존의 개념에 도전할 수 있어야 하고, 교사의 입장에서는 개념적 변화가 일어나도록 해야 한다, ② 교사도 학습과 수업에 대한 자신의 견해를 계속 능동적으로 구성하는 일종의 학습자이다. 교사의 견해는 개인적 경험에 기초해 있고, 기존의 생각과 믿음에 의해 강하게 형성된다, ③ 교사교육의 전문적 지식 요소는 계속적인 발달을 필요로 하고, 교실 현장에 일차적으로 초점을 맞추어야 한다, ④ 가르치는 일을 배우는 것은, 가르치고 학습하는 경험에 대해 교사들이 다른 사람과 상호작용 하도록 하는 조건과 교사들을 위한 지원을 필요로 한다.

교사는 배운 대로 가르치기 때문에, 교사교육 자체도 구성주의적 방식으로 조직되어야 한다(Duit, 1991). Shulman(1987)은 전문성을 갖춘 교사가 갖추어야 할 지식 바탕을 크게 7가지 영역으로 구분했다. 그 중에서 4가지는 교과교육 지식과 관계가 있고, 3가지 일반적인 교육 지식에 관한 것이다. 교과교육과 관련된 지식의 바탕은 교과 내용 지식, 교과 지도 지식, 학습자 특성 지식, 교육과정 지식이다. 교사교육 프로그램에서 학생의 물리개념에 대한 이해는 교과 내용 지식, 교과 지도 지식, 학습자 특성, 교육과정 지식에 대한 통찰을 제공해 줄 수 있는 좋은 소재가 될 수 있다. 교사는 학생의 물리개념, 물리학자의 물리개념을 알고 있어야 하고, 또한 교사 자신의 관점이 앞의 두 개념과 비교하여 어느 곳에 위치하고 있는지 분명히 인식해야 한다. 또한, 구성주의적 관점에서 교사의 역할에 대한 인식이 바뀔 수 있도록 해야 할 것이다. 교사는 더 이상 지식의 공급자가 아니다. 교사는 학습 활동을 진단하고, 적절한 학습 활동을 규정하며, 학습을 촉진시키는 역할을 할 수 있어야 한다.

## 7. 구성주의적 접근에 대한 비판

구성주의는 현대의 과학철학적·심리학적·교육학적 이론으로서 과학교육의 여러 측면에 큰 영향을 미쳤다. 그러나 동시에 이들과 과학교육학자에 의해 비판의 대상이 되기도 한다. 과학교육에서의 구성주의적 접근에 대한 비판은 크게 철학적·심리학적 측면의 비판과 교수-학습적 측면의 비판으로 나뉘어질 수 있다.

### ■ 철학적·심리학적 측면의 비판

조희형·최경희(2002)의 분석에 의하면, 구성주의에 주어지는 비판들은 구성주의 전체에 대한 비판과 '급진적' 구성주의에 대한 비판으로 크게 나뉘어질 수 있다. 특히 구성주의 내에서의 비판은 급진적 구성주의에 대한 사회적 구성주의의 비판이 심하다. 이들의 분석결과에 기초하여, 구성주의에 주어지는 비판들을 구성주의 전체에 대한 비판과 급진적 구성주의에 대한 비판으로 나누어 요약하면 다음과 같다.

#### (구성주의 전체에 대한 비판)

- 구성주의는 과학적 이해를 경시하거나 무시한다(Hodson & Hodson, 1998).
- 구성주의는 상식에 지나지 않는다(Treagust *et al.*, 1996).
- 모든 지식은 주관적 잠정적이며 불확실하다는 관점에 빠져 있다(Osborne, 1996).
- 진보주의 또는 도구주의에 지나지 않는다(Gunstone, 2000; Osborne, 1996).
- 상대주의 지향적이다(Gunstone, 2000; Howe & Berv, 2000; Matthews, 1994; Osborne, 1996; Shamos, 1995; Staver, 1998).
- 실체의 존재를 부정한다(Tobin & Tippins, 1993)
- 인식하는 세계는 사람의 수만큼 다양하다는 생각에 빠지게 한다(Duit, 1995).
- 경험주의의 견해를 완전히 벗어나지 못했다(Staver, 1998).

#### (급진적 구성주의에 대한 비판)

- 개인을 지나치게 강조하며, 사회적 차원을 경시한다(Driver *et al.*, 1994a & 1994b; Matthews, 1994; Treagust *et al.*, 1996).
- 본질적으로 반실재론이다(Matthews, 1994; Osborne, 1996).
- 문학적·사회적 교실에 적용하기 어렵다(O'Loughlin, 1992; Wellington, 2000).
- 경험주의적 본성을 갖지만, 물리적 세계의 존재를 부정한다(Treagust *et al.*, 1996).

- Glaserfeld의 원리는 경험주의 인식론에 지나지 않는다(Matthews, 2000).
- 실체의 객관적 존재 부정, 또는 과학의 개념적 기초, 과학의 개념적 도식, 과학의 이론적 대상, 과학의 자연적·물질적 대상 등을 혼동한다.

구성주의는 과학지식이 구성되는 방법과 과학지식을 교수-학습하는 방법을 같거나 한 가지로 가정함으로써, 또한 귀납적 일반화를 인정하지 않음으로써, 과학적 개념이 형성되는 과정을 구체적으로 제시하지 못한다(Osborne, 1996). 특히, 급진적 구성주의는 과학, 과학적 활동, 과학지식, 과학 교수-학습 과정의 사회적 특성을 강화하고 있다(Noddings, 1995).

구성주의에 대한 철학적·인식론적 측면에서의 비판 중 가장 직접적이고 근본적인 문제는 역시 전통적으로 과학에 주어졌던 진리성의 명성에 대한 훼손이라 할 수 있다. 구성주의적 입장을 취할 때 과학의 옳음(right)에 대한 궁극적 추구가 흔히 무의미해 진다는 점이다. 이런 의미에서 Nola(1995)의 비판은 주목할 만하다.

과학의 전 역사 과정을 통해서 과학자들은 그들의 많은 노력을 옳은 (혹은 부분적으로 옳은) 것을 얻는 것에 기울여 왔다. 그리고 현재의 과학을 학습할 때 학생들의 궁극적 목표는 마찬가지로 옳은 것을 얻는 것에 있어야 한다. 희망컨대 교사는 틀린 것이 아닌 옳은 것을 가르칠 것이다. 궁극적으로 옳은 것을 얻지 못한다면 이는 과학의 가장 중심적인 특성 중의 하나에 대해 등을 돌리는 것이다. 이러한 상황은 세상에는 옳은 해법이 존재한다는 생각과 잘못된 믿음을 가진 사람들을 고칠 수 있다는 가능성에 대한 생각을 동시에 포기할 때 나타난다(Nola, 1995, p.25).

#### ■ 교수-학습적 측면의 비판

Matthews(1994)는 과학 교육과정의 측면에서 구성주의는 무슨 내용을 어떻게 가르쳐야 하는가에 대해 문제 제기를 하였다. 무슨 내용을 가르칠 것인가라는 교육과정의 문제는 사회적 요구, 개인적 요구, 서로 다른 영역

의 지식과 경험의 상대적 장점 그리고 최종적으로는 정치적 의사 결정에 의해서 정해지기 때문에 학습 이론 이외의 다양한 추가적 요인들을 함께 고려해야 하는 것이다. 구성주의는 이러한 측면들을 무시하거나 학습 이론을 교육과정과 별개로 다루고 있다는 점에서 문제가 있을 수 있다. 이러한 비판은 구성주의는 학습의 이론이지 수업의 이론이 아니며 따라서 교육과정의 설계를 어떻게 할 것인가를 말할 수 없다고 하는 Osborne(1996)의 비판과 맥을 같이 한다(권성기, 1998).

구성주의적 접근은 다른 모든 교수-학습 이론과 마찬가지로 장점과 함께 필연적 제한점도 안고 있다고 할 수 있는데, 그것이 갖는 일반적 제한점은 다음과 같다.

첫째, 전통적인 교수방법에 비해 너무 많은 시간이 소요된다. Scott *et al.*(1987)은 학생의 선개념을 중심으로 한 학습방식에서 다음과 같은 어려움이 있음을 지적하였다.

“학생들의 개념을 확인하고 그것으로부터 학습을 하게 하는 것을 기본으로 하는 어떠한 교수 방식도 필연적으로 단순한 지식의 ‘전이방법’보다 많은 시간을 필요로 한다. 구성주의적 접근에 처음으로 접하는 교사들의 첫 번째 반응은 아마도 교과내용을 다 가르치기 위해서 그렇게 많은 시간을 들어서 수업하는 것이 불가능하다는 것일 것이다.”

둘째, 앞의 이유 때문에 제한된 수업시간 내에서 학습 가능한 교과의 내용은 필연적으로 줄어들 수밖에 없다. 물론 이 두 가지의 제한점은 선택의 문제이다. 즉, 많은 수업시간과 적은 교과내용의 취급가능성이 우리가 보다 바람직하다고 생각되는 과학교육의 방식을 채택하기 위한 필연적 손실이라면 그것은 어느 정도 감수할 수 있는 문제가 될 수도 있는 것이다.

셋째, 한국과 같이 교육여건이 열악한 (특히, 다인수 학급, 보조 교사의 부재 등) 상황에서는 위와 같은 학생의 오개념을 중심으로 하는 과학학습이 현실적으로 매우 어려운 것이 사실이다. 하지만 이 점 역시 중대형 학급 규모를 대상으로 하는 새로운 교수-학습 방식이 개발된다면 부분적으로 해결 가능할 수 있을 것이다. 예를 들어, 영국의 SPACE 프로젝트(Osborne *et al.*, 1990)는 학

교의 과학 수업시간에 전체 학급을 대상으로 할 수 있는 여러 가지 방법을 시도하였다.

넷째, 특히 우리나라에서는 중등학교의 거의 모든 교수-학습 활동이 대학입시에 의해 좌우되고 결정되는 현실이다. 따라서 아무리 학생의 과학 오개념을 중심으로 하는 구성주의적 접근이 바람직하다고 하더라도, 이것에 어울리는 입시제도로의 전환이 이루어지거나 현재의 입시제도 환경에 어울리는 방안이 강구되지 않는 한 현실적으로 학교 현장에서의 과학교육이 실질적으로 변화되기는 어려울 것이다.

## 8. 학생의 물리 誤概念 地圖를 위한 연구의 배경과 과정

지금까지 과학교육에서의 구성주의 접근의 여러 측면에 대해 살펴보았다. 앞에서 지적한 바와 같이 구성주의적 접근은 학생의 과학 오개념에 대한 많은 연구들을 촉진시켰으며, 이러한 실증적 연구들은 과학교육학 역사에서 가장 방대하고 심층적인 기초 자료를 제공해 주고 있다. 그럼에도 불구하고 구성주의적 접근은 여러 측면에서 비판의 대상이 되기도 하고, 실천적 한계점을 지니기도 한다. 여기에서는 이러한 제한점을 극복하기 위한 실질적 방안의 탐색을 위해 최근 필자를 비롯한 국내의 일부 물리교육학자들에 의해 수행되었던 “학생의 물리 誤概念 地圖를 위한 표준검사도구의 개발 및 DB 구축”(송진웅 등, 2003)의 내용을 간략하게 소개하고자 한다.

### ■ 연구의 배경

과학교육은, 다른 교육학 분야에서와 마찬가지로, 기본적으로 실천학문이다. 과학교육의 이론은 현실의 문제를 해결하기 위한 도구로서의 기능을 갖지 않을 수 없으며, 만약 현실적 적용성이 없는 이론이 존재한다면 그것의 학술적 가치 또한 매우 제한적일 수밖에 없을 것이다. 그리고 이런 의미에서 학생의 과학 오개념을 중심으로 하였던 지금까지의 구성주의적 과학교육의 접근이 우리나라의 교육현장에서 갖는 실천적 가치는 상당히 제한적이다.

구성주의적 입장을 수용하는 과학 교수-학습 활동은

대체적으로 ① 학습자 자신의 생각의 표현 및 오개념 확인 → ② 인지적 갈등의 인식 및 해소 → ③ 개념의 재구성 및 새로운 문제에의 응용 등의 절차를 따르게 된다(예: Cosgrove & Osborne, 1985; 권재술, 1989). 그리고 여기에서 가장 중요한 단계는 첫 번째인 “학습자 자신의 생각을 표현하고 이로부터 공통적인 오개념을 확인”하는 단계이다.

여기에서 가장 큰 문제로 등장하는 것이 다인수 학급과 많은 교육내용이며, 이는 곧바로 교사에게는 실질적 수업시간의 부족과 업무과중으로 연결되게 된다. 그리고 이는 다시 주입식 수업과 암기위주의 비창의적 학습으로 이어지게 된다. 요컨대, 이와 같은 현실적 문제가 해방 이후 서구의 수많은 교육이론들이 도입되었지만 대부분 우리나라 교육현실과의 격차만을 경험하게 되었던 원인이 된다. 이 이유에서, 지금까지 수행된 매우 많은 양의 연구성과에도 불구하고 구성주의적 과학교육이 우리의 학교 현장에서 실제적으로 적용되는 경우는 극히 예외적이다. 따라서 과학교사에게 자신이 가르쳐야 하는 학생들에 대한 체계화된 오개념 파악의 정보가 체계적으로 제공된다면, 교사는 자신의 수업 시간 중 보다 많은 부분을 오개념의 - 발표 및 확인이 아닌 - 교정 및 새로운 개념의 응용에 할애할 수 있을 것이다.

따라서, 우리나라의 각급 학교 학생들이 물리학의 각 내용 영역에 대하여 구체적으로 어떤 오개념들을 평균적으로 지니고 있으며, 그 종류와 정도는 학생의 성별, 연령별, 지역별 등으로 어떤 차이가 있는가를 일목요연하게 보여줄 수 있는 소위 『학생의 物理 誤概念 地圖(MSPM: Map of Students' Physics Misconceptions)』를 개발하기 위한 기초 작업으로서, 중등학생의 물리 오개념을 조사하기 위한 표준 검사도구를 개발하고 이를 전국적 표본을 대상으로 실시하여 그 결과를 바탕으로 학생의 물리 오개념에 대한 체계적인 데이터베이스(DB)를 구축하고자 하였다.

학생의 과학 오개념과 관련하여 각 과학 분야(혹은 소분야)별로 상당히 치밀하게 연구결과들을 분류 및 정리한 연구물들이 국내외에 일부 존재한다(예: Pfunt & Duit, 1988; Driver *et al.*, 1994a & 1994b; 권재술 · 김범기, 1993; 물리학습연구실, 2000). 하지만, 지금까지의 오개념 관련 연구는 소수의 특정 연령층의 학생들을 대상

으로 과학(예컨대, 물리)의 특정 내용에 관련된 일부 검사문항들을 개발하여, 이를 적용해 보고 이를 통해서 새로운 유형의 오개념을 확인해 보거나 혹은 유사한 문항을 사용하여 학습활동 전후로 해당 오개념이 변화되었는가를 살펴보는 것이 주류를 이루고 있었다.

무엇보다 중요한 것은 교사가 특정 과학 내용에 대해 지도할 때 학급의 학생들이 어떠한 오개념을 지니고 있으며, 그러한 오개념들을 효과적으로 지도하기 위해서는 구체적으로 어떠한 예시, 설명, 활동, 탐구 등을 사용해야 할 것인가에 대한 체계적이고 종합적인 안내를 제공하는 것이다. 이를 위해서는 우리나라의 교육과정에 기초하여 다양한 과학개념에 대한 학생들의 오개념을 전국적 규모로 조사·분석하고 동시에 확인된 대표적 오개념들에 대한 효과적인 지도 방안 등을 포함하는 DB를 구축하는 것은 매우 필요한 작업일 것이다.

#### ▣ 연구의 과정

물리 오개념 地圖 연구의 절차와 내용은 크게 다음의 4단계로 나뉘어진다. 연구는 2000년 9월부터 2002년 12월까지 총 2년여의 연구 기간을 통해 수행되었다.

① 중등 학생의 물리 오개념에 관한 국내외 연구

- 의 조사 및 분석 (2000.8 ~ 2001.2)
- ② 중등 학생의 물리 오개념 측정을 위한 표준검사도구의 개발 (2001.3 ~ 2002.3)
- ③ 중등 학생들의 물리 오개념에 대한 전국 규모의 조사 실시 (2002.4 ~ 2002.6)
- ④ 조사결과에 대한 비교분석 및 물리 오개념 DB 구축 (2002.7 ~ 2002.12)

연구는 6명의 물리교육학 전공 연구자들에 의해 수행되었으며, 연구진의 규모와 연구기간을 고려하여 그 범위와 규모를 다음과 같이 제한하였다.

- ① 물리 오개념 표준 검사도구는 물리학의 전체 영역을 포함할 수 있는 5개의 각 하위 분야('힘과 운동', '에너지와 열', '전기와 자기', '파동과 빛', '상대론과 양자역학')별로 28~39개의 선택 및 이유서술 형식의 문항들로 구성된 3~4개의 문항지로 개발되었다.
- ② 조사 및 분석의 효율성을 고려하여, 연구에서는 중·고등 학생과 과학교육학 학생을 주 대상으로 삼았다. 다만, 국가 교육과정의 범위를 넘어서는 '상대론과 양자역학'의 경우 과학교육학

<표 1> 설문조사에 참여한 지역별 연구대상의 학교, 학급, 학생의 분포

학교별	지역별	대도시				중소도시				학교별 계
		서울	부산	광주	계	경기	경북	충북	계	
중학교 (7, 9학년)	학교	6	3	8	17	4	3	2	9	26
	학급	28	16	16	60	20	21	12	53	113
	학생	1876	1116	1128	4120	1791	1135	1235	1461	8281
고등학교 (11학년)	학교	4	4	5	13	3	2	2	7	20
	학급	28	8	10	46	15	13	12	40	86
	학생	1294	599	687	2580	995	142	735	1872	4452
과학고 (10,11학년)	학교	2	1	1	4	0	1	1	2	6
	학급	18	4	4	26	0	10	4	14	40
	학생	1401	695	336	2432	0	390	559	949	3381
지역별 계	학교	12	8	14	34	7	6	5	18	52
	학급	74	28	30	132	35	44	28	107	239
	학생	4571	2410	2151	9132	2786	1667	2529	6982	16114

교 학생들만을 대상으로 조사와 분석이 이루어졌다.

조사연구에 참여한 대상의 분포 및 규모는 <표 1>과 같다. 전체적으로 전국에서 연인원 총 52개 학교(중-26, 일반고-20, 과학교-6)의 239학 학급(중-113, 일반고-86, 과학교-40)에 속해 있는 16,114명(중-8281, 일반고-4452, 과학교-3381)의 학생이 조사에 참여하였다.

## 9. 학생의 물리 誤概念 地圖 연구의 결과 및 의미

<표 2> 표준검사도구의 조사 분야별 문항지 구성

분야	총 문항수	문항지별 문항수	문항형태
힘과 운동	39문항	- 역학1 (10문항) - 역학2 (10문항) - 역학3 (10문항) - 역학4 (9문항)	선택형 서술형
에너지와 열	28문항	- 열1 (9문항) - 열2 (9문항) - 열3 (10문항)	선택형 서술형 ○×형
전기와 자기	36문항	- 전자기1 (7문항) - 전자기2 (11문항) - 전자기3 (10문항) - 전자기4 (8문항)	선택형 서술형 ○×형
파동과 빛	39문항	- 파동1 (9문항) - 파동2 (10문항) - 파동3 (10문항) - 파동4 (10문항)	선택형 서술형 ○×형
상대론과 양자역학	28문항	- 현대1 (5문항) - 현대2 (13문항) - 현대3 (10문항)	선택형 서술형 ○×형
계	170문항	11개 문항지	

### ■ 표준검사도구의 개발 및 검사도구의 구성

연구를 통해 개발된 물리 오개념 地圖를 위한 전체 표준검사도구는 5개 영역에 걸친 11개 문항지의 총 170 개 문항으로 구성되었다. 각 문항지에는 각 분야의 성격

에 따라서 5-13개의 문항이 포함되도록 구성되었다. 기본적인 문항의 형태는 전국적 규모의 대규모 자료를 고려하여 선택형+서술형이었다. 즉, 특정 상황에 대한 판단을 선택형으로 응답하고 그 응답에 대한 이유를 서술형으로 쓰게 되어 있다. 이와 함께 일부 문항의 경우, 문항의 특성상 ○×선택형을 채택하기도 하였다.

개발된 전체 문항들 중 약 1/3은 기존의 국내외 연구들에서 사용되었던 대표적인 물리 오개념 조사 문항을 큰 변형 없이 사용하였으며, 1/3은 기존의 문항들을 일부 혹은 상당히 수정하여 사용하였으며, 나머지 1/3은 연구진에 의해 새롭게 개발된 것들이었다. 표준검사도구의 조사 분야별 문항지 구성 및 문항수의 분포는 <표 2>와 같다.

### ■ 문항지 배포 방법과 응답자 분포

전체 표준검사도구의 규모가 매우 큰 관계로 조사분석의 실시는 각 분야별로 실시되었다. 또한 각 분야별 문항 역시 한 학생이 응답하기에는 큰 규모이므로, 한 학생은 하나의 문항지에 대해 응답하도록 실시되었으며, 각 문항지는 전국의 대도시 및 중소도시의 각 연령층에 대해 고르게 실시되었다. 예를 들어, 4개의 문항지로 구성된 '전기와 자기' 분야의 경우, 검사에 응한 학생들은 문항지 당 약 900명이었다. 이를 다시 학년별로 살펴보면 7학년에 해당하는 중학교 1학년 학생들이 1135명, 9학년은 1132명, 11학년은 828명이 검사에 참가하였다. 과학교등학교 학생들은 10학년, 11학년을 합쳐서 584명이 설문대상이었으며 총 대상자수는 3679명이었다. 지역별로는 대도시(서울, 부산, 광주)와 중소도시(경기, 경북, 충북)로 나뉘어 실시되었으며, 전국적으로 총 3,679명이 '전기와 자기' 분야에 참여하였다. <표 3>은 '전기와 자기' 분야에 참여한 학생의 문항지별, 학년별, 지역별, 성별 분포를 나타낸다.

### ■ 조사결과의 분석 및 정리

오개념 조사의 결과는 MS Excel을 통해 기록·분석되었다. 각 문항에 대한 결과는 지역별, 성별, 학년별 비교가 가능하도록 문항별 조사결과 표에 종합 정리되었는

&lt;표 3&gt; '전기와 자기' 분야 조사에 참여한 학생의 문항지별, 학년별, 지역별, 성별 분포

학년별		대도시						중소도시						학년별 계				
		남			여			계	남			여			계	남	여	전체
		서울	부산	광주	서울	부산	광주		경기	경북	충북	경기	경북	충북				
전자기1	중1	42	20	21	26	17	16	142	39	9	20	35	29	17	149	151	140	291
	중3	28	19	19	37	18	19	140	28	13	21	37	25	19	143	128	155	283
	고2	50	9	13	20	20	15	127	34	0	19	13	0	17	83	125	85	210
	과고	38	31	6	16	12	5	108	0	13	13	0	8	6	40	101	47	148
	계	158	79	59	99	67	55	517	101	35	73	85	62	59	415	505	427	932
전자기2	중1	30	20	23	33	18	14	138	29	5	20	41	34	16	145	127	156	283
	중3	30	18	19	35	18	19	139	19	12	21	44	27	19	142	119	162	281
	고2	50	7	13	18	20	16	124	36	0	20	11	0	17	84	126	82	208
	과고	38	31	8	16	12	4	109	0	12	12	0	8	6	38	101	46	147
	계	148	76	63	102	68	53	510	84	29	73	96	69	58	409	473	446	919
전자기3	중1	31	17	23	35	17	13	136	28	8	20	43	29	17	145	127	154	281
	중3	36	18	19	29	18	18	138	28	11	20	40	29	20	148	132	154	286
	고2	50	7	12	18	20	16	123	36	0	19	10	0	16	81	124	80	204
	과고	37	26	8	14	16	4	105	0	14	12	0	7	6	39	97	47	144
	계	154	68	62	96	71	51	502	92	33	71	93	65	59	413	480	435	915
전자기4	중1	34	16	21	32	17	15	135	27	10	20	43	28	17	145	128	152	280
	중3	40	19	18	25	18	18	138	19	10	21	46	29	19	144	127	155	282
	고2	52	7	12	17	20	16	124	35	0	19	12	0	16	82	125	81	206
	과고	37	26	6	14	16	6	105	0	17	12	0	5	6	40	98	47	145
	계	163	68	57	88	71	55	502	81	37	72	101	62	58	411	478	435	913
전체	중1	137	73	88	126	69	58	551	123	32	80	162	120	67	584	533	602	1135
	중3	134	74	75	126	72	74	555	94	46	83	167	110	77	577	506	626	1132
	고2	202	30	50	73	80	63	498	141	0	77	46	0	66	330	500	328	828
	과고	150	114	28	60	56	19	427	0	56	49	0	28	24	157	397	187	584
	계	623	291	241	385	277	214	2031	358	134	289	375	258	234	1648	1936	1743	3679

데, 이 표에는 각 문항에 대한 과학적 개념 및 최빈 오개념(즉, 학생들로부터 가장 많이 응답된 비과학적 개념)의 답지 번호 및 그 응답비율을 함께 표시하였다. 이는 해당 문항에 대한 정답 및 대표적 오개념에 대한 전국적 기초 자료를 일목요연하게 나타내기 위한 것이다. 예를 들어, <그림 4>, <표 4>, <그림 5>는 '전기와 자기' 분야의 '전자기1' 문항지의 첫 번째 문항인 「구리 구슬」에 대한 문항, 분석결과표, 응답분포도를 나타낸다. 또한, 연구보고서에는 이 문항을 [전자기1-1/정전자-구리 구슬]이라는 코드로 표기하였는데, 이는 모든 문항의 출처 문항지 및 문항번호(전자기1-1), 문항내용(정전자),

문항명칭(구리 구슬)을 함께 표기하여 전체적인 체계 속에서의 그 위치를 쉽게 확인할 수 있도록 하기 위한 것이다.

연구보고서의 연구결과 정리 부분에서는 전 문항에 걸쳐 각 문항별로 A4 2쪽의 분량(마주보는 두 면의)으로 다음의 사항을 한 눈에 알아볼 수 있도록 구성하였다. 이는 해당 문항에 대한 전체적인 정보가 필요할 때, 한꺼번에 복사하여 쓸 수 있도록 그 사용편리성을 고려한 것이다.

- 실제 사용된 「문항」
- 해당 문항의 내용과 의도를 설명하는 「문항개요」

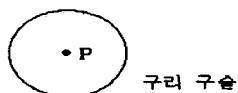
- 해당 문항의 과학적 개념과 오개념의 응답비율 나타내는 문항별 「분석결과표」
- 해당 문항의 학년별 전체 응답분포를 보여주는 문항별 「응답분포도」
- 해당 문항의 분석 결과를 전체적으로 설명하는 「분석 및 해석」
- 해당 내용을 교사들이 지도할 때 고려해야 할

#### 사항을 정리한 「학습 지도 제안」

또한 연구보고서의 별책부록에는 실제 사용된 각 문항과 함께 각 문항별 응답자료의 (백분율이 아닌) 기초 데이터를 담았다. 이는 추후 다른 연구자나 과학교사들이 연구진이 분석한 방식 이외의 방법으로 자료를 재분석할 경우나 보다 세밀한 기초자료를 필요로 할 경우를 대비하기 위한 것이다.

#### [전자기1-1/정전기-구리 구슬]

1. 전기적으로 중성인 구리 구슬이 있다. 약간의 음전하가 이 구슬 위의 P점에 첨가되었다.  
몇 초 후 어떻게 될까? ( )



- ① 음전하가 P 주위에 남는다.
- ② 음전하는 구슬의 바깥 표면에 고르게 분포한다.
- ③ 음전하는 구슬의 안팎에 고르게 분포한다.
- ④ 대부분의 음전하는 여전히 점 P에 있지만, 일부는 구슬에 전체적으로 퍼질 것이다.
- ⑤ 첨가된 음전하는 사라진다.

<그림 4> '전기와 자기' 분야 문항의 한 예시 (구리 구슬)

<표 5> '전기와 자기' 분야 문항 결과분석표의 한 예시 (구리 구슬)

[전자기1-1/정전기-구리 구슬] 문항의 개념 조사 결과 :

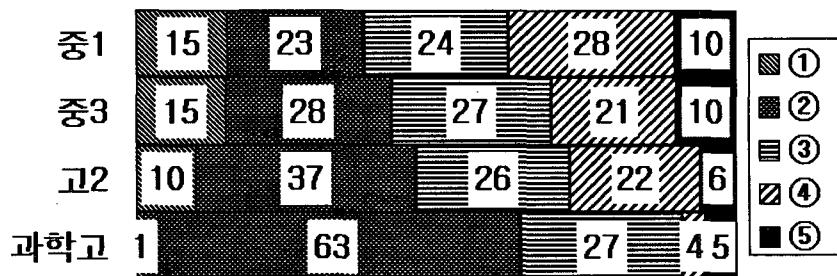
과학적 개념(②)과 최빈 오개념에 대한 학년별, 성별, 지역별 백분율

학년별	성별	대도시			중소도시			학년별 계		
		남	여	대도시 전체	남	여	중소도시 전체	남	여	학년별 전체
중1 (7학년)	과학적 개념	25	19	23	24	22	23	25	21	23 (268) <sup>c</sup>
	최빈 오개념 <sup>b</sup>	③ 29	④ 33	④ 26	④ 29	④ 32	④ 30	③ 28	④ 33	④ 28
중3 (9학년)	과학적 개념	32	24	28	20	33	28	27	29	28 (263)
	최빈 오개념	④ 25	③ 29	③ 25	④ 32	③ 29	③ 29	④ 28	③ 29	③ 27
고2 (11학년)	과학적 개념	27	35	30	39	57	46	32	44	37 (200)
	최빈 오개념	③ 28	④ 33	④ 29	③ 33	③ 20	③ 28	③ 30	④ 22	③ 26
과학고 <sup>a</sup> (10, 11학년)	과학적 개념							65	59	63 (143)
	최빈 오개념							③ 27	③ 28	③ 27
지역별 계	과학적 개념	28	26	27	27	32	30	35	33	34
	최빈 오개념	③ 26	④ 26	④ 25	③ 29	③ 25	③ 27	③ 27	③ 24	③ 26
	응답자수	209	175	384	168	179	347	474	400	874

a. 과학고는 1, 2학년을 함께 처리하였으며, 지역구분을 하지 않았음.

b. 각 분석단위의 응답자들이 가장 빈번하게 선택한 오개념의 번호와 빈도수의 백분율.

c. ( )안은 학년별 전체 응답자수임.



[전자기1-1/정전기-구슬] 문항에 대한 학년별 응답 분포

(과학적 개념은 ②)

&lt;그림 5&gt; '전기와 자기' 분야 문항 응답분포도의 한 예시 (구리 구슬)

한편, 각 분야별 분석의 마지막 단계에서는 해당 분야에 대한 조사연구로부터 확인된 학생들의 물리 오개념의 전체 목록을 작성하고 각 오개념이 드러난 문항의 출처를 정리하는 표를 제시하였다. 이는 특정 물리 오개념

에 관심 있는 사람이 손쉽게 해당 문항을 확인하여 그 문항을 사용할 수 있도록 배려하기 위함이다. <표 6>은 '전기와 자기' 분야의 예를 나타낸다.

&lt;표 6&gt; '전기와 자기' 분야에서 확인된 오개념의 목록 및 해당 문항

내용	드러난 오개념	문항 기호
전하와 대전입자 성질	도체에 음전하가 첨가되면 도체 내부에도 펴진다.	[전자기1-1/정전기-구슬]
	부도체에 음전하가 첨가되면 전혀 펴지지 않는다.	[전자기1-2/정전기-플라스틱 구슬]
	전자는 중력의 영향을 받지 않는다.	[전자기1-5/중력장 내의 전자 운동]
전기장의 성질	화살표로 표시된 범위에만 전기장이 존재한다.(점전하 주위의 전기장은 유한하다)	[전자기1-4/양전하 주위의 전기장]
	중성자도 전기장의 영향을 받는다.	[전자기1-6/전기장 내의 중성자 운동]
전기력	전하량이 많은 쪽으로 큰 힘이 작용한다.	[전자기1-3/AB 사이의 전기력]
	부도체를 통해서는 전기력이 전달되지 않는다.	[전자기1-7/검전기-나무막대와 대전체]
전구밝기	동일한 전구라도 전지의 (+)극에 가까이 연결된 전구가 더 밝다.	[전자기2-1/전지들 전구들-전구밝기 비교]
	두 전구 사이의 저항이 변하면 (-)극쪽에 연결된 전구의 밝기만 변한다.	[전자기2-2/전지들 전구들-저항이 작아지면], [전자기2-3/전지들 전구들-저항증가할 때]
병렬회로	전구에 병렬 연결된 스위치를 닫아도 전구에 전류가 흐른다.	[전자기2-5/전구들 스위치-스위치 닫으면]
	두 전구 병렬 회로의 분기점을 지나도 전류는 나누어지지 않고 같은 전류가 흐른다.	[전자기2-7/전구들 병렬회로-전류세기 비교]
	저항이 나란히 연결되어 있으면 항상 병렬 연결이다.	[전자기2-8/저항이 병렬로 연결된 것 찾기]

&lt;표 6&gt; '전기와 자기' 분야에서 확인된 오개념의 목록 및 해당 문항(계속)

소비전력	저항이 다른 두 전구는 병렬로 연결다는 직렬로 연결하든 항상 표시전력이 큰 것이 더 밝다.	[전자기2-9/다른전구두개직렬연결-밝기비교], [전자기2-10/다른전구두개병렬연결-밝기비교]
전구연결 방법과 밝기	전구 한 개 연결이 가장 밝다.	[전자기2-11/ 세 회로-전구 밝기 비교]
	회로에 직렬 연결한 것들이 병렬보다 밝다.	
	병렬 연결한 두 전구가 한 개 연결한 것보다 밝다.	
자기력 투과물질	자기력은 유리나 진공을 투과하여 작용하지 못한다.	[전자기3-3(1)/자기력OX]
	자기력은 철판을 투과하여 작용한다.	[전자기3-3(1)/자기력OX]
자기장과 전하	두 자석 사이에 양전하를 놓으면 S극쪽으로 끌려간다.(N극과 양전하는 비슷한 성질을 가지고 있다.)	[전자기3-4/두 자석 사이의 양전하]
고온 초전도체	고온초전도체란 영상의 높은 온도에서 초전도 현상을 일으키는 것을 의미한다.	[전자기3-6/고온초전도체]
코일과 전자석 (물질의 자화)	코일 속에 철심대신 은, 구리와 같은 금속을 넣어도 전자석이 된다.	[전자기4-4/철심대신 다른 것을 넣으면-은 막대], [전자기4-5/철심대신 다른 것을 넣으면-구리 막대]
	철심없는 코일은 전류가 흘러도 철못을 끌어당기지 않는다.	[전자기4-6/속이 빈 코일-철못 가져가면]
전자기파 성질	전자기파와 빛은 다른 것이다.	[전자기4-8/전자기파OX]
	도선에 직류가 흘러도 전자기파가 발생한다.	
	전자기파는 진공에서는 전달되지 않는다.	

## 10. 마치며

1980년대 이후 구성주의적 전통 아래 세계 각국에서 수많은 과학 오개념 연구들이 수행되었음에도 불구하고, 이것이 실제로 학교 현장에서 활용되는 경우는 많지 않았으며, 특히 다인수 학급으로 특징화되는 우리의 학교 현장에서는 그 활용 정도가 지극히 저조하였다. 이러한 현실의 주요 원인은 현장의 교사들이 직접적으로 편리하게 활용할 수 있는 참고자료(reference book)가 거의 없기 때문이다. 이러한 입장에서 볼 때, 앞에서 논의한 중·고등학생의 물리 오개념 地圖 연구는 교사가 해당 학급의 학생들이 특정 개념과 내용에 대해 어떤 종류의 오개념들을 어느 정도나 가지고 있는가 등에 대한 구체적인 정보들을 제공해 줄 수 있을 것으로 기대한다. 교사의 입장에서는 수업에 임하기 전에 구성주의적 접근에서 가장 중요한 학생들의 오개념에 대한 체계적 정보를 갖게 됨으로써 제한된 수업시간을 효과적인 개념변화에

집중할 수 있을 것이다.

학생의 과학 오개념에 대한 지금까지의 연구는 대개 소규모의 학생 집단을 대상으로 정성적 자료를 중심으로 한 개별 연구의 성격을 띠고 있었다. 이러한 특징에 의해 기존의 오개념 연구는 학생들이 관련 개념에 대한 오개념의 종류와 원인 및 개념변화 과정 등에 대한 정성적 직관적 이해에 도움을 준 반면, 학교급별 전반적 변화 추이나 체계적 비교 또는 국가적 차원의 분포상황 등에 대한 종합적 자료를 제공해 주지 못하였다. 따라서, 종합적이고 정량적 자료의 데이터베이스인 학생의 물리 오개념 地圖 연구는 그 특성상 매우 새로운 개념의 시도라 할 수 있다. 그리고 이러한 종합적 체계적 조사 분석이 따르지 않는 한 구성주의적 과학교육 혹은 과학내용의 학습을 중시하는 그 어떤 교육이론도 학교 현장에서 성공적으로 정착되기 어려울 것이다.

일반적으로 학생들이 갖는 과학 오개념은 학생들의 개인적 경험, 가족적 환경, 사회문화적 배경 등에 의해

어느 정도 영향을 받는다. 하지만, 지금까지의 관련 연구들을 종합적으로 판단할 때, 이러한 특이성에도 불구하고 학생들의 오개념에는 매우 일반적인 유형(pattern)들이 존재함을 알 수 있다. 물리 오개념 地圖 연구를 통해서 확인하였던 물리학 각 분야에서의 오개념들도 바로 이러한 일반적 유형들에 해당한다.

지난 수십 년간 우리나라는 소위 선진국의 새로운 교육이념과 교수-학습 이론을 수입하여 이를 국내의 상황에 적용하는 데 열중하였다. 이미 우리가 여러 차례 경험하였지만, 선진 교육이론의 직접적인 적용은 대부분 실패하였다. 과학교육의 경우, 1930~50년대의 생활중심 과학교육, 1960~70년대의 탐구중심 과학교육, 1980~90년대의 STS교육과 구성주의적 과학교육 모두가 성공적으로 우리 사회에 뿌리내리지 못하였다. 이는 기본적으로 교육의 역사, 문화, 가치, 입시, 교사, 시설기자재, 보조인력 등의 다양한 측면에서 소위 선진국과 매우 다른 여건을 갖고 있는 우리의 상황에 적합한 수정보완과 토착화 과정을 거치지 못하였기 때문이다.

이런 측면에서 볼 때, 지식 중심의 교육 전통, 대학입학 시험의 절대적 영향력과 그로 인한 교사 중심 수업 방식, 다인수 학급과 부족한 교육보조 인력, 토론과 논쟁이 부족한 교실 환경 등의 현실적 제한점으로부터 상대적으로 자유로우면서도 동시에 효과적인 개념변화 학습의 기초가 될 수 있는 체계적 정보체계를 제공하고 있는 오개념 地圖 연구의 의미는 크다고 할 수 있겠다. 특히, 다음과 같은 후속 작업들이 이어질 때 오개념 地圖 연구의 실천적 가능성은 더욱 높아질 수 있을 것이다.

첫째, 개발된 표준 검사도구를 수정 보완하여 영어로 번역하여, 학생의 물리 오개념에 대한 국제적 비교연구들에 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 현재 수행되고 있는 여러 국제비교연구들은 대개 해당 과학 지식의 이해나 탐구능력 등을 검사하는 전통적 형태의 검사문항들을 사용하고 있다. 구성주의적 접근이 도입된 지 이미 20~30년이 되었지만, 학생의 오개념에 초점을 맞춘 국제 비교연구가 이루어지지 않는 현실을 고려할 때, 이번에 개발된 검사도구는 국제적으로 널리 활용될 수 있는 좋은 표준검사도구의 출발점이 될 수 있을 것이다.

둘째, 오개념 地圖 연구를 통해 얻어진 각 검사문항의 조사결과는 2쪽 분량으로 정리되었다. 이러한 특징의

편집은 기본적으로 책자의 양쪽 페이지를 하나의 큰 용지에 복사하여 교사들이 손쉽고 편리하게 사용하도록 하기 위한 것이다. 하지만, 지면의 제한으로 인해 각 해당 문항에 대한 보다 상세한 분석 및 해설 그리고 활용성에 대한 서술이 충분하게 포함되지 못하였다. 따라서, 각 문항별 조사결과를 다시 체계적으로 정리, 분석, 해석하고 이의 효과적인 학습지도 방안에 대한 보다 구체적인 방안들을 대폭 보강하는 본격적인 오개념별 교수-학습 자료의 개발이 시도된다면 보다 실질적이고 유용한 자료로 발전할 수 있을 것이다.

셋째, 이번 오개념 地圖 연구에서는 전국의 학생 집단을 대상으로 설문지를 통해 물리 오개념에 대한 자료를 수집하였고 그 결과를 엑셀 프로그램에 입력하여 분석하였다. 하지만, 인터넷을 활용한다면 검사문항에 대한 응답자료의 수집과 분석 및 처리가 획기적으로 개선될 수 있을 것이다. 예를 들어, 표준검사도구를 전산화하여 인터넷에 올려놓고 전국의 (혹은 전 세계의) 인터넷 사용자들이 자유롭게 접속하여 해당 문항지에 대해 응답할 수 있도록 하고, 그 결과를 자동적으로 DB에 축적하면서 동시에 다양한 준거를 기준으로 자동 분석 처리될 수 있도록 할 수 있을 것이다. 이 경우 검사문항에 대한 응답자료들이 자동으로 축적되어 다양한 후속 분석들이 가능할 것이다. 또한, 각 검사문항 및 문항간 관련성을 사전에 계획하여 문항반응에 따른 '오개념 진단 및 평가'가 가능하도록 하면, 응답자는 온라인 상에서 문항에 응답과 자신의 응답에 따른 '개인별 오개념 진단 및 학습처방'의 자료를 자동으로 download 받을 수도 있을 것이다. 이러한 전산화 방안은 이외에도 학습진단, 형성평가, 교사교육, 교육자료 개발, 온라인 학습 등 매우 다양한 부가적 효과를 가져올 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- 권성기 (1998). 과학학습과 구성주의. 김종문 외 13인 (1998). 구성주의 교육학, pp.361~393 서울: 교육과학사.  
 권재술 (1989). 과학 개념의 한 인지적 모형, 물리교육, 7(1), pp.1~9.  
 권재술 (1997). 인지갈등 수업모형, (정완호 등) 과학과

- 수업모형 교육과학사, pp.3-22.
- 권재술·김범기 (1993). 과학 오개념 편람 -역학편-, 한국교원대학교 물리교육연구실.
- 권재술·안수영 (1989). 대학생들의 물리 개념 오인에 관한 연구, 한국교원대학교 과학교육연구소.
- 김익균·박윤배·박종원·송진웅·최경희 (2002). 물리교육학 총론Ⅱ, 북스힐: 서울.
- 물리학습연구실(편) (2000). 학생의 물리개념, 서울대학교 물리학습연구자료,
- 박종원 (1992). 인지적 갈등의 이론적 모형, 전남대학교, 과학교육연구지 16(1), pp.17-35.
- 박종원 (2002). 구성주의와 물리개념 학습. (김익균 등 공저) 물리교육학 총론Ⅱ. 교육과학사, 1-67.
- 박종원·최경희·김영민 (2001). 물리교육학 총론Ⅰ, 북스힐: 서울.
- 송진웅·김익균·권성기·김영민·오원근·박종원 (2003). 학생의 물리 誤概念 地圖를 위한 표준 검사도구의 개발 및 데이터베이스 구축, 한국학술진흥재단 2000년도 협동연구 결과보고서.
- 장병기 (2000). 학생의 물리개념, (서울대학교 물리학습 연구실편) 물리학습연구자료, pp.215-241.
- 조희형 (1984). 선입관의 철학적 배경 및 오인과 과학학습의 관계, 한국과학교육학회지 4(1), pp.34-43.
- 조희형·최경희(2002). 구성주의와 과학교육. 한국과학교육학회 22(4), pp.820-836.
- Andersson, B. (1986). The experiential gestalt of causation: A common core to pupil's preconceptions in science, *European Journal of Science Education*, 2, pp.155-171.
- Ausubel, D. P.(1968). *Educational Psychology: A Cognitive View*. Holt, Rinehart, & Winston: New York.
- Black, P. J. & Lucas, A. M. (1993). *Children's Informal Ideas in Science*. Routledge: London.
- Caramazza, A.; McCloskey, M. & Green, B. (1980). Curvilinear motion in the absence of external forces: Naive beliefs about the trajectories of objects. *Science* 210, pp.1139-1141.
- Carey, S. (1986). Cognitive conflict science and science education. *American Psychology* 41, pp.1123-1130.
- Cheek, D. W. (1992). *Thinking Constructively about Science, Technology, and Society Education* State University of New York Press: N.Y.
- Claxton, G. (1993). Minitheories: a preliminary model for learning science. In P. J. Black & A. M. Lucas(Eds.) *Children's Informal Ideas in Science*. Routledge: London, 45-61.
- Cosgrove, M. & Osborne, R. (1985). Lesson frameworks for changing children's ideas. In R. Osborne & P. Freyberg (Eds.) *Learning in Science*. Heinemann.
- diSessa, A. (1983). Phenomenology and the Evolution of Intuition. In D. Gentner & A.L. Stevens(Eds.) *Mental Models*. Erlbaum: Hillsdale, NJ, 15-33.
- Driver, R. (1981). Pupil's alternative frameworks in science. *European Journal of Science Education* 3, pp.93-101.
- Driver, R. (1983). *The Pupil as Scientist?* Open University Press: Milton Keynes.
- Driver, R. (1985). Changing perspectives on science lessons. In N. Bennett & C. Desforges(Eds.), *Recent advances in classroom research* (pp.58-75). Edinburgh: Scottish Academic Press.
- Driver, R. (1988). Restructuring the science curriculum: some implications of studies on learning for curriculum development. In D. Layton (Ed.) *Innovations in Science and Technology Education, Vol. II*. Unesco, pp.59-84.
- Driver, R.; Asoko, H.; Leach, J.; Mortimer, E. & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher* 23, pp.5-12.
- Driver, R. & Bell, B. (1986). Students' thinking and the learning of science: a constructivist view. *School Science Review* 67, pp.443-456.
- Driver, R.; Guesne, E. & Tiberghien, A. (1985). *Children's Ideas in Science*. Open University Press: Milton Keynes, UK.
- Driver, R.; Squires, A.; Rushworth, P. &

- Wood-Robinson, V.(1994a). *Making Sense of Science: research into children's ideas*. Routledge: London.
- Driver, R.; Squires, A.; Rushworth, P. & Wood-Robinson, V. (1994b). *Making Sense of Science: Support Materials for Teachers*. Routledge: London.
- Duit, R. (1991). Students' conceptual framework. In S.M. Glynn, R.H. Yeany & B.K. Britton(Eds.) *The Psychology of Learning Science*. (권성기·임청환 번역(2000) 구성주의적 과학학습심리학. 시그마프레스, pp.71-95).
- Duit, R. (1993). *Research on students' conceptions - development and trends*. In Proceedings of the 3rd International Seminars on Misconceptions and Educational Strategies In Science and Mathematics. Misconceptions Trust: Ithaca, NY.
- Duit, R. (1995). The constructivist view: A fashionable and fruitful paradigm for science education research and practice. In L.P. Steffe & J. Gale(Eds.). *Constructivism in education*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Duit, R. & Confrey, J. (1996). Reorganizing the curriculum and teaching to improve learning in science and mathematics. In Treagust, D., Duit, R. and Fraser, B.J.(Eds.) *Improving teaching and learning in science and mathematics*. Teachers College Press: NY, 79-93.
- Duit, R. & Treagust, D. F. (1998). "Learning in Science-From Behaviourism Towards Social Constructivism and Beyond". In B. J. Fraser & K. G. Tobin(Eds.) *International Handbook of Science Education* (Part One). Kluwer Academic Pub.: London, pp.3-25.
- Gilbert, J.; Osborne, R. & Fensham, P. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education* 66, pp.623-633.
- Good, R. (1991). Editorial. *Journal of Research in Science Teaching* 28(5), p.387.
- Gunstone, R. F.(2000). Constructivism and learning research in science education. In D.C. Phillips. *Constructivism in education: Opinions and second opinions on controversial issues*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Hodson, D. & Hodson, J. (1998). From constructivism to social constructivism: A Vygotskian perspective on teaching and learning science. *School Science Review* 79(298), pp.33-41.
- Howe, K. R., & Berv, J. (2000). Constructing constructivism, epistemological and pedagogical. In D.C. Phillips. *Constructivism in education: Opinions and second opinions on controversial issues*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Hashweh, M. (1988). Descriptive studies of students' conceptions in science. *Journal of Research in Science Teaching* 24, pp.291-307.
- Macbeth, D. (2000). On an actual apparatus for conceptual change. *Science Education* 84, pp.228-264.
- McCloskey, M. (1983). Naive theories of motion. In D. Gentner & A. Stevens(Eds.) *Mental Models*. Lawrence Erlbaum: Hillsdale, NJ.
- Matthews, M. R. (1994). *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. New York: Routledge.
- Matthews, M. R. (2000). Appraising constructivism in science and mathematics education. In D.C. Phillips(Ed.) *Constructivism in education: Opinions and second opinions on controversial issues*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Needham, R. & Hill, P. (1987). *Teaching Strategies for Developing Understanding in Science*. University of Leeds.
- Noddings, N. (1995). *Philosophy of education*. Oxford: Westview Press.
- Northfield, J.; Gunstone, R. & Erickson, G. (1996). A constructivist perspective on science teacher education. In D. Treagust, R. Duit, B. J.

- Fraser(Eds.) *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*. NY: Teachers College Press, pp.201-211.
- Nola, R. (1995). Against constructivism in the philosophy of science. In ACCESS(Special Issue: Critical Perspectives on Education Policy), 13(2), pp.21-36.
- Novak, J. D. & Gowin, D. B. (1984). *Learning How to Learn* Cambridge University Press: New York.
- O'Loughlin, M. (1992). Rethinking science education: Beyond Piagetian constructivism toward a sociocultural model of teaching and learning. *Journal of Research in Science Teaching* 29(8), pp.791-820.
- Osborne, J. (1996). *Beyond constructivism* Science Education 80(1), pp.53-82.
- Osborne, J. F.; Black, P. J.; Meadows, J. J. & Smith, M. (1990). *Young Children's(7-11) Ideas about Light*. paper(SPACE project, Harlen & Russell).
- Pfunt, H. & Duit, R. (1988). *Bibliography: Students' Alternative Frameworks and Science Education* (2nd Ed.), IPN.
- Posner, G.; Strike, K.; Hewson, P. & Gertzog, W. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education* 66, pp.211-227.
- Scott, P. Dyson, T. & Gater, S. (1987). *A Constructive View of Learning and Teaching in Science*. University of Leeds, UK.
- Shamos, M. H. (1995). *The myth of scientific literacy*. New Brunswick, New Jersey: Rutgers University Press.
- Shulman, L. (1987). knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard Educational Review* 57, pp.1-22.
- Slezak, P. (2000). A critique of radical social constructivism. In D. C. Phillips. *Constructivism in education: Opinions and second opinions on controversial issues*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Solomon, J. (1993). *Teaching Science, Technology, and Society*. Open University Press: Buckingham.
- Solomon, J. & Aikenhead, G. (1994). *STS Education: International Perspectives on Reform* Teachers College Press: New York.
- Song, J.; Cho, S. K. & Chung, B H. (1997). Exploring the parallelism between change in students' conceptions and historical change in the concept of inertia. *Research in Science Education* 27, pp.87-100.
- Song, J.; Jang K. A. & Pak, S. J. (1996). Students' conceptions and the historical change of the concept: Free-fall motion. *Journal of Korean Association for Research in Science Education* 16, pp.164-174.
- Staver, J. R. (1998). Constructivism: Sound theory for explicating the practice of science and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching* 35(5), pp.501-520.
- Stinner, A. (1992). Science textbooks and science teaching: From logic to evidence, *Science Education* 76, pp.1-16.
- 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.
- Treagust, D. F.; Duit, R. & Fraser, B. J.(Eds.) (1996). *Improving teaching and learning in science and mathematics*, New York: Teachers College Press.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education* 1, pp.205-221.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction* 4, pp.45-69.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J. & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D

- L. Gabel(Ed.) *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Macmillian Pub. Co. : New York, pp.177-210.
- Wellington, J. (2000). *Teaching and learning secondary science: Contemporary issues and practical approaches*. London: Routledge.
- White, R. & Gunstone, R. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education* 11, pp.577-586.

## Constructivist Science Education and the Map of Students' Physics Misconceptions

**Song, Jinwoong**

Dept. of Physics Education, Seoul National University, Shilim-dong, Kwanak-gu, Seoul, Korea, 151-747  
E-mail: jwsong@snu.ac.kr

This paper aims to review the overall development of constructivist approaches in science education research from two different perspectives, that is a summary of the past development in science education in general and a report of the outline of a recent research project on students' physics misconceptions in particular. In the summary of the past development of constructivist science education, the introduction of constructivism as well as its psychological and philosophical backgrounds are briefly reported. Then main findings of the researches of constructivist approach are discussed in terms of the features of students' misconceptions, of the ways of effective conceptual change, of the implications toward school science education, and of the criticisms given to the constructivist approach. In the report of a recent development, in addition to its background, necessity and implications, the research structure and the format of the data analysis of the study on the map of students' physics misconceptions are presented. It is particularly emphasized that the practical informations and suggestions for actual teaching of school science, such as the database(DB) of students' misconceptions and teaching guides, are of most practical and effective values in order to maximize the advantage of the constructivist approach to science education.

---

\* ZDM classification : C30  
 \* 2000 Mathematics Subject Classification : 97C30  
 \* Key Word : constructivism, science education, students' misconceptions, map of misconceptions.