

물리교육의 새로운 방향 설정

— PSSC 30년 후 —

김수용

한국과학기술대학

(1987년 5월 10일 받음)

1945년 미국은 제2차 세계대전의 깊은 잠에서 깨어나 과학의 진보와 함께 또다른 세계로 발전 변모되었다.

전쟁을 수행하는 동안 받은 여러가지 압력 때문에 고도의 기술을 요하는 분야— 예를 들면 레이더—가 원자의 현상과 같은 기본적인 물리적 원리나 전자공학을 바탕으로 크게 발전되었다.

이러한 공학기술은 전쟁수행의 한 결과임이 판명되었다. 전후의 미국에서는 불과 25% 남짓 정도의 고등학생이 물리를 배웠으며 그 교육내용의 대부분은 피상적이거나 암기위주 내용에 국한되었다.

수학이나 다른 과학교과교육도 물리교육과 대동소이하였다.

MIT의 물리학 교수인 Jerold.R.Zacharias는 당시 현존하는 물리교과과정에서 과학과 기술이 앞으로 중요한 역할을 할 수 있는 사회에서 살아야 할 젊은 청소년들에 매우 부적합하다는 사실을 강력하게 주장하고 나섰다.

1956년에 그는 미국 고교교육의 기본적인 변화를 초래하는 첫 발자국을 내디뎠다. 교육분야의 어떤 선례도 없이 2차 세계대전 중에 레이더기술의 진보와 같은 중요한 과학과제의 성격을 띤 그의 시도는 풍부한 자원과 여러 사람들의 노력으로 성공하였다.

Zacharias는 미국내를 총망라하여 대학교수, 교육전문가, 고교물리교사 등으로 구성된 Physical Science Study Committee를 조직하였다. 그들 구성원 중에 유명한 물리학자로 Philip Morrison, Edward P. urcell, 그리고 Hans Bethe를 꼽을 수 있었다.

1956년 11월에 미국국립과학재단(National Science

* 이 글은 Physics Today 1986년 9월호에 투고된 Anthony P. French의 논문을 번역한 글이다. 그는 MIT의 물리학과 교수이며, 1975-1981년까지 International Commission on Physics Education의 chairman이었고 1985-1986년까지의 American Association of Physics Teacher의 president이었다.

Foundation)으로부터 출연된 30만달러를 가지고 그는 아무것도 없는 황무지로부터 완벽하게 갖추어진 물리교과과정을 창조하는 프로그램을 착수하였다.

1956년 12월 10~12일간에, 그 첫번째 PSSC회합이 열렸다(Physics Today March 1957, p28). 그 회합의 참석자 중의 한 사람인 Stephen White가 후에 그 회합에서 어떻게 정책결정을 이룩하였는가에 대하여 자세히 언급하였다(Contemp. Phys. 2, 39(1960)). 가장 중요한 안건은 이미 물리를 공부하기로 결정한 학생들(우수하고 대학에 진학하려는 학생)에게 PSSC 과정을 선택하도록 하고 보통 이 과정은 2년 이수를 원칙으로 하는데도 불구하고 1년만에 끝낼 수 있도록 고안하는 것이었다.

White가 지적한 바와 같이 이러한 결정은 만일 PSSC가 당시에 현존하는 교육구조 및 조건을 깨뜨릴 때 이 새 과정이 널리 사용되고 인기를 얻는 등 좋은 반향을 얻지 못한다는 강박관념에서 나온 일종의 방편이었다.

이러한 전략적 구상과 더불어 PSSC는 새로운 교육과정의 내용과 구조에 대한 기본적인 원리를 정립하게 되었다. White의 말을 인용하면 당시의 교과서에는 뉴턴역학과 다른 분야의 고전물리 등을 끌어모은 것과 매우 피상적인 내용의 현대물리를 모아놓은 것으로 내용도 기본적인 원리에 치중하는 것이 아니라 응용에 치중하였다. 그들이 고안한 PSSC 과정은 문제를 풀기 위한 법칙 등을 수집해놓은 책이 아니라 관찰하고 데이터를 해석하고 결론짓는 지적행동을 통합해 놓는다는 데 초점을 맞추었다.

따라서 어떤 특정한 지식이 아니라 이론과 실험을 제시함으로써 탐구활동을 반영하도록 교과과정이 고안되었다. 물리학자가 자연을 기술하는 데 널리 쓰이는 방법, 즉 order of magnitude나 크기를 변화시켰을 때 생기는 영향같은 것을 강조하였다.

새로운 주제나 과제를 제시하거나 토의할 때는 어떤 통일된 테마, 즉 원자론이 바탕이 되도록 구성되었다. 깊은 내용까지 들어갈 수 있는 전통적인 과제(마치 음파와 같은 것)는 생략하였다. 교육목표는 학생들로 하여금 전문적인 과학자들 같이 생각하고 행동하게 하는 것이다. 즉, 문제를 설정하고, 데이터를 분석하고 논리에 맞는 결론을 내리는 것이다.

소위 White가 지적하는 것과 같이 이 교육과정으로부터 기대되지 못하는 목표, 즉 반원리(antiprinciple)

라는 것이 있다. 이 위원회 위원들은 교육과정을 만들 때부터 더 많은 과학자나 기술자를 양성하려는 목적을 전혀 생각치 않았다. 두번째로 교사의 역할을 줄이려고도 시도하지 않았다. 완성된 교육과정의 구조나 교과서를 만들려고도 하지 않았다. 그저 계속하여 수정 보완되기를 바랄 뿐이었다.

비록 PSSC가 교과내용과 교과서를 빨리 만들려고 노력하였으나, 이 위원회는 기본적으로 실험실에서 행하여지는 실험이 중요하다고 생각하였다. 실험은 의심의 여지없이 이 프로그램의 핵심이 되었다.

학생들이 직접 시간, 공간, 물질에 대한 관찰과 실험을 하게 하여 그들이 경험한 사실을 바탕으로 간단하거나 정교한 기구를 고안할 수 있도록 도와준다. 아마도 학생들 대부분이 머리카락 하나까지도 정확하게 측정할 수 있는 소다-스트로 저울(soda-straw balance)을 접하였을 때 놀라왔고 전율감을 느꼈을 것이다. 파동현상이 일어나는 것을 보여주는 기구인 ripple tank는 참으로 생생하게 그 역할을 다 했으므로 고등학교 물리학 실험에 널리 쓰이게 되었다.

Francis L. Friedman이 책임저자로서 1960년에 출판된 초판 교과서에 있는 책의 순서는 다른 책과 매우 달랐으며 이 순서는 후에 새로 수정보완되어 쓰여진 책에서는 채택되지 않았다. 다른 교과서에서 널리 사용되고 있는 운동의 수학적 기술을 처음에 도입하는 대신 PSSC 교과서에서는 실험실에서 사용되는 측정과 척도에 관한 기본적인 문제를 가지고 시작하였다. 물질의 원자가설도 먼저 취급되었다. 기하광학과 파동광학도 뉴턴역학의 내용보다 더 먼저 나와서 교육적으로 새로운 양상을 보여주었다.

PSSC 교과서의 내용과 매우 밀접하게 관련된 50개의 교육영화가 제작되었다. 영화를 통하여 밀리칸의 유적실험, 팽자의 숫자 측정 등 고등학교 실험실에서 취급하기가 어려운 현상을 학생들에게 보여 주었다. 이러한 영화는 학생들을 고무시킬 정도로 충분치 못하고 부족하였다.

Gilbert Finley(G.C. Finley, The School Review 70(1), 63(1962))는 "영화는 인상적이지도 않고 배경음악도 가지지 않았다."라고 지적하였다. 대부분의 물리학자들이 영화를 제작하기 위하여 충분한 무대를 갖추고 있지 못하였다(비록 예외로 Eric Rogers의 클론의 법칙과 Patterson Hume과 Donald Ivey의 기준계(frame of reference)는 물리학 영화의 카사블랑카였

다). 그러나 그는 영화들은 매우 정직하였다고 언급하였다. 즉, 실제데이터를 이용하는 실험과정을 영화를 통하여 보여주었다.

이런 면에 인상적이고 고무적인 것은 Zacharias 혼자서 제작한 '힘'이라는 영화였다. 그가 보여준 모래상자와 굴이 담긴 통 사이에 작용하는 인력은 정말로 보기 힘든 역작이었으며 학생과 교사들이 이와 같이 기괴하고 재미있는 현상들을 쉽게 볼 수 있게 해주었다.

해마다 학교에서 사용되는 또는 새롭게 도입되는 교재들을 PSSC는 평가하고 여기에서 얻어진 자료를 수집 분석하여 교육내용을 수정 보완하였다. Walter Michels과 Fredrick Ferris는 교육평가를 위한 시험을 만들기 위하여 크게 노력하였다. 마지막으로 이 교과과정에는 어떤 특별한 관심사를 요약해서 쓴 소책자 40부로 구성된 Science Study Series라는 보충책자를 포함하게 되었다(예를 들면 Gamow의 '물리학을 뒤흔든 30년'같이 양자론의 발전과정을 엮은 책이나 유명한 과학자의 생애 등을 모은 것 등이 있다).

곧, PSSC는 교사교육을 통하여 이와 같이 새롭고 도전할 만한 과제를 다룰 수 있도록 계획을 수립하여야 한다는 생각을 갖게 되었다. 이어서 교과서보다 더 훨씬 방대한 양의 교사지침서가 제작되었다. 이것 이외에 교사재양성단체가 건립되어 수많은 교사를 훈련시켰다.

1957년 10월 Sputnik호 발사의 1년 전에 이미 PSSC 계획이 착수되었다는 사실을 Zacharias는 강조하고 싶어하였다. 그럼에도 불구하고 소련의 위성이 성공적으로 지구궤도에 진입한 것에 자극을 받아 미국 정부뿐만 아니라 민간재단으로부터 PSSC 외에 다른 유사한 과학분야의 위원회에 재정지원이 주어졌다.

PSSC 예산이 갑작스럽게 상승하여 연간 100만달러가 되었고 1950년대 후반과 1960년대 초반에 걸쳐 5년간 그 수준으로 유지되었다. 이와 같은 거대한 계획은 바로 미국국립과학재단의 협조없으면 거의 불가능하였다.

처음 몇년동안 PSSC 교재는 급속하게 널리 사용되었다. 교과서 초판의 머리말을 보면 1957~58년에 8개 학교, 300명의 학생, 1958~59년에 300학교, 12,500명의 학생, 1959~60년에 600학교, 25,000명의 학생들이 이 책을 사용하였다. 이 숫자는 당대의 선생님의 수 15,000명과 500,000명의 학생에 비하면 매우

극소수에 지나지 않는다. 그러나 PSSC 과정이 무르익을 때인 1960년대 후반에는 학생수가 매해마다 100,000명이었다.

물론 위의 숫자는 미국내의 PSSC 교과서를 택한 학생수이며, 또한 주목할 만한 사실은 외국에도 크게 영향을 끼쳤다는 사실이다. 이 교과서는 17개의 다른 언어로 번역되었다. 이미 고교 교육과정이 발달되어 있었던 대부분의 다른 나라들도 미국에서 1년간의 교과과정으로 개발된 PSSC를 그들 나라에서 여러 해 동안 사용하거나 참고하였다. PSSC는 그 내용면에 있어서 우수하였기 때문에 특별한 관심을 받게 되었다.

UNESCO의 Science Education Division에서 일하던 Nahum Joel씨는 PSSC의 소련어번역교과서도 있었으며, 57,000여부나 출판되어 소련의 모든 교사들이 하나씩 가질 수 있을 정도였다고 귀띔했다.

고교 교육과정에서 미국뿐만 아니라 전세계의 물리교육면에 PSSC는 큰 영향을 끼쳤다. 미국안에 불러 일으킨 영향을 단지 PSSC 교과서의 판매된 부수나 그것을 이용한 학교와 학생수만을 가지고 측정할 수는 없는 일이었다.

최근에 나온 다른 교과서에서 일부 내용이 PSSC 접근방법과 유사하며, 또는 똑같은 내용을 발췌한 것을 보면 그 영향은 실로 큰 것이다. 여기에는 그럴 만한 이유가 있다. 전문적인 물리학자의 손으로 생생하고 살아있는 지식을 모아 물리학의 내용을 만들었기 때문이다.

그러나 Zacharias가 인정하는 바와 같이 PSSC는 모든 문제를 다 풀지는 못하였다. 그 한 예로 고교 학생들로 하여금 물리를 많이 택하여 공부하게 만들지 못하였다. 과학의 흥미가 있고 과학을 공부하려는 학생들에게 흥미를 주었는지 모르지만, 그 내용이 어려워서 다른 절대다수의 학생들에게는 적합하지 않았을 것이다.

Harvard Project Physics 과정이 얼마 후에 개발되어 이러한 문제를 해결하려고 했으나 크게 변화시키지는 못했다. 1955년 당시 고교학생의 25%가 물리를 공부했던 반면에 오늘날에는 그 숫자가 15%로 떨어졌다(G.Palland, P.Lindenfeld, Physics Today, November, 1985, p.46). 실제로 PSSC를 교과서로 사용하는 율은 점점 떨어져서 2배 이상이나 저하되었다.

PSSC 과정의 수립과 실시과정에서 얻은 중요한

교훈 중의 하나는 비록 그 계획이 우수하고 좋다고 하더라도 교육의 혁명을 일으키기는 참으로 어렵다는 것이었다. 교육계로부터 날아온 압력과 화살 때문에 PSSC 교과서를 쓰는 학교도 줄어들었고 그 교과서의 내용과 구성이 현존하는 다른 교과서의 틀로 바뀌게 되었다.

한편 일선 교사에게 전통적인 교과서보다도 열린 마음을 가진 탐구력과 방대한 과학 지식을 요구하는 PSSC나 Havard Project Physic 등의 교과과정이어려움을 많이 주었고 이 이유 때문에 그 숫자가 줄어들었다. George Palland와 Peter Lindensfeld의 말과 같이 일선 고교교사들이 "전문과학자의 대리인"은 아니었다.

영화, 실험실습, 부교재 등등의 다양한 보조교과서를 이용하여 물리학의 심오하고 깊은 내용들을 설명하려는 시도를 계속하기가 쉽지 않았다. 예를 들면 어떤 교사가 일정한 시간에 영화필름을 제대로 못 빌리는 어려움, 즉 대여기관이나 대여기관의 충분치 못한 자료와 관련된 어려움이 있을 수 있다.

실제 학생들에게 비쳐진 영화가 저항감을 줄 수 있을 정도로 오래된 풍물들이 들어 있었기 때문이다. 옛날 50년대의 이상한 머리스타일을 가지고 있는 등장인물로부터 젊은 학생들은 이상한 적개심을 품게 되었다. 시간이 긴 영화의 역할은 실로 논쟁의 대상이었다. nipple tank 실험과 같은 짧고 사람이 등장하지 않는 demonstration은 비교적 좋은 반응을 끌었다고 모든 사람들이 생각하였다(Mechanical Universe라는 새로운 TV프로그램이 얼마나 인가를 끌었는가를 살펴보는 것이 재미있을 것이다).

고교수준에서 물리교과와 관련되어 재삼재사 사람들의 관심을 끌 만큼 중요하다고 생각한 것은 영화나 다른 부교재보다도 교과서였다. 이 이유는 자명하다. 즉, 비교적 값이 싸고 교사로 하여금 어떻게 가르칠 것인가에 대하여 길을 제시해주고 교실의 공간과 구비할 기구 등의 비싼 투자를 하지 않아도 되기 때문이다. 실험실 수업에만 집중적으로 관심을 끄는 PSSC의 철학은 심각할 정도로 망각되거나 부식되어 나갔으며, Science Study Series는 오랫동안 절판된 상태이었다.

마지막으로 이것으로부터 얻은 결론은 그렇게 놀랄 만한 것은 아니지만 해를 거듭할수록 어떤 교육개혁이 성공으로 이끌어지려면 가장 중요한 요소가 일

선교사의 역할이라는 사실을 깨닫게 되었다.

PSSC 역사를 보면 상당수의 교사들이 물리교과과정이 어떻게 되어야만 하는가에 대하여 많은 토론을 하였다. 30년 후에 그들 대부분이 이것으로 인하여 그들 자신의 직업상의 이력이 변화되었다고 입증하였다.

그러나 오늘날 교사들로 하여금 일을 많이 하도록 만드는 교육과정을 취급하려고 하는 자신있고 열심히 일하려는 교사의 수급이 쉽지 않다. 대부분의 교사들이 충분한 전문적인 지식도 가지고 있지 않기 때문에 이들 물리교사들을 재훈련을 시켜 최근의 지식을 접하게 하는 것(J.W.Layman, Physics Today, September 1983 p.26)이 참으로 중요한 관심사이었다.

이런 문제는 젊은이 중에 이러한 직업을 택하려는 고교물리교사 지원자가 없어서 더욱 심각해진다.

25년 전 1961년에 APS와 AAPT의 joint meeting에서 Zacharias는 APS의 Oersted Medal을 PSSC 창립의 공로로 수여받았다. 그 회합에서 "그는 그의 희망대로 교육의 team approach 방법이 우리 문화의 과학면에서 큰 역할을 할 것이며, 모든 사람들의 일상생활 중 일부의 면모를 쉽게 배울 수 있게 도와준다."라고 말하였다(J.R.Zacharias, Am.J.Phys. 29,347(1961)). 그의 연설주제는 인간, 시간, 돈이 만들어낸 게임이 PSSC였으며 이 세가지가 계속해서 투자되어야만 교육계의 끊임없는 발전이 이룩된다는 것이었다.

아마도 그것을 완전히 이해하지 못한 채로 PSSC 물리 제작자가 그들 자신의 생각만을 바탕으로 PSSC를 만들었다. 일반 학생들에게 자극을 일으키려는 의도는 거의 생각지도 못했고 오직 과학을 잘하고 흥미있게 공부하려는 학생들에게만 효과적이었다.

고교물리교육은 대학과정을 위한 입문을 준비케 하는 목적 외에 더 넓은 목적을 가지고 있다. 학생들이 젊었을 때에 과학에 대한 관심의 눈을 뜨고 그 관심을 계속하여 유지시키는 효과적인 방법을 찾을 때까지 아마도 우리는 아무 것도 그 일반 학생들에게 도움을 줄 수 없을 것이다.

어쨌든 Zacharias가 1961년에 만든 그의 처방과는 크게 모순되지 않은 채로 그 자신은 최근에 중등학교에 다니는 학생들에게 효과적으로 접근하려는 방법의 개발을 강조하고 있다.

지난 1월의 나와의 대화에서 그는 "자동차 엔진과 자동차의 뒤에 달린 동에 바탕을 둔 물리"가 바로 나

이가 어렵고 공부에 흥미를 가지고 있지 않은 학생들에게 물리에 흥미를 유발시킬지 모른다고 언질을 주었다. 이러한 생각은 PSSC의 역사와 관련된 철학으로부터 나오는 재미있는 점이다. 이런 부류에 속하는 학생들이 전학생의 80% 정도에 해당할 것이며, PSSC 과정이 전혀 예측하지 못하였던 점일 것이다.

PSSC 과정은 물리교육뿐만 아니라 일반 교육면에서 획기적인 사건을 일으켰다. PSSC가 조직되고 행하였던 업적이 다른 여러 교과과정과 교육계획의 가치있는 모델을 제시하였다. 여전히 새로운 교과과정의 제작이 가치있는 일이라 믿어지더라도 새 교과과정 자체가 과학교육상의 더 깊은 문제의 해답이 될 수는 없다.

어떤 교사가 한 교육프로그램에 이미 익숙하고 잘 훈련되었을 때 이 교사를 익숙치 않고 조금 언짢게 생각하는 새로운 프로그램으로 돌고 가는 것은 아마도 실수일지도 모른다.

이것은 교육개혁에 대한 반론을 의미하는 것은 아니다. PSSC 교과과정의 초기보고서에서 Arnold A-

rons는 이러한 반론을 한마디로 부인하였다(A. B. Arons, Physics Today, June 1960, p.20). PSSC가 시작된 지 30년 후에 시간이 무르익어 새로운 사람과 아이디어가 고교물리분야에 물밀듯이 침투되었다.

PSSC에 국한되지 않은 채로 하나의 고무적인 현상이 일고 있는데 그것이 바로 AAPT의 새로운 Physics Teaching Resource Agents 프로그램이었다. 이 프로그램은 미국 국립 과학재단의 과학교육국에서 지원을 받는다. 특별하게 선정된 교사들이 미국 전역의 다른 물리교사들의 선생과 모델로서 이바지하여 (Y. Van Hise, AAPT Announcer, 15, 19 (1985)) 초기 PSSC의 과정이 나왔을 때 생겨났던 전략인 "각 사람이 각 사람을 가르친다"는 생각의 바탕하에 일이 추진되고 있다. 초기결과가 매우 인상적이었고 수천의 교사들이 이 프로그램을 이미 거쳐갔다.

국가의 장래에 끼치는 과학교육의 중요성을 깨닫고 이 새로운 프로그램은 고교 물리교육의 새로운 장을 열지 모른다.

누구나 그렇게 되기를 원할 것이다.