

케임브리지 대학의 실험물리학교육, 1880-1900 — 캐번디쉬 연구소의 초급실험을 중심으로 —

유 지 영

서울대 대학원 과학사 및 과학철학 협동과정

Experimental Physics Education in Cambridge University, 1880-1900 : “Elementary Demonstration” in the Cavendish Laboratory

YU Jiyung

Program in History and Philosophy of Science

Seoul National University

ABSTRACT

The “elementary” physics education in Cambridge university was reformed in mid-1880s. It was the result of an interaction between institutional changes and educational views of teaching staff of the Cavendish laboratory. This paper examines this interaction. What was the method and content of the “elementary” laboratory education that emerged as a result of this interaction?

In 1881, the Natural Science Tripos was divided into two parts : the elementary part (NST-I), and the advanced part (NST-II). This change in the NST produced a great effect upon the teaching of physics. The lecture and the experiment in Cavendish laboratory were divided in the same way. The instruction in experimental work was not systematized to the extent necessary for the preparation of NST-I, and students were left a good deal to themselves to cope with their difficulties unaided. Cavendish laboratory was the first to be responsible for this kind of “elementary” education. With the change in examination subjects, number of lectures and demonstrations in experimental physics were steadily increased. These were mainly due to the increase in students who chose the subjects. This changed condition must have become burdens to the Cavendish teaching staff, but it acted as an imperative for improving the teaching method itself.

During the period of 1883-1885, R. T. Glazebrook and W. N. Shaw actively par-

anticipated in this reform as “demonstrators”. They carefully analyzed the situation, and finally chose the method devised by E.C. Pickering, an MIT professor at the time. When the class entered the laboratory, each member went to see the instructions, and after seeing what experiment was assigned to him, went to the table where he found the necessary instruments, and performed the experiment with the aid of the experimental manual—*Practical Physics*. *Practical Physics* covered the ground of the elementary portion of the work required for the NST-I.

To some degree, this method resulted in a success in elementary education for physicists. At the turn of the century, some great physicists in Britain were Cambridge graduates who were trained in this new method. They included C. T. R. Wilson, C. W. Richardson, and R. J. Strutt. Lord Kelvin, J. C. Maxwell, and J. J. Thomson were also great stars in physics and were Cambridge graduates. Although both of these two groups were all Cambridge graduates, the former were basically different from the latter in the method and the content of the “elementary” laboratory education they had received in experimental physics.

I. 머리말

정확한 측정에 바탕한 실험은 19세기 후반 물리학의 중요한 특징 중의 하나였다.¹⁾ 케번디쉬 연구소의 초대 소장이었던 맥스웰(J. C. Maxwell, 1831-1879)은 “대학 물리학 연구소의 임무는 연구실험(experiment of research)을 하는 것”이며, “연구실험의 목적은 우리가 이해하는 어떤 것을 측정하는 것”이라고 했다. 그는 또한 이러한 연구실험을 통해서 연구자는 “모든 종류의 과학적 방법”에 익숙해질 수 있고, “그것들을 비교”함으로써 물리학의 발전에 기여할 수 있을 것으로 보았다.²⁾

하지만 이같은 인식에도 불구하고 1870년대말까지 영국 대학의 실험교육, 특히 초보자를 위한 기초적인 교육은 체계적이지 못했다. 케번디쉬 연구소의 “데먼스트레이터”(demonstrator)로서 “초급실험”(elementary demonstration) 교육을 담당했던 글레이즈브룩(R. T. Glazebrook, 1854-1935)은 이 시기의 영국대학의 실험교육이 “미개발 분야”였다고 평가했다.

글래스고우의 켈빈, 유니버시티 칼리지의 캐리 포스터, 사우스 켄싱턴의 거트리, 옥스포드의 클리프턴 실험실이 있었지만 실험교육에 할애하는 시간도 많지 않았으며, 일반 학생들에게 스스로 실험을

1) 국립물리학연구소(National Physical Laboratory)의 초대 소장을 지냈던 글레이즈브룩은 “19세기 물리학의 가장 중요한 특징은 측정의 중요성에 대한 인식”에 있었다고 하여 실험을 통한 측정의 중요성을 강조하였다. R. T. Glazebrook, “The Rayleigh Period”, *A History of the Cavendish Laboratory, 1871-1910* (London: Longman, Green and Co., 1910), 49쪽. 이 책은 앞으로 *History of the Cavendish Laboratory*로 약칭하겠다.

2) James Clerk Maxwell, “Introductory Lecture on Experimental Physics,” *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, ed. by W. D. Niven (New York: Dover, 1952), vol. 2, 243-244쪽.

해보게 함으로써 근본적인 물리적 원리를 교육하려는 체계적인 노력이 부족했다.³⁾

이같은 상황은 1870년대의 케임브리지 대학의 경우도 마찬가지였다. 캐번디쉬 연구소라는 실험물리학 연구소가 있었지만 여전히 초보자를 위한 실험교육은 체계적이지 못했다.

그러나 캐번디쉬 연구소는 1880년대 중반부터 초보자를 위한 체계적인 실험교육을 제공하기 시작하였다. 열과 역학, 광학과 전기분야의 “초급실험” 과목이 정기적으로 개설되었고, 이 과목들은 초보자를 위해 특별하게 고안된 실험교재에 바탕하여 운영되었다. 케임브리지 대학의 실험물리학 교육이 1880년대를 통해서 중요한 변화를 겪은 것이다.

이 글의 목적은 이같은 변화의 과정을 살펴보는 것이다. 2절에서는 새로운 초급실험교육이 출현하게 된 배경에 관해서 살펴보고 3절에서는 사용되었던 실험교재를 분석하여 실험교육의 내용에 관해서 논의하겠다.

II. “초급실험” 과목의 체계화

1879년 12월 12일 레일리경(the third Lord Rayleigh, J. W. Strutt, 1842-1919)이 맥스웰의 뒤를 이어 2대 캐번디쉬 교수로 선출되었다. 레일리경은 연구소의 현황을 파악한 후, 시급히 해결해야 할 일이 부족한 실험기구를 보충하는 것과 강의 및 실험을 정비하는 것이라고 판단했다. 이중 기구 부족 문제는 레일리경이 500파운드를 기부하고 여기에 데본셔 공작(the 7th Duke of Devonshire)과 다른 사람들의 기부금을 더해서 일종의 “기구기금”(apparatus fund)을 조성함으로써 해결되었다.⁴⁾

실험기구의 부족 문제보다 더 해결하기 어려운 것은 실험물리학 교육을 체계화하는 문제였다. 맥스웰 시기의 캐번디쉬 연구소에서는 학부생, 특히 “자연과학 트라이포스”(Natural Science Tripos)를 준비하려고 하는 “초급학생”⁵⁾을 대상으로 하는 체계적인 실험교육이 없었다. 가넷(W. Garnett)이 데먼스트레이터였지만 충분히 만족할 만한 역할을 하지는 못했으며, 맥스웰 역시 시험준비를 위한 실험교육에는 관심을 덜 쏟았다.⁶⁾

이같은 환경에 변화가 있기 시작한 것은 1879년 10월 자연과학 트라이포스 규정이 개정되면서부터였다. 위원회는 자연과학 트라이포스 시험을 일반적이고 기초적인 지식을 시험하는 초급시험(NST-Part I)과 보다 전문적인 지식을 시험하는 고급시험(NST-Part II)으로 구분하였다.

3) Glazebrook, *History of the Cavendish Laboratory*, 43-44쪽.

4) J. G. Crowther, *The Cavendish Laboratory, 1874-1974* (New York : Science History Publications, 1974), 86쪽. 또한 레일리경은 자신에게 주어지는 학생들의 수업료를 이 기금에 보태도록 하였다.

5) “초급학생”은 “elementary student”를 번역한 것이다. 케임브리지 대학에서 초급학생은 일반적으로 자연과학 트라이포스 I을 준비하려는 학생들을 지칭한다. 한편 고급학생(advanced student)은 이 시험을 통과한 학생을 가리킨다.

6) 이 점에 대해서는 *History of the Cavendish Laboratory*의 1장 “The Clerk Maxwell Period”와 Dong-Won Kim, “The Emergence of the Cavendish School: An Early History of the Cavendish Laboratory, 1871-1900”, 미출판 박사학위 논문 (Harvard University, 1991)의 1장 “Maxwell’s Period, 1871-1879”를 참고할 것.

개정된 규정에서는 자연과학 트라이포스 시험 과목을 (1) 화학, (2) 물리학, (3) 광물학, (4) 지질학, (5) 식물학, (6) 동물학과 비교해부학, (7) 인간해부학, (8) 동물생리학으로 나누었다. 이중 초급시험에서는 위에서 언급한 과목들 중 3-4 과목에 관한 기초적인 지식을 시험했고 고급 시험에서는 학생이 선택한 한 개의 “제 1 과목”(principal subject)에 관한 보다 전문적인 지식과 그 과목과 “연관된 과목”(cognate subject)에 관한 지식을 시험했다. 초급, 고급시험은 모두 필기, 구술, 그리고 실험시험으로 구성되었다.⁷⁾

이러한 자연과학 트라이포스의 분화는 실험물리학교육에도 영향을 미쳤다. 1881년 봄학기⁸⁾까지는 학년을 기준으로 과목들을 구분하던 것이 그 해 가을학기⁹⁾부터는 “초급과목”(elementary lecture)과 “고급과목”(advanced lecture)으로 나누어 개설되기 시작했다. <표 1>은 이들 두 학기에 개설되었던 물리학 과목들로 이 같은 변화를 잘 보여준다.¹⁰⁾

<표 1> 1881년 봄학과 가을학기에 개설된 과목들

1) 1881년 봄학기		
1학년	2학년	3학년
강의 Electricity & Magnetism.	Electricity & Magnetism.	Physical Optics. Theory of Electricity & Sound.
실험 Demonstration in Light. (Glazebrook) Demonstration in Accoustictics & Elasticity. (Shaw)		
2) 1881년 가을학기		
초급과목	고급과목	
Electricity & Magnetism. Conservation of Energy & Theory of Unitation. Optics & Light.	Light.	
실험 Demonstration in Electricity & Magnetism. Demonstration in Principles of Measurements & Mechanics.		

7) *Cambridge University Reporter* (Oct., 28, 1879), 64-65쪽.

8) “봄학기”는 “Easter Term”을 번역한 것이다. 마찬가지로 “Michaelams Term”은 “가을학기”, “Lent Term”은 “겨울학기”로 번역하였다. 케임브리지 대학의 학사력상의 일년은 전년의 가을학기부터 시작하여, 그 해의 겨울학기, 봄학기, 그리고 방학으로 이루어졌다. 예를 들어 학사력상의 1881년은 1880년 가을학기(1880년 10월-12월), 1881년 겨울학기(1881년 1월-3월), 1881년 봄학기(1881년 4월-6월)로 구성되었다.

9) 1881년 가을학기는 대학의 학사력으로는 1882년도 첫 학기가 된다.

10) *Cambridge University Reporter* (April 26, 1881), 484쪽; (June 14, 1881), 669쪽.

〈표 2〉 케브디쉬 연구소에서 개설한 실험들, 1882년-1884년*

1882E	Advanced Demonstrations on Light, Electricity, and Sound, M.W.F. 10 : 30-12 : 30 Elementary Demonstrations on Optics and Electricity, T.Th.S. 10-12
1882M	Demonstrations in Electricity and Magnetism, M.W.F. 10 : 30-12 : 30 (advanced) Demonstrations in Heat, T.Th.S. 10 : 30-12 : 30 (advanced)
1883L	Demonstrations in Electricity and Magnetism, M.W.F. 10 : 30-12 : 30 (advanced) Demonstrations in Mechanics and Heat, T.Th.S. 10 : 30-12 : 30 (elementary)
1883E	Demonstrations in Optics and Accoustics, T.Th.S. 10 : 30-12 : 30 (advanced) Demonstrations in Optics and Electricity, M.W.F. 10 : 30-12 : 30 (elementary)
1883M	Demonstartions in Electricity and Magnetism, T.Th.S. 10 : 30-12 : 30 (advanced) Demonstrations in Heat, M.W.F. 10 : 30-12 : 30 (advanced)
1884L	Demonstrations in Electricity and Magnetism, T.Th.S. 10 : 30-12 : 30 (advanced) Elementary Demonstrations in Mechanics and Heat, M.W.F. 10 : 30-12 : 30
1884E	Demonstrations in Light and Sound, T.Th.S. 10 : 30-12 : 30 (advanced) Elementary Demonstration in Optics and Electricity, M.W.F. 10 : 30-12 : 30

* 1882년 4월 18일, 1882년 6월 20일, 1883년 4월 24일, 1883년 10월 17일, 1884년 1월 16일, 4월 21일자 케임브리지 대학 보고서에 근거한 표이다.

실험과목 역시 1882년 봄학기부터는 “초급실험”과 “고급실험”으로 나누어 개설되기 시작했다.¹¹⁾ 1882년-1884년 사이에 개설되었던 실험과목을 정리한 위의 표 2를 보면 이 기간을 통해서 실험과목을 “고급”과 “초급”로 구분하는 것이 정착되었음을 알 수 있다. 1883년부터는 이렇게

11) 1882년 4월 18일자 보고서에 있는 수강편람에는 실험을 “초급실험”(elementary demonstration)과 “고급실험”(advanced demonstration)으로 명확하게 구별하여 개설하였다. *Cambridge University Reporter* (April 18, 1882), 477쪽. 또한 이 보고서의 476쪽을 보면 1882년 봄학기부터는 물리학강의 과목들의 이름에 “초급”이라는 용어가 포함되기 시작했음을 알 수 있다. 예를 들어 쇼는 “초급물리학연습”(papers on elementary physics)을, 글레이즈브룩은 “초급물리학”(elementary physics)을 맡았다.

구분된 초급실험과목, “역학과 열”, “광학과 전기”가 매년 정기적으로 개설되기 시작했다.

이렇게 “초급실험” 과목, “역학과 열”, “광학과 전기”가 매학기 정기적으로 개설되면서 초급 실험 과목의 개설횟수가 증가하기 시작했다. 이 실험과목들이 1883, 84년까지는 일년에 한 번씩만 개설되었지만 1885년부터는 두 번씩 개설되기 시작했던 것이다. 예를 들어 1884년 가을학기에 “역학과 열”, 85년 겨울학기에 “광학과 전기”, “역학과 열”, 봄학기에 “광학과 전기”가 개설되었다. 이같은 경향은 계속 유지되어 1900년까지 매학기 1개 이상의 초급실험 과목이 개설되었다. 1880년대에 캐번디쉬 연구소에서 개설했던 실험과목들의 개설 횟수를 정리한 <표 3>을 보면 초급실험 과목의 개설 횟수가 이 기간 동안에 꾸준히 증가했으며, 특히 1884년과 1885년 사이에 2배나 증가했다.

<표 3> 캐번디쉬 연구소에서 개설한 실험과목의 수, 1882-1890

연도	실험과목수			합계*
	초급과목	고급과목	의과생과목	
1882	1	2		6
1883	2	2		6
1884	3	4		7
1885	6	4		10
1886	5	5		10
1887	6	4		10
1888	5	7	1	13
1889	7	5	3	15
1890	8	6	3	17

* 강의리스트에 확실하게 초급과목, 고급과목 표시가 없는 경우에는 분류에는 포함시키지 않고 합계에만 포함시켰다.

이같은 “초급실험”의 개설과 과목수의 증가는 실험과목 자체가 오전, 오후 두 학급으로 나누어 운영되기 시작한 것에 기인했다. 수강편람은 1884년 봄학기에 개설될 과목, “광학과 전기”에 관한 항목에서 “필요하다면 같은 날 오후 3시에 실험을 반복할 예정”이라고 공고했다.¹²⁾ 이 문구는 초급실험을 수강하는 학생수가 증가해서 실험 학급을 두 학급으로 운영할 가능성을 예측하고 있었음을 의미한다. 그러나 1885년 1월 17일자 수강 편람에는 초급실험(“광학과 전기”)이 월·수·금 오전 10-12시에 개설된다고 하면서 “같은 날 오후 3시에 반복된다”고만 적혀있을 뿐¹³⁾ “필요하다면”이라는 단서가 삭제되어 있었다. 이 점은 1885년 봄학기의 초급실험, “광학과 전기”의 경우에도 마찬가지였다. 표 4에서 볼 수 있는 것처럼 1885년 가을학기부터는 초급실험을 오전 학급(10시-12시)과 오후 학급(3시-5시)으로 운영하는 것이 정례화되었다.

12) *Cambridge University Reporter* (April 21, 1884), 612쪽.

13) *Cambridge University Reporter* (Jan. 17, 1885), 338쪽.

〈표 4〉 2개 학급으로 나누어 운영한 실험과목들, 1884-1890*

1884E	Elementary Demonstrations in Optics and Electricity, M. W. F. 10 : 30-12 : 30. <u>This Course will be repeated at 3 p.m. on the same days if necessary.</u>
1885L	Elementary Demonstrations in Optics and Electricity, M. W. F. 10-12. <u>This Course will be repeated from 3 to 5 on the same days.</u>
1885E	Elementary Demonstrations in Optics and Electricity, T. Th. S. 10-12. <u>This Course will be repeated from 3 to 5 on the same days.</u>
1885M	Elementary Demonstrations in Mechanics and Heat, T. Th. S. 10-12 / 3-5 p.m.

* 1882-1885년의 *Cambridge University Reporter*에 근거한 자료들이다.

이같은 증가에 따라 캐번디쉬 연구소에서 운영해야 하는 실험학급수는 80년대 초반에 비해서 엄청나게 증가했다. 이러한 증가는 캐번디쉬 연구소의 데먼스트레이터들에게는 커다란 부담을 주었을 것이며 연구소는 이같은 변화에 어떤 식으로든지 적응하여야 했다. 먼저 데먼스트레이터에게 주어진 부담에 관해서 살펴보고 이들이 어떻게 적응하였는가를 보겠다.

아래의 〈표 5〉는 연구소의 데먼스트레이터들——글레이즈브룩과 쇼(W. N. Shaw, 1854-1945)——이 얼마나 큰 부담을 지고 있었는지를 보이기 위해 1883년에 레일리경이 작성한 것이다. 그는 캐번디쉬 연구소에서 제공하는 강의들을 1. 자연과학 트라이포스 I 을 준비하는 과정, 2. 의과생의 시험을 준비하는 과정, 3. 전기에 관한 기술적 과정(technical course), 4. 실험물리학 분야에 관한 “전문적 과정”(special course)의 범주로 구별하고 매학기 이러한 과정의 강의들에 데먼스트레이터들이 들이는 시간이 주당 10 ½시간 이상이 됨을 지적했다.¹⁴⁾ 이 중 1, 2는 수강 학생수의 증가에 의해 과정수가 2배로 늘어날 가능성이 크다고 레일리경은 보고서에 적고 있다.¹⁵⁾ 더구나 그의 예상에 따르면 1883년부터는 수학 트라이포스 I 을 통과한 학생은 자연과학 트라이포스 규정 개정에 따라 자연과학 트라이포스 I 이 면제되어 바로 자연과학 트라이포스 II 를 준비할 수 있게 되었기 때문에 고급실험을 수강하는 학생들의 수는 더욱 증가할 것이었다.

레일리경은 이때까지 실험교육을 뒷받침하는 시스템이 어느정도 성공적이었지만, 아직도 상당한 부분을 더 개선해야 할 필요가 있다고 보았다. 그러나 그는 “지금의 인력으로는 그것을 감당할 수가 없으며”¹⁶⁾ “실험물리학과”(department of experimental physics)의 가장 중요한 요구는 데먼스트레이터들의 부담을 덜어주는 것이라고 결론내렸다. 그가 생각했던 가장 이상적인 체제는 2명의 “선임 데먼스트레이터”(senior demonstrator)와 수강 학생수에 비례하는 수만큼의 “보조

14) *Cambridge University Reporter* (June 13, 1883), 880쪽.

15) *Cambridge University Reporter* (June 13, 1883), 880쪽.

16) *Cambridge University Reporter* (June 13, 1883), 876쪽.

〈표 5〉 케번디쉬연구소에서 제공하는 강의와 실험들

분 야	필요한 학기수	주당 시간
1. 자연과학 트라이포스 I 을 준비하는 과정	3학기 이상	3
2. 의과생의 시험을 준비하는 과정	2학기	2
3. 전기에 관한 기술적 과정	1학기	1
4. 2년을 주기로 하는 전문과정 역학, 수력정역학 등 전기와 자기 열 빛 소리	1학기 3학기 2학기 2학기 1학기	4 ½
		합계 : 10 ½

데먼스트레이터”(assistant demonstrator)들이 실험을 담당하는 것이었다.¹⁷⁾ 이같은 제안의 일부는 실제로 받아들여져서 1884년 겨울 학기에는 랜덜(J. H. Randell)이, 그 해의 봄학기부터는 맥코넬(J. C. McConnel)이 보조 데먼스트레이터로 글레이즈브룩과 쇼를 도왔다.

하지만 실험과목수와 학생수의 증가는 어느 정도의 인력의 충원만으로는 해결될 문제가 아니었다. 무엇보다도 학생수가 증가함에 따라 실험기구의 부족이 심각해졌다. 비록 1880년에 레일리경이 기금모집을 통해서 부족한 기구들을 보충하기는 했지만 이같은 규모의 학생수 증가를 예상한 보충은 아니었다. 또한 실험기구의 부족은 실험교육의 방법에까지 영향을 미쳤다. 실험기구의 부족 때문에 실험실의 모든 학생들이 같은 기구를 가지고 같은 주제의 실험을 할 수가 없었던 것이다. 따라서 데먼스트레이터는 각 실험조에 다른 기구를 사용하는 실험을 할당할 수밖에 없었다.¹⁸⁾

이들의 생각에 가장 바람직한 선택은 실험실과 교육을 담당할 인력을 학생수의 증가에 맞춰 확대하는 방법이었다. 그러나 이 방법은 막대한 액수의 돈을 필요로 했으며, 따라서 당시로서는 선택할 수 있는 방법이 아니었다. 또 다른 선택으로는 실험교육의 수준을 낮추는 방법이 있었다. 학생들이 데먼스트레이터가 실험하는 것을 견학하거나, 혹은 일부의 학생들만이 실험을 하게 하는 방법 등이 있을 수 있었다. 그러나 실제로 실험을 해봄으로써 물리적 원리에 관한 이해를 얻는 것을 초급실험 교육의 목적으로 생각하였던 이들에게 교육 목적의 상당 부분을 포기해야 하는 이같은 선택은 생각하기 어려웠다. 이런 상황에서 어쩔 수없이 글레이즈브룩과 쇼는 연구소에서 제공할 수 있는 제한된 기구, 공간, 인력을 가장 효율적으로 사용하기 위한 새로운 실험교육 방법을 고안해야만 했다.

레일리경과 글레이즈브룩은 학생수의 증가에 대응할 수 있는 효과적인 실험교육 모델을 미국의 MIT대학 천체물리학자였던 픽커링(E. C. Pickering, 1846-1919)이 제안한 방법에서 찾았다.

17) *Cambridge University Reporter* (June 13, 1883), 879쪽.

18) R. T. Glazebrook; W. N. Shaw, *Practical Physics* (London : Longmans & Green, 1885), x.

픽커링은 그의 책 「물리조작원론」(*Element of Physical Manipulation*, 1873)의 서문에서 많은 학생들을 위한 새로운 실험교육의 모델을 제시하였다.

…… 실험실 내의 각각의 테이블 위에 각각의 실험에 필요한 일단의 기구들을 놓아두고 그 테이블 위에서만 사용하게 한다. 실험제목과 학생 이름을 각각의 카드에 적어 실험실의 게시판에 걸어둔다. 학생들은 실험실에 들어오면서 게시판에서 미리 지정되어 있는 자신에게 할당된 실험을 확인한 다음, 그 실험에 필요한 기구가 놓여있는 테이블로 가서 실험을 한다.¹⁹⁾

이 방법의 가장 큰 장점은 대규모의 실험학급을 적은 인력으로써 유지할 수 있다는 점이었다. 그러나 제한된 시간 내에 많은 학생들이 각기 다른 실험을 하는 이같은 방식의 실험에서 데먼스트레이터는 모든 학생들의 진척 과정을 제대로 살펴보기 힘든 단점이 있었다. 따라서 데먼스트레이터는 학생들에게 실험에 필요한 지식을 담은 실험노트를 준비하게 하였다. 실험노트의 검사를 통해서 데먼스트레이터들은 학생들의 수준이나, 도움이 필요한 부분을 빨리 파악할 수 있었다.²⁰⁾ 또한 이같은 방식의 실험 교육에서 교육효과는 학생들이 자신이 할 실험에 관해 얼마나 충분히 준비를 해 왔는가에 따라 차이가 나게 마련이었다. 이를 위해서는 친절하고도 자세한 실험교재가 필요했다. 클레이즈브룩과 쇼는 먼저 실험교재로 많이 사용되었던 픽커링의 「물리조작원론」과 콜라우쉬(F. Kohlrausch)의 「물리적 측정들」²¹⁾을 검토한 결과 이 책들이 케임브리지에서의 실험교육에는 적합치 않다고 판단했다. 무엇보다도 픽커링과 콜라우쉬의 책에서 다루는 실험 기구들은 캐번디쉬 연구소에 없는 것이 많았기 때문이었다. 결국 이들은 캐번디쉬 연구소가 가지고 있는 실험기구를 이용할 수 있고, 실험실의 환경을 충분히 반영한 실험교재를 쓰게 되었고 이것이 바로 「실험물리학」(*Practical Physics*, 1885)이었던 것이다.²²⁾

Ⅲ. 새로운 실험교육 교재-「실험물리학」

클레이즈브룩과 쇼는 그때까지 몇년간 실제로 초급실험과목에서 다루었던 실험들에 바탕하여 「실험물리학」을 썼으며 또 1885년 이후 이 책이 실험과목 교재로 사용되었기 때문에, 이 책의 내용을 분석하는 것이 케임브리지 대학의 실험교육의 내용을 이해하는 데 중요하다고 볼 수 있다.

19) Edward C. Pickering, *Elements of Physical Manipulation*, 2vols. (New York: Hurd & Houghton, 1873, 1876). 본문에 있는 픽커링의 말은 *History of the Cavendish Laboratory*, 44쪽에서 재인용하였다.

20) L.R. Wilberforce, "The Development of the Teaching of Physics", *History of the Cavendish Laboratory*, 254쪽에서 재인용.

21) F. Kohlrausch, *An Introduction to Physical Measurements with Appendices on Absolute Electrical Measurements, etc.* (London: J&A Churchill, 1873).

22) 「실험물리학」은 런던의 Longmans & Green 출판사의 「과학교재」(Text-Book of Science) 시리즈의 하나로 출판되었다. 이 과학교재 시리즈에는 「실험물리학」 외에도 Fleming Jenkin의 *Electricity and Magnetism*, 클레이즈브룩의 *Physical Optics*, 맥스웰의 *Theory of Heat* 등이 포함되어 있었으며, 이 책들은 케임브리지 대학에서 교재로 사용되었다. 「실험물리학」은 1885년에 초판이 출판된 이후, 1893년까지 4판이 출판되었다.

이 책은 21장 82절(section)로 구성되어 있고, 한 절은 한 가지 실험기구를 사용하는 하나의 실험으로 되어있다. <표 6>은 「실험물리학」에 있는 82개의 실험들을 내용에 따라서 분류한 것이다.

<표 6> 「실험물리학」에 있는 실험들

분야	해당 실험번호	교재
물리적 측정, 측정단위, 물리적 산술		1, 2, 3장
보다 단순한 양의 측정	실험 1-실험 19	4, 5장
역학	실험 20-실험 26	6, 7장
음향학	실험 27-실험 31	8장
열	실험 32-실험 44	9-11장
광학	실험 45-실험 68	12-16장
자기	실험 69, 실험 70	17장
전기	실험 71-실험 82	18-21장

「실험물리학」의 실험들에 관하여 각 분야별로 간략하게 살펴보면, “보다 단순한 양의 측정”은 캘리퍼스, 빔-컴퍼스, 스크류-게이지, 스펙로미터 등과 같은 측정기구를 이용하여 길이를 측정하는 실험들과, 저울, 비중병, 습도계 등을 사용하여 고체와 액체의 밀도를 측정하고 비중(specific gravity)을 결정하는 실험들로 구성되었다. “역학”은 진자를 이용한 중력가속도의 측정, 탄성계수의 측정, 비틀림계수의 측정, 유체의 압력 측정 등에 관한 실험으로 구성되었다. “열”에는 다양한 온도측정 장치를 사용하여 온도를 측정하는 실험과 고체와 액체의 비열과 잠열을 측정하는 실험, 기체의 습도를 측정하는 실험 등이 있었다. “음향학” 분야의 실험들은 소리의 진동수, 파장, 속도를 비교하고 결정하는 것이었다. “광학”에는 가장 많은 수의 실험이 있었다. 광도계(photometer)를 이용하여 빛의 강도를 측정하는 실험, 오목거울과 볼록거울의 초점거리를 측정하는 실험, 분광기(spectro-photometer)를 이용하여 빛의 굴절률과 빛의 파장을 측정하는 실험과 빛의 편광에 관한 실험 등을 포함했다. “자기”에는 자석의 일반적인 성질에 관한 2개의 실험이 있었다. 끝으로 “전기”에는 갈바노미터(galvanometer)를 이용하여 전류의 세기를 측정하는 실험, 전기분해 장치를 이용하여 전류를 측정하는 실험, 기전력을 측정하는 실험, 전기 회로의 저항을 측정하는 실험이 포함되었다.

특기할 만한 점은 “측정이란 무엇인가?”를 설명한, “물리적 측정”, “물리적 단위”, “물리적 산술”과 같은 측정에 관한 일반적인 논의에 50쪽 정도를 할애했다는 점이다. 이 분량은 “음향학”과 “역학”이 각각 20, 40쪽 정도였음에 비추어 본다면 상당한 양이었다. 이같이 “측정”에 관한 일반적인 논의에 저자들이 관심을 보인 이유는 글레이즈브룩과 쇼에게 있어서 “측정”이 지닌 중요성 때문이었다. 글레이즈브룩과 쇼는 “이 책에 있는 실험의 전부가 측정 자체이거나 혹은 측정을 포함한다”고 할 정도였다.²³⁾ 따라서 적어도 이 책에서 실험과 “측정”은 동일한 개념인

23) *Practical Physics*, 1쪽.

것이다. 이러한 “측정”의 중요성에 대한 저자들의 인식이 구체적인 “측정”의 예들 — 실험 — 뿐만 아니라 “측정” 자체에 관한 일반적인 논의를 중요한 것으로 만들었던 것이다.

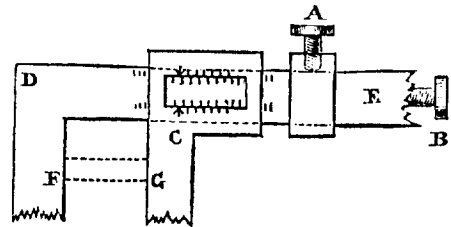
한편 이들에게 “측정”은 곧 “물리적 양의 측정”이었고, 물리적 양의 측정은 “물리적 양을 그 양의 단위량(uint quantity)으로 비교하는 과정”이며, “비교”는 단위량의 배수를 결정하는 것이었다.²⁴⁾ 따라서 측정된 물리적 양은 (숫자) × (단위량)으로 표시된다. 예를 들어 스크류-게이지로 측정된 막대의 직경이 10cm였다면 이것은 1cm라는 단위량의 10배인 물리적 양을 의미한다. 이같은 측정은 다음과 같이 두 부분으로 구분될 수 있었다.

물리적 양을 측정하는 방법은 1. 적합한 단위[량]을 선택하는 것과, 2. 측정하고자 하는 양에 포함되어 있는 단위[량]의 배수를 결정하는 것이다. 이 두 번째 부분은 실험에 의해 결정된다.²⁵⁾

위의 인용문에 따르면 측정과정 중 가장 중요한 것은 단위를 선택하는 과정이다. 왜냐하면 단위량의 선택에 따라 실험에 의해 결정되는 배수가 달라지기 때문이다. 하지만 이미 길이, 질량, 시간과 같은 기본적인 단위의 표준이 결정되어 있기 때문에 이 표준단위체계를 받아들이면 측정을 하는 사람이 자의적으로 단위를 선택하는 일은 일어나지 않는다. 따라서 측정의 실제적인 의미는 실험에 의한 단위량의 배수의 결정이 된다.

또한 이들은 단위 물리량의 종류에 따라 “직접적 방법에 의한 측정”과 “간접적 방법에 의한 측정”으로 측정방법이 구분된다고 보았다.²⁶⁾ “직접적 방법”은 길이, 질량과 같은 기본적인 물리량을 표준단위체계에 의해 만들어진 컴퍼스나 저울을 사용하여 단위량과 비교하는 것이다. 「실험 물리학」의 4장 “보다 단순한 양의 측정”과 5장 “질량의 측정과 비중의 결정”은 이같은 직접적 측정에 관한 실험들을 다루는 부분이다.

“직접적 측정”의 전형적인 예가 캘리퍼스(calipers)를 이용하여 길이를 측정하는 “실험 1”이다. 캘리퍼스는 黃銅으로 만들어진 직사각형 막대들로 구성되어 있는데 이 막대에는 단위체계에 바탕한 눈금이 새겨져 있다. 캘리퍼스의 막대 한 부분(그림 1의 DF)은 고정되어 있고, 다른 부분(CG)은 움직일 수 있게 고안되어 있다. 측정하고자 하는 물체를 E와 C



〈그림 1〉 캘리퍼스를 이용한 길이의 측정

사이에 놓고 나사 A와 B를 조정하여 막대 CG를 물체에 정확하게 밀착시킨 다음 눈금을 읽는다.²⁷⁾ 이 측정에서 가장 중요한 과정은 눈금을 읽는 과정이다. 막대 DE는 1 인치 간격의 큰 눈금이 새겨져 있었다. 이 눈금은 10등분되어 있었으며, 이 10등분된 눈금을 다시 5등분한 눈금 — 따라서 0.02 인치 간격 — 을 작은 눈금이라 불렀다. 막대 CG의 눈금은 앞의 작은 눈금을 20등분한 것이다. 따라서 이 눈금의 간격은 0.001인치다. 만약 막대 CG가 3과 4사이에 위치해 있고 작은 눈금을 가리키는 화살표가 1과

24) 같은 곳.

25) *Practical Physics*, 10쪽.

26) *Practical Physics*, 2쪽.

27) *Practical Physics*, 51쪽.

2사이에 있었다면 이 물체의 길이는 $3+3/10+1/50$ 인치 보다는 크고 $3+3/10+2/50$ 인치 보다는 작은 것이다. 이때 나사 B를 사용하여 보다 세밀하게 조정한 눈금(막대 CG의 눈금)이 13이었다면 이 물체의 길이는 $3+3/10+1/50+13/1000=3.333$ 인치가 된다. 이같은 측정을 반복하여 구한 평균값이 물체의 길이이다. 이것이 “직접적 방법”에 의한 측정이다.

그러나 저자들은 대부분의 실험에서 측정치가 이러한 “직접적 비교”를 통해서 얻어지지 않으며 오히려 “간접적 방법”에 의한 측정이 일반적인 경우라 보았다. 예를 들어 휘스톤브리지를 이용하여 저항을 측정하는 실험의 경우 실험자가 가장 먼저 해야 할 일은 저항값을 모르는 저항 R_x 와 저항값을 아는 저항 R_1 , R_x , R_3 를 적절하게 배열하여 갈바노미터의 바늘이 흔들리지 않게 실험장치를 설치하는 것이다. 이 상태에서 그는 옴(Ohm)의 법칙을 이용하여 저항값 R_x 를 계산하는 것이다.²⁸⁾ 따라서 “간접적 측정”의 경우는 “직접적 측정”의 경우와 달리 물리적 현상에 관한 이론적인 이해가 필수적이다. 위의 예에서 옴의 법칙에 관한 이해가 없다면 저항값을 측정할 수 없을 것이다. 측정에 물리적 이해가 필수적임은 진자를 이용하여 중력가속도의 크기를 결정하는 실험(“실험20”)에서도 볼 수 있다. 이 실험에서 학생들이 실제로 측정하는 물리적 양은 중력가속도가 아니라 길이를 알고 있는 진자의 주기였다. 즉, 실험을 하는 학생들은 $T=2\pi\sqrt{l/g}$ (g 는 중력가속도, T 는 진자의 주기, l 은 진자의 길이)라는 관계는 알고 있어야 했다. 다시 말해서 학생들은 실험을 하기 전에 측정 대상에 관한 물리적 법칙을 이해해야만 했던 것이다. 이런 이유에서 측정은 학생들의 물리적 원리들에 관한 이해의 정도를 “실제로” 확인해 보는 기회이기도 했다.

이러한 “간접적 방법”에 의한 측정이 일반적인 경우라는 저자들의 생각을 요약해서 보여 주는 것이 <표 7>이다.²⁹⁾ 이 표를 통해서 저자들은 모든 물리적 양이 결국은 길이, 질량, 시간과 같은 “보다 단순한 물리적 양”으로 “환원”될 수 있음을 말하고 있다.³⁰⁾ 따라서 어떤 경우에는 측정대상이 역학적 양, 전기적 양, 자기적 양과 같이 다른 종류에 속하는 물리적 양임에도 불구하고 실제로 측정되는 양은 같을 수가 있다. 예를 들어 비틀림계수, 지구자기력의 세기, 전자기 유도계수는 모두 회전바늘(spinning needle)을 이용하여 각도를 측정한다. 글레이즈브룩과 쇼는 이같은 경우 실험에서 차이가 나는 것은 단지 바늘을 운동시키는 힘의 기원일 뿐이라고 보았다. 따라서 저자들은 이러한 범주에 속하는 실험(혹은 현상) 하나를 정확하게 이해한다면 다른 실험들을 이해하는 데 도움이 될 수 있다고 생각했다.³¹⁾

이처럼 저자들에게는 물리적 양들 간의 이같은 관계에 관한 이해가 바로 물리적 원리에 관한 이해였다. 예를 들어 <표 5>를 보면 힘의 경우 실제로 측정되는 양——즉, 환원된 양——은 질량, 길이, (시간)²이다.³²⁾ 이 양은 $F=m \cdot dS/dt^2$ (m 은 질량, S 는 운동거리, t 는 시간)으로 표시되는 힘에 관한 법칙의 물리적 차원(physical dimension)과 일치하고 있다. 저자들의 이러한 인식은 각 실험에 대한 그들의 논의 순서에도 영향을 주었다. 이들은 「실험물리학」의 각 절(실험)에서 측정하고자 하는 물리적 양과 관계된 정의, 개념, 법칙 등에 관한 이론적인 논의를 한 다음에 실험에 관한 기술을 하였던 것이다.

28) *Practical Physics*, 4쪽. 또한 실험 77을 참고할 것.

29) 이 표는 저자들이 작성한 표의 일부분이다. *Practical Physics*, 6-7쪽.

30) *Practical Physics*, 18-19쪽.

31) *Practical Physics*, 7쪽.

32) 여기서 가속도는 속도와 시간으로 표시되므로 결국은 길이(운동거리)와 (시간)²으로 표시될 수 있다.

〈표 7〉 측정대상이 되는 양들과 실제로 측정되는 양들의 예

측정대상	실제로 측정되는 양	실험번호
역학적 양		
area	length	1-6
volume	length	
velocity	length, time	
acceleration	velocity, time	
force	mass, acceleration	
fluid pressure	force, area	24-26
coefficients of elasticity	force, length	22, 23
음향학적 양		
pitch (sound)	time	28
열역학적 양		
temperature	length	32
quantity of heat	mass, temperature	39
광학적 양		
index of refraction	angles	62
intensity of light	length	45
전기적 양		
electric current	qn. of magnetism, force, length	71
E. M. F	qn. of electricity, work	74
resistance	electric current, E. M. F.	75

하지만 저자들이 실험에 덧붙인 이론적 내용은 대부분의 물리학 책에서 찾아 볼 수 있을 내용과는 달랐다. 예를 들어 “열량의 측정에 관한 실험”들을 다루는 장에서 그들은 열과 연관되는 열역학에 관한 모든 지식을 논의하지는 않았던 것이다. 이들이 선택한 기준은 측정에 실제적인 도움을 주는가 하는 것이었다. “온도 측정에 관한 실험”은 저자들의 이같은 태도를 잘 보여준다. 일반적으로 물체의 온도를 “물체의 열적 상태”(thermal condition)로 정의하지만, 글레이즈브룩과 쇼는 이러한 정의가 온도를 측정하는 문제에 있어서는 실제적인 도움을 주지 못함을 지적하였다.³³⁾ 이들은 온도를 측정하기 위해서는 물체의 “열적 상태”의 변화량을 반영시켜주는 물리적

33) *Practical Physics*, 183쪽.

효과들 중에서 측정할 수 있는 물리량을 찾아야 한다고 보았다. 예를 들어, 일정한 압력 하에서의 기체 부피의 변화, 전선의 전기저항값의 변화는 열의 변화에 의해 발생하는 물리적 효과들이다. 따라서 온도를 측정하기 위해서는 이러한 효과들을 측정할 수 있게 고안된 실험기구를 사용하여 측정을 해야 하는 것이다. 글레이즈브룩과 쇼가 이 책의 “온도 측정법”에서 다룬 실험들은 이같이 열에 의한 물리적 효과를 측정하는 것이었다. 예를 들어 “실험 32”는 일정한 압력 하에서 온도의 변화에 의한 기체 부피의 변화율을 측정하는 실험이었다. 이들은 먼저 용기의 무게를 측정하고, 물을 채운 용기의 무게에서 용기만의 무게를 빼서 물만의 무게를 얻었다. 물의 무게로부터 물의 부피를 계산한 다음, 용기를 가열하여 15도 때 물의 부피와 75도 때의 물의 부피를 측정한 후 기체의 변화량을 온도의 변화량으로 나눈 값이 물의 열팽창계수였다. 이렇게 얻은 물의 열팽창계수를 이용하여 “실험 33”에서 물과 알콜, 에테르의 끓는점을 측정하였다. 이처럼 저자들은 실제적 측정에 도움을 주는 물리적 개념 혹은 이론을 「실험물리학」에 담았으며, 학생들은 이같은 실험을 통해 측정하는 양과 관련된 물리적 원리들에 관한 이해를 얻게 되었다.

광도측정실험 역시 이러한 측면을 잘 보여준다. 일반적으로 두 광원의 광도를 I_1, I_2 , 거리를 r_1, r_2 라 한다면 광도와 거리 사이의 관계는 $I_1 : I_2 = r_1^2 : r_2^2$ 으로 표시된다. 이 법칙을 설명하기 위해서 저자들이 택한 것은 분젠(R. W. E. Bunsen)과 럼포드(Count Rumford)가 고안한 광도계였다.³⁴⁾ 책을 읽고 이 실험을 준비하는 과정과 실험을 통해서 학생들은 광도계라는, 빛의 세기를 비교하는 기구의 설계 원리와 광학법칙에 관한 이해를 얻을 수 있었다. 이러한 방식은 실험을 하는 학생에게 실제적인 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라, 학생들이 물리적 개념에 관한 이해를 얻는 데 도움을 준다는 초급실험 교육의 목적과도 부합되었다.

한편 「실험물리학」이 단순히 초보자를 위한 실험교재만은 아니었다. 이 책은 고급학생들도 참고할 만큼 수준높은 내용을 담고 있었다. 쇼가 출판한 책, *Practical Work at the Cavendish Laboratory, Heat*에는 1884년의 고급실험(열)의 실라버스가 실려 있는데, 여기서 그는 전체 실험의 1/3정도에 해당하는 7개의 실험들의 참고 문헌으로 「실험물리학」의 열에 관한 실험을 들었다.³⁵⁾

이제까지는 「실험물리학」의 몇몇 특징들을 책의 내용과 연관시키며 살펴보았다. 지금부터는 저자들이 이 책이 지닌 특징들을 학생들에게 어떻게 전달하였는가에 관해 살펴보겠다. 이들은 학생들로 하여금 실험노트를 충실하게 작성하도록 함으로써 책에 있는 실험에 관한 모든 정보를 숙지하게 만들었으며 학생들이 실험의 원리와 방법에 관해 충분히 이해한 후에만 실험을 하도록 하였다. 또한 이들은 실험 후에 학생들의 노트를 검사하여 실험 결과가 만족스러웠다고 판단한 경우에만 다음번에 할 실험을 할당했고 만약 결과가 만족스럽지 못했다면 출석부에 기입하고 그 학생에게 주의를 주었다. 그리고 필요하다고 생각하면 같은 실험을 반복하게 하였다.³⁶⁾ 이같은 방식의 교육을 통해서 글레이즈브룩과 쇼는 학생들을 “실제적 측정”에 익숙하게 만들고, 그러므로써 물리적 원리들의 이해를 깊게 하는 데 도움을 주고자 하였다. 이처럼 저자들은 학생들의

34) 광도는 광원에서 나오는 빛의 입사각의 코사인에 비례하고 광점으로부터의 거리의 제곱에 반비례한다는 법칙에 바탕한 기구.

35) W. N. Shaw, *Practical Work at the Cavendish Laboratory, Heat* (Cambridge: Cambridge University Pr., 1886), 5-6쪽.

36) *Practical Physics*, viii.

이해의 정도를 파악하는 수단으로 실험노트를 이용하였다.³⁷⁾ 그리고 초급실험과목에서 실험노트의 작성과 검사를 중시하는 태도는 저자들이 캐번디쉬 연구소의 데먼스트레이터직을 사임한 다음에도 후임 데몬스트레이터들에게 계속 남아 있었다.

실험노트 작성이 캐번디쉬 연구소에서 얼마나 중요하게 여겨졌는지를 보여주는 좋은 예가 1897년 자연과학 트라이포스 규정을 개정하려는 시도에서 나타난다. 1896년 10월 자연과학 트라이포스의 시험관들은 “제한된 실험시험 시간에 학생들의 실험 능력을 정확하게 평가하기 어려우므로”, 그 보완책으로 시험관이 “시험 응시자의 평소의 실험기록을 검토, 고려할 수 있게 해 달라”는 제안을 “물리 및 화학위원회”(Special Board for the Physics and Chemistry)에 보냈고³⁸⁾ 이 제안을 다루기 위해 열린 1897년 1월 20일 물리 및 화학위원회와 생물학 및 지질학위원회의 합동회의에서 자연과학 트라이포스의 규정에 “자연과학 트라이포스에 응시하는 학생들은 실험교육을 담당했던 데먼스트레이터의 서명이 있는 실험노트를 시험관에게 제출해서 검사받는다”는 조항을 삽입하기로 결정했다.³⁹⁾ 그러나 “실험노트에 대한 평가를 어떻게 점수화할 것인가?”와 “시험의 목적은 현재 학생들이 무엇을 할 수 있나를 보는 데 있지, 응시자가 과거에 무엇을 할 수 있었다는 것을 보는 것은 아니다”⁴⁰⁾와 같은 반대 의견에 직면하여 위원회는 원래의 입장에서 후퇴하여 실험노트의 검사 결과를 참고만 할 뿐 성적에 반영시키지 않기로 했으며, 적용 대상도 자연과학 트라이포스 II 응시자로 제한했다.⁴¹⁾

새로운 규정에 관한 찬반토론에서 캐번디쉬 연구소의 연구원들은 실험시험에 실험노트 검사를 포함시키자는 원래의 안을 강력하게 지지했다. 특히 캐번디쉬 교수였던 J. J. 톰슨(J. J. Thomson, 1856-1940)은 실험노트를 시험에 포함시킴으로써 학생들이 실험을 기술하는 데 보다 정성을 들이도록 하는 교육적 효과를 거둘 수 있음을 주장했다.⁴²⁾ 톰슨의 이같은 주장에서 우리는 캐번디쉬 연구소의 연구원들이 실험노트의 작성과 검사를 통해서 얻을 수 있었던 교육적 효과를 긍정적으로 평가하고 있었음을 알 수 있다. 이러한 평가는 1880년대 중반부터 시작되었던 실험노트를 이용한 교육이 성공적이었다는 자신들의 경험을 통해서 형성된 것이다.

IV. 그 이후

쇼는 1887년에 실험물리학 강사가 되어 데먼스트레이터직을 사임하였고 클레이즈브룩 역시 1890년에 연구소의 소장보(assistant director)로 임명되어 일선에서 물러났지만 이들이 세워놓은 초급실험교육의 내용과 운영방식의 기본적인 틀은 뉴얼(H. F. Newall : 1886-87년, 보조 데먼스트레이터, 1887-1890년 데먼스트레이터), 윌버포스(L. R. Wilberforce : 1887-90년, 보조 데먼스트레이터, 1891-1900년 데먼스트레이터), 스킨너(S. Skinner : 1891-1904년, 데먼스트레이터), 서얼(G. F. C. Searle : 1891-1934년, 데먼스트레이터)에 의해서 유지되었다.

37) *History of the Cavendish Laboratory*, 254쪽.

38) *Cambridge University Reporter* (March 2, 1897), 644쪽.

39) *Cambridge University Reporter* (March 2, 1897), 645쪽.

40) *Cambridge University Reporter* (May 11, 1897), 901쪽.

41) *Cambridge University Reporter* (June 24, 1897), 1272쪽.

42) *Cambridge University Reporter* (May 11, 1897), 902쪽.

하지만 후임 데몬스트레이터들이 1880년대 중반에 시작된 실험교육 방식과 내용을 그대로 답습한 것은 아니었다. 오히려 글레이즈브룩과 쇼에 의해 체계적인 모습을 갖추기 시작했던 초급실험교육은 후임 데몬스트레이터들의 다양한 시도와 노력을 통해서 보완되어 완성된 모습으로 정착하게 되었다. 그들의 이러한 노력의 한 예가 1887년 겨울학기에 있었던, 강의와 실험을 보다 체계적으로 연계시키려는 시도였다. 예를 들어 그들은 쇼가 “초급물리학”에서 철의 자화밀도와 자화상수 k 에 관해서 강의한 날의 실험주제를 자화상수를 측정하는 것으로 잡았다. 이들은 실험실에 전지, 갈바노미터, 코일, 쇠막대, 마그네토미터로 구성된 6-8개 세트의 실험기구를 준비하고 각각의 세트에서 전지의 파워와 코일에 감은 전선의 회수는 다르게 조정해 놓고 각 실험조로 하여금 자신들의 실험결과를 서로 비교하도록 했고, 필요하다면 결과를 수정하게 하기도 했다.⁴³⁾

실험실의 모든 학생들이 같은 실험기구를 가지고 강의에서 다룬 주제에 관해 실험하는 이같은 방식의 교육에는 다음과 같은 여러가지 장점들이 있었다. 첫째, 강의를 통해서 실험에 필요한 물리적 원리에 관한 이해를 얻을 수 있었고 따라서 강의는 실험을 준비하는 과정의 한 부분이 될 수 있었다. 둘째, 학생들은 강의에서 해결하지 못했던 문제를 실험실에서 데몬스트레이터를 통하여 해결할 수가 있었다. 마지막으로 무엇보다도 학생들은 동일한 실험을 함으로써 서로에게 도움을 줄 수 있었으며, 또한 실험결과와 비교를 통해서 자신의 잘못을 스스로 깨달을 수 있었다. 이처럼 데몬스트레이터들은 교육의 효과를 높이기 위해 다양한 시도를 하였다.

또한 실험의 내용에 있어서도 변화가 있었다. 데몬스트레이터들은 1890년대 초반까지의 물리학의 발전을 실험교육에 반영하였다. 그 결과가 1894년에 증보판으로 출판된 「실험물리학」 4판이었다. 이 판에서는 “보다 단순한 양의 측정”에 “속도와 가속도의 측정”에 관한 장이 추가되었고 “역학”에 5개, “열”에 3개, “광학”에 2개, “자기”에 5개, “전기”에 2개의 실험들이 추가되었다. 이 판에서 가장 새로운 부분은 자기에 관한 부분이었다. 자기력에 관한 2개의 정성적인 실험만을 다루었던 전판과는 달리 “중력과 자기력의 비교”, “가우스 법칙”, “지구에 의한 자기유도”, “자기장” 등과 같은 보다 수준높은 실험들이 더해졌다. 또한 “전자기 유도”는 독립된 장(22장)으로 추가되었다.

한편 1890년대를 지나면서 자연과학 트라이포스는 물리학자가 되기를 원하는 학생들이 응시하는 주된 시험으로 자리를 굳혀갔다. 전통적으로 케임브리지 대학 출신의 물리학자들이 학부에서 선택한 트라이포스는 수학 트라이포스였는데 이러한 경향은 1851년 새로운 트라이포스인 자연과학 트라이포스가 생겨난 다음에도 변하지 않았다. 19세기를 통해서 영국이 배출한 저명한 물리학자 켈빈경, 맥스웰, 레일리경, 그리고 J. J. 톰슨 등은 모두 수학 트라이포스에서 우수한 성적을 얻은 랭글러(wrangler)였었다. 하지만 1890년을 지나면서 이러한 경향에 근본적인 변화가 일어나서 전에 비해 많은 학생들이 자연과학 트라이포스를 선택했다. 또한 윌슨(D. B. Wilson)의 주장에 의하면 이들 중 다수가 대학에 자리를 잡은 물리학자가 되었다.⁴⁴⁾ 이 점은 1890년대를

43) *History of the Cavendish Laboratory*, 112쪽. 실험기구의 부족이 이같은 방식의 실험교육의 가장 큰 장애물이었다. 하지만 데몬스트레이터였던 뉴얼은 이 경우에는 예외적으로 기구의 부족 문제를 해결할 수 있었다고 했다. 같은 책, 111쪽. 1885-87년 사이에 캐번디쉬 연구소가 집중적으로 구매한 실험기구를 중 하나가 갈바노미터였다. Dong-Won Kim, “Cavendish School”, 177쪽을 참고할 것.

44) David B. Wilson, “Experimentalists among the Mathematicians: Physics in the Cambridge Natural Science Tripos, 1851-1900”, *Historical Studies in the Physical Sciences* 12(1982), 325-371, 특히 359쪽을 참고할 것.

통해 캐번디쉬 연구소에서 제공하는 체계적인 초급실험교육을 받았던 물리학자의 수가 증가했음을 말해준다.

하지만 단순히 자연과학 트라이포스 출신의 물리학자들의 수가 증가한 것만은 아니었다. 아래의 표는 1884년-1900년 사이의 자연과학 트라이포스 출신의 물리학자들 중 왕립학회(Royal Society) 회원만을 뽑은 것이다.

〈표 8〉 왕립학회 회원 중 자연과학 트라이포스 출신의 물리학자들

이름	NST	캐번디쉬 체재기간
C. Chree	1884 I	1884-1893
R. Threlfall	1884 I	1880-1886
A. S. Eve	1885 I	
G. F. C. Searle	1888 II	1888-1935
W. C. D. Whetham	1889 I	1886-1910
G. A. Scott	1890 I	1886-1890
C. T. R. Wilson	1890 I	1895-1934
S. W. J. Smith	1894 I	1894-1897
H. S. Allen	1897 I	1898-1900
A. A. Robb	1898 II	1898-1901
R. J. Strutt	1898 I	1898-1902
O. W. Richardson	1900 I	1900-1906

이들 중 스트리트, 윌슨, 리처드슨은 방사선(radioactivity), X선(x-rays), 전자(electrons), 원자구조(atomic structure)와 같은 20세기 초반 물리학의 근본적인 문제들에 관해 매우 활발한 연구를 하였으며, 윌슨과 리처드슨은 각각 1927년과 1928년에 노벨상을 수상하였다.⁴⁵⁾ 이러한 사실은 초급실험 교육을 받은 학생들 중 일부가 유능한 물리학자로 성장하였음을 의미한다.

V. 맺는말

1890년대에 캐번디쉬 연구소의 데몬스트레이터로서 실험물리교육을 담당했던 리버풀 대학의 물리학 교수 윌버포스는 1910년에 캐번디쉬 연구소의 교육의 발전에 관해 언급하면서 “어떤 조직이 지속적으로 성장할 뿐만 아니라 그것에 부여되는 다양한 요구에 적응할 수 있을 때 우리는 조직이 생명을 가졌다는 주장을 정당화시킬 수 있다”고 이야기했다.⁴⁶⁾ 1880년대 전반기 초급실험을 수강하는 학생수의 증가는 캐번디쉬 연구소가 직면했던 다양한 요구들 중의 하나였다. 캐번

45) 같은 글, 360쪽.

46) L. R. Wilberforce, “The Development of Teaching Physics”, *History of the Cavendish Laboratory*, 279쪽.

디쉬 연구소는 이같은 요구에 대해 자신들의 여건에 적합한 실험교재의 개발과 실험교육방식의 도입을 통해서 적응했다. 또한 이들의 적응은 성공적이어서 20세기 초반에 유능한 물리학자를 많이 배출하게 되었다. 그리고 글레이즈브룩과 쇼를 비롯한 캐번디쉬 연구소의 데몬스트레이터들은 이러한 일을 가능케했다.