

영국 과학진흥협회의 “전기표준위원회”(1861—1912)

—19세기 후반의 과학과 기술, 정부와의 관련을 중심으로—*

홍 성 옥

서울대 대학원 과학사 및 과학철학 협동과정

The Electrical Standards Committee(1861—1912) of BAAS: The Relationship of Science, Technology and Government in the Later Half of the Nineteenth Century

HONG Sungook

Program in History and Philosophy of Science

Seoul National University

ABSTRACT

The British Association Committee on Electrical Standards was appointed in 1861. In early years, its principal object was to determine the unit of resistance and then to prepare the best material standard for it. After 1880, the Committee was reappointed to redetermine the standard of resistance and also to determine the units of other electrical quantities, such as current, electromotive force and capacity. In 1912, the Committee handed over all its work to the newly founded National Physical Laboratory and then was dissolved finally. This paper aims at analyzing the internal impetus and the external motive force of this Committee in the milieu of nineteenth century Victorian England.

First, it is shown that Maxwell's emphasis on the role of precise measuring experiment and then his career as a director of Cavendish Laboratory were closely related with the Committee's work during 1860s and 1870s, and that Rayleigh and Glazebrook faithfully succeeded him. Secondly, technical and industrial demand for standards and standardization is considered as a major factor which brought about the appointment of the Committee in 1861, and the reappointment in 1880. But the discrepancy between such demands and the actual results of that Committee is also analyzed. Finally, it is shown that, after 1890, several scientists' endeavor to get financial support of the government was an important factor, that transformed the BA Committee into the National Physical Laboratory.

* 이 논문의 초록은 1990년 10월19일에 있었던 제2회 과학사 및 과학철학 협동과정 세미나에서 발표되었다. 하바드의 김동원 학형은 논문의 초고를 읽어 주셨으며 특히 제2절과 관련해서 몇가지 값진 지적을 해 주셨다. 프린스턴의 정명식 학형도 논문을 읽고 건설적인 비판을 해 주셨다. 김영식 선생님은 논문의 작성과정에서 깊은 관심을 보여 주셨다. 물론 아직도 남은 오류는 전적으로 필자의 책임이다.

I. 들어가는 말

19세기 중엽부터 20세기 초엽까지 존속했던 “영국 과학진흥협회”(British Association for the Advancement of Science, 이후 BA로 약칭)의 “전기표준위원회”(Committee on Electrical Standards)는 19세기 후반의 물리학사 속에서 독특한 위치를 점하고 있다. 먼저 이 위원회는 BA의 수십개의 위원회 중 가장 활발한 활동을 벌였던 대표적인 위원회였으며 또 가장 오랫동안 존속했다는 기록을 보유하고 있었다.¹⁾ 게다가 여기에는 19세기 물리학의 발전을 주도했던 당시 영국의 최고 과학자들이 모두 한번씩은 참여했다. 후에 켈빈 경(Lord Kelvin)이 된 윌리엄 톰슨(William Thomson)은 1861년 위원회의 설립부터 1907년 사망할 때까지 이 일에 강한 열정을 보였다. 맥스웰(J. Clerk Maxwell), 레일리(Lord Rayleigh), J.J. 톰슨(J.J. Thomson) 등 초기 캐번디쉬의 역대 소장이 모두 위원회의 구성원이었으며 적어도 맥스웰과 레일리는 이 위원회의 실제 연구활동을 이끌고 나갔던 과학자들이었다. 또 크리스탈(G. Chrystal), 글레이즈브룩(R.T. Glazebrook), 플레밍(J. Ambrose Fleming), 슈스터(A. Schuster)와 같은 캐번디쉬 연구소의 연구원 첫세대 대부분이 이 위원회의 위원이었고 핏제랄드(G.F. FitzGerald), 올리버 로지(Oliver Lodge)와 같이 캠브리지 대학 출신이 아니었던 “맥스웰주의자들”도 이의 구성원이었다.²⁾

이 위원회의 임무는 전기현상에서 나타나는 여러가지 물리량의 단위(unit)를 정하고 그에 해당하는 물질적인 표준(material standard)을 만드는 것이었다. 단위와 표준이란 문제는 전기현상에 대한 실험적 사실이 축적되고 전기학이 이론화, 수학화되면서 그 필요성이 증대하고 있었던 문제였다. 그렇지만 이는 전문용어와 마찬가지로 한두 사람의 영향력있는 과학자에 의해 정해질 수 없는 독특한 성격을 지닌 문제였다. 저항의 경우에도 1850년경 단위나 표준 체계가 전혀 통일되어 있지 못했다. 독일의 렌츠(Lenz)는 No.11 구리선 1 foot를 저항의 단위로, 휘트스톤(Wheatstone)은 100 grains의 구리선 1 foot를 단위와 표준으로 정했으며, 야코비(Jacobi)는 이를 받아들여 Jacobi 표준체계라고 알려진 표준을 만들었다. 1850년 이후 전신 사업이 활발해지면서 저항의 단위는 실험실 차원의 1 foot에서 1 mile 단위로 늘어났다. 대서양 해저전선 공사에서 영국은 1 mile 길이의 No.16 구리전선을 저항의 표준으로 사용했음에 반해, 독일은 1 German mile No.8 철선을, 프랑스는 직경 4mm, 길이 1km의 철선을 표준으로 사용했다. 영국, 프랑스, 독일의 과학자들은 서로 각각 다른 단위와 표준체계를 가지고 있었으며, 한 나라 안에서도 과학자들은 각자가 선호하는 방법으로 단위와 표준을 정하곤 했다.³⁾ 단위와 표준은 실험실마다 전부 달랐던 것이다.

1) 위원회의 공식적인 활동기간은 1861-1870년, 그리고 1880-1912년 동안이었다. 처음 9년간 위원회의 이름은 “전기 저항의 표준에 관한 위원회”(Committee on Standards of Electrical Resistance)였으며 1880년 이후에는 “전기적 측정에 사용되는 실제적인 표준을 위한 위원회”(Committee for Practical Standards for Use in Electrical Measurement)였다. 위원회는 BA의 연례모임에서 보고서를 발표했는데 1866년과 1868년에는 보고서를 제출하지 않았다. 이 보고서들은 BA 연례모임 다음해에 출판된 *Report of the British Association for the Advancement of Science*(이후 *BA Report*로 약칭)에 수록되었다. 1862년부터 1912년 동안의 이 위원회의 보고서는 레일리의 책임하에 편집되어 1913년 다음과 같은 단행본으로 출판되었다. *Reports on the Committee on Electrical Standards appointed by the British Association for the Advancement of Science: A Record of the History of “Absolute Unit” and of the Lord Kelvin's Work in Connection of These* (Cambridge U. Pr., 1913).

2) 위원회에 참여했던 과학자들의 명단은 *Reports on the Committee on Electrical Standards*(주1 참조), pp.xxiii-xxiv에 실려 있다.

3) BA unit 이전의 표준체계에 대한 설명은 F. Jenkin, “Report on the New Unit of Electrical Resistance Proposed and Issued by the Committee on Electrical Standards Appointed in 1861 by the British Association” in F. Jenkin ed., *Report of the Committee on Electrical Standards to Royal Society* (London, 1873), pp.191-198을 볼 것.

1861-1870년에 걸친 위원회의 초기 활동은 저항의 단위와 표준을 만드는 것이었다. 그리고 이 결과 소위 “협회 단위”(BA unit) 또는 “옴”(ohm)이라는 독특한 표준체계가 만들어졌으며 이는 영국이 수은을 이용한 표준치를 받아들였던 1894년까지 영연방의 공식적인 기준으로 기능했다. 1880년에 다시 구성된 위원회는 저항의 협회 단위를 재측정하면서 동시에 저항 이외의 다른 전자기량, 예를 들어 전류, 기전력(electromotive force), 전기용량(capacity)과 같은 전기량의 단위와 표준을 계속 만들었다.⁴⁾ 이러한 연구결과는 영국의 표준이 되었을 뿐만 아니라 이 중 많은 부분이 몇 차례에 걸친 국제회의의 결과 세계적인 단위와 표준으로 공인되었다.⁵⁾ 반세기에 걸친 연구는 결국 전 세계적인 차원에서의 전자기 단위와 표준의 통일을 가져왔던 것이다.

20세기에 들어서서 위원회의 활동은 1900년에 설립된 “국립물리학연구소”(National Physical Laboratory, 이하 NPL로 약칭)에 계승되었다. 또 NPL의 설립 이전에는 캠브리지 대학의 캐번디쉬 연구소가 위원회의 실제 활동과 관련해서 중요한 작업들을 수행하곤 했다. 특히 캐번디쉬 연구소의 두번째 소장이었던 레일리는 그가 재임하던 1880-1884년 동안 전기 표준의 문제와 관련된 중요한 실험들을 연구소의 연구원들과 함께 수행했다. 캐번디쉬 연구소가 설립되기 이전에는 왕립학회의 큐 관측소(Kew Observatory)가 표준저항을 보관하고 있었으며 복사 저항의 검사를 담당했다. 이렇게 이 위원회의 활동이 영국의 중요한 물리학연구소와 밀접한 관련을 맺고 있었다는 점은 당시 단위와 표준, 그리고 이에 관련된 측정의 중요성을 보여주는 하나의 사례인 것이다.⁶⁾

캐번디쉬에서 NPL로 이어지는 위원회의 활동은 글레이즈브룩(R.T. Glazebrook, 1854-1935)의 경력에서도 잘 드러난다. 그는 1876년 맥스웰 밑에서 캐번디쉬의 연구원 생활을 시작했고 1880년부터 1891년까지 캐번디쉬의 강사(demonstrator)를, 그리고 1891년부터 1898년까지 부소장(assistant director)을 역임했다. 또 그는 레일리가 캐번디쉬의 소장으로 있던 1883년 BA 위원회의 서기로 임명되어 1913년 위원회가 자신들의 일을 NPL에게 완전히 넘겨주고 해체할 때까지 위원회의 서기로서 그 실질적인 활동을 주도해 나갔다. 캐번디쉬와 20년이 넘는 인연을 가지고 있으며, 위원회의 서기를 맡고 있었던 그가 1년 남짓한 리버풀의 유니버시티 칼리지

-
- 4) 1862년부터 1912년 동안의 위원회의 활동에 대한 간략한 소개로는 O.J.R. Howarth, *The British Association for the Advancement of Science: A Retrospect, 1831-1921* (London, 1922), pp.183-188; R.T. Glazebrook and F. E. Smith, “Introduction”, *Reports on the Committee on Electrical Standards* (주1 참조), pp.xvii-xxii를 볼 것.
- 5) 대표적인 국제 학회로 1881, 1884년 “Paris Electrical Congress”, 1893년 시카고에서 열린 “International Electrical Congress in Chicago on Electrical Units”와 1912년 런던에서 열린 “International Conference on Electrical Units and Standards”를 꼽을 수 있다.
- 6) NPL의 설립과정과 초기활동에 대해서는 E. Pyatt, *The National Physical Laboratory: A History* (Adam Hilger Ltd., 1983), pp.12-35; R.T. Glazebrook, “The Aims of the National Physical Laboratory”, *Popular Science Monthly* 60 (Dec., 1901), 124-144를 볼 것. R.T. Glazebrook, “The Rayleigh Period” in *A History of the Cavendish Laboratory* (London, 1910), ch.II, pp.40-74는 레일리 시기 캐번디쉬 연구소에서의 표준에 관한 실험에 대해서 거의 대부분을 할애하고 있다. 레일리 시기의 캐번디쉬에 대해서는 Fourth Baron Rayleigh, *John William Strutt: Third Baron Rayleigh* (London, 1924), ch.7 “The Cambridge Professorship”, pp.99-127도 도움이 된다. 맥스웰 시기에 대해서는 A. Schuster, “The Clerk Maxwell Period”, *A History of the Cavendish Laboratory*, pp.14-39; J.J. Thomson et al., *James Clerk Maxwell: A Commemoration Volume, 1831-1931* (Cambridge, 1931)에 실린 J.J. Thomson, J.A. Fleming, Glazebrook의 회고를 볼 것. 큐 관측소에 대해서는 Robert H. Scott, “The History of the Kew Observatory”, *Proc. Roy. Soc.* 39(1885), 37-86을 참조할 것.

(University College)의 학장직을 서슴없이 버리고 택했던 마지막 경력은 바로 NPL의 초대 소장(1890-1919)이었던 것이다.⁷⁾

이처럼 전기량의 단위와 표준을 설정하고, 이를 위해 정밀한 실험을 수행하는 일이 19세기 후반을 통해 중요한 연구였음은 분명하지만 이것이 반세기에 걸친 기간 동안 지속적으로 많은 과학자들의 관심을 끌었던 문제는 아니었다. 또 표준과 측정의 문제가 과학자들을 가장 매료시켰던 문제는 더욱 더 아니었다. 이에 대한 이유는 단위와 표준을 정하는 작업의 성격에서 찾아질 수 있다. 즉 이러한 작업의 핵심은 정밀한 실험, 더 많은 유효 수자를 낼 수 있는 실험의 고안과 그것의 반복 수행에 있었다. 물론 우리가 알고 있는 다른 단위들의 수치로부터 어떻게 1 C.G.S.unit의 저항을 측정할 수 있으며, 이를 위한 실험적 장치를 어떻게 준비할 수 있는가, 또는 전류가 흐를 때 도선에서 발생하는 열을 어떻게 감안해야 하는가라는 문제와 같이 이론적인 문제가 전혀 없었던 것은 아니지만 이러한 문제들은 대부분 1860년대에 해결되었다. 결국 시간이 경과하면 경과할수록 위원회의 연구는 그 이전 해의 결과를 보완하거나 기껏해야 새로운 방법을 적용해서 조금 더 정밀한 결과를 얻어내는 데 그치곤 했다.

당시 과학자들이 이 위원회의 활동에 대해 얼마만큼의 관심을 가지고 있었는가를 볼 수 있는 하나의 방법은 위원회의 위원이었던 과학자 개개인의 표준과 측정의 문제에 대한 관심을 살펴 보는 것이다. 1881년부터 1902년까지 위원회의 보고서의 부록에 수록된 기명(記名) 논문은 모두 38편이었는데, 이 중 글레이즈브룩의 기여가 13편(공동 발표 3편을 제외하고)을 차지했음에 비해⁸⁾ 로지는 1895년 자기 단위(magnetic unit)에 대한 단 1편의 논문만을 발표했다.⁹⁾ 그렇지만 로지의 경우는 J.J. 톰슨, 핏제랄드와 같은 물리학자들이 이에 대한 단 한편의 논문도 발표하지 않았을 뿐만 아니라 거의 아무런 관심도 없었다는 사실에 비하면 오히려 두드러진 것이었다. 캐번디쉬 연구소의 연구 성격도 레일리가 사임하면서 달라졌다. 1884년에는 연구원들이 발표한 20편의 논문 중 7편이 전기의 단위와 표준에 관련된 것이었으나 1885년에는 14편 중 2편만이, 1886년에는 11편 중 역시 2편만이 이에 관련된 것이었다. 1887년에는 전기의 단위와 표준에 관한 논문은 한편도 없었으며 12편 중 2편만이 온도, 진동수의 측정에 대한 논문이었다.¹⁰⁾

수학과 이론에 관심이 많았던 J.J. 톰슨, 로지, 핏제랄드, 포인팅(J.H. Poynting), 라모(J. Larmor)와 같은 젊은 맥스웰주의자들은 처음부터 이 따분한 실험보다는 에테르 문제, 전자기 에너지 문제, 소용돌이(vortex) 원자 모델, 맥스웰의 전자기 동역학(electro-dynamics)의 문제에 몰두했다.¹¹⁾ 전기 기술의 이론화에 큰 기여를 했던 헤비사이드 역시 BA 위원회의 단위나 표

7) Glazebrook에 대해서는 아직도 과학사학자에 의해 씌어진 전기가 없는 실정이다. 그에 대한 가장 유용한 자료는 Rayleigh and F.J. Selby, "Richard Tetley Glazebrook 1854-1935", *Obituary Notices of Fellows of the Royal Society of London* 2 (1936-38), 29-56이다. 또 W.C.D. Dampier, "Sir Richard Tetley Glazebrook," *D.N.B.* (1931-1940), pp.343-344; B. Finn, "Richard Tetley Glazebrook", *Dic. Sci. Bio.* 5, 423-424도 유용하다.

8) 위원회의 연례 보고서는 대부분 무기명 보고서(Report)와 기명 논문을 모아둔 부록(Appendix)으로 이루어졌다. 이 무기명 보고서는 서기가 작성하는 것이 통례였기 때문에 실제로 Glazebrook의 기여는 13편을 훨씬 넘는다고 볼 수 있다.

9) Oliver J. Lodge, "Magnetic Units", *BA Report*(1895), 197-206.

10) 이 자료는 "A List of Memoirs Containing an Account of Work Done in the Cavendish Laboratory," *Cavendish Laboratory*(주6 참조), pp.281-334에서 추린 것임.

11) 19세기 마지막 4분기의 맥스웰주의자들의 과학적 활동에 대해서는 Jed Z. Buchwald, *From Maxwell to Microphysics: Aspects of Electromagnetic Theory in the Last Quarter of the Nineteenth Century* (The U. of Chicago Pr., 1985); Bruce J. Hunt, *The Maxwellians* (Ph.D. Dissertation, Johns Hopkins University, 1984)를 참조할 것,

준에는 별 관심이 없었다.¹²⁾ 이들 맥스웰주의자들에게는 맥스웰의 전자기 이론에서 나타났던 문제점을 제거하고, 몇가지 중요한 방정식을 골격으로 하나의 전자기 이론체계를 세우는 문제가 사실 가장 중요한 관심사였다. 이들이 1888년 헤르츠에 의한 전자기파의 발견에 환호를 보냈다면, X-Ray의 발견은 모든 물리학자를 흥분의 도가니로 몰아 넣었던 사건이었다. 또 방사능, 전자의 발견과 같이 물리학자들의 관심과 논쟁의 대상이 되었던 새로운 문제들이 90년대 중반부터 몇년이 멀다하고 쏟아져 나온곤 했다.¹³⁾ 위원회의 회원이었던 과학자들 대부분이 단위, 표준을 정하고 이를 정교화하는 일에 많은 관심을 쏟지 못했던 것은 당연한 일이기까지 했다.

과학자들의 큰 관심을 끌지 못했음에도 불구하고 위원회의 활동은 1차 세계대전 직전까지 지속되었으며, NPL이라는 건강하고 무척 특이한 자손에게 그 유산을 물려주는 데 성공했다. 따라서 위원회의 활동에 대한 역사적 서술은 그것의 연례활동에 대한 기술만이 아닌 그것의 활동을 반세기 이상 지속시킨 추진력에 대한 설득력있는 분석을 포함해야 한다. 이 논문에서의 필자의 의도는 19세기 후반기 영국사회의 몇가지 요인—제도적, 산업기술적, 정치적—이 서로 다른 모습으로 BA위원회의 성립과 연구의 가속화에 대해, 그리고 더 나아가서 그것의 연구를 NPL로 이어지게 하는 데에 중요한 동력으로 작용했음을 보이는 데 있다.

필자는 II절에서 맥스웰에 의해 마련된 캐번디쉬의 전자기 실험의 전통이 이 위원회의 활동과 밀접하게 관련을 맺고 있었을 뿐만 아니라 이를 통해 레일리과 클레이즈브룩이라는, BA 위원회를 이끌고 나갔던 가장 중요한 과학자들을 배출했음을 보일 것이다. 이어서 III절에서는 단위, 표준이 과학과 산업을 매개시켜 주는 요소라는 전제 위에서 기술적·산업적 필요가 1861년 위원회의 결성과, 1880년 위원회의 재구성에 중요한 동기였음을 보이려 한다. 그렇지만 1883년 이후 위원회의 활동이 점차 기술자들이 바라던 실제적인 표준을 발급하고 측정기구의 정확성을 검사하는 표준위원회와 표준연구소를 상무부(Board of Trade) 산하에 두는 방향으로 나아갔음을 보일 것이다. IV절에서는 1890년 이후 상무부의 표준연구소와 주변국들의 변화에 자극받은 과학자들이 BA 위원회의 활동과 관련해서 정부의 재정적인 지원을 받으려고 노력하기 시작했으며 이것이 BA 위원회를 NPL로 이어지게 했음을 보이려 한다.

12) Heaviside는 전자기 법칙에서 4π 를 없애버릴 수 있는 Heaviside-Lorentz Unit라고 불리는 독특한 단위 체계를 주창했었다. 그렇지만 그는 “나는 개인적으로는 이것들(4π)을 완전히 없앤 단위를 사용하지만 이후 출판시에는 BA unit로 키워진 독자를 위해서 4π 로 양념을 친다”라고 냉소적으로 기록하고 있다. E. Weber, “Introduction”, O. Heaviside, *Electromagnetic Theory* (Dover, 1950), p.xxv.

13) X-ray, 방사능, 전자의 발견과 그것이 과학자 사회에 미친 충격은 A. Keller, *The Infancy of Atomic Physics* (Clarendon Pr., 1983), pp.55-97에 잘 서술되어 있다.

II. 맥스웰과 케번디쉬 연구소의 전통

저항의 단위와 표준을 정하는 1860년대의 위원회의 활동에 가장 중요한 역할을 했던 과학자는 맥스웰이었다. 당시 런던 킹스 칼리지(King's College)의 자연철학 교수였던 맥스웰은 1862년부터 이 위원회에 합류했다.¹⁴⁾ 그는 곧바로 플리밍 젠킨(Fleeming Jenkin)과 함께 단위와 표준에 대한 이론적인 문제들, 특히 절대적 전자기 단위(absolute electromagnetic unit) 체계에 근거해서 전자기 단위를 결정하는 문제들에 관한 체계적인 보고서를 만들었으며,¹⁵⁾ 이런 이론에 근거해서 젠킨, 밸포어 스튜어트(Balfour Stewart)와 함께 저항의 표준을 정하는 실험을 최초로 수행했다.¹⁶⁾ 1년 뒤의 1864년 보고서에서는 맥스웰, 젠킨, 호킨(Charles Hockin)이 63년의 표준 저항을 더 정교하게 측정해 본 실험 결과와¹⁷⁾ 이를 근거로 위원회가 공식적으로 “협회 단위” 또는 “ohmad”라는 저항의 단위와 표준을 공표한다는 내용을 담고 있었다.¹⁸⁾ 1865년 보고서는 “위원회가 결성되게 된 소정의 목적을 달성했다”는 구절을 담고 있었으며,¹⁹⁾ 1869년 위원회는 저항의 표준과는 직접 관련이 없는 주제를 놓고 모임을 가진 뒤에 1870년

- 14) 맥스웰이 위원회에 합류하게 된 직접적인 동기를 분명하게 보여주는 사료들은 거의 없다. 다만 1861년부터 맥스웰이 ‘빛의 전자기이론’(electromagnetic theory of light)을 생각했으며, 그 과정에서 [정전기 단위에서의 전기량]/[전자기 단위에서의 전기량]의 값이 빛의 속도라는 베버의 실험결과와 ‘dielectric capacity’와 ‘index of refraction’의 관계가 이를 입증하는 중요한 근거가 된다는 것을 인식했음을 고려할 때 절대적 도량형에 근거해서 이러한 수치를 측정하는 것의 필요성이 그를 자극했음을 추측해 볼 수 있다. 이러한 암시가 맥스웰이 W. 톰슨에게 보낸 편지에서 찾아진다. “Letter from Maxwell to Thomson”(Dec. 10, 1861), J. Larmor ed., *Origins of Clerk Maxwell's Electric Ideas as Described in Familiar Letters to William Thomson*(Camb., 1937), pp.34-36.
- 15) 여기서 absolute measure란 길이, 시간, 무게만으로 전자기 단위를 표시한다는 의미이며, electromagnetic unit를 채택한 것은 전류, 저항과 같은 전자기 현상을 더 쉽게 드러내 줄 수 있기 때문이었다. J. Clerk Maxwell and F. Jenkin, “On the Elementary Relations between Electrical Measurements”(Appendix C of the “Report of the Committee”), *BA Report*(1863), 130-163.
- 16) 회전 코일(Spinning Coil)실험이라고 알려진 이 실험은 바로 맥스웰의 King's College 실험실에서 1863년 4월부터 8월 동안에 이루어졌다. J. Clerk Maxwell, B. Stewart and F. Jenkin, “Description of an Experimental Measurement of Electrical Resistance, Made at King's College”(Appendix D), *BA Report*(1863), 163-175.
- 17) J. Clerk Maxwell, F. Jenkin and Charles Hockin, “Description of a Further Experimental Measurement of Electrical Resistance Made at King's College”(Appendix A of the “Report of the Committee”), *BA Report*(1864), 350-351.
- 18) 1862년 위원회는 저항 10^7 m/s를 “1862년 단위”(unit of 1862) 또는 “C. Bright와 L. Clark이 제안한 명칭”으로 부르기로 했다. “Provisional Report of the Committee Appointed by the British Association on Standards of Electrical Resistance”, *BA Report*(1862), 125-135, 특히 p.127. Bright, Clark가 1861년에 제안한 단위의 명칭은 전류에 “galvat”, 기전력에 “ohma”, 전기량에 “farad”, 그리고 저항에 “volt” 등이었다. 1863년에는 “unit of British Association”이라는 명칭을 확정지었으며, 1864년에 표준저항을 공표하면서 “BA unit” 또는 “ohmad”라고 다시 이름지었다. C.G.S.단위와 “ohm”이란 명칭이 채택된 것은 1873년 BA의 “Committee for the Selection and Nomenclature of Dynamical and Electrical Units”에서이며, 국제적인 공인은 1881년의 파리 국제회의에서였다. 표준저항의 공표에 대해서는 “Report of the Committee on Standards of Electrical Resistance”, *BA Report*(1864), 345-349, 특히 p.347을 볼 것.
- 19) “Report of the Committee on Standards of Electrical Resistance”, *BA Report*(1865), 308.

보다 전문적인 3개의 위원회를 구성하면서 해체했다.²⁰⁾

맥스웰은 위원회에 합류하기 이전부터 정밀한 측정에 대해 깊은 관심을 가지고 있었다. 1856년 애버딘의 마리샬 칼리지(Marischal College)의 자연철학 교수로 취임한 맥스웰은 그의 취임 강연²¹⁾에서 자연철학을 역학(mechanical science)과 물리학(physical science)으로 나눈 뒤에 물리학은 역학과는 달리 정확한 물리량에 대한 실험과 측정에 의존하고 있음을 강조했다.²²⁾ 맥스웰에 의하면 물리학에서 다루고 있는 진리는 “이 세계의 기초 위에 굳건하게 건축된 것이며 오래전부터 수, 도량, 무게에 따라 확립된 것”이었다.²³⁾ 또 그는 물리학의 법칙이 실험에 의해 진리임이 밝혀져야 우리가 그것을 진리라고 부를 수 있는가 그렇지 않은가를 질문하면서 자신은 “인간의 지성이 실험적인 노력없이 그 자체만으로 물리학의 체계를 만들 수 있다고 믿을 어떠한 이유도 없다”고 강조했다.²⁴⁾

정확한 측정과 이에 관련된 실험의 중요성에 대한 맥스웰의 관심은 1860년대를 통해 그가 위원회의 일을 담당한 이후 단위와 표준의 문제와 결합되어 나타나기 시작했다. 1870년 BA 물리·수학 분과의 의장 연설에서 맥스웰은 과학에서 중요시하는 것이 질(quality)과 양(quantity)인데 과학이 발전하면서 계속해서 양의 영역이 질의 영역을 잠식했으며, 이제는 “과학적 질문의 과정이 단순히 양들의 측정과 기록, 그리고 이렇게 얻어진 결과의 수학적 토론이 되었다”고 언급했다.²⁵⁾ 그는 정밀한 측정의 철학적 의미를 두가지로 표현했는데, 그 중 하나는 스펙트로스코피의 예에서 보듯이 정밀한 측정이 자연의 균일성을 드러내는 것이었으며, 또 다른 하나는 단위와 표준의 설정이라는 인간의 노력을 통해 인위적 균일성을 만들어 낸다는 것이었다.

…문명국가에서는 국가에 의해 만들어지고 제공된 표준에 대한 주의깊은 조정 속에서 균일성을 발견할 수 있다. 이러한 국가적 표준의 균일성의 정도는 그 국가의 정의의 정신(spirit of justice)의 척도이다. … 이 문제는 과학집단으로서의 우리가 따듯한 관심을 가져야 할 문제이다. 여러분들은 상업적이고 과학적인 목적을 위한 도량형의 설정에 투여된 엄청난 분량의 과학적 연구를 알고 있을 것이다.²⁶⁾

- 20) “Report of the Committee on Standards of Electrical Resistance”, *BA Report*(1870), 14-15. 1870년에는 전기 저항 표준위원회가 해체되면서 전기용량, 전기 포텐셜, 전류의 표준을 위한 위원회가 만들어졌다. B. Stewart, L.Clark, C.T. Varley는 전기용량 표준위원회에, W. Thomson, Maxwell, Jenkin은 포텐셜 위원회에, 그리고 Hockin, A. Matthiessen, A.W. Williamson은 전류 위원회에 속하게 되었다. *BA Report*(1870), lviii-lx.
- 21) 1856년 11월 3일에 행해진 이 연설은 맥스웰의 전집에 포함되어 있지 않지만 R.V. Jones, “James Clerk Maxwell at Aberdeen, 1856-1860”, *Notes and Records of the Royal Society of London* 28(1973), 57-81중 pp. 70-81에 수록되어 있다.
- 22) 한가지 흥미있는 점은 Glasgow 대학의 W. 톰슨 역시 1850년대 초반에 자연철학을 이론적 과학과 실험 과학으로 구별하고 실험과학의 핵심이 정확한 측정에 있음을 강조했다라는 것이다. 맥스웰이 1850년부터 W. 톰슨을 알고 있었으며, 특히 1854년부터 전자기학, 색깔 이론에 관한 편지 교류가 많았고, 1855년 Glasgow의 BA 모임에서 톰슨을 만났다는 사실을 감안할 때 맥스웰의 정밀한 측정이란 생각에는 톰슨의 영향이 상당히 컸을 것으로 여겨진다. 정밀한 측정에 대한 톰슨의 강조는 C. Smith and M.N. Wise, *Energy and Empire: A Biographical Study of Lord Kelvin* (Camb. U. Pr., 1989), pp.120-135를 볼 것.
- 23) Jones, “Maxwell at Aberdeen”, p.76. 이 구절은 1860년에 있었던 맥스웰의 King's College 취임 연설에도 똑같이 들어가 있다. J. Clerk Maxwell, “Inaugural Lecture at King's College London, 1860”, *Am. J. Phys.* 47 (1979), 928-933.
- 24) Jones. “Maxwell at Aberdeen”, p.76.
- 25) J. Clerk Maxwell, “Address to the Mathematical and Physical Sections of the British Association”(1870), W.D. Niven ed., *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, vol II(Camb. U. Pr., 1890), pp.215-229, 특히 p.217.
- 26) 같은 책, p.225.

맥스웰에게 측정과 표준은 자연철학의 핵심적인 활동일 뿐만 아니라 과학이 국가에 대해 할 수 있는 가장 훌륭한 봉사였다.

정밀한 측정에 대한 맥스웰의 생각이 가장 잘 드러난 것은 케번디쉬 연구소의 초대 소장으로 취임하면서 맥스웰이 행한 취임 연설이었다. 그는 먼저 실험을 “보여주는 실험”과 “연구하는 실험”으로 나눈 뒤 이 중 전자가 학생들에게 과학적 개념들을 이해하게 하는 것이라면 후자의 궁극적 목적은 “어떠한 양의 산술치를 얻기 위해 우리가 이미 알고 있는 어떤 것을 측정하는 것”이라고 지적하면서 이러한 실험이 물리학연구소의 적절한 작업이 될 것이라고 강조했다.²⁷⁾ 맥스웰은 또 이러한 측정이 “새로운 연구 영역과 새로운 과학적 개념들을 열어 줌으로써 실험에 쏟은 노고에 보답한다”고 설명하면서 근대 실험이 기본적으로 측정으로 구성되어 있다는 것은 이제 너무 잘 알려져 있어서 몇 년 내에 과학자들의 일은 물리 상수의 유효수자를 늘리는 것이 될 것이라고 생각할 정도라고 지적했다.²⁸⁾ 이러한 맥스웰의 주장은 연구소를 교육기관으로 생각한 대학 당국에게나, 실험의 목적이 단지 물리학을 가르치기 위한 보조수단이라고 생각하던 당시의 과학자들에게 가히 혁신적인 것이었다.²⁹⁾

또한 실험과 측정에 대한 맥스웰의 생각은 연구소의 위상과 발전 방향에 대한 그의 청사진과 밀접한 관련이 있었다. 그는 앞으로의 연구소의 위상에 대해

만일 이것이 우리가 실제로 접근하고 있는 것의 상태라면, 우리 연구소는 신중한 노력과 완벽한 기술의 장소로 유명해질 것이지만, 그것은 대학에는 적합하지 않게 될 것이며... 차라리 우리나라의 거대한 공장들과 함께 분류되어야 할 것이다.³⁰⁾

라고 역설했다. 맥스웰이 생각한 실험적 연구는 이렇게 궁극적으로 국가적 차원의 유용성과 연결되어 있었던 것이었다.

한가지 문제는 이러한 실험적 연구가 구체적으로 캠브리지 대학의 상황 속에서 어떻게 가능한가라는 것이었다. 맥스웰은 캠브리지의 과학교육이 수학 위주이며 그것도 시험공부 위주라는 사실과 학생들과 대학의 관계자들이 과학에서의 실험의 역할을 제대로 평가하고 있지 못하다는 사실을 잘 인식하고 있었다. 따라서 그는 먼저 이들을 설득할 필요에 직면해 있었다. 이를 위해 그는 물리학과 관련된 강의와 실험이 보완적인 성격이 있음을 설명했던 것이다. 즉, 강의를 열, 전기, 자기, 빛과 같이 주로 물리학의 대상을 위주로 이루어진다면 실험은 길이를 재고, 무게를 다는 것과 같이 과학의 대상이 아닌 과학의 방법에 대한 이해를 증진시키는 역할을 하는 것이었다. 따라서

연구소에서의 우리의 중심적인 작업은 모든 종류의 과학적 방법들에 우리를 익숙하게 하고, 그것들을 비교하고, 그것들의 가치를 평가하는 것이다. 그리고 만일 서로 다른 과학적 과정들의 상대적 가치에 대한 자

27) J. Clerk Maxwell, “Introductory Lecture on Experimental Physics”(1871), *Scientific Papers of James Clerk Maxwell*(주25 참조), pp.241-255, 특히 pp.242-243. 맥스웰은 King's College 취임 연설에서도 실험을 보여주는 실험과 연구하는 실험으로 분류했었다. “Inaugural Lecture at King's College”(주23 참조), p.931.

28) “Introductory Lecture on Experimental physics”, p.244.

29) 맥스웰의 취임 강연에 나타난 이와 같은 혁신적인 측면은 Schuster의 회고에서 잘 드러난다. A. Schuster, *The Progress of Physics During 33 Years (1875-1908)* (Camb. U. Pr., 1911), pp.7-10.

30) “Introductory Lecture on Experimental Physics”, p.244.

유흥고 충분한 토론에 의해 우리가 과학적 비판에 관한 학파를 형성하고 방법의 원칙의 발전을 돕는데 성공한다면, 내가 생각하기로 그것은 우리의 대학을 위해서도 가치있는 결과가 될 것이며 다른 개인 연구소보다 여기서 수행되기가 더욱 직절할 것이다.³¹⁾

맥스웰의 연설이 여기서 끝나 있기 때문에 맥스웰이 얘기한 “과학적 비판 학파”(school of scientific criticism)가 무엇인가를 정확히 이해하기는 힘들다. 그렇지만 위에서 언급한 BA에서의 연설에서 그가 전기, 자기에서 패러디의 이론과 대륙의 이론을 예로 들면서 “경쟁하는 두가지 이상의 이론을 충분히 평가하기 위해서 우리가 어떤 과학적 고도에 도달해야 한다”³²⁾고 강조했음을 고려할 때 그가 지칭한 ‘비판’이 이론체계에 대한 비판적인 연구라는 의미를 내포하고 있음을 짐작할 수 있다. 따라서 방법에 대한 연구, 즉 정밀한 측정은 결국 과학의 발전에도 중요한 역할을 수행하는 것이 될 수 있었던 것이다.

캐번디쉬 연구소의 작업이 정밀한 측정에 관련된 실험이어야 한다는 맥스웰의 생각에는 BA위원회에서의 저항의 표준에 대한 실험이 결정적으로 중요한 영향을 미쳤다. 위원회에 참여하고 있었던 과학자, 기술자들은 독일의 가우스와 베버가 지구자기에 관한 연구를 통해 자기력을 절대적 단위체계로 측정한 데 뒤이어 전기에 관해서는 독일의 과학자가 아닌 바로 자신들이 최초로 단위체계와 표준을 만든다는 강한 자부심을 지니고 있었으며³³⁾ 맥스웰은 자신의 연구를 기초로 해서 만들어진 저항의 표준이 전세계로, 그리고 중요 기업체로 배포되는 것을 직접 목격했던 사람이었다.³⁴⁾ 이러한 경험은 맥스웰과 같은 “순수” 과학자에게도 표준에 대한 연구가 과학적 필요에 봉사하는 것 이외에 경제적인 이익을 가져오며 세계를 문명화시키는 역할을 한다는 생각을 떠올리게 하는 데 충분한 것이었다.

위원회가 해체된 이후 1871년 BA는 저항의 측정에 관련된 BA의 모든 실험기구와 표준저항을 캐번디쉬 연구소로 옮겨 놓으며, 표준저항의 보관과 복사저항의 검사를 이 연구소에서 담당하기로 결정했다.³⁵⁾ 이러한 결정과 표준과 측정에 대한 맥스웰의 강한 관심을 생각할 때, 초기 캐번디쉬 연구소의 가장 중요한 연구가 이전의 BA위원회의 작업과 관련된 실험이었다는 것은 자연스러운 귀결이었다. 1875년 봄부터 크리스탈과 손더(S.A. Saunder)는 캐번디쉬에 보관되어 있는 표준저항들을 서로 비교해 보면서, 각각의 저항들의 표준온도를 재측정하는 실험을 수행했으며, 그 결과를 1876년 BA의 모임에서 발표했다.³⁶⁾ 이들의 실험결과는 캐번디쉬 연구원들의 최초의 연구결과들 중의 하나였다. 또한 1874년 옴의 법칙의 타당성을 실험적으로 검증하기 위한 위원회가 BA에 구성되고, 에버릿(Everitt), 슈스터(A. Schuster)와 함께 맥스

31) 같은 책, p.250.

32) “Address to Mathematical and Physical Sections”, p.228.

33) “위원회는 절대적 도량형에 근거한 (단위)체계를 선택했으며 적어도 저항에 관한 한, 최초로 이러한 측정을 만져질 수 있고 실질적인 작동으로 만들었다. 그리고 이러한 선택은 지구 대부분 지역의 과학자들에 의해 인준되었다. 1864년 위원회에 의해 채택된 저항단위의 복사본이 큐 관측소에 보관되어 있으며, 다른 복사본이 세계 각지에 있는 전기 기술자들의 손에 들어가 있다”, “Report of the Committee on Electrical Standards”, *BA Report*(1870), 14-15.

34) 1864년에 표준저항이 공표되어 1865년까지 1년 동안 20개의 복사본이 만들어져서 그 중 16개가 무료로 전세계로 배포되었다. “Report of the Committee on Standards of Electrical Resistance”, *BA Report*(1865), 310.

35) R.T. Glazebrook, “The Rayleigh Period”, *Cavendish Laboratory*(주6 참조), p.43.

36) 실험결과는 1ohm의 저항에 1volt를 걸어 주었을 때 저항의 변화는 10^{-12} ohm보다 작다는 것이었다. 이 위원회의 보고서는 “Report of the Committee, Consisting of Professor Clerk Maxwell, Professor J.D. Everitt, and Dr. A. Schuster, for Testing Experimentally Ohm's Law”, *BA Report*(1876), 37-63에 실려 있다.

웰이 이 일에 참여하면서 저항값의 정밀한 측정의 중요성은 그 어느 때보다 더 커졌다. 이에 관련된 실험은 크리스탈이 주로 수행했으며,³⁷⁾ 1876년 캐번디쉬 연구소에 들어온 클레이즈브룩이 처음으로 했던 실험은 이 실험에 사용되는 다니엘 전지의 기전력을 정밀하게 측정하는 일이었다.³⁸⁾ 1878년에는 플레밍이 캐번디쉬에 보관되어 있는 표준저항을 재측정하는 일을 이어서 하게 되었으며,³⁹⁾ 곧이어 이 일은 클레이즈브룩에게 넘어 갔다.

그렇지만 맥스웰 시기의 캐번디쉬에서의 ‘옴의 매뉴팩처’는 결코 만족할 만한 수준이 아니었다. 맥스웰 자신도 이 작업이 당시의 캐번디쉬 연구소에서 제대로 이루어질 수 있는가에 대해 회의적이었으며,⁴⁰⁾ 연구원들은 강의에, 학위 장학금을 위한 연구에, 자신이 더 관심있는 연구에 대부분의 시간을 투여했다. 또한 많은 연구원들이 1-3년 내로 다른 대학에 자리를 잡아 연구소를 떠나곤 했다. 맥스웰이 연구소를 운영했던 방식도 철저한 자유방임주의였으며, 따라서 포인팅은 중력 상수의 측정에, 맥칼리스터(Donald MacAlister)는 캐번디쉬의 역자승 법칙의 검증에, 슈스터는 분광학(spectroscopy)에 몰두하곤 했다.⁴¹⁾

그럼에도 불구하고 맥스웰의 뒤를 이었던 레일리는 맥스웰의 전통의 의미와 중요성을 누구보다도 분명하게 인식했던 사람이었다. 그는 1882년 캠브리지에서의 대중강연에서 맥스웰의 지적(知的) 유산에 대해 다음과 같이 설명하고 있다.

여기 오기 전에... 나는 전기에 대해서는 특별한 관심을 두지 않고 있었다. 그렇지만 (여기서) 나는 캠브리지에 이 주제로 포화되어 있음을 발견했으며, 곧바로 이것을 나의 특별한 연구 주제로 삼는 것이 가장 바람직하다는 결론에 도달하였다. 이 모든 것은 맥스웰의 영향에 기인하고 있다.⁴²⁾

특히 캐번디쉬 연구소가 “조직된 연구”를 수행해야 한다고 믿고 있었던 레일리에게는⁴³⁾ 상대적으로 충분한 실험기구가 마련되어 있으며, 플레밍과 같은 연구원들에 의해 맥스웰 시기부터 연구결과가 축적되었던 표준저항의 재측정이라는 문제를 자신과 연구소의 연구원들의 체계적인 연구로 삼을 만한 충분한 이유가 있었다.⁴⁴⁾ 더욱이 1864년 오차 0.1%의 한계로 공표된 표준저항에 대해 독일의 콜라우쉬(F. Kohlrausch)는 2%의 오차를,⁴⁵⁾ 로울랜드(H. Rowland)

37) 실험결과는 1 ohm의 저항에 1 volt를 걸어 주었을 때 저항의 변화는 10^{-12} ohm보다 작다는 것이었다. 이 위원회의 보고서는 “Report of the Committee, Consisting of Professor Clerk Maxwell, Professor J.D. Everett, and Dr. Schuster, for testing experimentally Ohm's Law”, *BA Report* (1876), 37-63에 실려 있다.

38) R.T. Glazebrook, “Early Days at the Cavendish Laboratory”, *James Clerk Maxwell* (주6 참조), p.135.

39) J. Ambrose Fleming, “Some Memories of Professor James Clerk Maxwell”, 같은 책, pp.116-124, 특히 p.119를 볼 것.

40) “그러나 나는 ‘옴의 매뉴팩처’가 그 건물(캐번디쉬 연구소) 속에 확립될 것이라고 기대하지도 않으며, 그것이 바람직 하다고 생각하지도 않는다”, “Letter from Maxwell to Fleming”(Jan. 14, 1975). 이 편지는 J. T. MacGregor - Morris, *The Inventor of the Valve: A Biography of Sir Ambrose Fleming* (The Television Society, 1954), p.21에서 재인용.

41) 맥스웰 재임기간 동안 캐번디쉬 연구소의 자유방임적 성격에 대해서는 Dong Won Kim, “The Cavendish Laboratory under James Clerk Maxwell(1871-79)”, 「한국과학사학회지」 제11권(1990), 70-105, 특히 pp. 91-98을 참조할 것.

42) Lewis Campbell and W. Garnett, *The Life of James Clerk Maxwell* (London, 1882), p.358에서 재인용.

43) A. Schuster, *Progress of Physics* (주29 참조), pp.30-31. 슈스터는 레일리가 캐번디쉬 연구소를 동일한 흥미 하에 광범위한 규모의 연구를 수행하는 곳으로 간주했다고 기술하고 있다.

44) 슈스터, 시지윅의 회고를 포함해서 레일리 시기의 ‘옴의 재측정’에 대한 논의는 John William Strutt : *Third Baron Rayleigh* (주6 참조), pp.109-126을 볼 것.

45) F. Kohlrausch, “Determination of the Absolute Value of the Siemens Mercury Unit of Electrical Resistance”, *Phil. Mag.* 47(1874), 294-309, 342-354.

나 플레밍의 연구는 1-1.5%의 오차를 암시하고 있었다.⁴⁶⁾ 만일 이것이 사실이라면 전 세계의 저항의 표준치를 1% 이상 바꿔야 했던 것이다.

레이리는 1880년 6월부터 슈스터, 시지윅 여사(Mrs. Sidgwick)와 함께 음의 재측정을 시작했으며,⁴⁷⁾ 실험 도중 1860년대의 위원회의 실험이 자체 유도 현상에 의한 보정 항목의 값을 너무 작게 평가했다는 중요한 결론에 도달했다.⁴⁸⁾ 실험 결과는 1 BA unit가 1 ohm이 아닌 0.9893 ohm으로 나타났다.⁴⁹⁾ 레이리는 1881년 봄부터 새로운 회전 코일을 제작하여 표준저항을 재측정했으며⁵⁰⁾ 1882년 4월부터 8월까지 독일의 로렌츠(Lorenz)가 제안한 방법으로 이 값을 다시 측정했다.⁵¹⁾ 최종 결과는 1 BA unit가 0.98677 ohm으로 나타났다. 클레이즈브룩은 캐번디쉬의 연구원들과 함께 유도전류를 사용하는 키르히호프(G. Kirchhoff)의 방법으로 표준저항을 측정해서 1883년 1 BA unit가 0.98665 ohm임을 주장했다.⁵²⁾

1881년 파리 전기국제회의에서 0°C에서 단면적 1mm²의 수은주의 적절한 길이로 1 ohm을 나타내자는 제안(Siemens unit)이 있었으며 이후 이것과 BA 단위와의 관련을 밝히는 것도 레이리의 중요한 연구 중 하나였다.⁵³⁾ 또 그는 저항과 함께 전기의 3대 중요 물리량으로 꼽히는 전류와 전압의 단위와 표준을 정하는 작업에서도 상당히 중요한 진전을 가져왔으며, 이와 관련된 일에도 캐번디쉬의 연구원들을 참여시켰다.⁵⁴⁾

한편, 1880년 재구성된 BA의 위원회는 1881년 보고서에서 레이리와 슈스터의 표준저항 연구에 관한 보고를,⁵⁵⁾ 1882년 보고서에서 “레이리가 캐번디쉬 연구소에 저항을 검사하고 공인 제품을 발급하는 체계를 조직할 수 있을 것 같다”는 희망적인 보고를 발표했다.⁵⁶⁾ 1883년 위

46) H. Rowland, “Research on the Absolute Unit of Electrical Resistance”, *Am. J. of Sci.* 15(1878)281-91, 325-36, 430-39. 표준저항들의 표준온도에 관한 플레밍의 연구는 1878-1881년 동안에 이루어졌지만 출판되지는 않았다. 그렇지만 R.T. Glazebrook과 T.C. Fitzpatrick은 “On the Permanence of the Original Standards of Resistance of the British Association and of Other Standard Coils”, *BA Report*(1888), 56-69에서 플레밍의 연구를 분석해 놓았다. 플레밍 자신의 회고는 J. Ambrose Fleming, *Memories of a Scientific Life* (Marshall, Morgan & Scott Ltd., 1934), p.62를 볼 것.

47) 실제 실험이 이루어지던 모습은 결코 잘 조직된 형태는 아니었다. 슈스터가 회고했듯이 연구원들의 수자도 많지 않았고 그나마 상대적으로 오래 머물렀던 연구원들은 더욱 드물었다. *John William Strutt: Third Baron Rayleigh*, p.109를 볼 것.

48) 같은 책, p.115.

49) Rayleigh and A. Schuster, “On the Determination of the Ohm (BA unit) in Absolute Measure”, *Proc. Roy. Soc.* 32(1881), 104-141.

50) Rayleigh, “Experiments to Determine the Value of the British Association Unit of Resistance in Absolute Measure”, *Phil. Trans.* 173(1882), 661-697. 그 결과는 1 BA unit=0.98651 ohm이었다.

51) Rayleigh and Mrs. Sidgwick, “Experiments, by the Method of Lorenz, for the Further Determination of the Absolute Value of the British Association Unit of Resistance”, *Phil. Trans.* 174(1883), 295-322.

52) R.T. Glazebrook, J.M. Dodds and E.B. Sargant, “Experiment on the Value of the British Association Unit”, *Phil. Trans.* 174(1883), 223-268.

53) Rayleigh and Mrs. H. Sidgwick, “On the Specific Resistance of Mercury”, *Phil. Trans.* 174(1882), 173-185에서 레이리는 1ohm이 수은 106.24cm라고 결론지었다. 이 값은 1883년 “Experiments, by the Method of Lorenz” (주51 참조)에서 106.214cm로 수정되었다.

54) Rayleigh and Mrs. Sidgwick, “On the Electro-Chemical Equivalent of Silver, and on the Absolute Electromotive Force of Clark Cells”, *Phil. Trans.* 175(1884), 411-460. 여기서 레이리는 1 C.G.S.unit of current를 은의 전기·화학 당량(electro-chemical equivalent of silver)인 0.0011794gram/s로, 표준전지로 Clark cell의 기전력을 1.435volt로 정의했다.

55) “Interim Report of the Committee for Constructing and Issuing Practical Standards for Use in Electrical Measurements”, *BA Report*(1881), 423-439, 특히 p.424.

56) “Report of the Committee for Constructing and Issuing Practical Standards for Use in Electrical Measurements”, *BA Report*(1882), 71.

원회는 저항의 BA 공인증에 “1 BA unit는 0.9867 R.ohm” 이라는 레일리의 결과를 채택했다.⁵⁷⁾ 1884년 파리 전기국제회의에서 수은 106.3cm를 “법적 옴”(legal ohm)으로 채택한 이후 BA는 이 법적 옴과 BA unit와의 산술적 관계에 대해 레일리의 실험결과를 채택했다.⁵⁸⁾ 또 슈스터(1881), 크리스탈(1882), 글레이즈브룩(1882), 플레밍(1882)과 같은 캐번디쉬의 연구원 출신의 과학자들이 BA위원회에 합류하고, 1883년 글레이즈브룩이 위원회의 서기로 임명된 데에도 레일리의 영향력이 중요한 비중을 차지하고 있었다.⁵⁹⁾ 이런 연구와 작업을 통해 레일리는 1863-64년의 맥스웰의 작업을 발전시키고 확장했으며, 맥스웰이 캐번디쉬에 심어 놓았던 전통을 훌륭하게 계승했다. J.J. 톰슨이 지적한 대로 “레일리의 소장 재직기간 끝 무렵에는 모든 중요한 전기적 단위들이 절대적 도량형으로 결정되었던 것”이었다.⁶⁰⁾

Ⅲ. 전기기술과 전기산업의 요구: 표준과 표준화

물리학의 역사를 연구하는 과학사학자들은 측정과 표준이 과학(물리학)과 산업기술을 매개하는 교량의 역할을 한다는 데 대부분 동의하고 있다.⁶¹⁾ 물론 이 교량의 구체적인 형태와 그것의 기능은 과학과 기술의 역사적 상황과 그것들의 접합 양식에 의해 규정된다. 예를 들어 17세기 역학과 탄도학 사이의 관계도 직접적인 것이었다기보다는 역학과 탄도학 모두에서 중요했던 길이, 질량, 시간 등의 측정을 매개로 한 것이었다. 그렇지만 역학과 탄도학의 경우, 과학은 측정의 중요성을 아직 인식하지 못한 상태였으며, 기술은 정확한 측정을 가능하게 하는 기술적 기초를 결여하고 있었다. 19세기에 역학적 에너지와 열의 교환 법칙을 얻어내려 했던 줄의 노력이나 온도의 표준을 얻으려 했던 W. 톰슨의 시도는 당시 발전하고 있었던 증기동력 산업과 열역학 사이의 접합점이었다. 그렇지만 이는 산업의 발전보다는 과학의 성장에 더욱 기여했다.⁶²⁾

전자기학과 전기기술, 산업 사이에서도 측정과 표준의 문제는 과학과 기술의 상호영향을 매개하는 역할을 했다. 볼타 전기, 옴의 법칙, 패러디의 정전기 유도이론 이후 과학자들은 저항, 전기량, 기전력, 전류, 전기용량과 같은 기본적인 전기량들을 정의하고 이 값을 점점 더 정확히 측정하기 시작했다. 이 측정은 처음에는 대개 상대적 비(ratio)의 측정에 머물렀지만 점

57) “Report of the Committee for Constructing and Issuing Practical Standards for Use in Electrical Measurements”, *BA Report*(1883), 42.

58) 레일리의 결과는 1 BA unit=0.9889 legal ohm, 1 legal ohm=1.0112 BA unit였다. “Report of the Committee for Constructing and Issuing Practical Standards for Use in Electrical Measurements”, *BA Report* (1884), 30.

59) 글레이즈브룩이 서기로 임명된 1883년에 레일리는 BA에 큰 영향력을 미치고 있었다. 레일리는 1882년에 물리·수학 분과의 의장, 1884년에는 BA의 의장을 지냈다.

60) J.J. Thomson, “James Clerk Maxwell”, *James Clerk Maxwell* (주6 참조), pp.1-44, 특히 p.21.

61) 예를 들어 M.N. Wise and C. Smith, “Measurement, Work and Industry in Lord Kelvin's Britain”, *HSPS* 17 (1986), 147-173 을 볼 것. 산업에서의 표준화에 대한 또 다른 논의가 David F. Noble, *America by Design: Science, Technology and the Rise of Corporate Capitalism* (Oxford U. Pr., 1977), ch. 6 (“Laying the Foundation/Scientific and Industrial Standardization”)에 있다.

62) D.S.L. Cardwell, *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age* (New York, 1971), 특히 ch.6-ch.8; C. Smith, “William Thomson and the Creation of Thermodynamics”, *Arch. Hist. Exac. Sci.* 16(1976), 231-288.

차 공통된 단위를 정하고 그것을 기준으로 절대값을 얻어낼 필요성이 대두되었다.⁶³⁾ 한편 1840년대부터의 전신산업의 급속한 팽창은 기본적인 전기량에 대한 통일과 표준체계를 요구했던 산업적 배경이었다. 특히 1840년대 이후 gutta-percha와 같은 절연 물질이 도입되고 전신 송전선의 길이가 늘어남에 따라 저항과 전기용량에 대한 정확한 이해의 필요성이 증가했다.⁶⁴⁾ 전신산업은 1850-1860년대 대서양 해저 전신에서 그 최고조에 달했으며, 이는 1861년 위원회의 구성을 낳았던 가장 중요한 배경이었다.

W. 톰슨은 이러한 산업적인 요구와 과학적인 측정을 결합시킨 사람이었다. 그는 1840년대부터 온도의 절대적 단위에 대해 연구했으며, 1851년에는 도선에서 발생하는 줄 열로 도선의 저항의 절대적 단위를 측정했다. 또한 그는 전신에도 깊은 관심을 보여 1855년 푸리에의 열 전도이론과 패러디의 유도이론을 사용해서 전신 신호의 지연(retardation)에 대한 수학적인 설명을 시도했다. 그 결과는 신호의 지연이 도선의 저항과 그것을 둘러싼 절연체의 전기용량에 각각 비례한다는 것이었다.⁶⁵⁾ 이 법칙에 의하면 대서양 전신과 같은 장거리 송신이 성공하기 위해서는 도선의 저항을 최소화하는 것이 가장 중요한 문제가 되었다. 그렇지만 잘 알려져 있듯이 1857년부터 시작된 첫번째 대서양 전신사업에서 톰슨의 이론은 무시되었고 톰슨 자신은 실제 공사는 물론 기술적인 문제의 자문에서도 제외되었다. 그리고 마치 이것이 원인이 되었던 것처럼 이 사업은 깨끗하게 실패로 끝나고 말았다.⁶⁶⁾

이 사업에 직접 참여하지는 못했지만 톰슨은 글래스고우의 실험실에서 해저 전신에 필요한 실험결과들을 축적하고 있었다. 1857년 그는 대부분 비슷한 저항을 가지고 있으리라고 여겨졌던 구리도선의 건본의 저항값이 두배까지 차이가 있으며, 미량의 불순물이 전도성을 30-40% 떨어지게 만든다는 것을 알아냈다.⁶⁷⁾ 특히 첫번째 대서양 해저 전신사업이 실패하고, 자신의 아론이 해저 전신 회사측의 관계자들에게 깊은 감명을 주고 있음을 인식한 톰슨에게는 바로 이 저항의 기준을 정하는 일이 매우 시급하고도 중요한 문제였다. 그는 1차 사업의 실패 원인을 조사하고 앞으로의 개선 방향을 마련하기 위해 만들어진 “해저전신위원회”(Submarine Telegraph Committee)의 청문회에서 “배 위의 기구들에는 표준저항 코일이 없다는 상당히 심

63) 실험 물리학 분야에서 가장 먼저 용어와 단위가 통일되었던 분야는 1830년대 Gauss를 비롯한 독일 과학자들이 대거 참여했던 지구자기에 관련된 분야였다. C. Jungnickel and R. McCormmach, *Intellectual Mastery of Nature: Theoretical Physics from Ohm to Einstein*, Vol 1 (U. Chicago Pr., 1986), pp.63-77을 볼 것. 독일의 Weber는 1846년 이 지구자기 연구에서 사용된 절대적 단위를 전기분야까지 확장시킬 것을 주장했으며, 1851년에는 저항을 절대적 단위로 측정한 결과를 발표했다. W.E. Weber, “Elektrodynamische Massbestimmungen. Ueber ein Allgemeines Grundgesetz der Elektrisch Wirkung”(1846), W.E. Weber, *Werke*, 6 vols. (Berlin, 1892-4), vol.3, pp.25-214; “Elektrodynamische Massbestimmungen, Insbesondere Widerstandsmessungen”(1851), 같은 책, vol.3, pp.301-491.

64) M. Faraday, “On Electric Induction-Associated Cases of Current and Static Effect”(1854), *Experimental Researches in Electricity*, vol.3(Dover, 1965), pp.508-520은 Electric Telegraph Co.의 요청에 따라 패러디가 전신의 문제를 자신의 유도이론을 통해 규명한 것이었다.

65) W. Thomson, “On the Theory of Electric Telegraph”(1855), William Thomson, *Mathematical and Physical Papers*, 6 vols. (Cambridge, 1892-1911), vol.2, pp.61-75; “On Peristaltic Induction of Electric Currents in Submarine Telegraph Wires”(1856), 같은 책, vol 2, pp.77-92. 이 논문들은 19세기를 통해 전기기술을 과학적으로 분석한 가장 대표적인 고전으로 꼽히곤 했다.

66) Smith and Wise, *Energy and Empire*(주22 참조), pp.661-675.

67) S.P. Thompson, *The Life of William Thomson: Baron Kelvin of Largs* (London, 1910), pp.339-351. 톰슨의 이 연구는 “On the Electric Conductivity of Commercial Copper of Various Kind”(1857), *Mathematical and Physical Papers*, vol.2, pp.112-117; “Analytical and Synthetical Attempts to Ascertain the Cause of the Difference of Electric Conductivity Discovered in Wires of Nearly Pure Copper”(1860), 같은 책, vol. 2, pp.118-128에 실려 있다.

각한 약점이 있다고 생각한다. 나는 회사의 전기 기술자들에게 일련의 저항 코일을 가지고 있는 것의 중요성을 계속해서 촉구해 왔다”고 이 문제의 중요성을 강조했다.⁶⁸⁾

1860년대에는 W. 톰슨 이외에도 여러 기술자들이 이 문제를 다루기 시작했다. 1860년 독일의 지멘스(W. Siemens)는 해저 전선과 관련해서 단면적 1mm^2 의 1m 수은주를 저항의 단위로 정하자는 획기적인 제안을 했다.⁶⁹⁾ 다음 해인 1861년 영국의 매티슨은 베버가 제안한 절대적 단위 체계에 따라 ‘금 66%, 은 33% 합금’을 표준저항으로 삼자는, 지멘스와는 또 다른 견해를 제시했다.⁷⁰⁾ 톰슨은 그해 6월 왕립학회에서 발표한 논문에서 베버의 저항 단위의 이점을 강조하면서 BA나 왕립학회의 도움을 통해 그 표준을 지멘스의 수은으로 할 것인지 또는 매티슨의 합금으로 할 것인지를 결정할 수 있다는 가능성을 피력했다.⁷¹⁾ 그해 9월 BA의 모임에서는 그동안 해저 전선에 깊이 관여했으며 1860년에 동업을 시작했던 클라크(L. Clark)와 브라이트(C. Bright)가 전기저항의 표준을 정하는 작업을 촉구하는 논문을 발표했다.⁷²⁾ 이 발표 이후 전기저항의 표준에 대한 위원회의 구성을 제안하는 톰슨의 의견이 제출되었으며,⁷³⁾ BA의 평의회는 이 위원회의 설립을 인가하고 50파운드의 지원금을 할당했다.⁷⁴⁾ 위원회의 50년의 역사는 이렇게 시작되었던 것이다.

위원회의 설립과 초기 활동이 그러했듯이 1870년에 3개의 작은 위원회를 구성하면서 해체된 위원회가 1880년 다시 구성된 데에도 기술적인 필요가 그 배경으로 작용했다. 1870년에 구성된 세개의 작은 위원회 중 전기용량 표준위원회는 스튜어트(B. Stewart)가 오웬스 칼리지로 간 이후, 전류위원회는 매티슨이 사망한 이후, 그리고 포텐셜 위원회는 맥스웰이 케브디쉬 교수로 취임한 이후 별 진척이 없었다.⁷⁵⁾ 특히 전선산업과 가장 밀접한 관련이 있는 콘덴서의 경우에는 문제가 더욱 심각했다. 절연물질의 전기용량을 정확하게 측정할 필요성이 계속 커지고 이에 따라 전기용량의 표준을 제작할 필요가 증가했지만 ‘전기적 흡수’(electric absorption) 또는 ‘잔여 전하’(residual charge)현상은 이를 계속 어렵게 만들었다. 1867년 켄킨이 운모(mica)를 사용한 10^{-14} C.G.S. unit의 콘덴서를 0.42%의 오차로 제시했으나 BA의 공식표준으로 채택되지는 않았다. 이후 1869년부터 개인적으로 연구를 시작한 뮤어헤드(A. Muirhead)는 가장 좋은 유전체가 “셀락으로 덧씌워진 운모”(mica coated with shellac)임을 밝혀내고 $1/3\mu\text{f}$ 용량의 표준

68) “Minutes of Evidence Taken before the Submarine Telegraph Company”, *Parliamentary Papers* 62(1860), 115. 여기서는 Smith and Wise, *Energy and Empire*, p.667에서 재인용.

69) 원래 이 논문은 *Poggendorff's Annalen*(1860)에 수록되었으나 여기서는 M.W. Siemens “Proposal for a New Reproducible Standard Measure of Resistance to Galvanic Current”, *Phil. Mag.* 21(1861), 25–38에서 참조했음.

70) A. Matthiessen, “On an Alloy Which May Be Used as a Standard of Electrical Resistance”, *Phil. Mag.* 21(1861), 107–115.

71) W. Thomson, “On the Measurement of Electric Resistance”(1861), *Mathematical and Physical Papers*, vol.5, pp. 369–385.

72) Latimer Clark and Charles Bright, “On the Formation of Standards of Electrical Quantity and Resistance”, *BA Report*(1861), 37–38. 브라이트는 15세에 Electric Telegraph Company에 들어가서 전선기술을 익혔고 이후 첫번째 해저전선 사업의 수석 기술자로 일했다. 그는 이 공로로 26세에 귀족(Sir)의 작위를 수여받았다. 클라크는 처음에는 철도 기술자였으나 1850년에 Electric Telegraph Company에 들어가서 1853년에는 그 회사의 수석 기술자가 되었다. 클라크는 1859년 결성된 “해저 전선 위원회”의 회사측 위원이었다. 이 둘은 모두 톰슨과 친분을 가지고 있었다. “Sir Charles Bright”, *Proc. ICE* 93(1888), 479–487; “Obituary: Josiah Latimer Clark”, *JIEE* 28(1899), 667–672.

73) S.P. Thompson, *Life of William Thomson*(주67 참조), p.418.

74) *BA Report*(1861), xxxix–xl.

75) R. Svidryns, “The Rise of the Physical Laboratories in Britain”, *HSPS* 7(1976), 405–436, 특히 p.426.

컨텐츠를 만들었다. 1870년대 말이 되면 뮤어헤드의 전기용량 표준이 아무런 공인없이 과학자들과 전기 기술자들 사이에 이미 광범위하게 유통되어 있었다.

1879년 BA의 모임에서 뮤어헤드, 에이튼(W.E. Ayrton) 등의 기술자들은 BA가 기존의 컨텐서 중 어느 하나를 잠정적인 표준으로 공인할 것을 요청했으며, 1880년 에이튼은 실제 기술에서 널리 사용되는 저항의 복사, 기구의 검사를 관장하고 전압이나 전류와 같은 다른 전기량의 표준을 정하기 위한 위원회의 재구성을 요청했다.⁷⁶⁾ 여기에 캐번디쉬에 보관하던 표준저항의 오차가 일반적으로 간주되던 것보다 상당히 클지도 모른다는 몇몇 연구결과의 의혹은 위원회의 재구성의 제안을 시의적절하게 만들었다.⁷⁷⁾ 1880년 위원회의 재구성 안이 BA 평의회를 통과·공표되었으며,⁷⁸⁾ 위원회는 1881년 그 첫 보고서를 제출했다. 위원회의 이름은 “전기적 측정을 위해 실제적인 표준을 만들고 발급하기 위한 위원회”로 바뀌었으며, 여기서의 “실제적인”(practical)이란 형용사는 당시의 기술적인 요구를 반영한 것이었다.

위원회의 구성원도 대폭 교체되었다. 1870년대에 새롭게 나타난 전화와 전등은 이전의 전신에서는 나타나지 않았던 새로운 기술적인 문제들을 제기했으며, 위원회를 구성하는 기술자들도 페리(J. Perry), 에이튼, 홉킨슨(J. Hopkinson), 뮤어헤드, 아담스(A.G. Adams)와 같은 젊은 기술자들로 채워졌다. 이들 중 홉킨슨은 캠브리지의 수학 트라이포스(Mathematical Tripos) 1등(Senior Wrangler) 출신이었으며 다른 사람들도 모두 한 세대 이전의 전기 기술자들보다 교육수준이 월등히 높았다.⁷⁹⁾ 이들은 맥스웰과 톰슨의 전기, 자기 이론을 공부했으며,⁸⁰⁾ 전기기술의 영역에서도 전신만이 아닌 발전기, 전화, 송전과 같은 새로운 영역을 개척하던 선구자였다.⁸¹⁾ 이들은 곧이어 나타난 과학적 전기공학을 개척했거나 그것의 기초를 닦았던 새로운 세대의 전기 기술자였던 것이다.

76) 1879년 Ayrton과 Muirhead의 요청은 A. Muirhead, “Note on the Constancy of Capacity of Certain Accumulators”, *BA Report*(1879), 283-285에 기록되어 있다. 1880년 위원회의 재구성을 낳은 Ayrton의 동의안에 대해서는 S.P. Thompson, *Life of William Thomson*, p.773을 볼 것.

77) 클레이브룩은 위원회의 재구성이 거의 전적으로 오음의 재측정 때문이었다고 회고하고 있지만(R.T. Glazebrook, “Introduction”, *Reports of the Committee on Electrical Standards*, p.xx), 1881년 보고서의 첫머리에도 드러나 있듯이 위원회의 목적은 저항의 표준 이외에도 전기용량, 기전력의 표준을 정하는 것이었다. “Interim Report of the Committee for Constructing and Issuing Practical Standards for Use in Electrical Measurements”, *BA Report*(1881), 423.

78) *BA Report*(1880), lx.

79) Siemens, Jenkin, Bright, Clark, Varley 등 1860년대 위원들 중 대학에서 학위를 받은 기술자는 Jenkin 밖에 없었으며, 직업으로 대학 교수직에 임명된 사람도 Jenkin 뿐이었다. 이에 반해 1880년대 위원들 중 Hopkinson은 캠브리지 Mathematical Tripos Senior Wrangler이자 D. Sc.였으며 King's College의 전기공학 교수를 지냈고, Ayrton은 University College출신이었고 이후 Finsbury Technical College의 응용물리학과 교수와 Central College의 전기공학 교수를 역임했다. Perry는 Clifton College 출신이었고 이후 Finsbury College와 South Kensington College의 교수를 역임했다. Muirhead는 De Morgan 밑에서 수학을, Matthiessen 밑에서 화학을 공부했고 런던 대학에서 D. Sc.를 취득했다.

80) Hopkinson과 Ayrton은 대표적인 맥스웰주의자들이었으며 Perry와 Ayrton은 Glasgow의 W. 톰슨의 실험실에서 연구원 생활을 했었다. Buchwald, *From Maxwell to Microphysics*(주11 참조), p.74. W. 톰슨의 Glasgow의 실험실에 대한 Ayrton의 회고는 S.P. Thompson, *The Life of William Thomson*, p.445를 볼 것.

81) Hopkinson은 발전기(dynamo), 변압기(transformer), 3개의 전선을 이용한 송전 시스템에 대한 특허를 가지고 있었으며, 교류와 자체 유도에 대한 이론적인 연구에도 뛰어났다. Ayrton과 Perry는 측정, powermeter, ohmmeter와 같은 전기 계량기, 발전기, 모터, 전등, 전동차와 같은 새로운 전기기술의 응용에 지대한 공헌을 했던 기술자들이었다. Muirhead는 초기 무선전신의 개척자였다. 이들 중 Preece는 1880년 STEE의 회장, 1893년 IEE의 회장, 1898년 Institute of Civil Engineering의 회장을 지냈다. Hopkinson은 1890년과 1896년에, Ayrton은 1892년에, Perry는 1900년에 IEE의 회장을 지냈다. 이들의 생애에 대해서는 IEE의 “Obituary”들을 참조했음.

그렇지만 위원회의 활동이 기술자들이 바라던 방향으로 나아갔던 것은 아니었다. 1884년 위원회의 서기는 뮤어헤드에서 클레이즈브룩으로 바뀌었으며 점차 위원회의 실질적 활동은 레일리를 비롯한 캐번디쉬의 연구원들이 주도해 나가기 시작했다. 1882년부터 1890년까지 새롭게 임명된 13명의 위원 중 7명이 캐번디쉬 출신의 과학자들이었다. 1883년 이후 위원회의 보고서는 대부분 캐번디쉬에서의 저항의 재측정에 관한 실험으로 채워졌으며, 위원회가 결성되었던 중요한 목적 중 하나였던 표준 콘덴서의 발급은 1890년이 되어도 실현되지 못했다.⁸²⁾ 1881년 위원회는 저항과 전압의 표준을 정하고 전류의 단위와 표준은 옴의 법칙에 의해 이 둘로부터 얻어내는 방법을 채택했지만 이는 레일리가 1883년 전류의 표준을 옴의 전기-화학 당량으로 정하고 저항과 전류로부터 전압의 단위와 표준을 설정함에 따라 무색해졌다. 이러한 상황은 1881년 위원회가 결성된 첫 해에 과학자들이 과학적인 이유에 의해 전압과 전류의 단위를 10배씩 올리자고 강력히 제안했지만 실제 기술자들의 혼란 때문에 이 제안이 부결되었던 사실과 비교하면 무척 대조적인 것이었다.⁸³⁾

물론 위원회의 활동을 놓고 과학자들과 기술자들 사이에 심각하고 밖으로 드러난 논쟁이 있었던 것은 아니었다. 로지, 헤비사이드와 프리스(W.H. Preece)사이에 벌어졌던 “거대한 전투”는 위원회의 작업과는 직접적인 관련이 없었으며, 논쟁도 전기기술의 주도권(hegemony)을 둘러싸고 나타났던 것이었다.⁸⁴⁾ 그렇지만 위원회 내부에도 미묘한 시각차이는 엄연히 존재했다. 1860년대부터 위원회의 중요한 실험 중 하나였던 “v”(전자기 단위와 정전기 단위의 비)의 측정이라는 문제를 살펴보자. 레일리를 비롯한 맥스웰주의 과학자들이 표준저항의 측정만큼이나 관심을 가지고 있었던 문제는 맥스웰의 ‘빛의 전자기이론’(electromagnetic theory of light)을 실험적으로 입증하는 것이었다. 맥스웰의 이론은 전자기파의 매질이 빛의 매질과 같다면 전자기파의 전파속도 V는 v(전자기 단위와 정전기 단위의 비)가 되며, 이 v는 빛의 속도 C와 같음을 보여주고 있었다.⁸⁵⁾ 따라서 v의 값을 정밀하게 측정하는 것은 맥스웰의 전자기이론의 타당성을 입증하는 중요한 실험 중 하나였다. 1869년 맥스웰 자신이 v의 값을 측정한 것과 1883년 레일리가 J.J. 톰슨에게 이 값을 재측정하는 실험을 하게 한 것도 바로 이런 이유에서였다.⁸⁶⁾ J.J. 톰슨은 1890년에 이 값을 재측정했으며 1899년 클레이즈브룩과 로지도 이에 대한 연구를 발표했다.⁸⁷⁾

82) 이 점에 대해서는 R.T. Glazebrook, “On the Air-Condensers of the British Association”, *BA Report*(1890), 102-120를 볼 것.

83) “Interim Report of the Committee for Constructing and Issuing Practical Standards for Use in Electrical Measurements”, *BA Report*(1881), 425.

84) Bruce J. Hunt, “Practice vs. Theory”, *Isis* 74(1983), 341-355; P.J. Nahin, *Oliver Heaviside: Sage in Solitude* (IEE Pr., 1988), ch.8(“The Battle with Preece”).

85) J. Clerk Maxwell, “On Physical Line of Force”(1861/2), *Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, vol. I, pp.451-513, 특히 pp.497-500을 볼 것.

86) J. Clerk Maxwell, “Experiments on the Value of v, the Ratio of the Electromagnetic to the Electrostatic Unit of Electricity”, *BA Report*(1869), 436-438; J.J. Thomson, “On the Determination of the Number of Electricity”, *Phil.Trans.* 174(1883), 707-721.

87) J.J. Thomson and G.F.C. Searle, “A Determination of ‘v’, the Ratio of the Electromagnetic Unit of Electricity to the Electrostatic Unit”, *Phil.Trans.* 181A(1890), 583-621; O.J. Lodge and R.T. Glazebrook, “Experiments on the Oscillatory Discharge of an Air Condenser, With Determination of ‘v’”, *Trans. Camb. Phil. Soc.* 18(1899), 136-196.

물론 맥스웰주의자들만이 v 에 관심이 있었던 것은 아니었다. W. 톰슨은 1888년까지 4번에 걸쳐 v 값을 측정했으며⁸⁸⁾ 톰슨의 글라스고우 출신 기술자인 에이튼과 페리도 1879년에, 그리고 1888년에는 톰슨과 함께 이 값을 측정했다. 그렇지만 맥스웰의 빛의 전자기이론을 받아들이지 않았던 톰슨에게 이 실험들의 의미는 맥스웰주의자들과 다를 수밖에 없었다. 톰슨은 주로 기전력(electromotive force)을 정전기 단위(electrostatic unit)로 측정하는 방법을 사용했으며 이 과정에서 항상 자신이 제작하고 새롭게 개량한 정밀한 정전 전압계(absolute static electrometer)와, 전류계(electrodynamometer)를 사용했다. 이러한 실험의 목적 중 하나는 구디(G. Gooday)가 지적했듯이 자신의 연구원들에게 정밀한 측정을 교육시키는 것이었으며⁸⁹⁾ 또 다른 목적은 이를 통해 자신의 표준계기의 정확성과 불변성을 측정하는 것이었다. 특히 전압과 전류의 표준을 각각 표준 전압계와 전류계의 제작으로 간주했던 톰슨에게 이 표준계기의 정확도는 다양한 방법으로 측정되어야 하는 것이었다.⁹⁰⁾

맥스웰주의자들의 관심이 맥스웰 이론의 검증에 있었고, W. 톰슨의 관심이 표준계기의 제작에 있었다면, 기술자들의 관심은 실용적인 측정기구의 제작에 있었다. 따라서 프리스와 휴즈(D. Hughes)와 같은 몇몇 기술자들이 맥스웰의 이론을 높이 평가했음에도 불구하고 이들을 포함한 기술자들 대부분은 v 의 측정과 같은 실험에는 별 관심이 없었다. 또 전류와 전압에 관련해서도 기술자들에게는 정확하고 변하지 않는 표준이 어느 곳인가 마련되어 있어야 한다는 문제보다 손쉽게 들고 다닐 수 있는 측정기구의 개발이 시급한 문제였다.⁹¹⁾ 특히 1880년 이후 전등이 점차 보급되고 80년대 후반부터 교류, 고전압 송전이 시작되면서 이를 위한 발전, 송전, 전기 계량에서의 측정이 전기 기술자들의 중요한 과제로 등장했으며 그 결과 측정기구의 정확도의 문제가 매우 중요한 문제로 부각되었다.

물론 표준의 오차가 적어야 이를 복사하거나 이를 기준으로 제작된 다른 저항, 저항계, 전기, 전류계, 콘덴서의 정밀도가 높아지리라는 것은 명백한 사실이었다. 그렇지만 과학자들이 표준저항의 유효수자를 소수점 4자리에서 5자리로 만든 일이 그 자체만으로 높은 평가를 받을 만한 일이라고 생각했음에 비해, 기술자들에게는 1 ohm의 10^{-3} – 10^{-4} 정도에 해당하는 표준 저항에서의 오차보다, 측정기구의 불완전성에 기인한 몇 %의 오차가 훨씬 더 심각한 문제였다. 1889년에 이르기까지 기술자들이 사용하는 전압계는 1%의 오차를 요구하고 있었지만 보통 5–6% 오차를 나타내고 있었던 실정이었다.⁹²⁾ 공장에서 제작하고 현장에서 사용하는 전

88) 대표적인 실험들로는 W.F. King, "Description of Sir Wm. Thomson's Experiments Made for the Determination of v , the Number of Electrostatic Units in the Electromagnetic Unit", *BA Report*(1869), 434–436; W. Thomson, W.E. Ayrtton and J. Perry, "Electrometric Determination of ' v '"(1888), *Mathematical and Physical Papers*, vol.5, pp.469–470이 있다.

89) G. Gooday, "Precision Measurement and the Genesis of Physics Teaching Laboratories in Victorian Britain", *BJHS* 23(1990), 25–51, 특히 pp.32–36을 볼 것.

90) 1860년대의 위원회는 전류와 전압의 표준을 표준 전류계와 표준 전압계의 제작과 동일시켰으며, W. 톰슨이 이 계기들의 제작을 담당했다. 1881년 위원회의 보고서는 1volt의 표준을 전지로 할 것인가 표준 전압계로 할 것인가라는 문제에 대해 위원회의 의견이 후자에 기울고 있음을 보고했다. "Report of the Committee for Constructing and Issuing Practical Standards for Use in Electrical Measurements", *BA Report* (1881), 424.

91) 80년대 중엽 이후 나타난 실용적인 측정기구들에 대한 대표적인 논문들로는 J.A. Fleming and C.H. Gimmingham, "On Some Instrument of Electro-Motive Force and Electrical Power", *JSTEE* 16(1887), 522–538; W.E. Ayrtton and J. Perry, "Portable Voltmeters for Measuring Alternating Potential Differences", *JSTEE* 16 (1887), 539–568; W. Thomson, "On His New Standard and Inspectional Electric Measuring Instruments" *JSTEE* 17(1888), 540–556 등이 있다.

92) "Notes", *Electrician*(Jan. 11, 1889).

기 용품, 계기들은, 저항을 제외하고는, 거의 아무런 규격이 없었으며 이를 검사할 기관도 없었다.

기술적인 필요라는 관점에서 보았을 때, BA 위원회는 또 다른 한계를 안고 있었다. 그것은 위원회의 결정의 권위에 관련된 것이었다. 위원회의 이름이 “실제적인 표준을 만들고 발급하기 위한 위원회”였음에도 불구하고 위원회는 1890년까지도 전기용량의 표준을 발급하지 못했다. 저항과 관련해서는 또 다른 문제가 발생했다. BA unit에 오차가 발견되었지만 위원회는 “이 저항은 X BA unit, 또는 Y R.ohm이다. 단 1 BA unit는 0.9867 R.ohm이다”라는 복잡한 형태로 인가증을 발급하기로 결정했다.⁹³⁾ 1884년 파리 국제회의에서 수은 106cm가 ‘법적 오움’으로 공인된 이후 위원회의 공인증은 “이 저항은 X legal ohm이다. 단 1 legal ohm은 1.0112 BA unit이다”라는 형태로 바뀌었다.⁹⁴⁾ 1886년에는 “앞으로 10년간 legal ohm을 상업적 목적을 위한 법률화된 표준으로 받아들이지만, 현재 캐번디쉬에 보관된 표준저항을 파리 회의의 정의에 준거하는 영국의 법적 표준으로 받아들이자”라는 모호한 결정이 이루어졌다.⁹⁵⁾ 영국에는 BA ohm, legal ohm, real ohm의 세가지 단위가 존재하는 셈이었으며 이는 기술자들 뿐만 아니라 과학자들까지 당혹케 하곤 했다. 전압의 표준과 관련해서는, 위원회는 표준전지를 다니엘 전지(Daniel cell)로 할 것인가 또는 클라크 전지(Clark cell)로 할 것인가의 문제에 대해 역시 공식적인 결정을 내리지 못하고 있었다.⁹⁶⁾

이런 상황에서 기술자들의 독자적인 움직임이 나타나기 시작했다는 것은 오히려 자연스러운 일이었다. 1885년 전신기술자협회(Society of Telegraph Engineers and Electricians, 이후 STEE로 약칭)의 연례 모임에서 플레밍이 전기기구의 측정을 위한 “국립표준연구소”(National Standardizing Laboratory; 이후 NSL로 약칭)를 설립해야 한다고 역설한 이후 이 문제에 대한 기술자들의 관심은 계속 고조되었다.⁹⁷⁾ 1889년에는 당시까지 도량형을 관장하고 있었던 상무부(Board of Trade)의 표준국(Department of Standards)이 전기표준도 담당해야 한다는 의회의 입법이 있었으며, 이 입법 이전인 1889년 1월에 이미 런던 상업회의소(London Chamber of Commerce)의 전기무역국 위원회(Committee of the Electrical Trade Section)와 전기 기술자협회(Institution of Electrical Engineers: STEE의 후신, 이후 IEE로 약칭)의 연합 모임에서는 협회에서 초안한 표준연구소 설립안에 대한 보고와 토론이 있었으며, 이를 가지고 상무부와 접촉하기로 결정했다.⁹⁸⁾ 다음해인 1890년, 상무부는 기존의 실험실을 확대해서 NSL의 기능을 담당하게 했으며, 그 해 12월에는 상무부 산하에 전기적 표준을 확정하고 그것의 공인성(authority)을 부여하기 위한 “상무부 전기표준위원회”(Board of Trade Electrical Standards Committee)가

93) “Report of the Committee for Constructing and Issuing Practical Standards for Use in Electrical Measurements”, *BA Report*(1883), 42.

94) “Report of the Committee for Constructing and Issuing Practical Standards for Use in Electrical Measurements”, *BA Report*(1884), 30.

95) 1886년 Birmingham meeting에서의 결정은 1887년 보고서에 수록되어 있다. “Report of the Committee for Constructing and Issuing Practical Standards for Use in Electrical Measurements”, *BA Report*(1887), 207-208을 볼 것.

96) 표준전지로서 다니엘 전지와 클라크 전지를 주장했던 근거에 대해서는 각각 J.A. Fleming, “On the Use of Daniell’s Cell as a Standard of Electromotive Force”, *Phil. Mag.* 20(1885), 126-140; Rayleigh and Mrs. Sidgwick, “On the Electro-Chemical Equivalent of Silver, and on the Absolute Electromotive Force of Clark Cells” *Phil. Trans.* 175(1884), 411-460을 볼 것.

97) J.A. Fleming, “On the Necessity for a National Standardizing Laboratory”, *JSTEE* 14(1885), 488-503.

98) 이러한 결정에 대한 보고가 “The Board of Trade”, *JIEE* 18(1889), 826에 실려 있다.

설립되었다.⁹⁹⁾

이 위원회는 왕립학회, BA, IEE, 우체국(Post Office), 그리고 상무부 등 5개 단체에서 2명씩을 참가시킴으로써 총 10명의 위원으로 구성되었으며 여기에는 W. 톰슨, 레일리, 클레이즈브룩과 같은 과학자와 프리스, 홉킨슨, 에이튼과 같은 기술자들이 포함되어 있었다. 위원회의 작업은 빠르게 진행되었으며,¹⁰⁰⁾ 전류, 저항, 전압에 대한 표준은 대부분 몇년 전에 레일리가 캐본디쉬에서 수행했던 실험의 결과에 따라 확정되었다.¹⁰¹⁾ 1891년 7월 위원회는 최종 보고서의 초안을 확정지었으며, 그 해 9월 최종 보고서를 제출했다.¹⁰²⁾ 여기에는 BA ohm도, legal ohm도 아닌 10^9 C.G.S. 저항단위에 해당되는 물질적 표준을 만들어 그것을 ‘상무부 표준’(Board of Trade Standards)으로 삼는다는 결정과 함께 이것과 BA ohm, legal ohm과의 관계, 전류, 전압에 대한 표준, 그리고 수년간 논쟁의 대상이 되어 왔던 표준전지에 대한 공식적인 해결(다니엘 전지가 아닌 클라크 전지를 표준전지로 사용한다는 것) 등이 포함되어 있었다. 과학자들은 이런 결정이 BA 위원회가 아닌 상무부의 위원회에서 그것도 불과 몇달 사이에 이루어졌다는 점과, 전압(electrical pressure)과 같은 “비과학”적인 용어를 사용했다는 사실에 대해 불만을 표시하기도 했다.¹⁰³⁾ 반면에 기술자들은 대부분 위원회의 결정에 만족했다.¹⁰⁴⁾ 결과가 무엇이었던 간에, 앞으로 표준의 문제에 대한 공식적인 결정은 상무부가 BA와 협력해서 담당하기로 결정했으며, 결과적으로 BA 위원회의 역할은 점차 감소될 시점이었던 것이다.

IV. 표준과 과학연구에 대한 정부의 지원 : 국립물리학연구소의 설립

1885년 STEE에서의 플레밍의 연설은 우리의 마지막 주제인 과학과 정부의 지원이라는 문제로 들어가는 실마리를 제공해 준다. 그는 이 발표에서 “이제 전기는 식빵과 비슷한 생필품, 맥주와 비슷한 상품이 되었으나 표준의 복사나 측정기구의 제작은 아직도 전혀 통제되고 있지 않다”고 언급하면서 이런 문제는 전기적 측정기구를 검사하는 NSL을 설립함으로써 해결될 수 있다고 주장했다.¹⁰⁵⁾ 그리고 그는 만일 충분한 설비를 갖춘 연구소가 설립된다면, 이 연구소는 측정기구의 검사 이외에도 전기재료와 각 지역으로 보내지는 전류의 검사도 할 수 있으며 더 나아가 대학이나 산업체에서 담당하지 못하는 중요한 “연구”들을 담당할 수 있다고 강조했다. 그는 이러한 연구의 예로서 맥스웰의 “빛의 전자기이론”과 관련이 있는 고유 유도 용량(specific inductive capacity), 전류를 구성하는 물체, 자기 투과율(magnetic permeability)에 대한 실험적 연구를 언급했다.¹⁰⁶⁾

99) 전기표준위원회의 구성과 그 위원들에 대해서는 “Electrical Standards and the Board of Trade”, *Electrician* (Dec. 26, 1890), 226을 볼 것.

100) 위원회의 첫 모임이 1891년 1월 15일에 있었고 보고서의 초안이 나온 것이 1891년 2월이었다.

101) 위원회의 작업의 진척사항이 “Draft of the Board of Trade”, *Electrician* (Feb. 13, 1891), 451; “Electrical Standards” (Editorial), *Electrician* (Mar. 13, 1891), 574-576에 나와 있다.

102) 이 최종 보고서의 전문이 “Report of the Electrical Standards Committee”, *Electrician* (Sep. 4, 1891), 490-491에 실려 있다.

103) “The Report of the Board of Trades Committee on Electrical Standards”, *Nature* (Sep. 3, 1891), 417-419.

104) “Notes”, *Electrician* (Sep. 4, 1891).

105) J.A. Fleming, “Necessity for a National Standardizing Laboratory”(주98 참조), 489.

106) 같은 글, 499.

이러한 연구를 수행하는 NSL의 설립에서 가장 중요한 문제는 정부의 재원을 확보하는 현실적으로 가능한 방법을 찾아내서 이를 토대로 정치인과 관료를 설득시키는 일이었다. 플레밍의 제안은 정부가 전기기술 특허를 인가할 때 그 특허의 신청자로부터 받는 특허료의 일부를 고정적으로 적립하여 연구소의 재원으로 활용하게 하자는 것이었다. 그의 통계에 의하면 1881년부터 1884년까지 4년 동안의 전기 특허 건수는 모두 3,000건에 달했으며 계속적인 증가 추세에 있었다. 따라서 그는 이 특허료의 일부를, 한 두명의 기술자들이 할 수 없지만, 전기기술, 산업의 발전에 꼭 필요한 작업을 수행하는 NSL에 사용한다는 일은 바람직하며, 정부로서는 당연히 할 일이라고까지 강조했다.¹⁰⁷⁾ 그렇지만 한편으로는 정부의 예산으로부터의 직접적인 지원이 아닌 전기 기술자들의 특허료로부터의 재원을 생각했다는 사실은 바로 당시 이러한 일에 영국정부의 지속적인 지원을 얻는다는 것이 얼마나 어려운 일이었던가를 잘 드러내 주는 것이다.

토론에 참가했던 많은 기술자와 산업자들이 플레밍의 제안에 전적으로 동의했지만,¹⁰⁸⁾ 상무부 표준국의 채니(H.J. Chaney)는 플레밍의 제안에 측정기구를 위해 표준을 얻어 내는 연구소와 상당한 수준의 과학적인 연구가 수행되는 국립연구소가 섞여 있다고 지적하면서 이중 전자를 만드는 것은 별로 힘들지 않을 것이라고 비판했다.¹⁰⁹⁾ 우편국의 선임 기술자인 프리스와 에이튼도 플레밍이 이 둘을 한꺼번에 주장했다고 비판했다.¹¹⁰⁾ 특히 에이튼은 전기연구소를 만들자는 주장이 당시 영국에 존재하는 수많은 대학 연구소를 개선한다는 방법을 고려하지 않고 나온 것이기 때문에 이에 반대한다고 강조했다. 토론이 끝난 후 답변에 나선 플레밍도 “표준연구소를 위한 제안에 그것이 다른 정량적인 연구를 도와줄 수도 있다는 부분을 제외시켜야 한다는 비판에 동의하며, 지금 필요한 것은 공인된 표준과 비교함으로써 전기 측정기구를 검사하는 어떤 곳이다”라고 자신의 주장을 대폭 축소했다.¹¹¹⁾

1886년 2월 NSL의 설립 방법을 모색하기 위한 위원회가 STEE 내에 만들어졌으며 평의회는 위원회의 의견을 수렴해서 그 해 NSL의 윤곽을 발표했다.¹¹²⁾ 평의회에서 추정한 예산은 약 250-300파운드였다. STEE가 이 소박한 안을 가지고 왕립학회와 산업가들과 접촉하고 있는 동안에 타당한 예산의 규모는 점점 늘어났으며 결국 1887년 평의회는 감당하기 어려운 예산이 소요됨을 인식하고 더 이상 이 문제를 진전시키지 못했다.¹¹³⁾ 1889년 STEE가 IEE로 이름을 바꾸고 IEE의 초대 의장으로 W. 톰슨이 임명되면서 NSL의 문제는 다시 부상되었다. 특히 IEE는 1888년 개정된 전기법(Electric Lighting Act)의 시행령(Provisional Orders)의 적절한 수행을 위해서 NSL이 정부 관할하에 만들어져야 함을 강조했다. 1889년 5월 IEE는 예산 3,500

107) 같은 글, 501-502.

108) 큐 관측소의 G.M. Whipple, 산업가 R.E. Crompton, G.C. Foster, 특허국의 Captain P. Cardew 등이 플레밍의 제안을 열렬히 지지했다. 특히 Crompton은 “NSL이 너무나 필요하기 때문에 만일 정부가 이 문제에 행동을 취하지 않는다면 우리 산업가들이 단결해서 스스로 이 일을 할 것이다”라고 역설했다. “Discussion”, *JSTEE 14*(1885), 505-511.

109) Chaney는 당시 문제가 되는 것이 새로운 단위의 측정이나 표준이 아니라 “상업적인 목적을 위해 사용할 수 있는 도량형의 실질적인 균일성”임을 강조했다. 같은 글, 504-505.

110) 같은 글, 511-514, 516-517.

111) J.A. Fleming, “Reply”, *JSTEE 14*(1885), 520-521.

112) 평의회에 의해 채택된 조건은 NSL이 1)런던에 설립되고 2)규모가 크지 않아야 하며 3)그 작업은 저항, 전지, 전압계, 전류계의 검사에 한정되어야 한다는 것이었다. R. Appleyard, *The History of the Institution of Electrical Engineers, 1871-1931* (IEE, 1939), p.144.

113) 같은 책, p.101.

파운드를 포함한 NSL의 설립 초안을 확정짓고 이를 가지고 수상, 상무부 장관과 면담할 위원회를 결성했다. 결국 이들의 노력은 1890년 상무부 산하에 NSL이 만들어짐으로써 결실을 보았다.

NSL이 설립되었고 또한 1891년 상무부의 표준위원회가 불과 몇달만에 단위와 표준에 대한 실질적인 기준을 만들었으며 이를 공식화시켰지만, 이 정도로 단위와 표준에 대한 정밀한 측정의 역할이 끝났다고 생각한 과학자는 아무도 없었다. 1891년 상무부 표준위원회는 1 ohm을 수은 106.3cm로, 클라크 전지의 기전력을 1.433volt로 결정했지만 1892년 헬름홀츠는 1 ohm을 수은 14.4521gram, 106.3cm로 정정할 것을 요청했으며, 글레이즈브룩은 클라크 전지의 기전력이 1.434volt임을 주장했다.¹¹⁴⁾ 이런 문제를 인식한 켈빈에 의해 상무부 보고서의 입법은 1893년 11월 이후로 늦춰졌다. 1892년 BA의 에딘버러 모임에는 독일, 프랑스, 영국, 미국의 대표가 표준의 통일 문제를 결정하기 위해 참가했으며, 이들은 1ohm을 10^9 C.G.S.저항단위로 정의하지만 그것의 실질적인 단위는 14.4521gram, 106.3cm 수은주로 나타내며, 그것의 표준은 물질적 표준을 사용한다는 미묘한 절충을 통해 그동안 통일되지 않던 저항의 단위와 표준에 합의했다.¹¹⁵⁾

에딘버러 모임의 결정은 곧 여러 나라에서 받아들여졌으며 1893년 시카고 국제회의는 에딘버러 단위를 ‘국제 옴’(international ohm), ‘국제 전압’(international volt), ‘국제 전류’(international ampere)로 공인했다.¹¹⁶⁾ 위원회는 1892년에 이미 legal ohm을 사용하지 않기로 결의했으며¹¹⁷⁾ 1893년에는 BA unit도 사용하지 않기로 하면서 ohm만을 측정의 기준으로 사용하기로 결정했다.¹¹⁸⁾ 이에 따라 위원회의 성격도 변했다. 위원회의 보고서의 앞머리에는 “전기적 측정을 위해 실제적인 표준을 만들고 발급하기 위한 위원회” 대신 “전기적 측정을 위한 실제적인 표준의 제조를 개선하는 실험에 관한 위원회”([Committee on] Experiments for Improving the Construction of Practical Standards for Electrical Measurements)라는 명칭이 들어갔으며, 이는 앞으로 위원회가 표준의 발급이나 기구의 측정이 아니라 그 정밀도를 높이기 위한 기초적인 측정, 물리 실험에 전념한다는 것을 의미했다.

상무부는 1894년 8월 최종 보고서를 발행했으며 같은 달 전기 표준에 대한 의회에서의 입법이 이루어졌다. 그렇지만 정밀도의 문제는 항상 남아 있었으며 이는 BA 위원회의 과제로 남겨졌다. 1893년 BA 모임에서 존스(J.V. Jones)는 0.0005ohm과 같은 작은 저항을 1/12000의 오차로 측정하는 획기적인 방법을 제시했으며,¹¹⁹⁾ 이 방법을 사용해서 1986년에는 ‘국제 옴’이 1ohm이 아닌 0.99983ohm임을 보였고¹²⁰⁾ 1897년에는 상무부 표준의 실제 값이 1.00026ohm

114) R.T. Glazebrook and S. Skinner, “On the Clark Cell as a Standard of Electromotive Force” *Phil. Trans.* 183A (1892), 567-628.

115) “Report of the Committee for Constructing and Issuing Practical Standards for Use in Electrical Measurements”, *BA Report*(1892), 134.

116) 시카고 회의의 결정은 “Experiments for Improving the Construction of Practical Standards for Electrical Measurements”, *BA Report*(1894), 123에 수록되어 있다.

117) “Report of the Committee for Constructing and Issuing Practical Standards Use in Electrical Measurements”, *BA Report*(1892), 134.

118) “Experiments for Improving the Construction of Practical Standards for Electrical measurements”, *BA Report* (1893), 127.

119) J.V. Jones, “On Standards of Low Electrical Resistance”, 같은 글, 136-137.

120) “Experiments for Improving the Construction of Practical Standards for Electrical Measurements”, *BA Report* (1896), 154.

이라고 주장했다.¹²¹⁾ 1897년에는 레일리가 그의 전류 표준(silver 0.00118gram/s)이 1/1000정도의 오차를 가지고 있을 수도 있다고 언급함에 따라 에이튼과 존스가 매우 정밀한 전류계(ampere balance)의 제작을 위해 300파운드의 지원금을 할당받았다. 또 위원회는 자신들의 작업을 전기에만 국한시키지도 않았다. 1896년, 1897년 위원회의 대부분의 활동은 열의 이론적·실제적 표준을 제정하고 그것과 전기 표준과 상관관계를 밝히는 일에 집중되었다.¹²²⁾

상무부에 세워진 NSL이 이러한 정밀한 실험을 지속적으로 수행할 수 없다는 사실은 처음부터 분명했다. 오히려 과학자들에게는 NSL이 설립되면서 “국립과학연구소”와 같은 것의 역할과 그 필요성이 더욱 분명하게 느껴질 수 있었다. 또한 주변국들의 변화도 과학자들을 자극한 중요한 요소였다. 프랑스는 1870년대부터 자신들이 주도해 왔던 국제 도량형위원회(Bureau International de Poids et Mesures)의 활동을 지원하기 위한 “프랑스 전기연구소”(French Laboratoire de l'Electricite)를 설립했었다. 그렇지만 더 엄청난 충격은 독일의 “물리-기술 제국연구소”(Physikalisch-Technische Reichsanstalt)로부터 왔다. 과학에서의 통일독일 제국의 위용을 자랑하는 듯했던 이 연구소는 지멘스의 기부금과 정부의 예산 지원을 바탕으로 1887년에 문을 열었고 따라서 출범부터 영국의 대학연구소와는 규모가 달랐다.¹²³⁾ 이에 비해 상무부의 NSL은 연구소라기보다는 차라리 조금 큰 실험실에 가까웠다. BA 위원회가 1886년에 이미 NSL의 설립을 희망하며, 그 설립에 참여할 의지가 있음을 표명했지만 거의 아무런 실제적인 조치를 취하지 않았다는 사실에 비추어 볼 때 1890년대의 움직임은 이러한 상황의 변화를 반영하는 것이었다.

국립연구소의 필요성을 다시 한번 제기했던 사람은 BA 위원회의 위원이자 당시에 유명했던 과학 ‘논객’이었던 올리버 로지였다. 그는 1891년 8월 BA의 물리·수학 분과의 의장 연설에서 독일의 제국연구소를 상기시키면서 표준의 정밀한 측정을 위해서는 상무성을 NSL이나 큐 관측소 보다 훨씬 규모가 큰 “국립연구소”를 세워야 한다는 것을 강조했다. 그는 그가 바라는 것이

어떤 특별한 목적이나 상업적 요구에 의해 제한받지 않으며, 적절한 위치에 세워지고 모든 종류의 기구를 다 갖추고 있는 엄청나게 큰 연구소이다.¹²⁴⁾

라고 자신의 목적을 얘기하고 있다. 그는 이 국립연구소의 작업이 모든 정량적인 측정에서의 정확성을 높이는 것이 되어야 하며 따라서 표준을 보관하고 복사하는 곳이 되어야 함은 당연하다고 하면서, 이 연구소의 또 다른 역할로 수십년 동안 꾸준히 측정해야 하는 장시간의 물리 실험을 수행하는 것을 꼽았다.¹²⁵⁾

121) W.E. Ayrtton and J.V. Jones, “On a Determination of the Ohm Made in Testing the Lorenz Apparatus of the McGill University, Montreal”, “Experiments for Improving the Construction of Practical Standards for Electrical Measurements”, *BA Report*(1897), 212–217.

122) “Experiments for Improving the Construction of Practical Standards for Electrical Measurements”, *BA Report* (1896), (1897)을 볼 것.

123) PTR에 대한 논의로는 David Cahan, “Werner Siemens and the Origin of the Physikalisch-Technische Reichsanstalt, 1872–1887”, *HSPS* 12(1982), 253–284; *An Institute for an Empire: The Physikalisch-Technische Reichsanstalt* (Cambridge U. Pr., 1989)가 있다.

124) Oliver J. Lodge, “Presidential Address in Section A”, *BA Report*(1891), 547–557, 특히 p.550을 볼 것.

125) 같은 글, 551. 이런 의미에서 로지의 국립연구소는 플레밍이 처음에 제시했던 넓은 의미의 NSL과 비슷한 것이었다.

로지의 연설이 있는 다음해인 1892년 BA에서는 제국연구소의 초대 소장 헬름홀츠가 참석한 상태에서 이 “NPL”문제에 대한 활발한 토론이 이루어졌다.¹²⁶⁾ 이 토론에서 로지는 자신의 연설 요지를 다시 한번 강조하면서 NPL의 작업이 물리 상수의 정확한 결정, 표준의 보관, 공인된 복사물의 발급, 특정한 현상에 대한 연속적인 연구, 그리고 수년-1세기의 시간이 필요한 실험 등이 될 것이라고 꼽았다. 클레이즈브룩은 캐번디쉬에서의 표준 연구가 잘 진행되지 못함을 지적하면서 이런 것들은 NPL에서 이루어져야 한다고 강조했다. 토론의 결과 과학자들은 BA 산하에 NPL의 설립을 위한 위원회를 설치하고 이 위원회에 이에 관계된 작업을 위임하기로 결정했다. 이 위원회의 의장은 로지였으며 서기는 클레이즈브룩이 맡았고 켈빈, 레일리, J.J. 톰슨을 포함해서 10명의 과학자와 기술자들이 참여했다.¹²⁷⁾

그렇지만 위원회가 구성되었다고 NPL이 설립되는 것은 물론 아니었다. 레일리가 로지에게 보낸 편지에서 잘 드러나듯이 문제는 근원적으로 과학에 무관심한 자유당 정부에게 NPL의 필요성을 설득하기가 거의 불가능에 가깝다는 점에 있었다.

…나는 지금 움직이는 것의 이점에 대해 분명한 생각을 가지고 있지 못하다. 지금의 움직임이 미래의 길을 열어줄 수 있기 때문에, 글래스톤이나 하코트에 의해서는 일을 달성할 희망이 없다는 것이 (지금 움직이지 않는) 결정적인 이유가 되지는 못할 것이다. 그러나 나는 정부로부터 바랄 수 있는 것이 South Kensington School과 연구소들을 확장하는 것이라고 생각한다. 문제는 실질적으로 무엇을 가장 잘할 수 있는가에 있다.¹²⁸⁾

레일리의 우려처럼 위원회는 다음해인 1893년 독일과 프랑스의 연구소에 대한 보고서를 아직 준비하지 못했다는 짧은 첫 보고서를 마지막으로 해체되고 말았다.¹²⁹⁾

그러나 이것은 사실 반으로서의 의미를 찾을 수 있었던 시작이었다. 1895년 BA의 의장 골튼(Douglas Galton)은 의장 연설에서 다시 한번 NPL의 필요성과 이를 위해 정부가 재정적 지원을 해야 함을 강조했다.¹³⁰⁾ 특히 그는 큐 관측소를 확대하여 NPL로 만든다는 제법 현실적인 방안을 제시했다.¹³¹⁾ 그는 A분과에서 발표한 “베를린 샬로텐부르크의 제국연구소”라는 논문에서도 독일 연구소의 활동과 이를 위한 국가의 지원을 영국의 상황과 비교해 가면서 보고했다.¹³²⁾ 이 논문의 결론도 앞의 것과 거의 다르지 않았다. 또한 그는 1892년의 NPL 위원회의 활동을 재개할 것을 제안했으며, 이러한 제안하에 BA는 골튼을 의장으로, 로지를 서기로 하여 위원회의 활동을 재개하도록 허락했다.¹³³⁾ 이 위원회는 골튼의 제안대로 G분과(공학 분과)의 구성원들을 참여시켰다.

로지에 의해 작성되었을 1896년 BA의 NPL 위원회의 보고서는 NPL에 대한 구체적인 세부 사항을 언급했던 최초의 보고서였다.¹³⁴⁾ 여기서는 먼저 NPL이 필요한 이유와 그것의 모태가

126) 이 토론 내용은 “Physics at the British Association”, *Nature* (Aug. 18, 1892)에 수록되어 있다.

127) *BA Report*(1892), lxxxv.

128) “Letter from Rayleigh to Lodge”(Oct. 23, 1892). 여기서는 *Life of John William Strutt: Third Baron Rayleigh*, pp. 276-277에서 재인용.

129) “Report of the Committee on the Establishment of a NPL”, *BA Report*(1893), 120.

130) Douglas Galton, “Presidential Address”, *BA Report*(1895), 3-35, 특히 pp.31-35를 볼 것.

131) 같은 글, 34.

132) Douglas Galton, “On the Reichsanstalt, Charlottenburg, Berlin”, *BA Report*(1895), 606-608.

133) *BA Report*(1895), xci.

134) “Report of the Committee on the Establishment of a NPL”, *BA Report* (1896), 82-86.

되는 큐 관측소에 대해 간략히 언급한 후, NPL의 기능과 재정을 포함한 그것의 경영에 대해 자세히 지적하고 있다. 이 보고서에서도 NPL의 기능 중 첫번째를 물리학의 특별한 연구로 꼽았으며 표준의 문제를 다루는 것은 이에 비해 부차적인 기능이었다.¹³⁵⁾ 또한 여기에는 NPL을 설립하기 위해 30,000파운드, 그리고 매년 5,000파운드의 예산이 필요하다는 것이 지적되어 있었다. 물론 독일의 제국연구소의 자산이 약 20만 파운드에 이르며 1년에 15,000파운드의 예산을 사용하고 있었음을 볼 때 이들의 제안은 오히려 초라한 것이었다. 그러나 이 정도의 요구는 “이 계획을 현명하고 값진 방법으로 수행하기 위한 꼭 필요한 정도”는 되었던 것이다.¹³⁶⁾

이 보고서의 실현가능성에 대해 *Electrician*의 사설이 “새 세기가 될 때 이것이 같이 마련된다고 생각하는 것은 너무 낙관적일 것”이라고 회의적인 입장을 보였지만,¹³⁷⁾ 과학자들의 움직임은 하나씩 단계를 밟고 있었다. BA의 총합위원회(General Committee)는 1896년 9월 NPL이 설립되어야 하며 이를 위해 왕립학회, 기술자들의 단체, 물리학회, 화학회 등이 협력해야 한다는 결의를 채택했다.¹³⁸⁾ 그 해 12월에는 과학자들 사이에 NPL의 설립을 청원하기 위한 서명운동이 일어났으며, 여기에는 켈빈을 비롯한 62명의 과학자가 서명했다.¹³⁹⁾ 다음해 2월에는 레일리, 리스터(Lord Lister), 골튼, 에이튼과 같은 과학자, 기술자들의 대표 30명이 이 문제를 가지고 수상 샐리스버리(Marquis of Salisbury)를 면담했다.¹⁴⁰⁾ 샐리스버리는 1880-85년의 글래드스톤 정부하에서는 은퇴해서 전기와 관련된 연구를 하기도 했으며 1894년에는 BA의 의장을 맡은 경력이 있었다. 그는 켈빈, 레일리와 친분을 가지고 있었고, 과학의 중요성을 나름대로 인식하고 있었던 정치인이었다.

과학자들은 이 자리에서 오랜 기간을 필요로 하는 실험, 물리 연구를 위한 기구의 검사와 공인, 물질의 물리적 성질에 대한 연구를 위한 NPL의 설립을 다시 반복해서 강조했다. 그렇지만 샐리스버리의 입장은 과학자들과 완전한 차이를 보였다. 그는 과학의 영역이 확장되면서 이와 함께 계속 확장되는 국가의 의무가 하나 있다면 그것이 바로 “표준화의 의무”라고 다른 어느 요소보다 표준의 문제를 강조했다. 따라서

만일 표준화의 작업이라는 더욱 제한된 작업을 국가에 요청하고, 일반적이고도 끝이 없는 연구를 포함하는 여러분들의 작업의 더욱 많은 부분을—적어도 현재로서—개인적인 후원으로부터 얻을 수 있는 도움에 유보시켜 준다면 나는 우리가 만족할 만한 시작의 기회를 더 많이 가질 수 있을 것이라고 생각한다.¹⁴¹⁾

는 것이 그의 견해였다. 재정의 문제에 대해서도 그는 “건물을 위한 30,000파운드와 매년 예산 5,000파운드는 재무 장관(Chancellor of Exchequer)에게 너무나 끔찍한 말”일 것이라는 언급을 잊지 않았다.¹⁴²⁾

135) 같은 글, 83.

136) 같은 글, 85.

137) “National Physical Laboratory” (Editorial) *Electrician*(Sep. 25, 1896), 698-699. 이 사설은 대중 뿐만 아니라 대중을 움직이는 지도자들의 1%도 과학에 대한 정열을 지니고 있지 않음을 가장 큰 문제로 지적했다.

138) “National Physical Laboratory”, *Electrician*(Sep. 25, 1896), 687.

139) BA가 W. Thomson에게 보낸 memorandum, “National Physical Lab.” 여기서는 Smith and Wise, *Energy and Empire*, p.686 n.에서 재인용.

140) 이 면담의 전문이 “A National Physical Laboratory”, *Nature*(Feb. 18, 1897), 368-369에 실려 있다.

141) 같은 글, 369.

142) 이 면담에 대해 *Nature*는 “영국이 과학에 기반한 산업이 독일에 비해 뒤쳐져 있는 것이 이제 과학자의 책임이 아니라 전적으로 정부의 책임이다”라고 논평했으며, *Electrician*은 “정부의 예산이 무절제하게 낭비되고 있지만 NPL을 위한 35,000파운드는 모을 수 없을 것”이라고 논평했다. “The National Physical Laboratory”, *Nature*(Feb. 25, 1897), 385-386; “Notes”, *Electrician*(Feb. 19, 1897).

이제 주도권은 정부에게로 넘어갔다. 1897년 7월, 국가 재정위원회 위원장(Lord of Treasury)은 기구의 검사와 공인, 물리 상수와 데이터의 체계적인 측정을 위한 NPL의 타당성을 검토하기 위한 위원회의 구성을 승인했다. 이 위원회는 레일리를 위원장으로 하고 있었지만, 정부 관료가 여럿 참여했다.¹⁴³⁾ *Electrician*이 “이것저것 끌어모아 타협하기”라는 영국 정치의 특성이 이번 위원회의 작업에도 그대로 나타나지 않을까 우려하는 가운데,¹⁴⁴⁾ 위원회는 기존의 표준, 검사를 담당하는 기구 중 하나를 발전시켜야 할 것인가 또는 연구소를 새롭게 만들어야 할 것인가의 문제를 놓고 오랜 시간을 소비했다. 결국 이 문제는 큐 관측소의 건물과 작업을 흡수해서 확장하는 것으로 매듭지어졌다.¹⁴⁵⁾

위원회의 최종 보고서는 1898년 7월에 나왔다.¹⁴⁶⁾ 보고서의 도입부는 대부분 큐 관측소와 상무부의 전기표준연구소가 있음에도 불구하고 NPL을 설립해야만 하는 필연성을 설명하는 데 할애되고 있으며, 후반부는 NPL에서의 연구가 어떤 유용성이 있는가에 대한 설명을 담고 있었다. 마지막으로 위원회는 4가지 요구사항을 제시했다. 이 중 첫번째는 기구의 표준화와 공인, 물질의 검사, 물리 상수의 결정을 위해 NPL이 설립되어야 한다는 것이며, 두번째는 이것이 큐를 확장시켜서 만들어져야 한다는 것이었다. 특별한 물리 실험보다는 표준에 관련된 정밀한 측정이 NPL의 첫번째 과제가 되었던 것이다. 세번째와 네번째 요구는 각각 그것의 소속 및 조직, 상무부와 관계에 대한 것이었다.¹⁴⁷⁾ 한가지 흥미로운 점은 가장 중요한 예산이나 지원금에 대한 언급이 이 보고서에서 완전히 빠져 있다는 것인데 이 점은 NPL의 예산을 전적으로 정부가 결정할 것임을 보여주는 것이었다.¹⁴⁸⁾

보고서가 나온 뒤 정부는 NPL의 건물을 위한 12,000파운드, 연간 예산 4,000파운드의 지원을 의회에 요청했으며 왕립학회에 NPL의 관리를 요구했다. 이 예산은 NPL이 독일의 제국연구소와는 경쟁할 수 없음을 처음부터 승인한 셈이었다.¹⁴⁹⁾ 한편 왕립학회는 NPL의 조직에 대한 초안을 만들었으며, 이는 1899년 3월에 확정되었다. NPL의 주요 조직은 이사회(General Board), 집행위원회(Executive Board), 그리고 소장(director)이었는데, 이사회와 집행위원회에는 모두 6개 기술학회(도시·기계·전기 공학회, 철강·조선학회, 화학공업회)의 대표를 참여시켰다. 이사회의 의장은 당연히 왕립학회의 의장이 맡았기에 실제로는 부의장이 최고 책임자가 되었으며, 그 해 5월 이사회의 초대 부의장, 집행위원회의 초대 의장으로 레일리가 선출되었다.¹⁵⁰⁾ 남은 문제는 누가 초대 소장이 되는가였으며 이것도 별로 어려운 문제는 아니었다. 클레이즈브룩은 레일리가 캐번디쉬의 소장으로 있을 때 캐번디쉬의 강사와 BA 위원회의

143) 위원회의 설립과 그 구성은 “National Physical Laboratory”, *Electrician*(Aug. 6, 1897), 471에 나와 있다.

144) “Notes”, *Electrician*(Aug. 6, 1897), 469.

145) 이 과정에 대해서는 E. Pyatt, *The National Physical Laboratory* (주6 참조), p.19를 볼 것.

146) 이 보고서의 전문이 “Report on a National Physical Laboratory”, *Nature* (Oct. 6, 1898), 548-549에 실려 있다.

147) 같은 글, 549.

148) *Nature*는 위원회의 보고서에 재원의 문제가 빠져 있음을 지적했다. “The National Physical Laboratory”, *Nature*(Oct. 13, 1898), 566.

149) 재무장관이 왕립학회로 보낸 편지를 보면 독일 제국연구소의 건물, 설비는 195,000파운드, 1년 예산이 15,000파운드였다. E. Pyatt, *The National Physical Laboratory*, p.34 n.

150) 집행위원회는 왕립학회의 의장(Lord Lister), 재정위원장, 서기, 그리고 상무부의 서기(C. Boyle)가 당연히 포함되었으며, 큐 위원회에서 6명, 왕립학회 이사회에서 6명, 그리고 6개의 기술학회에서 각각 1명씩 총 6명을 보냈다. 이사회는 위의 4명의 당연직에 부의장, 그리고 왕립학회에서 임명한 24명의 이사와 기술학회에서 임명한 12명의 이사로 구성되었다. 이사회, 집행위원회의 구성과 집행위원회 의장으로 레일리가 임명된 사실은 “The National Physical Laboratory”, *Nature*(May 11, 1899), 25-27에 실려 있다.

서기로 임명되었으며 레일리가 소장직을 사임한 이후 그에 의해 레일리의 후계자로 강력히 추천되었다. 또 레일리는 1898년부터 포스터에 이어 BA 위원회의 의장을 맡았으며 NPL 집행위원회의 초대 의장이었다. 글레이즈브룩은 1898년 리버풀의 유니버시티 칼리지(University College)의 학장으로 취임하면서 만일 그가 앞으로 NPL의 소장에 임명된다면 학장을 바로 사임할 것이라는 점을 분명히 했었다.¹⁵¹⁾ 1899년 8월 집행위원회의 추천으로 왕립학회는 글레이즈브룩을 NPL의 초대 소장으로 임명했다.¹⁵²⁾ 글레이즈브룩이 소장이 되면서 BA는 NPL로 이어지는 확실한 교두보를 마련할 수 있었던 것이다.¹⁵³⁾

V. 요약 및 결론

지금까지의 논의에서 필자는, BA의 한 위원회의 활동을 19세기 후반기의 영국이라는 사회 속에서 조망해 보려고 시도했다. 이를 위해 필자가 택했던 접근 방법은 원인과 결과를 엄격히 구분해서 그 인과관계를 살펴보는 인과론적 접근방법이 아니라, 개체와 환경간의 상호영향을 중시하는 일종의 문화적(cultural)·진화론적(evolutionary) 방법이었다. 그렇지만 필자가 분석했던 주제를 다루는 데 이러한 접근법이 유용하다 할지라도 이는 보다 엄밀한 분석에 의해 보완되어야 할 것이라고 생각된다. 지금부터는 본문의 내용을 요약하면서 몇몇 부분에서 이러한 보완을 시도해 보려 한다.

먼저 축정을 강조했던 맥스웰의 과학철학과 위원회에서의 그의 경험은 그가 캠브리지의 실험 물리학 교수 겸 캐번디쉬 연구소의 소장으로서 온 이후에도 표준의 문제에 관한 중요성을 계속 가지고 있었던 중요한 배경이었다. 또한 맥스웰의 이러한 인식은 적어도 맥스웰과 레일리의 재임 기간 캐번디쉬를 표준과 관련된 위원회 활동의 중심지로 만들었던 하나의 중요한 요소였다. 레일리, 글레이즈브룩과 같은 맥스웰의 후계자들은 정도의 차이는 있지만 이러한 맥스웰의 신념을 공유했으며, 이들의 노력은 결국 위원회의 활동을 지속적인 것으로 만들었을 뿐만 아니라 이런 활동을 NPL로 이어지게 했던 가장 기본적인 추진력이었다. 위원회의 서기로서 그것의 실제 활동을 담당했던 글레이즈브룩이나 위원회 자체에 적극적으로 참여하진 않았지만 그것의 중요성을 인식하고 주로 과학자들의 대표로서 영향력을 행사했던 레일리는¹⁵⁴⁾ 캐번디쉬 연구소가 만든 과학자였던 것이다.

또한 필자는 1861년 BA 위원회의 설립과 1880년의 재구성이 모두 기술적·산업적 필요와 밀접히 관련되어 있음을 강조했다. 그렇지만 이 관련에는 몇가지 서로 다른 유형이 있었다. 먼저 윌리엄 톰슨과 같은 과학자는 과학의 핵심이자 생명이 바로 그 산업적 응용에 있다고 믿고 있었으며 과학과 산업의 결합이 표준과 축정을 통해 이루어질 수 있다고 믿고 있었다. 이러한

151) Rayleigh and F.J. Selby, "Richard Tetley Glazebrook"(주7 참조), p.32.

152) 이후 19년간 NPL을 끌고 나갔던 그가 이 소식을 처음 접했을 때 첫마디는 "Jubilate Deo"였다. 글레이즈브룩의 임명 소식은 "The National Physical Laboratory", *Nature*(Aug. 17, 1899), 373에 실려 있다.

153) NPL 초기 연구소에 대한 글레이즈브룩의 구상과 계획은 그가 1901년 5월 24일 Royal Institution의 Friday Lecture에서 행한 연설에서 잘 드러난다. R.T. Glazebrook, "The Aims of the National Physical Laboratory"(주6 참조). NPL의 첫 1년 동안의 연구와 실험, 그리고 이후 계획에 대해서는 "Report of the Executive Committee for 1900 and Programme of Work for 1901"이 도움이 된다. 이 보고서에 대한 분석이 *Nature*(Jan. 24, 1901), 300-302에 실려 있다.

154) H. Barrel, "The Rayleighs and the National Physical Laboratory", *Applied Optics* 3(1964), 1125-1128.

톰슨의 과학관은 19세기 영국 자본주의사회의 발전 이념이 그의 실용적인 자연철학과 결합한 결과였다. 그는 전자기학의 이론적인 문제를 탐구하면서 동시에 거울 검류계(mirror galvanometer), 사이펀 기록계(siphon recorder)와 같이 전신에서 사용할 계기를 만들었다. 전기 단위와 표준은 그에게 전자기학과 전신산업을 결합시켜 주는 것이었으며, BA 위원회의 설립과 표준저항의 공표는 이러한 결합을 현실화시킨 것이었다.

이에 비해 영국사회의 급격한 발전과 어느 정도 유리되어 있었던 캠브리지의 캐번디쉬 연구소의 과학자들에게는 과학과 산업기술이 직접적인 연관을 가지며, 과학이 산업기술에 기여해야 된다는 생각이 톰슨과 같이 강하게 자리잡기는 어려웠음이 분명했다. 그럼에도 불구하고 이 연구소 역시 당시의 영국의 사회경제적 변화와 무관할 수는 없었다. 맥스웰의 예에서 보았듯이 측정과 표준이 국가적 이익과 결부되어 있으며, 캐번디쉬 연구소에서 이러한 연구를 수행해야 한다는 생각은 이미 캠브리지의 과학자나 캠브리지 대학 자체가 당시 사회의 변화에 나름대로 대응한 하나의 양식이었다.

그렇지만 필자가 보이려고 했던 또 한가지 관련은 19세기 말엽 과학과 산업기술과의 관계가 적어도 과학자와 기술자 사회 속에서는 당연한 것으로 받아들여지면서 몇몇 과학자들은 이를 과학연구를 위한 정부의 지원을 받아내기 위한 하나의 매개로 사용하기 시작했다는 것이었다. 이들은 과학이 기술과 산업에 줄 수 있는 혜택을 계속해서 주장하곤 했지만 더 큰 목적은 이것을 강조함으로써 돈이 많이 필요한 과학연구를 위한 정부의 지원을 받아내는 것이었다. NPL이 표준과 관련된 정밀한 측정만이 아닌 물리 상수의 결정, 물질의 성질의 탐구, 시간이 많이 소요하는 실험을 맡아야 한다고 역설했던 로지의 의도는 바로 이러한 범주에 속했다. BA 위원회에서 몇 십년간 다루어 왔던 표준과 측정의 문제는, 정부의 관료를 설득하기 위한 훌륭한 수단이었다.

기술자들에게 이 과학과 기술이라는 문제는 어떻게 나타났는가? 대부분의 기술자들은 이 위원회의 활동이 단위와 표준의 문제에 대한 과학적 기초를 제공함으로써 이를 통해 “이론과 실천”의 참된 조화를 이룰 수 있을 것이라고 생각했다. 그렇지만 기술자들의 이와 같은 “이론”과 실제 나타났던 “실천” 사이에는 미묘한 불일치가 생겼으며 필자는 표준과 표준화의 차이를 통해 이 문제를 보이고자 했다. 물론 차이보다는 유사성이, 논쟁보다는 협동연구가 지배적이었음은 사실이었다. 다만 필자가 강조하고 싶었던 점은, 과학자들이 표준과 측정을 본질적으로 창조적인 과학연구의 한 부분으로 간주했으며 따라서 표준의 유효 수자를 5자리에서 6자리로 늘리는 것을 그 자체로 중요한 연구로 간주했음에 비해, 기술자들은 과학의 도움을 빌어 실제 기술과 산업에 꼭 필요한 문제를 해결하는 것을 목표로 삼고 있었다는 것이었다. 따라서 이들은 “이론과 실천의 조화”라는 대전제에도 불구하고 몇몇 미묘한 문제에 관해서는 상당한 입장의 차이를 보이곤 했던 것이다.

그렇지만 이러한 차이가 결코 과장되어서는 안될 것이다. 이러한 차이보다 훨씬 더 중요한 사실은 과학자와 기술자들이 하나의 위원회 속에서 몇 십년 함께 일하면서 서로 많이 비슷해졌다는 사실이었다. 1880년대 초엽 광학에 대한 실험적인 연구와 맥스웰의 빛의 전자기이론에 대해 매우 수학적이며 독창적인 연구결과를 넘으로써 세인의 주목을 끌었던 20대 후반의 글

레이즈브룩은¹⁵⁵⁾ NPL이 설립될 무렵에는 측정과 관련된 과학적 원리 뿐만 아니라, 기술적 세부사항까지를 완벽하게 숙지한 대가가 되어 있었다. NPL의 소장으로 취임했던 그에게서는 그 어디에서도 순수과학자라는 이미지를 찾아보기 힘들었다. 1861년에 설립된 BA의 위원회는 기술자들 뿐만 아니라 과학자들의 모습도 이렇게 바꾸어 놓았던 것이다.

NPL의 설립과 관련하여 과학자들이 정부의 재정적인 지원을 얻어내려 했다는 사실은 NPL의 역사를 연구한 과학사학자들에 의해 언급되어 왔던 것들이었다.¹⁵⁶⁾ 그렇지만 필자가 보이려고 한 것은 어느 시점부터인가 측정과 표준에 관한 위원회의 연구가 정부의 지원과 연결될 수 있다는 인식이 과학자들 사이에 나타나기 시작했다는 사실이었다. 여기서 왜 다른 많은 연구를 제쳐두고 과학자들은 이것과 정부의 지원을 결부시켰을까라는 또 다른 문제가 발생한다. 순환 오류처럼 보일 수도 있지만 필자는 이것의 동기가 바로 1860년대부터 지속된 BA 위원회의 활동이었음을 보이려 했다. 즉 과학에 대한 지원을 얻어내기 위해서는 한 나라 안에서의 과학의 위치가 문학, 예술보다는 해군과 비슷하다는 것을 정치인과 관료에게 설득시켜야 했으며, 이러한 방법 중 가장 바람직한 것은 과학연구가 가져온 실질적 유용성의 예를 제시하는 것이었다.¹⁵⁷⁾ 19세기 후반기에 가장 두드러졌던 변화 중 하나는 사회의 “전화”(electrification)였으며, 이것의 기초가 되었던 표준과 측정이라는 연구가 정부의 지원과 연결될 수 있을 것이라는 것은 논리적 비약은 아니었다. 게다가 여기에 도량형의 제정은 국왕의 일이고 그 관장은 정부의 일이라는 영국사회의 전통적인 생각도 위의 연결을 더 쉽게 만들었던 요소였다.

또 다른 문제는 왜 이러한 지원을 연구소의 설립이라는 형태로 요구했는가라는 것이다. 필자는 이 점과 관련해서 1885년 STEE에서의 플레밍의 연설을 길게 언급했다. 물리 연구까지를 포함하는 NSL을 만들어야 한다는 플레밍의 제안은 1886년 BA의 위원회가 NSL의 설립을 다시 한번 언급했을 때에도 나타났으며, 1887년 독일의 물리-기술 제국연구소가 설립되면서 이에 자극받은 영국의 과학자들이 자국의 상무부 표준연구소에 불만을 토로하면서 구체화 되었다. 이후 과학자들은 다른 형태의 정부의 지원, 예를 들어 대학에 대한 지원이나 과학부의 설립과 같은 것보다, 국제적 경쟁의 중요성, 산업과 기술에의 기여 등을 거론하면서 거대한 국립연구소의 설립을 주장했다. 이 중요한 문제에 대해서 과학자들은 모두 한 목소리였다.

이제 마지막으로 한가지만 더 언급하려 한다. 필자의 관심은 사실 19세기 말엽 과학과 기술(더 정확하게는 전자기학과 전기기술) 간의 관계라는 더 일반적이고 추상적인 문제로부터 출발했던 것이었다. 이러한 문제의식으로 되돌아가서 생각하면 이 위원회는 과학자들과 기술자들의 이해(즉 과학과 기술의 이해)가 원칙적으로 상당히 일치하는 문제를 놓고 결성된 것이었다. 즉 과학과 기술의 공통분모가 있었던 것이며 이것이 바로 단위와 표준이었고 그와 관련된

155) R.T. Glazebrook, "Double Refraction and Dispersion in Iceland Spar: An Experimental Investigation, with a Comparison with Huyghen's Construction for the Extraordinary Wave", *Phil. Trans.* 171(1881), 421-449; "On the Molecular Vortex Theory of Electromagnetic Action", *Phil. Mag.*, Ser.5, 11(1881), 397-413; "On the Refraction of Plane Polarised Light at the Surface of a Uniaxial Crystal", *Phil. Trans.* 173(1882), 595-620; "A Comparison of Maxwell's Equations of the Electromagnetic Field with Those of Helmholtz and Lorentz", *Proc. Camb. Phil. Soc.* 5(1884), 120-131.

156) 예를 들어 R. Moseley, "The Origins and Early Years of the National Physical Laboratory: A Chapter in the Pre-history of British Science Policy", *Minerva* 16(1978), 220-250를 볼 것.

157) 이런 점과 관련해서 1890년대 과학자들의 운동은 '개인적 연구'에 대한 정부의 지원을 요구했던 1870년대의 '과학기부 운동'과 차이가 있다. 1870년대 과학자들의 기부운동에 대해서는 Roy M. MacLeod, "Resources of Science in Victorian England: The Endowment of Science Movement, 1868-1900" in P. Mathias ed., *Science and Society, 1600-1900* (Cambridge, 1972), 111-166을 참조할 것.

정밀한 측정이었다.

그렇다면 측정과 표준 이외의 문제는 어떠했을까? 맥스웰주의자들을 온통 흥분의 도가니로 몰아 넣었던 헤르츠(H. Hertz)의 전자기파의 발견과 이후 벌어졌던 톰슨과 맥스웰주의자들의 논쟁을 둘러싸고도 과학과 기술의 공통분모를 찾을 수 있을까? 이런 것들의 물리적 내용을 당시 기술자들이 충분히 이해할 수 있었을까? 정반대의 질문 또한 가능하다. 1880년대 중반부터 나타난 새로운 전기기술과 그 응용들을 과학자들이 충분히 이해하곤 했을까? 전자기이론을 가지고 어디가 고장났는지 모르는 복잡한 송전 시스템을 수리할 수 있었을까? 또한 과학자들이 직류·교류에 관계된 복잡한 경제적·기술적 문제를 접근할 수 있었을까? 만일 이런 일이 모두 어려웠다면 몇가지 주목할 만한 예외에도 불구하고 19세기 말엽의 전기기술에 있어서 과학은 아직도 멀리 있었다고 말해야 되지 않을까?

필자는 이러한 문제를 생각하면서 19세기 중엽 이후 전자기학과 전기기술의 관계에 있어서 1870년대 이후 나타났던 몇몇 과학자 겸 기술자(scientist-engineer)들의 활동에 주목해야 한다는 생각에 도달했다. 이들은 대학에서 수학과 과학에 대한 전문적인 교육을 받으면서 W. 톰슨이나 맥스웰의 전자기이론을 공부했다. 대학 졸업 후 이들은 전기 산업회사의 공장이나 기술 현장에서 몇년 이상 기술의 세부사항을 파악했으며 이러한 기반 위에 대학의 응용과학 학과나 공학부에 자리잡곤 했다. 처음에 이들은 과학자들에게는 기술자로, 기술자들에게는 과학자로 인식되기도 했다. 이런 대표적인 인물로 우리는 플레밍, 존 홉킨슨, 에이튼, 실베이너스 톰슨(Silvanus P. Thompson)등을 떠올릴 수 있다. 즉, 위의 표현을 빌어 말하자면 이론과 실천 사이의 공통분모는 과학과 기술의 구체적이고 세부적인 각각의 주제였다기보다는 이들 ‘사람’들이었다. 이런 의미에서 이들이 만들었던 공학은 과학과 기술의 결합체였다. 공학은 한참동안 과학도 기술도 아닌 중간의 어정쩡한 위치를 점유하고 있었지만 곧 전통적인 기술의 모습을 완전히 가렸던 것이다.¹⁵⁸⁾

158) 과학적 공학(scientific engineering)의 등장에 대한 좋은 논의가 R.A. Buchanan, “The Rise of Scientific Engineering in Britain”, *BJHS* 18(1985), 218-233에 있다.