

“무기 대신 생산 도구”:

제2차 세계 대전 미국 국방 연구 위원회(NDRC)의 광학 연구*

박민아†

1. 들어가는 말

1933년 열린 시카고 산업 박람회는 “과학이 발견하고, 산업이 응용하며, 인간은 순응한다”는 모토를 표방했다. 이 모토에는 박람회의 주제였던 기술 혁신의 단계적 과정이 표현되어 있는데, 선(先) 발견, 후(後) 응용이라는 선형적 단계가 과학과 산업을 각각 그 주체로 삼아 제시되었다.

그로부터 12년이 지난 1945년 출판된 버니버 부시(Vannevar Bush, 1890-1974)의 『과학, 끝없는 프런티어』(Science, the Endless Frontier)는 기술 혁신 과정에 대해 이와 유사한 선형 모델을 제시하는 것처럼 보였지만, 거기서 끌어낸 선형 모델은 1933년 산업 박람회에서 제시된 것과는 차이가 났다. 부시의 선형 모델에서는 과학의 자리에 기초 과학이 놓이면서 기술 혁신의 출발점이자 핵심을 차지하게 되었고, 이에 비해 그 다음 단계인 응용의 중요성은 상대적으로 약해졌다. 과학이라는 모호한 주체 대신 대학이라는 기관이 기초 과학 수행 전담 기관으로 설정되었고, 응용은 산업체와 정부의 몫으로 남겨졌다. 대학이 새로운 과학적 지식을 만들어내면 이를 실제적 문제에 응용하는 것은 산

* 이 논문은 2018년 역사학대회 발표를 발전시킨 것입니다. 그 자리에서 좋은 코멘트를 해 주신 분들과 이 논문을 읽고 귀중한 심사평을 주신 익명의 심사위원들께 감사드립니다.

† 한양대학교, bamiya@gmail.com

업체와 정부의 역할이었다. 10여 년 사이, 대학과 거기서 수행된다고 여겨지는 기초 과학 연구는 기술 혁신의 원천으로 높아진 위상을 자랑하게 되었다.¹

기초 과학의 높아진 위상과 기초 연구를 수행하는 대학과 응용을 담당하는 산업체 사이의 강화된 역할 분담이라는 차이를 만든 10여 년의 시간 안에는 제2차 세계 대전이 놓여 있다. 제2차 세계 대전 중 이루어진 미국의 전시 연구 개발 사례는 기초 과학을 중핵으로 삼는 전형적인 선형 모델을 이끌어 내는 데 중요한 역할을 했다. 특히 원자 폭탄, 레이더 등 물리학과 관련된 전시 무기 개발 사례 연구에서는 기초 과학 및 과학자, 특히 대학 소속 물리학자의 주도성이 강조되었다.

일례로 케블레즈(Daniel J. Kevles)는 “1943년 이전에 맨하탄 프로젝트에 참여하지 않았던 대부분의 미국 물리학자들, 그리고 그 이후에도 참여한 적이 없었던 많은 물리학자들에게 제2차 세계 대전은 레드 랩(Rad Lab), 그리고 다른 두 개의 중요한 프로젝트를 의미했다. 하나는 캘리포니아 공과대학에서 이루어진 고체 연료 로켓, 다른 하나는 존스 홉킨스에서 이루어진 근접 전파 실험이었다”며 제2차 세계 대전 전시 무기 연구에서 대학 물리학자들의 역할을 강조했다.² 원자 폭탄 개발의 흥미진진한 역사서로 대중적 인기와 풀리처 상을 모두 거머쥔 로즈(Richard Rhodes)는 900쪽 가까운 책의 거의 대부분을 학계 물리학자들에 할애하며 원자 폭탄이 물리학자들의 기초 연구의 성과라는 인상을 강

¹ Vannevar Bush, *Science, the Endless Frontier: A Report to the President by Vannevar Bush, Director of the Office of Scientific Research and Development* (Washington: United States Government Printing Office, 1945). 이 책에서 부시가 선형 모델을 의도했는가에 대해서는 논란이 있다. 에저튼(David Edgerton)은 산업계나 정부의 연구비 투자에 비해 대학의 연구비 투자가 뒤떨어져 있기 때문에 산업계나 정부에 발맞추려면 대학의 연구비 투자 및 대학의 기초 연구가 강화되어야 한다는 것이 부시의 의도였다고 해석하며 기술 혁신의 선형 모델을 제시할 의도가 없었다고 해석했다. 부시의 의도와는 달리, 에저튼은 이 책이 이후 학자들이나 과학 정책가들에게 선형 모델을 제시한 것으로 인용되고 있다는 점도 지적했다. 부시의 책에 대한 해석 및 선형 모델이 등장한 역사에 대한 비판적 고찰로 다음을 참고하라. David Edgerton, “‘The Linear Model’ Did Not Exist: Reflections on the History and Historiography of Science and Research in Industry in the Twentieth Century,” in Karl Grandin and Nina Wormbs eds., *The Science-Industry Nexus: History, Policy, Implications* (Sagamore Beach, MA: Science History Publications, 2004), 31-57.

² Daniel J. Kevles, *The Physicists: The History of A Scientific Community in Modern America* (New York: Vintage Books, 1979), 307. 제2차 세계 대전 중 물리학 공동체의 전시 연구 개발 조직 및 전시 연구 프로젝트는 19-21장에서 다루어지는데, 주로 레드 랩의 레이더 연구와 원자 폭탄 연구에 초점이 맞춰져 있다.

하게 심어주었다.³ 이처럼 2차 대전 무기 개발에서 기초 연구 및 대학 물리학자의 역할이 강조된 것은 종전 직전 군사 기밀 정보를 통제하기 위한 미국 정부 및 군의 계획과 무관해 보이지 않는다.⁴

2차 대전 무기 개발에서 기초 과학 및 대학 물리학자들의 역할이 강조되면서 선행 모델의 핵심적 위치를 차지하게 된 것에 비해 선행 모델의 또 다른 주체인 산업체가 전시 연구에서 담당했던 역할은 큰 주목을 받지 못했다. 20세기 물리 과학과 전쟁의 관계를 다룬 대표 논문들을 모은 논문집에는 산업체의 이야기가 담기지 못했다.⁵ 2차 대전 레이더 개발 및 운영의 역사를 다룬 브라운(Louis Brown)의 연구는 레이더 개발이 전쟁 전부터 민간에서 시작되었다는 점을 강조했다는 점에서 산업체의 역할이 강조될 여지가 있었음에도 불구하고 산업체 보다는 주요 참전국에서 이루어진 기술적 개량과 군사적 운영 전략의 차이를 보여주는 데 집중했다.⁶ 2차 대전 전시 연구에서 산업체는 어떤 역할을 했는지, 그 역할은 얼마나 중요했는지 등에 대해서는 아직 충분한 연구가 이루어지지 않아서, 그들의 연구가 미미했기 때문에 안 보이는 것인지, 안 보았기 때문에

3 Richard Rhodes, *The Making of the Atomic Bomb* (New York: Simon & Schuster, Inc., 1986).

4 1945년 8월 11일 발표된 일명 『스미스 보고서』(*Smyth Report*)는 원자 폭탄 개발 과정을 일반 대중에게 알릴 목적으로 전쟁이 끝나기 전부터 미국 정부가 기획하여 프린스턴 대학의 물리학 교수이자 맨하탄 프로젝트 자문이었던 헨리 드울프 스미스(Henry DeWolf Smyth)가 작성했다. 이 보고서는 원자 폭탄 개발의 정보 보안을 위해 핵심적인 기술적, 공학적 지식을 숨기고 상대적으로 안전한 이론 물리학 정보를 제공하는 데 치중했다. Henry DeWolf Smyth, *Atomic Energy for Military Purposes* (Princeton, 1946). 슈워츠(Rebecca Press Schwartz)는 『스미스 보고서』로 인해 원자 폭탄 프로젝트에서 화학이나 공학 등 다른 분야의 역할이 간과되었다고 주장했다. Rebecca Press Schwartz, "The Making of the History of the Atomic Bomb: *The Smyth Report* and the Historiography of the Manhattan Project," (Ph.D. diss., Princeton University, 2008). 카이저(David Kaiser)는 이 보고서가 원자 폭탄을 이론 물리학의 산물로 인식하게 하는 데 중요한 역할을 하여, 냉전 초기 매카시즘 열풍 속에서 소련 원자 폭탄 스파이를 찾을 때 이론 물리학자들이 의심의 표적이 되었다고 지적했다. David Kaiser, "The Atomic Secret in Red Hands?: American Suspicions of Theoretical Physicists during the Early Cold War," *Representations* 90 (2005), 28-60.

5 Peter Galison, Michael Gordin, and David Kaiser eds., *Science and Society: The History of Modern Physical Science in the Twentieth Century*, Vol 3: *Physical Science and the Language of War* (New York: Routledge, 2001). 이 책은 다른 저널이나 책에 실린 9편의 논문들을 재수록한 논문 모음집이다.

6 Louis Brown, *A Radar History of World War II: Technical and Military Imperatives* (Philadelphia: Institute of Physics Publishing, 1999).

미미해 보이는 것인지 그 구분이 여전히 분명치 않아 보인다.

이에 본 연구에서는 2차 대전 전시 연구에서 산업체의 역할 및 대학과 산업체의 관계를 살펴보기 위해 미국 과학 연구 개발국(Office of Scientific Research and Development, OSRD, 1941-1947) 산하의 국방 연구 위원회(National Defense Research Committee, NDRC) 16, 17분과의 연구를 살펴본다. 국방 연구 위원회의 16분과(광학과 위장술)와 17분과(물리학)는 광학 기기와 위장 도색, 음향 제어, 지뢰 탐지 등의 연구 외에도 즉각적인 기술적 문제 해결을 위해 다양한 연구 개발 활동을 수행했다. 두 분과는 도구 개발이라는 연구 주제의 공통점과 분과를 구성하는 인적 구성의 중복으로 인해 상당한 정도의 연관성을 갖고 있었다. 이에, 1948년 OSRD가 2차 대전 전시 연구를 소개한 『제2차 세계 대전 중의 과학』(*Science in World War II*) 시리즈의 한 권으로 『응용 물리』(*Applied Physics*)를 출간했을 때, 두 분과의 연구는 “광학”이라는 주제로 묶여 “전자 공학”, “금속학”과 함께 『응용 물리』를 구성하는 세 편의 책 중 하나로 출간되었다.⁷

『응용 물리』의 “광학” 편은 16분과와 17분과에서 수행했던 연구를 간략하게 소개한다. 단일한 프로젝트의 성격을 지녔던 몇몇 연구를 제외하면 대부분의 연구는 1-2쪽 내외의 짧은 지면 안에서 연구 주제, 연구 주체, 연구 성과를 소개하는 데 그치고 있다. 때로는 보안상의 이유로 눈부신 성과를 낸 연구에 대해서도 극적이었던 연구 과정을 소개하지 못한 데 대해 아쉬움을 표하기도 있지만, 여기에 실린 대부분의 글은 연구 성과 요약이라는 목적에 충실하게 감정을 배제한 채 매우 건조하게 씌어졌다. 이렇게 한정적인 정보에도 불구하고, “광학” 편은 두 분과에서 수행된 연구의 연구 주체, 특히 산업계의 참여 사례가 두드러지게 나타나 있으며, 산업계와 대학의 역할 분담을 짐작케 하는 다양한 사례를 제공해 준다는 점에서 2차 대전 중 미국의 전시 연구에서 산업체의 역할을 살펴보는 데 유용하다.

또한 “광학” 편에 실린 연구들은 그동안 과학사 연구에서 주목해 왔던 2차 대전 전시 연구 개발 사례들과 차별성을 지닌다는 점에서 분석해 볼 가치가 있다. 앞서 언급했던 케블레즈나 로즈, 브라운의 연구처럼 2차 대전 전시 연구는

⁷ Office of Scientific Research and Development, *Applied Physics* (Boston: Little, Brown and Company, 1948). 광학 파트는 그 중 “제2권”으로 편집되어 나왔다. George R. Harrison ed., “Book Two: Optics,” in *Applied Physics*, 197-303.

원자 폭탄 개발이나 레드 랩의 레이더 개발 같은 단일 과제 중심의 무기 개발, 대규모의 중앙 집중적 연구 과제 분석에 편중되어 있었다. 또한 2차 세계 대전 전시 연구에 대한 분석은 전시 연구 자체보다는 그것이 냉전 시대 미국 과학, 특히 대학의 기초 연구 수행 방식에 미친 영향이라는 측면에서 조명되어 왔다.⁸

이에 비해 “광학” 편에 실린 많은 연구들 중에는 지뢰 탐지와 같은 단일 과제 중심의 연구도 있었지만, 주목할 만한 성과로 이어진 것은 산업체와 대학의 여러 주체들에 의해 분산적으로, 단편적으로 이루어진 연구들이었다. 16, 17분과에서는 교전 장비의 유지 관리 및 정확한 작동, 탈숙련화를 위한 보조 장비의 개발, 교전 장비 생산을 위한 측정 도구의 개발, 교전 중인 군인과 무기 생산 노동자의 건강을 위한 장비 등 단일한 목표로 묶이지 않는 다양한 연구들이 이루어졌다. 이들 연구 주제들의 성격과 그 연구의 수행 주체 및 수행된 과정에 대한 분석을 통해 본 연구는 대형 단일 과제 중심의 무기 개발을 다룬 기존 연구들에서 밝혔던 것과는 차별화되는 연구 수행 방식, 연구 수행 주체들 간의 역할 분담을 드러내 보일 것이다.

이어지는 절에서는 16, 17분과의 조직 구성을 중심으로 과학 연구 개발국(OSRD)과 국방 연구 위원회(NDRC)의 목적 및 성격을 살펴보고, 그 안에서 산업체가 차지하는 위치 및 역할에 대해 조사한다. 그 다음 절에서는 16분과의 연구를 중심으로 산업체의 연구 성과가 전시 연구 개발로 연결되는 과정을 살펴본다. 그 다음으로는 17분과의 연구에 초점을 맞춰 이 분과들에서 이루어진 전시 연구 주체의 성격을 분석하고, 평화 시 연구와의 연속성 속에서 이 분과들의 연구 성과의 의의를 살펴본다. 마지막 결론에서는 전시 연구에서 산업체가 담당했던 역할과 대학과의 역할 분담 방식을 고찰하고, 이것이 기존의 선형 모델에 대해 던지는 시사점을 분석해 볼 것이다.

2. NDRC, OSRD의 설립과 16, 17분과의 조직

미국 과학자들은 1차 대전 중 국방 위원회(Council of National Defense)를 설립하여 전쟁 수행에 민간 과학자들이 기여할 수 있는 조직과 방식을 설정했다.⁹

⁸ 냉전과의 연속성 속에서 2차 세계 대전의 역할을 살핀 연구로 다음을 들 수 있다. Stuart W. Leslie, *The Cold War and American Science: The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford* (New York: Columbia University Press, 1993).

이 경험을 바탕으로 1939년 유럽에서 전쟁이 시작되자 카네기 재단의 이사장을 맡고 있던 부시는 전쟁 준비의 필요성을 인식하고 미국 과학계의 인력과 자원을 전시 연구로 동원할 준비에 착수했다. 이런 준비의 하나로 부시는 1939년 AT&T의 부회장이자 벨 연구소 소장이었던 프랭크 주윳(Frank B. Jewett)이 미국 국립 아카데미(National Academy of Sciences)의 회장으로 선출될 수 있도록 도왔다. 이를 통해 부시는 보수적인 국립 아카데미나 그 산하의 국립 연구 위원회(National Research Council)의 간섭 없이 과학의 전시 동원을 위한 기구를 설립할 수 있는 기반을 마련했으며, 동시에 주윳을 통해 산업계를 동원할 수 있는 길을 마련했다. 그 결과, 1940년 “전쟁 무기 및 관련 매커니즘의 개발, 생산, 이용에 관한 문제 해결을 위한 과학 연구의 조율, 감독, 수행”을 목표로 인간의 전시 연구를 관리하는 NDRC가 설립되었다. 새 위원회의 위원장은 부시 자신이 맡았고, 칼텍 대학원장이었던 리처드 톨만(Richard C. Tolman)이 부위원장을 맡았으며, MIT 총장 칼 컴프턴(Karl T. Compton), 하버드 대학 총장 제임스 코난트(James B. Conant), 그리고 주윳이 위원회에 참여했다. 주윳은 전시 연구에 이용될 산업체의 연구 시설을 정하고 산업체 연구소장들의 비공식 모임을 통해 국방 연구 위원회의 설립과 목표를 알리는 임무를 맡았다.¹⁰

1941년 6월, 루즈벨트 대통령은 위기 관리국(Office for Emergency Management) 산하에 OSRD를 독자 기관으로 설립하고 부시를 그 책임자로 임명했다. OSRD 설립에 따라 기존의 NDRC는 그 하부 조직으로 편입되었다. OSRD의 설립은 민간 기관이었던 국방 연구 위원회(NDRC)의 한계를 넘기 위한 방편으로 볼 수 있는데, 이러한 조직 변화를 통해 부시는 NDRC의 연구 개발 성과가 군으로 들어갈 수 있는 공식적인 통로를 확보할 수 있게 되었다.¹¹

9 제2차 세계 대전 당시 Council of National Defense를 통해 자신들의 사회적 역할을 부각시키려고 했던 과학자들의 활동에 대해서는 다음을 참고하라. Carroll Pursell, “Engineering Organization and the Scientist in World War I: The Search for National Service and Recognition,” *Prometheus* 24:3 (2006), 257-268.

¹⁰ 2차 대전 중 OSRD 설립을 위한 부시의 노력 및 주윳의 역할에 대해서는 다음을 참고. Carroll Pursell, “Science Agencies in World War II: The OSRD and Its Challengers,” in Nathan Reingold ed., *The Sciences in the American Context: New Perspectives* (Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1979), 359-378.

¹¹ *Ibid.*, 363.

OSRD는 연구 개발 용역에 있어 기존 상태를 최대한 유지하면서 최고의 것을 구매한다는 정책을 취했다. 이 결과 최고 수준의 대학과 산업체에 연구 개발비가 집중되는 효과가 나타났다. MIT, 칼텍, 하버드, 컬럼비아, 캘리포니아 대학 등이 수혜자가 되었으며, 산업체에서는 AT&T의 자회사였던 웨스턴 일렉트릭(Western Electric Company)이 94개의 계약을 통해 총 1,438만 달러의 연구 개발비를 받았다. 듀폰(Du Pont), RCA, 이스트만 코닥, 제너럴 일렉트릭(GE)에도 투자가 집중되었다.¹²

소수의 대학 및 기업으로 OSRD의 연구 개발비가 집중되는 것은 견제를 낳기도 했다. 그 중의 하나로 1942년 열린 상원의 특별 소분과 위원회(Subcommittee on War Mobilization of the Senate Committee on Military Affairs)의 청문회에서는 OSRD를 비롯한 기관들의 전시 연구 개발 활동이 기존 산업체의 경쟁적 우위를 보장하고 있으며, 소수 기관들의 독점적 연구 개발 활동으로 인해 국가의 기술 자원들이 충분히, 그리고 효과적으로 국방에 이용되지 못하고 있다는 불만이 제기되었다. 특별 소분과 위원회의 의장을 맡은 상원 의장 할리 킬고어(Harley M. Kilgore)는 이에 대한 대책으로 연방 정부 하에 전시 연구 개발 사업을 지휘·관리할 기술 동원국(Office of Technological Mobilization)을 설립하는 법안을 제출했다.¹³

킬고어의 법안은 통과되지 못했고 OSRD는 전시 연구 개발에 있어 그 해계 모니를 유지하는 데 성공했다. 하지만 OSRD의 연구 개발 정책을 둘러싼 논쟁은 전시 연구 개발 활동에서 산업체로의 투자 집중에 대한 견제 효과를 낳았을 것으로 보인다. 이런 함의 때문에 산업계는 킬고어 법안에 강력하게 반발하여 1943년 산업계를 대상으로 이루어진 여론 조사에서 82.2%가 이 법안에 반대했다. 실제로 OSRD의 연구 개발에 있어서도 MIT는 1억 1,694만 달러의 용역 계약을 맺었지만, 산업계에서 가장 큰 규모의 연구 개발 계약을 맺은 웨스턴 일렉트릭이 받은 총액은 1,709만 달러에 불과했다. 대학 중에 다섯 번째 규모의 계약 연구를 수행한 캘리포니아 대학이 1,438만 달러를 받은 것을 고려해 보면 MIT가 다른 대학에 비해서 유독 집중적인 투자를 받았던 것을 짐작할 수 있지만, 그런 점을 고려하더라도 산업체에 비해 대학과의 계약 연구 규모가 더 컸던 것을 알 수 있다. 이는 대학보다 산업체와의 계약 연구가 특혜·독점 논란에 휩

¹² *Ibid.*, 364.

¹³ *Ibid.*, 373-375.

싸일 소지가 더 많았기 때문이었던 것으로 보인다. 제2차 세계 대전 전시 연구에서 대학에 비해 산업체의 역할이 덜 보였던 것은 어쩌면 이런 논란을 피하기 위해 의도적으로 산업체의 역할을 강조하지 않았기 때문일 수도 있다.

NDRC가 OSRD의 하위 조직으로 편입되면서 그 조직도 19개 분과, 2개 패널, 3개 위원회로 재편되었다.¹⁴ 기존 NDRC는 전장에서 수행하는 역할에 따라 장갑 및 대포(A분과), 폭탄, 연료, 가스 및 화학적 문제들(B분과), 운송 및 통신(C분과), 탐지, 제어 및 장비(D분과)의 4개 분과와 특허와 발명(E분과)을 담당하는 분과까지 총 5개의 분과로 이루어져 있었다. OSRD 산하에 새로 구성된 NDRC의 19개 분과는 E분과를 제외한 기존 4개 분과에 속했던 하위 분과들을 개별 분과로 독립시키는 방식으로 조직되었는데, 대부분은 연구 주제나 연구 대상이 되는 기술에 따라 분과가 구성되고 분과의 명칭이 정해졌다. 이에 따라 이전에 A분과에 속했던 하위 분과들은 1분과의 “탄도 연구”, 2분과의 “폭발의 영향”, 3분과의 “로켓포”, 4분과의 “대포 부품들”, 5분과의 “신형 미사실” 등의 분과로 독립 조직을 구성했다. 이외에도 “화기 통제”, “폭발물”, “흡착제와 연무제”, “전기 통신”, “레이더”, “무선 통신 조정” 같이 대부분의 분과들이 연구 주제를 중심으로 조직된 반면, 학문 분과에 따라 명칭이 정해진 분과도 있었다. 9분과(화학)와 11분과(화학 공학)가 그런 경우에 해당했다.

16, 17분과는 기존 NDRC의 탐지, 제어, 장비를 담당했던 D분과의 하위 분과인 D-3(도구), D-4(적외선 도구)가 재편된 것이었다. 16분과는 광학 도구(16.1), 조명과 시력(16.2, 16.5), 위장술(16.3), 적외선(16.4)의 하위 4개 섹션으로, 17분과는 도구와 전기 장비(17.1, 17.2), 음향학(17.3)의 하위 2개 섹션으로 구성되었다. 조직 재편과 함께 두 분과는 연구 주제 중심의 명칭 대신 광학과 위장술(16분과), 물리학(17분과)이라는 학문 분류에 따른 명칭을 얻게 되었다.

16분과와 17분과는 각 분과별로 위원장과 부위원장 각 1인, 7인의 분과 위원, 한두 명의 기술 지원(technical aide), 그리고 1-3인의 자문 위원으로 구성되었

¹⁴ NDRC 외에 OSRD 산하 연구 개발 조직으로는 Sensory Device Committee, Insect Control Committee, Office of Field Services와 6개 하위 분과로 구성된 Committee on Medical Research가 있었다. NDRC 산하의 2개 패널로는 Applied Mathematical Panel, Applied Psychological Panel이 조직되었고, 3개 위원회로는 Committee on Propagation, Vacuum Tube Development Committee, Tropical Deterioration Administrative Committee가 설치되었다. 이중 열대 지역에서의 장비 유지 보수를 담당했던 Tropical Deterioration Administrative Committee는 후에 16분과에 합쳐졌다.

고, 각 섹션 별로 다시 책임자, 멤버, 기술 지원, 자문 위원들로 구성이 되었다. 16분과의 분과장은 D-3에서 분과장을 맡았던 MIT의 분광학자 조지 해리슨(George R. Harrison, 1898-1979)이 맡았고, D-3에서 부분과장을 맡았던 과학 도구 제작 회사 센트럴 사이언티픽(Central Scientific Company)의 회장 폴 클롭스텍(Paul E. Klopsteg, 1889-1991)은 17분과장이 되었다.¹⁵

16분과와 17분과는 각각 개별적인 연구 주제를 수행하는 서로 독립된 분과처럼 보였지만, 분과 구성원 측면에서 상당 부분 중복되어 있었다. 해리슨과 클롭스텍은 서로 상대 분과장의 보좌역(deputy chief)을 담당했고, 16, 17분과에 속한 7인의 분과 위원은 같은 인물들이었다. 미국 광학계의 원로이면서 1차 세계 대전 전시 연구 경험이 있던 AT&T의 허버트 이브즈(Herbert E. Ives, 1882-1953)와 제너럴 일렉트릭의 윌리엄 포사이스(William E. Forsythe, 1881-1969)가 양 분과 모두에 위원으로 참여했고, 각각 벨연구소와 웨스팅하우스 연구소에서 일하다 대학으로 자리를 옮긴 하비 플레처(Harvey Fletcher)와 브라이언 오브라이언(Brian O'Brien, 1898-1992)도 위원 명단에 이름을 올렸다.

이들 위원 중 상당수는 산업계에서의 연구 경험을 가지고 있었다. 대표적으로 이브즈는 1908년 존스 홉킨스 대학에서 칼라 사진술에 대한 연구로 박사 학위를 받은 광학·사진술·영상 분야의 전문가였다. 뛰어난 광학 연구자였던 부친 프레더릭 이브즈(Frederic Ives, 1856-1937)를 따라 이미 10대 시절부터 산업 현장에서 경험을 쌓았던 허버트 이브즈는 AT&T에 들어가 사진 전송기(telephotography, 일종의 팩스 기계), 컬러 텔레비전 시스템 등을 개발하는 등 산업계에서 잔뼈가 굵은 인물이다. 1차 대전 때는 항공 연구(aerial research)의 책임자로서 미 육군 통신대(U. S. Army Signal Corps)에 합류했고 전시 연구 결과를 『항공사진술』로 출판하기도 했다.¹⁶ 2차 대전 중에는 야시경에 관해 연구했고 그 공로로 미국 정부가 민간인에게 수여하는 최고의 훈장인 공로장(Medal of Merit)을 수여받았다. 이브즈는 미국 광학 학회에서도 중심적인 역할을 했던 인물로 1924-1925년 학회장을 맡았고, 부친의 업적을 기리는 프레더릭 이브즈 메달 시상식을 만들기도 했다.¹⁷

¹⁵ 16, 17분과의 인적 구성에 대해서는 다음을 참고하라. Harrison ed., "Book Two: Optics," in *Applied Physics* (cit. n. 7), 201-203.

¹⁶ H. Ives, *Airplane Photography* (Philadelphia: J. B. Lippincott Company, 1920).

윌리엄 포사이스 또한 산업계의 광학 연구를 대표하는 인물이었다. 포사이스는 위스콘신 대학에서 박사를 받은 후 클리블랜드 넬라 파크의 넬라 연구소(Nela Research Laboratory)에 들어가며 산업계에서의 이력을 시작하여 1924년에는 연구소 소장의 자리에까지 올랐다. 그의 주요 연구 주제는 광학과 복사 에너지, 그 중에서도 특히 조명에 관한 것이었다. 백열등 텅스텐 와이어의 물리적 특성, 형광등, 복사 에너지 연구 등 조명 기술 및 설계와 관련된 연구를 수행했다. 그의 전시 연구도 조명 기술에 집중되어 있었다. 1차 대전 중에는 주간용 빛 신호기를 연구하기도 했다. 이브즈와 마찬가지로 포사이스도 미국 광학회를 이끈 주도적인 인물로 1927-1927년 학회장을 역임했다.¹⁸

이들보다 한 세대 젊은 브라이언 오브라이언은 16, 17분과에서 산업계와 대학의 연결 고리를 보여주는 인물이다. 오브라이언은 예일 대학에서 전기 공학으로 석사를, 물리학으로 박사를 받은 후 곧장 산업계로 들어갔다. 1923년 피츠버그의 웨스팅하우스 전기 회사에 들어간 오브라이언은 인간의 시각적 능력에 관한 다양한 연구들을 수행했다. 그는 특히 광학과 생물학을 결합하는 연구를 많이 수행했는데, 태양 광선이 결핵에 미치는 생물학적 영향이나 치료용 자외선을 방출하는 아크 램프 개발 등의 연구를 수행하고 비타민 D 생산을 위해 우유에 빛을 쏘이는 방법을 개발하기도 했다. 1930년 오브라이언은 산업계를 떠나 로체스터 대학으로 자리를 옮겨 이후 23년간 대학에서 연구를 지속했다. 2차 세계 대전 동안 오브라이언은 16, 17분과에 속해 있으면서 야시경 개발, 비구면 광학을 이용한 초고속 슈미트 광학 시스템 개발 등의 연구를 수행했고, 그 공로로 공로장을 받았다. 1951-1952년 광학 학회의 회장을 역임했다는 점에서 산업계, 학계, 광학 학회를 연결하는 그의 이력은 앞선 두 사람과 공통점이 많다.¹⁹

이브즈, 포사이스, 오브라이언처럼, 각 분과의 분과장을 포함하여 16, 17분과 위원들 9명 중 5명은 산업체 연구소에서 일하거나 혹은 산업체에서의 경력을

17 허버트 이브즈의 생애에 대해서는 Oliver E. Buckley and Karl K. Darrow, "A Biographical Memoirs of Herbert Eugene Ives, 1882-1953," in *Biographical Memoir of the National Academy of Sciences* (Washington D.C.: National Academy of Sciences, 1956), 143-189 참고.

18 윌리엄 포사이스에 대해서는 다음을 참고하라. <https://www.osa.org/en-us/history/biographies/william-e-forsythe> (2019.3.10. 접속)

19 오브라이언에 대해서는 다음을 참고하라. <https://www.osa.org/en-us/history/biographies/brian-o-brien/> (2019.3.10. 접속)

가진 사람들이었다. 17분과의 분과장을 맡은 폴 클롭스텍도 과학 도구 제작 회사에서 회장직까지 오른 사람이었고 후에 국립 과학 재단의 부이사장(associate director)과 미국 과학 진흥 협회 회장을 맡을 정도로 미국 과학계에서 활발한 활동을 했다. 분과 위원 중에 대학에서의 이력만을 가진 사람은 두 명으로, 16 분과장을 맡았던 해리슨이 이 경우에 해당했는데, 평생 대학에서 있었던 해리슨조차도 광학 학회나 본인이 조직했던 분과 학회를 통해 산업계에서의 광학 연구에 대한 해박한 지식을 갖춘 사람이었다.²⁰ 나머지 한 명은 마운트 윌슨 천문대에서 왔는데, 이 천문대는 전통적으로 광학 렌즈 및 관련 부품 제작에서 두각을 나타냈던 곳이었다.

16분과와 17분과의 인적 구성은 이 분과에서 일어났을 지식의 유입의 방향이 어떠했을지 짐작케 해준다. 20세기 미국 산업체 연구소와 대학에서의 연구의 의미를 흥미롭게 비교한 논문에서 마이클 데니스(Michael Aaron Dennis)는 19세기 미국 연구 대학의 형성에서 20세기 초 산업체 연구소의 설립으로 이어진다고 여겨졌던 연구 전통이 그와는 반대 방향으로, 즉 산업체에서 시작된 연구 전통이 1차 세계 대전을 거치며 대학으로 유입되어 교육적 목적에 묶여 있던 대학의 연구의 의미를 새로운 발견이나 발명과 같은 현대적 의미의 연구로 변화시켰다고 주장했다.²¹ 대공황 초기에 산업체의 연구가 경제 불황의 직격탄을 맞아 잠깐 주춤하긴 했지만, 빠른 회복을 거쳐 1940년대가 되면 미국 산업체나 정부의 연구비와 대학 연구비 사이의 격차는 더욱 커졌다.²² 한 마디로, 1940년대 초까지 미국에서 산업체의 연구 역량이 대학의 연구를 앞서 나가고 있었던 것이다.

미국 산업체와 대학의 연구 수준 차이를 고려하면 이브즈와 포사이스와 같이 산업계 연구소의 책임자로 일하면서 그 곳에서 이루어진 광학 연구 성과에 해박했던 산업계의 원로들과 오브라이언 같이 산업계와 대학 모두에 몸담았던 현

²⁰ 해리슨의 산업계와의 접점에 대해서는 박민아, “분광학의 새로운 시장: MIT 분광학 학술대회 (1933-1942)와 응용분광학의 발전”, 『한국과학사학회지』 29:1 (2007), 31-66 참고.

²¹ Michael Aaron Dennis, “Accounting for Research: New Histories of Corporate Laboratories and the Social History of American Science,” *Social Studies of Science* 17 (1987), 479-518.

²² 대공황이 대학과 산업체의 물리학자들에 미친 영향의 차이를 비교한 논문으로 다음을 들 수 있다. Spencer R. Weart, “Physics Business in America, 1919-1940: A Statistical Reconnaissance,” in *The Sciences in the American Context* (cit. n. 10), 295-358.

역 연구자들은 광학 산업계에서 이루어진 연구 성과를 16, 17분과로 유입하는 통로의 역할을 했을 것으로 짐작된다. 이 유입로는 전쟁터의 필요에 빠르게 대응할 필요가 있었던 16, 17분과 연구 주제의 특성과 맞물려 활발하게 산업계의 연구 성과를 전쟁터로 옮겨 놓는 통로의 역할을 하게 된다.

3. 전쟁에 투입된 산업체의 광학 연구

NDRC의 각 분과들에서 이루어진 연구들은 로켓(3분과), 미사일 개발(5분과), 화기 제어(7분과), 레이더(14분과), 전파 방해(15분과)처럼 전시의 역할에 따라 단일한 목표를 세우고 단일 프로그램 내에서 연속적이고 집중적인 연구가 이루어지던 주제들이었다. 이런 연구들은 전쟁에 특화된 연구 주제를 다루면서 기존 연구 기관이나 산업체를 활용하는 대신 전담 연구소를 설립하여 인력과 자원을 집중시켰다. 일례로 레이더의 전파 방해를 연구한 15분과에서는 몇 개의 특수 연구소를 설립했다. OSRD와의 계약으로 하버드 대학에는 라디오 연구소(Radio Research Laboratory)가 설립되어 스탠포드 대학의 프레더릭 터만(Frederick E. Terman)이 소장을 맡아 연구를 이끌었고, 1943년에는 실전에서 효과를 테스트하기 위해 영국 그레이트 몰번(Great Malvern)에 15분과 영미 실험실(American British Laboratory of Division 15, ABL-15)을 세웠다. 6분과에 속했던 항공 장비 실험실(Airborne Instrument Laboratory)은 6분과의 프로젝트가 끝난 후에는 15분과 소속으로 바뀌어 유도 미사일 대응 방안을 연구했다.²³

그에 비해 16, 17분과에서 이루어진 연구의 성격은 달랐다. 전장에서 그때그때 필요한, 때로는 시급을 요하는 다양한 주제들이 이 분과에 떨어졌다. 지뢰 탐지, 카메라, 망원경, 외과 도구, 위장술, 적에게 보이지 않게 신호를 보내는 방법, 다이빙 장비, 소리 제어 등 단일한 분류를 허용하지 않는 다양한 주제들이 16, 17 분과에 맡겨졌다. 그로 인해 16, 17 분과의 연구들은 연속성이나 통일성이 부족하여 단일한 범주로 분류하기 힘든 주제들로 구성되었다. 다른 분과들이 연구 주제에 맞는 분과 명칭을 달고 있었던 것에 비해 16, 17분과가 “광학”이나 “물리학”이라는 포괄적인 학술 분과 명칭을 갖게 된 것은 이렇게 특화와 집중이

²³ Karl Compton, “Foreword of Electronics (Book One),” in *Applied Physics*, 3-4.

부족한 잡다한 연구 주제를 다루어야 했던 사정과 관련이 있다. 이런 연구 주제의 성격을 두고 16, 17분과에서는 자신들의 연구를 “과학 잡동사니 창고 (scientific catchall)”라고 자조적으로 표현했다.²⁴

물론 16, 17분과에서 단일 주제의 연구 프로젝트가 완전히 배제되었던 것은 아니다. 16분과에서 수행했던 위장술 프로젝트나 17분과의 지상 지뢰 탐지 프로젝트 등은 단일한 성격의 연구 주제였지만, 이들 단일 프로젝트들은 눈에 띄만한 성과를 내지 못했다. 이런 저조한 연구 성과는 이 프로젝트들의 성격과 관련이 있어 보인다. 위장술 프로젝트나 지뢰 탐지 프로젝트 모두 현장 대응형 성격이 강했던 연구들이다. 이 연구들은 그 기술이 적용되는 야외 현장의 특수성이 큰 변수로 작용하는 연구들로서 실험실 연구보다 필드의 환경이 더 중요하게 작용했다. 위장술은 그 현장이 호수인가, 수풀 지대인가에 따라 달라졌으며 지뢰 탐지 기술도 마찬가지로였다. 일례로 아프리카에서의 지뢰 탐지를 목적으로 개발한 금속 탐지 기술은 자기 성분이 많은 이탈리아 토양에서는 제대로 작동하지 않는 등의 어려움에 봉착했다. 게다가 적군의 지뢰 사용 전략에 따라 대응 기술이 바뀌어야 한다는 점도 현장 대응형의 성격을 강화했다. 16, 17분과에서 이루어진 단일 연구 성격의 프로젝트들은 “예정된 과학적 목표가 있는 여타 프로젝트와는 다른” 성격을 지녔던 것이다.²⁵

16, 17분과에서 이루어진 연구 개발에도 예정된 과학적 목표는 있었지만, 연구 개발들마다 이 목표들은 상이했다. “광학 도구 생산의 가속”이라는 하나의 주제로 정리된 것들 안에서도 광학 유리 대체제 개발, 광학 유리 몰딩 개발, 합성 광학 형식 연구, 루프 프리즘 개발, 트리플 미러 개발, 박막 필름 개발 등 각각의 주제가 상이했다. 때로는 장병들의 생명에 직결된 시급한 주제가 맡겨지기도 했는데, 탱크나 잠수함의 일산화탄소 농도 측정이나 비행사들의 혈중 산소 농도 측정기 같은 연구 과제들이 의뢰되기도 했다. 이와 같이 제각각이고 시급한 연구 주제들이 맡겨짐에 따라 16, 17분과에서는 산업체에서 기존에 축적한 연구 성과를 활용하거나 산업체의 연구 자원을 활용하는 계약 연구 방식으로 연구 개발을 진행하는 일이 많았다. 이에 따라 대학의 기초 연구에서 산업체의

²⁴ Harrison ed., “Optics: Introduction,” 200.

²⁵ 위장술 프로젝트는 Harrison ed., “Optics: Camouflage Projects,” in *Applied Physics*, 254-263; 지상 지뢰 프로젝트는 Harrison ed., “Optics: Land-Mine Countermeasures,” in *Applied Physics*, 289-303. 인용은 303.

응용 연구로 이어지는 선형 모델과는 다른 연구 개발 경로가 등장하는 경우가 많았다.

적외선 전자 망원경 연구나 인광 연구는 대학의 기초 연구에서 산업체의 응용 연구로 이어지는 기술 혁신 모델과는 달리, 산업체가 기초 연구나 원천 연구를 수행한 사례에 해당한다. 적외선 전자 망원경 연구는 1930년대 초부터 RCA의 전자 공학 연구소에서 이루어져 1936년에는 관련 논문이 광학 학회지에 출판되기도 했다.²⁶ 1935년 벌써 작동 모델이 만들어질 정도로 전자 망원경에 대한 연구는 전쟁 전에 상당 수준까지 이루어진 상태였다.²⁷

야간 지상 작전 및 야간 항공 작전용 적외선 시스템에 응용할 수 있는 가능성이 알려지자 NDRC는 1941년 RCA의 적외선 전자 망원경 연구 개발을 확대하기 위한 연구 용역 계약에 들어갔다. 이를 통해 전쟁이 지속된 4년 동안 RCA는 최소 13종의 전자 망원경을 설계했고, 이렇게 생산된 망원경들은 차량과 전투병에게 지급되었다.

적외선 전자 망원경 개발 성공은 적외선 암시경(snooperscope)과 야간 저격용 적외선 조준기(sniperscope) 개발로 이어졌다. 야간 저격용 적외선 조준기는 1943년 말이 되면 개발이 완료되고 테스트까지 마쳐 실전 투입을 기다리게 되었지만, “좀 이상한 보안 조치의 희생양”이 되었다. 해군 선박에 실린 적외선 장비의 비밀이 알려질 것을 두려워한 해군은 육군 지상병이 이 기술을 사용하는 것을 반대했던 것이다. 결국 야간 저격용 적외선 조준기는 개발 완료 후 1년도 더 지난 1945년 4월에 가서야 오키나와 전선에 투입되었다. 오키나와 전선 사상자의 30%가 이 조준기와 유능한 저격수들 덕분이라는 과감한 주장을 내놓을 만큼 야간 저격용 적외선 조준기의 성능은 뛰어났다.²⁸

인광을 이용한 새로운 광원을 찾는 연구도 산업계에서 기초 연구가 시작된 사례에 해당한다.²⁹ 이 연구는 RCA 연구소의 레버렌즈(H. W. Leverenz)의 제안에 따라 시작되었다. 인광 물질 결정에 고전압의 전자를 쏘아주면 결정 내부에서 음극선 발광이 일어나는데, 이 발광이 결정의 긴 쪽을 따라 내부에서 반사

²⁶ V. K. Zworykin and G. A. Morton, “Applied Electron Optics,” *Journal of the Optical Society of America* 26:4 (1936), 181-189.

²⁷ 16분과의 전자 망원경 및 적외선 암시경, 야간 저격용 적외선 조준기 연구에 대해서는 Harrison ed., “Optics: Infrared Electron Telescope,” in *Applied Physics*, 241-243 참고.

²⁸ *Ibid*, 243.

²⁹ Harrison ed., “Optics: Phosphor Light Source,” in *Applied Physics*, 249-251.

를 하면서 증폭되면 결정의 끝 단면이 광원의 역할을 할 수 있게 된다는 것이었다. 레버렌즈의 제안을 받아들여 NDRC는 카네기 연구소의 지구 물리 실험실에 인광 물질 후보를 찾는 연구를 의뢰했고 이에 따라 RCA와의 긴밀한 협조 속에서 카네기 연구소는 규산아연광(willemite)을 결정화하는 연구를 진행했다. 이 연구는 합성 결정의 발광 특성에 대한 정량적 수치가 예상과 달라 결국 실용화되지 못했지만, 그 연구 과정은 산업계에서 기초 연구가 이루어지고 카네기 연구소와 같은 기초 연구 기관에서 이를 이어 개발 연구를 진행한 사례를 보여 준다. 이 연구에서는 선형 모델에서 제시되는 대학(기초 과학 연구소)과 산업체의 역할 분담이 정확하게 반대로 일어난 것이다.

적외선 기술 연구는 산업계가 대학의 기초 연구 없이 연구 개발을 주도한 사례에 해당한다. 이 연구는 적외선 광원, 가시광선 차단 필터, 비결상 검출기(nonimaging detector), 적외선을 가시광선으로 변환시키는 영상 장치의 네 파트로 이루어져 있는데, 이들 모두에서 미국 산업체의 축적된 역량이 발휘되었다. 실제로 제2차 세계 대전 발발 직후부터 적외선의 군사적 응용 가능성에 대한 논의는 많았지만 실용적 장비 개발은 이루어지지 않은 상태였다. 이에 독일·일본·미국 과학자들 모두 적외선을 이용한 군사 장비 개발에 뛰어 들었지만 결과적으로 봤을 때 승리는 미국 기술자들의 몫이었다. 산업체에서 각종 전등을 개발한 경험을 가진 엔지니어들이 그 일을 해냈던 것이다.³⁰

적외선 광원 개발에서는 GE의 램프 개발 부서가 주도적인 역할을 담당했다. GE는 다양한 종류의 적외선 광원을 제공하여 항공기 위치 표시기, 야간 운항 보조 장치 등의 적외선 시스템 개발을 도왔다. 또 이동용 해안선 표시기(beach marker)를 개발하여 자동으로 수평선을 표시하는 빔을 쏘아 상륙 부대를 안내하는 장치를 개발했다. 뉴욕 롱아일랜드에 위치한 웨스턴 유니온(Western Union) 연구소에서는 농축 아크등을 개발하여 전쟁 중 약 6,000개의 아크등을 생산하여 실전에 투입했다.³¹

적외선을 신호·통신·인식 시스템에 이용할 때는 적외선 광원에서 발생하는 가시광선은 차단하면서 근적외선을 통과시키는 필터가 필요했다. 16분과는 플라로이드 사에 이 일을 맡겼다. 기존 필터는 셀로판지를 염색한 것이었다. 그

³⁰ 16분과의 적외선 관련 연구들은 다음을 참고. Harrison ed., "Optics: Invisible Light Made Visible by Phosphors," in *Applied Physics*, 227-243.

³¹ Harrison ed., "Optics: Infrared Sources," in *Applied Physics*, 228-231.

런데 열이 가해질 때 염료가 셀로판지보다 더 안정적이었으므로, 폴라로이드 사는 기존 필터에서 셀로판지를 제거하는 연구를 수행했다. 폴라로이드 사는 셀로판지 대신에 유리에 염료를 증발시켜 코팅하는 방식으로 새로운 필터를 개발했고 후에는 유리 대신 나일론 시트를 사용하는 필터를 이용하기도 했다. 고온, 기후 조건, 가시광선과 적외선 노출의 영향, 강력한 자외선 노출에 대한 영향 등 필터의 안정성을 확인하는 다양한 테스트를 수행한 후에 적외선 필터는 실전에 투입되었다.³²

유리 대체재 개발은 산업계와 대학 연구실의 협력을 통해 연구 개발이 이루어진 사례에 해당한다. 광학 유리 생산은 독일이 세계 최고의 수준을 자랑하고 있었다. 1차 대전 당시 독일산 광학 유리와 염료의 수입이 막혀 어려움을 겪었던 미국은 참전이 이루어지기 전인 1940년부터 유럽 대륙의 전쟁으로 인해 국내 광학 유리가 부족할 것을 우려하여 유리 대체재 개발에 착수했다. 이에 NDRC의 용역으로 폴라로이드 사에서는 정밀 광학 도구에 사용할 수 있는 고품질 광학 플라스틱 개발에 착수했다.³³

폴라로이드 사의 연구 개발은 기존의 고품질 플라스틱이 가진 단점을 극복하는 데서 시작되었다. 비균질성, 높은 수분 흡수율, 표면 부정확성, 낮은 연화 온도, 낮은 마멸 강도, 온도에 큰 영향을 받는 굴절률 등 기존 고품질 플라스틱을 광학 유리의 대체재로 사용하기 위해서는 개선되어야 할 점이 많았다. 폴라로이드 사의 연구진들은 130종 이상의 유기 화합물을 조사하여 그 중 17종을 광학 플라스틱의 후보 물질로 선정했고, 최종적으로는 수분 흡수율이 낮고 균질하면서도 정확한 광학 부품을 만들 수 있는 두 개의 물질, 사이클로헥신 메타크릴레이트(cyclohexyl methacrylate)와 스타이렌(styrene)을 광학 플라스틱으로 선정하여 생산에 들어갔다.

폴라로이드 사의 광학 플라스틱 개발이 이루어지자 추가적인 개량 및 테스트 업무는 대학에 맡겨졌다. 사이클로헥신 메타크릴레이트와 스타이렌의 경도(hardness)가 낮아 광학 플라스틱에 흠집이 나기 쉬운 단점 보완을 위해 캘리포니아 공과대학에서는 광학 플라스틱의 표면 강화 공정을 개발했고, MIT는 생산된 광학 부품에 대한 테스트를 수행했다.

³² Harrison ed., "Optics: Infrared-Transmitting Filters," in *Applied Physics*, 231-232.

³³ Harrison ed., "Optics: The Accelerated Production of Optical Instruments," in *Applied Physics*, 204-205.

부시의 『과학, 끝없는 프런티어』에 제시된 기술 혁신의 선형 모델이 2차 대전 전시 연구 과정을 모델화한 것처럼 여겨지지만, 16분과에서 이루어진 연구들은 2차 세계 대전 당시 전시 연구 과정이 그렇게 단조롭지 않았고 기술 혁신의 역할 분담도 그렇게 선명하지 않았음을 보여준다. 적외선 전자 망원경이나 인광 발광 물질 연구에서 기초 연구의 출발지는 대학이 아니라 RCA와 같은 산업체였다. 유리 대체재 개발에서 기초 연구 및 개발은 폴라로이드가 담당했고 칼텍이나 MIT는 개량이나 부품 테스트 같은 연구 개발의 후반 작업을 담당했다. 적외선 기술은 거의 전적으로 산업체에서만 이루어졌다. 이에 대해 적외선 기술의 기초 연구는 오래 전 대학에서 이루어지고 전시 연구에서는 그 응용에 해당하는 연구만이 나타난 것이 아니냐고 반문할 수도 있다. 하지만 20세기 초 미국 산업체와 대학의 연구 역량의 차이를 생각해 보면, 적외선 기술에 대한 기초 연구가 미국 대학에서 등장했을 가능성은 낮아 보인다.

16분과의 연구들은 제2차 세계 대전 전시 연구에서 이루어진 기술 혁신이 선형적인 과정이 아니라 그보다는 훨씬 복잡한 과정과 다양한 역할 분담을 통해 이루어졌다는 점을 보여준다. 특정한 기술 개발을 위해 대학의 기초 연구이든 산업체의 응용 연구이든, 아니면 산업체의 기초 연구이든 대학의 응용 연구이든 지에 상관없이 가용한 자원들을 끌어 모으고 그것을 재배치함으로써 기술 개발이 가능했다. 그 과정에서 산업체는 기초, 응용을 모두 수행하고, 반대로 대학도 기초, 응용, 테스트 등 기술 개발에 필요한 모든 과정을 담당하게 되었던 것이다.

4. 전쟁을 위한 연구, 평화를 위한 연구

물리학을 다루는 17분과는 3개의 섹션으로 구성되었다. 그중 17.1 섹션과 17.2 섹션은 “도구와 전기 장비”가 주제였고 17.3 섹션은 “음향학”을 다루었다. 17분과의 연구 성과는 “Optics”의 6장 “전쟁과 연구의 도구들”, 7장 “소리 통제와 발전”, 8장 “지뢰 탐지”에 정리되었다.

각 장의 제목에서 알 수 있듯이 7장과 8장은 단일한 연구 주제를 중심으로 구성되어 있다. 7장의 소리 통제와 관련된 연구들은 원하는 소리의 전파, 소음 제거, 전쟁터의 소음이 군인에게 미치는 물리적, 심리적 영향, 불리한 조건에서

의 음성 통신에 관련된 문제 등을 다루었다. 음향학 연구는 1940년부터 1946년 1월까지, 주로 하버드 대학의 전자 음향 연구소와 심리 음향 연구소를 중심으로 이루어졌다. 여기서 마이크와 이어폰으로 구성된 인터폰 시스템의 개선을 위한 연구가 진행되어, 그 결과 전기로 만든 인공 음성의 표준화 작업이 이루어지고 이어폰의 반응 특성을 측정하기 위한 인공 귀가 벨 연구소와의 협력 하에 만들어져 표준화 되는 성과를 내기도 했다. 하지만 이 분과의 연구들은 16, 17분과의 다른 섹션에서 이루어진 연구들에 비해 상대적으로 새로운 연구 주제이고 인간의 듣고 말하기와 관련된 생리학적, 심리학적 접근이 함께 이루어져야 하는 포괄적인 주제들이라서 광학이나 도구와 관련된 연구에 비해 구체적인 성과로 이어진 것은 상대적으로 많지 않았다.

지상 지뢰 대응책 연구를 다룬 8장의 연구는 지뢰 탐지라는 단일한 주제를 다루었다. 지뢰 탐지는 병사들의 생사가 걸린 문제라서 NDRC 외에도 육군, 육군-해군 공동 기술팀, 군대와 직접 용역 계약을 맺은 민간 기술팀 등 여러 방향에서 이 문제의 해결을 위한 연구에 뛰어 들었다. 하지만 투입된 노력에 비해 지뢰 탐지 연구에서는 실용성 있는 연구 성과가 나오지 못했는데, 적군의 지뢰 사용 전략이 지속적으로 바뀌고 지뢰가 묻혀 있는 지형 조건도 지역마다 달라졌기 때문에 변화하는 조건을 모두 만족시키는 다목적 탐지 기술의 개발에 어려움을 겪었다. 이로 인해 8장의 말미에서는 “NDRC의 지상 지뢰 프로그램은 광학 도구나 적외선 시스템, 음향학 분야의 연구에서 이룬 성공에 이르지 못하는 것”이라는 결론을 피할 수 없을 것 같다”며 실패를 자인할 수밖에 없었다.³⁴

7장이나 8장에 비해 6장 “전쟁과 연구의 도구들”에서 소개된 연구들은 구체적이고 실용성 있는 성과로 이어졌다. 6장에는 19개의 연구 성과가 소개되었는데, 도구 개발 연구라는 점을 제외하면 19개의 연구를 하나로 묶을 수 있는 공통점을 찾기가 힘들 정도로 다양한 주제의 연구가 이루어졌다. 그 중 일부는 무기의 성능을 높이거나 무기 운용의 효과를 높이는 것과 관련된 연구들로 전쟁터와 직접 관련이 있기도 했지만, 일부 연구는 전쟁터와는 무관하게 생산 노동자나 연구자를 위한 것들이기도 했다.

유니온 스위치 앤 시그널(Union Switch and Signal Company)과 걸프 R&D(Gulf Research and Development Company), MIT가 개발에 참여한

³⁴ Harrison ed., “Optics: Land-Mine Countermeasures,” in *Applied Physics*, 289-303, 인용은 302.

수중 감응 지뢰 개발, 폭탄의 비행 시간이 폭탄 낙하에 미치는 영향을 측정하기 위해 걸프 R&D가 개발한 폭탄용 고주파 전파 송신기 등은 전쟁 무기의 성능과 효과를 높일 목적으로 이루어진 연구였다.

무기의 안정성 확보에 필요한 다양한 측정 도구들을 개발하는 일도 맡겨졌다. 기계나 구조물의 변형을 측정하는 변형계(stain gauge), 총신의 팽창 정도를 확인하는 측정기, 비행기 프로펠러 날의 두께를 측정하는 장비 등이 여기에 해당한다. 이런 측정 장치들은 손상 없이 무기의 물리적 상태를 측정하여 그 안정성을 확보하는 것을 목표로 했다. 이런 연구들은 해당 부대가 NDRC에 요청하면 위원회가 민간 연구 개발 조직에 용역을 주는 방식으로 이루어졌다. 변형계는 개발 중인 군사 도구를 시험하는 과정에서 일어날 수 있는 구조적 변형을 측정할 목적으로 육군 항공대가 의뢰한 경우에 해당한다. 육군 항공대는 시험 비행기의 구조 변화나 대포의 시험 발사 후의 구조 변형 등을 측정하기 위한 정밀 변형계 개발을 의뢰했는데, 크기는 작으면서 온도 변화에 영향을 받지 않아야 하고 최대 변형량을 100% 가까운 정확성으로 측정해야 한다는 등의 조건을 제시했다. NDRC는 펜실베이니아 대학에 의뢰하여 육군 항공대의 조건을 만족시키는 변형계를 개발하는 데 성공했다.³⁵

비행기 프로펠러 날의 두께에 대한 비파괴 측정기도 육군 항공대가 의뢰한 연구였다. 이번에도 육군 항공대는 ± 0.003 인치의 오차 범위라는 사양을 요구했다. 이 연구는 텍사스 사(Texas Company)의 지구 물리학 연구소에 맡겨졌다. 텍사스 사는 농축 방사능 셀레늄 소스를 이용하여 거기서 방출되는 감마선이 날개를 통과하여 반대편 가이거-뮐러 계수기에 검출되는 수를 측정하는 방법을 채택하여 육군 항공대의 사양에 맞는 측정기를 개발했다.³⁶

무기는 아니지만 실제 전쟁터에서 사용되는 장비들의 성능과 안전성을 높이기 위한 유지·관리 기술들도 전쟁 도구의 일부로 개발되었다. 헬륨 순도 측정기는 비행선 내의 헬륨에 불순물이 섞여 있는가를 측정하기 위한 장치로 뉴저지 레이크hurst에 위치한 해군 비행장(Naval Air Station)의 요청으로 개발에 착수했는데, 해군은 공기 불순물의 농도를 0~10%까지 0.5%의 정확성으로 측정할 수 있는 휴대용 측정 장치 개발을 의뢰했다. 이 연구는 NDRC의 용역 계약

³⁵ Harrison ed., "Optics: Strain Gauges," in *Applied Physics*, 272.

³⁶ Harrison ed., "Optics: Measurement of Wall Thickness of Propeller Blades," in *Applied Physics*, 272-273.

에 따라 펜실베이니아 대학과 걸프 R&D에서 이루어졌다. 펜실베이니아 대학은 헬륨과 공기 혼합물의 비율에 따라 음속이 달라지는 원리를 적용한 제품을 개발했고, 걸프 R&D는 헬륨의 불순물 농도에 따라 색이 변하는 액체를 이용한 측정기를 개발하는 등 2종의 헬륨 순도 측정기가 전쟁 중에 개발되었다.³⁷

차량이나 비행기의 운항 거리를 기록하는 주행 기록계도 전쟁 도구로 개발되었다. 주행 기록계는 먼저 차량용으로 카네기 연구소의 지구 자기 부서에서 시범 개발이 이루어진 후에 몬로 계산기 사(Monroe Calculating Machine Company)와 IBM에 의해 파일럿 모델이 제작되고 후에 IBM 연구진에 의해 비행기용 주행 기록계의 제작으로까지 이어졌다. 전쟁 중에만 수천 대의 지상용 주행 기록계와 50대 가량의 비행기용 주행 기록계가 생산되어 자동차와 비행기에 장착되었고, 보트와 수륙 양용 차량을 위한 주행 기록계도 생산되었다.³⁸

전쟁 종사자들의 생명과 연결된 장비들에 관한 연구도 이루어졌다. 이는 무기의 효율적인 운영이라는 측면과도 연결되어 있었다. 비행사들의 혈중 산소 농도를 측정하는 옥시미터(oximeter)는 높은 고도에서 비행사들이 겪는 산소 결핍에 대한 생리학적 연구와 산소 결핍의 위험성을 비행사들에게 알리는 용도로 개발되었다. 특히 산소 결핍으로 인한 증상이 서서히 나타나서 비행사들이 그 위험성을 인지하기 어렵다는 점을 감안하여 비행 훈련 중에 혈중 산소 농도를 측정하여 그 위험성을 인지하고 실전에서 대처할 수 있도록 하는 것도 옥시미터의 주된 개발 목표 중의 하나였다. 이 연구는 펜실베이니아 대학의 존슨 재단에 맡겨져서 존슨 재단은 1939년부터 해온 광전 효과를 이용한 측정 장치 개발을 이어 나가 전쟁 중에 옥시미터는 널리 사용될 수 있었다.³⁹

존스 홉킨스 대학에서 개발된 적외선 가스 분석기도 병사들의 생명을 구하기 위한 장치로 개발되었다. 기체의 적외선 흡수 스펙트럼 밴드를 분석하여 기체의 농도를 측정하는 이 장치는 탱크나 잠수함 내부의 일산화탄소 농도를 감시할 용도로 만들어졌다. 적외선 가스 분석기는 탱크 내부의 환기구에 설치하여 포발사로 인해 탱크 내부에 일산화탄소 농도가 특정 농도 이상으로 올라가면 탱크를 환기시킬 수 있도록 했으며, 잠수함 내부에서도 일산화탄소 농도가 올라가

37 Harrison ed., "Optics: Helium Purity Indicators," in *Applied Physics*, 266-267.

38 Harrison ed., "Optics: Compasses and Odographs," in *Applied Physics*, 268-269.

39 Harrison ed., "Optics: Oximeters," in *Applied Physics*, 267.

면 자동 경보 시스템이 작동할 수 있도록 만들어졌다. 존스 홉킨스 대학에서 개발된 이 장치는 전기 장치 등 다양한 과학 장비를 만들었던 리즈 앤 노쓰럽사(Leeds & Northrup Company)에서 생산을 담당했다.⁴⁰

부상병의 수술 시 금속 파편의 위치를 찾기 위한 금속 탐지기처럼 병사의 생명과 직결된 장비도 개발 되었지만, 전쟁터와는 거리가 먼, 하지만 전쟁을 지원하는 종사자의 건강을 위한 장비가 개발되기도 했다. 방사능 물질을 다루는 노동자들이 방사능 독성에 노출되는 것을 막기 위해 개발된 라돈 측정기가 이에 해당한다. 방사능 물질을 다루는 사람의 호흡에 포함된 라돈 가스의 양을 측정하여 방사능 독성을 측정하는 장치는 전쟁 전부터 사용되었지만, 전쟁 중 MIT에 용역을 맡겨 개발한 장치는 시간 당 150개의 알파 입자 방출을 기준으로 삼아 최소로 제시된 기준치보다 10배 더 민감한 장치를 개발했다. 전쟁이 끝난 후에도 관련 산업계 노동자의 건강과 관련 연구 종사자의 건강을 지키는 데 이 장치가 큰 역할을 했을 것이라는 점은 의심하기 어렵다.⁴¹

6장에 소개된 다양한 연구들은 그 대부분이 구체적인 실용적인 성과로 이어져 전쟁 중에 널리 사용되는 경우가 많았다. 하지만 단일 목표를 위해 연속성을 가지고 이루어진 연구도 아니고 개개의 성과만 놓고 보면 그 자체가 전쟁의 승리에 결정적인 기여를 하는 것도 아닌 이 연구 성과들에 대해 높은 평가를 내리기도 쉽지 않은 일이었다. 이렇게 필요하지만 중요해 보이지는 않은 연구 성과들에 대해 집필진도 어떤 평가를 내려야 할지에 대해 고민을 했던 것으로 보인다. 그들의 고민은 다음과 같은 평가를 통해 나타났다.

우리의 전시 연구 상당수가 무기 개발로 이어져 대중의 경외감과 존경심을 빠르게 얻지만, 그만큼 중요한 과학적 진보가 측정기, 계량기, 계기 장치 등 각종 측정 장치 및 기계화된 전쟁에 필수적인 다른 도구들을 생산하기 위해 애쓰는 물리학자들에 의해 이루어졌다. 이런 도구들이 없었다면 민주주의의 무기고는 그만큼 효과적으로 작동할 수 없었을 테지만, 당연지사라 미국 과학자들은 신형 무기 생산으로 칭송받지 X선 촬영(X-ray radiography)이나 원격 측정 장치, 주행 기록계 등등 일반 장비 제작 분야에서의 성과로는 칭송받지 못할 것이다. 그럼에도 불구하고 후자를 생산하는 일은 의심할 바 없이 평화 시의 행복(welfare)에 가장 직접적인 영향을 미칠 것이다.⁴²

⁴⁰ Harrison ed., "Optics: Strain Gauges," in *Applied Physics*, 268.

⁴¹ Harrison ed., "Optics: Radon Indicator," in *Applied Physics*, 267-268.

고민이 반영된 이 평가는 16, 17분과의 연구 개발 성과에 대한 적절한 평가가 아닐 수 없다. 그들의 연구는 전쟁 직후에 대중의 존경을 얻지도 못했고 역사가들의 관심을 끌지도 못했지만, 전쟁이 끝난 바로 그 순간부터 대중들의 생활 속으로 들어가 “행복”을 일구는 데 기여했다. 또한 사용자의 수라는 측면에서 보면 이 연구 성과들은 원자 폭탄보다 더 많은 사용자를 만났고 더 많은 사람들에게, 더 넓은 지역에서, 더 많은 시간에 걸쳐 사용되었다. 과연 원자 폭탄 개발과 측정기, 계량기, 계기 장치의 개발 중에서 어느 편이 더 중요하다고 할 수 있을까.

5. 결론

2차 대전 당시 NDRC의 16, 17 분과에서 이루어진 연구 개발 활동들은 전시 연구에서 산업체의 역할 및 산업체 연구의 성격을 잘 보여준다. 전시 연구를 모델로 했다는 선행 모델에서 기대되는 역할과는 달리, 2차 대전 전시 연구에서 산업체는 기초와 응용을 가리지 않는 다양한 역할을 수행했다. 이는 기초 연구는 대학이, 응용연구는 산업체가 담당하는 『과학, 끝없는 프런티어』 식의 선행 모델에서 제시된 역할과는 달랐다. 이는 대학도 마찬가지로 대학 또한 기초 연구뿐만 아니라, 응용에서 시료 테스트까지 연구 주제에 맞게, 기관의 특성에 맞게 적절한 역할을 담당했다.

16, 17분과에서 이루어진 연구들은 전쟁터의 필요에 따라 의뢰된 연구에 대해 최대한 빨리, 최대한 효율적으로 결과를 얻어야 하는 연구들이었다. 가용 자원들을 최대한 동원하여 빠른 연구 성과를 내는 것이 무엇보다 중요한 연구들이었다. 대학의 기초 연구, 산업체의 응용 연구라는 경로를 따라 느긋하게 가기에 는 시간이 촉박한 연구들이었다. 그 결과 기술 개발을 위한 기초 연구와 응용 연구 자원이 축적되어 있던 산업체가 연구 개발에 주도적인 역할을 담당했고 가용 연구 자원의 새로운 조합을 통해 기술 혁신이 이루어졌다.

이것이 16분과와 17분과만의 특징일까? 이 분과들에서 이론 연구 성과들, 특

⁴² Harrison ed., “Optics: A History of Division 16 and 17,” in *Applied Physics*, 264. (굵은 글씨는 필자 강조)

히 각종 측정기, 계량기, 계기 장치, 표준화 도구, 광학 장비 등의 연구 개발은 기기의 유지 관리와 정확한 작동을 위해 필요한 장비들이었다는 점에서 이런 연구들은 원자 폭탄 개발에서도, 레이더 개발에서도 함께 이루어져야만 하는 연구들이었다. 이런 점에서 이 분과에서 나타난 산업체와 대학의 역할 분담 및 산업체 연구의 기여는 원자 폭탄 개발에서도, 레이더 개발에서도 찾아볼 수 있는 것들이었다.

그럼에도 불구하고 이런 산업체의 연구보다 대학의 기초 과학 연구가 전후 사회적인 주목을 받은 것은 그 연구들이 더 중요해서라기보다는 그 연구들이 새롭게 중요해졌기 때문이라고도 생각해볼 수 있다. 산업체에서 시작된 연구의 전통이 대학으로 들어가 그 실제적 효과를 보여준 것이 바로 2차 세계 대전의 전시 연구였던 것이다. 이런 점에서 볼 때 부시의 메시지를 선형 모델이 아닌, 산업체 연구에 비해 뒤떨어진 대학 기초 연구의 낙후성을 극복하기 위한 투자 호소로 해석한 에저튼의 해석에 대해 다시 한 번 주목할 필요가 있어 보인다.⁴³

(투고: 2019년 4월 5일, 심사 완료: 2019년 4월 14일, 게재 확정: 2019년 4월 15일)

43 Edgerton, “‘The Linear Model’ Did Not Exist” (cit. n. 1).

“With the Tools of Production More Than with the Fighting Weapons”: Optics R&D in the NDRC during World War II

PARK Mina (Hanyang University)

Abstract. This paper analyzes American industrial contributions to wartime R&D efforts during World War II, by examining various R&D works of divisions 16 (Optics and Camouflage) and 17 (Physics) of the National Defense Research Committee. The R&D outcomes of divisions 16 and 17 were “scientific catchall”: there was no coherent research program, no concentration on a single project. Diversity of their research topics and urgency of their tasks led to the active use of reservoirs of industrial research. By investigating R&D processes and division of labor between industry and academia in various R&D works of division 16 and 17, this paper critically examines the effectiveness of the linear model of innovation.

Keywords. NDRC, OSRD, industrial research, optical research, scientific research during WWII, linear model of innovation