제6장

과학과 기술의 상호 작용

—지식으로서의 기술과 실천으로서의 과학

과학과 기술의 관계를 이해하는 것은 우리가 살고 있는 현대 사회 속에서 과학과 기술이 수행하는 사회적 · 정치적 역할을 이해하고, 과학 기술 연구를 기초로 한 기술 · 경제적 혁신의 바람직한 방향을 모색하기 위해 꼭 필요한 작업이다. 그렇지만 과학과 기술의 관계에 대해서는 "과학 기술 혁명을 거치며 과학과 기술은 결합해서 하나가 되었다"거나 "현대 기술은 과학의 내용과 방법이 응용된 응용과학 applied science이다"라는 식의 소박하고도 현실의 과학 기술의 관계와는 거리가 있는 견해들이 비판 없이 널리 받아들여지고 있다. 이 글의 목적은 이러한 소박한 견해를 뛰어넘는 데 있다. 이를 위해 나는 1970년대 이후 서구 기술사학자들에 의해 주장된 '지식으로서의 기술'이란 기술의 특성과, 1980년대 이후 과학사 · 과학철학 · 과학사회학에서 강조된 '실천으로서의 과학'이란 과학에 대한 새로운 이미지가 과학과 기술의 관계에 대한 이해를 어떻게 새롭게 하는가를 제시할 것이다. 이에 기초해서 우리는 과학과 기술이 하나로 뭉뚱그려지지도 않았고, 모든 기술이 과학의 응용도 아니지만, 현대 과학과 기술은 그것들의 이론과 실천이 교차하고 상호 작용하는 다양한 종류의 '접점들interfaces'을 계속 만들어왔고, 또 만들고 있음을 볼 수

있을 것이다.[1]

1. 과학자 사회와 기술자 사회

과학과 기술이 결합해서 하나가 되었다는 주장을 선뜻 받아들이기 어려운 이유 중 하나는 과학자와 기술자의 교육 과정이, 그 유동성에도 불구하고, 분리되어 있다는 데 있다. 우리는 대학의 학부, 석사과정에서 공학을 전공하고 과학으로 전공을 바꾸어서 석사, 박사과정을 이수하는 경우나 그 반대의 경우를 어렵지 않게 보지만 이러한 경우가 보편적인 것은 분명히 아니다. 대학의 교육 과정에서 과학과 공학은 마치 과학과 의학처럼 분명하게 구분되어 있으며, 이 경계를 뛰어넘는 일은 대부분 한쪽의 전공을 포기하는 일을 의미한다. 또한 과학과 공학의 교육 과정에는 중요한 질적 차이도 존재한다. 예를 들어 과학 교육에서는 자연 현상에 대한 합리적 이해, 근본적 원리의 추구, 실험, 분석과 종합의 능력, 이론 체계의 중요성, 과학 언어(예를 들어 수학)의 숙달 등이 중시된다. 또 많은 경우 과학 연구의 궁극적 목적으로 자연에 대한 체계적 지식의 창조적 구성이 강조된다. 반면에 기술자들의 교육에서는 실제 사람이 만든 인공물 artifact에 대한 이해, 효과적인 디자인, 효율, 기술적 법칙의 응용과 이를 위한 과학의 변형 등이 강조된다. 분야에 따라 조금씩의 차이는 있지만 기술 교육에서는 상대적으로 근본적 원리나 이론의 중요성이 과학에 비해 덜하다.

이는 과학자와 기술자 집단이 서로 다른 가치 체계를 지닌 상이한 집단임을 암시한다. 기술자 사회의 가치는 '효용 efficiency'과 '디자인 design'으로 압축해서 표현할 수 있다. 효용과 디자인을 추구하는 기술자들의 활동은 철저하게 기존의 기술적 · 경제적 조건과 가능성의 테두리 안에서 이루어지며, 실질적으로 소용이 없는 이론은 기술자들의 사회에서는 별로 주목받지 못한다. 반면 과학자들이 이론의 응용 가능성을 깊이 염두에 두고 연구하는 경우는 거의 없다. 과학자들은 하나의 이론이 얼마나 깊은 인식론적 수준에서 자연 현상을 설명하고, 다른 현상을 예측하는가에 관심이 있다. 물론 많은 과학자들이 자신의 연구가 언젠가는 인류의 복지에 기여할 것이라고 생각하고 있지만 이런 믿음이 그들의 연구의 내용이나 범위를 결정해주는 것은 아니다.[2]

서구의 경우를 보면 과학자들의 집단과 기술자들의 집단은 그 역사적 뿌리부터가 매우 다른 것이었음을 볼 수 있다. 과학자 사회가 17세기 과학 혁명기부터 모습을 갖추었음에 비해 기술자 사회는 19세기 이후 형성되기 시작해서 19세기말~20세기초에 현재의 모습을 갖추었다. 서구 많은 나라에서 토목 · 도시 공학자 civil engineer와 기계공학자 집단이 가장 먼저 형성되었고 이후 화학공학자 · 전기공학자들의 집단이 나타났다. 영국의 경우 19세기 초엽부터 대학에 기술을 가르치는 교수 자리가 생겼지만, 대학이 본격적으로 엔지니어를

1) 이 글은 『창작과비평』 제86호(1994년 겨울)에 실렸고, 이후 송성수 편, 『우리에게 기술이란 무엇인가』(녹두, 1995)에 재수록되었다. 근대 과학과 기술의 관계에 대한 역사적인 논의로는 김영식 · 임경순, 『과학사신론』(다산출판사, 1999), pp. 223~36, 301~19 참조. 과학과 기술의 관계에 대한 최근 역사철학적인 논의로는 Sungook Hong, "Historiographical Layers in the Relationship between Science and Technology," *History and Technology* 15(1999) pp. 289~311 참조.

2) 과학자 사회와 기술자 사회의 차이에 대해서는 E. T. Layton, "Mirror-Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th-Century America," *Technology and Culture* 12(1971), pp. 562~80; 효용과 디자인에 대해서는 R. J. McCrory, "The Design Method—A Scientific Approach to Valid Design," in F. Rapp ed., *A Contribution to a Philosophy of Technology* (D. Reidel, 1976), pp. 153~73 참조.

육성하기 시작한 것은 19세기 후반이었다. 이들 첫 세대 엔지니어는 독자적인 교육 방법, 독자적인 시험과 제도적 장치를 통해 엔지니어를 교육하고 그들에게 자격을 부여했으며, 스스로의 규범과 가치 체계를 세워나갔다.[3] 과학자와 기술자 집단의 이러한 차이는 과학과 기술의 상호 작용이 흔히 생각하는 것보다 훨씬 복잡하고 미묘한 것일 수 있음을 암시하고 있다.

2. 과학과 기술: 정의 내리기의 문제

우리가 처음으로 해야 할 일은 과학과 기술의 정의를 내리는 것이다. 과학과 기술의 관계를 규명하는 작업을 위해 과학, 기술을 명확하게 정의하는 것은 매우 중요한데, 예를 들어 과학을 "생산을 비롯해서 인간이 자연을 변형시키기 위해 실제적으로 필요한 지식"이라고 정의한다면 과학과 기술은 고대부터 지금까지 줄곧 밀접한 관련을 맺어온 것으로 파악되기 십상이기 때문이다. 한 가지 손쉬운 방법은 과학과 기술의 차이를 부각시킴으로써 과학, 기술의 정의에 접근해보는 것이다. 1960년대까지의 과학사학자나 기술사학자는 '대상 object'에서 과학과 기술의 분명한 차이점이 존재한다고 생각했다.

3) 과학자들의 집단이 거의 전적으로 연구와 교육에 종사하는 사람으로 이루어진 반면 기술자들의 집단은 조금 더 다양하다. 아직도 현장 기사 중에 많이 남아 있는 장인, 개별 발명가, 기업가이자 기술자 entrepreneur-engineer 등도 기술자의 집단에 속한다. 또 기술자 사회가 과학자 사회와 다른 점 하나는 이것이 과학자 사회보다 위계적 hierarchical이라는 데 있다. 현대 기술자 집단의 주류는 엔지니어이며, 이들은 교육 · 발명 · 연구 · 개발과 같은 기술의 전영역에서 활동하고 있다. E. W. Constant, "Communities and Hierarchies: Structure in the Practice of Science and Technology," in R. Laudan ed., *The Nature of Technological Knowledge: Are Models of Scientific Change Relevant?* (D. Reidel, 1984), pp. 27~46 참조.

즉, 과학(과학자)은 자연을 다루고 기술(기술자)은 인공 artifact, man-made world을 다루고 있다고 간주했던 것이다. 이들은 이로부터 과학의 법칙 law은 보편적이고 미래 예측적이지만, 기술의 규칙 technological rule은 구체적이고 처방적 prescriptive이라는 주장을 이끌어내기도 했다.[4] 그렇지만 이런 아리스토텔레스 식의 차이는 곧 과학과 기술의 본질적인 차이가 될 수 없음이 드러났다. 많은 경우 과학의 대상인 자연은 자연 그대로의 자연이 아닌 '인간이 만든' 자연이었으며, 기술자들의 인공도 자연과 유리된 인공이 아니라 '자연의 연장'으로서의 인공이었던 것이다.[5]

또 다른 방법은 '동기 motivation'와 '과정 procedure'에서 과학과 기술의 차이를 찾아보는 것이었다. 즉, 과학의 동기는 지적 호기심이고, 기술의 동기는 실질적인 유용성 utility이라는 것이다. 또 과학은 가설 연역적이고, 검증하는 과정을 거치지만 기술은 가설을 응용하고 무엇을 실현시키는 과정을 중시한다는 것이다. 비슷한 구분으로 과학과 기술의 '목적 aim'에서의 차이도 종종 지적되었다. 직접적인 동기가 무엇이든 최종(따라서 종종 겉으로는 드러나지 않고 감추어진) 목적을 볼 때, 궁극적으로 과학 활동은 자연을 이해하기 위해서, 기

4) 대표적인 논의로는 M. Bunge, "Technology as Applied Science," *Technology and Culture* 7(1966), pp. 329~47 참조.

5) 간단한 예로 물리학에서의 옴의 법칙을 생각해보자. 옴의 법칙은 자연에 존재하는 자연 법칙이며 따라서 보편적이다. 그렇지만 실제로 옴의 법칙은 인공적으로 만들어준 전압원에 역시 인공적인 도체를 연결하고 도체에 흐르는 전류를 인공적인 기기를 통해 측정할 때 성립한다. 이러한 상황은 '순수한 자연' 어디에도 존재하지 않으며, 단지 과학자의 실험실에서 과학자의 실천과 측정, 기기와 인공물의 결합을 통해 나타날 뿐이다. 이와 같이 생각하면 왜 기술자들의 전신 · 전등 · 전화 · 발전기와 같은 인공물들이 자연 법칙인 옴의 법칙의 영향력을 벗어날 수 없는지 자명하다. 이에 대한 흥미있는 철학적 논의로는 I. Hacking, *Representing and Intervening: Introductory Topics in the Philosophy of Natural Science* (Cambridge, 1983), pp. 220~32 참조.

술 활동은 인공물을 만들고 개량하기 위해서 이루어진다는 것이다.[6]

물론 이러한 구분들에 문제가 없는 것은 아니다. 동기만을 보더라도 새로운 기술을 만들어내거나 기존의 기술을 개량하는 기술자들의 동기가 유용성에만 있는 것이 아니라, 호기심 · 상상력에도 있을 수 있다. 맥스웰J. C. Maxwell 같은 19세기 물리학자가 장론을 이용해서 모터의 효율을 분석한 논문의 목적이 회전하는 장의 특성을 더 잘 이해하기 위함인지, 모터의 효율을 높이기 위함인지 구별하는 것은 쉽지 않다. 그렇지만 더 근본적인 문제는 위에서 언급한 대상 · 동기 · 과정 · 목적에서의 과학과 기술의 구분이 모두 과학과 기술에 대한 '소박한' 생각에 근거했다는 데 있다. 위에서 언급한 대상 · 동기 · 목적에서의 과학과 기술의 차이를 다시 상기해보자. 어떤 경우에나 과학은 인간의 '지적 활동'과 그 결과 나타난 '지식'으로, 기술은 '육체적 활동'과 그 결과 생긴 '인공물'로 전제되어 있다. 과학의 결과는 지식의 축적으로, 기술의 결과는 물건의 탄생과 개량으로 나타난다. 쉽게 표현해서 과학은 지식이고 기술은 물건이며, 과학은 이론이고 기술은 실천이다. 또, 과학은 정신 노동의 산물이고, 기술은 육체노동의 산물이다. 여기에는 기술이 지식일 수 있고, 과학이 실천일 수 있다는 생각이 결여되어 있는 것이다.

6) J. K. Feibleman, "Pure Science, Applied Science, Technology, Engineering: An Attempt at Definition," *Technology and Culture* 2(1961), pp. 305~17; H. Skolimowski, "The Structure of Thinking in Technology," *Technology and Culture* 7(1966), pp. 371~83.

3. 지식으로서의 기술과 기술의 독자성

일반적으로 기술의 지식이라고 얘기되던 것들은 차라리 없느니만 못했다. 가장 흔한 얘기로 '주먹구구'가 있으며, 또 다른 예로는 '시행착오,' '상식,' '노하우know-how,' '숙련 지식' 등이 있다. 단순한 육체 노동에 필요한 사고와 별반 다를 것이 없다. '경험의 일반화'와 같은 표현은 그래도 기술의 지식적인 측면을 높이 사준 경우이다. 과학 지식의 특성을 묘사하기 위해 사용되는 현란한 철학적인 용어와 비교하면 초라하기 짝이 없다. 문제는 여기서 끝나지 않는다. 기술을 소박하게 인식하고 있는 사람들일수록 기술의 초라한 상태가 '힘들었던 옛날' 얘기라는 것을 기꺼이 인정한다. 그들은 요즘의 기술이 대장장이의 주먹구구가 아니며, 엄청난 양의 '지식'과 합리적인 '방법'의 기반 위에서 놀라운 속도로 발전하고 있음을 강조한다. 그렇다면 어떻게 옛날 기술에는 없었던 지식을 20세기 기술은 가지고 있는 것인가. 이를 위해 유명한 '응용과학applied science' 명제가 탄생했다. 즉, 19세기 후반 이후의 기술 지식은 과학의 응용이라는 것이다. 예를 들어 전기 기술은 맥스웰의 전자기 이론의 응용이며, 화학 기술은 화학의 응용, 철강 기술은 재료 과학의 응용, 디젤 엔진은 열역학의 응용이라는 식이다. 20세기 들어 나타난 새로운 기술도 마찬가지이다. 반도체 기술은 고체물리학의 응용, 유전공학은 DNA 발견 이후의 현대 생물학의 응용, 핵 발전은 핵물리학의 응용, 컴퓨터를 비롯한 정보 통신 기술은 사이버네틱스와 고등 수학 · 물리학의 응용이라는 것이다.

현대 기술이 과학의 응용이라는 생각은 과학과 기술의 관계를 불균등한 것으로 만들었다. 예를 들어 홀R. Hall과 같은 과학사학자는

기술이 과학에 미치는 영향으로 1) 측정 계기를 비롯한 실험 기기의 과학으로의 유입, 2) 기술에서의 데이터가 과학자들의 연구 대상이 되는 경우를 든 반면에, 과학이 기술에 미치는 영향으로는 과학 '이론'의 기술에의 응용을 들고 있다. 과학철학자인 마리오 붕게 Mario Bunge는 과학을 1) 순수과학과 2) 응용과학으로, 현대의 기술 지식을 1) 실재를 나타내는 substantive 지식과 2) 대상의 작동과 관련된 조작적 operative 지식으로 구분한 뒤, 이 기술 지식 중 1)은 과학의 이론이 직접 응용된 것이며, 2)는 과학의 방법이 응용된 것이라고 주장했다.[7] 이들의 주장에 따르면 결국 현대 기술은 응용과학 이외에는 다른 어떤 것도 될 수 없으며, 과학이 기술에 미치는 영향은 이론적이고 근본적인 것임에 반해, 기술이 과학에 미치는 영향은 기기의 제공과 같은 부차적인 것에 불과했다. 결국 기술의 지식적 측면을 경시하는 것은 "기술은 응용과학이다"라는 주장과 통하며, 이는 결국 과학과 기술 상호간의 영향을 불균등하고 위계적으로 만들었던 것이다.

1960년대말부터 소수의 기술사학자들을 중심으로 이 응용과학 명제에 대한 비판이 가해졌다. 비판자들은 "기술은 응용과학이다"라는 명제에 대항할 새로운 모토를 만들었는데 그것은 "지식으로서의 기술" 또는 "기술은 지식이다"라는 것이었다. 이를 처음으로 지적한 사람이 누구인가는 분명치 않지만(역사적으로는 아리스토텔레스도 기술을 지식으로 정의했다) 우리의 논의를 위해서는 경제사학자 로젠버그 N. Rosenberg와 기술사학자 레이턴 E. T. Layton이 지식으로서의 기술이란 개념을 정립하는 데 많은 영향을 미친 사람이라고 보아도 무방할 것이다. 로젠버그는 기존의 경제학자들이 기술의 미시 세계를 너무 등한시한 채로 단지 발명 invention과 혁신 innovation의 구분을 근거로 혁신의 경제적인 의미만을 추구하고 있는 것을 비판한 경제사학자이다. 로젠버그는 경제학자들의 이러한 사고의 저변에는 기술과 공학의 지식을 과소 평가하는 — 따라서 어떤 개념화만 이루어지면 마치 모든 기술적 문제가 해결된 것처럼 간주하는 — 경향이 존재한다고 지적하면서, 경제학이 기술의 문제를 제대로 다루기 위해서는 기술 지식의 발전 과정에 더 많은 관심을 기울여야 한다고 강조했다.[8]

레이턴의 연구의 출발은 미국의 기술자 집단의 성장이었다. 그는 이 연구로부터 19세기말~20세기초 기술자들이 과학자 집단과 비견할 만한, 나름대로의 지식 · 방법론 · 제도를 갖춘 집단으로 성장했다는 결론을 이끌어냈으며, 과학자 사회와 기술자 사회의 관계를 '거울에 비친 쌍둥이 mirror-image twin' (쌍둥이처럼 닮았지만 모습이 역전되어 있다는 뜻)라는 유명한 표현으로 비유했다. 그는 여기서 한 발 더 나아가 기술의 본질은 지식이라고 선언하면서, 기술 지식에 대해 다음과 같이 설명했다.

> 기술은 확실히 고대부터 합리적인 원리와 이론적인 구조에 근거해 왔다. 최근에 이르러서는 이러한 합리적인 요소들이 체계적인 지식의 형태, 즉 어떤 의미의 과학으로 탈바꿈했다. 그리고 과학과 기술간의 상호 영향의 모델에 가장 큰 문제를 던져주는 것은 바로 이 기술의 이론적인 부분이다.[9]

7) A. R. Hall, "On Knowing, and Knowing How to……," *History of Technology* 3(1978), pp. 91~103; Bunge, *op. cit.*, 주 4.

8) N. Rosenberg, "Problems in the Economist's Conceptualization of Technological Innovation," in *Perspectives on Technology* (Cambridge, 1976), pp. 61~84; "How Exogenous is Science?" in *Inside the Black Box: Technology and Economics* (Cambridge, 1982), pp. 141~59.

9) E. T. Layton, "Technology as Knowledge," *Technology and Culture* 15(1974), p. 37. '거울에 비친 쌍둥이' 개념에 대해서는 Layton, *op. cit.*(주 2) 참조.

레이턴은 또한 기술 지식의 핵심으로 '디자인의 능력'을 제시했다. 기술에 지식 · 디자인을 포함시켜 파악하면 기술이라는 것은 "인간이 만든 인공품 · 물건 · 도구 · 기능 · 디자인, 추상적인 관념"에 이르는 매우 넓은 스펙트럼을 가진 것으로 인식될 수 있다. 레이턴은 이에 근거하여 과학과 기술과의 관계도 수직적 · 위계적 관계가 아닌 수평적 · 대칭적 모델로 인식해야 한다고 주장했다. 레이턴의 모델에 의하면 과학과 기술은 그것들의 모든 영역에서 서로 영향을 미치며, 그 핵심은 과학 지식과 기술 지식과의 상호 작용이다.

기술의 본질을 지식이라고 한다면 기계, 생산 수단, 산업 설비와 같이 흔히 기술이라고 간주했던 '물건'들의 사회적 · 역사적 중요성을 떨어뜨린다는 반론이 있을 수 있다. 그러나 지식으로서의 기술은 인공물로서의 기술과 상충되거나 후자의 의미를 깎아내리는 것이 아니라, 오히려 그 의미를 더 깊은 차원에서 인식하게 해준다. 예를 들어보자. 산업 혁명기의 기계의 발달에 대해 많은 사람들이 "경제적 요구(필요)가 기계의 발달을 낳았다"는 설명에 만족해한다. 당시 직물 시장의 확대는 직물 기술을 낳았고, 이의 수송의 필요는 철도와 기차를 낳았고, 동력의 필요는 증기 기관과 전기를 낳았다는 식이다.[10] 경제적 견인만을 기술 발전의 원동력으로 보는 입장은 "경제의 요구가 있으면 그에 해당하는 기술은 발전하게 마련이다"라는 간단한 가정하에 서 있으며, 이 가정의 밑바닥에는 "기계로 상징되는 기술은, 복잡하긴 해도 결국 부품들의 조합이고, 이를 만드는 데 숙련

10) 산업 혁명의 기술 변화와 사회적 · 경제적 요인간의 상호 작용에 대한 마르크스 K. Marx의 분석은 소박한 '경제적 견인 economic pull' 주의자들의 주장과 거리가 멀다. D. A. MacKenzie, "Marx and the Machine," *Technology and Culture* 25(1984), pp. 473~502가 마르크스와 기술의 문제에 대한 좋은 길잡이가 될 수 있기에 여기서의 상술은 피한다.

과 경험 이상의 어떤 다른 것이 필요하겠는가"라는 기술 지식에 대한 경시가 깔려 있다. 그렇지만 이러한 주장은 왜 가스등 기술과 전신 기술이 기술적으로도, 경제적으로도 그 최고조에 달했을 때 전등과 전화가 나타났는지, 왜 역사를 통해 상당한 요구가 있었던 기술이 그 시대에는 발전하지 못한 예가 보편적일 만큼 많은지, 아니 왜 현재 우리가 살고 있는 시대에서 모든 요구에 맞는 기술들이 전부 나타나지 않는지를 전혀 설명하지 못한다. 지식 그 자체가 아닌 생산 수단, 기계가 상품을 만들어내는 것은 분명하지만 그런 기계가 만들어지고 그것이 생산 과정에 맞게 변형 · 적응되고, 그것의 효율이 증가하고, 그것이 새로운 기계로 대체되는 과정은 기존의 기술의 바탕 위에 창조적인 기술 지식의 발현을 통해서이다.[11]

11) 기술의 지식적인 측면을 인식하는 것은 기술과 과학의 관계만이 아닌 기술과 사회와의 관계를 파악하는 데에도 중요한 역할을 한다. 그 이유는 기술 지식의 생성 발전에 경쟁, 경제 법칙, 사회 관계, 이데올로기 등 제반 사회적 관계들이 '피드백 feedback'과 '정보의 변형'의 과정을 거쳐 다시 침투하기 때문이다. 따라서 이 기술 지식의 동역학적 메커니즘은 사회 · 경제의 요구가 최종 기술 산물 속에 어떻게 구현되는가를 보여줌으로써 기술낭만주의와 기술만능주의를 극복하고 기술과 사회에 대한 비판적인, 그렇지만 비관적이지는 않은, 시각의 출발이 된다. 올바른 정책만 세우고 기술자들에게 바른 세계관을 교육하면 기존의 파괴적이고, 비인간적이며, 자본주의적인 기술을 대체하는 대체 기술, '작은 기술,' 민주적인 기술이 만들어질 것처럼 생각하는 기술낭만주의나, 열차 · 전동기 · 냉장고 같은 일상적 기술은 물론 핵 기술, 경영 기술, 거대 기술, 군사 기술과 같은 '미묘한' 기술까지도 '기술'이란 이름을 걸고 있는 한 사회와 무관하게 '보편적'이고 유용한 것임을 강조하는 기술만능주의는 모두 기술이 사회적으로 형성된 지식이라는 점을 간과하고 있다. 전자는 새로운 기술의 발명, 기존 기술의 개량이 고유한 기술적 전통 위에서 이루어지는 창조적 지식의 발현임을 이해하지 못한 결과이고, 반면에 후자는 사회의 여러 요소가 기술 지식의 형성에 영향을 미치고 그 기술 지식이 인공물에 각인되는 과정을 간과하고 대신 기술의 완성품에만 주목한 결과이다. 백인들만의 쾌적한 공원을 만들기 위해 뉴욕의 한 공원으로 통하는 다리의 높이를 흑인들이 주로 타는 버스의 천장 높이보다 낮게 설계했다는 예에서도 볼 수 있듯이, 엔지니어의 머릿속에서 일어났던 기술적 디자인(다리의 설계)과 이데올로기(인종차별주의)의 상호 작용은 그 결과 나타난 다리 속에 완전히 감추어져버렸던 것

기술 지식의 의미가 낮게 평가된 이유 중 하나는 기술의 역사와 관련이 있다. 19세기 이전까지 기술의 담당자였던 기술자 · 장인 · 발명가들은 전문 잡지에 논문을 발표하지도 않았고, 자신의 연구 과정을 기록하지도 않았다. 그들이 만든 물건이 유적으로나 박물관에 남아 있는 경우에도 그 속에서 창조적 사고, 연구의 흔적을 발견하는 것은 쉽지 않은 일이다. 그렇지만 사실 이보다 더 중요한 이유는 기술 지식에 '암묵적 지식tacit knowledge'의 측면이 많아서이다. 간단히 말해서, 암묵적 지식이란 말이나 글로 표현할 수 없는 지식이다. 예를 들어, 자전거를 잘 타는 사람이 아무리 말과 글로 자전거 타는 방법을 설명한다 해도, 그 사람의 지식이 다 드러나거나 전수되지 않는다는 것과 흡사한 성질의 지식이다. 이런 암묵적 지식은 기예art(근대 사회에서 art는 craft, technology와 종종 같은 의미로 사용되었다)에서 많이 나타나며, 보통 '접촉'을 통해 이전된다. 18세기 영국의 운하 건설에 선구적 역할을 했던 브린들리James Brindley는 문맹이었고, 그의 디자인 비법은 그를 보조했던 조수들에게 '구전'되었다. 또한 기술의 지식은 문자 이외에도, 그림 · 설계도와 같이 시각적 지식visual knowledge을 통해 전파되는 경우가 많다. 물론 현대 기술과 공학의 경우 이러한 암묵적 지식의 영역이 많이 감소된 것은 사실이지만, 그럼에도 불구하고 이는 아직도 기술 지식의 중요한 특성으로 남아 있다.[12]

이다. 기술과 사회의 제반 요소의 상호 작용에 대한 논의로는 D. A. MacKenzie ed., *The Social Shaping of Technology* (Open Univ. Pr., 1985); B. Pfaffenberger, "Fetishised Objects and Humanised Nature: Towards an Anthropology of Technology," *Man* 23(1988), pp. 236~52 참조.

12) 암묵적 지식, 시각적 지식에 대해서는 M. Polanyi, *Personal Knowledge* (Chicago, 1968); E. S. Ferguson, "The Mind's Eye: Non-Verbal Thought in Technology," *Science* 197(1977), pp. 827~36 참조.

1973년 "산업 시기의 과학과 기술의 관계"에 대한 기술사학자들과 과학사학자들의 학회(Burndy Library Conference)는 기술의 본질은 지식이고 과학과 기술의 관계는 독자적인 지식들간의 상호 작용으로 이해해야 한다는 인식 아래 열렸다. 이 학회에서 발표된 대부분의 논문은 과학이 기술에 영향을 미치고, 기술은 다시 사회에 영향을 미친다는('과학→기술→사회') 어셈블리 라인 식의 과학과 기술의 관계를 비판하고, 과학과 기술이 과학 지식과 기술 지식 사이의 동등한 수준의 상호 작용을 통해 상호 영향을 주고받음을 지적했다.[13] 그렇지만 당시에 발표된 논문들이 깊이 다루지 못한 문제는 기술 지식의 특성에 대한 것이었다. 특히 우리가 현재 '공학engineering science'에서 볼 수 있는 체계화된 기술 지식의 특성은 무엇인가, 과학적 공학scientific engineering의 성립에는 과학이 응용되었다고 할 만큼 과학의 영향이 크지 않았는가, 만일 그렇지 않다면 현대 공학은 과학과 어떻게 다른가, 또 공학과 과학은 어떻게 상호 영향을 주고 있는가와 같은 문제들이 해결해야 할 과제로 남겨졌다.

1973년 학회에서 20세기 초엽 전기 기술자들이 어떻게 고전압 송전의 문제를 해결했는가를 분석해서 발표한 휴스Thomas Hughes는 공학의 내용과 방법이 과학을 따온 것이 아니라 엔지니어의 적극적 실천의 결과임을 강조함으로써 이후 공학을 이해하는 데 하나의 넓은 틀을 제공했다.

이 엔지니어들의 작업은 과학적이라고 유형지워질 수 있는 방법을

13) 한 역사학자가 1973년 학회를 가리켜 "노회한 어셈블리 라인 식의 시각, 응용과학 시각의 뒤늦은 장례식"이라고 표현했을 만큼(G. Wise, "Science and Technology," *Osiris* 1[1985], p. 236), 여기서 발표된 논문들은 미국 기술사학회지 공식 저널인 『기술과 문화 *Technology and Culture*』 17호(1976)에 수록되어 큰 반향을 불러일으켰고, 이후 '응용과학' 주장은 실제로 거의 자취를 감추었다.

사용하고 있었던 것처럼 보인다. 그들이 인용하는 권위나 그들이 사용하고 논문을 실었던 학술지는 체계적인 (공학) 지식을 나타냈다. 엔지니어들은 의식적으로건 무의식적으로건 일반적인 명제나 법칙을 만들려 했으며, 또 그것을 사용했다. 그들은 수학을 분석 수단과 언어로 사용했고, 가설을 만들었다. 그리고 자연과 실험실에서 이 가설을 검증하기 위해 실험을 고안했다. 이것들이 보통 과학적이라고 얘기되는 엔지니어들의 작업과 방법의 특징들이다.[14]

실제로 1970년대 후반부터 나오기 시작한 과학적 공학, 공학적 방법, 공학 연구에 대한 기술사적인 분석들은 1) 공학이 과학적이라고 불릴 수 있는 여러 근거를 가지고 있지만, 그럼에도 불구하고 2) 과학과는 다른 '무엇'이 있다는 점을 여러 각도에서 밝혀냈다.

공학의 기원에 대한 새로운 연구는 공학의 출발이 과학의 응용과는 거리가 있었음을 보여주었다. 구조공학, 열기관, 조선공학의 이론화에 큰 기여를 해서 흔히 공학의 창시자라고까지 불리는 19세기 영국 엔지니어 랭킨W. Rankine에 대한 연구는 그가 기존의 뉴턴 역학을 구조물에 적용하는 것에 한계를 느끼고 응력stress과 변형strain과 같은 새로운 개념을 사용해서 공학의 기초를 세웠음을 보여주었다. 기술사학자들은 19세기 중엽 이후 등장한 '과학적 공학scientific engineering'이 마치 과학의 이론을 기술에 응용한 것과 유사한 형태를 띠고 있지만, 그 내면에는 엔지니어들이 과학의 법칙이 인공적인 기술에 직접 적용될 수 없음을 인식하고 과학과는 다른 독자적인 지식 체계를 세웠음을 강조했다. 또한 전기공학처럼 흔히 과학이 직접 응용되었다고 간주되었던 분야에서도 과학은 상당한 변형을 거치며

14) T. P. Hughes, "The Science-Technology Interaction: The Case of High-Voltage Power Transmission System," *Technology and Culture* 17(1976) p. 659.

그 결과 나타난 공학 이론은 그것이 출발점으로 삼았던 과학과 별로 비슷하지도 않았다는 사실과, 초기 안테나 공학에서처럼 필요한 과학 이론이 존재하지 않는 경우에는 기술자들이 독자적인 공학 이론을 창조하곤 한다는 점도 지적되었다.[15]

빈센티W. Vincenti는 20세기 항공공학을 예로 공학의 본질에 대한 새로운 이해를 제시했다. 예를 들어 과학과 공학이 모델을 사용하는 공통적인 방법을 가지고 있다는 주장에 대해 빈센티는 과학자들의 우주 모델, 원자 모델, 에테르 모델 등이 주로 눈에 보이지 않는 대상을 나타내기 위해 만들어졌음에 비해, 기술자들의 모델은 실제 크기의 조작이 번거롭거나 불가능해서 채용한 것이 대부분이었음을 지적하면서, 와트가 증기 기관의 개량에 사용한 실린더의 모델과 보일의 기체 모델과의 차이를 강조했다. 또 그는 실험에 대해서도 과학에서는 사실을 만들어내거나 이론을 검증하기 위해 실험을 하며, 이 경우 대상을 축소하거나 실험에서 개입하는 변수를 임의로 고정하는 '종합 대조 실험controlled experiments'이 거의 없는 반면 기술에서의 실험은 종합 대조 실험이 대부분임을 보였다. 그는 또한 공학자들이 실제 엔진과 같은 대상 — 너무 복잡해서 유체역학의 방정식을 푸는 것은 불가능한 — 의 전반적인 특성을 알아내기 위해 고안한 개념들이 세세한 해를 구해야 될 필요가 있는 물리학자들에게는 거의 쓸모가 없다는 사실에서도 과학과 공학의 차이를 강조했다. 이상의 예들은 공학 이론이 쓸모 있는 인공물을 '디자인'하고 만드는 것을 그 궁극적인 목적으로 하고 있으며, 이를 위해 대상의 최적 조건optimization

15) D. Channel, "The Harmony of Theory and Practice: The Engineering Science of W. J. M. Rankine," *Technology and Culture* 23(1982), pp. 39~52; R. A. Buchanan, "The Rise of Scientific Engineering in Britain," *British Journal for the History of Science* 18(1985), pp. 218~33; H. G. J. Aitken, *Syntony and Spark: The Origins of Radio* (New York, 1976).

condition이나, 최대 효율maximum efficiency를 얻어내는 데 관심이 있고, 이런 점에서 보통 과학 이론과 차이가 있음을 지적한 것이다.[16]

공학 지식의 특성들을 차치하고라도 공학을 '기술의 지식'으로 생각하는가 또는 과학과 기술이 중첩되는 '교집합'으로 생각하는가에 따라 과학과 기술의 관계를 이해하는 방식은 상당히 달라지게 된다. 1980년대 기술사학자들은 공학을 과학으로부터 '상대적으로 자율적인' 기술의 지식으로 간주했으며, 결과적으로 점차 과학과 기술을 독자적으로 발전하면서 상호 작용하는 두 개의 독립된 분야로 간주하기 시작했다. 그렇지만 이러한 상호 작용은 미미한 것이어서 이들은 실제로 기술의 발전에 과학은 본질적으로 중요하지 않고, 과학의 발전에도 기술은 본질적으로 중요하지 않은 것으로 간주했다.[17]

그러나 지식으로서의 기술에서 출발해서 기술의 독자성을 강조한 이러한 주장은 20세기 후반에 벌어지고 있는 반도체, 전자 통신, 약학, 의료 산업, 생명공학 등에서 나타나는 과학과 기술의 상호 작용이라는 현상을 잘 설명하지는 못한다는 점을 제외하고서도, 한 가지 심각한 문제를 안고 있었다. 그것은 기술을 지식으로 본 대신, 과학도 그대로 지식으로, 즉 이론적인 활동으로만 보았다는 것이다. 과학은 이론이고, 정신 활동이며, 그 결과 축적된 '조직화된 지식'인가? 기술의 지식적 측면이 강조되기 시작하던 1970년대말과 1980년대초, 몇몇 과학사학자 · 과학철학자 · 과학사회학자들은 '실천으로서의 과학'이란 명제를 가지고 과학에 대한 이해를 정반대 방향으로 돌려놓기 시작했다.

16) 『기술과 문화 *Technology and Culture*』의 지면을 통해 발표된 빈센티의 여러 논문들은 책으로 묶여 출판되었다. W. G. Vincenti, *What Engineers Know and How They Know It: Analytical Studies from Aeronautical History* (Johns Hopkins Univ. Pr., 1991).

17) 예를 들어 M. Kranzberg, "Scientific Research and Technical Innovation," *National Forum* 51(1981), pp. 27~28; B. Barnes, "The Science-Technology Relationship: A Model and a Query," *Social Studies of Science* 12(1982), pp. 166~72; A. Keller, "Has Science Created Technology," *Minerva* 22(1984), pp. 160~82 참조.

4. 실천으로서의 과학과 과학 기술의 다양한 상호 작용

과학자가 하는 가장 중요한 일이 이론적 사고라는 생각은 한편으로는 그 뿌리가 무척 깊으면서도 또 다른 한편으로는 매우 현대적인 것이다. 이는 플라톤, 아리스토텔레스와 같은 그리스 시대 자연철학자들의 주장이었지만, 17세기 과학 혁명기 동안 실험과학의 대두와 함께 상당 부분 자취를 감추었다. 그렇지만 과학의 본질이 이론이란 생각은 20세기 이론물리학, 20세기 과학철학 — 논리실증주의, 쿤Thomas Kuhn의 과학철학, 핸슨N. R. Hanson의 관찰의 이론 의존성 등 — 그리고 코아레A. Koyré의 플라톤주의 지성사의 영향을 강하게 받은 구미 과학사학자들에 의해 다시 부활해서 과학에 대한 강력하고 단일한 이미지를 형성하게 되었다. 과학의 본질이 이론이라는 주장에 의하면 실험은 이론을 검증 · 반증하거나, 이론 형성에 필요한 데이터를 제공하는 부수적인 활동 이상의 의미를 갖기 힘들었다.

1980년대에 들어서야 이러한 기존의 과학철학이 실제로 대부분의 과학자들이 수행해왔고 현재 수행하고 있는 일과 거리가 멀다는 것이 드러나기 시작했다. 실험에 대한 깊이 있는 철학적 · 역사적 이해는 실험이 항상 이론 의존적인 것은 아니었으며, 과학자들이 이론을 검증하기 위해서만 실험을 하는 것도 아니고, 측정을 통해 데이터를 얻어내는 과정이 기계적이지도 않으며, 실험 기기가 과학자들이 생각했던 대로 움직여주지도 않는 것처럼 실험이 이론과는 독립적인

'그 자신의 삶'을 가짐을 드러냈다(이 책의 제1장 참조). 80년대 과학사 · 과학철학 · 과학사회학에서 나타난 이와 같은 '실험에의 귀환'은 더 나아가 실험실을 과학의 고유한 공간으로, 그리고 실험실에서 기기를 만들고, 이를 가지고 자연에 개입하고, 측정하고, 이들을 조작해서 새로운 '현상 phenomena'이나 '효과 effect'를 만들어내는 것이 근대 과학 이후 과학의 가장 고유한 특성이라는 '실천으로서의 과학'의 새로운 이미지를 만들어냈다. 이는 과학에 대한 몇 가지 새로운 이해를 가능케 했다. 기술과 마찬가지로 과학의 실험에도 숙련과 같은 '장인적 전통 craft tradition'과 '암묵적 지식'이 있으며, 소위 '첨단' 과학적 기기는 기술의 영역에서 과학의 영역으로 떨어져 내려오는 것이 아니라 많은 경우 과학자들이 실험실 내의 필요에 의해서 직접 또는 기술자와의 협력을 통해 제작하고, 실험실의 활동은 과학자(보통 교수) 혼자만의 작업이 아니라 교수, 조교, 다양한 수준의 학생들, 테크니션 technician, 그리고 기기 제작인 등의 협력을 기초로 한 협동이라는 것들이 그 새로운 이해의 예들이다.[18]

이와 같은 이해는 과학과 기술의 관계를 새롭게 파악하는 데 매우 중요한 단서를 제공한다. 간단히 말해, 과학자들이 실험실 laboratory에서 수행하는 실천의 모습과 엔지니어의 실천의 모습에 별반 다른 점이 없다는 것이다. 이들은 모두 어떤 특정한 목적을 달성하기 위해 기기와 대상을 조작하고, 이로부터 특정한 효과를 얻어내려 하며, 이를 얻어내지 못했을 경우 그 동안 축적된 다양한 방법을 사용해서 기기나 대상, 이들의 배열 형태를 바꾸고, 기계나 기기의 '효율'을 높이기 위해 여러 가지 방법을 사용한다. 암묵적 지식, 숙련, 경험에 근거한 직관, 실험 결과를 안정화 stabilization시키는 과정 등 과학자들의 실천에 관련된 다양한 요인들은 장인 · 기술자들의 작업장 workshop에서의 그것들과 별반 다르지 않다.

18) 실천으로서의 과학에 대한 논의로는 B. Latour, *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society* (Cambridge, Mass., 1987); Hacking, *op. cit.*(주 5); P. Galison, *How Experiments End* (Chicago, 1987); A. Pickering ed., *Science as Practice and Culture* (Chicago, 1992) 참조.

과학자의 실천에 주목함으로써 우리는 과학과 기술의 상호 작용을 새롭게 이해할 수 있다. 실험실에서 만들어진 과학적 '효과'들 중 많은 것들이 (비록 어느 정도의 시간 간격은 있지만) 기술 · 산업으로 유입되어 쓸모 있는 인공물로 탈바꿈하며, 실험실에서 만들어진 많은 기기들이 산업화되어 그 시대의 첨단 산업을 구성하고, 실험실에서 키워진 인력이 기술 · 산업에서 중요한 연구 · 개발을 수행한다.[19] 물리과학의 경우만 보더라도, 패러데이의 실험실에서 발견된 전자기 유도 효과는 이후 발전기와 전동기의 기초가 되었다. 19세기 최고의 수리물리학자 톰슨 William Thomson(이후 켈빈 Kelvin 경이 됨)의 실험실에는 당시 해저 전신에서 사용하던 도선, 전신 기기 등이 가득했다. 그는 전신선의 저항을 재는 과정에서 전기 단위와 표준의 필요성을 인식한 후, 과학자 · 기술자들로 구성된 표준 위원회를 결성해서 최초의 전기 표준들을 만들었고, 맥스웰과 레일리의 캐번디시 연구소는 이렇게 만들어진 표준 저항을 재측정하고 유지하는 일을 담당했다. 헤르츠 H. Hertz의 실험실에서 발견된 전자기파 효과는 이후 모든 무선 통신의 출발점이 되었으며, 과학자의 연구 대상이었던 진공 유리구 속의 방전은 이후 플레밍 J. A. Fleming과 드 포리스트 Lee de

19) 특히 실험실에서 사용되는 기기가 어떻게 과학과 기술을 매개하는가에 대한 논의로는 D. J. de Solla Price, "The Science/Technology Relationship, the Craft of Experimental Science, and Policy for the Improvement of High Technology Innovation," *Research Policy* 13(1984), pp. 3~20; N. Rosenberg, "Scientific Instrumentation and University Research," *Research Policy* 21(1992), pp. 381~90 참조.

Forest에 의해 이극 진공관과 삼극 진공관으로 발전했다. 물리학자들의 실험실에서 나타났던 원자의 연쇄 핵분열 반응 효과는 이차 대전이라는 특수 상황 속에서 불과 몇 년 내에 원자 폭탄을 낳았다.

뿐만 아니라 우리는 실천으로서의 과학에 주목함으로써 과학자의 실험실과 기술자의 작업장의 거리가 어떻게 좁혀졌는가를 이해할 수 있다. 물리학 실험실을 모델로 19세기 말엽 기계 · 전기공학과에 실험실이 만들어졌으며, 실험을 통한 공학 교육과 연구가 시작되었다. 과학자들이 산업 기술의 문제에 자문을 하는 것은 18세기에 나타났지만, 19세기 후반에 전기 · 화학 산업에서 보편화되었다. 과학자들의 자문과 엔지니어링 실험실들의 설립이 가속화되다 19세기 후반에 화학 산업, 20세기 초엽에 전기 산업에서 기업 내에 실험실들이 생기기 시작했다. 이러한 연구소에서는 대학에 존재하는 과학과 공학의 벽을 허물고 제품 생산과 관련된 연구에 과학자와 엔지니어의 협동 연구를 가능하게 하는 새로운 '공간'을 창조했다.[20] 20세기에 들어와서는 공학 분야의 제도화가 뚜렷해짐에 따라 공학과 관련 과학 분야 사이의 광범위한 상호 영향이 뚜렷해졌다. 응집 물질 물리학 Condensed Matter Physics과 양자 전자공학 Quantum Electronics은 반도체 · 레이저 등 20세기 중엽의 신기술을 놓고 서로 많은 영향을 주고받았으며, 이후 광섬유의 개발을 놓고 나타났던 광학물리학자와 레이저 기술자들 사이의 상호 작용도 비슷한 예이다. 또한, 19세기에는 과학자 겸 엔지니어 scientist-engineer들이 개개인의 과학과 기술에서의 경험을 종합해서 공학 분야의 기초를 세우곤 했는데, 공학이 제도적으로 정착

20) 제너럴 일렉트릭 회사 GE, 벨 회사 Bell, 뒤 퐁 회사 Du Pont와 같은 대기업 연구소에 대한 대표적 연구로는 L. Reich, *The Making of American Industrial Research: Science and Business at GE and Bell, 1876~1926* (Cambridge, 1985); D. A. Hounshell and J. K. Smith Jr., *Science and Corporate Strategy: Du Pont R & D, 1902~1980* (Cambridge, 1988) 참조.

된 20세기에 들어서서는 공학의 많은 분야가 '과학적 공학'을 표방, 관련 과학에서 데이터 · 원리 · 법칙과 기타 정보를 적극적으로 이용했다.[21]

물론 과학적 효과 · 기기 · 인력이 과학자의 실험실에서 기술로 유출되는 것만은 아니다. 그 역방향의 유입도 매우 중요하다. 증기 기관이 에너지 보존 법칙을 비롯해서 열역학의 발전을 가져온 수많은 문제들을 물리학에 제공해왔음은 널리 알려져왔다. 벨이 전화를 발명하자마자 과학자들이 그것을 미세한 전류의 측정 장치로 사용하기 시작했듯이, 다양한 기술 · 기계들이 (종종 예측지 않던 용도로) 과학자들의 실험실로 끊임없이 들어왔다. 최근 컴퓨터의 광범위한 사용은 과학자들의 여러 가지 계산을 편하게 해주는 정도를 떠나서 과학의 큰 흐름 자체를 바꾸는 엄청난 영향을 미치고 있다. 반도체의 발명은 고체물리학 분야의 비중과 연구 인력을 엄청난 수준으로 늘렸으며, 레이저는 광학에 대해 비슷한 결과를 낳았다. 실험실에서 일했던 기기 제작자 · 테크니션들의 과학에의 공헌은 과학사를 통해 거의 무시되어왔던 주제이나, 최근에 이들의 중요성에 대한 몇몇 선구적인 연구들이 나오고 있다.[22] 특히 전자공학에 기초한 복잡하고 정밀한 기기를 사용하는 현대 거대 과학의 경우 엔지니어와의 협동 연구와 그에 따른 역할 분담은 필수적이다.[23]

21) 20세기 미국 대학에서 공학 교육 과정의 설립과 과학의 영향에 대한 연구로는 B. Seely, "Research, Engineering, and Science in American Engineering Colleges: 1900~1960," *Technology and Culture* 34(1993), pp. 344~86 참조. 공학에서 과학 원리를 강조하는 '과학적 공학'에 대해 공학 본연의 '디자인' 중심의 교육을 해야 한다는 비판은 아직도 존재한다. 일례로 E. S. Ferguson, *Engineering and the Mind's Eye* (Cambridge, Mass., 1992)는 최근 엔지니어링에서의 실패 사례들이 디자인 교육의 부재에 있음을 강조하고 있다.

22) 예를 들어 S. Shapin, "The Invisible Technician," *American Scholar* 77(1989), pp. 554~63 참조.

실제로 기초 과학 연구를 통해 얻어진 20세기의 중요한 기술적 발견이라는 것들을 살펴보면, 과학적 관심과 기술적 관심, 과학자와 기술자, 대학과 산업체가 떨어져 있지 않고, 처음부터 뭉뚱그려져서 관여했음을 알 수 있다. 트랜지스터의 개발(1948)에는 양자물리학에 정통한 바딘J. Bardeen과 같은 물리학자의 이론적 기여가 결정적이었지만, 이러한 기여는 반도체에서 기존의 유리관 증폭기와 발진기를 대신하는 새로운 기술의 가능성을 보고 1930년대부터 이의 발전을 위해 물리학자 · 화학자 · 전자공학자의 협동 연구를 몇 년 간 추진했던 벨 연구소Bell Lab라는 산업체의 배경 속에서 꽃을 피울 수 있었다. 레이저의 발명과 개발에도 처음부터 물리학자들의 관심과 새 발진기에 대한 양자 전자공학자들의 관심의 상호 작용이 매우 중요한 요소였다. 1930년대 터보제트 엔진의 개발과 같은 기술 혁명에서도 과학자 출신 기술자들의 기여가 중요했다.[24] 역으로 산업체에서의 기초 연구는 종종 순수 과학에서의 중요한 발전을 가지고 왔다. 빅뱅 이론을 결정적으로 지지하는 증거로, 펜지어스와 윌슨에게 노벨 물리학상을 안겨준 우주 배경 복사의 발견은 마이크로파 통신에 위성을 사용할 때 이를 방해하는 노이즈noise를 분석하기 위해 이들 천체물리학자를 고용한 벨 연구소에서 이루어졌다. 이러한 예들이 제시하는 것은 과학 연구와 산업 기술의 '거리'가 가까울 때 이 둘에게 모두

23) Peter Galison and Bruce Hevly eds., *Big Science: The Growth of Large-Scale Research* (Stanford University Press, 1992); Peter Galison, *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics* (Chicago University Press, 1997).

24) 반도체에 대해서는 L. Hoddeson, "The Discovery of the Point-Contact Transistor," *Historical Studies in the Physical Science* 12(1981), pp. 41~76, 레이저에 대해서는 J. L. Bromberg, "Engineering Knowledge in the Laser Field," *Technology and Culture* 27(1986), pp. 798~818, 터보제트 혁명에 대해서는 E. W. Constant, *The Origins of the Turbojet Revolution* (Johns Hopkins Univ. Pr., 1980)을 각각 참조할 것.

유익한 결과를 낳을 수도 있다는 것이다.

과학자의 실험실에서 발견되는 효과, 기기, 훈련받은 인력 등이 모두, 즉시, 그리고 직접적으로 기술 혁신을 낳지 않음은 명백하다. 실험실에서 발견된 어떤 효과나 물질이 기술화되기까지는 적게는 몇 달, 길게는 수십 년까지의 시간이 걸리며, 또 어떤 연구가 실용성을 띨 것인가조차 처음에는 분명치 않다.[25] 또 대부분의 과학 연구는 직접 산업 기술화되지 않고 과학 분야의 발전 자체에만 기여한다.[26] 그렇지만 과학과 기술 사이에 존재하는 시간의 간격, 응용의 간접성이 "과학과 기술이 서로의 발전에 미치는 영향은 무시할 만하다"라는 결론을 정당화시켜주지는 않는다. 우리가 과학을 추상적인 이론과 지식 체계로 생각하는 데서 벗어나서, 과학을 다양한 수준의 이론, 실험실에서의 실천, 기기, 숙련 등의 복합체로 생각하고, 마찬가지로 기술을 단지 인공물로 생각하는 데서 벗어나서 다양한 수준의 지식 · 실험 · 숙련 · 디자인 능력 · 인공물 등의 복합체로 생각한다면 우리는 과학과 기술이 다양한 접점 interface들에서 만나고 이런 접점들

25) 패러데이의 전자기 효과(1831)가 실용적인 발전기로 진화하기 위해서는 40년이 필요했으며, 그 사이 수많은 기술자 · 장인들의 실제적인 기여가 있어야 했다. 1940년대 발견된 자기 공명(NMR)의 효과가 의학 기기에 응용되는 데는 30년이 걸렸다. 그렇지만 과학에서의 발견이 기술에 응용되기까지의 시간이 점차 짧아지고 있음은 분명한데, 1970~80년대 이루어진 과학에 근거한 기술 혁신에 대한 사례 연구는 과학 연구와 기술 혁신 사이의 시간 간격이 평균 7년임을 보여주고 있다. 이에 대해서는 E. Mansfield, "Academic Research and Industrial Innovation," *Research Policy* 20(1991), pp. 1~12 참조.

26) 미국 얼라이드 케미컬Allied Chemical사의 연구소에서 기록된 10년 간의 분석에 따르면 75명의 연구원들이 10,000여 건의 아이디어를 내놓았고, 이 중 1,000여 건이 보고서화되었으며, 이 중 100여 건이 특허로 접수되었고, 이 중 대략 10건이 상업적으로 중요했으며, 이 중 1건이 산업 전반에 큰 영향을 미칠 만큼 중요한 것이었다. J. J. Gilman, "Research Management Today," *Physics Today* (March 1991), pp. 42~48.

이 19세기부터 다양해지고 보편화되어왔음을 알 수 있다. 내가 강조했던 것은 과학과 기술의 관계가 이론이 실천에 응용되는 것만이 아니라, 과학의 다양한 요소들(과학자의 실험실에서 발견된 새로운 효과, 이론과 법칙, 기기, 훈련받은 인력)이 기술의 다양한 요소들(인공물에 대한 이해, 기술 법칙, 디자인 과정, 숙련)과 섞이고 있다는 것이다. 과학과 기술은 교육 · 학회 · 규범과 같은 제도에서 어느 정도 분리되어 있지만, 기술자들의 실천 속에 과학의 다양한 요소들이 사용되고 있으며, 과학자들의 실천에 기술의 다양한 요소가 깊이 관련되어 있듯이 실제 구체적인 연구 속에서 이 둘의 경계를 찾는다는 것은 무척 어렵다. 또한 이러한 상호 작용을 위해 기업의 연구소, 대학의 특수 연구소(예를 들어 대학의 반도체 연구소)처럼 과학과 기술의 경계가 모호한 새로운 공간이 끊임없이 만들어졌다. 지금까지의 긴 논의를 통해서 우리가 얘기할 수 있는 것은 현대 기술이 마치 전부 과학의 응용인 양 생각하는 것이나, 현대 기술은 과학과 무관한 독자적인 영역인 양 생각하는 것(따라서 산업 기술의 발전을 위해선 기술 연구와 개발이면 충분하다는 생각) 모두 잘못되었다는 것이다. 모든 과학 연구가 기술 · 산업적 응용을 낳는 것은 아니지만, 그리고 모든 기술이 과학 이론 · 법칙의 응용은 더더욱 아니지만, 과학과 기술은 서로가 만나는 다양한 종류의 접점들을 만들어왔고 이런 경향은 계속 증대되고 있다.[27]

27) 1990년 에인트호벤 Eindhoven에서 "19~20세기 기술 발전과 과학"이란 주제로 열린 역사학회는 1973년 '번디 도서관 학회 Burndy Library Conference'에서 기술 지식의 독자성을 중심으로 정리된 과학과 기술과의 관계를 비판하면서 과학과 기술의 밀접한 상호 작용을 강조했다. 에인트호벤 학회에서 발표된 논문들은 P. Kroes and M. Bakker eds., *Technological Development and Science in the Industrial Age: New Perspectives on the Science-Technology Relationship* (Dordrecht, 1992)에 실려 있다. 나의 결론과 궤를 같이하는 과학과 기술의 관계에 대한 사회과학자들의 분석으로는 Mansfield, *op. cit.*(주 25); K. Pavitt, "What Makes Basic Research

5. 과학과 기술의 관계, 그 정책적 함의

우리는 지금까지의 논의에 비추어 몇 가지 실질적인 함의를 이끌어낼 수 있다. 그 중 하나는 우리가 그 동안 혼란스럽게 사용하던 여러 개념들을 조금 더 분명히할 수 있다는 것이다. 예를 들어 '연구 개발 Research and Development' (R & D)과 같이 '연구'와 '개발'을 한꺼번에 묶어서 생각하는 것은 '연구'와 '개발' 사이에 존재하는 실질적인 차이를 무시하는 것이다. 앞서 지적했듯이 연구의 경우 그 결과를 응용성과 관련해서 처음부터 예측하기는 무척 어렵고, 이에 대한 지원은 장기적이고 파생적인 효과를 생각한 연구 인력의 교육, 실험에 대한 지원 등에 초점이 맞추어져야 한다. 반면 개발의 경우는 생산과 관련된 목표와 그 목표를 어떻게 이룰 것인가가 처음부터 분명하고, 그 과정들에 대한 정량적인 평가가 가능하다. 사실 '연구 개발'이라는 용어 자체도 2차 대전 중 과학 기술자들의 전쟁 연구와 관련해서 사용되기 시작했으며, 이후 과학 연구가 기술 개발을 낳는다는 단순한 기술 발전 모델이 보편화되면서 널리 쓰이기 시작했던 말이다.

그렇지만 순수 연구 pure research와 응용 연구 applied research 사이에 확고한 경계를 상정하는 것은 또 다른 오류이다. 산업 기술과 거의 무관한 몇몇 과학 분야(예를 들어 입자물리학 · 우주론 · 순수 수학 등)를 제외하면, 순수 연구와 응용 연구 사이의 경계는 그렇게 분명한 것은 아니다. 게다가 순수 연구는 산업 기술과 무관한 것이고, 응

Economically Useful?" *Research Policy* 20(1991), pp. 109~19; H. Brooks, "Research Universities and the Social Contract for Science," in L. M. Branscomb ed., *Empowering Technology: Implementing a U. S. Strategy* (Cambridge, Mass. 1993), pp. 135~66 참조.

용 연구는 산업 기술의 요구를 충족하는 것이라는 식으로 이를 구분하고, 이에 근거해서 자연과학(대학)은 순수 연구를 공학(대학)은 응용 연구를 한다는 식으로 역할을 분담하는 것은, 과학과 기술의 접점이 다양해지고 보편적으로 되어가는 역사적 경향을 무시하고 오래된 대학의 학제에만 근거한 것이다.[28] 그렇지만 대학에서 이루어지는 모든 연구가 개별 산업의 구체적인 필요를 충족시키는 것이어야 한다고 주장하는 것은 과학이 다양한 방법으로 기술에 기여하는 가능성을 충족시키지 못함으로써 산업 기술의 장기적인 경쟁력 고양에 역효과를 낳을 수 있다.

그렇다고 산업체의 연구소에서는 제품과 관련된 실제적인 '개발'(D)만 담당하고 대학에선 '연구'(R)만을 담당하면 된다고 생각하는 것도 또 다른 오류이다. 산업체에서 제품의 개발에 필요한 연구 결과들이 대학에서 산업체로 자동적으로 흘러들어가는 것은 아니기 때문이다. 여러 통계 자료는 오히려 자체 연구에 투자를 많이 하는 기업이 대학에서의 연구 결과를 기술 혁신에 잘 이용함을 보여주고 있다. 최근 국내에서는 (낮은 과학 수준에 비해 기술 혁신은 성공적인) 일본과 (높은 과학 수준에도 불구하고 기술 혁신은 실패한) 소련의 비교로부터 마치 한 나라의 과학과 기술에는 큰 관련이 없는 것 같다는 식의 논의가 비교적 설득력을 얻고 있는데, 이는 1970~80년대 일본이 필요한 연구를 국제 공동 연구와 학술지 등의 정보를 통해 계속 흡수해서 소화했고, 1980년대에는 자체 연구에 투자가 강화되고 있음을 무시한 것이다. 이러한 사례 연구가 시사하는 바는 첨단 산업에서 경쟁하는 기업은 자체 과학 연구에 많은 투자를 못 하더라도 최소한 대학이나 다른 연구소에서 진행되는 최신 연구를 항상 수집 · 분석 · 평

28) 독일에서 생명공학 기술의 후발의 이유로 새로운 분야, 간학문 분야에 대한 독일 대학의 경직성이 주로 언급됨을 상기할 필요가 있다.

가할 수 있는 역량을 갖추어야 한다는 것이다.[29]

기술의 지식 knowledge적인 특성은 최근 기술 이전 technology transfer의 과정에 대한 연구에서 관련 지식, 숙련의 습득 없이 인공물 hardware만의 이전은 그 효과를 충분히 거두지 못한다는 사실이 알려지면서 함께 조금은 알려졌다. 그렇지만 과학의 실천으로서의 특성은 아직도 우리에게 생소한 실정이다. 예를 들어보자. 기술은 그 필요와 특성에 있어서 '국지적 local'인 것이고 과학은 그 특성상 '전지구적인 global' 것이기에, 한국과 같은 신흥 공업국에서는 과학은 외국 첨단 과학을 빌려오고 자체 기술 개발에 주력해야 한다는 주장이 있다. 그렇지만 이는 실천으로서의 과학의 여러 특성을 보지 못한 얘기이다. 산업 기술에 기여하는 과학은 학술지 논문에 나와 있는 그래프 · 표 · 방정식만이 아니라, 오히려 이런 결과를 내기까지 실험실 안에서 습득된 숙련, 기기, 그리고 인력들인 것이다. 노하우는 기술에만 있는 것이 아니라 과학에도 있다. 이것이 바로 정부와 기업이 장기적인 기초 연구를 지원해야 하는 중요한 이유이다.

과학과 기술공학, 순수 연구와 응용 연구, 연구와 기술 혁신 사이의 간격을 좁히는 데는 과학자 · 엔지니어 · 산업가 · 정책가와 조언자들의 생각의 전환이 필요하다. 과학과 기술공학, 순수와 응용의 간격이 좁아진다는 것이 과학자를 마치 장사꾼처럼 만든다고 생각할 어떤 이유도 없다. 오히려 과학의 실용적 가치에 대한 적극적인 인식(과학이 인류의 모든 문제를 해결할 수 있다는 마술사 식의 선전이 아닌)은 사회 속에서 과학의 위치를 훨씬 더 건강한 것으로 만들 수 있다. 과학이 다양한 방법으로 산업 기술은 물론 공학과 관련을 맺어온

29) 기업체의 기초 연구에 대해서는 Mansfield, *op. cit.* (주 25), 일본의 예에 대해서는 D. Hicks et al., "Japanese Corporations, Scientific Research, and Globalization," *Research Policy* 23(1994), pp. 375~84 참조.

것은 근대 과학의 가장 중요한 특성이며, 앞에서 살펴보았듯이 과학의 산업 기술에의 기여는 결과적으로 과학과 기술을 모두 풍요롭게 했다. 물론 한국의 우수한 대학의 자연대학에 지원하는 고등학생들은 과학이 자연의 진리를 찾는 고귀한 정신 노동이라는 생각에 사로잡혀 과학자가 되고 싶어할 수 있지만, 이들보다 성숙한 과학자들이 같은 생각에만 젖어 있다면 그것이 오히려 더 문제일 수 있다.

지금까지의 논의를 직접 한국의 과학 기술 정책과 관련된 실제적인 문제로 확장시키는 데는 수많은 종류의 불확실성이 존재한다. 어떠한 분야의 연구가 '현재' 유용한가는 현재의 기술, 산업의 필요로부터 알 수 있지만, 어떤 연구가 '미래'에 혁신적인 기술 발전을 낳을 것인가는 점치기 힘들다. 우리는 기초 연구에 얼마만큼의 투자가 장기적으로 가장 좋은 결과를 낳을 것인가를 알지 못하며, 한국에서 바람직한 연구 · 개발 비용의 비율이 어떻게 되는지도 알지 못한다. 정책에 대한 많은 논의는 미국이나 영국 등의 선진국에서 빌려온 것인데, 우리는 한국의 과학과 기술의 특성에 대해서도 아직 모르는 것이 많다. 아니, 더 근본적으로 우리는 어떤 경우 창조적인 과학 지식과 기술 지식이 탄생하는지, 이러한 지식이 어떤 경우에 유용한 인공물로 변환되는지, 그리고 그러한 변환에는 어떤 요소가 개입하는지도 모르고 있다. 한마디로 우리는 과학과 기술에 대해서 아직도 너무 많은 것을 모르고 있다고 해도 과언이 아니다. 과학과 기술에 존재하는 이러한 불확실성을 점차 우리가 이해할 수 있는 것으로, 그리고 결국은 조금씩 통제할 수 있는 것으로 만들기 위해서 과학사학자 · 기술사학자 · 경제학자 · 과학정책학자, 그리고 과학자 · 기술자들은 각각의 제도적 경계를 허물고 진지하게 고민할 필요가 있다. 이렇게 제도적 벽을 허무는 일이 바로 한국에서의 '과학기술학 Science and Technology Studies'의 출발인 것이다.

제7장

서양 기술사학의 최근 연구 동향

——지난 15년 간 『기술과 문화』를 중심으로

기술이 사회에서 차지하는 비중이 점차 높아지고, 기술의 역사가 기술을 이해하는 데 핵심적으로 중요함에도 불구하고 서양 기술사학(서양의 기술사 연구)에 대한 국내의 이해 수준은 아직 초보적인 실정이다. 기술사 일반에 대한 번역서 몇 권과 페미니즘이나 기술론과 관련해서 독자를 가짐직한 기술사 책 두어 권, 그리고 논문 몇 편이 번역되어 있는 것이 전부다.[1] 과학사와 과학사회학은 서울대와 고려대를 비롯한 대학원 과정에서 수업이 개설되고 있고 이를 전공하는 학생들도 있지만, 기술사와 관련해서는 아직 이런 수업조차 제대로 이루어지고 있지 못하다.

기술사에 대한 이해의 부족은 과학학 Science Studies의 뿌리내림을 위해서도 불행한 일이다. 과학은 철학적이고 세계관적인 측면 이외에도 기술과 산업에 응용되어 생산력으로서 사회적인 힘을 가지는 특성이 있는데, 기술사에 대한 이해의 부족은 과학과 기술의 차이와 공통점에 대한 오해를 낳고, 이는 다시 과학에 대한 오해를 가중시키

1) 프레드리히 클렘 지음, 이필렬 옮김, 『기술의 역사』(미래사, 1992); 조지 바살라 지음, 김동광 옮김, 『기술의 진화』(까치, 1996); 송성수 편, 『우리에게 기술이란 무엇인가: 기술론 입문』(녹두, 1995).