

현대 기술의 역사와 기술 변화의 쟁점

송성수

1. 머리말

지금 우리는 20세기를 보내고 21세기를 맞이하는 시점에 살고 있다. 수많은 매체들은 새로운 밀레니엄이 어떤 식으로 전개될 것인지 예측하느라 분주하다. 미래예측에서 핵심적인 화두로 등장하는 것은 기술이다. 그러나, 대부분의 미래예측은 기술을 둘러싼 사회적 맥락을 제거한 채 과거와 현재에 대한 충분한 성찰 없이 전개되고 있다는 문제점을 내포하고 있다. 미래는 현재에서 출발할 수밖에 없으며, 현재는 역사적·사회적으로 구성된 과거의 결집체이다. 이것은 기술의 경우도 마찬가지이다. 이러한 점이 충분히 인식되지 않은 상태에서 전망된 미래는, 시간이 흘러 그 미래가 현재로 다가올 때 오히려 비현실적인 것이 되지 않을까?

이 글은 현대 기술의 역사를 전체적으로 조망하면서 몇가지 쟁점을 도출하기 위하여 쓰여졌다.¹⁾ 이 글에서는 기술의 발전사를 나열하는

1) 이 글에서 서술할 현대 기술사의 구체적인 내용은 Trevor I. Williams, *A Short History of Twentieth-Century Technology c. 1900-c. 1950* (Oxford: Oxford University Press, 1982); Colin Chart, ed., *Science, Technology and Everyday Life, 1970-1950*

것에 그치지 않고 기술이 인간의 일상생활에 미친 영향과 기술에 대한 사람들의 반응에도 주의를 기울이고자 한다. 또한, 현대 기술의 역사를 적절히 조직하기 위하여 2차 대전을 기준으로 현대 기술의 역사를 두 시기로 구분하여 서술할 것이다.²⁾ 그리고, 이 글에서 모든 기술을 충분히 다룰 수는 없으므로 기술의 발전상과 각 시기의 특징을 잘 보여주는 것에 초점을 두고자 한다. 이상의 논의를 바탕으로 결론 부분에서는 현대 기술을 파악하는 관점에 대한 몇가지 논점을 제기할 것이다.

(Milton Keynes: Open University Press, 1989); Thomas P. Hughes, *American Genesis: A Century of Invention and Technological Enthusiasm* (New York: Penguin, 1989); Ian NaMeil, ed., *An Encyclopaedia of the History of Technology* (London: Routledge, 1990); Gary Cross and Rick Szostak, *Technology and American Society: A History* (Englewood, NJ: Prentice-Hall, 1995); Ruth Schwartz Cowan, *A Social History of American Technology* (Oxford: Oxford University Press, 1997); Christopher Freeman and Luc Soete, *The Economics of Industrial Innovation* (London: Pinter Publishers, 1997), part I(pp. 29-189); 김명자, 『현대사회와 과학』 (동아출판사, 1992); George. Bassalla, 김동광 옮김, 『기술의 진화』 (까치, 1996); 김영식·임경순, 『과학사신론』 (다산출판사, 1999), pp. 223-403 등에 입각하고 있다.

2) 현대 기술사의 시기 구분이 학문적인 차원에서 본격적으로 시도된 바는 없다. 물론 특정한 기술 분야에 초점을 둘 경우에는 비교적 체계적인 시기구분이 가능하다. 예를 들어 Bryan Bunch and Alexander Hellemans, *The Timetables of Technology: A Chronology of the Most Important People and Events in the History of Technology* (New York: Simon & Schuster, 1993)은 주로 물리과학과 관련된 기술 분야에 초점을 두면서 현대 기술의 흐름을 전기의 시대(1879~1946년), 전자의 시대(1947~1972년), 정보의 시대(1973년 이후~)로 구분하여 정리하였다. 1879년은 백열등이 발명된 해이고, 1947년은 트랜지스터가 발명된 해이며, 1973년은 Daniel Bell의 *The Coming of Post-Industrial Society*가 출간된 해이자 유전자 재조합 기술이 개발된 해이다. 그러나, 거의 모든 기술 분야를 고려하게 되면 현대 기술사의 시기를 설득력 있게 구분하는 작업은 매우 어려워진다. 이 글에서는 2차 대전을 기준으로 두 시기로 나누어 현대 기술사를 서술하는 다분히 절충적인 방법을 사용하였다.

2. 제2차 산업혁명과 현대 기술의 기원

현대 사회의 기술 시스템을 촉발한 많은 발명들은 19세기 후반과 20세기 초를 통해 출현하였다. 강철, 인공섬유, 자동차, 전기, 전신, 전화, 라디오 등은 그 대표적인 예이다. 이러한 기술혁신은 섬유산업이나 철강산업 등과 같은 기존의 산업을 크게 변혁시키거나 전기산업, 통신산업, 자동차산업 등과 같은 새로운 산업을 창출함으로써 당대의 산업발전과 경제성장에 커다란 영향을 미쳤다. 이러한 변화는, 대략 1760년부터 1830년까지 영국을 중심으로 진행되었던 (제1차) 산업혁명에 대비하여, “제2차 산업혁명”(The Second Industrial Revolution)으로 불리기도 한다. 제2차 산업혁명을 계기로 근대적 대기업이 산업 및 기술의 핵심 주체로 부상하였으며 기술의 주도권은 영국에서 독일과 미국으로 이동하였다. 특히, (제1차) 산업혁명에서는 기술혁신이 직접적인 영향력을 행사했다고 평가하기는 힘든 반면, 제2차 산업혁명은 새로운 기술혁신에 의해 추동되었다고 해도 과언이 아닐 정도로 기술혁신이 당시의 산업 및 경제의 변화에 커다란 영향을 미쳤다.³⁾

19세기 전반만 하더라도 섬유산업을 제외하면 기계화가 충분히 진행되지 않았고, 모든 산업 부문의 기계화는 19세기 후반부터 본격화되었다. 기계화가 진전되기 위해서는 우선 기계의 재료가 되는 철이 산업계에서 요구하는 품질과 수량에 적합하게 생산되어야 했다. 당시에 주요한 기계재료로 사용되고 있었던 선철(銑鐵)은 탄소함유량이 많으며 불순물을 함유하고 있어서 부러지기 쉽고 가공성이 취약한 특성을

3) David S. Landes, *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present* (Cambridge: Cambridge University Press, 1969), chap. 5(pp. 231-358)는 제2차 산업혁명의 특징으로 ① 강철 및 화학물질과 같은 신소재의 등장, ② 전기 및 내연기관을 비롯한 새로운 동력원의 출현, ③ 공장의 기계화 및 분업의 진전을 들고 있으며, Cross and Szostak (1995), chap. 10(pp. 149-162)은 제2차 산업혁명의 돌파구를 내연기관, 전기, 화학에서 찾고 있다.

가지고 있었다. 선철을 강도가 높고 가공성이 뛰어난 강(鋼)으로 만들기 위해서는 제강로에서의 정련과정을 거쳐야 하는데, 이것은 19세기 후반에 여러 가지 제강법이 개발됨으로써 가능했다. 벡세머(Henry Bessemer)의 전로법(轉爐法, 1856년), 지멘스(William Siemens)의 평로법(平爐法, 1857년), 마르탱(Pierre E. Martin)의 평로법(1864년), 토마스(Sidney G. Thomas)의 염기성 전로법(1878년)은 그 대표적인 예이다. 이러한 제강법의 혁신으로 철강재는 산업용 기계는 물론 철도 레일, 다리, 건축물 등으로 그 적용범위를 확장해 갔다. 특히, 1899년 파리 만국박람회의 인기를 독차지한 에펠탑은 마르탱 평로법에 의해 제작된 강철을 재료로 한 것으로서, 에펠탑은 철강의 용도가 수직건물에도 사용될 수 있다는 것을 보여준 상징적인 건축물이었다. 이후에 철강재는 건축물에 없어서는 안될 중요한 재료로 자리잡았고, 1940년대 이후에는 오늘날의 대표적인 도시 건축물인 대형 사무실 및 아파트의 제작에 널리 활용되기 시작하였다.

화학산업은 철강산업과 함께 신소재의 개발을 통하여 제2차 산업 혁명에 기여하였다. (제1차) 산업혁명의 주요 매개체였던 섬유산업은 수많은 표백제와 염료를 요구하였다. 19세기 전반까지는 주로 천연표백제가 사용되는 가운데 염소표백제가 일부 사용되었지만, 1863년에 솔베이(Ernest Solvay)가 “솔베이법”으로 알려져 있는 암모니아 소다 제조법을 개발한 이후에는 인공표백제가 천연표백제를 거의 대체하였다. 인공소다보다 더욱 중요한 기술혁신은 인공염료의 개발이었다. 1856년에 퍼킨(William H. Perkin)이 최초의 인공염료인 아닐린(anilin)을 합성한 이후에 염료산업은 유기화학의 선두주자였던 독일에서 급속히 발전하여 수많은 인공염료의 개발로 이어졌다. 천연염료가 풍부한 식민지를 많이 보유하고 있었던 영국은 합성염료의 개발에 거의 관심을 기울이지 않았던 반면, 바이어(Friedrich Bayer & Company)와 BASF(Badische Anilin und Soda-Fabrik)를 비롯한 독일의 화학회사들

은 1870년대 이후에 기업체 연구소를 설립하여 합성염료의 발명을 제도화했다는 점은 특기할 만하다. 이러한 인공소다와 인공염료의 개발로 섬유산업은 천연물에 구애받지 않고 자생적으로 성장할 수 있는 역량을 갖추게 되었다.

20세기에 접어들면서 화학산업은 새로운 기술혁신을 잇달아 경험하면서 섬유산업을 보조하는 위치에서 벗어나 독자적인 산업으로 성장하기 시작하였다. 하버(Fritz Haber)는 1908년에 공중질소고정법을 발견한 후 1913년에 BASF의 보슈(Karl Bosch)와 함께 “하버-보슈 공정”이라고 불리는 암모니아 상업화 공정을 개발함으로써 화학비료와 화약을 대량으로 생산할 수 있는 길을 열었다. 화학산업은 플라스틱 및 인조섬유와 같은 새로운 소재의 개발로 절정에 달하였다. 1909년에 베이클랜드(Leo H. Baekeland)는 안전성이 뛰어난 플라스틱인 베이클라이트(Bakelite)를 개발했는데, 이것은 최초의 합성중합체로서 고분자 화학물질 개발의 포문을 열었다. 베이클라이트는 1927년 9월의 『타임』지의 표지에 등장할 정도로 당시 산업계의 총아로 떠올랐으며 1920년대 이후에 자동차산업과 라디오산업에서 절연체로 널리 사용되었다.⁴⁾ 또한, 1934년에 듀퐁(Du Pont) 중앙연구소의 캐로더스(Wallace H. Carothers)가 발명한 나일론은 대기업이 적극 지원하는 5년간의 대규모 협동연구개발사업을 통해 상업화되었고 1939년 뉴욕 만국박람회에서 히트 상품으로 부상하였다. 듀퐁의 경영진은 나일론을 상품화하면서 여성용 블라우스에 사용되던 값비싼 비단을 대체하겠다는 전

4) 베이클랜드가 베이클라이트를 개발하는 과정에 대한 흥미로운 해석으로는 Wiebe E. Bijker, “The Social Construction of Bakelite: Toward a Theory of Invention”, Wiebe E. Bijker, Thomas P. Hughes, and Trevor Pinch, eds., *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology* (Cambridge, MA: MIT Press, 1987), pp. 139-187를 참조. 여기서 Bijker는 “기술 프레임”(technological frame)이란 개념을 도입하면서, 베이클랜드가 셀룰로이드 화학의 기술 프레임뿐만 아니라 전기화학 공학의 기술 프레임 양쪽을 가지고 있었기 때문에 합성 플라스틱의 기술 프레임을 개발할 수 있었다고 해석하고 있다.

락을 내세웠는데, 때마침 2차 대전이 발발하여 일본으로부터의 비단 수입이 단절되는 바람에 듀폰은 나일론으로 여성 고급 의류 시장을 급속히 잠식할 수 있었다.⁵⁾

모든 산업 부문에서 기계화가 이루어지기 위해서는 앞서 지적인 제강법의 발전 이외에 동력체계의 문제가 해결되어야 했다. 1769년에 와트(James Watt)가 증기기관을 발명한 후 증기기관은 서서히 공장의 동력원으로 사용되기 시작하였고, 1884년에 파슨스(Charles A. Parsons)는 수력터빈의 원리를 증기기관에 응용한 증기터빈을 개발함으로써 증기기관의 효율을 대폭 향상시켰다. 1880년대까지 공장의 동력체계는 증기기관에 선형 샤프트(line shaft)를 연결해 공장에 동력을 직접 전달하는 방식을 취하고 있었는데, 이것은 에너지 손실이 많고 복잡한 구조물로 이루어져 있다는 단점을 가지고 있었다. 이러한 한계는 1866년에 지멘스(Ernest W. Siemens)가 상용 발전기를 개발하고 1882년에 에디슨(Thomas A. Edison)에 의해 전력의 상업화가 가능해 지는 것을 계기로 전기가 공장의 동력원으로 사용됨으로써 극복될 수 있었다. 최초의 전기동력체계는 주동력원인 증기기관을 발전기로 대체한 것에 불과했지만, 1895년 경부터는 공장의 부문별로 별도의 전동기를 설치하는 방식이 시도되었고, 1905년 경부터는 오늘날과 같이 기계와 전동기를 일대일로 대응시키는 방식이 정착되었다.⁶⁾ 전기에 의한 동력체계는 가격이 저렴하고 전달이 쉬우며 깨끗하고 응용범위가 넓다는 점에서 증기동력체계를 급격히 대체해 나갔다. 전기는 교통수단에도 활용되어 1879년 베를린 박람회에서 전차가 선보인 후 10년도 지

5) 듀폰의 나일론 개발과정에 대해서는 David Hounshell and John Kenly Smith, Jr., *Science and Corporate Strategy: Du Pont R&D, 1902-1980* (Cambridge: Cambridge University Press, 1988), part III(pp. 221-326)을 참조.

6) 공장동력체계의 변천 및 전기화(電氣化)의 양상에 대해서는 Warren D. Devine, Jr., "From Shafts to Wires: Historical Perspective on Electrification", *Journal of Economic History* 43 (1983), pp. 347-372를 참조.

나지 않아 유럽과 미국의 많은 대도시는 전차선을 이미 구축하고 있거나 그것을 준비하고 있었다. 1900년에 증기와 전기가 동력원에서 차지하는 비율은 80%와 5%였지만, 1930년에는 그 비율이 15%와 75%로 역전되었다.

증기기관은 아무리 성능이 개선된다 하더라도 엔진의 외부에서 동력이 공급되기 때문에 열손실이 많다는 단점을 가지고 있다. 19세기 후반부터 많은 발명가들은 외연기관에 비해 열효율을 급격히 향상시킬 수 있는 내연기관의 개발을 모색하였다. 르노와르(J. E'tienne Lenoir)는 1860년에 전기로 점화되는 최초의 내연기관을 발명하였고, 오토(Nikolaus A. Otto)는 오늘날 내연기관의 기본 작동원리가 되는 4행정 이론을 정립하여 1867년에 상업적 가치를 가진 최초의 내연기관을 개발하였다. 그러나, 르노와르 엔진과 오토 엔진은 모두 석탄가스를 원료로 사용하고 있다는 공통점을 가지고 있어서 수송용으로는 적합하지 않았다. 이러한 한계는 1883년에 다이믈러(Gottlieb W. Daimler)가 기술린을 원료로 사용하는 내연기관을 개발함으로써 돌파되었다. 다이믈러의 엔진은 1885년에 각각 다이믈러의 오토바이와 벤츠(Karl Benz)의 자동차로 상업화되었다. 한편, 디젤(Rudolf Diesel)은 오토의 내연기관을 관찰하면서 약간의 공기와 액체연료를 사용하여 매우 높은 압력의 엔진이 만들어질 수 있다고 착안한 후 4년간의 노력 끝에 등유를 사용하는 디젤 엔진을 개발하여 1893년에 특허를 취득하였다.⁷⁾ 이러한 기술린 엔진과 디젤 엔진의 개발로 인류사회는 석유에 의존하는 사회로 변모하기 시작하였다.

매우 가벼우면서도 열효율이 뛰어난 기술린 엔진은 곧바로 자동차

7) 디젤 엔진의 개발 과정과 관련하여 Lynwood Bryant, "The Role of Thermodynamics in the Evolution of the Heat Engines", *Technology and Culture* 14 (1973), pp. 152-165는 "열역학이 디젤 엔진을 낳았다"는 기존의 해석을 비판하면서 디젤이 열역학의 원리를 그대로 엔진에 적용하려는 노력을 포기하고 기술적 현실성을 받아들인 이후에야 엔진의 개발에 성공했다고 지적하고 있다.

에 적용되었다. 1890년대에는 유럽과 미국에서 다양한 형태의 자동차가 앞을 다투어 제작되었다. 당시의 자동차 경쟁은 전기 자동차, 증기 자동차, 가솔린 자동차의 3파전을 띠고 있었는데, 이 중에서 주도권을 장악한 것은 가솔린 자동차였다. 가솔린 자동차 업계는 시장 진입 단계에서 농촌 지역을 공략하는 차별화 판매 전략을 활용했고, 대량생산 방식을 일찌감치 도입하여 대중용 자동차 시장을 창출함으로써 자동차 업계를 평정하였다.⁸⁾ 포드(Henry Ford)가 1908년부터 추진했던 “모델 T”는 복잡하지 않게 설계되어 있고 새로운 합금강을 사용하여 견고할 뿐만 아니라, 작업의 세분화와 작업 공구의 특화에 입각한 대량생산 방식으로 저렴하게 제작되어, 출하 직후부터 폭발적인 인기를 누렸다. 특히 1913년에 포드사는 산업사회의 상징이라 할 수 있는 컨베이어 벨트를 도입함으로써 대량생산 및 대중소비 시대의 개막을 선포하였다. T형 포드는 다른 자동차에 비해 가격이 10배 정도나 저렴했으며 전성기에는 전세계 자동차의 68%를 차지하였다. 1920년대부터 미국사회는 풍요한 경제와 포드 자동차를 배경으로 자동차 대중화 시대에 돌입하여 1930년에는 가구당 1대의 자동차를 보유하게 되었다.

포드사의 자동차 생산과정과 노동관리방식은 이후에 “포디즘”(Fordism)라 불릴 정도로 많은 주목을 받았는데, 그것의 기원은 19세기 후반으로 거슬러 올라갈 수 있다. 미국의 자본주의는 1870년대 중엽에서 1890년대 중엽까지 물가하락과 낮은 성장률을 수반하는 “대불황”(Great Depression)을 경험하였다. 이에 대응하여 미국의 기업들은 기업집중을 통해 기업간의 경쟁을 통제함으로써 총이윤의 증가를 보장하는 동시에 생산비를 절감하거나 생산성을 제고하여 이윤율을 증가시키는 전략을 추구하기 시작하였다. 특히, 후자(後者)와 관련하여

8) 자동차 3파전의 양상 및 결과에 대한 흥미로운 해석은 Bassalla (1996), pp. 293-303에서 엿볼 수 있다.

다양한 기술적 수단이나 조직적 방법을 통해 기업 내부의 생산과정을 재편하는 것이 중요한 문제로 떠올랐다. 이러한 문제를 담당했던 집단은 19세기의 광범위한 산업화를 배경으로 급속히 성장한 기계기사들(mechanical engineers)이었다. 그들은 원가회계, 재고관리, 임금제도를 개선하는 활동을 벌였는데, 그것은 역시 기계기사였던 테일러(Frederick W. Taylor)에 의해 “과학적 관리 운동”으로 발전하였다. 테일러는 시간 및 동작연구를 통하여 노동자의 과업(task)을 설정하였고, 노동자에게 과업 실행의 유인을 제공하기 위하여 차별적 성과급제를 개발하였으며, 과업관리에 적합한 조직인 기획부 및 기능별 직장제를 고안하였고, 전동장치 및 작업도구의 개발을 통하여 기계장치를 표준화하였다. 이러한 테일러리즘은 이후에 포디즘으로 발전되었다. 앞서 언급한 모델 T 생산을 계기로 구체화된 포디즘은 노동과정의 분해, 특수용 공작기계의 개발 및 도입, 컨베이어 벨트의 구축 등과 같은 기술적 측면과 일당 5달러 제도의 확립, 노동자 생활조사 프로그램의 실시, 각종 교육 및 복지 프로그램 등과 같은 조직적 측면을 포괄하고 있었다.⁹⁾

현대 기술의 역사에서 빼 놓을 수 없는 것은 “제2의 불”로 불리는 전기(電氣)이다. 19세기 말과 20세기 초의 시기가 “전기의 시대”(The Age of Electricity)라 불릴 정도로 전기는 앞서 언급한 공장 및 교통수단의 동력원으로서 물론 조명, 통신, 가전제품 등에 광범위하게 활용되었다.¹⁰⁾ 전기의 시대는 1879년에 에디슨이 전등을 개발하는 것에

9) 테일러리즘 및 포디즘의 형성과정에 대해서는 줄고, “테일러리즘의 형성과정에 있어서 기술의 위치”, <한국과학사학회지> 제16권 1호 (1994), pp. 66-101; Stephen Meyer, III, *The Five Dollar Day: Labor Management and Social Control in the Ford Motor Company, 1908-1921* (Albany: State University of New York Press, 1981)을 참조. 한편, David A. Hounshell, *From the American System to Mass Production, 1800-1932: The Development of Manufacturing Technology in the United States* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1984)는 부품의 호환성을 핵심으로 하는 “미국식 생산체제”가 포디즘으로 대표되는 대량생산체제로 변천한 과정을 꼼꼼히 추적하고 있다.

서 시작되었다. 에디슨은 기존의 가스등 시스템과 경제적으로 경쟁하기 위한 목적을 가지고 전등 시스템의 개발에 착수하였다. 그는 체계적인 비용 분석을 통하여 전도체에 사용되는 값비싼 구리가 전등 시스템 개발에서 난점에 해당한다는 점을 밝혀낸 후, 전등에 필요한 에너지를 공급하면서도 전도체의 경제성을 보장하는 것을 핵심적인 문제로 규정하였다. 그는 오옴(Ohm)의 법칙과 주울(Joule)의 법칙을 활용하여 전도체의 길이를 줄이고 횡단면적을 작게 하는 방법을 탐색하였고, 결국 기존의 저(低)저항 필라멘트를 대체할 수 있는 100오옴짜리 고저항 필라멘트라는 개념에 도달하였다. 에디슨은 전등을 시스템적인 차원에서 개발했을 뿐만 아니라 전등의 상업화와 관련된 경영 활동도 시스템적으로 전개하였다. 즉, 전등의 연구개발을 담당하는 회사, 전력을 공급하는 회사, 발전기를 생산하는 회사, 전선을 생산하는 회사 등을 잇달아 설립하여 전기에 관한 한 모든 서비스를 제공해 줄 수 있는 “에디슨 제국”을 구성하였고, 이상의 기업들은 1880년에 에디슨 제너럴 일렉트릭(Edison General Electric)사로 통합됨으로써 당시의 전기산업을 장악하였다.¹¹⁾

그러나 에디슨 제국은 직류 시스템에 입각하고 있었기 때문에 발전소를 소비지역과 인접한 곳에 설치해야 하는 약점을 가지고 있었다. 직류 시스템의 대안이 된 교류 시스템은 테슬라(Nikola Tesla)가 1888

10) 전기화에 대한 가장 뛰어난 역사서술은 Thomas P. Hughes, *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1983)이다. 유명한 기술사학자인 Hughes는 “기술 시스템”(technological system)이란 개념을 통해 전등 및 전력 시스템의 진화 과정을 분석하고 있다.

11) 에디슨의 업적과 관련하여 W. Bernard Carlson, “Artifacts and Frames of Meaning: Thomas A. Edison, His Managers, and the Cultural Construction of Motion Pictures”, Wiebe E. Bijker and John Law, eds., *Shaping Technology/Building Society: Studies in Sociotechnical Change* (Cambridge, MA: MIT Press, 1992), pp. 175-198은 에디슨이 영화나 축음기와 같은 대중문화를 신도했던 많은 발명품들을 개발했음에도 불구하고 그것을 배경으로 성장한 새로운 문화를 이해하지 못했던 역설적인 삶을 살았다는 해석을 시도하고 있다.

년에 교류 모터를 발명하고 웨스팅하우스(Westinghouse)사가 그의 특허를 매입함으로써 모습을 드러내기 시작하였다. 직류 시스템과 교류 시스템 사이에는 “전쟁”이라 불릴 정도로 격렬한 경쟁이 전개되었고, 결국 1893년에 시카고 만국박람회에서 웨스팅하우스사가 에디슨사를 제치고 전기시설 독점권을 따내면서 일단 종결되었다. 교류 시스템과의 경쟁에서 패배할 것이 분명해지자 에디슨은 자신의 회사를 톰슨-휴스턴(Thomson-Houston)사와 1892년에 통합하여 제너럴 일렉트릭(General Electric, GE)으로 변모시키고 슈타인메츠(Charles P. Steinmetz)가 근무하고 있었던 아이케마이어(Eickemeyer)사를 1893년에 합병하면서 웨스팅하우스와의 공생(共生)을 모색하였다. 그것은 1895년에 나이아가라 폭포에 수력 발전소를 건설하는 공사를 웨스팅하우스사가 맡는 대신, GE는 나이아가라 발전소에서 비펄로시로 전기를 공급하는 전선의 제작을 담당하는 식으로 이루어졌다. 더 나아가 두 기업은 특허를 공유하는 방법을 통해 GE가 웨스팅하우스의 독점 분야였던 철도장치의 제작에 참여하고 웨스팅하우스가 GE의 독점 분야였던 전등 및 전력 기기의 제작에 참여할 수 있게 하는 타협점을 도출하였다.

유럽 및 미국의 다른 기업에서 새로운 전등을 개발하고 있다는 소식이 전해지자 GE는 1900년에 기업체 연구소를 설립하여 전등 연구를 제도화하였다. 높은 보수와 자유로운 분위기를 표방한 GE 연구소는 젊고 유능한 과학기술자들을 대거 영입하여 백열등을 개량하는 업무를 추진하였다. 그 과정에서 쿨리지(William D. Coolidge)는 1913년에 상업용 텅스텐 필라멘트를 개발하였고 랭뮤어(Irving Langmuir)는 1916년에 기체 충전 백열등을 개발하였다.¹²⁾ GE와 같은 대기업은 기업체 연구소를 통해 기술혁신을 추동하는 것을 넘어서서 기술혁신의

12) George Wise, “산업에서의 전문과학자의 새로운 역할: 제너럴 일렉트릭에서의 산업적 연구”, 김영식 편, 『근대사회와 과학』 (창작과 비평사, 1989), pp. 263-288.

경로를 규정하는 데 막강한 영향력을 행사하였다. 1938~42년에 튠트 형광등, 고효율 형광등, 고집적 형광등이 잇달아 개발됨으로써 전성기를 맞이했던 형광등의 역사는 이러한 점을 잘 보여주고 있다. 기존의 백열등에 비해 넓은 범위의 색깔을 밝고 진하게 낼 수 있었던 튠트 형광등을 개발한 기업은 GE와 웨스팅하우스가 공동출자한 마쯔다(Mazda)사였다. 튠트 형광등은 백열등보다 전력을 많이 소비하기 때문에 마쯔다는 전기 설비 회사들과 일치된 이해관계를 가지고 있었다. 그러나 전력의 소비를 줄인 고효율 형광등이 개발되자 “전등”을 파는 데 일차적인 관심이 있었던 마쯔다와 “전기”의 판매에 사활을 걸고 있었던 설비 회사의 동맹에 금이 가기 시작했다. 두 집단의 관계가 악화일로에 치달고 있을 때 소규모의 독립업체인 하이그레이드 실바니아(Hygrade Sylvania)사는 고효율 형광등을 시중에 널리 판매하여 시장점유율의 상당 부분을 차지하게 되었다. 이에 자극을 받은 마쯔다와 설비 회사들은 잇단 회의를 열어 서로 타협점을 모색했는데, 그 과정에서 개발된 것이 고집적 형광등이다. 고집적 형광등은 고효율 형광등에 비해 2배의 광도(光度)를 가지고 있었는데, 당시에는 그 정도의 높은 광도가 절실히 요구되지는 않았다.¹³⁾

전기와 함께 새로운 시대를 열어 줄 것으로 기대되었던 것은 전신과 전화였다. 모오스(Samuel F.B. Morse)는 1837년에 실제 사용이 가능한 전신기와 함께 점과 사선으로 구성된 모오스 부호를 개발한 후 1845년에 전신 서비스를 제공할 목적으로 일련의 기업을 설립하였고, 1866년에는 대서양 횡단 케이블을 설치하는 데 성공하였다. 1866년에 모오스의 회사는 웨스턴 유니온 전신(Western Union Telegraph)사라는 대기업으로 탈바꿈했는데, 이 기업은 1980년대까지 전신 서비스를 거의 독점하였다. 전신 시스템은 처음에는 기차의 운행시각을 통제하

13) Wiebe E. Bijker, “The Social Construction of Fluorescent Lighting, or How an Artifact Was Invented in Its Diffusion”, Bijker and Law, eds. (1992), pp. 75-102.

는 데 사용되다가 점차 기업, 언론, 가정 등으로 적용범위를 확장하였다. 전신사업은 1897년에 마르코니(Guglielmo M. Marconi)가 무선전신을 발명한 후 영국 마르코니(British Marconi)사와 미국 마르코니(American Marconi)사를 잇달아 설립함으로써 더욱 확대되었다. 마르코니는 선박들 간의 통신에 자신의 무선전신기를 활용할 수 있다는 점에 착안하여 영국 해군을 설득하였고 곧 이어 미국 해군으로부터도 자금과 시장을 확보할 수 있었다. 전신의 가치가 분명해지자 1900년 경에는 수많은 아마추어 무선통신 집단이 출현하였고, 그들은 수신기의 성능과 안테나의 특성을 개량하는 데 크게 기여하였다. 1912년 타이타닉호 침몰 사고가 무선전신을 통하여 전 세계에 전파되는 것을 계기로 무선전신의 중요성에 대한 인식은 급속히 확산되었고, 미국 정부는 주파수 스펙트럼의 범위를 규정하는 법을 제정하기에 이르렀다.

전화는 전신보다 더욱 큰 반향을 일으켰다. 전화는 사용자들간에 직접적인 통신을 가능하게 할 뿐만 아니라 인간의 감정까지도 전달할 수 있었던 것이다. 전화는 1876년 2월 14일에 아마추어 발명가인 벨(Alexander G. Bell)이 전문발명가인 그레이(Elisha Gray)보다 2시간 빨리 특허를 제출함으로써 모습을 드러냈다.¹⁴⁾ 벨은 미국 독립 100주년을 기념하여 1876년 필라델피아에서 개최된 박람회에서 전화를 선보인 후 벨전화(Bell Telephone)사를 설립하였고, 전화기기를 제작하는 기업들에게 자신의 특허를 대여하는 한편 특허를 침해한 기업을 고소하는 방식으로 전화산업을 급속히 석권해 갔다. 전화 시스템의 확장에 있어서 핵심적인 걸림돌이 되었던 것은 장거리 전송시 발생하는 에너지 손실에 관한 문제였다. AT&T(American Telephone &

14) 이와 관련된 흥미로운 해석은 David A. Hounshell, “Elisha Gray and the Telephone: On the Disadvantage of Being an Expert”, *Technology and Culture* 16 (1975), pp. 133-161를 참조.

Telegraph: 벨전화사가 확대되어 1885년에 설립된 기업)는 1900년에 장하코일(loading coil)을 발명한 푸핀(Michael Pupin)의 특허를 매입하여 전송 거리를 두 배로 확장함으로써 관련된 문제점을 일단 해결하였다. 1907년에 경영진이 교체되면서 AT&T는 장거리 전화사업의 독점을 목적으로 하는 “포괄적 서비스”(universal service) 전략을 표방하였고, 1911년에 박사급 물리학자들을 대폭 고용하면서 공학부서를 연구 중심으로 개편하였다. AT&T가 추진하고 있었던 대륙횡단 전화 서비스가 가능하기 위해서는 신호를 증폭해 주는 기기의 개발이 절실히 요구되었다. AT&T의 연구진은 1906년에 드 포리스트(Lee de Forest)가 발명한 3극 진공관(Audion)이 수신기뿐만 아니라 증폭기로도 사용될 수 있다는 점에 착안하여 1912년에 새로운 고진공 증폭관을 개발하였다. 이것은 이후에 몇 차례의 개량을 거친 후 1915년에 뉴욕과 샌프란시스코 사이의 동서대륙간 전화통화에 사용되었다. 고진공 증폭관의 개발과 활용을 계기로 AT&T는 연구개발활동의 제도화가 기업의 장래에 필수적이라는 점을 인식하면서 1925년에 벨전화연구소(Bell Telephone Laboratory)를 독립법인의 형태로 설립하였다.

“무선전파의 시대”를 화려하게 장식한 것은 특정한 사건을 전국적인 차원에서 동시에 체험할 수 있게 한 라디오와 TV의 등장이었다. 1918년에 암스트롱(Edwin H. Armstrong)은 수신기, 튜너, 증폭기를 한가지 기기에 집적시킨 라디오를 개발하였다. 1920년에 웨스팅하우스가 암스트롱의 특허를 매입한 사실은 거의 모든 신문 및 잡지의 헤드라인기사로 떠올랐다. 1922년에는 뉴욕에서 상업적 방송이 시작되었고, 1926년에 설립된 NBC는 500개 이상의 방송국을 가진 전국적 네트워크를 구성하였다. 라디오 방송이 시작되면서 많은 사람들은 라디오가 통신수단의 최종적인 형태가 될 것이라고 생각했다. 그러나, 이것은 1923년에 즈보리킨(Vladimir K. Zworykin)이 TV 카메라를 개발함으로써 무색해졌다. 1930년에 미국 라디오방송공사(Radio Corpo-

ration of America, RCA)로 자리를 옮긴 즈보리킨은 10년에 걸쳐 감광성이 뛰어난 카메라 튜브를 제작하는 데 전념하였고, 1938년에 RCA는 TV 사업을 위한 모든 준비를 갖추었다. TV의 판매 및 상업방송의 개시는 대공황과 2차 대전으로 제한을 받다가 1940년대 후반부터 급격히 성장하여 미국의 경우에 1946년에는 8천대에 불과했던 TV는 1960년에 4,570만대로 증가하였다. 한편, 1965년에 통신위성이 발사된 이후에는 TV 채널의 확장이 기술적인 제한으로부터 탈피함으로써 수많은 케이블 TV 채널이 생겼다.¹⁵⁾

20세기 전반에는 수많은 가사기술이 개발되어 일반 가정에서 사용되기 시작하였다. 특히, 진공청소기, 세탁기, 냉장고는 가정주부에게 “세 가지 신기한 물건”으로 불릴 정도로 가사활동의 패턴을 크게 변화시켰다. 가사기술 역시 후버(Hoover), GE, 웨스팅하우스와 같은 대기업에 의해 개발 및 판매가 독점되었는데, 냉장고의 사례는 이러한 점을 잘 보여주고 있다. 19세기 중엽부터 기계적 냉장에 대한 요구가 증가하면서 각 기업들은 경쟁적으로 냉장고 사업에 뛰어들었고 1920년대에는 가정용 냉장고가 시판되기에 이르렀다. 가정용 냉장고 시장을 석권했던 것은 가스 흡수식이 아니라 전기 압축식이었는데, 당시에는 전기 서비스보다 가스 서비스가 널리 퍼져 있었고 전기 냉장고가 가스 냉장고보다 기술적으로 뛰어나지도 않았다. 전기 압축식에서는 압축기라는 별도의 전기 펌프가 냉매의 기화와 응고를 조절하였던 반면, 가스 흡수식은 냉매가 가스 불꽃에 의해 가열되고 물에 흡수되면서 농축되는 매우 간단한 구조를 가지고 있었다. 압축기로 인하여 전기 냉장고는 웅웅하는 소리가 심하게 났던 반면 가스 냉장고는 매

15) 이상에서 서술한 전파 기술의 역사에 대한 자세한 내용은 Stanley Leinwoll, *From Spark to Satellite: A History of Radio Communication* (New York: Charles Scribner's Sons, 1979); Hugh G.J. Aitken, *The Continuous Wave: Technology and American Radio, 1900-1932* (Princeton: Princeton University Press, 1985)를 참조.

우 조용하였고, 가스 흡수식에는 작동 부품이 거의 없어서 작동 비용도 저렴하였으며 유지 및 정비도 용이하였다. 전기 압축식 냉장고의 승리는 관련 대기업의 적극적인 기술적·경제적 활동에 기인한 것이었다. GE 및 웨스팅하우스와 같은 대기업들은 충분한 자본을 바탕으로 전기 냉장고의 개발에 막대한 물적·인적 자원을 투자하였으며 적극적으로 기발한 광고 및 판촉 활동을 벌였다. 또한 대기업들 사이의 생산적인 경쟁과 전기 설비 회사들의 적극적인 지원은 전기 냉장고에 관한 기술혁신과 시장확보를 용이하게 하였다. 반면 가스 냉장고 제조업체들은 대부분 중소기업이어서 막대한 개발비를 적시에 공급하지 못했고, 도중에 사업을 포기하는 업체가 많아서 건전한 경쟁이 유발되지 않았으며, 보수적인 가스 설비 회사들은 전기 서비스의 도전에 자신을 방어하기에 급급하였다. 이러한 과정을 통해 등장한 전기 압축식은 지금도 지배적인 냉장고 패러다임으로 군림하고 있다.¹⁶⁾

이상과 같은 과정을 통하여 형성된 현대 기술의 몇가지 특징은 이후의 기술혁신활동에도 중요한 영향을 미쳤다. 첫째, 대불황을 계기로 출현한 대기업은 많은 물적·인적 자원을 효과적으로 활용함으로써 기술 시스템의 구축과 성장에 주도권을 행사하였다. 이것은 현대 기술이 가진 시스템적인 특성과 기업가의 의식적인 노력이 상호작용한 결과였다. 예를 들어 전력의 경우에는 발전, 송전, 배전을 포함하는 시스템이 구성되어야 하는 기술적 특성이 있으며, 전력 시스템을 구축한 에디슨은 발전기, 전선, 전등 등 전력과 관련된 거의 모든 제품을 생산할 수 있는 네트워크를 구축했던 것이다. 둘째, 기술혁신의 핵심적 주체는 에디슨, 벨, 피킨 등과 같이 독립적으로 발명활동을 수행하던 사람에서 랭뮤어, 아놀드, 캐로더스 등과 같이 기업체 연구소에 소속된 사람들로 서서히 변모해 갔다. 기술혁신이 독립발명가 개인에

16) Ruth Schwartz Cowan, "어떻게 해서 냉장고는 왕왕하는 소리를 가지게 되었는가", 송성수 편, 『우리에게 기술이란 무엇인가』 (녹두, 1995), pp. 258-281.

의한 활동에서 기업체 연구소에 의한 집단적인 활동으로 변모했던 것이다. 기업체연구원들은 독립발명가들에 비해 경제적 문제를 크게 고려할 필요는 없었지만 연구 주제의 선택에 있어서는 상대적으로 자유롭지 못한 경향을 가지고 있었다.¹⁷⁾ 셋째, 기술을 발명 혹은 개발하는 것에 못지 않게 그것을 선전하여 수요를 창출하는 활동이 중요한 요소로 떠올랐다. 1851년부터 시작된 만국박람회와 19세기 말부터 보급되기 시작한 언론매체는 그러한 역할을 담당할 대표적인 공간이었다. 대중적 전시와 선전의 중요성이 점차 인식되면서 발명가들과 기업가들은 이러한 공간을 적극적으로 활용하기 위하여 수많은 노력을 기울였다. 예를 들어 전화, 전등, 무선전신, 나일론 등과 같은 기술은 박람회를 통해 급속히 전파되었고, 포드, GE, 듀폰과 같은 대기업은 자사의 제품 및 서비스를 선전하기 위하여 기발한 광고 활동을 전개하였다.

이보다 더욱 중요한 현대 기술의 특징은 기술이 일상생활로 침투한 데서 찾을 수 있다. 19세기만 해도 기술이라고 하면 주로 산업계의 전용물로 생각되었지만 20세기에 접어들면서 기술은 산업계뿐만 아니라 일상생활에서도 널리 사용되었던 것이다. 예를 들어 1920년대의 미국 중산층의 가정에는 자동차, 라디오, 전화, 냉장고 등과 같은 기술을 구비하고 있었다. 이러한 기술을 매개로 이전에는 상상조차 어렵던 새로운 가능성이 열리게 됨에 따라 1920년대 무렵부터는 기술이 풍요의 원천이자 진보의 상징으로 열렬히 찬양되었다.¹⁸⁾ 그러나, 기술이 일상생활에 영향을 미치는 데에는 사회적 차원의 여러 가지 요소

17) 이와 관련하여 Hughes (1989)는 독립발명가들은 정교화되지 않은 급진적 혁신에 초점을 두는 반면, 기업체연구원들은 이미 확립된 기술 시스템을 개량하는 활동에 집중한다고 강조하고 있다.

18) 미국사회를 대상으로 "기술유토피아주의"의 양상과 변천을 분석한 저술로는 Howard P. Segal, *Technological Utopianism in American Culture* (Chicago: University of Chicago Press, 1985)가 있다.

가 결부되기 때문에 “기술은 인간의 생활을 편리하게 한다”는 단순한 이미지는 재고(再考)되어야 한다. 1936년에 채플린에 의해 제작된 『모던 타임즈』는 컨베이어 벨트가 노동을 매우 무미건조한 것으로 만들고 있는 양상과 노동자들이 그러한 횡포로부터 탈출하고자 분투하는 모습을 잘 보여주고 있다. 또한, 20세기에 접어들면서 진행된 “가정에서의 산업혁명”이 경감시킨 노동은 가정주부의 노동이 아니라 남성과 자녀의 노동이었으며, 생활수준의 향상 및 현모양처 이데올로기의 부상과 결부되어 가정주부는 오히려 더 많은 일을 하게 되었다는 주장도 되새길 필요가 있다.¹⁹⁾

3. 제2차 세계대전과 현대 기술의 변천

현대 기술의 경로에 가장 커다란 영향을 미친 사건은 2차대전이라고 할 수 있다. 2차대전은 항공기와 같은 기존의 기술을 급속히 발전시켰고, 원자탄 및 컴퓨터 등과 같은 새로운 기술의 원천으로 작용하였다. 또한, 2차 대전과 그 이후에 지속된 냉전체제를 배경으로 군부는 기술혁신에 대한 최대의 수요자이자 지원자로 기능하였다. 사회체제가 전쟁의 방향으로 조직되자 기술혁신 관련 주체들은 군사 혹은 군수에서 최대의 수요선을 찾아내었다. 동시에 필요 이상의 자원이 전쟁과 관련된 기술에 투입되면서 자원배분이 왜곡되고 그 결과 탄생한 기술이 인류를 파괴하는 데 사용됨으로써 기술에 대한 비판적 인식과 운동도 전개되기 시작하였다. 이처럼 2차 대전은 현대 기술변화의 속도와 방향 및 범위에 뚜렷한 흔적을 남겼다. 만약 2차 대전이 없

19) Ruth Schwartz Cowan, 김성희 외 옮김, 『과학기술과 가사노동』 (학지사, 1997). 이 책에 대한 간단한 서평으로는 즐고, “엄마에게 더 많은 일을 물려준 현대 가정기술”, 『창작과 비평』 제99호 (1998년 봄), pp. 399-402를 참조

있더라면 오늘날과는 다른 형태의 기술경로가 그려졌을 것임에 틀림 없다.²⁰⁾

2차대전을 계기로 급속히 발달하고 그 범위가 확대된 대표적인 기술로는 항공우주기술을 들 수 있다. 앞서 서술한 기술린 엔진의 발명으로 가벼운 동력원이 현실화되면서 1900년 경부터 항공기의 가능성이 본격적으로 모색되었다. 1903년에 라이트 형제(Wilbur and Orville Wright)는 손수 제작한 항공기로 세계 최초의 비행에 성공하였고, 1927년에 린드버그(Charles A. Lindbergh)는 대서양 횡단 비행에 성공함으로써 항공에 대한 열기를 고조시켰다. 처음에 장거리 우편물 수송의 수단으로 사용되었던 항공기의 다른 용도를 재빨리 인식한 집단은 당시 군부의 세력을 장악하려고 했던 공군이었다. 유럽 및 미국의 국방부는 항공기를 중요한 군사무기로 지목하고 항공기 제작 회사를 전폭적으로 지원하기에 이르렀다. 1차 대전을 계기로 본격적인 궤도에 진입한 항공산업은 2차 대전을 계기로 급격히 성장하여 몇몇 대기업을 중심으로 대량생산하는 단계로 진입하였다. 항공산업에 대한 자금은 거의 군부에 의해 지원되었고 가공할만한 속도를 요구했던 군부 집단의 개입에 따라 고속 엔진의 개발이 잇달았다. 제트기와 로케트는 그 대표적인 예이다. 그러나, 예상 밖의 문제가 발생하는 바람에 제트기와 로케트의 개발은 매우 지연되었고 이에 따라 원래의 기대와는 달리 실제 전투에서는 아예 사용되지 못하거나 큰 효과를 발휘하지 못했다. 2차 대전 이후에 제트엔진은 장거리 공중운송수단에 사용되었고, 로케트엔진은 미사일이나 인공위성의 발사체로 사용되었다. V-2 로케트를 개발했던 독일의 폰 브라운(Wernher von Braun)은 미

20) 이와 관련하여 Paul Forman, “Behind Quantum Electronics: National Security as Basis for Physical Research in the United States, 1940-1960”, *Historical Studies in the Physical Sciences* 18 (1987), pp. 149-229는 1940~60년에 군부가 고체물리학 및 양자전자공학을 집중적으로 지원한 것이 과학기술자들로 하여금 가시적인 테크닉이나 기술에 응용되는 방향의 연구로 더 많은 관심을 돌리게 했다는 점을 설득력있게 주장하고 있다.

국으로 건너가 미사일 개발을 담당하였고 소련은 V-2 엔진을 개량하여 독자적인 미사일을 개발하였다. 소련이 1957년에 8월에 대륙간탄도미사일(intercontinental ballistic missile, ICBM)을 개발했다는 소식이 전해지고 동년 10월에 세계 최초의 인공위성인 스푸트닉(Sputnik)을 발사하자 이에 “충격”을 받은 미국은 미사일과 우주탐사에 엄청난 자원을 투자하기 시작하였다. 항공우주기술을 매개로 미국과 소련 사이에는 1980년대까지 상상을 초월한 출혈 경쟁이 지속되었는데, 예를 들어 탄도미사일과 콩코드여객기 개발에는 각각 20억 달러 이상이 소요되었고 아폴로 계획에는 210억 달러라는 거금이 소비되었다.²¹⁾

1959~71년에 미국에서 진행된 초음속 여객기의 개발을 둘러싼 논란은 냉전 시대의 기술 프로젝트가 전개되는 양상을 잘 보여주고 있다. 2차 대전시 군부의 지원으로 군용 항공기를 생산하면서 급격히 성장한 보잉(Boeing), 더글라스(Douglas), 록히드(Lockheed)는 거대해진 생산시설을 최대한 활용하기 위하여 민간을 위한 기술을 개발한다는 명목 하에 초음속 여객기의 개발을 추진하였다. 그들은 2차 대전 때와 마찬가지로 정부가 재정을 떠맡으리라고 기대했고, 이것은 영국과 소련에서 국가 주도로 초음속 여객기 개발이 진행 중이라는 소문에 의해 더욱 강화되었다. 초음속 비행기 프로젝트는 개발에 소요되는 총 비용 10억 달러 중 정부가 75%를 부담하는 방식으로 추진되다가 나중에 그 비율이 90%로 상향조정되었다. 그러나 1968년이 되어도 관련된 기술적 문제들이 충분히 해결되지 않은 데다 상업적 타당성이 의문시되기 시작하자 정부는 프로젝트 전반을 재검토하기 시작하였다. 게다가 초음속 항공기의 운항에 수반되는 엄청난 폭발음과 오존

21) 항공우주 산업 및 기술의 역사에 대해서는 Roger E. Bilstein, *Flight in America: From the Wrights to the Astronauts* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1984); Walter A. McDogall, . . . *the Heavens and the Earth: A Political History of the Space Age* (New York: Basic Books, 1985) 등을 참조

층 파괴가 알려지면서 초음속 여객기의 개발에 반대하는 대중의 저항이 표면화되었다. 이러한 적대적인 분위기 속에서 1969년에 영국과 프랑스가 공동으로 개발한 콩코드 여객기가 처녀 비행에 성공하자 문제는 더욱 복잡해 졌다. 찬성론자와 반대론자 사이의 갈등이 심화되는 가운데 미국 의회는 여러 차례의 비밀투표를 거쳐 결국 초음속 여객기 프로젝트를 취소하기에 이르렀다. 초음속 여객기 프로젝트의 폐기는 무분별한 기술 개발 및 정부와 대기업의 담합을 특징으로 하는 2차 대전시의 기술개발 패러다임이 새로운 사회환경 속에서는 그대로 적용되기 어렵다는 점을 보여준 상징적 사건이었다.²²⁾

2차 대전을 통해 출현한 군사무기의 상징은 원자탄이다.²³⁾ 1938년에 우라늄 핵분열 반응이 알려지면서 나치의 박해를 피해 미국으로 망명했던 과학자들은 독일이 원자무기를 만들 가능성이 있다고 생각하고 미국 정부가 적극적으로 대처해야 한다는 의견을 피력하였다. 2차 대전 초기에 레이더 개발에 주력했던 미국은 진주만 사건 이후에 원자탄 개발을 본격적으로 추진하였다. 1942년에 맨해튼 계획(Manhattan Project)으로 구체화된 미국의 원자탄 개발에는 미국의 대학, 연구소, 산업체, 군대 등이 총동원되었으며 3년이라는 짧은 기간 동안에 12만 5천명의 인원과 20억 달러라는 자금이 소요되었다. 맨해튼 계획은 “군산학복합체”(military-industrial-academic complex)에 의해 추진된 “거대과학”(big science)의 본보기였던 것이다.²⁴⁾ 1945년 7월에 제작된

22) Bassalla (1996), pp. 231-238. 2차 대전 후 냉전체제를 배경으로 추진되었다가 무산된 대형항공기 개발 프로젝트 중의 하나인 TSR 2 프로젝트에 대해서는 John Law and Michel Callon, “The Life and Death of an Artifact: A Network Analysis of Technical Change”, Bijker and Law, eds. (1992), pp. 21-52를 참조

23) 원자탄 개발 과정에 대한 꼼꼼한 서술로는 Richard Rodes, 문신생 옮김, 『원자폭탄 만들기』 (민음사, 1995)가 있다.

24) 거대과학의 다양한 측면과 사례는 Peter Galison and Bruce Hevly, eds., *Big Science: The Growth of Large-Scale Research* (Stanford: Stanford University Press, 1992)에 잘 나타나 있다.

두 개의 원자폭탄은 뉴 멕시코 사막에서의 핵실험을 거쳐 동년 8월에 일본의 히로시마와 나가사키에 투하되었다. 2차 대전이 종료된 후 미국은 핵무기를 독점하기 위한 일련의 조치를 취하려고 했으나, 1949년에 소련이 핵실험에 성공하고 1950년에 한국전쟁이 발발하는 것을 계기로 수소폭탄 개발을 적극적으로 추진하였다. 미국이 개발한 수소폭탄은 1952년에 개발되어 두차례의 폭파실험을 거쳤고, 소련은 1955년에 수소폭탄 개발에 성공하였다.

핵무기를 비롯한 군사무기의 엄청난 파괴력은 반핵 및 반전 운동으로 나타났다. 원자폭탄의 가공할 위력에 큰 충격을 받은 과학기술자들은 2차 대전 직후에 핵투하 및 핵실험 반대운동을 전개하기 시작하였다. 1946년에 영국 및 프랑스의 과학기술자들을 중심으로 결성된 세계 과학노동자 연맹(World Federation of Scientific Workers)은 1950~60년대를 통하여 핵무기 및 군축에 대한 대중적 관심을 유발하는데 중요한 역할을 담당하였다. 핵무기를 둘러싼 논쟁이 확산되면서 그동안 매우 균질적이었던 과학기술자 엘리트집단은 수소폭탄 개발을 매개로 찬성과 반대파로 분열되는 모습을 보이기도 했다.²⁵⁾ 1954년에 실시된 브라보 실험이, 히로시마에 투하된 원자폭탄의 1천배가 넘는 위력을 가진 수소폭탄을 실전에 활용할 수 있다는 점을 보여주자 과학기술자들의 반전반핵운동은 보다 본격적이고 조직적으로 전개되었다. 1955년에 채택된 리셀-아인슈타인의 선언문을 계기로

25) 수소폭탄과 관련하여 오펜하이머(J. Robert Oppenheimer), 텔러(Edward Teller), 사하로프(Andrei D. Sakharov)와 같은 과학자들은 매우 이채로운 삶을 살았다. 맨해튼 계획의 기술 부문 총책임자로서 원자폭탄의 아버지라 불리는 오펜하이머는 수소폭탄의 개발에 반대함으로써 공산주의자라는 누명을 쓰고 공직에서 물러나야 했던 반면, 수소폭탄 개발 계획을 조직했을 뿐만 아니라 수소폭탄 개발에 필요한 결정적인 기술적 문제를 해결하여 수소폭탄의 아버지로 불리게 된 텔러는 1984년부터 추진된 SDI(Strategic Defence Initiative)의 책임자로 활동하였다. 한편, 소련의 수소폭탄 개발을 주도했던 사하로프는 이후에 핵전쟁의 위험성을 경고하고 스탈린주의적 독재체제를 비판하는 일에 몰두하여 1975년에 노벨평화상과 유배생활이라는 두 가지 보상(?)을 동시에 받았다.

1957년에 조직된 푸피쉬 운동(Pugwash Movement)은 핵무기 경쟁과 군축 문제에 대한 중요한 선언을 계속 발표해 왔으며, 그 중 몇가지 사항은 부분 핵실험 금지조약, 비핵확산 조약, 탄도탄 요격 미사일 협약 등과 같은 군축 협정 및 정책에 반영되기도 하였다.²⁶⁾

2차 대전 이후에는 원자력의 평화적 이용에 대한 노력도 병행되었다. 에너지의 방출을 느리게 조절할 수 있는 상업용 원자로 개발을 계기로 1954년에는 소련이 원자력 발전소를 가동하기 시작했고 1956년과 1957년에는 영국과 미국이 이를 뒤따랐다. 원자력 발전소의 건설에 사용된 예산은 군사 목적에서 사용된 예산의 1/3에 지나지 않았지만, 1960년대에 접어들면서 원자력은 “제3의 불”로 칭해지면서 원전 건설 붐이 조성되었다. 1970년대까지 원자력 발전은 기존의 화력 발전에 비해 대량의 에너지 공급이 가능하고 환경오염이 적은 동력 시스템으로 평가되었다. 그러나 1979년의 트리 마일 아일랜드(Three Mile Island) 발전소 사고와 1986년의 체르노빌(Chernobyl) 발전소 사고가 터지면서 원자력 발전은 심각한 위기에 봉착하였다. 특히, 체르노빌 사고를 계기로 선진 각국은 원자력 발전에 대한 전면적인 재검토에 돌입하면서 원자력 발전의 대형 사고 가능성은 물론 경제적·환경적 차원의 문제를 제기하였다. 즉, 원전의 발전단가가 화력 발전소의 발전단가보다 낮지 않을 뿐만 아니라 나중에 발생할 폐기물 처리 비용과 원전 폐기비용을 고려한다면 경제성이 전혀 없으며, 원전에서는 화력발전소와 달리 대기오염 물질을 거의 배출하진 않지만 폐기물과 재처리로 인해서 심각한 환경오염 문제가 유발된다는 것이다. 1980

26) 세계 과학노동자 연맹 및 푸피쉬 운동에 대해서는 Joseph Rotblat, “군비경쟁에 대항하는 국제과학자운동”, 조홍섭 편역, 『현대의 과학기술과 인간해방』 (한길사, 1984), pp. 229-252를 참조. 한편, 1960년대 말부터는 과학기술의 계급적 성격을 강조한 급진적 과학운동이 전개되었는데, 이에 대해서는 홍성욱, “급진적 과학운동”, 『과학시대』 창간호 (동녘, 1991), pp. 82-93; 이종원, “마르크스주의의 과학인식”, 『과학과 철학』 제2집 (1991), pp. 179-207를 참조.

년대 후반부터 프랑스를 제외한 선진국들은 핵에너지를 동력원으로 사용하지 않으려는 경향을 보이고 있으며, 에너지 효율을 제고할 수 있는 에너지 절약 기술과 태양력을 비롯한 대체에너지의 개발을 모색하고 있다.

반전반핵운동과 함께 본격적인 사회운동세력으로 부상한 것은 환경운동이다. 19세기 이후부터 본격적으로 진행된 산업화가 환경에 미치는 부정적인 영향은 20세기에 들어서 본격적으로 나타나기 시작하였다. 게다가 20세기에는 발전소와 자동차를 비롯한 환경오염물질을 다량으로 배출하는 기술 시스템과 방사능물질 및 합성화학물질과 같은 지구생태계에 존재하지 않는 인공물질이 등장함으로써 환경문제는 더욱 광범위하고 복잡해졌다. 1952년에 발생한 런던 스모그 사건은 4천명이 넘는 사람의 목숨을 앗아갔고, 로스앤젤레스에서는 1960년대부터 “광화학스모그”라는 새로운 현상이 인식되었다. 1962년에 카슨(Rachel L. Carson)이 발간한 『고요한 봄(Silent Spring)』은 DDT라는 살충제의 역기능을 폭로하였고, DDT의 위력(?)은 베트남전쟁을 통해 뚜렷히 확인되었다. 환경문제를 폭로하고 이에 대한 각성을 요구하는 운동은 1970년대에 본격화되어 1970년 4월 22일에는 제1회 지구의 날 행사가 개최되었으며, 1972년에는 스톡홀름에서 제1회 유엔 환경회의가 소집되었고 로마클럽은 『성장의 한계(The Limits to Growth)』라는 보고서를 출간하였다. 그후 환경운동은 다양한 입장과 활동영역을 가진 수많은 환경운동단체에 의해 전개되었으며, 오존층 파괴, 지구 온난화, 산성비, 기상이변 등의 새로운 환경문제가 인지되기 시작하였다. 1992년에 리우데자네이루에서 개최된 유엔 환경개발회의를 계기로 구체화된 “지속가능한 개발”(environmentally sound and sustainable development)이라는 개념은 인류가 지향해야 할 지표를 분명히 보여주고 있다. 환경문제의 심각성이 광범위하게 인식되면서 청정기술을 비롯한 환경기술을 개발하려는 움직임도 본격화되고 있으나, 기술개

발이 능사가 아니라는 점 또한 공감대를 넓혀가고 있다.²⁷⁾

2차 대전은 오늘날 과학기술의 대명사라 할 수 있는 컴퓨터를 배태하기도 하였다. “전쟁은 계산”이라 할 정도로 2차 대전시 탄도계산과 OR(Operations Research)에 필요한 대규모의 데이터는 수백명의 인력이 계산기로 처리할 수 있는 범위를 넘어선 것이었다. 최초의 전자식 컴퓨터인 ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Calculator)은 탄도표를 계산할 목적으로 1946년에 에커트(J. Prosper Eckert)와 모클리(John W. Mauchly)에 의해 개발되었고, 오늘날 컴퓨터의 기본 원리를 제안한 폰 노이만(John von Neuman)은 핵무기 설계에 필요한 데이터를 처리할 수 있는 컴퓨터를 개발하는 과정에서 프로그램 내장 방식과 2진법 논리 회로라는 개념에 도달하였다. 노이만의 개념을 적용한 최초의 상업적 컴퓨터는 1951년에 개발된 UNIVAC(Universal Automatic Computer)으로서, 1952년 미국의 대통령 선거 때 아이젠하워의 승리를 예측함으로써 컴퓨터에 대한 일반인의 관심을 증폭시키기도 했다. 이후 컴퓨터는 진공관을 주요 소자로 하는 제1세대를 거쳐 트랜지스터(transistor)에 의한 제2세대와 집적회로(integrated circuits, IC)를 사용한 제3세대로 발전하였으며, 판단능력 및 적응능력의 확보를 통하여 성능이 대폭적으로 향상되었다. 수많은 기업이 흥망성쇠를 거듭하는 가운데 1950년대부터 최근에 이르기까지 컴퓨터 업계의 선두자리를 차지한 기업은 IBM(International Business Machines)이었다. IBM은 전쟁 기간 중 많은 군수물자를 제공하면서 컴퓨터의 제품설계와 생산기술에 대한 경험을 축적하였고 1970년대까지의 중대형 컴퓨터는 물론 1980년대의 개인용 컴퓨터(personal computer, PC) 시장도 석권하였다. 특히, IBM은 1981년에 PC 시장에 진입하면서 설계 및

27) 환경문제 및 환경운동의 다양한 논점에 대해서는 김명자, 『동서양의 과학진통과 환경운동』 (동아출판사, 1991); 환경연구회, 『환경논의의 쟁점들』 (나라사랑, 1994) 등을 참조

운영체제를 공개하였고 이에 따라 IBM 호환용 PC는 컴퓨터 산업계에서 “사실상의 표준”(de facto standards)으로 자리잡았다.²⁸⁾

컴퓨터의 발전과 동고동락을 같이한 기술은 “마법의 돌”로 불리는 반도체였다. 1946년에 AT&T의 벨전화연구소는 통신 시스템의 부품으로 사용될 수 있는 신소재의 중요성을 인식하면서 반도체연구팀을 신설하였고, 동 팀에 속한 바딘(John Bardeen), 브래튼(Walter H. Brattain), 쇼클리(William B. Shockley)는 2차 대전 중에 사용되었던 레이더 검파기의 성능을 개량하는 과정에서 1947년에 트랜지스터를 개발하였다. 미국 국방부는 트랜지스터의 중요성을 재빨리 간파하고 AT&T의 트랜지스터 상용화를 적극적으로 지원하였고 AT&T가 생산한 트랜지스터의 절반 가량을 구입하였다.²⁹⁾ 1950년대부터는 수많은 과학기술자들이 실리콘밸리(Silicon Valley)에 몰려 들어 반도체 개발에 인생을 걸기 시작하였다. 그들이 시도한 최초의 작업은 IC의 개발로서 1958년에 텍사스 인스트루먼트(Texas Instruments)사의 킬비(Jack Kilby)와 페어차일드(Fairchild Semiconductor)사의 노이스(Robert Noyce)가 거의 동시에 IC 개발에 성공하였다. 1960년대부터 반도체산업은 본격적인 성장 궤도에 진입하였으며, 그 용도는 군수용장비를 비롯하여

28) 컴퓨터 기술의 역사에 대해서는 Rene Moreau, *The Computer Comes of Age: The People, the Hardware, and the Software* (Cambridge, MA: MIT Press, 1984); Martin Campbell-Kelly and William Aspray, *Computer: A History of the Information Machine* (New York: Basic Books, 1996); Arthur L. Norberg and Judy E. O'Neill, *Transforming Computer Technology: Information Processing for the Pentagon, 1962-1986* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1996); Paul E. Ceruzzi, *A History of Modern Computing* (Cambridge, MA: MIT Press, 1998) 등을 참조

29) 트랜지스터의 개발 과정과 군부의 지원이 미친 영향은 Lillian Hoddeson, “The Discovery of the Point-Contact Transistor”, *Historical Studies in the Physical Sciences* 12 (1981), pp. 41-76; Thomas J. Misa, “Military Needs, Commercial Realities, and the Development of the Transistor, 1948-1958”, Merritt Roe Smith, ed., *Military Enterprise and Technological Change: Perspectives on the American Experience* (Cambridge, MA: MIT Press, 1985), pp. 253-287를 참조. 반도체 산업 및 기술의 역사에 대한 종합적인 저술로는 Ernest Braun and Stuart MacDonald, *Revolution in Miniature: The History and Impact of Semiconductor Electronics* (Cambridge: Cambridge University Press, 1982)가 있다.

통신장비와 산업용기기 등으로 확대되었다. IC는 이후에 집적도가 더욱 높아지면서 LSI(Large Scale Integration), VLSI(Very Large Scale Integration), ULSI(Ultra Large Scale Integration)로 발전하였다.

1950년대 이후에 주목을 받게 된 자동화 기술은 2차 대전 이전에 존재했던 기계기술과 2차 대전의 전시연구를 통해 등장한 전자기술 및 제어기술이 결합됨으로써 성립되었다. 자동화는 공장자동화(factory automation, FA)에서 시작하여 사무자동화(office automation, OA), 가정자동화(home automation, HA) 등으로 대상 영역을 확대해 왔는데, 공장자동화는 단위 기계의 일부 자동화, 단위 기계의 완전자동화, 단위 자동기계 사이의 결합, 생산라인의 자동화, 공장 전체의 자동화 등의 단계를 밟아 발전해 왔다. 자동화 기술의 상징인 산업용 로봇은 1962년에 데벌(Georg C. Devol)에 의해 최초로 제작되었고, 1978년 제2차 석유파동을 계기로 시작된 세계적인 경제불황에 대처하여 1980년대 이후부터 산업계에서 널리 사용되기에 이르렀다. 자동화 기술의 발전과 이를 매개로 한 생산방식 혹은 생산체제의 변화는, 포디즘으로 대표되는 소품종 대량생산방식과 대비되어, “린생산방식”(lean production system), “유연적 전문화”(flexible specialization), “포스트 포디즘”(Post-Fordism) 등으로 불리면서 그것의 성격 규명을 둘러싸고 수많은 논쟁이 전개되었다. 또한, 새로운 생산체제의 등장은 이전의 노동문제를 심화시키거나 새로운 노동문제를 유발하였다. 노동절약형 기계의 등장으로 인한 실업문제, 기계속도의 증가나 루즈타임의 감소로 인한 노동강도의 강화, 컴퓨터 증후군 및 로봇재해로 대표되는 건강 문제, 소프트웨어 노동을 비롯한 새로운 노동의 출현 등은 그 대표적인 예이다. 이러한 문제에 적극적으로 대처하기 위하여 서구 선진 국가들에서는 노동조합이 관련 전문가 집단과 연합하여 신기술과 관련된 정보를 파악하고 경영진과 교섭을 하는 “신기술협정”(new technology agreement)을 제도화하고 있다.³⁰⁾

자동화 기술의 본격적인 출발점이라 할 수 있는 수치제어(numerical control, NC) 공작기계의 일생은 특정한 기술이 어떤 사회적 맥락에서 선택되는지, 그리고 그 기술을 매개로 어떤 사회적 맥락이 창출되는지에 대한 논점을 잘 보여주고 있다. 2차 대전을 전후로 미국 공군은 여러 개의 축을 가진 항공기 형편과 같은 복잡한 기계가공에 적합한 공작기계를 개발하기 위해 MIT와 GE에 막대한 지원을 제공하였다. 1940년대 말과 1950년대 초에 등장한 새로운 공작기계는 녹음재생(record playback)과 NC의 두 가지 형태를 띠고 있었다. 음재생은 노동자의 작업내용이 자기테이프에 기록되어 기계가 노동자의 작업을 그대로 반복할 수 있게 만들어진 것으로서 시스템 자체를 변경하지 않고도 작업 내용을 다양화할 수 있는 장점을 가지고 있었지만, 작업에 대한 통제권이 여전히 숙련 노동자에게 주어진다라는 문제점을 안고 있었다. 반면 NC는 프로그래밍 언어에 의해 작업내용이 자동적으로 기계에 전달될 수 있게 제작된 것으로서 복잡한 기계가공에 적용될 수 있는 가능성을 가지고 있지만, 그것을 완전한 시스템으로 통합하고 작업 중에 발생하는 오차를 제거하기 어렵다는 난점을 가지고 있었다. 이처럼 기술적 차원이나 경제적 차원에서 두 가지 기술의 우열을 판단하기 어려운 데도 불구하고 NC가 선택된 것은 새로운 유형의 기술로 경쟁적인 소련을 추월하려고 했던 공군, 전문성을 통하여 정치적 영향력을 확대하고자 했던 MIT, 노동과정에 대한 통제권을 장악하려는 GE 경영진의 이해관계가 일치하였기 때문이었다. 더구나 공군이 막대한 지원을 제공하는 상황에서는 기술의 개발 및 운영에 소요되는 비용을 최소화하는 것이 절실히 요구되지 않았다. 그러나,

30) 자동화와 관련된 생산방식의 변화 및 논점에 대해서는 Larry Hirschhorn, *Beyond Mechanization: Work and Technology in a Postindustrial Age* (Cambridge, MA: MIT Press, 1983); James P. Womack, Daniel T. Jones, and Daniel Roos, 한영석 옮김, 『생산방식의 혁명』 (기아경제연구소, 1991); 박준식·이영희 편저, 『기술혁명과 노동문제』 (두리, 1991); 이영희, 『포드주의와 포스트포드주의』 (한울, 1994) 등을 참조.

NC를 선택했던 진영의 기대는 이내 희망사항으로 끝나고 말았다. NC의 속도는 터무니없이 빨라서 기계의 부작용은 물론 노동자의 저항이 유발되었으며, 빈번히 발생하는 프로그래밍의 오류를 교정하는 것이 중요한 과제로 떠올랐다. 이에 따라 GE는 1968~75년에 파일럿 프로그램(Pilot Program)이라는 새로운 제도를 도입하여 고참 노동자들에게 공작기계와 프로그램을 조작, 통제, 수정할 수 있는 권한을 부여하기에 이르렀다.³¹⁾

오늘날의 기술 패러다임을 주도하고 있는 기술로는 정보기술(information technology)과 생물기술(biotechnology)을 들 수 있다. 정보기술은 2차 대전 이후에 발전한 컴퓨터기술과 20세기를 통해 꾸준히 성장해 온 통신기술이 결합됨으로써 탄생하였다. 컴퓨터와 통신이 결합되면서 처음으로 나타난 것은 모뎀(Modem: Modulation and Demodulation)으로서, 이것은 미국 국방부가 방공방 시스템을 구축하기 위하여 1950년부터 MIT와 함께 추진한 SAGE(Semi-Automatic Ground Environment) 계획을 통해 개발되었다. 모뎀은 컴퓨터에서 사용하는 디지털 데이터를 전화선이 활용할 수 있는 아날로그 신호로 바꿈으로써 이미 광범위하게 설치되어 있는 전화선을 통해 컴퓨터 통신을 가능하게 하는 장치이다. 모뎀은 1958년부터 민간에서도 사용되기 시작했으나, 장거리 전화요금의 비싸다는 점과 중앙집중적인 연결방식을 취하고 있다는 점이 문제점으로 지적되었다. 컴퓨터 통신망의 새로운 지평을 열어준 것은 인터넷이었다. 인터넷은 1960년대 미국 국방부의 ARPA(Advanced Research Projects Agency)에서 연구하기 시작한 아르파넷(ARPAnet)에서 유래되었다. 아르파넷은 분배 네트워크 토폴로지와 패킷 스위칭 기술이라는 두 가지 새로운 개념에 입각하여 설계

31) David F. Noble, “기계 설계에 있어서 사회적 선택”, 송성수 편 (1995), pp. 199-236; David F. Noble, *Forces of Production: A Social History of Industrial Automation* (New York: Alfred A. Knopf, 1984).

되었다. 전자(前者)는 하나의 컴퓨터가 다른 컴퓨터와 적어도 두 가지 이상의 경로를 통해 접속될 수 있다는 것을 의미하며, 후자(後者)는 한 메시지를 여러 개의 조각, 즉 패킷으로 분할할 수 있다는 것을 뜻한다. 1964년에 랜드(Rand)사의 바란(Paul Baran)에 의해 제안된 이러한 개념은, 소련의 핵 공격에도 생존할 수 있는 통신 시스템을 설계해 달라는 미 공군의 요청에 대한 대답이었다. 분배 네트워크를 사용하면 특정한 데이터를 전송하는 한 경로가 적의 공격에 의해 파괴된다 할지라도 여분의 경로를 통하여 전달될 수 있으며, 패킷 스위칭을 사용하면 데이터가 패킷으로 분할되어 전송되기 때문에 적의 공격에 의해 데이터가 손상된 경우에도 전체 데이터가 아닌 해당 부분만 보내면 된다. 아르파넷은 1972년의 세계 컴퓨터통신 회의시 워싱턴의 힐튼 호텔에서 시험되는 것을 계기로 선풍적인 인기를 끌었고, 몇몇의 지역적인 네트워크가 아르파넷에 접속되면서 네트워크 사이의 결합을 의미하는 “인터”넷으로 변모하였다. 인터넷의 발전에서 중요한 계기가 되었던 사건은 전자우편의 등장과 표준 프로토콜의 채택이었다. 인터넷은 1971년에 우연히 발명된 전자우편이 확산되면서 원래의 목적을 능가하여 민간 사이의 저렴한 데이터 전송과 인터넷 채팅의 기초로 작용하고 있다. 또한, 1983년에 아르파넷은 TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)라는 새로운 표준 프로토콜을 채택하면서 다른 지역 네트워크도 동일한 프로토콜을 사용할 것을 주장하였고, 이것이 점차 수용되면서 인터넷은 TCP/IP를 통해 상호연결된 네트워크를 의미하게 되었다.³²⁾

생물기술은 생명체의 형질, 기능, 형태 등을 결정하는 유전자를 인공적으로 조작하여 생명체를 개조하거나 새로 만들 수 있는 기술을

32) 인터넷의 역사에 대해서는 인터넷에서 구할 수 각종 자료와 Roy Rosenzweig, “Wizards, Bureaucrats, Warriors, and Hackers: Writing the History of the Internet”, *American Historical Review* 103 (1998), pp. 1530-1552를 참조

뜻한다. 생물기술의 기원은 잡종 옥수수를 비롯한 농작물이나 인슐린 및 페니실린과 같은 의약품 등에서 찾을 수 있지만, 오늘날과 같은 새로운 의미의 생물기술은 1973년에 스탠포드 대학의 코헨(Stanley N. Cohen) 및 보이어(Herbert W. Boyer)가 DNA 재조합 실험에 성공함으로써 가시화되기 시작되었다. DNA 재조합 기술은 종전의 교잡에 의한 형질 변환에 비해 여러 세대를 거칠 필요가 없고 교잡의 범위에 제한이 없다는 특징을 가지고 있다. DNA 재조합 기술이 개발되자 많은 사람들은 식량 증산, 질병 치료, 폐기물 처리 등의 영역에서 새로운 경제활동이 출현할 것으로 예상하였고, 몇몇 사람들은 인류가 “바이오사회”(biosociety)라는 새로운 단계에 접어들 것이라고 예언하기도 하였다. 그러나, 초창기의 생물기술은 상업적 시장이 충분히 조성되지 않아 투자자본을 확보하는 데 실패한 것은 물론 복제기술에 대한 비판적인 사회적 분위기가 조성됨으로써 생물학의 변방으로 밀려날 위기를 맞이하였다. 예를 들어 인간의 DNA에 들어있는 30억개의 유전정보를 모두 해독하여 데이터베이스로 만드는 인간게놈계획(Human Genome Project)은 1984년에 제안되었지만 1989년에야 시작될 수 있었다. 생물기술의 가능성이 현실화되기 시작한 것은 매우 최근의 일이었다. 1994년에 칼진(Calgene)사가 최초의 유전자 조작 식품인 무르지 않는 토마토를 시판하기 시작하였고, 1996년에는 몬산토(Monsanto)사가 제초제저항성 콩을, 그리고 노바티스(Novatis)사는 병충해저항성 옥수수를 시장에 출하하였다. 급기야 1997년에는 체세포 핵의 이식을 통한 복제양 돌리가 출현함으로써 세계의 이목을 집중시켰다. 돌리 사건 이후에 세계 각국에서는 다른 동물을 복제하는 실험에 성공했다는 보고가 잇따르고 있어서 동물복제를 상업화하는 것은 물론 인간복제가 현실화되는 것도 머지않았다는 점을 암시하고 있다.³³⁾

정보기술과 생물기술은 출현할 당시부터 “정보사회”나 “바이오사

회”와 같은 새로운 사회를 가져올 것이라는 예측이 있었던 동시에 해당 기술의 역기능 혹은 위험성에 대한 비판이 제기되었다는 공통점을 가지고 있다. 일군의 미래학자들은 경영효율성의 증가, 재택문화의 출현, 사이버 정치활동, 합리적이고 미래지향적인 가치관 등에 주목하면서 정보사회를 인류의 행복을 약속해 주는 유토피아로 묘사하고 있는 반면, 이러한 주장에 비판적인 논자들은 정보 격차의 심화, 컴퓨터 범죄, 사생활 침해, 음란물의 범람 등을 들면서 정보사회가 기존의 불평등을 존속시킬 뿐만 아니라 새로운 문제를 유발하고 있다고 지적한다. 생물기술의 경우에는 찬성론자들은 질병치료제의 개발 및 유전자 치료법을 통한 질병의 극복, 식량의 증산이나 식품 가치의 향상을 통한 농업의 발전, 농약 사용의 감소 및 폐기물 처리를 통한 환경문제의 해결 등에 거론하고 있는 반면, 비판론자들은 면역체계의 교란 및 항생제 내성의 강화를 통한 건강 위협, 생물학적 다양성 소멸로 인한 생태계의 안정성 파괴, 선진국의 제3세계 생물자원 강탈, 인간복제를 통한 가치관의 혼란, 유전정보의 남용으로 인한 사회적 불평등의 심화 등과 같은 생물기술의 역기능에 주목하고 있다.³⁴⁾

33) 생물기술의 역사 및 현황에 대해서는 Edward Yoxen, *The Gene Business: Who Should Control Biotechnology?* (London: Pan Books, 1983); Arnold Thackray, ed., *Private Science: Biotechnology and the Rise of the Molecular Sciences* (Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 1998), part I(pp. 3-62); Gina Kolata, 이한음 옮김, 『복제양 돌리』(사이언스북스, 1998) 등을 참조
 34) 정보기술 및 생물기술을 둘러싼 다양한 논점에 대해서는 권태환·조형제 편, 『정보사회의 이해』(미래미디어, 1997); David Lyon, 전자통신연구소 옮김, 『전자감시사회』(1994); Thackray, ed. (1998), part II(pp. 65-253); 구영모 엮음, 『생명의료윤리』(동녘, 1999)을 참조 『네트』 및 『가타카』 등과 같은 영화에서도 정보기술 및 생물기술의 문제점을 엿볼 수 있다.

4. 현대 기술의 특성 및 쟁점

이상의 논의를 통하여 우리는 현대 기술의 역사를 2차 대전 이전과 이후로 구분하여 살펴보았다. 2차 대전 이전의 기술로는 철강, 화학, 전력, 내연기관, 자동차, 전등, 전신, 전화, 라디오 및 TV, 냉장고 등이 거론되었고, 2차 대전 이후의 기술로는 항공우주 기술, 원자탄, 원자력, 컴퓨터, 반도체, 자동화, 정보기술, 생물기술 등이 논의되었다. 이하에서는 현대 기술의 변화와 관련된 몇가지 쟁점을 제기함으로써 현대 기술의 특성을 보다 깊이 이해할 수 있는 단초를 마련하고자 한다.

첫째는 기술을 파악하는 차원과 관련된 쟁점이다. 우선, 현대 기술은 과학과 수많은 접점들(interfaces)을 형성하고 있어서 기술혁신을 위해서는 과학의 활용이 필수적인 것으로 간주되고 있다. 이에 따라 BASF, GE, 벨, 듀폰 등과 같은 대기업을 중심으로 기업연구소가 설립되기 시작하였고 기업연구소는 오늘날 기술혁신활동의 가장 주요한 주체로 등장하였다. 특히, 2차 대전을 계기로 출현한 거대과학과 군산학복합체는 대규모의 물질·인적 자원을 한 공간에 결집시켜 과학/과학자와 기술/기술자의 상호작용을 증폭시킴으로써 과학활동과 기술활동의 간격을 더욱 좁히는 촉매제로 작용하였다. 오늘날 과학과 기술을 완전히 구분하지 않고 “과학기술”이라는 용어를 사용되는 것도 이러한 역사적 과정의 산물이라 할 수 있다. 기술의 개발과 관련된 또다른 쟁점은 오늘날의 기술혁신활동이 기술자 사회 외부의 지원에 크게 의존함으로써 기술개발의 속도, 방향, 범위, 내용에 사회적 차원의 요소가 매우 강력한 영향력을 행사한다는 점에서 찾을 수 있다. 이러한 점은 2차 대전 때의 전시연구를 통해 배태된 제트기, 컴퓨터, NC, 인터넷 등에서 잘 나타난다. 또한, 냉장고, 형광등, NC 등의 사례에서 알 수 있듯이, 여러 가지 기술적 가능성 중에서 특정한 기술이 선택되고 다른 기술이 배제되는 과정에서도 관련 사회집단의 구조는

중요한 역할을 담당하고 있다. 이것은 새로운 기술이 개발되는 경우에도 우월한 세력을 가진 사회집단의 논리와 요구가 반영되는 방향으로 추진될 가능성이 많다는 점을 의미한다. 이상과 같은 기술의 개발을 둘러싼 쟁점은 기술에 대한 전망이 적어도 “과학·기술·사회의 상호작용”이라는 차원에서 시도되어야 한다는 점을 암시하고 있다.

둘째는 기술의 예측가능성과 관련된 쟁점이다. 현대 기술의 역사는 특정한 사회적 맥락에서 출현한 기술이, 이후에는 상이한 용도로 사용되고 이에 따라 다른 사회적 맥락이 창출된다는 점을 잘 보여주고 있다. 하버의 공중질소고정법을 통해 생산된 질소는 화학비료의 생산에 사용되다가 1차 대전을 계기로 화약 생산에 활용되었고, 2차 대전 및 냉전시대에 군사용으로 탄생한 원자기술과 정보기술 등은 이후에 민수용으로 전환되었다. 이처럼 전쟁은 기술이 사용되는 방식의 변화에 전형적인 사례를 보여주지만, 기술 궤적의 변화가 반드시 전쟁과 결부된 것만은 아니다. 엔진의 성능을 개선하는 과정에서 출현한 가솔린 엔진이 자동차 산업의 출발점이 되고 이전에 폐기물에 불과했던 가솔린을 매우 중요한 자원으로 둔갑시킨 것이나, 수신기로 출발한 3극 진공관이 증폭기로 사용되고 트랜지스터의 원조로 기능한 것은 그 대표적인 예이다. 또한, 형광등의 궤적이 텀프 형광등, 고효율 형광등, 고집적 형광등으로 변모하는 과정이나 NC가 정상적으로 작동하는 데 30년에 가까운 세월이 소요되는 과정에서 기술을 둘러싼 사회적 맥락이 어떻게 변모할 것인지를 예상한 사람은 아무도 없었다. 더 나아가 정보기술과 생물기술은 새로운 사회로 진입하는 데 필요한 긍정적 요소뿐만 아니라 수많은 역기능과 위험성을 동시에 가지고 있어서 정보기술과 생물기술이 향후에 어떤 방향으로 발전해 나갈지 예측하는 것은 지극히 어려운 과제이다. 이처럼 기술은 다양한 차원에서 잠재적 용도를 가지고 있고 기술을 둘러싼 사회적 맥락이 끊임없이 변화한다. 이러한 점에 비추어 볼 때 미래의 기술과 사회를 정확하게 예측한다

는 것이 원칙적으로는 불가능하다. 그러나, 여기에 차선택이 존재한다면 그것은 기술이 가진 잠재적 용도를 충분히 고려하면서 기술이 가진 순기능과 역기능을 동시에 포괄하는 방식으로 이루어져야 할 것이다.

마지막으로 지적할 쟁점은 기술에 대한 반응과 관련되어 있다. 본문에서 지적했듯이, 현대 기술의 뚜렷한 특징 중의 하나는 기술이 산업계에 머물지 않고 일상생활에 침투한 것이라 할 수 있다. 전등에서 시작된 기술의 일상생활에 대한 침투는 자동차, 전화, 라디오, 냉장고 등을 거쳐 비행기, 컴퓨터, 인터넷, 유전자 조작 식품에 이르면서 그 범위와 정도가 더욱 심화되어 갔다. 이처럼 기술이 일상생활에 침투하면서 기술에 대한 일반인들의 반응도 변천해 왔다. 1920년대에 풍요의 원천이자 진보의 상징으로 찬양되었던 기술은 1960년대에 이르면 대량학살과 환경파괴의 주범으로 인식되기에 이르렀다. 또한, 기술의 역기능에 대한 인식도 1960년대에는 대체로 사후적인 것에 불과했지만, 최근의 정보기술 및 생물기술을 둘러싼 논쟁은 기술의 역기능에 대한 인식이 기술의 경로가 가시화되기 전에 시작되고 있다는 점을 보여준다. 비야호로 우리는 일상생활 중에 기술이 매개되지 않은 경우가 거의 없을 정도로 기술이 막강한 영향력을 행사하고 있는 동시에, 전쟁, 환경오염, 안전사고, 윤리문제 등을 매개로 기술이 우리의 삶을 끊임없이 위협하고 있는 시대를 살고 있다. 이러한 “기술의 딜레마”를 해결할 수 있는 관건은 “한 사회가 기술이 가진 영향력을 파괴적이지 않고 건설적으로 활용할 수 있도록 어떤 방식으로 일련의 의사결정을 수행할 수 있는가” 하는 데 있다. 기술과 관련된 우리 사회의 담론이 “기술을 어떻게 발전시킬 것인가” 하는 문제를 넘어 “기술 변화의 방향이 어떻게 설정되어야 하며” “기술을 둘러싼 제도가 어떤 방식으로 구축되어야 하는지”에 대한 논의로 발전되어야 할 시점이다.