

서양 과학기술사에서 본 과학기술적 실천

글 · 박민아 / 한양대학교, 강사
e-mail · bamiya@snu.ac.kr

이 글에서는 서양 과학기술사에서 연구된 몇 가지 흥미로운 사례를 살펴보고 과학사 연구가 과학기술 연구에 어떤 긍정적인 기여를 할 수 있는지 알아보도록 한다.

서론

최근 국내 대학들에서 보이는 과학기술학에 대한 관심은 그 어느 때보다도 크다고 할 수 있다. 과학사나 과학철학 등의 강좌는 오래 전부터 쉽게 접할 수 있는 교양 과목으로 자리 잡아 왔지만, 최근에는 거기서 더 나아가 과학기술학을 이공계 학부 필수 교양으로 지정하는 학교까지 등장하고 있다.¹⁾

과학기술이 없는 현대사회를 상상하는 것이 불가능할 만큼 과학기술이 중요해진 이때, 과학기술을 생산하는 일에 몸담지 않는다 하더라도 과학기술의 소비자로서 과학기술의 역사와 특성, 발전 방향, 과학기술 윤리, 그 철학적 함의 등을 생각해 보는 일은 가치 있는 일이다. 그 중에서도 과학기술이 발전해 온 역사를 통해 과학기술의 성격과 그 함의를 연구하고, 과학기술이 인류에게 좀더 바람직한 방향으로 발전할 수 있도록 그 방향을 고민해 보는 과학사 연구는 흥미로운 사례들을 통해 과학기술에 대한 깊이 있는 이해를 제공한다.

흔히 과학사하면 과학 교재 제일 앞에 나오는 연제, 누가, 무엇을 발견 혹은 발명했는가에 대한 파분한 연대기적 나열로 생각

하거나, 뉴턴의 사과 일화처럼 재미있는 일화들이나 숨겨진 뒷이야기 모음집을 생각하기도 한다. 그러나 과학사는 역사학의 한 분야로 그 전문성을 확보하고 있다. 특히 오늘날에는 역사학의 방법론을 적용하여 과학의 인식론적 특성, 사회문화적 요소들과의 상호작용, 과학자 사회의 사회적·정치적 특성 등에 대한 통찰이 이루어지고 있다. 다음에서는 서양과학기술사에서 연구된 몇 가지 흥미로운 사례를 살펴보고, 과학사 연구가 과학기술 연구에 어떤 긍정적인 기여를 할 수 있는지 알아보도록 하겠다.

과학과 후원 : 갈릴레오와 '메디치의 별'

과학기술 연구가 원활히 이루어지기 위해서는 많은 '자원'들이 필요하다. 실험을 할 수 있는 공간이나 그 곳을 채워 줄 비싼 실험 기자재들과 같은 '물질적 자원', 실험을 도와 줄 동료나 조수 등과 같은 '인적 자원', 대학이나 연구소와 같은 '제도적 자원', 생산된 과학기술에 대해 지적인 권위를 부여해 줄 수 있는 '권력 자원' 등 유형, 무형의 다양한 자원이 없다면 오늘날과 같은 성공적인 과학연구는 쉽게 이루어지지

1) 한양대학교에서 2003년부터 시행하고 있는 '과학기술의 철학적 이해' 강좌가 대표적이다.

않을 것이다. 따라서 과학자 개인의 과학적 통찰력 외에도 이와 같이 다양한 자원을 효과적으로 조달하는 능력 또한 그 과학자가 하는 연구의 성공 여부를 결정짓는 데 중요하게 작용한다. 과학사를 통해 알려진 역사적인 사례들을 들여다보아도 과학이 사회에서 그 중요성을 인정받은 근대 이후 과학자들은 늘 연구에 필요한 자원을 동원하기 위해 다양한 '전략'들을 구사해야만 했다. 이 점에 있어서 유명한 과학자 갈릴레오 갈릴레이(Galileo Galilei, 1564~1642)도 예외는 아니었다.

갈릴레오는 피사 사탑 실험이나 코페르니쿠스의 태양중심설 지지와 그로 인한 종교 재판 등으로 워낙 잘 알려져 있지만, 또한 망원경을 하늘에 돌릴 생각을 한 최초의 인물로도 알려져 있다. 17세기 초 네덜란드의 한 렌즈 제작자에 의해 망원경이 최초로 발명된 직후, 사람들은 항해나 전쟁용도, 혹은 신기한 장난감으로 그것을 사용했다. 이 신기한 기구의 소문을 들은 갈릴레오는 그것을 개량하여 천체를 관측하는데 이용했고, 1610년 봄 관측 결과를 『별의 전령』(*Sidereus Nuncius*)이라는 책으로 출판했다. 이 책에서 그는 달의 표면이 지구처럼 울퉁불퉁하고 하늘에 떠 있는 별이 우리가 생각하는 것보다 훨씬 많다는 사실을 밝혔을 뿐만 아니라, 최근 발견한 새로운 별에 대해서도 상세히 소개했다. 그것은 목성 주위를 도는 네 개의 위성으로, 지구 주위를 도는 달과 같은 지위를 지니는 천체들이었다. 갈릴레오는 그 별들에 당시 투스카니(Tuscani) 지방을 지배하고 있던 피렌체의 메디치 가문(Medici)을 따서 '메디치의

별(Medician Stars)'로 이름 붙이고, 이 내용이 담겨 있는 '별의 전령'을 투스카니 대공(Grand Duke of Tuscani) 코지모 2세(Cosimo II)에게 헌정했다. 새로 관측한 별을 바친 대가로 메디치는 1610년 가을 파두아 대학의 수학교수였던 갈릴레오를 '대공의 수학자 겸 자연철학자'로 임명하고 별도로 교육을 할 임무를 지우지 않으면서도 당시로서는 큰 액수였던 1000 스쿠디(scudi)의 연봉을 보장했다. 갈릴레오는 왜 자연철학자의 지위를 원했으며, 이것을 메디치 가문에서 구하려 했을까?

16세기 중엽까지만 해도 피렌체는 공화정이었고 메디치는 금융업으로 성공한 피렌체의 유력 가문 중의 하나에 불과했다. 그러나 1537년 코지모 1세가 피렌체 공작에서 훈되고 1569년에는 주변의 투스카니 지방까지를 관장하는 투스카니 대공에 오르자, 메디치 가문은 피렌체의 지배자가 되었다. 미약한 정통성을 강화하기 위해 메디치 가문은 예술가들을 후원해서 정교한 신화화 작업을 통해 메디치의 피렌체 지배를 피할 수 없는 숙명으로, 당연한 결과로 그려냈다. 코지모 1세는 신들의 아버지인 주피터(jupiter)로 상징화되었고 점성술적으로는 목성(jupiter)에 연결되었다.

메디치 가문의 궁정 음악가인 아버지 덕분에 궁정 문화에 익숙했던 갈릴레오는 목성의 위성에서 자신을 자연철학자의 지위에 올려줄 기회를 발견했다. '별의 전령'에서 그는 목성의 위성들을 메디치의 신화에 연결시켜서 목성을 둘러싼 네 개의 위성은 코지모 1세의 네 개의 미덕을 상징하는 것인데, 위성들의 별빛을 통해 현재의 젊은 코

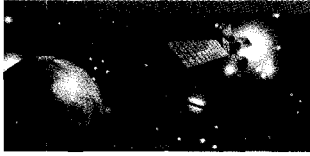
지모 2세에게 그 미덕들이 전해져 발휘된다고 말하면서 네 개의 별을 ‘메디치의 별’이라 명명했다. 메디치 궁정은 천상의 별이라는 독특한 소재를 통해서 가문의 위상을 높이는 방식에 흥미를 보였다. 별과 인간사를 연결짓던 점성술이 여전히 힘을 발휘하던 시대였던 만큼 ‘메디치의 별’이 지니는 의미는 더욱 각별했다. 메디치가의 즉각적인 보답으로 갈릴레오는 수학교수직을 그만두고 피렌체 궁정에서 ‘대공의 수학자 겸 자연철학자’의 지위에 올랐다.

갈릴레오가 목성의 위성을 바치면서까지 구하고자 했던 것은 무엇일까? 우선 쉽게 생각할 수 있는 것은 경제적인 자원이다. 당시 이탈리아 대학교수는 경제적으로 그리 여유롭지 못했고, 그 중에서도 학문적인 지위가 낮은 수학교수의 연봉은 더 낮았다. 부족한 재정을 충당하려고 갈릴레오는 콤파스를 만들어 팔거나 학생들을 개인 교습하는 일을 부업으로 삼기까지 했었다는 것을 생각해 보면, 연구에 필요한 시간을 보장해주면서 동시에 경제적인 여유를 제공해주는 궁정으로의 진입은 노력불 만한 것이었다.

그러나 궁정은 경제적인 것과는 차원이 다른 것으로, 대학이 줄 수 없는 더욱 중요한 자원을 제공해 줄 수 있었다. 갈릴레오가 지지했던 코페르니쿠스의 태양 중심 우주관은 지구 중심의 기독교적인 세계관에 도전한다는 점에서 큰 문제가 되었지만, 당시의 학문의 위계를 거스른다는 점에서도 마찰을 야기했다. 당시 코페르니쿠스나 갈릴레오와 같은 수학자들은 정량적인 양들 사이의 관계를 기술하는 일에 국한되었고,

태양중심설과 같은 우주체계는 고귀한 자연철학교수의 영역에 속했다. 따라서 17세기 자연철학자들의 입장에서 보자면 갈릴레오가 코페르니쿠스를 지지하는 것은 지위가 낮은 수학자가 감히 자연철학자의 영역을 넘보는 패색한 행위였다. 갈릴레오의 주장의 진위 여부와는 별개로 그들은 갈릴레오의 주장에 대해 거부감을 표시하고 심지어는 반대보다도 더 심한 행동, 즉 철저하게 무시하기도 했다. 따라서 갈릴레오가 코페르니쿠스 이론을 자유롭게 토론하려면 이런 학문의 위계를 뛰어넘게 해 줄 수 있는 자원이 필요했다. 갈릴레오는 이것을 메디치 궁정에서 구했던 것이다. 이는 궁정이라는 장소의 특성상 군주의 총애에 따라 궁정인들의 서열이 결정되기에 가능했다. 대학에서 엄격하게 그어졌던 수학자와 자연철학자 사이의 위계가 궁정에서는 군주의 총애에 따라 흐려졌던 것이다.

자연철학자로서의 사회적 지위 상승은 갈릴레오가 지지했던 태양중심설의 위상을 상승시키는 데도 일조했다. 지금까지 자연철학자들은 코페르니쿠스 우주체계를 지지하는 그의 주장을 지위가 낮은 수학자의 주장이라고 무시할 수 있었지만, 이제 동등한 ‘자연철학자’의, 그것도 ‘대공의 자연철학자’의 주장을 무시할 수는 없었다. 근대 초의 복잡한 의례 속에서 그것은 심한 경우 대공에 대한 도전 행위로까지 간주될 수도 있었다. 자연철학자들은 궁정의 식탁에서 갈릴레오의 주장을 정면으로 받아들이고 거기에 대해 정식으로 반박을 해야 했다. 이런 기회가 주어질 때마다 갈릴레오는 궁정 문화에 맞는 유창한 라틴어와 이탈리아어, 라블



레에서 보이는 것과 같은 예리한 풍자와 위트로 상대 자연철학자를 웃음거리로 만들어서 같이 자리한 대공과 궁정인들을 즐겁게 해주었다.

‘대공의 수학자 겸 자연철학자’라는 지위는 갈릴레오의 이론을 사회적으로, 인식론적으로 정당화하는 데에 있어서도 중요한 역할을 했다. 메디치 궁정은 메디치 가문의 것이 된 새로운 별을 홍보하기에 효과적인 네트워크를 소유하고 있었다. 유럽의 궁정에 퍼져있는 메디치 궁정의 외교관들이 바로 그 역할을 수행했는데 그들을 통해서 갈릴레오의 망원경과 ‘별의 전령’은 유럽 전역에 전해졌다. 유럽 각국의 궁정인들은 갈릴레오가 만든 망원경으로 ‘메디치의 별’을 관찰하는 행위를 통해 그의 발견을 용인했다. 그의 발견은 확고하게 자리를 잡았고 그것이 메디치와 결부될 때마다 빠지지 않고 대공의 수학자 겸 자연철학자인 갈릴레오도 함께 언급되었다. 이를 통해서 갈릴레오는 새로 발견된 목성의 위성을 사회적으로, 인식론적으로 정당화하고 동시에 그것이 지지하는 코페르니쿠스 우주체계에 대한 암묵적인 정당화를 추구했던 것이다.

이상에서 알 수 있는 것처럼 갈릴레오가 궁정의 후원을 통해 얻으려고 했던 것은 단순한 재정적인 지원을 넘어서는 것이었다. 그는 궁정을 통해서 대학에서는 거스를 수 없었던 학문의 위계를 넘고 코페르니쿠스 우주체계를 지지하는 자신의 이론에 대한 사회적이고 인식론적인 정당화를 얻으려고 했다. 코지모 2세와 같은 군주가 지닌 정치적인 권력은 대학과는 다른 방식으로 갈릴레오의 이론을 강화해 주는 역할을 했던 것

이다. 그러나 ‘다른 방식’의 힘을 얻기 위해서 그 자신도 궁정에 ‘다른 방식’으로 자신의 가치를 인식시켜야 했다. 위에서 본 것과 같이 메디치 가문의 신화에 근거한 방식은 바로 이런 필요성에 대한 갈릴레오의 대응이었다고 할 수 있다.

갈릴레오는 ‘메디치의 별’의 발견이 지니는 과학적인 의미들을 부각시키는 대신 그것을 메디치 궁정 문화-메디치 가문의 신화-에 결부시키고 이것을 궁정인들이 좋아하는 ‘색다른 볼거리’로 운색함으로써 메디치 궁정의 후원을 얻어내는 데 성공할 수 있었다. 이것은 갈릴레오가 당시 궁정의 문화가 중요하게 여기는 가치를 충분히 이해하고 그것을 전략적으로 활용할 수 있었기에 가능했던 것이다. 갈릴레오가 후원을 받기 위해 사용했던 전략을 당시 시대의 상황에 비추어 보자면 비과학적인 혹은 비합리적인 수단에 기댄 것이었다고 평가한다면 이것은 당시의 시대상을 충분히 염두에 두지 않은 평가였다고 할 수 있을 것이다. 갈릴레오의 전략은 정확히 그 시대에 부응하는 것이었다.

현대사회에도 갈릴레오가 받았던 것과 같은 과학과 후원의 관계가 존재할까? 결론부터 말하자면, 오늘날에도 과학과 후원의 관계는 여전히 유지되고 있다고 말할 수 있다. 다만 그 지원 형태가 좀더 거대화, 제도화, 공식화 되었다는 점이 차이라고 할 수 있다. 지원되는 규모가 상상할 수 없을 정도로 방대해졌고, 개개인보다 휴먼게놈 프로젝트, 가속기 프로젝트와 같이 연구 프로젝트를 중심으로 지원이 되고 그것이 공식적으로, 그리고 명시적으로 드러난다는 측

면이 과거와는 달라진 측면이다. 현대 사회에서 과학과 후원의 관계는 미국의 록펠러 재단을 통해 분석해 볼 수 있다. 록펠러 재단은 과학의 여러 분야에 재정적인 지원을 해 준 것으로 유명한데, 특히 학제간 연구를 강조하면서 특히 타분야와 의학, 생물학의 협동 연구를 강조해서 미국 분자생물학의 등장에 지대한 영향을 미친 것으로 평가 받고 있다. 록펠러 재단과 분자생물학의 관계를 보면 재단은 물질적인 지원을 통해 분자생물학이라는 신생 분야에 인식론적인 권위를 부여했고, 역으로 분자생물학의 성공은 재단의 공인력을 높이는 데 기여했다. 즉 공신력 있는 재단의 후원은 그 지원을 받는 연구자의 학문적 권위를 강화해 주고 그것은 역작용으로 재단의 공신력을 강화해주는 식으로 과학과 후원 사이에 순환적이며 상보적인 강화 관계가 형성되는 것이다.

과학과 정치적 맥락의 상호작용 : 영국 제국주의와 전신사업

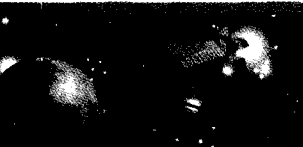
19세기 후반 영국은 인도를 비롯하여 아프리카 대륙, 아메리카 대륙, 오스트레일리아와 뉴질랜드, 홍콩 등 6대주에 걸쳐 다양한 형태의 직·간접적인 식민지를 건설함으로써 역사상 유래가 없을 정도로 큰 제국을

형성했다. 제국의 팽창은 그것이 가져오는 이점만큼 치명적인 약점도 안게 마련인데, 그중 가장 심각한 것이 본국 정부와 식민지 사이의 의사소통이었다. 특히 제국이 지리적으로 광대해지면서 아시아나 오스트레일리아와 같이 본국에서 수천 km 떨어진 곳까지도 본국의 통치권 아래 놓기 위해 이 지역들에 대한 빠른 의사결정이 요구되었다. 그러나 가장 빠른 해군의 연락선을 이용한다고 해도 인도에서 영국까지 소식이 알려지고 다시 인도로 지침이 떨어질 때까지는 짧게는 수개월, 길게는 1년이 넘게 걸렸다. 이런 면에서 볼 때 1830년대 등장한 전신은 팽창하는 제국에게는 축복이었다. 전신은 1837년 빅토리아 여왕이 즉위하는 해에 처음 육상 전신이 가설된 후 1850년 영국과 프랑스 사이의 영국해협에 최초의 해저 전신이 설치되고 1866년에는 영국과 아메리카 대륙을 잇는 대서양 해저전신 가설에 성공하고 이어 인도, 홍콩, 오스트레일리아, 뉴질랜드, 남아프리카까지 확대됨으로써 명실 공히 '제국의 신경망(nerve system)'을 이루었다.²⁾

1857년의 세포이 항쟁, 1898년 파소다 사건에서 전신이 지니는 힘과 효율성이 입증되면서 전신은 제국 운영의 핵심적인 조력자로 부각되었다.³⁾

2) George Peel, "The Nerves of Empire," in *The Empire and the Century: A Series of Essays on Imperial Problems and Possibilities* (London: Murray, 1905), pp. 249-287. ; 여기서는 Bruce Hunt, "Doing Science in a Global Empire: Cable Telegraphy and Electrical Physics in Victorian Britain," in Bernard Lightman (ed.) *Victorian Science in Context* (Chicago: The Univ. of Chicago Press, 1997), pp. 312-333를 참고.

3) 제국의 팽창에서 전신의 역할을 보여준 대표적인 사례로 파소다 사건을 들 수 있다. 이것은 영국과 프랑스, 두 열강의 제국주의적 팽창이 충돌한 사건으로, 중립정책을 추구했던 영국과 횡단정책을 펼쳤던 프랑스의 군대가 이집트의 파소다에서 서로 충돌하게 되었다. 이 때 영국군은 잘 깔려 있는 전신망 덕분에 본국에 신속하게 보고하고 지시를 받은 반면, 프랑스는 결국 적군이었던 영국을 통해 이집트의 자국군의 상황을 보고 받아야 했다. 물론 이 과정에서 전신을 장악하고 있었던 영국은 파소다에 주둔하던 프랑스군의 상황을 축소해서 프랑스 본국에 알려 줌으로써 상황을 자국에 유리하게 이끌었다. 박지향, 『제국주의: 신화와 현실』(서울대학교 출판부, 2000)pp. 224-228



전신은 대영제국의 정치적인 지배뿐만 아니라 경제적인 지배에도 중요하게 기여했다. 대영제국 전신망의 효율성을 목격한 유럽의 열강들이 전신 가설에 열을 올리면서 19세기 후반 전신은 당대의 하이테크 유망 사업으로 각광을 받았다. 이미 기술력을 확보하고 있었던 영국은 1892년이 되면 전세계 전신 사업의 66%에 관여하면서 이 분야를 거의 독점하다시피 했다. 과학사학자 브루스 헌트(Bruce Hunt)가 '영국의 비즈니스(British Business)'라고 평할 만큼 전신은 영국의 경제 발전에서 중요한 부분이었다.⁴⁾

이처럼 대영제국이 지리적, 정치적, 경제적으로 팽창하는 데 중요한 수단으로 사용되면서 전신은 대영제국을 변화시키는 데 일조했다고 평가된다. 이에 비해 전신의 발전이 제국의 팽창이라는 맥락 하에서 이루어졌고 그로 인해 과학기술이 제국에 의해 변모되었다는 점은 간과되어 온 것이 사실이다.

구체적으로 살펴보면 제국적인 맥락에서 등장한 전신은 세 가지 면에서 물리학에 영향을 미쳤다. 우선 대서양 해저전신 가설을 위해 개발된 과학 도구들은 물리학에 도입되어 효과적인 측정 도구로 사용되었다. 대서양 해저전신은 지금까지 유래가 없을 정도로 긴 거리를 통해 전기 신호를 전달해야 했다. 그런데 장거리 전선을 통해 전기신호가 전달되는 과정에서 전기 신호가 감소되는 문제가 제기되었다. 1858년 이 사업을 책임졌던 화이트하우스는 고전압의 전기 신

호를 보내는 방법을 채택했다. 처음부터 고전압으로 보낸다면 중간에 약해진다고 해도 일부는 전달될 수 있을 것이라는 계산에 의한 것이었다. 그러나 이 방법은 고전압으로 인해 전선에 발생하는 열로 전선이 누락될 가능성이 있었다. 1차 대서양 전신이 가설된 지 얼마 안 되어 제 기능을 못하게 되자 이 문제를 조사했던 톰슨(William Thomson, 후의 켈빈 경)은 물리 이론과 수식을 동원해서 고전압이 문제의 원인이라는 것을 밝혀냈다. 문제를 규명해 낸 톰슨은 새로운 해결 방안을 모색했다. 그는 처음부터 신호를 강하게 보내는 방법 대신 약해진 신호를 측정할 수 있는 정밀한 실험기구를 제작했다. 그는 거울을 이용하여 검류계의 정밀도를 높이는 거울검류계(mirror galvanometer)를 발명해서 1866년 대서양 해저전신의 성공을 이끌었다. 대서양 해저전신 이후 유럽의 전신사업이 활기를 띠면서 거울검류계를 사용한 톰슨의 전신 방법은 표준으로 자리 잡았다.

19세기 후반 유럽 전신사업의 황금기가 도래하면서 기존의 전기 기술자를 대신해서 대학에서 교육받고 물리학 이론과 실제 경험을 겸비한 인력에 대한 수요가 증가했다. 톰슨의 글래스고우 대학을 비롯한 각 대학의 물리학, 공학 분야에서는 실험실을 마련하고 실험 교육을 강화해서 전신 전문가들을 배출했다. 당연한 결과로 각 실험실에서는 톰슨이 개발한 거울검류계를 사용했다. 대학으로 들어 온 거울검류계는 장래의 전신 전문가들의 교육용으로 사용되었을 뿐

4) Bruce Hunt, 앞의 글, p. 321.

아니라 전자기학의 중요한 실험 도구로 자리 잡으면서 전자기학 실험의 정밀도를 높이는 데 기여했다. 요컨대 대서양 너머의 땅과 본국을 전신으로 연결해서 통합하려는 제국주의적인 기획이 물리학에 새로운 정밀 측정도구를 제공해 주었던 것이다.

둘째, 전신을 매개체로 한 제국주의적인 맥락은 물리학 표준 단위의 확립과 정밀 측정에 기여했다. 전신 사업이 호황을 누리면서 영국의 여러 회사가 제국의 곳곳에서 전신 사업에 뛰어 들었다. 그러나 전신과 관련된 표준적인 물리학 단위가 확립되지 못한 상황은 전신 사업이 세계적으로 확산되는 데 장애물로 작용했다. 예를 들어 각 회사가 생산한 저항마다 단위가 틀렸으므로 제품 간의 호환이 힘들고 각각에 적합한 전류, 전압의 크기도 차이가 났다. 이에 영국과학진흥협회(British Association for the Advancement of Science, BAAS)는 1861년 '전기 표준에 관한 BA 위원회(BA Committee on the Electrical Standard)'를 구성해서 저항의 표준을 정하는 연구를 시작했다.⁵⁾

BA 위원회에 참여했던 맥스웰은 정밀 측정을 물리학의 중요한 연구 과제로 강조했다. 이것은 결과적으로 19세기 후반 영국 물리학을 특징지었던 정밀 측정에 대한 몰두를 나타냈는데, 사실 이것은 제국의 전역으로 전신망을 확장하려는 전신사업의 필요가 중요한 계기가 되었다. BA 위원회가 제

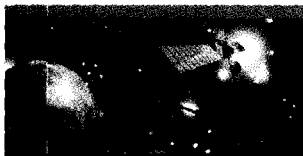
정한 표준저항(BA ohm)은 전신 사업을 통해서 제국의 전역에 표준으로 퍼져나갔다. 영국의 BA ohm이 경쟁 상대였던 독일의 Siemens의 표준저항보다 더 파급력이 높을 수 있었던 데에는 대영제국의 네트워크가 결정적인 역할을 했던 것이다.

마지막으로 제국의 전신은 영국 전기 물리학이 이론적으로 독특한 개념을 갖도록 하는 데도 기여했다. 19세기 영국 전자기학의 독특한 패러다임은 장이론(field theory)으로 두 개의 대전체 사이에 작용하는 전기력은 두 물체 사이에 존재하는 매질의 운동을 통해 전달된다고 설명했다. 헨트는 이처럼 영국이 독특한 전기물리학 패러다임을 고수하게 된 이유를 전신에서 찾았다.⁶⁾ 1850년 무렵 영국에서는 땅 속으로 전신이 가설되었다. 이것은 지상에 전선을 가설하는 경우에 나타나지 않았던 문제를 유발시켰는데 그것은 바로 신호 지연의 문제였다. 송신소에서 보낸 전기 신호가 지하 전선의 중간에서 더디게 전달되는 현상이 발견되었던 것이다. 이것은 전선의 최대 강점인 신속성에 장애가 되었을 뿐만 아니라 심할 경우 지연되는 신호와 뒤이어 전달되는 신호가 섞여서 신호 자체를 해독하는 것이 불가능하기까지 했다.⁷⁾

이 문제는 당대 최고의 물리학자 패러데이(Michael Faraday)에게 알려졌고, 1854년 그는 이전에 자신이 제시했던 장이

5) 저항의 표준을 정하는 BA Committee의 활동에 대해서는 다음을 참고하라. Simon Schaffer, "Accurate Measurement is an English Science", in M. Norton Wise (ed.), *The Values of Precision* (Princeton; Princeton Univ. Press, 1995) Schaffer는 BA Committee에서 행해진 맥스웰의 실험을 분석하면서 저항의 표준을 측정하는 일에 영국의 사회·경제적인 맥락이 강하게 영향을 미쳤음을 보여주었다.

6) Bruce Hunt, 앞의 글, pp. 325-329



론을 이용해서 전선을 구성하는 절연체와 외부 매질 사이의 관계를 통해 자연에 대한 물리학적인 설명을 제공해 주었다. 여기에 1860년대에는 전신사업이 호황을 누리면서 장이론에 대한 '시장성'이 높아졌다. 특히 전선을 구성하는 절연체의 유도용량에 따라 신호 전달의 효율성이 영향을 받는다는 사실이 알려지면서 전신에서 발생하는 문제들을 고려하거나 전신 기술을 개선하기 위해 패러데이의 장이론을 끌어 쓰는 일이 빈번해졌다. 결국 전신에 참여하는 물리학자들 사이에 신호의 전달에 대한 관심이 높아지면서 영국 전기물리학의 패러다임이 장이론을 중심으로 강화되는 결과를 낳았던 것이다.

제국과 전신, 물리학 3자 사이의 연관 관계는 팽창하는 제국이 사회적인 영향에서 비교적 고립되어 있을 것이라고 생각되었던 물리과학에까지 깊숙이 영향을 미쳤다는 것을 보여주었다. 제국적인 맥락은 물리학자들의 관심분야를 좁히고, 그들의 실천이 행해지는 방식을 결정하며 물리학 패러다임의 선택에 영향을 미치고 도구의 진화에 기여했다. 따라서 19세기 후반 영국의 전기물리학의 내용 그 자체를 제국이 결정지었다고 할 수는 없을지라도 그것이 발전해 나가는 방향은 제국이라는 맥락에 의해 강하게 영향 받았다고 결론지을 수 있다.

과학적 실천의 변화: 거대과학

20세기 과학은 그 내적인 영역에서만 아니라 외적인 측면에서도 큰 변화를 겪었다. 이런 20세기 과학의 특징을 선명하게 보여주는 예가 바로 거대과학(Big Science)이다. 거대과학은 1930년대 버클리 대학의 물리학자 로렌스(Ernest Orlando Lawrence, 1901~1958)에서 시작되었다. 입자가속기(cyclotron)의 발명자로도 유명한 로렌스는 가속력이 큰 사이클로트론을 만들기 위해 록펠러 재단이나 정부의 재정 지원을 받았다. 가속기의 기술적 문제를 해결해 나아가는 과정에서 과학과 기술의 경계가 모호해진 것이나, 정부나 록펠러 같은 자선재단의 지원을 받는 연구 형태는 이후 등장할 거대과학을 특징짓는 기본 모형이 된다.

본격적으로 거대과학이 등장하게 된 계기는 2차 세계대전이었다. '맨하탄 프로젝트(Manhattan Project)'라는 암호명 아래 미 육군 주도로 원자폭탄을 개발하는 계획이 진행되었다. 1942년부터 시카고 대학의 금속연구소(Metallurgical Laboratory), 버클리 대학의 방사연구소, 듀폰(Du Pont) 사, 켈로그 건설회사 등이 참여했고, 1944년에 이르러 뉴멕시코의 로스 알라모스에 원자폭탄의 설계와 조립을 위한 실험실이 건설되어 3,000명이 넘는 과학자, 기술자들이 집결했다. 맨하탄 프로젝트는 여러 면에서 새로운 연구 전통을 만들었는데, 종전 후 거기에 참여했던 과학자들이

7) 지상전선의 경우 지상의 공기가 강한 절연체의 역할을 해 주어서 지연현상이 문제가 되지 않는 반면 지하전선은 주변의 땅이 강한 절연체의 역할을 수행하지 못해서 지연현상이 심각하게 발생한다. 따라서 이전의 지상 전선에서는 신호 지연문제가 발견되지 않았으나 전선이 땅 속에 매장되면서부터 심각한 신호 지연현상이 발견되었다.

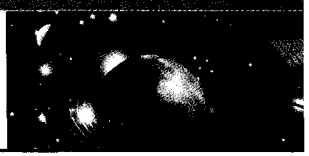
미 전역으로 흩어지면서 거대과학이라는 새로운 유형의 과학연구가 자리 잡게 되었다.

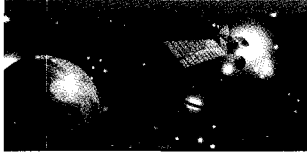
거대과학은 다음과 같은 면에서 기존의 과학적 실천과 구별되었다. 첫째, 그 명칭에서 알 수 있는 것처럼 거대과학은 인적, 재정적인 규모가 상상을 초월할 정도로 '거대' 해졌다. 로스 알라모스만 해도 과학자와 기술자만 3,000명이 넘었고, 행정을 맡았던 정부 관료, 군인들까지 합치면 인적 규모는 어마어마했다. 1980년대 말에 계획되었던 미국의 초전도 초충돌 입자가속기(SSC)는 예산이 60억 달러에 달할 정도로 재정 규모 또한 전례가 없다. 규모의 거대성은 거대과학의 두 번째 특징을 이끌었다. 거대한 인력과 예산을 관리하기 위해 중앙 집중적인 관리 시스템과 위계적인 관료시스템이 도입되었다. 이는 효율적인 예산집행과 연구수행에서는 긍정적이라고도 할 수 있으나 상대적으로 과학기술자의 자율성을 침해한다는 측면에서 부정적으로 평가되기도 한다. 셋째, 원자폭탄이나 가속기처럼 복잡하고 큰 실험기자재를 건설하는 과정에서 과학자와 공학자의 영역이 흐려진 것 또한 중요한 특징이라고 할 수 있다. 거대과학은 인력, 예산을 한 곳에 집중시킴으로써 이전에는 감히 엄두도 못 내었던 거대 입자가속기(유럽의 CERN, 미국의 페르미 입자가속기), 허블 우주 망원경 등을 기획, 실행하는 것을 가능하게 해서 자연에 대한 이해를 진일보시켰다. 그러나 그것의 역작용 또한 만만치 않았다. 거대과학이 중앙 집중적인 성격을 띠면서 과학자가 거대한 연구를 구성하는 일개 부속품의 위치에 놓이게 되자 그들은 자율성과 연구에 대한 통제권을

상실하게 된 것에 큰 불만을 느꼈다. 또한 거대과학이 입자 물리학과 우주 계획 등 몇몇 분야에 국한되면서 거기서 소외된 과학자들의 상대적인 빈곤감과 불만은 날로 커졌다. 냉전은 이런 불만들이 표출되는 시기를 지연시키고 그 정도를 약화시키기는 했지만, 1990년대 냉전이 종식되면서 그것은 초전도고속충돌기(Superconducting Super Collider, 이하 SSC) 계획의 백지화라는 사건으로 드러나게 되었다.

SSC는 약 83.7km 길이의 고리 모양 원형 통로를 따라 고에너지로 양성자와 반양성자를 가속시켜 충돌시키는 입자가속기로, 충돌시 근본물질 입자를 내 놓을 것으로 예상되었었다. SSC의 필요성은 1980년대 중반부터 입자물리학자들 사이에서 본격적으로 거론되기 시작했다. 그들은 유럽의 추격을 따돌리고 입자 물리학 분야에서 주도권을 고수해야 한다는 국가적 자존심, 자연의 근본에 대한 탐구, 입자가속기를 통해 얻는 방사능 물질을 이용한 암연구, 입자가속기 건설이 가져올 지역 경제의 발전 등을 들며 SSC의 필요성을 강조했다. 이런 주장이 받아들여져서 1987년 SSC 건설이 확정되고 1988년에는 막 대통령에 당선된 조지 부시의 고향인 텍사스 왁사하키(Waxahachie)에 10년에 걸쳐서 총 60억(billion) 달러가 소요되는 건설 계획이 결정되었다.

SSC 계획이 확정되자 물리학계 내부와 외부를 막론하고 불만의 소리가 터져 나왔다. 한 예로 의회 청문회에 섰던 타 분야의 물리학자들은 입자가속기 건설 계획의 비효율성을 지적했다. 물리학계 외부에서는 SSC 건설 계획에서 소외된 주의 의원들이





중심이 되어 SSC의 유용성에 의문을 제기했다. 그들은 SSC 건설이 가져올 지역 간의 불균형 발전, 그로 인해 자신이 속한 주가 입을 피해 등을 염려하면서 SSC가 “끝없이 건설 비용이 증가하지만 과학에는 위협이 되는” 존재라고 강하게 비난했다.

1990년대에 들어 소련 붕괴, 독일 통일 등으로 냉전이 종식되면서 SSC의 무용성을 비난하는 목소리는 더욱 커졌다. 게다가 1992년 SSC 건설을 승인했던 공화당이 대선에서 실패하고 민주당의 빌 클린턴이 대통령에 오르면서 SSC의 장래는 더욱 불투명해졌다. 1993년 5월 SSC 건설 폐기 여부를 조사하는 의회 청문회에 출석했던 입자 물리학자 와인버그는 SSC 계획이 폐기된다면 “당신은 어떤 종류의 신뢰할 수 있는(responsible) 고에너지 물리학 연구에도 작별을 고해야 할 것이고 그와 함께 이 시대, 이 나라에서 자연에 대한 최종 이론이 등장하는 것도 기대할 수 없게 될 것입니다. 또한 그것은 이 나라에서 기초과학 지원을 중단하는 것의 시작이 될 것입니다”라고 경고했다. 그러나 그의 경고에도 불구하고 1993년 10월 19일 의회는 282:143의 큰 표차로 SSC 계획을 폐기시키기로 결정했다.

SSC의 폐기는 20세기 중엽 시작된 거대과학의 역사에서 하나의 전환점을 의미했다. 그것은 거대과학을 탄생시키고 지탱해 준 전쟁과 냉전의 종식에서 연유한 것이었다. 다시 말하자면 거대과학이라는 독특한 과학적 실천 양식을 가능하게 해 주었던 역사적 환경의 변화를 의미하는 것이었다. 변화한 환경 속에서 거대과학은 새롭게 적응

하기를 요구받았다. SSC의 폐기는 이 변화의 요구에 적절히 대응하지 못한 결과였던 것이다.

그렇다면 거대과학의 등장을 가능하게 했던 세계대전, 냉전이 사라진 21세기 사회 속에서 거대과학은 어떻게 변모해 나아가고 있는가? 우리는 그 해답을 인간유전체사업(Human Genome Project)에서 찾을 수 있다. SSC와 같은 해, 1988년에 시작된 인간유전체사업은 여러 면에서 21세기형 거대과학의 특징을 보여준다. 첫째, 특정 지역 집중형이었던 입자가속기에 비해 인간유전체사업은 분산적이다. 연구자들은 세계 전역에 퍼져서 인간유전자 정보의 부분들을 해독한 후 그것을 인터넷을 통해 모아서 인간유전자지도를 만든다. 이를 통해 이 사업은 가속기 건설 사업에서 지역편중으로 인해 나타났던 장애물들을 피할 수 있었다. 둘째, 인간유전체사업은 SSC에 비해 실용성이 훨씬 높다. SSC에 비해 인간유전체사업은 질병 치료와 같은 실용적인 결과를 내놓는 것을 목적으로 한다. 셋째, 인간유전체사업은 유전자지도 작성과 같은 과학적인 연구뿐만 아니라 그것의 사회적인 함의까지도 사업에 포함시켰다. 연구 예산의 3~5%가 할애된 유전자 연구의 윤리적, 법적, 사회적 함의(ELSI : Ethical, Legal and Social Implication) 연구는 유전자 연구가 가져올 사회적인 영향 관계를 연구함으로써 연구의 사회적인 파장까지 고려하고 있다.

20세기를 넘어서면서 과학과 사회의 관계는 점점 더 밀접해지고 있다. 이 관계는 때로는 과학에 엄청난 이득이 되기도 하고 때

로는 과학에 엄청난 짐을 안겨주기도 한다. 사회에서 그 가치를 인정받으면서 과학은 다른 어떤 학문보다도 많은 지원을 사회에서 얻어내고 있지만, 동시에 끊임없이 존재 가치를 증명해 낼 것을 요구받고 있다. 20세기 냉전 동안 과학은 국방, 국가적 자존심 등을 내세우며 그 존재가치를 입증해 왔지만 이제 변화된 시대 속에서 새로운 존재 가치를 창조해 낼 필요가 있다. 어떤 가치를 표방하며 사회 속에서 살아남을 것인가, 어떤 가치가 과학 발전에 가장 도움이 되는 것인가를 모색하는 것은 21세기 과학을 하는 사람들의 몫으로 남아 있다.

맺음말 : 과학사 연구의 함의

과학사가 과학기술의 발전에 기여하는 바는 무엇인가? 과학기술의 실제 모습을 현실적으로 그려냈다는 점이 아마도 가장 중요한 기여가 아닐까 싶다. 과학자들을 실험실에 틀어박혀 일상도 잊고 오직 연구에만 몰두하는 사람으로 그려내는 것은 과학기술을 전공하려는 학생들에게도 도움이 되지 않을

뿐만 아니라 과학자 자신에게도 부담스러운 일이다. 갈릴레오가 영리하게 전략을 구사하여 연구에 필요한 재정적, 사회적, 인식론적 자원을 얻어냈던 사례는 과학연구가 개인의 천재성만으로는 완성될 수 없는 것임을 강조하면서 동시에 과학자도 사회 속에서 활동하는 사람이기에 사회의 다양한 자원들을 이용해야 하는 사람들이라는 것을 일깨워준다. 19세기 영국 전신의 사례는 과학기술의 발전이 정치적인 상황과 얼마나 밀접하게 연결되어 있는지를 보여줌으로써 과학기술이 사회와는 절연되어 있다는 오해된 이미지에 재고를 요청한다. 마지막으로 SSC 계획의 폐지는 거대과학의 변화를 보여주는 사례로 바람직한 과학적 실천의 형태가 무엇인가에 대해 질문을 던지며 과학기술의 발전 경로에 대해 질문을 제기한다. 이상에서 본 바와 같이 과학사 연구는 과학기술의 실천의 실제적인 모습들을 드러냄으로써 그에 대한 좀더 깊이 있는 이해와 그에 바탕한 새로운 방향 설정에 기여한다고 할 수 있다.

Electrophoresis(전기영동)

용액 속에 흩어진 고체 알갱이나 기름 알갱이, 하전된 이온, 콜로이드입자 등 하전 입자가 전기장 인가시 한 쪽 극을 향해 움직이는 현상. 매체로는 여과지, 녹말겔, 한천겔, 폴리아크릴아미드겔 등이 쓰이는데, 이 가운데서 분리시키고 싶은 것은 작은 점이나 가는 띠 모양으로 이동시켜서 분리, 확인한다. 저분자물질 외에 산성다당류, 산, 단백질 등의 분리나 정제에 널리 이용되고, 단백질이나 핵산의 분자량 측정에도 널리 이용되는, 분자생물학의 기본적인 수단 가운데 하나이다.