

# 世界科學技術史 (西洋篇)

## 産業革命의 起源

宋 相 庸

<韓國科學史學會 幹事>

科學革命 초기에 과학은 기술의 진보에서 거의 힘입은 바가 없었다. 그러나 갈릴레오(Galileo Galilei, 1564—1642)에 이르러 전환점이 마련되었다. 그는 초년에 기술자로서 일한 경험이 있었고, 망원경같은 기술의 산물로 관찰, 실험의 범위를 넓히는데 관심을 보였다. 보일(Robert Boyle, 1627—91)도 匠人에게 배워야 한다고 역설했다. 유리가공, 금속가공, 나사짜기등 과학에 유용한 기술의 개량을 위해서는 과학자와 장인이 함께 일하기도 했다.

물리학자 훅(Robert Hooch, 1635—1703)과 시계제작자 톰피언(Thomas Tompion, 1639—1713)의 협동작업이 그 좋은 예이다. 장인들이 만들어 쓰던 많은 기구가 과학기구로 발전했다. 화학천칭은 장인들의 저울에서 나온 것이고 望遠鏡은 군사목적에 쓰던 것, 현미경은 원래는 장난감이었다. 반대로 과학이 새 기술을 낳기도 한다. 즉 광학기구는 측량·항해술을 발전시켰던 것이다.

### 에너지 變換의 시작

17세기말부터 열을 역학적에너지로 바꾸는 蒸氣機關을 만들려는 노력이 시작되었다. 16세기에 광산에서 일하던 장인들은 팽펄프로 물을 10m 이상 올릴 수는 없다는 사실을 알았고 이로부터 포리켈리(Evangelista Torricelli, 1608—47)는 17세기 중엽에 대기압의 존재를 확인했다. 이에 만일 대기압이 피스톤의 한쪽에 작용하고 다른 쪽에는 감소된 압력으로 작용하게 한다면 피스톤이 운동할 수 있으리라는 것이 예측되었고 뉴키

멘(Thomas Newcomen, 1663—1729)은 1712년에 대기압증기기관을 만드는 데 성공했다. 이것은 보일러에서 만들어진 증기가 실린더 속에서 응축되어 부분진동이 된 결과 피스톤이 운동하게 되어 있어 증기는 간접적으로 이용된 것이다. 이 경우 과학이 발명을 가져왔다고 보기 쉬우나 실은 기본개념만 과학에서 왔을 뿐 실질적 문제는 기술자 자신이 해결한 것이다. 열에너지로부터 역학적 에너지로의 전환이 이루어짐으로써 기술의 새 시대가 열렸다.

18세기 중엽부터 19세기에 걸쳐 영국에서 産業革命이 일어나 전세계에 파급되었다. 17세기 이후 그 중요성이 점차 커졌던 철, 석탄, 증기가 드디어 산업혁명을 통해 사회를 근본적으로 바꿔놓았다. 산업혁명은 다음의 네가지로 특징지을 수 있다. 1) 매뉴팩처(manufacture)의 거대한 확장, 2) 가내수공업에서 공장제공업으로의 매뉴팩처적 성격의 변화, 3) 급격한 인구증가, 4) 새로운 기술의 응용이다.

### 紡織工業과 蒸氣機關

그러나 산업의 변화가 반드시 기술의 변화에 입각하는 것은 아니다. 실제로 18세기 후반에 극적인 기술혁명은 없었다. 산업혁명의 기본이 된 기술은 1750년, 아니 1650년 이전부터 이미 있었던 것이다. 즉 1770년 이후의 경제 및 사회의 극적 변화는 오랫동안 기술의 진보에 의해 서서히 진행되어 왔다.

기술 자체보다도 다음과 같은 경제·사회적 요인이 산업혁명에 더 크게 기여했다. 인구증가가 가져온 큰

시장과 노동력 그리고 모험적 산업에 매력을 느끼게 한 낮은 이자율, 大英帝國의 팽창과 교역의 증가, 영국산품 특히 직물의 수요증가, 기술혁신이 가져온 물품의 가격인하와 그에 따른 수요증가, 경제발전을 촉진한 계속된 전쟁 등이다.

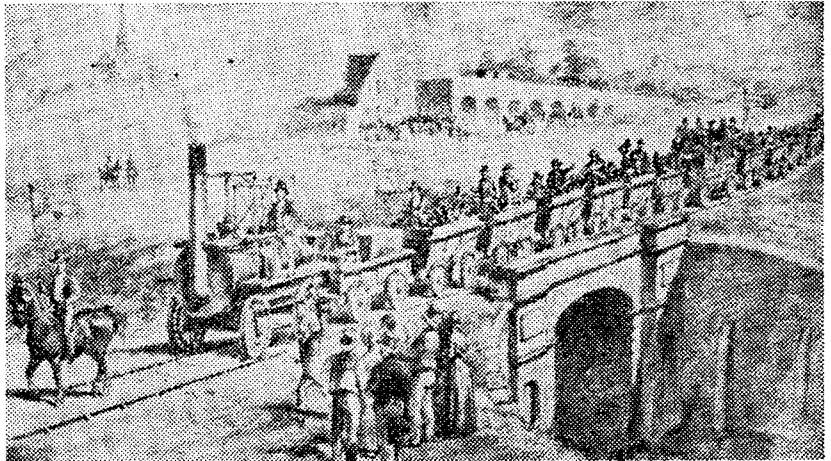
방직공업은 산업혁명의 主役이었으며 계속적이고도 빠른 발전의 좋은 예를 보여 준다. 처음에는 紡絲의 공급이 충분하지 않아 手動式기계가 쓰여졌으나 수력, 증기력이 도입됨으로써 손으로 한 것만큼 섬세한 紡績을 할 수 있게 되었다.

방직의 기계화는 방직을 자극했다. 이에 개량된 것으로 카트라이트(Edmund Cartwright, 1743—1823)의 力織機(Power loom)가 나왔다. 직물생산고의 격증으로 표백, 염색 등 마무리하는 일들이 생겨나 직물혁명은 화학공업의 발전을 촉진했다. 영국의 방직공업은 비약적인 발전을 해서 방직기의 수는 1813년의 2,400대에서 1833년에는 85,000대로 늘어났고 전세계의 시장을 지배하게 되었다.

뉴커멘의 대기압기관은 제작비는쌌으나 석탄을 많이 소비하고 유지비가 많이 드는 결점이 있었다. 기계를 경영하던 와트(James Watt, 1736—1819)는 때마침 뉴커멘기관의 수리를 청부맡은 기회에 이를 개량하기로 했다. 실린더의 열을 그대로 유지한 채 그 속의 증기만 냉각시키는 방법으로 分離凝結器(Separate condenser)를 고안해 연료소비를 경감시킬 수 있었다. 분리응결기는 자체로서는 큰 성취가 아니지만 미래의 발전에 관건이 되었다. 이어 그는 피스톤의 상하운동을 회전운동으로 변환한 復動(double acting)機關을 1781년에 완성했다. 와트의 새 증기기관은 방직공업과 連繫되어 산업혁명으로 발달했다. 증기기관은 강력하고 오래 운전할 수 있으며 입지조건에 구애되지 않았으므로 여러가지 기계를 움직이는 동력으로서 거의 만능이었다.

**石炭과 鐵의 登場**

1800년경 트레비딕(Richard Trevithick, 1771—1833)



스티븐슨의 機關車運轉(1825)

은 고압기관에의 길을 닦았고 뒤이어 만들어진 콜브룩데일(Coalbrookdale)기관은  $25\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 가동했다. 그는 힘의 부기에 대한 비가 좋다는 것을 보고 이것이 교통에 이용될 수 있다고 생각했다. 시험단계를 거쳐 1825년엔 스톡톤—달링턴(Stockton-Darlington) 사이에 철도가 부설되었고 4년 뒤에는 리버풀—맨체스터(Liverpool-Manchester) 사이가 개통되었다. 한편 증기기관을 장차한 기선도 나타났다. 1807년 풀튼(Robert Fulton, 1765—1815)이 만든 클러먼트호(Clermont)는 허드슨강을 거슬러 올라갔고 서배너號(Savannah)의 대서양횡단에 이어 1843년에는 최초의 大洋旅客船 그레이트브리튼號(Great Britain)가 취항했다. 1840년 완성된 철제증기선은 여러 분야의 기술적 진보의 종합적인 산물이라 할 수 있다.

산업혁명을 통해 나무는 석탄과 철로 크게 대체되었다. 방직공업에서의 작업기계의 등장은 다른 부문에도 기계의 도입을 촉진했고 따라서 철의 수요는 크게 늘어났다. 종래에 써 온 숲으로는 양이 딸리고 화력도 약해 철의 대량생산이 불가능했으므로 석탄에 의한 제철이 시작되었다. 늘어나는 증기기관도 석탄의 수요를 크게 한 요인이었다. 다른 공장들에서도 연료를 나무에서 석탄으로 바꾸었다. 경제학자 쾰바르트(Werner Sombart, 1863—1940)는 석탄의 등장에 대해 이렇게 말한 바 있다. 『과거 모든 시대 즉 근대기술 이전의 모든 기술의 주원료는 나무였다. 이전의 物質文明은 삼림에서 나왔다. 그래서 그것은 현저히 木造의 특징을 가졌다. 이에 대해 근대기술의 원료의 중심은 석탄으로 바뀌었다. 이제 이 물질에서 모든 방향으로 열과

빛을 발사하는 광선이 발생하고 있다.』

化學工業에의 波及

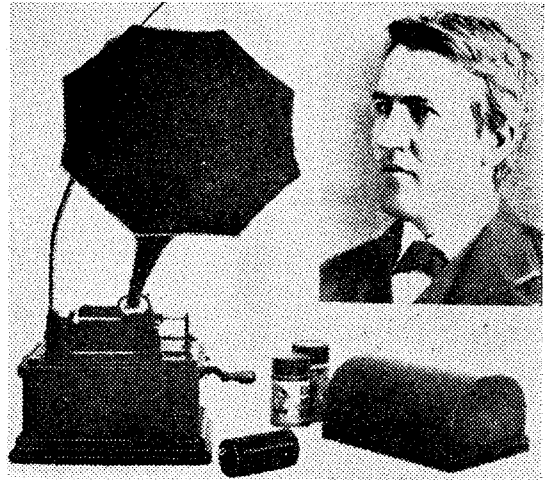
1709년 다비(Abraham Darby I, 1677-1717)가 개발한 코크스용광로에 의한 새로운 冶金技術은 산업혁명에 막대한 공헌을 했다. 그것은 산업혁명의 주축이 된 모든 기계의 원료인 철을 만들어냈던 것이다. 철은 비교적 싸고 鑄造하기 쉬웠으나 깎고 구멍뚫고 성형하기가 어려웠다. 銑鐵로부터 鍛鐵을 만드는 방법은 코트(Henry Cort, 1784)가 발명한 것인데 홀(J. Hall, 1784)은 이를 개량해 철사, 철봉, 레일, 앵글 등을 자유자재로 만들었다. 나사귀는 旋盤을 비롯해 많은 공작기구가 발명되었다. 1840년경 영국의 기계기술은 절정에 달했고 그 뒤 주도권은 미국으로 넘어갔다. 그밖에도 각종 철제품이 건축, 공학 등 각 방면에 광범하게 쓰이게 되었다.

화학공업의 발전은 금속 및 방직기술의 혁신과 밀접히 관련된다. 대규모적인 황산제조는 1736년 린든 교외에서 시작되었다. 19세기 초에는 염소를 직물표백제의 출발물질로 삼았다. 프랑스인들은 염소를 액체에 흡수시켜 漂白素(eau de javelle)라 불렀고 테넌트(Charles Tennant, 1768-1838)는 소석회에 흡수시켜 표백분을 만들었다. 소다는 해초 등 식물의 재에서 얻었는데 르블랑(Nicolas Leblanc, 1742-1806)이 1787년 소금에서 만드는 데 성공했고 1802년 빠리에서 이 과정을 배워간 사람이 영국에 공장을 세웠다. 르블랑법은 한세기 동안 重化學工業에서 매우 중요한 역할을 했다.

18세기말 석탄에서 새로운 화학제품이 나오기 시작했다. 단도널드(L. Dandonald)가 항해용으로 콜타르를 만들었고 멩켈레르(J.P. Minkellers, 1748-1824)와 머독(William Murdock, 1754-1839)은 석탄가스를 등화용으로 쓰기 시작했다. 1812년 일반가정에 가스를 공급하는 회사가 설립되었고 가스만들 때 부산물로서 암모니아를 얻었다.

産業革命的 衝擊

아직도 과학은 기술에 직접적 영향을 줄 수 없었다. 앞서도 본 바와 같이 뉴커멘대기압증기기관 밑에 깔린 개념은 과학적인 것이었지만 실용적인 형태로의 실



에디슨과 그의 蓄音器(1888)

현은 전적으로 장인들이 한 것이었다. 어떻게 보면 1750년부터 1850년 사이에 일어난 산업혁명 전체가 과학의 간접적인 응용의 예 같다. 즉 이 기간의 과학과 기술의 관계는 과학이 기술에게 아이디어를 제시할 힘은 있었으나 그 실행 방법을 지시하기에는 무력했었다.

산업혁명은 영국인의 생활에 지울 수 없는 영향을 주었다. 18세기에 인구는 증가했고 주로 공업지대인 북부에 집중했다. 지방에서 새로운 공업이 일어났고 대규모적인 공장, 주택의 건설이 진행되었다. 도시화, 산업화가 가속되는 곳에서는 어디서나 볼 수 있듯이 영국은 사회·경제적인 긴장상태에 놓여 있었다. 공장 지역에는 産業災害가 빈번히 일어나서 사회문제가 되었다. 표백제 속의 염소, 그릇 칠하는 데 쓰이는 납, 성냥의 인, 소다공장에서 나오는 염화수소가 주로 두 통거리였다.

18세기까지 모든 문화의 기술은 工藝의 솜씨, 인내, 많은 노동, 놀라운 발명의 재간에 토대를 둔 공예사회들(craft societies)에 속했었다. 그러나 18세기 이후 기술은 기계, 동력, 정밀성, 철, 응용과학을 사용한 결과 그 자체 근본적으로 변화한 사회에서 전혀 새로운 위치를 차지하게 되었다. 이렇게 해서 형성된 산업사회는 산업혁명 후기인 19세기를 맞는다.

새로운 技術版圖

산업혁명 후기에서 현재까지의 1세기 반은 인류의 오랜 역사에서 보면 극히 짧은 기간이다. 그러나 이

기간중 기술은 눈부신 발전을 보였으며 극도로 세분화되었다. 19세기 이후의 착잡한 기술의 내용을 개관하는 것은 불가능한 일이므로 몇가지 중요한 것만 골라 중점적으로 소개할 수밖에 없다.

1815년 프랑스와의 긴 전쟁이 끝나자 영국은 새로운 기술의 팽창기로 돌입했다. 프랑스는 멀리 처졌고 다른 나라들은 거의 시작도 못한 것이나 다름없었다. 1851년 파리에서 열린 大博覽會(Great Exhibition)때만 해도 영국의 기술은 세계 최고의 지위를 지켰다. 그 다음부터 영국은 눈에 띄게 쇠락했다. 이때 프랑스가 고개를 들기 시작한 것은 기술교육의 성공에 힘입은 것이다. 19세기 말에 이르자 후진국 도이칠란트가 화학공업으로 불같이 일어났고 新生國 미국은 막대한 자원을 배경으로 기술을 비약적으로 발전시켜 영국과 프랑스를 압도하면서 20세기로 넘어왔다.

산업혁명과 더불어 각광을 받게 된 제철기술은 19세기에 그 중요성을 더해 갔다. 1740년대 한츠먼(Benjamin Huntsman, 1704—76)이 발전시킨 도가니강철은 19세기 중엽 베세머(Henry Bessemer, 1813—98)의 轉爐(converter)와 지렌스형제(Ernst Werner von und Friedrich Siemens, 1816—92, 1826—1904)의 平爐(open hearth)에 의한 대량강철(bulk steel)로 대체되었다. 이것은 야금기술의 혁명이라 부를 만하며 강철의 시대가 시작되었음을 알리는 것이다.

18세기 후반부터 강철에서의 탄소의 중요성이 이해되었는데 1860년대에는 탄소함량에 대한 본격적인 연구가 있었으며 텅스텐, 망간을 함유한 강철합금이 나오기도 했다. 결국 再生熱을 경제적으로 쓸 수 있는 평로가 전로보다 우수함이 판명되었으나 단철을 최대한 생산하기 위해 두 방법이 다 사용되었다. 1890년 이후 단철의 생산은 강철에 비해 현저히 줄어들었다.

電氣의 世紀

베세머의 製鋼法은 磷을 함유하지 않은 철광석에만

쓸 수 있다. 영국, 미국에는 인 없는 광석이 많았으나 도이칠란트, 프랑스는 그렇지 못했다. 따라서 영미에서는 강철생산이 급증했지만 1879년 도이칠란트는 영국의 반, 프랑스는 3분의 1 밖에 만들지 못했다. 영국인 토머스(S.G Thomas, 1850—85)가 발명한 基礎鋼鐵(basic steel)이 도이칠란트에서 이용되어 이런 상태는 곧 달라졌다. 즉 이 방법은 석회석으로 인을 흡수해서 비료를 만들었고 전로, 평로에 다 쓸 수 있었다. 이제 로렌(Lorraine)의 인함유철강이 쓸모있게 되었고 철강공업은 갑자기 일어났다. 1898년 도이칠란트의 강철생산은 드디어 영국을 능가했고 1903년에는 선철 생산도 영국을 꺾었다.

강철을 대량생산하게 된 것은 대포를 만들기 위해서였다. 그러나 강철은 기계제작자, 철도기술자에게도 중요했으며 배, 교량, 건축에서 단철과 주철을 몰아냈다. 철도의 연장은 1840년에는 영국이 2,130km, 프랑스는 422km, 미국은 4,506km였는데 1860년의 영국은 16,640km로 늘어났으며 늦게 시작한 도이칠란트는 급격한 증가를 보였다.

고층건물에 강철을 쓰기 시작한 것은 1880년대로서 시카고의 램드 맥넬리(Rand McNally)빌딩은 전체가 鐵骨組로 지어졌다. 18세기 후반부터 건축용 시멘트가 발전했는데 콘크리트의 引張強度가 약하기 때문에 철근을 넣은 철근콘크리트가 출현했다. 철근콘크리트로 만든 배가 나왔으며 고층건물 그리고 뒤에는 교량건설에 크게 이용되었다.

18세기에 급속히 발전되기 시작한 電氣學이 산업혁명 후기에 광범하게 기술에 응용된 것은 획기적인 사실이다. 전기에너지는 역학적 에너지뿐 아니라 열, 빛, 電波, 화학적 에너지 등으로 전환될 수 있어 그 응용 범위가 무궁무진했다. 전기는 새로운 에너지源으로서 제 2 단계의 산업혁명을 主導했으며 이런 뜻에서 19세기는 「電氣의 世紀」라고 불러도 좋을 것이다.

밝고 깨끗한 정의 사회 건설에

스스로 앞장 섭시다.