

들이어서, 여기에 만족할 수 없었던 백성들이 도리어 迷信 같은 俗方에 기대를 걸 수밖에 없었던 否定的인 부분도 看過할 수는 없다고 하겠다.

19세기말 철강공업의 技術進步와 國際競爭

서울대 梁 東 然

I

철강공업이 오늘날의 모습을 띤 것은 19세기 후반에 있었던 일련의 기술진보에서 비롯된다. 이 글에서는 19세기말 생산의 우위가 영국으로부터 미국 및 독일로 이전되었음에 관련하여 이들 철강기술의 변화를 살펴 보고자 한다.

과학적 지식이 기술에 직접 응용되는 일은 19세기 후반 이후부터 화학 및 전기 등 신종 산업에서 나타나게 되었음은 다 아는 사실이다. 특히 야금술의 발달은 20세기 초까지 대부분 경험주의에 입각한 시행착오의 결과로 이루어졌던 것이다. 이는 지역에 따른 광물 및 연료의 화학적 구성의 차이 등과 밀접한 관련을 가지고 있는데, 製鍊이나 精鍊製鋼을 막론하고 새로운 기술이 파급되는 형태나 속도가 지방마다 달랐던 사실은 주목할 만하다. 철광석을 용해하여 銑鐵(pig iron)을 만드는 제련과정의 목탄 연료가 영국의 경우, 이미 18세기에 대부분의 용광로에서 코크스로 대체되는 반면, 미국에서의 coke smelting은 1860년에도 13%에 불과하였으며 1890년에 이르러서야 약 70% 정도로 사용되고 있다. 이는 Connellsville 탄광 발견 이전에는 황 함량이 낮은 瀝靑炭(bituminous)이 희소했기 때문이며, 따라서 19세기의 많은 부분 동안 공급원이 확실한 양질의 無煙炭(anthracite)을 제철 연료로 이용하였다. 이에 비하여 선철을 정련(puddling)하여 鍊鐵(wrought iron)을 제조하거나 壓延(rolling)하는 기술은 비교적 빠른 속도로 미국에 전파되었다. 이와 같이 技術史的 측면에서 볼 때 야금술의 혁신은 특정 기술의 내재적인

원자재 소요와 원자재 공급의 점차적인 확대 과정과의 미묘한 상호작용에서 이루어진 것을 알 수 있다. 이 글의 주된 관심사는 철강기술의 진보가 생산 및 수출에 있어 국제적 우위가 영국으로부터 미국과 독일로 옮겨가는 데 어떠한 역할을 하였는가 하는 것이다.

이 글의 대상이 되는 시기는 鋼鐵(steel)이 연철을 대체해 가는 과정으로 특징지을 수 있겠다. 강철은 선철보다는 탄소함량이 낮고 연철보다는 높아 적절한 軟性을 가져 압연에 편리할 뿐 아니라 強度가 높아 무기 제조 등에 필수적이었으며 건설자재나 철로로 사용되었을 때 그 내구기간이 연철보다 훨씬 길었다(약 6~7배). 다만 제강기술이 혁신적으로 발달하기 전에는 생산비가 높아 광범위하게 이용되지 못하였던 것이다. 초기의 강철 제조는 연철을 탄소 용액에 적시는 방법을 사용하였다. 이렇게 제조된 blister steel을 탄소 溶劑에 용해하여 걸러낸 crucible steel은 순수성과 동질성이 높아 18세기 중엽부터 오랜 기간 제조, 거래되었다. 1840년대에 이르러 위와 같이 연철에 탄소함량을 높이는 방법을 지양하고 선철에서 연철을 만들어 내는 정련과정, 즉 脫炭작업을 도중에 중단하는 방법을 강구하게 되었다. 소위 puddled steel이라 불리우는 精鍊鋼은 정련과정에서 용해점의 차이를 이용하여 강철을 분리해 낸 것인데 적절한 온도의 유지 및 정련기간의 선택 등 여러가지 기술상 난점을 내포하고 있었다. 이러한 난점을 해결한 것이 19세기 후반에 개발된 Bessemer 법(1856)과 Siemens-Martin 平爐法(open hearth process, 1857)이었다.

베세머제강법이란 산화과정에서 생성된 열을 이용하여 용해된 선철에 공기를 불어 넣음으로써 탄소제거를 신속히 진행시키는 방법이다. 이러한 혁신적인 방법을 이용하면 예전에 3~5톤의 선철을 脫炭할 때 24시간 정도가 걸렸음에 비하여 약 10여분만이 소요되었다. puddled steel을 제조하는 精鍊爐(puddling furnace)의 크기가 人力으로써 휘저을 수 있을 정도 내로(약 200 kg) 제한되었던 반면, 베세머轉爐(Bessemer converter)는 그 크기가 거의 무제한이었으므로

(20톤 정도까지) 생산에 있어 규모의 경제를 가능케 하였다.

지멘스-마르팽 平爐法은 배기가스를 平爐의 가열에 다시 사용하는 蓄熱원리(regenerative principle)와 古鐵(scrap iron)을 爐에 집어 넣어 탄소제거를 가속시키는 방법을 특징으로 하고 있다. 3~5톤의 선철에서 탄소를 제거하는 소요 시간은 약 10시간 정도로 베세머법보다 길지만 베세머 강철보다 더 균질적인 제품을 생산하였다. (실제로 이것은 베세머강철이 질소를 함유하게 되어 잘 부스러지는 성질이 있다는 것이 20세기에 와서 밝혀졌다.) 베세머법이 적절한 품질의 강철을 저렴한 비용으로 대량생산하는 데 적합하다면 평로법은 고품질의 鋼板 등을 주문 생산하는 데 알맞는 기술이라 할 수 있다.

베세머법이나 평로법을 막론하고 磷이나 硅素 화합물을 0.1% 이상 포함하는 철광석으로부터는 저질의 강철만을 제조하게 되는 난점이 있었다. 즉 이들 불순물이 완제품에도 남아 있게 되어 시장성이 떨어지므로 생산비 절감의 효과가 실현되지 못했던 것이다. 이것이 이들 혁신적인 기술의 전파를 더디게 만든 요인이었는데, 인산이나 규산을 함유하지 않은 赤鐵鑛(haematite)을 구할 수 있는 지역부터 새로운 강철기술을 이용하게 되었다. 영국은 1870년대에 스페인 등지에서 적철광을 수입, 평로법을 광범위하게 도입하였으며 미국이나 독일은 염기성 제강법(1878~79)의 발달과 함께 베세머법을 대규모로 채택하였다. Gilchrist-Thomas 법으로 알려진 염기성 제강법은 인과 규소의 화합물을 분리하기 위하여 염기성인 석회석을 용해된 철에 혼합하고, 이렇게 해서 생성된 염기성 찌꺼기(slag)가 轉爐 內壁을 부식하여 불순물을 다시 금속 내부로 환원시키는 것을 방지하기 위하여 전로 내벽을 산성인 硅土質 耐火벽돌 대신에 염기성 물질로 바꾼 것이다. 염기성 제강법은 스위트, 로랜, 미국 동부 등지에 대규모로 매장된 저렴한 철광석(인 함유량 1.5% 이상)을 이용 가능케 했으므로 급속히 전파되었다.

19세기 후반 강철제조 기술의 혁신적 진보와 함께 제련 및 압연과정에서도 기술진보가 수행

되어 단위당 강철 생산비가 1/5 이하로 하락하였으며 이 결과 강철이 연철을 빠른 속도로 대체하게 되었다. 영국은 수입 적철광에 의한 산성 평로법을 미국과 독일은 염기성 베세머법을 주로 이용하였는데 베세머법에 의한 대량생산은 제련 및 압연과정과의 수직결합(vertical integration)에 의해 대규모 종합철강공장을 도래하게 하였고 이와 함께 여타 工程에서의 기계화도 서서히 추진되었다.

이 시기의 제련과정에서의 기술변화를 잠시 언급한다면 1870년대 이후 미국에서 널리 채택된 高壓風爐法(fast driving, hard driving)이 주목할 만하다. 용광로 밑으로 압축공기를 급속도로 불어 넣는 것을 내용으로 하는 이 방법은 종래에 4 psi의 공기를 1 분당 6,000 ft³의 속도로 불어 넣었던 것에 비해 7.5~17.5 psi의 공기를 분당 30,000~50,000 ft³의 율로 불어 넣음으로써 용광로당 선철 생산량을 높였으며 이것이 原鑛투입(charging) 및 鑄造(casting)의 기계화를 촉진하였다.

염기성 제강법이 slag를 대규모로 생성하게 되어 금속을 분리하는 데 난점을 가지고 있었는데 바 이의 해결에도 진보를 보였다. 용광로에서 용해된 선철을 전로로 이송하는 큰 국자 모양의 mixer(1890년대)에 석회석을 투입하는 방법이 개발되었고, 20세기에 들어서는 Talbot tilting furnace의 도입으로 slag가 두꺼워지기 전에 수시로 제거하는 방식이 미국을 비롯하여 여러 나라에서 채택되었다.

II

1870년 경부터 영국 경제의 성장세는 눈에 띄게 둔화되었으며 20세기에 이르면 경제의 다방면에서 미국 및 독일이 영국을 능가하게 되었다. 과학지식의 축적에 바탕을 둔 새로운 산업인 화학, 전기 등 뿐 아니라 영국이 오랫동안 주도권을 가져왔던 섬유나 철강에 있어서도 생산 및 수출에서 우위를 잃었던 바 이는 당시에도 큰 관심사였다(표 1 참조). 빅토리아여왕 시대 후기의 갱년기(late-Victorian climacteric)라 불리는 19세기 말엽 영국 경제의 쇠퇴는 史學界의

〈표 1〉 철강 생산량 (단위:千톤)

	영 국	미 국	독 일
1881	7,494	5,259	3,071
1891	7,324	8,332	4,471
1901	8,766	15,860	7,282
1911	10,917	23,676	15,601

자료: 나의 글, "Failure or Product Cycle?—The British Iron and Steel Industry, 1870-1913" mimeo.(1981)

끊임없는 논란거리가 되어 왔다. 전통적인 해석은 기업가들이 추진력을 잃었기 때문이라는 것이며(entrepreneurial failure), 산업조직의 硬化 노동조합의 영향, 해외수요의 감축 등의 요인이 부가적으로 지적되었다. 경영자 실패說은 創業 3대에 오면 기업이 도산한다는 단순한 논리 이외에 영국이 과학기술 교육을 등한시하고 古典 및 體育 위주의 사립학교(public school)가 19세기 후반 영국 중등교육의 중추적 역할을 하도록 확대된 것과 밀접한 관련을 갖고 있다. 기업가들에 책임을 돌리는 구체적인 사항으로는 세일즈맨십의 부족, 과학적 관리의 결여, 신기술 도입의 등한 등을 들 수 있다. 경영자 실패설에 대한 논쟁은 아직도 계속되고 있으나 이 글에서는 철강공업에서의 기술혁신 및 전파에 초점을 두어 논의하고자 한다.

철강공업에서의 경영자 실패설은 영국 철강史의 권위서 중의 하나에도 잘 나타나 있는데 예를 들면 다음과 같다. 『당시 철강계의 지도급인 사람들이 광범위한 안목을 가지고 경영조직이나 기업의 장기적 목표 및 경영합리화에 좀 더 대담하고 정력적인 능력을 보였다더라면 영국의 철강산업이 그와 같이 빠른 속도로 쇠퇴하지는 않았을 것이라는 데 사실적 증거가 충분하다.』 실제로 신기술 도입의 실패라고 주로 지적되어 왔던 것은 영국 중동부의 저렴한 철광석을 이용할 수 있는 염기성 제강법을 무시했다는 점과 용광로에 hard driving 기술을 채택하지 않았다는 두 가지였다. 수요량 증가세의 둔화와 수요구성이 기술도입의 장애요인으로 등장하고 적철광 수입에 의한 산성 제강의 기득권이 상당하였다는 면 등이 신기술 채택지연에 대한 설명으로 제시되

었다.

미국과 유럽 각국의 철강산업이 성장하고 이들 지역의 관세장벽이 높아지자 영국 철강의 수출시장은 점차 영국 식민지로 제한되었는데 철강 수출의 도착지별 분포는 1880년에 식민지 20%, 유럽 28%, 미국 38%이었던 것이 1913년에 오면 식민지 55%, 유럽 14%, 미국 2%로 급변하였다. 또한 서비스 부문의 비중이 커짐에 따라 국내 철강수요도 줄게 되었다. 수요의 완만한 성장은 자본설비의 평균연령(vintage)을 높게 만들어 새로운 설비로 형상된(embodied) 기술의 도입을 지연시켰으며 『영국의 높은 생산비는 低成長의 원인이 아니고 결과인 듯이 보인다.』 Habakkuk의 표현을 빌면 『평화시에는 위대한 장군이 배출되지 않고 성장하지 않는 산업에는 위대한 기업가가 나오지 않는다.』

수요의 총량 이외에 수요의 구성도 영국이 염기성 제강법으로 신속히 이전하지 않은 데에 관련이 있다. 장기적으로 산성 베세머법에서 염기성 지멘스-마르탱 평로법으로 생산기술이 변화해 왔다면 미국과 독일은 과도기 20여년간(70년대 후반~90년대) 염기성 베세머법을, 영국은 산성 평로법을 상대적으로 많이 채택하여 대조적인 경로를 밟았다. 이는 베세머 강철이 대량 생산된 중등품으로서 철도건설에 적합하였고(장기적으로는 철로도 平爐鋼으로 대체되고 있기는 하다) 평로강철은 고품질의 주문생산된 강관들로서 선박제조에 많이 사용되었음에 기인한 것이라 할 수 있겠다. 당시 영국은 철도망이 거의 완성되었고 조선공업의 철강수요가 컸음을 상기한다면 영국이 염기성 베세머쪽으로 이전하지 않은 사실은 상당부분 설명될 것이다.

산성 제강을 둘러싼 기득권의 존재도 신기술 도입의 장애요인이었을 것으로 생각된다. 『적철광을 손쉽게 수입할 수 있었고, 산성제강에 투입된 자본의 이해관계』가 새로운 투자에 의한 수익의 귀착을 불확실하게 하여 염기성 제강법 채택이 지연되었다.

그 원인이야 어찌 되었든 영국이 염기성 제강법과 hard driving 기술을 채택하지 않음으로써 생산비가 얼마나 높아졌을까? 최근 數量經濟史

의 일련의 연구결과를 요약하면 다음과 같다. 경제학자들이 흔히 쓰는 생산성의 지표로 총요소생산성(total factor productivity)이 있는데 이는 각 생산요소의 생산성, 즉 산출량을 각 요소투입량으로 나눈 것들의 가중기하평균이다. 이를 식으로 표시하면

$$(1) TFP = \left(\frac{Q}{L}\right)^{\alpha_L} \left(\frac{Q}{R}\right)^{\alpha_R} \left(\frac{Q}{F}\right)^{\alpha_F} \left(\frac{Q}{K}\right)^{\alpha_K}$$

단 Q, L, R, F, K 는 각각 산출량, 노동투입량, 철광석투입량, 연료투입량과 자본서비스의 투입량이며 지수로 나타난 가중치 $\alpha_L, \alpha_R, \alpha_F, \alpha_K$ 는 이들 생산요소가 총비용에 차지하는 비중이다. 당시의 자료에 의하면 이는 각각 0.10, 0.45, 0.30, 그리고 0.15였다. 경제균형의 가정 하에 실질지표로서의 총요소생산성은 가격지표와 같아지며 이는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$(2) TEP = \left(\frac{P_L}{P}\right)^{\alpha_L} \left(\frac{P_R}{P}\right)^{\alpha_R} \left(\frac{P_F}{P}\right)^{\alpha_F} \left(\frac{P_K}{P}\right)^{\alpha_K}$$

단 P, P_L, P_R, P_F, P_K 는 각각 생산물, 노동, 철광석, 연료, 자본재의 단위당 가격을 말한다.

(2)식을 이용한 1907~9년의 총요소생산성은 鋼板의 경우 영국이 미국보다 2% 정도 높았고 鐵路, 鋼柱 및 地鋼과 構造物의 경우 6~8% 낮았으며, 각 工程별로 볼 때 製鋼工程에서는 영국이, 용광로(blast furnace)에서는 미국이 효율 면에서 앞섰던 것으로 나타났다. 工學의 史料의 발췌에 따라 직접 (1)식을 이용한 생산성 추계가 가능하였다. 이 결과는 같은 시기에 미국과 독일의 총요소생산성이 영국보다 15% 정도 높았으며 이는 주로 미국과 독일의 철강공업이 영국의 철강보다 자본집약도가 높고, 따라서 노동생산성이 높았던 것에 기인하였음을 보여 준다. 당시 미국이나 독일의 철강산업이 수직·수평결합에 의한 대규모 종합철강기업으로 구성되어 있었음을 감안할 때 경쟁균형의 가정은 만족되지 않을 것으로 생각되며, 따라서 (2)식에 의한 국제비교는 정확하지 않을 것으로 판단된다. 다만 상대적 생산성의 공정별 차이는 신뢰하여도 무방하다.

생산공정 별로 생산성을 비교했을 때 제강과

정에서는 영국의 생산성이 미국이나 독일에 비해 평균적으로 보아 뒤떨어지지 않았으므로 열기성제강법의 도입 지연 자체의 영향은 미미했던 것으로 보인다. 용광로에서 hard driving과 slow driving의 생산성 차이는 5% 정도인 것으로 추계되었고, 따라서 hard driving 기술의 도입 지연도 그다지 큰 영향을 갖지 않았다고 결론 내릴 수 있다.

그러면 열기성 제강법과 hard driving 기술의 도입을 등한시한 영국의 철강인들에게 국제경쟁에서의 패배의 책임을 직접적으로 돌릴 수는 없는 것 같이 보인다. 각 工程에서의 미미한 생산성 차이가 철강산업 전체에서 상당한(15%) 생산성 차이로 전환되는 원인은 산업조직에서 찾아야 할 것이다.

미국과 독일이 열기성 평로법으로 이행하기 전 약 20여년간 주로 열기성 베세머법을 사용하였고 영국은 산성 평로법을 고수하였던 배경은 앞에 말한 바와 같이 수요의 증가율과 구성, 가용한 철광석의 품질, 기득 이익집단의 압력 등이라 하겠다. 이러한 기술선택의 경로 차이는 산업조직의 형태로 직결되는데, 베세머 제강공장의 경우, 탄소제거의 속도가 빠르고 용광로의 크기 제한이 거의 없어 기업규모를 확장할 유인이 평로공장보다 컸으며 또한 제련과정과의 후방수직결합(backward integration), 압연과정과의 전방수직결합(forward integration)을 촉진시켰다. 즉 미국과 독일에서는 수직결합된 종합철강공장에서 선철과 강철, 그리고 각종 강철제품을 생산하게 되었으며 수평결합 등에 의해 독과점의 상태로 급속히 진전되었다. 19세기의 마지막 30년간 독일의 철강산업은 카르텔의 형태로, 미국의 철강은 기업합병을 통하여 독점자본을 형성하였는데 영국은 1차대전 이후까지 각 공정별 소규모 기업들로 산업구조를 특징지우고 있다.

각 공정에서의 기술선택(베세머법, hard driving)이 미묘한 상호작용을 통해 수직결합된 대기업을 생성하면 이들은 다시 각 공정과(Talbot tilting furnace, 열기성 평로법) 공정 간의(원광투입과 鑄造 과정의 기계화, mixer) 기술진보를

촉진하는 과정을 되풀이하였다. 이와 같이 독과점적 산업조직형태가 기술진보에 기여하는 과정은 일찌기 Schumpeter에 의해 갈파되었는데, 당시 철강산업에 있어 산업조직이 기술혁신을 촉진하는 메커니즘은 다방면으로 논의되었다. 첫째, 대량생산의 결과 제품의 표준화를 가능케 하여 부품의 교환이 용이하게 되었고 기술정보의 전파를 신속히 할 수 있었다. 둘째, 제련공정에서 압연까지를 결합한 종합공장에서는 금속을 가열된 상태로 유지할 수 있어 연료효율이 높아졌다. 셋째, 시장수요나 요소가격의 일시적 변화에 구애되지 않고 장기적 안목으로 설비투자를 계획하기 위해서는 시장 지배의 전망이 있어야 하며 독점자본만이 이와 같은 조건을 갖추고 있었다. 마지막으로 미국은 철강노동組의 취약점을 이용, 기업이 임금통제할 수 있었던 반면 영국은 노동조합이 강력하여 과학적 관리 등을 도입하는 데 장애요인으로 작용하였다. 관점에 따라 강조하는 면이 달라지겠으나 後發工業國(영국이 아님을 지칭)에서의 공장 및 기업의 대규모화 현상은 Gershenkron에 의해 간결하게 유형화되었으며 이는 당시 기술진보와 산업조직 간의 유기적 관계를 일반화한 것이라 할 수 있다.

이제 이 글을 요약하여 보자. 19세기 후반의 철강기술의 혁신 및 전파는 기술사적인 측면에서 볼 때 지역에 따른 광물과 연료의 화학적 구성, 철강제품 수요의 증가율과 그 구성, 그리고 철강산업 종사자들의 이해관계 등과 밀접한 관련을 가졌다. 기술선택에 따른 생산비의 차이와 그 결과로 나타난 국제경쟁의 향방은 각 공정에서의 기술수준보다 이들을 포괄하는 산업조직의 형태에서 결정되었다고 하겠다. 기술진보와 산업조직은 시기에 따라 독특한 상호작용을 하는 유기적 관계에 있으며 독점자본주의 형성기의 철강공업에서는 기술선택→산업조직→기술진보의 연쇄반응이 독과점적 산업조직을 갖는 경제에 이로운 쪽으로 작용하였다. 이후 독점자본의 귀추는 또한 대량생산기술과의 해후에서 결정되었던 것이다.

XVIIth International Congress of History of Science

31 July-8 August, 1985

Some Problems in the Study of the Science - Religion Relationship in Traditional China

Kim Yung Sik

Seoul National University

In the West, both science and religion were important elements in society, and it is natural that the two should have interacted in various ways. Moreover, the objects of the Western science and religion, Nature and God, were inherently linked to each other in that the former was believed to have been created by the latter. Thus we see many instance in the Western history in which science and religion came to touch each other, generating significant influences in the development of each of them. But in China, neither science nor religion was very important in any period. Nor was there, in their ideas of science and religion, such an obvious link between the two. Study of the "science-religion" relationship in this situation has often tended to look for tenuous, or even imaginary, links and influences between the two elements that themselves were not important in their own context. For example, the role of Taoism for the Chinese scientific development has received an attention far beyond what it really deserves. The influence upon science of the "absence" of certain religious