

### 3 성공한 발명, 혁신, 엔지니어

공학은 발명(invention)이고 엔지니어는 발명가일까? 공학을 한다고 하면 보통 밥을 새워서 발명을 하는 사람을 떠올리며, 유능한 엔지니어라고 하면 보통 '발명왕'을 생각한다. 그렇지만 엔지니어가 수행하는 일은 발명이 전부가 아니다. 엔지니어는 기존의 기술, 공정, 제품을 개선해서 더 효율적인 기술, 공정, 제품을 만들고, 자신이 발명한 것을 생산이나 시장과 결합시켜서 경제적 이익을 가져오는 일을 담당하는 경우가 더 많다. 이렇게 발명이나 기존의 기술을 개량해서 생산성을 향상시키고 시장을 더 확대하거나 새로운 시장을 만드는 작업을 '혁신(innovation)'이라고 한다.

혁신에 대해서는 이미 1장에서 다루었지만, 여기서 반복하자면 기술혁신에는 보통 다음과 같은 다섯 가지 특성이 있다. 1) 영웅적인 발명이 개별 발명가에 의해서 이루어지는 경우가 많음에 비해 혁신은

주로 그룹의 협동에 의해 이루어진다. 2) 혁신은 발명을 포함한다. 그렇지만 혁신에는 개별 발명보다 다양한 발명의 결합이 더 중요하다. 3) 혁신 과정은 급격하기보다는 연속적이고 점진적인 경우가 많다. 4) 그렇지만 혁신은 급진적 혁신(radical innovation)과 점진적 혁신(incremental innovation)을 구별할 수 있다. 급진적 혁신은 새로운 기술을 개발해서 이를 통해 새로운 산업 영역을 만드는 종류의 것이며, 점진적 혁신은 기존의 생산에서 필요한 기술을 조금씩 개량·개선해 나가는 종류이다. 5) 혁신의 주체는 많은 경우에 기업이며, 혁신은 생산이나 마케팅과 밀접히 연결되어 있다.

이번 장에서는 구체적인 사례를 가지고 엔지니어의 혁신과 리더십을 살펴보려 한다. 엔지니어 중에는 역사에 남는 놀라운 발명을 하거나 혁신을 이룬 사람들이 많다. 그렇지만 여기서도 문제가 되는 것이 이들의 활동이 항상 균일하지 않다는 것이다. 엔지니어나 기술자 중에는 과학 이론에 가까운 이론적인 혁신을 이룬 사람도 있었고, 이론에는 밝지 않았지만 뛰어난 발명을 통해서 혁신을 이룬 사람도 있었기 때문이다. 또 서로 다른 공학 분야들, 예를 들어 기계공학, 화학공학, 컴퓨터공학을 같은 차원에서 비교하기도 쉽지 않다.

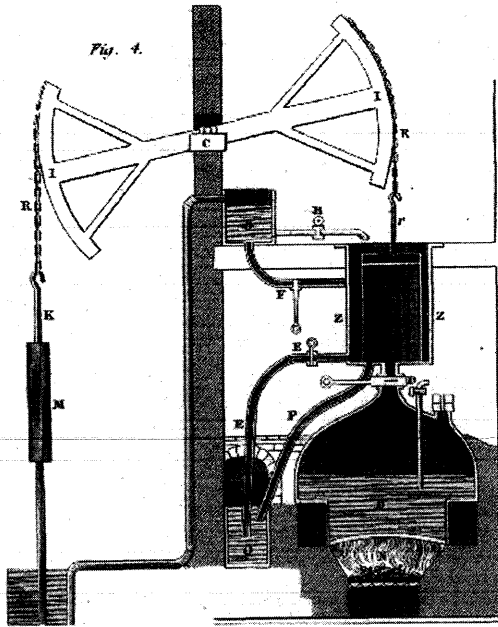
따라서 이 장에서는 역사적으로 중요하다고 간주되는 서구의 기술 혁신의 예와 이를 주도한 엔지니어들을 분석하고, 국내의 대표적 기술혁신의 예를 분석한 뒤에, 이러한 사례에서 공통적으로 볼 수 있는 요소를 추출해서 이를 토대로 혁신의 일반 과정을 제시할 것이다. 증기기관을 개량해서 산업혁명의 문을 연 영국의 제임스 와트, 무선전신을 발명하고 이를 기반으로 세계를 덮는 전파 왕국의 제왕으로 군

림했던 굴리엘모 마르코니, 사진기의 대중화 시대를 열었던 코닥 카메라의 발명자 조지 이스트먼의 성공적인 발명과 혁신의 사례와, 우리나라가 자랑하는 반도체와 CDMA의 개발 과정이 여기서 살펴볼 혁신 사례이다. 마지막으로 미국의 엔지니어 프레드릭 터먼에게서 볼 수 있는 엔지니어의 성공적인 리더십의 예를 소개한 뒤에 성공적인 혁신이 가지는 공통점을 분석할 것이다.

### 3-1 성공적인 발명과 혁신 I : 제임스 와트

산업혁명은 대략 1770년경에 영국에서 시작되었다. 산업혁명을 거치며 서구 사회는 농경 사회에서 산업 사회로 변모했으며, 이 거대한 변화를 가능하게 한 기술혁명은 1) 방직·방적기술, 2) 제철·제련기술, 그리고 3) 증기기관이었다. 광산에서 물을 퍼내는 데 사용되던 증기기관은 엔지니어 제임스 와트(James Watt, 1736~1819)에 의해서 혁신적으로 개량되어 광산은 물론 공장의 에너지원으로 사용되었고, 스티븐슨에 의해서 기차에도 사용되었다. 증기기관 덕분에 철광석이나 석탄과 같은 원자재를 채취하는 방식이 혁신적으로 개량되었으며, 기차를 이용해서 이를 공업도시로 실어 날랐고, 공장에서 다시 증기기관의 연료로 사용되기 시작했다. 증기기관은 원료 생산지와 소비지, 제품 생산지와 소비지, 도시와 농촌을 잇는 거대한 변화를 촉발시킨 기술이었으며, 산업혁명을 상징하는 기술이었다고 해도 과언이 아니다.

이 거대한 변화를 촉발시킨 제임스 와트는 1736년 스코틀랜드에서 태어났다. 그의 아버지는 측량기사였기 때문에, 와트는 어릴 적부터



[그림 3-1] 뉴커멘 엔진

작업장에서 기계를 다루면서 기계에 친숙해질 수 있었다. 와트는 19세에 글래스고라는 스코틀랜드의 대도시에서 과학기기를 제작하는 일을 시작했으며, 곧 이 일에 재능을 보여 이십대 초반에는 직접 자신의 가게를 열었다. 1763년 27세가 되었을 때, 그에게는 뉴커멘 엔진(Newcomen engine)이라는 증기기관을 수리할 기회가 생겼다. 뉴커멘 엔진은 1712년 영국의 엔지니어 토머스 뉴커멘이 발명한 증기기관으로 광산의 갱도에 고인 물을 퍼내는 데 사용되고 있었는데, 그 효율이 낮아 널리 사용되지는 않고 있었다.

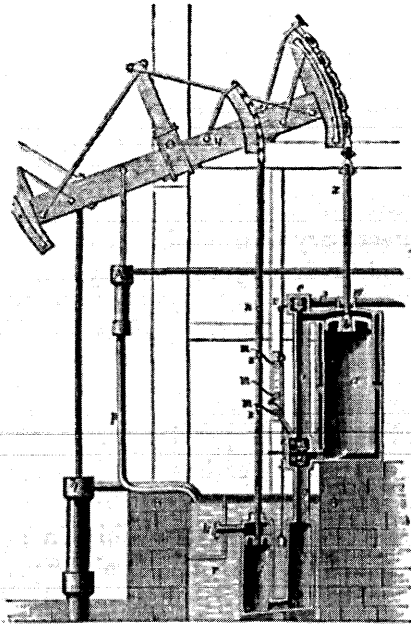
뉴커멘 엔진은 물을 끓여 거기서 나온 증기로 실린더 내의 피스톤을 위로 밀어 올렸다. 문제는 이렇게 올라간 피스톤을 어떻게 다시 밀

으로 떨어뜨리는가에 있었는데, 뉴커멘 엔진은 실린더에 난 작은 구멍을 통해서 찬 물을 실린더 내부에 뿜어 실린더의 온도를 떨어뜨림으로써 피스톤을 밑으로 하강시키는 방법을 이용했다. 이럴 경우 문제는 피스톤을 위로 올리기 위해서 실린더를 덥혀야 하고, 이를 떨어뜨리기 위해서는 실린더를 다시 차게 만들어야 한다는 것이었다. 즉 열의 상당 부분이 차가워진 실린더를 다시 덥히는 데(즉 아무런 일도 하지 못하고) 사용되었던 것이다. 뉴커멘 엔진이 열효율이 낮았던 것은 바로 이러한 이유 때문이었다.

뉴커멘 엔진을 수리하면서 와트는 이 문제를 해결하면 엔진의 효율이 놀랄 만큼 높아질 수 있다는 것을 인식했다. 그렇지만 어떻게 이 문제를 해결할 수 있는가? 피스톤을 떨어뜨리기 위해서는 실린더를 되도록 차게 유지해야 하며, 이를 밀어 올리기 위해서는 되도록 실린더를 데워야 한다. 어떻게 냉각과 가열을 동시에 만족시킬 수 있는가? 이 두 가지 모순되는 상황을 어떻게 한 가지 기술에 구현할 수 있는가?

서로 양립할 수 없어 보이는 조건을 하나의 엔진에 구현하는 이 문제를 오래 고민하다가 와트는, 피스톤이 운동하는 실린더를 항상 덥게 유지하고 공기를 냉각시켜주는 콘덴서를 따로 분리해서 이를 항상 차게 유지하면 이 문제가 해결될 수 있다는 것을 인식했다. 그는 수개월간의 연구 끝에 '분리 콘덴서(separate condenser)'를 발명함으로써 결국 이 문제를 해결했다. 와트는 분리 콘덴서를 가진 증기기관에 대한 첫 특허를 1769년에 취득했다.<sup>1</sup>

이제 문제는 돈이었다. 와트는 부유하지 않았기 때문에 다른 곳에



[그림 3-2] 분리 콘덴서를 적용한  
와트의 증기기관

서 재원을 마련해야 했다. 마침 스코틀랜드에서 철광업을 하던 존 로벅(John Roebuck)의 재정적 후원을 얻을 수 있었지만, 로벅은 1773년에 파산했다. 그렇지만 곧바로 와트는 자신의 아이디어를 가지고 버밍엄의 부유한 사업자인 매튜 볼턴(Matthew Boulton)과 동업을 시작하는 데 성공했다. 금속세공과 도자기 공업을 운영하던 볼턴은 와트의 증기기관의 가치를 단숨에 알아차렸다. 볼턴의 공장에서 제작된

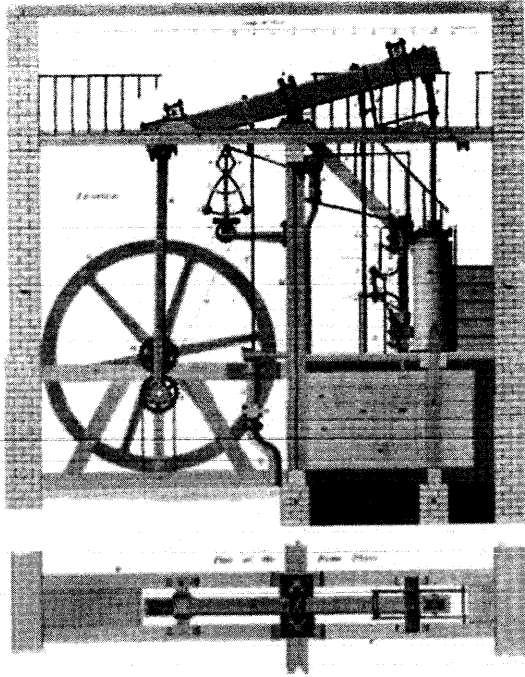
<sup>1</sup> 와트의 증기기관에 대해서는 Eugene S. Ferguson, "The Steam Engine Before 1830," in Melvin Kranzberg and Carroll W. Pursell Jr., eds., *Technology in Western Civilization Volume 1* (New York: Oxford University Press, 1967), pp. 245~263 참조.

와트의 증기기관은 놀랄 만큼 인기를 끌었는데, 그 이유는 이것이 뉴커멘 기관보다 네 배 이상 효율적이었기 때문이다. 와트는 1775년에 자신의 기관에 대한 포괄적인 특허를 취득했고, 이를 기반으로 25년간 증기기관의 생산을 독점할 수 있었다.

그렇지만 와트가 이 첫 특허만을 이용해서 부를 축적했다고 생각해서는 안 된다. 와트의 발명은 여기서 끝나지 않았기 때문이다. 그가 처음 만든 기관은 상하 수직 운동만을 수행했고, 따라서 이 첫 엔진은 광산의 물을 퍼내는 데는 적합했지만 공장에 사용될 수는 없었다. 그는 이 문제를 해결하기 위해서 1781년에 회전 운동을 하는 증기기관을 만들었다. 회전 운동을 하는 증기기관의 발명은 증기기관을 방적공장과 같은 곳에서 방적기를 돌리는 데 사용될 수 있도록 탈바꿈시켰다. 발명가이자 기업가였던 리처드 아크라이트(Richard Arkwright)는 와트의 증기기관의 중요성을 인식하고 1790년에 노팅엄에 있는

#### 제임스 와트에 대한 몇 가지 신화

가장 잘못 알려진 사실은 "와트가 최초로 증기기관을 발명했다"는 얘기다. 우리가 보았듯이 와트는 증기기관을 발명한 것이 아니라, 기존에 존재하던 뉴커멘 증기기관을 개량했다. 또 와트의 발명이 주전자에서 물이 끓는 것을 보고 영감을 얻어 이루어졌다는 얘기도 근거 없는 신화이다. 어떤 사람들은 와트가 당시 화학자였던 조셉 블랙(Joseph Black)의 잠열(latent heat) 이론을 공부한 뒤에 증기기관을 발명했다고 주장하지만, 이 역시 근거가 희박하다. 와트는 기존의 뉴커멘 증기기관의 문제를 인식하고, 이를 해결하기 위해서 오래 노력한 결과 '분리 콘덴서'를 발명했으며, 이후 자신의 기관을 여러 단계에 걸쳐서 개량하고 또 개량했다.



[그림 3-3] 와트의 회전 증기기관

자신의 방직공장에 최초로 증기기관을 설치했다. 1800년이 되면 5백기 이상의 와트 기관이 영국의 공장과 광산에서 사용되고 있었다. 와트는 1788년에 피스톤 운동의 속도를 자동으로 조절하는 조속기(調速機)를 발명했고, 복동식 엔진(피스톤이 위로 올라갈 때와 아래로 떨어질 때 모두 엔진을 작동시키는 것)과 평행 운동 메커니즘(회전 운동을 직선 왕복 운동으로 바꾸어주는 것으로 기차에 사용될 수 있음)을 발명했다. 그는 1790년에 이미 백만장자가 되었고, 1800년에는 회사에서 은퇴해서 자신의 연구에 전념했다.

와트의 성공은 그가 뉴커멘 엔진의 낮은 열효율의 원인을 정확하게

인식하고 이를 해결하기 위해 오랫동안 노력한 데에서 출발했다. 그렇지만 이러한 한 가지 발명이 그의 성공의 전부는 아니었다. 무엇보다 그가 볼턴이라는 유능한 기업가와 역사에 남을 파트너십을 만들었던 것이 성공의 중요한 요인이 되었다. 와트는 발명과 혁신에 능했고 볼턴은 비즈니스에 능했다. 이러한 상보성은 와트-볼턴 회사의 성장의 동력이었다. 또 와트는 유능한 기계공 출신의 윌리엄 머독(William Murdoch) 같은 능력 있고 충직한 조수를 고용했으며, 당시 영국의 특허법을 잘 이용해서 자신의 발명을 25년간 독점할 수 있었다.

그렇지만 가장 중요한 것은 그가 지속적으로 기술혁신에 매진했다는 것이다. 그는 뉴커멘 기관을 개량한 데에서 머문 것이 아니라 증기기관을 보편적인 동력원으로 만들기 위해서 회전 증기기관을 개발했고, 복동기관을 만들고, 그 속도를 일정하게 유지하는 조속기를 개발하고, 평행 운동 메커니즘을 개발하고, 증기기관의 힘을 재는 '마력(馬力)'이라는 단위를 만들었다. 이러한 지속적인 혁신은 와트와 볼턴이 증기기관의 생산을 30년 가까이 독점할 수 있었던 가장 중요한 요소가 되었다.

와트가 발명해서 특허를 낸 증기기관은 저압력(low pressure) 증기기관이었다. 한 가지 흥미로운 사실은 와트가 자신의 발명품인 저압력 기관에만 신경을 썼기 때문에 다른 형태의 증기기관에 무관심했으며, 심지어는 적대적이기까지 했다는 점이다. 와트는 증기기관차를 만들려는 시도에 격렬하게 반대했는데, 그 이유는 증기기관차를 만들기 위해서는 고압력(high pressure) 엔진을 사용해야 했기 때문이다. 실제로 와트의 조수인 머독은 고압력 증기기관을 개발했지만, 와

트는 머독의 연구를 격려하기는커녕 이를 적극적으로 말렸고 심지어 머독이 특허를 내지 못하도록 압력을 가하기도 했다. 와트에 대한 충심이 강했던 머독은 결국 자신의 고압력 기관 연구를 포기하고 말았다. 고압력 기관은 와트의 특허가 말소된 1800년 이후에야 발명되었고, 결국 와트의 저압력 기관을 대체하게 되었다. 우리는 혁신적인 기술을 발명한 엔지니어가 그 기술만을 고집하고 다른 가능성에 눈을 감아버리는 '보수적인' 태도를 취하는 것을 기술의 역사를 통해서 종종 볼 수 있다.

### 3-2 성공적인 발명과 혁신 II : 굴리엘모 마르코니

20세기 무선전신과 라디오의 아버지라 불리는 마르코니(Guglielmo Marconi, 1874~1937)는 어릴 적부터 과학과 발명에 관심이 많았다.<sup>2</sup> 이탈리아의 부유한 집에서 태어난 그는 부자 아버지를 둔 덕분에 자기 집에 있는 다락방을 자신의 실험실로 꾸미고 다양한 화학 실험과 전기 실험에 몰두할 수 있었다. 마르코니는 20세가 되던 1894년 여름에 독일 물리학자 헤르츠(H. Hertz)의 조사(弔辭)가 실린 잡지를 우연히 보게 되었다. 독일의 천재 물리학자 헤르츠는 1888년에 전자기파를 발견해서 전 유럽을 흥분시킨 장본인이었는데, 불행히 1894년에

<sup>2</sup> 마르코니의 발명과 혁신에 대한 상세한 분석은 Sungook Hong, *Wireless: From Marconi's Black-box to the Audion*(Cambridge, MA: MIT Press, 2001) 특히 1~3장을 볼 것.

36세의 젊은 나이로 요절했다. 그는 마치 곤충의 날개 모양으로 펼쳐진 콘덴서에 유도 코일로부터 얻어낸 고전압을 축전해서 방전시킴으로써 고주파 전자기파를 얻어냈다. 헤르츠는 눈에 보이지 않는 전자기파를 이용해서 멀리 떨어진 곳에 스파크를 일으킴으로써 그 존재를 증명할 수 있었으며, 전자기파가 빛의 속도로 전파된다는 것을 실험을 통해 보일 수 있었다.

헤르츠의 발견 이후에 유럽 최고의 물리학자들이 전자기파를 가지고 다양한 종류의 물리 실험을 했다. 이들의 실험은 주로 전자기파가 빛과 같은 성질을 지닌 파동인가 그렇지 않은가라는 문제에 집중되어 있었다. 그렇지만 어느 누구도 전자기파를 통신에 사용할 수 있다는 생각하지 않았다. 우선 전자기파의 전파 거리가 불과 수십 미터 정도로 너무 짧았다. 그리고 물리학자들은 전자기파의 파장을 더 짧게 해서 전자기파의 편광, 굴절, 산란과 같은 문제를 분석함으로써 전자기파와 빛 사이의 유사성을 탐구하는 문제에 관심이 많았다. 반면에 (유선)전신 기술자들은 물리학자들이 실험실에서 사용하는 전자기파에 별 관심이 없었다. 19세기 말엽에 전신은 대서양을 가로질렀고 전 세계를 거미줄같이 덮고 있었기에, 전신 기술자들이 전파 거리가 수십 미터밖에 안 되는 전자기파에서 새로운 통신의 가능성을 찾을 이유가 없었던 것이다.

마르코니는 볼로냐 대학의 물리학자 리기(A. Righi) 교수에게 전자기파 실험에 대한 물리학을 배웠지만, 대학에서 배운 물리학이 아닌 자신만의 실험을 통해 무선전신을 발명했다. 그는 헤르츠의 실험에 대한 기사를 읽자마자 이를 통신에 사용할 수 있다는 가능성을 직감